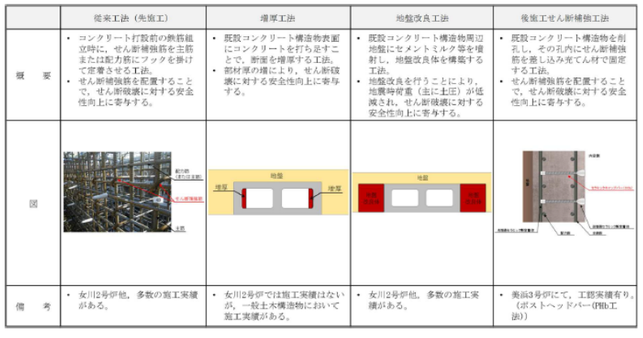
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙－16	別紙－13	
	女川原子力発電所２号炉 後施工せん断補強筋による 耐震補強について	島根原子力発電所２号炉 後施工せん断補強筋による耐震補強	
※空欄とする			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	目次	目次	
	1. 概要	1.　概要	
	2. CCb 工法について	2.　PHb 工法について	・工法の相違
	2.1 CCb 工法を適用した部位	2.1　PHb 工法の使用部位	【女川 2】
	2.2 CCb 工法の概要	2.2　PHb 工法の概要	
	3. 建設技術審査証明報告書の概要	3.　建設技術審査証明報告書の概要	
	3.1 CCb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け	3.1　PHb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け	
	3.2 建設技術審査証明報告書における CCb 工法の適用範囲	3.2　建設技術審査証明報告書における PHb 工法の適用範囲	
	3.3 建設技術審査証明報告書における CCb 工法の設計方法	3.3　建設技術審査証明報告書における PHb 工法の設計方法	
	3.3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法		
	3.3.2 使用材料・強度		
	3.3.3 構造部材の評価		
	3.3.4 構造細目		
	3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認	3.4　建設技術審査証明報告書における施工性の確認	
	3.4.1 施工の確実性		
	3.4.2 施工の容易性		
	3.4.3 施工手順の設定		
	4. 女川2 号炉における CCb 工法の適用性の確認	4.　島根原子力発電所２号炉における PHb の適用性確認	
	4.1 適用性確認フロー	4.1　方針	
	4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定	4.2　耐震評価に基づく補強仕様の設定	
	4.3 ①適用性確認項目の抽出	4.3　適用性確認項目の抽出	
	4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認	4.4　建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認	
	4.5 ③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認	4.5　せん断補強効果の確認	
	4.5.1 せん断補強効果の確認内容		
	4.5.2 せん断補強効果の確認		
	4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認		
	4.6.1 削孔方法		
	4.6.2 削孔角度		
	4.6.3 削孔位置		
	4.6.4 グラウトの充てん性		
	4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認	4.6　施工実績・研究事例等の確認	
	4.7.1 施工実績の整理		
	4.7.2 過去の地震の経験事例		
	4.7.3 レベル２地震動を対象とした設計事例		
	4.7.4 後施工せん断補強工法の比較		
	4.7.5 後施工せん断補強筋に関する研究事例		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.8 女川２号炉におけるCCb 工法の保守性と設計上の制限の整理 4.8.1 CCb 工法の保守性 4.8.2 女川２号炉においてCCb により耐震補強を行うにあたっての保守性 4.8.3 女川２号炉においてCCb により耐震補強を行うにあたっての設計上の制限 4.8.4 有効係数βaw の保守性 4.8.5 CCb 工法によるせん断補強の設計検討フロー 4.9 CCb の適用性確認結果 5. 女川２号炉におけるCCb 工法の適用性確認のまとめ 添付資料１　建設技術審査証明書 添付資料２　女川２号炉における部材諸元他の適用性の検討 添付資料３　女川２号炉におけるひび割れに対する定着機能保持の検討 添付資料４　女川２号炉におけるコンクリートの健全性の検討 添付資料５　ディープビーム的な破壊に対するCCb 工法の適用性の検討 添付資料６　面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性の検討	4.7　PHb の施工上の確認 4.8　PHb の適用性確認結果 添付資料 （添付資料１）　建設技術審査証明書 （添付資料２）　解析によるせん断補強効果の確認について （添付資料３）　「施工管理要領書（案）（取水槽耐震補強工事（ポストヘッドバー工法））」 （添付資料４）　建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について	・資料構成の相違 【女川 2】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	1．概要 女川２号炉の屋外重要土木構造物等※には，基準地震動Ss の大加速度化に伴い，せん断破壊に対して耐震補強工事が必要となる既設鉄筋コンクリート構造物がある。 せん断破壊に対する補強工法としては，部材のせん断耐力を向上させる後施工せん断補強工法の他に，増厚工法や地盤改良工法等があるが，女川２号炉の屋外重要土木構造物等については，部材の耐力を直接向上させる合理的な補強工法で，後施工せん断補強工法の一つである，セラミックキャップバー（以下「CCb」という。）工法を採用している。（第1-1 表，第1-2 表参照） CCb 工法は，第1-1 図に示すとおり，既設の鉄筋コンクリート構造物に後施工によりせん断補強を行う工法の一つであり，部材を削孔後，その孔内にCCb を挿入し，グラウト充てんにて固定し，せん断耐力を向上させるものである。 CCb により耐震補強を行った構造物の一覧を第1-2 表，耐震補強箇所及び補強概要を第1-2 図～第1-8 図に示す。 本資料は，本補強工法が開発された際の実験の範囲と女川２号炉で用いる部材厚や破壊形態に差異があること等から，CCb 工法を採用する目的，効果及び女川２号炉への適用性について説明するものである。 ※：「屋外重要土木構造物」，「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備」，「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）」の何れかに該当するか，又は兼務する構造物を「屋外重要土木構造物等」とする。 第 1-1 表 主なせん断補強工法  	島根原子力発電所２号炉取水槽については，せん断耐力の向上を目的に耐震補強を行う。 取水槽は地中構造物であり，片側からしか施工できない制限を有することから，後施工プレート定着型せん断補強鉄筋（Post-Head-bar）（以下「PHb」という）工法を採用する。 本資料は，島根原子力発電所２号炉取水槽特有の各種条件に対して，PHb 工法が適用性を有するか確認するものである。	・設備の相違 【女川 2】 設備の相違による記載内容の相違 ・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉の後施工せん断補強工法の概要は「2.2 PHb 工法の概要」に記載 耐震補強箇所等については，「4.5　せん断補強効果の確認」に記載

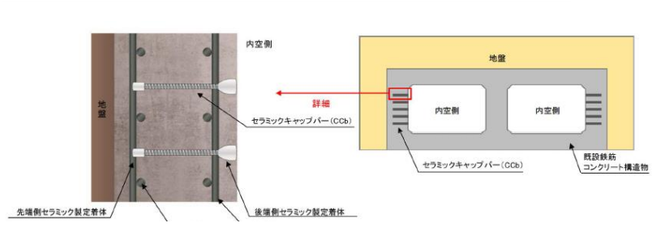
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 1-2 表 CCb により耐震補強を行った構造物※1

構造物名称	部　材		部材厚（mm）	CCb 径	せん断スパン比※2
取水路（漸拡部）	隔壁		1,200	D16，D22	5.61
原子炉機器冷却海水配管ダクト	隔壁		1,200	D25	6.02
軽油タンク室	底版		1,500	D25	第 1-7 図参照
	側壁		1,200	D22	
	隔壁		1,000	D16	
復水貯蔵タンク基礎	遮蔽壁	地上部	500	D13	第 1-8 図参照
		地中部	1,000	D16，D25	
	パルプ室	頂版	800	D16	
		側壁	1,000	D19	
		隔壁	600	D16	
	連絡トレンチ	頂版	800	D16	
		側壁			

※1：今後の評価により，CCb により耐震補強を行う構造物は増える可能性がある。

※2：せん断スパン比：a/d（a：支間長，d：有効高さ）



第 1-1 図 CCb 工法の概要図※

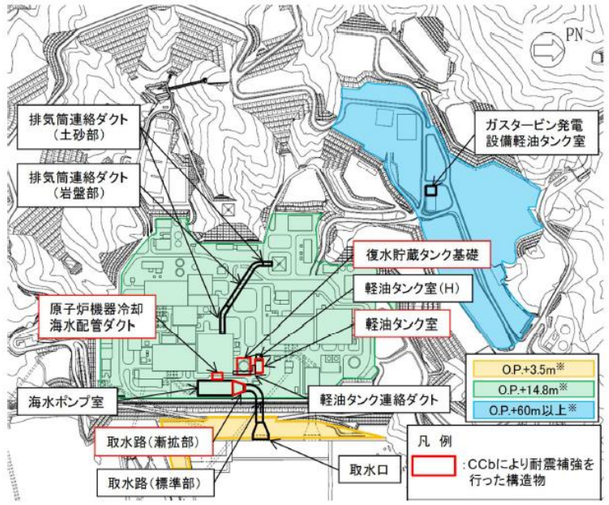
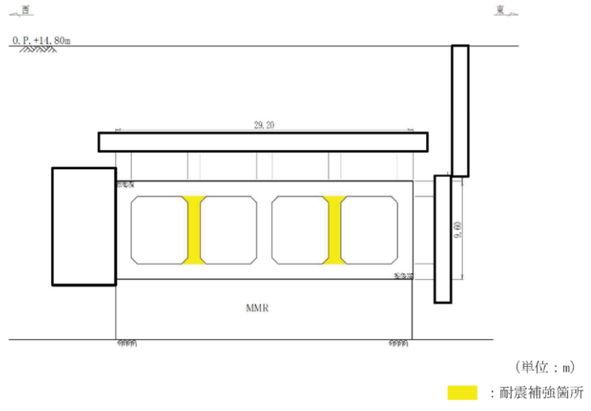
※：セラミックキャップバー（CCb）工法研究会 HP より引用。一部修正・加筆。

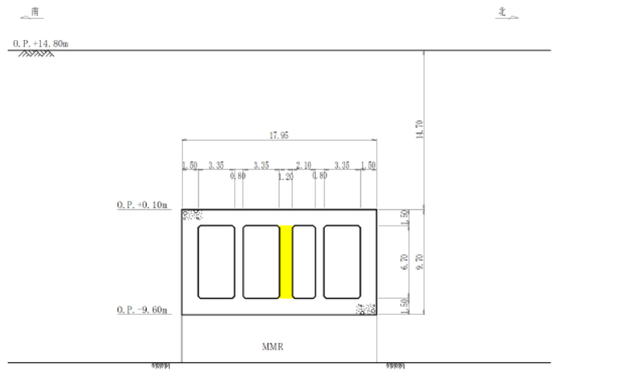
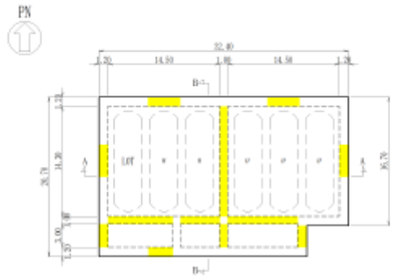
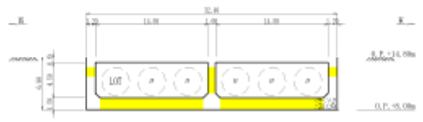
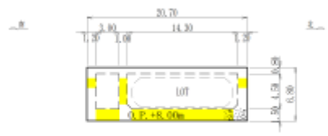
・資料構成の相違

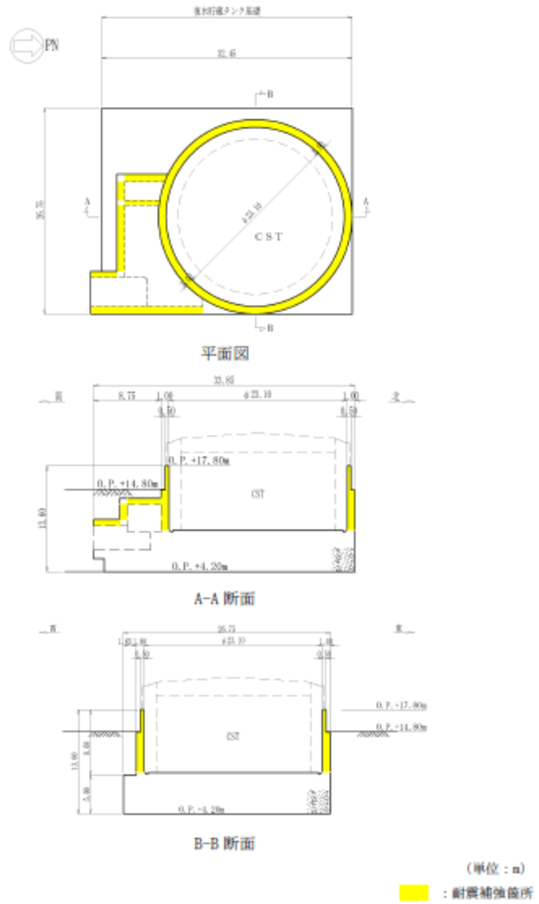
【女川 2】

島根 2 号炉の後施工せん断補強工法の概要は「2.2 PHb 工法の概要」に記載

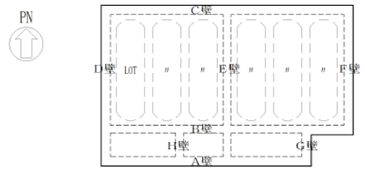
部材諸元等については，「4.5　せん断補強効果の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 ※： ・ O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり，東京湾平均海面（T.P.）-0.74m。 ・ 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴い，牡鹿半島全体が約１ｍ沈降したことが確認されており，女川原子力発電所の敷地も一様におおよそ１ｍ沈降したことを確認している。現在は隆起傾向にある。 ・ 本資料における標高は，2011 年東北地方太平洋沖地震前の値で標記している。 第 1-2 図 CCb により耐震補強を行った構造物（配置図）  第1-3 図 CCb により耐震補強を行った構造物（取水路（漸拡部）） ・資料構成の相違 【女川 2】 耐震補強箇所については，「4.5　せん断補強効果の確認」に記載	・設備の相違 【女川 2】 設備の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 （単位：m） ：耐震補強箇所 第1-4 図 CCb により耐震補強を行った構造物 （原子炉機器冷却海水配管ダクト）  平面図  A-A 断面  B-B 断面 （単位：m） ：耐震補強箇所 第1-5 図 CCb により耐震補強を行った構造物（軽油タンク室）		・資料構成の相違 【女川 2】 耐震補強箇所については，「4.5　せん断補強効果の確認」に記載

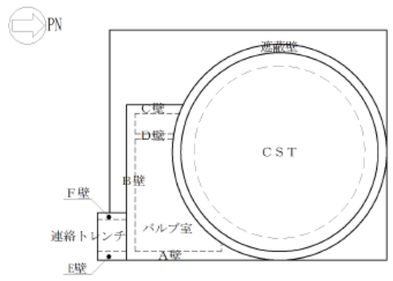
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第1-6 図 CCb により耐震補強を行った構造物（復水貯蔵タンク基礎）		・資料構成の相違 【女川 2】 耐震補強箇所については，「4.5　せん断補強効果の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



			東西方向・水平方向			南北方向・鉛直方向		
			支間長	有効高さ	せん断スパン比	支間長	有効高さ	せん断スパン比
			a（m）	d（m）	a／d	a（m）	d（m）	a／d
軽油タンク室	底版		5.10～14.50	1.30	3.92～11.15	3.00～14.30	1.30	2.31～11.00
	側壁	A壁（南壁）	8.40	1.00	8.40	4.50	1.00	4.50
		C壁（北壁）	14.50	1.00	14.50	4.50	1.00	4.50
		D壁（西壁）	3.00～14.30	1.00	3.00～14.30	4.50	1.00	4.50
		F壁（東壁）	14.30	1.00	14.30	4.50	1.00	4.50
		G壁（東壁）	3.00	1.00	3.00	4.50	1.00	4.50
	隔壁	B壁（中壁）	5.10～9.10	0.85	6.00～10.71	4.50	0.85	5.29
		E壁（中壁）	3.00～14.30	0.85	3.53～16.82	4.50	0.85	5.29

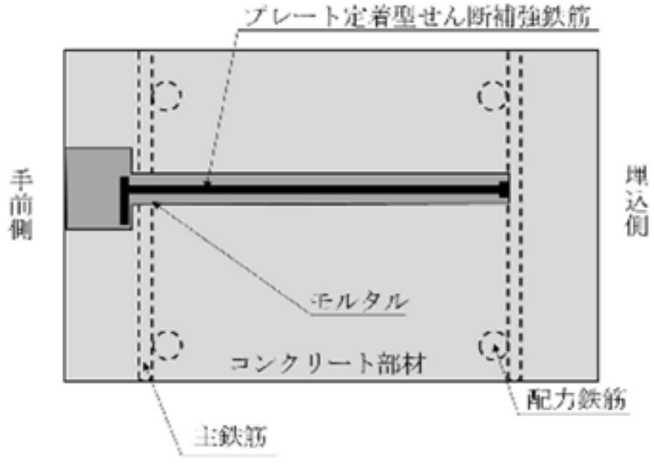
第1-7 図 CCb により耐震補強を行った構造物
（せん断スパン比：軽油タンク室）

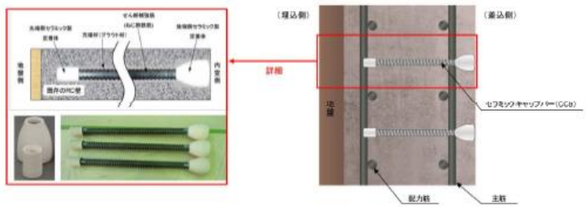
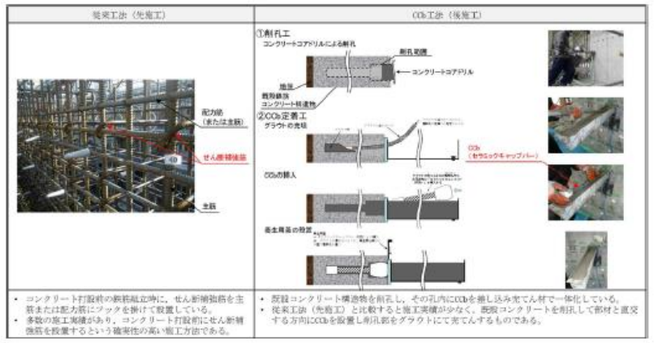
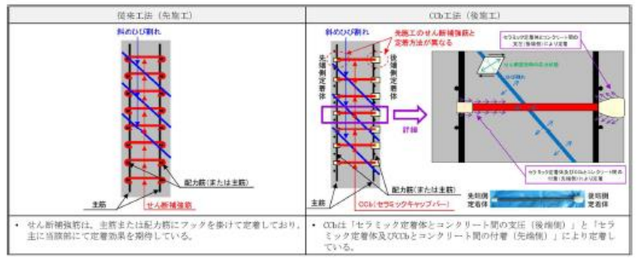


				東西方向・水平方向			南北方向・鉛直方向		
				支間長	有効高さ	せん断スパン比	支間長	有効高さ	せん断スパン比
				a（m）	d（m）	a／d	a（m）	d（m）	a／d
復水貯蔵タンク基礎	遮蔽壁		地上部	－	－	－	3.10	0.40	7.75
			地中部	－	－	－	4.15～8.60	0.90	4.61～9.56
	パルプ室		頂版	1.00～13.05	0.68	1.47～19.19	4.53～10.10	0.68	6.66～14.86
		側壁	A壁（東壁）	10.10	0.88	11.48	3.65	0.88	4.15
			B壁（南壁）	2.40～13.05	0.88	2.73～14.83	1.95～3.65	0.88	2.22～4.15
			C壁（西壁）	5.19	0.88	5.89	3.65	0.88	4.15
		隔壁	D壁（中壁）	4.53	0.48	9.43	3.65	0.48	7.60
	連絡トレンチ		頂版	3.70	0.68	5.44	－	－	－
		側壁	E壁（東壁）	－	－	－	3.15	0.68	4.63
			F壁（西壁）	－	－	－	3.15	0.68	4.63

第1-8 図 CCb により耐震補強を行った構造物
（せん断スパン比：復水貯蔵タンク基礎）

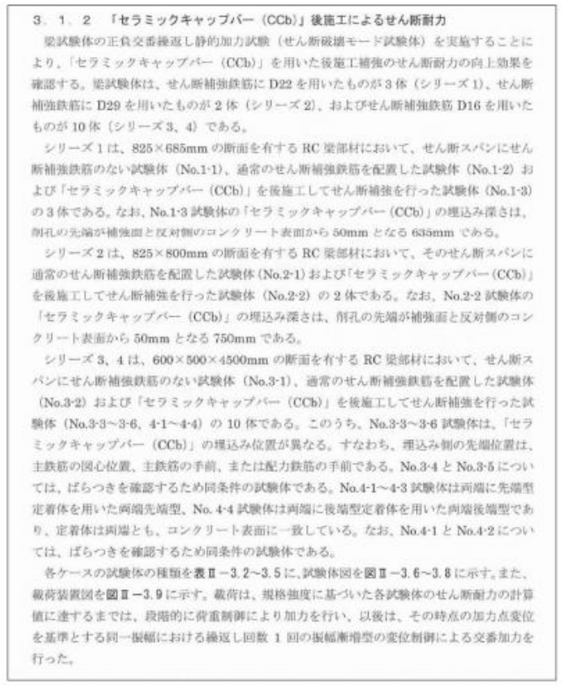
・資料構成の相違
【女川 2】
島根 2 号炉の部材諸元等については，「4.5　せん断補強効果の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2. CCb 工法について 2.1 CCb 工法を適用した部位 女川２号炉の屋外重要土木構造物等においては，基準地震動発生時に屋外重要土木構造物等としての機能（設計基準対象施設のうち耐震S クラス施設の間接支持機能，重大事故等対処施設の間接支持機能，非常時における海水の通水機能，貯水機能及び止水機能）を維持するために，耐震安全性を確保する必要がある。そのため，屋外重要土木構造物等の一部の部材においては，せん断に対する安全性を確保するために，CCb 工法を適用し，せん断耐力の向上を図っている。 CCb 工法を適用した部材は，第1-2 表及び第1-2 図～第1-6 図に示すとおり，各構造物の隔壁，側壁，底版等である。	2. PHb 工法について 2.1 PHb 工法の使用部位 取水槽において，基準地震動発生時に屋外重要土木構造物としての機能（耐震安全上重要な機器・配管系の間接支持機能，若しくは非常時における海水の通水機能）を維持するためにせん断耐力を確保する必要がある。せん断耐力を向上させるためには躯体のせん断補強を実施する必要があり，部材増し厚等のせん断補強が困難な部材に対して「後施工」によるせん断補強鉄筋を追加する PHb 工法を用いる。PHb 工法は，取水槽スクリーン室の隔壁のせん断補強に用いる。	・工法の相違 【女川 2】 ・対象施設の相違 【女川 2】 ・工法の相違 【女川 2】 工法の選定方針の相違
	2.2 CCb 工法の概要 CCb 工法は，既設の鉄筋コンクリート構造物に後施工によりせん断補強を行う工法の一つであり，CCb を既設の鉄筋コンクリート構造物の部材に挿入・一体化させて，せん断耐力を向上させるものである。CCb は第2.2-1 図に示すように，せん断補強筋の両端に耐腐食性に優れたセラミック製の定着体を取り付けた構造となっており，海水を通水する取水路（漸拡部）のような構造物に適した材料である。 CCb 工法の具体的な施工方法は，第2.2-1 表に示すように，既設の鉄筋コンクリート構造物の表面からドリルで削孔を行い，その孔内にせん断補強材であるCCb を差し込み，充てん材で固定することにより構造躯体と一体化を図っており，従来工法（先施工）とは施工方法が異なる。 また，CCb 工法は第2.2-2 表に示すように，「セラミック定着体とコンクリート間の支圧（後端側）」と「セラミック定着体及びCCb とコンクリート間の付着（先端側）」により定着しており，フックを掛けて定着する従来工法（先施工）とは定着機構が異なる。そのため，CCb 工法では設計・照査において，通常の従来工法（先施工）であるせん断補強筋によるせん断耐力に有効性を示す係数（βaw）を乗じることにより，せん断補強効果を評価している。	2.2 PHb 工法の概要 1980 年以前の土木学会コンクリート標準示方書に従って設計した構造物はせん断補強鉄筋量が相当に少なく設計されていることから，現在の耐震設計法において部材のせん断耐力が不足することが想定される。そのような供用中の鉄筋コンクリート構造物にせん断補強を行うための工法が PHb 工法である。既存構造物の表面からドリルで削孔を行い，その孔内にプレート定着型せん断補強鉄筋を差込み，充てん材で固定することにより，構造躯体と一体化をはかり，部材のせん断耐力を向上させる（第 13－2－1 図参照）。  第 13－2－1 図　PHb 工法の模式図	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による工法の概要の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第2.2-1 図 CCb の詳細図※ ※：セラミックキャップバー（CCb）工法研究会及び鹿島建設HP より引用。一部修正・加筆。 第2.2-1 表 施工方法の違い  第2.2-2 表 定着機構の違い 	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による工法の概要の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3. 建設技術審査証明報告書の概要 3.1 CCb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け 女川２号炉のせん断補強が必要な各構造部材に配置したCCbについては，『建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー(CCb)」』（以下「建設技術審査証明報告書」という。）に適用範囲及び設計方法が示されている。 本工法は，添付資料１「建設技術審査証明書」のとおり，高度な技術を有する第三者機関である一般財団法人土木研究センター（以下「PWRC※」という。）により審査証明を受けており，試験データを用いて，CCb が受け持つせん断耐力の算定方法において，CCb の規格降伏強度を使用して求めた値に対し，適用部材の軸方向鉄筋間隔及びCCb の埋込側の必要定着長から評価される有効係数を乗じたものとして評価できることが確認された。なお，建設技術審査証明報告書では，片側からしか補強の施工ができない部材について，CCb を設置する手順を設定し，この工事に必要な施工要素（補強設計に基づくCCb の配置，CCb 配置位置での削孔方法，削孔内へのCCb の固定方法，CCb 設置後の仕上げ等の施工性）を確認しており，それぞれの要素に対して施工上の考慮を示すなど，施工性に関しても審査対象となっている。 また，建設技術審査証明報告書では，設計・施工マニュアルが添付され，材料及び施工に関する事項が示されている。 ※:PWRC は，国土交通大臣認可の公益法人として国土建設技術の発展向上に寄与することを目的に設立された公益法人組織であり，土木に関して，河川，道路，土質・地盤，施工，橋梁等，幅広い分野にまたがる研究開発と調査研究の受託，さらに開発された技術の普及及び技術支援に取り組んでいる。PWRC では，建設技術審査証明事業を行っており，当該審査証明技術について学識経験者及び当センターの専門技術者による審査証明委員会を設け，開発の趣旨，開発目標及び技術内容，既存の技術との対比，実績等について審査を行っており，高度な技術を有し，十分な信頼性を有した第三者機関である。	3.　建設技術審査証明報告書の概要 3.1　PHb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け 取水槽のせん断補強が必要な各構造部材に設置予定の PHb については，『建設技術審査証明報告書　技術名称　後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」[1)]』（以下「建設技術審査証明報告書」という）に適用範囲及び設計方法が示されている。 本工法は，高度な技術を有する第三者機関である一般財団法人土木研究センター（以下「PWRC」※1 という）により，試験データを用いて，PHb が受け持つせん断耐力の算定方法において，PHb の規格降伏強度を使用して求めた値に対し，適用部材の軸方向鉄筋間隔及び PHb の埋込側の必要定着長から評価される有効係数を乗じたものとして評価できることが確認された。ただし，有効係数の上限値は 0.9 としている。なお，建設技術審査証明報告書では，片側からしか補強施工できない部材について，PHb を設置する手順を設定し，この工事に必要な施工要素（補強設計に基づく PHb の配置，PHb 配置位置での削孔方法，削孔内への PHb の固定方法，PHb 設置後の仕上げ等の施工性）を確認しており，それぞれの要素に対しての施工性に関しても審査対象となっている。 また，建設技術審査証明報告書では，「設計・施工マニュアル」が添付され，材料及び施工に関する事項が示されている。 ※1　PWRC は，国土交通大臣認可の公益法人として国土建設技術の発展向上に寄与することを目的に設立された公益法人組織であり，土木に関して，河川，道路，土質・地盤，施工，橋梁等，幅広い分野にまたがる研究開発と調査研究の受託，さらに開発された技術の普及及び技術支援に取り組んでいる。PWRC は，建設技術審査証明事業を行っており，当該審査証明技術について学識経験者及び当センターの専門技術者による「審査証明委員会」を設け，開発の趣旨，開発目標および技術内容，既存の技術との対比，実績等について審査を行っており，高度な技術を有し，十分な信頼性を有した第三者機関である。 【参考文献】 1）一般財団法人土木研究センター：建設技術審査証明報告書　土木系材料・製品・技術、道路保全技術（建技審証第 0522 号）　後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.2 建設技術審査証明報告書におけるCCb 工法の適用範囲 本工法では，地震時の変形量が限定される地中構造物など，背面に地盤等があり部材の片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対しても，後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。CCb が受け持つせん断耐力は鉄筋の材質（SD295A，SD295B，SD345），径（D13～D32）毎に定め，その値は，先施工のせん断補強鉄筋にCCb のせん断耐力の向上への有効性を示す係数βaw を考慮することにより評価が可能である。 CCb は，主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって，片側から施工する既設コンクリート構造物に対し，後施工によるせん断補強の目的で用いる。 また，両側から施工が可能な既設コンクリート構造物であり，じん性確保を目的としない場合，後施工によるせん断補強の目的で用いる。	3.2　建設技術審査証明報告書における PHb 工法の適用範囲 本工法は，地震時の変形量が限定される地中構造物など，背面に地盤などがあり片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対しても，後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。審査証明において，PHb が受け持つせん断耐力は，鉄筋の材質（SD295，SD345，SD390），径（D13～32）ごとに定め，その値は，先施工によるせん断補強鉄筋のせん断耐力の最大 0.9 倍で評価可能としている。また，せき，水門，橋台や橋脚等の既設の半地下及び地上構造物に適用する場合には，地中構造物の場合と同様にせん断補強の目的で用いるものとし，現状で曲げ破壊モードにある構造物の変形性能に寄与する補強後のせん断補強筋量の上限を定めて求めた部材の骨格曲線の範囲内にあることが必要となる。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による適用対象施設に関する記載相違
	3.3 建設技術審査証明報告書におけるCCb 工法の設計方法 3.3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法 本工法では実験により性能を確かめることで，設計方法等を設定しており，その概要を以下にまとめた。 3.3.1.1 実験方法 本工法を用いた設計でCCb のせん断耐力への寄与分を確認するために，梁試験体の交番載荷試験（せん断破壊モード試験体）を実施することにより，CCbを用いて補強することによるせん断耐力の向上の確認が行われている（第3.3-1 図参照）。 試験に用いられた試験体の諸元一覧を第3.3-1 表に，せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法を第3.3-2 図に，せん断耐力向上性能試験の加力要領を第3.3-3 図に示す。	3.3　建設技術審査証明報告書における PHb 工法の設計方法 (1)　後施工によるせん断耐力 本工法では実験により性能を確かめることで，設計方法等を設定しており，その概要を次にまとめた。 a.実験方法 本工法を用いた設計で PHb のせん断耐力への寄与分を確認するために，梁試験体の正負交番繰返し静的加力試験（せん断破壊モード試験体）を実施することにより PHb を用いて補強することによるせん断耐力の向上の確認が行われている。 試験に用いられた試験体の諸元一覧を第 13－3－1 表に示す。 シリーズ１では，せん断補強筋のない梁試験体（CASE１）及び異なる量の PHb によりせん断補強を行った梁試験体（CASE２，３）に対して正負交番繰返し加力試験を行った。 シリーズ２では，シリーズ１の CASE２と同じ補強条件の試験体（CASE４），CASE４の PHb 先端の埋込み深さを埋込側の主鉄筋前面から５㎜手前に留めた試験体（CASE５），CASE５の PHb の鉄筋量を 1.5 倍（３列補強）とした試験体（CASE６）に対して，各々交番繰返し加力試験を行った。 シリーズ３では，PHb を配置しない梁試験体１体（CASE３－１），太径（D29・SD345）の PHb を設置した梁試験体２体（CASE３－２，CASE３－３），せん断スパン比が小さい梁試験体１体（CASE３－４）， ・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 3．1．2　「セラミックキャップバー（CCb）」後施工によるせん断耐力 梁試験体の正負交番繰返し静的加力試験（せん断破壊モード試験体）を実施することにより，「セラミックキャップバー（CCb）」を用いた後施工補強のせん断耐力の向上効果を確認する。梁試験体は，せん断補強鉄筋に D22 を用いたものが 3 体（シリーズ 1），せん断補強鉄筋に D29 を用いたものが 2 体（シリーズ 2），およびせん断補強鉄筋 D16 を用いたものが 10 体（シリーズ 3，4）である。 シリーズ 1 は，825×685mm の断面を有する RC 梁部材において，せん断スパンにせん断補強鉄筋のない試験体（No.1-1），通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体（No.1-2）および「セラミックキャップバー（CCb）」を後施工してせん断補強を行った試験体（No.1-3）の 3 体である。なお，No.1-3 試験体の「セラミックキャップバー（CCb）」の埋込み深さは，削孔の先端が補強面と反対側のコンクリート表面から 50mm となる 635mm である。 シリーズ 2 は，825×800mm の断面を有する RC 梁部材において，そのせん断スパンに通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体（No.2-1）および「セラミックキャップバー（CCb）」を後施工してせん断補強を行った試験体（No.2-2）の 2 体である。なお，No.2-2 試験体の「セラミックキャップバー（CCb）」の埋込み深さは，削孔の先端が補強面と反対側のコンクリート表面から 50mm となる 750mm である。 シリーズ 3，4 は，600×500×4500mm の断面を有する RC 梁部材において，せん断スパンにせん断補強鉄筋のない試験体（No.3-1），通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体（No.3-2）および「セラミックキャップバー（CCb）」を後施工してせん断補強を行った試験体（No.3-3～3-6，4-1～4-4）の 10 体である。このうち，No.3-3～3-6 試験体は，「セラミックキャップバー（CCb）」の埋込み位置が異なる。すなわち，埋込み側の先端位置は，主鉄筋の図心位置，主鉄筋の手前，または配力鉄筋の手前である。No.3-4 と No.3-5 については，ばらつきを確認するため同条件の試験体である。No.4-1～4-3 試験体は両端に先端型定着体を用いた両端先端型、No. 4-4 試験体は両端に後端型定着体を用いた両端後端型であり，定着体は両端とも，コンクリート表面に一致している。なお，No.4-1 と No.4-2 については，ばらつきを確認するため同条件の試験体である。 各ケースの試験体の種類を表Ⅱ－3.2～3.5 に，試験体図を図Ⅱ－3.6～3.8 に示す。また，載荷装置図を図Ⅱ－3.9 に示す。載荷は，規格強度に基づいた各試験体のせん断耐力の計算値に達するまでは，段階的に荷重制御により加力を行い，以後は，その時点の加力点変位を基準とする同一振幅における繰返し回数 1 回の振幅漸増型の変位制御による交番加力を行った。 第3.3-1 図　実験方法 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	及び PHb を千鳥配置した試験体（CASE３－５）に対して正負交番繰返し加力試験を行った。 シリーズ４では，高強度（D25・SD390）の PHb を設置した梁試験体（CASE４－１）に対して，正負交番繰返し加力試験を行った。シリーズ３と４では,PHb の径及び強度以外の配筋条件は同じである。 試験体及び補強方法を第 13－3－1 図に,加力要領を第 13－3－2 図に示す。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3.3-1 表 各ケースの試験体の諸元
（建設技術審査証明報告書より抜粋）(1/2)

表Ⅱ－3.2 各ケースの試験体の諸元（シリーズ 1）

	No.1-1	No.1-2	No.1-3
断面寸法 $b \times h$	825×685 mm		
せん断スパン長 a	1,640 mm		
せん断スパン比 a/d	2.78		
実験時のコンクリート圧縮強度 f'_c	32N/mm²	33N/mm²	34 N/mm²
帯鉄筋・補強鉄筋の材質、および形状	－	SD345 D22 両端フック	SD345 D22 セラミックキャップバー（CCb）
せん断補強鉄筋比 p_w	0	0.29 %	
試験の目的	コンクリート負担分 V_c の評価	後施工せん断補強鉄筋による有効率 β_{sw} の評価	

表Ⅱ－3.3 各ケースの試験体の諸元（シリーズ 2）

	No.2-1	No.2-2
断面寸法 $b \times h$	825×800 mm	
せん断スパン長 a	1,960 mm	
せん断スパン比 a/d	2.78	
実験時のコンクリート圧縮強度 f'_c	37N/mm²	38N/mm²
帯鉄筋・補強鉄筋の材質、および形状	SD345 D29 両端フック	SD345 D29 セラミックキャップバー（CCb）
せん断補強鉄筋比 p_w	0.48 %	
試験の目的	後施工せん断補強鉄筋による有効率 β_{sw} の評価	

第3.3-1 表 各ケースの試験体の諸元
（建設技術審査証明報告書より抜粋）(2/2)

表Ⅱ－3.4 各ケースの試験体の諸元（シリーズ 3）

	No.3-1	No.3-2	No.3-3	No.3-4	No.3-5	No.3-6
断面寸法 $b \times h$	600×500 mm					
せん断スパン長 a	1,195mm					
せん断スパン比 a/d	2.78					
実験時のコンクリート圧縮強度 f'_c[N/mm²]	41.2	40.6	42.4	42.6	42.9	42.6
帯鉄筋・補強鉄筋の材質、および形状	—	SD345 D16 両端フック	SD345 D16 セラミックキャップバー（CCb）			
せん断補強鉄筋比 p_w	0.33%					
セラミックキャップバー(CCb)の埋込み側先端位置	—	—	主鉄筋の図心	主鉄筋の表面から 5mm 手前		配力鉄筋の表面から 5mm 手前
定着体の組合せ	—	—	標準型			
試験の目的	試験体諸元の妥当性検討		後施工せん断補強鉄筋による有効率 β_{sw} の評価			

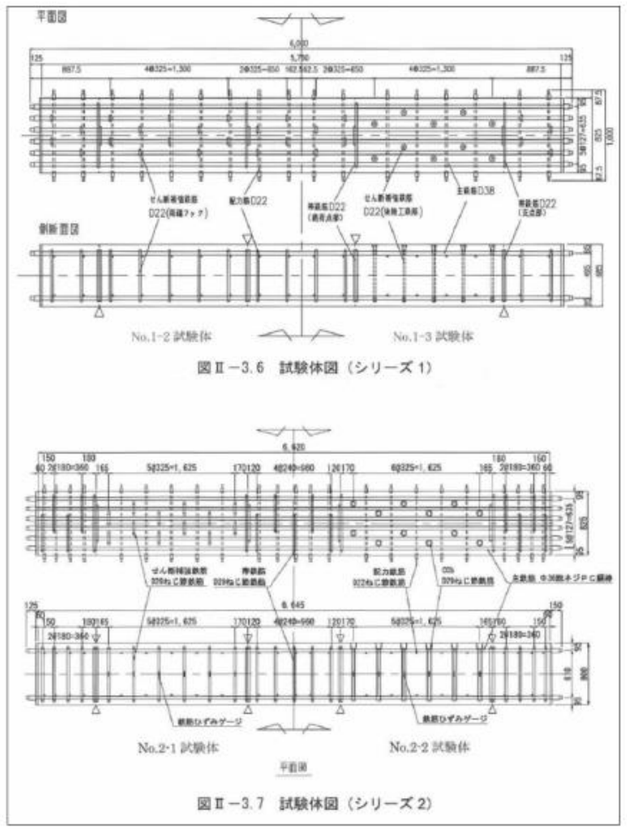
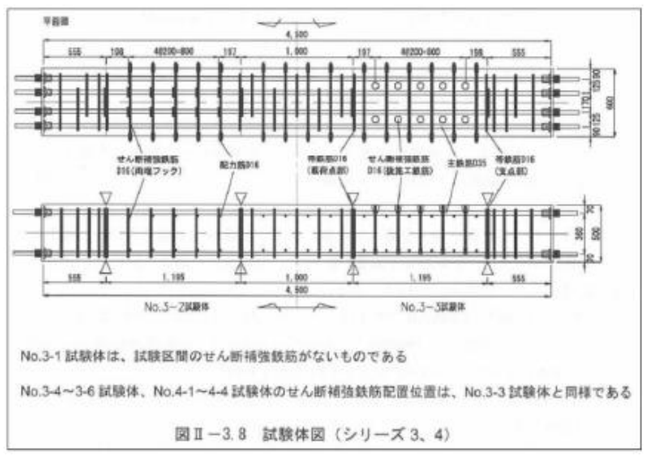
表Ⅱ－3.5 各ケースの試験体の諸元（シリーズ 4）

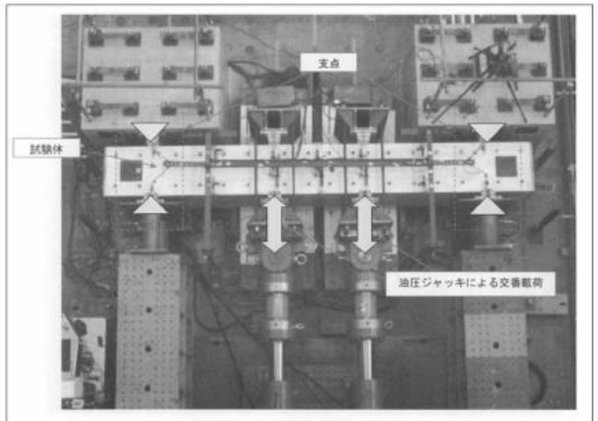
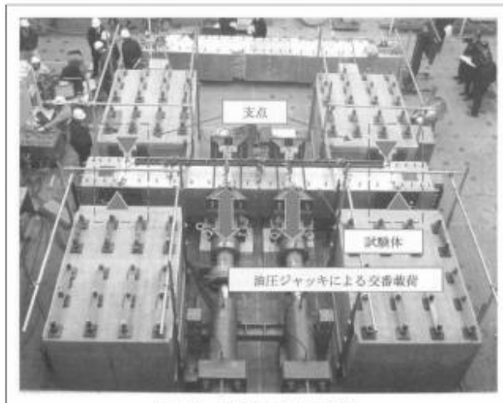
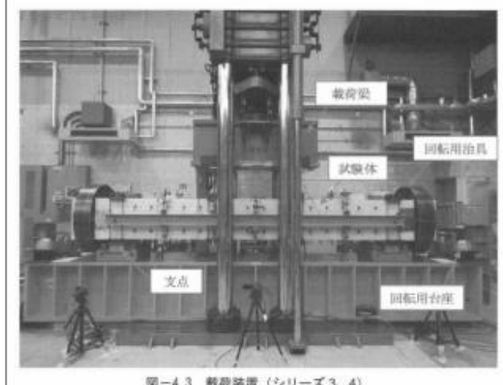
	No.4-1	No.4-2	No.4-3	No.4-4
断面寸法 $b \times h$	600×500 mm			
せん断スパン長 a	1,195mm			
せん断スパン比 a/d	2.78			
実験時のコンクリート圧縮強度 f'_c[N/mm²]	34.0	34.3	35.5	33.9
帯鉄筋・補強鉄筋の材質、および形状	SD345 D16 セラミックキャップバー（CCb）			
せん断補強鉄筋比 p_w	0.33%			
セラミックキャップバー(CCb)の埋込み側先端位置	主鉄筋の表面から 5mm 手前		配力鉄筋の表面から 5mm 手前	—
定着体の組合せ	両端先端型			両端後端型
試験の目的	後施工せん断補強鉄筋による有効率 β_{sw} の評価			

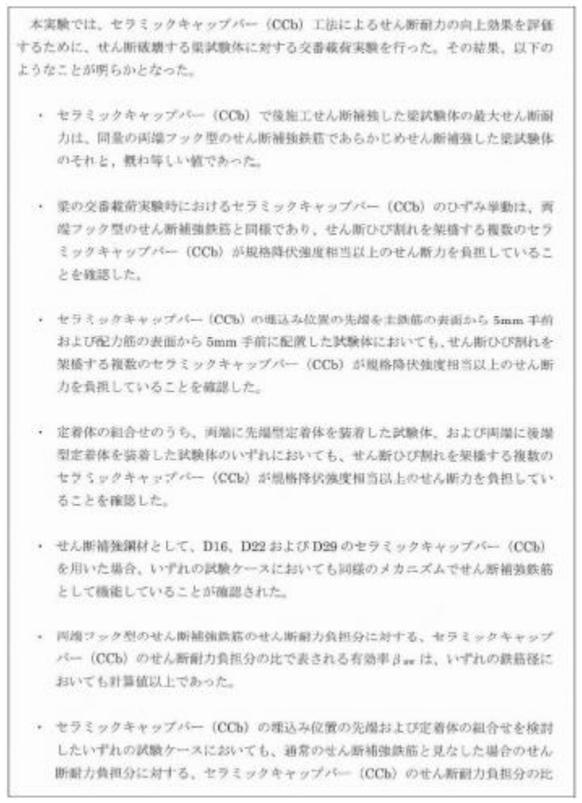
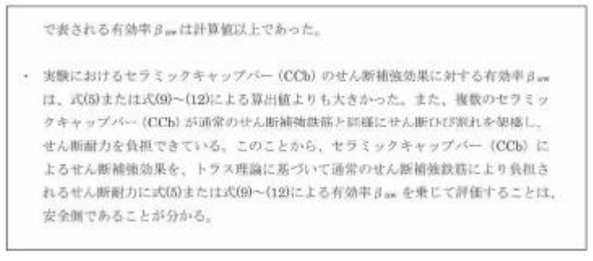
第 13－3－1 表　各ケースの試験体の諸元
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

備考

・工法の相違
【女川 2】
工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図Ⅱ－3.6　試験体図（シリーズ 1） 図Ⅱ－3.7　試験体図（シリーズ 2） 第3.3-2 図 せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(1/2)  図Ⅱ－3.8　試験体図（シリーズ 3、4） 第3.3-2 図 せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(2/2)	第 13－3－1 図　せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図－4.1　載荷装置（シリーズ 1） 第3.3-3 図 せん断耐力向上性能試験の加力要領 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(1/2)  図－4.2　載荷装置（シリーズ 2）  図－4.3　載荷装置（シリーズ 3，4） 第3.3-3 図 せん断耐力向上性能試験の加力要領 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(2/2)	第 13－3－2 図　せん断耐力向上性能試験の加力要領 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3.1.2 実験結果 3.3.1.1 の実験結果を，第3.3-4 図及び第3.3-2 表に示す。  本実験では、セラミックキャップバー（CCb）工法によるせん断耐力の向上効果を評価するために、せん断破壊する梁試験体に対する交番載荷実験を行った。その結果、以下のようなことが明らかとなった。 ・ セラミックキャップバー（CCb）で後施工せん断補強した梁試験体の最大せん断耐力は、同量の両端フック型のせん断補強鉄筋であらかじめせん断補強した梁試験体のそれと，概ね等しい値であった。 ・ 梁の交番載荷実験時におけるセラミックキャップバー（CCb）のひずみ挙動は，両端フック型のせん断補強鉄筋と同様であり，せん断ひび割れを架橋する複数のセラミックキャップバー（CCb）が規格降伏強度相当以上のせん断力を負担していることを確認した。 ・ セラミックキャップバー（CCb）の埋込み位置の先端を主鉄筋の表面から 5mm 手前および配力筋の表面から 5mm 手前に配筋した試験体においても，せん断ひび割れを架橋する複数のセラミックキャップバー（CCb）が規格降伏強度相当以上のせん断力を負担していることを確認した。 ・ 定着体の組合せのうち、両端に先端型定着体を装着した試験体、および両端に後端型定着体を装着した試験体のいずれにおいても、せん断ひび割れを架橋する複数のセラミックキャップバー（CCb）が規格降伏強度相当以上のせん断力を負担していることを確認した。 ・ せん断補強鋼材として、D16、D22 および D29 のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合、いずれの試験ケースにおいても同様のメカニズムでせん断補強鉄筋として機能していることが確認された。 ・ 両端フック型のせん断補強鉄筋のせん断耐力負担分に対する、セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力負担分の比で表される有効率 β_{aw} は，いずれの鉄筋径においても計算値以上であった。 ・ セラミックキャップバー（CCb）の埋込み位置の先端および定着体の組合せを検討したいずれの試験ケースにおいても、通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する、セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力負担分の比 第3.3-4 図 実験結果 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（1/2）  で表される有効率 β_{aw} は計算値以上であった。 ・ 実験におけるセラミックキャップバー（CCb）のせん断補強効果に対する有効率 β_{aw} は、式(5)または式(9)～(12)による算出値よりも大きかった。また、複数のセラミックキャップバー（CCb）が通常のせん断補強鉄筋と同様にせん断ひび割れを架橋し、せん断耐力を負担できている。このことから、セラミックキャップバー（CCb）によるせん断補強効果を、トラス理論に基づいて通常のせん断補強鉄筋により負担されるせん断耐力に式(5)または式(9)～(12)による有効率 β_{aw} を乗じて評価することは、安全側であることが分かる。 第3.3-4 図 実験結果 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（2/2） ※：第3.3-4 図に示す式(5) は3.3.1.3 に，式(9)～(12)は3.3.1.4 に詳細を示す。	b.実験結果 a.の試験結果を第 13－3－2 表に示す。PHb の有効係数は，PHb を通常のせん断補強鉄筋とみなして求められるせん断耐力Vsに対して PHb が分担できるせん断耐力の比率である。有効係数の算定において，コンクリートの分担するせん断力 Vc はコンクリート標準示方書（安全係数 1.0）に基づく場合と，実験での斜めひび割れ発生時のせん断力を用いた場合について算定した。CASE２については，載荷装置の制御が不十分で大変位時に偏荷重が作用した実験条件上の理由により，検討ケースから除外した。これは，本来は２点の載荷点に均等に荷重がかかることで実験せん断耐力を（左右の合計荷重）／２より算出していたが，CASE２については，左右で作用荷重が異なっていたため，他の実験データと比較することが不適切と判断したことによる。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第3.3-2 表 実験結果の一覧 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(1/2)	第 13－3－2 表　実験結果の一覧 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

表－8.1　実験結果の一覧（シリーズ 1）

		No.1-1	No.1-2	No.1-3	備　考
せん断補強鉄筋の種類・形状		せん断補強鉄筋なし	SD345 D22 両端フック	SD345 D22 セラミック定着体	
せん断耐力の実験値	V	454 kN	1,045 kN	1,050 kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
	V_c	454 kN	401 kN	403 kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値。
	V_s	0 kN	644 kN	647 kN	V_s=V－V_cとして
せん断耐力の計算値	V_{cal}	396 kN	898 kN	837 kN	計算値は、コンクリート標準示方書［設計編］に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値。
	$V_{c\,cal}$	396 kN	401 kN	403 kN	
	$V_{s\,cal}$	0 kN	497 kN	437 kN	No.1-3 は示方書による V_s に有効率 β=0.88 を乗じた値。
せん断補強鉄筋の有効率　β_{aw}				647 / 644=1.00	No.1-2 試験体と No.1-3 試験体の比較による値。

表－8.2　実験結果の一覧（シリーズ 2）

			No.2-1	No.2-2	備考
せん断補強鉄筋の種類・形状			SD345D29 両端フック	SD345D29 セラミック定着体	
せん断耐力の実験値	正側	V	1597kN	1598kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		V_c	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		V_s	1168kN	1164kN	V_s=V－V_cとして
	負側	V	1577kN	1498kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		V_c	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		V_s	1148kN	1064kN	V_s=V－V_cとして
せん断耐力の計算値		V_{cal}	1372kN	1263kN	計算値は，コンクリート標準示方書［設計編］に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値
		$V_{c\,cal}$	429kN	434kN	
		$V_{s\,cal}$	943kN	829kN	No.2-2 は示方書による V_s に有効率 β=0.88 を乗じた値
せん断補強鉄筋の有効率　β_{aw}		正側	1164/1168=1.00		No.2-1 試験体と No.2-2 試験体の比較による値
		負側	1064/1148=0.93		

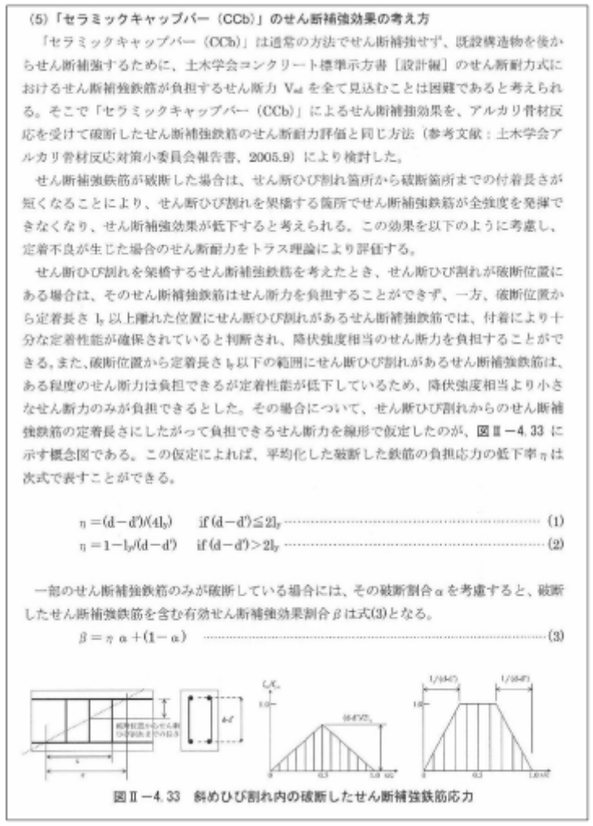
第3.3-2 表 実験結果の一覧

（建設技術審査証明報告書より抜粋）(2/2)

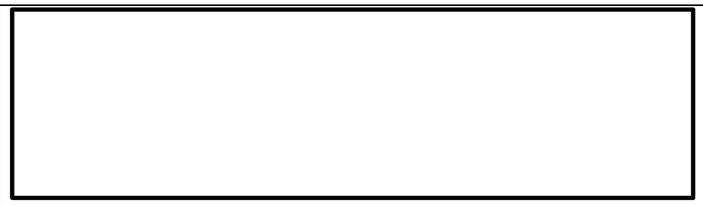
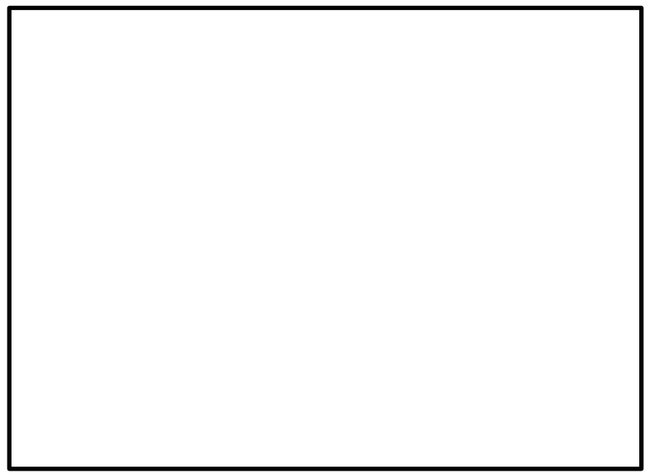
表-8.4　実験結果の一覧（シリーズ 3、4）

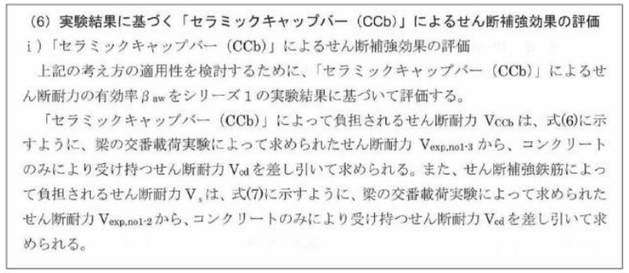
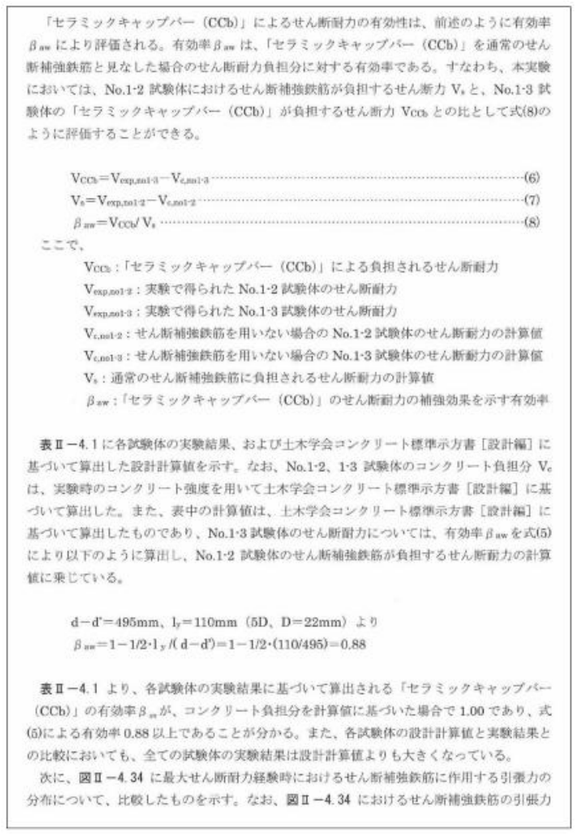
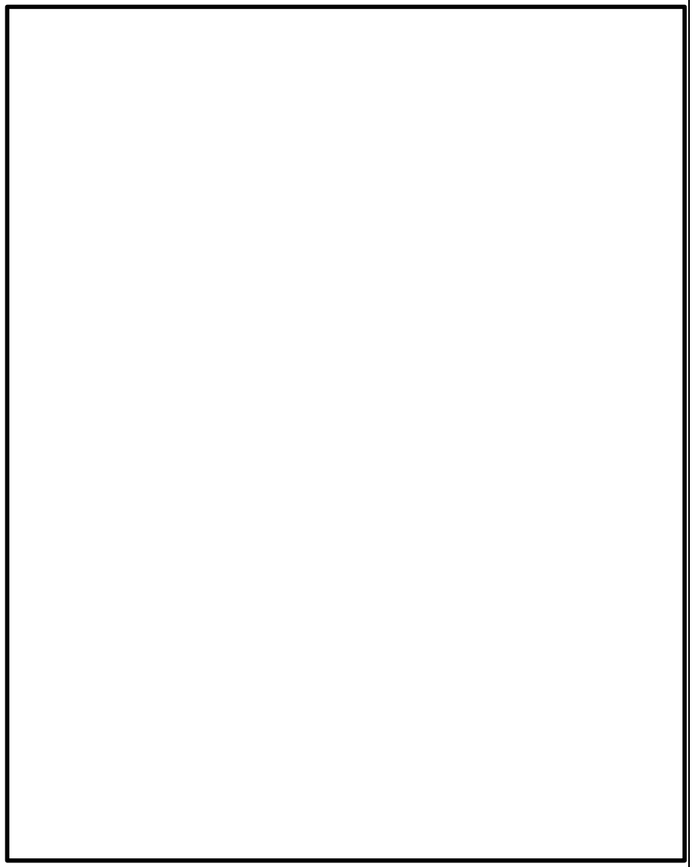
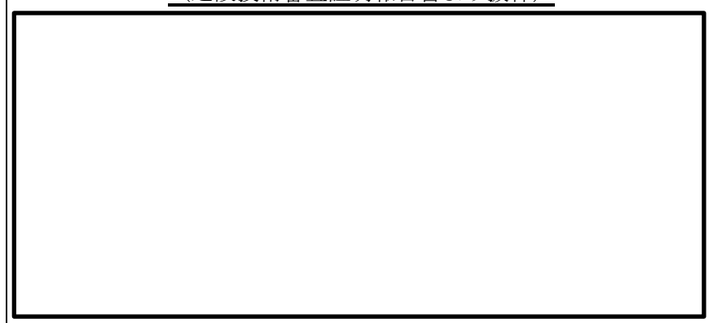
試験ケース	「セラミックキャップバー（CCb）」の仕様		実験での最大せん断耐力(kN)		算定式によるせん断耐力(kN) V_{cal}=V_{cd}+V_s			「セラミックキャップバー（CCb）」が負担するせん断耐力(kN)		せん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} (V_{CCb}/V_s)			有効率の設計値 β_{aw}
			正側	負側				正側	負側				
	定着体の組合せ	先端位置	V_{exp}	V_{exp}	V_{cal}	V_{cd}	V_s	V_{CCb}	V_{CCb}	正側	負側	平均	
No.3-3	標準型	主鉄筋位置	563	499	542	253	289	310	246	1.07	0.85	0.96	0.88
No.3-4	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	515	570	543	254	289	281	318	0.90	1.09	1.00	0.83
No.3-5	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	521	500	543	254	289	277	288	0.96	0.88	0.92	
No.3-6	標準型	配力鉄筋の表面より5mm手前	497	526	543	254	289	243	272	0.84	0.94	0.89	0.78
No.4-1	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	532	520	525	235	290	257	288	1.02	0.98	1.00	0.82
No.4-2	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	520	535	526	236	290	284	298	0.98	1.02	1.01	0.82
No.4-3	両端先端型	配力鉄筋の表面より5mm手前	539	546	524	234	290	305	313	1.05	1.08	1.06	0.78
No.4-4	両端後端型	—	497	588	525	235	290	426	330	1.47	1.15	1.31	1.00

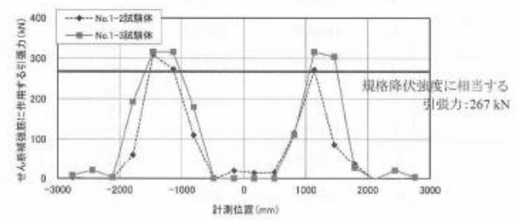
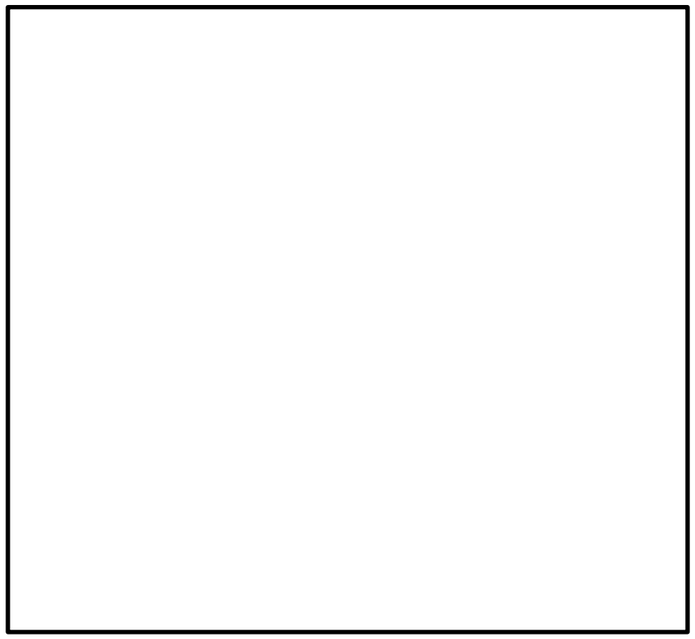
※1 下線は正負交番載荷で最初にせん断破壊したことを示す
※2 斜体はせん断破壊をしていない場合、その載荷方向での最大荷重を示す

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3.1.3 CCb のせん断補強の考え方 CCb のせん断補強の考え方を第3.3-5 図に示す。  (5)「セラミックキャップバー（CCb）」のせん断補強効果の考え方 「セラミックキャップバー（CCb）」は通常の方法でせん断補強せず、既設構造物を後からせん断補強するために、土木学会コンクリート標準示方書［設計編］のせん断耐力式におけるせん断補強鉄筋が負担するせん断力 V_{sd} を全て見込むことは困難であると考えられる。そこで「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断補強効果を、アルカリ骨材反応を受けて破断したせん断補強鉄筋のせん断耐力評価と同じ方法（参考文献：土木学会アルカリ骨材反応対策小委員会報告書、2005.9）により検討した。 せん断補強鉄筋が破断した場合は、せん断ひび割れ箇所から破断箇所までの付着長さが短くなることにより、せん断ひび割れを架橋する箇所でせん断補強鉄筋が全強度を発揮できなくなり、せん断補強効果が低下すると考えられる。この効果を以下のように考慮し、定着不良が生じた場合のせん断耐力をトラス理論により評価する。 せん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋を考えたとき、せん断ひび割れが破断位置にある場合は、そのせん断補強鉄筋はせん断力を負担することができず、一方、破断位置から定着長さ l_y 以上離れた位置にせん断ひび割れがあるせん断補強鉄筋では、付着により十分な定着性能が確保されていると判断され、降伏強度相当のせん断力を負担することができる。また、破断位置から定着長さ l_y 以下の範囲にせん断ひび割れがあるせん断補強鉄筋は、ある程度のせん断力は負担できるが定着性能が低下しているため、降伏強度相当より小さなせん断力のみが負担できるとした。その場合について、せん断ひび割れからのせん断補強鉄筋の定着長さにしたがって負担できるせん断力を線形で仮定したのが、図Ⅱ－4.33 に示す概念図である。この仮定によれば、平均化した破断した鉄筋の負担応力の低下率 η は次式で表すことができる。 $\eta=(d-d')/(4l_y)$　if $(d-d')\leq 2l_y$ ……(1) $\eta=1-l_y/(d-d')$　if $(d-d')>2l_y$ ……(2) 一部のせん断補強鉄筋のみが破断している場合には、その破断割合 α を考慮すると、破断したせん断補強鉄筋を含む有効せん断補強効果割合 β は式(3)となる。 $\beta=\eta\alpha+(1-\alpha)$ ……(3) 図Ⅱ－4.33　斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力 第3.3-5 図 CCb のせん断補強の考え方 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（1/2）	c. PHb のせん断補強の考え方	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	すなわち，全てのせん断補強鉄筋が有効であるとして，トラス理論に基づきコンクリート標準示方書式で算出したせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力分に，有効せん断補強効果割合 β を乗じることにより，定着が不良であるものを含むせん断補強鉄筋のせん断耐力負担分を評価することができる。 以上の考え方に「セラミックキャップバー（CCb）」の定着性能を適用することにより，「セラミックキャップバー（CCb）」工法のせん断補強効果を評価することができる。「セラミックキャップバー（CCb）」の定着性能については，引抜き試験により以下について明らかとなっている。 ・ 先端型定着体が，「セラミックキャップバー（CCb）」の規格降伏強度相当以上の定着力を確保するための必要定着長は，定着体の先端から 5D（D：鉄筋の直径）である。 ・ 後端型定着体は，単体で「セラミックキャップバー（CCb）」の規格引張強度相当以上の定着力を発揮できる。 「セラミックキャップバー（CCb）」の定着長 l_y が 5D であることと，「セラミックキャップバー（CCb）」工法の適用部材における主鉄筋間隔が $2l_y$ 以上であるとすると，「セラミックキャップバー（CCb）」の応力低下率 η の算出では，式(2)を基本とすることができる。また，後端型定着体部においては，せん断補強鉄筋の材端までせん断耐力に対して有効に作用できることから，式(2)の第 2 項の $1_y/(d-d')$ には，係数 1/2 が乗じられる（式(4)）。さらに，式(3)において破断している鉄筋は無いことから $\alpha=1$ とすると，「セラミックキャップバー（CCb）」のせん断補強の有効率 β_{sw} は，式(5)により算出できる。 $\eta = 1 - \frac{l_y}{2(d-d')}$ ……(4) $\beta_{sw} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2(d-d')}$ ……(5) 第3.3-5 図 CCb のせん断補強の考え方 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（2/2）	第 13－3－3 図　斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 13－3－4 図　斜めひび割れ内の後施工せん断補強鉄筋応力 （建設技術審査証明報告書より抜粋）  第 13－3－5 図　PHb と寸切り鉄筋の有効係数の比較	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3.1.4 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価について，第3.3-6 図に示す。  (6) 実験結果に基づく「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断補強効果の評価 i）「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断補強効果の評価 上記の考え方の適用性を検討するために、「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断耐力の有効率 β_{aw} をシリーズ１の実験結果に基づいて評価する。 「セラミックキャップバー（CCb）」によって負担されるせん断耐力 V_{CCb} は、式(6)に示すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力 $V_{exp,no1\text{-}3}$ から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力 V_{cd} を差し引いて求められる。また、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力 V_s は、式(7)に示すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力 $V_{exp,no1\text{-}2}$ から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力 V_{cd} を差し引いて求められる。 第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（1/9）  「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断耐力の有効性は、前述のように有効率 β_{aw} により評価される。有効率 β_{aw} は、「セラミックキャップバー（CCb）」を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効率である。すなわち、本実験においては、No.1-2 試験体におけるせん断補強鉄筋が負担するせん断力 V_s と、No.1-3 試験体の「セラミックキャップバー（CCb）」が負担するせん断力 V_{CCb} との比として式(8)のように評価することができる。 $V_{CCb}=V_{exp,no1\text{-}3}-V_{c,no1\text{-}3}$ ……(6) $V_s=V_{exp,no1\text{-}2}-V_{c,no1\text{-}2}$ ……(7) $\beta_{aw}=V_{CCb}/V_s$ ……(8) ここで， V_{CCb}：「セラミックキャップバー（CCb）」による負担されるせん断耐力 $V_{exp,no1\text{-}2}$：実験で得られた No.1-2 試験体のせん断耐力 $V_{exp,no1\text{-}3}$：実験で得られた No.1-3 試験体のせん断耐力 $V_{c,no1\text{-}2}$：せん断補強鉄筋を用いない場合の No.1-2 試験体のせん断耐力の計算値 $V_{c,no1\text{-}3}$：せん断補強鉄筋を用いない場合の No.1-3 試験体のせん断耐力の計算値 V_s：通常のせん断補強鉄筋に負担されるせん断耐力の計算値 β_{aw}：「セラミックキャップバー（CCb）」のせん断耐力の補強効果を示す有効率 表Ⅱ－4.1 に各試験体の実験結果、および土木学会コンクリート標準示方書［設計編］に基づいて算出した設計計算値を示す。なお、No.1-2、1-3 試験体のコンクリート負担分 V_c は、実験時のコンクリート強度を用いて土木学会コンクリート標準示方書［設計編］に基づいて算出した。また、表中の計算値は、土木学会コンクリート標準示方書［設計編］に基づいて算出したものであり、No.1-3 試験体のせん断耐力については、有効率 β_{aw} を式(5)により以下のように算出し、No.1-2 試験体のせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力の計算値に乗じている。 $d-d'=495mm$、$l_y=110mm$（5D、D=22mm）より $\beta_{aw}=1-1/2\cdot l_y/(d-d')=1-1/2\cdot(110/495)=0.88$ 表Ⅱ－4.1 より、各試験体の実験結果に基づいて算出される「セラミックキャップバー（CCb）」の有効率 β_{aw} が、コンクリート負担分を計算値に基づいた場合で 1.00 であり、式(5)による有効率 0.88 以上であることが分かる。また、各試験体の設計計算値と実験結果との比較においても、全ての試験体の実験結果は設計計算値よりも大きくなっている。 次に、図Ⅱ－4.34 に最大せん断耐力経験時におけるせん断補強鉄筋に作用する引張力の分布について、比較したものを示す。なお、図Ⅱ－4.34 におけるせん断補強鉄筋の引張力 第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（2/9）	d. 実験結果に基づく PHb によるせん断補強効果の評価  第 13－3－3 表　PHb の有効係数の比較 （建設技術審査証明報告書より抜粋） 	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	は、せん断補強鉄筋のひずみゲージの測定値を材料試験による応力－ひずみ関係に基づいて引張応力に換算し、断面積を乗じた値である。図Ⅱ－4.34 より、「セラミックキャップバー（CCb）」で後施工補強した No.1-3 試験体においても、通常のせん断補強を行った No.1-2 試験体と同様に、１つの斜めひび割れに対して複数本の「セラミックキャップバー（CCb）」が規格降伏強度以上の引張力を負担していることが確認できる。 表Ⅱ－4.1　実験結果の一覧（シリーズ 1） No.1-1 / No.1-2 / No.1-3 / 備　考 補強鉄筋の種類・形状：せん断補強鉄筋なし / SD345 D22 両端フック / SD345 D22 セラミック定着体 せん断耐力の実験値 V：454 kN / 1,045 kN / 1,050 kN / 実験における正側破壊時の載荷荷重として せん断耐力の実験値 V_c：454 kN / 401 kN / 403 kN / 実験時のコンクリート強度に基づく計算値 せん断耐力の実験値 V_s：0 kN / 644 kN / 647 kN / $V_s=V-V_c$ として せん断耐力の計算値 V_{cal}：396 kN / 898 kN / 837 kN / 計算値は、コンクリート標準示方書［設計編］に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値 せん断耐力の計算値 $V_{c\,cal}$：396 kN / 401 kN / 403 kN せん断耐力の計算値 $V_{s\,cal}$：0 kN / 497 kN / 437 kN / No.1-3 は示方書による V_s に有効率 β=0.88 を乗じた値 せん断補強鉄筋の有効率　β_{sw}：647 / 644=1.00 / No.1-2 試験体と No.1-3 試験体の比較による値  図Ⅱ－4.34　せん断補強鉄筋に作用する引張力の比較（シリーズ 1） また、シリーズ２の D29 の「セラミックキャップバー（CCb）」においても、セラミック定着体および周囲へ充てんされたグラウトによって、両端フックを有するせん断補強鉄筋 第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価（建設技術審査証明報告書より抜粋）（3/9）	 第 13－3－6 図　圧縮鉄筋と引張鉄筋との間隔と有効係数の関係（建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

と同様なメカニズムでせん断補強鉄筋として機能することが確認された。そこで、シリーズ１と同様に「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断耐力の有効率を実験に基づいて評価する。

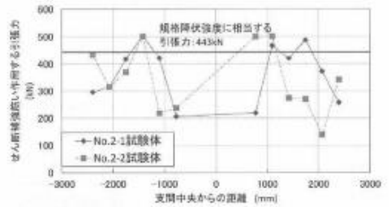
表Ⅱ－4.2 に各試験体の実験結果、および土木学会コンクリート標準示方書［設計編］に基づいて算出した設計計算値を示す。載荷方向正側と負側でせん断耐力が若干異なるものの、「セラミックキャップバー(CCb)」による補強効果が小さい方である負側の有効率は 0.93 であった。これに対し、No.2-2 の試験体の諸元から式(5)に基づいて以下の様に算出される有効率の設計計算値は 0.88（d－d'＝610mm、ly＝145mm（5D、D＝29mm））である。つまり、D29 のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合でも、式(5)から算出される有効率以上のせん断補強効果が期待できることが確認された。

次に、**図Ⅱ－4.35** に最大せん断耐力経験時におけるせん断補強鉄筋に作用する引張力の分布について、比較したものを示す。同図より、「セラミックキャップバー（CCb）」で後施工補強した No.2-2 試験体においても、通常のせん断補強を行った No.2-1 試験体と同様に、１つの斜めひび割れに対して複数本の「セラミックキャップバー（CCb）」が規格降伏強度以上の引張力を負担していることが確認できる。

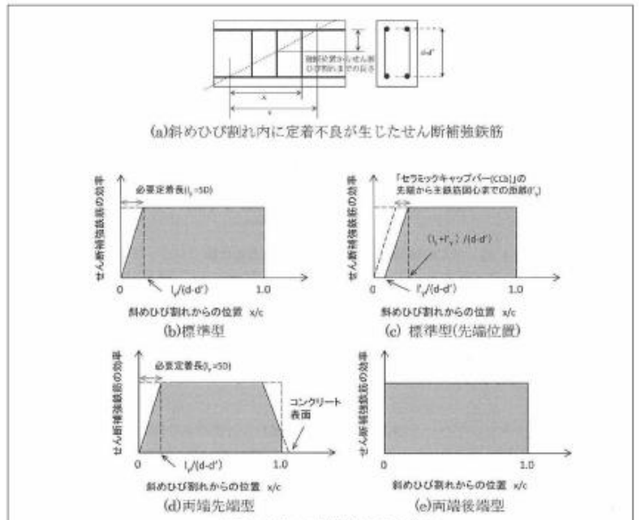
表Ⅱ－4.2　実験結果の一覧（シリーズ 2）

			No.2-1	No.2-2	備考
補強鉄筋の種類・形状			SD345D29 両端フック	SD345D29 セラミック定着体	
せん断耐力の実験値	正側	V	1597kN	1598kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		V_c	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		V_s	1168kN	1164kN	V_s=V-V_c として
	負側	V	1577kN	1498kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		V_c	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		V_s	1148kN	1064kN	V_s=V-V_c として
せん断耐力の計算値		V_{cal}	1372kN	1263kN	計算値は、コンクリート標準示方書[設計編]に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値
		$V_{c\,cal}$	429kN	434kN	
		$V_{s\,cal}$	943kN	829kN	No.2-2 は示方書による V_s に有効率 β=0.88 を乗じた値
せん断補強鉄筋の有効率　Baw			正側	1164/1168=1.00	No.2-1 試験体と No.2-2 試験体の比較による値
			負側	1064/1148=0.93	

第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価（建設技術審査証明報告書より抜粋）（4/9）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図Ⅱ－4.35　せん断補強鉄筋に作用する引張力の比較（シリーズ 2） 以上より、「セラミックキャップバー（CCb）」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を、トラス理論に基づいて算出した「セラミックキャップバー（CCb）」を通常のせん断補強鉄筋と見なして求められるせん断耐力負担分に、式(5)による有効率 β_{aw} を乗じて算出することは、設計上、安全側となることが分かる。 ⅱ）「セラミックキャップバー（CCb）」の埋込み位置および定着体の組合せによるせん断補強効果の評価 「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断耐力の有効率 β_{aw} に対して、「セラミックキャップバー（CCb）」の埋込み位置の先端および定着体の組合せが及ぼす影響をシリーズ 3、4 の実験結果に基づいて評価する。 前述の結果より、式(5)による有効率 β_{aw} を乗じて「セラミックキャップバー（CCb）」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を評価できる。シリーズ 3、4 における実験結果より、斜めひび割れ発生状況およびせん断補強鉄筋のせん断力負担はシリーズ 1、2 とほぼ同様であることが確認されている。つまり、埋込み位置の先端が主鉄筋の図心より手前となる「セラミックキャップバー（CCb）」や、定着体の組合せが標準型、両端先端型、両端後端型である「セラミックキャップバー（CCb）」のせん断耐力負担分を、シリーズ 1、2 と同様の手法で評価できると考えられる。 ここで、各種条件に応じた「セラミックキャップバー（CCb）」の有効率算定における概念図を図Ⅱ－4.36 に示す。検討ケースは、表Ⅱ－4.3 に示すとおりである。 第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(5/9)		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



図Ⅱ－4.36　有効率算定の概念図

表Ⅱ－4.3　検討ケースの一覧

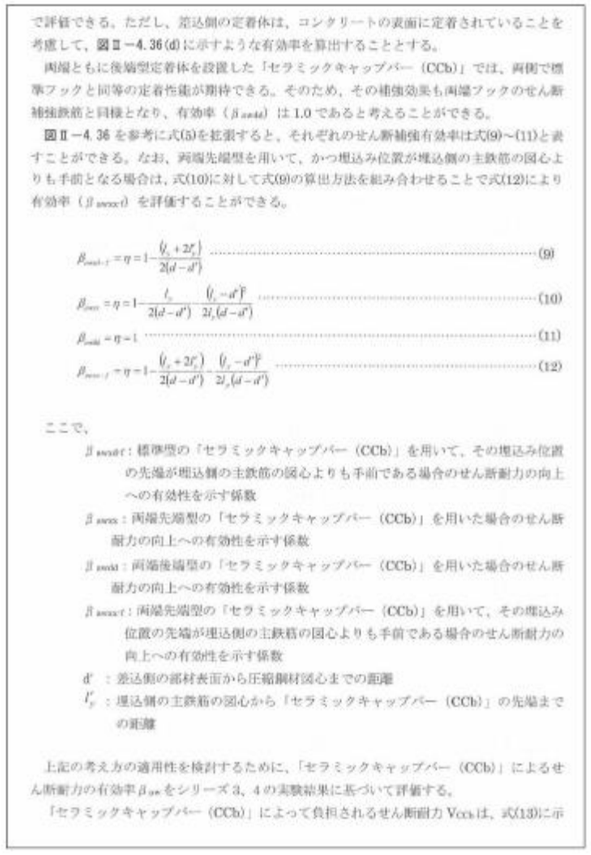
検討ケース	埋込側の定着体タイプ	差込側の定着体タイプ	埋込み位置
(b) 標準型	先端型定着体	後端型定着体	主鉄筋の図心
(c) 標準型（先端位置）	先端型定着体	後端型定着体	主鉄筋の図心より手前
(d) 両端先端型	先端型定着体	先端型定着体	主鉄筋の図心
(e) 両端後端型	後端型定着体	後端型定着体	－

先端型定着体の先端位置が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前となる「セラミックキャップバー（CCb）」の有効率は、図Ⅱ－4.36(c)に示すように、実際の埋込み位置から差込側の主鉄筋の図心までの範囲の有効率（$\beta_{wwd\text{-}r}$）のみを考慮することで算出できると考えられる。

両端ともに先端型定着体を設置した「セラミックキャップバー（CCb）」の有効率（β_{wwx}）は、差込側においても埋込側と同様に、必要定着長に応じた有効率の低減を考慮すること

第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価（建設技術審査証明報告書より抜粋）（6/9）

・工法の相違
【女川 2】
工法の相違による記載内容の相違



柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	で評価できる。ただし、差込側の定着体は、コンクリートの表面に定着されていることを考慮して、**図Ⅱ－4.36(d)**に示すような有効率を算出することとする。 両端ともに後端型定着体を設置した「セラミックキャップバー（CCb）」では、両側で標準フックと同等の定着性能が期待できる。そのため、その補強効果も両端フックのせん断補強鉄筋と同様となり、有効率（β_{swdd}）は 1.0 であると考えることができる。 **図Ⅱ－4.36** を参考に式(5)を拡張すると、それぞれのせん断補強有効率は式(9)～(11)と表すことができる。なお、両端先端型を用いて、かつ埋込み位置が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前となる場合は、式(10)に対して式(9)の算出方法を組み合わせることで式(12)により有効率（β_{swxxt}）を評価することができる。 $\beta_{swdd-f} = \eta = 1 - \frac{(l_y + 2l'_y)}{2(d - d')}$ ……(9) $\beta_{swxx} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2(d - d')} \frac{(l_y - d')^2}{2l_y(d - d')}$ ……(10) $\beta_{swdd} = \eta = 1$ ……(11) $\beta_{swxx-f} = \eta = 1 - \frac{(l_y + 2l'_y)}{2(d - d')} \frac{(l_y - d')^2}{2l_y(d - d')}$ ……(12) ここで、 β_{swxxt}：標準型の「セラミックキャップバー（CCb）」を用いて、その埋込み位置の先端が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前である場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 β_{swxx}：両端先端型の「セラミックキャップバー（CCb）」を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 β_{swdd}：両端後端型の「セラミックキャップバー（CCb）」を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 β_{swxxt}：両端先端型の「セラミックキャップバー（CCb）」を用いて、その埋込み位置の先端が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前である場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 d'　：差込側の部材表面から圧縮鋼材図心までの距離 l'_y　：埋込側の主鉄筋の図心から「セラミックキャップバー（CCb）」の先端までの距離 上記の考え方の適用性を検討するために、「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断耐力の有効率 β_{sw} をシリーズ 3、4 の実験結果に基づいて評価する。 「セラミックキャップバー（CCb）」によって負担されるせん断耐力 V_{CCb} は、式(13)に示 第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価（建設技術審査証明報告書より抜粋）(7/9)		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	（下記参照）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力 V_{exp} から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力 V_{cd} を差し引いて求められる。また、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力 V_s は、式(14)に示すように、「セラミックキャップバー（CCb）」を通常のせん断補強鉄筋と見なすことで求めることができる。つまり、「セラミックキャップバー（CCb）」の鉄筋配置が決まれば、土木学会コンクリート標準示方書［設計編］のせん断耐力式と同様に求められる。なお、安全係数は 1.0 とした。

「セラミックキャップバー（CCb）」によるせん断耐力の有効性は、前述のように有効率 β_{aw} により評価される。有効率 β_{aw} は、「セラミックキャップバー（CCb）」を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効率である。すなわち、各試験体諸元を基に通常のせん断補強鉄筋と仮定して算出されるせん断耐力 V_s と、その試験体の「セラミックキャップバー（CCb）」が負担するせん断力 V_{CCb} との比として式(15)のように評価することができる。

$$V_{CCb}=V_{exp}-V_{cd} \cdots\cdots (13)$$

$$V_s=[A_{aw} f_{awyd}(\sin\alpha_{aw}+\cos\alpha_{aw})/s_{aw}]z/\gamma_b \cdots\cdots (14)$$

$$\beta_{aw}=V_{CCb}/V_s \cdots\cdots (15)$$

ここで、

V_{CCb}：「セラミックキャップバー（CCb）」による負担されるせん断耐力
V_{exp}：実験で得られたせん断耐力
V_{cd}：せん断補強鋼材を用いない場合のせん断耐力の計算値
V_s：「セラミックキャップバー（CCb）」を通常のせん断補強鉄筋とみなして求められるせん断耐力の計算値
A_{aw}：単位長さあたりの区間 s_{aw} におけるセラミックキャップバー（CCb）の総断面積
f_{awyd}：「セラミックキャップバー（CCb）」の降伏強度で 400N/mm² 以下とする
α_{aw}：「セラミックキャップバー（CCb）」が部材軸となる角度
z：圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、一般に d/1.15 としてよい
γ_b：ここでは、1.0
β_{aw}：「セラミックキャップバー（CCb）」のせん断耐力の補強効果を示す有効率

表Ⅱ－4.4 にシリーズ 3、4 における実験結果の一覧を示す。有効率 β_{aw} は、正側載荷時および負側載荷時についてそれぞれ算出した。また、梁の正負交番載荷実験において、最初にせん断破壊した載荷方向におけるせん断力に表中に下線で示す。実験から得られた最初にせん断破壊した側の有効率 β_{aw} は、式(9)～(12)で算出される有効率 β_{aw} よりも、いず

第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（8/9）

れの試験ケースにおいても大きな値であることが分かる。つまり、「セラミックキャップバー（CCb）」の埋込み位置の先端および定着体の組合せが異なる場合においても、式(9)～(12)から算出される有効率 β_{aw} 以上のせん断補強効果が期待できることが確認された。

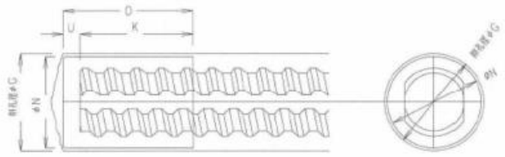
以上より、鉄筋の埋込み位置の先端および定着体の組合せが異なる場合においても、「セラミックキャップバー（CCb）」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を、トラス理論に基づいて算出した「セラミックキャップバー（CCb）」を通常のせん断補強鉄筋と見なして求められるせん断耐力負担分に、式(9)～(12)による有効率 β_{aw} を乗じて算出することは、設計上、安全側となることが分かる。

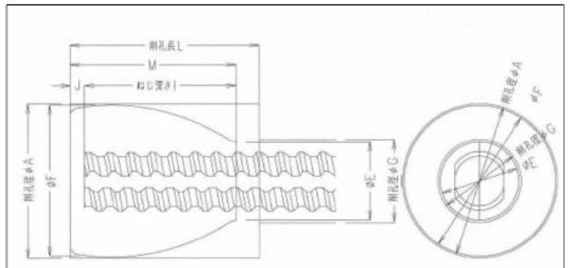
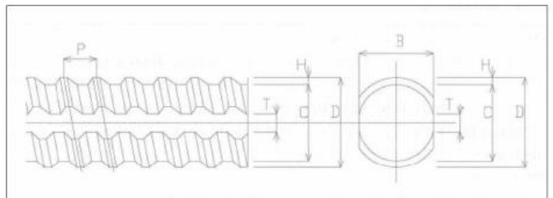
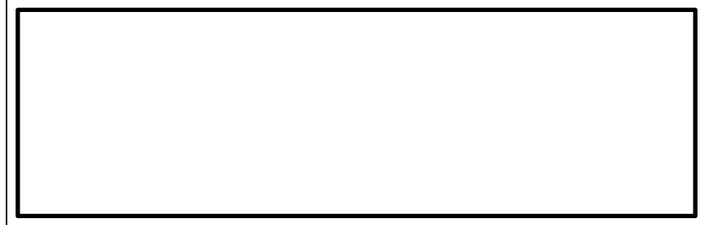
表Ⅱ－4.4　実験結果の一覧（シリーズ 3、4）

試験ケース	「セラミックキャップバー（CCb）」の仕様		実験での最大せん断耐力(kN)		算定式によるせん断耐力(kN) $V_{cd}/V_{cd}/V_s$			「セラミックキャップバー（CCb）」が負担するせん断力(kN)		せん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} (V_{CCb}/V_s)			有効率の設計値 β_{aw}
			正側	負側				正側	負側				
	定着体の組合せ	先端位置	V_{exp}	V_{exp}	V_{cd}	V_{cd}	V_s	V_{CCb}	V_{CCb}	正側	負側	平均	
No.3-3	標準型	主鉄筋位置	563	499	542	253	289	310	246	1.07	0.85	0.96	0.89
No.3-4	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	515	570	543	254	289	261	316	0.90	1.09	1.00	0.83
No.3-5	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	531	509	543	254	289	277	255	0.96	0.88	0.92	
No.3-6	標準型	配力鉄筋の表面より5mm手前	497	526	543	254	289	243	272	0.84	0.94	0.89	0.78
No.4-1	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	532	520	525	235	290	297	285	1.02	0.98	1.00	0.82
No.4-2	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	520	[illegible]	526	236	290	284	[illegible]	0.98	1.07	1.01	0.82
No.4-3	両端先端型	配力鉄筋の表面より5mm手前	539	546	524	234	290	305	312	1.05	1.08	1.06	0.78
No.4-4	両端後端型	—	661	568	525	235	290	426	333	1.47	1.15	1.31	1.00

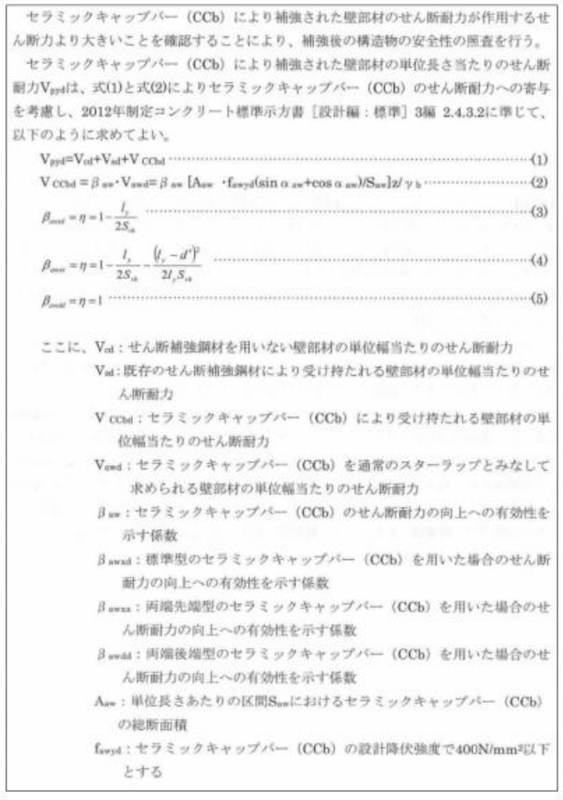
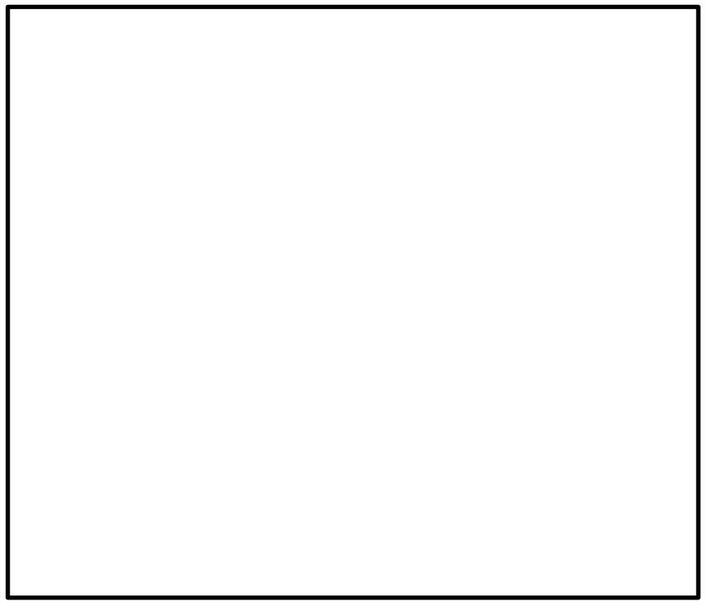
※1 下線は正負交番載荷で最初にせん断破壊したことを示す
※2 斜体はせん断破壊をしていない場合、その載荷方向での最大荷重を示す

第3.3-6 図 実験結果に基づくCCb によるせん断補強効果の評価
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（9/9）

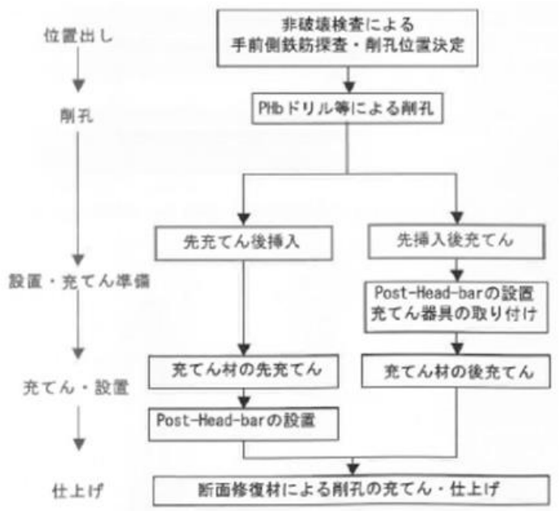
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3.2 使用材料・強度 実験を元にした本設計法では，第3.3-7 図に示すとおり使用材料を定めている。今回の設計でも，これらに適合する使用材料・強度を用いる。 (1) セラミックキャップバー（CCb）工法は、使用の目的に対してせん断耐力が不足する部材のせん断補強および地震時のじん性が不足する部材のじん性確保などの目的に使用する。 (2) セラミックキャップバー（CCb）工法の適用範囲は、以下の条件に該当するものとする。 ・主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、片側から施工する既設コンクリート構造物に対し、後施工によるせん断補強の目的で用いる。 ・両側からの施工が可能な既設のコンクリート構造物であり、じん性確保を目的としない場合、後施工によるせん断補強の目的で用いる。 第3.3-7 図 使用材料・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(1/6) セラミックキャップバー（CCb）は、D32、D29、D25、D22、D19、D16、D13のねじ節鉄筋の両端に高純度アルミナ系セラミック製のキャップを設け定着体をなす構造とする。先端型・後端型の定着体の例、およびねじ節鉄筋の寸法を図－2.1～2.3に示す。  呼び名 / 削孔寸法 削孔径ΦG mm / 継手仕様時削孔寸法 削孔径ΦG mm D13 30.0 30.0 D16 30.0 34.0 D19 34.0 36.0 D22 36.0 40.0 D25 46.0 46.0 D29 50.0 50.0 D32 55.0 55.0 呼び名 / 定着体の寸法 ΦN mm / O mm / ねじ深さK mm / U mm D13 25.0 36.0 30.0 6.0 D16 27.0 46.0 40.0 6.0 D19 30.0 46.0 40.0 6.0 D22 33.0 46.0 40.0 6.0 D25 42.0 52.0 46.0 6.0 D29 45.0 59.0 53.0 6.0 D32 50.0 64.0 58.0 6.0 【先端型定着体(CX)】 図－2.1　セラミック定着体、ねじ節鉄筋の例（その1） 第3.3-7 図 使用材料・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(2/6)	(2)使用材料・許容応力度・強度 実験を元にした本設計法では，第 13－3－7～9 図に示すとおり使用材料を定めている。今回の設計でも，これらに適合する使用材料・許容応力度・強度を用いて設計する。 第 13－3－7 図　使用材料・許容応力度・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋） 第 13－3－8 図　使用材料・許容応力度・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

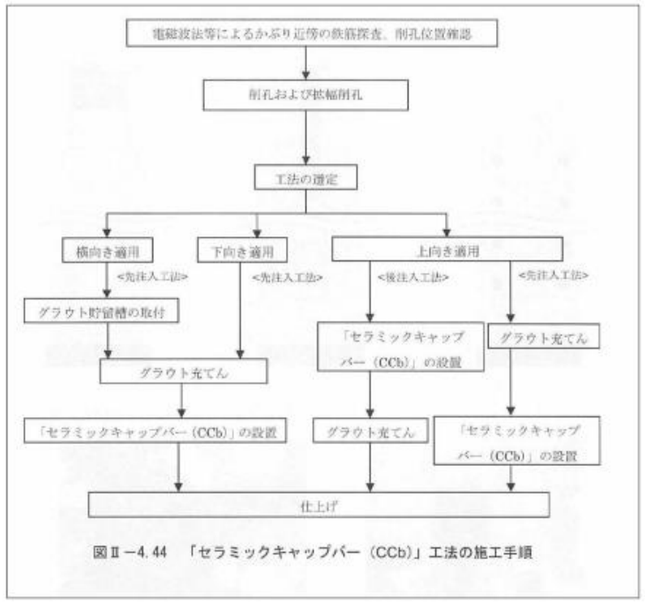
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 削孔寸法 呼び名 / 削孔径ΦA mm / 削孔径ΦG mm / 削孔長L mm D13 60.0 30.0 80.0 D16 60.0 30.0 80.0 D19 65.0 34.0 80.0 D22 65.0 36.0 80.0 D25 70.0 46.0 80.0 D29 75.0 50.0 80.0 D32 75.0 55.0 80.0 定着体の寸法 呼び名 / ΦF mm / ΦE mm / M mm / ねじ深さl mm / J mm D13 53.5 22.0 70.0 64.0 6.0 D16 55.5 25.0 70.0 64.0 6.0 D19 58.5 29.0 70.0 64.0 6.0 D22 62.5 32.0 70.0 64.0 6.0 D25 65.5 35.0 70.0 64.0 6.0 D29 69.5 39.0 70.0 64.0 6.0 D32 72.5 42.0 70.0 64.0 6.0 【後端型定着体(CD)】 図－2.2　セラミック定着体、ねじ節鉄筋の例（その2） 第3.3-7 図 使用材料・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(3/6)  呼び名 / 公称寸法 直径 mm / 公称寸法 断面積 cm² / 公称寸法 単位重量 kg/m / 外径 φD mm / 基形部寸法 B mm / 基形部寸法 C mm / 節の寸法mm ピッチ P / 節の寸法mm 高さ H / 節のすきまの和 T×2 mm D13 12.7 1.267 0.995 14.0 11.6 12.0 7.0 1.00 6.2 D16 15.9 1.986 1.56 18.0 14.7 15.2 8.0 1.40 7.8 D19 19.1 2.865 2.25 21.5 17.5 18.0 8.0 1.75 8.4 D22 22.2 3.871 3.04 24.8 20.5 21.0 9.0 1.90 9.2 D25 25.4 5.067 3.98 28.2 23.6 24.2 10.0 2.00 10.8 D29 28.6 6.424 5.04 32.1 26.6 27.2 12.0 2.45 11.4 D32 31.8 7.942 6.23 35.7 29.8 30.4 13.0 2.65 12.0 【ねじ節鉄筋】 図－2.3　セラミック定着体、ねじ節鉄筋の例（その3） 第3.3-7 図 使用材料・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(4/6)	 第 13－3－9 図　使用材料・許容応力度・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

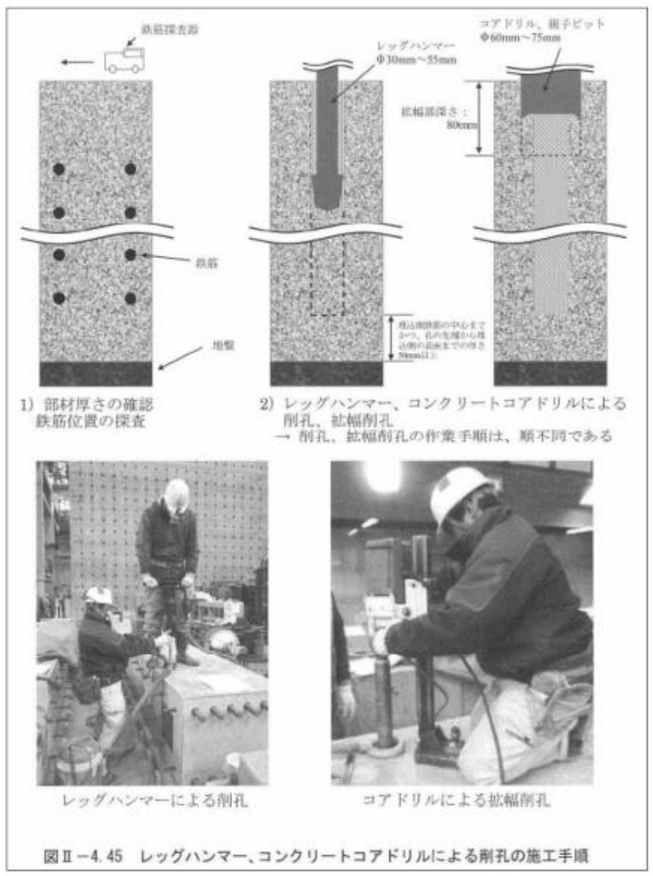
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	セラミック定着体は，JIS R 1600 に示すファインセラミックスに分類されるセラミックにて製作されており，顆粒物性においてアルミナ純度96%以上のアルミナ材で，焼成体物性において300N/mm2 以上の曲げ強度(JIS R 1601)を製造会社が保証するものを用いることを原則としている。 セラミック定着体の寸法，ねじ節強度及び密度については，以下のとおり品質管理基準を定めている。 ・セラミック定着体 解説表－3.4　セラミック定着体の品質管理基準 （D13～D25） 先端型：設計値±0.8mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 （D29、D32） 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 （D13～D25） 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 （D29、D32） 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.2mm 以内 （D13～D25） 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 （D29、D32） 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 ・製造者から発行される材料証明書の密度との誤差が±0.05g/cm³以内 ・各試験値が平均値の±1.5%以内 ・各試験値が 3.75 g/cm³以上 第3.3-7 図 使用材料・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(5/6) (1) セラミックキャップバー（CCb） セラミックキャップバー（CCb）を構成するねじ節鉄筋は、JIS G 3112に準拠したネジテツコン（東京鐵鋼株式会社製ねじ節鉄筋）で、種類はSD295A、SD295B、SD345とし、呼び名はD32、D29、D25、D22、D19、D16、D13とする。特性値f_{yk}およびf_{uk}はJIS G 3112の下限値としてよい。また、限界状態の検討に用いる異形鉄筋の断面積は、JIS G 3112による各呼び名の公称断面積としてよい。 (2) 充てん材 充てん材は補強する構造体コンクリートと同等な性能であるとする。 第3.3-7 図 使用材料・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(6/6)		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

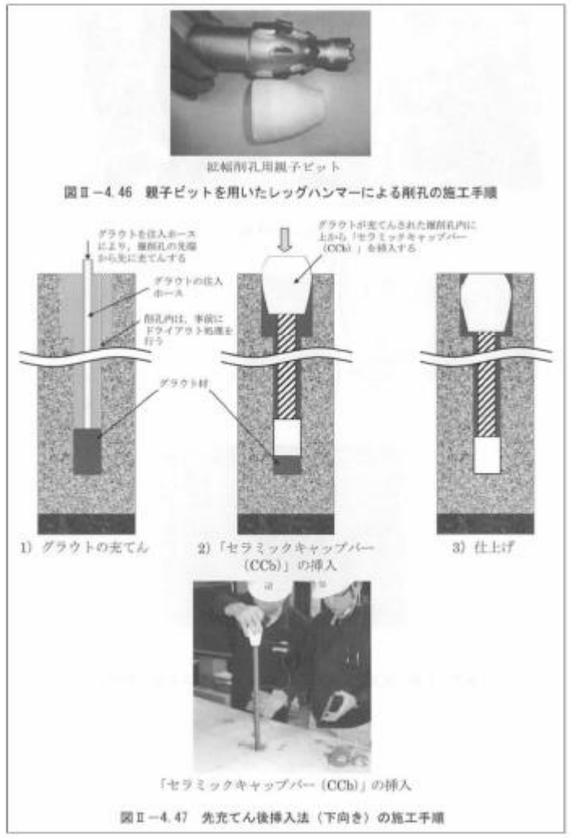
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3.3 構造部材の評価 3.3.1 で示した基本的考え方に基づき，第3.3-8 図で示すコンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2012）（以下「コンクリート標準示方書2012」という。）の考え方を準用した設計式を用いてせん断耐力を定めている。  セラミックキャップバー（CCb）により補強された壁部材のせん断耐力が作用するせん断力より大きいことを確認することにより、補強後の構造物の安全性の照査を行う。 セラミックキャップバー（CCb）により補強された壁部材の単位長さ当たりのせん断耐力V_{ypd}は、式(1)と式(2)によりセラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力への寄与を考慮し、2012年制定コンクリート標準示方書［設計編：標準］3編 2.4.3.2に準じて、以下のように求めてよい。 $V_{ypd}=V_{cd}+V_{sd}+V_{CCbd}$ ……(1) $V_{CCbd}=\beta_{aw}\cdot V_{awd}=\beta_{aw}[A_{aw}\cdot f_{awyd}(\sin\alpha_{aw}+\cos\alpha_{aw})/S_{aw}]z/\gamma_b$ ……(2) $\beta_{awx}=\eta=1-\frac{l_y}{2S_{sb}}$ ……(3) $\beta_{awx}=\eta=1-\frac{l_y}{2S_{sb}}-\frac{(l_y-d')^2}{2l_yS_{sb}}$ ……(4) $\beta_{awk}=\eta=1$ ……(5) ここに、V_{cd}：せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅当たりのせん断耐力 V_{sd}：既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力 V_{CCbd}：セラミックキャップバー（CCb）により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力 V_{awd}：セラミックキャップバー（CCb）を通常のスターラップとみなして求められる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力 β_{aw}：セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 β_{awxd}：標準型のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 β_{awxx}：両端先端型のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 β_{awkk}：両端後端型のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 A_{aw}：単位長さあたりの区間S_{aw}におけるセラミックキャップバー（CCb）の総断面積 f_{awyd}：セラミックキャップバー（CCb）の設計降伏強度で400N/mm²以下とする α_{aw}：セラミックキャップバー（CCb）が部材軸となす角度 S_{aw}：セラミックキャップバー（CCb）の配置間隔 z：圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般にd/1.15としてよい γ_b：部材係数（一般に1.10としてよい） l_y：セラミックキャップバー（CCb）の先端型定着体の定着長（5D としてよい） S_{sb}：補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔 第3.3-8 図 せん断に対する安全性照査 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(1/2) 第3.3-8 図 せん断に対する安全性照査 （建設技術審査証明報告書より抜粋）(2/2)	(3)構造部材の評価 (1)で示した基本的考え方に基づき，第 13－3－10 図で示す，コンクリート標準示方書の考え方を準用した設計式を用いてせん断耐力を定めている。  第 13－3－10 図　使用材料・許容応力度・強度 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

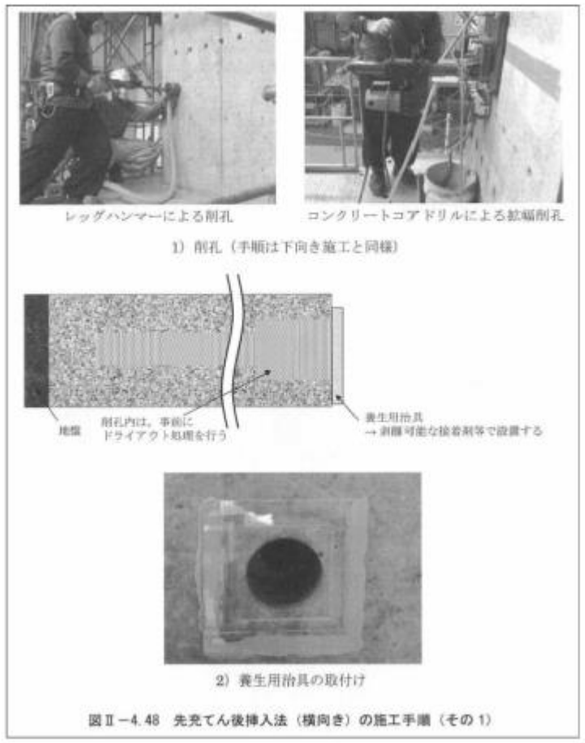
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3.4 構造細目 本設計方法では，想定外の破壊形式をとらないように，第 3.3-9 図で示す構造細目を定めている。 (1) セラミックキャップバー（CCb）によって補強された壁部材では、補強前に配置されていたせん断補強鉄筋とセラミックキャップバー（CCb）を加えたせん断補強鉄筋の断面積比が0.15%以上になるように、セラミックキャップバー（CCb）を配置する。 (2) セラミックキャップバー（CCb）を配置する最大の間隔は、補強前に配置されていたせん断補強鉄筋の位置も含めて、壁部材の有効高さの1/2でかつ300mm以下としなければならない。また、計算上でセラミックキャップバー（CCb）による補強を必要とする区間の外側の有効高さに等しい区間にも、これと同量のセラミックキャップバー（CCb）を配置しなければならない。 (3) 差込側のセラミック定着体は、差込側のコンクリート表面に配置することを標準とする。 (4) 埋込側の先端は、主鉄筋の中心まで配置することを原則とする。ただし、掘削孔の先端から埋込側の表面まで厚さは50mm以上とする。 第3.3-9 図 構造細目（建設技術審査証明報告書より抜粋）	(4)構造細目 本設計方法では，想定外の破壊形式をとらない様に，第 13－3－11 図で示す構造細目を定めている。 第 13－3－11 図　構造細目（建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

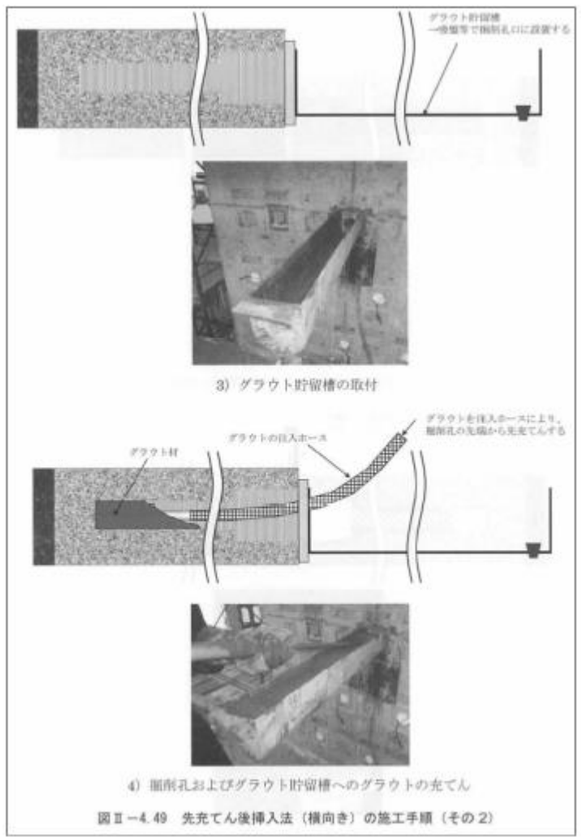
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認 3.4.1 施工の確実性 建設技術審査証明報告書において確認されている，CCb の施工の確実性について，第3.4-1 図に示す。 背面に地盤などがあり、片側からしか施工できないRC部材に対して、補強後の掘削孔内にエア抜き用ホースを残置せずにせん断補強できることが確認された。 両側からの施工が可能な既設鉄筋コンクリート部材に対し、両端に後端型定着体を設置する場合、片方のセラミック定着体をグラウト中で接合することで、施工が確実に行えることが確認された。 第3.4-1 図 施工の確実性 （建設技術審査証明報告書より抜粋） 3.4.2 施工の容易性 建設技術審査証明報告書において確認されている，CCb の施工の容易性について，第3.4-2 図に示す。 狭あいな空間や複雑な部位において、大型機材を用いずに容易に施工でき、安定した品質を確保できることが確認された。 挿入する「セラミックキャップバー（CCb）」の長さを確保できないような狭あいな空間での施工においても、カプラーによる機械式継手を用いて、安定した品質の作業を容易に施工できることが確認された。 第3.4-2 図 施工の容易性 （建設技術審査証明報告書より抜粋） 3.4.3 施工手順の設定 建設技術審査証明報告書において設定されている，CCb の施工手順について，第3.4-3 図に示す。 片側からしか補強施工できない部材について、鉛直下向きに「セラミックキャップバー（CCb）」を差し込む手順、および横向きあるいは鉛直上向きに「セラミックキャップバー（CCb）」を差し込む手順を設定し、この工事に必要な施工要素を確認した。 横向きあるいは鉛直下向き、上向きに「セラミックキャップバー（CCb）」を差し込む場合（先充てん後挿入）、および鉛直上向きに「セラミックキャップバー（CCb）」を差し込む場合（先挿入後充てん）の各々の工法における施工手順を図Ⅱ－4.44 に、設置方法の例を図Ⅱ－4.45～図Ⅱ－4.54 に示す。 両側からの施工が可能な部材に対する設置方法の例を図Ⅱ－4.55～図Ⅱ－4.57 に示す。 さらに、カプラーによる機械式継手を使用し、接続しながら、「セラミックキャップバー（CCb）」を差し込む場合の設置方法の例を図Ⅱ－4.58、59 に示す。 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（1/14）	3.4　建設技術審査証明報告書における施工性の確認 建設技術審査証明報告書では，施工性に関して，片側からしか補強施工できない部材に対してもせん断補強できることを，試験施工等に基づき確認している。確認に当たっては，第 13－3－12 図に示すとおり PHb を設置する手順を設定し，この工事に必要な施工要素に対して施工性を確認している。各施工要素に対する施工性の確認内容について，概要を下記に示す。  第 13－3－12 図　PHb の施工手順 (1) 補強設計に基づく PHb の配置 PHb を差し込むためには，補強対象部材の手前側に設置されている主鉄筋・配力鉄筋を避けた場所に削孔位置を定める必要がある。たとえば，電磁波レーダ法を使用すれば，部材手前側の配筋の探査は容易であるので，当該主鉄筋，配力鉄筋を避けての削孔位置の決定が可能である。 (2) PHb 配置位置での削孔方法 削孔は PHb ドリルなどにより行う。PHb ドリルによる削孔は以下のような特徴がある。 ・切孔ではないので，鉄筋を切断することがない（鉄筋に当たった時点で停止可能）。 ・ロッドの向きと貫入深さが作業中にわかるので，削孔方向と削孔深さの精度が確保できる。 ・削孔内部が凸凹のある仕上がりとなる。高圧空気で清掃すれば異	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

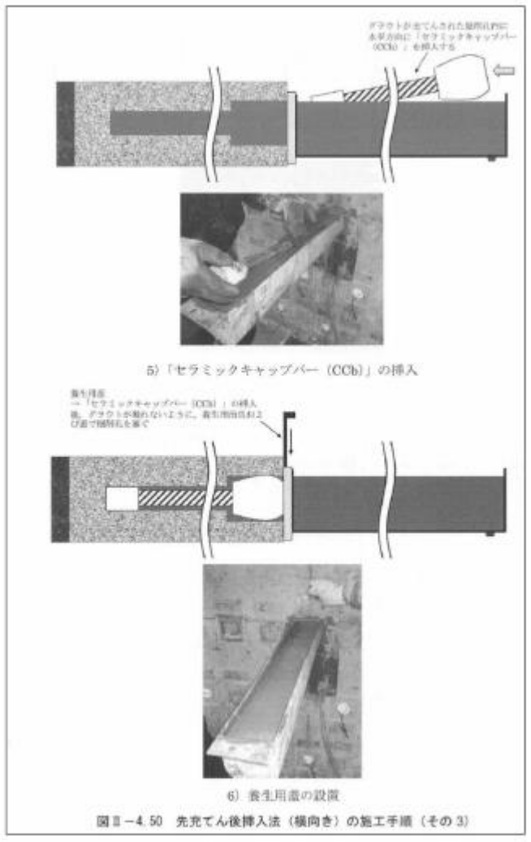
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図Ⅱ－4.44　「セラミックキャップバー（CCb）」工法の施工手順 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（2/14）	物の付着もない。 ・コンプレッサによる空気圧で駆動するので，削孔部・制御部が軽量小型であり，人力による取り扱いが容易。駆動源であるコンプレッサは比較的大きいが，100m 程度以上離れた位置に設置できる。 ・ロッド長を短くすれば，さらに狭い空間で施工可能である。 ・削孔速度が速い。 ・削孔に水を使用しない。 ・削孔屑を回収することができる。 ・削孔反力が小さいので，架台などの支保が軽微。 ・細径および拡幅削孔に対応した削孔ビットにより削孔が容易である。 したがって，駆動源が入らない狭い空間で，水が流せないような環境においても，最小の作業員数で，比較的軽微な仮設により（あるいは仮設なしでも）効率の良い削孔が可能である。そして，既設の鉄筋を切断することなく精度の良い位置・方向に，所定の深さに削孔が可能で，かつ削孔内を凸凹で清浄に仕上げられる。すなわち，施工性と PHb を定着固定する性能の双方の観点から PHb ドリル削孔は適した方法であると確認された。 (3)削孔内への PHb の固定方法 先充てん後挿入の場合，削孔内に先に充てん材を充てんした後に PHb を差し込むだけで，PHb の固定を完了する。削孔内面は，モルタル充てん直前に湿潤状態にするかあるいはドライアウト防止剤を散布し，充てん材が吸湿されないようにする。先充てん後挿入用の充てん材は，PHb モルタルを標準とするが，下向きの場合には PHb グラウトを使用してもよい。 PHb モルタルの可塑性によって，削孔内からモルタルがたれないので，この方法によって容易に PHb の削孔内への固定が可能であることを確認した。充てん材が PHb モルタルであれば，削孔内に設置した PHb の先端定着部までグラウトが密実に充てんされ，PHb とコンクリート躯体が，一体となっていることを確認した。 PHb モルタルはプレミックス材料であり，施工現場では，所定量の水を混ぜてハンドミキサで混合するだけで所定の性質のものが使用できる。所要のモルタル量も少量で，手押しのポンプで充てん可能であるので，最小限の設備と人員での PHb の設置が可能である。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

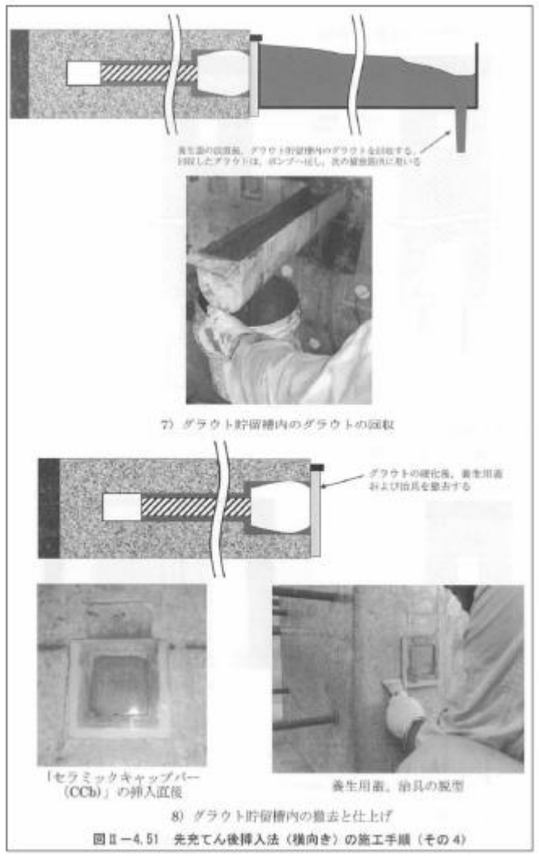
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（3/14）	(4)PHb 設置後の仕上げ等施工性 先充てん後挿入については，充てん材をパッカー等で抑えて養生した後に，断面修復によって削孔部分の充てん復旧を行う。 断面修復材もプレミックス品であり，施工現場において必要な量を即時に練り混ぜて作ることができる。施工も左官仕上げによるので容易である。断面修復の専用材料であるので，品質の信頼性は高い。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

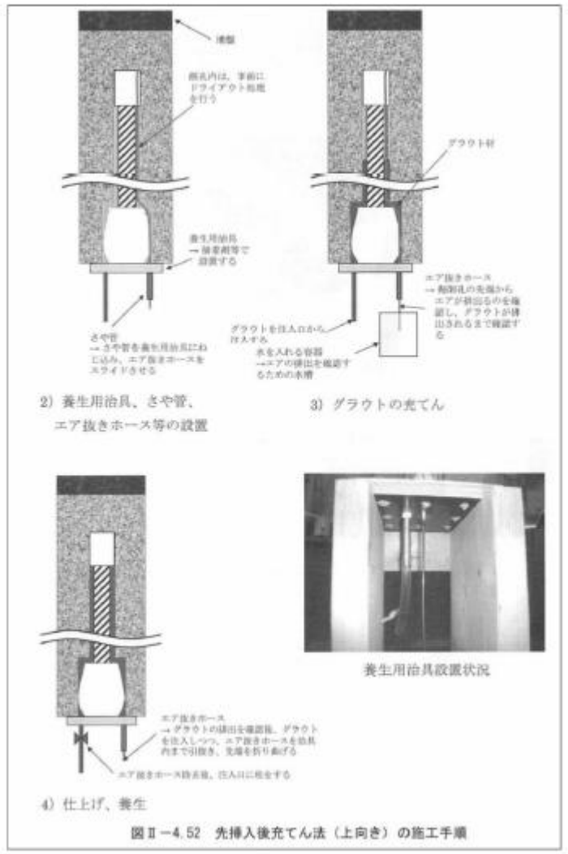
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（4/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

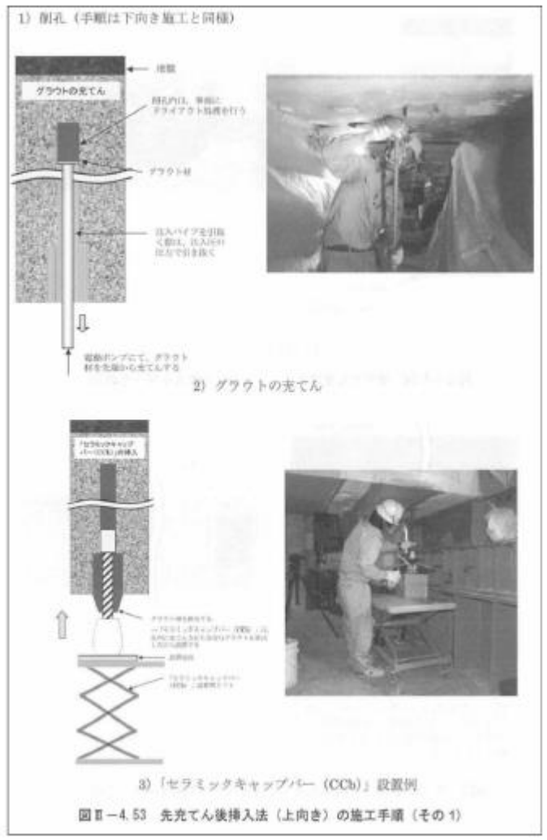
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図Ⅱ－4.48　先充てん後挿入法（横向き）の施工手順（その 1） 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（5/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

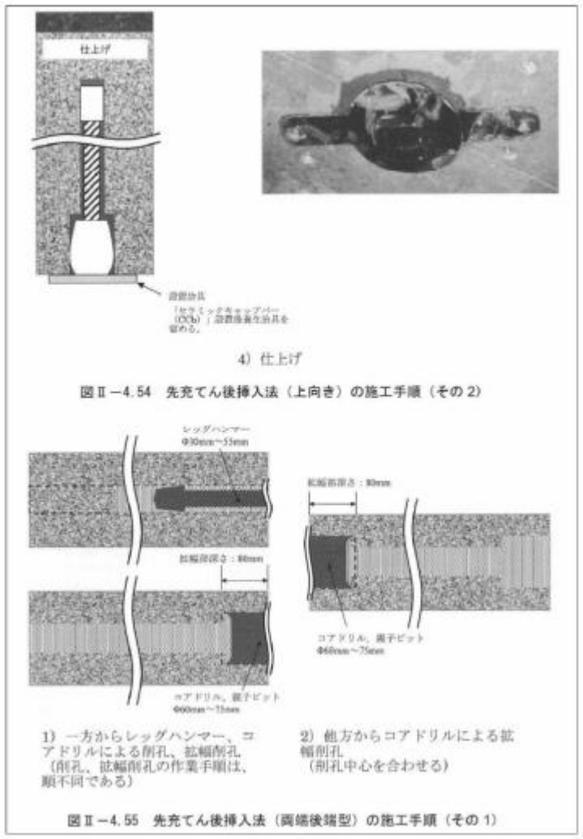
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（6/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

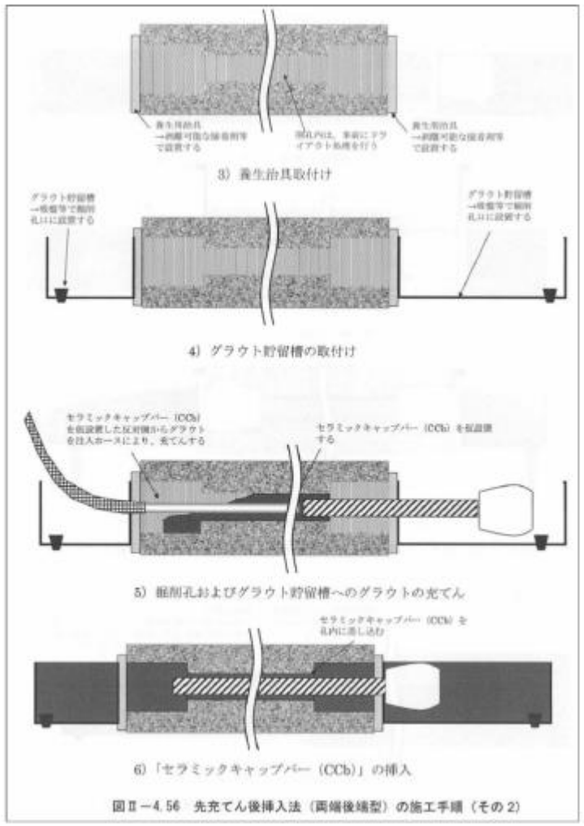
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図Ⅱ－4.50　先充てん後挿入法（横向き）の施工手順（その 3） 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（7/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

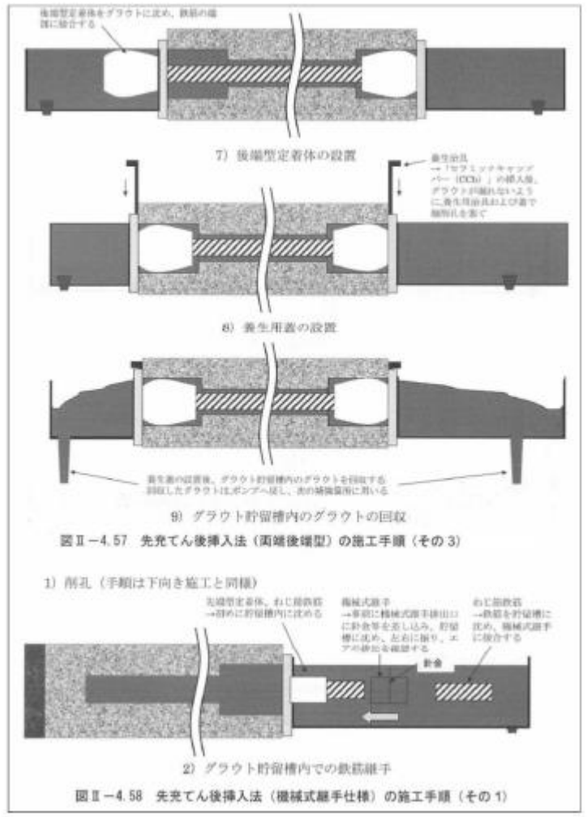
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（8/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

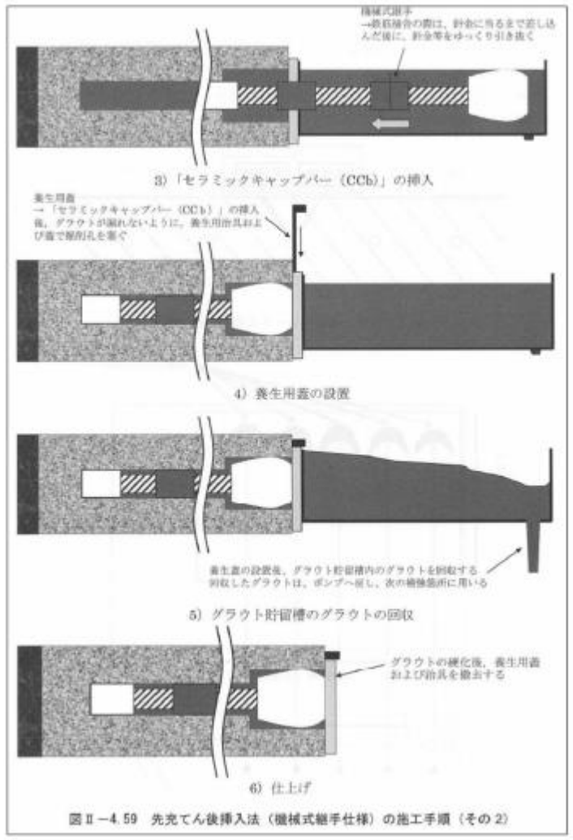
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 養生用治具設置状況 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（9/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図Ⅱ－4.53　先充てん後挿入法（上向き）の施工手順（その 1） 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（10/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

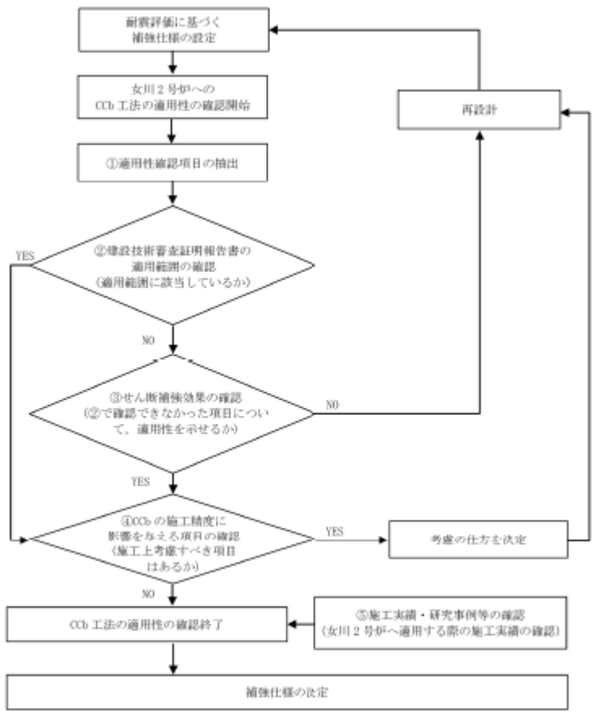
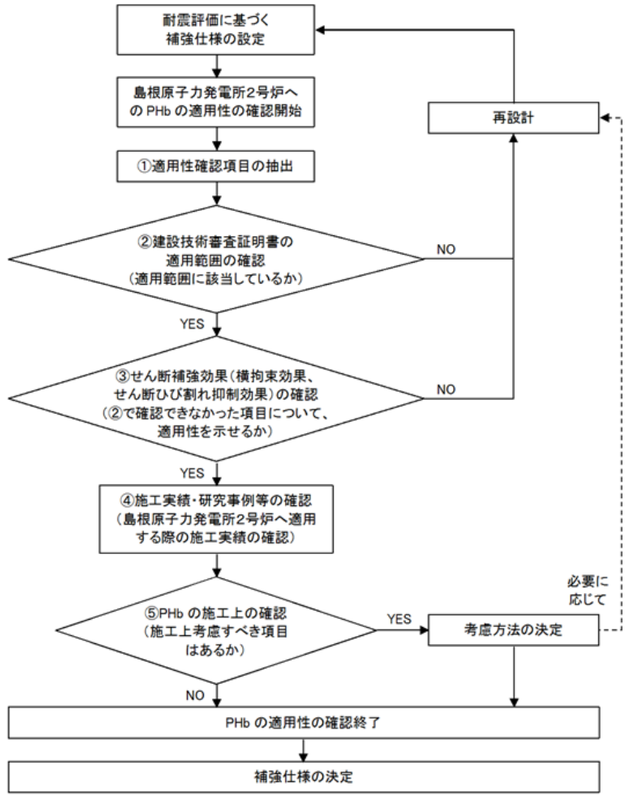
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（11/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

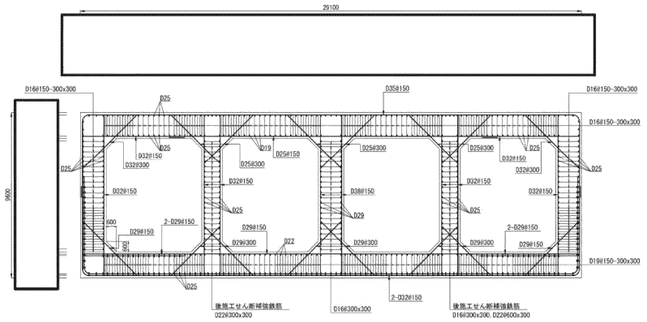
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図Ⅱ－4.56　先充てん後挿入法（両端後端型）の施工手順（その 2） 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（12/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（13/14）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第3.4-3 図 CCb の施工手順の設定 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（14/14）		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4. 女川2 号炉におけるCCb 工法の適用性の確認 4.1 適用性確認フロー CCb 工法は，建設技術審査証明報告書により後施工せん断補強方法としての有効性が証明されており，これまでに数多くの施工実績がある。 CCb 工法を女川２号炉の屋外重要土木構造物等に適用するにあたり，建設技術審査証明報告書，美浜３号炉で工認実績のあるPHb 工法，施工実績及び研究事例等から適用範囲を整理し，女川２号炉の屋外重要土木構造物等の構造形式・部材諸元，使用環境等が適用範囲に該当することを第4.1-1 図に示すフローにて確認する。 ① 適用性確認項目の抽出 後施工によるせん断補強において，せん断補強効果に影響を与えると考えられる項目及び美浜3 号炉で工認実績のあるPHb 工法との差異を抽出する。 その際，建設技術審査証明報告書に記載されている審査証明の範囲及び各種実験等から適用性確認項目を抽出する。 ② 建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認 女川２号炉の屋外重要土木構造物等に採用した補強仕様がCCb 工法の建設技術審査証明報告書において規定されている適用範囲内に収まっているか確認する。 ③ ②以外の項目に対するせん断補強効果の確認 ①で挙げた適用性確認項目のうち②で確認できていない項目について，適用性の確認を実施する。適用性確認の際は，せん断補強効果が期待できるかという点について検討する。 ④ CCb の施工精度に影響を与える項目の確認 CCb の施工を行う際に，施工精度に影響を与える項目がないか確認を行う。 施工精度に影響を与える項目（施工上考慮すべき項目）がある場合は，施工上又は設計上どのように考慮するかを決定したうえで，必要により再設計を実施するか適宜判断	4.　島根原子力発電所２号炉における PHb の適用性確認 4.1　方針 PHb 工法は建設技術審査証明報告書により後施工せん断補強方法としての有効性が証明されており，また，これまでに数多くの施工実績がある。PHb 工法を島根原子力発電所２号炉の取水槽に適用するに当たり，建設技術審査証明報告書の適用範囲やせん断補強効果等についての確認を行い，島根原子力発電所２号炉の構造形式・諸元，地盤条件，使用環境，補強内容等が適用範囲に該当することを確認する。適用性の確認は，先行サイトとの類似点及び相違点を整理したうえで行う。確認フローを第 13－4－1 図に示す。 ① 適用性確認項目の抽出 後施工によるせん断補強において，せん断補強効果に影響を与えると考えられる項目を抽出する。その際，建設技術審査証明報告書に記載されている審査証明の範囲及び各種実験等から適用性確認項目を抽出する。 ② 建設技術審査証明報告書の適用範囲に収まっているか 島根原子力発電所２号炉の構造物に採用する補強仕様が PHb 工法の建設技術審査証明報告書において規定されている適用範囲に収まっているかの確認をする。収まっていない場合は適用範囲内に収まる補強仕様になるように再設計を実施する。 ③ 補強仕様に対して②以外の項目においてもせん断補強効果を期待できるか ①で挙げた適用性確認項目のうち②で確認できていない項目について，適用性の確認を実施する。適用性確認の際は，せん断補強効果が期待できるかという点について検討を実施する。 ④ 後施工せん断補強鉄筋に関する施工実績・研究事例について，目的，試験体諸元等を整理し，島根原子力発電所２号炉への適用において考慮・反映すべき事項を検討する。	・対象施設及び工法の相違 【女川 2】 対象施設及び工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	を行う。 ⑤ 施工実績・研究事例等の確認 後施工せん断補強筋に関する施工実績・研究事例について，要旨，着目すべき事項を整理し，CCb 工法への反映事項を確認する。  第4.1-1 図 CCb 工法の適用性確認フロー	⑤ PHb の施工において考慮すべき項目はあるか 島根原子力発電所２号炉の屋外重要土木構造物に対してPHb 工法の施工をする際に，考慮しておくべき事項がないか確認を行う。ある場合は施工上または設計上どのように考慮するかを決定したうえで考慮方法によっては再設計を実施するか適宜判断を行う。  第 13－4－1 図　確認フロー図	・対象施設及び工法の相違 【女川 2】 対象施設及び工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定 耐震安全性評価を実施し，せん断に対する安全性を確保するように設定した結果の一例として，取水路（漸拡部）での補強仕様※を第4.2-1 図に示す。  第4.2-1 図 取水路（漸拡部）の補強仕様 ※：補強仕様については，今後変更となる可能性がある。	4.2　耐震評価に基づく補強仕様の設定 耐震安全性評価を実施し，各部材において不足するせん断耐力を満足するように設定した結果，第 13－4－2 図のような補強仕様となった。  第 13－4－2 図　補強仕様	・対象施設及び工法の相違 【女川 2】 対象施設及び工法の相違による確認項目等の相違
	4.3 ①適用性確認項目の抽出 CCb 工法の特徴，女川２号炉固有の条件及び美浜３号炉における確認項目等の観点から，適用性を確認するために必要な項目を抽出する。以下に項目と確認内容を示す。 Ⅰ．使用目的 建設技術審査証明報告書に明記されている目的に該当しているか。 Ⅱ．構造形式 建設技術審査証明報告書で想定している構造形式に該当しているか。 Ⅲ．構造細目 建設技術審査証明報告書で規定している構造細目に該当しているか。 Ⅳ．部材諸元 建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された部材あるいは実績のある部材厚か。	4.3　適用性確認項目の抽出 PHb 工法の特徴及び島根原子力発電所２号炉固有の条件等の観点から，適用性を確認するために必要な検討項目を抽出する。以下に確認項目を挙げる。 a. 使用目的 適用の前提として，審査証明の範囲として明記されている目的に該当している必要がある。 b. 構造形式 適用の前提として，審査証明において想定している構造形式に該当している必要がある。 c. 構造細目 PHb 工法では，想定外の破壊形式をとらない様に審査証明において規定している構造細目に該当している必要がある。 d. 部材諸元 部材厚については，建設技術審査証明報告書内の実験で適用性が確認された部材あるいは実績のある部材厚であることを確認す	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	せん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度について，建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された範囲内であるか，又は範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるか。	る。 せん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度については，応力伝達の観点から建設技術審査証明報告書内の実験で適用性が確認された範囲内であること，又は，範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるかを確認する。	・対象施設及び工法の相違 【女川 2】 対象施設及び工法の相違による確認項目等の相違
	Ⅴ．載荷方法 建設技術審査証明報告書の実験適用性が確認された範囲内であること，又は範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるか。	e．使用材料（せん断補強鉄筋） PHb に使用する鉄筋の種別･径に応じて必要な定着長が設定されているため，島根原子力発電所２号炉の土木構造物の補強では適用性が確認された補強鉄筋を用いる必要がある。	
	Ⅵ．使用材料（せん断補強筋） 建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。 せん断補強筋は，JIS G 3112 に準拠した熱間圧延異形棒鋼ネジテツコン（東京鐵鋼株式会社製）で，鉄筋の種類はSD295A，SD295B，SD345 とし，呼び名はD32，D29，D25，D22，D19，D16，D13 とする。	f．使用材料（プレート） 審査証明において確認されている材料を用いる必要がある。 g．使用材料（充てん材） 応力伝達の観点から，構造体コンクリートと同等である必要がある。	
	Ⅶ．使用材料（セラミック製定着体） 建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。 Ⅷ．使用材料（充てん材） 建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。	h．使用材料（断面修復材） 応力伝達の観点から，構造体コンクリートと同等である必要がある。 i．載荷方法 応力伝達の観点から建設技術審査証明報告書内の実験で適用性が確認された範囲内であること，又は，範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるかを確認する。	
	Ⅸ．せん断補強鉄筋の定着長 建設技術審査証明報告書で設定している定着長を考慮して設計しているか。	j．せん断補強筋の定着長 適用の前提として審査証明において設定している定着長を考慮して設計している必要がある。	
	Ⅹ．せん断ひび割れ抑制効果の確認 建設技術審査証明報告書の実験にて確認していない諸元において，せん断ひび割れ抑制効果を確認できるか。	k．せん断ひび割れ抑制効果 材料非線形解析を実施して，特異なひび割れが発生していないか確認する。	
	ⅩⅠ．ひび割れに対する定着機能の保持 CCb 工法は，従来工法（先施工）とせん断補強筋の定着機構が異なることから，せん断補強筋としての機能を発揮するために，定着体部にひび割れが生じても，定着機能が保持されているか。	l．応力状態（損傷程度） PHb の構造の特徴として，両端の定着プレートが有効に機能する必要があり，そのために構造物がおおむね弾性範囲内であることを確認する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	ⅩⅡ．変形量 変形に伴うかぶりコンクリート部の剥落によって，CCb の定着体部の定着機能を阻害するおそれがあることから，建設技術審査証明報告書の実験の変形量を超えていないか。 ⅩⅢ．使用環境 建設技術審査証明報告書で想定している使用環境において使用しているか。 また，女川２号炉では海水環境下にて使用していることから，海水環境下相当での実績があるか。 ⅩⅣ．CCb を適用した部材のコンクリートの健全性 CCb を適用した部材のコンクリートにCCb のせん断補強効果を阻害するひび割れがなく，構造物が健全であるか。 ⅩⅤ．PHb 工法（美浜３号炉）との差異 PHb 工法及び美浜３号炉での適用実績と比較を行い，抽出された差異が建設技術審査証明報告書で規定された適用範囲に収まっているか。	m．変形量（横拘束効果の確認） PHb の適用範囲として「地震時の変形量が限定される地中構造物等」とされている。変形に関しては，変形に伴う曲げひび割れの影響が考えられるが，変形量に関する定量的な影響検討は行われていないため，変形量に対しては，適用確認実験の変形量を超えない必要があると考えられる。 n．使用環境 島根原子力発電所２号炉固有の使用環境として，取水槽は海水に接することが挙げられることから海水環境下での実績があることを確認する。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

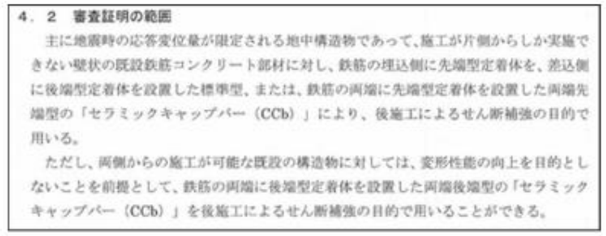
4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認

CCb 工法を適用するにあたり，4.3 で抽出した項目について建設技術審査証明報告書から適用範囲を確認する。確認結果を以下に示す。

(1) Ⅰ．使用目的

CCb により耐震補強を行った構造物は地中構造物であり，既設コンクリート部材に対して後施工によるせん断補強の目的で用いていることから，建設技術審査証明報告書に合致している。（第4.4-1 表参照）

第4.4-1 表 CCb 工法の適用範囲と使用状況
（建設技術審査証明報告書より抜粋）



4．2　審査証明の範囲

主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、施工が片側からしか実施できない壁状の既設鉄筋コンクリート部材に対し、鉄筋の埋込側に先端型定着体を、差込側に後端型定着体を設置した標準型、または、鉄筋の両端に先端型定着体を設置した両端先端型の「セラミックキャップバー（CCb）」により、後施工によるせん断補強の目的で用いる。

ただし、両側からの施工が可能な既設の構造物に対しては、変形性能の向上を目的としないことを前提として、鉄筋の両端に後端型定着体を設置した両端後端型の「セラミックキャップバー（CCb）」を後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。

建設技術審査証明報告書の適用範囲	使用箇所及び状況
主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって，施工が片側からしか実施できない壁状の既設鉄筋コンクリート部材に対し，鉄筋の埋込側に先端型定着体を，差込側に後端定着体を設置した標準型又は鉄筋の両端に先端型定着体を設置した，両端先端型の「セラミックキャップバー（CCb）」により，後施工によるせん断補強の目的で用いる。	地中構造物であり，片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対して，後施工によるせん断補強の目的で用いる。
ただし，両側からの施工が可能な既設の構造物に対しては，変形性能の向上を目的としないことを前提として，鉄筋の両端に後端型定着体を設置した両端後端型の「セラミックキャップバー（CCb）」を後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。	両側からの施工が可能な既設の構造物に対して，変形性能の向上を目的としないことを前提として，後施工によるせん断補強の目的で用いる。

4.4　建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認

PHb の適用について，建設技術審査証明報告書に記載の，a.使用目的，c.構造細目，e～h.使用材料及び j.せん断補強筋の定着長の確認結果を下記に示す。

a.使用目的

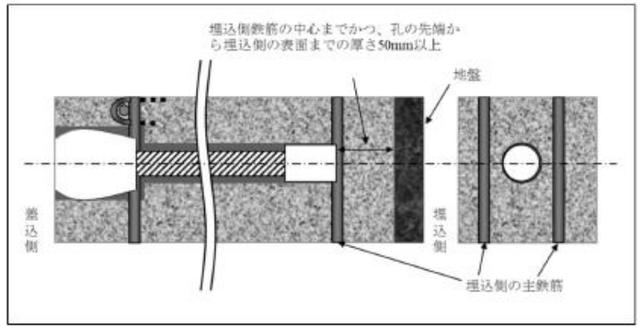
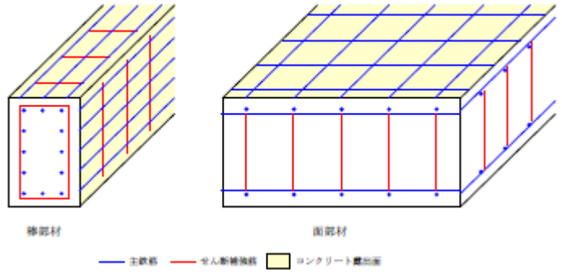
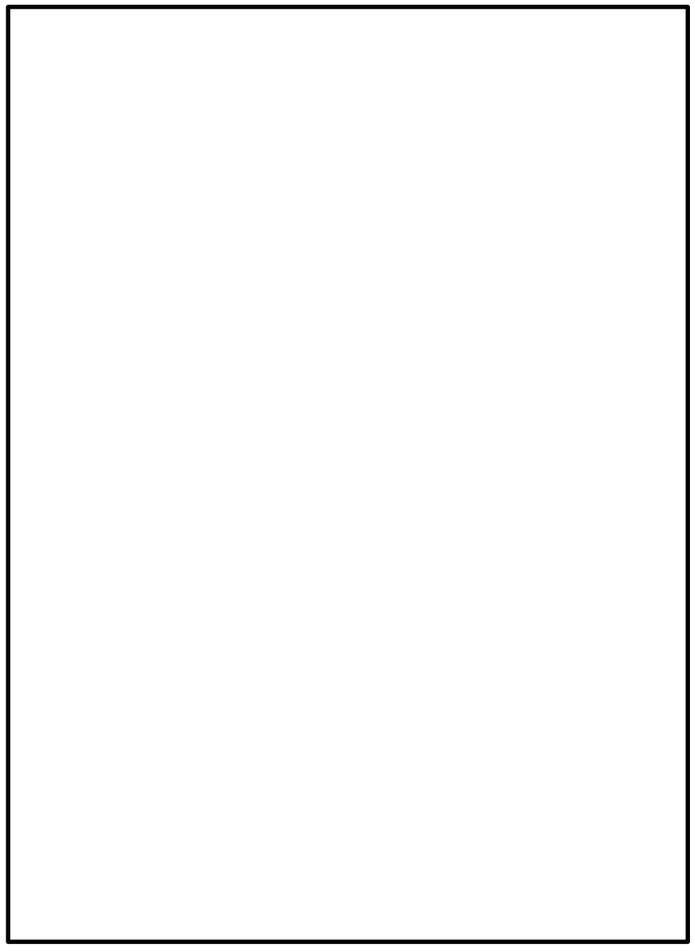
使用目的は，先行サイト（美浜３号炉及び東海第二）と同様，第13－4－1 表に示すとおり，審査証明の範囲として明記されている目的に該当していることを確認した。

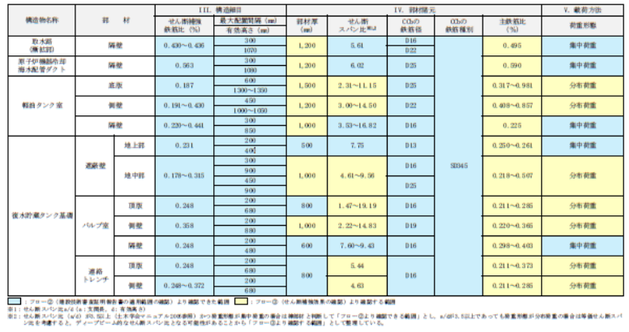
第 13－4－1 表　PHb の適用範囲と適用条件（使用目的）

建設技術審査証明報告書の適用範囲	使用箇所及び状況
	地中構造物であり，片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対して，後施工によるせん断補強の目的で用いる。
	地中構造物に適用し，せん断補強の目的で用いる。（変形性能（じん性）の向上を目的として用いているわけではないため，左記に示す変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の上限値の規定については不問である。）

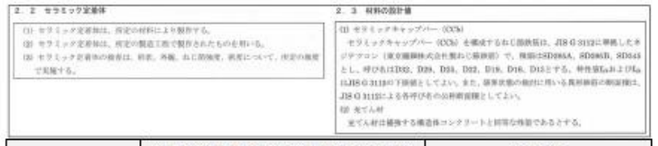
・工法の相違
【女川 2】
工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(2) Ⅱ．構造形式 建設技術審査証明報告書に，「CCb 補強工法によれば，相次ぐ地震によりその耐震補強の必要性が高まっている原子力施設などの重要地下構造物，高速道路，鉄道及び上下水処理施設などの地下構造物，また，水門あるいは堰の門柱・堰柱など，構造上，巻立て補強が適用できない構造物の耐震性能を改善することができる」と記載されていることから，女川２号炉の屋外重要土木構造物等にも適用可能である。		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は構造型式を「4.5 (2)」に記載
	(3) Ⅲ．構造細目 建設技術審査証明報告書に，以下のとおり構造細目として記載されており，建設技術審査証明報告書と合致している。 ① せん断補強筋の断面積比≧0.15%とする。 ② 補強前に配置されていたせん断補強筋を含めたCCb との最大配置間隔≦補強対象部材の有効高さの1/2 かつ 300㎜ とする。 ③ CCb の配置は第4.4-1 図に示す標準配置によるものとする。 ④ CCb の埋込側の先端は，主鉄筋の中心まで配置することを原則とする。ただし，孔の先端から埋込側の表面までの厚さは50㎜ 以上とする。 ②の最大配置間隔300㎜ は，収縮等によるひび割れの発生を防ぐための用心鉄筋としての配慮である。 用心鉄筋としての配慮については棒部材の場合，スターラップが露出面（腹部）に配置されることから，「露出面の用心鉄筋」に規定される「１m 当たり500㎜2 以上の鉄筋を300㎜ 以下の間隔で配置する」に準じて規定されたものである。一方，面的な広がりをもつボックスカルバートや箱型構造物の各部材に配置されるせん断補強鉄筋は，各部材の中間的な位置に配置され，「露出面の用心鉄筋」としての機能は不要であるため，「面部材ではせん断補強鋼材の配置間隔は，部材有効高さの 1/2 倍以下で配置すればよい」とされている（コンクリート標準示方書［設計編］（土木学会，2017）（以下「コンクリート標準示方書2017」という。））（第4.4-2図参照）。 女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物は建設後20 年以上経過しており，収縮が収束していると考えられること，また，せん断補強鋼材が露出面に配置されない面部	c. 構造細目 構造細目は，先行サイトと同様，第 13－4－2 表に示すとおり，審査証明において規定している構造細目に該当していることを確認した。 第 13－4－2 表の構造細目②においては，収縮ひび割れに対する用心鉄筋としての配慮であることがコンクリート標準示方書に記述されているので，収縮が収束していると考えられる部材の補強ではこの規定（せん断スパン方向の最大間隔 300㎜ 以下）を外すことができる。 なお，PHb の配置は第 13－4－3 図に示す標準配置によるものとする。 第 13－4－2 表　PHb の適用範囲と適用条件（構造細目） 確認項目 / 美浜３号炉（PHb 工法） / 東海第二（PHb 工法） / 島根２号炉（PHb 工法） / 建設技術審査証明報告書の適用範囲 構造細目①（せん断補強鉄筋の断面積比） / 0.21～0.94% / 0.43% / 0.51% / 補強前に配置されていたスターラップと Post-Head-bar を加えたせん断補強鉄筋の断面積比が 0.15%以上。 構造細目②（PHb 配置のせん断スパン方向の最大間隔） / Post-Head-bar を配置するせん断スパン方向の最大間隔は，補強対象部材の有効高さの 1/2 倍以下で，かつ 300 ㎜以下。 / Post-Head-bar を配置するせん断スパン方向の最大間隔は，補強対象部材の有効高さの 1/2 倍以下で，かつ 300 ㎜以下。 / Post-Head-bar を配置するせん断スパン方向の最大間隔は，補強対象部材の有効高さの 1/2 倍以下で，かつ 300 ㎜以下。 / Post-Head-bar を配置するせん断スパン方向の最大間隔は，補強対象部材の有効高さの 1/2 倍以下で，かつ 300 ㎜以下。 構造細目③（埋込先端のかぶり） / Post-Head-bar の埋込先端は，軸方向鉄筋の位置まで配置することを原則とする。ただし，埋込先端のかぶりは，100 ㎜+主筋径の 1/2 とし，50 ㎜以上を確保している。 / Post-Head-bar の埋込先端は，軸方向鉄筋の位置まで配置することを原則とする。ただし，埋込先端のかぶりは，75 ㎜+主筋径の 1/2 とし，50 ㎜以上を確保している。 / Post-Head-bar の埋込先端は，軸方向鉄筋の位置まで配置することを原則とする。ただし，埋込先端のかぶりは，130 ㎜+主筋径の 1/2 とし，50 ㎜以上を確保している。 / Post-Head-bar の埋込先端は，軸方向鉄筋の位置まで配置することを原則とする。ただし，埋込先端のかぶりは，必要なかぶりを確保しつつ 50 ㎜以上とする。 他サイトの情報に係る記載内容については，会合資料や HP 等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	材に対する耐震補強であることから，この規定（最大配置間隔 300㎜ 以下）は除外することができる。 なお，CCb により耐震補強を行った構造物に対する，せん断補強鉄筋比及び最大配置間隔の適用範囲及び整理結果を第 4.4-2 表及び第4.4-3 表に「（4） Ⅳ．部材諸元，Ⅴ．載荷方法」と併せて示す。  第4.4-1 図 CCb 標準配置 （建設技術審査証明報告書より抜粋）  第4.4-2 図 露出面の用心鉄筋（棒部材・面部材）	 第 13－4－3 図　PHb の標準配置 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

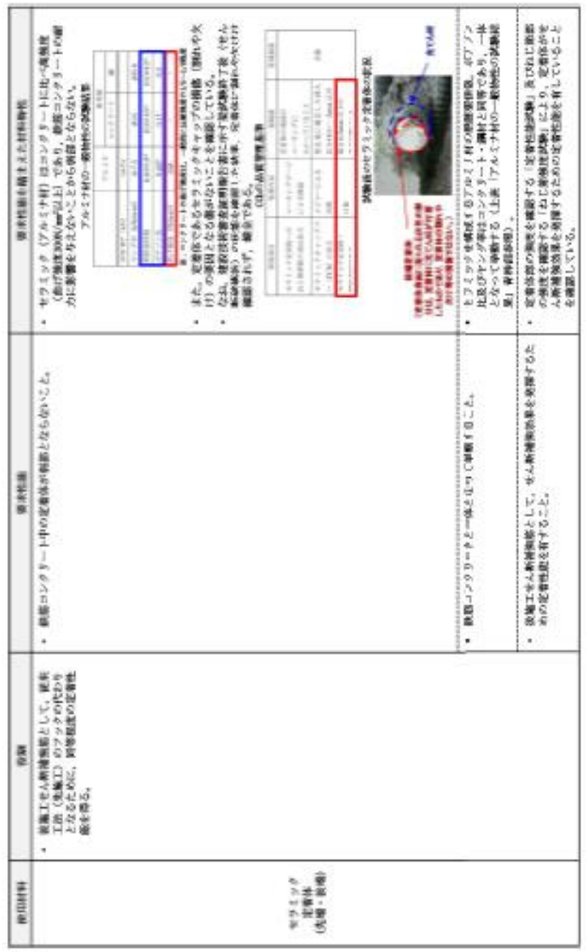
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(4) Ⅳ．部材諸元，Ⅴ．載荷方法 構造細目，部材諸元及び載荷方法について，CCb により耐震補強を行った構造物への適用範囲及び整理結果を第4.4-2 表及び第4.4-3 表に示す。 第4.4-3 表に示すとおり，部材諸元については，部材厚，せん断スパン比及び主鉄筋比が，建設技術審査証明報告書又は建設技術審査証明報告書の実験から確認した範囲に合致していない。 また，載荷方法については，集中荷重による正負交番載荷を行っているが，女川２号炉にてCCb により耐震補強を行った構造物に作用する荷重は，実験より大きく，集中荷重及び分布荷重であるため合致していない。 よって，部材諸元及び載荷方法については，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。 第4.4-2 表 適用範囲の整理  第4.4-3 表 CCb により耐震補強を行った構造物への整理結果 	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は部材諸元，載荷方法を「4.5 (2)」に記載

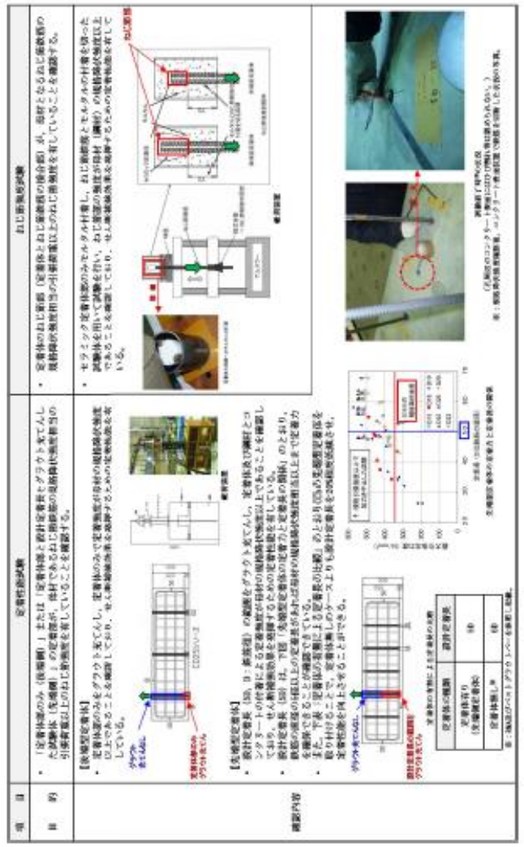
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
（5）Ⅵ～Ⅷ．使用材料（せん断補強筋，セラミック製定着体，充てん材）
建設技術審査証明報告書に記載されている使用材料と合致している。（第4.4-4表参照）
使用材料のうち，セラミック製定着体及び充てん材は従来工法（先施工）とCCb工法の特徴的な差異となることから，これらの材料の役割と要求性能について詳細に整理する。
第4.4-5 表に示すとおり，材料特性や要求性能に対する性能確認試験（定着性能試験・ねじ節強度試験）により，弱部が生じないことや部材と一体となって挙動するといった要求性能が満たされていることが確認されており，CCb 工法を採用するにあたり，その性能に悪影響を与える要因がないことを確認している。
また，定着体であるセラミックキャップの損傷（割れや欠け）の要因となる傷がないことを確認している。さらに，施工箇所となる部材にはセラミックキャップの損傷となるような衝撃荷重が作用しないことから，定着体が破損する要因はない。

第4.4-4 表 CCb の適用条件と使用状況
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

2．2　セラミック定着体
(1) セラミック定着体は，所定の材料により製作する。
(2) セラミック定着体は，所定の製造工程で製作されたものを用いる。
(3) セラミック定着体の検査は，形状，外観，ねじ節強度，密度について，所定の強度で実施する。
2．3　材料の設計値
(1) セラミックキャップバー（CCb）
セラミックキャップバー（CCb）を構成するねじ節鉄筋は，JIS G 3112に準拠したネジテクコン（東京鐵鋼株式会社製ねじ節鉄筋）で，種類はSD295A，SD295B，SD345とし，呼びもはD32，D29，D25，D22，D19，D16，D13とする。特性値L_aおよびL_bはJIS G 3112の下限値としてよい。また，鋼筋定数の設計に用いる異形鉄筋の断面積は，JIS G 3112による各呼びもの公称断面積としてよい。
(2) 充てん材
充てん材は補強する構造体コンクリートと同等な性能であるとする。
<table>
<tr><th></th><th>建設技術審査証明報告書の材料範囲等</th><th>使用状況</th></tr>
<tr><td>せん断補強筋
（ねじ節鉄筋）</td><td>径　：D13～D32
強度：SD295A，SD295B，SD345</td><td>左記範囲内の材料を使用する。
（D16～D32　SD345）</td></tr>
<tr><td>セラミック
定着体</td><td>所定の材料，製造工程で製作され，所定の頻度で形状，外観，ねじ節強度，密度について検査されたもの</td><td>左記検査を受けた材料を使用する。</td></tr>
<tr><td>充てん材</td><td>構造体コンクリートと同等な性能</td><td>躯体コンクリート以上の強度とする。</td></tr>
</table>
</td>
<td>
e～h.使用材料及び j.せん断補強筋の定着長
構造細目は，先行サイトと同様，第 13－4－3 表に示すとおり，審査証明に明記されている適用範囲に合致することを確認した。

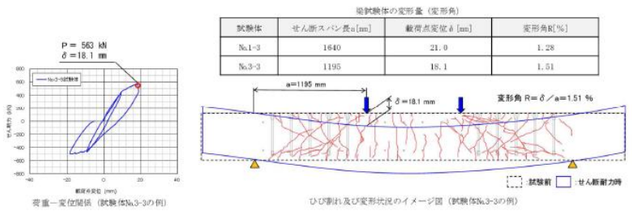
第 13－4－3 表　PHb の適用範囲及び適用条件
（使用材料及びせん断補強筋の定着長）
<table>
<tr><th></th><th>建設技術審査証明報告書の材料範囲等</th><th>実使用材料</th></tr>
<tr><td>せん断補強筋</td><td rowspan="5"></td><td>左記範囲内の材料を使用する。
（D19～D32　SD345）</td></tr>
<tr><td>プレート</td><td>材質は，SM490 相当を用い，品質証明書でその品質を確認する。</td></tr>
<tr><td>充てん材</td><td>躯体コンクリート以上の強度</td></tr>
<tr><td>断面修復材</td><td>躯体コンクリート以上の強度</td></tr>
<tr><td>定着長</td><td>左記の定着長を考慮して設計を実施する。</td></tr>
</table>
</td>
<td>
・資料構成の相違
【女川 2】
女川はせん断補強筋の定着長を「4.5（6）」に記載
</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第4.4-5 表 各使用材料の役割・要求性能・材料特性（1/3） 		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第4.4-5 表 各使用材料の役割・要求性能・材料特性（2/3） 		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第4.4-5 表 各使用材料の役割・要求性能・材料特性（3/3） 		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(6) Ⅸ．せん断補強筋の定着長 建設技術審査証明報告書で設定されている定着長を考慮していることを確認している。 (7) Ｘ．せん断ひび割れ抑制効果の確認 建設技術審査証明報告書の実験と女川２号炉にてCCb により耐震補強を行った構造物の各種諸元（部材厚，せん断スパン比，主鉄筋比，載荷方法）が異なっていることから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。 (8) ＸⅠ．ひび割れに対する定着機能の保持 建設技術審査証明報告書の実験と女川２号炉にてCCb により耐震補強を行った構造物では，発生するひび割れ性状が異なる可能性がある。 さらに，定着体部に実験と性状が異なるひび割れが生じても定着機能が保持されていることを確認する必要があることから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。 (9) ＸⅡ．変形量 CCb により耐震補強を行った構造物の変形量が建設技術審査証明報告書の実験の変形量を超えないことを確認している。 確認の一例として，添付資料２「女川２号炉における部材諸元他の適用性の検討」にて検討した取水路（漸拡部）の結果を示す。第4.4-3 図に示すように，取水路（漸拡部）の層間変形角は最大でも0.29％（29/10,000）程度（基準地震動Ss-D2 による照査結果(暫定値※)）であり，梁試験体の変形量（１％を超える範囲まで確認）以下に収まっていることを確認している。 なお，女川２号炉では，かぶりコンクリートの剥落により，CCb の定着体部の定着機能を阻害するおそれがあるため，かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態である圧縮縁コンクリートひずみ1.0％又は層間変形角１％（1/100）に，十分な余裕をもってCCb 工法を使用する。		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉はせん断補強筋の定着長については，e～h.使用材料に併せて記載 ・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉はせん断ひび割れ抑制効果は「4.5 (2)」に記載 ・検討結果の相違 【女川 2】 島根２号炉は「4.5 (2)」において特異なひび割れや変形が発生しないことを記載 ・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は変形量について「4.5 (2)」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	※：工事計画認可段階で選定する解析手法等により，変更となる可能性がある。  第4.4-3 図 梁試験体の変形量 （10）ⅩⅢ．使用環境 建設技術審査証明報告書に，「CCb 補強工法によれば，相次ぐ地震によりその耐震補強の必要性が高まっている原子力施設などの重要地下構造物，高速道路，鉄道及び上下水処理施設などの地下構造物，また，水門あるいは堰の門柱・堰柱など，構造上，巻立て補強が適用できない構造物の耐震性能を改善することができる」と記載されており，原子力施設などの重要地下構造物及び女川２号炉のような海水環境下よりも，より使用環境が厳しい下水処理施設を対象としていることから，女川２号炉の屋外重要土木構造物等にも適用可能である。 また，4.7 に記載のとおり，CCb 工法については気中及び水中で数多くの施工実績があることが確認されており，硫酸等の影響を受ける腐食環境下にある下水道施設での施工実績もある。 よって，海水中よりも厳しい環境下での施工実績が確認できているため，使用環境として問題がないことを確認している。 （11）ⅩⅣ．CCb を適用した部材のコンクリートの健全性 建設技術審査証明報告書の実験では，新規に供試体を作成しているが，女川２号炉にてCCb により耐震補強を行った構造物については，東北地方太平洋沖地震（2011年3 月11 日）及び宮城県沖の地震（2011 年4 月7 日）により，建設時の基準地震動を一部周期帯で超過する地震動を経験していることから，部材の健全性を確認する。 CCb 工法のせん断補強効果を発揮するためには，コンクリートがCCb 工法のせん断補強効果に悪影響を及ぼす状態にないことを確認する必要があることから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は使用環境について「4.5 (2)」に記載 ・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉はコンクリートの健全性について「4.5 (2)」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	として，4.5 にて確認する。 （12）ＸＶ．PHb 工法（美浜３号炉）との差異 PHb 工法とCCb 工法の差異及び美浜３号炉と女川２号炉の適用性確認における差異を第4.4-6 表に示す。第4.4-6 表に示すとおり，定着体の構造，対象部材，せん断耐力の設計法（βaw の設定），検討対象構造物（構造諸元，荷重形態）及び定着体部の状況に差異があることが確認できる。 これらのうち，定着体の構造及びせん断耐力の設計法（βawの設定）については，PHb 工法とCCb 工法で差異があるものの，建設技術審査証明報告書に合致していることを確認している。 しかしながら，対象部材，検討対象構造物（構造諸元，荷重形態）及び定着体部の状況については，建設技術審査証明報告書から確認できないことから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第4.4-6 表 PHb 工法（美浜３号炉）とCCb 工法（女川２号炉）の差異（1/2）

確認項目		PHb工法 （美浜3号炉）		CCb工法 （女川2号炉）	差異の有無及び確認結果と影響
工法の概要	目的	・ 埋設時荷重によるせん断破壊に対する補強工法として，使用している。	無	・ 左に同じ。	－
	定着体の構造	・ せん断補強筋の両端部にプレートを取り付けたもの。 ・ プレートは，鉄筋径により取り付けられている。	有	・ 左に同じ。 ・ 定着体は，ねじ節鉄筋であり，ねじの噛合せ及びエポキシ樹脂により取り付けられている。	○ ・ 定着体形状に差異があり，CCb工法は，専用材料（セクシャルバー）を使用しており，定着長，埋設位置，施設技術審査基準等の関連条項に合致することを確認した。
	施工方法	・ 既設の鉄筋コンクリート構造物の表面からドリルにより所定の孔を内に定着体を挿入→充てん材で固定。	無	・ 左に同じ。 ・ 既設の鉄筋コンクリート構造物の表面からドリルにより所定の孔を内に定着体を挿入→充てん材で固定。	－
	固定方法	・ 一般財団法人土木研究センターより建設技術審査証明を受けている。	無	・ 左に同じ。	－
	対象部材	・ 実験結果として，降伏時（せん断スパン比※：a/d=2.7 他）に加え，せん断スパン比が小さいディープビーム（a/d=1.19～1.58）についても性能確認実験を行っている。 ・ PHb工法の性能確認は，実験結果による正負交番載荷実験により確認している。	有	・ 左に同じ。 ・ 性能確認は，実験結果による正負交番載荷実験により確認している。 フローⓒにて確認 ・ 今工法の性能確認方法に違いはないが，CCb工法の性能確認実験ではディープビームを対象とした実験を行っていない。	－
	せん断耐力の設計式 （せん断耐力の算出方法）	$V_{sud}=V_{sd}\times\beta_{nd}$ V_{sud}：PHbで負担されるせん断耐力 V_{sd}：PHbを適用のせん断補強鉄筋とみなしてCCb工法を適用のせん断耐力 β_{nd}：PHbのせん断耐力向上への有効性を示す係数	無	$V_{yd}=V_{sd}\times\beta_{nd}$ V_{yd}：CCbで負担されるせん断耐力 V_{sd}：CCbを適用のせん断補強鉄材とみなして求められるせん断耐力 β_{nd}：CCbのせん断耐力向上への有効性を示す係数	－
	せん断耐力の設計式 （β_{nd}の設定）	・ β_{nd}の算出は，左に同じ。 ・ β_{nd}の上限値は，なし。	有	・ β_{nd}の算出は，左に同じ。 ・ β_{nd}の上限値は，1.5。	○ ・ β_{nd}の算定式に差異はないが，CCb工法はβ_{nd}に上限値なし，施設技術審査基準関係条項に合致することを確認した。

※：せん断スパン比は，a/d（a：支間長，d：有効高）

枠囲みに係る記載内容については，会合資料や説明等をもとに無断の複写禁止において当社にて解釈したものです。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第4.4-6 表 PHb 工法（美浜３号炉）とCCb 工法（女川２号炉）の差異（2/2）

確認項目	PHb工法（美浜3号炉）	CCb工法（女川2号炉）	差異の有無	差異の有無及び確認結果と概要
適用性	・ 適用性確認のためのフローを設定している。 ・ 建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目については，別記に数値実験等を用いてせん断補強効果を確認している。	・ 左に同じ。	無	－
検討対象構造物①（構造諸元）	・ 構造物：循水ポンプ室 ・ 対象部材：底版 ・ 部材厚：1300mm ・ 部材断面：面に発生する断面力に対して照査を実施。	① ・ 構造物：取水路（標拡部） ・ 対象部材：側壁 ・ 部材厚：1200mm ・ 部材断面：面に発生する断面力に対して照査を実施。	有	フロー⑤にて確認 ・ 女川2号炉では，床や壁部材（面部材）へCCb工法を適用しており，面内荷重と面外荷重の同時に作用することから，その影響について確認する必要がある。
検討対象構造物②（荷重伝達）	・ 構造物：循水ポンプ室 ・ 対象部材：底版 ・ 部材厚：3000mm ・ 部材断面：面に発生する断面力に対して照査を実施。	・ 集中荷重系 ・ 分布荷重系	有	フロー⑤にて確認 ・ 女川2号炉では，CCbにより せん断補強を行っている部材位置を構造上，集中荷重系と分布荷重系の両方に着目し確認する。 ※： IV．載荷方法」と同一のため，「IV．載荷方法」にて確認する。
定着体部の安定	・ PHbにより前置補強を行っている循水ポンプ室及び循水管トレンチは，γ_2=0.0値の限界点以下（主筋の降伏）または主筋のひずみが降伏ひずみ以下の範囲にてCCb工法を使用することとしており，部材にひび割れが発生する可能性がある。	・ CCbにより前置補強を行っている構造物は，主筋の降伏強度以下（γ_2=0.0値の限界点以下（主筋の降伏）または主筋のひずみが降伏ひずみ以下の範囲にてCCb工法を使用することとしており，部材にひび割れが発生する可能性がある。	有	フロー⑤において，主筋の降伏強度以下にてCCb工法を使用することとしているため，ひび割れ発生による定着機能への影響を確認する。 ※： IX．ひび割れに対する定着機構の保持」と同一のため，「IX．ひび割れに対する定着機構の保持」にて確認する。

※サイトの特徴に係る記載内容については，会合資料や申請をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

4.5 ③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.5.1 せん断補強効果の確認内容 4.3 で抽出した適用性確認項目のうち，4.4 の建設技術審査証明報告書の適用範囲から確認できなかった項目について，4.5.2 以降において，数値解析による検証及び建設技術審査証明報告書の実験の確認等により，せん断補強効果が期待できることを確認する。確認する項目を以下に示す。 (1) 部材諸元 (2) 載荷方法 (3) せん断ひび割れ抑制効果の確認 (4) ひび割れに対する定着機能の保持 (5) CCb を適用した部材のコンクリートの健全性 (6) PHb 工法（美浜３号炉）との差異	4.5　せん断補強効果の確認 (1)せん断補強効果の確認内容 「4.3　適用性確認項目の抽出」で抽出した適用性確認項目のうち，建設技術審査証明報告書では確認できなかった項目についてもせん断補強効果が期待できるかを確認する。以下に確認する項目を挙げる。PHb 工法と先施工のせん断補強鉄筋とで大きく異なる部分は，PHb 工法ではコンクリートに定着をとっていることである。したがって，コンクリート部分に関する項目が主となって，せん断補強効果に影響を及ぼすと考えられる。なお，以下に示す項目については，(2)以降において，解析的にせん断補強効果が得られていることを確認する。 b.構造形式 d.部材諸元 i.載荷方法 k.せん断ひび割れ抑制効果 l.応力状態（損傷程度） m.変形量 n.使用環境	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違
	4.5.2 せん断補強効果の確認 (1) 部材諸元，(2) 載荷方法，(3) せん断ひび割れ抑制効果の確認 女川２号炉でCCb により耐震補強を行った構造物の多くが，部材諸元（部材厚，せん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度）や載荷方法が建設技術審査証明報告書に記載の実験と異なっていても，せん断ひび割れを抑制し，せん断補強効果を期待できるかを数値解析により確認する。 数値解析の詳細については，添付資料２「女川２号炉にお	(2)せん断補強効果の確認 b.構造形式 建設技術審査証明報告書に構造形式の具体的な記載はないが，使用目的として，「地震時の変形量が限定される地中構造物など」という記載があることから地中に埋設されたボックスカルバート構造の構造物を想定していると考えられる。 先行サイトにおいても同様の考察を行っており，島根２号炉取水槽は先行サイトと同様の構造形式であることから，島根２号炉取水槽は PHb 工法が適用可能な構造形式であると考えられる。 d.部材諸元，i.載荷方法，k.せん断ひび割れ抑制効果 PHb による補強効果については，建設技術審査証明報告書の各種実験にて検証している。建設技術審査証明報告書では，実験を上回る部材厚については，理論式により求められる有効係数 β_{gw} を実験の部材厚で得られた値である 0.9 を上限として用いることで保守的な設計としている（第 13－3－10 図参照）。島根原子力発電所２号炉取水槽の部材厚は，実験で用いた部材と比べて大きいた	

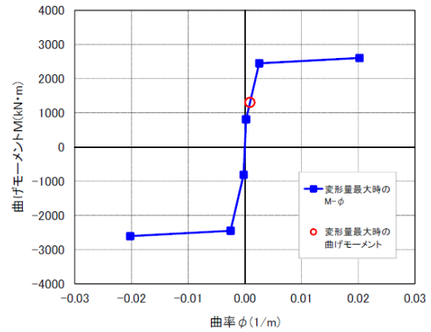
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	ける部材諸元他の適用性の検討」に示す。添付資料２に示すとおり，建設技術審査証明報告書の実験条件と異なる項目である(1)～(3)の項目においても，CCb 工法が適用可能であること及びせん断ひび割れ抑制効果があることを確認した。併せて，終局荷重時においても特異なひび割れや変形が発生しないことを確認した。 (4) ひび割れに対する定着機能の保持 女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れ（曲げひび割れ，面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びディープビームに生じる45 度を超える高角度のひび割れ）がCCb の定着体部やその周囲に生じても，定着機能が保持されることを確認する。 詳細は，添付資料３「女川２号炉におけるひび割れに対する定着機能保持の検討」に示す。添付資料３に示すとおり，女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れが，CCb の定着体部やその周囲に実験と性状が異なるひび割れとして生じても，定着機能が保持されていることを建設技術審査証明報告書の実験との対比から確認した。 なお，建設技術審査証明報告書の実験は，せん断耐力を確認するための実験であることから，曲げ降伏させないよう主鉄筋に高強度の鉄筋（SD490）を使用しており，せん断破壊時における主鉄筋のひずみは，第4.5-1 表に示すとおり，降伏ひずみ未満の2363μまで確認されている。これらを踏まえ，主鉄筋にSD345 を用いている女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物については，応答値として主鉄筋のひずみが降伏ひずみ（1725μ）未満又は応力が降伏強度（345N/mm2 ）未満であることを確認する。 確認例として，取水路（漸拡部）の評価結果（基準地震動Ss-D2 による照査結果(暫定値)）を示す。取水路（漸拡部）は，部材非線形解析（M-φモデル）により評価していることから，M-φ曲線の第２折れ点（主鉄筋の降伏に相当）以下であることを確認する。第4.5-1 図に示すとおり，応答値をM-φ曲線上にプロットするとM-φ曲線の第１折点（ひび割れ発生）付近であり，主鉄筋は降伏していないためCCb 工法が適用可能であることがわかる。	め，実験を上回る部材厚でも PHb の補強効果が期待でき適用性を有することを解析により補足する。また，部材諸元のうち，部材厚以外にもせん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度及び載荷方法が島根原子力発電所２号炉取水槽で建設技術証明報告書に記載の各種実験と異なっている。したがって，先行サイトと同様，せん断ひび割れ抑制効果の確認とともに，上記の項目についても島根原子力発電所２号炉の実際の構造物の設計荷重等と同じ条件でもせん断補強効果が期待できるかの確認を解析により補足する。 解析の詳細については，添付資料２「解析によるせん断補強効果の確認について」に記載する。添付資料２「解析によるせん断補強効果の確認について」にて記載したとおり，実験条件と異なる項目においてもせん断補強効果を確認する。また，弾性挙動内においても特異なひび割れや変形が発生しないことを確認する。 ・部材厚 項目 / 建設技術審査証明報告書（実証試験） / 先行原子力発電所における審査実績（美浜３号炉） / 先行原子力発電所における審査実績（東海第二） / 島根２号炉取水槽の PHb 適用部材※2 部材厚 / 500 ㎜ / 2,000 ㎜（海水ポンプ室底板） / 3,190 ㎜（取水ピット中頂板） 1,500 ㎜（左・右側壁） 1,200 ㎜（取水ピット底板，隔壁） 1,000 ㎜（上記以外の部材） / 1,200 ㎜（取水槽スクリーン室隔壁） 実験または解析により得られた有効係数βexp / 0.90 / 0.92 / 0.97 / 0.96 式※1により計算した有効係数βaw / 0.89 / 0.90（上限値） / 0.90（上限値） / 0.90（上限値） 【検証結果】 ・島根２号炉取水槽（スクリーン室）の PHb 適用部材について，その部材厚は実証実験（500 ㎜）～審査実績（3,190 ㎜）の範囲内に収まっている。 ・添付資料２の 3. ②及び 4. ③に示す材料非線形解析を用いた検証解析により，スクリーン室隔壁に対する PHb によるせん断補強効果を確認した。 以上より，島根２号炉取水槽（スクリーン室）の PHb 適用部材に対し，部材厚の観点について適用性を有すると判断した。 注記　※1 建設技術審査証明報告書における実証試験結果より設定された以下の設計式 $\beta_{aw}=1-l_y/\{2\cdot(d-d')\}$（ただし，$\beta_{aw}\leqq 0.9$） l_y：後施工せん断補強筋の埋込側に必要な定着長 d-d’：補強対象部材の圧縮-引張鉄筋の間隔（$d-d'\geqq l_y$） ※2 取水槽（スクリーン室）の各部材配置を以下に示す。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第4.5-1 表 梁試験体に生じた鉄筋ひずみ

項　目		備　考
鉄筋ひずみ	2363μ※	降伏ひずみ：2450μ（SD490）

※：コンクリートの引張応力を無視し，繊ひずみは断面の中立軸からの距離に比例するものとして算出した。



第4.5-1 図 取水路（漸拡部）のM-φ曲線（暫定値※）

※：工事計画認可段階で選定する解析手法等により，変更となる可能性がある。

（5）CCb を適用した部材のコンクリートの健全性

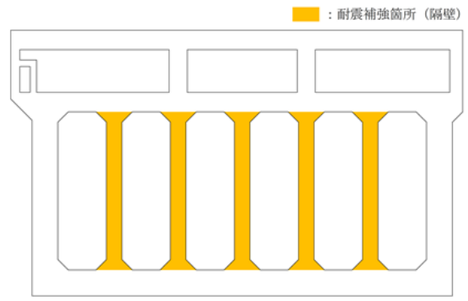
CCb 工法のせん断補強効果を発揮するためには，コンクリートが健全である必要があることから，ひび割れ状況及び圧縮強度試験によりコンクリートの健全性を確認する。

詳細については，添付資料４「女川２号炉におけるコンクリートの健全性の検討」に示す。添付資料４に示すとおり，地震後（東北地方太平洋沖地震（2011 年3 月11 日）及び宮城県沖の地震（2011 年4 月7 日））のひび割れ状況及び構造物から採取したコンクリートコアの圧縮強度試験結果から，CCb により耐震補強を行った構造物の既設コンクリートの状態が，CCb のせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認した。

（6）PHb 工法（美浜３号炉）との差異

第4.4-6 表に示すとおり，CCb 工法ではディープビームを対象とした性能確認試験を行っていないこと，及び女川２号炉では面内荷重を面外荷重が同時に作用する部材も対象としていることから，これらの適用性について確認する。

詳細については，添付資料５「ディープビーム的な破壊に



・せん断スパン比※1

項目	建設技術審査証明報告書（実証試験）	先行原子力発電所における審査実績（美浜３号炉）	先行原子力発電所における審査実績（東海第二）	島根２号炉取水槽の PHb 適用部材
せん断スパン比	1.19～2.79	1.92	2.15	11.40※2

【検証結果】
・島根２号炉取水槽（スクリーン室）の PHb 適用部材のせん断スパン比は，実証試験における試験体のせん断スパン比（1.19～2.79）及び先行原子力発電所の審査実績のせん断スパン比（1.92～2.15）の範囲に収まっていないため，添付資料２の４．③に示す材料非線形解析を用いた検証解析により，せん断補強効果を確認した。

以上より，島根２号炉取水槽（スクリーン室）の PHb 適用部材に対し，せん断スパン比の観点について適用性を有すると判断した。

※1　せん断スパン比＝ａ／ｄ（ａ：せん断スパン，ｄ：部材の有効高さ）
※2　取水槽スクリーン室隔壁のせん断スパンａ＝12.2m（隔壁の全長），部材の有効高さｄ＝1.07m から，せん断スパン比＝ａ／ｄ＝11.40

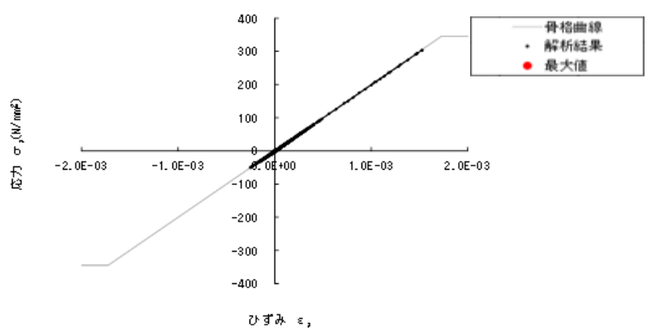
・主鉄筋比

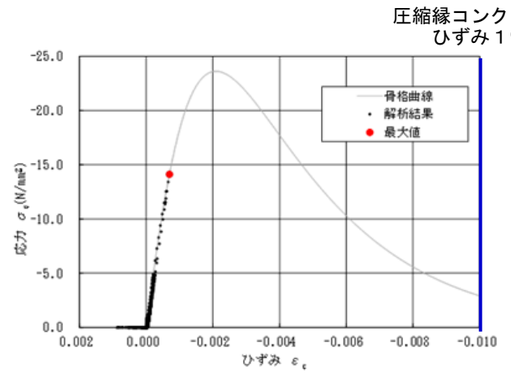
項目	建設技術審査証明報告書（実証試験）	先行原子力発電所における審査実績（美浜３号炉）	先行原子力発電所における審査実績（東海第二）	島根２号炉取水槽の PHb 適用部材
主鉄筋比	1.48	0.47	0.46	0.85

【検証結果】
・島根２号炉取水槽（スクリーン室）の PHb 適用部材の最大の主鉄筋比は，先行原子力発電所における審査実績（0.47，0.46）と比較して大きいが，実証試験（1.48）と比較して主鉄筋比が十分に小さいため，PHb の定着性能に影響を与えるような付着割裂破壊は生じないと推察される。

以上より，島根２号炉取水槽（スクリーン室）の PHb 適用部材に対し，主鉄筋比の観点について適用性を有すると判断した。

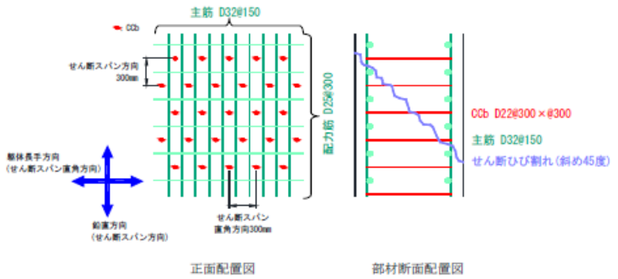
備考
・工法の相違
【女川 2】
工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	対するCCb 工法の適用性の検討」及び添付資料６「面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性の検討」に示す。 添付資料５に示す，ディープビーム的な破壊形態が想定される部材への適用性については，「応力の負担機構」，「設計における保守性」及び「ひび割れの影響」の観点から整理を行い，女川２号炉においてCCb を用いる部材については棒部材式を用いてせん断力に対する評価を行うことに加え，せん断耐力と設計せん断力に対する比（以下，照査値という。）を0.8 程度に抑える設計上の配慮を行うこと，及びディープビーム的な破壊形態において発生する可能性のある高角度のひび割れについても実験によりCCb の補強効果が発揮されることが確認されていることから問題ない。 しかしながら，適用性確認に用いた数値解析には，解析の不確かさが含まれていることから，ディープビームを対象とした実験を行い，実験から得られたせん断耐力が棒部材式により算定されるせん断耐力よりも大きいことを確認すると共に，CCb を用いた場合のディープビーム式による評価の可能性について確認する。なお，実験結果については工事計画認可申請段階で示す。 また，添付資料６に示す，面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性については，「設計の考え方」及び「ひび割れの影響」の観点から整理を行い，面内荷重及び面外荷重に対する設計上の負担する荷重の観点及び面内荷重により発生するひび割れは，建設技術審査証明報告書の実験で同等のひび割れが生じても，せん断補強効果を確認していることが確認されていることから問題はない。なお，面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性については，数値解析（静的材料非線形解析）を実施し適用性に問題がないことを確認することとし，解析及び評価結果は工事計画認可申請段階で示す。	・コンクリート強度 | 項目 | 建設技術審査証明報告書（実証試験） | 先行原子力発電所における審査実績（美浜３号炉） | 先行原子力発電所における審査実績（東海第二） | 島根２号炉取水槽の PHb 適用部材 | | --- | --- | --- | --- | --- | | コンクリート強度 | 32.0～38.3（圧縮強度） | 23.5（設計基準強度） | 20.6（設計基準強度） | 23.5（設計基準強度） | 【検証結果】 ・島根２号炉取水槽（スクリーン室）におけるコンクリート設計基準強度は 23.5N/㎟ であり，先行原子力発電所における審査実績（20.6，23.5）と同等の値となっている。 ・設計基準強度 23.5 N/㎟ の鉄筋コンクリートに対する PHb のせん断補強効果については，添付資料２の 4.③に示す材料非線形解析を用いた検証解析により，その有効性を確認した。 以上より，島根２号炉取水槽（スクリーン室）の PHb 適用部材に対し，コンクリート設計基準強度の観点について適用性を有すると判断した。 1.応力状態（損傷状態） 部材の応力状態について，鉄筋コンクリートが健全であることを主鉄筋の引張応力－引張ひずみ関係の骨格曲線と解析結果により確認する。第 13－4－4 図に，取水槽（スクリーン室）隔壁における評価結果のうち,PHb 適用部材の照査値が最も厳しくなる基準地震動Ｓｓ-Ｎ１の損傷程度を示す。隔壁において，主鉄筋の引張応力度の最大値は鉄筋の降伏強度を下回ることから，コンクリートに顕著なひび割れは発生せず，健全であるといえる。なお，取水槽の圧縮縁コンクリートひずみは１％を大きく下回る 0.07%程度であり，かぶりコンクリートに顕著なひび割れは発生せず，健全であることを確認した。また，添付資料２「解析によるせん断補強効果の確認について」で確認したとおり，材料非線形解析における弾性範囲内の挙動においても，在来工法である先施工せん断補強と比べて特異なひび割れや変形は発生していないことを確認した。  第 13－4－4 図　取水槽の損傷図（1／2） （主鉄筋の引張応力－引張ひずみ関係の骨格曲線と解析結果）	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

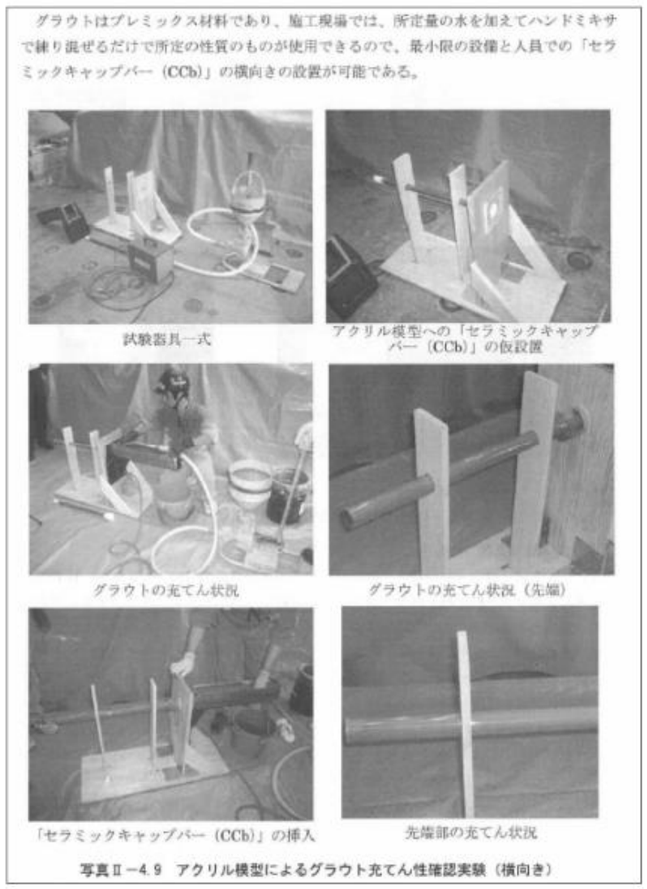
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 13－4－4 図　取水槽の損傷図（2／2） （コンクリートの圧縮応力－圧縮ひずみ関係の骨格曲線と解析結果） m.変形量 変形量については，先行サイトと同様，取水槽の変形量が適用確認実験の変形量を超えないことを確認する。適用確認実験における層間変形角は 0.4%程度以上であるが,取水槽においては最大でも層間変形角 0.42%であり，適用確認実験の最小変形量程度であることを確認した。なお，適用実験における層間変形角は，実験において発生している変位量及びせん断スパン比から算出した。 n.使用環境 島根原子力発電所２号炉の屋外重要土木構造物における PHb 工法による耐震補強では，先行サイトと同様，気中及び水中の部材に対して PHb 工法を適用する。PHb そのものはすべて構造物内に埋設され，かぶり部分によって腐食に対する抵抗性が確保される。また，「4.6　施工実績・研究事例等の確認」に記載のとおり，気中及び水中で数多くの施工実績があることが確認できている。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

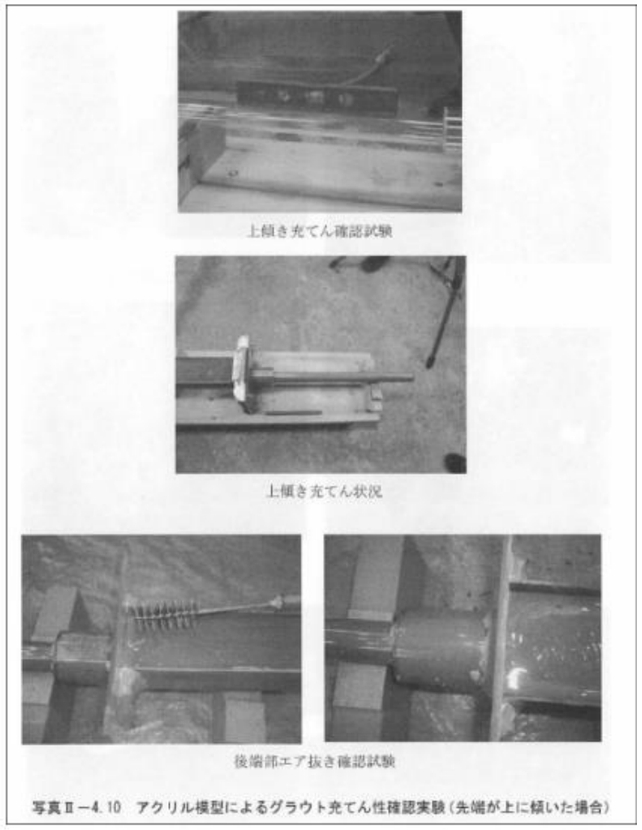
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認 CCb 工法によるせん断補強においては，施工精度の低下により計画どおり施工できなかった場合，期待するせん断補強効果に影響を及ぼす可能性がある。そのため，施工精度に影響を与える項目を抽出し，施工精度の低下やせん断補強効果に大きな影響を与えないことを確認する。以下に，抽出した項目を示す。 ① 削孔方法 ② 削孔角度 ③ 削孔位置 ④ グラウトの充てん性 4.6.1 削孔方法 CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが，その削孔方法としてはレッグハンマードリル又はコンクリートコアドリルの使用が主となっている。コンクリートコアドリルは設置面に強固に固定でき，掘削方向と掘削深さを精度良く確保することが容易であることから，原子力発電所施設では主にコンクリートコアドリルでの削孔を採用している。 また，削孔時に既存鉄筋の切断を回避するため，既存鉄筋干渉時にコンクリートコアドリルの回転を停止させる鉄筋センサーの使用を標準装備としている（第4.6-1 図参照）。 なお，削孔においては第4.6-1 表のとおり，施工精度を確保するために管理基準を設けている。 第4.6-1 表 削孔に関する品質管理基準 <table><tr><th>管理項目</th><th>管理内容</th><th>規格値</th><th>管理頻度</th></tr><tr><td>一般部の削孔長</td><td>メジャーによる計測</td><td>0mm≦設計値≦20mm かつ，削孔先端から埋込側表面までの厚さ50mm 以上</td><td rowspan="2">全数</td></tr><tr><td>一般部の削孔径 拡幅部の削孔長及び削孔径</td><td>セラミックキャップバー（CCb）による計測</td><td>CCb が完全に挿入できること</td></tr></table> 4.6.2 削孔角度 CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが，削孔角度に誤差が生じた場合，CCb のせん断補強効果に影響が及ぶ可能性がある。そのためコンクリートコアドリルを専用架台に設置し，ドリルの鉛直方向，水平方向が削孔面に対して垂直と		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4 条-別紙 16-80なるよう水平器，金尺等で確認し削孔することにより，削孔角度のばらつきが生じる可能性を低減させる。 　また，「建設技術審査証明報告書 技術名称 あと施工型せん断補強用無機系モルタルカプセル及びせん断補強筋「RMA」（建技審証第1203 号）」ではコンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験を実施している（第4.6-2 図参照）。コンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験では，幅1200㎜×高さ600㎜×長さ1200㎜ のコンクリートブロック４体を削孔し，削孔位置のずれを確認している。コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果を，第4.6-2 表に示す。女川2 号炉のCCb により耐震補強を行った構造物のうち，最大部材厚は1500㎜ である。削孔角度誤差を換算すると，長さ1200㎜，2400㎜ は0.72°，長さ3600㎜ で0.66°となり，コアドリルによる長尺削孔は十分精度があることが示されている。 第4.6-1 図 削孔状況 第4.6-2 図 試験概要図 第4.6-2 表 コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.6.3 削孔位置 CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが，部材内部に障害物があり計画位置で削孔できずCCb を計画どおり配置できない可能性がある。その場合は，付近を再削孔しCCb を挿入することで設計上必要な鉄筋量を確保する。再削孔しCCbを配置する際は，4.4 に示す記載事項を満足するものとする。なお，第4.6-3 図に示すせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図のとおり，再削孔する際は削孔計画位置（赤丸）から位置をずらし，せん断補強効果に影響のない位置に削孔することが可能である。再削孔の際，新たに別の鉄筋に干渉してしまう可能性があることから，孔を隣接させて削孔することが可能なコンクリートコアドリルを使用し，再削孔時の精度向上を図る。 以上より，削孔位置に変更が生じても必要鉄筋量を確保できるためせん断補強効果に影響を及ぼさない。  第4.6-3 図 取水路（漸拡部）のせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図 4.6.4 グラウトの充てん性 グラウトの充てん性については，グラウト充てん性確認実験により，削孔内に設置したCCb の先端定着部までグラウトが密実に充てんされ，CCb とコンクリート躯体が一体となっていることを確認している。以下に，建設技術審査証明報告書に記載されているグラウト充てん性確認実験の内容を示す。 グラウト充てん性確認実験は，①先充てん工法（横向き），②先充てん工法（下向き），③先充てん工法（上向き），④後充てん工法（上向き）にて実施されている（第4.6-4 図参照）。 なお，グラウト充てんでは残留エアが施工品質に影響を与		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	えることから，高流動グラウトを使用する横向き施工においては，残留エアの有無をかき出しにより確認しており，残留エアが無いことを全数確認している。 ① 先充てん工法（横向き） 先充てん工法（横向き）の場合、コンクリート躯体面に養生用治具を止水剤、接着剤等で設置し、グラウト貯留槽を真空ポンプと吸盤で固定する。そして、グラウトポンプを用いて、掘削孔の先端からエアを追出すようにグラウトを充てんし、削孔部分およびグラウト貯留槽部分にグラウトを満たす。その状態で「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入することにより、エア抜きホースを残置すること無く、「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入およびその周囲へのグラウトの充てんを行う。 **写真Ⅱ－4.9～写真Ⅱ－4.11** に示すように、グラウトが充てんされた削孔内に「セラミックキャップバー（CCb）」を抵抗無く挿入でき、エア抜きホースを残置することなく、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんできることを、アクリル模型および RC 部材を用いた施工試験により確認した。また、実際の施工では、ほぼ水平となるように削孔することが可能であるが、アクリル模型の先端を 2°以上、上に傾けた状態でのグラウトの充てん確認試験を実施し、孔内後端部の上部の角部にエアが残留した場合でも、エア抜き工具を用いて残留エアの有無の確認と除去が可能であることを確認している（**写真Ⅱ－4.10**）。 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（1/10）		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（2/10）		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 上傾き充てん確認試験 上傾き充てん状況 後端部エア抜き確認試験 写真Ⅱ－4.10　アクリル模型によるグラウト充てん性確認実験（先端が上に傾いた場合） 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（3/10）		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（4/10）		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



ハンチ部の施工や，支障物が近傍にあるために，グラウト貯留槽が使用できない箇所は，表Ⅱ－1.4に示す可塑性グラウトを用いて作業を行うことにより，グラウト貯留槽を用いた時と同様の充てん性能を有していることをアクリル模型の施工試験で確認している。

グラウトポンプを用いて，頭削孔の先端からエアを追出すようにグラウトを充てんする。その後に「セラミックキャップバー（CCb）」をゆっくり挿入することにより，エア抜きホースを残置することなく，「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入およびその周囲へのグラウトの充てんを行う。

グラウトは，セメントに所定の水を加えてハンドミキサで練り混ぜ，その後に所定の可塑剤を添加して再度練り混ぜて使用する。

写真Ⅱ－4.12　アクリル模型による可塑性グラウト充てん性確認試験（横向き）

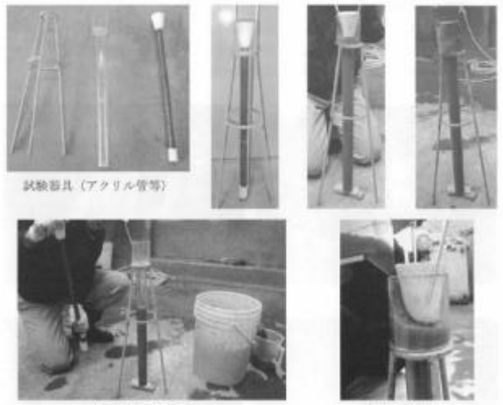
表Ⅱ－1.4　可塑性グラウトの性能

セメント比（%）	練混率（%）	テーブルフロー値（mm）	ブリーディング率（%）	膨張収縮率（%）	圧縮強度（N/mm²）		
					3日	7日	28日
33.0～39.0	0.28%～0.32%	（静止） 105mm～120mm （15回打撃） 190mm～200mm	0.0	0.12%～0.18%	35.9	45.3	56.4

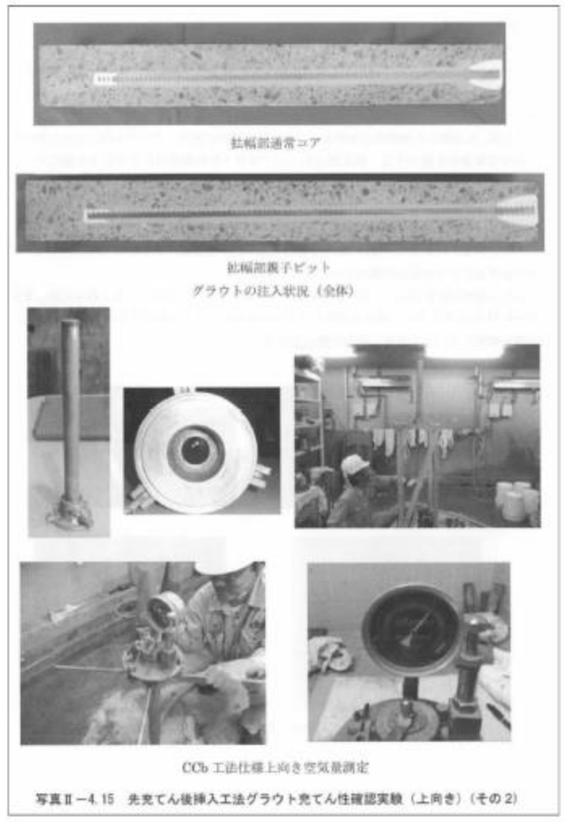
圧縮強度は現場封緘養生による結果である。

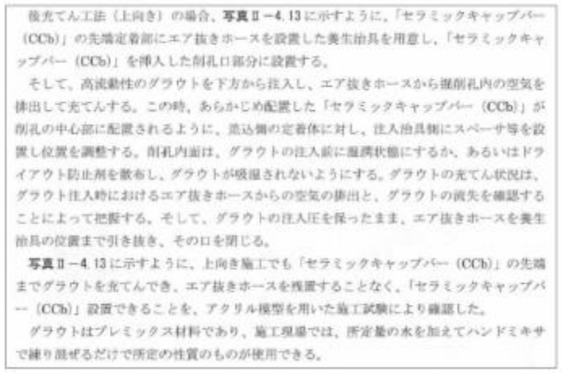
第4.6-4 図　グラウトの充てん性確認実験
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（5/10）

・資料構成の相違
【女川 2】
島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>
② 先充てん工法（下向き）
先充てん工法（下向き）の場合、削孔内にグラウトを充てんし、「セラミックキャップバー（CCb）」を上方から差し込むだけで配置を完了する。削孔内面は、グラウトを充てんする前に湿潤状態にするか、あるいはドライアウト防止剤を散布し、グラウトが吸湿されないようにする。
写真Ⅱ－4.8 に示すように、グラウトが表Ⅱ－1.2 に示すものであれば、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんすることを、アクリル模型を用いた施工試験により確認した。
グラウトはプレミックス材料であり、施工現場では、所定量の水を加えてハンドミキサで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できる。
表Ⅱ－1.3　グラウトの性能
<table>
<tr><th rowspan="2">水セメント比（%）</th><th rowspan="2">JAロート流下時間（秒）</th><th rowspan="2">ブリーディング率（%）</th><th rowspan="2">膨張収縮率（%）</th><th colspan="4">圧縮強度(N/mm²)</th></tr>
<tr><th>1日</th><th>3日</th><th>7日</th><th>28日</th></tr>
<tr><td>33.0～39.0</td><td>15～30</td><td>0.0</td><td>0.14～0.23</td><td>22.2</td><td>38.6</td><td>58.3</td><td>65.3</td></tr>
</table>
圧縮強度は現場封緘養生による結果である。

試験器具（アクリル管等）
グラウトの充てん
拡幅部充てん
写真Ⅱ－4.8　グラウト充てん性確認実験（下向き）
第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（6/10）
</td><td></td><td>・資料構成の相違
【女川 2】
島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	③ 先充てん工法（上向き）  先充てん工法（上向き）の場合、可塑性グラウトを削孔内にグラウトを充てんし、「セラミックキャップバー（CCb）」を下方から差込むだけで配置を完了する。 **写真Ⅱ－4.14、写真Ⅱ－4.15** に示すように、可塑性グラウトであればグラウトで充てんされた削孔内に、「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入でき、エア抜きホースを残置すること無く、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんできることを、アクリル模型および RC 部材を用いた施工試験、専用エアメータを用いた上向き充てん試験により確認した。 グラウトは、セメントに所定の水を加えてハンドミキサで練り混ぜ、その後に所定の可塑剤を添加して再度練り混ぜて使用できる。 グラウトの充てん 「セラミックキャップバー（CCb）」の設置 グラウトの充てん 「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入 写真Ⅱ－4.14　先充てん後挿入工法グラウト充てん性確認実験（上向き）（その1） 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（7/10）		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 拡幅部通常コア 拡幅部親子ビット グラウトの注入状況（全体） CCb 工法仕様上向き空気量測定 写真Ⅱ－4.15　先充てん後挿入工法グラウト充てん性確認実験（上向き）（その 2） 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（8/10）		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	④ 後充てん工法（上向き）  後充てん工法（上向き）の場合，**写真Ⅱ－4.13** に示すように，「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部にエア抜きホースを設置した養生治具を用意し，「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入した削孔口部分に設置する。 そして，高流動性のグラウトを下方から注入し，エア抜きホースから掘削孔内の空気を排出して充てんする。この時，あらかじめ配置した「セラミックキャップバー（CCb）」が削孔の中心部に配置されるように，逸込備の定着体に対し，注入治具側にスペーサ等を設置し位置を調整する。削孔内面は，グラウトの注入前に湿潤状態にするか，あるいはドライアウト防止剤を散布し，グラウトが吸湿されないようにする。グラウトの充てん状況は，グラウト注入時におけるエア抜きホースからの空気の排出と，グラウトの流失を確認することによって把握する。そして，グラウトの注入圧を保ったまま，エア抜きホースを養生治具の位置まで引き抜き，その口を閉じる。 **写真Ⅱ－4.13** に示すように，上向き施工でも「セラミックキャップバー（CCb）」の先端までグラウトを充てんでき，エア抜きホースを残置することなく，「セラミックキャップバー（CCb）」設置できることを，アクリル模型を用いた施工試験により確認した。 グラウトはプレミックス材料であり，施工現場では，所定量の水を加えてハンドミキサで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できる。 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（9/10）		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 写真Ⅱ－4.13　グラウト充てん性確認実験（上向き） 第4.6-4 図 グラウトの充てん性確認実験 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（10/10） 4.6.1～4.6.4 に示すとおり，施工上の配慮により，せん断補強効果に大きな影響を及ぼすような施工精度の低下が生じる可能性は低いことが確認できる。 しかし，現時点では後施工による施工精度に対して，施工実績に基づく十分な統計がとれていないため，施工精度の低下による影響が生じる可能性を否定することはできない。 以上を踏まえて，適切な施工管理を実施してもなお発生しうる施工精度の低下への設計上の配慮として，耐震評価上の裕度（例えば照査値を８割程度に抑える）を持たせた設計を行うこととする。		・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は「4.7 PHb の施工上の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認 CCb の施工実績及び後施工せん断補強に関する研究事例を踏まえ，CCb 工法及び施工への反映事項を確認する。 4.7.1 施工実績の整理 CCb の施工実績は，第4.7-1 表に示すように2017 年9 月30 日までに，道路・地下街，浄化センター，浄水場，水門，排水機場，排水路，発電所・プラントなど，施工中案件を含め174 件の工事に適用され，37.6 万本以上が施工されている。 第4.7-1 表 CCbの施工実績（2017 年9 月30 日現在） <table><tr><th colspan="2">対象施設</th><th>施工件数</th></tr><tr><td>道路・地下街</td><td>道路橋他</td><td rowspan="10"></td></tr><tr><td>浄化センター</td><td>最終沈澱池，ポンプ室他</td></tr><tr><td>浄水場</td><td>配水池他</td></tr><tr><td>水門</td><td>防潮水門他</td></tr><tr><td>排水機場</td><td>排水機場他</td></tr><tr><td>排水路</td><td>地下排水路</td></tr><tr><td>発電所・プラント</td><td>貯水池・水路他</td></tr><tr><td>ダム</td><td>ダム</td></tr><tr><td>空港</td><td>空港</td></tr><tr><td>護岸</td><td>防潮堤他</td></tr><tr><td>桟橋</td><td>桟橋</td></tr></table> 施工中案件を含む　合計：174 件　376,000 本以上 CCb の施工実績を部材厚，鉄筋径及び使用環境毎に整理する。部材厚毎に整理した結果を第4.7-2 表に，鉄筋径毎に整理した結果を第4.7-3 表に，使用環境（気中又は水中）毎に整理した結果を第4.7-4 表に示す。なお，カウントする際は，１件の工事のうち複数にまたがって該当する場合には，各項目でそれぞれカウントしている（例：同一工事内でD13，D16，D19 の鉄筋を用いている場合はD13，D16，D19 の全てにカウント）。	4.6　施工実績・研究事例等の確認 (1)施工実績の整理 PHb の施工実績としては，2018 年 4 月 1 日までに，道路，浄化センター，ポンプ場，鉄道，浄水場，水門，配水路，発電所・プラントなど施工中案件を含めて 711 件の工事に適用され，119.2 万本以上が施工されている（第 13－4－4 表参照）。 第 13－4－4 表　PHb の施工実績 PHb の施工実績を部材厚，鉄筋径ごとに整理する。部材厚ごとに整理した結果を第 13－4－5 表に，鉄筋径ごとに整理した結果を第 13－4－6 表に，使用環境ごとに整理した表を第 13－4－7 表に示す。なお，カウントする際は，１件の工事のうち複数にまたがって該当する場合には，各項目でそれぞれカウントしている（例　同一工事内で D13～D22 の鉄筋を用いている場合は D13，16，19，22 の全てにカウント）。水中における施工実績のうち，鹿島共同発電所の取水路においては，海水通水部における実績として挙げられる。今回島根原子力発電所２号炉の構造物に採用する項目についてハッチングしている。表に示すとおり，十分に実績のある範囲にあることが確認できる。 また，島根原子力発電所２号炉建設時期以前に施工された構造物に対しての施工実績があることを確認している。先にも述べたとおり，後施工せん断補強鉄筋工法は，1980 年以前の土木学会コ	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

ンクリート標準示方書に従って設計された構造物に対してせん断補強を行うことを想定した工法である。

なお，島根原子力発電所２号炉については高経年化技術評価を行い，健全性を確認している。

第4.7-2 表 CCb の施工実績（部材厚）(1/4)※

部材厚(mm)	件数
～500	78
501～1000	126
1001～1500	77
1501～2000	39
2001～3000	10
3001～	7

第4.7-2 表 CCb の施工実績（部材厚）※
（上記実績のうち横向き施工）(2/4)

部材厚(mm)	件数
～500	53
501～1000	87
1001～1500	47
1501～2000	17
2001～3000	5
3001～	2

第4.7-2 表 CCb の施工実績（部材厚）※
（上記実績のうち下向き施工）(3/4)

部材厚(mm)	件数
～500	35
501～1000	61
1001～1500	48
1501～2000	29
2001～3000	6
3001～	5

第 13－4－5 表　PHb の施工実績（部材厚）(1／2)

部材厚（mm）	件数
～500	249
501～1000	504
1001～1500	352
1501～2000	212
2001～	170

第 13－4－5 表　PHb の施工実績（部材厚）
（上記実績のうち横向き施工）(2／2)

部材厚（mm）	件数
～500	191
501～1000	335
1001～1500	197
1501～2000	118
2001～	118

・工法の相違
【女川 2】
工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第4.7-2 表 CCb の施工実績（部材厚）※

（上記実績のうち上向き施工）(4/4)

部材厚(mm)	件数
～500	6
501～1000	22
1001～1500	14
1501～2000	0
2001～3000	0
3001～	0

※：ハッチング箇所は，女川２号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

第4.7-3 表 CCb の施工実績（鉄筋の種類）※

補強鉄筋の種類		件数
SD345	D13	42
	D16	71
	D19	82
	D22	80
	D25	61
	D29	30
	D32	33

※：ハッチング箇所は，女川２号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

第4.7-4 表 CCb の施工実績（使用環境）※

第 4.7-4 表　CCb の施工実績（使用環境）※

施工場所	件 数
気中	12
水中	162

※：ハッチング箇所は，女川２号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

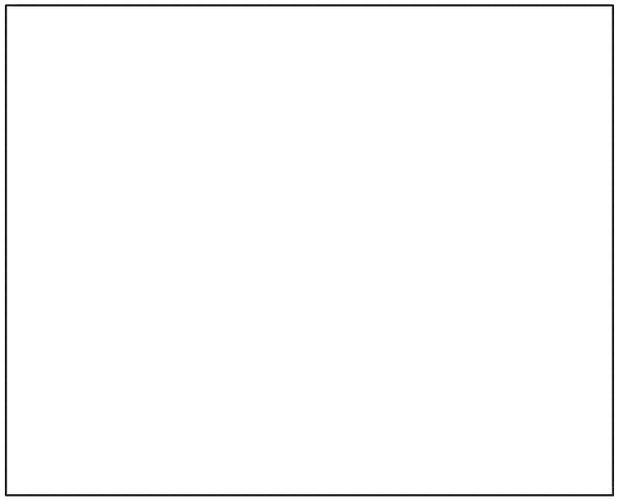
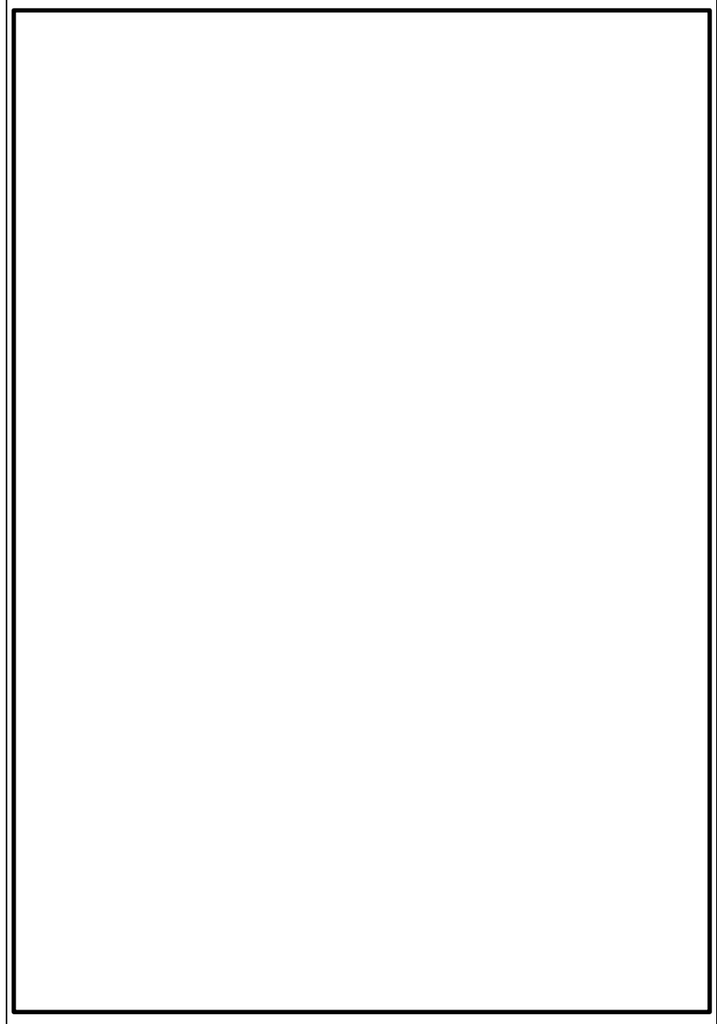
第 13－4－6 表　PHb の施工実績（鉄筋の種類）

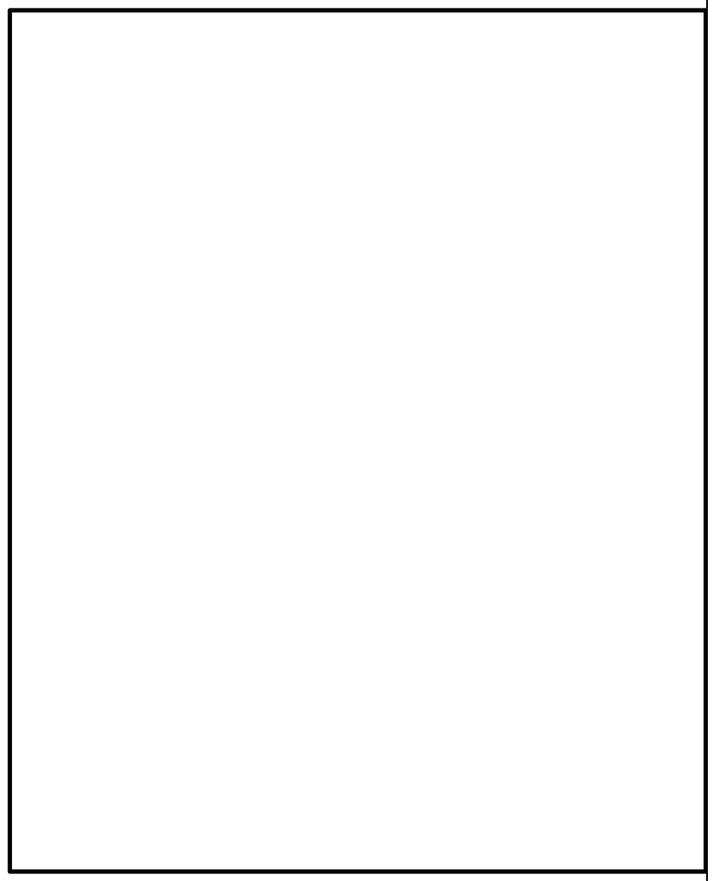
補強鉄筋の種類		件数
SD345	D13	199
	D16	419
	D19	334
	D22	366
	D25	222
	D29	166
	D32	123

第 13－4－7 表 PHb の施工実績（使用環境）

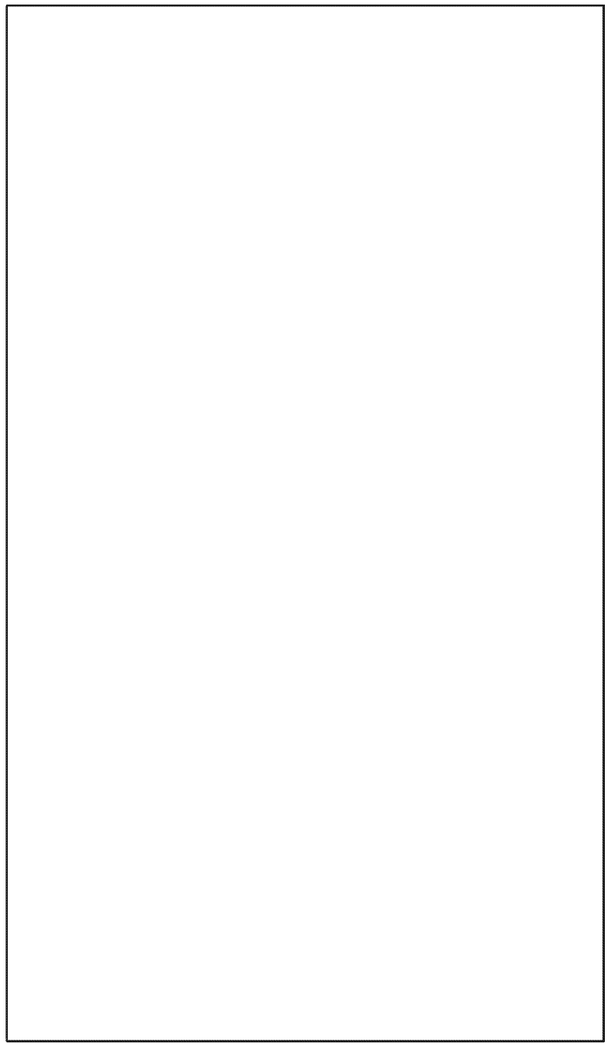
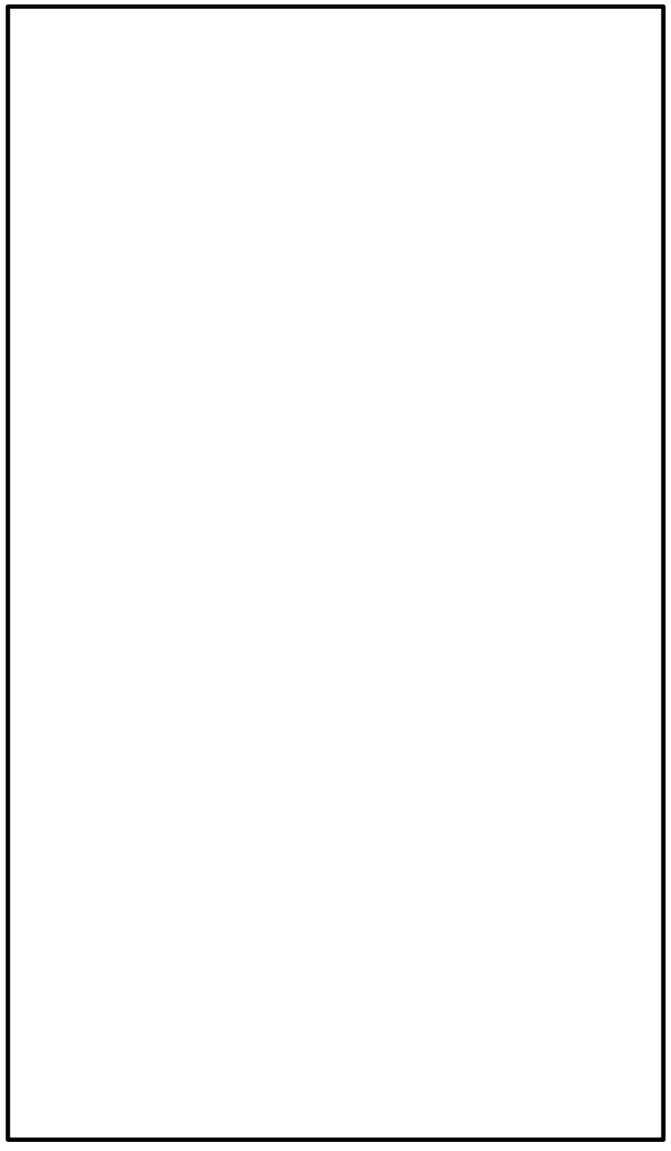
施工場所	件数
気中	48
水中	694

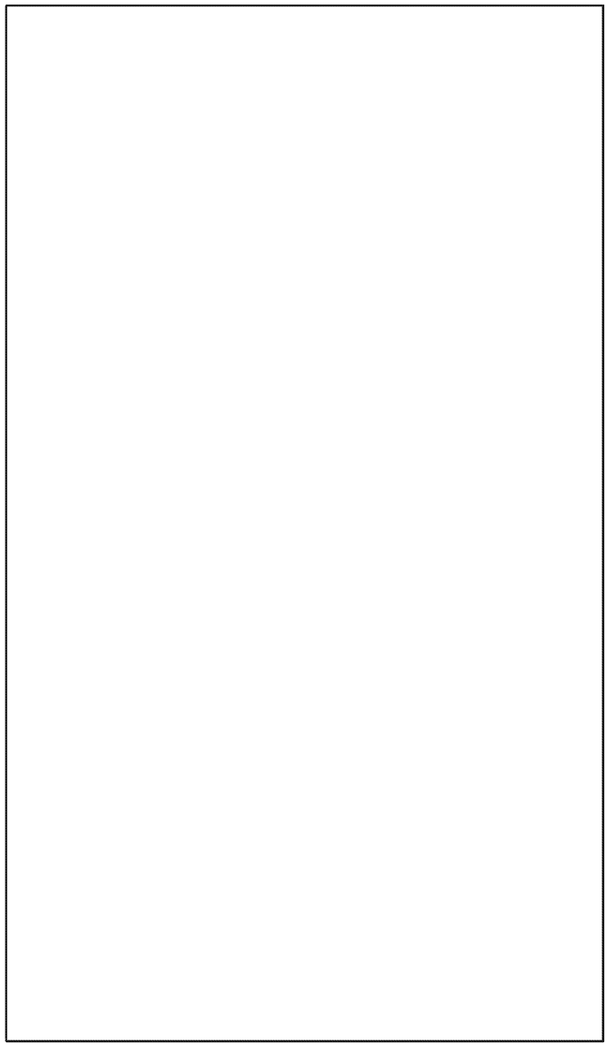
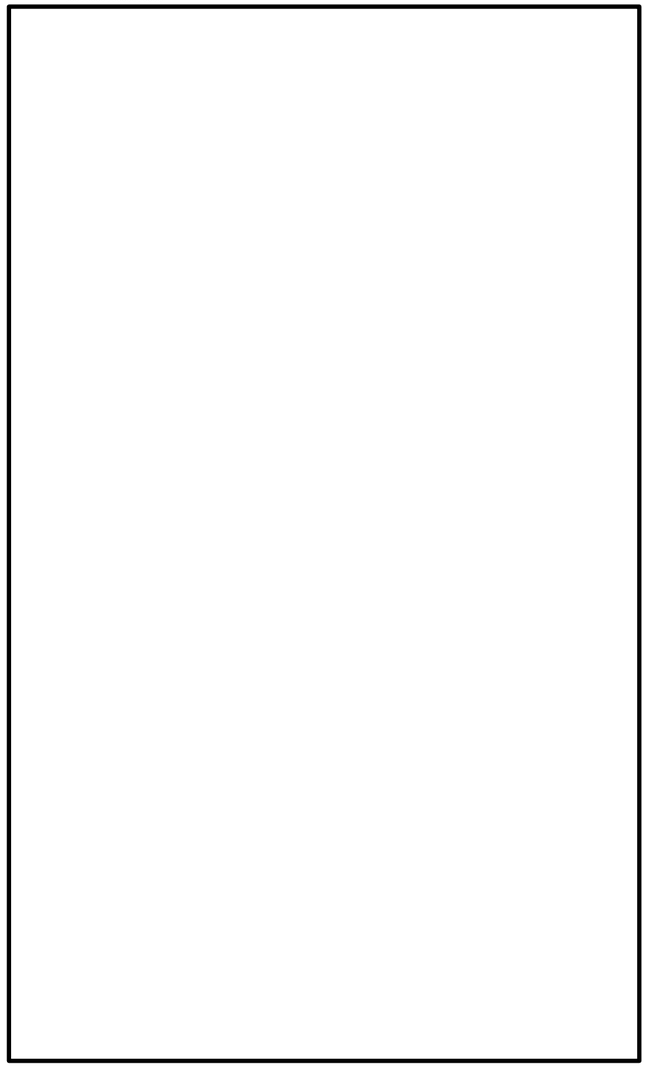
・工法の相違
【女川 2】
工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.7.2 過去の地震の経験事例 CCb により耐震補強を行った構造物は，過去に多くの地震を受けている（第4.7-5 表）。その中には，震度５強の地震を受けた事例もあり，CCb 工法研究会に確認したところ，いずれの地点においても，現時点では被害・不具合が発生したという報告はない。 第4.7-5 表 震度４以上の地震を受けた構造物 	(2)　過去の地震の経験事例 PHb 施工実績のうち，東北地方太平洋沖地震及び熊本地震において，震度５強以上が観測された地域にある，地震発生前に施工された実績若しくは施工中であった実績を抽出した。 東北地方太平洋沖地震及び熊本地震において K-NET または KIK-NET で観測された加速度及び PHb を施工した箇所の位置関係を第 13－4－5 図及び第 13－4－6 図に示す。東北地方太平洋沖地震においては，最大震度６強，熊本地震においては，最大震度６弱の地震を受けた事例があることを確認した。PHb 工法研究会に確認したところ，いずれの地点においても，現時点では，被害・不具合が発生したという報告はない。  第 13－4－5 図　東北地方太平洋沖地震の強震域にある施工実績	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 13－4－6 図　熊本地震の強震域にある施工実績	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.7.3 レベル２地震動を対象とした設計事例 広島空港直下を通る用倉トンネルにおいて，レベル２地震動を対象として耐震補強に鉄筋差込工法（後施工せん断補強鉄筋工法RMA 工法）を適用したせん断補強事例が報告されている※。本事例においては，広島空港が大都市拠点空港として空港輸送上重要な空港に位置づけられたため，耐震性能照査を行った結果，せん断耐力が不足していることが判明したことによる。用倉トンネルは現場打ちのアーチカルバートの上に20m 弱の盛土をおこなった構造物である。構造形式等の詳細については，4.7.5④に記載する。 ※：参考文献 後施工型せん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について（岡崎大宜） 4.7.4 後施工せん断補強工法の比較 CCb 工法以外にも土木研究センターにおいては，類似する後施工せん断補強工法の建設技術審査証明が実施されている。後施工せん断補強工法の比較結果を，第4.7-6 表に示す。工法に差異はあるものの，コンクリート部分に付着を期待してせん断耐力の向上を期待する点は共通している。また，せん断耐力の算出方法については，工法により多少の差異は存在するものの，おおむねトラス理論を基にせん断耐力の算出を行っている。	(3) レベル２地震動を対象とした設計事例 広島空港直下を通る用倉トンネルにおいて，レベル２地震動を対象として耐震補強に鉄筋差込工法（後施工せん断補強鉄筋工法RMA 工法）を適用したせん断補強事例が報告されている※。本事例においては，広島空港が大都市拠点空港として空港輸送上重要な空港に位置づけられたため，耐震性能照査を行った結果，せん断耐力が不足していることが判明したものによる。用倉トンネルは現場打ちのアーチカルバートの上に 20m 弱の盛土をおこなった構造物である。構造形式等の詳細については，「(5)後施工せん断補強鉄筋に関する研究事例」に記載する。 ※参考文献 岡崎大宜：後施工型せん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について (4)後施工せん断補強鉄筋工法の比較 PHb 工法以外にも土木研究センターにおいては,類似する後施工せん断補強鉄筋工法の建設技術審査証明が実施されている。後施工せん断補強鉄筋工法の比較結果を第 13－4－8 表に示す。工法に差異はあるものの，コンクリート部分に付着を期待してせん断耐力の向上を期待する点は共通している。また，せん断耐力の算出方法については，工法により多少の差異は存在するもののおおむねトラス理論を基にせん断耐力の算出を行っている。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第4.7-6 表 後施工せん断補強工法の比較（1/2）  ※土木研究センター 建設技術審査証明関係資料に基づき作成	第 13－4－8 表　後施工せん断補強鉄筋工法の比較（1／2）  ※土木研究センター　建設技術審査証明関係資料に基づき作成	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第4.7-6 表 後施工せん断補強工法の比較（2/2）  ※土木研究センター建設技術審査証明関係資料に基づき作成	第 13－4－8 表　後施工せん断補強鉄筋工法の比較（2／2）  ※土木研究センター　建設技術審査証明関係資料に基づき作成	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.7.5 後施工せん断補強筋に関する研究事例 後施工せん断補強工法に関する研究事例や施工実績に関する文献から着目すべき事項を整理し，女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項を確認する。 ① コンクリート構造物の後施工せん断補強技術 ◆ 文献の要旨 既存のコンクリート構造物の耐震補強技術のうち，カルバートや地下貯水槽の壁（地下壁構造）に用いられるせん断補強（後施工せん断補強）技術について述べられたものである。 ◆ 着目すべき事項 ・ 後施工せん断補強筋の定着性能の確認試験として，鉄筋の引抜き試験が例示されている。 ・ 標準フックのせん断補強筋（先施工）が負担できるせん断力に対する後施工せん断補強筋が負担できるせん断力の割合である有効係数を用いて評価する手法が例示されている。 ・ 後施工せん断補強効果の確認試験として，梁試験体の正負交番載荷試験が例示されている。 ・ 「マルチプルナット」，「セラミックキャップバー（CCb）」，「Post－Head－bar（PHb）」の建設技術審査証明報告書を参考文献としている。 ◆女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ 後施工せん断補強技術が地下壁構造に対して効果的であることを確認した。 ・ CCb 工法の建設技術審査証明報告書には，本文献と同様の引抜き試験，梁試験体の正負交番載荷試験が実施され，それら試験結果に基づいた有効係数による評価手法が明記されていることを確認した。	(5)後施工せん断補強鉄筋に関する研究事例 後施工せん断補強鉄筋に関する施工実績・研究事例について，目的，試験体諸元等を整理し，島根原子力発電所２号炉への適用において考慮・反映すべき事項を検討する。 ①コンクリート構造物の後（あと）施工せん断補強技術 ・目的 挿入された鉄筋やグラウトが既存のコンクリートと一体化し，挿入鉄筋の定着長を考慮したせん断鉄筋の補強効果により，所要の地下壁構造のせん断耐力が得られることを確認する。 ・試験体諸元 部材厚：685mm せん断補強鉄筋径：D22 荷重条件：正負交番載荷 ・特記事項 実験により得られたせん断耐力は，有効係数を用いて算出される設計せん断耐力以上であることはもちろん，標準フック筋での補強に比べ，そん色のないせん断補強効果が得られていることを示している。 ・影響確認 島根原子力発電所２号炉では試験例として記載されている PHb 工法を採用している。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	② 耐震補強等に用いるあと施工型せん断補強技術（RMA 工法） ◆ 文献の要旨 既設の地中構造物を後施工によりせん断補強する工法としてRMA 工法が報告されている。 ◆ 着目すべき事項 ・ 後施工せん断補強筋の性能確認実験として，引抜き試験による定着性能の確認，梁試験体の正負交番載荷によるせん断補強効果の確認を実施している。 ・ 後施工せん断補強において，せん断補強筋の定着長を考慮した有効係数によるせん断補強効果の評価手法が示されている。なお，この評価手法は参考文献として示されている「アルカリ骨材反応対策小委員会報告書」（土木学会，2005）に準じている。 ・ RMA 工法により補強が実施された構造物は，東日本大地震においても損傷がなかったことが報告されている。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ 本文献の工法（RMA 工法）と同様の性能確認試験をCCb 工法でも実施していることを確認した。 ・ 本文献の工法（RMA 工法）とCCb 工法とでは，定着方法の差異により定着長が異なるが，有効係数の算出方法は同様であり，CCb 工法の建設技術審査証明報告書に示される有効係数の算出方法が一般的であることを確認した。 ・ CCb により耐震補強を行った構造物において，現時点で地震による被害・不具合が発生していないことを確認した。	②耐震補強等に用いるあと施工型せん断補強技術（RMA 工法） ・目的 RMA 工法の概要及び性能確認実験，設計方法を示す。 ・試験体諸元 部材厚：600㎜（せん断スパン比 a／d=約 2.25） せん断補強鉄筋径：D19（SD345） 荷重条件：正負交番載荷 ・特記事項 定着性能試験の結果，定着長が 4D 以上で SD345 の規格降伏強度相当の定着力を確保できる。 宮城県沿岸地域で採用された RMA 工法による補強構造物は，東日本大震災においても損傷がなかった。 ・影響確認 PHb も同様の定着性能試験を実施し，定着長を設定している。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	③ 論文 異形鉄筋の埋込みによるあと施工せん断補強効果に関するはりの載荷実験 ◆ 文献の要旨 既存のボックスカルバート等の連続壁に異形鉄筋を埋込みせん断補強を行う方法に対し，その有効性を確認するために梁供試体を用いたせん断試験が行われている。 ◆ 着目すべき事項 ・ 後施工せん断補強した供試体のせん断耐力を実験で確認した結果，先施工として算出したせん断耐力（設計値）とほぼ同等のせん断耐力が得られている（実験値/設計値=0.93～1.12）。 ・ 後施工によりせん断補強した供試体のせん断耐力は，先施工した供試体のせん断耐力と同等のせん断耐力を有している（後施工/先施工＝0.85～1.07）。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ 先施工のせん断補強に対するCCb 工法の有効係数は，建設技術証明報告書に記載されている梁の交番載荷試験により妥当性が確認された有効係数としていることを確認した。	③論文　異形鉄筋の埋込みによるあと施工せん断補強効果に関するはりの載荷実験 ・目的 既存構造物であるボックスカルバートやU型擁壁などの連続壁に対して，異形鉄筋を埋込むことでせん断補強部材とする方法を提案し，補強方法の有効性を確認することを目的として，はり供試体を用いたせん断実験を行った。 ・試験体諸元 部材厚：460mm（せん断スパン比 a／d=約 2.25） せん断補強鉄筋径：D10（SD295） 荷重条件：単調載荷 ・特記事項 実験結果より後施工は先施工と同等のせん断耐力を有することを確認した。 ・影響確認 島根原子力発電所２号炉のせん断補強においては，建設技術審査証明報告書にて規定されている有効係数（上限値 0.9）を用いて低減したせん断耐力を算出し，保守的な設計をしている。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	④ 後施工型のせん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について ◆ 文献の要旨 広島空港の滑走路及び誘導路直下の地下構造物（用倉トンネル）が，レベル２地震動に対する耐震性能照査においてせん断耐力が不足していることが確認された。用倉トンネル(アーチカルバート)に対し耐震補強工法の選定・検討を実施し，RMA 工法による後施工せん断補強が行われている。 ◆ 着目すべき事項 ・ 重要施設である空港滑走路及び誘導路直下の地下構造物（アーチカルバート）に対して，後施工型せん断補強工法（RMA 工法）による耐震補強が実施されている。 ・ アーチカルバートの補強には，増厚工法，後施工せん断補強工法（鉄筋差込工法），接着工法，巻立て工法の中から，施工後においても現況の内空断面を確保でき，坑内からの施工も可能である後施工せん断補強工法が選定されている。 ・ 補強対象のアーチカルバートの部材厚は1600㎜ である。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ 地下構造物の補強工法として，後施工せん断補強工法が効果的であることを確認した。 ・ 女川2 号炉原子炉機器冷却海水配管ダクト及び取水路（漸拡部）の部材厚（隔壁：1200㎜）相当の構造物に対して後施工せん断補強工法の施工実績があることを確認した。	④後施工型のせん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について ・目的，概要 広島空港の基本施設直下を通る地下構造物（用倉トンネル）において，レベル２地震動に対してせん断耐力が不足していた。用倉トンネルはアーチカルバートの上に 20m 弱の盛土を行った構造物であるため，この盛土部分とアーチカルバートを対象に耐震対策が必要な範囲と耐震補強工法の選定・検討を行い，RMA 工法で現地施工を行った。 ・構造体諸元 構造形式：アーチカルバート 補強対象部位：側壁 部材厚：1600㎜ ・特記事項 重要施設に対して後施工型せん断補強工法（RMA 工法）による耐震補強を実施した。 ・影響確認 レベル２地震動を対象とした重要構造物かつ島根原子力発電所２号炉取水槽の鉛直部材厚さ（隔壁：1200㎜）相当の構造物に対しての施工実績があることを確認した。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	⑤ 地下駅舎RC 壁のせん断力評価と耐震補強対策 ◆ 文献の要旨 地中構造物の側壁隅角部を対象に載荷試験を行い，先施工せん断補強と後施工せん断補強との耐力比較及び後施工せん断補強筋の埋込長の違いによる耐力比較が行われている。 ◆ 着目すべき事項 ・ せん断補強筋のピッチ300㎜ 以下の規定については，新設構造物を対象とした乾燥収縮等によるひび割れを防ぐためのものであることから考慮せず，有効高さの1/2としている。 ・ 先端を45 度にカットした後施工によるせん断補強の場合，先施工の設計耐力に対して最低でも80%程度のせん断耐力が実験で得られている。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ 女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物は建設後20年以上経過しており乾燥収縮は終了していることから，せん断補強筋のピッチ300㎜ 以下の規定は除外した。 ・ 先施工のせん断補強に対するCCb 工法の有効係数は，建設技術審査証明報告書に記載される梁の交番載荷試験により妥当性が確認された有効係数としていることを確認した。	⑤地下駅舎 RC 壁のせん断力評価と耐震補強対策 ・目的，概要 地中構造物の側壁隅角部を対象に載荷試験を行い，せん断スパンが正載荷・負載荷で異なることを考慮したせん断耐力算定方法を提案した。また，前施工補強と後施工補強との耐力比較，並びに後施工せん断補強鉄筋の埋込長の違いによる耐力比較を行った。 ・試験体諸元 部材厚：側壁 460㎜，底版 800㎜（せん断スパン比　正側 a／d=約 2.25，負側 a／d=約 3.25） せん断補強鉄筋径：D10（SD295） 荷重条件：正負交番載荷 ・特記事項 後施工によるせん断補強の場合，設計耐力に対して最低でも80%程度のせん断耐力が実験で得られた。 ・影響確認 実験で用いた補強鉄筋は端部を 45° にカットした直鉄筋であり，端部に定着プレートを有する PHb よりもせん断耐力が小さくなる。PHb では，実験により低減係数に相当する有効係数を設定し，せん断耐力を算定している。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	⑥ 論文 せん断補強筋の定着不良がRC はりのせん断耐力に及ぼす影響 ◆ 文献の要旨 せん断補強筋の定着不良がRC はりのせん断抵抗機構に及ぼす影響を確認することを目的として，せん断補強筋の定着フック及び端部付近の付着を除去したはりを作製し，せん断耐力の低下と破壊モードを実験的に検証している。また，材料非線形解析における定着不良部のモデル化について検討されている。 ◆ 着目すべき事項 ・ せん断補強筋の定着不良部から鉄筋径の10 倍程度を鉄筋無効区間として要素内鉄筋比をゼロとすれば，２次元ひび割れ解析でせん断耐力を概略評価することが可能であることが示されている。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ 女川２号炉における解析によるせん断補強効果の確認について（添付資料２）において，CCb のモデル化に本解析手法を参考とし，実験結果と整合する鉄筋径の５倍を後施工せん断補強筋の無効区間とし検討を実施した。	⑥論文　せん断補強筋の定着不良がRC はりのせん断耐力に及ぼす影響 ・目的，概要 せん断補強鉄筋の定着不良がRCはりのせん断抵抗機構に及ぼす影響を検討することを目的として，せん断補強鉄筋の定着フック及び端部付近の付着を除去したはりを作製し，せん断耐力の低下と破壊モードを実験的に検証した。また，材料非線形解析における定着不良部のモデル化について検討した。 ・試験体諸元 部材厚：350㎜（せん断スパン比 a／d=約 3.2） せん断補強鉄筋径：D6 荷重条件：単調載荷 ・特記事項 定着不良部から鋼材径の10倍程度を鋼材無効区間として要素内鉄筋比を等価に規定すれば，２次元ひび割れ解析でせん断耐力を概略評価することが可能である。 ・影響確認 部材厚の検討において，PHb のモデル化に本解析手法を参考とした。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	⑦ 地下道におけるPHb(ポストヘッドバー)工法の採用と積雪寒冷地の施工について ◆ 文献の要旨 既設地下道を耐震補強する目的で採用したPHb 工法の実施内容及び積雪寒冷地での施工方法が報告されている。 ◆ 着目すべき事項 ・ 充てん材の温度と強度の関係を把握するための試験施工が実施されており，充てん材料が０℃以下の履歴を受けた場合，強度発現が低下することが確認されている。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ CCb 工法においては充てん材料が０℃以下とならないように，施工上の管理基準（５℃以上）を設けて適切な施工管理を実施した。	⑦地下道における PHb（ポストヘッドバー）工法の採用と積雪寒冷地の施工について ・目的，概要 既設地下道を耐震補強する目的で採用した PHb 工法の実施内容及び積雪寒冷地での施工方法について報告する。充填材の温度と強度の関係を把握するための試験施工を実施した。 ・試験体諸元 350㎜×350㎜×650㎜ ・特記事項 充填材料が０℃以下の履歴を受けた場合では，強度発現が低下することが確認された。 ・影響確認 充填材料が０℃以下とならないように，施工上の管理基準（５℃以上）を設けて適切に施工する。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	⑧ せん断補強鉄筋埋込工法（あと施工）による東京湾第二航路海底トンネルの側壁補強 ◆ 文献の要旨 東京都港湾局が後施工せん断補強工法における補強効果確認のために行った室内せん断実験の概要，その実験結果の設計への反映，実施工への適用及びその施工結果についての考察が報告されている。 ◆ 着目すべき事項 ・ 施工上予想される不具合を設計上考慮し，せん断耐力に対して低減係数0.75 を乗じている。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ CCb 工法は第三者機関による審査証明が行われており，その中で施工の確実性についても審査対象となっていることから，本研究事例の低減係数をそのまま設計に適用する必要はない。なお，4.6 にて施工精度の向上に向けた方策を記載している。	⑧せん断補強鉄筋埋込工法（あと施工）による東京湾第二航路海底トンネルの側壁補強 奥平幸男・岩下正美・小林享・清宮理 ・目的，概要 東京都港湾局が同工法における補強効果を確認するために行った室内せん断実験の概要と結果，設計条件と施工基準設定の考え方および適用工事に関する施工結果について考察。 ・試験体諸元 部材厚:460㎜（せん断スパン比 a／d=2.25） ・特記事項 施工上予想される不具合を設計上考慮し，せん断耐力に対して低減係数 0.75 を乗じる。 ・影響確認 低減係数 0.75 は 2002 年の「③論文　異形鉄筋の埋込みによるあと施工せん断補強効果に関するはりの載荷実験」でも提案されているが，その後 PHb 工法等の後施工せん断補強工法について第三者機関による審査証明が行われており，その中では施工性についても審査対象となっており，本研究事例の低減係数をそのまま設計に適用する必要はないと考えられる。なお，後述の「4.7　PHb の施工上の確認」にて施工精度の向上に向けた方策を記載する。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う文献を踏まえた設計への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	⑨ セラミック定着型せん断補強鉄筋（CCb 工法）による既設地下コンクリート構造物の耐震補強 第57 回 電力土木講習会テキスト 平成27 年2 月 一般社団法人 電力土木技術協会 ◆ 文献の要旨 CCb 工法の設計法および施工法の概要と，電力分野での実績を含む施行実績が紹介されている。 ◆ 着目すべき事項 ・ CCb 工法の施工実績は，下水道処理場のポンプ棟，分水槽，重力濃縮槽，汚泥処理槽，ポンプ室及び放流渠等が多い。 ・ CCb 工法の定着体は，アンカーやインサートにも広く用いられている高い耐食性を有する高純度アルミナ系セラミックス製であるため，塩害や硫酸などの影響を受ける厳しい環境（海水に接する発電所の取・放水路や腐食環境にある下水道施設）においても，耐久性を確保できる。 ◆ 女川２号炉におけるCCb 工法への反映事項の確認 ・ CCb 工法が様々な施設で施工実績があることを確認した。 ・ 塩害や硫酸などの影響を受ける厳しい環境下においてもCCb 工法が使用されていることを確認した。		・工法の相違 【女川 2】 工法の相違に伴う参照する文献の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	後施工せん断補強筋に関する施工実績及び各研究事例を踏まえて，設計及び施工へ反映している事項を以下に示す。 ・ 硫酸等の影響を受ける腐食環境下である浄化センター（下水道処理施設）での実績もあり，女川２号炉で採用する環境よりも厳しい環境下での施工実績を確認した。 ・ 後施工せん断補強筋の性能確認実験として，定着性能の確認，梁試験体の正負交番載荷によるせん断補強効果の確認を実施しており，CCb 工法においても同様の確認を行っている。 ・ 標準フックのせん断補強筋（先施工）が負担できるせん断力に対する，後施工せん断補強筋が負担できるせん断力の割合である有効係数を用いて評価する手法が例示されており，CCb 工法においても同様の評価手法であることを確認した。	後施工せん断補強鉄筋に関する各研究事例を踏まえて，島根原子力発電所２号炉の設計，施工への反映事項を下記に示す。 ・建設技術審査証明報告書にて規定されている有効係数（上限値 0.9）を用いて，PHb のせん断耐力を算定する。 ・充填材の施工管理基準（５℃以上）を設ける。 ・施工上予測される不具合の考慮については，施工精度の向上方策を講じるとともに，設計上の配慮についても検討する。	・工法の相違 【女川 2】 工法の相違による設計，施工への反映事項の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

4.8 女川２号炉におけるCCb 工法の保守性と設計上の制限の整理

女川２号炉において，CCb により耐震補強を行うにあたっての保守性と設計上の制限について整理する。

4.8.1 CCb 工法の保守性

設計においてCCb が負担するせん断耐力を算出する際に乗じる有効係数βaw （CCbのせん断耐力の補強効果を示す有効係数）は，建設技術審査証明報告書において，第4.8-1 表のとおり試験結果に対して保守的に小さい値を設定しており，せん断耐力を安全側に評価している。（詳細は，4.8.4 に示す。）

第4.8-1 表 有効係数βaw の保守性

表-8.4　実験結果の一覧（シリーズ 3、4）

試験ケース	「セラミックキャップバー（CCb）」の仕様		実験での最大せん断耐力(kN)		算定式によるせん断耐力(kN) $V_{cal}=V_{cd}+V_s$			「セラミックキャップバー（CCb）」が負担するせん断力(kN)		せん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} (V_{CCb}/V_s)			有効率の設計値 β_{aw}
			正側	負側				正側	負側				
	定着体の組合せ	先端位置	V_{exp}	V_{exp}	V_{cal}	V_{cd}	V_s	V_{CCb}	V_{CCb}	正側	負側	平均	
No.3-3	標準型	主鉄筋位置	563	*499*	542	253	289	310	246	1.07	0.85	0.96	0.89
No.3-4	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	515	*570*	543	254	289	261	316	0.90	*1.09*	1.00	0.83
No.3-5	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	531	509	543	254	289	277	255	0.96	0.88	0.92	
No.3-6	標準型	配力鉄筋の表面より5mm手前	497	*526*	543	254	289	243	272	0.84	*0.94*	0.89	0.78
No.4-1	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	532	*520*	525	235	290	297	285	1.02	*0.98*	1.00	0.82
No.4-2	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	520	*535*	526	236	290	284	299	0.98	*1.03*	1.01	0.82
No.4-3	両端先端型	配力鉄筋の表面より5mm手前	539	*546*	524	234	290	305	312	1.05	*1.08*	1.06	0.78
No.4-4	両端後端型	—	*661*	568	525	235	290	426	333	*1.47*	1.15	1.31	1.00

※1 下線は正負交番載荷で最初にせん断破壊したこと示す
※2 斜体はせん断破壊をしていない場合、その載荷方向での最大荷重を示す

4.8.2 女川２号炉においてCCb により耐震補強を行うにあたっての保守性

設計においてCCb が負担するせん断耐力は，棒部材式により算出されるせん断耐力よりもディープビーム式により算出されるせん断耐力の方が大きくなるが，保守的に棒部材式により算出されるせん断耐力により部材の照査を行うことで，本来必要と考えられるせん断補強筋量以上のせん断補強筋を配置している。

4.8.3 女川２号炉においてCCb により耐震補強を行うにあたっての設計上の制限

建設技術審査証明報告書の梁試験では，主鉄筋ひずみが

・設計方針の相違
【女川 2】
島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書に記載されている有効係数の上限値 0.9 を使用するため，保守性に関する説明は不要

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2363μ（SD490）まで達した状態でのひび割れ状況においてもせん断耐力を保持していることが確認されているが，女川２号炉ではSD345 の鉄筋を使用していることから，面内せん断力と面外力の合力による鉄筋のひずみが1725μ以下（応力が降伏強度以下），もしくは面内せん断力に対して，コンクリートのみで抵抗可能な部材を対象におおむね弾性範囲となる状況下でCCb 工法を使用する。 建設技術審査証明報告書の梁試験では層間変形角が１％（1/100）を超えている範囲までせん断耐力が保持されていることが確認されているが，かぶりコンクリートの剥落によってCCb の定着機能を阻害するおそれがある。そのため，かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態である圧縮縁コンクリートひずみ1.0％又は層間変形角１％（1/100）に，十分な余裕をもってCCb 工法を使用する。 なお，当使用制限は一般に上記に示す鉄筋のひずみに対する制限により満足される。 CCb の施工において，施工精度の低下が生じる可能性は低いが完全に否定できるものではないこと等から，設計上の配慮として耐震評価上の裕度（せん断破壊に対する照査値を0.8 程度に抑える）を持たせた設計を行う。 4.8.4 有効係数βaw の保守性 設計においてCCb が負担するせん断耐力を算出する際に乗じる有効係数βaw の保守性を，設計式と実験結果及び数値解析実験結果の比較により確認する。保守性は，設計式から得られる有効係数βaw よりも実験値及び解析値から得られるβaw の方が大きいことにより確認する。有効係数βaw は，せん断耐力評価式で算定するせん断補強筋が負担するせん断耐力Vsd に対するCCb が負担するせん断耐力Vccbd の比として定義される。なお，実験値及び解析値の有効係数βaw は，設計式から得られるせん断補強筋が負担するせん断耐力Vsd をベースに算出しており，実験及び解析のCCb が負担するせん断耐力Vccbd は，実験又は解析から得られたせん断耐力から設計式より算出したコンクリートが負担するせん断耐力Vcd を減じて算出する。 検討ケースは，添付資料２に示す数値解析実験結果のうち，比較データ（実験結果と解析結果）が充実しているステップ①の材料非線形解析にて対象としている試験体（№3-3）		・設計方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書に記載されている有効係数の上限値 0.9 を使用するため，保守性に関する説明は不要

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	とする。結果を第4.8-2 表に示す。 第4.8-2 表より，CCb が負担するせん断耐力Vccbd は，設計式，解析値，実験値の順に大きくなっており，設計式が保守的な評価になっていることが確認できる。よって，設計式，実験値及び解析値から得られる有効係数βaw の比較結果より，設計式から得られるβaw よりも実験値及び解析値から得られるβaw の方が大きく，設計式から得られるβaw の保守性が確認された。 第4.8-2 表 有効係数βaw の比較検討結果 （下表参照）		・設計方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書に記載されている有効係数の上限値 0.9 を使用するため，保守性に関する説明は不要

試験ケース		せん断耐力（kN）※1									有効係数 β_{aw} ※2		
		設計式（せん断耐力評価式）			実験値			解析値			⑧設計式	⑨実験値	⑩解析値
		①V_{ccd}	②V_{cd}	③V_{cd}, V_{ccbd}	④V_{exp}	②V_{cd}	⑤V_{ccbd}	⑥V_{ana}	②V_{cd}	⑦V_{ccbd}			
No.3-3	従来工法	542	253	289	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	CCb 工法	510		257	563	253	310	550	253	297	0.89	1.07	1.03

ここに，

- V_{ccd}：設計式（せん断耐力評価式）から得られるせん断耐力
- V_{cd}：コンクリートが負担するせん断耐力
- V_{ccd}（V_{ccbd}）：せん断補強筋（CCb）が負担するせん断耐力
- V_{exp}：実験から得られるせん断耐力
- V_{ana}：解析から得られるせん断耐力
- β_{aw}：CCb のせん断耐力の補強効果を示す有効係数　$\beta_{aw}=(1-(l_p/2S_{ch})$

※1：各せん断耐力の算出について

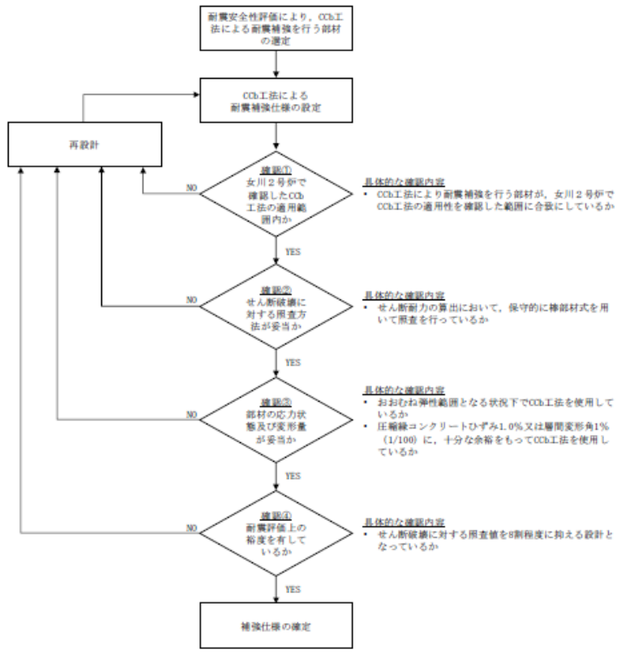
- ①・②・③：せん断耐力評価式（棒部材式）より算出
- ④：実験から得られたせん断耐力
- ⑤：「実験から得られたせん断耐力」から「設計式により算出したコンクリートが負担するせん断耐力」を減じて算出（⑤＝④－②）
- ⑥：解析から得られたせん断耐力
- ⑦：「解析から得られたせん断耐力」から「設計式により算出したコンクリートが負担するせん断耐力」を減じて算出（⑦＝⑥－②）

※2：有効係数 β_{aw} の算出について

- ⑧：設計式より得られる有効係数（$1-(l_p/2S_{ch})$，l_p：CCb の定着長（5D，D：鉄筋径），S_{ch}：補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔）
- ⑨・⑩：CCb を通常のせん断補強筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効係数
- ⑨：「実験から得られた CCb が負担するせん断耐力」を「設計式から得られる通常のせん断補強筋が負担するせん断耐力」で除して算出（⑨＝⑤（V_{ccbd}）／③（V_{cd}））
- ⑩：「解析から得られた CCb が負担するせん断耐力」を「設計式から得られる通常のせん断補強筋が負担するせん断耐力」で除して算出（⑩＝⑦（V_{ccbd}）／③（V_{cd}））

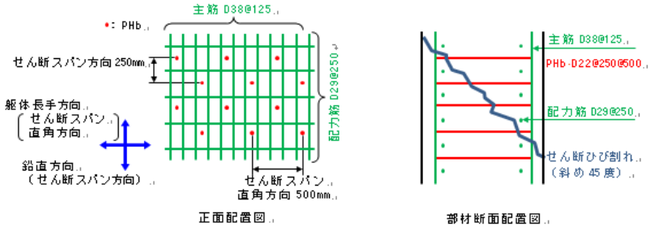
4.8.5 CCb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

4.8.1～4.8.4 に示す，女川2 号炉においてCCb により耐震補強を行うにあたっての保守性及び設計上の制限を考慮した設計検討フローを第4.8-1 図に示す。

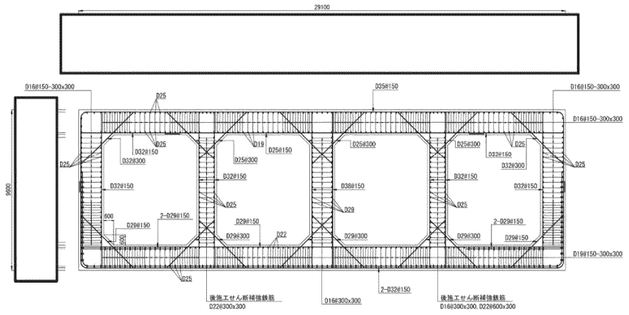
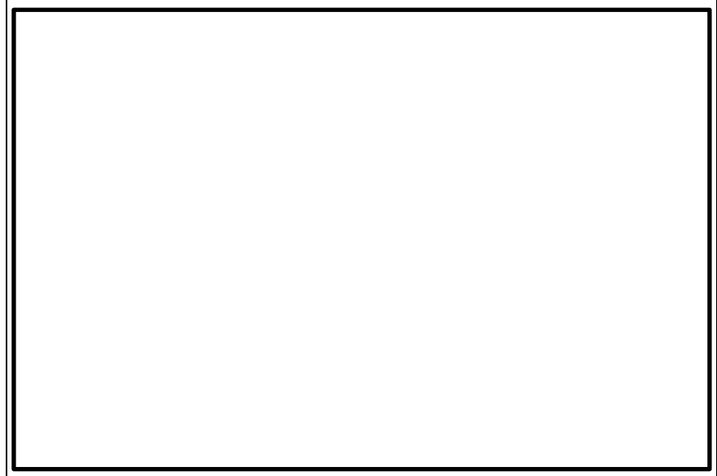
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第4.8-1 図 CCb 工法によるせん断補強の設計検討フロー		・設計方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書に記載されている有効係数の上限値 0.9 を使用するため，保守性に関する説明は不要

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.7　PHb の施工上の確認 PHb 工法によるせん断補強に当たっては，既設鉄筋配置のずれ等施工のばらつきにより計画どおり施工できなかった場合，期待するせん断補強効果に影響を及ぼす可能性がある。そこで施工上せん断補強効果に影響を及ぼす可能性がある施工のばらつきに関する項目を抽出し，適切な施工管理によりばらつきを生じさせない，若しくははせん断補強効果に大きな影響を及ぼさないことを確認する。 (1)削孔角度 PHb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが，削孔角度に誤差が生じた場合，PHb のせん断補強効果に影響が及ぶ可能性がある。そこで施工用架台にドリルを設置し，ドリルの鉛直方向，水平方向が削孔面に対して垂直となるようスラントルール，金尺等で確認し削孔する。第 13－4－7 図に施工用架台に設置した PHb ドリルと鉛直・水平の確認状況を示す。以上より，削孔時に施工用架台を使用することで削孔角度のばらつきは生じない。 また，「建設技術審査証明報告書　技術名称　あと施工型せん断補強用無機系モルタルカプセルおよびせん断補強筋「RMA」（建技審証　第 1203 号)」ではコンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験を実施している（第 13－4－8 図)。コンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験では，幅 1,200㎜×高さ 600㎜×長さ 1,200㎜のコンクリートブロック４体を削孔し，削孔位置のずれを確認した。コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果を第 13－4－9 表に示す。ここで，削孔表面から試験体Ⅰ裏まで 1,200㎜であり，島根原子力発電所２号炉取水槽の部材厚である隔壁 1,200㎜となることから，第 13－4－9 表の試験体Ⅰ裏の結果を参考にする。試験体Ⅰ裏では削孔誤差は最大 15㎜となり，削孔角度誤差を換算すると約 0.7°となり，十分精度あることが示されている。 さらに，論文「⑧せん断補強鉄筋埋込工法（あと施工）による東京湾第二航路海底トンネルの側壁補強」において，削孔角度誤差について記載されているが，そこではドリルによる削孔時に２方向より定規を添えて初期削孔を行い，途中２～３回確認することで施工用架台を使用せず誤差２°以内を確保している（第 13－4－9 図)。今回は施工用架台を使用し，より精度良く削孔することが可能である。	・資料構成の相違 【女川 2】 女川は「4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 13－4－7 図　削孔準備工  第 13－4－8 図　試験概要図 第 13－4－9 表　コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果   第 13－4－9 図　レッグドリルによる削孔 (2)削孔位置 PHb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが，部材内部に障害物があり計画位置で削孔できず PHb を計画どおり配置できない可能性がある。その場合は，付近を再削孔し PHb を挿入することで設	・資料構成の相違 【女川 2】 女川は「4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		計上必要な補強鉄筋量を確保する。ただし，再削孔し PHb を配置する際は「4.4　建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認」に示す建設技術審査証明報告書に記載の構造細目を満足するものとする。なお，第 13－4－10 図に示すせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図のとおり，再削孔する際は削孔計画位置（赤丸）から位置をずらし，せん断補強効果に影響のない位置に削孔することが可能である。なお，孔と鉄筋の干渉を避けて再削孔を行う際，削岩機ベースの PHb ドリルでは孔をラップさせることができないため再削孔位置の選定が制限され，再削孔しても新たに別の鉄筋に干渉してしまう可能性がある。そこで，孔のラップが可能な PHb 工法指定の特殊コアドリルを必要に応じて併用することとし，再削孔時の精度向上を図る。 以上より，削孔位置にばらつきが生じても必要鉄筋量を確保するためせん断補強効果に影響を及ぼさない。  第 13－4－10 図　取水槽のせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図 (3)定着効果 充填材の定着効果については，建設技術審査証明報告書にて充填確認試験を実施しており，削孔内に設置した PHb の先端定着部までグラウトが密実に充填され，PHb とコンクリート躯体が一体となっていることを確認している。 (1)～(3)に示したとおり，施工上の配慮により，せん断補強効果に大きな影響を及ぼすような施工のばらつきは生じないと考えられる。しかし，現時点では後施工による施工のばらつきに対して施工実績に基づく十分な統計がとれていないため，施工のばらつきによる影響が生じる可能性を完全に否定することはできない。 以上を踏まえて，適切な施工管理を実施してもなお発生しうる施工のばらつきに対する設計上の配慮として，耐震評価上の裕度（たとえば照査値を８割程度に抑える）を持たせた設計を行うこととする。	・資料構成の相違 【女川 2】 女川は「4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認」に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		その他施工上の留意点の確認等については，添付資料３「施工管理要領書（案）（取水槽耐震補強工事（ポストヘッドバー工法））」にて実施する。	・資料構成の相違 【女川 2】 女川は「4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認」に記載

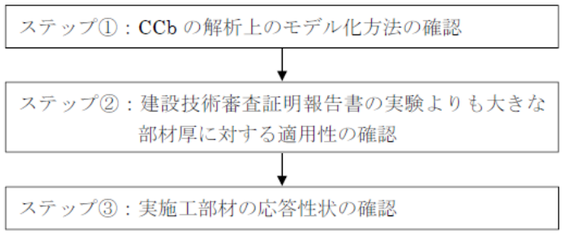
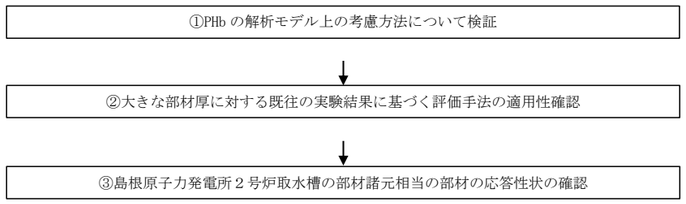
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.9 CCb の適用性確認結果 4.2 で設定した取水路（漸拡部）の補強仕様※について，4.1 に従い女川２号炉屋外重要土木構造物等へのCCb 工法の適用性を検討した結果，建設技術審査証明報告書に記載のとおり，せん断補強効果が期待できることを確認した（第4.9-1 図参照）。  第4.9-1 図 取水路（漸拡部）の補強仕様 ※：補強仕様については，今後変更となる可能性がある。	4.8 PHb の適用性確認結果 「4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定」で設定した補強仕様が「4.1 方針」に沿って，PHb の島根原子力発電所２号炉の屋外重要土木構造物の耐震補強における適用性を検討した結果，PHb を採用し，建設技術審査証明報告書のとおりせん断補強効果を期待できることを確認した。決定した補強仕様を第 13－4－11 図に示す。  第 13－4－11 図 補強仕様	・工法の相違 【女川 2】
	5. 女川２号炉におけるCCb 工法の適用性確認のまとめ 女川２号炉の取水路（漸拡部），原子炉機器冷却海水配管ダクト，軽油タンク室及び復水貯蔵タンク基礎は，CCb 工法により耐震補強を行っており，その適用性について以下のとおり確認した。 ・ 建設技術審査証明報告書の実験を上回る部材厚においても，せん断ひび割れ抑制効果を確認できており，CCb 工法が適用できることを確認した。 建設技術審査証明報告書の実験と実施工部材では部材諸元及び載荷方法（設計荷重）等が異なるが，女川２号炉でCCb により耐震補強を行った構造物の部材諸元においても，せん断ひび割れ抑制効果を確認できており，CCb 工法が適用できることを確認した。 ・ CCb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れ（曲げひび割れ，面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びディープビームに生じる45 度を超える高角度		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	の斜めひび割れ）が，CCb の定着体部やその周囲に生じても定着機能が保持され，所要のせん断補強効果が発揮できていることを確認した。 ・ 女川２号炉でCCb により耐震補強を行った構造物にCCb のせん断補強効果に影響を与えるひび割れはなく，圧縮強度においても設計基準強度以上であったことから，既設コンクリートの状態がCCb のせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認した。 ・ 建設技術審査証明報告書に記載の梁試験体ではディープビームを対象とした試験を実施していないが，ディープビーム的な破壊となる部材に対しても，CCb工法が適用できることを確認した。 ・ 女川２号炉でCCb により耐震補強を行った構造物には，面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材があるが，当該部材に対してもCCb 工法が適用できることを確認した。 ・ なお，「ディープビーム的な破壊となる部材へのCCb 工法の適用性」は，適用性確認に用いた材料非線形解析に不確かさを含んでいることを踏まえ，ディープビームを対象とした実験を行い，実験から得られたせん断耐力が棒部材式により算定されるせん断耐力よりも大きいことを確認すると共に，CCbを用いた場合のディープビーム式による評価の可能性について確認する。「面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材へのCCb 工法の適用性」については，数値解析（材料非線形解析）を行い適用性に問題がないことを確認する。実験結果及び解析結果は，工事計画認可段階にて示すこととする。 ・ 建設技術審査証明報告書の実験にて確認できている範囲を踏まえ，女川２号炉にてCCb 工法を適用するにあたっての保守性を設定すると共に，設計上の制限を設定し適用することとした。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料 （添付資料１）建設技術審査証明書 （添付資料２）解析によるせん断補強効果の確認について （添付資料３）「施工管理要領書（案）（取水槽耐震補強工事（ポストヘッドバー工法））」 （添付資料４）　建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について	
	添付資料１ 建設技術審査証明書  建設技術審査証明書 技術名称　後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋 「セラミックキャップバー（CCb）」 一般財団法人　土木研究センター 理事長　中村　孝 鹿島建設株式会社　カジマ・リノベイト株式会社	添付資料１  建設技術審査証明書 技術名称　後施工プレート定着型せん断補強鉄筋 「Post-Head-bar」 建設技術審査証明事業実施要綱 一般財団法人　土木研究センター 理事長　西川和廣 大成建設株式会社 成和リニューアルワークス株式会社	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料２ 女川２号炉における部材諸元他の適用性の検討 1．せん断補強効果の確認 CCb による補強効果については，建設技術審査証明報告書の各種実験にて検証している。女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物（原子炉機器冷却海水配管ダクト，取水路（漸拡部），軽油タンク室，復水貯蔵タンク基礎）の多くが，部材諸元（部材厚，せん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度）や載荷方法が建設技術審査証明報告書に記載の実験と異なっていても，せん断ひび割れを抑制し，せん断補強効果を期待できるかを材料非線形解析により確認する。 材料非線形解析に用いる鉄筋コンクリートの構成則については種々あるが，ここでは，現在までに実務でも使用され，適用性と信頼性が確認されているコンクリート標準示方書2017 において標準とされている以下の手法とする。 ・ 鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。 ・ 鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては，平均化構成則を用いる。 ・ 鉄筋との複合作用が及ばない領域では，コンクリートの破壊力学の概念を導入する。 材料非線形解析に用いる解析コードは，上記の鉄筋コンクリートの構成則を有する解析コードの１つである「UC-win/WCOMD ver2.02」及び「WCOMD Studio ver1.00」とする。 1.1 検討方針 CCb を考慮した材料非線形解析により力学的挙動を確認し，女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物へのCCb 工法の適用性をステップ①～③により確認する（添付2-1 図参照）。 なお，従来工法である先施工のせん断補強筋を想定した材料非線形解析も比較ケースとして実施する。 1.1.1 ステップ①：CCb の解析上のモデル化方法の確認 材料非線形解析を実施するにあたり，CCb の解析上のモデ	添付資料２ 解析によるせん断補強効果の確認について 1.　せん断補強効果の確認 PHb による補強効果については，建設技術審査証明報告書の各種実験にて検証している。建設技術審査証明報告書では，実験を上回る部材厚については，理論式により求められる有効係数 β_{aw} を実験の部材厚で得られた値である 0.9 を上限として用いることで保守的な設計としている。島根原子力発電所２号炉取水槽の部材厚は，実験で用いた部材と比べて大きいため，実験を上回る部材厚でも PHb の補強効果が期待でき適用性を有することを解析により補足する。また，部材厚以外にもせん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度，せん断ひび割れ抑制効果及び荷重載荷方法が島根原子力発電所２号炉取水槽で建設技術証明報告書に記載の各種実験と異なっている。したがって，これらの項目についても実構造物諸元相当の解析により，PHb 工法のせん断補強効果に影響を及ぼすと考えられる項目が建設技術審査証明報告書における実験条件と異なっていても，建設技術審査証明報告書で確認したとおりのせん断補強効果を期待できることを解析により補足する。 1.1 検討方針 PHb を考慮した材料非線形解析により力学的挙動を確認し，島根原子力発電所２号炉取水槽の PHb の適用性をステップ①～③により確認する（第 1-1 図）。 なお，比較のために，従来工法である先施工のせん断補強筋を想定した材料非線形解析も以下の各ケースで実施することとする。 ①　PHb の解析モデル上の考慮方法について検証 材料非線形解析を実施するに当たり，PHb の解析モデルへの考慮	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	ル化方法を確認する。 CCb は従来工法（先施工）のせん断補強筋と異なり，セラミック定着体により定着していることから，CCb 工法は従来工法よりも定着性能が劣るものと仮定し，CCb のモデル化方法の妥当性を確認する。モデル化は，前川らによる「せん断補強筋の定着不良がRC はりのせん断耐力に及ぼす影響（コンクリート工学年次論文集Vol.26，No.2，2004）」（以下「前川ら」という。）を参考に，せん断補強筋が機能しない区間（無効区間：要素内鉄筋比をゼロとする区間）を設定することとしている。 モデル化方法の妥当性は，建設技術審査証明報告書のせん断耐力実験を対象に解析モデルを作成し，実験結果と解析結果のせん断耐力の比較により確認する。モデル化は，無効区間の設定方法をパラメータに2 パターンの検討を行い，実験への再現性が高い設定方法を用いてステップ②以降の検討を実施する。	方法の妥当性を確認する必要がある。そこで，建設技術審査証明報告書におけるせん断耐力実験を対象に解析モデルを作成し，実験結果と解析結果においてせん断耐力を比較することにより，解析モデルの妥当性を検証する。 なお，先施工せん断補強鉄筋はフックを有し鉄筋に定着をとっているが，フックを有しないせん断補強鉄筋である PHb はコンクリートに定着をとっていることから，その違いをモデル上で考慮する必要がある。そのため「コンクリート工学年次論文集 Vol.26，No.2,2004　せん断補強筋の定着不良が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響」を参考に，供試体をモデル化する際に要素内鉄筋比を 0 とする区間を設けることとし，実験への再現性が高い区間設定を基に②以降の検討を実施する。	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違
	1.1.2 ステップ②：建設技術審査証明報告書の実験よりも大きな部材厚に対する適用性の確認 女川２号炉のCCb により耐震補強を行った構造物のうち，最も部材厚の大きい軽油タンク室の底版（t=1,500㎜）を想定して材料非線形解析を行い，実験よりも大きな部材厚に対する適用性を確認する。適用性の確認は，ステップ①とステップ②の解析結果の比較により行う。	②大きな部材厚に対する既往の実験結果に基づく評価手法の適用性の確認 建設技術審査証明報告書の各種実験では，部材厚の大きい供試体で実験を行っていないため，有効係数 β_{aw} の上限値を 0.9 としている。そこで，部材厚が大きい対象に対しても適用可能であること示すため，島根原子力発電所２号炉取水槽を想定した大きな部材厚を参考に，せん断スパン比がステップ①と同等となる部材寸法に対して材料非線形解析を実施する。なお，解析モデルのせん断スパン比は①と同様（相似形）とする。材料非線形解析により既往の実験結果の再現解析と比較して傾向を把握し，大きな部材厚に対しても PHb を適用できることを確認する。	
	1.1.3 ステップ③：実施工部材の応答性状の確認 ステップ①・②にて適用性を確認の上，実施工部材として，構造物を棒部材でモデル化して地震応答解析及び構造照査を実施している構造物のうち部材厚が最大である取水路（漸拡部）隔壁を対象に材料非線形解析を行い，CCb 工法の適用性を確認する。 また，取水路（漸拡部）隔壁に作用する主な荷重は頂版から受ける集中荷重と慣性力であり，地震時増分土圧等が作用する分布荷重系の荷重形態とは異なることから，部材に作用	③島根原子力発電所２号炉取水槽の部材諸元相当の部材の応答性状の確認 ①，②を確認のうえ，島根原子力発電所２号炉取水槽の部材諸元相当の部材の解析モデルについて材料非線形解析（解析的実験）を実施し，PHb の適用性を確認する。適用性を確認する際には，部材の応答性状により島根原子力発電所２号炉取水槽の部材諸元相当でも変形量，ひび割れ及び設計荷重に関して特異な応答が生じていないことを確認する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	する荷重や破壊形態の違いに着目し，地震時増分土圧が作用する部材のうち部材厚が最大である軽油タンク室側壁についても材料非線形解析を行い，CCb 工法の適用性を確認する。 適用性は，取水路（漸拡部）隔壁及び軽油タンク室側壁の部材諸元相当でも変形状況，ひび割れ状況及び鉄筋の降伏状況に対して，特異な状況とならないことを確認する。  添付2-1 図 女川２号炉における部材諸元他の適用性確認フロー	 第 1-1 図　島根原子力発電所２号炉取水槽スクリーン室の PHb の適用性確認フロー	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2. ステップ①：CCb の解析上のモデル化方法 CCb の定着効果及び付着効果を考慮したモデル化方法の妥当性の確認を目的に，建設技術審査証明報告書の実験で用いた試験体をモデル化し，材料非線形解析を行う。 試験体は添付2-1 表～添付2-3 表のとおり，せん断補強筋径及び定着体の型が女川２号炉の施工実績と合致する，シリーズ１（試験体№1-3）とシリーズ３　（試験体№3-3：CCb 先端位置が主筋の図心位置であり女川2 号炉と同じ条件）を選定する。	2.　①の解析内容 材料非線形解析にて用いる RC の構成則については種々あるが，ここでは，現在までに実務でも使用され，適用性と信頼性が確認されている「コンクリート標準示方書　設計編（土木学会　2012）」において標準とされている以下の手法とする。 ・鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。 ・鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては，平均化構成則を用いる。 ・鉄筋との複合作用が及ばない領域では，コンクリートの破壊力学の概念を導入する。 材料非線形解析について用いる解析コードは，上記の RC の構成則を有する解析コードの１つとして「UC-win／WCOMD　ver2.01」とする。 まず，PHb の考慮の仕方を検討するための予備解析を実施した後，その考慮方法を用いて CASE5 の再現解析を実施する。	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

添付2-1 表 試験体概要

試験体	断面寸法 b×h（mm）	せん断 スパン比	せん断 補強筋径	定着体の 組合せ
シリーズ1	825×685	2.78	D22	標準型※
シリーズ2	825×800	同上	D29	同上
シリーズ3	600×500	同上	D16	同上
シリーズ4	同上	同上	D16	両端先端型 両端後端型

：女川2号炉で実績のある補強　：材料非線形解析を実施

※：差込側に後端型，埋込側に先端側となる標準的なCCbの組合せ

添付2-2 表 シリーズ１の試験体の種類と諸元
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

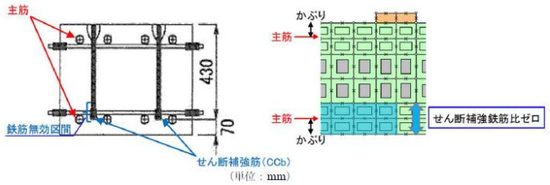
	No.1-1	No.1-2	No.1-3
断面寸法　$b \times h$	825×685 mm		
せん断スパン長　a	1,640 mm		
せん断スパン比　a/d	2.78		
実験時の コンクリート圧縮強度　f'_c	32N/mm²	33N/mm²	34 N/mm²
帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状	－	SD345 D22 両端フック	SD345 D22 「セラミックキャップバー（CCb）」
せん断補強鉄筋比　p_w	0	0.29 %	
試験の目的	コンクリート負担分 V_cの評価	後施工せん断補強鉄筋による 有効率β_{ue}の評価	

添付2-3 表 シリーズ３の試験体の種類と諸元
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 No.3-1 / No.3-2 / No.3-3 / No.3-4 / No.3-5 / No.3-6 断面寸法 $b \times h$：600×500 mm せん断スパン長 a：1,195mm せん断スパン比 a/d：2.7 実験時のコンクリート圧縮強度 f'_c[N/mm²]：41.2 / 40.6 / 42.4 / 42.6 / 42.9 / 42.6 帯鉄筋・補強鉄筋の種類、および形状：— / SD345 D16 両端フック / SD345 D16 セラミックキャップバー（CCb） せん断補強鉄筋比 p_w：0.33% セラミックキャップバー(CCb)の埋込み側先端位置：— / — / 主鉄筋の図心 / 主鉄筋の表面から 5mm 手前 / 配力鉄筋の表面から 5mm 手前 定着体の組合せ：— / — / 標準型 試験の目的：試験体諸元の妥当性検討 / 後施工せん断補強鉄筋による有効率 β_{sw} の評価 2.1 CCb の定着効果のモデル化 CCb のせん断補強効果を確認するための材料非線形解析による数値実験において，CCb 先端の領域では先施工より定着性能が劣る可能性があることから，せん断補強筋が機能しない（無効区間）ものとしてCCb のモデル化を行う。せん断補強筋の無効区間の設定に関する考え方は，前川らの論文を参照しており，せん断補強筋の定着不良を有する部材のせん断耐力評価は，材料非線形解析を用いてせん断補強筋の無効区間を設けることで評価可能であることが示されている。 2.1.1 前川らの検討内容 前川らは，せん断補強筋の定着不良がRC はりのせん断耐力に及ぼす影響の確認を目的に，実験的検証に加え材料非線形解析による定着不良部のモデル化について検討している。せん断補強筋の定着不良を模擬するため，せん断補強筋端部近傍の定着を効かなくした梁に対する実験を行い，その実験の再現として，せん断補強筋の定着不良部を鉄筋無効区間として要素内鉄筋比をゼロとした材料非線形解析を行うことで，実験のせん断耐力を評価することが可能であることを示している。 2.1.2 モデル化方法 構造部材は，平面応力要素にてモデル化する。モデル化は，原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（以下「土木学会マニュアル」という。）を参考に，鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し，付着の影響が及ばない領域を無筋領域としてモデル化する。 CCb のモデル化は，CCb 先端の領域では定着が十分ではな	2.1　モデル化について 材料非線形解析では，建設技術審査証明報告書の実験で用いた試験体（CASE５）をモデル化する。第 2-1 図にモデル化の対象とする試験体（CASE５）を，第 2-2 図にせん断耐力の向上性能確認試験の加力要領を示す。なお，CASE５は PHb 先端位置が主鉄筋手前であり，施工時の条件と一致している。また，第 2-1 表に示すとおり，CASE５は破壊形態がせん断破壊先行であり，適切にせん断耐力を評価できること，かつ①の再現解析においては実験値と理論値が整合的である必要があるため，その条件を満たす CASE５を選定した。 構造部材をモデル化する際は，平面応力要素にてモデル化する。構造部材のモデル化に当たっては，第 2-3 図に示すとおり鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し，付着の影響が及ばない領域を無筋領域としてモデル化する。主筋領域については付着領域を考慮して芯かぶりの厚さを基準として設定する。 第 2-1 図　せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

い可能性があるため，せん断補強筋が機能しない（無効区間）ものとして，せん断補強鉄筋比をゼロとしてモデル化する（添付2-2 図参照）。検討は，添付2-4 表に示すとおり，CCb 先端側の主筋領域（かぶりの２倍）の鉄筋比をゼロとするCCb1 とCCb 先端側の主筋軸心から必要定着長5D（D：鉄筋径）の鉄筋比をゼロとするCCb2 の２パターン行う。２パターンの結果から，CCb の再現性が高い条件を用いて，今後の検討を行うものとする。



添付2-2 図 CCb のモデル化概念図

添付2-4 表 CCb のモデル化方法

解析パターン	CCbのモデル化方法
CCb1	• CCb先端側の主筋領域（かぶりの2倍）の鉄筋比をゼロ • シリーズ1（試験体№1-3）：無効区間　95mm×2＝190mm • シリーズ3（試験体№3-3）：無効区間　70mm×2＝140mm
CCb2	• CCb先端側の主筋軸心から必要定着長5D（D：鉄筋径）の鉄筋比をゼロ • シリーズ1（試験体№1-3）：無効区間　95mm＋5×22mm＝205mm • シリーズ3（試験体№3-3）：無効区間　70mm＋5×16mm＝150mm

また，解析の入力データとなるコンクリートの材料特性及び鉄筋の材料特性を，添付2-5 表及び添付2-6 表に示す。これらの条件により設定した解析モデル図を添付2-3 図に示す。

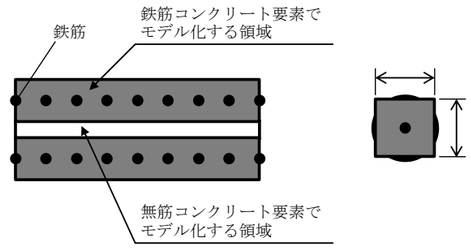
添付2-5 表 コンクリートの材料特性

項目	設定値	
	シリーズ1	シリーズ3
圧縮強度　f'_c	33.9 N/mm²	42.4 N/mm²
引張強度　f_t	2.41 N/mm²	2.80 N/mm²
ヤング係数　E_c	WCOMD で自動計算	

第 2-2 図　せん断耐力の向上性能確認試験の加力要領
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

第 2-1 表　各実験ケースの破壊形態

	シリーズ 1			シリーズ 2			シリーズ 3					シリーズ 4
	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE3-1	CASE3-2	CASE3-3	CASE3-4	CASE3-5	CASE4-1
破壊形態	せん断破壊先行	せん断破壊先行	曲げ変形卓越	せん断破壊先行	せん断破壊先行	曲げ変形卓越	せん断破壊先行	せん断破壊先行	せん断破壊先行	せん断破壊先行	せん断破壊先行	せん断破壊先行



$$l\max = \frac{\sqrt{\pi}}{2} Db \sqrt{fy/ft}$$

ここで，$l\max$：鉄筋一本あたりの付着有効面積を正方形で考えた場合の一辺の長さ

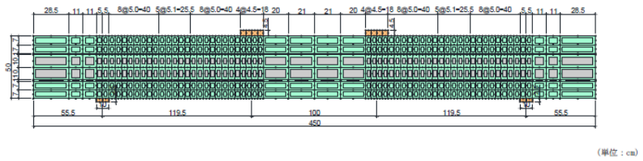
Db：鉄筋の直径

fy：鉄筋の降伏強度

ft：コンクリートの引張強度

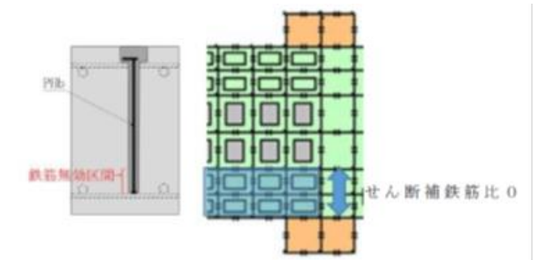
第 2-3 図　鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要

・検討方針の相違
【女川 2】
検討方針の相違による記載内容の相違

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
添付2-6 表 鉄筋の材料特性
<table>
<tr><th rowspan="2">項目</th><th colspan="2">設定値</th></tr>
<tr><th>シリーズ１</th><th>シリーズ３</th></tr>
<tr><td>主鉄筋のヤング係数</td><td>200.0 kN/mm²</td><td>196.4 kN/mm²</td></tr>
<tr><td>CCb 鉄筋・せん断補強鉄筋のヤング係数</td><td>192.7 kN/mm²</td><td>197.5 kN/mm²</td></tr>
<tr><td>主鉄筋の降伏強度</td><td>534.0 N/mm²</td><td>515.9 N/mm²</td></tr>
<tr><td>CCb 鉄筋・せん断補強鉄筋の降伏強度</td><td>406.8 N/mm²</td><td>388.9 N/mm²</td></tr>
</table>


添付2-3 図 解析モデル図（試験体No.3-3 の例）
</td>
<td>
PHb を適切にモデル化するため，「コンクリート工学年次論文集 Vol.26，No.2，2004　せん断補強筋の定着不良が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響」を参考に，PHb 先端の領域では，付着が十分ではない可能性があるため，せん断補強筋が機能しないものとして PHb のモデル化を検討する。具体的には，該当する部分のせん断補強鉄筋比を０としてモデル化を実施する。モデル化のイメージを第 2-4 図に示す。以上の考え方をベースに PHb のモデル化を実施する際は以下のケースを実施して PHb のモデル化手法を検討する。

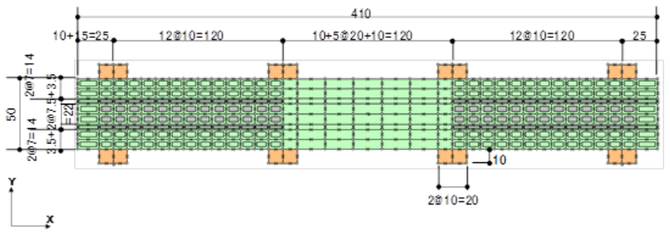
・PHb１：主鉄筋領域（芯かぶりの２倍分）に相当する厚さ（PHb 先端から 4.4D）のせん断補強鉄筋比を０とするケース
・PHb２：上記のモデルをベースに PHb の必要定着長である 5D 分の厚さのせん断補強鉄筋比を０とするケース



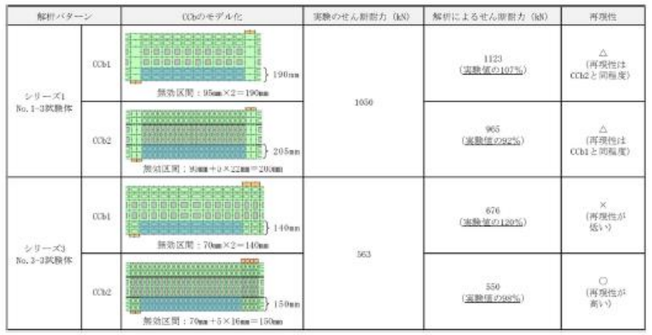
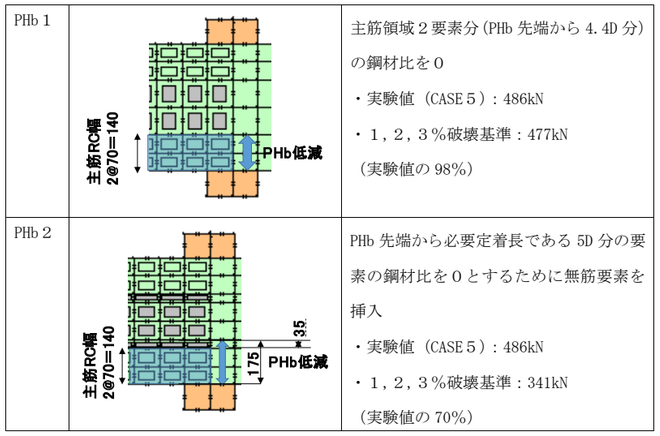
第 2-4 図　PHb のモデル化イメージ

上記の予備解析の結果，実験値のせん断耐力の再現性が高い条件を用いて，以下のケースを実施する。
・ケース①－Ａ：先施工によるせん補強鉄筋を想定してモデル化するケース
・ケース①－Ｂ：PHb を考慮して，鉄筋無効区間を設定するケース（単調載荷）（PHb１のケースと同じ）
・ケース①－Ｃ：PHb を考慮して，鉄筋無効区間を設定するケース（交番載荷）

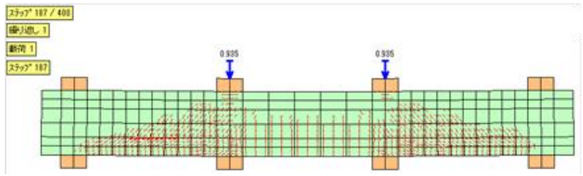
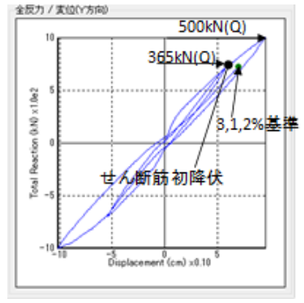
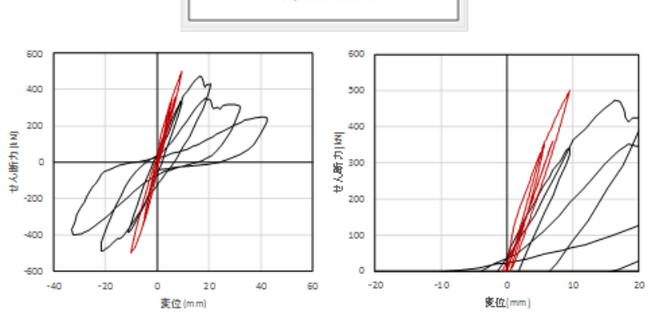
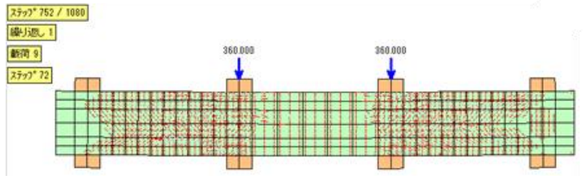
なお，解析の入力データとなるコンクリートおよび鉄筋の材料特性を第 2-2 表及び第 2-3 表に示す。
以上，条件により設定した解析モデル図を第 2-5 図に示す。
</td>
<td>
・検討方針の相違
【女川２】
検討方針の相違による記載内容の相違
</td>
</tr>
</table>

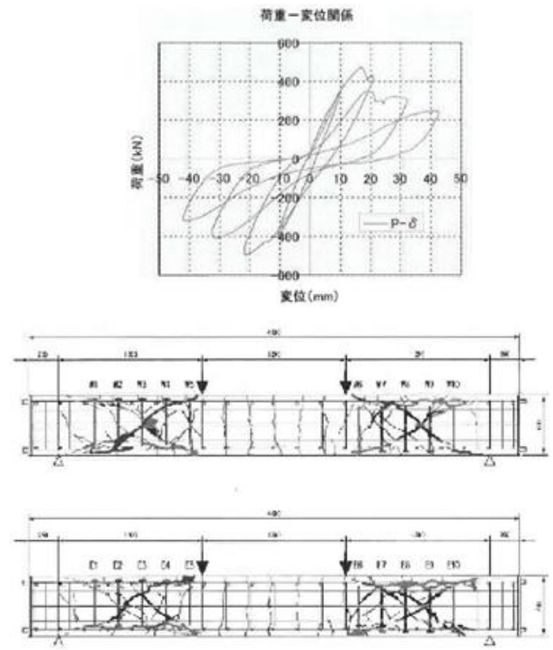
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 2-2 表　コンクリートの材料特性 項目 / 設定値 圧縮強度 f’c / 32N/mm² 引張強度 ft / 2.32N/mm²（小数２位に四捨五入）(=0.23×32.0^2/3=2.3182) ヤング係数 Ec / ＷＣＯＭＤで自動計算 第 2-3 表　鉄筋の材料特性 項目 / 設定値 主鉄筋およびせん断補強鉄筋のヤング係数 / 200kN/mm² 主鉄筋の降伏強度 / 999N/mm² PHb 鉄筋の降伏強度 / 384N/mm² その他鉄筋（D16，D19）の降伏強度 / 345N/mm²  （単位：cm） 第 2-5 図　解析モデル図	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.1.3 荷重条件 材料非線形解析にて考慮する荷重は，建設技術審査証明報告書の実験における載荷条件を模して，変位を作用位置に強制的に与える。また，鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため，十分小さい値を漸増載荷する。耐力の評価を主目的とするため，単調載荷とするが，実験条件である交番載荷の影響についても確認することとする。	2.2 荷重条件 材料非線形解析にて考慮する荷重は，建設技術審査証明報告書の実験における載荷条件を模して，変位を作用位置に強制的に与える。また鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため，十分小さい値を漸次載荷する。耐力の評価を主目的とするため，単調載荷とするが，実験条件である交番載荷の影響についても確認することとする。	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違
	2.1.4 破壊判定基準 材料非線形解析における構造部材の破壊判定は，荷重が減少した場合とし，その直前の最大荷重をせん断耐力とする。	2.3 破壊判定基準 材料非線形解析における構造部材の破壊判定基準は，既往の研究事例に基づき圧縮ひずみ１％，せん断ひずみ２％，引張ひずみ３％とする（以下「１，２，３％破壊基準」という）。	
	2.1.5 妥当性の確認 定着効果のモデル化の妥当性は，建設技術審査証明報告書の梁試験の結果から得られるせん断耐力と材料非線形解析より得られるせん断耐力を比較し，試験のせん断耐力を再現できているかにより確認を行う。 添付2-7 表に各解析パターンの結果を示す。添付2-7 表に示すとおり，シリーズ１・３共に実験から得られたせん断耐力に対して，CCb1 のせん断耐力がCCb2のせん断耐力より大きいという傾向が確認された。 また，シリーズ１ではCCb1 とCCb2 でせん断耐力の再現性（実験結果との解離）は同程度であり，シリーズ３ではCCb2が再現性が良く，両シリーズにおいてCCb2のせん断耐力がやや保守的な評価となる。 これらより，材料非線形解析によるCCb のモデル化をCCb2の方法で行うことで，試験のせん断耐力を良好に再現できると共に，保守的評価が可能であることを確認された。 よって，CCb を材料非線形解析でモデル化する際は，CCb2（CCb 先端側の主筋軸心から必要定着長5D（D：鉄筋径）の鉄筋比をゼロ）の方法でモデル化することとする。	2.4 PHb のモデル化の検討 PHb のモデル化検討の結果を第 2-4 表に示す。表に示すとおり，実験で得られたせん断耐力 486kN に対し，PHb１のケースでのせん断耐力は 477kN（実験値の 98%），PHb２のケースでのせん断耐力は 341kN（実験値の 70%）であった。 評価の結果，PHb１のケースが実験値のせん断耐力を再現できており，PHb２のケースでは，実験値のせん断耐力を再現できない結果となった。材料非線形解析のモデル化では，鉄筋の付着領域を考慮してモデル化を実施するため，PHb の鉄筋径の倍数に合わせて小さい無筋要素を挿入することが有意に働かない結果となった。したがって，PHb を材料非線形解析でモデル化する際は，主筋領域（芯かぶりの２倍分）相当を目安として鉄筋無効区間としてモデル化することとする。なお，従来的な先施工によるせん断補強鉄筋を考慮した場台の材料非線形解析も併せて実施することにより PHb の有効性を確認することとする。	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

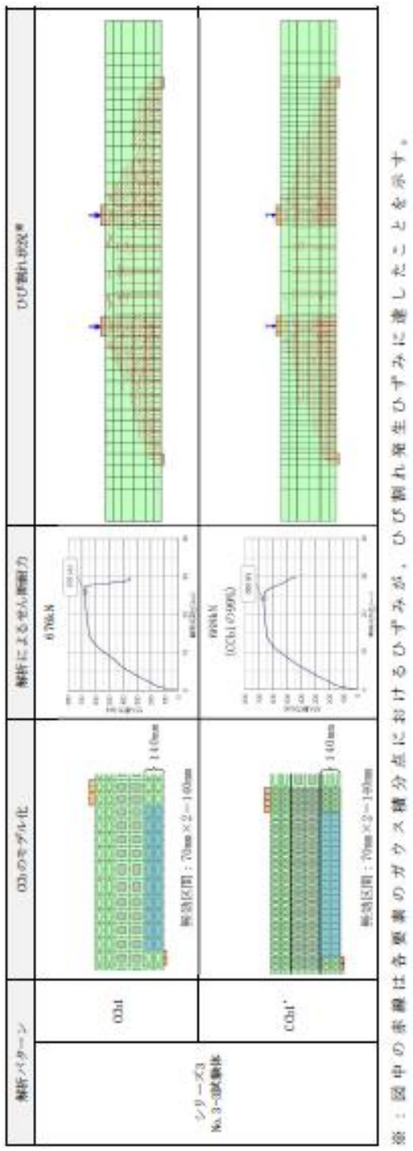
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-7 表 各解析パターンの確認結果  2.1.6 解析パターン（CCb1・CCb2）の違いによるせん断耐力への影響確認 2.1.5 に示したとおり，CCb のモデル化はCCb2 の方法で行うことが妥当であることを確認しているが，解析パターンの違いによるせん断耐力への影響について，建設技術審査証明報告書の実験結果に着目し確認する。 また，CCb1 と比べCCb2 は要素のアスペクト比の関係からメッシュ分割が細かくなっているため，メッシュサイズの違いによる解析結果への影響についても併せて確認する。 (1) 建設技術審査証明報告書の実験結果より確認 CCb の先端位置をパラメータとして影響検討を行った，シリーズ３の梁試験結果について整理する。シリーズ３の梁試験では，CCb の先端位置を「主鉄筋位置（No.3-3）」，「主鉄筋の表面より5mm 手前（No.3-4・3-5）」，「配力鉄筋の表面より5mm 手前（No.3-6）」とした3 ケースの検討を行い，せん断耐力を算出しており，各ケースのせん断耐力は添付2-8 表に示すとおりとなる。 添付2-8 表に示すとおり，CCb の先端位置が主鉄筋位置より離れるに従って，せん断耐力が低下していることがわかる。これは，前川らの論文に示されている傾向と同様であり，せん断補強筋が主鉄筋から離れるに従い，トラス機構の形成が弱まり，せん断耐力が低下したものであり，CCb1 と比較して無効区間が大きいCCb2 のせん断耐力が小さくなったと考えられる。	第 2-4 表　PHb の定着区間のモデル化  2.5　解析結果と実験結果の比較 材料非線形解析で得られる結果と建設技術審査証明報告書における実験値を比較しておおむね整合的であることを確認する。 ケース①－Ａ～①－Ｃの解析結果について第 2-6 図～第 2-8 図に，実験結果について第 2-9 図に示す。破壊基準に至るまでの最大荷重をせん断耐力とする。 実験値（CASE５：486kN）に対して，ケース①－Ａは PHb の定着不良領域を設定していないため実験値に対して上回ったと考えられ，ケース①－Ｂ及びケース①－Ｃではせん断耐力はおおむね実験を再現できている。また，ひび割れ状況については①－Ａが部材全体にひび割れが分散しているのに対し，①－Ｂにおいては，若干ひび割れの分散性が低下しており，スパン中央側に寄った部位に発生している。これは，参考にした論文である「コンクリート工学年次論文集　Vol.26，No.2，2004　せん断補強筋の定着不良が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響」においても同様の傾向が確認できており，PHb の定着不良分を適切にモデル化できていると考えられ，応力の伝達状況も再現できていると考えられる。一方，荷重－変位図については，解析結果は実験よりも早い段階でピークに達しており，荷重については再現性が認められるものの，変位については十分には再現できなかった。 実験では正負交番載荷が行われており，再現解析においては載荷条件が模擬できることが望ましい。しかし，第 2-8 図で示すように荷重－変位曲線の再現が十分ではない現段階においては，正負交番を模した解析を実施することは必ずしも有意とは限らない。単調載荷でも荷重の再現性は確認されており，せん断耐力やひび割れの発	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-8 表 建設技術審査証明報告書の実験結果（シリーズ３）	生（応力の伝達）状況は良好に再現されている。なお，ケース①－Ｃにおいては，破壊基準に達した時点で解析は終了しており，その後の繰返し載荷に対して剛性が低下して荷重－変位曲線の傾きが小さくなる現象までは確認できていない。	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違
		・ケース①－Ａ １，２，３％破壊基準までの最大荷重：615kN 実験値（CASE５）：486kN	
		第 2-6 図　ケース①－Ａの荷重－変位関係とひび割れ状況	
		・ケース①－Ｂ １，２，３％破壊基準までの最大荷重：477kN（実験値の 98％） 実験値（CASE５）：486kN	

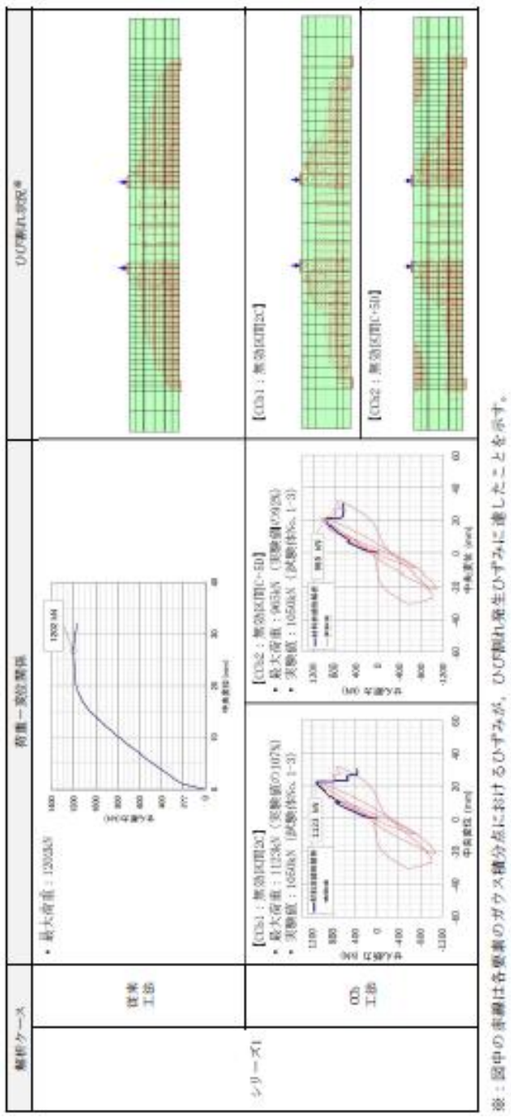
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 2-7 図　ケース①－Ｂの荷重－変位関係とひび割れ状況 ・ケース①－Ｃ １，２，３％破壊基準までの最大荷重：500kN（実験値の 103%） 実験値（CASE５）：486kN   荷重変位図　　荷重変位図（拡大図） （赤：材料非線形解析　黒：実験値）  第 2-8 図　ケース①－Ｃの荷重－変位関係とひび割れ状況	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 図-3.2　Post-Head-bar（2 列）を後施工したはり試験体（先端：主鉄筋手前）の破壊状況(CASE5) 第 2-9 図　構造実験（CASE５）の荷重－変位関係とひび割れ状況	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

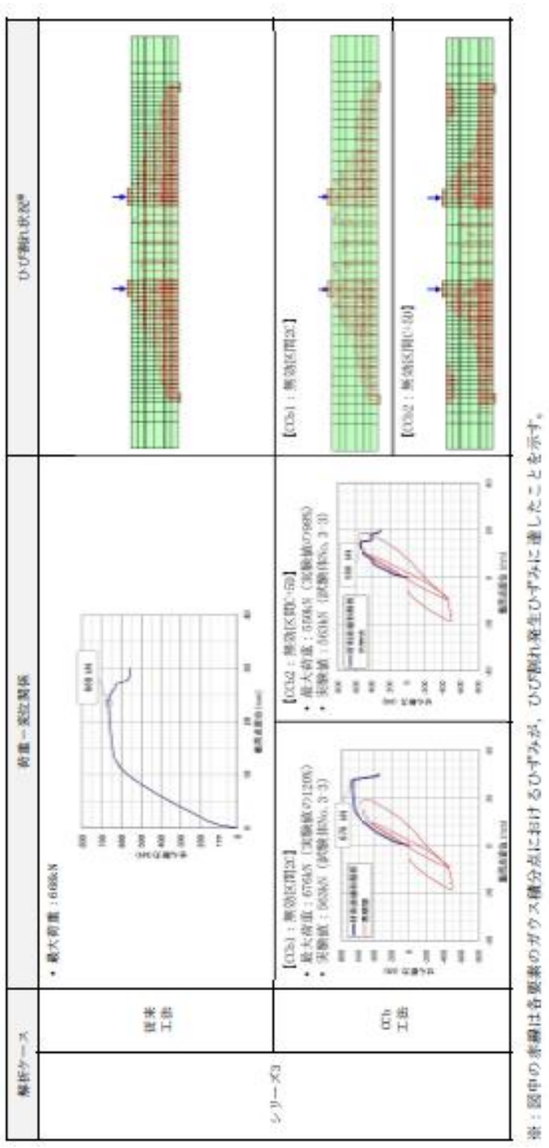
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(2) メッシュサイズの影響について CCb の解析上のモデル化方法を検討するにあたり，せん断補強筋の無効区間をパラメータとしているため，CCb1 とCCb2 ではメッシュ分割が異なる。メッシュ分割を行うにあたり，CCb2 では無効区間の設定において小さな要素が存在するため要素のアスペクト比の関係からCCb1 と比べてメッシュ分割が細かくなっていることから，メッシュサイズの違いが，せん断耐力等に与える影響について確認する。確認はシリーズ３の試験体を対象とし，CCb2 の解析モデルでCCb1 の無効区間（必要定着長2C=140㎜ の鉄筋比をゼロ）を反映した材料非線形解析（CCb1’とする）により行う。CCb1 及びCCb1’の材料非線形解析の結果を添付2-9 表に示す。 添付2-9 表に示すとおり，CCb1 とCCb1’のせん断耐力はほぼ同一となり，ひび割れ状況についても大きな差がないことを確認した。 よって，メッシュサイズの違いによるせん断耐力及びひび割れの発生状況への影響がないことを確認した。		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

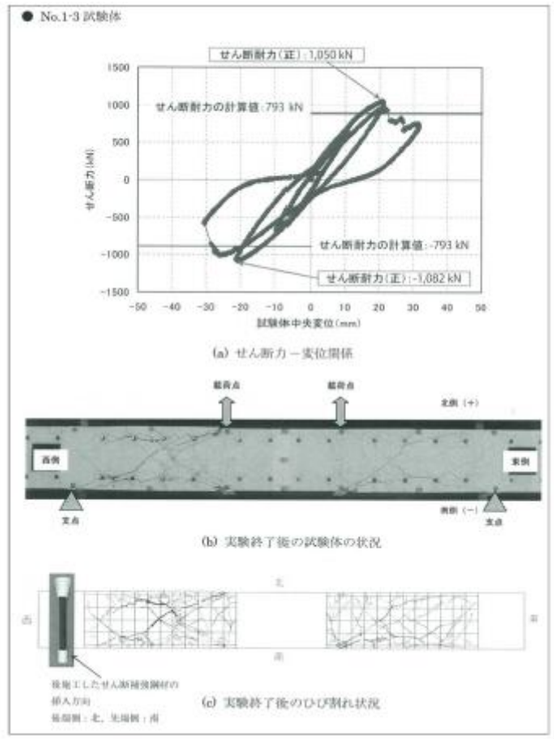
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2 － 9 表 ＣＣｂ１ とＣＣｂ１’　の材料非線形解析の結果  		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

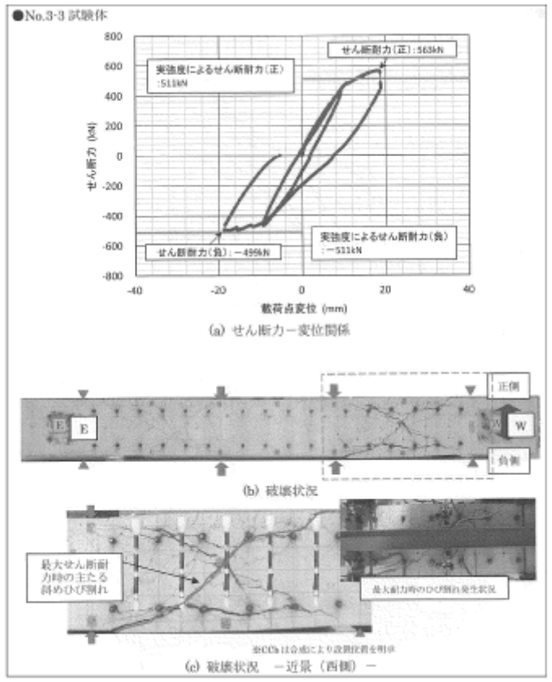
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.1.7 従来工法とCCb 工法の材料非線形解析の比較 従来工法（先施工）とCCb 工法の材料非線形解析の比較を行う。シリーズ１及びシリーズ３の解析結果を添付2-10 表及び添付2-11 表に，シリーズ１及びシリーズ３の実験結果を添付2-4 図及び添付2-5 図に示す。 シリーズ１・３共に実験値(No.1-3:1050kN,No.3-3:563kN)に対して，従来工法はCCb の定着不良領域（無効区間）を設定していないことから，せん断耐力がCCb の実験値を上回っていることが確認できる。また，CCb 工法のうちCCb2（無効区間C+5D）の方法では2.1.5 に示したとおり，せん断耐力は実験をおおむね再現できていることがわかる。 次に，ひび割れ状況を従来工法とCCb 工法で比較すると，CCb 工法はひび割れの分散性が若干低下しているが，これは無効区間の設定方法について参考とした前川らの論文においても同様の傾向が確認できており，CCb の定着不良域（無効区間）を適切にモデル化できている。CCb 工法のうちCCb1とCCｂ2 のひび割れ状況を比較すると，CCb1 の方がCCb2 よりもひび割れの分散性が良く，せん断耐力も大きい値となるが，ひび割れ分散性の差異が軽微であることと，2.1.5 にて示したとおり，せん断耐力を保守的に評価する観点からCCb2の方法でモデル化することが妥当である。 また，建設技術審査証明報告書の実験では交番載荷が行われていることから，参考としてシリーズ３の試験体（No.3-3）に対して交番載荷を行った解析結果（CCb のモデル化はCCb2の方法）を添付2-6 図に示す。添付2-6 図に示すように，ひび割れ状況は部材全体にひび割れが分散しており，特異な状況は確認されなかった。なお，荷重の再現性は添付2-10 表及び添付2-11 表に示すように単調載荷により確認されており，せん断耐力は良好に再現されている。		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

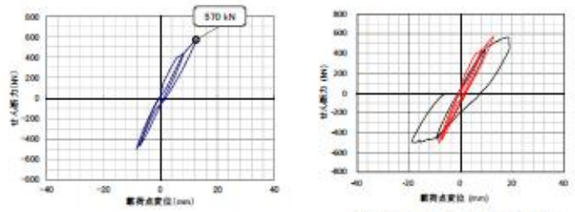
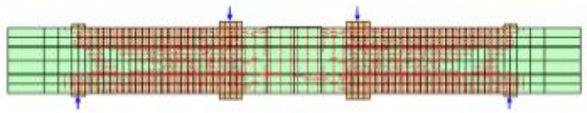
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-10 表 従来工法とCCb 工法の材料非線形解析結果（シリーズ１）  注：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

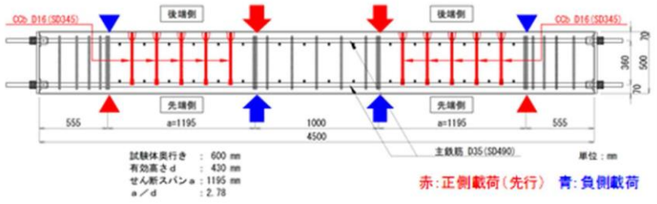
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-11 表 従来工法とCCb 工法の材料非線形解析結果（シリーズ３）		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

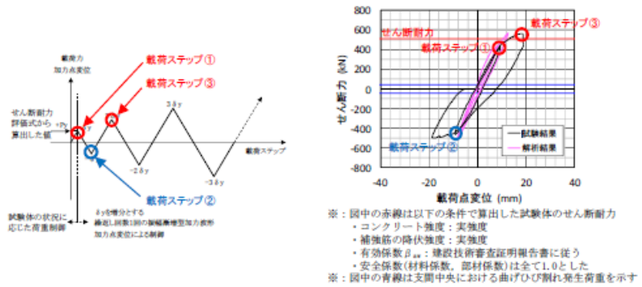


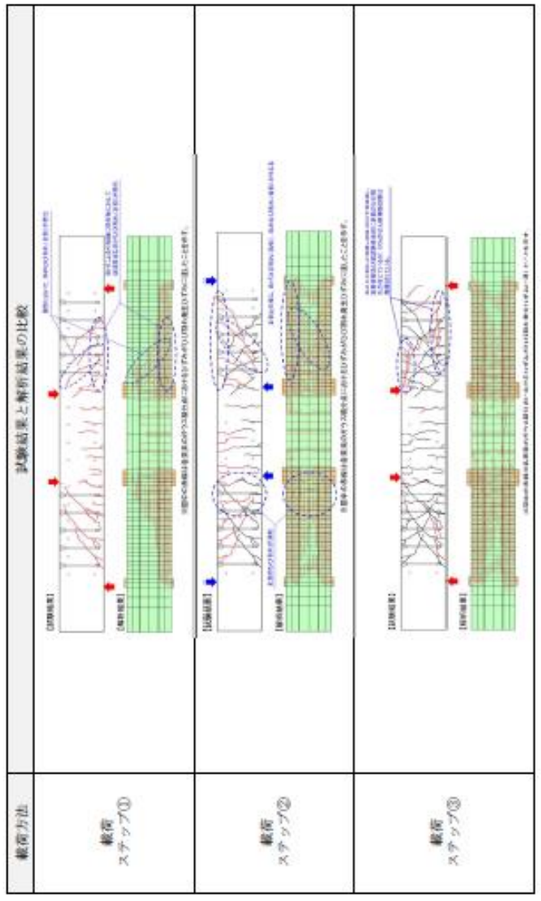
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付2-4 図 構造実験（No.1-3）の荷重 - 変位関係とひび割れ状況 （建設技術審査証明報告書より抜粋）		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付2-5 図 構造実験（No.3-3）の荷重 - 変位関係とひび割れ状況 （建設技術審査証明報告書より抜粋）		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

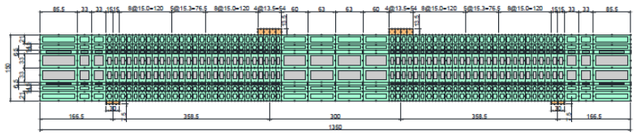
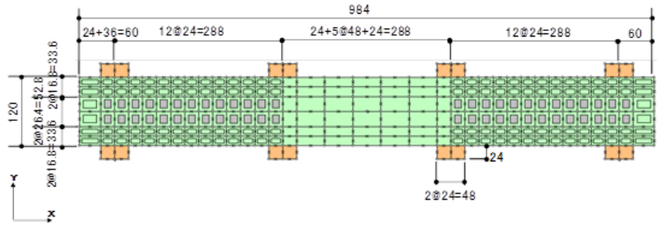
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	【参考】 ・ 載荷方法：交番載荷 ・ CCb のモデル化：CCb2 の方法 ・ 最大荷重：570kN（実験値の101%） ・ 実験値：563kN（試験体No.3-3）  （赤：材料非線形解析黒：実験値） 荷重－変位関係  ひび割れ状況※ 添付2-6 図 試験体No.3-3（交番載荷）の荷重-変位関係とひび割れ状況【参考】 ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.2 CCb の付着効果のモデル化 2.1 と同様に，CCb とコンクリート間の付着効果の妥当性の確認を行う。付着効果の妥当性の確認は，建設技術審査証明報告書の実験結果と実験を模擬した材料非線形解析の結果のひび割れ状況の比較により行うこととし，材料非線形解析におけるCCb のモデル化は再現性が良く保守的評価が可能なCCb2 の方法とする。 2.2.1 モデル化方法 CCb のせん断補強効果を確認するための材料非線形解析による数値実験において，CCb の付着が有効な領域は鉄筋コンクリート要素にて，CCb とコンクリートが完全付着であるものとしてモデル化しており，付着の影響が及ばない領域は無筋コンクリート領域としてモデル化している。また，セラミック定着体の強度はコンクリートより強いこと，かつ定着部の強度試験より，セラミック定着体とコンクリート間で破壊は生じないことから，鉄筋コンクリートの分散ひび割れモデルにおいて，ひび割れの影響は鉄筋コンクリート要素の剛性を低下させることにより考慮している。 2.2.2 妥当性の確認 付着効果のモデル化の妥当性の確認は，建設技術審査証明報告書のシリーズ3（試験体№3-3）を例に交番載荷試験の結果と材料非線形解析によるCCb の無効区間を考慮した試験の再現解析結果の比較により行う。試験体の概要図及び載荷方法を，それぞれ添付2-7 図及び添付2-8 図に示す。また，交番載荷試験と材料非線形解析の各載荷ステップにおけるひび割れ状況の比較結果を添付2-12 表に示す。 添付2-12 表に示すように，CCb とコンクリートが付着していると仮定した解析結果は，各載荷ステップで発生するひび割れ状況を良好に再現できていることが確認できる。  添付2-7 図 試験体概要	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

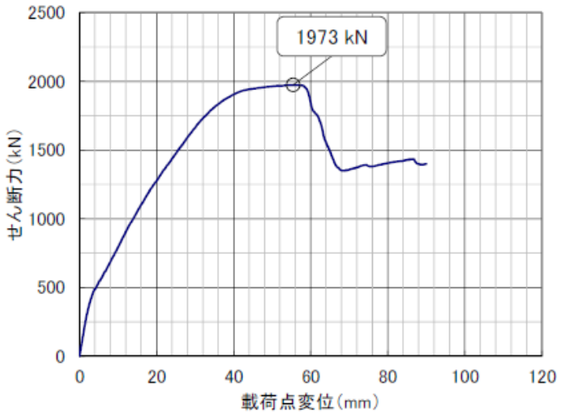
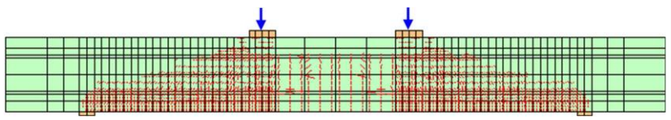
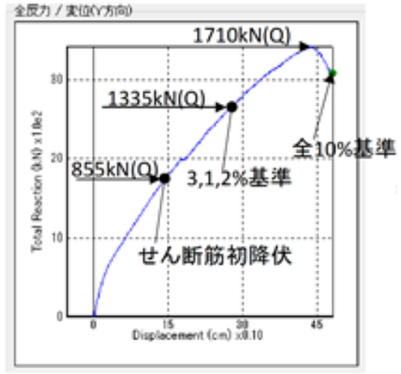
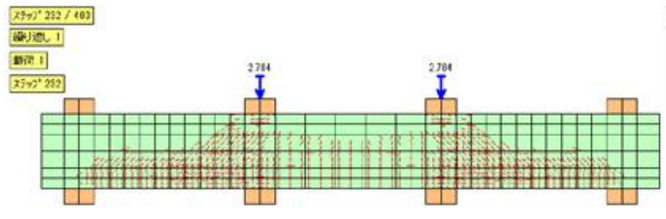
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 ※：図中の赤線は以下の条件で算出した試験体のせん断耐力 ・コンクリート強度：実強度 ・補強筋の降伏強度：実強度 ・有効係数 β_{ue}：建設技術審査証明報告書に従う ・安全係数(材料係数，部材係数)は全て1.0とした ※：図中の青線は支間中央における曲げひび割れ発生荷重を示す 添付2-8 図 載荷方法		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

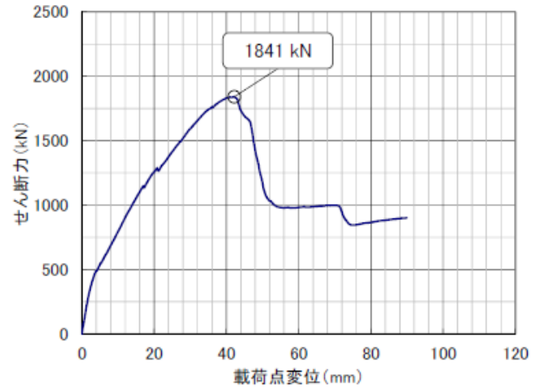
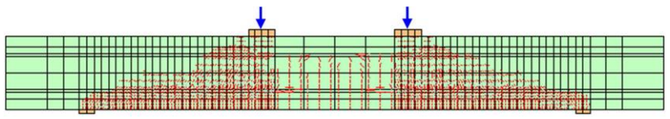
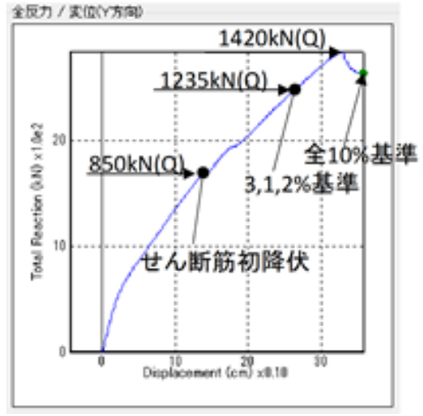
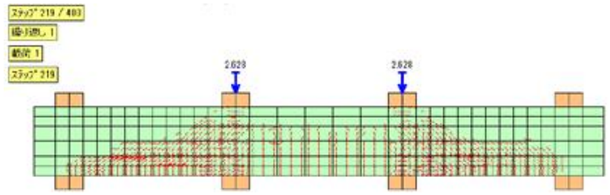
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-12 表 各載荷ステップにおける試験結果（試験体No.3-3）と解析結果のひび割れ状況の比較  		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

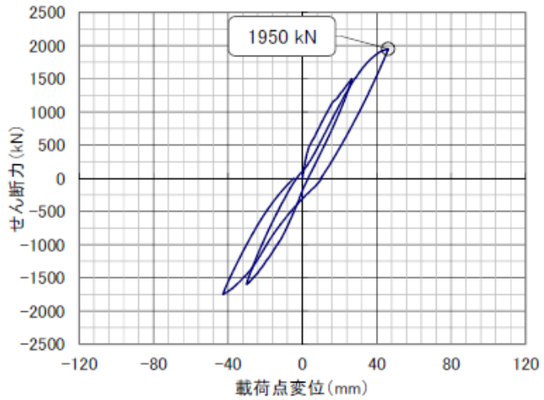
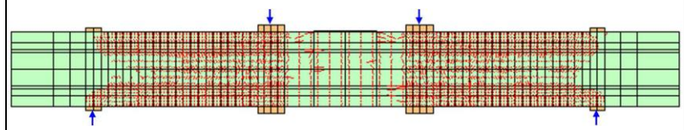
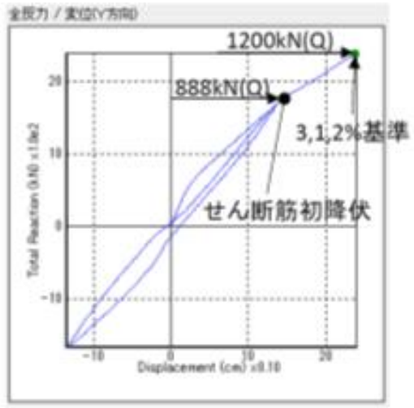
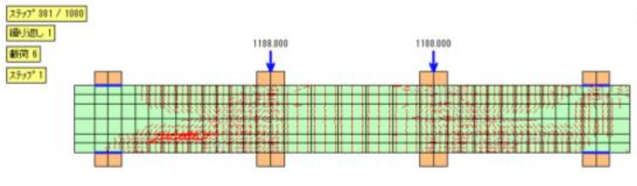
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.2.3 CCb の解析上のモデル化方法のまとめ CCb の解析上のモデル化方法について，CCb の定着効果及び付着効果を材料非線形解析によるせん断耐力の再現や実験と解析のひび割れ状況の整合性の観点から確認を行った。 定着体部のモデル化範囲を変えた２パターンのモデル化方法について検討を行い，CCb2（CCb 先端側主筋軸心から必要定着長5D（D：鉄筋径）の鉄筋比をゼロ）の方法によりモデル化を行うことで，実験のせん断耐力やひび割れ発生状況を良好に再現でき，もう一方のモデル化方法（CCb1：CCb 先端側主筋領域（かぶりの２倍）の鉄筋比をゼロ）よりもせん断耐力をやや保守的に評価できることを確認できた。ここで採用した材料非線形解析では分散ひび割れモデルを用いており，CCb に発生したひび割れによる付着性能の低下を完全に模擬することはできないが，今回採用したモデル化により実験のせん断耐力やひび割れ状況を十分に再現できており，CCb の定着効果及び付着効果を間接的に表現し得ることが確認できた。 なお，今回採用した解析モデル・解析コードは，美浜３号炉（PHb 工法）の工事計画認可申請において適用性を確認した際のものと同様である。		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3. ステップ②：大きな部材厚に対する適用性確認 3.1 モデル化について 建設技術審査証明報告書の実験よりも大きな部材厚に対する適用性の確認を目的に，女川２号炉においてCCb 工法を適用した構造物のうち最も部材厚が大きい軽油タンク室底版（t=1500mm）を想定し，せん断スパン比（a/d）がステップ①と同等となるような部材寸法（ステップ①の躯体の相似形）の解析モデルにより材料非線形解析を行う。配筋は，主鉄筋及びせん断補強筋共に鉄筋比が一定となるように，2.1.2 に準じて設定する。 CCb のモデル化は，ステップ①で再現性の良いCCb2 の方法とし，シリーズ３（梁試験体№3-3）を例に従来工法とCCb 工法の材料非線形解析の結果の比較を行う。 なお，材料物性については，構造実験と同一とする。解析モデル図を添付2-9 図に示す。  添付2-9 図 解析モデル図	3.　②の解析内容 3.1　モデル化について 部材厚は島根原子力発電所２号炉取水槽の部材を参考に設定し，せん断スパン比（a／d）が①と同等となるような部材寸法（①の躯体の相似形）とする。配筋については，主鉄筋，せん断補強筋共に鉄筋比が一定となるように設定する。「2.1　モデル化について」に準じて設定する。なお，PHb の鉄筋無効区間は①で確認された主筋領域（芯かぶりの２倍）を目安とする。また，材料物性については，構造実験と同一とする。 解析モデル図を第 3-1 図に示す。  （単位：cm） 第 3-1 図　解析モデル図	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違
	3.2 荷重条件 2.1.3 に準じて設定する。 3.3 破壊判定基準 2.1.4 に準じて設定する。 3.4 検討ケース 検討ケースは，添付2-13 表に示すとおり３ケース行う。従来工法によるせん断補強を想定したケースをケース②－Ａ，CCb 工法によるせん断補強を想定したケースをケース②－Ｂとし，参考ケースとして交番載荷としたケースをケース②－Ｃとする。	3.2　荷重条件 「2.2　荷重条件」に準じて設定する。 3.3　破壊判定基準 「2.3　破壊判定基準」に準じて設定する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-13 表 検討ケース一覧 ケース：②－A 従来工法／荷重載荷方法：単調載荷 ケース：②－B CCb 工法／荷重載荷方法：単調載荷 ケース：②－C 同上／荷重載荷方法：交番載荷【参考】 3.5 確認結果 各ケースの解析結果を添付2-10 図～添付2-12 図に示す。併せて，ステップ①及び②のせん断耐力の一覧を，添付2-14 表に示す。 添付2-14 表の一覧より，せん断耐力の有効割合を比較するとステップ①（0.82）よりもステップ②（0.93）の方が小さいことが確認できる。これは，建設技術審査証明報告書のせん断耐力算出時における有効係数βaw （CCb のせん断耐力の補強効果を示す有効係数）を算出する際の理論と同様の傾向であり，部材厚が大きい程，従来工法に対するCCb 工法によるせん断耐力の有効割合は小さくなることが確認でき，CCb 工法の特性を良く再現できている。 また，ひび割れ状況についても全体的にひび割れが分散しており，従来工法と顕著な差は見られなかった。ステップ②では，部材厚が大きくなることでCCb 端部定着の影響が小さくなったと考えられる。参考に，ケース②－A及びケース②－Bの解析について，各損傷状況における変形状況，ひび割れ状況及び鉄筋降伏状況を添付2-15 表及び添付2-16 表に示す。添付2-15 表及び添付2-16 表に示すとおり，各損傷状況において，従来工法とCCb 工法の間でCCb によるせん断補強効果に影響を与えるような顕著な差は確認されなかった。 以上より，CCb 工法によるせん断ひび割れ抑制効果についても従来工法とCCb 工法で顕著な差は確認されず，実験よりも大きな部材厚に対する適用性を確認できた。 なお，参考ケースのケース②－Cの交番載荷のケースにおけるせん断耐力は1950kN であり，せん断耐力の有効割合は約0.99 となった。ひび割れ状況についても，部材全体にひび割れが分散しており，特異な状況は確認されなかった。	3.4 解析結果 在来工法によるせん断補強を想定したケースをケース②－Aとし，PHb 工法によるせん断補強を想定したケースをケース②－Bとする。参考に交番載荷としたケースを②－Cとする。実施するケースを第 3-1 表に示す。それぞれの結果を第 3-2～4 図に示す。ケース②－Aのせん断耐力は 1,335kN，ケース②－Bのせん断耐力は 1,235kN であり，在来工法と PHb 工法のせん断耐力の比率は約 93%となった。ここで，ケース①－Aとケース①－Bから得られるせん断耐力の比率は約 78%であった。これは，建設技術審査証明報告書における β_{aw} の算出する際の理論と同様の傾向であり，部材厚が大きい部材程，PHb によるせん断補強効果が大きくなることが確認できた。ひび割れ状況についても全体的にひび割れが分散しており，在来工法と顕著な差は見られなかった。ステップ①では PHb によるひび割れの分散性が低下したが，ステップ②においては，部材厚が大きくなることで PHb 端部定着の影響が小さくなったと考えられる。PHb によるせん断ひび割れ抑制効果についても在来工法と PHb 間で顕著な差は見られなかった。 また，ケース②－C の交番載荷のケースにおけるせん断耐力は 1,200kN であり，在来工法と PHb 工法の比率は約 90%となった。ひび割れ状況についても，部材全体にひび割れが分散しており，特異な応答は確認されなかった。 ステップ①，②の評価結果一覧を第 3-2 表に示す。また，ステップ②の解析結果を第 3-5～7 図に示す。 第 3-1 表　ケース一覧 ケース：②－A／荷重載荷方法：単調載荷 ケース：②－B／荷重載荷方法：単調載荷 ケース：②－C／荷重載荷方法：交番載荷	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違 ・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

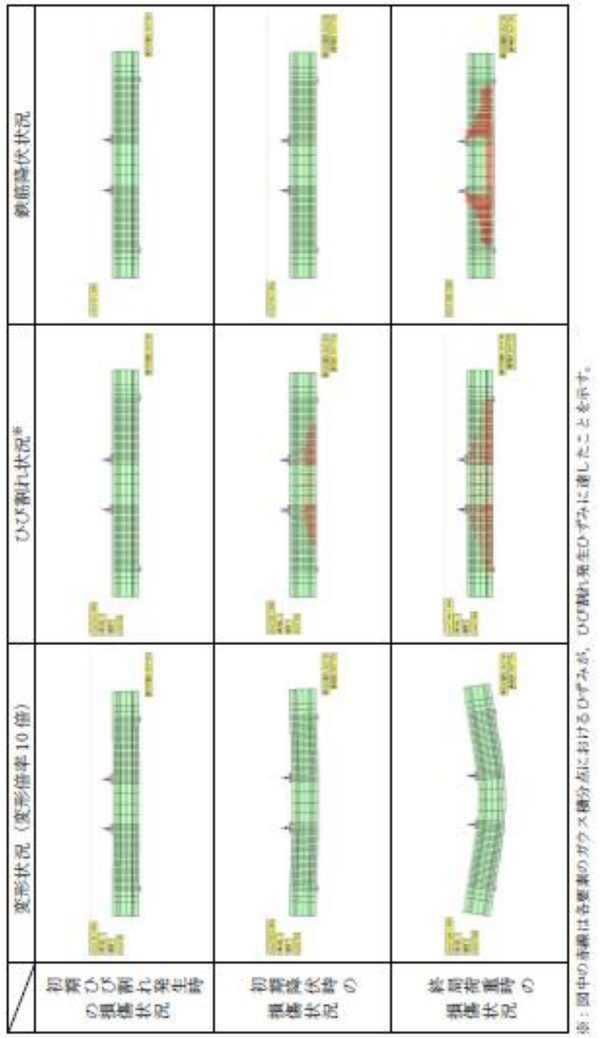
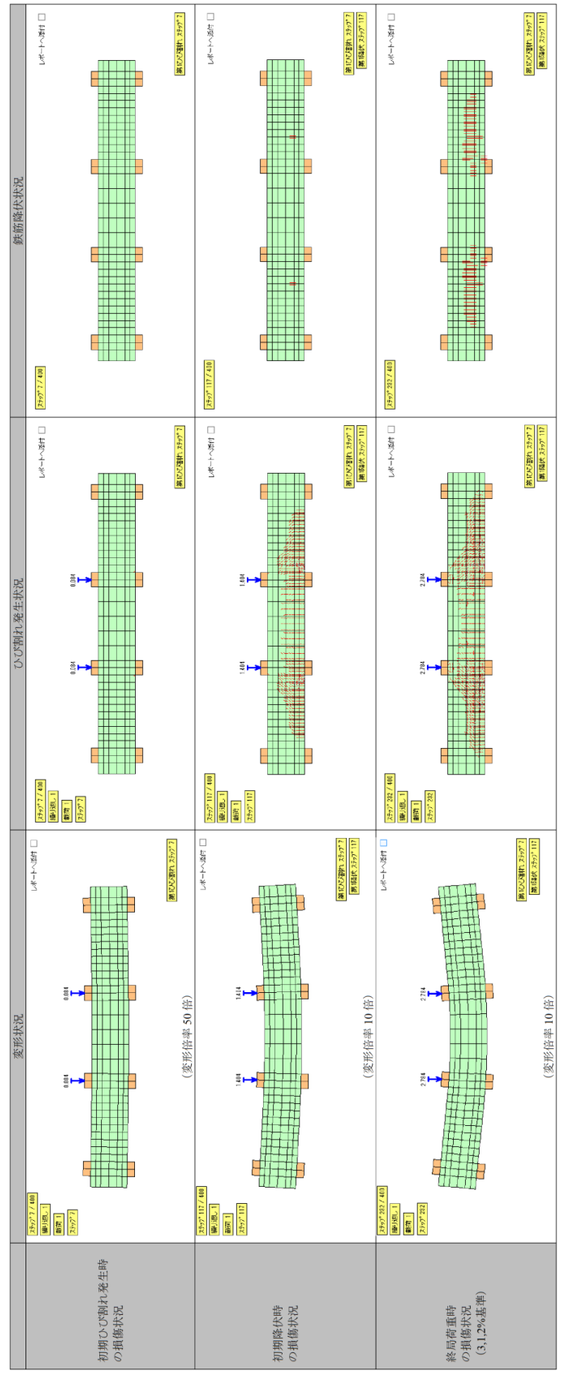
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	【ケース②－Ａ】 ・ 載荷方法：単調載荷 ・ 最大荷重：1973kN  荷重－変位関係  ひび割れ状況※ 添付2-10 図 ケース②－Ａの荷重-変位関係とひび割れ状況 ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。	・ケース②－Ａ 破壊基準時の最大荷重：1,335kN   第 3-2 図　ケース②－Ａの荷重－変位関係とひび割れ状況	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

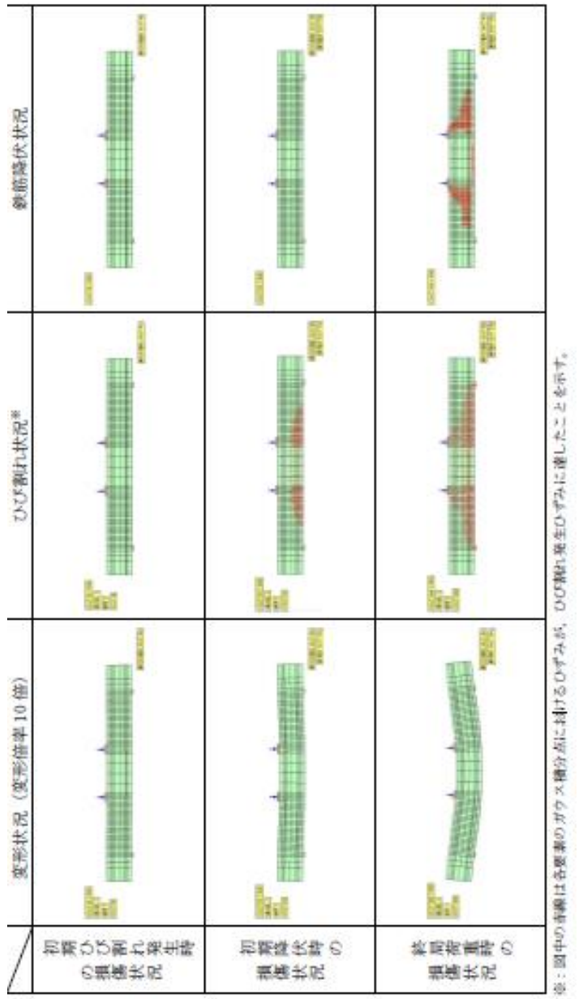
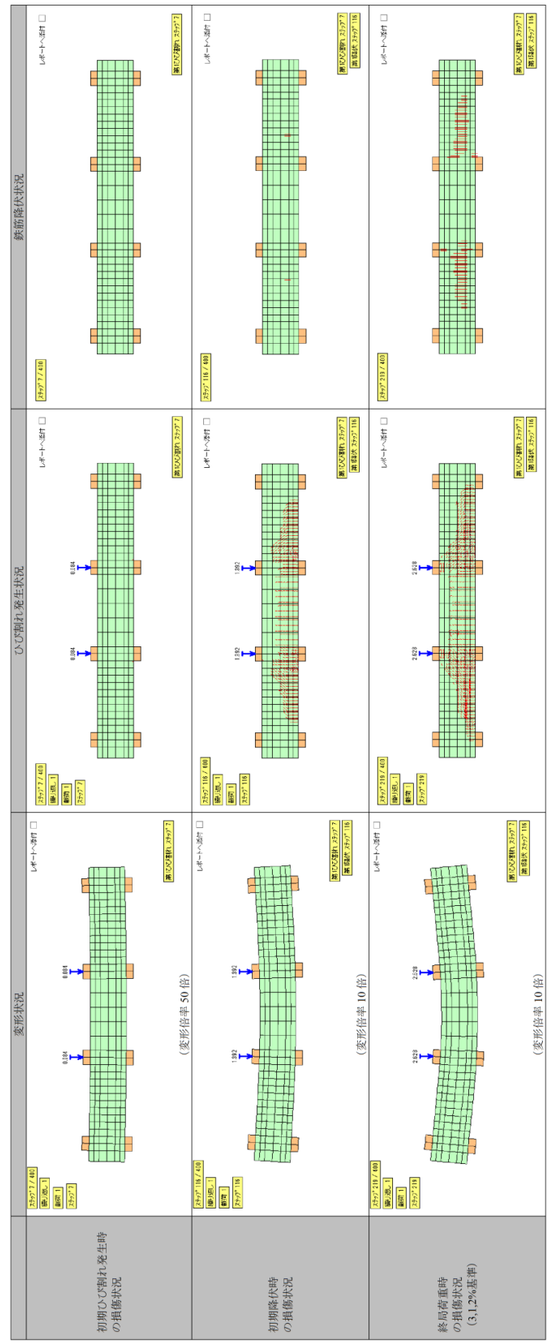
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	【ケース②－Ｂ】 ・ 載荷方法：単調載荷 ・ 最大荷重：1841kN  荷重－変位関係  ひび割れ状況※ 添付2-11 図 ケース②－Ｂの荷重-変位関係とひび割れ状況 ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。	・ケース②－Ｂ 破壊基準時の最大荷重：1,235kN   第 3-3 図　ケース②－Ｂの荷重－変位関係とひび割れ状況	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

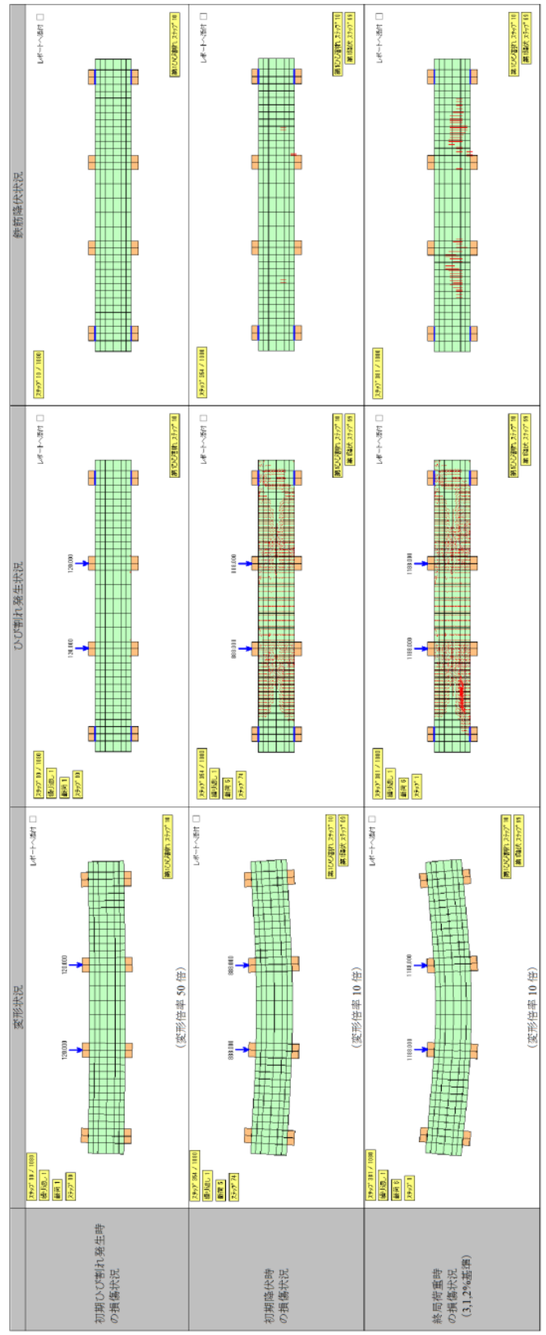
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	【参考：ケース② - C】 ・ 載荷方法：交番載荷 ・ 最大荷重：1950kN  荷重 - 変位関係  ひび割れ状況※ 添付2-12 図 ケース② - Cの荷重-変位関係とひび割れ状況【参考】 ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。	・ケース②－C 破壊基準時の最大荷重：1,200kN   第 3-4 図　ケース②－Cの荷重－変位関係とひび割れ状況	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違
	添付2-14 表 各ケースのせん断耐力一覧	第 3-2 表　評価結果一覧	

ケース		せん断耐力（kN）	従来工法と CCb 工法のせん断耐力の比率
ステップ①	従来工法・単調載荷	668	－
	CCb 工法・単調載荷	550	0.82
ステップ①【参考】	CCb 工法・交番載荷	570	0.85
ステップ②	従来工法・単調載荷（ケース② - A）	1973	－
	CCb 工法・単調載荷（ケース② - B）	1841	0.93
ステップ②【参考】	CCb 工法・交番載荷（ケース② - C）	1950	0.99

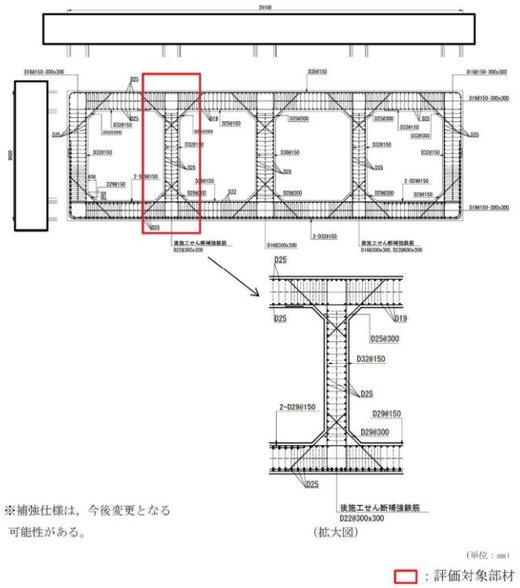
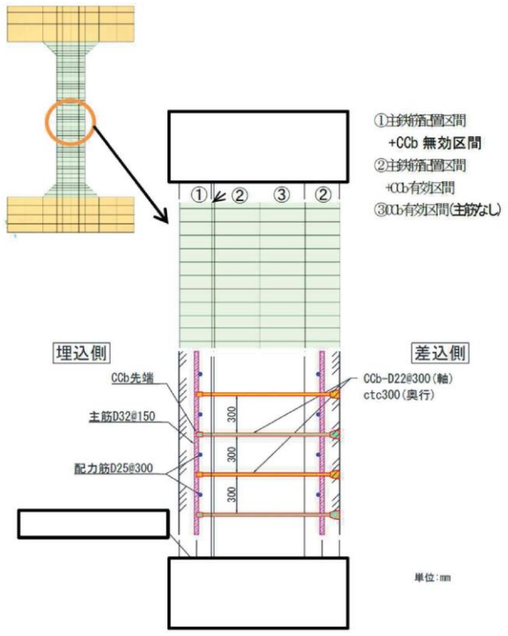
ケース	せん断耐力(kN)	在来工法と PHb 工法の比率
①－A（在来工法）	615	－
①－B	477	0.78
①－C	500	0.81
②－A（在来工法）	1,335	－
②－B	1,235	0.93
②－C	1,200	0.90

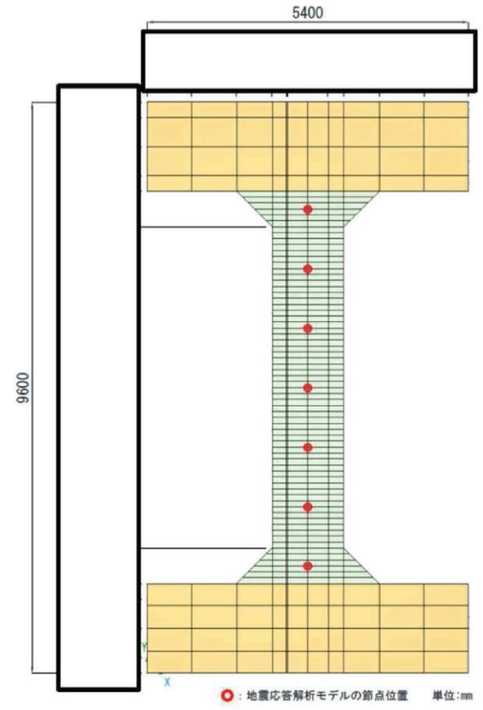
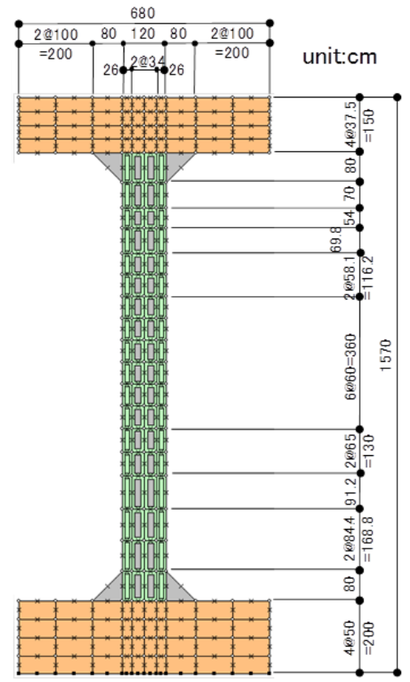
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-15 表 ケース②－Ａ（従来工法）の解析結果  	 第 3-5 図　ケース②－Ａの解析結果	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-16 表 ケース②－Ｂ（CCb 工法）の解析結果  	 第 3-6 図　ケース②－Ｂの解析結果	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 3-7 図　ケース②－Ｃの解析結果	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4. ステップ③：実施工部材の応答性状の確認 実施工部材に対するCCb 工法の適用性を確認することを目的に，荷重形態及び破壊形態（せん断スパン比）の違いに着目して選定した部材に対する材料非線形解析を行う。荷重形態及び破壊形態は，建設技術審査証明報告書の梁試験がせん断破壊を対象としており，曲げ破壊先行とならないように主鉄筋比を大きく設定していることを踏まえ，CCb のせん断補強効果に大きく影響を与える可能性があることから着目している。対象部材は，集中荷重及び分布荷重が作用する構造物のうち部材厚に着目し選定している。添付2-17 表にステップ③における検討ケース概要を示す。 添付2-17 表 検討ケースの概要 検討ケース／対象部材／荷重形態／作用荷重／破壊形態 ケース③－1／取水路（漸拡部）隔壁／集中荷重系／構造物－地盤連成の二次元有限要素解析による地震応答解析（基準地震動Ss-D2）から得られる応答断面力を再現できる荷重。／棒部材的な破壊（斜め引張破壊） ケース③－2－1／軽油タンク室側壁／分布荷重系／同上／ディープビーム的な破壊（せん断圧縮破壊） ケース③－2－2／同上／同上／等分荷重／棒部材的な破壊（斜め引張破壊） 4.1 ケース③－１（集中荷重系）の材料非線形解析 4.1.1 モデル化について 2.1.2 に準じて設定する。 対象とする部材は，多連ボックスカルバートの隔壁のように主な荷重が頂版から受ける集中荷重となる構造物のうち，部材厚が最大である取水路（漸拡部）隔壁とし，添付2-13 図に示す左隔壁とする。 解析モデルは，主鉄筋位置やCCb の鉄筋無効区間のモデル化を考慮して要素分割を検討する。奥行き方向の厚さは100cm とし，梁部材の高さ方向の分割については添付2-14 図に示すとおりとする。主鉄筋芯かぶりは130mm であるので，260mm(=130+130)を主鉄筋が配置される要素の高さとする。CCb の無効区間は，主鉄筋芯かぶり+CCb 定着長分(130+5D=130+5×22=240mm)とする。主鉄筋が配置され，かつCCb が有効な区間は20mm(=260-240)とする。左側主鉄筋領域と右側主鉄筋領域の間の領域を２分割して，合計５分割としている。 梁部材の軸方向は，地震応答解析モデルでの梁要素の節点位置を考慮して分割を行うものとする。解析モデル図を添付2-15 図に示す。	4.　③の解析内容 4.1　モデル化について 「2.1　モデル化について」に準じて設定する。なお，部材諸元は島根原子力発電所２号炉取水槽の隔壁とする。対象とする部位はせん断照査結果が最も厳しくなった隔壁③を対象とする。対象とする部材を第 4-1 図に示す。この部位に設置する PHb の径は D22 である。	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付2-13 図 評価対象部材	 第 4-1 図　評価対象部材 解析モデルについては，主鉄筋位置や PHb の鉄筋無効区間のモデル化を考慮して要素分割を検討する。なお，奥行き方向の厚さは 100cm とする。 部材厚さ方向の分割は４分割とする。両外側２要素は，軸方向主筋が配置されることから，芯かぶり 130mm の２倍の要素幅 260mm とし，RC 要素として設定する。 なお，要素の縦横比は 1:5 以下を目安に分割し，ハンチ部（上下部とも 800mm×800mm）は１要素とする。 解析モデル図を第 4-2 図に示す。	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違
	 添付2-14 図 要素分割の考え方		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付2-15 図 解析モデル図 解析の入力データとなるコンクリートの材料特性及び鉄筋の材料特性を，添付2-18 表及び添付2-19 表に示す。 また，ステップ②の解析モデルとケース③－１の解析モデルの違いを，添付2-20 表に示す。添付2-20 表に示すとおり，各項目において差異があり，これらが解析により応答性状及びせん断補強効果にどの程度影響するかを確認する。 添付2-18 表 コンクリートの材料特性 項目 / 設定値 設計基準強度 f'_{ck} / 20.5 N/mm² 引張強度 f_t / 1.72 N/mm² ヤング係数 E_c / 解析プログラム内で自動計算	 第 4-2 図　解析モデル図 解析の入力データとなるコンクリートおよび鉄筋の材料特性を第 4-1 表及び第 4-2 表に示す。 ステップ②における解析モデルとステップ③における解析モデルによる違いを第 4-3 表に示す。表に示すとおり，せん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度及び荷重の載荷方法についても解析により応答性状及びせん断補強効果にどの程度影響するか確認する。 第 4-1 表　コンクリートの材料特性 項目 / 設定値 圧縮強度 f'c / 23.5N/mm² 引張強度 ft / 1.91N/mm²（小数２位に四捨五入）(=0.23×24.0$^{2/3}$=1.91367) ヤング係数 Ec / ＷＣＯＭＤで自動計算	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付2-19 表 鉄筋の材料特性

項目	設定値
主鉄筋及びせん断補強鉄筋のヤング係数	200 kN/mm^2
主鉄筋の降伏強度	3450 N/mm^2
CCb 鉄筋の降伏強度	345 N/mm^2

添付2-20 表 解析モデルの違い

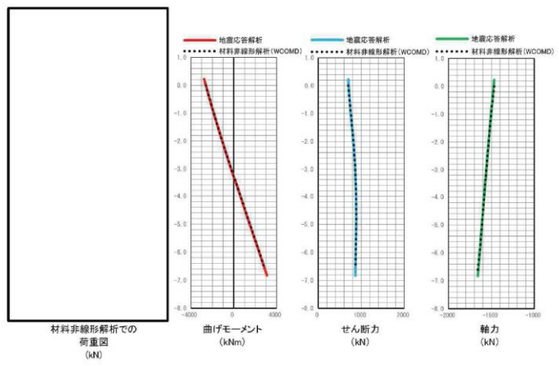
項目	ステップ②	ケース③－１
部材厚	1500 mm	1200 mm
せん断スパン比	2.78	6.17
主鉄筋比	1.28 %	0.44 %
コンクリート強度	42.4 N/mm^2	20.5 N/mm^2
載荷方法	強制変位 （集中荷重系）	断面力に基づく節点力 （集中荷重系）

4.1.2 荷重条件

荷重は，構造物－地盤連成の二次元有限要素解析による地震応答解析から得られる応答断面力を用いる。具体的には，取水路（漸拡部）をモデル化した地震応答解析から得られる断面力分布（曲げモーメント，軸力，せん断力）を再現できる荷重を材料非線形解析モデルに作用させる。添付2-16 図に示す断面力分布より，材料非線形解析に作用させる荷重が地震応答解析の応答断面力を良好に再現できていることがわかる。

材料非線形解析では，鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため，荷重を1/100 にしたものを漸増載荷する。

荷重ケースについては，CCb を考慮したせん断耐力評価式による照査値が最も厳しくなるSs-D2 を対象とする。取水路（漸拡部）のSs-D2 のせん断耐力評価式による照査結果を，添付2-21 表に示す。



添付2-16 図 荷重図及び断面力分布

第 4-2 表　鉄筋の材料特性

項目	設定値
主鉄筋およびせん断補強鉄筋のヤング係数	200kN/mm^2
主鉄筋の降伏強度	999N/mm^2
PHb 鉄筋の降伏強度	345N/mm^2

第 4-3 表　解析モデルの違い

項目	ステップ②	ステップ③
部材厚	1,200mm	1,200mm
せん断スパン比	2.79	11.40
主鉄筋比	1.48	0.85
コンクリート設計基準強度	32.0N/mm^2	23.5N/mm^2
載荷方法	強制変位	断面力に基づく節点力

4.2　荷重条件

考慮する荷重は，地震応答解析（部材非線形解析）から得られる断面力を考慮する。具体的には，地震応答解析（部材非線形解析）における断面力（曲げモーメント，軸力，せん断力）から得られる節点力を材料非線形解析モデルに作用させる。

材料非線形解析では，鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため，当該節点力をそれぞれ 1／100 したものを漸次載荷する。

荷重ケースについては，隔壁の照査値が最も厳しくなるＳｓ－Ｎ１を対象とする。

取水槽の照査結果一覧を第 4-4 表に示す。

・検討方針の相違
【女川 2】
検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-21 表 取水路（漸拡部）の照査結果（暫定値※1） 基準地震動 / 左隔壁の照査値※2 Ss-D1 / - Ss-D2 / 0.61 Ss-D3 / - Ss-F1 / - Ss-F2 / - Ss-F3 / - Ss-N1 / - ※1：工事計画認可段階で選定する解析断面や解析手法により，変更となる可能性がある。 ※2：照査値＝照査用せん断力／せん断耐力 ここで， 照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数	第 4-4 表　取水槽の照査結果一覧 基準地震動 / 隔壁の照査値※ Ｓｓ－Ｄ / 0.37 Ｓｓ－Ｎ１ / 0.51 Ｓｓ－Ｎ２（ＮＳ） / 0.28 Ｓｓ－Ｎ２（ＥＷ） / 0.28 Ｓｓ－Ｆ１ / 0.26 Ｓｓ－Ｆ２ / 0.27 ※照査値＝照査用せん断力／せん断耐力 ここで，照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違
	4.1.3 破壊判定基準 ケース③－１の破壊判定基準は，荷重－変位関係において変位が急増した場合とし，その直前の荷重をせん断耐力とする。	4.3　破壊判定基準 「2.3　破壊判定基準」に準じて設定する。	
	4.1.4 解析結果及び従来工法とCCb 工法の比較 従来工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－１－Ａとし，CCb 工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－１－Ｂとする。解析ケースを添付2-22 表に示す。 各ケースのせん断耐力及びせん断耐力の有効割合の比較結果を添付2-23 表に，初期ひび割れ発生時及び地震時荷重時の各損傷状況を添付2-24 表及び添付2-25表に示す。 せん断耐力は，添付2-23 表に示すとおりCCb 工法のせん断耐力の有効割合が約88%となり，従来工法よりもせん断耐力は小さくなっている。これはCCb の定着機能を考慮したせん断補強筋の無効区間による影響であり，部材厚が大きい程，せん断耐力の有効割合が小さくなるというステップ①・②と整合する結果が得られた。 また，添付2-24 表及び添付2-25 表に示すとおり，初期ひび割れ発生時及び地震時荷重時において，変形状況，ひび割れ状況及び鉄筋降伏状況は，従来工法とCCb 工法の間で顕著な差は確認されず，おおむね整合的な結果となった。	4.4　解析結果 検討ケースを第 4-5 表に示す。Ｓｓ－Ｎ１の地震時における在来工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－Ａとし，PHb 工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－Ｂとする。せん断耐力の結果を第 4-6 表に示す。ケース③－Ａのせん断耐力は 1,610kN，ケース③－Ｂのせん断耐力は 1,549kN であり，在来工法と PHb 工法の比率は約 96％となった。それぞれの結果を第 4-7 表～第 4-8 表に示す。表に示すとおり，初期ひび割れ発生時，作用荷重時のそれぞれの段階において，変形状況は在来工法と PHb 工法で顕著な差は見られず，おおむね整合的な結果となった。ひび割れ状況や鉄筋の降伏位置においても在来工法と顕著な差は見られず，ステップ①，②と同様の傾向となった。 したがって，島根原子力発電所２号炉の構造物に作用する荷重の範囲においては，在来工法と PHb 工法の間で PHb によるせん断補強効果に影響を与えるような特異な応答等は確認されなかった。参考に作用荷重を超える範囲における初期降伏時，終局荷重時における変形状況，ひび割れ状況，鉄筋降伏の状況についても第 4-7 表～第 4-8 表に示す。	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

以上より，従来工法とCCb 工法の間でCCb 工法がせん断補強効果に影響を与えるような特異な状況は確認されず，実施工部材のうち集中荷重系となる荷重形態の部材に対するCCb 工法の適用性を確認できた。

参考に終局荷重時の状況を添付2-26 表に示す。ひび割れ状況から従来工法及びCCb 工法共に隔壁中央部付近において，ひび割れが繋がることで破壊しており，従来工法とCCb 工法で破壊状況に顕著な差は見られなかった。なお，従来工法とCCb 工法でひび割れが繋がる位置が異なるのは，CCb 工法の鉄筋無効区間による影響である。

添付2-22 表 ケース一覧

ケース	地震動	せん断補強筋設置方法
③－１－Ａ	Ss-D2	従来工法（先施工）
③－１－Ｂ	Ss-D2	CCb 工法（後施工）

添付2-23 表 せん断耐力の比較

ケース	せん断耐力（kN）	従来工法と CCb 工法の せん断耐力の比率
従来工法 （③－１－Ａ）	1678	－
CCb 工法 （③－１－Ｂ）	1488	0.88

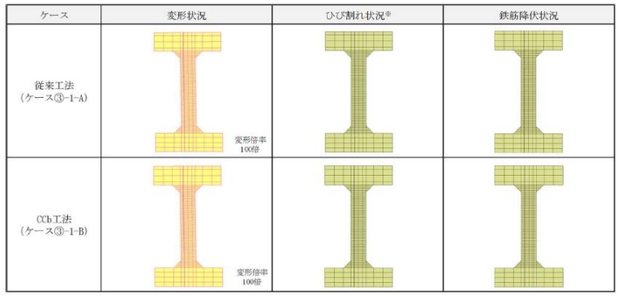
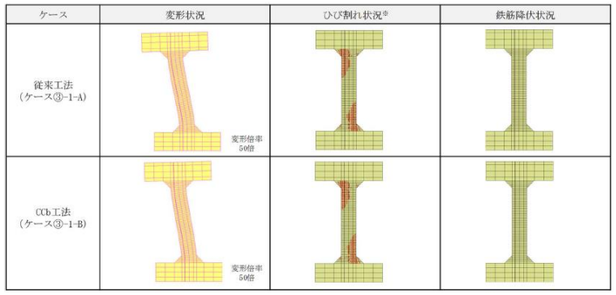
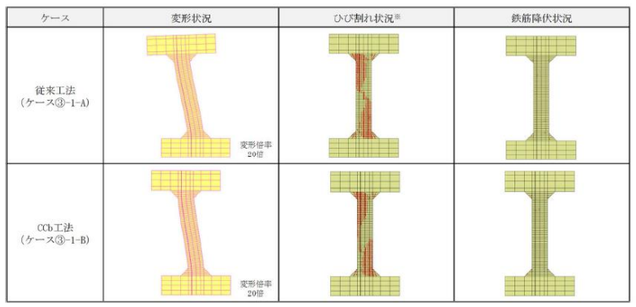
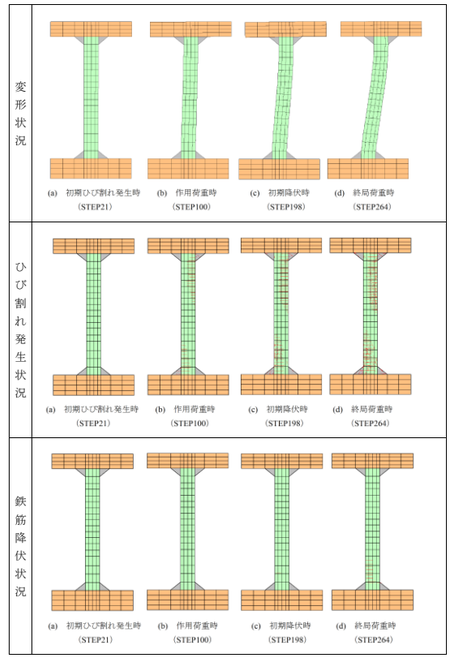
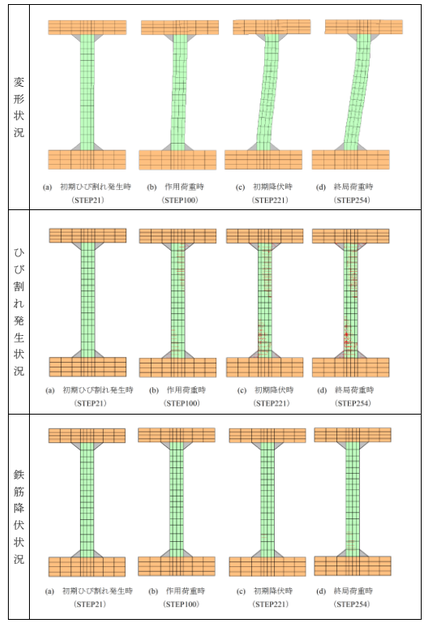
第 4-5 表　ケース一覧

ケース	地震動	せん断補強筋設置方法
③－Ａ	Ｓｓ－Ｎ１	在来工法（先施工）
③－Ｂ	Ｓｓ－Ｎ１	PHb（後施工）

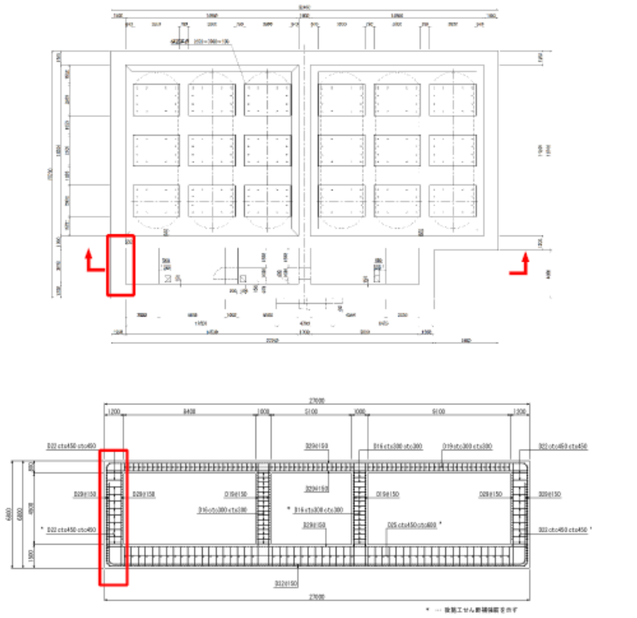
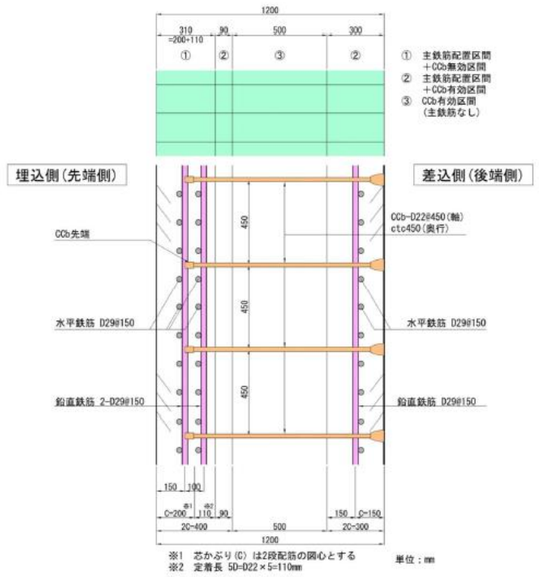
第 4-6 表　せん断耐力結果一覧

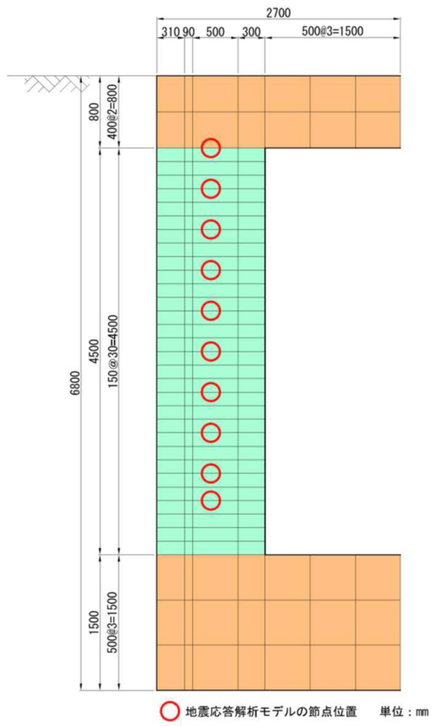
ケース	せん断耐力（kN）	在来工法と PHb 工法の比率
①－Ａ（在来工法）	615	－
①－Ｂ	477	0.78
①－Ｃ	500	0.81
②－Ａ（在来工法）	1,335	－
②－Ｂ	1,235	0.93
②－Ｃ	1,200	0.90
③－Ａ（在来工法）	1,610	－
③－Ｂ	1,549	0.96

・検討結果の相違
【女川 2】
検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付2-24 表 初期ひび割れ発生時の損傷状況  ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。 添付2-25 表 地震時荷重時の損傷状況  ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。 添付2-26 表 終局荷重時の損傷状況【参考】  ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。	第 4-7 表　ケース③－Ａの解析結果  第 4-8 表　ケース③－Ｂの解析結果  	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.2 ケース③－２（分布荷重系）の材料非線形解析 ケース③－２では，荷重形態に着目し，以下に示す2 ケース（ケース③－２－１，ケース③－２－２）の材料非線形解析を行う。 ・ ケース③－２－１：二次元有限要素解析による地震応答解析から得られる応答断面力分布を再現できる荷重を作用させる。 ・ ケース③－２－２：等分布荷重を作用させる。 ケース③－２－２は，ケース③－２－１の解析を実施した結果，等価せん断スパンを考慮した場合のせん断スパン比が小さく，破壊形態がディープビーム的な破壊（せん断圧縮破壊）となり，せん断補強工法の差異が確認できなかったことから，破壊形態が棒部材的な破壊（斜め引張破壊）となるように荷重形態を変更したものである。 4.2.1 モデル化について 2.1.2 に準じて設定する。 対象とする部材は，ボックスカルバートの側壁のように，主な荷重が地震時増分土圧等の分布荷重となる構造物のうち，部材厚が最大である軽油タンク室の側壁とし，添付2-17 図に示す壁とする。 解析モデルは，主鉄筋位置やCCb の鉄筋無効区間のモデル化を考慮して要素分割を検討する。奥行き方向の厚さは100cm とし，梁部材の高さ方向の分割については，添付2-18 図に示すとおりとする。主鉄筋芯かぶりは，埋込側（先端側）200mm（1 段目150mm+2 段目250mm の中心），差込側（後端側）150mm であるので，埋込側（先端側）400mm（200+200），差込側（後端側）300mm（150+150）が，主鉄筋が配置される要素の高さとなる。CCb の無効区間は，部材外側主鉄筋芯かぶり+CCb 定着長分（200+5D=200+5×22=310mm）とする。主鉄筋が配置され，かつCCbが有効な区間は90mm（400-310）とする。 梁部材の軸方向は，地震応答解析モデルでの梁要素の節点位置を考慮して分割を行うものとする。解析モデル図を添付2-19 図に示す。		・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付2-17 図 評価対象部材  添付2-18 図 要素分割の考え方	・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付2-19 図 解析モデル図 解析の入力データとなるコンクリートの材料特性及び鉄筋の材料特性を添付2-27 表及び添付2-28 表に示す。 また，ステップ②の解析モデル及びケース③－１とケース③－２の解析モデルの違いを，添付2-29 表に示す。添付2-29 表に示すとおり，各項目において差異があり，これらが解析により応答性状及びせん断補強効果にどの程度影響するか確認する。 添付2-27 表 コンクリートの材料特性 項目 / 設定値 設計基準強度 f'_{ck} / 20.5 N/mm^2 引張強度 f_t / 1.72 N/mm^2 ヤング係数 E_c / 解析プログラム内で自動計算		・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付2-28 表 鉄筋の材料特性

項目	設定値
主鉄筋及びせん断補強鉄筋のヤング係数	200 kN/mm^2
主鉄筋の降伏強度	3450 N/mm^2
CCb の降伏強度	345 N/mm^2

添付2-29 表 解析モデルの違い

項目	ステップ②	ケース③－１	ケース③－２
部材厚	1500mm	1200mm	1200mm
せん断スパン比	2.78	6.17	4.50
主鉄筋比	1.28%	0.44%	0.71%
コンクリート強度	42.4 N/mm^2	20.5 N/mm^2	20.5 N/mm^2
載荷方法	強制変位 （集中荷重系）	断面力に基づく 節点力 （集中荷重系）	断面力に基づく 節点力 （分布荷重系）

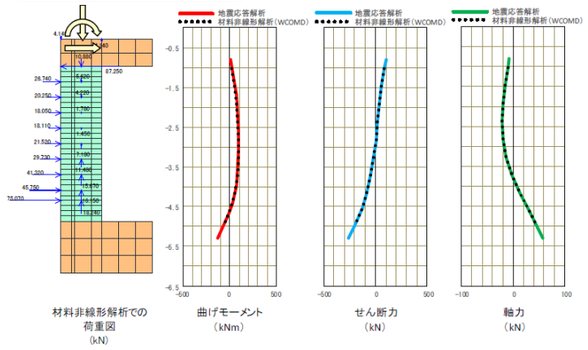
4.2.2 荷重条件

(1) ケース③－２－１の荷重条件

荷重は，構造物－地盤連成の二次元有限要素解析による地震応答解析から得られる断面力を用いる。具体的には，軽油タンク室をモデル化した地震応答解析から得られる断面力分布（曲げモーメント，軸力，せん断力）を再現できる荷重を材料非線形解析モデルに作用させる。添付2-20 図に示す断面力分布より，材料非線形解析に作用させる荷重が地震応答解析の応答断面力を良好に再現できていることがわかる。

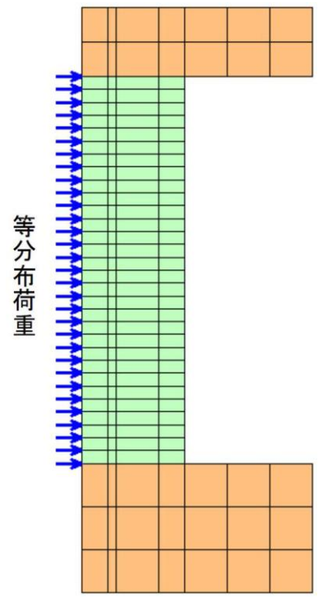
材料非線形解析では，鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため，荷重を1/100 にしたものを漸増載荷する。

なお，荷重ケースについては，取水路（漸拡部）と同様にSs-D2 を対象とする。



添付2-20 図 荷重図及び断面力分布

・検討方針の相違
【女川 2】
検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(2) ケース③－２－２の荷重条件 破壊形態が斜め引張破壊となるように，等分布荷重を材料非線形解析モデルの各節点に作用させるものとする。載荷図を添付2-21 図に示す。  添付2-21 図 載荷図 4.2.3 破壊判定基準 4.1.3 に準じて設定する。		・検討方針の相違 【女川 2】 検討方針の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.2.4 解析結果 （1）ケース③－２－１の解析結果及び従来工法とCCb 工法の比較 従来工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－２－１－Ａとし，CCb 工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－２－１－Ｂとする。解析ケースを添付2-30 表に示す。 各ケースのせん断耐力及びせん断耐力の有効割合の比較結果を添付2-31 表に，初期ひび割れ発生時及び地震時荷重時の各損傷状況を添付2-32 表及び添付2-33表に示す。 せん断耐力は，添付2-31 表に示すとおりCCb 工法のせん断耐力の有効割合が約99%となった。これは，添付2-22 図に示すとおり，等価せん断スパンを考慮したせん断スパン比（a/d=0.66）が小さく，破壊形態がディープビーム的な 破壊※（せん断圧縮破壊）であるため，せん断耐力はコンクリートの圧縮強度の影響が支配的であり，従来工法とCCb 工法の差異である定着体部の影響が現れなかったためである。 また，添付2-32 表及び添付2-33 表に示すとおり，初期ひび割れ発生時及び地震時荷重時において，変形状況，ひび割れ状況及び鉄筋降伏状況は，従来工法とCCb 工法の間で顕著な差は確認されず，おおむね整合的な結果となった。 以上より，従来工法とCCb 工法の間でCCb 工法がせん断補強効果に影響を与えるような特異な状況は確認されず，数値解析実験上は実施工部材のうち分布荷重が作用し破壊形態がディープビーム的な破壊となる部材に対するCCb 工法の適用性を確認できた。 参考に終局荷重時の状況を添付2-34 表に示す。ひび割れ状況と鉄筋降伏状況から，ひび割れが部材の広範囲に渡って発生しているのに対し，せん断補強筋の降伏は局所的であり，ディープビーム的な破壊形態（せん断圧縮破壊）となっていることがわかる。 ※：ディープビーム的な破壊は，添付2-23 図に示すように，支点と載荷点を結ぶ直線付近に斜めひび割れが発生し，ウェブコンクリートの圧縮破壊により生じる。		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

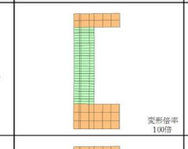
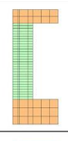
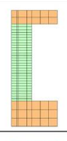
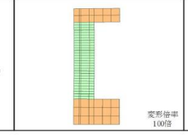
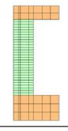
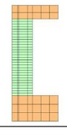
添付2-30 表 ケース一覧

ケース	地震動	せん断補強筋設置方法
③－２－１－Ａ	Ss-D2	従来工法（先施工）
③－２－１－Ｂ	Ss-D2	CCb 工法（後施工）

添付2-31 表 せん断耐力の比較

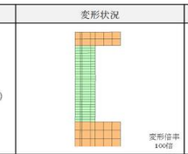
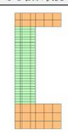
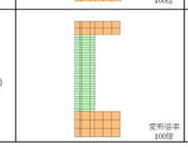
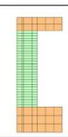
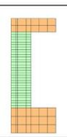
ケース	せん断耐力（kN）	従来工法と CCb 工法のせん断耐力の比率
従来工法（③－２－１－Ａ）	2635	－
CCb 工法（③－２－１－Ｂ）	2610	0.99

添付2-32 表 初期ひび割れ発生時の損傷状況

ケース	変形状況	ひび割れ状況※	鉄筋降伏状況
従来工法（ケース③-2-1-A）			
CCb工法（ケース③-2-1-B）			

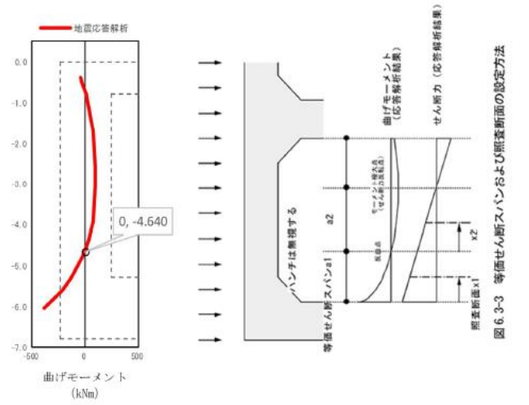
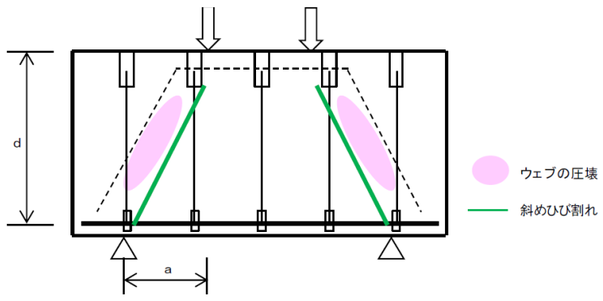
※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。

添付2-33 表 地震時荷重時の損傷状況

ケース	変形状況	ひび割れ状況※	鉄筋降伏状況
従来工法（ケース③-2-1-A）			
CCb工法（ケース③-2-1-B）			

※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。

・検討結果の相違
【女川 2】
検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 ○等価せん断スパン a1 底版天端：GL-5.300m 曲げモーメントの反曲点：GL=-4.640m a1=5.300-4.640=0.660m ○部材の有効高 d=1.200m-0.200m=1.000m ●等価せん断スパンを考慮した場合のせん断スパン比 a/d a/d=0.660/1.000=0.66 添付2-22 図 等価せん断スパンを考慮した場合のせん断スパン比 （土木学会マニュアル準拠） 添付2-34 表 終局荷重時の損傷状況【参考】 ケース / 変形状況 / ひび割れ状況※ / 鉄筋降伏状況 従来工法（ケース③-2-1-A） CCb工法（ケース③-2-1-B） 変形倍率 20倍 ※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。  添付2-23 図 ディープビーム型の破壊形態		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

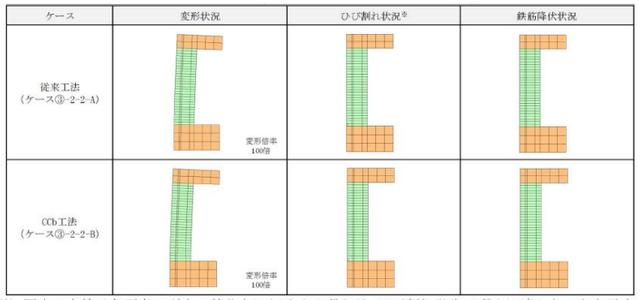
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(2) ケース③－２－２の解析結果及び従来工法とCCb 工法の比較 従来工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－２－２－Ａとし，CCb工法によるせん断補強を想定したケースをケース③－２－２－Ｂとする。解析ケースを添付2-35 表に示す。 各ケースのせん断耐力及びせん断耐力の有効割合の比較結果を添付2-36 表に，ケース③－１（取水路（漸拡部））の結果と併せて示す。初期ひび割れ発生時の各損傷状況を添付2-37 表に示す。 せん断耐力については，添付2-36 表に示すとおりCCb 工法のせん断耐力の有効割合が約91%となった。これは，取水路（漸拡部）隔壁（ケース③－１）と同等の比率となっており，分布荷重が作用する場合であっても，集中荷重が作用する場合と同様のせん断補強効果が得られることが確認された。取水路（漸拡部）隔壁（ケース③－１） の結果の比較から，荷重形態の違いによる従来工法とCCb工法の間でCCb 工法がせん断補強効果に影響を与えるような特異な状況は確認されなかった。 また，添付2-37 表に示すとおり，初期ひび割れ発生時において，変形状況，ひび割れ状況及び鉄筋降伏状況は，従来工法とCCb 工法の間で顕著な差は確認されず，おおむね整合的な結果となった。 以上より，実施工部材のうち分布荷重が作用し破壊形態が棒部材的な破壊（斜め引張破壊）となる部材に対するCCb 工法の適用性を確認できた。 参考に終局荷重時の状況を添付2-38 表に示す。ひび割れ状況と鉄筋降伏状況から，ひび割れ及びせん断補強筋の降伏が広範囲に渡っており，ケース③－２－１のディープビーム的な破壊形態とは異なる棒部材的な破壊（斜め引張破壊）となる破壊形態となっていることが確認できる。 添付2-35 表 ケース一覧 <table><tr><th colspan="2">ケース</th><th>せん断補強鉄筋設置方法</th></tr><tr><td>③－２－２－Ａ</td><td rowspan="2">等分布荷重</td><td>従来工法（先施工）</td></tr><tr><td>③－２－２－Ｂ</td><td>CCb 工法（後施工）</td></tr></table>		・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付2-36 表 せん断耐力結果一覧

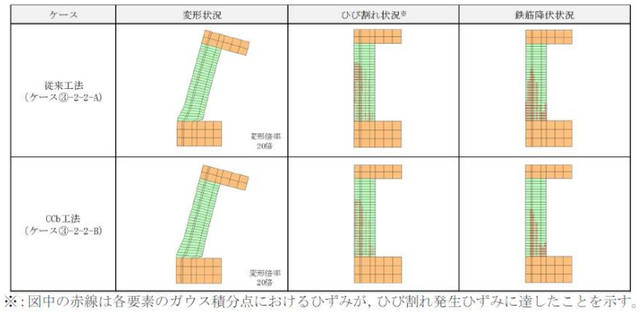
ケース		せん断耐力 (kN)	従来工法と CCb 工法のせん断耐力の比率
軽油タンク室	従来工法（③－２－２－A）	2449	－
	CCb 工法（③－２－２－B）	2232	0.91
取水路（漸拡部）	従来工法（③－１－A）	1678	－
	CCb 工法（③－１－B）	1488	0.88

添付2-37 表 初期ひび割れ発生時の損傷状況



※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。

添付2-38 表 終局荷重時の損傷状況【参考】



※：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが，ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。

・検討結果の相違
【女川 2】
検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	5. まとめ 女川２号炉においてCCb 工法を適用した構造物と建設技術審査証明報告書に記載の各種実験条件（部材諸元(部材厚，せん断スパン比，主鉄筋比)及び載荷方法等）と異なっていても，CCb 工法によるせん断ひび割れ抑制効果が期待できることを材料非線形解析を用いた数値実験により確認した。検討ステップ①～③により，CCb 工法の適用性を確認した内容は以下のとおりである。 ・ 建設技術審査証明報告書の実験を上回る部材厚においても，せん断ひび割れ抑制効果を確認できており，CCb 工法が適用できることを確認した。【ステップ①，②により確認】 ・ 建設技術審査証明報告書の実験と実施工部材では部材諸元及び載荷方法（設計荷重）等が異なるが，女川２号炉でCCbにより耐震補強を行っている構造物の部材諸元においても，せん断ひび割れ抑制効果を確認できており，CCb 工法が適用できることを確認した。【ステップ③により確認】 ・ 建設技術審査証明報告書に記載の梁試験体ではディープビームを対象とした試験を実施していないが，ディープビーム的な破壊となる部材に対しても，CCb工法が適用できることを確認した。【ステップ③により確認】 なお，ディープビームとなる部材に発生する高角度なひび割れが生じた際の定着性能及び女川2 号炉にてディープビームとなる部材へのせん断耐力評価上における保守性については，添付資料３及び添付資料５にて別途確認する。	5.　まとめ ステップ①～③における材料非線形解析を用いて，島根原子力発電所２号炉の屋外重要土木構造物における PHb 工法の適用性の確認を実施した。解析の結果，建設技術審査証明報告書の実験を上回る部材厚に対しても応答性状に変化はないことが確認できた。また，実構造物諸元相当の解析により,PHb 工法のせん断補強効果に影響を及ぼすと考えられる項目が建設技術審査証明報告書における実験条件と異なっていても，応答性状に変化はなく，建設技術審査証明報告書で確認したとおりのせん断補強効果を期待できることを確認した。	・検討結果の相違 【女川 2】 検討結果の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料３ 施工管理要領書（案） （取水槽耐震補強工事（ポストヘッドバー工法）） 目次 1. 目的 2. 準拠事項 3. 工事の管理 4. 耐震補強工事 4.1 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋の種類及び品質 4.2 注入材の種類及び品質 4.3 断面修復材の種類及び品質 4.4 品質管理及び検査 5. 施工要領 5.1 施工フロー	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		1. 目的 本指針は，島根原子力発電所２号炉取水槽耐震補強工事に当たり，補強する構造物が技術基準等に適合した材料及び構造を有するように施工管理を行うために，中国電力株式会社が定めた管理方法，判断基準等の大綱を示したものである。 2. 準拠事項 施工及び施工管理は，本要領書によるほか下記の基準等に準じて行う。 (1) 日本工業規格（以下「JIS」という。） (2) 土木学会「コンクリート標準示方書」（以下「コンクリート標準示方書」という。） (3) 建設技術審査証明報告書（建技審証　第 0522 号）（以下「建設技術審査証明報告書」という。） 3. 工事の管理 施工及び施工管理に先立ち，作業要領書を確認したうえで本工事の管理を行う。 4. 耐震補強工事 4.1　後施工プレート定着型せん断補強鉄筋の種類及び品質 本工事に用いる後施工プレート定着型せん断補強鉄筋（Post-Head-bar）（以下「PHb」という）は，JIS，建設技術審査証明報告書の規格に適合するものとする。PHb の品質は，建設技術審査証明報告書に要求される所要の性能を有するものとする。 4.2　注入材の種類及び品質 注入材は，建設技術審査証明報告書の規格に適合するものとする。注入材の品質は，建設技術審査証明報告書に要求される所要の性能を有するものとする。 4.3　断面修復材の種類及び品質 断面修復材は，建設技術審査証明報告書の規格に適合するものとする。断面修復材の品質は，建設技術審査証明報告書に要求される所要の性能を有するものとする。 4.4　品質管理及び検査 耐震補強工事における各種検査は，第 4-1 表により行い，判定基	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

準に適合していることを確認する。

第 4-1 表　後施エプレート定着型せん断補強鉄筋（PHb）品質，出来形および検査一覧（1／2）

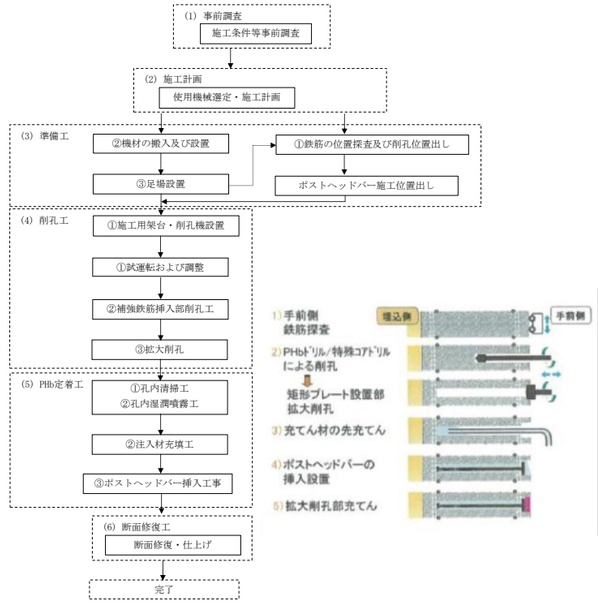
工　程	項　目	管理項目	管理水準	判定基準	検査方法	管理時期
機材・資材搬入	PHb	材料	・矩形プレートの科学的性質，機械的性質は JIS G3106 規格のうち SM490A（又は同等品（SM490B，SM490C））の適合品であること。 ・円形プレートの科学的性質，機械的性質は JIS G4051 規格のうち S35C 若しくは S45C の適合品であること。 ・定着筋の科学的性質，機械的性質は JIS G3112 の適合品であること。		ミルシート	材料搬入時
		外観・寸法検査	・各プレートの形状，寸法が，JIS G3194 に適合していること。 ・圧接位置がメーカーの定める基準値内であること。 ・鉄筋仕上がり長さがコンクリート標準示方書「施工編」『7.3 鉄筋工の検査』の基準に適合していること。		PHb 出来形検査表	材料搬入時
		引張強度試験	・引張強度は，矩形プレート側摩擦接合部の引張強度が鉄筋の引張強度以上であること。		試験成績表	材料搬入時
	注入材	材料	・PHb technical-N 又は同等品であること。		試験成績書	材料搬入時
	断面修復材	材料	・BS technical-P 又は同等品であること。		試験成績書	材料搬入時
削孔	削孔	削孔径	・削孔径が設計図どおりであること。 PHb 工法研究会の定める管理値	設計値以上	コンベックス ノギス	削孔完了後
		削孔深さ	・削孔深さが設計図どおりであること。 PHb 工法研究会の定める管理値	−10mm～+20mm	コンベックス ノギス	削孔完了後

第 4-1 表　後施エプレート定着型せん断補強鉄筋（PHb）品質，出来形および検査一覧（2／2）

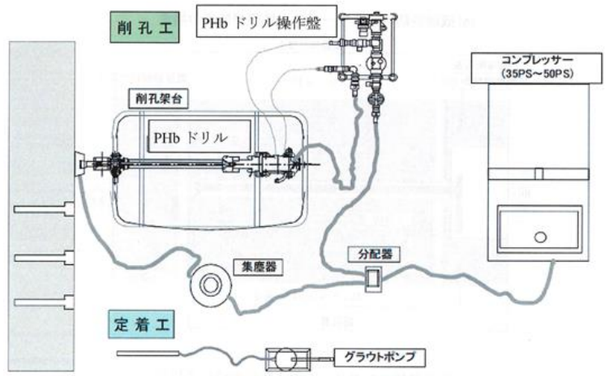
工　程	項　目	管理項目	管理水準	判定基準	検査方法	管理時期
PHb 挿入	かぶり	かぶり	・かぶりが設計図どおりであること。 PHb 工法研究会の定める管理値	設計かぶり以上	コンベックス，ノギス	設置後
定着	注入材	フレッシュ時の性状	・フローが PHb 工法研究会の定める管理値内であること。	190mm±20mm	フロー試験	注入前
		材料温度	・材料温度が 5℃以上であること。		温度計	注入前
		圧縮強度試験	・躯体コンクリートの設計強度以上であること。	σck=24N/mm²以上	圧縮強度試験	打設後 28 日
	断面修復材	フレッシュ時の性状	・フローが PHb 工法研究会の定める管理値内であること。	150mm±20mm	フロー試験	注入前
		材料温度	・材料温度が 5℃以上であること。		温度計	注入前
		圧縮強度試験	・躯体コンクリートの設計強度以上であること。	σck=24N/mm²以上	圧縮強度試験	打設後 28 日

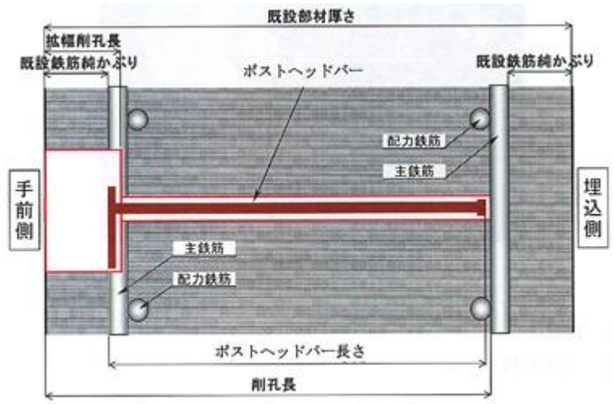
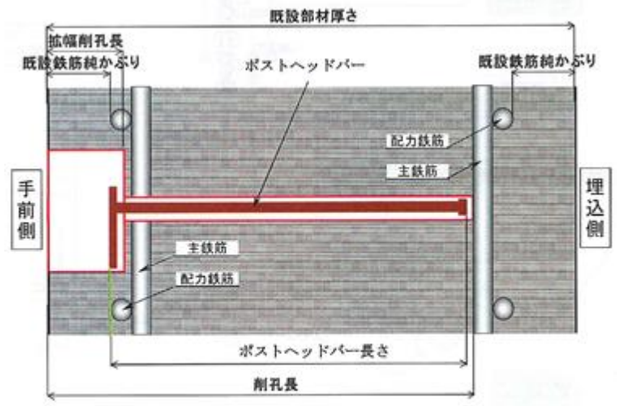
注）引用資料・・・コンクリート標準示方書「施工編」（土木学会），建設技術証明報告書後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」

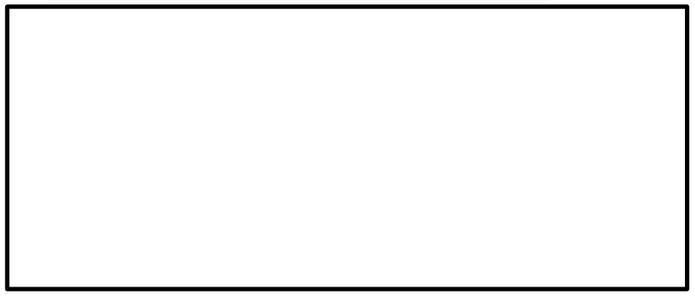
・資料構成の相違
【女川 2】
島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

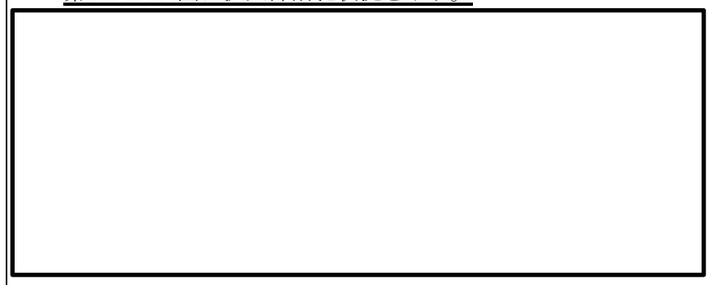
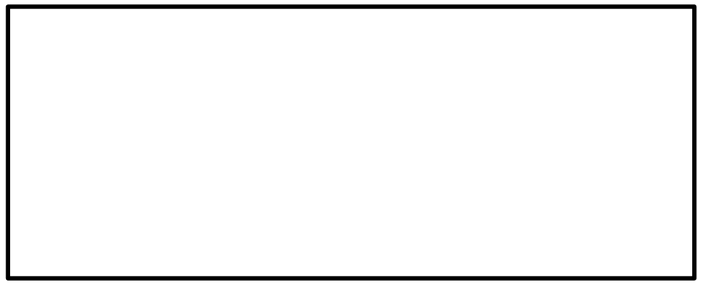
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		5. 施工要領 5.1 施工フロー 施工フローを第 5-1-1 図に示す。  第 5-1-1 図　施工フロー 5.1.1　事前調査 様々な既存設備の存在が施工や資機材の搬入に対する制約となる場合がある。したがって，施工条件を把握する為に，施工に先立ち事前調査を行う。 事前調査を実施して現状を把握した結果，既存設備が施工上の制約になる場合には，当社と事前にその対策について協議する。 5.1.2　施工計画（使用機器選定） 既存設備に関する協議結果に基づいて施工計画を立案し，適切な施工機械や削孔方法を選定する。第 5-1-2-1 図に主な削孔機器として PHb ドリルと特殊コアドリルを示す。 削孔には PHb ドリルを用いることを標準とする。ただし，施工スペースが狭い場合や鉄筋が輻輳することが多いはり部やハンチ部の施工では特殊コアドリルを使用する。 PHb ドリルは，ビットの回転と打撃で削孔する機械であり，圧縮空気により作動する。特殊コアドリルは，コアビットを低トルクで高速回転させることにより，既存鉄筋などに接触した場合に瞬時にコアドリルの回転が停止する機能を備えた削孔機械であり，電力によ	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		り作動する。 なお，孔と鉄筋の干渉を避けて再削孔を行う際，削岩機ベースの PHb ドリルでは孔をラップさせることができないため再削孔位置の選定が制限され，再削孔しても新たに別の鉄筋に干渉してしまう可能性がある。そこで，孔のラップが可能な PHb 工法指定の特殊コアドリルを必要に応じて併用することとし，再削孔時の精度向上を図る。  c) ベンチャードリルの諸元（例） 第 5-1-2-1 図　削孔機械の種類 5.1.3　準備工 (1)鉄筋位置探査及び削孔位置出し 事前に PHb の設計位置を墨出し，内空側既存鉄筋の位置を鉄筋探査装置により調査する。調査結果をもとに，内空側既存鉄筋位置と PHb の設計位置とを確認し，PHb の施工位置を決定する。第 5-1-3-1 図に鉄筋探査の概要を示す。	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 5-1-3-1 図　鉄筋探査工 (2)機材の搬入および配置 第 5-1-3-2 図に主な機材とその配置を示す。  第 5-1-3-2 図　機材配置図 (3)足場設置 高所作業の場合など施工位置に応じて必要な足場設備を設置する。 5.1.4 削孔工 第 5-1-4-1 図に示すように,PHb の施工では下記の削孔深さを原則とする。 ・補強鉄筋挿入部の削孔長 手前側削孔表面から埋込側既設主鉄筋の手前側までの距離 ・矩形プレート部の拡幅削孔長	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

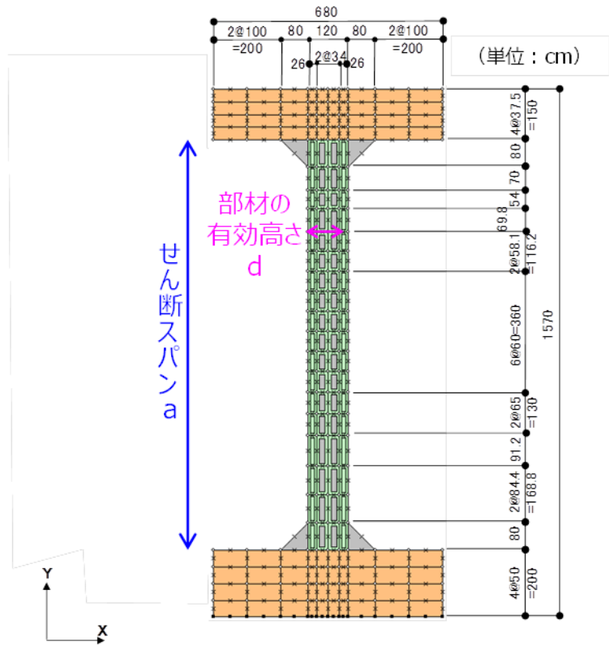
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		PHb の矩形プレートのかぶりが手前側既設鉄筋のかぶりと等しくなるように設置した時，手前側削孔表面から矩形プレートの埋込側の面より５㎜内側までの距離  (a) 既設鉄筋コンクリートの主鉄筋が外側の場合  (b) 既設鉄筋コンクリートの主鉄筋が内側の場合 第 5-1-4-1 図　PHb 工法の施工概要図 (1) 施工用架台・削孔機設置および試運転・調整 PHb ドリル施工用架台を使用し，PHb ドリルを削孔位置にあわせる。ドリルの鉛直方向，水平方向が削孔面に対して垂直となるようスラントルール，金尺等で確認しながら設置する。 第 5-1-4-2 図に施工用架台に設置した PHb ドリルと鉛直・水平の確認状況を示す。	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

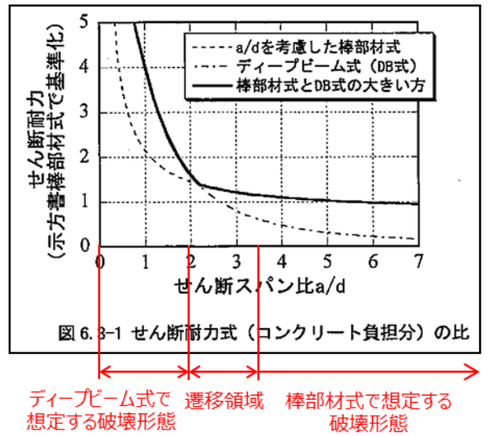
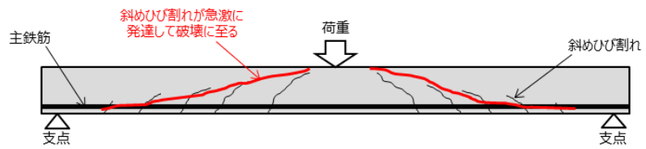
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 5-1-4-2 図　削孔準備工 (2)補強鉄筋挿入部削孔工 水平削孔時は，粉塵の吸出し方向が横向きあるいは下向きとなるように，下向き削孔時は，粉塵の吸出し方向が横向きとなるように集塵装置を削孔位置にセットする。 PHb ドリルで補強鉄筋挿入部を所定の深さまで削孔する。所定の深さは原則として「5.1.4 削孔工」に図示した寸法とし，削孔深さの誤差は-10㎜～+20㎜とする。 埋込側既存鉄筋を切断しないように，埋込側鉄筋位置の手前から，削孔スピード，回転速度を落として慎重に削孔する。削孔完了後に削孔深さを測定する。万が一埋込側既存鉄筋に当たった場合は，ドリルを即時停止する。もし削孔深さの管理値を超える場合は，付近の位置で再削孔する。 第 5-1-4-3 図に補強鉄筋挿入部削孔状況を示す。  第 5-1-4-3 図　補強鉄筋挿入部削孔工 (3)拡大削孔工 拡大削孔用のビットおよび集塵装置に取換え，所定の深さまで拡大削孔を行う。所定の深さは，原則として「5.1.4 削孔工」に示した寸法とする。 手前側既存鉄筋を切断しないように，鉄筋探査により測定した	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

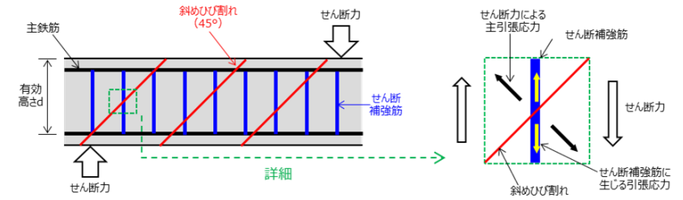
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		手前側既存鉄筋のかぶりの手前から削孔スピード，回転速度を落として慎重に削孔する。万が一手前側既存鉄筋に当たった場合は，ドリルを即時停止する。PHb の矩形プレートのかぶりが既存鉄筋の設計かぶりを確保できない場合は付近の位置で再削孔する，または防錆処理を実施するかを協議する。 第 5-1-4-4 図に拡大部削孔状況を示す。  第 5-1-4-4 図　拡大削孔工 5.1.5 PHb 定着工 PHb 定着工においては，横向き施工・下向き施工ともに，可塑性を有する PHb モルタルを使用することを標準とする。PHb モルタルは，施工性・充填性に優れており，孔内の埋込側先端まで隙間無く充填することができる。 (1)孔内清掃工 孔内湿潤噴霧工に先立ち，バキュームクリーナーを用いて，削孔が完了した孔内の清掃を行う。 (2)孔内湿潤噴霧工 水分の逸失による注入材の粘性増加に起因して，PHb の挿入が困難あるいは不可能になることを未然に防止するために，孔内への注入材充填に先立ち，孔内の湿潤処理を行う。 第 5-1-5-1 図に孔内清掃工および孔内湿潤噴霧工の概要を示す。  第 5-1-5-1 図　孔内清掃工および孔内湿潤噴霧工	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

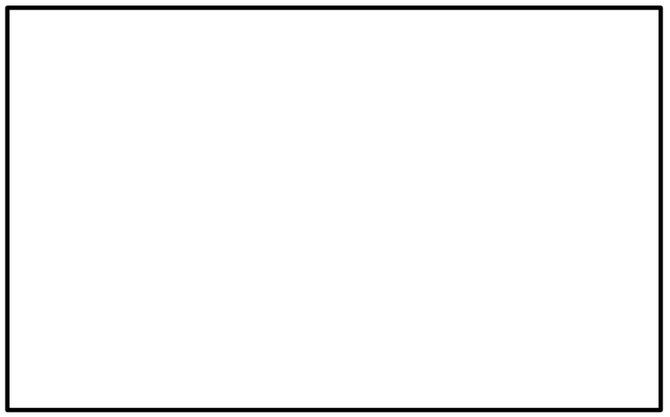
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		(3)注入材充填工 ペール缶に所定の水を計量し，ハンドミキサーで攪拌しながら所定量の注入材料（プレミックス品）を加えて練り混ぜる。 空隙を生じさせないように孔内先端まで注入ホースを差込み，PHb 定着用の注入材を電動ポンプで注入する。 第 5-1-5-2 図に注入材充填工の概要を示す。  第 5-1-5-2 図　注入材充填工 (4)PHb 挿入工 注入材で満たされた孔内にPHbを所定の位置まで人力で挿入し，余分な注入材を取り除く。 PHb の挿入後，PHb の位置ずれを防止するために手前側矩形定着プレートを抑え治具で固定する。 第 5-1-5-3 図に PHb 挿入工の概要を示す。  第 5-1-5-3 図　PHb 挿入工 5.1.6　断面修復工 ペール缶に所定の水を計量し，ハンドミキサーで攪拌しながら所定量の断面修復材（プレミックス品）を加えて練り混ぜる。 拡大削孔部を断面修復材で充填する。断面修復材の充填はモルタル・グラウトの硬化後に行う。金ごてにより表面仕上げを行う。 第 5-1-6-1 図に拡大削孔部の断面修復の状況写真を示す。	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 5-1-6-1 図　断面修復工	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は施工管理要領書について記載

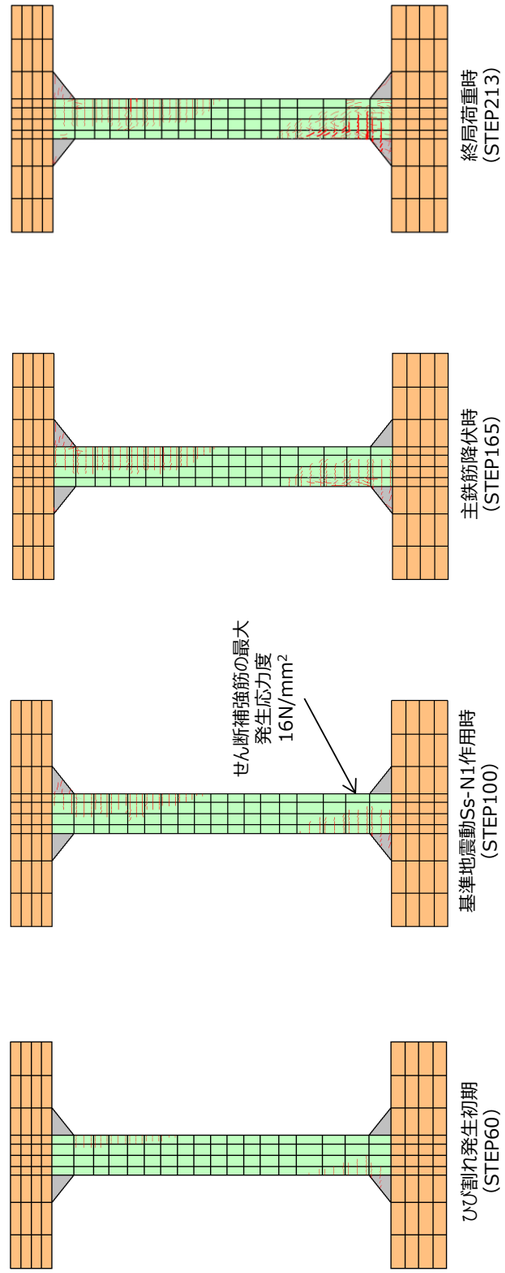
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料４ 建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について 1.　はじめに 島根２号炉の PHb 工法の適用性確認では，建設技術審査証明報告書の実験条件と差異がある部材諸元や載荷方法について，先行サイト（美浜３号炉及び東海第二）と同様，解析によりせん断補強効果が期待できることを確認した。 ここでは，せん断スパン比に着目し，建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比 11.40 の鉄筋コンクリート部材について，PHb 工法によるせん断補強効果が期待できる理由を，一般的な部材のせん断の原理を踏まえて考察した。  第 1-1 図　せん断スパン比（a／d）の考え方 （島根２号炉取水槽（スクリーン室）隔壁の材料非線形解析モデル）	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		2.　一般的な鉄筋コンクリート部材のせん断の原理 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」によれば，鉄筋コンクリート部材のせん断破壊の形態は，第 2-1 図に示すとおり，せん断スパン比が 3.5 以上であれば「棒部材式で想定する破壊形態」となり，せん断スパン比が 2 以下であれば「ディープビーム式で想定する破壊形態」になるとされる。せん断スパン比が 2～3.5 の場合は両者の遷移領域であり，一般的には両者が生じうる。  図 6.3-1 せん断耐力式（コンクリート負担分）の比 第 2-1 図　せん断スパン比とせん断破壊形態の関係性 （「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」に赤色で加筆） 島根２号炉取水槽（スクリーン室）隔壁は，せん断スパン比が 11.40 であることから，「棒部材式で想定する破壊形態」となる。「棒部材式で想定する破壊形態」では，第 2-2 図に示すとおり，斜めひび割れが急激に載荷点方向及び支点方向に向かって発達し，それとほぼ同時に耐力を失ってせん断破壊に至る。  第 2-2 図　棒部材式で想定するせん断破壊形態のイメージ	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について記載

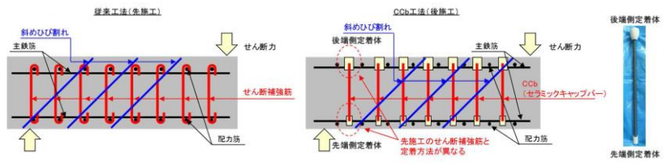
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		棒部材に発生するせん断力による斜めひび割れの角度は，第 2-3 図に示すとおり，コンクリート標準示方書をはじめとする基準類に示されるトラス理論により 45° として評価され，せん断補強筋を部材有効高さの 1／2 以下の間隔で配置すれば，斜めひび割れ面とせん断補強筋が必ず交差して補強効果が発揮されることが一般に分かっている。  第 2-3 図　せん断力による斜めひび割れとせん断補強筋による補強効果のイメージ 3.　PHb 工法によるせん断補強効果 PHb 工法においても，建設技術審査証明報告書によれば，先施工と同様，トラス理論により評価されるせん断補強効果が発揮できるとされている。せん断スパン比 2.79 のはり試験体の実験結果では，おおむね 45° の斜めひび割れが急激に発達してせん断破壊に至る棒部材的な破壊形態を示すとともに，理論式で算定されるせん断耐力が得られている。 よって，せん断スパン比が 11.40 である島根２号炉取水槽（スクリーン室）隔壁においても，せん断補強筋を部材有効高さの 1／2 以下の間隔で配置することから，先施工の原理と同様にせん断補強効果が発揮されると判断した。	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について記載

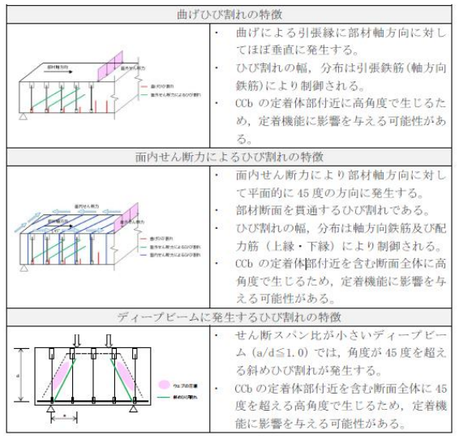
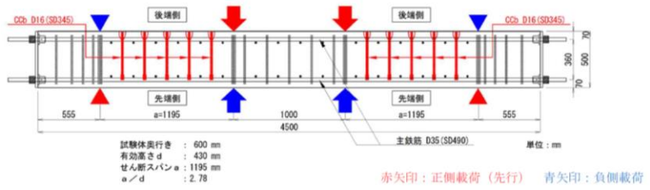
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 (a) はり試験体のせん断補強仕様  (b) 破壊時のひび割れ状況 第 3-1 図　せん断スパン比 2.79 のはり試験体の実験結果 （建設技術審査証明報告書より抜粋）	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について記載

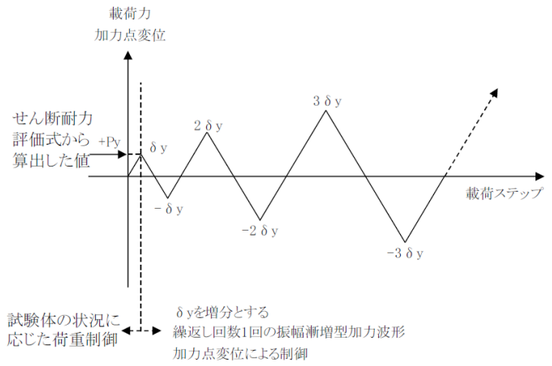
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.　せん断スパン比 11.40 の部材への PHb 工法の適用性確認方法及び結果 　前述の考察について，島根２号炉取水槽（スクリーン室）隔壁の材料非線形解析により確認した。 　材料非線形解析は，添付資料２の第 4-2 表で示したステップ③の解析条件のうち，主鉄筋の降伏強度を 345N/mm^2 として隔壁の照査値が最も厳しかった基準地震動Ｓｓ-Ｎ１による荷重を作用させた。 　解析結果から，第 4-1 図に示すとおり，せん断補強筋の発生応力度は最大でも 16N/mm^2 であり，せん断補強筋は降伏強度が 345N/mm^2 であることから降伏しておらず，補強効果が発揮されていることを確認した。 　さらに，作用荷重を超える荷重を作用させた結果，主鉄筋降伏時及び終局荷重時のひび割れ状況においても，棒部材式で想定する破壊形態である斜めひび割れの発生は認められず，せん断破壊が生じていないことを確認した。 　以上のことから，建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比 11.40 の部材について，せん断の原理に基づく補強効果が発揮されており，PHb の適用性があると判断する。	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について記載

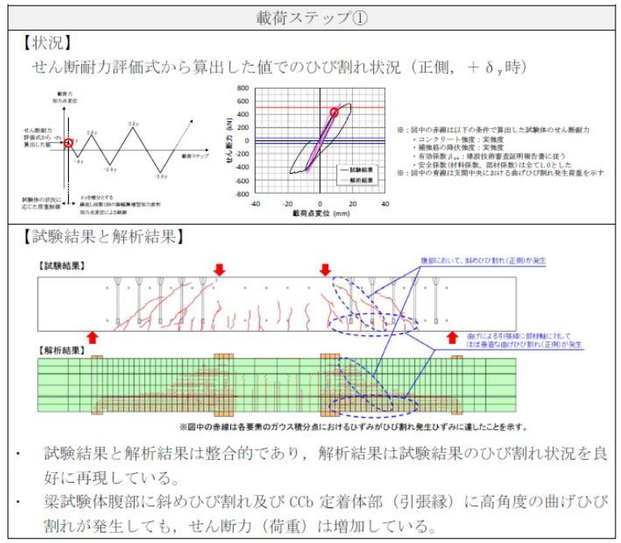
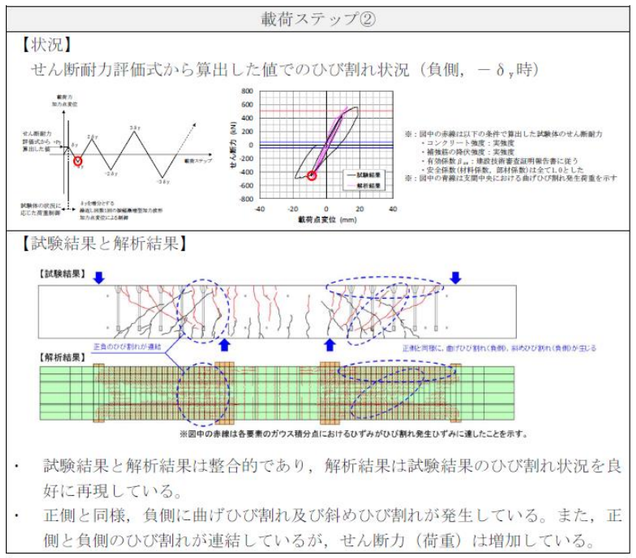
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 4-1 図　取水槽（スクリーン室）隔壁の材料非線形解析結果（ひび割れ状況）	・資料構成の相違 【女川 2】 島根 2 号炉は建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比に対する PHb の適用性について記載

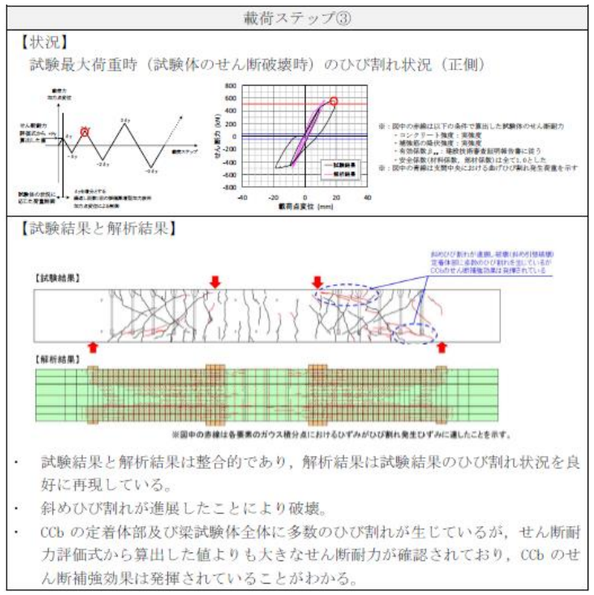
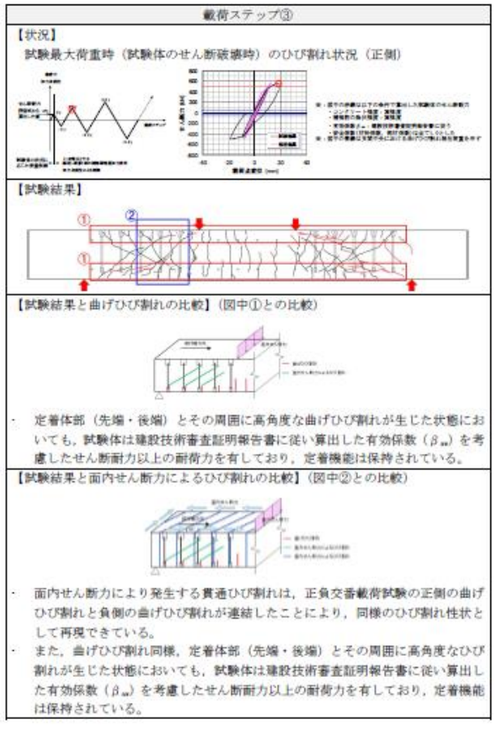
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料３ 女川２号炉におけるひび割れに対する定着機能保持の検討 1．はじめに 先施工されたせん断補強筋は主鉄筋又は配力筋にフックを掛けて定着しているが，CCb はせん断補強筋端部の定着体とコンクリートにより定着している。そのため，せん断補強筋としての機能を発揮するためには定着体部の定着機能が保持されている必要があり，定着体部にひび割れが生じると，定着体部の定着機能を阻害するおそれがある。 よって，女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れ（曲げひび割れ，面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びディープビームに生じる45 度を超える高角度の斜めひび割れ）が，CCb の定着体部に生じても定着機能が保持され，所要のせん断補強効果を発揮できていることを確認する。 併せて，女川２号炉におけるCCb 工法の適用範囲を設定する。せん断補強効果の確認及びCCb 工法の適用範囲の設定においては，建設技術審査証明報告書に記載の梁試験結果を参考に行う。 2．CCb の定着機構 CCb 工法における後施工せん断補強筋の効果は，先施工されたせん断補強筋と同様に，コンクリート標準示方書をはじめとする規準類に示されるトラス理論により評価される。 CCb と先施工のせん断補強筋の差異は，せん断補強筋端部の定着機構であり，先施工されたせん断補強筋が主鉄筋または配力筋にフックを掛けて定着していることに対して，CCb はセラミック定着体とコンクリート間の支圧と，セラミック定着体及びせん断補強筋とコンクリート間の付着により定着している（添付3-1 図参照）。 また，斜めひび割れ位置でせん断補強筋が設計で期待する降伏強度に相当する引張力に抵抗するために，CCb 工法の定着体部では，せん断補強筋の降伏強度に相当する引張力に対する定着強度を確保していることを建設技術審査証明報告書にて確認している。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

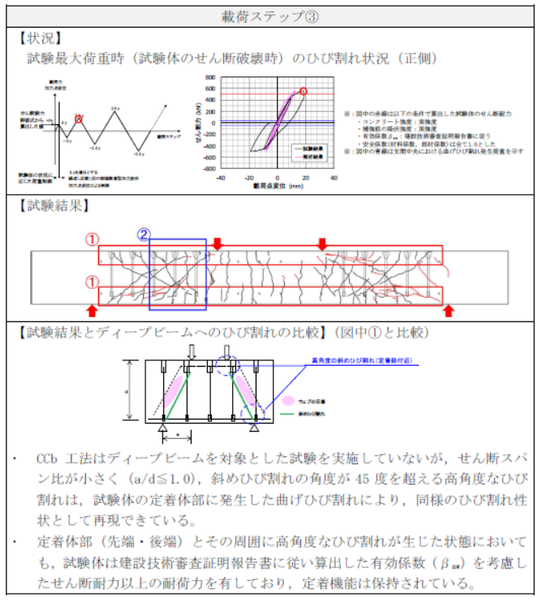
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付3-1 図 従来工法とCCb 工法の差異 3. 定着機能に影響を与える可能性のあるひび割れ状況下での定着機能の保持 CCb 工法を適用しせん断耐力を向上させることにより，部材はせん断破壊先行型の形態から曲げ破壊先行型の形態に移行する。曲げ破壊先行型の形態に移行することにより，曲げひび割れが生じた状態でもCCb の定着機能が保持されている必要がある。 同様に，面内せん断力を受ける壁（側壁，底版）に発生する面内せん断力によるひび割れやディープビームに発生する斜めひび割れが生じた状態においてもCCb の定着機能が保持されている必要がある。 添付3-1 表のとおり，曲げひび割れ及び面内せん断力によるひび割れが，CCb の定着体部付近においてCCb とほぼ平行な高角度に発生することや，せん断スパン比が小さいディープビーム（a/d≦1.0）では，斜めひび割れの角度が45 度を超え，CCb の定着体部付近に高角度なひび割れが発生することが予想されることから，その状況下においても所要のせん断補強効果を保持していることを確認する。 なお，曲げひび割れ，面内せん断力によるひび割れ及びディープビームへのひび割れが発生した状況下において，定着体部以外は先施工とCCb 工法で差異はない。 CCb のせん断補強効果は，建設技術審査証明報告書の梁試験体の正負交番載荷試験により確認していることから，試験時のひび割れ状況を整理し，部材（特に定着体部）のひび割れがCCb の定着機能に与える影響を確認するとともに，女川２号炉におけるCCb 工法の適用範囲について検討する。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付3-1 表 ひび割れの特徴  4. CCb のせん断補強効果の確認 4.1 確認方法 ひび割れ状況下におけるCCb のせん断補強効果の確認は，建設技術審査証明報告書の梁試験体による交番載荷試験におけるひび割れ状況とせん断耐力を対比することにより行う。試験の概要は以下のとおりである（添付3-2 図及び添付3-3 図参照）。 ・ 女川2 号炉でCCb を施工した条件と同じ，CCb の先端位置が主鉄筋の図心位置となる試験体（No.3-3）を対象とする。 ・ 対象とする試験ではせん断耐力を確認するため，曲げ降伏させないよう主鉄筋には高強度の鉄筋を使用している。 ・ 正負交番載荷により，CCb によるせん断補強効果を確認した試験である。 ・ 正負交番載荷は，先端側定着体側に曲げひび割れが生じる載荷方向を正側としている。  添付3-2 図 試験体概要図		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付3-3 図 試験体への載荷方法 せん断補強効果の確認は，定着体部（先端・後端）に曲げによる垂直に近い高角度のひび割れが生じた状態においても，試験体が建設技術審査証明報告書に従い算出した有効係数（βaw）を考慮したせん断耐力を有していることを確認する。 さらに，試験体のひび割れ状況を整理するとともに，CCb によるせん断補強筋の定着機能はひび割れによらず保持されていると仮定した再現解析（添付資料２「2. ステップ①：CCb の解析上のモデル化方法」）の結果を参考に，試験体に生じたひび割れ性状と解析によるひび割れ性状の比較を行い，定着体部の定着機能を確認する。 4.2 確認結果 添付3-2 表～添付3-4 表に各載荷ステップにおける試験結果と解析結果のひび割れ状況の比較を，添付3-5 表に載荷ステップ③（試験最大荷重時(試験体のせん断破壊時)）におけるひび割れと各ひび割れ状況（曲げひび割れ，面内せん断力によるひび割れ及びディープビームによるひび割れ）との比較結果を示す。 添付3-2 表～添付3-4 表に示すとおり，試験結果とCCb の無効区間を5D とした解析結果は整合的であり，解析結果は試験結果のひび割れ状況を良好に再現している。また，CCb とコンクリートが付着しているとした解析結果が実験結果を良好に再現されていることを踏まえると，試験体に載荷された最大荷重（試験体のせん断破壊時）の範囲では，CCb とコンクリートの付着は保持されていると考えられる。 また，添付3-5 表に示すとおり，試験結果と各ひび割れ状況		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	の比較から，女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れが，定着体部やその周囲に生じても定着機能が保持され，所要のせん断補強効果を発揮できていることを確認した。 添付3-2 表 載荷ステップ①におけるひび割れ状況  ・ 試験結果と解析結果は整合的であり，解析結果は試験結果のひび割れ状況を良好に再現している。 ・ 梁試験体腹部に斜めひび割れ及び CCb 定着体部（引張縁）に高角度の曲げひび割れが発生しても，せん断力（荷重）は増加している。 添付3-3 表 載荷ステップ②におけるひび割れ状況  ・ 試験結果と解析結果は整合的であり，解析結果は試験結果のひび割れ状況を良好に再現している。 ・ 正側と同様，負側に曲げひび割れ及び斜めひび割れが発生している。また，正側と負側のひび割れが連結しているが，せん断力（荷重）は増加している。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付3-4 表 載荷ステップ③におけるひび割れ状況  載荷ステップ③ 【状況】 試験最大荷重時（試験体のせん断破壊時）のひび割れ状況（正側） ※：図中の赤線は以下の条件で算出した試験体のせん断耐力 ・コンクリート強度：実強度 ・補強筋の降伏強度：実強度 ・有効係数 β_{ae}：建設技術審査証明報告書に従う ・安全係数（材料係数，断材係数）は全て1.0とした ※：図中の赤線は支間中央における曲げひび割れ発生荷重を示す 【試験結果と解析結果】 斜めひび割れが進展，破壊（斜め引張破壊） 定着体部に多数のひび割れが生じているが CCbのせん断補強効果は発揮されている 【試験結果】 【解析結果】 ※図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみがひび割れ発生ひずみに達したことを示す。 ・ 試験結果と解析結果は整合的であり，解析結果は試験結果のひび割れ状況を良好に再現している。 ・ 斜めひび割れが進展したことにより破壊。 ・ CCb の定着体部及び梁試験体全体に多数のひび割れが生じているが，せん断耐力評価式から算出した値よりも大きなせん断耐力が確認されており，CCb のせん断補強効果は発揮されていることがわかる。 添付3-5 表 載荷ステップ③におけるひび割れ状況の比較（1/2）  載荷ステップ③ 【状況】 試験最大荷重時（試験体のせん断破壊時）のひび割れ状況（正側） 【試験結果】 【試験結果と曲げひび割れの比較】（図中①との比較） ・ 定着体部（先端・後端）とその周囲に高角度な曲げひび割れが生じた状態においても，試験体は建設技術審査証明報告書に従い算出した有効係数（β_{ae}）を考慮したせん断耐力以上の耐荷力を有しており，定着機能は保持されている。 【試験結果と面内せん断力によるひび割れの比較】（図中②との比較） ・ 面内せん断力により発生する貫通ひび割れは，正負交番載荷試験の正側の曲げひび割れと負側の曲げひび割れが連結したことにより，同様のひび割れ性状として再現できている。 ・ また，曲げひび割れ同様，定着体部（先端・後端）とその周囲に高角度なひび割れが生じた状態においても，試験体は建設技術審査証明報告書に従い算出した有効係数（β_{ae}）を考慮したせん断耐力以上の耐荷力を有しており，定着機能は保持されている。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付3-5 表 載荷ステップ③におけるひび割れ状況の比較（2/2）  4.3 梁試験体の鉄筋ひずみの整理 梁試験体のせん断破壊時における主鉄筋のひずみを確認し，女川２号炉においてCCb 工法を適用するにあたっての適用範囲を設定する。 前述のとおり建設技術審査証明報告書の梁試験体は，せん断耐力を確認するための試験であることから，曲げ降伏させないよう主鉄筋に高強度の鉄筋を使用しており，せん断破壊時における主鉄筋のひずみは，添付3-6 表に示すとおり降伏ひずみ未満の2363μまで確認されている。 よって，主鉄筋にSD345 を用いている女川２号炉においてCCb により耐震補強を行った構造物については，応答値として主鉄筋のひずみが降伏ひずみ（1725μ）未満または応力が降伏強度（345N/mm2 ）未満であることを確認する。 添付3-6 表 梁試験体に生じた鉄筋ひずみ 項　目 / 備　考 鉄筋ひずみ / 2363μ※ / 降伏ひずみ：2450μ（SD490） ※：コンクリートの引張応力を無視し，繊ひずみは断面の中立軸からの距離に比例するものとして算出した。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	5. CCb の梁試験体のひび割れ状況下での定着機能についてのまとめ 建設技術審査証明報告書の梁試験結果及び試験を再現した材料非線形解析による数値解析結果から，CCb は定着体部やその周囲にひび割れが発生した状態においても，定着機能が保持されており，せん断補強効果が発揮されることが確認できた。建設技術審査証明報告書の梁試験の内容を踏まえ，女川２号炉における CCb 工法の適用範囲を以下のとおりとする。 ・ 高角度の曲げひび割れ，面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びせん断スパン比が小さい（a/d≦1.0）ディープビームに生じる45 度を超える高角度なひび割れが発生する可能性のある部材に対してもCCb 工法の適用を可能とする。 ・ ただし，曲げ降伏後のひび割れ幅が大きく進展したときのように定着部のひび割れ幅が大きい場合，CCb の定着性能を含めた所要のせん断補強効果が発揮できることは確認できていない。また，建設技術審査証明報告書に記載の梁試験にて発生している鉄筋ひずみ以内でせん断補強効果を確認していることを踏まえ，曲げによる主鉄筋の応力が降伏強度以下である範囲においてのみ，せん断補強として CCb 工法の適用を可能とする。 ・ 同様に面内せん断力と面外力（曲げ，せん断等）の両方に対して耐震要素として期待する壁（側壁，底版）に対しては，面内せん断力と面外力の合力による鉄筋の応力が降伏強度以下である範囲，もしくは面内せん断力に対して，コンクリートのみで抵抗可能な部材においてCCb 工法の適用を可能とする。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料４ 女川２号炉におけるコンクリートの健全性の検討 1．はじめに 女川原子力発電所は，東北地方太平洋沖地震（2011 年3 月11 日）及び宮城県沖の地震（2011 年4 月7 日）により，建設時の基準地震動を一部周期帯で超過する地震動を経験していることを踏まえ，CCb を適用した部材のコンクリートにおいてCCb のせん断補強効果を阻害するひび割れがなく，構造物が健全であることを確認する。 また，CCb の施工箇所に地震起因以外によるひび割れとして，乾燥収縮によるひび割れやコンクリートの劣化によるひび割れ（アルカリ骨材反応，凍結融解作用，中性化，塩害）等についても抽出し，CCb のせん断補強効果を阻害するひび割れがないことを確認する。 なお，健全性はコンクリートのひび割れ状況及び圧縮強度試験結果より判断する。 2．ひび割れ状況の確認 ひび割れ状況を地震起因によるひび割れと地震起因以外によるひび割れに着目し確認を行う。ひび割れの確認結果を，添付4-1 表に示す。 2.1 地震起因によるひび割れの確認 添付4-1 表に示すとおり，東北地方太平洋沖地震（2011 年3 月11 日）及び宮城県沖の地震（2011 年4 月7 日）以降に実施しているひび割れ調査（平成23 年度に実施）により，地震の影響を否定できないひび割れについて，耐震性能に影響するひび割れ（評価基準値：ひび割れ幅1.0mm※）がないことを確認している。 ※：Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake（EPRI NP-6695）に示すひび割れ幅約1.5mm を参考に安全側に1.0mm として設定している。 2.2 地震起因以外によるひび割れの確認 CCb の施工箇所に生じている地震起因以外によるひび割れは添付4-1 表のとおりであり，これらは主に乾燥収縮によるひ		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

び割れであることから，構造物の耐力に影響を与えるものではない。

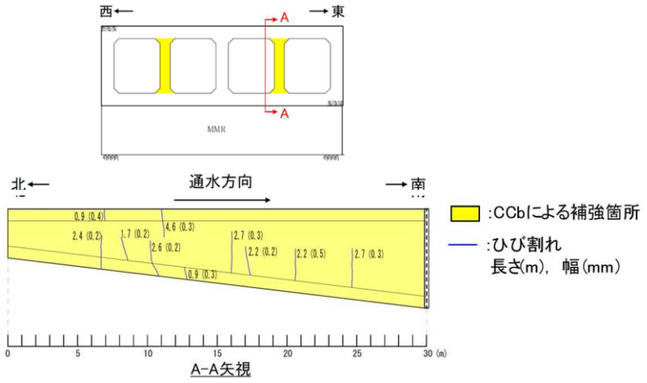
また，添付4-1 表及び添付4-1 図に示すとおり，ひび割れ幅は大多数が0.2㎜ 程度であり一部0.5㎜ 程度のひび割れが存在する箇所があるが，部材の一部に集中しているものではなく，数mに１本程度の頻度であり，社内基準に基づき補修することとしている。補修は，エポキシ樹脂の注入等を行うことで，更なる劣化（鉄筋腐食等）が起こることを防止しており，今後ひび割れがCCb の付着性能低下に影響を与えることはない。

よって，地震起因以外によるひび割れにおいては，CCb のせん断補強効果に影響を与えるひび割れではないことを確認できた。

なお，これらのひび割れについては，ただちに部材の耐力やCCb の付着性能に影響を与えるものではないことから，継続監視のもと計画的に補修を実施していく。

添付4-1 表 ひび割れ確認結果

CCbを適用した構造物	地震の影響を否定できない ひび割れの幅[㎜]	地震起因以外による ひび割れの幅[㎜]
取水路（漸拡部）	耐震性能に影響する ひび割れなし	0.2～0.5 （確認時期：H29.6，H29.8）
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	同上	ひび割れなし （確認時期：H30.1）
軽油タンク室	同上	0.1～0.4 （確認時期：H30.2）
復水貯蔵タンク基礎	同上	0.2～0.4 （確認時期：H30.1）

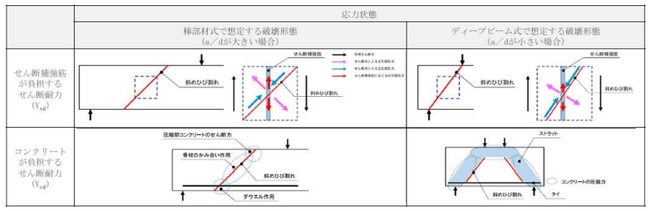


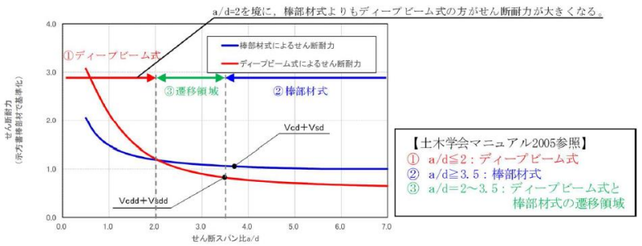
添付4-1 図 CCb による補強箇所とひび割れ位置の関係
（取水路(漸拡部)の例）

・資料構成の相違
【女川 2】
女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3．コンクリートの圧縮強度試験結果の確認 添付4-2 表にCCb により耐震補強を行った構造物からコンクリートコアを採取し実施した圧縮強度試験の結果を示す。 圧縮強度の最低値は，全ての構造物において設計基準強度（20.5N/mm2）以上であることを確認している。 添付4-2 表 圧縮強度試験結果 CCbを適用した構造物 / 設計基準強度 [N/mm²] / 圧縮強度（最低値） [N/mm²] 取水路（漸拡部） / 20.5 / 45.4（確認時期：H23.9） 原子炉機器冷却海水配管ダクト / 20.5 / 36.3（確認時期：H30.2） 軽油タンク室 / 20.5 / 43.0（確認時期：H30.2） 復水貯蔵タンク基礎 / 20.5 / 32.4（確認時期：H30.2） 4．CCb を適用した部材のコンクリートの健全性確認のまとめ コンクリートのひび割れ状況より，CCb により耐震補強を行った構造物にCCb のせん断補強効果に影響を与えるひび割れがないことを確認した。 また，構造物から採取したコンクリートコアの圧縮強度が，設計基準強度（20.5N/mm2）以上であり，CCb のせん断補強効果に悪影響を及ぼす状態にないことを確認した。 以上より，女川２号炉のCCb により耐震補強を行った構造物の既設コンクリートの状態が，CCb のせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認できた。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はひび割れに対する定着機能保持の検討について記載

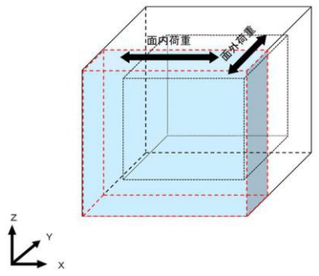
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料５ ディープビーム的な破壊に対するCCb 工法の適用性の検討 1. はじめに CCb 工法は建設技術審査証明報告書において，梁試験体による正負交番載荷試験により性能確認を行っており，その試験体は棒部材（a/d※＝2.78）を対象としており，ディープビームを対象とした実験は行われていない。 一般に，ディープビーム的な破壊形態が想定される場合のせん断耐力は，棒部材的な破壊形態が想定される場合のせん断耐力よりも大きい。 これらのことから，女川２号炉においてCCb によりせん断補強を行う部材については，棒部材式によるせん断耐力により照査を行うとともに，照査値は0.8 程度を目標としてCCb によるせん断補強鉄筋量を算定することにより安全側の配慮をしている。 ここでは，一般的なトラス理論に基づくせん断補強筋の役割や，建設技術審査証明報告書における実験を考察することにより，ディープビーム的な破壊形態に対するCCb 工法の適用性について検討する。 ※：a/d：せん断スパン比 a：せん断スパン d：部材の有効高さ 2. ディープビーム的な破壊に対するCCb 工法の適用性 ディープビーム的な破壊に対するCCb 工法の適用性は，「応力の負担機構」，「設計における保守性」及び「ひび割れの影響」の観点に着目し適用性を確認する。 2.1 各破壊形態におけるコンクリート及びせん断補強筋の応力の負担機構 せん断破壊は，せん断スパン比（a/d）により，斜めひび割れが発生する角度が変わることで「棒部材式で想定する破壊形態」と「ディープビーム式で想定する破壊形態」に分けられる。添付5-1 表に各破壊形態における応力の負担機構を示す。 ここに，部材のせん断耐力Vyd は，せん断補強筋によるせん断耐力Vsd とコンクリート負担分のせん断耐力Vcd の和で表現される（式（1））。 Vyd＝Vsd＋Vcd ……式（1）		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はディープビーム的な破壊に対する CCb 工法の適用性の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付5-1 表に示すとおり，せん断補強筋は，棒部材式で想定する破壊形態，ディープビーム式で想定する破壊形態のいずれもひび割れ面と直交する方向に作用する引張応力に対して抵抗することによりせん断力を負担する（Vsd）ものであり，ひび割れ角度によりその効果に差はあるが，せん断力の負担機構は変わらない。 また，コンクリートは，棒部材式で想定する破壊形態の場合は，ひび割れ発生面の骨材のかみ合い作用Va，主鉄筋のダウエル作用Vd，圧縮部のせん断力Vcz によりせん断力を負担する。ディープビーム式で想定する破壊形態の場合は，形成されるタイドストラット部（またはタイドアーチ部）のコンクリートの圧縮力Vcdd によりせん断力を負担する。 添付5-1 表 各破壊形態における応力の負担機構  2.2 設計における保守性 ここまで述べたように，ディープビーム式におけるコンクリート分のせん断耐力は主に圧縮によりせん断力に抵抗するものであり，棒部材式におけるコンクリート分のせん断力負担分（せん断耐力）よりも大きいことから，せん断スパン比（a/d）の範囲によって破壊形態とせん断耐力は添付5-1 図のように分けられ，ディープビーム型の破壊形態が想定されるa/d の範囲（a/d≦2）において棒部材式により評価を行うことは安全側の評価となる。 また，添付5-2 表に示す添付資料２にて実施した，ディープビーム型の破壊形態となる部材のせん断耐力評価においても，棒部材式よりもディープビーム式のせん断耐力が大きく，棒部材式によりせん断耐力を評価することが安全側の設計であることが確認でき，材料非線形解析の結果も棒部材式よりも大きなせん断耐力となることが確認できる。 女川２号炉においてCCb によりせん断補強を行う部材の設計に当たっては，a/dがディープビーム式で想定する破壊形態		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はディープビーム的な破壊に対する CCb 工法の適用性の検討について記載

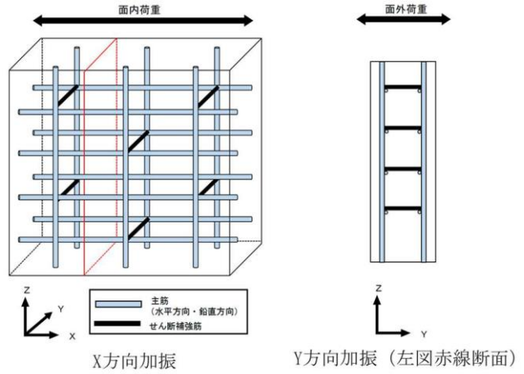
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	の範囲であっても棒部材式により評価を行うとともに，設計上の配慮として照査値を0.8 程度とする方針であり，更に裕度が大きいものと考えられる。  添付5-1 図 せん断スパン比とせん断耐力の関係 添付5-2 表 せん断耐力の比較例（軽油タンク室） ケース：軽油タンク室 / ③－２－１－Ｂ（CCb工法） せん断耐力（kN） せん断耐力評価式：棒部材式 775 せん断耐力評価式：ディープビーム式 2407 材料非線形解析 2610 2.3 ディープビーム的な破壊により発生するひび割れの影響 ディープビーム的な破壊形態のせん断力によるひび割れ角度は，棒部材的な破壊形態において想定するひび割れ角度（45 度）より大きくなる場合がある。この高角度のひび割れにより，CCb の定着性能に影響を与える可能性があるが，添付資料３に示すとおり建設技術審査証明報告書の梁試験から高角度のひび割れが発生している状態においても所要のせん断補強効果が確認できている。 2.1～2.3 に示したとおり，女川２号炉においてCCb を用いる部材については棒部材式を用いてせん断力に対する評価を行うことに加え，照査値を0.8 程度に抑える設計上の配慮を行うこと及びディープビーム的な破壊形態において発生する可能性のある高角度のひび割れについても実験によりCCb の補強効果が発揮されることが確認されていることから，ディープビーム的な破壊形態が想定される部材への適用性は問題ないと考えられる。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はディープビーム的な破壊に対する CCb 工法の適用性の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3. ディープビーム的な破壊形態に対するCCb のせん断補強効果の確認実験 ディープビーム的な破壊が発生する可能性のある部材へのCCb 工法の適用性は，2.2 及び2.3 に示すとおり問題ないと考えられる。 しかしながら，2.2 に示す軽油タンク室を例としたディープビーム的な破壊形態の材料非線形解析には，分散ひび割れモデルを用いており，ひび割れの発生等による付着効果の低下を間接的に表現するモデルであるため，解析の不確かさを含んでいることから，ディープビーム的な破壊形態を想定した実験を行い，解析と同様なせん断補強効果が得られることを確認する。 実験は設計荷重に対してディープビーム的な破壊が想定される断面力となる部材をおおむね想定することとし，CCb の効果の確認結果は工事計画認可申請段階で示すこととする。 3.1 検討目的 ディープビームに対するCCb のせん断補強効果を，実験により確認する。 3.2 検討概要 女川２号炉の諸元を基に決めた基本ケースを参考に，添付5-3 表に示すとおり計５ケースの実験を行う予定である。 添付5-3 表 実験概要 No. / ケース概要 / 検討の目的 1 / 基本ケース / 女川２号炉にてCCbにより耐震補強を行った構造物のうちディープビームとなる部材の適用性を確認 2 / せん断補強筋無し / CCbありとの比較によりせん断補強筋の効果を確認 3 / せん断補強筋比の変更 / CCbのせん断補強筋比の違いによる効果を確認 4 / せん断スパン比の変更 / せん断スパン比の違いによるCCbの効果を確認 5 / 鉄筋種類の変更 / 従来工法（先施工）について実験を行い，CCbとの差異を確認 3.3 確認内容 ディープビームを対象とした実験を行い，実験から得られたせん断耐力が棒部材式により算定されるせん断耐力よりも大きいことを確認すると共に，CCb を用いた場合のディープビーム式による評価の可能性について確認する。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はディープビーム的な破壊に対する CCb 工法の適用性の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.4 実験結果への対応方針 実験結果の考察を行い，ディープビーム的な破壊形態におけるCCb のせん断補強効果については必要に応じて女川２号炉の設計に取り込むと共に（ディープビーム式の採用），期待するせん断補強効果が得られない場合は，CCb の打ち増しや太径の採用，他のせん断補強工法（例えば部材厚増や地盤改良等）との併用等について検討し，所要の安全性を確保する。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川はディープビーム的な破壊に対する CCb 工法の適用性の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料６ 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性の検討 1. はじめに 女川２号炉においてCCb によりせん断補強を行った部材には，面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材があることから，CCb の当該荷重状態における適用性について検討する。 2. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性については，「設計の考え方」及び「ひび割れの影響」の観点に着目し適用性を確認する。 2.1 面内荷重及び面外荷重に対する設計の考え方 女川２号炉においてCCb を適用する構造物のうち面内荷重と面外荷重を同時に受ける部材の設計に当たっては，面内荷重は主筋及びコンクリートで負担し，面外荷重は主筋，せん断補強筋及びコンクリートで負担する設計としている。そのため，部材に面内荷重と面外荷重が同時に作用してもCCb は面内荷重を負担させない設計としていることから，CCb への影響はなく負担する荷重の観点からは適用性に問題はない（添付6-1 図，添付6-2 図及び添付6-1 表参照）。  添付6-1 図 三次元モデルへ作用する荷重の概念図		・資料構成の相違 【女川 2】 女川は面内荷重と面外荷重が作用する部材への CCb 工法の適用性の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



X方向加振　　Y方向加振（左図赤線断面）

添付6-2 図 X 方向・Y 方向の壁部材の概要配筋状況

添付6-1 表 面内荷重・面外荷重に対する設計の考え方

	面内荷重 (X方向加振)	面外荷重 (Y方向加振)
主筋※	○	○
せん断補強筋	×	○

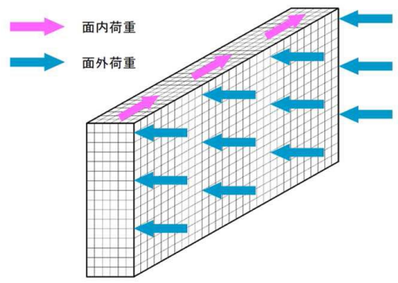
○：荷重を負担する
×：荷重を負担しない
※：主筋は降伏ひずみ以下の範囲で使用する。

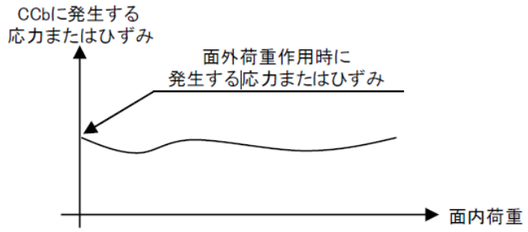
2.2 面内荷重により発生するひび割れの影響

面内荷重が作用することにより，部材を貫通するひび割れ（面内せん断力によるひび割れ）が発生する可能性があるが，女川２号炉においてはCCb を採用する面部材については，面内せん断ひずみを2,000μ以下とすることや，主筋のひずみが降伏ひずみ以下で用いることなどの使用制限を設けることとしており，ひび割れの発生が限定的な範囲で使用することとしている。

なお，面内せん断力によるひび割れにより，CCb の定着性能に影響を与える可能性があるが，添付資料３に示すとおり建設技術審査証明報告書の梁試験より，同等のひび割れ状態においてもせん断補強効果を確認していることから，CCb 工法の適用性に問題はない。

・資料構成の相違
【女川 2】
女川は面内荷重と面外荷重が作用する部材への CCb 工法の適用性の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性に関する数値解析による検討 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性は，2.1 及び2.2 よりCCbへの悪影響はなく問題ないと考えられるが，数値解析（静的材料非線形解析）を実施し適用性に問題がないことを確認する。 なお，数値解析は面外荷重と面内荷重を同時に受ける部材について設計荷重時の状態をおおむね再現することとし，解析および評価結果は工事計画認可段階にて示すこととする。 3.1 検討目的 添付6-3 図に示すように，面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法のせん断補強効果を，数値解析を用いた検討により確認する。  添付6-3 図 数値解析の概念図 3.2 検討概要 CCb をモデル化した面部材の数値解析は，三次元構造物の応力状態を再現することができる三次元静的材料非線形解析の解析コードであるCOM3 により行う。 検討対象とする部材は軽油タンク室の側壁とし，面外荷重として支配的である地震時増分土圧が作用する部材を選定する。 常時荷重と基準地震動時における地震時増分荷重を，面外方向及び面内方向に作用させた際のCCb に生じる応力やひずみを確認する。 また，従来工法（先施工）のケースについても実施し，CCb 工法とのせん断補強効果の比較を行う。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川は面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性の検討について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.3 確認内容 面内荷重と面外荷重を同時に作用させた場合のせん断補強筋（CCb）の状態を確認する（面外荷重作用時，面内・面外荷重作用時のCCb のひずみ等）（添付6-4 図参照）。 さらに，面外荷重に伴う面内せん断ひび割れの発生の有無やその影響についても確認する。  添付6-4 図 面外荷重と面内荷重作用時のCCb に発生する応力またはひずみ（イメージ） 3.4 評価結果への対応方針 面内荷重と面外荷重を受ける部材でのCCb の効果について，設計荷重に対してせん断耐力が不足することが想定された場合は，CCb の打ち増し・太径の採用や，他のせん断補強工法（例えば部材厚増や地盤改良等）との併用等について検討し，所要の安全性を確保する。		・資料構成の相違 【女川 2】 女川は面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb 工法の適用性の検討について記載

実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
波線・・記載表現，設備名称の相違（実質的な相違なし）

まとめ資料比較表　〔第４条 地震による損傷の防止　別紙－14〕

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

①	柏崎6/7は，9×9燃料（A型），女川２号炉は9×9燃料（A型）及び9×9燃料（B型），島根２号は9×9燃料（A型），9×9燃料（B型），MOX燃料が申請対象
②	島根２号ではSs及びSdそれぞれについて評価を実施
③	女川２は，暫定の地震動を用いているため，当該記載が必要だが，島根2号炉は工事計画認可申請段階で用いる地震動を適用しているため，記載不要

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙－10	別紙－14	
地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について	地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について	地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について	
目 次	目 次	目　　次	
1. はじめに 2. 基本方針 2.1 要求事項の整理 2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針 3. 追加要求事項に係る評価項目の選定 4. 地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針 5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件 6. 評価手法 6.1 応力評価手法 6.2 疲労評価手法 7. 評価結果 8. まとめ 添付資料１：燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について 添付資料２：燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて 添付資料３：地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料４：地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料５：燃料被覆管応力評価における許容応力について 添付資料６：燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について 添付資料７：下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて	1. はじめに 2. 基本方針 2.1 要求事項の整理 2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針 3. 追加要求事項に係る評価項目の選定 4. 地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針 5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件 6. 評価手法 6.1 応力評価手法 6.2 疲労評価手法 7. 評価結果 8. まとめ 添付資料１：燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について 添付資料２：燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて 添付資料３：地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料４：地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料５：燃料被覆管応力評価における許容応力について 添付資料６：燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について 添付資料７：下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて 添付資料８：９×９燃料（B 型）における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について	1.　はじめに 2.　基本方針 2.1　要求事項の整理 2.2　追加要求事項への適合性に係る設計方針 3.　追加要求事項に係る評価項目の選定 4.　地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針 5.　追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件 6.　評価手法 6.1　応力評価手法 6.2　疲労評価手法 7.　評価結果 8.　まとめ 添付資料１：燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について 添付資料２：燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて 添付資料３：地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料４：地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料５：燃料被覆管応力評価における許容応力について 添付資料６：燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について 添付資料７：下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて 添付資料８：９×９燃料（B 型）における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について	・評価対象燃料の相違【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 は，9×9 燃料（A 型），女川２号は 9×9 燃料（A 型）及び 9×9 燃料（B 型）， ・記載方針の相違【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 は，添付資料８に記載，女川２号は，本文に記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料９：評価部位の選定理由について 添付資料１０：燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について 添付資料１１：改正規則の影響について	添付資料９：評価部位の選定理由について 添付資料 10：燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について 添付資料 11：改正規則の影響について 添付資料 12：燃料集合体に対する鉛直地震動の影響について 添付資料 13：ＭＯＸ燃料の被覆管応力評価結果について	島根２号は 9×9 燃料（A 型），9×9 燃料（B 型），MOX 燃料が申請対象 （以下，①の相違） ・記載の充実 【柏崎 6/7】 女川２号の審査状況を踏まえ記載を充実 ・資料構成の相違 【女川 2】 女川２号では，別紙１「既工認との手法の相違点の整理」の中の参考資料４にて説明 ･MOX 燃料の応力評価結果について説明 【柏崎 6/7，女川 2】 （2019/7/5 ヒアリングコメント反映）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
1. はじめに 燃料被覆管の応力評価に関しては，燃料の健全性を確認する観点から，原子炉設置（変更）許可申請書添付八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する内外圧力差による応力，熱応力などを考慮し，解析コードを用いて燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。また，工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（耐震解析）において，崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から，地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。 一方，平成 29 年 8 月 30 日の原子力規制委員会において「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下，「設置許可基準規則」という）及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下，「技術基準規則」という）の改正が決定，平成 29 年 9 月 11 日に施行され，地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。 本資料では，地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針及び基準適合性の見通しについて説明する。なお，詳細評価については工事計画認可申請で説明する。	1. はじめに 燃料被覆管の応力評価に関しては，燃料の健全性を確認する観点から，原子炉設置変更許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する内外圧力差による応力，熱応力等を考慮し，解析コードを用いて燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。また，工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（耐震解析）において，崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から，地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。 一方，平成 29 年 8 月 30 日の原子力規制委員会において「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）の改正が決定，平成 29 年 9 月 11 日に施行され，地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。 本資料では，地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針及び地震動の暫定値※1 による基準適合性の見通しについて説明する。なお，詳細評価については工事計画認可申請で説明する。 ※1：平成 25 年 12 月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss	1.　はじめに 燃料被覆管の応力評価に関しては，燃料の健全性を確認する観点から，原子炉設置（変更）許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する内外圧力差による応力，熱応力などを考慮し，解析コードを用いて燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。また，工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（耐震解析）において，崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から，地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。 一方，平成 29 年８月 30 日の原子力規制委員会において「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下，「設置許可基準規則」という）及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下，「技術基準規則」という）の改正が決定，平成 29 年９月 11 日に施行され，地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。 本資料では，地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針並びに基準地震動 Ss※1 及び弾性設計用地震動 Sd※2 による基準適合性の見通しについて説明する。なお，詳細評価については，適切な評価条件等を設定して実施することとし，その評価結果について工事計画認可申請段階で説明する。 ※1：基準地震動Ssについては，「島根原子力発電所２号炉　地震による損傷の防止（資料番号　EP-050 改07 令和元年５月31日提出）」に示す地震動を用いた。 ※2：弾性設計用地震動 Sd については，「島根原子力発電所２号炉　地震による損傷の防止（コメント回答）（資料１－１，令和元年６月 18 日提出）」に示す地震動を用いた。	・記載の充実 【柏崎 6/7】 考慮する地震動の明記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映） ・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 詳細評価での適切な評価条件設定について明記 ・記載の充実 【柏崎 6/7】 考慮する地震動を明記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
2. 基本方針 2.1 要求事項の整理 設置許可基準規則第 4 条及び設置許可基準規則第 4 条の解釈を第 2.1-1 表に，また，技術基準規則第 5 条及び技術基準規則第 5 条の解釈を第 2.1-2 表に示す。 なお，本規則改正に伴う要求事項については，「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成 29 年 2 月 15 日，原子力規制庁）」において以下のとおり示されている。 『…地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る評価として，より精緻化する観点から，地震力並びに地震力と重畳する可能性のある 1 次応力及び 2 次応力を加味した評価を実施することを求める必要がある。 よって，原子力規制庁としては，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に，基準地震動 Ss の地震が発生した場合でも，燃料被覆管の閉じ込め機能が維持できることを新たに要求し，耐震重要度分類 S クラスの耐震設計の考え方にならって，その判断基準として，基準地震動 Ss の地震による 1 次応力を加味した運転状態における応力が設計引張強さを下回ること，また，弾性設計用地震動 Sd の地震による 1 次応力を加味した運転状態における応力が設計降伏点を下回ることとしたい。』	2. 基本方針 2.1 要求事項の整理 設置許可基準規則第 4 条及び設置許可基準規則の解釈第 4 条を第 2.1-1 表に，また，技術基準規則第 5 条及び技術基準規則の解釈第 5 条を第 2.1-2 表に示す。 なお，本規則改正に伴う要求事項については，「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成 29 年 2 月 15 日，原子力規制庁）」において以下のとおり示されている。 『…地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る評価として、より精緻化する観点から、地震力並びに地震力と重畳する可能性のある 1 次応力及び 2 次応力を加味した評価を実施することを求める必要がある。 よって、原子力規制庁としては、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、基準地震動 Ss の地震が発生した場合でも、燃料被覆管の閉じ込め機能が維持できることを新たに要求し、耐震重要度分類 S クラスの耐震設計の考え方にならって、その判断基準として、基準地震動 Ss の地震による 1 次応力を加味した運転状態における応力が設計引張強さを下回ること、また、弾性設計用地震動 Sd の地震による 1 次応力を加味した運転状態における応力が設計降伏点を下回ることとしたい。』	2. 基本方針 2.1 要求事項の整理 設置許可基準規則第４条及び設置許可基準規則第４条の解釈の記載を第 2.1-1 表に，また，技術基準規則第５条及び技術基準規則第５条の解釈の記載を第 2.1-2 表に示す。 なお，本規則改正に伴う要求事項については，「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成 29 年２月 15 日，原子力規制庁）」において以下のとおり示されている。 『…地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る評価として、より精緻化する観点から、地震力並びに地震力と重畳する可能性のある１次応力及び２次応力を加味した評価を実施することを求める必要がある。 よって、原子力規制庁としては、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、基準地震動 Ss の地震が発生した場合でも、燃料被覆管の閉じ込め機能が維持できることを新たに要求し、耐震重要度分類Ｓクラスの耐震設計の考え方にならって、その判断基準として、基準地震動 Ss の地震による 1 次応力を加味した運転状態における応力が設計引張強さを下回ること、また、弾性設計用地震動 Sd の地震による 1 次応力を加味した運転状態における応力が設計降伏点を下回ることとしたい。』	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）

第 2.1-1 表　設置許可基準規則第４条及び設置許可基準規則第４条の解釈

設置許可基準規則 第４条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第４条（地震による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は，地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一　第１項に規定する「地震力に十分に耐える」とは，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と，弾性設計用地震動による地震力（本規程別記２第４条第４項第１号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第２号に規定する静的地震力をいい，Ｓクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して，炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。	解釈追記
２　前項の地震力は，地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	－	変更なし
３　耐震重要施設は，その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	－	変更なし
４　耐震重要施設は，前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	－	変更なし

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

第 2.1-1 表　設置許可基準規則第４条及び設置許可基準規則の解釈第４条（1/2）

設置許可基準規則 第４条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第４条（地震による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一 第１項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記２第４条第４項第１号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第２号に規定する静的地震力をいい、Ｓクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。	解釈追記
２　前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	－	変更なし
３　耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	－	変更なし
４　耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	－	変更なし

島根原子力発電所　２号炉

第 2.1-1 表　設置許可基準規則第４条及び設置許可基準規則第４条の解釈

設置許可基準規則 第４条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第４条（地震による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一　第１項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記２第４条第４項第１号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第２号に規定する静的地震力をいい、Ｓクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。	解釈追記
２　前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	－	変更なし
３　耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	－	変更なし
４　耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	－	変更なし

備考

<table>
<tr>
<td>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）</td>
<td>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</td>
<td>島根原子力発電所　２号炉</td>
<td>備考</td>
</tr>
<tr>
<td>第 2.1-1 表　設置許可基準規則第４条及び設置許可基準規則第４条の解釈（続き）
<table><tr><th>設置許可基準規則
第４条（地震による損傷の防止）</th><th>設置許可基準規則の解釈
第４条（地震による損傷の防止）</th><th>備考</th></tr><tr><td>５　炉心内の燃料被覆材は，基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td><td>二　第５項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し，放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。</td><td>追加要求事項</td></tr></table></td>
<td>第 2.1-1 表　設置許可基準規則第４条及び設置許可基準規則の解釈第４条（2/2）
<table><tr><th>設置許可基準規則
第４条（地震による損傷の防止）</th><th>設置許可基準規則の解釈
第４条（地震による損傷の防止）</th><th>備考</th></tr><tr><td>５　炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td><td>二 第５項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。</td><td>追加要求事項</td></tr></table></td>
<td>第 2.1-1 表　設置許可基準規則第４条及び設置許可基準規則第４条の解釈（続き）
<table><tr><th>設置許可基準規則
第４条（地震による損傷の防止）</th><th>設置許可基準規則の解釈
第４条（地震による損傷の防止）</th><th>備考</th></tr><tr><td>５　炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td><td>二　第５項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。</td><td>追加要求事項</td></tr></table></td>
<td></td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）

第 2.1-2 表　技術基準規則第５条及び技術基準規則第５条の解釈

技術基準規則 第５条（地震による損傷の防止）	技術基準規則の解釈 第５条（地震による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は，これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。	－	変更なし
２　耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は，基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	－	変更なし
３　耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう，防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	－	変更なし
４　炉心内の燃料被覆材は，基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	４　第４項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し，放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加要求事項

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

第２.1-2 表 技術基準規則第５条及び技術基準規則の解釈第５条

技術基準規則 第５条（地震による損傷の防止）	技術基準規則の解釈 第５条（地震による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。	－	変更なし
２　耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	－	変更なし
３　耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	－	変更なし
４　炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	５　第４項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加要求事項

島根原子力発電所　２号炉

第 2.1-2 表　技術基準規則第５条及び技術基準規則第５条の解釈

技術基準規則 第５条（地震による損傷の防止）	技術基準規則の解釈 第５条（地震による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。	－	変更なし
２　耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	－	変更なし
３　耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	－	変更なし
４　炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	５　第４項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加要求事項

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針	2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針 本規則改正に係る要求事項を満足し，追加要求事項への適合性を示すため，燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を定め，原子炉設置変更許可申請書に以下のとおり追記する。 （本文） 炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については，以下のとおり設計する。 ・弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して，炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまるように設計する。 ・基準地震動による地震力に対して，放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないように設計する。 （添付書類八） 炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込めの機能については，以下のとおり設計する。	2.2　追加要求事項への適合性に係る設計方針	・記載方針の相違 【女川 2】 女川２号は，設置変更許可申請書の記載内容を追記
燃料被覆管については，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と，弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して，炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態に留まる設計とする。 また，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し，放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさない設計とする。	・通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と，弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して，炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまる設計とする。 ・通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し，放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさない設計とする。	燃料被覆管については，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と，弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して，炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまる設計とする。 また，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に対し十分な余裕を有し，放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさない設計とする。（添付資料 11 参照）	・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 添付資料を明記
3. 追加要求事項に係る評価項目の選定 BWR 燃料集合体は「沸騰水型原子炉に用いられる 8 行 8 列型の燃料集合体について（昭和 49 年 12 月 25 日原子炉安全専門審査会）」に従い，構造強度設計で以下を考慮している。	3. 追加要求事項に係る評価項目の選定 BWR 燃料集合体は「沸騰水型原子炉に用いられる８行８列型の燃料集合体について（昭和 49 年 12 月 25 日，原子炉安全専門審査会）」に従い，構造強度設計で以下を考慮している。なお，損傷限界は１％塑性歪及び沸騰遷移であり，それぞれ最大線出力密度と最小限界出力比を通常運転時の熱的制限値として管理することで損傷限界に至らないことを確認しているため，地震の影響は問題とならない。	3.　追加要求事項に係る評価項目の選定 BWR 燃料集合体は「沸騰水型原子炉に用いられる８行８列型の燃料集合体について（昭和 49 年 12 月 25 日，原子炉安全専門審査会）」に従い，構造強度設計で以下を考慮している。なお，損傷限界は１％塑性歪及び沸騰遷移であり，それぞれ最大線出力密度と最小限界出力比を通常運転時の熱的制限値として管理することで損傷限界に至らないことを確認しているため，地震の影響は問題とならない。	・記載の充実 【柏崎 6/7】 東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(1) 燃料被覆管にかかる応力は，設計応力強さ限界を超えないこと。 (2) 累積疲労サイクル数は，設計疲労寿命を超えないこと。 (3) 使用中に燃料棒の変形等による過度の寸法変化を生じないこと。	(1)被覆管にかかる応力は、設計応力強さ限界を超えないこと。 (2) 累積疲労サイクル数は、設計疲労寿命を超えないこと。 (3) 使用中に燃料棒の変形等による過度の寸法変化を生じないこと。	(1)被覆管にかかる応力は,設計応力強さ限界を超えないこと。 (2)累積疲労サイクル数は，設計疲労寿命を超えないこと。 (3)使用中に燃料棒の変形等による過度の寸法変化を生じないこと。	・記載箇所の相違 【柏崎 6/7】 記載箇所の相違
	上記のうち，(3)の燃料集合体に異常な寸法形状変化を生じさせないための以下の配慮は地震の影響が問題とならないことから評価対象としない。 ・燃料被覆管製造時における残留応力除去 ・スペーサによる燃料棒の間隔保持及び燃料棒の軸方向伸縮を拘束しない接触圧保持 ・上部タイプレートを通して燃料棒の軸方向伸びを自由に逃げられるようにすること ・スペーサ等によるウォータロッドと燃料棒の軸方向伸びの差への処置	上記のうち，(3)の燃料集合体に異常な寸法形状変化を生じさせないための以下の配慮は地震の影響が問題とならないことから評価対象としない。 ・燃料被覆管製造時における残留応力除去 ・スペーサによる燃料棒の間隔保持及び燃料棒の軸方向伸縮を拘束しない接触圧保持 ・上部タイプレートを通して燃料棒の軸方向伸びを自由に逃げられるようにすること ・スペーサ等によるウォータロッドと燃料棒の軸方向伸びの差への処置	
地震動により燃料被覆管に外力として応力が作用し，また，地震動が継続する間繰返し応力として作用するため，上記の内，(1)及び（2）について地震影響を考慮した評価を行う。なお，(3)は燃料集合体に異常な寸法形状変化を生じさせないため，燃料被覆管製造時における残留応力除去，上下部タイプレート及びスペーサによる燃料棒の保持等，設計及び製造上考慮されている項目であり，地震時の被覆管の閉じ込め機能には影響しないことから評価対象としない。	地震動により燃料被覆管に外力として応力が作用し，また，地震動が継続する間，繰り返し応力として作用するため，(1)及び(2)について地震影響を考慮した評価を行う。	地震動により燃料被覆管に外力として応力が作用し，また，地震動が継続する間繰返し応力として作用するため，上記の内，(1)及び(2)について地震影響を考慮した評価を行う。	
4. 地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針 第 4-1 図に燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー，第 4-2 図に評価対象部位（スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部）を示す。 燃料被覆管閉じ込め機能の評価は，燃料棒熱・機械設計解析コードから得られる被覆管温度や燃料棒内圧のほか，炉心条件，地震動※1 に対する燃料集合体の応答加速度等を入力値とした応力評価及び疲労評価により行う。被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，被覆管寸法等については不確かさを考慮した値を用いる。なお，基準地震動 Ss 等を用いた応力評価及び疲労評価の詳細手法については工事計画認可申請で説明する。	4. 地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針 第 4-1 図に燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー，第 4-2 図に評価対象部位（スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部）を示す。 燃料被覆管閉じ込め機能の評価は，燃料棒熱・機械設計解析コードから得られる被覆管温度や燃料棒内圧のほか，炉心条件，地震動※2 に対する燃料集合体の応答加速度等を入力値とした応力評価及び疲労評価により行う。被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，被覆管寸法等については不確かさを考慮した値を用いる。なお，弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss（7 波）を用いた応力評価及び疲労評価の詳細手法については工事計画認可申請	4.　地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針 第 4-1 図に燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー，第 4-2 図に評価対象部位（スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部）を示す。 燃料被覆管閉じ込め機能の評価は，燃料棒熱・機械設計解析コードから得られる燃料被覆管温度や燃料棒内圧のほか，炉心条件，地震動に対する燃料集合体の応答加速度等を入力値とした応力評価及び疲労評価により行う。燃料被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，燃料被覆管寸法等については不確かさを考慮した値を用いる。なお，基準地震動 Ss 等を用いた応力評価及び疲労評価の詳細手法については工事計画認可申請段階で説明する。	

<table>
<tr>
<th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）</th>
<th>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</th>
<th>島根原子力発電所　２号炉</th>
<th>備考</th>
</tr>
<tr>
<td>また，燃料集合体の浮き上がりの可能性については，冷却材による流体力，水平方向加速度（10G），鉛直方向加速度（2G）においても，浮き上がりの影響がない（燃料支持金具から外れない）ことが過去の解析評価により確認されている[1]。</td>
<td>で説明する。
また，燃料集合体の浮き上がりの可能性については，冷却材による流体力，水平方向加速度（10G）及び鉛直方向加速度（2G）においても，浮き上がりの影響がない（燃料支持金具から外れない）ことが過去の解析評価により確認されている[1]。
上記に加え，制御棒挿入時の突き上げや燃料と上部格子板との摩擦を考慮した場合においても，ほぼ同様の結果となることが別の試験及び解析で確認されている[2]。
※2：平成25 年12 月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd 及び基準地震動Ss</td>
<td>また，燃料集合体の浮き上がりの可能性については，冷却材による流体力，水平方向加速度（10G），鉛直方向加速度（２G）においても，浮き上がりの影響がない（燃料支持金具から外れない）ことが過去の解析評価により確認されている[1]。
上記に加え，制御棒挿入時の突き上げや燃料と上部格子板との摩擦を考慮した場合においてもほぼ同様の結果となることが別の試験及び解析で確認されている[2]。（添付資料 12 参照）</td>
<td>・記載の充実
【柏崎 6/7】
東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実
【柏崎 6/7，女川 2】
添付資料を明記</td>
</tr>
<tr>
<td>5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件
「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成 29 年 2 月 15 日，原子力規制庁）」を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件を第 5-1 表に示す。</td>
<td>5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件
「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成 29 年 2 月 15 日，原子力規制庁）」を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件を第 5-1 表に示す。なお，既許認可より実施している第 5-2 表に示す応力評価条件についても引き続き評価を行う。</td>
<td>5.　追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件
「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成 29 年２月 15 日，原子力規制庁）」を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件を第 5-1 表に示す。また，あわせて参考として従来より実施している燃料被覆管の応力評価条件を示す。追加要求事項を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件は，従来の燃料被覆管の応力評価条件に代わるものではなく，追加されるものである。</td>
<td>・記載の充実
【柏崎 6/7，女川 2】
追加要求事項を踏まえた評価条件と従来の評価条件の関係を明記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映）</td>
</tr>
<tr>
<td>対象燃料は，代表として原子炉設置変更許可済の 9×9 燃料（A 型）とする。なお，６号炉と７号炉はおおむね同一構造であること及び両炉の燃料集合体は同一設計であることから，７号炉を代表で評価する。

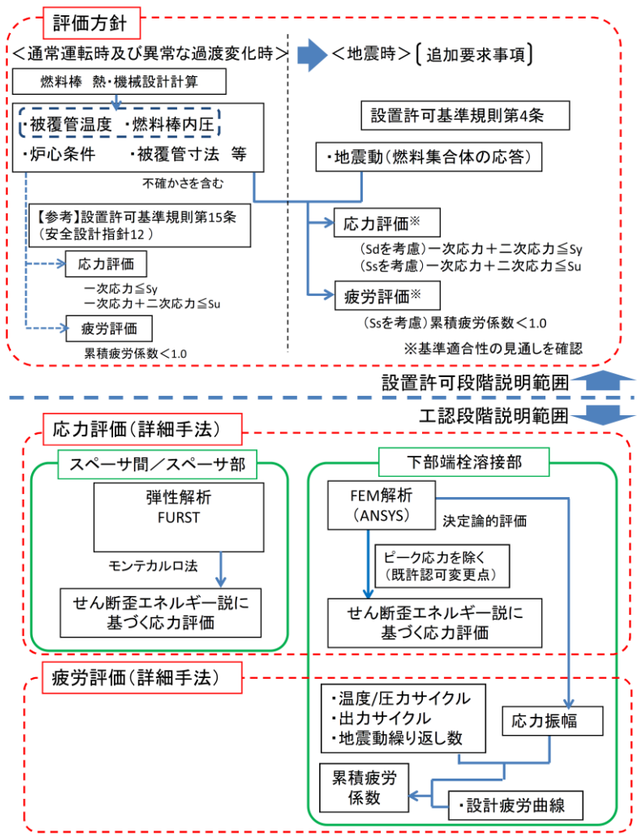
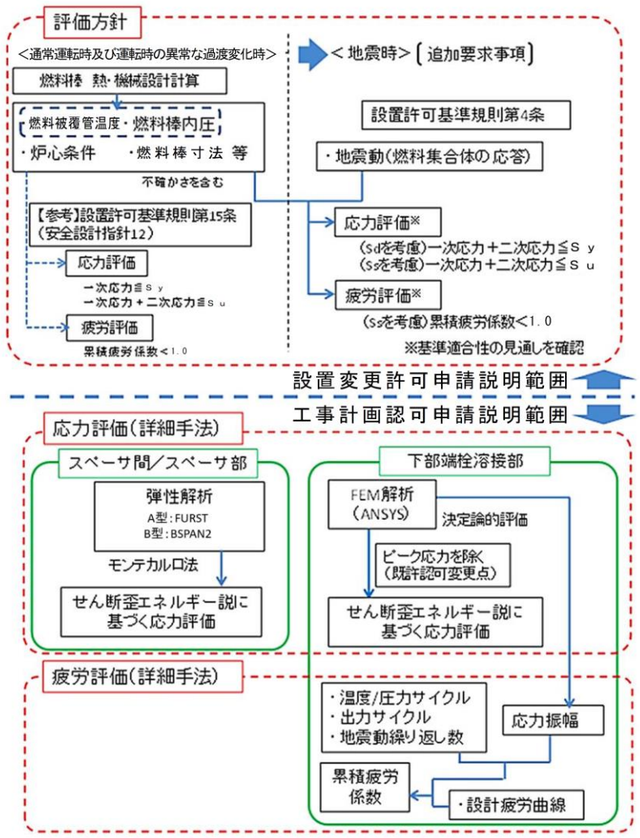
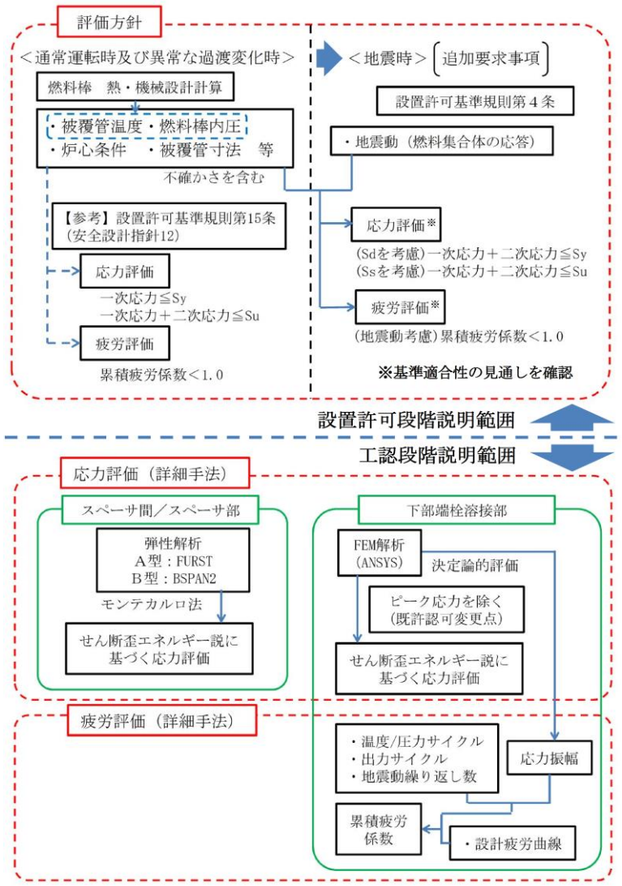
第 5-1 表　燃料被覆管の応力評価条件
<table><tr><th>要求機能</th><th>考慮すべき応力と地震動※2</th><th>許容応力</th></tr><tr><td rowspan="2">燃料被覆管の閉じ込め機能</td><td>一次応力（Sd を考慮）
+二次応力（Sd を考慮）</td><td>降伏応力
（Sy）</td></tr><tr><td>一次応力（Ss を考慮）
+二次応力（Ss を考慮）</td><td>引張強さ
（Su）</td></tr></table>
※2：評価に当たって考慮する地震動を（ ）内に示す。燃料被覆管応力評価の許容応力については，上記表のとおり，弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力（Sy），基準地震動 Ss に対</td>
<td>評価対象燃料は，原子炉設置変更許可済の９×９ 燃料（A 型）及び９×９ 燃料（B 型）とする。

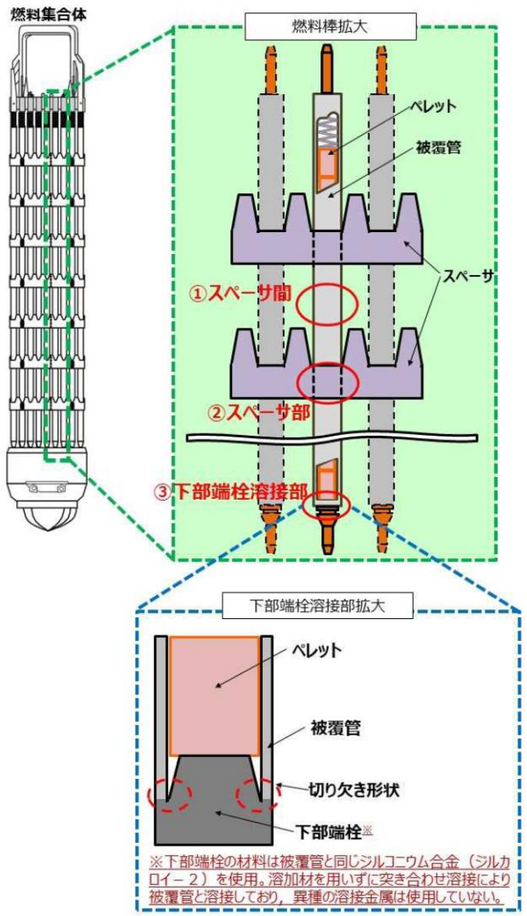
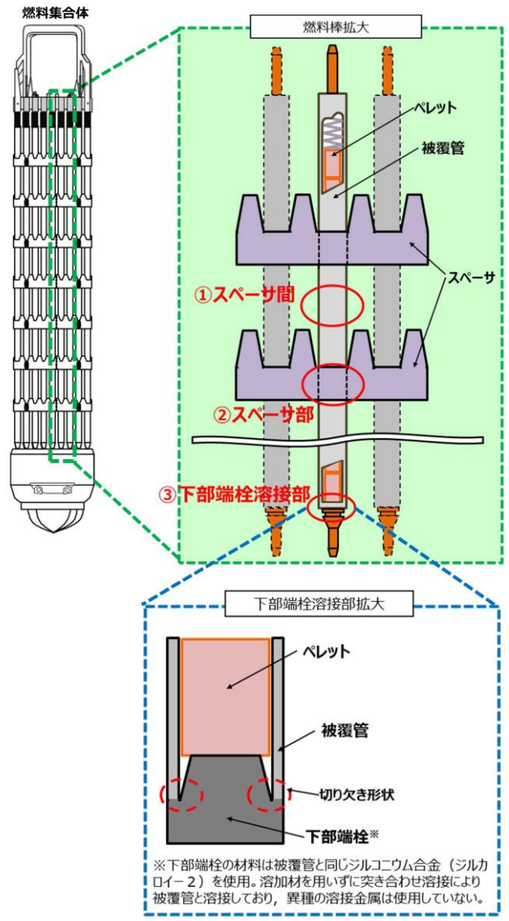
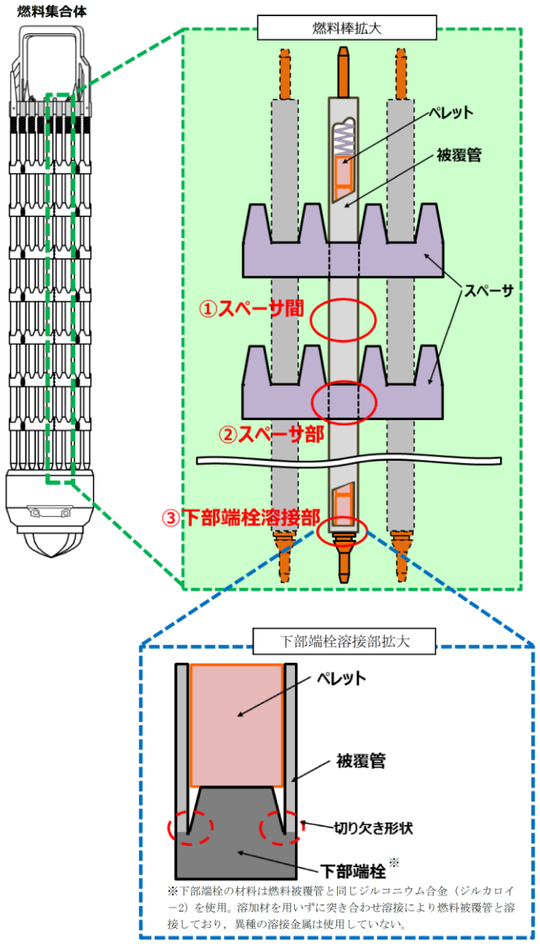
第 5-1 表　追加要求事項を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件
<table><tr><th>運転状態</th><th>要求機能</th><th>考慮すべき応力※3 と地震動</th><th>許容応力</th></tr><tr><td rowspan="2">地震時</td><td rowspan="2">燃料被覆管の
閉じ込め機能</td><td>一次応力（Sd を考慮）
＋二次応力（Sd を考慮）</td><td>降伏応力（Sy）</td></tr><tr><td>一次応力（Ss を考慮）
＋二次応力（Ss を考慮）</td><td>引張強さ（Su）</td></tr></table></td>
<td>評価対象燃料は，原子炉設置変更許可済の９×９ 燃料（A 型），９×９ 燃料（B 型）及びウラン・プルトニウム混合酸化物燃料※1（以下，「MOX 燃料」という）とする。
※1：工事計画認可は未取得

第 5-1 表　追加要求事項を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件
<table><tr><th>運転状態</th><th>要求機能</th><th>考慮する応力と地震動※2</th><th>許容応力</th></tr><tr><td rowspan="2">地震時</td><td rowspan="2">地震時における
燃料被覆管の
閉じ込め機能</td><td>一次応力（Sd を考慮）
+二次応力（Sd を考慮）</td><td>降伏応力
（Sy）</td></tr><tr><td>一次応力（Ss を考慮）
+二次応力（Ss を考慮）</td><td>引張強さ
（Su）</td></tr></table>：評価に当たって考慮する地震動を（）内に示す。</td>
<td>・評価対象燃料の相違
【柏崎 6/7，女川 2】
①の相違

・評価方針の相違
【柏崎 6/7】
島根２号ではSs 及び</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
して設計引張強さ（Su）であるが，基準地震動により生じる燃料被覆管応力は弾性設計用地震動により生じる応力を包含するため，本評価においては，基準地震動による発生する応力を加えた場合でも降伏応力以下となることを確認することにより，弾性設計用地震動に対する要求も満足することを示す。	第 5-2 表　許認可より実施している燃料被覆管の応力評価条件 <table><tr><th>運転状態</th><th>要求機能</th><th>考慮すべき応力</th><th>許容応力</th></tr><tr><td rowspan="2">通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時</td><td rowspan="2">燃料被覆管の閉じ込め機能</td><td>一次応力</td><td>降伏応力（Sy）</td></tr><tr><td>一次応力＋二次応力※3</td><td>引張強さ（Su）</td></tr><tr><td>地震時</td><td>崩壊熱除去可能な形状の維持</td><td>一次応力</td><td>0.7Su</td></tr></table> ※3：考慮すべき応力には熱応力を含む（添付資料１参照）	（参考）　従来の燃料被覆管の応力評価基準 <table><tr><th>運転状態</th><th>要求機能</th><th>考慮する応力と地震動</th><th>許容応力</th></tr><tr><td rowspan="2">通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時</td><td rowspan="2">燃料被覆管の閉じ込め機能</td><td>一次応力</td><td>降伏応力（Sy）</td></tr><tr><td>一次応力+二次応力</td><td>引張強さ（Su）</td></tr><tr><td>地震時</td><td>崩壊熱除去可能な形状の維持</td><td>一次応力</td><td>0.7Su</td></tr></table>	Sd それぞれについて評価を実施 （以下，②の相違） ・記載の充実 【柏崎 6/7】 追加要求事項を踏まえた評価条件と従来の評価条件の関係を明記 (2019/7/5 ヒアリングコメント反映)

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			
第4-1図　燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー	第 4-1 図　燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー	第 4-1 図　燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			
第 4-2 図　評価対象部位（イメージ）	第 4-2 図　評価対象部位（イメージ）	第 4-2 図　評価対象部位（イメージ）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
6. 評価手法 6.1 応力評価手法[3] 燃料被覆管応力評価は，燃料被覆管のスペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部の各位置において，せん断歪エネルギー説（von Mises 理論）に基づき燃料被覆管の相当応力を求め応力設計比※3 を評価することにより行う。応力計算は，燃料被覆管に発生するすべての応力を三軸方向（半径方向，円周方向及び軸方向）について解析し，それらより相当応力を評価する。燃料被覆管の応力評価に考慮する応力を添付資料１に示す。 スペーサ間及びスペーサ部における応力評価では，燃料被覆管に発生する各応力についての厚肉円筒式を用いた弾性解析により，厚肉円筒式の入力変数の統計的分布に基づくモンテカルロ法による統計評価を行う。このため応力設計比は，被覆管寸法，被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，許容応力等の統計的入力変数の関数となる。入力変数の統計的分布は，製造実績，実機運転データ等を考慮して設定された値を用いる。モンテカルロ法による評価では，1 回の試行毎に乱数が用いられ，統計的分布に従い設定された入力条件から1 つの応力設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより応力設計比の95%確率上限値を求める。応力設計比の95%確率上限値が1 以下であることで燃料の健全性を確認する。 下部端栓溶接部における応力評価については，形状が複雑であることから有限要素法による決定論的評価を実施し，一次応力＋二次応力と許容応力を比較して応力設計比が1 以下であることを確認している。なお，既許認可における下部端栓溶接部の応力評価では簡便な扱いとしてピーク応力を含んだ値を用いていたが，今回の申請ではピーク応力を含まない一次応力＋二次応力にて応力評価を行う（添付資料２参照）。また，入力変数については，保守的な条件（変数の95%確率上下限値）を使用している。 ※3: 応力設計比＝発生応力（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時にかかる応力＋地震時にかかる応力）／許容応力	6. 評価手法 6.1 応力評価手法[3] 燃料被覆管応力評価は，燃料被覆管のスペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部の各位置において，せん断歪エネルギー説（von Mises 理論）に基づき燃料被覆管の相当応力を求め応力設計比※4 を評価することにより行う。応力計算は，燃料被覆管に発生するすべての応力を三軸方向（半径方向，円周方向及び軸方向）について解析し，それらより相当応力を評価する。燃料被覆管の応力評価に考慮する応力を添付資料１に示す。 スペーサ間及びスペーサ部における応力評価では，燃料被覆管に発生する各応力についての厚肉円筒式を用いた弾性解析により，厚肉円筒式の入力変数の統計的分布に基づくモンテカルロ法（添付資料６参照）による統計評価を行う。このため応力設計比は，被覆管寸法，被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，許容応力等の統計的入力変数の関数となる。入力変数の統計的分布は，製造実績，実機運転データ等を考慮して設定した値を用いる。モンテカルロ法による評価では，1 回の試行ごとに乱数が用いられ，統計的分布に従い設定された入力条件から 1 つの応力設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより応力設計比の 95%確率上限値を求める。応力設計比の 95%確率上限値が 1 以下であることで燃料の健全性を確認する。 下部端栓溶接部における応力評価については，形状が複雑であることから有限要素法による決定論的評価を実施し，一次応力＋二次応力と許容応力を比較して応力設計が 1 以下であることを確認している。なお，既許認可における下部端栓溶接部の応力評価では簡便な扱いとしてピーク応力を含んだ値を用いていたが，今回申請ではピーク応力を含まない一次応力＋二次応力にて応力評価を行う（添付資料２参照）。また，入力変数については，保守的な条件（変数の 95%確率上下限値）を使用している。 ※4: 応力設計比＝発生応力（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時にかかる応力＋地震時にかかる応力）／許容応力	6. 評価手法 6.1 応力評価手法[3] 燃料被覆管応力評価は，燃料被覆管のスペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部の各位置において，せん断歪エネルギー説（von Mises 理論）に基づき燃料被覆管の相当応力を求め応力設計比※3 を評価することにより行う。応力計算は，燃料被覆管に発生するすべての応力を三軸方向（半径方向，円周方向及び軸方向）について解析し，それらより相当応力を評価する。燃料被覆管の応力評価に考慮する応力を添付資料１に示す。 スペーサ間及びスペーサ部における応力評価では，燃料被覆管に発生する各応力についての厚肉円筒式を用いた弾性解析により，厚肉円筒式の入力変数の統計的分布に基づくモンテカルロ法（添付資料６参照）による統計評価を行う。このため応力設計比は，燃料被覆管寸法，燃料被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，許容応力等の統計的入力変数の関数となる。入力変数の統計的分布は，製造実績，実機運転データ等を考慮して設定した値を用いる。モンテカルロ法による評価では，１回の試行毎に乱数が用いられ，統計的分布に従い設定された入力条件から１つの応力設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより応力設計比の 95%確率上限値を求める。応力設計比の 95%確率上限値が１以下であることで燃料の健全性を確認する。（添付資料 10 参照） 下部端栓溶接部における応力評価については，形状が複雑であることから有限要素法による決定論的評価を実施し，一次応力＋二次応力と許容応力を比較して応力設計比が１以下であることを確認している。なお，既許認可における下部端栓溶接部の応力評価では簡便な扱いとしてピーク応力を含んだ値を用いていたが，今回の申請ではピーク応力を含まない一次応力＋二次応力にて応力評価を行う（添付資料２参照）。入力変数については，保守的な条件（変数の 95%確率上下限値）を使用している。（添付資料 10 参照） ※3 ： 応力設計比＝発生応力（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時にかかる応力＋地震時にかかる応力）／許容応力	・記載の充実 【柏崎 6/7】 添付資料を明記 ・記載の充実 【柏崎 6/7】 添付資料を明記 ・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 添付資料を明記

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）</th><th>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>6.2 疲労評価手法
燃料の疲労限界に対する設計基準は，累積損傷の法則（Minerの仮説）及びLanger-0’Donnell の考え方に基づく。具体的には炉内滞在期間8 年を仮定して温度・圧力及び出力の予測サイクルによる疲労に加え，地震動による繰返し荷重を考慮し，累積疲労係数が1.0 未満であることを確認する。疲労評価においては，一次応力と二次応力に加えてピーク応力を考慮する。また，地震荷重の繰り返し数は，基準地震動Ss に対する建屋－炉内構造物系連成の地震応答解析により算出された等価繰り返し回数をふまえ，200 回として影響を確認する。なお，詳細評価は工事計画認可申請にて行う。</td>
<td>6.2 疲労評価手法
燃料の疲労限界に対する設計基準は，累積損傷の法則（Minerの仮説）及び Langer-0’Donnell の考え方に基づく。具体的には炉内滞在期間 8 年を仮定した温度・圧力及び出力の予測サイクル※5 による疲労に加え，地震動による繰り返し荷重を考慮し，累積疲労係数が 1.0 未満であることを確認する。疲労評価においては，一次応力と二次応力に加えてピーク応力を考慮する。また，地震荷重の繰り返し数は，建設時の評価に用いた 60 回とその倍の 120 回を用いて暫定的に影響を確認する。なお，詳細評価については，別途，等価繰り返し回数の検討結果を踏まえて工事計画認可申請にて行う。
※5：予測サイクルを以下に示す。（原子炉設置変更許可申請書添付書類八より）
<table>
<tr><th>サイクル条件</th><th>予測サイクル</th></tr>
<tr><td>室温から 100%出力</td><td>～4 / 年</td></tr>
<tr><td>高温待機状態から 100%出力</td><td>～12 / 年</td></tr>
<tr><td>50%出力から 100%出力</td><td>～60 / 年</td></tr>
<tr><td>75%出力から 100%出力</td><td>～250 / 年</td></tr>
<tr><td>100%出力から 121%出力</td><td>～0.5 / 年</td></tr>
</table>
</td>
<td>6.2　疲労評価手法
燃料の疲労限界に対する設計基準は，累積損傷の法則（Minerの仮説）及び Langer-0’Donnell の考え方に基づく。具体的には９×９ 燃料（A 型）及び９×９ 燃料（B 型）については炉内滞在期間８年を，MOX 燃料については炉内滞在期間７年を仮定した温度・圧力及び出力の予測サイクル※4による疲労に加え，地震動による繰り返し荷重※5を考慮し，累積疲労係数が 1.0 未満であることを確認する。疲労評価においては，一次応力と二次応力に加えてピーク応力を考慮する。また，地震荷重の繰り返し数については，原子炉建物－大型機器連成解析モデルを用いた地震応答解析に基づき算出された値を踏まえ，基準地震動 Ss は 150 回，弾性設計用地震動 Sd は 300 回として影響を確認する。なお，詳細評価は工事計画認可申請段階にて行う。
※4： 予測サイクルを以下に示す。（原子炉設置（変更）許可申請書添付書類八より）
<table>
<tr><th>サイクル条件</th><th>予測サイクル</th></tr>
<tr><td>室温から100%出力</td><td>～４／年</td></tr>
<tr><td>高温待機状態から100%出力</td><td>～12／年</td></tr>
<tr><td>50%出力から100%出力</td><td>～60／年</td></tr>
<tr><td>75%出力から100%出力</td><td>～250／年</td></tr>
<tr><td>100%出力から121%出力</td><td>～0.5／年</td></tr>
</table>
※5： 地震時の荷重方向を反転させた解析結果より，主応力方向が変化する場合の応力の変化幅を計算し，その半分を応力振幅として繰り返し荷重を設定する。</td>
<td>・評価対象燃料の相違
【柏崎 6/7，女川 2】
①の相違

・評価方針の相違
【柏崎 6/7，女川 2】
②の相違

・記載の充実
【柏崎 6/7】
東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実

・記載の充実
【柏崎 6/7，女川 2】
地震時評価方法の追記(2019/7/5 ヒアリングコメント反映)</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7. 評価結果 燃料被覆管応力評価結果を添付資料３に示す。通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても，応力設計比は最大で0.76 となり，1.0 より小さいことを確認した。 燃料被覆管疲労評価結果を添付資料４に示す。基準地震動Ssによる地震力が繰り返された場合の応力振幅と繰り返し回数，ジルカロイの設計疲労曲線を用いて評価された疲労係数の増分は0.00043 となった。よって，全寿命を通した累積疲労係数（約0.003[4]）に，地震動による疲労係数増分を加えても累積疲労係数は1.0より小さいことを確認した。	7. 評価結果 燃料被覆管応力評価結果（暫定条件による概算値）を添付資料３に示す。通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても，応力設計比は最大で 0.73（９×９ 燃料（A 型））及び 0.73（９×９燃料（B 型））となり，1.0 より小さいことを確認した。 燃料被覆管疲労評価結果（暫定条件による概算値）を添付資料４に示す。基準地震動 Ss による地震力が繰り返された場合の応力振幅と繰り返し回数，ジルカロイの設計疲労曲線を用いて評価された疲労係数の増分は繰り返し数 60 回の場合で 0.00333（９×９ 燃料（A 型））及び 0.00536（９×９ 燃料（B 型）），繰り返し数 120 回の場合で 0.00667（９×９ 燃料（A 型））及び 0.01071（９×９ 燃料（B 型））となった。よって，全寿命を通した累積疲労係数（約 0.003[4]（ ９×９ 燃料（A 型））及び約 0.006[5]（９×９ 燃料（B 型）））に，地震動による疲労係数増分を加えても累積疲労係数は 1.0 より小さいことを確認した。	7. 評価結果 燃料被覆管応力評価結果を添付資料３に示す。通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても，応力設計比は最大で0.80（９×９ 燃料（A 型）），0.79（９×９ 燃料（B 型））及び0.84（MOX燃料）であり，1.0 より小さいことを確認した。 燃料被覆管疲労評価結果を添付資料４に示す。地震力が繰り返された場合の応力振幅と繰り返し回数，ジルカロイの設計疲労曲線を用いて評価された疲労係数の増分は，0.00250（９×９ 燃料（A 型）），0.00532（９×９ 燃料（B 型））及び0.00508（MOX燃料）となった。よって，予測サイクルに基づく累積疲労係数（約 0.003[4]（９×９ 燃料（A 型）），約0.006[5]（９×９ 燃料（B 型））及び約0.006※6（MOX燃料））に，地震動による疲労係数の増分を加えても累積疲労係数は1.0 より小さいことを確認した。 ※6：島根原子力発電所２号炉における MOX 燃料の採用に係る原子炉設置変更許可申請時の MOX 燃料被覆管疲労評価結果	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違 ・評価方針の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ②の相違 ・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違
8. まとめ 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を示すとともに，基準に適合する見通しであることを確認した。なお，詳細評価については工事計画認可申請で説明する。	8. まとめ 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を示すとともに，地震動の暫定値※6 による評価により，基準に適合する見通しであることを確認した。なお，詳細評価については工事計画認可申請で説明する。 ※6：平成25 年12 月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動 Ss	8. まとめ 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を示すとともに，基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdによる評価により，基準に適合する見通しであることを確認した。なお，詳細評価については工事計画認可申請段階で説明する。	・評価方針の相違 【柏崎 6/7】 ②の相違
参考文献 [1] 平成１７ 年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その２(BWR 制御棒挿入性）に係る報告書（平成 18 年９ 月原子力安全基盤機構） [2] 浜岡原子力発電所３，４号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価に関わる報告のうち耐震設計上重要な機器・配管系の耐震安全性評価（補	参考文献 [1] 平成 17 年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力 その２(BWR 制御棒挿入性)に係る報告書(平成 18 年９ 月原子力安全基盤機構） [2] 浜岡原子力発電所３，４号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価に関わる報告のうち耐震設計上重要な機器・配管系の耐震安全性評価（補	参考文献 [1] 平成 17 年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力 その２（BWR 制御棒挿入性）に係る報告書（平成 18 年９ 月原子力安全基盤機構） [2] 浜岡原子力発電所３，４号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価に関わる報告のうち耐震設計上重要な機器・配管系の耐震安全性評価（補	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
足説明資料）（平成 19 年 10 月 23 日 中部電力株式会社） [3] 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和 63 年 5 月 12 日 原子力安全委員会了承） [4] 柏崎刈羽原子力発電所第６号機及び第７号機「燃料体設計認可申請書」（GNF 燃設認第 42-A 号，平成 24 年 9 月 7 日認可）	足説明資料）（平成 19 年 10 月 23 日 中部電力株式会社） [3] 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和 63 年 5 月 12 日 原子力安全委員会了承） [4] 女川原子力発電所第２号機「燃料体設計認可申請書」（GNF 燃設認第 35 号，平成 21 年 10 月 16 日認可） [5] 女川原子力発電所第２号機及び第３号機「燃料体設計認可申請書」（20 原燃東 第 802 号，平成 21 年 1 月 7 日認可）	足説明資料）（平成 19 年 10 月 23 日 中部電力株式会社） [3] 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和 63 年５月 12 日 原子力安全委員会了承） [4] 島根原子力発電所第２号機「燃料体設計認可申請書」（GNF 燃設認第 30 号，平成 21 年１月７日認可） [5] 島根原子力発電所第２号機「燃料体設計認可申請書」（20 原燃東 第 805 号，平成 21 年２月 12 日認可）	・評価対象燃料の相違【柏崎 6/7】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付資料１

燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について

各評価対象部位において考慮する応力を添付 1-1 表に示す。

添付 1-1 表 各評価対象部位において考慮する応力

考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	下部端栓溶接部
(1)内外圧力差に基づく応力	○	○	○
(2)水力振動に基づく応力	○	○	—
(3)楕円度に基づく応力	○	○	—
(4)スペーサ（支持格子）の接触力に基づく応力	—	○	—
(5)半径方向温度差に基づく応力	○	○	○
(6)円周方向温度差に基づく応力	○	○	○
(7)膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	○
(8)端栓取付角公差による曲がりに基づく応力	—	—	○
(9)スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力※1	○	○	○
(10)チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力※1	○	○	○
(11)鉛直方向地震加速度に基づく応力※1	○	○	○

※1：地震動を考慮する場合に新たに加わる応力

添付資料１

燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について

各評価部位において考慮する応力を添付 1-1 表に，評価対象部位（スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部）を添付 1-1 図に示す。また，燃料集合体の構造図（９×９燃料（A型））を添付 1-2 図に，燃料集合体の構造図（９×９燃料（B 型））を添付 1-3 図に示す。９×９燃料（A 型）には２本の太径のウォータ・ロッドがあるが，９×９燃料（B 型）では１本の角管のウォータ・チャンネルであり，また，９×９燃料（A 型）のみに部分長燃料棒が存在するといった違いがある。

添付 1-1 表 各評価部位において考慮する応力

考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	下部端栓溶接部
（1）内外圧差に基づく応力	○	○	○
（2）水力振動に基づく応力	○	○※1	—
（3）楕円度に基づく応力	○	○	—
（4）スペーサの接触力に基づく応力	—	○	—
（5）半径方向温度差に基づく応力	○	○	○
（6）円周方向温度差に基づく応力	○	○	○※1
（7）膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	○※1
（8）ウォータ・チャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力	○※2	○※2	—
（9）端栓取付角公差による曲がりに基づく応力	—	—	○※1
（10）スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力※3	○	○	○
（11）チャンネル・ボックスの水平地震動によるたわみに基づく応力※3	○	○	○
（12）鉛直方向地震加速度に基づく応力※3	○	○	○

※１：９×９燃料（A 型）の場合に考慮
※２：９×９燃料（B 型）の場合に考慮
※３：地震動を考慮する場合に新たに加わる応力

添付資料１

燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について

各評価対象部位において考慮する応力を添付 1-1 表に示す。評価対象部位（スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部）を添付 1-1 図に示す。また，燃料集合体の構造図（９×９ 燃料（A 型））を添付 1-2 図に，燃料集合体の構造図（９×９ 燃料（B 型））を添付 1-3 図に，燃料集合体の構造図（MOX 燃料）を添付 1-4 図に示す。９×９ 燃料（A 型）は燃料棒の配列が９行９列であり，74 本の燃料棒と２本の太径のウォータロッドからなる。９×９ 燃料（B 型）は燃料棒の配列が９行９列であり，72 本の燃料棒と１本の角管のウォータチャンネルからなる。MOX 燃料は燃料棒の配列が８行８列であり，60 本の燃料棒と１本の太径のウォータロッドからなる。なお，９×９ 燃料（A 型）のみに標準燃料棒の約２／３の長さとなる部分長燃料棒が８本存在する。

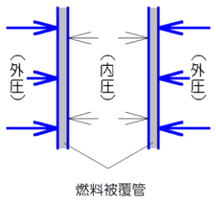
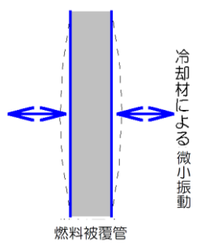
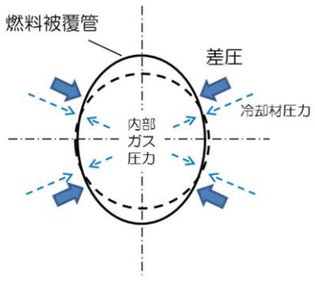
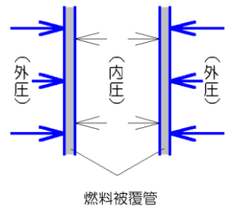
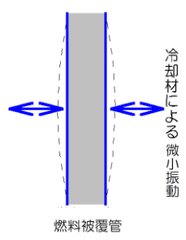
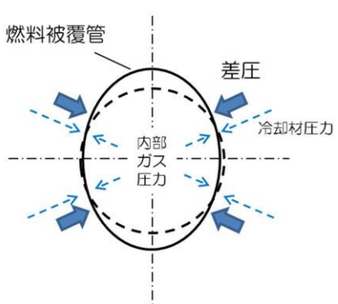
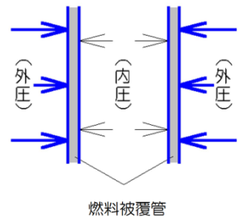
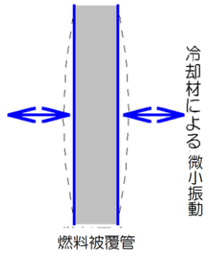
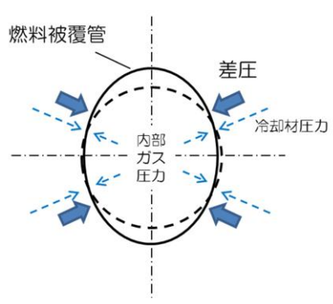
添付 1-1 表　各評価対象部位において考慮する応力

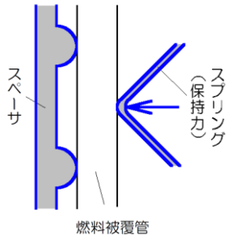
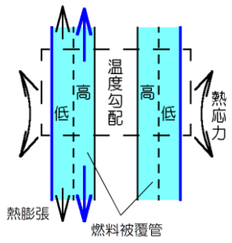
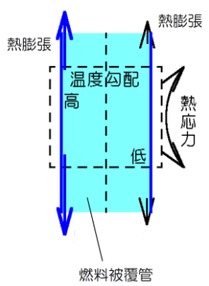
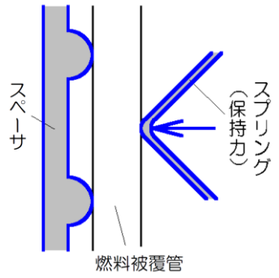
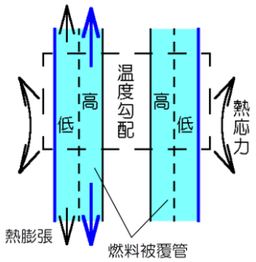
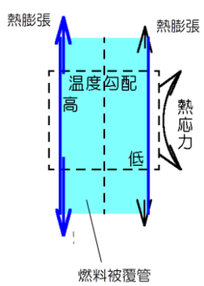
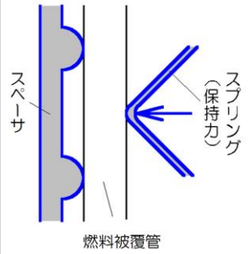
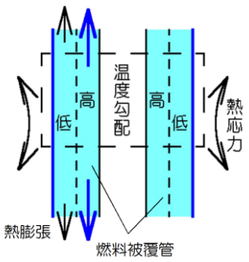
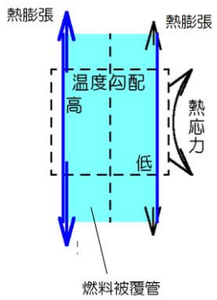
考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	下部端栓溶接部
(1)内外圧力差に基づく応力	○	○	○
(2)水力振動に基づく応力	○	○※1	—
(3)楕円度に基づく応力	○	○	—
(4)スペーサ（支持格子）の接触力に基づく応力	—	○	—
(5)半径方向温度差に基づく応力	○	○	○
(6)円周方向温度差に基づく応力	○	○	○※1
(7)膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	○※1
(8)ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力	○※2	○※2	—
(9)端栓取付角公差による曲がりに基づく応力	—	—	○※1
(10)スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力※3	○	○	○
(11)チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力※3	○	○	○
(12)鉛直方向地震加速度に基づく応力※3	○	○	○

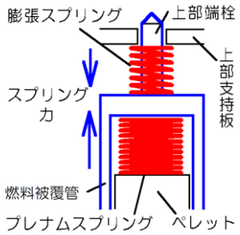
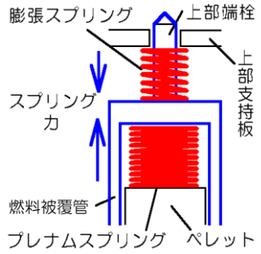
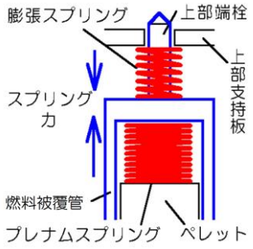
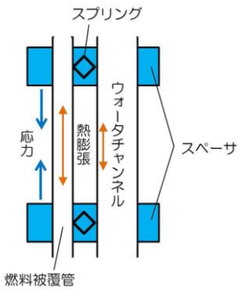
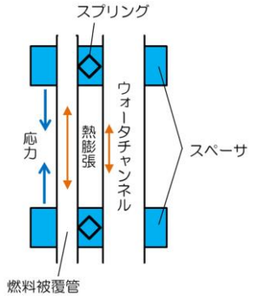
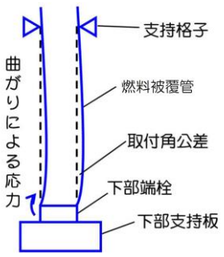
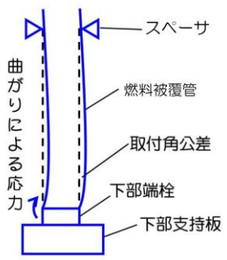
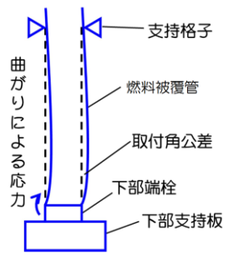
※1：9×9 燃料（A 型）及び MOX 燃料の場合にのみ考慮
※2：9×9 燃料（B 型）の場合にのみ考慮
※3：地震動を考慮する場合に新たに加わる応力

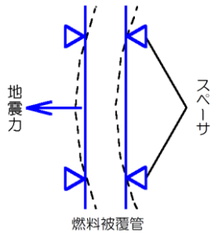
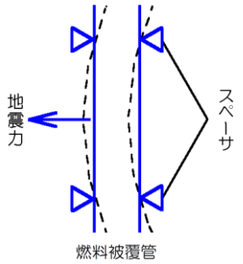
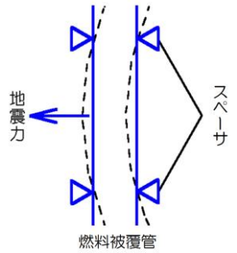
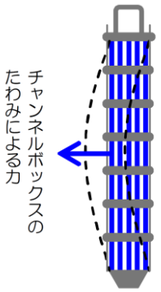
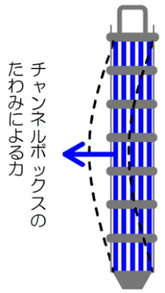
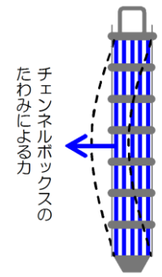
・評価対象燃料の相違
【柏崎 6/7，女川 2】
①の相違

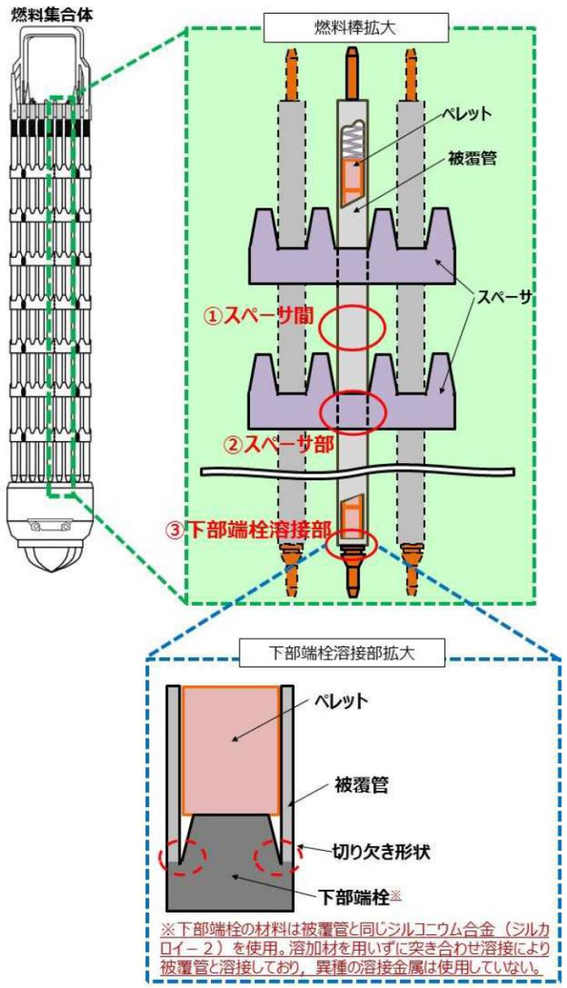
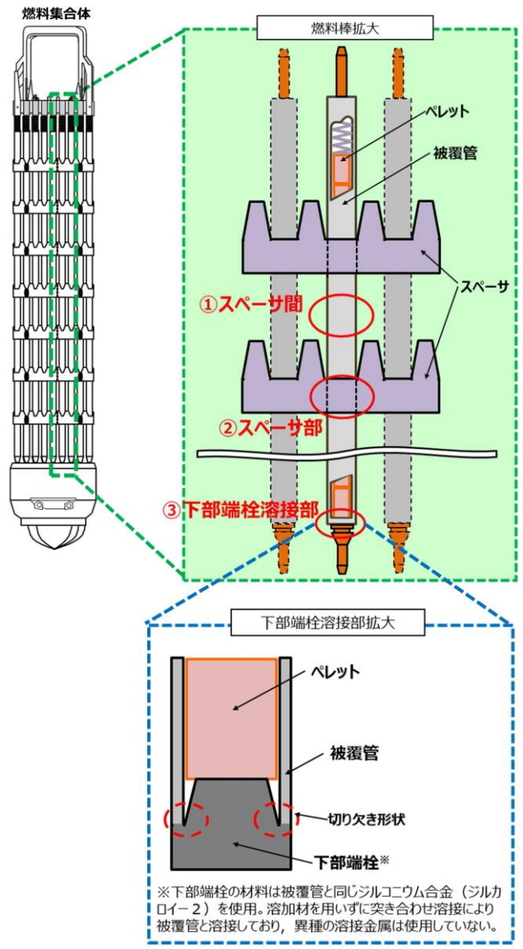
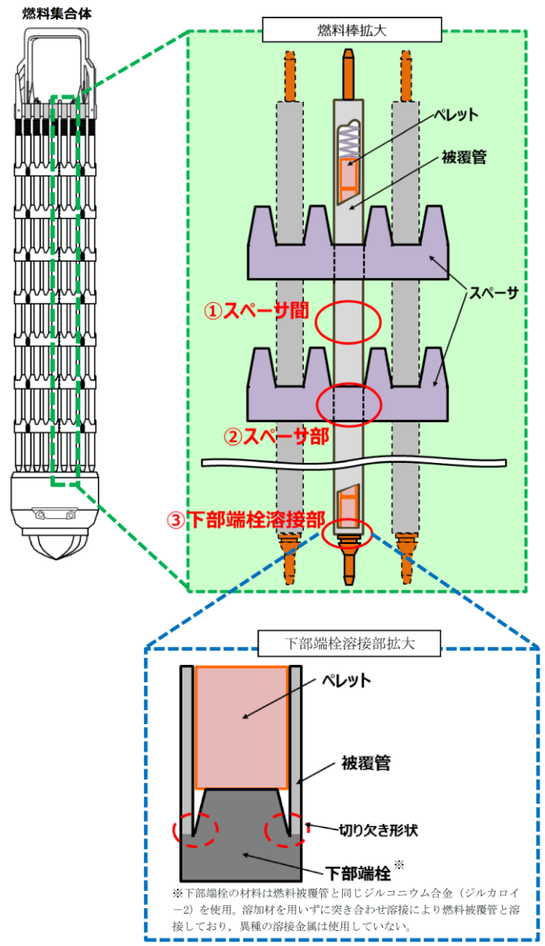
・評価対象燃料の相違
【柏崎 6/7，女川 2】
①の相違

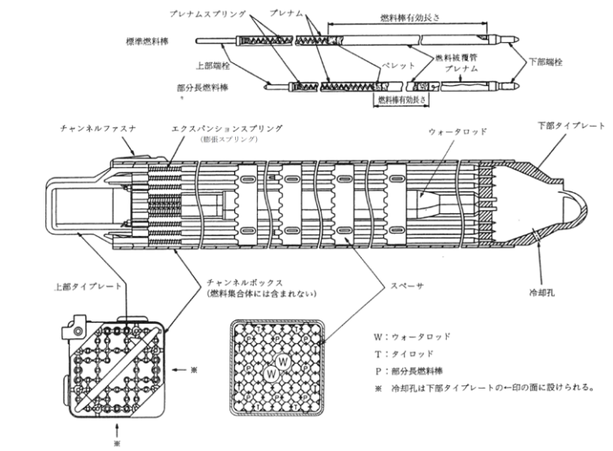
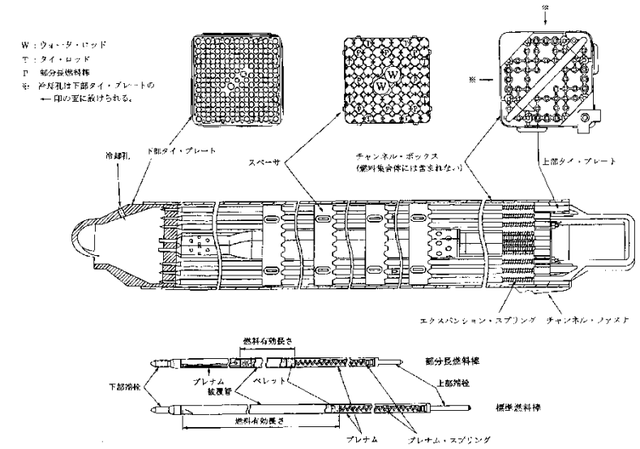
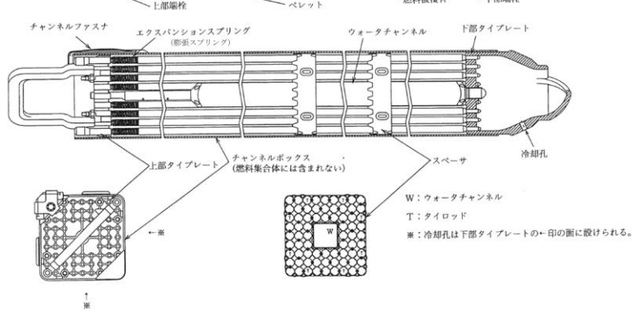
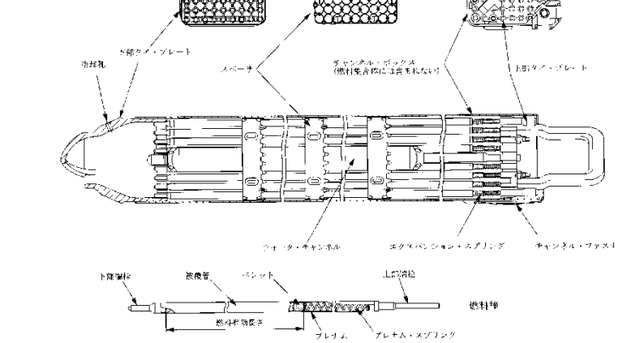
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
［ 解 説 ］ 1. 運転中（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時）に発生する応力 (1)内外圧力差に基づく応力 燃料被覆管内部ガス圧力と冷却材圧力の差圧により発生する応力。  (2)水力振動に基づく応力 冷却材の流れによって生じる燃料被覆管の微小振動に基づき発生する応力。  (3)楕円度に基づく応力 燃料被覆管製作時に生じる真円からのわずかな歪みにより，燃料被覆管内部ガス圧力と冷却材圧力の差圧により発生する応力。  	［ 解 説 ］ 1. 運転中（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時）に発生する応力 (1)内外圧力差に基づく応力 燃料被覆管内部ガス圧力と冷却材圧力の差圧により発生する応力。  (2)水力振動に基づく応力 冷却材の流れによって生じる燃料被覆管の微小振動に基づき発生する応力。  (3)楕円度に基づく応力 燃料被覆管製作時に生じる真円からのわずかな歪みにより，燃料被覆管内部ガス圧力と冷却材圧力の差圧により発生する応力。  	［ 解　説 ］ 1. 運転中（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時）に発生する応力 (1)内外圧力差に基づく応力 燃料被覆管内部ガス圧と冷却材圧力の差圧により発生する応力。  (2)水力振動に基づく応力 冷却材の流れによって生じる燃料被覆管の微小振動に基づき発生する応力。  (3)楕円度に基づく応力 燃料被覆管製作時に生じる真円からのわずかな歪みにより，燃料被覆管内部ガス圧力と冷却材圧力の差圧により発生する応力。  	

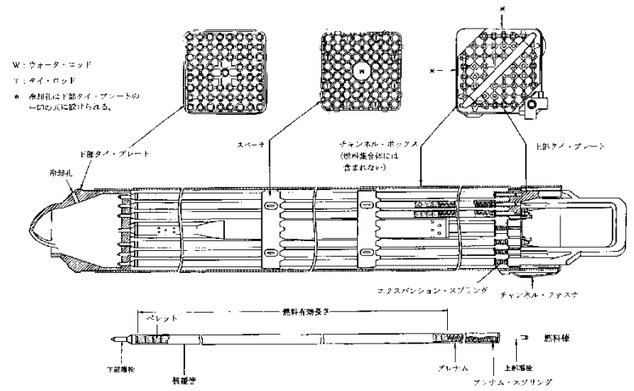
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(4) スペーサ（支持格子）の接触力に基づく応力 スペーサ（支持格子）のばね押圧により，スペーサ部に発生する応力。  (5) 半径方向温度差に基づく応力 燃料被覆管内外面の温度差に基づく熱膨張差が拘束されることにより発生する応力。  (6) 円周方向温度差に基づく応力 燃料被覆管の円周方向温度分布の不均一による燃料被覆管の湾曲がスペーサ（支持格子）により拘束されることで発生する応力。  	(4) スペーサの接触力に基づく応力 スペーサのばね押圧により，スペーサ部に発生する応力。  (5) 半径方向温度差に基づく応力 燃料被覆管内外面の温度差に基づく熱膨張差が拘束されることにより発生する応力。  (6) 円周方向温度差に基づく応力 燃料被覆管の円周方向温度分布の不均一による燃料被覆管の湾曲がスペーサにより拘束されることで発生する応力（９×９燃料（B 型）の熱湾曲矯正による応力も同様の応力）。  	(4) スペーサ（支持格子）の接触力に基づく応力 スペーサ（支持格子）のばね押圧により，スペーサ部に発生する応力。  (5) 半径方向温度差に基づく応力 燃料被覆管内外面の温度差に基づく熱膨張差が拘束されることにより発生する応力。  (6) 円周方向温度差に基づく応力 燃料被覆管の円周方向温度分布の不均一による燃料被覆管の湾曲がスペーサ（支持格子）により拘束されることで発生する応力。（９×９燃料（B 型）の熱湾曲矯正による応力も同様の応力）  	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(7)膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力 膨張スプリング及びプレナムスプリング（内部スプリング）により発生する応力。燃料自重による応力も含む。  	(7)膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力 膨張スプリング及びプレナムスプリング（内部スプリング）により発生する応力（９×９燃料（A 型）については，燃料自重による応力も含む）。  	(7)膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力 膨張スプリング及びプレナムスプリング（内部スプリング）により発生する応力。９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料については，燃料自重による応力も含む。  	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違
	(8)ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力 ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差により，燃料被覆管の伸びが拘束されることにより発生する応力（９×９燃料（B 型））  	(8)ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力 燃料被覆管とウォータチャンネルの熱膨張差により，燃料被覆管の伸びが拘束されることにより発生する応力（９×９燃料（B 型）のみ）。  	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違
(8)端栓取付角公差による曲がりに基づく応力 下部端栓の取付角の公差により，下部端栓とスペーサ(支持格子)との間で燃料被覆管に曲げが生じることにより発生する応力。  	(9)端栓取付角公差による曲がりに基づく応力 下部端栓の取付角の公差により，下部端栓とスペーサとの間で燃料被覆管に曲げが生じることにより発生する応力（９×９燃料（A 型））。  	(9)端栓取付角公差による曲がりに基づく応力 下部端栓の取付角の公差により，下部端栓とスペーサ(支持格子)との間で燃料被覆管に曲げが生じることにより発生する応力（９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料のみ）。  	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
2. 地震時に付加される応力 (9) スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力 水平地震荷重により，スペーサ（支持格子）を支持点として燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。  	2. 地震時に付加される応力 (10) スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力 水平地震荷重により，スペーサを支持点として燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。  	2. 地震時に付加される応力 (10) スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力 水平地震荷重により，スペーサ（支持格子）を支持点として燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。  	
(10) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力 水平地震荷重によるチャンネルボックスのたわみに従って，燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。  	(11) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力 水平地震荷重によるチャンネルボックスのたわみに従って，燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。  	(11) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力 水平地震荷重によるチャンネルボックスのたわみに従って，燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。  	
(11) 鉛直方向地震加速度に基づく応力 鉛直方向地震加速度により，燃料被覆管に見かけの質量が軸方向に付加されることにより発生する応力。	(12) 鉛直方向地震加速度に基づく応力 鉛直方向地震加速度により，燃料被覆管に見かけの質量が軸方向に付加されることにより発生する応力。なお，９×９燃料（B 型）では「(10) スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力」に加味する形で考慮している。	(12) 鉛直方向地震加速度に基づく応力 鉛直方向地震加速度により，燃料被覆管に見かけの質量が軸方向に付加されることにより発生する応力。なお，９×９燃料（B 型）では「(10) スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力」に加味する形で考慮している。（添付資料８参照）	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違 ・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 添付資料を明記

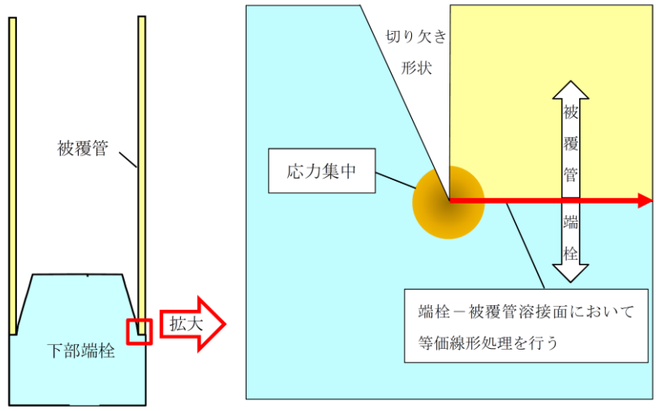
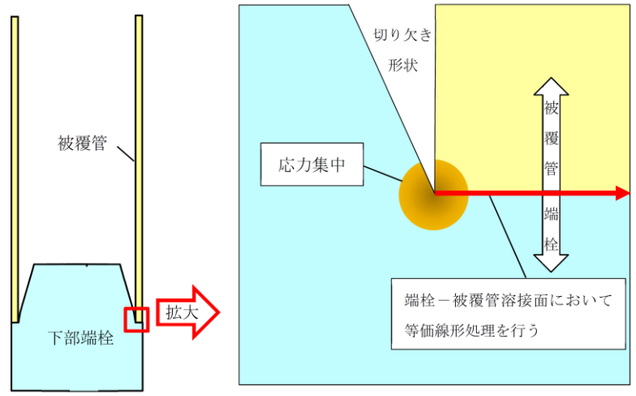
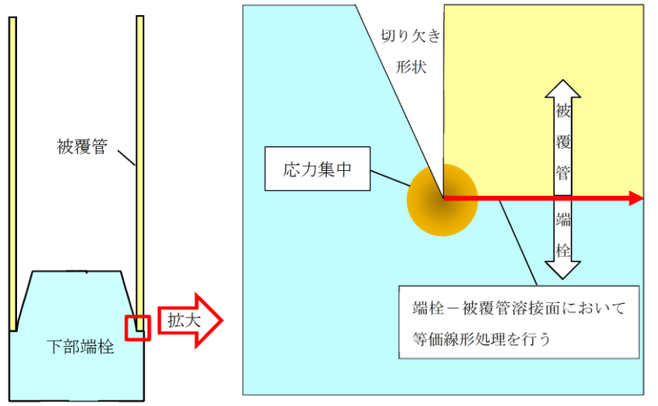
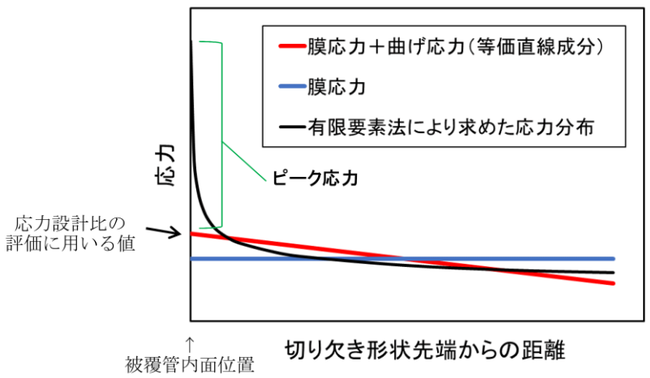
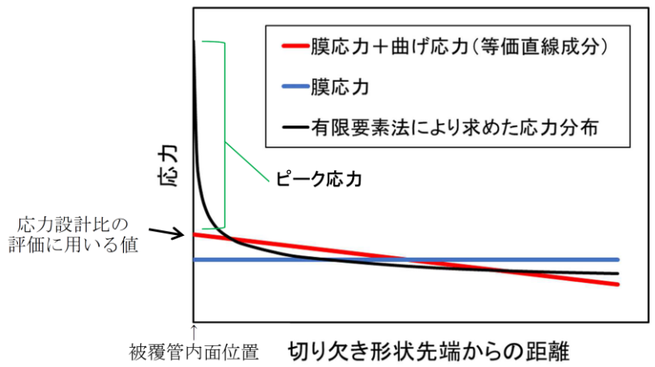
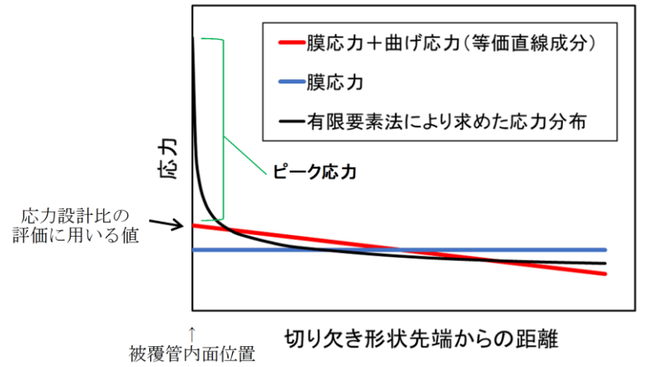
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			
添付 1-1 図　評価対象部位（イメージ）【第 4-2 図再掲】	添付 1-1 図　評価対象部位（イメージ）【第 4-2 図再掲】	添付 1-1 図　評価対象部位（イメージ）【第 4-2 図再掲】	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付 1-2 図 燃料集合体の構造図（９×９燃料（A型））	 添付 1-2 図　燃料集合体の構造図（９×９燃料(A 型））	・記載の充実 【柏崎 6/7】 東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実
	 添付 1-3 図 燃料集合体の構造図（９×９燃料（B型））	 添付 1-3 図　燃料集合体の構造図（９×９燃料(B 型））	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 添付 1-4 図　燃料集合体の構造図（MOX 燃料）	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料２ 燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて 燃料被覆管下部端栓溶接部は，切り欠き形状を含む複雑な形状（添付 2-1 図参照）であるため有限要素法（以下，「FEM」という）を用いた解析により発生応力を求めており，得られる応力値には（一次応力＋二次応力＋ピーク応力）の全応力成分が含まれる（添付 2-2 図参照）。ピーク応力は，荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはなく[1]，JEAG 4601・補-1984[2]においてもピーク応力は疲労評価が対象とされている（添付 2-1 表参照）。よって，等価線形処理により FEM 解析結果から一次応力＋二次応力を求め，応力設計比の計算を行う。 等価線形処理は FEM 解析で得られた応力分布を膜応力，曲げ応力の等価直線成分及び曲げ応力の非直線成分に数値処理により分離する手法であり，圧力容器などのプラント機器の応力解析に適用されている。膜応力は肉厚方向に分布する応力の平均値に等しい応力成分，曲げ応力の等価直線成分は肉厚方向に分布する応力による正味の曲げモーメントと等しいモーメントによって生じる応力成分であり，これらが一次応力＋二次応力に相当する。これらと元の応力分布との差である曲げ応力の非直線成分がピーク応力に相当する。 応力の考え方の模式図を添付 2-3 図に示す。応力が最も厳しい条件となるのはピーク応力の方向と正味の曲げモーメントの方向が一致するケースであり，下部端栓溶接部の応力解析では燃料被覆管内面位置が該当する。よって，応力設計比の評価には燃料被覆管内面位置での応力を用いる。	添付資料２ 燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて 燃料被覆管下部端栓溶接部は，切り欠き形状を含む複雑な形状（添付 2-1 図参照）であるため有限要素法（以下「FEM」という。）を用いた解析により発生応力を求めている。FEM 解析から得られる下部端栓溶接部の応力値には一次応力及び二次応力に加えて，切り欠き形状に伴うピーク応力が含まれる（添付 2-2 図参照）。ピーク応力は，荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはなく [1]，JEAG 4601・補-1984[2]においてもピーク応力は疲労評価が対象とされている（添付 2-1 表参照）。よって，等価線形処理により FEM 解析結果から一次応力＋二次応力を求め，応力設計比の計算を行う。 等価線形処理は FEM 解析で得られた応力分布を一次応力及び二次応力並びにピーク応力に数値処理により分離する手法であり，圧力容器等のプラント機器の応力解析に適用されている。一次応力及び二次応力に相当するのは，肉厚方向に分布する応力の平均値に等しい応力成分（膜応力）及び肉厚方向に分布する応力による正味の曲げモーメントと等しいモーメントによって生じる応力成分（曲げ応力の等価直線成分）である。ピーク応力に相当するのは，これらと元の応力分布との差である。 なお，応力が最も厳しい条件となるのはピーク応力の方向と正味の曲げモーメントの方向が一致するケースであり，下部端栓溶接部の応力解析では燃料被覆管内面位置が該当する。よって，応力設計比の評価には燃料被覆管内面位置での応力を用いる。	添付資料２ 燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて 燃料被覆管下部端栓溶接部は，切り欠き形状を含む複雑な形状（添付 2-1 図参照）であるため有限要素法（以下，「FEM」という）を用いた解析により発生応力を求めており，得られる応力値には（一次応力＋二次応力＋ピーク応力）の全応力成分が含まれる（添付 2-2 図参照）。ピーク応力は，荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはなく[1]，JEAG 4601・補-1984[2]においてもピーク応力は疲労評価が対象とされている（添付 2-1 表参照）。よって，等価線形処理により FEM 解析結果から一次応力＋二次応力を求め，応力設計比の計算を行う。 等価線形処理は FEM 解析で得られた応力分布を膜応力，曲げ応力の等価直線成分及び曲げ応力の非直線成分に数値処理により分離する手法であり，圧力容器などのプラント機器の応力解析に適用されている。膜応力は肉厚方向に分布する応力の平均値に等しい応力成分，曲げ応力の等価直線成分は肉厚方向に分布する応力による正味の曲げモーメントと等しいモーメントによって生じる応力成分であり，これらが一次応力＋二次応力に相当する。これらと元の応力分布との差である曲げ応力の非直線成分がピーク応力に相当する。 応力の考え方の模式図を添付 2-3 図に示す。応力が最も厳しい条件となるのはピーク応力の方向と正味の曲げモーメントの方向が一致するケースであり，下部端栓溶接部の応力解析では燃料被覆管内面位置が該当する。よって，応力設計比の評価には燃料被覆管内面位置での応力を用いる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参考文献 [1]「構造解析のための有限要素法実践ハンドブック」，森北出版，第 1 版第 6 刷，2012 年 [2] JEAG 4601･補-1984，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」，（社）日本電気協会 [3] JSME S NC1-2005/2007「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版(2007 年追補版含む)）」〈第１編 軽水炉規格〉，2007 年 9 月，日本機械学会	参考文献 [1]「構造解析のための有限要素法実践ハンドブック」，森北出版，第 1 版第 6 刷，2012 年 [2] JEAG 4601･補-1984，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」，（社）日本電気協会	参考文献 [1]「構造解析のための有限要素法実践ハンドブック」，森北出版，第１版第６刷，2012 年 [2] JEAG 4601･補-1984，「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編」，（社）日本電気協会 [3] JSME S NC1-2005/2007「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版(2007 年追補版含む)）」〈第１編 軽水炉規格〉，2007 年９月，日本機械学会	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 添付 2-1 図　下部端栓溶接部の有限要素法による応力解析体系（模式図）	 添付 2-1 図　下部端栓溶接部の有限要素法による応力解析体系（模式図）	 添付 2-1 図　下部端栓溶接部の有限要素法による応力解析体系（模式図）	
 添付 2-2 図　応力分布と等価線形処理結果の模式図	 添付 2-2 図　応力分布と等価線形処理結果の模式図	 添付 2-2 図　応力分布と等価線形処理結果の模式図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）

添付 2-1 表　第 1 種容器の許容応力（JEAG 4601・補-1984[2]からの抜粋）

2.1.1　第 1 種容器の許容応力

第 1 種容器の許容応力を次に示す。

許容応力状態＼応力分類	1 次一般膜応力	1 次膜応力＋1 次曲げ応力	1 次＋ 2 次応力	1 次＋ 2 次＋ピーク応力	特別な応力限界 純せん断応力	特別な応力限界 支圧応力
設計条件	S_m	1.5 S_m	—	—	—	—
I_A	—	—	(1) 3 S_m	(2) 運転状態Ⅰ及びⅡにおける荷重の組合せについて疲れ解析を行い疲れ累積係数が 1.0 以下であること。	(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
II_A	—	—			(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
III_A	S_y と 2/3 S_u の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2 S_m とする。	左欄の 1.5 倍の値	—	—	(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
IV_A	2/3 S_u。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 2/3 S_u と 2.4 S_m の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値	—	—	—	—
$III_A S$	S_y と 2/3 S_u の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2 S_m とする。	(3) 左欄の 1.5 倍の値	(4) 3 S_m ［S_1 又は S_2 地震動のみによる応力振幅について評価する。］	(5)(6) S_1 又は S_2 地震動のみによる疲れ解析を行い疲れ累積係数を求め，運転状態Ⅰ，Ⅱにおける疲れ累積係数との和が 1.0 以下であること。	0.6 S_m	(9) S_y (1.5 S_y)
$IV_A S$	2/3 S_u。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 2/3 S_u と 2.4 S_m の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値			0.4 S_u	(9) S_u (1.5 S_u)

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

添付 2-1 表　第 1 種容器の許容応力（JEAG 4601・補-1984[2]からの抜粋）

2.1.1　第 1 種容器の許容応力

第 1 種容器の許容応力を次に示す。

許容応力状態＼応力分類	1 次一般膜応力	1 次膜応力＋1 次曲げ応力	1 次＋ 2 次応力	1 次＋ 2 次＋ピーク応力	特別な応力限界 純せん断応力	特別な応力限界 支圧応力
設計条件	S_m	1.5 S_m	—	—	—	—
I_A	—	—	(1) 3 S_m	(2) 運転状態Ⅰ及びⅡにおける荷重の組合せについて疲れ解析を行い疲れ累積係数が 1.0 以下であること。	(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
II_A	—	—			(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
III_A	S_y と 2/3 S_u の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2 S_m とする。	左欄の 1.5 倍の値	—	—	(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
IV_A	2/3 S_u。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 2/3 S_u と 2.4 S_m の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値	—	—	—	—
$III_A S$	S_y と 2/3 S_u の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2 S_m とする。	(3) 左欄の 1.5 倍の値	(4) 3 S_m ［S_1 又は S_2 地震動のみによる応力振幅について評価する。］	(5)(6) S_1 又は S_2 地震動のみによる疲れ解析を行い疲れ累積係数を求め，運転状態Ⅰ，Ⅱにおける疲れ累積係数との和が 1.0 以下であること。	0.6 S_m	(9) S_y (1.5 S_y)
$IV_A S$	2/3 S_u。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 2/3 S_u と 2.4 S_m の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値			0.4 S_u	(9) S_u (1.5 S_u)

島根原子力発電所　２号炉

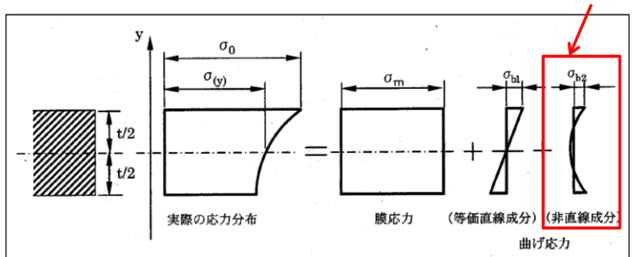
添付 2-1 表　第 1 種容器の許容応力（JEAG 4601・補-1984[2]からの抜粋）

許容応力状態＼応力分類	1 次一般膜応力	1 次膜応力＋1 次曲げ応力	1 次＋ 2 次応力	1 次＋ 2 次＋ピーク応力	特別な応力限界 純せん断応力	特別な応力限界 支圧応力
設計条件	S_m	1.5 S_m	—	—	—	—
I_A	—	—	(1) 3 S_m	(2) 運転状態Ⅰ及びⅡにおける荷重の組合せについて疲れ解析を行い疲れ累積係数が 1.0 以下であること。	(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
II_A	—	—			(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
III_A	S_y と 2/3 S_u の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2 S_m とする。	左欄の 1.5 倍の値	—	—	(7) 0.6 S_m	(8)(9) S_y (1.5 S_y)
IV_A	2/3 S_u。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 2/3 S_u と 2.4 S_m の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値	—	—	—	—
$III_A S$	S_y と 2/3 S_u の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2 S_m とする。	(3) 左欄の 1.5 倍の値	(4) 3 S_m ［S_1 又は S_2 地震動のみによる応力振幅について評価する。］	(5)(6) S_1 又は S_2 地震動のみによる疲れ解析を行い疲れ累積係数を求め，運転状態Ⅰ，Ⅱにおける疲れ累積係数との和が 1.0 以下であること。	0.6 S_m	(9) S_y (1.5 S_y)
$IV_A S$	2/3 S_u。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 2/3 S_u と 2.4 S_m の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値			0.4 S_u	(9) S_u (1.5 S_u)

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

ピーク応力に相当



解説図　GNR-2130-1　膜応力と曲げ応力の考え方

解説図 GNR-2130-1 において、

膜応力(σ_m)

$$\sigma_m = \frac{1}{t}\int_{-t/2}^{t/2}\sigma(y)dy \qquad \text{（解説 GNR-1.1）}$$

曲げ応力の等価直線成分(σ_{b1})

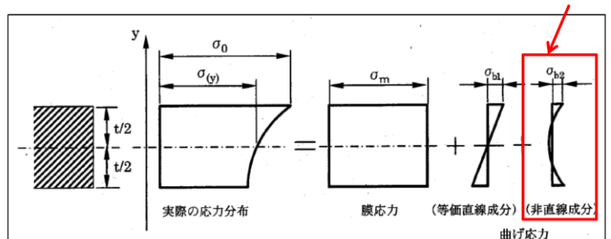
$$\sigma_{b1} = \frac{6}{t^2}\int_{-t/2}^{t/2}y\sigma(y)dy \qquad \text{（解説 GNR-1.2）}$$

曲げ応力の非直線成分(σ_{b2})

$$\sigma_{b2} = \sigma_0 - \sigma_m - \sigma_{b1} \qquad \text{（解説 GNR-1.3）}$$

添付 2-3 図　応力の考え方（JSME S NC1-2005/2007[3]からの抜粋）

ピーク応力に相当



解説図　GNR-2130-1　膜応力と曲げ応力の考え方

解説図 GNR-2130-1 において、

膜応力(σ_m)

$$\sigma_m = \frac{1}{t}\int_{-t/2}^{t/2}\sigma(y)dy \qquad \text{（解説 GNR-1.1）}$$

曲げ応力の等価直線成分(σ_{b1})

$$\sigma_{b1} = \frac{6}{t^2}\int_{-t/2}^{t/2}y\sigma(y)dy \qquad \text{（解説 GNR-1.2）}$$

曲げ応力の非直線成分(σ_{b2})

$$\sigma_{b2} = \sigma_0 - \sigma_m - \sigma_{b1} \qquad \text{（解説 GNR-1.3）}$$

添付 2-3 図　応力の考え方（JSME S NC1-2005/2007[3]からの抜粋）

刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料３ 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加え地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価結果を以下に示す。 (1)燃料タイプ：9×9 燃料（A 型） (2)評価部位：スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部 (3)解析コード：＜スペーサ間，スペーサ部＞ 弾性解析コード FURST Ver.5※1（設置許可，設計認可と同じ） ＜下部端栓溶接部＞ 有限要素法解析コード ANSYS Ver.14※2 (4)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (5)運転状態：出力過渡（120%出力）または圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） ただし，下部端栓溶接部の評価では，下部端栓部の燃料棒の出力は低く，出力過渡時に発生する応力は圧力過渡時の応力より小さいため，圧力過渡時を評価対象とした。 (6)考慮する応力：①内外圧力差に基づく応力（一次応力） ②水力振動に基づく応力（一次応力） ③楕円度に基づく応力（一次応力） ④スペーサの接触力に基づく応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力） ⑤半径方向温度差に基づく熱応力（二次応力） ⑥円周方向温度差に基づく熱応力（二次応力）	添付資料３ 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加え地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価結果を以下に示す。 1. ９×９燃料（A 型）の評価結果（添付 3-1 表） (1)評価部位：スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部 (2)解析コード：＜スペーサ間，スペーサ部＞ 弾性解析コード FURST Ver.5※1（設置許可，設計認可と同じ） ＜下部端栓溶接部＞ 有限要素法解析コード ANSYS Ver.14※2（添付資料７参照） (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：出力過渡（121%出力（出力運転中の制御棒の異常な引き抜き））又は圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]（負荷の喪失）） (5)考慮する応力：①内外圧力差に基づく応力（一次応力） ②水力振動に基づく応力（一次応力） ③楕円度に基づく応力（一次応力） ④スペーサの接触力に基づく応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力） ⑤半径方向温度差に基づく熱応力（二次応力） ⑥円周方向温度差に基づく熱応力（二次応力）	添付資料３ 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加え地震による応力を考慮した場合の燃料被覆管応力評価結果を以下に示す。 ［９×９ 燃料（A 型），MOX 燃料の評価結果］ (1)評価部位：スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部 (2)解析コード：＜スペーサ間，スペーサ部＞ 弾性解析コード FURST Ver.5※1（設置許可，設計認可と同じ） ＜下部端栓溶接部＞ 有限要素法解析コードANSYS Ver.14※2（添付資料７参照） (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：出力過渡（121%出力）または圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） (5)考慮する応力：①内外圧力差に基づく応力（一次応力） ②水力振動に基づく応力（一次応力） ③楕円度に基づく応力（一次応力） ④スペーサの接触圧に基づく応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力） ⑤半径方向温度差に基づく熱応力（二次応力） ⑥円周方向温度差に基づく熱応力（二次応力）	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違 ・記載の充実 【柏崎 6/7】 添付資料を明記 ・評価方針の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉では出力過渡及び圧力過渡それぞれについて評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
⑦膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力（一次応力） ⑧端栓取付角公差による曲がりに基づく応力（二次応力） 地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，スペーサ間及びスペーサ部については最大値を固定値として入力する。 ⑨スペーサ間の水平地震力による燃料棒被覆管のたわみに基づく応力（一次応力） ⑩チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力（二次応力） ⑪鉛直地震加速度に基づく応力（一次応力）	⑦膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力（一次応力） ⑧端栓取付角公差による曲がりに基づく応力（二次応力） 地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，スペーサ間及びスペーサ部については最大値を固定値として入力する。 ⑨スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力（一次応力） ⑩チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力（二次応力） ⑪鉛直地震加速度に基づく応力（一次応力）	⑦膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力（一次応力） ⑧端栓取付角公差による曲がりに基づく応力（二次応力） 地震動による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，スペーサ間及びスペーサ部については最大値を固定値として入力する。 ⑨スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力（一次応力） ⑩チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力（二次応力） ⑪鉛直地震加速度に基づく応力（一次応力）	
(7)許容応力： 基準地震動（Ss）において，一次+二次応力に対して降伏応力（Sy） 基準地震動（Ss）において，一次+二次応力に対して引張強さ（Su） ここで，基準地震動により生じる燃料被覆管応力は弾性設計用地震動により生じる応力を包含するため，基準地震動による発生する応力を加えた場合でも降伏応力以下となることを確認することにより，弾性設計用地震動に対する要求も満足することを示す。	(6)許容応力： 弾性設計用地震動（Sd）において，一次＋二次応力に対して降伏応力（Sy） 基準地震動（Ss）において，一次＋二次応力に対して引張強さ（Su） （添付資料５参照）	(6)許容応力： 弾性設計用地震動（Sd）において，一次+二次応力に対して降伏応力（Sy） 基準地震動（Ss）において，一次+二次応力に対して引張強さ（Su） （添付資料５参照）	・評価方針の相違 【柏崎 6/7】 ②の相違 ・記載の充実 【柏崎 6/7】 添付資料を明記 ・評価方針の相違 【柏崎 6/7】 ②の相違
(8)入力値： ＜スペーサ間，スペーサ部＞ 水平加速度 2.71G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 0.90G（同上） 燃料集合体相対変位 31.6mm（Ss 応答変位）	(7)入力値※3： ＜スペーサ間，スペーサ部＞ 水平加速度 4.66G（Ss 応答加速度概算値） 鉛直加速度 1.38G※4（同上） 燃料集合体相対変位 45.3mm※5（Ss 応答変位概算値） 水平加速度 2.68G（Sd 応答加速度概算値） 鉛直加速度 0.69G（同上） 燃料集合体相対変位 25.1mm（Sd 応答変位概算値）	(7) 地震動に係る入力値： ＜スペーサ間，スペーサ部＞ 水平加速度 4.10G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 1.54G※3（同上） 燃料集合体相対変位 35.0mm（Ss 応答変位） 水平加速度 3.97G（Sd 応答加速度） 鉛直加速度 0.78G（同上） 燃料集合体相対変位 33.9mm（Sd 応答変位）	・評価方針の相違 【柏崎 6/7】 ②の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
＜下部端栓溶接部＞ 水平加速度 1.45G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 0.90G（同上） 燃料集合体相対変位 31.6mm（Ss 応答変位） ここで，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの最大応答加速度に対し，材料物性の不確かさや地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜に対する影響等を考慮した値を用いる。	＜下部端栓溶接部＞ 水平加速度 3.07G（Ss 応答加速度概算値） 鉛直加速度 1.38G※4（同上） 燃料集合体相対変位 45.3mm※5（Ss 応答変位概算値） 水平加速度 1.63G（Sd 応答加速度概算値） 鉛直加速度 0.69G（同上） 燃料集合体相対変位 25.1mm（Sd 応答変位概算値） ここで，工事計画認可申請における評価では，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの最大応答加速度に対し，材料物性の不確かさ等を考慮した値を用いる。材料物性の不確かさは，別紙 6「原子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙 11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。今回の暫定評価は平成 25 年 12 月設置変更許可申請時の基準地震動（Ss-1,2）及び弾性設計用地震動（Sd-1,2）に対するものであり，今後工事計画認可申請段階において基準地震動 Ss 及び弾性設計用地震動 Sd（各 7 波）（材料物性の不確かさを考慮したケースを含む）に対する評価を実施する。なお，暫定評価の地震動条件は，工事計画認可申請段階で用いる地震動とほぼ同等レベルと見込まれること，また，暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから，工事計画認可申請段階における評価については，概ね問題ないものと考えている。 また，工事計画認可申請段階の評価においては水平２ 方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平２ 方向の地震動を考慮した評価では，別紙 3「水平２ 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料３ に示すとおり，女川原子力発電所の基準地震動 Ss には水平方向の地震動に方向性がないことから，水平２ 方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合，水平２ 方向のうち１ 方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙３ に示すとおり，位相の異なる水平地震動を用いた場合，水平２ 方向の地震動によるオービットには偏り	＜下部端栓溶接部＞ 水平加速度 2.21G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 1.54G※3（同上） 燃料集合体相対変位 35.0mm（Ss 応答変位） 水平加速度 2.20G（Sd 応答加速度） 鉛直加速度 0.78G（同上） 燃料集合体相対変位 33.9mm（Sd 応答変位） ここで，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの値に加えて地盤の不確かさを考慮した値を用いる。工事計画認可申請段階における評価では，その他の材料物性の不確かさ等も考慮する。 また，工事計画認可申請段階の評価においては，水平２方向及び鉛直方向を考慮した評価を実施する。燃料被覆管の水平２方向の地震動を考慮した評価では，別紙 10「水平２方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について」参考資料３に示すとおり，島根原子力発電所の基準地震動 Ss のうち水平方向の地震動に方向性がないものについては，水平２方向及び鉛直方向地震動の同時入力による影響検討を行う場合，水平２方向のうち１方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力することを基本とする。別紙 10 に示すとおり，位相の異なる水平地震動を用いた場合，水平方向の地	・評価方針の相違 【柏崎 6/7】 ②の相違 ・記載の充実 【柏崎 6/7】 女川２号の審査状況を踏まえ記載を充実 ・評価結果による相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 は，原子炉建物の地震による傾斜が目安値を上回る評価となっているが，島根２号炉は，原子炉建物等の傾斜は全て目安値内に収まっているため記載不要 ・記載の相違 【女川 2】 女川２は，暫定の地震動を用いているため，当該記載が必要だが，島根２号炉は工事計画認可申請段階で用いる地震動を適用しているため，記載不要 （以下，③の相違）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	がない傾向となることから，水平 2 方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが，今後，工事計画認可申請段階で水平 2 方向への影響について詳細検討を実施する。	震動によるオービットには偏りがない傾向となることから，水平２方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが，今後，工事計画認可申請段階で水平２方向の影響について詳細検討を実施する。	
		(8)評価結果：９×９ 燃料（A 型）の燃料被覆管応力評価結果を添付 3-1 表に，MOX 燃料の評価結果を添付 3-2 表に示す。９×９ 燃料（A 型）の応力設計比は最大で 0.80，MOX 燃料の応力設計比は最大で 0.84 であり，1.0 より小さいことを確認した。（添付資料 13 参照）	・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 評価結果を追記
※1：地震時に被覆管に発生する応力は，燃料棒を梁モデルに置換し水平方向の加速度及びチャンネルボックスの曲がりによる強制変位を受けた際の応力計算式，鉛直方向に燃料棒が加振された場合に燃料棒断面にかかる圧縮及び引張り応力の計算式で計算する。これは，運転時及び過渡時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定していることと同様であり，応力計算方法は同じである。FURST はこれらを組み合わせて計算することが可能である。	※1：地震時に燃料被覆管に発生する応力は，燃料棒を梁モデルに置換し水平方向の加速度による燃料被覆管のたわみに基づく応力の計算式，チャンネルボックスのたわみにより強制変位を受けた際の応力計算式及び燃料棒に鉛直方向地震力が加わった場合に燃料被覆管断面にかかる圧縮及び引張り応力の計算式で計算する。これは，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定している点と同様であり，応力計算方法は同じである。FURST はこれらを組み合わせて計算することが可能である。	※1：地震時に燃料被覆管に発生する応力は，燃料被覆管に梁モデルを用いて，水平方向の加速度による燃料被覆管のたわみに基づく応力の計算式，チャンネルボックスのたわみにより強制変位を受けた際の応力計算式及び燃料被覆管に鉛直方向地震力が加わった場合に燃料被覆管断面にかかる圧縮及び引張応力の計算式で計算する。これは，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定している点と同様であり，応力計算方法は同じである。FURST はこれらの発生する応力を積算し，応力設計比が最大となるように組み合わせて計算することが可能である。	・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 地震時評価方法の追記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映）
※2：燃料被覆管下部端栓溶接部の切り欠き形状の先端近傍では応力集中が生じるがピーク応力は荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはないため，一次応力＋二次応力を評価に用いる。	※2：燃料被覆管下部端栓溶接部の切り欠き形状の先端近傍では応力集中が生じるがピーク応力は荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはないため，一次応力＋二次応力を評価に用いる。	※2：　燃料被覆管下部端栓溶接部の切り欠き形状の先端近傍では応力集中が生じるがピーク応力は荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはないため，一次応力＋二次応力を評価に用いる。また，水平地震加速度及び燃料集合体の相対変位により生じる曲げ応力と鉛直地震加速度により発生する軸方向の引張応力及び圧縮応力の組合せにあたっては，引張方向及び圧縮方向の応力がそれぞれ絶対値が個々に大きくなるように組み合わせた解析を実施する。	・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 地震時評価方法の追記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映）
	※3：平成 25 年 12 月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss		

<table>
<tr>
<th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）</th>
<th>女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）</th>
<th>島根原子力発電所　２号炉</th>
<th>備考</th>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>※4：鉛直加速度が 1G を超過するため，燃料集合体が浮き上がる可能性について検討した結果は別紙 1「既工認との手法の相違点の整理（設置変更許可申請段階での整理）」参考資料 4 に示しているが，既往知見より鉛直加速度 1.5G の場合でも燃料集合体の浮き上がりは 5㎜ 程度と小さく，浮き上がりに伴う衝突荷重の影響や冷却材流路に及ぼす影響は小さいものと考えているが，工事計画認可申請段階で女川２号炉の地震応答に対する燃料集合体の浮き上がりの影響について詳細検討を行う。

※5：燃料集合体を含めた制御棒挿入性試験について，別紙 1「既工認との手法の相違点の整理（設置変更許可申請段階での整理）」参考資料 5 に示しているが，燃料集合体相対変位 60㎜ における試験においても，チャンネルボックスに微小な変形が発生する程度であり，燃料集合体へ有意な影響を及ぼすことがないことを確認している。</td>
<td>※3：鉛直加速度が１Ｇを超過するため，燃料集合体が浮き上がる可能性について検討した結果を添付資料 12 に示す。既往知見より，鉛直加速度 1.5G の場合でも燃料集合体の浮き上がりは数㎜程度と小さく，浮き上がりに伴う衝突荷重の影響や冷却材流路に及ぼす影響は小さいものと考えているが，工事計画認可申請で島根２号炉の地震応答に対する燃料集合体の浮き上がりの影響について詳細検討を行う。</td>
<td>・記載の充実
【柏崎 6/7】
女川２号の審査状況を踏まえ記載を充実

・資料構成の相違
【女川 2】
島根２号では，添付資料１２において，制御棒挿入性への鉛直地震動の影響を説明</td>
</tr>
<tr>
<td>添付 3-1 表　燃料被覆管応力の評価結果（9×9 燃料（A 型））
<table>
<tr><th rowspan="2">地震動と許容応力</th><th rowspan="2">運転条件</th><th rowspan="2">評価点</th><th>スペーサ間（応力設計比）</th><th>スペーサ部（応力設計比）</th><th>下部端栓溶接部（応力設計比）</th></tr>
<tr><th>一次応力＋二次応力</th><th>一次応力＋二次応力</th><th>一次応力＋二次応力</th></tr>
<tr><td rowspan="6">基準地震動 Ss に対して降伏応力 Sy</td><td rowspan="3">圧力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.76</td><td>0.61</td><td>0.69</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.28</td><td>0.26</td><td>0.33</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.24</td><td>0.23</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td rowspan="3">出力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.73</td><td>0.52</td><td>－</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.30</td><td>0.28</td><td>－</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.25</td><td>0.24</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="6">基準地震動 Ss に対して引張強さ Su</td><td rowspan="3">圧力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.43</td><td>0.33</td><td>0.38</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.26</td><td>0.24</td><td>0.29</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.22</td><td>0.22</td><td>0.24</td></tr>
<tr><td rowspan="3">出力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.42</td><td>0.29</td><td>－</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.27</td><td>0.25</td><td>－</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.23</td><td>0.21</td><td>－</td></tr>
</table>
</td>
<td>添付 3-1 表　燃料被覆管応力の評価結果（９×９燃料（A 型））
<table>
<tr><th rowspan="2">地震動と許容応力</th><th rowspan="2">運転条件</th><th rowspan="2">評価点</th><th>スペーサ間（応力設計比）</th><th>スペーサ部（応力設計比）</th><th>下部端栓溶接部（応力設計比）</th></tr>
<tr><th>一次応力＋二次応力</th><th>一次応力＋二次応力</th><th>一次応力＋二次応力</th></tr>
<tr><td rowspan="6">弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy</td><td rowspan="3">圧力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.73</td><td>0.58</td><td>0.66</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.27</td><td>0.25</td><td>0.31</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.23</td><td>0.22</td><td>0.24</td></tr>
<tr><td rowspan="3">出力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.70</td><td>0.49</td><td>0.60</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.29</td><td>0.27</td><td>0.29</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.24</td><td>0.22</td><td>0.22</td></tr>
<tr><td rowspan="6">基準地震動 Ss に対して引張強さ Su</td><td rowspan="3">圧力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.49</td><td>0.45</td><td>0.44</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.30</td><td>0.27</td><td>0.34</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.26</td><td>0.27</td><td>0.29</td></tr>
<tr><td rowspan="3">出力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.49</td><td>0.40</td><td>0.41</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.32</td><td>0.29</td><td>0.31</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.27</td><td>0.26</td><td>0.26</td></tr>
</table>
</td>
<td>添付 3-1 表　燃料被覆管応力の評価結果（９×９ 燃料（A 型））
<table>
<tr><th>地震動と許容応力</th><th>運転条件</th><th>評価点</th><th>スペーサ間（応力設計比）</th><th>スペーサ部（応力設計比）</th><th>下部端栓溶接部（応力設計比）</th></tr>
<tr><td rowspan="6">弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy</td><td rowspan="3">圧力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.80</td><td>0.77</td><td>0.72</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.30</td><td>0.27</td><td>0.34</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.26</td><td>0.25</td><td>0.26</td></tr>
<tr><td rowspan="3">出力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.77</td><td>0.67</td><td>0.66</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.32</td><td>0.30</td><td>0.31</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.27</td><td>0.25</td><td>0.24</td></tr>
<tr><td rowspan="6">基準地震動 Ss に対して引張強さ Su</td><td rowspan="3">圧力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.46</td><td>0.42</td><td>0.40</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.28</td><td>0.26</td><td>0.31</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.24</td><td>0.24</td><td>0.26</td></tr>
<tr><td rowspan="3">出力過渡</td><td>寿命初期</td><td>0.45</td><td>0.37</td><td>0.37</td></tr>
<tr><td>寿命中期</td><td>0.29</td><td>0.27</td><td>0.29</td></tr>
<tr><td>寿命末期</td><td>0.25</td><td>0.23</td><td>0.23</td></tr>
</table>
</td>
<td>・評価方針の相違
【柏崎 6/7】
②の相違</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付 3-2 表　燃料被覆管応力の評価結果（MOX 燃料） 地震動と許容応力 / 運転条件 / 評価点 / スペーサ間（応力設計比） / スペーサ部（応力設計比） / 下部端栓溶接部（応力設計比） 弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy / 圧力過渡 / 寿命初期 / 0.84 / 0.66 / 0.81 寿命中期 / 0.34 / 0.33 / 0.38 寿命末期 / 0.44 / 0.45 / 0.32 出力過渡 / 寿命初期 / 0.82 / 0.64 / 0.78 寿命中期 / 0.44 / 0.44 / 0.37 寿命末期 / 0.63 / 0.64 / 0.31 基準地震動 Ss に対して引張強さ Su / 圧力過渡 / 寿命初期 / 0.49 / 0.38 / 0.45 寿命中期 / 0.31 / 0.30 / 0.35 寿命末期 / 0.37 / 0.37 / 0.31 出力過渡 / 寿命初期 / 0.49 / 0.38 / 0.44 寿命中期 / 0.38 / 0.37 / 0.34 寿命末期 / 0.50 / 0.49 / 0.30	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2. ９×９燃料（B 型）の評価結果（添付 3-2 表） (1)評価部位：スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部 (2)解析コード：＜スペーサ間，スペーサ部＞ 弾性解析コード BSPAN2 Ver.2.2※1（設置許可，設計認可と同じ） ＜下部端栓溶接部＞ 有限要素法解析コード ANSYS Ver.13※2 (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：出力過渡（121%出力（出力運転中の制御棒の異常な引き抜き））又は圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]（負荷の喪失）） (5)考慮する応力： ①冷却材による外圧及び燃料被覆管内圧によって生じる応力（一次応力） ① 燃料被覆管楕円度による曲げ応力（一次応力） ② 流力振動による応力（スペーサ間評価のみ）（一次応力） ③スペーサでの保持力による応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力） ⑤燃料被覆管の径方向温度勾配による応力（二次応力） ⑥燃料被覆管の周方向温度勾配による応力（二次応力） ⑦熱湾曲矯正による応力（二次応力） ⑧ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力（二次応力） ⑨膨張スプリング及び内部スプリングによる応力（二次応力） 地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，スペーサ間及びスペーサ部については最大値を固定値として入力する。 ⑩スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく	［燃料タイプ：９×９ 燃料（B 型）の評価結果］ (1)評価部位：スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部 (2)解析コード：＜スペーサ間，スペーサ部＞ 弾性解析コード BSPAN2 Ver.2.2※1（設置許可，設計認可と同じ） ＜下部端栓溶接部＞ 有限要素法解析コード ANSYS Ver.13※2 (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：出力過渡（121%出力）または圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） (5)考慮する応力： ①冷却材による外圧及び燃料棒内圧によって生じる応力（一次応力） ② 流力振動による応力（スペーサ間評価のみ）（一次応力） ③ 燃料被覆管楕円度による曲げ応力（一次応力） ④支持格子での保持力による応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力） ⑤燃料被覆管の径方向温度勾配による応力（二次応力） ⑥燃料被覆管の周方向温度勾配による応力（二次応力） ⑦熱湾曲矯正による応力（二次応力） ⑧膨張スプリング及び内部スプリングによる応力（二次応力） ⑨ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力（二次応力） 地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，スペーサ間及びスペーサ部については最大値を固定値として入力する。 ⑩支持格子間の水平地震力によるたわみに基づく応力（一次応	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	応力（一次応力） ⑪チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力（二次応力） 鉛直方向の地震加速度は燃料要素単位長質量に加速度を考慮することでみかけの質量増加として扱い，⑩に加味することで計算する。なお，水平方向の地震加速度がおよそ［　］G を超える範囲において，地震時鉛直方向加速度を直接軸方向応力として作用させる手法に対して本手法が保守的な評価となることを確認している（添付資料８参照）。 (6)許容応力： 弾性設計用地震動（Sd）において，一次＋二次応力に対して降伏応力（Sy） 基準地震動（Ss）において，一次＋二次応力に対して引張強さ（Su） （添付資料５参照） (7)入力値※3： ＜スペーサ間，スペーサ部＞ 水平加速度 4.66G（Ss 応答加速度概算値） 鉛直加速度 1.38G※4（同上） 燃料集合体相対変位 45.3mm※5（Ss 応答変位概算値） 水平加速度 2.68G（Sd 応答加速度概算値） 鉛直加速度 0.69G（同上） 燃料集合体相対変位 25.1mm（Sd 応答変位概算値） ＜下部端栓溶接部＞ 水平加速度 3.07G（Ss 応答加速度概算値） 鉛直加速度 1.38G※4（同上） 燃料集合体相対変位 45.3mm※5（Ss 応答変位概算値） 水平加速度 1.63G（Sd 応答加速度概算値） 鉛直加速度 0.69G（同上） 燃料集合体相対変位 25.1mm（Sd 応答変位概算値） ここで，工事計画認可申請における評価では，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの最大応答加速度に対し，材料物性の不確かさ等を考慮した値を用いる。材料物性の不確かさは，別紙６「原	力） ⑪チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力（二次応力） なお，鉛直方向の地震加速度は燃料要素単位長質量に加速度を考慮することでみかけの質量増加として扱い，⑩に加味することで計算する。水平方向の地震加速度がおよそ［　］G を超える範囲において，地震時鉛直加速度を直接軸方向応力として作用させる手法に対して本手法が保守的な評価となることを確認している。（添付資料８参照） (6)許容応力： 弾性設計用地震動（Sd）において一次+二次応力に対して降伏応力（Sy） 基準地震動（Ss）において，一次+二次応力に対して引張強さ（Su） （添付資料５参照） (7) 地震動に係る入力値： ＜スペーサ間，スペーサ部＞ 水平加速度 4.10G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 1.54G（同上） 燃料集合体相対変位 35.0mm（Ss 応答変位） 水平加速度 3.97G（Sd 応答加速度） 鉛直加速度 0.78G（同上） 燃料集合体相対変位 33.9mm（Sd 応答変位） ＜下部端栓溶接部＞ 水平加速度 2.21G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 1.54G（同上） 燃料集合体相対変位 35.0mm（Ss 応答変位） 水平加速度 2.20G（Sd 応答加速度） 鉛直加速度 0.78G（同上） 燃料集合体相対変位 33.9mm（Sd 応答変位） ここで，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの値に加えて地盤の不確かさを考慮した値を用いる。工事計画認可申請段階における評価では，その他の材料物性の不確かさ等も考慮する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙 11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。今回の暫定評価は平成 25 年 12 月設置変更許可申請時の基準地震動（Ss-1,2）及び弾性設計用地震動（Sd-1,2）に対するものであり，今後工事計画認可申請段階において基準地震動 Ss 及び弾性設計用地震動 Sd（各 7 波）（材料物性の不確かさを考慮したケースを含む）に対する評価を実施する。なお，暫定評価の地震動条件は，工事計画認可申請段階で用いる地震動とほぼ同等レベルと見込まれること，また，暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから，工事計画認可申請段階における評価については，概ね問題ないものと考えている。 　また，工事計画認可申請段階の評価においては水平 2 方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平 2 方向の地震動を考慮した評価では，別紙 3「水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料 3 に示すとおり，女川原子力発電所の基準地震動 Ss には水平方向の地震動に方向性がないことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合，水平 2 方向のうち 1 方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙 3 に示すとおり，位相の異なる水平地震動を用いた場合，水平 2 方向の地震動によるオービットには偏りがない傾向となることから，水平 2 方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが，今後，工事計画認可申請段階で水平 2 方向への影響について詳細検討を実施する。 ※1：地震時に燃料被覆管に発生する応力は，燃料棒を梁モデルに置換し水平方向の加速度による燃料被覆管のたわみに基づく応力の計算式，チャンネルボックスのたわみにより強制変位を受けた際の応力計算式及び燃料棒に鉛直方向地震力が加わった場合に燃料被覆管断面にかかる圧縮及び引張り	また，工事計画認可申請段階の評価においては，水平２方向及び鉛直方向を考慮した評価を実施する。燃料被覆管の水平２方向の地震動を考慮した評価では，別紙 10「水平２方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について」参考資料 3 に示すとおり，島根原子力発電所の基準地震動 Ss のうち水平方向の地震動に方向性がないものについては，水平２方向及び鉛直方向地震動の同時入力による影響検討を行う場合，水平２方向のうち１方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力することを基本とする。別紙 10 に示すとおり，位相の異なる水平地震動を用いた場合，水平２方向の地震動によるオービットには偏りがない傾向となることから，水平２方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが，今後，工事計画認可申請段階で水平２方向の影響について詳細検討を実施する。 (8)評価結果：９×９ 燃料（B 型）の燃料被覆管応力評価結果を添付 3-3 表に示す。９×９ 燃料（B 型）の応力設計比は最大で 0.79 であり，1.0 より小さいことを確認した。 ※1：地震時に燃料被覆管に発生する応力は，燃料被覆管に梁モデルを用いて，水平方向の加速度による燃料被覆管のたわみに基づく応力の計算式，チャンネルボックスのたわみにより強制変位を受けた際の応力計算式及び燃料被覆管に鉛直方向地震力が加わった場合に燃料被覆管断面にかかる圧縮及び	・記載の相違 【女川 2】 ③の相違 ・記載の充実 【女川 2】 評価結果を追記

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	応力の計算式で計算する。これは，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定している点と同様であり，応力計算方法は同じである。BSPAN2 はこれらを組み合わせて計算することが可能である。	引張応力の計算式で計算する。これは，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定している点と同様であり，応力計算方法は同じである。BSPAN2 はこれらの発生する応力を積算し，応力設計比が最大となるように組み合わせて計算することが可能である。	・記載の充実 【女川 2】 地震時評価方法の追記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映）
	※2：燃料被覆管下部端栓溶接部の切り欠き形状の先端近傍では応力集中が生じるがピーク応力は荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはないため，一次応力＋二次応力を評価に用いる。	※2： 燃料被覆管下部端栓溶接部の切り欠き形状の先端近傍では応力集中が生じるがピーク応力は荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはないため，一次応力＋二次応力を評価に用いる。また，水平地震加速度及び燃料集合体の相対変位により生じる曲げ応力と鉛直地震加速度により発生する軸方向の引張応力及び圧縮応力の組合せにあたっては，引張方向及び圧縮方向の応力がそれぞれ絶対値が個々に大きくなるように組み合わせた解析を実施する。	・記載の充実 【女川 2】 地震時評価方法の追記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映）
	※3：平成 25 年 12 月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss		
	※4：鉛直加速度が 1G を超過するため，燃料集合体が浮き上がる可能性について検討した結果は別紙 1「既工認との手法の相違点の整理（設置変更許可申請段階での整理）」参考資料 4 に示しているが，既往知見より鉛直加速度 1.5G の場合でも燃料集合体の浮き上がりは 5㎜ 程度と小さく，浮き上がりに伴う衝突荷重の影響や冷却材流路に及ぼす影響は小さいものと考えているが，工事計画認可申請段階で女川２号炉の地震応答に対する燃料集合体の浮き上がりの影響について詳細検討を行う。	※3： 鉛直加速度が１G を超過するため，燃料集合体が浮き上がる可能性について検討した結果を添付資料 12 に示す。既往知見より，鉛直加速度 1.5G の場合でも燃料集合体の浮き上がりは数㎜程度と小さく，浮き上がりに伴う衝突荷重の影響や冷却材流路に及ぼす影響は小さいものと考えているが，工事計画認可申請で島根２号炉の地震応答に対する燃料集合体の浮き上がりの影響について詳細検討を行う。	
	※5：燃料集合体を含めた制御棒挿入性試験について，別紙 1「既工認との手法の相違点の整理（設置変更許可申請段階での整理）」参考資料 5 に示しているが，燃料集合体相対変位 60㎜ における試験においても，チャンネルボックスに微小な変形が発生する程度であり，燃料集合体へ有意な影響を及ぼすことがないことを確認している。		・資料構成の相違 【女川 2】 島根２号では，添付資料１２において，制御棒挿入性への鉛直地震動の影響を説明

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付 3-2 表　燃料被覆管応力の評価結果（９×９燃料（B 型））

地震動と許容応力	運転条件	評価点	スペーサ間（応力設計比）一次応力＋二次応力	スペーサ部（応力設計比）一次応力＋二次応力	下部端栓溶接部（応力設計比）一次応力＋二次応力
弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy	圧力過渡	寿命初期	0.68	0.73	0.64
		寿命中期	0.33	0.29	0.50
		寿命末期	0.27	0.26	0.48
	出力過渡	寿命初期	0.66	0.68	0.57
		寿命中期	0.35	0.30	0.45
		寿命末期	0.26	0.24	0.43
基準地震動 Ss に対して引張強さ Su	圧力過渡	寿命初期	0.53	0.53	0.44
		寿命中期	0.36	0.34	0.40
		寿命末期	0.32	0.30	0.39
	出力過渡	寿命初期	0.52	0.49	0.42
		寿命中期	0.38	0.36	0.37
		寿命末期	0.32	0.30	0.36

添付 3-3 表　燃料被覆管応力の評価結果（９×９ 燃料（B 型））

地震動と許容応力	運転条件	評価点	スペーサ間（応力設計比）	スペーサ部（応力設計比）	下部端栓溶接部（応力設計比）
弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy	圧力過渡	寿命初期	0.76	0.79	0.69
		寿命中期	0.36	0.33	0.56
		寿命末期	0.31	0.29	0.52
	出力過渡	寿命初期	0.74	0.74	0.62
		寿命中期	0.39	0.35	0.51
		寿命末期	0.30	0.27	0.47
基準地震動 Ss に対して引張強さ Su	圧力過渡	寿命初期	0.48	0.48	0.40
		寿命中期	0.34	0.31	0.37
		寿命末期	0.30	0.28	0.35
	出力過渡	寿命初期	0.48	0.46	0.36
		寿命中期	0.36	0.33	0.35
		寿命末期	0.29	0.27	0.32

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料４ 地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価 （閉じ込め機能の維持）について 地震による振動サイクルを考慮した燃料被覆管疲労評価結果を以下に示す。燃料被覆管疲労解析の評価部位は，切欠きと類似した形状を有し応力集中が発生する端栓溶接部とする。 (1)燃料タイプ：9×9 燃料（A 型） (2)評価部位：下部端栓溶接部 (3)解析コード：有限要素法解析コード ANSYS Ver.14 (4)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (5)運転状態：評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） (6)地震荷重の繰返し数：200 回 (7)許容サイクル数：最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線に基づき評価 (8)入力値： 水平加速度 1.45G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 0.90G（同上） 燃料集合体相対変位 31.6mm（Ss 応答変位） ここで，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの最大応答加速度に対し，材料物性の不確かさや地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜に対する影響等を考慮した値を用いる。	添付資料４ 地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価 （閉じ込め機能の維持）について 地震による振動サイクルを考慮した燃料被覆管疲労評価結果を以下に示す。燃料被覆管疲労解析の評価部位は，切り欠きと類似した形状を有し応力集中が発生する下部端栓溶接部とする。 1. ９×９燃料（A 型）の評価結果（添付 4-1 表） (1)評価部位：下部端栓溶接部 (2)解析コード：有限要素法解析コード ANSYS Ver.14 (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：応力評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） (5)地震荷重の繰り返し数：60 回，120 回（暫定条件） (6)許容サイクル数：最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線（添付 4-1 図参照）に基づき設定 (7)入力値※1 ： 水平加速度 3.07G（Ss 応答加速度概算値） 鉛直加速度 1.38G（同上） 燃料集合体相対変位 45.3mm（Ss 応答変位概算値） 水平加速度 1.63G（Sd 応答加速度概算値） 鉛直加速度 0.69G（同上） 燃料集合体相対変位 25.1mm（Sd 応答変位概算値） ここで，工事計画認可申請における評価では，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの最大応答加速度に対し，材料物性の不確かさ等を考慮した値を用いる。材料物性の不確かさは，別紙 6「原子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙 11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。今回の暫定評価は平成 25 年 12 月設置変更許	添付資料４ 地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価 （閉じ込め機能の維持）について 地震による振動サイクルを考慮した場合の燃料被覆管疲労評価結果を以下に示す。燃料被覆管疲労解析の評価部位は，切り欠きと類似した形状を有し応力集中が発生する下部端栓溶接部とする。 ［燃料タイプ：９×９ 燃料（A 型），MOX 燃料の評価結果］ (1)評価部位：下部端栓溶接部 (2)解析コード：有限要素法解析コード ANSYS Ver.14 (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） (5)地震荷重の繰り返し数：基準地震動 Ss 150 回 弾性設計用地震動 Sd 300 回 (6)許容サイクル数：ジルカロイ設計疲労曲線（添付 4-1 図参照）に基づき設定 (7)地震動に係る入力値： 水平加速度 2.21G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 1.54G（同上） 燃料集合体相対変位 35.0mm（Ss 応答変位） 水平加速度 2.20G（Sd 応答加速度） 鉛直加速度 0.78G（同上） 燃料集合体相対変位 33.9mm（Sd 応答変位）	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違 ・評価方針の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ②の相違 ・評価方針の相違 【柏崎 6/7】 ②の相違 ・評価結果による相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 は，原子炉建物の地震による傾斜が目安値を上回る評価となっているが，島根２号炉は，原子炉建物等の傾斜は全て目安値内に収まっているため記載不

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	可申請時の基準地震動（Ss-1,2）及び弾性設計用地震動（Sd-1,2）に対するものであり，今後工事計画認可申請段階において基準地震動 Ss 及び弾性設計用地震動 Sd（各 7 波）（材料物性の不確かさを考慮したケースを含む）に対する評価を実施する。なお，暫定評価の地震動条件は，工事計画認可申請段階で用いる地震動とほぼ同等レベルと見込まれること，また，暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから，工事計画認可申請段階における評価については，概ね問題ないものと考えている。		要 ・記載の相違 【女川 2】 ③の相違
	また，工事計画認可申請段階の評価においては水平 2 方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平 2 方向の地震動を考慮した評価では，別紙 3「水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料 3 に示すとおり，女川原子力発電所の基準地震動 Ss には水平方向の地震動に方向性がないことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合，水平 2 方向のうち 1 方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙 3 に示すとおり，位相の異なる水平地震動を用いた場合，水平 2 方向の地震動によるオービットには偏りがない傾向となることから，水平 2 方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが，今後，工事計画認可申請段階で水平 2 方向への影響について詳細検討を実施する。		・記載方針の相違 【女川 2】 島根２号では，添付資料３と同じ内容となるため，記載していない。
		(8)評価結果：　９×９ 燃料（A 型）及び MOX 燃料の地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数の増分評価結果を添付 4-1 表及び添付 4-2 表に示す。９×９ 燃料（A 型）の累積疲労係数の増分は最大で 0.00250，MOX 燃料の累積疲労係数の増分は最大で 0.00508 となった。	・記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 評価結果を追記

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）

添付 4-1 表 被覆管疲労評価結果（9×9 燃料（A 型））

地震動	評価点	応力振幅 (N/mm^2)	許容サイクル数	地震荷重の繰り返し数	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	58	4.6×10^5	200	0.00043
	寿命中期	58	4.6×10^5	200	0.00043
	寿命末期	58	4.6×10^5	200	0.00043

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

添付 4-1 表　燃料被覆管疲労評価結果（９×９燃料（A 型））

地震動	評価点	応力振幅 (N/mm^2)	許容サイクル数 (回)	地震荷重の繰り返し数 (回)	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	90	1.9×10^4	60	0.00316
				120	0.00632
	寿命中期	90	1.9×10^4	60	0.00316
				120	0.00632
	寿命末期	91	1.8×10^4	60	0.00333
				120	0.00667
弾性設計用地震動 Sd	寿命初期	49	1.0×10^6	60	0.00006
				120	0.00012
	寿命中期	49	1.0×10^6	60	0.00006
				120	0.00012
	寿命末期	50	1.0×10^6	60	0.00006
				120	0.00012

島根原子力発電所　２号炉

添付 4-1 表　地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数（９×９ 燃料（A 型））

地震動	評価点	応力振幅 (N/mm^2)	許容サイクル数	地震荷重の繰り返し数	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	71	6.4×10^4	150	0.00234
	寿命中期	70	7.0×10^4	150	0.00214
	寿命末期	71	6.4×10^4	150	0.00234
弾性設計用地震動 Sd	寿命初期	66	1.2×10^5	300	0.00250
	寿命中期	66	1.2×10^5	300	0.00250
	寿命末期	66	1.2×10^5	300	0.00250

添付 4-2 表　地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数（MOX 燃料）

地震動	評価点	応力振幅 (N/mm^2)	許容サイクル数	地震荷重の繰り返し数	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	76	4.2×10^4	150	0.00357
	寿命中期	76	4.2×10^4	150	0.00357
	寿命末期	76	4.2×10^4	150	0.00357
弾性設計用地震動 Sd	寿命初期	72	5.9×10^4	300	0.00508
	寿命中期	71	6.4×10^4	300	0.00469
	寿命末期	71	6.4×10^4	300	0.00469

備考

・評価方針の相違
【柏崎 6/7】
②の相違

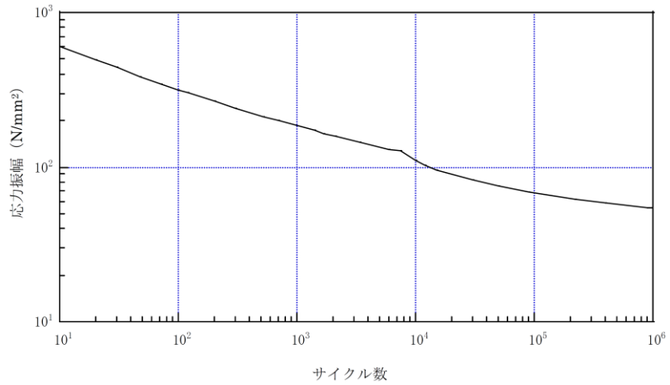
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2. ９×９燃料（B 型）の評価結果（添付 4-2 表） (1)評価部位：下部端栓溶接部 (2)解析コード：有限要素法解析コード ANSYS Ver.13 (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：応力評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） (5)地震荷重の繰り返し数：60 回，120 回（暫定条件） (6)許容サイクル数：最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線（添付 4-1 図参照）に基づき設定 (7)入力値※1 ： 水平加速度 3.07G（Ss 応答加速度概算値） 鉛直加速度 1.38G（同上） 燃料集合体相対変位 45.3mm（Ss 応答変位概算値） 水平加速度 1.63G（Sd 応答加速度概算値） 鉛直加速度 0.69G（同上） 燃料集合体相対変位 25.1mm（Sd 応答変位概算値） ここで，工事計画認可申請における評価では，燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度，燃料集合体の相対変位として，基本ケースの最大応答加速度に対し，材料物性の不確かさ等を考慮した値を用いる。材料物性の不確かさは，別紙 6「原子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙 11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。今回の暫定評価は平成 25 年 12 月設置変更許可申請時の基準地震動（Ss-1,2）及び弾性設計用地震動（Sd-1,2）に対するものであり，今後工事計画認可申請段階において基準地震動 Ss 及び弾性設計用地震動 Sd（各 7 波）（材料物性の不確かさを考慮したケースを含む）に対する評価を実施する。なお，暫定評価の地震動条件は，工事計画認可申請段階で用いる地震動とほぼ同等レベルと見込まれること，また，暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから，工事計画認可申請段階における評価については，概ね問題ないものと考えている。 また，工事計画認可申請段階の評価においては水平 2 方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平 2 方向の	［燃料タイプ：９×９ 燃料（B 型）の評価結果］ (1)評価部位：下部端栓溶接部 (2)解析コード：有限要素法解析コード ANSYS Ver.13 (3)評価点：燃料寿命初期，中期，末期 (4)運転状態：評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]） (5)地震荷重の繰り返し数：基準地震動 Ss 150 回 弾性設計用地震動Sd 300回 (6)許容サイクル数：ジルカロイ設計疲労曲線（添付 4-1 図参照）に基づき設定 (7)地震動の入力値： 水平加速度 2.21G（Ss 応答加速度） 鉛直加速度 1.54G（同上） 燃料集合体相対変位 35.0mm（Ss 応答変位） 水平加速度 2.20G（Sd 応答加速度） 鉛直加速度 0.78G（同上） 燃料集合体相対変位 33.9mm（Sd 応答変位）	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違 ・評価方針の相違 【女川 2】 ②の相違 ・記載の相違 【女川 2】 ③の相違 ・記載方針の相違 【女川 2】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	地震動を考慮した評価では，別紙３「水平２ 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料３ に示すとおり，女川原子力発電所の基準地震動 Ss には水平方向の地震動に方向性がないことから，水平２ 方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合，水平２ 方向のうち１ 方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙３ に示すとおり，位相の異なる水平地震動を用いた場合，水平２ 方向の地震動によるオービットには偏りがない傾向となることから，水平２ 方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが，今後，工事計画認可申請段階で水平２ 方向への影響について詳細検討を実施する。		島根２号では，添付資料３と同じ内容となるため，記載していない。
		(8)評価結果：　９×９ 燃料（B 型）の地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数の増分評価結果を添付 4-3 表に示す。９×９ 燃料（B 型）の累積疲労係数の増分は最大で 0.00532 となった。	・記載の充実 【女川 2】 評価結果を追記

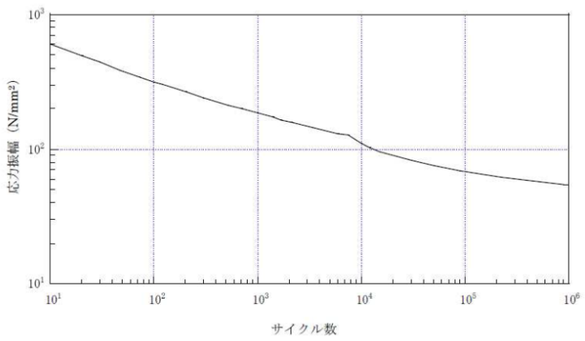
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付 4-2 表　燃料被覆管疲労評価結果（９×９燃料（B 型））

地震動	評価点	応力振幅 (N/mm²)	許容サイクル数 (回)	地震荷重の繰り返し数 (回)	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	112	1.1×10^{4}	60	0.00536
				120	0.01071
	寿命中期	110	1.2×10^{4}	60	0.00508
				120	0.01017
	寿命末期	109	1.2×10^{4}	60	0.00492
				120	0.00984
弾性設計用地震動 Sd	寿命初期	53	1.0×10^{6}	60	0.00006
				120	0.00012
	寿命中期	52	1.0×10^{6}	60	0.00006
				120	0.00012
	寿命末期	51	1.0×10^{6}	60	0.00006
				120	0.00012



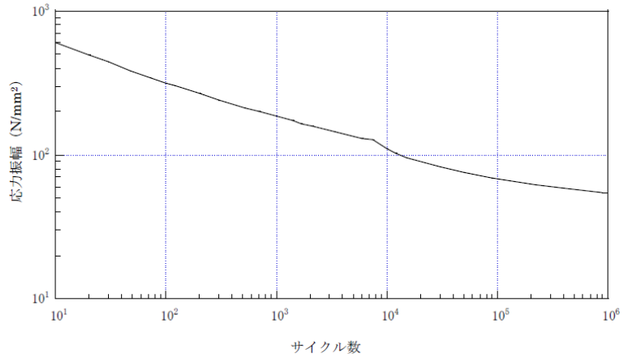
添付 4-1 図 ジルカロイの設計疲労曲線※1



添付4-1図　ジルカロイの設計疲労曲線※2

添付 4-3 表　地震による振動サイクルに伴う累積疲労係数（９×９ 燃料（B 型））

地震動	評価点	応力振幅 (N/mm²)	許容サイクル数	地震荷重の繰り返し数	疲労係数の増分
基準地震動 Ss	寿命初期	87	2.8×10^{4}	150	0.00532
	寿命中期	85	3.0×10^{4}	150	0.00496
	寿命末期	84	3.2×10^{4}	150	0.00476
弾性設計用地震動 Sd	寿命初期	73	6.6×10^{6}	300	0.00458
	寿命中期	71	7.2×10^{6}	300	0.00416
	寿命末期	71	7.6×10^{6}	300	0.00393



添付4-1図　ジルカロイの設計疲労曲線※1

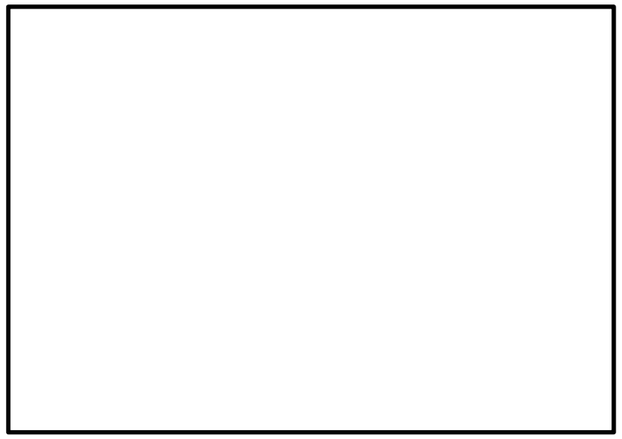
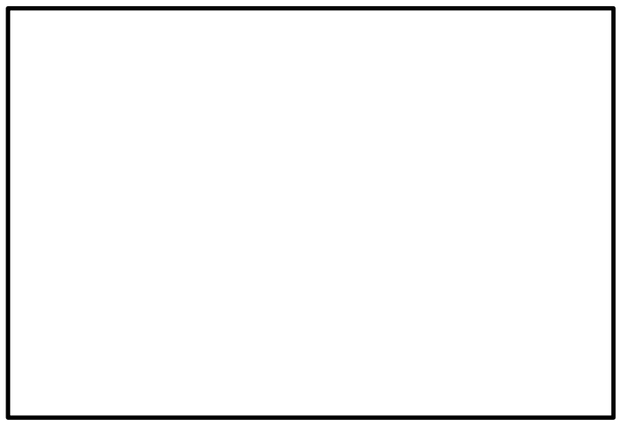
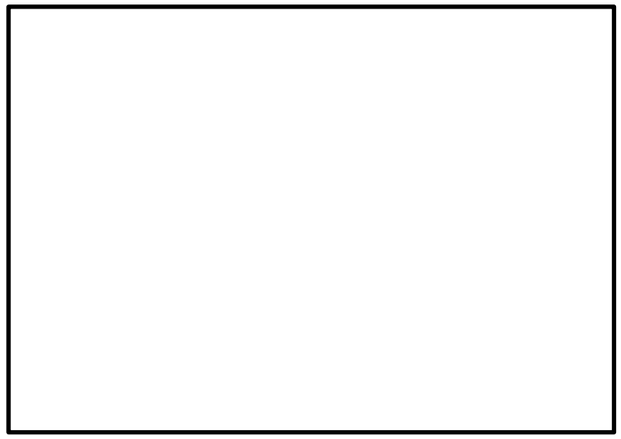
※1：ジルカロイ設計疲労曲線は，ジルカロイ－２の未照射材及び照射材についての疲労試験結果をベースに，ジルカロイ－４等の機械特性及び疲労特性がジルカロイ－２とほぼ同等であることを確認し，ジルカロイ－２，３及び４共通の設計曲線として設定したものである。Langer-0’Donnell は，設計曲線を保守側に見積もるため，未照射材及び照射材それぞれについて応力を１／２，サイクル数を１／２０とし，未照射材及び照射材の両者の包絡線を Langer-0’Donnell の設計疲労曲線[1]としている。ここで，異なる高速中性子照射量に対する疲労試験結果から，疲労特性の照射量依存性は小さいこ

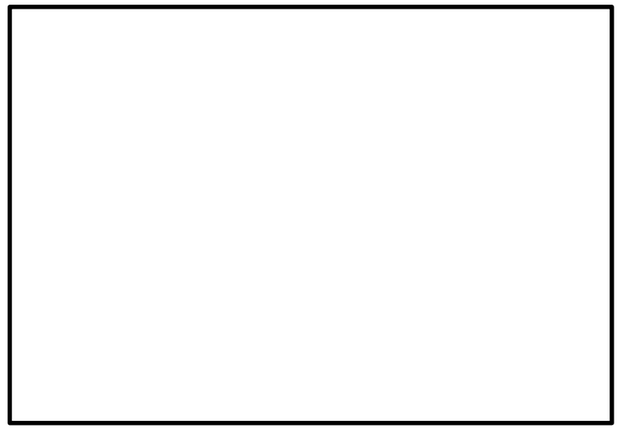
※1：平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss

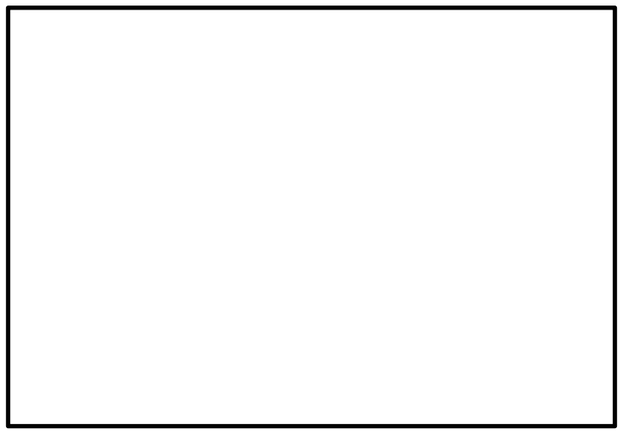
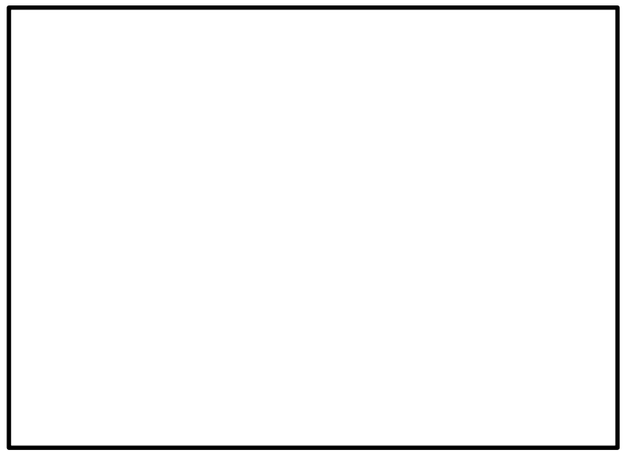
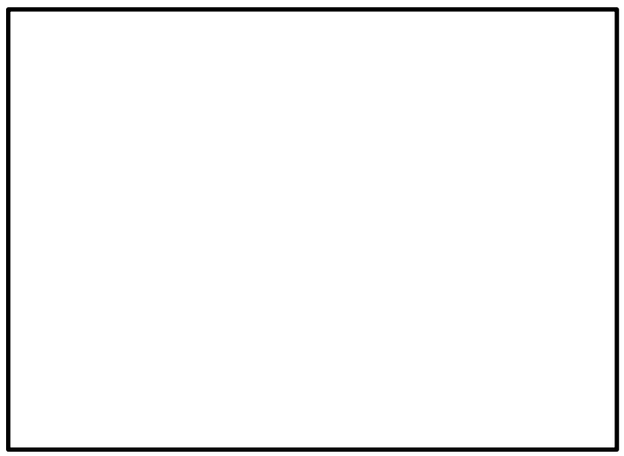
※2：ジルカロイ設計疲労曲線は，ジルカロイ-2の未照射材及び照射材についての疲労試験結果をベースに，ジルカロイ-4等の機械特性及び疲労特性がジルカロイ－2とほぼ同等であることを確認し，ジルカロイ-2，3及び4共通の設計曲線として設定したものである。Langer-0’Donnell は，設計曲線を保守側に見積もるため，未照射材及び照射材それぞれについて応力を1／2，サイクル数を1／20とし，未照射材及び照射材の両者の包絡線をLanger-0’Donnell の設計疲労曲線[1]としている。ここで，異なる高速中性子照射量に対する疲労試験結果から，疲労特性の照射量依存性は小さいことが示されて

※1：ジルカロイ設計疲労曲線は，ジルカロイ-2の未照射材及び照射材についての疲労試験結果をベースに，ジルカロイ-４等の機械特性及び疲労特性がジルカロイ－２とほぼ同等であることを確認し，ジルカロイ-２，３及び4共通の設計曲線として設定したものである。Langer-0’Donnell は，設計曲線を保守側に見積もるため，未照射材及び照射材それぞれについて応力を1／2，サイクル数を1／20とし，未照射材及び照射材の両者の包絡線をLanger-0’Donnell の設計疲労曲線[1]としている。ここで，異なる高速中性子照射量に対する疲労試験結果から，疲労特性の照射量依存性は小さいことが示さ

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
とが示されており，また，過去の研究[2]において，高速中性子照射量約 1.3x$10^{22}$$cm^{-2}$ までのジルカロイ－２被覆管の疲労試験データが採取され，Langer-0’Donnel の照射材疲労試験データに包絡されることが確認されている。なお，BWR の燃料被覆管はジルカロイ－２を用いており，疲労評価の対象部位である下部端栓部の寿命末期に相当する高速中性子照射量は，上記疲労試験[1,2]の範囲内にある。 参考文献 [1] W. J. O’Donnell and B. F. Langer, ″Fatigue Design Basis for Zircaloy Components″, Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964) [2] S. Ishimoto, et al., ″Improved Zr Alloys for High Burnup BWR Fuel″,Top_Fuel 2006 (2006 International Meeting on LWR Fuel Performance, 22-26 October 2006, Salamanca, Spain)	おり，また，過去の研究[2]において，高速中性子照射量約 1.3×$10^{22}$$cm^{-2}$までのジルカロイ－2燃料被覆管の疲労試験データが採取され，Langer-0’Donnelの照射材疲労試験データに包絡されることが確認されている。なお，BWR の燃料被覆管はジルカロイ-2を用いており，疲労評価の対象部位である下部端栓溶接部の寿命末期に相当する高速中性子照射量は，上記疲労試験[1],[2]の範囲内にある。 参考文献 [1] W. J. O’Donnell and B. F. Langer, ″Fatigue Design Basis for Zircaloy Components″,Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964) [2] S. Ishimoto, et al., ″Improved Zr Alloys for High Burnup BWR Fuel″, Top_Fuel 2006 (2006 International Meeting on LWR Fuel Performance, 22-26 October 2006,Salamanca, Spain)	れており，また，過去の研究[2]において，高速中性子照射量約1.3×$10^{22}$$cm^{-2}$までのジルカロイ－２燃料被覆管の疲労試験データが採取され，Langer-0’Donnellの照射材疲労試験データに包絡されることが確認されている。なお，BWRの燃料被覆管はジルカロイ－２を用いており，疲労評価の対象部位である下部端栓溶接部の寿命末期に相当する高速中性子照射量は，上記疲労試験[1,2]の範囲内にある。 参考文献 [1] W. J. O’Donnell and B. F. Langer, ″Fatigue Design Basis for Zircaloy Components″,Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964) [2] S. Ishimoto, et al., “Improved Zr Alloys for High Burnup BWR Fuel”, Top_Fuel 2006 (2006 International Meeting on LWR Fuel Performance, 22-26 October 2006, Salamanca, Spain)	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料５ 燃料被覆管応力評価における許容応力について 燃料被覆管の許容応力（降伏応力及び引張強さ）は，放射線照射量と燃料被覆管温度に依存するため，燃料メーカーの試験結果に基づき，添付 5-1 図、添付 5-2 図のように設定している。  添付 5-1 図 ジルカロイ-2 降伏応力の設計値（公称値）（9×9 燃料（A 型））  添付 5-2 図 ジルカロイ-2 引張強さの設計値（公称値）（9×9 燃料（A 型））	添付資料５ 燃料被覆管応力評価における許容応力について 燃料被覆管の許容応力（降伏応力及び引張強さ）は，放射線照射量と燃料被覆管温度に依存するため，燃料メーカの試験結果に基づき，添付 5-1 図～添付 5-4 図のように設定している。参考として，今回の応力評価に用いた各条件における許容応力を添付 5-1 表，添付 5-2 表に示す。  添付 5-1 図　９×９燃料（A 型）燃料被覆管の降伏応力設計値（公称値）  添付 5-2 図　９×９燃料（A 型）燃料被覆管の引張強さ設計値（公称値）	添付資料５ 燃料被覆管応力評価における許容応力について 燃料被覆管の許容応力（降伏応力及び引張強さ）は，中性子照射量と燃料被覆管温度に依存するため，燃料メーカーの試験結果に基づき，添付 5-1～5 図のように設定している。  添付5-1図　スペーサ間，スペーサ部の引張強さ及び降伏応力設計値（公称値） （9×9燃料（A型），MOX燃料） 添付 5-1 図　スペーサ間，スペーサ部の引張強さ及び降伏応力設計値（公称値）（９×９燃料（A 型），MOX 燃料）	・評価対象燃料の相違及び図の整理 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違，Ｂ型燃料と同様にスペーサ間，スペーサ部と下部端栓溶接部で引張強さ及び降伏応力を記載するように図を整理

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 添付 5-2 図　下部端栓溶接部の降伏応力設計値（95%確率下限値） （９×９燃料（A 型），MOX 燃料）  添付 5-3 図　下部端栓溶接部の引張強さ設計値（95%確率下限値） （９×９燃料（A 型），MOX 燃料）	・評価対象燃料の相違及び記載の充実 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違，95%確率下限値のデータを追記（2019/7/5 ヒアリングコメント反映）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付 5-3 図　９×９燃料（B 型）燃料被覆管のスペーサ間，スペーサ部の引張強さ及び降伏応力設計値（公称値）	 添付 5-4 図　スペーサ間，スペーサ部の引張強さ及び降伏応力設計値（公称値）（９×９燃料（B 型））	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違
	 添付 5-4 図　９×９燃料（B 型）燃料被覆管の下部端栓溶接部の引張強さ及び降伏応力設計値（95%確率下限値）	 添付 5-5 図　下部端栓溶接部の引張強さ及び降伏応力設計値(95%確率下限値)（９×９燃料（B 型））	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

（参考）添付 5-1 表　９×９燃料（A 型）における降伏応力及び引張強さ

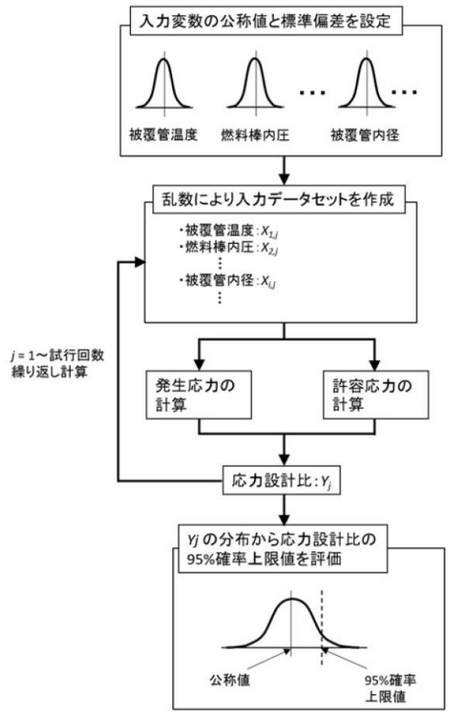
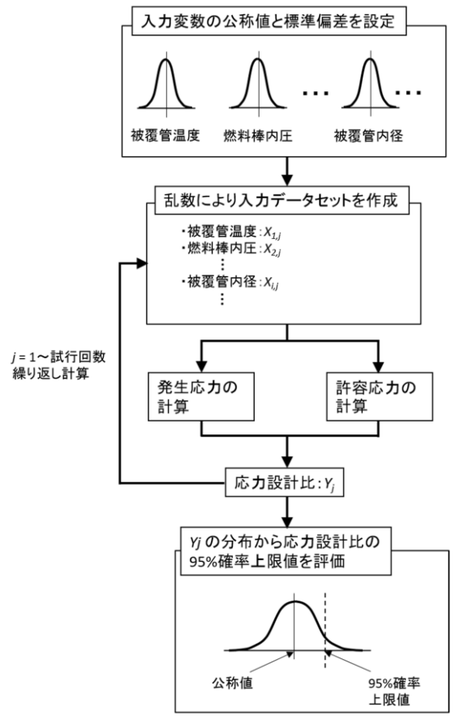
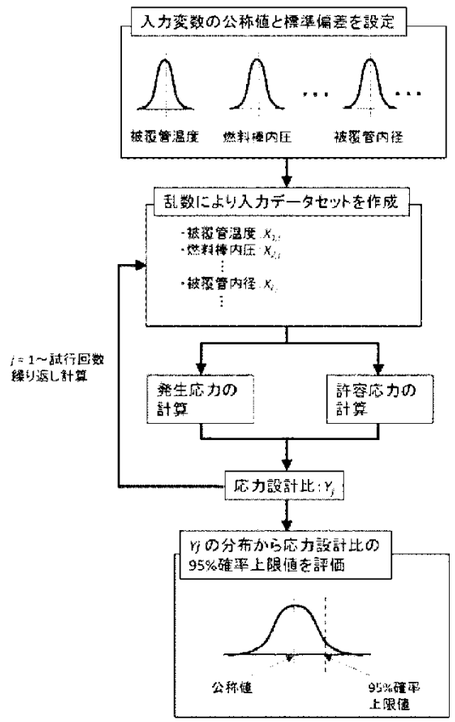
		スペーサ間※1	スペーサ部※1	下部端栓溶接部※2
降伏応力 Sy	寿命初期			
	寿命中期			
	寿命末期			
引張強さ Su	寿命初期			
	寿命中期			
	寿命末期			

（参考）添付 5-2 表　９×９燃料（B 型）における降伏応力及び引張強さ

		スペーサ間※1	スペーサ部※1	下部端栓溶接部※2
降伏応力 Sy	寿命初期			
	寿命中期			
	寿命末期			
引張強さ Su	寿命初期			
	寿命中期			
	寿命末期			

※1：モンテカルロ法における中央値

※2：95%確率下限値

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料６ 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理の概要フローを添付 6-1 図に示す。モンテカルロ法による統計処理では，入力変数に公称値と標準偏差を定め，一回の試行ごとに統計的分布に従った入力データセットを乱数により作成し，応力設計比を求める。本試行を繰り返すことで応力設計比の統計的分布を求め，95%確率上限値が 1 以下であることを確認する。  添付 6-1 図　モンテカルロ法による統計処理の概要フロー	添付資料６ 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理の概要フローを添付 6-1 図に示す。モンテカルロ法による統計処理では，入力変数に公称値と標準偏差を定め，一回の試行ごとに統計的分布に従った入力データセットを乱数により作成し，応力設計比を求める。本試行を繰り返すことで応力設計比の統計的分布を求め，95%確率上限値が１以下であることを確認する。  添付 6-1 図　モンテカルロ法による統計処理の概要フロー	添付資料６ 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理の概要フローを添付 6-1 図に示す。モンテカルロ法による統計処理では，入力変数に公称値と標準偏差を定め，一回の試行ごとに統計的分布に従った入力データセットを乱数により作成し，応力設計比を求める。本試行を繰り返すことで応力設計比の統計的分布を求め，95%確率上限値が１以下であることを確認する。  添付 6-1 図　モンテカルロ法による統計処理の概要フロー	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料７ 下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて 下部端栓溶接部の応力評価は，端栓溶接部が切り欠き形状を含む複雑形状のため有限要素法を用いる。9×9 燃料（A 型）の下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについては，既認可の評価[1]では MARC を使用しているが，本評価においては ANSYS を使用している。いずれのコードも様々な分野の構造解析に広く利用されている汎用の解析コードであり，ANSYS は 9×9 燃料（B 型）の下部端栓溶接部の応力評価や工事計画認可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績がある。今回，9×9 燃料（A 型）の評価では，汎用有限要素法解析コードの集約化のため ANSYS を使用するものである。 本資料は，9×9 燃料（A 型）の評価に ANSYS を適用するにあたり，既認可の 9×9 燃料（A 型）の下部端栓溶接部応力解析において使用された MARC と同等な入力条件（有限要素モデル，ペレットやジルカロイ被覆管の物性値，荷重条件及び境界条件）を設定可能なこと，MARC と本解析コードとで同等な解析結果となることを説明する [1] 柏崎刈羽原子力発電所第６号機及び第７号機「燃料体設計認可申請書」（GNF 燃設認第 42-A 号，平成 24 年９月７日認可） １．コードの概要 本解析コードは，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，アンシス）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。 本解析コードは，広範囲にわたる多目的な有限要素法による計算機プログラムであり，伝熱，構造，流体，電磁界，マルチフィジックス解析を実施するものである。 本解析コードは，ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質	添付資料７ 下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて 下部端栓溶接部の応力評価は，端栓溶接部が切り欠き形状を含む複雑形状のため有限要素法を用いる。９×９燃料（A 型）の下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについては，既認可の評価[1]では MARC を使用しているが，本評価においては ANSYS を使用している。いずれのコードも様々な分野の構造解析に広く利用されている汎用の解析コードであり，ANSYS は９×９燃料（B 型）の下部端栓溶接部の応力評価や工事計画認可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績がある。今回，９×９燃料（A 型）の評価では，汎用有限要素法解析コードの集約化のため ANSYS を使用するものである。 本資料は，９×９燃料（A 型）の評価に ANSYS を適用するにあたり，既認可の９×９燃料（A 型）の下部端栓溶接部応力解析において使用された MARC と同等な入力条件（有限要素モデル，ペレットやジルカロイ被覆管の物性値，荷重条件及び境界条件）を設定可能なこと，MARC と本解析コードとで同等な解析結果となることを説明する。 １．コードの概要 本解析コードは，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，アンシス）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。 本解析コードは，広範囲にわたる多目的な有限要素法による計算機プログラムであり，伝熱，構造，流体，電磁界及びマルチフィジックス解析を実施するものである。 本解析コードは，ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質	添付資料７ 下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて 下部端栓溶接部は切り欠き形状を含む複雑形状のため，下部端栓溶接部の応力評価に当たっては，有限要素法を用いる。９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料の下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについては，既許認可の評価[1]，[2]では MARC を使用しているが，今回の評価では，汎用有限要素法解析コードの集約化のため９×９燃料（B 型）の下部端栓溶接部の応力評価に用いている ANSYS を使用する。 本資料では，９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料の下部端栓溶接部の評価に ANSYS を適用しても支障がないことを説明する。 1.　ANSYS の使用実績 本解析コードは，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，アンシス）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。 本解析コードは，　広範囲にわたる多目的な有限要素法による計算機プログラムであり，伝熱，構造，流体，電磁界及びマルチフィジックス解析を実施するものである。 本解析コードは，ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ①の相違 ・説明方針の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 島根２号炉では MARC と ANSYS の応力評価モデルは同一であり，解析入力条件も同等な設定が可能であること等から，ANSYS の適用性を説明

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。また，9×9 燃料（B 型）の原子炉設置（変更）許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績がある。 本解析コードを適用するにあたり，以下の確認を行っている。 ・ 開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により検証されている。 ・ 本解析コード配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package を入力とした解析により，上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。	保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 及び 10CFR21 の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。また，９×９燃料（B 型）の原子炉設置変更許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績がある。 本解析コードを適用するにあたり，以下の確認を行っている。 ・ 開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により検証されている。 ・ 本解析コード配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package を入力とした解析により，上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。	保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。また，９×９燃料（B 型）の原子炉設置（変更）許可申請書，燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価や工事計画認可申請書における応力解析等に対し使用実績がある。 本解析コードを適用するにあたり，以下の確認を行っている。 ・開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により検証されている。 ・本解析コード配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package を入力とした解析により，上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。	
２．下部端栓溶接部の応力評価の方法 本再現解析は，MARC による既存の解析結果と ANSYS による解析結果を比較するため，従来の下部端栓部応力評価と同等の入力条件にて MARC と ANSYS の応力設計比の比較を行った。添付 7-1 図に解析フローを示す。	２．下部端栓溶接部の応力評価の方法 本再現解析は，MARC による既存の解析結果と ANSYS による解析結果を比較するため，従来の下部端栓部応力評価と同等の入力条件にて MARC と ANSYS の応力設計比の比較を行った。添付 7-1 図に解析フローを示す。	2.　下部端栓溶接部の応力評価の方法	・説明方針の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 島根２号炉では MARC と ANSYS の応力評価モデルは同一であり，解析入力条件も同等な設定が可能であること等から，ANSYS の適用性を説明
(1) 下部端栓溶接部の応力評価モデル 下部端栓溶接部の応力評価では，最初に下部端栓溶接部近傍の下部端栓，被覆管及びペレットをモデル化し，有限要素法を用いた熱解析により下部端栓溶接部近傍での温度分布を評価する。次に，熱解析で得られた下部端栓溶接部近傍の温度分布を読み込み，熱膨張差による熱応力の分布，通常運転時及び過渡時における荷重条件に基づき発生する応力分布を，有限要素法を用いた機械解析により評価する。	(1) 下部端栓溶接部の応力評価モデル 下部端栓溶接部の応力評価では，最初に下部端栓溶接部近傍の下部端栓，被覆管及びペレットをモデル化し（添付 7-2 図参照），有限要素法を用いた熱解析により下部端栓溶接部近傍での温度分布を評価する。次に，熱解析で得られた下部端栓溶接部近傍の温度分布を読み込み，熱膨張差による熱応力の分布，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における荷重条件に基づき発生する応力分布を，有限要素法を用いた機械解析により評価する。	2.1　下部端栓溶接部の応力評価モデル 下部端栓溶接部の応力評価フローを添付 7-1 図に示す。下部端栓溶接部の応力評価では，最初に下部端栓溶接部近傍の下部端栓，被覆管及びペレットをモデル化し（添付 7-2 図参照），有限要素法を用いた熱解析により下部端栓溶接部近傍での温度分布を評価する。次に，熱解析で得られた下部端栓溶接部近傍の温度分布を読み込み，熱膨張差による熱応力の分布，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における荷重条件に基づき発生する応力分布を，有限要素法を用いた機械解析により評価する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(2) 下部端栓溶接部の熱解析での入力データ 通常運転時及び過渡時における下部端栓溶接部近傍の温度分布を評価するため，以下の項目を入力している。 ・ ペレットの発熱 ・ ジルカロイ部材のγ発熱 ・ ペレットー被覆管ギャップ熱伝達 [redacted] ・ 被覆管表面熱伝達係数 [redacted] ・ ペレット及びジルカロイ部材の熱伝導率 なお，解析モデル上下端は断熱の境界条件とし，ペレットー下部端栓接触面には熱抵抗がないものとして，上記の保守側の入力と合わせて，下部端栓溶接部近傍の温度分布による熱応力が大きくなるような解析を実施する。 (3) 下部端栓溶接部の応力評価で考慮する荷重 通常運転時及び過渡時に下部端栓溶接部に作用する荷重として， ・ 下部端栓及び被覆管部における温度分布（熱解析結果を読み込む） ・ 燃料棒内圧 [redacted] ・ 冷却材圧力 [redacted] ・ 内外圧力差による軸方向荷重（軸方向応力） ・ 被覆管周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲りに基づく曲げ荷重（曲げ応力） を考慮する。	(2) 下部端栓溶接部の熱解析での入力データ 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における下部端栓溶接部近傍の温度分布を評価するため，以下の項目を入力している。 ・ ペレットの発熱 ・ ジルカロイ部材のγ発熱 ・ ペレットー被覆管ギャップ熱伝達 [redacted] ・ 被覆管表面熱伝達係数 [redacted] ・ ペレット及びジルカロイ部材の熱伝導率 なお，解析モデル上下端は断熱の境界条件とし，ペレットー下部端栓接触面には熱抵抗がないものとして，上記の保守側の入力と合わせて，下部端栓溶接部近傍の温度分布による熱応力が大きくなるような解析を実施する。 (3) 下部端栓溶接部の応力評価で考慮する荷重 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に下部端栓溶接部に作用する荷重として， ・ 下部端栓及び被覆管部における温度分布（熱解析結果を読み込む） ・ 燃料棒内圧 [redacted] ・ 冷却材圧力 [redacted] ・ 内外圧力差による軸方向荷重（軸方向応力） ・ 被覆管周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲りに基づく曲げ荷重（曲げ応力） を考慮する。	2.2 下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値 (1)熱解析における入力データ 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における下部端栓溶接部近傍の温度分布を評価するため，以下の項目を入力している。 ・ペレットの発熱 ・ジルカロイ部材のγ発熱 ・ペレットー被覆管ギャップ熱伝達係数 [redacted] ・被覆管表面熱伝達係数 [redacted] ・ペレット及びジルカロイ部材の熱伝導率 なお，解析モデル上下端は断熱の境界条件とし，ペレットー下部端栓接触面には熱抵抗がないものとして，上記の保守側の入力と合わせて，下部端栓溶接部近傍の温度分布による熱応力が大きくなるような解析を実施する。 (2)機械解析における入力データ 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に下部端栓溶接部に作用する荷重として， ・下部端栓及び被覆管部における温度分布（熱解析結果を読み込む） ・燃料棒内圧 [redacted] ・冷却材圧力 [redacted] ・内外圧力差による軸方向荷重（軸方向応力） ・被覆管周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲がりに基づく曲げ荷重（曲げ応力） を考慮する。 MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値の比較を添付 7-1 表にまとめる。同表に示すとおり，MARC と ANSYS の解析入力値は，一部の物性値について温度依存性を関数式で入力するかテーブル形式で入力するかの差があることを除いては全て同一であり，同等な入力条件を設定可能である。	・記載箇所の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 柏崎 6/7，女川 2 は解析条件の中で説明

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(4) 設計比の評価 設計比の評価では，燃料被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し，それぞれの 95%確率上／下限値に基づき解析結果が保守側となるように設定した入力値を用いて決定論的評価を実施する。ここで，燃料被覆管温度，燃料棒内圧については，燃料棒熱・機械設計コードによる解析結果を用いる。 応力計算は，下部端栓溶接部に発生する三軸方向（半径方向，円周方向及び軸方向）の応力を解析し，それらより相当応力を計算する。また，許容応力については下部端栓溶接部の温度及び照射の影響を考慮した保守側の 95%確率下限値を用いる。	(4) 設計比の評価 設計比の評価では，被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し，それぞれの 95%確率上下限値に基づき解析結果が保守側となるように設定した入力値を用いて決定論的評価を実施する。ここで，被覆管温度，燃料棒内圧については，燃料棒熱・機械設計コードによる解析結果を用いる。応力計算は，下部端栓溶接部に発生する三軸方向（半径方向，円周方向及び軸方向）の応力を解析し，それらより相当応力を計算する。また，許容応力については下部端栓溶接部の温度及び照射の影響を考慮した保守側の 95%確率下限値を用いる。	2.3 設計比の評価 設計比の評価では，燃料被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し，それぞれの 95%確率上下限値に基づき解析結果が保守側となるように設定した入力値を用いて決定論的評価を実施する。ここで，燃料被覆管温度，燃料棒内圧については，燃料棒熱・機械設計コードによる解析結果を用いる。応力計算は，下部端栓溶接部に発生する三軸方向（半径方向，円周方向及び軸方向）の応力を解析し，それらより相当応力を計算する。また，許容応力については下部端栓溶接部の温度及び照射の影響を考慮した保守側の 95%確率下限値を用いる。	
３．解析条件 以下に，解析条件を示す。また，MARC 及び ANSYS による端栓溶接部の応力評価における解析入力値の比較を添付 7-1 表にまとめる。同表に示すとおり，MARC と ANSYS の解析入力値は，一部の物性値について温度依存性を関数式で入力するかテーブル形式で入力するかの差があることを除いてはすべて同一であり，同等な入力条件を設定可能である。 (1)燃料タイプ：9×9 燃料（A 型） (2)評価部位：下部端栓溶接部 (3)解析コード： ①有限要素法解析コード MARC Ver.K4 ②有限要素法解析コード ANSYS Ver.14 (4)評価点：燃料寿命初期，中期，末期※1 (5)運転状態：圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]（公称値））※2 (6)考慮する応力：２．(3) の通り。 (7)許容応力：引張強さ（Su） ※１）燃料寿命初期，中期，末期は，燃料棒熱・機械解析で設定された評価点を引き継ぎ，炉内滞在期間がそれぞれ 0 年、2.2 年、7.5 年に相当する評価点。 ※２）下部端栓部の燃料棒の出力は低く，出力過渡時に発生する応力は圧力過渡時の応力より小さいため，圧力過渡時を評価対象とした。	３．解析条件 以下に，解析条件を示す。また，MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値の比較を添付 7-1 表にまとめる。同表に示すとおり，MARC と ANSYS の解析入力値は，一部の物性値について温度依存性を関数式で入力するかテーブル形式で入力するかの差があることを除いてはすべて同一であり，同等な入力条件を設定可能である。 (1)燃料タイプ：９×９燃料（A 型） (2)評価部位：下部端栓溶接部 (3)解析コード： ①有限要素法解析コード MARC Ver.K4 ②有限要素法解析コード ANSYS Ver.14 (4)評価点：燃料寿命初期，中期，末期※1 (5)運転状態：圧力過渡（冷却材圧力 [redacted] MPa[abs]（公称値））※2 (6)考慮する応力：２．(3)の通り。 (7)許容応力：引張強さ（Su） ※1：燃料寿命初期，中期，末期は，燃料棒熱・機械解析で設定された評価点を引き継ぎ，炉内滞在期間がそれぞれ 0 年，2.2 年，8 年に相当する評価点。 ※2：下部端栓部の燃料棒の出力は低く，出力過渡時に発生する応力は圧力過渡時の応力より小さいため，圧力過渡時を評価対象とした。		・説明方針の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 島根２号炉では MARC と ANSYS の応力評価モデルは同一であり，解析入力条件も同等な設定が可能であること等から，ANSYS の適用性を説明

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）

４．再現解析結果

以下に解析結果を示す。MARC と ANSYS による同等な入力条件に基づく解析結果の差分は 0.02 であり，判定基準（応力設計比が 1 以下であること）に対し十分小さく同等な結果が得られ，下部端栓部の応力評価への適用に支障はないものと考える。

解析コード	運転条件	許容応力	応力設計比		
			寿命初期	寿命中期	寿命末期
MARC	圧力過渡	Su	0.39	0.43	0.28
ANSYS	同上	同上	0.40	0.41	0.27

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

４．再現解析結果

以下に解析結果を示す。MARC と ANSYS による同等な入力条件に基づく解析結果の差分は 0.02 であり，判定基準（応力設計比が 1 以下であること）に対し十分小さく同等な結果が得られ，下部端栓溶接部の応力評価への適用に支障はないものと考える。

解析コード	運転条件	許容応力	応力設計比		
			寿命初期	寿命中期	寿命末期
MARC	圧力過渡	Su	0.39	0.42	0.28
ANSYS	同上	同上	0.40	0.40	0.27

参考文献

[1] 女川原子力発電所第２号機「燃料体設計認可申請書」（GNF 燃設認第 35 号，平成 21 年 10 月 16 日認可）

島根原子力発電所　２号炉

3.まとめ

上記のとおり，ANSYS は数多くの研究機関や企業での使用実績があること，９×９燃料（B 型）の下部端栓溶接部の応力評価でも使用されていること，MARC と ANSYS の応力評価モデルは同一であり，解析入力条件も同等な設定が可能であることから，９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料の評価に ANSYS を適用しても支障はないと考える。

参考文献

[1] 島根原子力発電所「燃料体設計認可申請書」（GNF 燃設認第 30 号，平成 21 年１月７日認可）

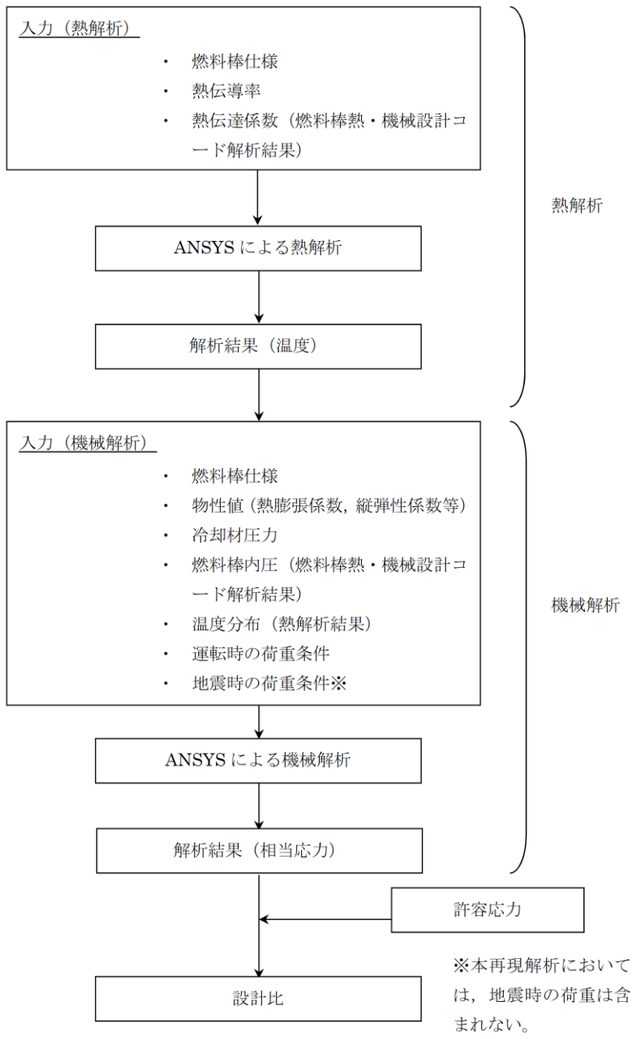
[2] 島根原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（２号原子炉施設の変更）及び同添付書類）（平成 18 年 10 月 23 日付け申請，平成 20 年１月 30 日付け一部補正，平成 20 年９月５日付け一部補正）

備考

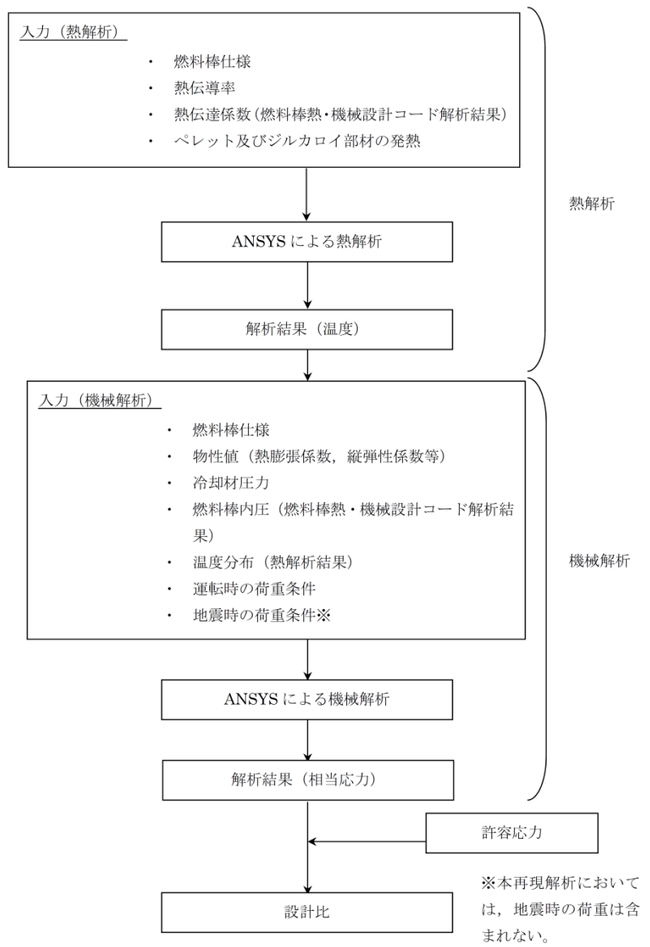
・説明方針の相違
【柏崎 6/7，女川 2】
島根２号炉では MARC と ANSYS の応力評価モデルは同一であり，解析入力条件も同等な設定が可能であること等から，ANSYS の適用性を説明

・評価対象燃料の相違
【柏崎 6/7，女川 2】
①の相違

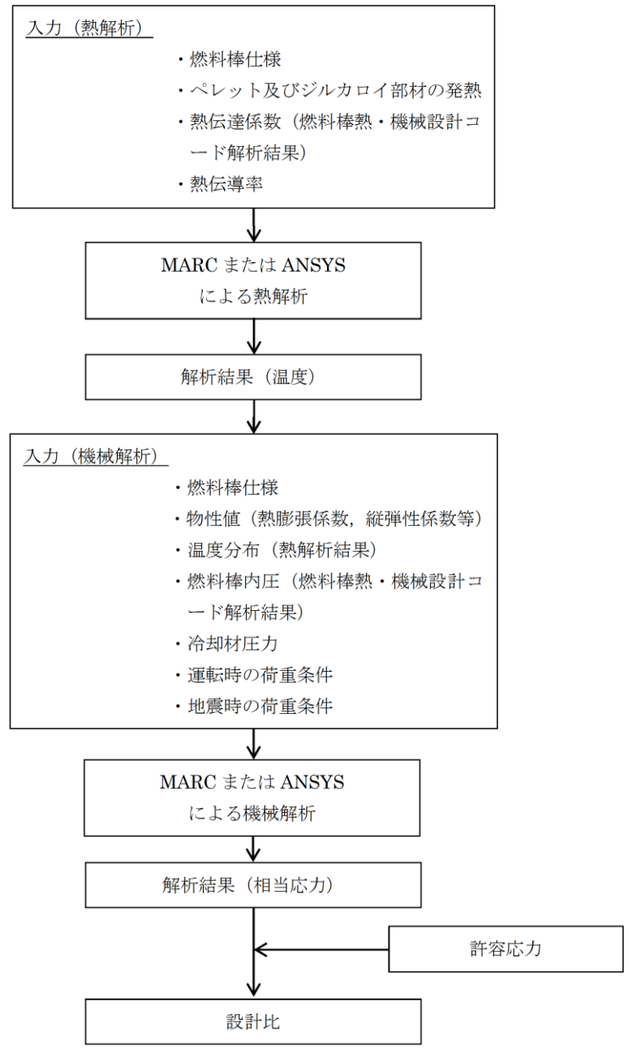
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



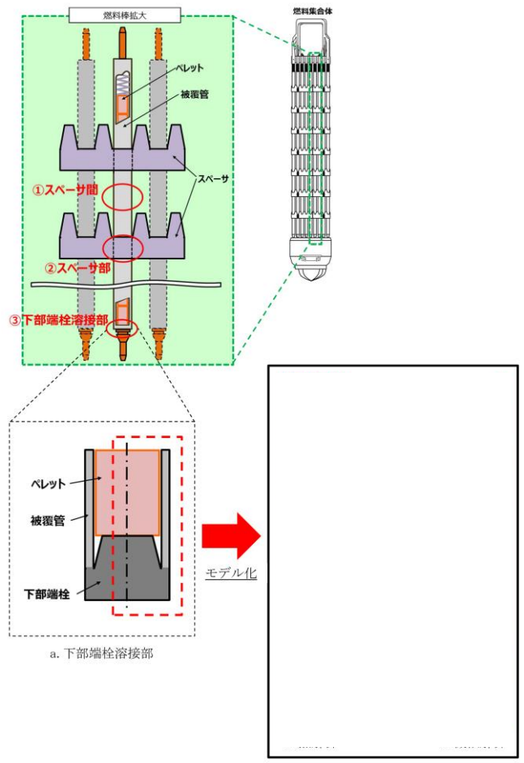
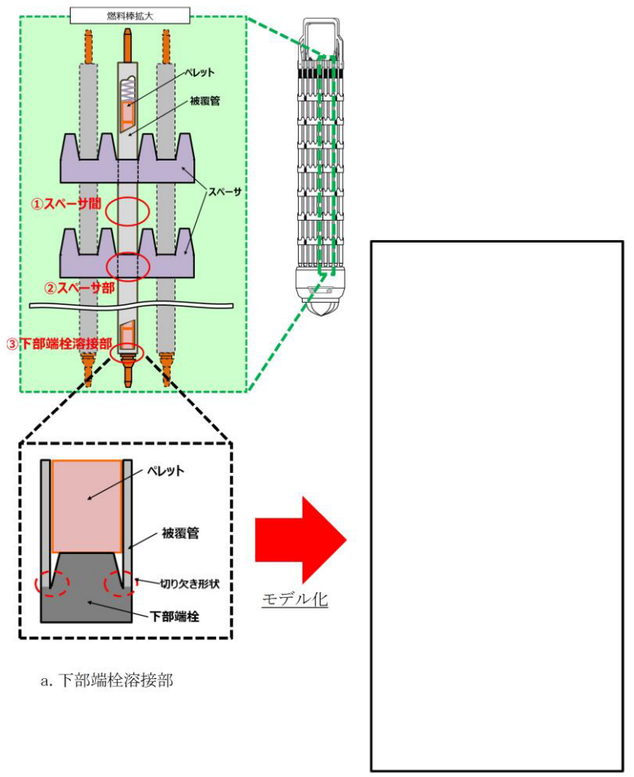
添付 7-1 図　下部端栓溶接部の応力評価のフロー



添付 7-1 図　下部端栓溶接部の応力評価のフロー



添付 7-1 図　下部端栓溶接部の応力評価のフロー

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 a. 下部端栓溶接部 添付 7-2 図　下部端栓溶接部の有限要素モデル	 a. 下部端栓溶接部 添付 7-2 図　下部端栓溶接部の有限要素モデル	・記載の充実 【柏崎 6/7】 女川２号の審査状況を踏まえ記載を充実

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付 7-1 表 MARC 及び ANSYS による端栓溶接部の 応力評価における解析入力値(1/2)	添付 7-1 表 MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の 応力評価における解析入力値(1/2)	添付 7-1 表 MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の 応力評価における解析入力値（1/2）	

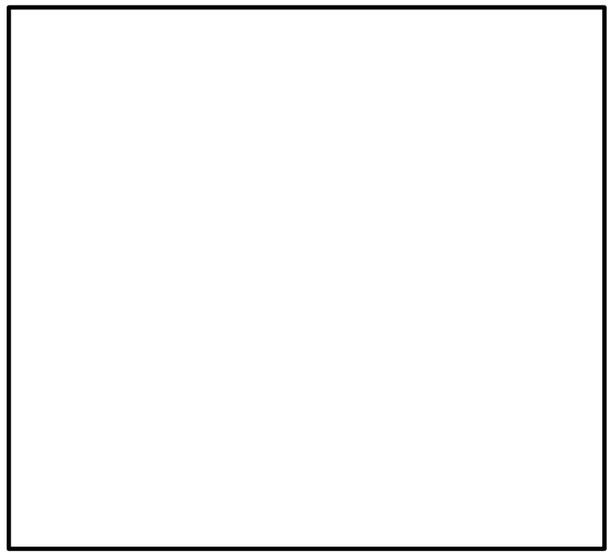
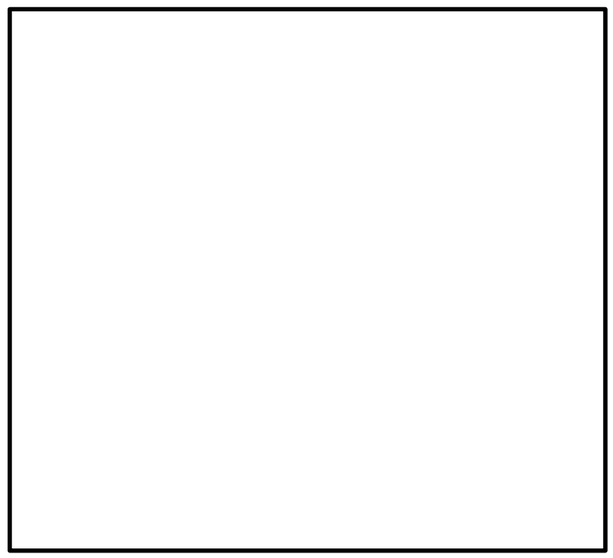
解析	項　　目	MARC への入力	ANSYS への入力

解析	項　　目	MARC への入力	ANSYS への入力

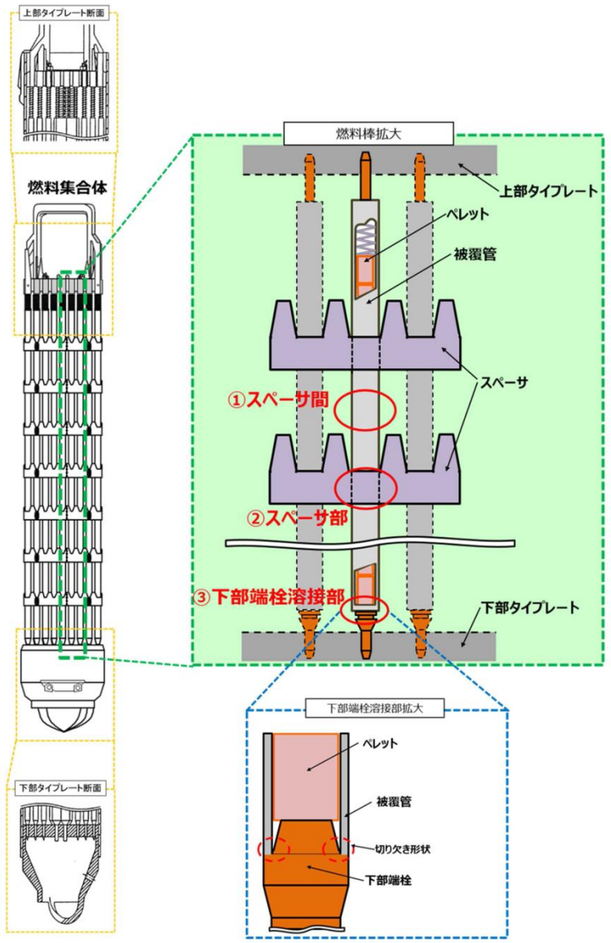
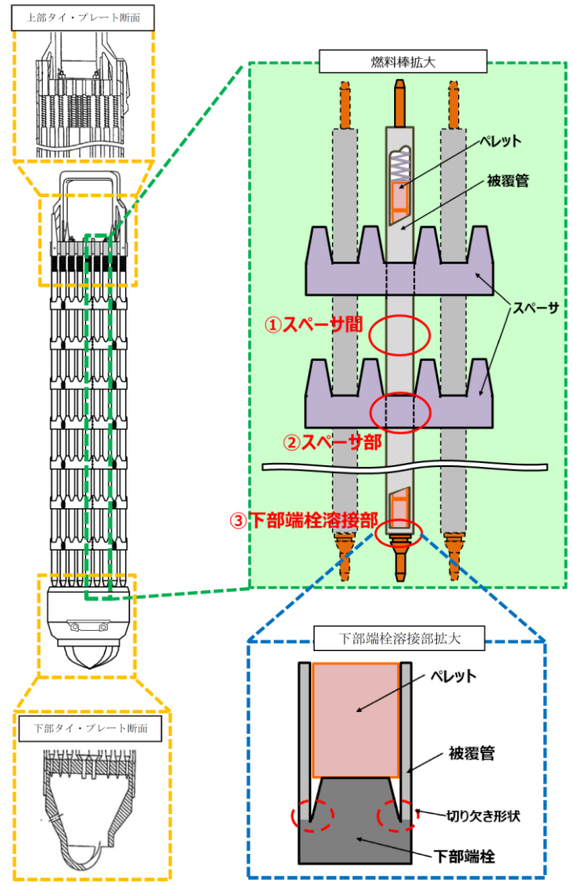
解析	項　目	MARC への入力	ANSYS への入力

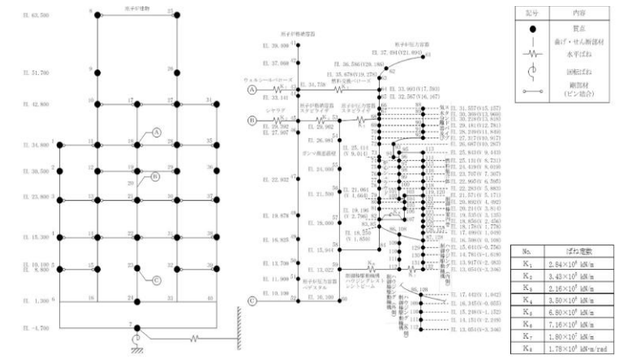
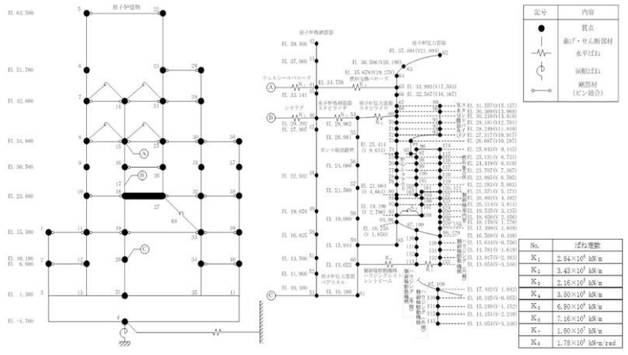
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付 7-1 表 MARC 及び ANSYS による端栓溶接部の 応力評価における解析入力値(2/2)	添付 7-1 表 MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の 応力評価における解析入力値(2/2)	添付 7-1 表 MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の 応力評価における解析入力値（2/2）	
解析 / 項　目 / MARC への入力 / ANSYS への入力	解析 / 項　目 / MARC への入力 / ANSYS への入力	解析 / 項　目 / MARC への入力 / ANSYS への入力	
以上			

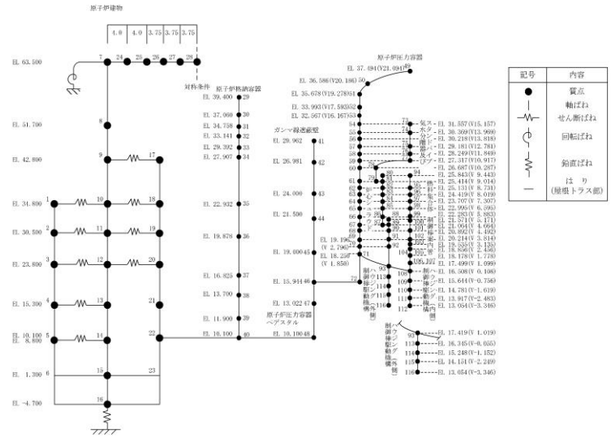
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料８ ９×９燃料（B 型）における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について ９×９燃料（B 型）では，地震時鉛直方向加速度を地震時水平方向加速度によるスペーサ間たわみにより発生する軸方向応力σz（式(1)）における質量増加として考慮している。 [redacted]　－　(1) ただし，W0：見かけの燃料要素単位長質量，l：スペーサ間距離，G：地震時水平方向加速度，I：断面二次モーメント，Do：燃料被覆管外径とする。 なお，地震時鉛直方向加速度による見かけの質量増加を式(2)のように定めている。 [redacted]　－　(2) ただし，W：実際の燃料要素単位長質量，α：地震時鉛直方向加速度，g：重力加速度とする。 式(1)及び式(2)より，式(3)が得られる。 [redacted]　－　(3) 式(3)の右辺第二項が地震時鉛直方向加速度による応力に相当する。 一方で，地震時鉛直方向加速度が慣性力として直接軸方向応力σz’として作用すると考えると式(4)の計算式となる（９×９燃料（A 型）の評価方法）。 [redacted]　－　(4)	添付資料８ ９×９燃料（B 型）における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について ９×９燃料（B 型）では，地震時鉛直方向加速度を地震時水平方向加速度によるスペーサ間たわみにより発生する軸方向応力σ_2（式(1)）における質量増加として考慮している。 [redacted]　・・・(1) ただし，W_0:燃料要素単位長質量，l:スペーサ間距離，G_h：地震時水平方向加速度，I：断面二次モーメント，D_0：燃料被覆管外径とする。 なお，地震時鉛直方向加速度による見掛けの質量増加を式(2)のように定めている。 [redacted]　・・・(2) ただし，W:実際の燃料要素単位長質量，G_v:地震時鉛直方向加速度，g：重力加速度とする。 式(1)及び式(2)より，式(3)が得られる。 [redacted]　・・・(3) 式(3)の右辺第二項が地震時鉛直方向加速度による応力に相当する。 一方で，地震時鉛直方向加速度が慣性力として直接軸方向応力σ_1として作用すると考えると式(4)の計算式となる（９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料の評価方法） [redacted]　・・・(4)	・評価対象燃料の相違 【柏崎 6/7】 ①の相違 ・評価対象燃料の相違 【女川 2】 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	ただし，m：燃料棒総質量，Di：燃料被覆管内径とする。 ９×９燃料（B 型）の地震時鉛直方向加速度の考慮方法（式(3)右辺第二項）では，地震時水平方向加速度が約□Ｇを超える条件において，直接軸方向応力として考慮する場合（式(4)）よりも保守的な評価となる（添付 8-1 図）。女川２号炉では，評価に用いた炉心内の燃料集合体の地震時水平方向加速度が 2.68G（Sd-1,2）以上であり□Ｇよりも十分大きいことから，地震時鉛直方向加速度に対する評価として十分保守的な評価となっていることを確認した。  添付 8-1 図　９×９燃料（B 型）の地震時鉛直方向加速度考慮方法の保守性	ただし，W_f：燃料棒総質量，D_1：燃料被覆管内径とする。 ９×９燃料（B 型）の地震時鉛直方向加速度の考慮方法（式(3)右辺第二項）では，地震時水平方向加速度が約□Ｇを超える条件において，直接軸方向応力として考慮する場合（式(4)）よりも保守的な評価となる（添付８－１図）。島根原子力発電所２号炉では，評価に用いた炉心内の燃料集合体の地震時水平方向加速度が 4.10G（基準地震動 Ss）であり□Ｇよりも十分大きいことから，地震時鉛直方向加速度に対する評価として十分保守的な評価となっていることを確認した。  添付 8－1 図　９×９燃料（B 型）の地震時鉛直方向加速度考慮方法の保守性	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料９ 評価部位の選定理由について 燃料被覆管はその構造から管部，上部端栓溶接部及び下部端栓溶接部に分類することができる。管部についてはスペーサと接触しない部分（スペーサ間）とスペーサと接触する部分（スペーサ部）があり，いずれもその軸方向位置によらず同じ形状である。上部端栓溶接部は中空のプレナム領域を含み重量が小さいことから地震によるたわみに基づく曲げ応力が小さいこと，また，発熱部から離れており熱応力が小さいことから下部端栓溶接部の評価結果に包絡される。これらを踏まえ，スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部を評価部位とする。評価部位の概要図を添付 9-1 図に示す。 燃料被覆管応力評価は，JEAG4601-1987[1]に基づき地震動※1により生じる燃料集合体位置の加速度及び燃料集合体の相対変位を用いて応力値を算出している。 地震動※1により生じる水平方向加速度については，各質点での値の差が大きいため，スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部とも評価部位位置の値を使用しており，スペーサ間及びスペーサ部は複数存在することから最厳値を使用している。また，鉛直加速度については，各質点での値の差が比較的小さいため，スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部とも全質点中の最厳値を使用している。 なお，弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss（7 波）を用いた評価は工事計画認可申請で説明する。 ※1：平成 25 年 12 月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss 参考文献 ［1］JEAG4601-1987「原子力発電所耐震設計技術指針」，（社）日本電気協会	添付資料９ 評価部位の選定理由について 燃料被覆管はその構造から管部，上部端栓溶接部及び下部端栓溶接部に分類することができる。管部についてはスペーサと接触しない部分（スペーサ間）とスペーサと接触する部分（スペーサ部）があり，いずれもその軸方向位置によらず同じ形状である。上部端栓溶接部は中空のプレナム領域を含み重量が小さいことから地震によるたわみに基づく曲げ応力が小さいこと，また，発熱部から離れており熱応力が小さいことから下部端栓溶接部の評価結果に包絡される。これらを踏まえ，スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部を評価部位とする。評価部位の概要図を添付 9-1 図に示す。 燃料被覆管応力評価は，ＪＥＡＧ4601-1987[1]に基づき基準地震動 Ss 等により生じる燃料集合体位置の加速度及び燃料集合体の相対変位を用いて応力値を算出している。添付 9-2 図及び添付 9-3 図に応答算出に用いた地震応答解析モデルを示す。 基準地震動 Ss 等により生じる水平方向加速度については，各質点での値の差が大きいため，スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部とも評価部位位置の値を使用しているが，スペーサ間及びスペーサ部については，部位が複数存在することから最厳値を使用している。また，鉛直加速度については，各質点での値の差が比較的小さいため，スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部とも全質点中の最厳値を使用している（添付 9-1 表参照）。 参考文献 ［1］ＪＥＡＧ4601-1987「原子力発電所耐震設計技術指針」，（社）日本電気協会	・記載の充実 【柏崎 6/7】 東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実 ・記載の充実 【女川 2】 東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実

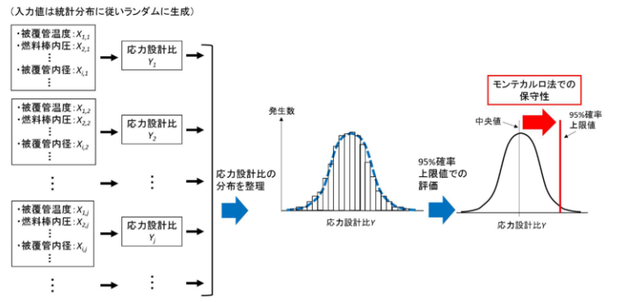
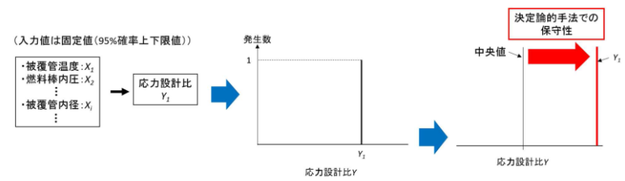
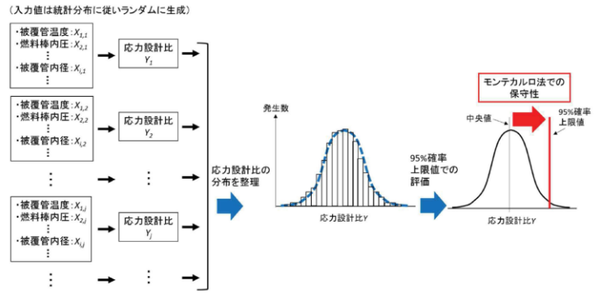
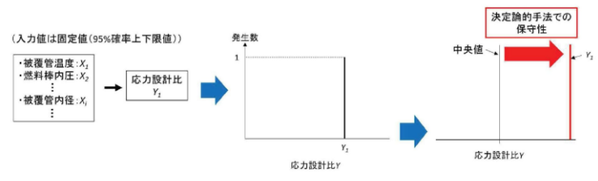
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 添付 9-1 図 評価部位の概要図	 添付 9-1 図 評価部位の概要図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 ＮＳ方向  ＥＷ方向 添付 9-2 図 大型機器系地震応答解析モデル（水平方向）	・記載の充実 【女川 2】 東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 添付 9-3 図 大型機器系地震応答解析モデル（鉛直方向）	・記載の充実 【女川 2】 東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実
		添付 9-1 表 基準地震動 Ss 等による燃料集合体の評価用加速度 方向 / 標高（m） / 評価用加速度（G）：基準地震動 Ss / 弾性設計用地震動 Sd / 適用評価部位 水平方向：25.843 / 1.74 / 1.27 / — 25.131 / 2.78 / 2.51 / — 24.419 / 3.83 / 3.63 / — 23.707 / 4.10 / 3.97 / スペーサ間及びスペーサ部 22.995 / 3.45 / 3.42 / — 22.283 / 2.21 / 2.20 / 下部端栓溶接部 21.571 / 1.56 / 0.89 / — 鉛直方向：25.843 / 1.54 / 0.78 / スペーサ間，スペーサ部及び下部端栓溶接部 25.131 / 1.53 / 0.77 / — 24.419 / 1.52 / 0.77 / — 23.707 / 1.50 / 0.76 / — 22.995 / 1.48 / 0.75 / — 22.283 / 1.46 / 0.74 / — 21.571 / 1.44 / 0.73 / —	・記載の充実 【女川 2】 東海第二の審査状況を踏まえ記載を充実

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料１０ 燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について １．はじめに 燃料被覆管の応力評価においては，高燃焼度８×８燃料の導入以降，スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析ではモンテカルロ法，下部端栓溶接部の FEM 解析では決定論的手法を用いて応力設計比（＝発生応力／許容応力）を評価している。 ２．モンテカルロ法と決定論的手法の保守性の考え方 燃料被覆管（スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部）の応力評価における応力設計比は，被覆管寸法，被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，許容応力等を入力変数とした関数となっている。また，これらの入力変数の不確かさを考慮するため，製造実績，実機運転データ等を考慮し，それぞれの公称値を中央値として統計的分布を設定している。 (1) スペーサ間及びスペーサ部 モンテカルロ法では，１回の試行ごとに乱数を用いて，各入力変数の統計的分布から各入力条件を選定し，厚肉円筒式による弾性解析を行い，応力設計比を評価する。この試行を繰り返し実施することにより応力設計比の統計的分布を求め，95%確率上限値における応力設計比が１以下であることで当該部位の健全性を確認するとともに，評価結果に保守性を持たせている（添付 10-1 図参照）。 (2) 下部端栓溶接部 下部端栓溶接部は，切り欠き形状を含んだ複雑形状のため，FEM 解析により応力設計比を評価する。ここで，スペーサ間及びスペーサ部と同様にモンテカルロ法を用いるとすると，入力変数となる被覆管寸法等を変動させる都度，FEM 解析モデルの修正が必要であり，対応が膨大となるため現実的ではない。よって，下部端栓溶接部の応力設計比の評価については，決定論的手法を適用することとし，各入力変数に統計的分布における 95%確率上下限値を用いることで保守性を持たせている（添付 10-1 図参照）。	添付資料 10 燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について 1.　はじめに 燃料被覆管の応力評価においては，高燃焼度８×８燃料の導入以降，スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析ではモンテカルロ法を，下部端栓溶接部の FEM 解析では決定論的手法を用いて応力設計比（＝発生応力／許容応力）を評価している。 2.　モンテカルロ法と決定論的手法の保守性の考え方 燃料被覆管（スペーサ間，スペーサ部，下部端栓溶接部）の応力評価における応力設計比は，燃料被覆管寸法，燃料被覆管温度，燃料棒内圧，炉心条件，許容応力等を入力変数とした関数となっている。また，これらの入力変数の不確かさを考慮するため，製造実績，実機運転データ等を考慮し，それぞれの公称値を中央値として統計的分布を設定している。 (1) スペーサ間及びスペーサ部 モンテカルロ法では，１回の試行ごとに乱数を用いて，各入力変数の統計的分布から各入力条件を選定し，厚肉円筒式による弾性解析を行い，応力設計比を評価する。この試行を繰り返し実施することにより応力設計比の統計的分布を求め，95%確率上限値における応力設計比が１以下であることで当該部位の健全性を確認するとともに，評価結果に保守性を持たせている（添付 10-1 図参照）。 (2) 下部端栓溶接部 下部端栓溶接部は，切り欠き形状を含んだ複雑形状のため，FEM 解析により応力設計比を評価する。ここで，スペーサ間及びスペーサ部と同様にモンテカルロ法を用いるとすると，入力変数となる燃料被覆管寸法等を変動させる都度，FEM 解析モデルの修正が必要であり，対応が膨大となるため現実的ではない。よって，下部端栓溶接部の応力設計比の評価については，決定論的手法を適用することとし，各入力変数に統計的分布における 95%確率上下限値を用いることで保守性を持たせている（添付 10-1 図参照）。	・記載の充実 【柏崎 6/7】 女川２号の審査状況を踏まえ記載を充実

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	３．モンテカルロ法と決定論的手法における保守性の確認 モンテカルロ法での保守性の確認として，スペーサ間の応力設計比の統計的分布における中央値と応力評価で用いた 95%確率上限値の対比を添付 10-1 表に示す。 また，決定論的手法の保守性の有無を把握する観点から，FEM 解析モデルの修正を要しない範囲で変更可能なすべての入力変数を公称値とした解析を実施した。具体的には「内外圧力差に基づく応力」及び「温度差に基づく応力」に影響を与える入力変数，並びに「許容応力」を対象とした。この解析結果と応力評価で用いた 95%確率上下限値による解析結果の対比を添付 10-2 表に示す。なお，FEM 解析モデルの修正を実施し，すべての入力変数を変更する場合には，応力設計比がより中央値に近づき，さらに大きな保守性を示す結果になると考える。 添付 10-1 表及び添付 10-2 表のとおり，モンテカルロ法及び決定論的手法による応力設計比はともに中央値，あるいは公称値による解析結果よりも保守的な評価結果となっている。 なお，スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析にモンテカルロ法，下部端栓溶接部の FEM 解析に決定論的手法をそれぞれ用いることは，「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和 63 年 5 月 12 日，原子力安全委員会了承）」において妥当と判断されており，原子炉設置変更許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において許認可実績を有している。	以上のとおり，スペーサ間及びスペーサ部，下部端栓溶接部ともに結果が保守的になるような評価を行っている。 なお，スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析にモンテカルロ法，下部端栓溶接部の FEM 解析に決定論的手法をそれぞれ用いることは，「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和 63 年５月 12 日，原子力安全委員会了承）」において妥当と判断されており，原子炉設置（変更）許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において許認可実績を有している。	・説明方針の相違 【女川 2】 島根２号では，各評価手法は入力変数の不確かさの考慮により保守的な評価となることを説明。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 (a)モンテカルロ法（スペーサ間及びスペーサ部）  (b)決定論的手法（下部端栓溶接部） 添付 10-1 図 モンテカルロ法及び決定論的手法における保守性の概念図	 (a)モンテカルロ法（スペーサ間及びスペーサ部）  (b)決定論的手法（下部端栓溶接部） 添付 10-1 図 モンテカルロ法及び決定論的手法における保守性の概念図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付 10-1 表 モンテカルロ法における保守性の確認

a. 確認条件

項目	確認条件
燃料タイプ	９×９燃料（A型）
評価部位	スペーサ間
地震動と許容応力	弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy
運転条件	圧力過渡
評価点	寿命初期

b. 確認結果

中央値 （モンテカルロ法における 中央値）	ベースケース （モンテカルロ法における 95%確率上限値）
0.66	0.73

添付 10-2 表 決定論的手法における保守性の確認

a. 確認条件

項目	確認条件
燃料タイプ	９×９燃料（A型）
評価部位	下部端栓溶接部
地震動と許容応力	弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy
運転条件	圧力過渡
評価点	寿命初期

b. 確認において変更した入力変数

応力成分	変更した入力変数	確認解析	ベースケース
内外圧力差に基づく応力	冷却材圧力	公称値	
	燃料棒内圧	公称値	
温度差に基づく応力		公称値	
		公称値	
		公称値	
許容応力		公称値	

c. 確認結果

確認解析 （公称値を入力）	ベースケース （95%確率上下限値を入力）
0.59	0.66

・説明方針の相違
【女川 2】
島根２号では，各評価手法は入力変数の不確かさの考慮により保守的な評価となることを説明。

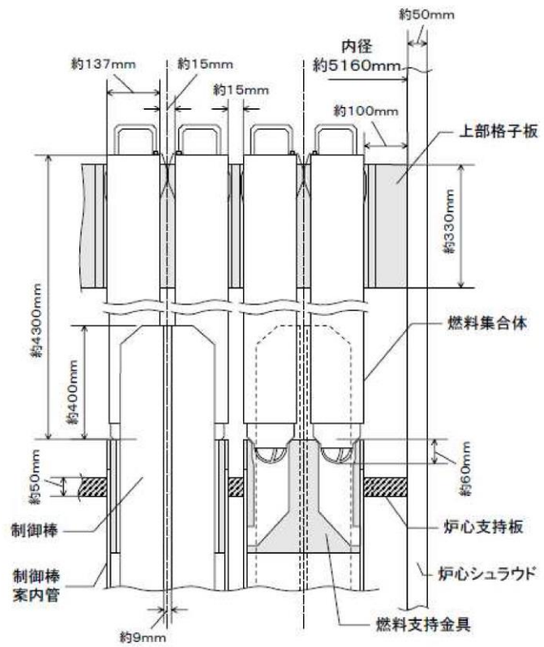
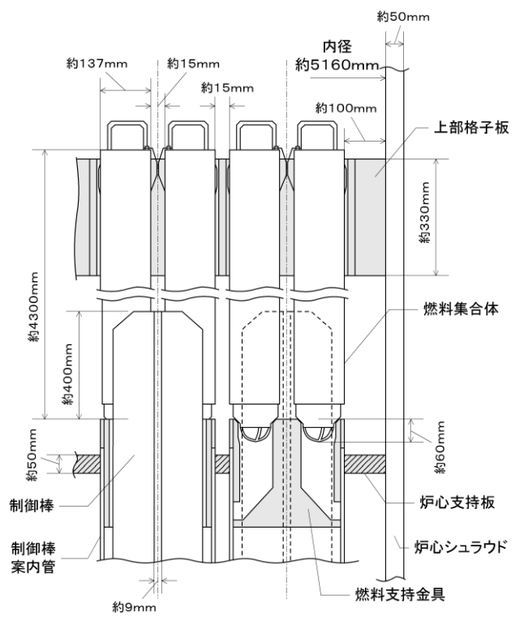
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付資料１１ 改正規則の影響について 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する規則改正においては，要求事項が追加された第四条に加えて，第十五条についても要求事項に変更のない記載の適正化が行われている。 本規則改正に対する第四条への基準適合性は「2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針」に示したとおりであり，第十五条については以下のとおり基準適合性確認に影響を与えるものではない。 （炉心等） 第十五条　設計基準対象施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、発電用原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。 ２　炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に発電用原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料要素の許容損傷限界を超えないものでなければならない。 ３　燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、発電用原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できるものでなければならない。 ４　燃料体及び反射材並びに炉心支持構造物、熱遮蔽材並びに一次冷却系統に係る容器、管、ポンプ及び弁は、一次冷却材又は二次冷却材の循環、沸騰その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる流体振動又は温度差のある流体の混合その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる温度変動により損傷を受けないものでなければならない。 ５　燃料体は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならない。 ６　燃料体は、次に掲げるものでなければならない。 一　通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとすること。 二　輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じないものとすること。 規則への適合性 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る変更においては，既存設備の変更はなく，及びそれらの運用の変更は伴わないことから，炉心等に係る基準適合性確認に影響を与えるものではない。 ただし，本規則改正に伴い第十五条第６項の記載は適正化されていることから（要求事項の変更はない。），規則への適合のための設計方針について，以下のとおり記載の適正化を図る。	添付資料 11 改正規則の影響について 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する規則改正においては，要求事項が追加された第四条に加えて，第十五条についても要求事項に変更のない記載の適正化が行われている。 本規則改正に対する第四条への基準適合性は「2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針」に示したとおりであり，第十五条については以下のとおり基準適合性確認に影響を与えるものではない。 （炉心等） 第十五条　設計基準対象施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、発電用原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。 ２　炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に発電用原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料要素の許容損傷限界を超えないものでなければならない。 ３　燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、発電用原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できるものでなければならない。 ４　燃料体及び反射材並びに炉心支持構造物、熱遮蔽材並びに一次冷却系統に係る容器、管、ポンプ及び弁は、一次冷却材又は二次冷却材の循環、沸騰その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる流体振動又は温度差のある流体の混合その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる温度変動により損傷を受けないものでなければならない。 ５　燃料体は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならない。 ６　燃料体は、次に掲げるものでなければならない。 一　通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとすること。 二　輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じないものとすること。 規則への適合性 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る変更においては，既存設備の変更はなく，及びそれらの運用の変更は伴わないことから，炉心等に係る基準適合性確認に影響を与えるものではない。 ただし，本規則改正に伴い第十五条第６項の記載は適正化されていることから（要求事項の変更はない。），規則への適合のための設計方針について，以下のとおり記載の適正化を図る。	・記載の充実 【柏崎 6/7】 女川２号の審査状況を踏まえ記載を充実

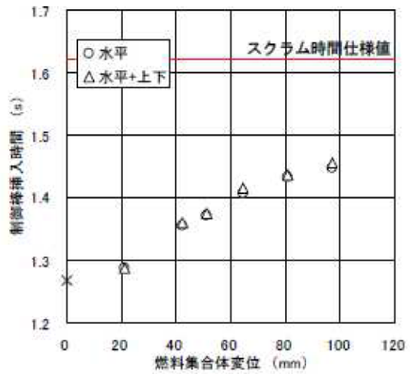
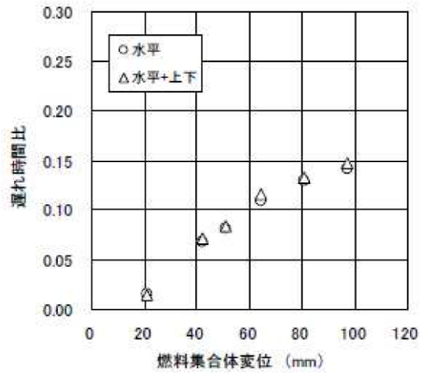
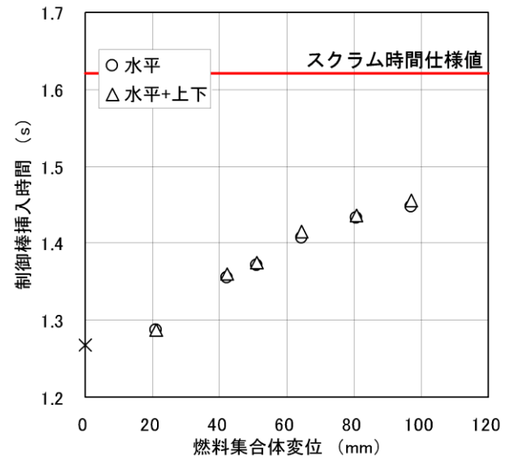
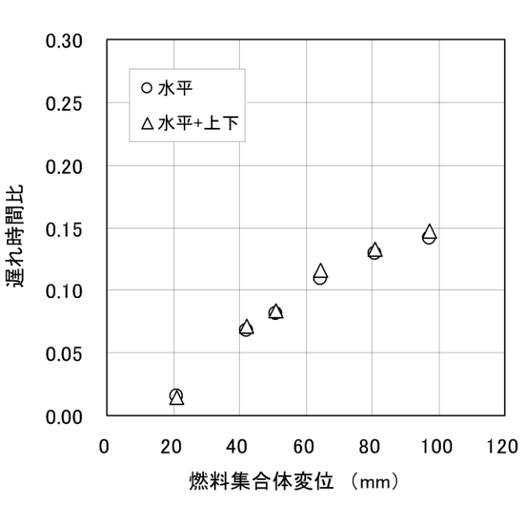
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	適合のための設計方針 第５項及び第６項第１号について 燃料体は，発電用原子炉内における使用期間中を通じ，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても，燃料棒の内外圧差，燃料棒及び他の材料の照射，負荷の変化により起こる圧力・温度の変化，化学的効果，静的・動的荷重，燃料ペレットの変形，燃料棒内封入ガスの組成の変化等を考慮して，各構成要素が，十分な強度を有し，その機能が保持できる設計とし，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力，自重，附加荷重，核分裂生成物の蓄積による燃料被覆管の内圧上昇，熱応力等の荷重に耐える設計とする。 燃料体には燃料棒を保護する機能を持つチャンネルボックスをかぶせる。 また，上記設計方針に対する燃料体の機械設計について，従前より通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を考慮した設計を行っており，その具体的な設計方針（評価結果含む）は，原子炉設置変更許可申請書の添付書類八，3.2 機械設計に記載している。なお，「3.追加要求事項に係る評価項目の選定」にて言及した燃料被覆管応力，累積疲労サイクル，過度の寸法変化防止についても上記設計方針に含まれており，これらに適合するように燃料体の設計を行っている。	適合のための設計方針 ５及び６の一について 燃料体は，発電用原子炉内における使用期間中を通じ，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても，燃料棒の内外圧差，燃料棒及び他の材料の照射，負荷の変化により起こる圧力・温度の変化，化学的効果，静的・動的荷重，燃料ペレットの変形，燃料棒内封入ガスの組成の変化等を考慮して，各構成要素が，十分な強度を有し，その機能が保持できる設計とし，通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力，自重，附加荷重，核分裂生成物の蓄積による燃料被覆材の内圧上昇，熱応力等の荷重に耐える設計とする。 燃料集合体には燃料棒を保護する機能を持つチャンネルボックスをかぶせる。 また，上記設計方針に対する燃料集合体の機械設計について，従前より通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を考慮した設計を行っており，その具体的な設計方針（評価結果含む）は，発電用原子炉設置変更許可申請書の添付書類八，3.2 機械設計に記載している。なお，「3.追加要求事項に係る評価項目の選定」にて言及した燃料被覆管応力，累積疲労サイクル，過度の寸法変化防止についても上記設計方針に含まれており，これらに適合するように燃料体の設計を行っている。	

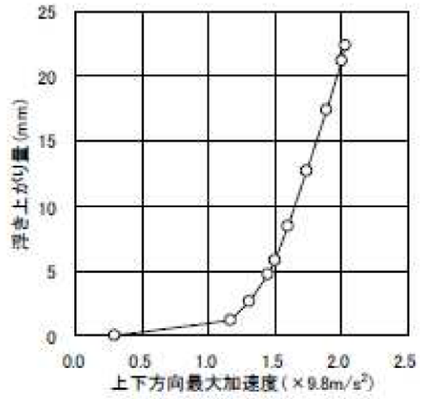
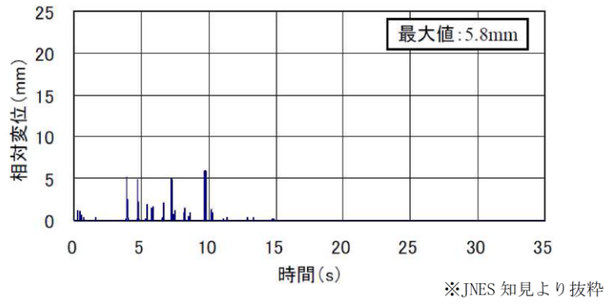
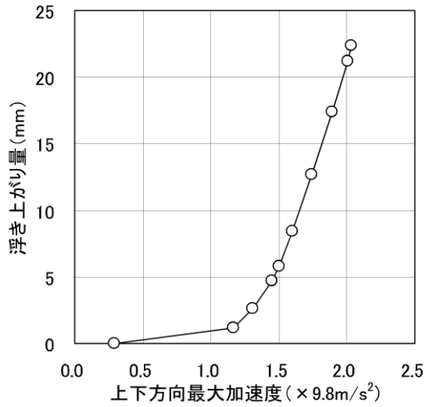
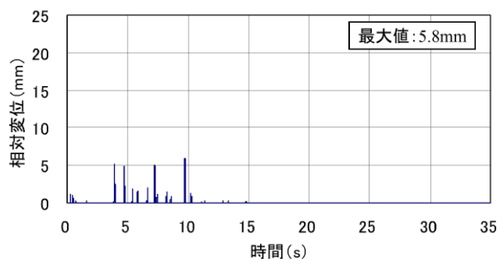
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	女川原子力発電所２号炉審査資料　別紙１「既工認との手法の相違点の整理」（２－NP-0272（改 110），令和元年 11 月 6 日）より以下を引用・抜粋 参考資料 4 燃料集合体に対する鉛直地震動の影響について 燃料集合体は，燃料取替の観点から上向きへ拘束されておらず燃料支持金具に差し込まれ自重によって支持される構造となっている。従って，1G を超過する鉛直地震動の影響で，燃料集合体が浮き上がる可能性がある。 この浮上りが制御棒の挿入機能に及ぼす影響について，既往知見を調査し，検討した結果を以下に示す。 1. 既往知見調査 鉛直地震動による燃料集合体への影響を検討した既往知見として以下を調査した。 (1) 平成17 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その２（BWR 制御棒挿入性）に係る報告書（平成18 年9 月(独)原子力安全基盤機構） (2) 浜岡原子力発電所３，４号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価に関わる報告のうち耐震設計上重要な機器・配管系の耐震安全性評価（補足説明資料）（平成 19 年 10 月 23 日，中部電力株式会社） 2. 既往知見の検討内容 (1) 1.(1)の原子力安全基盤機構の既往知見（以下，「JNES 知見」という。）で確認されている内容は以下のとおり。 (a) 制御棒挿入性への鉛直地震動の影響 制御棒挿入解析モデルを用いた解析によって，水平地震動のみをインプットとした場合と，水平＋鉛直地震動（最大1G 程度）をインプットとした場合の挿入時間を比較し，その差が0.01 秒と極めて影響は軽微（要求機能：75%挿入で1.62 秒以内）であることが確認されている。燃料集合体の支持状態を表した模式図を参考4－1 図に，鉛直地震動の影響検討結果	添付資料 12 燃料集合体に対する鉛直地震動の影響について 燃料集合体は，燃料取替の観点から上向きに拘束されておらず燃料支持金具に差し込まれ自重によって支持される構造となっている。従って，１Gを超過する鉛直地震動の影響で，燃料集合体が浮き上がる可能性がある。 この浮上りが燃料集合体に及ぼす影響について，既往知見を調査し，検討した結果を以下に示す。 1. 既往知見調査 鉛直地震動による燃料集合体への影響を検討した既往知見として以下を調査した。 (1) 平成17年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査　機器耐力 その２（ＢＷＲ制御棒挿入性）に係る報告書（平成18年９月，原子力安全基盤機構） (2) 浜岡原子力発電所３，４号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価に関わる報告のうち耐震設計上重要な機器・配管系の耐震安全性評価（補足説明資料）（平成19年10月23日，中部電力株式会社） 2. 既往知見の検討内容 2.1　原子力安全基盤機構の知見 原子力安全基盤機構の知見（以下，「JNES知見」という）で確認している内容は以下のとおり。 (1)制御棒挿入性への鉛直地震動の影響 制御棒挿入解析モデルを用いた解析によって，水平地震動のみをインプットとした場合と，水平＋鉛直地震動（最大１Ｇ程度）をインプットとした場合の挿入時間を比較し，その差が0.01秒と極めて影響は軽微（要求機能：75%挿入で1.62秒以内）であることを確認している。燃料集合体の支持状態を表した模式図を添付12-1図に，鉛直地震動の影響検討結果	・記載の充実 【柏崎 6/7】 女川２号の審査状況を踏まえ記載を充実 ・資料構成の相違 【女川 2】 女川２号では，別紙１「既工認との手法の相違点の整理」の中の参考資料４にて説明

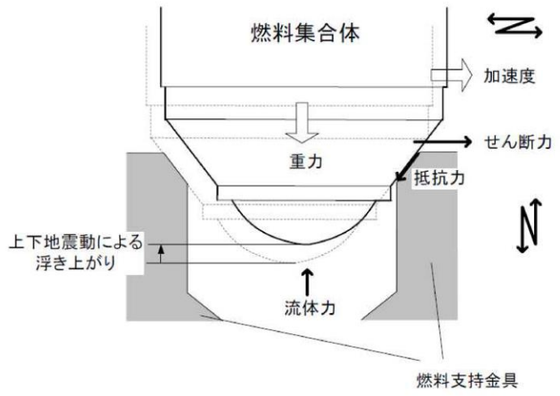
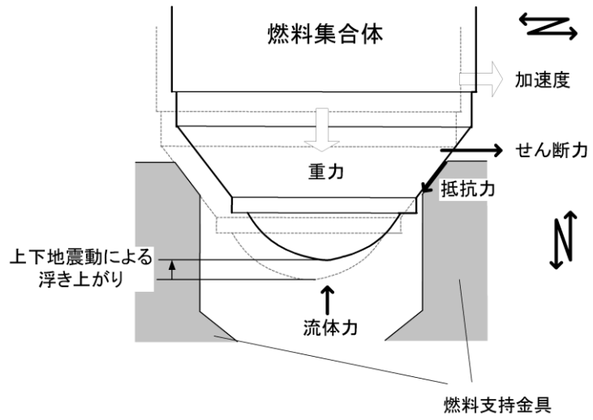
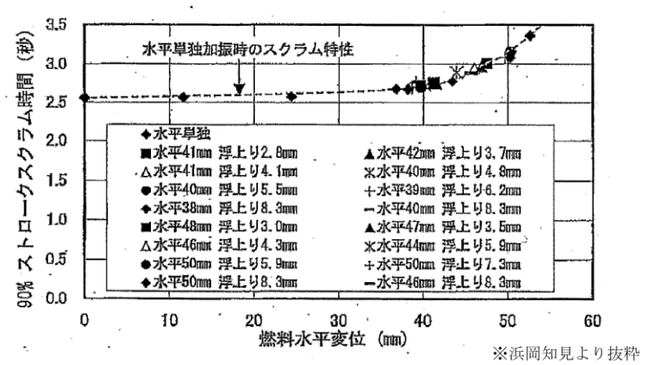
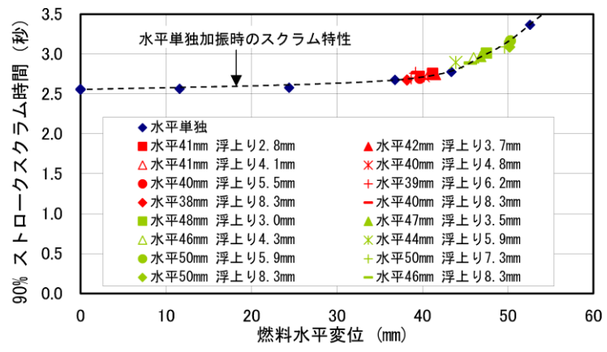
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	を参考4－2,3 図に示す。 　また，挿入解析においては，流体抵抗力や浮力などの水の影響を考慮する他に，燃料集合体と制御棒の接触，摩擦による相互影響も考慮した解析が実施されている。 (b) 鉛直地震動による燃料集合体浮上りの検討 　鉛直地震動による浮上りは，炉水の流れによる上方向への流体力を考慮した状態で，鉛直加速度2G において最大22㎜程度となるが，燃料集合体は燃料支持金具に60㎜ 程度差し込まれているため，燃料支持金具から脱落するような現象は起こらないと結論付けている。評価結果を参考4－4,5 図に示す。 (c) 浮上り発生状態での水平地震力に対する検討 　鉛直地震動及び炉水による流体力によって浮上りが発生している状態で，水平地震動による水平力が負荷した場合でも，燃料集合体が燃料支持金具から脱落しないことが確認されている。浮上り＋水平力のイメージを参考4－6 図に示すが，水平方向のせん断力によって燃料集合体が燃料支持金具に乗り上げる力が働くため，その影響を確認しているものである。 　鉛直方向に2G の加速度で22 ㎜程度の浮上った状態で水平方向に10G の加速度を入力した場合でも，水平力による燃料集合体の浮上りは1.3㎜ となることから鉛直と合算しても23㎜程度となり，燃料集合体の差し込み深さ60㎜ に対して十分に余裕がある結果が確認されている。 　なお，JNES 知見で検討した燃料集合体と女川2 号炉の燃料集合体の仕様について比較した結果を参考4－1 表に示す。 制御棒の型式が異なるものの，中性子吸収材が相違している以外はほぼ同一の形状であり，表面を覆うシース材料や全体重量が同一であることから，制御棒型式の違いによる影響は軽微と判断できるため，JNES 知見について，女川2 号炉への適用性はあるものと考えている。 (2) 1.(2)の浜岡原子力発電所における知見（以下，「浜岡知見」という。）で確認されている内容は以下のとおり。	を添付12-2,3図に示す。 　なお，挿入解析においては，流体抵抗力や浮力などの水の影響を考慮する他に，燃料集合体と制御棒の接触，摩擦による相互影響も考慮した解析となっている。 (2) 鉛直地震動による燃料集合体浮上りの検討 　鉛直地震動による浮上りは，炉水の流れによる上方向への流体力を考慮した状態で，鉛直加速度２Gで最大22㎜程度となるが，燃料集合体は燃料支持金具に60㎜程度差し込まれているため，燃料支持金具から脱落するような現象は起こらない。評価結果を添付12-4図に示す。 (3) 浮上り発生状態での水平地震力に対する検討 　鉛直地震動による浮上りが発生している状態で，水平地震動による水平力が負荷された場合でも，燃料集合体が燃料支持金具から脱落しないことを確認している。浮上り＋水平力のイメージを添付12-6図に示すが，水平方向のせん断力によって燃料集合体が燃料支持金具に乗り上げる力が働くため，その影響を確認する。 　鉛直方向に２Gの加速度で22㎜程度浮き上がった状態で水平方向に10Gの加速度を入力した場合でも，水平力による燃料集合体の浮上りは1.3㎜となることから鉛直と合算しても23㎜程度となり，燃料集合体の差し込み深さ60㎜に対して十分に余裕がある結果となっている。 　なお，JNES知見で検討した燃料集合体と島根２号炉の燃料集合体の仕様について比較した結果を添付12-1表に示す。島根２号炉では，ハフニウム型制御棒とB4C型制御棒を使用している。ハフニウム型制御棒とB4C型制御棒では，中性子吸収材が相違している以外はほぼ同一の形状で，質量もほぼ同等であり，表面を覆うシース材料も同じであることから，制御棒型式の違いによる影響は軽微と判断できるため，JNES知見について，島根２号炉への適用性はあるものと考えている。 2.2　浜岡原子力発電所３，４号機での知見 　浜岡原子力発電所３，４号機での知見（以下，「浜岡知見」という）で確認している内容は以下のとおり。	・設備構造の相違 【女川 2】 　島根 2 号炉では，ハフニウム型とB4C 型の二種類の制御棒を使用している。

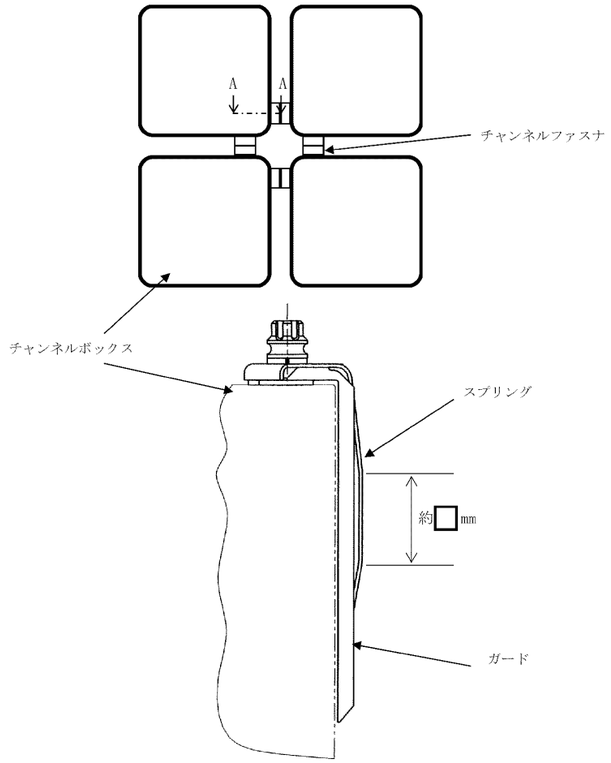
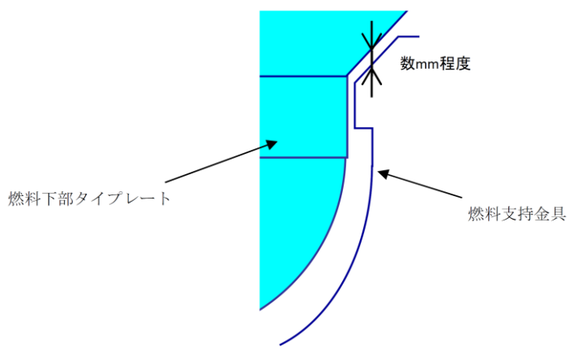
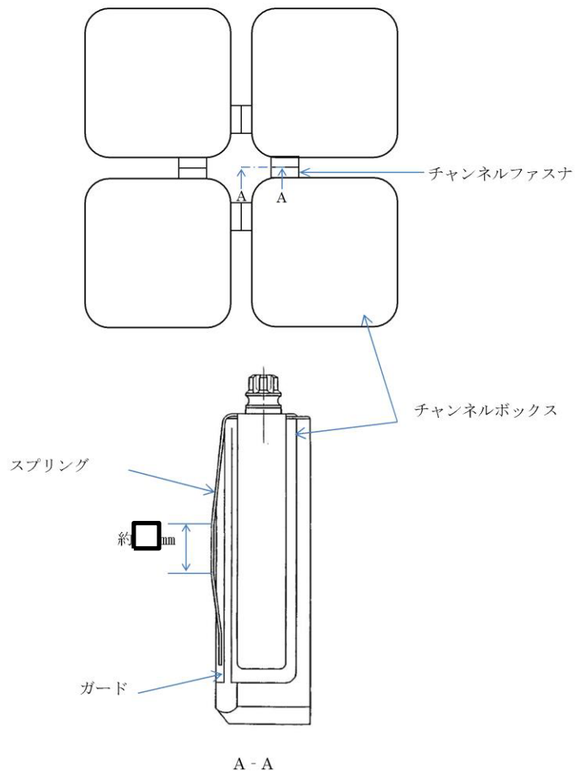
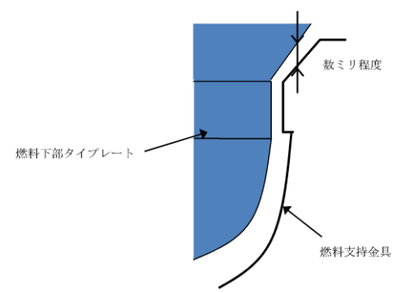
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(a) 制御棒挿入性への鉛直地震動の影響 水平地震動のみの加振試験結果と水平＋鉛直地震動を用いた加振試験結果の比較から，制御棒の挿入時間に影響がないことが確認されている。比較結果について参考4－7 図に示す。 (b) 鉛直地震動による燃料集合体浮上りの検討 シミュレーション解析によって，鉛直地震動による浮上りが小さいことが確認されている。（1.5G で8mm 程度）。 3. 女川2 号炉における検討 平成25 年申請時の基準地震動Ss-1,2 における，燃料集合体（燃料支持金具）位置の鉛直方向加速度は1.15G であり，JNES 知見や浜岡知見で検討している加速度よりも小さいことから，燃料集合体の浮上りが発生したとしても燃料支持金具から脱落は起こらない。そのため，鉛直地震動による制御棒挿入性へ及ぼす影響は軽微であると考えられる。 浮上りに伴って燃料集合体と燃料支持金具との衝突が発生するが，女川2 号炉の鉛直加速度1.15G においては，参考4－4 図より浮上り高さは数mm 程度になると想定されるため，衝突荷重による影響は小さいものと考えられる。また，冷却材流量については，参考4－9 図に示すとおり，浮上りによって燃料集合体と燃料支持金具の間の流量が増加し，燃料集合体内の流量に影響を与える可能性が考えられるが，鉛直地震動が1G を超過する規模の地震が発生した場合には，地震動によって原子炉はスクラムすることから炉心の出力は速やかに低下し，更には参考4-5 図に示すとおり，燃料集合体の浮上り量が数mm 程度であり，浮上り時間もごく僅かであることから，その影響は非常に小さいものであると考えられる。 なお，燃料集合体上部においては，チャンネルボックスは外周部を上部格子板で囲まれ水平方向の移動を拘束されていることから，地震の影響によって，チャンネルボックスの設置状況に変化が生じることはないものと考えられる。また，参考4－1 図及び参考4－8 図に示すとおりチャンネルボックスは，側面に取り付けられたチャンネルファスナを介して隣接するチャンネルボックスと接触している。このチャンネルファスナの上下方向における接触長さは約 □mm となっていることから，数mm 程度の浮上りでチャンネル同士の接触状況に変化が起こることは考え難い。	(1) 制御棒挿入性への鉛直地震動の影響 水平地震動のみの加振試験結果と水平＋鉛直地震動を用いた加振試験結果の比較から，制御棒の挿入時間に影響がないことを確認している。比較結果を添付12-7図に示す。 (2) 鉛直地震動による燃料集合体浮上りの検討 シミュレーション解析によって，鉛直地震動による浮上りが小さいことを確認している（1.5Gで８mm程度）。 3. 島根２号炉における検討 基準地震動Ssによる燃料集合体（燃料支持金具）位置の鉛直方向加速度は1.54G であり，JNES 知見で検討している加速度よりも小さく，浜岡知見で検討している加速度とほぼ同等であることから，燃料集合体の浮上りが発生したとしても燃料支持金具から脱落は起こらない。そのため，鉛直地震動による制御棒挿入性への影響は軽微であると考えられる。 浮上りに伴って燃料集合体と燃料支持金具との衝突が発生するが，島根２号炉の鉛直加速度1.54Gにおいては，添付12-4図より浮上り高さは数mm程度になると想定されるため，衝突荷重による影響は小さいものと考えられる。また，冷却材流量については，燃料集合体と燃料支持金具の間の流量が増加し，燃料集合体内の流量に影響を与える可能性が考えられるが，鉛直地震動が１Gを超過する規模の地震が発生した場合には，地震動によって原子炉はスクラムすることから炉心の出力は速やかに低下し，更には添付12-5図に示すとおり，燃料集合体の浮上り量が数mm程度であり，浮上り時間もごく僅かであることから，その影響は非常に小さいものであると考えられる。 なお，燃料集合体上部においては，チャンネルボックスは外周部を上部格子板で囲まれ水平方向の移動を拘束されていることから，地震の影響によって，チャンネルボックスの設置状況に変化が生じることはないものと考えられる。また，添付12-1図及び添付12-8 図に示すとおり，チャンネルボックスは側面に取り付けられたチャンネルファスナを介して隣接するチャンネルボックスと接触している。このチャンネルファスナの上下方向における接触長さは約 □mmとなっていることから，数mm程度の浮上りでチャンネル同士の接触状況に変化が起こることは考えにくい。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 ※JNES 知見より抜粋 参考4－1 図 燃料集合体の支持状態（制御棒挿入率0%）	 ※JNES 知見より抜粋 添付12-1図 燃料集合体の支持状態（制御棒挿入率０%）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 ※JNES 知見より抜粋 参考 4－2 図 制御棒挿入性解析結果（上下動影響比較）  ※JNES 知見より抜粋 参考 4－3 図 制御棒挿入時間遅れの比較（上下動影響比較）	 ※JNES 知見より抜粋 添付12-2図 制御棒挿入性解析結果（上下動影響比較）  ※JNES 知見より抜粋 添付 12-3 図 制御棒挿入時間遅れの比較（上下動影響比較）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 ※JNES 知見より抜粋 参考 4－4 図 入力加速度と燃料集合体浮上り量の関係  ※JNES 知見より抜粋 参考 4－5 図 炉心支持板加速度 1.5G における燃料集合体と炉心支持板の相対変位時刻歴	 ※JNES 知見より抜粋 添付12-4 図 入力加速度と燃料集合体浮上り量の関係  ※JNES 知見より抜粋 添付12-5 図 炉心支持板加速度1.5G における燃料集合体と炉心支持板の相対変位時刻歴	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 ※JNES 知見より抜粋 参考 4－6 図 水平，上下方向の地震動による浮上り検討の概要図	 ※JNES 知見より抜粋 添付12-6 図 水平，上下方向の地震動による浮上り検討の概要図	
	 ※浜岡知見より抜粋 参考 4－7 図 鉛直方向加振による制御棒挿入時間への影響	 ※浜岡知見より抜粋 添付12-7 図 鉛直方向加振による制御棒挿入時間への影響	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 参考 4－8 図 燃料集合体上部のチャンネルファスナの設置状況  参考 4－9 図 燃料集合体下部のイメージ図	 添付 12-8 図　燃料集合体上部のチャンネルファスナの設置状況  添付 12-9 図　燃料集合体下部のイメージ図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

参考4－1 表 制御棒挿入性に関連する機器のJNES 知見と女川2号炉での仕様比較について

評価機器	JNES 知見で適用した型式	女川２号炉の型式	相違の有無
燃料体*	9×9 燃料	9×9 燃料	無
チャンネルボックス*	100mil	100mil	無
制御棒	ハフニウム型	B_4C 型	有
上部格子板	S 格子	S 格子	無
制御棒駆動機構	FSCRD	FSCRD	無

＊ 燃料集合体の固有値解析の結果，鉛直方向剛性は45.9Hz となることを確認している。

添付12-1 表 制御棒挿入性に関連する機器のJNES 知見と島根２号炉での仕様比較について

評価機器	JNES 知見で適用した型式	島根2号炉の型式	相違の有無
燃料体*	9×9 燃料	9×9 燃料	無
チャンネルボックス	100mil	120mil	有
制御棒	ハフニウム型	ハフニウム型及びB_4C型	有
上部格子板	S 格子	S格子	無
制御棒駆動機構	FSCRD	FSCRD	無

＊ 燃料集合体の固有値解析の結果，鉛直方向の固有振動数は20Hz以上となることを確認している。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料 13 MOX 燃料の燃料被覆管応力評価結果について ９×９燃料（A 型）と MOX 燃料の燃料被覆管応力評価結果の比較について考察する。添付 13-1～3 表に応力設計比が最大となる圧力過渡状態における弾性設計用地震動 Sd に対する９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料の燃料被覆管応力評価結果を示す。 また，燃料被覆管の応力評価にあたり各評価対象部位において考慮する応力を添付 13-4 表に，９×９燃料（A 型）及び MOX 燃料の燃料仕様概要を添付 13-5 表に示す。 (1)スペーサ間 個々の発生応力については燃料タイプにより傾向が異なるものがあるが，応力設計比については，(1)内外圧力差に基づく応力の影響が大きいため，燃料棒の初期Ｈｅ加圧量が小さく燃料被覆管の内外圧力差の大きいMOX燃料の方が大きくなっている。 なお，寿命末期では，MOX燃料の線出力密度が９×９燃料（A 型）より高いことから燃料被覆管温度が高く，許容応力が小さくなるため，応力設計比の差が大きくなっている。 (2)スペーサ部 スペーサ部で特徴的な応力は，(4)スペーサの接触力に基づく応力である。このスペーサの接触力は寿命初期が最大で，照射の進行とともに大きく緩和するため寿命中期及び寿命末期の応力は寿命初期の２割以下に低下する。 スペーサの接触力に基づく応力は［　　］するため，スペーサの接触力の大きい寿命初期においては，燃料被覆管肉厚の小さい９×９燃料（A型）の応力設計比がMOX燃料より大きくなっている。スペーサの接触力が小さくなる寿命初期以外では，スペーサ間と同様にMOX燃料が大きくなっている。 (3)下部端栓溶接部 下部端栓溶接部については，MOX燃料の初期Ｈｅ加圧量が小	・MOX 燃料の応力評価結果について説明 【柏崎 6/7，女川 2】 （2019/7/5 ヒアリングコメント反映）

さいためスペーサ間と同様に内外圧差に基づく応力が大きくなる。また，９×９燃料（A型）では下部端栓に接している燃料有効長最下端が天然ウランであるのに対し，MOX燃料棒は燃料有効長最下端もMOXペレットであるため，MOX燃料棒の最下端部の出力が９×９燃料（A型）より高くなる。このため，MOX燃料の方が下部端栓溶接部の温度が高くなり，熱応力が大きくなるとともに，許容応力（降伏応力及び引張強さ）も小さくなることから，MOX燃料の応力設計比の方が大きくなっている。

添付 13-1 表　燃料被覆管応力の評価結果（スペーサ間）

地震動と許容応力	運転条件	評価点	9×9 燃料（A 型）	MOX 燃料
弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy	圧力過渡	寿命初期	0.80	0.84
		寿命中期	0.30	0.34
		寿命末期	0.26	0.44

添付 13-2 表　燃料被覆管応力の評価結果（スペーサ部）

地震動と許容応力	運転条件	評価点	9×9 燃料（A 型）	MOX 燃料
弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy	圧力過渡	寿命初期	0.77	0.66
		寿命中期	0.27	0.33
		寿命末期	0.25	0.45

添付13-3表　燃料被覆管応力の評価結果（下部端栓溶接部）

地震動と許容応力	運転条件	評価点	9×9 燃料（A 型）	MOX 燃料
弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy	圧力過渡	寿命初期	0.72	0.81
		寿命中期	0.34	0.38
		寿命末期	0.26	0.32

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2019.2.21 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

添付13-4表　各評価対象部位において考慮する応力

考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	下部端栓溶接部
(1)内外圧力差に基づく応力	○	○	○
(2)水力振動に基づく応力	○	○	—
(3)楕円度に基づく応力	○	○	—
(4)スペーサ（支持格子）の接触力に基づく応力	—	○	—
(5)半径方向温度差に基づく応力	○	○	○
(6)円周方向温度差に基づく応力	○	○	○
(7)膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	○
(8)端栓取付角公差による曲がりに基づく応力	—	—	○
(9)スペーサ（支持格子）間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力※	○	○	○
(10)チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力※	○	○	○
(11)鉛直方向地震加速度に基づく応力※	○	○	○

※：地震動を考慮する場合に新たに加わる応力

添付13-5表　９×９燃料（A型）及びMOX燃料の燃料仕様概要

	９　×　９　燃　料 （A　型）	ＭＯＸ燃料
ペレット直径	約0.96cm	約1.04cm
ペレット長さ	約1.0cm	ＭＯＸ焼結ペレット　約1.2cm ＵＯ₂焼結ペレット　約1.0cm
ペレット密度	理論密度の約９７％	ＭＯＸ燃料棒　理論密度の約95% ウラン燃料棒　理論密度の約97%
ペレット材	ＵＯ₂， ＵＯ₂－Ｇｄ₂Ｏ₃	ＵＯ₂，ＵＯ₂－ＰｕＯ₂， ＵＯ₂－Ｇｄ₂Ｏ₃
被覆管外径	約1.12cm	約1.23cm
被覆管厚さ	約0.71mm （うちジルコニウム内張約0.1mm）	約0.86mm （うちジルコニウム内張約0.1mm）
被覆管材料	ジルカロイ－２ （ジルコニウム内張）	ジルカロイ－２ （ジルコニウム内張）
燃料集合体全長 （つかみ部分を含む）	約4.47m	約4.47m
燃料棒有効長さ	標準燃料棒　約3.71m 部分長燃料棒　約2.16m	ＭＯＸ燃料棒　約3.55m ウラン燃料棒　約3.71m
ペレット－被覆管間隙	約0.20mm	約0.20mm
プレナム体積比	標準燃料棒　約0.09 部分長燃料棒　約0.17	ＭＯＸ燃料棒　約0.13 ウラン燃料棒　約0.08
ウラン235濃縮度 取替燃料集合体平均	約3.7wt％	約1.0～1.2wt％
プルトニウム含有率 燃料集合体平均プルトニウム含有率 ペレット最大プルトニウム含有率 ペレット最大核分裂性プルトニウム富化度 プルトニウム組成比	－	約2.9～5.8wt％ 10wt％以下 ６wt％以下 原子炉級
燃　焼　度 取替燃料集合体平均 燃料集合体最高	約45,000MWd/t 55,000MWd/t	約33,000MWd/t 40,000MWd/t
最大線出力密度	44.0kW/m	44.0kW/m
ペレット最高温度 （設計線出力密度）	約1,550℃（ＵＯ₂） 約1,650℃ （5.0wt％Ｇｄ₂Ｏ₃入り）	約1,660℃ （10wt％ＰｕＯ₂入り） 約1,800℃ （2.0wt％Ｇｄ₂Ｏ₃入り）
被覆管外面最高温度	約310℃	約310℃
ヘリウム封入圧	約1.0MPa	約0.5MPa
Ｇｄ₂Ｏ₃濃度	３～５wt％程度	３wt％程度以下
ウォータ・ロッド外径	約2.49cm	約3.40cm
ウォータ・チャンネル外幅	－	－

実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
波線・・記載表現，設備名称の相違（実質的な相違なし）

まとめ資料比較表 〔第４条 地震による損傷の防止 別紙－15〕

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙－13　動的機能維持評価の検討方針について（耐震）	別紙－８　規格適用範囲外の動的機能維持の評価 ＜目次＞ 1. はじめに 2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針 3. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備抽出 4. 新たな検討が必要な設備における動的機能維持評価の検討 4.1 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針 4.2 新たな検討が必要な設備における動的機能維持評価の評価項目の抽出 4.3 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目の抽出 4.4 耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 4.5 電共研で検討されたギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 4.6 スクリュー式ポンプの基本評価項目の検討 4.7 まとめ 5. 詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針 6. 弁の機能維持評価に用いる配管系の応答値について 別表１　検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果	別紙－15　動的機能維持評価の検討方針について 目　　次 1. はじめに 2. 動的機能維持のための新たな検討，詳細検討又は加振試験が必要な設備の検討方針 3. 動的機能維持のための新たな検討，詳細検討又は加振試験が必要な設備の抽出 4. 新たな検討が必要な設備における動的機能維持評価の検討 4.1 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針 4.2　スクリュー式ポンプに対する検討 4.2.1　検討対象設備の概要 4.2.2　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価項目の抽出 4.2.3　耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 4.2.4　電共研で検討されたギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 4.2.5　スクリュー式ポンプの基本評価項目の検討 4.2.6　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価項目の検討結果 4.3　ガスタービン発電機に対する検討 4.3.1　検討対象設備の概要 4.3.2　ガスタービン発電機の動的機能維持評価項目の抽出 4.3.3　耐特委で検討された非常用ディーゼル発電機の地震時異常要因分析による基本評価項目 4.3.4　耐特委で検討されたポンプ駆動用タービンの地震時異常要因分析による基本評価項目 4.3.5　ガスタービン発電機の基本評価項目の検討 4.3.6　ガスタービン発電機の動的機能維持評価項目の検討結果 5.　詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針 6.　加振試験が必要な設備における動的機能維持評価の検討 7.　弁の動的機能維持評価に用いる配管系の応答値について 別表１　検討対象設備の抽出結果	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 島根２号炉では，加振試験の内容を本資料に含む（以下，②の相違） ・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 島根２号炉では，ガスタービン発電機について，新たな検討が必要な設備として抽出している（以下，①の相違） ・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料１　高圧原子炉代替注水ポンプの加振試験について 参考資料１　ガスタービン発電機の加振試験について	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違 ・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

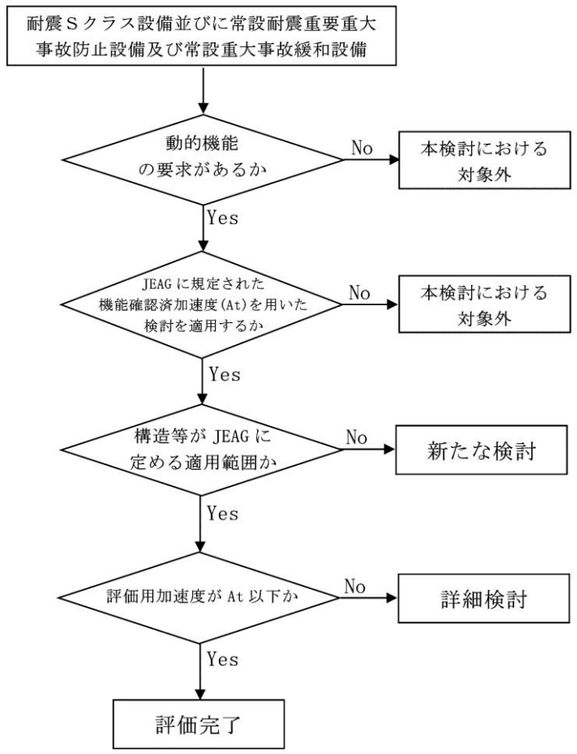
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
1.　はじめに 本資料では，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて，動的機能維持が必要な設備の検討方針を示す。	1．はじめに 本資料では，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正を踏まえて，動的機能維持についての検討方針，新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出及び検討結果を示す。 なお，検討の結果，詳細な評価が必要になった設備については，工認段階で詳細評価の内容を説明する。 実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則の解釈及び耐震設計に係る審査ガイドのうち，動的機能維持の評価に係る部分は以下のとおり。 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（抜粋） 第５条（地震による損傷の防止） ３　動的機器に対する「施設の機能を維持していること」とは、基準地震動による応答に対して、当該機器に要求される機能を保持することをいう。具体的には、当該機器の構造、動作原理等を考慮した評価を行うこと、既往研究で機能維持の確認がなされた機能確認済加速度等を超えていないことを確認することをいう。	1.　はじめに 本資料では，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正を踏まえて，動的機能維持についての検討方針，新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出及び検討結果を示す。 なお，検討の結果，詳細な評価が必要になった設備については，詳細設計段階で詳細評価の内容を説明する。 実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則の解釈及び耐震設計に係る審査ガイドのうち，動的機能維持の評価に係る部分は以下のとおり。 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（抜粋） 第５条（地震による損傷の防止） ３　動的機器に対する「施設の機能を維持していること」とは、基準地震動による応答に対して、当該機器に要求される機能を保持することをいう。具体的には、当該機器の構造、動作原理等を考慮した評価を行うこと、既往研究で機能維持の確認がなされた機能確認済加速度等を超えていないことを確認することをいう。	

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋） 4.6.2 動的機能 【審査における確認事項】 Ｓクラスの施設を構成する主要設備又は補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動 Ss を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。 【確認内容】 動的機能については以下を確認する。 (1)水平方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。 (2)鉛直方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が水平方向の動的機能保持に関する評価に係る JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。 (3)上記(1)及び(2)の評価に当たっては、当該機器が JEAG4601 に規定されている機種、形式、適用範囲等と大きく異なる場合又は機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考にして設定された機能確認済加速度を超える場合（評価方法が JEAG4601 に規定されている場合を除く。）については、既往の研究等を参考に異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目毎に評価を行い、評価基準値を超えていないこと。また、当該分析結果に基づき抽出した評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、加振試験（既往の研究等において実施されたものを含む。）により動的機能保持を確認した加速度を超えないこと。	耐震設計に係る工認審査ガイド(抜粋) 4.6.2 動的機能 【審査における確認事項】 S クラスの施設を構成する主要設備又は補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動 Ss を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。 【確認内容】 動的機能については以下を確認する。 (1)水平方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。(中略)また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。 (2)鉛直方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が水平方向の動的機能保持に関する評価に係る JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。(中略)また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。 (3)上記(1)及び(2)の評価に当たっては、当該機器が JEAG4601 に規定されている機種、形式、適用範囲等と大きく異なる場合又は機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考にして設定された機能確認済加速度を超える場合(評価方法が JEAG4601 に規定されている場合を除く。)については、既往の研究等を参考に異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目毎に評価を行い、評価基準値を超えていないこと。また、当該分析結果に基づき抽出した評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、加振試験(既往の研究等において実施されたものを含む。)により動的機能保持を確認した加速度を超えないこと。	

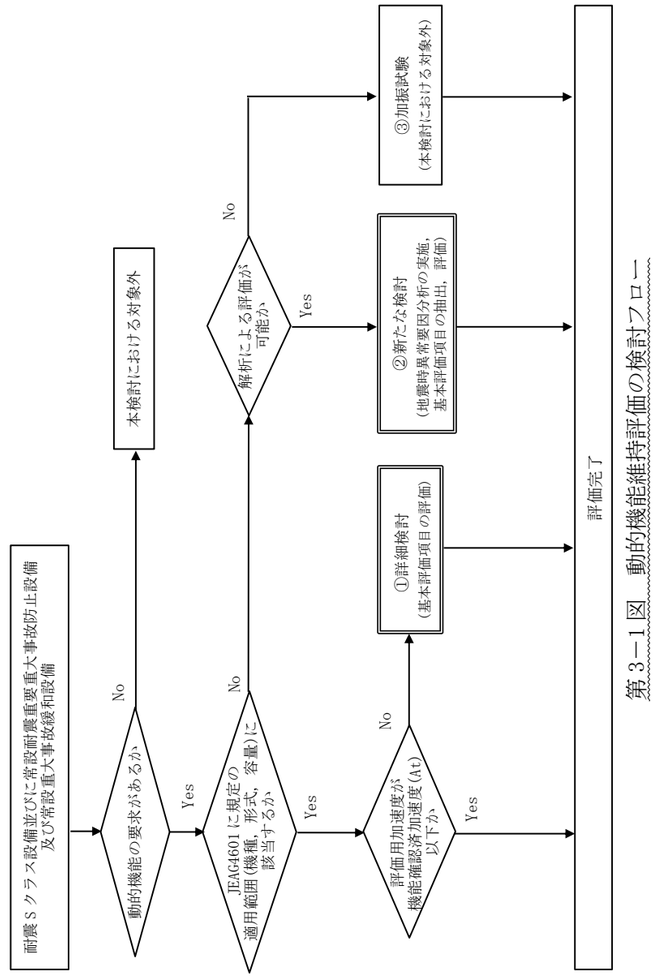
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
2.　動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針 ＪＥＡＧ4601 に定められた適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備又は評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備を抽出するとともに，抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。	2．動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針 動的機能維持評価において，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（以下「JEAG4601」という。）に定められた適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備又は評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備を抽出するとともに，抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。	2.　動的機能維持のための新たな検討，詳細検討又は加振試験が必要な設備の検討方針 動的機能維持評価において，原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）に定められた適用範囲から外れ新たな検討又は加振試験が必要な設備，若しくは機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備を抽出するとともに，抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違 ・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違
2.1　動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出 (1) 検討対象設備 検討対象設備は，耐震Ｓクラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし，動的機能が必要な設備としてＪＥＡＧ4601 で適用範囲が定められている機種（立形ポンプ，横形ポンプ，電動機等）とする。なお，加振試験により機能維持を確認する設備ＪＥＡＧ4601 にて評価用加速度が機能維持確認済み加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められている設備については検討から除外する。 (2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出 第１図に抽出フローを示す。検討対象設備について，ＪＥＡＧ4601 に定める適用機種に対して構造，作動原理等が同じであることを確認する。同じであることが確認できない場合は，新たな検討が必要な設備として抽出する。	3．動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出 (1) 検討対象設備 検討対象設備は，耐震Ｓクラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし，動的機能が必要な設備として JEAG4601 で適用範囲が定められている機種（立形ポンプ，横形ポンプ，電動機等）とする。 なお，電気計装機器については，原則として加振試験により電気的機能維持を確認することから，動的機能維持評価の検討対象設備から除いている。 (2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出 第 3-1 図に動的機能維持評価方法の検討フローを示す。検討対象設備について，動的機能維持の要求の有無を確認し，要求がない設備については，本検討における対象外とする。 動的機能維持の要求がある検討対象設備について，JEAG4601 に定める機能確認済加速度（At）との比較による評価方法が適用できる機種に対して，構造，作動原理，各機器の流量，出力等が JEAG4601 で定められた適用範囲と大きく異ならないことを確認する。大きく異なる場合は，解析による評価が可能かにより，新たな検討（地震時異常要因分析の実施，基本評価項目の抽出，評価）が必要な設備又は加振試験を実施する設備として抽出する。	3.　動的機能維持のための新たな検討，詳細検討又は加振試験が必要な設備の抽出 (1)　検討対象設備 検討対象設備は，Ｓクラス設備並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし，動的機能が必要な設備としてＪＥＡＧ４６０１で適用範囲が定められている機種（立形ポンプ，横形ポンプ，電動機等）とする。 なお，電気計装機器については，原則として加振試験により電気的機能維持を確認することから，動的機能維持評価の検討対象設備から除いている。 (2)　新たな検討，詳細検討又は加振試験が必要な設備の抽出 第 3－1 図に動的機能維持評価の検討フローを示す。検討対象設備について，動的機能維持の要求の有無を確認し，要求がない設備については本検討における対象外とする。 動的機能維持の要求がある検討対象設備について，ＪＥＡＧ４６０１に定める機能確認済加速度（Ａｔ）との比較による評価方法が適用できる機種に対して，構造，作動原理，各機器の流量，出力等がＪＥＡＧ４６０１で定められた適用範囲と大きく異ならないことを確認する。大きく異なる場合は，新たな検討（地震時異常要因分析の実施，基本評価項目の抽出，評価）が必要な設備，又は加振試験を実施する設備として抽出する。	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違 ・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
さらに評価用加速度がＪＥＡＧ4601 及び既往の研究等※により妥当性が確認されている値に定める機能確認済加速度以内であることの確認を行い，機能確認済加速度を超える設備については詳細検討が必要な設備として抽出する。	さらに，評価用加速度が JEAG4601 及び既往の研究等※により妥当性が確認されている機能確認済加速度（At）以下であることの確認を行い，機能確認済加速度を超える設備については詳細検討（基本評価項目の評価）が必要な設備として抽出する。	さらに，機能維持評価用加速度がＪＥＡＧ４６０１及び既往の研究※等により妥当性が確認されている機能確認済加速度（Ａｔ）以下であることの確認を行い，機能確認済加速度を超える設備については詳細検討(基本評価項目の評価)が必要な設備として抽出する。	
	なお，弁については JEAG4601 にて評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められているため，本検討の対象外とする。	なお，弁についてはＪＥＡＧ４６０１にて機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められているため，詳細評価法検討の対象外とする。	
上記の整理結果として別表１に検討対象設備を示すとともに，新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報としてＪＥＡＧ4601 に該当する機種名等を整理した。	上記の整理結果として別表１に検討対象設備を示すとともに，詳細検討又は新たな検討が必要な設備の抽出のための情報として JEAG4601 に該当する機種名等を整理した。	上記の整理結果として別表１に検討対象設備を示すとともに，詳細検討又は新たな検討が必要な設備の抽出のための情報としてＪＥＡＧ４６０１に該当する機種名等を整理した。	
	また，別表１に整理した設備や評価用加速度等の内容については，設計途中のため，動的機能維持評価の方針が検討中の設備も含まれており，今後の詳細設計の進捗に併せて変更の可能性があることから，工認段階で再度，設備及び評価方法の整理を行う。	また，別表１に整理した設備や機能維持評価用加速度等の内容については，設計途中のため，動的機能維持評価の方針が検討中の設備も含まれており，今後の詳細設計の進捗に併せて変更の可能性があることから，詳細設計段階で再度，設備及び評価方法の整理を行う。	
※　電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 10 年度～平成 13 年度）」	※電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 10 年度～平成 13 年度）」	※電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究(平成 10 年度～平成 13 年度)」	

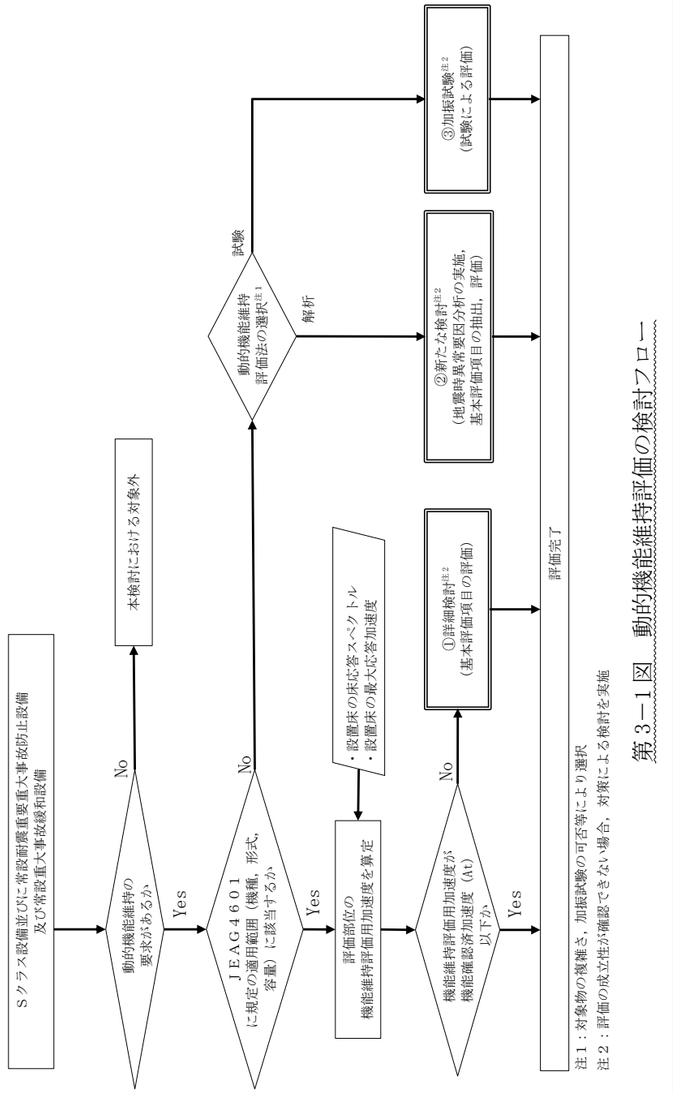
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考



第１図　検討が必要な設備の抽出フロー



第３－１図　動的機能維持評価の検討フロー



第３－１図　動的機能維持評価の検討フロー

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(3) 抽出結果 第 1 表に新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果を示す。	(3) 抽出結果 別表１をもとに，第 3-1 図の検討フローにより，①詳細検討，②新たな検討及び③加振試験が必要な設備を検討した結果を，第 3-1 表に示す。	(3)　抽出結果 別表１をもとに，第 3－1 図の検討フローにより，①詳細検討，②新たな検討及び③加振試験が必要な設備を検討した結果を，第 3－1 表に示す。	
	①詳細検討（基本評価項目の評価）が必要な設備 評価用加速度が機能確認済加速度を超え，詳細検討が必要となる設備として，以下の設備が該当する。	① 詳細検討(基本評価項目の評価)が必要な設備 機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超え，詳細検討が必要となる設備として，以下の設備が該当する。	
	・原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機 ・非常用ガス処理系排風機及び電動機 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ及び電動機 ・ほう酸水注入系ポンプ及び電動機 ・非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル発電機 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	・原子炉補機海水ポンプ及び電動機 ・非常用ガス処理系排風機及び電動機 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ及び電動機 ・ほう酸水注入ポンプ及び電動機 ・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ及び電動機 ・燃料プール冷却ポンプ及び電動機	
	②新たな検討（地震時異常要因分析の実施，基本評価項目の抽出，評価）が必要な設備 新たな検討が必要な設備としては，以下の設備が該当する。 なお，ポンプの型式は全て横形スクリュー式ポンプ（以下「スクリュー式ポンプ」という。）である。 ・ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	② 新たな検討(地震時異常要因分析の実施，基本評価項目の抽出，評価)が必要な設備 新たな検討が必要な設備としては，以下の設備が該当する。 ＜スクリュー式ポンプ＞ ・ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ＜ガスタービン機関＞ ・ガスタービン発電機	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違 ・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違
新たな検討が必要となる設備として，Ｖベルトの方式の遠心ファン（以下「Ｖベルト式ファン」という。）となる中央制御室換気系空気調和機ファン，中央制御室換気系フィルタ系ファン及び非常用ガス処理系排風機並びに横形スクリュー式ポンプ（以下「スクリュー式ポンプ」という。），横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプという。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。 新たな検討が必要となる設備のうち，Ｖベルト式ファンについては，遠心直結式ファン又は遠心直動式ファンへの構造変更を行うため，動的機能維持評価のための新たな検討は不要となる。 また，評価用加速度が機能確認済加速度を超える設備として残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ並びにこれらポンプ用の電動機が該当する。	③加振試験（本検討における対象外） 検討対象設備のうち，加振試験が必要な設備として以下の設備が抽出された。 ・高圧代替注水系ポンプ ・ガスタービン発電機	③ 加振試験（試験による評価）が必要な設備 加振試験が必要な設備としては，以下の設備が該当する。 ・高圧原子炉代替注水ポンプ	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 1 表(1)　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	ＪＥＡＧ4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
立形ポンプ	残留熱除去系ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ	○	×
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	×
	緊急用海水ポンプ	○	○注 1
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	－
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	－
	常設低圧代替注水系ポンプ	○	○注 1
	代替燃料プール冷却系ポンプ	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	○	○注 1
	代替循環冷却系ポンプ	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	×	－
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ	×	－
ポンプ駆動用タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ用電動機	○	×
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	○
	中央制御室換気系空気調和機ファン用電動機	○	○

注 1）今後の設計進捗によって，評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）

第 3-1 表　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果
(1/3)

機種名	設備名称	JEAG4601 の適用性確認 ○：適用可 ×：適用外 （新たな検討が必要）	At 確認※1 ○：At 以下 （評価完了） ×：At 超過 （詳細検討が必要） ―：評価中
立形ポンプ	残留熱除去系ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	原子炉補機冷却海水ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	○	○
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	原子炉補機冷却水ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○	○
	復水移送ポンプ	○	○
	代替循環冷却ポンプ	○	○
	燃料プール冷却浄化系ポンプ※2	○	―
	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ※2	×（スクリュー式）	―
	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ※2	×（スクリュー式）	―
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ※2	×（スクリュー式）	―
ポンプ駆動用タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機	○	×
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ポンプ用電動機	○	○
	原子炉補機冷却水ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ用電動機	○	○

島根原子力発電所　２号炉

第 3－1 表　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果
(1/2)

機種名	設備名称	JEAG4601の適用性確認 ○：適用可 ×：適用外 （新たな検討が必要）	At確認※1 ○：At以下 （評価完了） ×：At超過 （詳細検討が必要） ―：対象外，評価中
立形ポンプ	残留熱除去ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイポンプ	○	○
	原子炉補機海水ポンプ	○	×
	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○	×
横形ポンプ	燃料プール冷却ポンプ	○	×
	高圧原子炉代替注水ポンプ	×（タービン駆動水潤滑式）	―
	残留熱代替除去ポンプ	○	○
	原子炉隔離時冷却ポンプ	○	○
	低圧原子炉代替注水ポンプ	○	―
	原子炉補機冷却水ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	×（スクリュー式）	―
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	×（スクリュー式）	―
	ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	×（スクリュー式）	―
往復動式ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	×
ポンプ駆動用タービン	原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン	○	○
電動機	燃料プール冷却ポンプ用電動機	○	×
	残留熱除去ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイポンプ用電動機	○	○
	残留熱代替除去ポンプ用電動機	○	○
	低圧原子炉代替注水ポンプ用電動機	○	―
	原子炉補機冷却水ポンプ用電動機	○	○
	原子炉補機海水ポンプ用電動機	○	×
	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ用電動機	○	×
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	×

備考

・対象設備の相違
【東海第二，女川 2】
設備構成及び応答加速度の相違により抽出結果が異なる（以下，③の相違）

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 1 表(2)　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	ＪＥＡＧ4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
電動機	中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機用電動機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○注1
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○注1
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	○注1
	代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機	○	○注1
	代替循環冷却系ポンプ用電動機	○	○
	緊急用海水ポンプ用電動機	○	○注1
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	○注1
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	○注1
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	○注1
ファン	中央制御室換気系空気調和機ファン	×	－
	中央制御室換気系フィルタ系ファン	×	－
	非常用ガス処理系排風機	×	－
	非常用ガス再循環系排風機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	○
	緊急時対策所非常用送風機	○	○注1

注１）今後の設計進捗によって，評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

第 1 表(3)　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	ＪＥＡＧ4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	○
	非常用ディーゼル発電機調速装置及び非常用ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調速装置及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
往復動式ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	○
制御棒	制御棒挿入性	○	○注2

注２）地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位に対して下回ることを確認

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

第 3-1 表　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果 (2/3)

機種名	設備名称	JEAG4601 の適用性確認 ○：適用可 ×：適用外（新たな検討が必要）	At 確認※1 ○：At 以下（評価完了） ×：At 超過（詳細検討が必要） ―：評価中
電動機	復水移送ポンプ用電動機※2	○	―
	代替循環冷却ポンプ用電動機※2	○	―
	燃料プール冷却浄化系ポンプ用電動機※2	○	―
	ほう酸水注入系ポンプ用電動機	○	×
	中央制御室送風機用電動機	○	○
	中央制御室排風機用電動機	○	○
	中央制御室再循環送風機用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	×
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	×
	緊急時対策所非常用送風機用電動機※2	○	―
	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ用電動機※2	○	―
	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ用電動機※2	○	―
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ用電動機※2	○	―
ファン	中央制御室送風機	○	○
	中央制御室排風機	○	○
	中央制御室再循環送風機	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	×
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	×
	緊急時対策所非常用送風機※2	○	―
非常用ディーゼル発電設備	非常用ディーゼル発電設備 非常用ディーゼル発電機	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	×
往復動式ポンプ	ほう酸水注入系ポンプ	○	×

第 3-1 表　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果 (3/3)

機種名	設備名称	JEAG4601 の適用性確認 ○：適用可 ×：適用外（新たな検討が必要）	At 確認※1 ○：At 以下（評価完了） ×：At 超過（詳細検討が必要） ―：評価中
制御棒	制御棒挿入性	○	○※3

※1 今後の設計進捗によって評価用加速度が変更となり，At 確認結果が変更となる場合がある。
※2 SA 設備として現在設計中。
※3 地震応答解析結果から求めた燃料集合体相対変位が，加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位に対して下回ることを確認。

島根原子力発電所　２号炉

第 3－1 表　新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果 (2/2)

機種名	設備名称	JEAG4601の適用性確認 ○：適用可 ×：適用外（新たな検討が必要）	At確認注1 ○：At以下（評価完了） ×：At超過（詳細検討が必要） ―：対象外，評価中
電動機	中央制御室送風機用電動機	○	○
	中央制御室非常用再循環送風機用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	×
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	×
	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル発電機	○	○
	ガスタービン発電機	○	○
ファン	中央制御室送風機	○	○
	中央制御室非常用再循環送風機	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	×
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	×
非常用ディーゼル発電設備	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関	○	○
ガスタービン機関	ガスタービン機関	×（ガスタービン発電機）	－
制御棒	制御棒（地震時挿入性）	○	○注2

注１：今後の設計進捗によって機能維持評価用加速度が変更となる場合は確認結果に反映する。
注２：地震応答解析結果から求めた燃料集合体相対変位が，加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位に対して下回ることを確認。

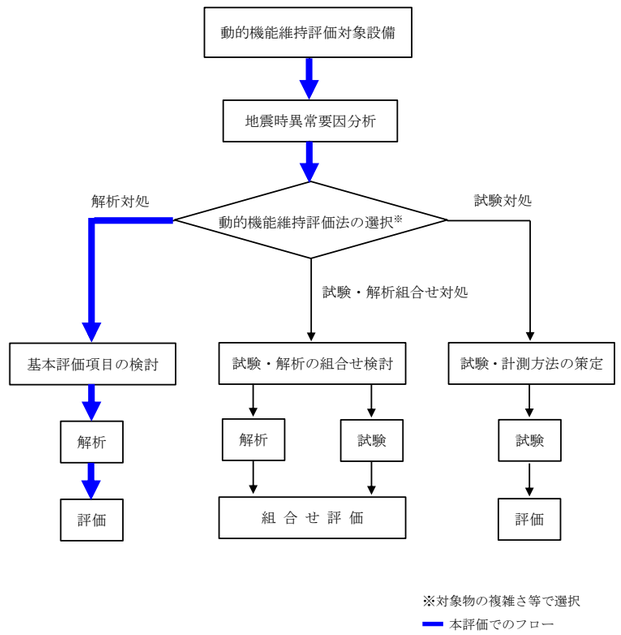
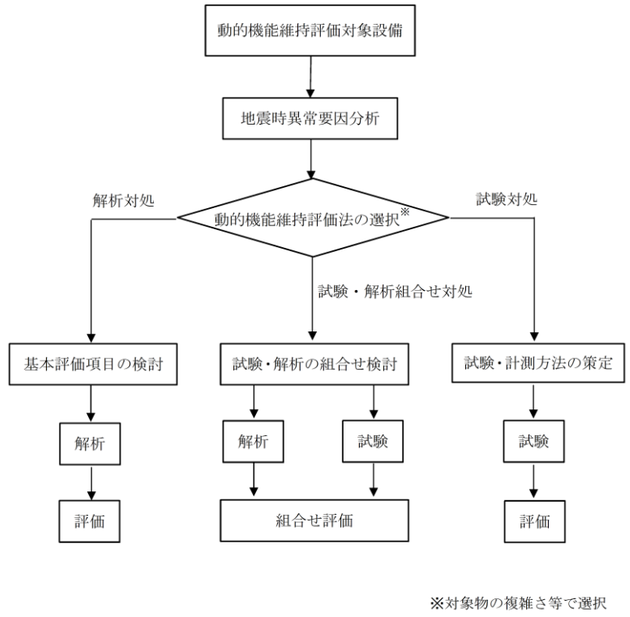
備考

・対象設備の相違
【東海第二，女川 2】
③の相違

・対象設備の相違
【東海第二，女川 2】
③の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	（4）動的機能維持評価の検討方針が未定の設備について 検討対象設備のうち，新規制基準適合に必要な設備として設計途中又は審議中のために，動的機能維持の検討方針が未定の設備として，以下の設備が該当する。 ①直流駆動低圧注水系ポンプ 直流駆動低圧注水系ポンプは，横形ポンプとして現在設計中であり，今後の設計進捗に応じて構造，容量等が変更となるため，動的機能維持の検討方針は定まっていない。 そのため，動的機能維持の検討方針及び詳細については，設計条件が確定した後，工認段階で再度整理する。 ②地下水低下設備 本資料における検討対象には該当しないが，新規性基準適合性審査において，当該設備についての審査が進められている。 そのため，今後の審査状況を踏まえ，動的機能維持の検討方針については，工認段階で再度整理する。		・対象設備の相違 【女川 2】 島根２号炉では，動的機能維持の検討方針が未定の設備はない

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
2.2.　動的機能維持の検討 2.2.1　新たな検討が必要な設備の検討 (1) 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針としては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として（社）日本電気協会電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。 具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。 今回新たな検討が必要な設備については，基本的な構造は類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し機能維持評価を実施する。	4．新たな検討が必要な設備における動的機能維持評価の検討 4.1　新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針 検討対象設備のうち，ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプについては，スクリュー式ポンプであり，JEAG4601 に定められた適用範囲から外れ，機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できないことから，新たな検討（新たに評価項目の検討）が必要となる設備である。 JEAG4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れた設備における動的機能維持の検討方針としては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討及び電力共通研究（以下「電共研」という。）にて取り纏められた類似機器の検討をもとに実施する。 具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。また，電共研の検討では，耐特委及び原子力発電技術機構（以下「NUPEC」という。）での検討を踏まえて，動的機能維持の基本評価項目を選定している。 今回 JEAG4601 に定められた適用機種の範囲から外れた設備については，基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委及び電共研での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 4.1-1 図に示す。 なお，JEAG4601 においても，機能維持評価の基本方針として，地震時の異常要因分析を考慮し，動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。	4.　新たな検討が必要な設備における動的機能維持評価の検討 4.1　新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針 検討対象設備のうち，3.(3)②に示す機器については，ＪＥＡＧ４６０１に定められた機種及び適用形式から外れ，機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できないことから，新たに評価項目の検討が必要となる設備である。 ＪＥＡＧ４６０１に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れた設備における動的機能維持の検討においては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として(社)日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討及び電力共通研究（以下「電共研」という。）にて取り纏められた類似機器を参考に検討を実施する。 具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価項目を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。また，電共研の検討では，耐特委及び原子力発電技術機構（以下「ＮＵＰＥＣ」という。）での検討を踏まえて，動的機能維持の基本評価項目を選定している。 ＪＥＡＧ４６０１に定められた機種及び適用形式から外れた設備については，作動原理，構造又は機能が類似している構成設備を有する機種／形式に対する耐特委及び電共研での検討を参考に，形式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 4.1－1 図に示す。 なお，ＪＥＡＧ４６０１においても，機能維持評価の基本方針として，地震時の異常要因分析を考慮し，動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。	

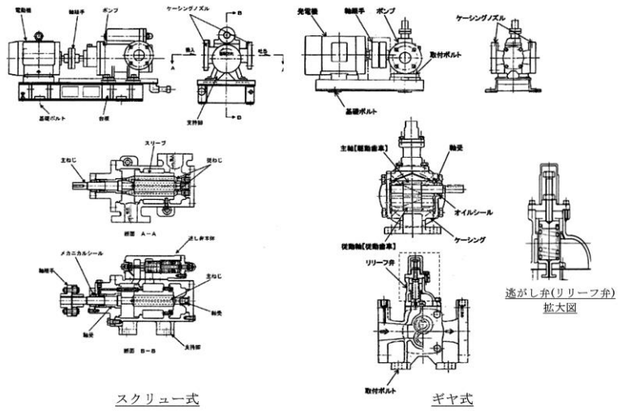
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考
	 第 4.1-1 図　動的機能維持評価フロー	 第 4.1－1 図　動的機能維持評価フロー	

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.2　スクリュー式ポンプに対する検討 4.2.1　検討対象設備の概要 スクリュー式ポンプは，その作動原理・構造から異常要因分析や基本評価項目の抽出が可能であり，分析や項目の抽出において参考とする類似ポンプの検討事例があることから，解析による評価を実施する。地震時異常要因分析を検討するにあたり，第 4.2.1－1 表に，新たな検討が必要な設備及び参考とする機種／形式を示すとともに，第 4.2.1－1 図，第 4.2.1－2 図及び第 4.2.1－3 図に，今回工認において，新たな検討が必要な設備として抽出されたスクリュー式ポンプ，参考とする耐特委で検討された遠心式ポンプ及び電共研で検討されたギヤ式ポンプの構造概要図を示す。	
新たな検討が必要設備において，参考とする機種／型式を第 2 表に示すとともに，第 2 図及び第 3 図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。	地震時異常要因分析を検討するに当たり，第 4.1-1 表に，新たな検討が必要な設備及び参考とする機種／型式を示すとともに，第 4.1-2 図に，今回工認において，新たな検討が必要な設備として抽出されたスクリュー式ポンプ，参考とする耐特委で検討された遠心式ポンプ及び電共研で検討されたギヤ式ポンプの構造概要図を示す。		
スクリュー式及びギヤ式ポンプは，遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）と内部流体の吐出構造が異なるが，電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること及びケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有しており基本構造が同じといえる。	スクリュー式ポンプは，容積式の横形ポンプであり，一定容積の液をスクリューにて押し出す構造のポンプである。参考とするギヤ式ポンプは，スクリュー式ポンプと同様の容積式であり，ギヤで一定容積を押し出す構造である。 一方，遠心式ポンプはインペラの高速回転により液を吸込み・吐出するポンプであり，スクリュー式と内部流体の吐出構造が異なるが，ケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有している。	スクリュー式ポンプは，容積式の横形ポンプであり，一定容積の液をスクリューにて押し出す構造のポンプである。参考とするギヤ式ポンプは，スクリュー式ポンプと同様の容積式であり，ギヤで一定容積を押し出す構造である。 一方，遠心式ポンプはインペラの高速回転により液を吸込み・吐出するポンプであり，スクリュー式と内部流体の吐出構造が異なるが，ケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有している。	
	また，固定方法については，基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に，駆動機器である横形ころがり軸受の電動機とポンプが取付ボルトにより設置され，地震荷重は主軸，軸受を通してケーシングに伝達されることから，基本構造は同じと言える。さらに，電動機からの動力は軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であることから，作動原理についても同じと言える。	また，固定方法については，基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に，駆動機器である横形ころがり軸受の電動機とポンプが取付ボルトにより設置され，地震荷重は主軸，軸受を通してケーシングに伝達されることから，基本構造は同じと言える。さらに，電動機からの動力は軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であることから，作動原理についても同じと言える。	
このため，スクリュー式及びギヤ式ポンプについては，遠心式横形ポンプを参考とし，地震時異常要因分析を実施する。 なお，非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては，新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり，評価する設備となる。	そのため，スクリュー式ポンプについては，遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプを参考として，地震時異常要因分析を実施する。 なお，ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプについては，新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり，評価する設備となる。	そのため，スクリュー式ポンプについては，遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプを参考として，地震時異常要因分析を実施する。 なお，ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプについては，新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり，評価する設備となる。	

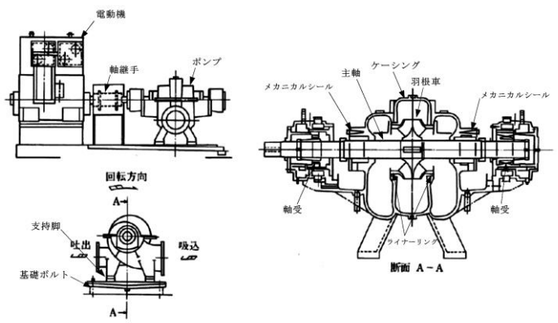
東海第二発電所（2018.9.18 版）

第２表　新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

新たな検討が必要な設備	機種／型式	参考とする機種／型式
・非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	横形ポンプ／スクリュー式	横形ポンプ／単段遠心式
・緊急時対策所用発電機給油ポンプ	横形ポンプ／ギヤ式	



第２図　スクリュー式，ギヤ式ポンプ構造概要図

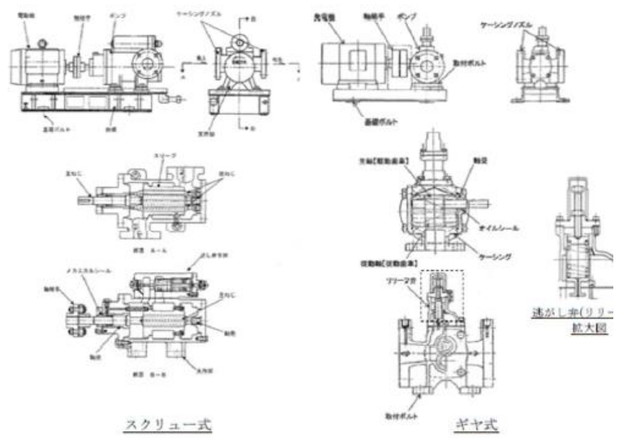


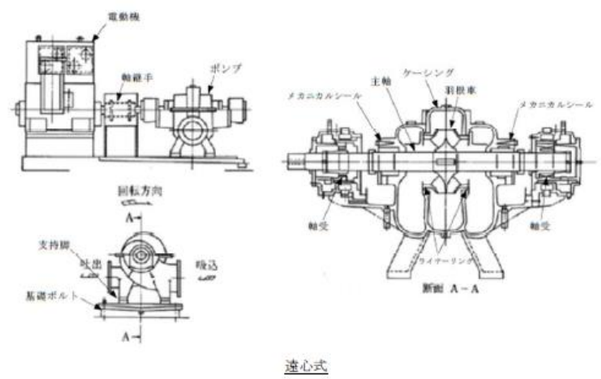
第３図　遠心式ポンプ構造概要図

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

第 4.1-1 表　新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

新たな検討が必要な設備		参考とする機種／型式
設備名	機種／型式	
・ガスタービン発電機設備燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	横形ポンプ／スクリュー式	横形ポンプ／単段遠心式
		横形ポンプ／ギヤ式



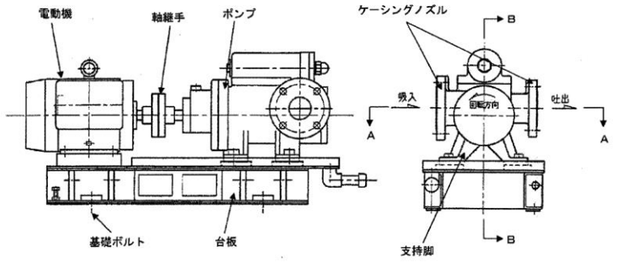


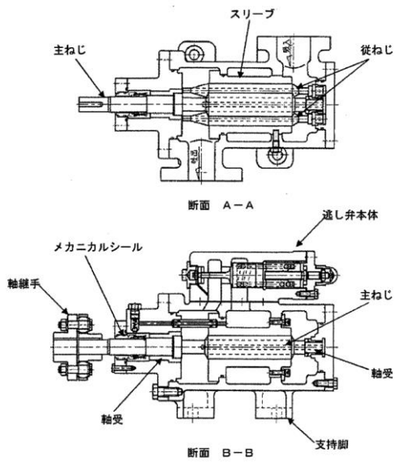
第 4.1-2 図 スクリュー式ポンプ，遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの構造概要図

島根原子力発電所　２号炉

第 4.2.1－1 表　新たな検討が必要な設備において参考とする機種／形式

新たな検討が必要な設備		参考とする機種／形式
設備名	機種／形式	
・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	横形ポンプ／スクリュー式	横形ポンプ／単段遠心式
		横形ポンプ／ギヤ式

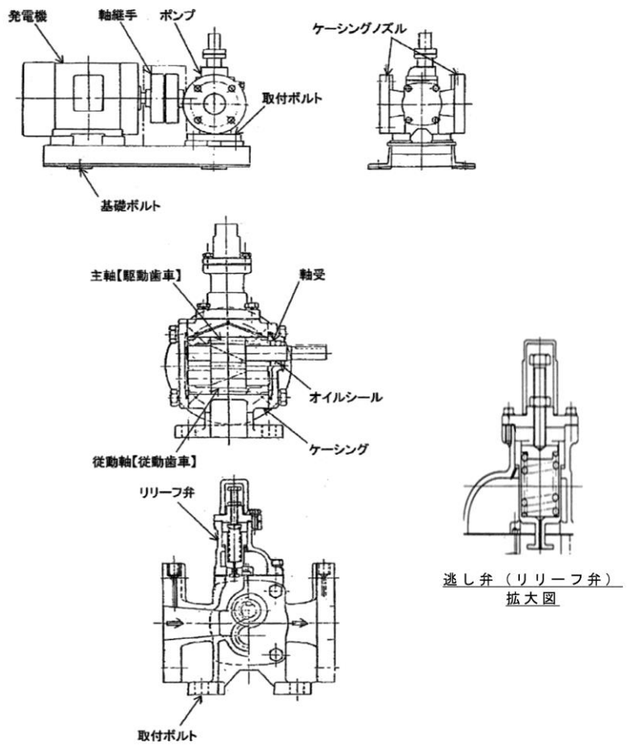
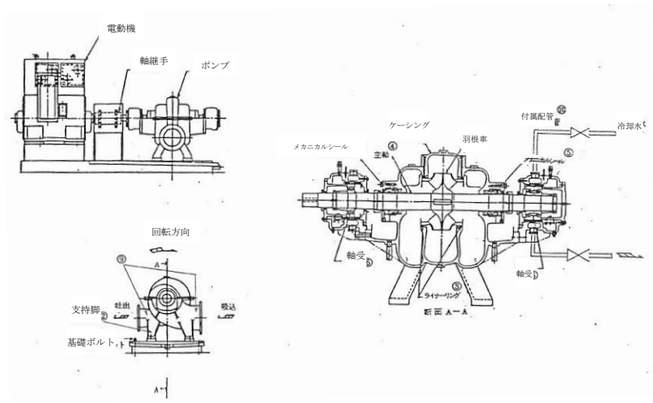




第 4.2.1－1 図　スクリュー式ポンプ構造概要図

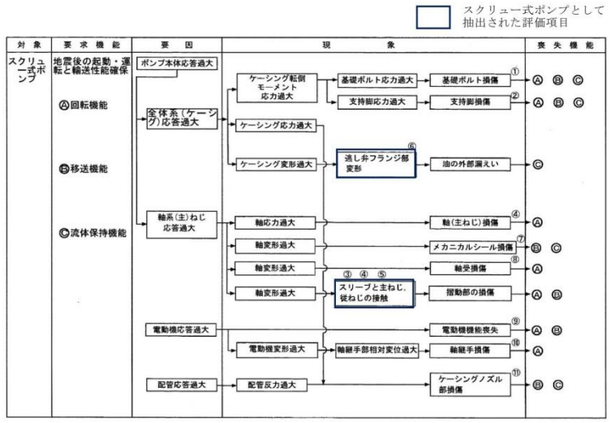
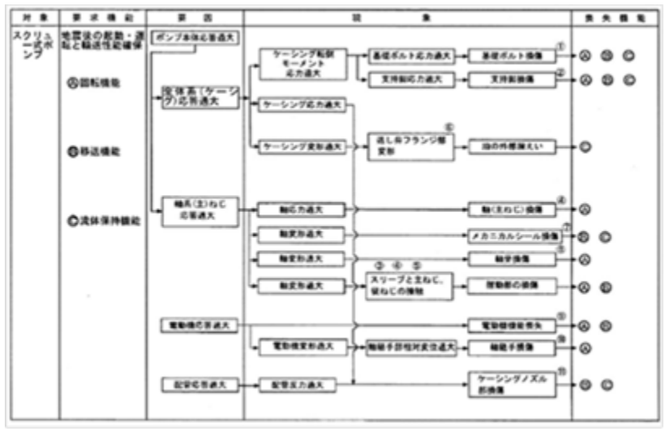
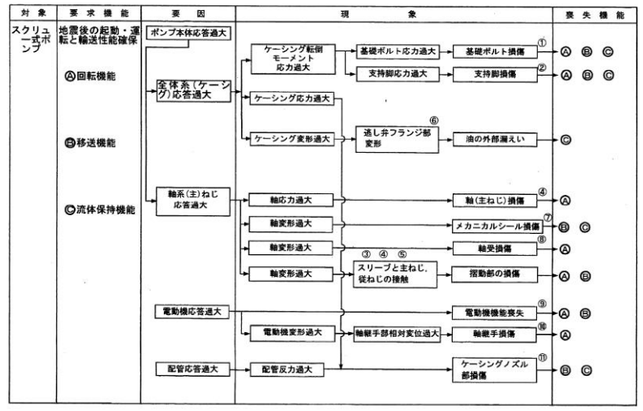
備考

・対象設備の相違
【東海第二】
島根２号炉ではスクリュー式ポンプの検討において，ギヤ式ポンプを参考とする（以下，④の相違）
・設備構成の相違
【東海第二】
島根２号炉にはギヤ式ポンプは無い（以下，⑤の相違）

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 逃し弁（リリーフ弁） 拡大図 第 4.2.1－2 図　ギヤ式ポンプ構造概要図  第 4.2.1－3 図　遠心式ポンプ構造概要図	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(2)　新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出 新たな検討が必要な設備として，スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第 4 図に示す。 第 4 図　動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー	4.2 新たな検討が必要な設備における動的機能維持評価の評価項目の抽出 新たな検討が必要な設備であるスクリュー式ポンプの動的機能維持評価の評価項目については，電共研で検討されたスクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて基本評価項目を検討する。また，当該検討において参考とする，耐特委で検討された遠心式ポンプ及び電共研で検討されたギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析による基本評価項目を踏まえた検討を行う。 スクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フローを第 4.2-1 図に示す。 第 4.2-1 図　動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フロー	4.2.2　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価項目の抽出 新たな検討が必要な設備であるスクリュー式ポンプの動的機能維持評価の評価項目については，電共研で検討されたスクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて基本評価項目を検討する。また，当該検討において参考とする，耐特委で検討された遠心式ポンプ及び電共研で検討されたギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析による基本評価項目を踏まえた検討を行う。 スクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フローを第 4.2.2－1 図に示す。 第 4.2.2－1 図　スクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フロー	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違 ・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
ａ．スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出 (a)スクリュー式ポンプの評価項目の抽出 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び評価項目は，電共研※での検討内容を用いる。電共研では第 5 図に示すとおり，耐特委における遠心式横形ポンプ及び NUPEC における非常用ＤＧの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように，スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い，評価項目を抽出している。 スクリュー式ポンプの要因分析図を第 6 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 3 表のとおりである。 ※動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月） 【耐特委】遠心式横形ポンプの要因分析 【NUPEC】非常用ＤＧの燃料供給ポンプの要因分析 →【電共研】スクリュー式ポンプの要因分析図（耐特委及び NUPEC の要因分析を網羅） →【東海第二発電所】スクリュー式ポンプの検討に適用 第 5 図　地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）	4.3　スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目の抽出 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び基本評価項目は，電共研※での検討内容を用いる。電共研では第 4.3-1 図に示すとおり，耐特委における遠心式ポンプ及び NUPEC における非常用 DG の燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように，スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い，基本評価項目を抽出している。 スクリュー式ポンプの要因分析図を第 4.3-2 図に示す。要因分析図に基づき抽出されるスクリュー式ポンプの基本評価項目は，第 4.3-1 表のとおりである。 ※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月） 【耐特委】遠心式ポンプの異常要因分析 【ＮＵＰＥＣ】非常用ＤＧの燃料供給ポンプの異常要因分析 →【電共研】スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析（耐特委及びＮＵＰＥＣの異常要因分析結果を網羅） →【女川２号炉】スクリュー式ポンプの基本評価項目の抽出に適用 第 4.3-1 図　地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）	スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「異常要因分析図」という。）及び基本評価項目は，電共研※での検討内容を用いる。電共研では第 4.2.2－2 図に示すとおり，耐特委における遠心式ポンプ及びＮＵＰＥＣにおける非常用ディーゼル発電機の燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように，スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い，基本評価項目を抽出している。 スクリュー式ポンプの要因分析図を第 4.2.2－3 図に示す。要因分析図に基づき抽出されるスクリュー式ポンプの基本評価項目は，第 4.2.2－1 表のとおりである。 ※動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月） 【耐特委】遠心式ポンプの異常要因分析 【ＮＵＰＥＣ】非常用ＤＧの燃料供給ポンプの異常要因分析 →【電共研】スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析（耐特委及びＮＵＰＥＣの異常要因分析結果を網羅） →【島根２号炉】スクリュー式ポンプの基本評価項目の抽出に適用 第 4.2.2－2 図　地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）	

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考
			
第 6 図　スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図	第 4.3-2 図　スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図	第 4.2.2−3 図　スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図	

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第３表　スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト （取付ボルト含む）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 （③スリーブ④主ねじ ⑤従ねじのクリアランス）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじ又は従ねじが接触し，摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系（主ねじ）	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部変形し油の外部漏えいに至る。
⑦	メカニカルシール	軸系ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

第 4.3-1 表　スクリュー式ポンプの要因分析図から抽出した基本評価項目

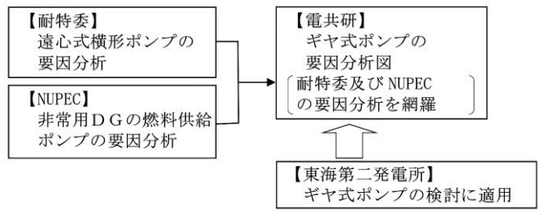
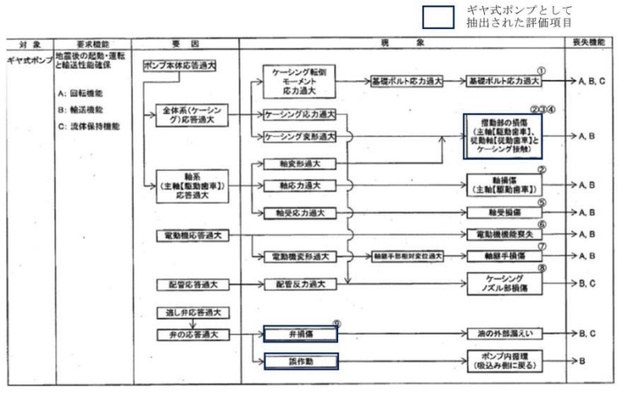
No.	基本評価項目	異常要因
①	基礎ボルト （取付ボルト含む）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 （③スリーブ，④主ねじ， ⑤従ねじのクリアランス）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじ又は従ねじが接触し，摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系	軸応力が過大となり軸が損傷することにより，回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁フランジ部	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部が変形し，油の外部漏えいに至る。
⑦	メカニカルシール	軸系ねじの応答過大により軸変形に至り，メカニカルシールが損傷することにより，移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり軸受が損傷することで，回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び移送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

島根原子力発電所　２号炉

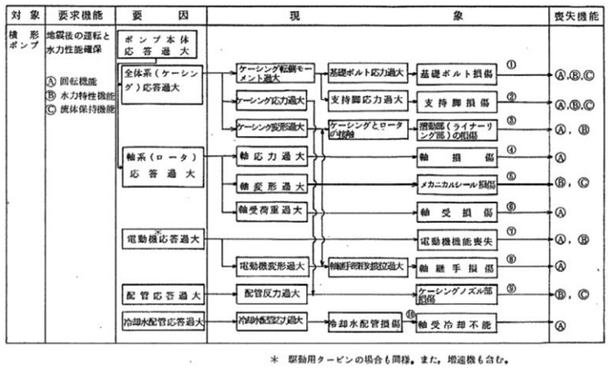
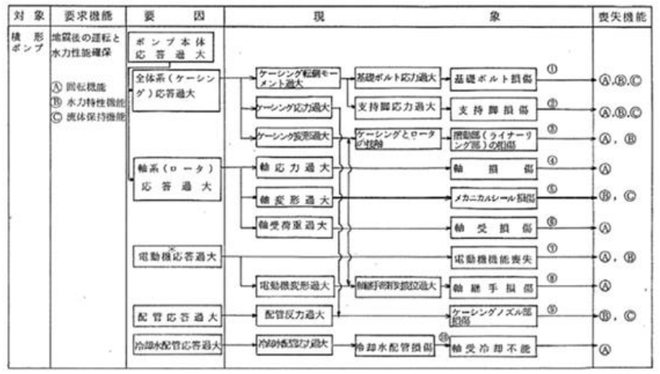
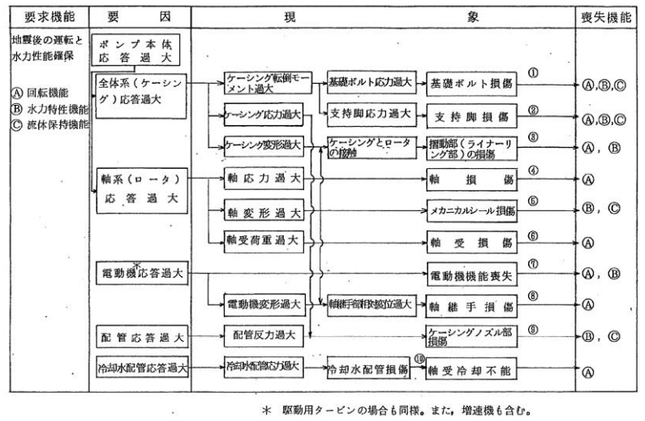
第 4.2.2－1 表　スクリュー式ポンプの異常要因分析図から抽出した基本評価項目

No.	基本評価項目	異常要因
①	基礎ボルト （取付ボルト含む）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となることにより損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となることにより損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 （③スリーブ，④主ねじ， ⑤従ねじのクリアランス）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，軸変形が過大となりスリーブと主ねじ又は従ねじが接触し，摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系	軸応力が過大となり軸が損傷することにより，回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁フランジ部	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部が変形し，油の外部漏えいに至る。
⑦	メカニカルシール	軸系ねじの応答過大により軸変形に至り，メカニカルシールが損傷することにより，移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり軸受が損傷することで，回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び移送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

備考

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(b) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出 ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は，電共研※での検討内容を用いる。電共研では，第 7 図に示すとおり耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように，ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い，評価項目を抽出している。 ギヤ式ポンプの要因分析図を第 8 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 4 表のとおりである。 ※　動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）  第 7 図　地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）  第 8 図　ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図			・設備構成の相違 【東海第二】 ⑤の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
第４表　ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目 （評価項目／異常要因） ①　基礎ボルト（取付ボルト含む）：ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。 ②③④　摺動部（②主軸又は③従動軸と④ケーシングのクリアランス）：ポンプ全体系の応答が過大となることで，主軸（主動歯車）及び従動軸（従動歯車）の応答が過大となり軸部の変形により，ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。 ②　軸：軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑤　軸受：軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑥　電動機：電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑦　軸継手：被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑧　ケーシングノズル：接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 ⑨　逃がし弁：弁の応答が過大となり，弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい，ポンプ内循環が発生し，輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 (c) スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの抽出した評価項目に対する相互確認 スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，ポンプ構造が類似していることを踏まえて，各ポンプの評価項目の抽出結果を比較することにより，その検討結果について相互の確認を行う。 ⅰ）　スクリュー式ポンプで抽出した評価項目に対してギヤ式ポンプで抽出されなかった評価項目 ① 支持脚 ギヤ式ポンプはポンプケーシングに取付ボルト用のフランジが直接取り付けられており構造上存在しない。 ② メカニカルシール ギヤ式ポンプはメカニカルシールを有しない構造である。 ⅱ）　ギヤ式ポンプで抽出した評価項目に対してスクリュー式ポンプで抽出されなかった評価項目 ③ 逃がし弁（移送機能） スクリュー式ポンプについても逃がし弁が設置されており，誤作動すればギヤ式ポンプと同様に移送機能に影響を与えることからスクリュー式ポンプについても評価項目として選定する。			・設備構成の相違 【東海第二】 ⑤の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考
b．耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目 新たな検討が必要な設備としてスクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討において，公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプの要因分析図を第 9 図に，要因分析図から抽出される評価項目を第 5 表に示す。  ＊　駆動用タービンの場合も同様。また，増速機も含む。 第 9 図　遠心式ポンプの地震時異常要因分析図	4.4　耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 新たな検討が必要な設備として抽出されたスクリュー式ポンプの基本評価項目の検討において，公知化された検討として，参考とする耐特委での遠心式ポンプの地震時異常要因分析図を第 4.4-1 図に，地震時異常要因分析図から抽出される遠心式ポンプの基本評価項目を第 4.4-1 表に示す。  第 4.4-1 図　遠心式ポンプの地震時異常要因分析図	4.2.3　耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 新たな検討が必要な設備として抽出されたスクリュー式ポンプの基本評価項目の検討において，公知化された検討として，参考とする耐特委での遠心式ポンプの異常要因分析図を第 4.2.3－1 図に，異常要因分析図から抽出される遠心式ポンプの基本評価項目を第 4.2.3－1 表に示す。  ＊　駆動用タービンの場合も同様。また，増速機も含む。 第 4.2.3－1 図　遠心式ポンプの地震時異常要因分析図	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第５表　遠心式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む），支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで，支持脚の応力が過大となり損傷に至り，ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （インペラとライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり，インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり，メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり，損傷することで軸冷却不能に至り，回転機能が喪失する。

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

第 4.4-1 表　遠心式ポンプの要因分析図から抽出された基本評価項目

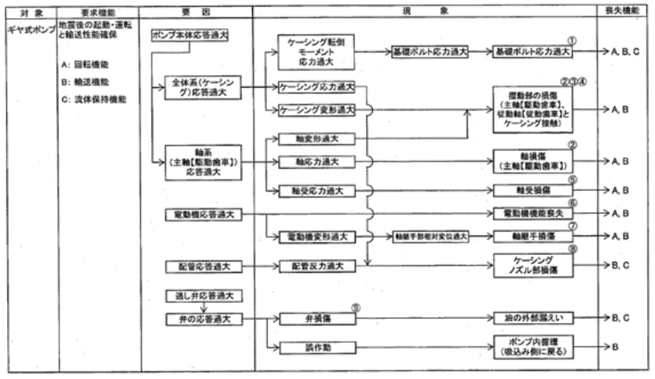
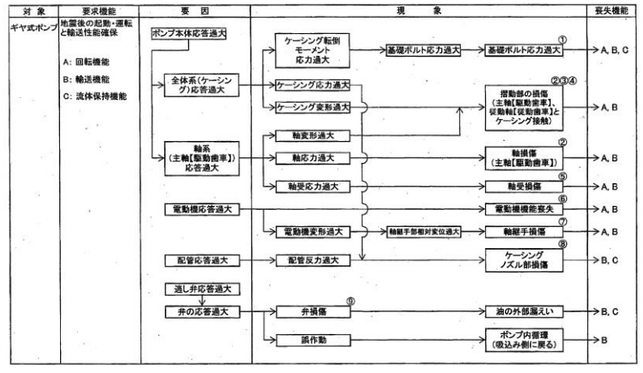
No.	基本評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト （取付ボルト含む） 支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。 また，ポンプ全体系の応答が過大となることで，支持脚の応力が過大となり損傷に至り，ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （インペラとライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり，インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり，メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり，損傷することで軸冷却不能に至り，回転機能が喪失する。

島根原子力発電所　２号炉

第 4.2.3－1 表　遠心式ポンプの要因分析図から抽出された基本評価項目

No.	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト （取付ボルト含む） 支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となることにより，損傷に至り，全体系が転倒することによって機能喪失する。また，ポンプ全体系の応答が過大となることで，支持脚の応力が過大となることにより損傷に至り，ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （インペラとライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり，インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。
④	軸系	軸応力が過大となり，軸が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり，メカニカルシールが損傷することで流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり，損傷することで軸冷却不能に至り，回転機能が喪失する。

備考

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	4.5　電共研で検討されたギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 新たな検討が必要な設備として抽出されたスクリュー式ポンプの基本評価項目の検討において，公知化された検討として，参考とする電共研でのギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図を第 4.5-1 図に，地震時異常要因分析図から抽出されるギヤ式ポンプの基本評価項目を第 4.5-1 表に示す。  第 4.5-1 図　ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図	4.2.4　電共研で検討されたギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 新たな検討が必要な設備として抽出されたスクリュー式ポンプの基本評価項目の検討において，公知化された検討として，参考とする電共研でのギヤ式ポンプの異常要因分析図を第 4.2.4－1 図に，異常要因分析図から抽出されるギヤ式ポンプの基本評価項目を第 4.2.4－1 表に示す。  第 4.2.4－1 図　ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第 4.5-1 表 ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出された基本評価項目 No. / 基本評価項目 / 異常要因 ① / 基礎ボルト（取付ボルト含む） / ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。 ②③④ / 摺動部（②主軸又は③従動軸と④ケーシングのクリアランス） / ポンプ全体系の応答が過大となることで，主軸（主動歯車）及び従動軸（従動歯車）の応答が過大となり軸部の変形により，ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。 ② / 軸系 / 軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑤ / 軸受 / 軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑥ / 電動機 / 電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑦ / 軸継手 / 被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑧ / ケーシングノズル / 接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 ⑨ / 逃がし弁 / 弁の応答が過大となり，弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい，ポンプ内循環が発生し，輸送機能及び流体保持機能が喪失する。	第 4.2.4－1 表　ギヤ式ポンプの要因分析図から抽出された基本評価項目 No. / 評価項目 / 異常要因 ① / 基礎ボルト（取付ボルト含む） / ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。 ②③④ / 摺動部（②主軸又は③従動軸と④ケーシングのクリアランス） / ポンプ全体系の応答が過大となることで，主軸（主動歯車）及び従動軸（従動歯車）の応答が過大となることによる軸部の変形により，ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。 ② / 軸系 / 軸応力が過大となり，軸が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑤ / 軸受 / 軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑥ / 電動機 / 電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑦ / 軸継手 / 被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 ⑧ / ケーシングノズル / 接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 ⑨ / 逃がし弁 / 弁の応答が過大となり，弁が損傷又は誤動作することで外部漏えい，ポンプ内循環が発生し，輸送機能及び流体保持機能が喪失する。	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）

c．遠心式ポンプの評価項目を踏まえたスクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の検討

スクリュー式ポンプの要因分析結果について，耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果，スクリュー式ポンプの評価項目は，遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリュー式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり，遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え，構造の差異により抽出されたスクリュー式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお，構造の差異として抽出された評価項目は下記の通りである。

・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくスクリュー式ポンプのみで抽出）
・摺動部（スクリュー式ポンプ及び遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが，構成部品が異なる。）
・軸冷却水配管（スクリュー式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは，大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから，軸受の冷却が必要となる。このため，地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため，軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリュー式ポンプの標準設計として，軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが，スクリュー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため，軸冷却水配管は設置されていない。

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

4.6　スクリュー式ポンプの基本評価項目の検討

(1)遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの基本評価項目を踏まえたスクリュー式ポンプの評価項目の整理

スクリュー式ポンプの要因分析結果について，参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果，スクリュー式ポンプの基本評価項目は，第 4.6-1 表に示すとおり，一部構造の差異による違いはあるものの，参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプとほぼ同様となった。

第 4.6-1 表　スクリュー式ポンプにおける
基本評価項目の整理結果

○：既往知見における評価項目，－：対象外

No.	基本評価項目	検討対象（参照知見）	参考とする機種（参照知見）		備考
		スクリュー式ポンプ（電共研）	ギヤ式ポンプ（電共研）	遠心式ポンプ（耐特委）	
Ⅰ	基礎ボルト（取付ボルト含む）	○	○	○	
Ⅱ	支持脚	○		○	ギヤ式ポンプには構造上，存在しない
Ⅲ	摺動部	○	○	○	
Ⅳ	軸系	○	○	○	
Ⅴ	逃がし弁フランジ部（漏えい防止）	○	－		遠心式ポンプには構造上，存在しない
Ⅵ	逃がし弁（移送機能）	－	○		遠心式ポンプには構造上，存在しない
Ⅶ	メカニカルシール	○		○	ギヤ式ポンプはプッシングを使用
Ⅷ	軸受	○	○	○	
Ⅸ	電動機	○	○	○	
Ⅹ	軸継手	○	○	○	
Ⅺ	ケーシングノズル	○	○	○	
Ⅻ	軸冷却水配管			○	試験体が大型ポンプのため設置

島根原子力発電所　２号炉

4.2.5　スクリュー式ポンプの基本評価項目の検討

(1) 遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの基本評価項目を踏まえたスクリュー式ポンプの評価項目の整理

スクリュー式ポンプの異常要因分析結果について，参考として遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの異常要因分析結果と同様に整理した結果，スクリュー式ポンプの基本評価項目は，第 4.2.5－1 表に示すとおり，一部構造の差異による違いはあるものの，参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目を網羅していることを確認した。

第 4.2.5－1 表　スクリュー式ポンプにおける
基本評価項目の整理結果

○：既往知見における評価項目，－：対象外

No.	基本評価項目	検討対象（参照知見）	参考とする機種（参照知見）		備考
		スクリュー式ポンプ（電共研）	ギヤ式ポンプ（電共研）	遠心式ポンプ（耐特委）	
Ⅰ	基礎ボルト（取付ボルト含む）	○	○	○	
Ⅱ	支持脚	○		○	ギヤ式ポンプには構造上，存在しない
Ⅲ	摺動部	○	○	○	
Ⅳ	軸系	○	○	○	
Ⅴ	逃がし弁フランジ部（漏えい防止）	○	－		遠心式ポンプには構造上，存在しない
Ⅵ	逃がし弁（移送機能）	－	○		遠心式ポンプには構造上，存在しない
Ⅶ	メカニカルシール	○		○	ギヤ式ポンプはプッシングを使用
Ⅷ	軸受	○	○	○	
Ⅸ	電動機	○	○	○	
Ⅹ	軸継手	○	○	○	
Ⅺ	ケーシングノズル	○	○	○	
Ⅻ	軸冷却水配管			○	試験体が大型ポンプのため設置

備考

・対象設備の相違
【東海第二】
④の相違

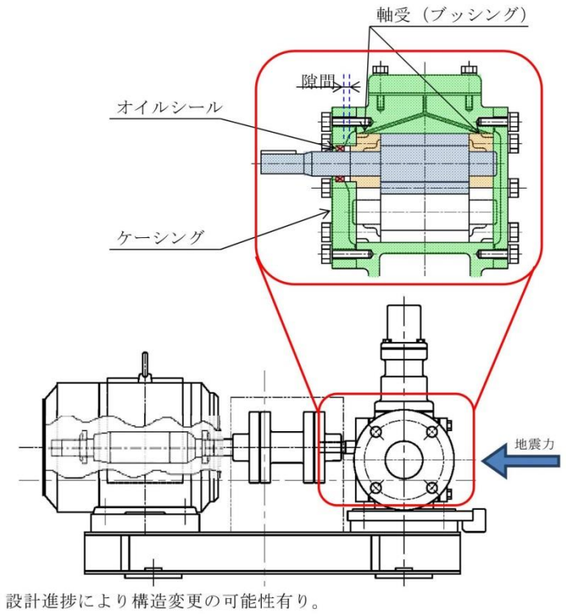
・対象設備の相違
【東海第二】
④の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(2) 女川２号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目の検討 女川２号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目の選定に当たっては，第 4.6-1 表のとおり，既往知見により抽出されたスクリュー式ポンプの基本評価項目に，参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの基本評価項目を踏まえた全 12 項目について検討を行う。	(2)島根 2 号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目の検討 島根２号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目の選定に当たっては，第 4.2.5－1 表のとおり，既往知見により抽出されたスクリュー式ポンプの基本評価項目に，参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの基本評価項目を踏まえた全 12 項目について検討を行う。	
① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価 スクリュー式ポンプは遠心式ポンプと同様に，基礎ボルトで固定された架台の上に，駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており，地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。	No.Ⅰ：基礎ボルト（取付ボルト含む） スクリュー式ポンプは参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプと同様に，基礎ボルトで固定された架台の上に，駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトで設置されており，地震時に有意な荷重がかかる構造となっていることから，基礎ボルトを動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。	No.Ⅰ：基礎ボルト（取付ボルト含む） スクリュー式ポンプは参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプと同様に，基礎ボルトで固定された架台の上に駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトで設置されており，地震時に有意な荷重がかかる構造となっていることから，基礎ボルトを動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違
② 支持脚部の評価 支持脚部については，スクリュー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく，高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。 このため，取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため，取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。	No.Ⅱ：支持脚 支持脚については，スクリュー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく，高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。 そのため，取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位となることから，取付ボルト及び基礎ボルトを支持脚の評価として代替する。	No.Ⅱ：支持脚 支持脚については，スクリュー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく，高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。 そのため，取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位となることから，取付ボルト及び基礎ボルトを支持脚の評価として代替する。	
③ 摺動部の評価 摺動部の損傷の観点より，遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に，スクリュー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。 スクリュー式ポンプのスクリュー部は，構造が非常に剛であり，地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また，スリーブ部については，ケーシング部に設置されている。	No.Ⅲ：摺動部 摺動部の損傷の観点から，遠心式ポンプの検討において，ケーシングがローターと接触して損傷するライナーリング部（摺動部）の評価を行うのと同様に，スクリュー式ポンプにおいても摺動部の検討を行い，動的機能維持評価の基本評価項目として以下のとおり選定する。 スクリュー式ポンプの摺動部であるスクリュー部は構造が非常に剛であり，地震応答増幅が小さく，動的機能評価上重要な部分の地震荷重は通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また，スリーブ部については，剛性の高いケーシング部に設置されており，有意な変形が生じることはない。	No.Ⅲ：摺動部 摺動部の損傷の観点から，遠心式ポンプの検討において，ケーシングがローターと接触して損傷するライナーリング部(摺動部)の評価を行うのと同様に，スクリュー式ポンプにおいても摺動部の検討を行い，動的機能維持評価の基本評価項目として以下のとおり選定する。 スクリュー式ポンプの摺動部であるスクリュー部は剛性が高く，地震応答増幅が小さいため，動的機能評価上重要な部分の地震荷重は通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また，スリーブ部については，剛性の高いケーシング部に設置されており，有意な変形が生じることはない。	

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
主ねじ又は従ねじについては，損傷によってスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため，動的機能維持の評価項目として選定する。 ④ 軸系の評価 スクリュー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり，一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが，軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。 このため，スクリュー式ポンプにおいても，遠心式ポンプと同様に，軸損傷が発生しないことを確認するため，軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。	スクリュー部を構成する主ねじ又は従ねじについては，損傷によってスリーブと接触することで，回転機能及び移送機能が喪失に至ることが考えられるため，摺動部を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。 No.Ⅳ：軸系 スクリュー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり，遠心式ポンプは一軸構造，ギヤ式ポンプは主軸及び従動軸からなる二軸構造となっている。各ポンプによって軸構造は異なるが，軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。 そのため，軸損傷が発生しないことを確認するために，軸系を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。 No.Ⅴ：逃がし弁フランジ部（漏えい防止） 逃がし弁フランジ部については，地震によりポンプケーシングの応答が増大すると，フランジ部に変形が生じて内部流体の漏えいに至り，ポンプとしての機能に影響を与えることから，逃がし弁フランジ部（漏えい防止）を動的機能維持の基本評価項目として選定し，フランジ部の構造評価を実施する。 No.Ⅵ：逃がし弁（移送機能） スクリュー式ポンプは，ギヤ式ポンプと同様に逃がし弁が設置されており，誤作動すれば移送機能に影響を与えることから，逃がし弁（移送機能）を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。評価においては，弁に作用する最大加速度が，安全弁の機能維持確認済加速度以下であることを確認する。 No.Ⅶ：メカニカルシール メカニカルシールは，高い剛性を有するケーシングに固定されており，地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し，軸は地震時でも軸受で支持されており，有意な変位は生じることはなく，軸封部との接触は生じないため，メカニカルシールは動的機能維持評価の対象外とする。	スクリュー部を構成する主ねじ又は従ねじについては，損傷によってスリーブと接触することで，回転機能及び移送機能が喪失に至ることが考えられるため，摺動部を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。 No.Ⅳ：軸系 スクリュー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり，遠心式ポンプは一軸構造，ギヤ式ポンプは主軸及び従動軸からなる二軸構造となっている。各ポンプによって軸構造は異なるが，軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。 そのため，軸損傷が発生しないことを確認するために，軸系を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。 No.Ⅴ：逃がし弁フランジ部（漏えい防止） 逃がし弁フランジ部については，地震によりポンプケーシングの応答が増大すると，フランジ部に変形が生じて内部流体の漏えいに至り，ポンプとしての機能に影響を与えることから，逃がし弁フランジ部(漏えい防止)を動的機能維持の基本評価項目として選定し，フランジ部の構造評価を実施する。 No.Ⅵ:逃がし弁（移送機能） スクリュー式ポンプは，ギヤ式ポンプと同様に逃がし弁が設置されており，誤作動すれば移送機能に影響を与えることから，逃がし弁(移送機能)を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。評価においては，弁に作用する最大加速度が，安全弁の機能確認済加速度以下であることを確認する。 No.Ⅶ：メカニカルシール メカニカルシールは，高い剛性を有するケーシングに固定されており，地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し，軸は地震時でも軸受で支持されており，有意な変位は生じることはなく，軸封部との接触は生じないため，メカニカルシールは動的機能維持評価の対象外とする。	
⑥ 逃がし弁の評価 逃がし弁はばね式であり，フランジ部の構造評価に対する確認も含め，弁に作用する最大加速度が，安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。 ⑦ メカニカルシール メカニカルシールは，高い剛性を有するケーシングに固定されており，地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し，軸は地震時でも軸受で支持されており，有意な変位は生じることはなく，軸封部との接触は生じないため，計算書の対象外とする。			

東海第二発電所（2018.9.18版）	女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
⑧ 軸受の評価 ポンプにおいて，軸受の役割は回転機能の保持であり，その役割はスクリュー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより，ポンプの機能喪失につながるため，動的機能維持の評価項目として選定する。また，評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。	No.Ⅷ：軸受 ポンプにおける軸受の役割は回転機能の保持であり，その役割はスクリュー式ポンプも参考とする遠心式及びギヤ式ポンプも同じである。軸受が損傷すると，ポンプの機能喪失につながることから，軸受は動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。また，評価においては発生する荷重として，スラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。	No.Ⅷ：軸受 ポンプにおける軸受の役割は回転機能の保持であり，その役割はスクリュー式ポンプと参考とする遠心式及びギヤ式ポンプで同じである。軸受が損傷すると，ポンプの機能喪失につながることから，軸受は動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。また，評価においては発生する荷重として，スラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。	
⑨ 電動機の評価 スクリュー式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり，耐特委（ＪＥＡＧ4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから，動的機能維持済加速度との比較により評価を行う。	No.Ⅸ：電動機 スクリュー式ポンプの電動機は，横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり，その構造は耐特委（JEAG4601）で検討されている横形ころがり軸受電動機の適用範囲内である。 そのため，電動機を動的機能維持評価の基本評価項目として選定し，機能維持確認済加速度との比較により評価を行う。	No.Ⅸ:電動機 スクリュー式ポンプの電動機は，横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり，その構造は耐特委（ＪＥＡＧ４６０１）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内である。 そのため，電動機を動的機能維持評価の基本評価項目として選定し，機能確認済加速度との比較により評価を行う。	
⑩ 軸継手の評価 スクリュー式ポンプは，遠心式ポンプと同様に，軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから，軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため，計算書の評価対象外とする。	No.Ⅹ：軸継手 スクリュー式ポンプは遠心式及びギヤ式ポンプと同様に，軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用しており，軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しない構造となっている。 よって，軸継手は動的機能維持評価の対象外とする。	No.Ⅹ:軸継手 スクリュー式ポンプは遠心式及びギヤ式ポンプと同様に，軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用しており，軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しない構造となっている。 よって，軸継手は動的機能維持評価の対象外とする。	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違
⑪ ケーシングノズルの評価 スクリュー式ポンプのケーシングノズル部は，遠心式ポンプと同様に，ポンプケーシングと配管の接続部であるが，ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで，ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため，計算書の評価対象外とする。	No.XI：ケーシングノズル スクリュー式ポンプのケーシングノズル部は，遠心式及びギヤ式ポンプと同様に，ポンプケーシングと配管の接続部であるが，ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで，ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないようにすることが可能である。 よって，ケーシングノズルは動的機能維持評価の対象外とする。	No.Ⅺ:ケーシングノズル スクリュー式ポンプのケーシングノズル部は，遠心式及びギヤ式ポンプと同様に，ポンプケーシングと配管の接続部であるが，ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで，ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないようにすることが可能である。 よって，ケーシングノズルは動的機能維持評価の対象外とする。	・対象設備の相違 【東海第二】 ④の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
以上から，スクリュー式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下の通りである。 ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価 ・摺動部（軸系）の評価 ・軸系としてねじの評価 ・逃がし弁の評価 ・軸受の評価 ・電動機の評価 (b) ギヤ式ポンプの評価項目の検討 ギヤ式ポンプの要因分析結果について，耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果，ギヤ式ポンプの評価項目は，遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり，遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え，構造の差異により抽出されたギヤ式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお，構造の差異として抽出された評価項目は下記の通りである。 ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくギヤ式ポンプのみで抽出） ・摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが，構成部品が異なる。） ・メカニカルシール（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）			
・軸冷却水配管（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出） 耐特委で検討された遠心式ポンプは，大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから，軸受の冷却が必要となる。このため，地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため，軸冷却水配管を評価項目として抽出している。 一方でスクリュー式ポンプの標準設計として，軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが，スクリュー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため，軸冷却水配管は設置されていない。	No.XII：軸冷却水配管 耐特委で検討された遠心式ポンプは大型のポンプであり，軸受としてすべり軸受を採用していることから，軸受の冷却が必要となる。このため，地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため，基本評価項目としている。 一方，スクリュー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため，軸冷却水配管は有していないことから，軸冷却水配管は動的機能維持評価の対象外とする。	No.Ⅻ：軸冷却水配管 耐特委で検討された遠心式ポンプは大型のポンプであり，軸受としてすべり軸受を採用していることから，軸受の冷却が必要となる。このため，地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため，基本評価項目としている。 一方，スクリュー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため，軸冷却水配管は有していないことから，軸冷却水配管は動的機能維持評価の対象外とする。	

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考
また，ギヤ式ポンプは軸封部の標準設計としてオイルシールを採用している（第 10 図参照）。オイルシールはケーシングと軸受（ブッシング）で形成される隙間部に挿入される形態で取り付けられており，オイルシールとブッシングの間には隙間がある構造であるため，地震荷重は軸受（ブッシング）を通してケーシングに伝達されることから，ケーシングと軸受（ブッシング）が健全であれば，オイルシールが損傷することはないことから，地震時異常要因分析による評価項目に選定されていない。  設計進捗により構造変更の可能性有り。 第 10 図　ギヤ式ポンプの標準的な構造概要図			・設備構成の相違 【東海第二】 ⑤の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価 ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に，基礎ボルトで固定された架台の上に，駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており，地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。 ②③④ 摺動部の評価 摺動部の損傷の観点より，遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に，ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。 ギヤ式ポンプのギヤ部は，構造が非常に剛であり，地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また，ケーシングについては，横形ポンプと同様に耐圧構造であり，使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。 主軸又は従動軸については，損傷によってギヤがケーシングと接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は，従動軸の重量に比べ大きく，軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため，評価項目は，主軸（ギヤ部）を対象として行う。 ② 主軸の評価 ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり，一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが，主軸の重量は，従動軸に比べ大きく，軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため，主軸の健全性確認を行うことによって，一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため，ギヤ式ポンプにおいても，遠心式ポンプと同様に，軸損傷が発生しないことを確認するため，主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。 ⑤ 軸受の評価 ポンプにおいて，軸受の役割は「回転機能の保持」であり，その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。 当該軸受が損傷することにより，ポンプの機能喪失につながるため，動的機能維持の評価項目として選定する。また，評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。			・設備構成の相違 【東海第二】 ⑤の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
なお，遠心式ポンプは「ころがり軸受」を用いており，「回転機能の保持」という役割を果たすために，ベアリング内外輪間に鋼球を装備した回転機構を有する構造となっている。 一方，ギヤ式ポンプは「ブッシング」を用いており，「ころがり軸受」と同様に「回転機能の保持」という役割を果たすために，軸とブッシング間に形成された油膜によるスベリ支持を有する構造となっている。 ⑥ 電動機の評価 ギヤ式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり，耐特委（ＪＥＡＧ4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから，動的機能維持済加速度との比較により評価を行う。 ⑦ 軸継手の評価 ギヤ式ポンプは，遠心式ポンプと同様に，軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから，軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため，計算書の評価対象外とする。 ⑧ ケーシングノズルの評価 ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は，遠心式ポンプと同様に，機器と配管の接続部であるが，ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで，ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため，計算書の評価対象外とする。 ⑨ 逃がし弁の評価 逃がし弁はばね式であるため，弁に作用する最大加速度が，安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。 以上から，ギヤ式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下の通りである。 ・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価 ・主軸（ギヤ部）の評価 ・主軸の評価 ・軸受の評価 ・電動機の評価 ・逃がし弁の評価			・設備構成の相違 【東海第二】 ⑤の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(3)　まとめ 新たな検討が必要な設備について，地震時要因分析を行い，基本的な機構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い，評価項目の抽出を行った。 また，耐特委における遠心式ポンプの評価項目に対して，スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，一部構造の異なる部位があるが，これら部位に対する評価方法については，耐特委で検討された遠心式ポンプにおける評価手法と同様であること，既往の評価方法を踏まえて実施が可能であることから，耐特委の検討をもとに参考とする遠心式ポンプをベースとした評価は可能であると考える。	4.7 まとめ 女川２号炉における規格適用外の動的機能維持が必要な設備のうち，新たな検討が必要な設備であるスクリュー式ポンプについて，基本的な構造が類似している耐特委での遠心式ポンプ及び電共研でのギヤ式ポンプにおける検討結果を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い，動的機能維持を確認するための基本評価項目の抽出を行った。 その結果，スクリュー式ポンプの基本評価項目は，参考とした遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプとの構造の違いにより一部の評価項目は異なるが，ほぼ同様となった。また，参考とするポンプとの構造及び評価項目の差異を踏まえ，基本評価項目について，女川２号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目についての検討した結果，評価項目が異なる部位に対する評価方法は同様であり，既往の評価手法を踏まえた詳細評価が可能であると考えられる。 以上の検討結果から，女川２号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目については，第 4.7-1 表のとおりに整理し，抽出された基本評価項目に対して，耐震計算を実施する。	4.2.6　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価項目の検討結果 島根２号炉における規格適用外の動的機能維持が必要な設備のうち，新たな検討が必要な設備であるスクリュー式ポンプについて，基本的な構造が類似している耐特委での遠心式ポンプ及び電共研でのギヤ式ポンプにおける検討結果を参考に，形式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い，動的機能維持を確認するための基本評価項目の抽出を行った。 その結果，スクリュー式ポンプの基本評価項目は，参考とした遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプとの構造の違いにより一部の評価項目は異なるが，ほぼ同様となった。また，参考とするポンプとの構造及び評価項目の差異を踏まえ，基本評価項目について，島根２号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目について検討した結果，評価項目が異なる部位に対する評価方法は同様であり，既往の評価手法を踏まえた詳細評価が可能であると考えられる。 以上の検討結果から，島根２号炉のスクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目については，第 4.2.6－1 表のとおりに整理し，抽出された基本評価項目に対して，耐震計算を実施する。	

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考

第 4.7-1 表　女川 2 号炉のスクリュー式ポンプにおける
動的機能維持評価の基本評価項目の検討結果

○：評価対象（計算書対象），－：対象外

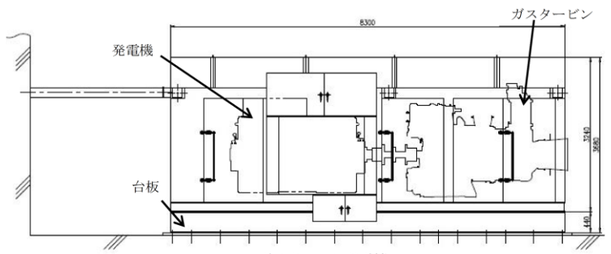
No.	既往知見における基本評価項目	スクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目	主な理由
Ⅰ	基礎ボルト（取付ボルト含む）	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅱ	支持脚	—	基礎ボルトにて代替評価
Ⅲ	摺動部	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅳ	軸系	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅴ	逃がし弁フランジ部（漏えい防止）	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅵ	逃がし弁本体（移送機能）	○	誤動作によりポンプ機能喪失
Ⅶ	メカニカルシール	—	地震により損傷しないため評価不要
Ⅷ	軸受	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅸ	電動機	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅹ	軸継手	—	地震により損傷しないため評価不要
Ⅺ	ケーシングノズル	—	配管設計により対応可能なため評価不要
Ⅻ	軸冷却水配管		構造上，存在しないため評価不要

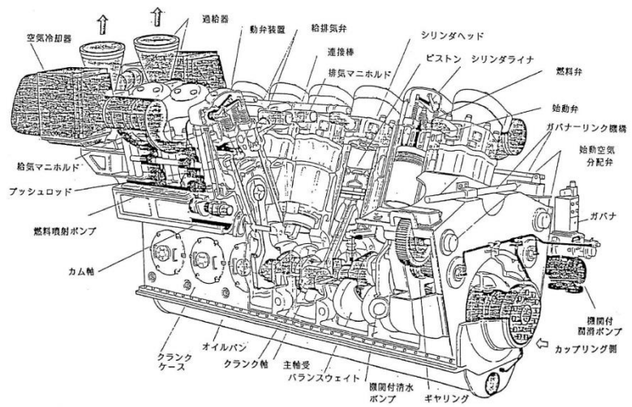
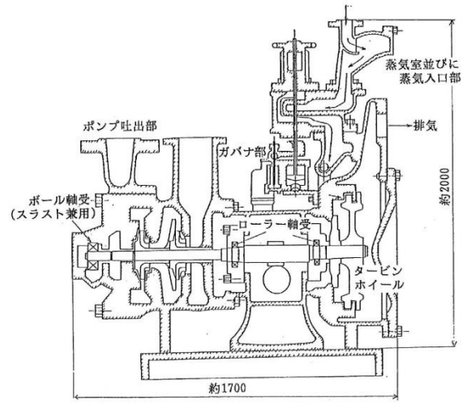
第 4.2.6－1 表　島根 2 号炉のスクリュー式ポンプにおける
動的機能維持評価の基本評価項目の検討結果

○：評価対象（計算書対象），－：対象外

No.	既往知見における基本評価項目	スクリュー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目	主な理由
Ⅰ	基礎ボルト（取付ボルト含む）	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅱ	支持脚	－	基礎ボルトにて代替評価
Ⅲ	摺動部	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅳ	軸系	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅴ	逃がし弁フランジ部（漏えい防止）	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅵ	逃がし弁（移送機能）	○	誤動作によりポンプ機能喪失
Ⅶ	メカニカルシール	－	地震により損傷しないため評価不要
Ⅷ	軸受	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅸ	電動機	○	損傷によりポンプ機能喪失
Ⅹ	軸継手	－	地震により損傷しないため評価不要
Ⅺ	ケーシングノズル	－	配管設計により対応可能なため評価不要
Ⅻ	軸冷却水配管		構造上，存在しないため評価不要

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.3　ガスタービン発電機に対する検討 4.3.1　検討対象設備の概要 ガスタービン発電機は，その作動原理・構造から異常要因分析や基本評価項目の抽出が可能であり，分析や項目の抽出において参考とする類似機器の検討事例があることから，解析による評価を実施する。地震時異常要因分析を検討するに当たり，第 4.3.1－1 表に新たな検討が必要な設備及び参考とする機種／形式を示すとともに，第 4.3.1－1 図，第 4.3.1－2 図及び第 4.3.1－3 図に今回工認において新たな検討が必要な設備として抽出されたガスタービン発電機，参考とする耐特委で検討された非常用ディーゼル発電機及びポンプ駆動用タービンの構造概要図を示す。 ガスタービン発電機は第 4.3.1－1 図に示すように，同一の台板上にガスタービンと発電機が据え付けられた構造となっている。ガスタービンと発電機は，軸継手によって連結されており，ガスタービンによって出力軸を回転させ，軸継手を介して発電機回転子を回転させて発電を行っている。ガスタービン発電機には，運転に必要な空気の取り込み，排出を行うために，伸縮継手を介して専用のダクト（吸排気設備）を設けている。 第 4.3.1－1 表　新たな検討が必要な設備において参考とする機種／形式 <table><tr><th colspan="2">新たな検討が必要な設備</th><th rowspan="2">参考とする 機種／形式</th></tr><tr><th>設備名</th><th>機種／形式</th></tr><tr><td rowspan="2">ガスタービン発電機</td><td rowspan="2">ガスタービン発電機 ／機関本体</td><td>非常用ディーゼル発電機／機関本体</td></tr><tr><td>ポンプ駆動用タービン／ＡＦＷＰ用</td></tr></table>	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

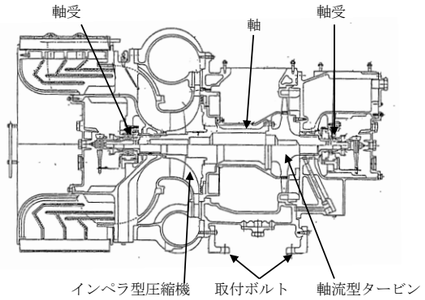
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 ガスタービン発電機 ガスタービン ガスタービン機関 第 4.3.1－1 図　ガスタービン発電機構造概要図	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

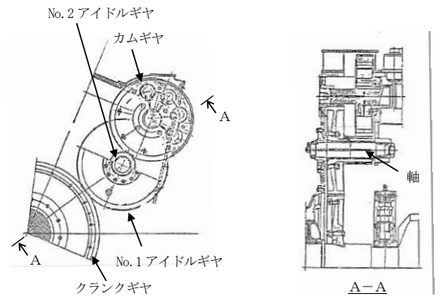
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 4.3.1－2 図　非常用ディーゼル発電機構造概要図  第 4.3.1－3 図　ポンプ駆動用タービン（ＡＦＷＰ用）構造概要図	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

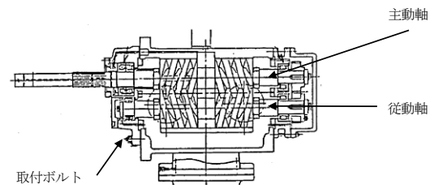
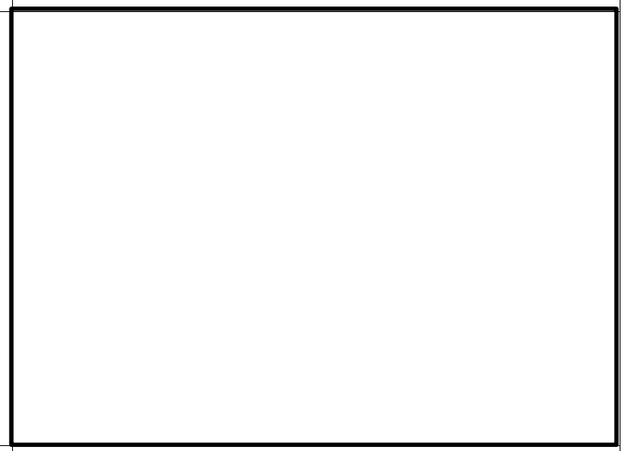
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		ガスタービン発電機の動的機能維持評価において参考とする非常用ディーゼル発電機及びポンプ駆動用タービンについて，ガスタービンとの類似性を以下に示す。 (1)非常用ディーゼル発電機 非常用ディーゼル発電機とガスタービン発電機は機関の構造は異なるが，動力機関と発電機及び付帯設備からなる非常用発電機という点で類似な設備であり，系統構成が同等である。各構成設備においても，その機能・作動原理から類似といえる機器が存在する。以下に，類似性を有する構成機器及びその根拠を示す。 ａ．ガスタービン（機関） 非常用ディーゼル発電機の過給機と以下の点において類似性を有する。 非常用ディーゼル発電機の過給機とガスタービン（機関）の構造比較を第 4.3.1－4 図に示す。非常用ディーゼル発電機の過給機とガスタービン（機関）は，共に昇圧した燃焼用空気を機関に送気する機能を有したターボ機械である。過給機は，燃焼後の排気ガスにて動力を得るための軸流型タービンと燃焼用空気を過給するためのインペラ型圧縮機を一軸上に配した回転軸を２つの軸受で支持した構造である。一方，ガスタービン（機関）も圧縮機とタービンを一軸上の回転軸に配し両端の軸受で支持した構造である。 共に高速で回転する回転軸が支持している軸受を介してケーシング内に内包された構造であり，このケーシングを本体取付面にボルト結合されている点で類似の構造である。また，共に回転軸は常用の回転速度において固有振動数が危険速度と一致しないように離調されており，この軸振動特性を確保するために回転軸のみならず軸受及びこれを支えるケーシングに対しても変形を抑制する高い剛性が要求されている。このように，機関全体が高い剛性を有しており，振動特性の観点からも両者は類似している。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		ｂ．ガスタービン（減速機） 非常用ディーゼル発電機のギヤリングと以下の点において類似性を有する。 非常用ディーゼル発電機のギヤリングとガスタービン（減速機）の構造比較を第 4.3.1－5 図に示す。非常用ディーゼル発電機のギヤリングは，クランクの回転より得た動力をクランクギヤ，アイドルギヤ，及びカムギヤ等で構成された歯車機構を介して燃料噴射系及び排気動弁系の機器を駆動させるカムへ伝達する機能を有している。一方，ガスタービン（減速機）も遊星歯車等の歯車で構成された歯車機構を介してガスタービン（機関）主軸より得た動力を適切な回転速度に減速調整して出力軸より発電機へ伝達する機能を有しており，類似の動力伝達の機能を有した機器である。また，共に回転する歯車軸が軸受を介してケーシング内に内包された構造であり，このケーシングを台板にボルト結合されている点で類似の構造を有している。 また，動力伝達時に歯車同士が噛み合うことで生じる反力を歯車軸で受けながら円滑な回転を確保するために，歯車軸をはじめ，軸受及びこれを支えるケーシングに対しても変形を抑制する高い剛性が要求されている。このように，機関全体が高い剛性を有しており，振動特性の観点からも類似性を有している。 ｃ．ガスタービン付きポンプ（主燃料油ポンプ，潤滑油ポンプ） 非常用ディーゼル発電機の潤滑油ポンプと以下の点において類似性を有する。 非常用ディーゼル発電機の潤滑油ポンプとガスタービン付きポンプ（主燃料油ポンプ，潤滑油ポンプ）の構造比較を第 4.3.1－6 図に示す。非常用ディーゼル発電機の潤滑油ポンプは，機関各部へ潤滑油を供給するため，機関本体に付属して回転するクランク軸（クランクギヤ）より歯車を介して動力を得る回転式ポンプである。一方，ガスタービン付きポンプ（主燃料油ポンプ，潤滑油ポンプ）も機関各部へ燃料油や潤滑油を供給するため，ガスタービン（減速機）に付属して回転する減速機軸より動力を得る回転式ポンプであり，共に主機関より動力を得て流体を輸送するポンプ機能を有する点で類似している。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

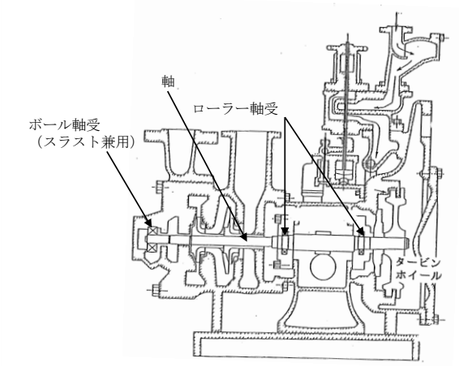
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		また，共に流体を押し出す回転部品とケーシングで構成された単純な構造の機器であり，主機関にボルト結合された支持構造であることから，振動特性の観点からも類似性を有している。 ｄ．燃料制御装置（燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ，燃料供給電磁弁） 非常用ディーゼル発電機のガバナ及びオーバースピードトリップ装置と以下の点において類似性を有する。 非常用ディーゼル発電機のガバナは，ディーゼル機関の回転数を一定に保つために，燃料流量を制御しており，機構は異なるものの同様に回転数を一定に保つために燃料流量制御を行うガスタービンの燃料制御装置と機能面で類似性を有している。 また，非常用ディーゼル発電機のオーバースピードトリップ装置とガスタービン発電機の燃料供給電磁弁は，共に過速度トリップ機能として燃料供給制御を行う点で類似性を有している。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

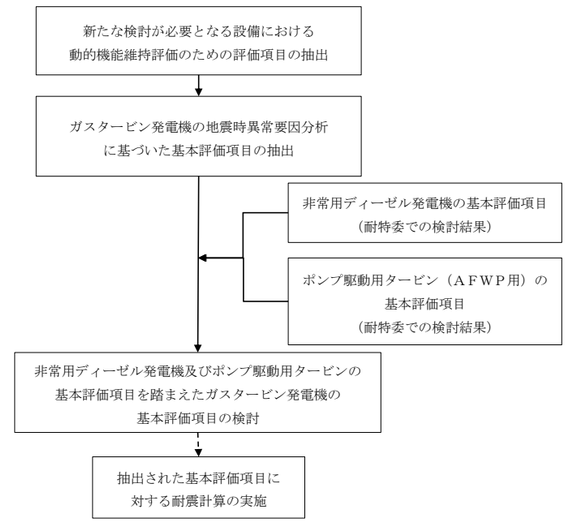
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		非常用ディーゼル発電機の過給機  ガスタービン（機関） 類似点 ・燃焼用空気を機関に送気する機能を有したターボ機械である。 ・圧縮機とタービンを一軸上の回転軸に配置し両端の軸受で支持した構造である。 ・回転軸がケーシング内に内包されており，ケーシングがボルト結合されている。 ・機関全体が高い剛性を有している。 第 4.3.1－4 図　非常用ディーゼル発電機の過給機とガスタービン（機関）の比較	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		非常用ディーゼル発電機のギヤリング  ガスタービン（減速機）  類似点 ・歯車機構を介して動力を伝達する機能を有する。 ・歯車軸がケーシング内に内包されており，ケーシングがボルト結合されている。 ・機器全体が高い剛性を有している。 第 4.3.1－5 図　非常用ディーゼル発電機のギヤリングとガスタービン（減速機）の比較	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

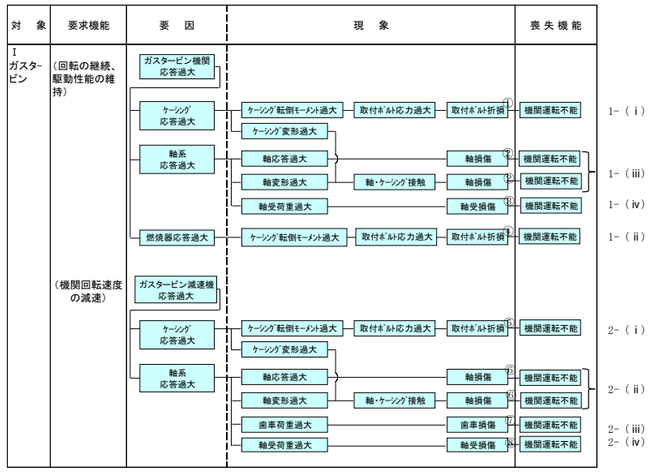
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		非常用ディーゼル発電機の潤滑油ポンプ  ガスタービン付きポンプ（主燃料油ポンプ・潤滑油ポンプ）  類似点 ・主機関より動力を得て流体を輸送するポンプ機能を有する。 ・流体を押し出す回転部品とケーシングで構成された単純な構造の機器である。 ・主機関にボルト結合されている。 第 4.3.1－6 図　非常用ディーゼル発電機の潤滑油ポンプとガスタービン付きポンプ（主燃料油ポンプ，潤滑油ポンプ）の比較	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

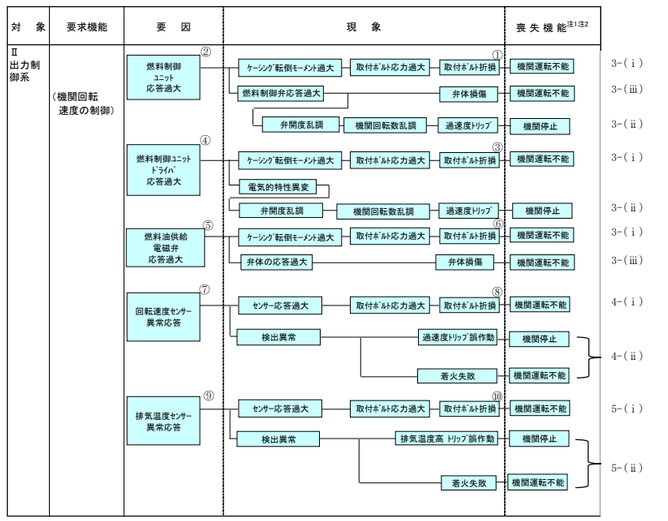
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		(2)ポンプ駆動用タービン ポンプ駆動用タービンとガスタービン発電機は，以下の点で類似性を有するターボ機械である。 ポンプ駆動用タービンとガスタービン（機関）の構造比較を第4.3.1－7 図に示す。ポンプ駆動用タービンは，駆動用蒸気を動力とする軸流型タービンとポンプタービンを一軸上に配した回転軸を複数の軸受で支持した構造である。一方，ガスタービン（機関）も，圧縮機とタービンからなる一軸の回転軸を両端の軸受で支持した構造である。共に高速で回転する回転軸を支持する軸受を介してケーシング内に内包した構造であり，このケーシングを本体取付面にボルト結合している点で類似の構造を有している。 また，共に回転軸は常用の回転速度において固有振動数が危険速度と一致しないように離調されており，この軸振動特性を確保するために回転軸のみならず軸受，及びこれを支えるケーシングに対しても変形を抑制する高い剛性が要求されている。このように，回転軸及び関連部位が高い剛性を有しており，振動特性の観点からも両者は類似している。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

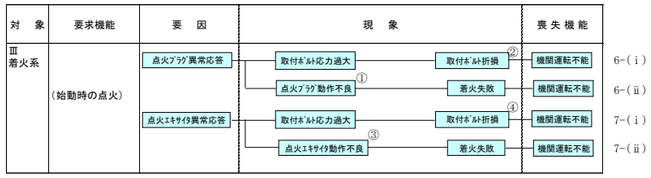
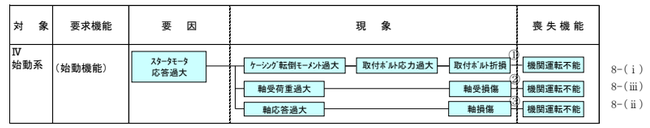
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 ポンプ駆動用タービン ガスタービン（機関） 類似点 ・タービンにより高速で回転する回転軸を有する。 ・回転軸がケーシング内に内包されており，ケーシングがボルト結合されている。 ・回転軸及び関連部位が高い剛性を有する。 第 4.3.1－7 図　ポンプ駆動用タービンとガスタービン（機関）の比較	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

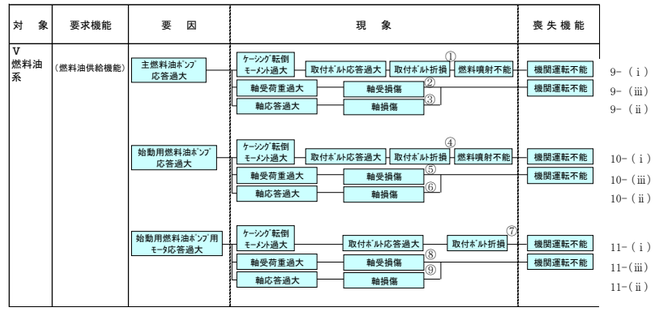
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.3.2　ガスタービン発電機の動的機能維持評価項目の抽出 新たな検討が必要な設備であるガスタービン発電機の動的機能維持評価の評価項目については，耐特委で検討された非常用ディーゼル機関及びポンプ駆動用タービンに対する地震時異常要因分析による基本評価項目を踏まえた検討を行う。 ガスタービン発電機における動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フローを第 4.3.2-1 図に示す。  第 4.3.2－1 図　ガスタービン発電機における 動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フロー	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

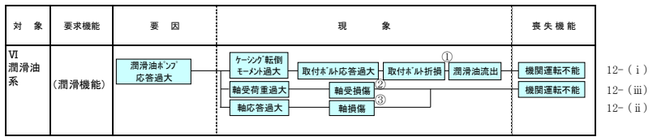
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		ガスタービン発電機の動的機能維持を評価する上で，ガスタービン及びガスタービン付き機器を対象に評価項目を検討した。 第 4.3.1－1 図に示すガスタービン発電機のうち，台板等の構造物は動作を要求される機器ではないため，本検討の対象外とした。また，ガスタービン発電機の関連設備として，非常用ディーゼル発電機における吸排気設備やデイタンク等と同様に付帯設備として設置される設備も存在するが，既往の非常用ディーゼル発電機にて評価手法が確立されているため，本検討の対象外とした。発電機については，非常用ディーゼル発電機における発電機の評価と同様に，基本構造が同一である電動機における機能確認済加速度との比較により動的機能維持評価を行う。なお，ガスタービンと発電機は，軸継手により連結しているが，それぞれの軸は機器両端の軸受で支持されており，軸継手には変位吸収が可能なダイヤフラムカップリングを用いて，軸端の応答が互いに影響を及ばさない構造となっているため，機器は個別に評価が可能である。 ガスタービン発電機の異常要因分析図を第 4.3.2－2 図～第 4.3.2－7 図に示す。要因分析図に基づき抽出されるガスタービンの基本評価項目は，第 4.3.2－1 表のとおりである。なお，ガスタービンの異常要因分析は以下の区分に分類し実施した。 ＜異常要因分析の検討区分＞ Ⅰ ガスタービン（機関，減速機） Ⅱ 出力制御系 Ⅲ 着火系 Ⅳ 始動系 Ⅴ 燃料油系 Ⅵ 潤滑油系 なお，ガスタービン（機関）等の軸応答過大による軸損傷は，次の理由により基本評価項目から除外した。 軸損傷は軸部のケーシングへの接触や破断がその対象となる。いずれも軸に作用する外力によって軸の変形を伴う事象であるが，構造的な特徴として破断に至る前に軸とケーシングが接触する。よって，軸の破断に対する強度評価は軸とケーシングとのクリアランスを評価することで包絡可能である。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考
		 第 4.3.2－2 図　異常要因分析図と構造図（ガスタービン）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考
		 注1　機関運転不能：構成機器の損傷や動作不良により運転が不能となる 注2　機関停止：誤信号によるトリップにより運転が停止する（損傷に至らない） 第 4.3.2－3 図　異常要因分析図と構造図（出力制御系）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 4.3.2－4 図　異常要因分析図と構造図（着火系）  第 4.3.2－5 図　異常要因分析図と構造図（始動系）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 4.3.2－6 図　異常要因分析図と構造図（燃料油系）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 4.3.2－7 図　異常要因分析図と構造図（潤滑油系）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.2－1 表　ガスタービン発電機の異常要因分析図から抽出した基本評価項目(1/5)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	異常要因
1-（ⅰ）	ケーシング取付ボルト	ガスタービン（機関）の地震応答が過大となると，転倒モーメントによるガスタービン（機関）の取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，機関ケーシング部が脱落し，回転の継続及び駆動性能の維持機能を喪失する。
1-（ⅱ）	燃焼器取付ボルト	燃焼器の地震応答が過大となると，転倒モーメントによる取付ボルトの応力が過大となり損傷に至る。その結果，燃焼器が脱落し，燃焼ガスを保持できなくなり機関の回転の継続及び駆動性能の維持機能を喪失する。
1-（ⅲ）	ガスタービン機関摺動部（軸とケーシングとのクリアランス）	ガスタービン（機関）の地震応答が過大となると，回転軸の応答が過大となり，軸部の変形によりケーシングに付随する静止部と接触する。その結果，軸部が損傷に至り，回転の継続及び駆動性能の維持機能を喪失する。なお，クリアランスを形成する静止部は軸よりも外径側にあり，かつ耐圧構造で剛性の高いケーシングに固定されているため，その変形量は軽微となる。よって，変形量の評価は軸のみを対象とする。
1-（ⅳ）	ガスタービン機関軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することにより回転の継続及び駆動性能の維持機能が喪失する。
2-（ⅰ）	減速機取付ボルト	ガスタービン全体系の地震応答が過大となると，転倒モーメントによる減速機取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，全体系が転倒することで機関回転速度の減速機能を喪失する。
2-（ⅱ）	減速機摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	ガスタービン全体系の地震応答が過大となると，回転体である歯車の応答が過大となり，歯車軸部の変形によりケーシングと接触する。その結果，軸が損傷に至り，機関回転速度の減速機能を喪失する。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.2－1 表　ガスタービン発電機の異常要因分析図から抽出した基本評価項目(2/5)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	異常要因
2-(ⅲ)	減速機歯車	減速機軸系の地震応答が過大となると，減速機歯車荷重が過大となる。その結果，歯車が損傷することで機関回転速度の減速機能を喪失する。
2-(ⅳ)	減速機軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することにより機関回転速度の減速機能を喪失する。
3-(ⅰ)	燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ，燃料油供給電磁弁　取付ボルト	燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ，燃料油供給電磁弁の地震応答が過大となると，転倒モーメントによる取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，脱落することで機関回転速度の制御機能を喪失する。
3-(ⅱ)	燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ	燃料制御ユニットドライバの地震応答が過大となると，回路の電気的特性に異変が生じ，制御信号に乱れが生じる可能性がある。制御信号の乱れ又は燃料制御ユニットの燃料制御弁の過大応答により弁開度が乱調し，適切な燃料投入量が得られなくなることで，機関回転数の乱調に伴う過速度トリップによりガスタービンが停止する。
3-(ⅲ)	燃料制御ユニット，燃料油供給電磁弁　弁体	燃料制御ユニット，燃料油供給電磁弁の地震応答が過大となると，弁体の損傷に至り，機関回転速度の制御機能を喪失する。
4-(ⅰ)	回転速度センサー取付ボルト	回転速度センサーの地震応答が過大となると，転倒モーメントによる回転速度センサーの取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，回転速度センサーが脱落すると機関回転速度の制御機能を喪失する。
4-(ⅱ)	回転速度センサー	回転速度センサーの地震応答が過大となると，定格運転中は検出異常による過速度トリップの誤作動が発生し，ガスタービンが停止する可能性がある。また，始動中は燃料制御異常による着火失敗（機関回転速度の制御機能の喪失）に至る可能性がある。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.2－1 表　ガスタービン発電機の異常要因分析図から抽出した基本評価項目(3/5)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	異常要因
5-（ⅰ）	排気温度センサー取付ボルト	排気温度センサーの地震応答が過大となると，転倒モーメントによる排気温度センサーの取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，排気温度センサーが脱落することで，始動中の機関回転速度の制御機能を喪失する。
5-（ⅱ）	排気温度センサー	排気温度センサーの地震応答が過大となると，定格運転中は検出異常による排気温度高トリップの誤作動が発生し，ガスタービンが停止する可能性がある。また，始動中は燃料制御異常による着火失敗（機関回転速度の制御機能の喪失）に至る可能性がある。
6-（ⅰ）	点火プラグ取付ボルト	点火プラグの地震応答が過大となると，転倒モーメントによる点火プラグの取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，点火プラグが脱落することで始動時の点火機能を喪失し，着火失敗に至る。
6-（ⅱ）	点火プラグ	点火プラグの地震応答が過大となることで，始動時に電気的動作不良が発生すると，点火機能を喪失し，着火失敗に至る。
7-（ⅰ）	点火エキサイタ取付ボルト	点火エキサイタの地震応答が過大となることで，転倒モーメントによる点火エキサイタの取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，点火エキサイタが脱落することで始動時の点火機能を喪失する。
7-（ⅱ）	点火エキサイタ	点火エキサイタの地震応答が過大となることで，電気的動作不良が発生し，着火失敗に至る。その結果，始動時の点火機能を喪失する。
8-（ⅰ）	スタータモータ取付ボルト	スタータモータの地震応答が過大となることで，転倒モーメントによる取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，スタータモータが転倒することで始動機能を機能喪失する。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.2－1 表　ガスタービン発電機の異常要因分析図から抽出した基本評価項目(4/5)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

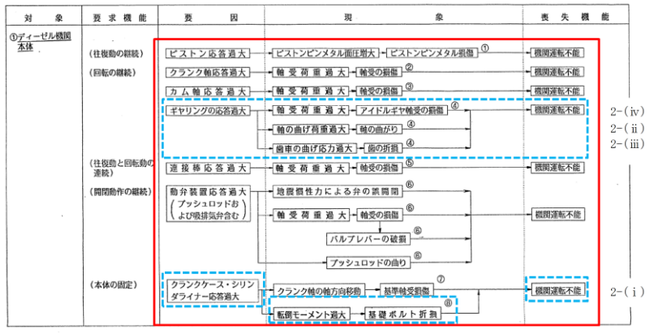
No.	基本評価項目	異常要因
8-(ⅱ)	スタータモータ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	スタータモータの地震応答が過大となることで，回転体である軸の応答が過大となり，軸部の変形によりケーシングと接触する。その結果，軸が損傷に至り，始動機能を喪失する。
8-(ⅲ)	スタータモータ軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することにより始動機能を喪失する。
9-(ⅰ)	主燃料油ポンプ取付ボルト	主燃料油ポンプの地震応答が過大となることで，転倒モーメントによる取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，ポンプが脱落することで燃料油供給機能を喪失する。
9-(ⅱ)	主燃料油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	主燃料油ポンプの地震応答が過大となることで，回転軸の応答が過大となり，軸部の変形によりケーシングと接触する。その結果，軸が損傷に至り，燃料油供給機能を喪失する。
9-(ⅲ)	主燃料油ポンプ軸受	主燃料油ポンプの軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで燃料油供給機能を喪失する。
10-(ⅰ)	始動用燃料油ポンプ取付ボルト	始動用燃料油ポンプの地震応答が過大となることで，転倒モーメントによる取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，ポンプが転倒することで燃料油供給機能を喪失する。
10-(ⅱ)	始動用燃料油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	始動用燃料油ポンプの地震応答が過大となることで，回転体軸の応答が過大となり，軸部の変形によりケーシングと接触する。その結果，軸が損傷に至り，燃料油供給機能を喪失する。
10-(ⅲ)	始動用燃料油ポンプ軸受	始動用燃料油ポンプの軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することにより燃料油供給機能を喪失する。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

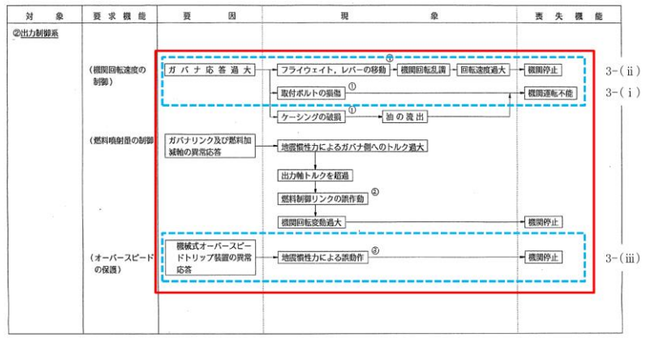
第 4.3.2－1 表　ガスタービン発電機の異常要因分析図から抽出した基本評価項目(5/5)

No.	基本評価項目	異常要因
11-（ⅰ）	始動用燃料油ポンプ用モータ取付ボルト	始動用燃料油ポンプ用モータの地震応答が過大となることで，転倒モーメントによる取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトが損傷に至り，転倒することでモータの回転機能を喪失し，燃料油供給機能を喪失する。
11-（ⅱ）	始動用燃料油ポンプ用モータ　摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	始動用燃料油ポンプ用モータの地震応答が過大となることで，回転軸の応答が過大となり，軸部の変形によりケーシングと接触する。その結果，軸が損傷に至り，モータの回転機能を喪失し，燃料油供給機能を喪失する。
11-（ⅲ）	始動用燃料油ポンプ用モータ　軸受	始動用燃料油ポンプ用モータの軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することによりモータの回転機能を喪失し，燃料油供給機能を喪失する。
12-（ⅰ）	潤滑油ポンプ取付ボルト	潤滑油ポンプの地震応答が過大となることで，転倒モーメントによる取付ボルトの応力が過大となる。その結果，取付ボルトの損傷に至り，ポンプが脱落することで，潤滑機能を喪失する。
12-（ⅱ）	潤滑油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	潤滑油ポンプの地震応答が過大となることで，回転軸の応答が過大となり，軸部の変形によりケーシングと接触する。その結果，軸が損傷に至り，潤滑機能を喪失する。
12-（ⅲ）	潤滑油ポンプ軸受	潤滑油ポンプの軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することにより潤滑機能を喪失する。

・新たな検討が必要な設備の相違
【東海第二，女川 2】
①の相違

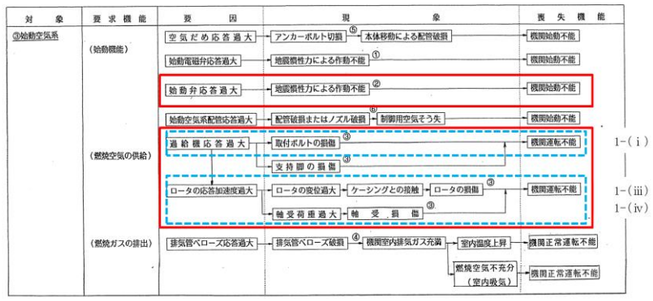
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.3.3　耐特委で検討された非常用ディーゼル発電機の地震時異常要因分析による基本評価項目 新たな検討が必要な設備として抽出されたガスタービン発電機の基本評価項目の検討において，公知化された検討として，参考とする耐特委での非常用ディーゼル発電機の地震時異常要因分析図を第 4.3.3－1 図～第 4.3.3－6 図に，地震時異常要因分析図から抽出される非常用ディーゼル発電機の基本評価項目とこれに対応するガスタービンにおける類似評価項目を第 4.3.3－1 表に示す。 ガスタービン発電機に属する機器のうち，非常用ディーゼル発電機と類似性を有する機器については，異常要因分析に基づいて抽出された評価項目においても類似性を有していることが確認できる。また，異常要因分析の考え方についても，非常用ディーゼル発電機での異常要因分析の手法に倣い，要求機能別の系統構成に分類した各機器の構造や作動原理から地震時に発生し得る異常現象を抽出した結果，ガスタービン発電機と非常用ディーゼル発電機の要因分析結果との類似性が確認できる。 以上より，ガスタービン発電機のうち，非常用ディーゼル発電機と類似性を有する評価項目が網羅的に抽出されていることが確認された。  ：非常用ディーゼル発電機のうち機関及び機関付き機器の項目 ：ガスタービンとの類似評価項目 第 4.3.3－1 図　非常用ディーゼル発電機の異常要因分析図（ディーゼル機関本体）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



：非常用ディーゼル発電機のうち機関及び機関付き機器の項目
：ガスタービンとの類似評価項目

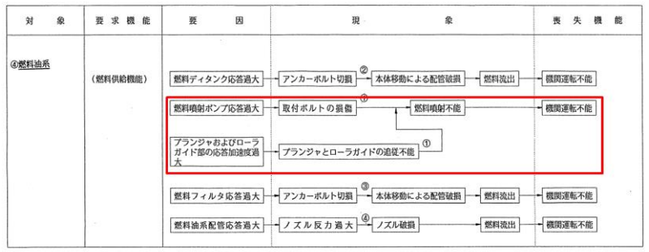
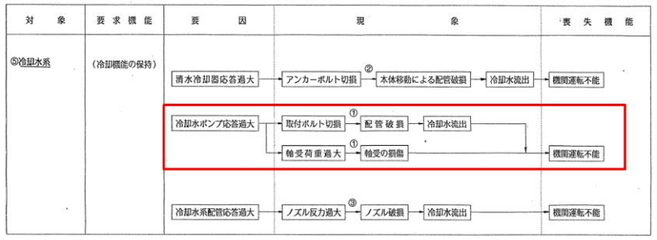
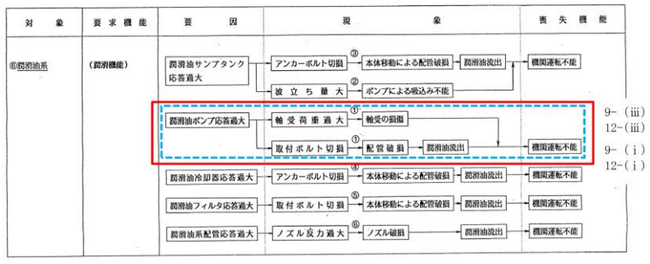
第 4.3.3－2 図　非常用ディーゼル発電機の異常要因分析図
（出力制御系）



：非常用ディーゼル発電機のうち機関及び機関付き機器の項目
：ガスタービンとの類似評価項目

第 4.3.3－3 図　非常用ディーゼル発電機の異常要因分析図
（始動空気及び吸排気系）

備考
・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 ：非常用ディーゼル発電機のうち機関及び機関付き機器の項目 ：ガスタービンとの類似評価項目 第 4.3.3－4 図　異常要因分析図（燃料油系）  ：非常用ディーゼル発電機のうち機関及び機関付き機器の項目 ：ガスタービンとの類似評価項目 第 4.3.3－5 図　非常用ディーゼル発電機の異常要因分析図（冷却水系）  ：非常用ディーゼル発電機のうち機関及び機関付き機器の項目 ：ガスタービンとの類似評価項目 第 4.3.3－6 図　非常用ディーゼル発電機の異常要因分析図（潤滑油系）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18版）	女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		第4.3.3－1表　非常用ディーゼル発電機とガスタービン発電機の評価項目比較（ディーゼル機関本体）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川2】 ①の相違

No.	非常用ディーゼル発電機			ガスタービン発電機で対応する評価項目	
	機器名称	異常要因分析 該当項目	評価項目	No.	評価項目
1	ピストン	ピストンピンメタル損傷	軸受強度	－	該当なし
2	クランク軸	軸受の損傷	軸受強度	－	該当なし
3	連接棒	軸受の損傷	軸受強度	－	該当なし
4	カム軸	軸受の損傷	軸受強度	－	該当なし
5	ギヤリング	アイドルギヤ軸受の損傷	軸受強度	2-(ⅳ)	ガスタービン（減速機）軸受
		軸の曲がり	軸の強度	2-(ⅱ)	ガスタービン（減速機）摺動部（軸とケーシングのクリアランス）
		歯の折損	歯車の強度	2-(ⅲ)	ガスタービン（減速機）歯車
6	動弁装置	バルブレバーの破損	軸受強度	－	該当なし
		ブッシュロッドの曲がり	ブッシュロッド強度	－	該当なし
		バルブレバーの破損	バルブレバーの強度	－	該当なし
		地震慣性力による弁の誤開閉	ブッシュロッド弁	－	該当なし
7	基準軸受	基準軸受損傷	軸受ハウジング強度	－	該当なし
			軸受強度	－	該当なし
8	機関本体	基礎ボルト折損	基礎ボルト強度	2-(ⅰ)	減速機取付ボルト

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

4.3.3－1表　非常用ディーゼル発電機とガスタービン発電機の評価項目比較（出力制御系）

No.	非常用ディーゼル発電機			ガスタービン発電機で対応する評価項目	
	機器名称	異常要因分析 該当項目	評価項目	No.	評価項目
9	ガバナ	フライウェイト，レバーの移動	ガバナの健全性評価（地震時の機能維持確認）	3－（ⅱ）	燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ
		取付ボルトの損傷		3－（ⅰ）	燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ，燃料油供給電磁弁 取付ボルト
		ケーシングの破損		－	該当なし
10	ガバナリンク及び燃料加減軸	燃料制御リンクの誤作動	地震時の抵抗	－	該当なし
			コントロールラック中での燃料加減軸のつかえ有無	－	該当なし
11	オーバースピードトリップ装置	地震慣性力による誤作動	誤作動の有無	3－（ⅲ）	燃料制御ユニット，燃料油供給電磁弁 弁体

・新たな検討が必要な設備の相違
【東海第二，女川 2】
①の相違

東海第二発電所（2018.9.18版）	女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		第4.3.3－1表　非常用ディーゼル発電機とガスタービン発電機の評価項目比較（始動空気系，燃料油系，冷却水系）	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川2】 ①の相違

No.	非常用ディーゼル発電機			ガスタービン発電機で対応する評価項目	
	機器名称	異常要因分析 該当項目	評価項目	No.	評価項目
始動空気系					
12	始動弁	地震慣性力による動作不能	弁棒の変形	－	該当なし
			弁棒の曲げ	－	該当なし
			弁の誤開閉	－	該当なし
13	過給機	取付ボルトの損傷	取付ボルトの強度	1-（ⅰ）	ケーシング取付ボルト
		支持脚の損傷	支持脚の強度	－	該当なし
		ロータの損傷	軸とケーシングのクリアランス（たわみ）	1-（ⅲ）	ガスタービン機関摺動部（軸とケーシングとのクリアランス）
		軸受損傷	軸受強度	1-（ⅳ）	ガスタービン機関軸受
燃料油系					
14	燃料噴射ポンプ	取付ボルトの損傷	取付ボルトの強度	－	該当なし
		プランジャとローラガイドの追従不能	押付け力評価	－	該当なし
冷却水系					
15	冷却水ポンプ	取付ボルト折損	取付ボルトの強度	－	該当なし
		軸受荷重過大	軸受強度	－	該当なし
			インペラとケーシングのクリアランス	－	該当なし

東海第二発電所（2018.9.18版）

女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）

島根原子力発電所　2号炉

備考

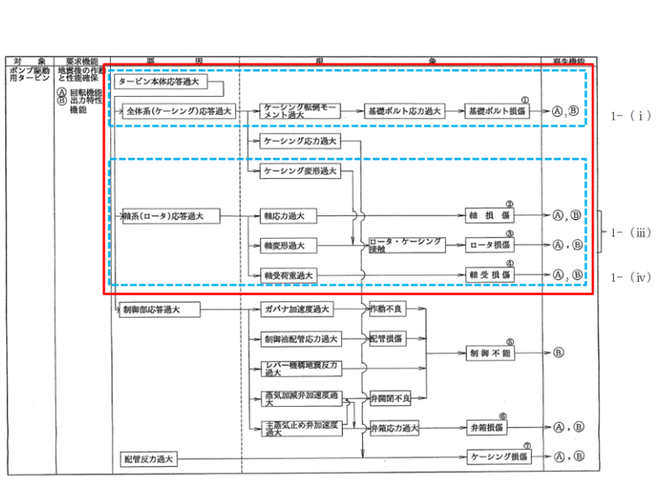
・新たな検討が必要な設備の相違

【東海第二，女川2】

①の相違

第4.3.3－1表　非常用ディーゼル発電機とガスタービン発電機の評価項目比較（潤滑油系）

No.	非常用ディーゼル発電機			ガスタービン発電機で対応する評価項目	
	機器名称	異常要因分析 該当項目	評価項目	No.	評価項目
潤滑油系					
16	潤滑油ポンプ	取付ボルト折損	取付ボルトの強度	9-(ⅰ)	主燃料油ポンプ取付ボルト
				12-(ⅰ)	潤滑油ポンプ取付ボルト
		軸受荷重過大	軸受強度	9-(ⅲ)	主燃料油ポンプ軸受
				12-(ⅲ)	潤滑油ポンプ軸受
			軸とケーシングのクリアランス	9-(ⅱ)	主燃料油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）
				12-(ⅱ)	潤滑油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.3.4　耐特委で検討されたポンプ駆動用タービンの地震時異常要因分析による基本評価項目 新たな検討が必要な設備として抽出されたガスタービン発電機の基本評価項目の検討において，公知化された検討として参考とする耐特委でのポンプ駆動用タービンの地震時異常要因分析図を第 4.3.4－1 図に，地震時異常要因分析図から抽出されるポンプ駆動用タービン（タービン本体部分）の基本評価項目とこれに対応するガスタービン発電機における類似評価項目を第 4.3.4－1 表に示す。 ガスタービン発電機に属する機器のうちポンプ駆動用タービン（タービン本体部分）と類似性を有する機器については，異常要因分析に基づいて抽出された評価項目においても類似性を有していることが確認できる。また，異常要因分析の考え方についても，異常要因分析結果との類似性が確認できる。 以上より，ガスタービン発電機のうち，ポンプ駆動用タービン（タービン本体部分）と類似性を有する評価項目が網羅的に抽出されていることが確認された。  ：ポンプ駆動用タービンのうちタービン本体の項目 ：ガスタービンとの類似評価項目 第 4.3.4－1 図　ポンプ駆動用タービンの異常要因分析図	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.4－1 表　ポンプ駆動用タービンとガスタービン発電機の評価項目比較 ガスタービン発電機で対応する評価項目 評価項目 / No. / 評価項目 ケーシング取付ボルト / 1－(ⅰ) / 基礎ボルト強度 ガスタービン機関摺動部（軸とケーシングとのクリアランス） / 1－(ⅲ) / ロータ変位 ガスタービン機関軸受 / 1－(ⅳ) / 軸受強度 ポンプ駆動用タービン（タービン本体部分） No. / 機器名称 / 異常要因分析該当項目 / 評価項目 1 / ケーシング / 基礎ボルト損傷 / 基礎ボルト強度 2 / 軸系 / 軸損傷 / ロータ変位 ロータ損傷 軸受損傷 / 軸受強度	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.3.5　ガスタービン発電機の基本評価項目の検討 ガスタービン発電機は高温高圧の燃焼ガスによる熱的荷重，高速回転による遠心力に十分耐えられる材料，構造，強度を有しており，地震加速度による影響は小さいと考えられる。また，島根２号炉のガスタービンと類似の仕様である米国ＰＷＲ向けガスタービンに対して加振試験が実施されており，試験では島根２号炉の機能維持評価用加速度を上回る加速度により健全性が確認されていることから，前項までの検討結果を踏まえた異常要因分析図から抽出された基本評価項目に対し，動的機能維持評価における評価対象部位を選定した。米国ＰＷＲ向けのガスタービン発電機に対する加振試験について参考資料１に示すとともに，選定結果を第 4.3.5－1 表に示す。 第 4.3.5－1 表　ガスタービンの動的機能維持評価における評価対象部位の選定結果(1/7) No. / 基本評価項目 / 評価対象 / 理　由 1-（ｉ） / ケーシング取付ボルト / × / 取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。 1-（ⅱ） / 燃焼器取付ボルト / × / 取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。 1-（ⅲ） / ガスタービン機関摺動部（軸とケーシングとのクリアランス） / ○ / ガスタービンの軸及びケーシングは十分剛な構造であり，地震による変形量は軽微であるが，軸とケーシング間のクリアランスもわずかであること，軸とケーシングの接触に伴う軸損傷が運転に及ぼす影響が大きいことから評価対象部位として選定した。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.5－1 表　ガスタービンの動的機能維持評価における評価対象部位の選定結果(2/7)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	評価対象	理　由
1-(iv)	ガスタービン機関軸受	○	ガスタービン（機関）の軸は他の動的機器と比べても高速回転（18，000rpm）であり，軸受部は軸の回転を支持する動的機能維持上重要な部位である。また，軸受の損傷は機関全体の重大な損傷につながる可能性がある。ガスタービン（機関）の軸受は，ガスタービン及びガスタービン付き機器で使用されている軸受の中で，ガスタービン（減速機）の一部の軸受を除いて裕度が小さい。ここで，ガスタービン（減速機）の軸受のうち，運転時に加わる機械荷重が支配的となる軸受については，ガスタービン（機関）の軸受と比較して地震荷重の寄与分に対する強度上の裕度（＝（許容値－運転時荷重）／地震のみの荷重）が大きいことが確認されている。一方，地震荷重が支配的となる軸受については，ガスタービン（機関）の軸受と比較して耐震裕度が大きいことが確認されている。したがって，異常発生時の影響の大きさも考慮して，耐震評価上より厳しいと考えられるガスタービン（機関）の軸受を評価対象部位として選定した。
2-(ⅰ)	減速機取付ボルト	○	減速機取付ボルトは，ガスタービン及びガスタービン付き機器の重量を支えるボルトであり，ガスタービン及びガスタービン付き機器で使用されている取付ボルトの中で転倒モーメントが大きく，裕度が小さいため，本取付ボルトを評価対象部位として選定した。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.5－1 表　ガスタービンの動的機能維持評価における評価対象部位の選定結果(3/7)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	評価対象	理　由
2-(ⅱ)	減速機摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	×	ガスタービン（減速機）の軸は，歯車の両側近傍に軸受を有した構造であり，ガスタービン（機関）の軸と比較して軸受間距離が短く，たわみ発生量が小さい。また，クリアランスはガスタービン（機関）と比較して大きい傾向にあり，最狭部でも同程度である。したがって，ガスタービン（機関）の軸とケーシングを代表評価部位とし，減速機取付ボルトについては評価対象外とした。
2-(ⅲ)	減速機歯車	×	ガスタービン（減速機）の歯元曲げ応力を支配するのは運転時に加わる機械荷重であり，地震により加わる荷重は十分小さく，耐震性を有していることが確認されていることから，評価対象外とした。（非常用ディーゼル発電機のギヤリングと同様の整理。）
2-(ⅳ)	減速機軸受	×	ガスタービン（減速機）の軸受は，耐震評価上より厳しいと考えられるガスタービン（機関）の軸受を代表評価部位とするため，減速機取付ボルトについては評価対象外とした。
3-(ⅰ)	燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ，燃料油供給電磁弁　取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
3-(ⅱ)	燃料制御ユニット，燃料制御ユニットドライバ	○	高速回転機器であるガスタービンの回転数を制御する装置であり，回転の機能維持上重要であることから選定した。
3-(ⅲ)	燃料制御ユニット，燃料油供給電磁弁　弁体	×	弁体のばね力評価については，ばね力を打ち消す地震による慣性力が弁体等の重量に比例するが，比較的軽量であり，その影響は軽微であることから，評価対象外とした。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.5－1 表　ガスタービンの動的機能維持評価における評価対象部位の選定結果(4/7)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	評価対象	理　由
4-(ⅰ)	回転速度センサー 取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
4-(ⅱ)	回転速度センサー	×	回転速度センサーは，下記理由により取付部の健全性を確認することで，電気的機能維持を確保できるため，評価対象外とした。 ①回転速度センサーには電磁ピックアップ式センサーが用いられており動作部がない。 ②軽量かつ単純構造であり，地震力により発生する荷重が小さく，構造強度について十分な裕度を持っている。 ③ＪＥＡＧ４６０１－1987 の電気計装機器のうち，剛体と見なせる器具に該当すると考えられ，構造健全性が保たれている限り，その機能が失われることはないと考えられる。
5-(ⅰ)	排気温度センサー 取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
5-(ⅱ)	排気温度センサー	×	排気温度センサーは，下記理由により取付部の健全性を確認することで，電気的機能維持を確保できるため，評価対象外とした。 ①排気温度センサーにはシース熱電対が用いられており動作部がない。 ②軽量かつ単純構造であり，地震力により発生する荷重が小さく，構造強度について十分な裕度を持っている。 ③ＪＥＡＧ４６０１－1987 の電気計装機器のうち，剛体と見なせる器具に該当すると考えられ，構造健全性が保たれている限り，その機能が失われることはないと考えられる。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.5－1 表　ガスタービンの動的機能維持評価における評価対象部位の選定結果(5/7)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	評価対象	理　由
6-(ⅰ)	点火プラグ 取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
6-(ⅱ)	点火プラグ	×	点火プラグは，下記理由により，取付部の健全性を確認することで，電気的機能維持を確保できるため，評価対象外とした。 ①点火プラグにはスパークプラグが用いられており動作部がない。 ②軽量かつ単純構造であり，地震力により発生する荷重が小さく，構造強度について十分な裕度を持っている。 ③ＪＥＡＧ４６０１－1987 の電気計装機器のうち，剛体と見なせる器具に該当すると考えられ，構造健全性が保たれている限り，その機能が失われることはないと考えられる。
7-(ⅰ)	点火エキサイタ 取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
7-(ⅱ)	点火エキサイタ	×	点火エキサイタは，下記理由により，取付部の健全性を確認することで，電気的機能維持を確保できるため，評価対象外とした。 ①点火エキサイタには Capacitor Discharge Ignition 方式の点火装置が用いられており動作部がない。 ②軽量かつ単純構造であり，地震力により発生する荷重が小さく，構造強度について十分な裕度を持っている。 ③ＪＥＡＧ４６０１－1987 の電気計装機器のうち，剛体と見なせる器具に該当すると考えられ，構造健全性が保たれている限り，その機能が失われることはないと考えられる。

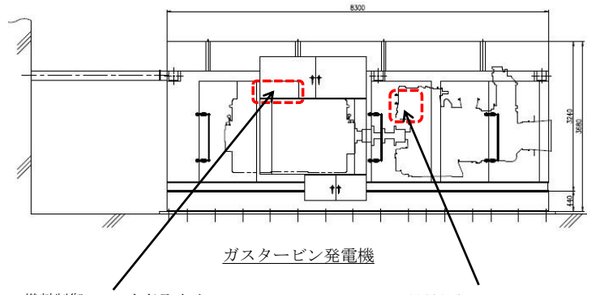
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.5－1 表　ガスタービンの動的機能維持評価における評価対象部位の選定結果(6/7)	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

No.	基本評価項目	評価対象	理　由
8-（ｉ）	スタータモータ取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
8-（ⅱ）	スタータモータ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	×	ガスタービン付きポンプはガスタービン（機関）に比べて小型軽量であり，軸に発生する応力が比較的小さいことから，評価対象外とした。
8-（ⅲ）	スタータモータ軸受	×	ガスタービン（機関）の軸受に対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
9-（ｉ）	主燃料油ポンプ取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
9-（ⅱ）	主燃料油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	×	ガスタービン付きポンプはガスタービン（機関）に比べて小型軽量であり，軸に発生する応力が比較的小さいことから，評価対象外とした。
9-（ⅲ）	主燃料油ポンプ軸受	×	ガスタービン（機関）の軸受に対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
10-（ｉ）	始動用燃料油ポンプ取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
10-（ⅱ）	始動用燃料油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	×	ガスタービン付きポンプはガスタービン（機関）に比べて小型軽量であり，軸に発生する応力が比較的小さいことから，評価対象外とした。
10-（ⅲ）	始動用燃料油ポンプ軸受	×	ガスタービン（機関）の軸受に対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
11-（ｉ）	始動用燃料油ポンプ用モータ取付ボルト	×	取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。
11-（ⅱ）	始動用燃料油ポンプ用モータ 摺動部（軸とケーシングのクリアランス）	×	ガスタービン付きポンプはガスタービン（機関）に比べて小型軽量であり，軸に発生する応力が比較的小さいことから，評価対象外とした。

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.5－1 表　ガスタービンの動的機能維持評価における評価対象部位の選定結果(7/7) No. / 基本評価項目 / 評価対象 / 理　由 11-(ⅲ) / 始動用燃料油ポンプ用モータ 軸受 / × / ガスタービン（機関）の軸受に対して裕度が大きいため，評価対象外とした。 12-(ⅰ) / 潤滑油ポンプ取付ボルト / × / 取付ボルトについては，減速機取付ボルトに対して裕度が大きいため，評価対象外とした。 12-(ⅱ) / 潤滑油ポンプ摺動部（軸とケーシングのクリアランス） / × / ガスタービン付きポンプはガスタービン（機関）に比べて小型軽量であり，軸に発生する応力が比較的小さいことから，評価対象外とした。 12-(ⅲ) / 潤滑油ポンプ軸受 / × / ガスタービン（機関）の軸受に対して裕度が大きいため，評価対象外とした。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.3.6　ガスタービン発電機の動的機能維持評価項目の検討結果 島根２号炉における規格適用外の動的機能維持が必要な設備のうち，新たな検討が必要な設備であるガスタービンについて，耐特委での非常用ディーゼル発電機及びポンプ駆動用タービンにおける検討結果を参考に，構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い，動的機能維持を確認するための基本評価項目の抽出を行った。また，抽出した基本評価項目に対し，ガスタービン発電機の動的機能維持評価における評価対象部位を選定した。 以上の検討結果から，島根２号炉のガスタービン発電機における動的機能維持評価の評価項目については第 4.3.6－1 表に整理し，抽出された評価項目に対して耐震評価を実施する。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.6－1 表　島根２号炉のガスタービンにおける動的機能維持評価の評価項目の検討結果(1/2) No. / 評価項目 / 評価内容 Ⅰ / ガスタービン機関摺動部（軸とケーシングとのクリアランス） / ガスタービンとポンプ駆動用タービンは，回転機器として同様な軸系の構造を有しており，ケーシング，軸系とも剛性が高いことから類似構造であると言える。したがって，ガスタービンの軸とケーシングのクリアランスも，ＪＥＡＧ４６０１に示されるポンプ駆動用タービンの荷重条件を用いて軸の変位量を評価する。 なお，両端を軸受で支持された軸のたわみ量の算出において，軸受自体の剛性による変位は数十μｍ 程度と十分小さく，軸とケーシングとのクリアランスを評価する上では有意とはならないため考慮は不要と判断している。一方，軸受による軸の支持条件は単純支持として，軸のたわみ量が大きくなるよう保守的に評価する。 Ⅱ / ガスタービン機関軸受 / ガスタービンとポンプ駆動用タービンは，回転機器として同様な軸系の構造を有しており，ケーシング，軸系とも剛性が高いことから類似構造であると言える。したがって，ガスタービンの軸受も，ＪＥＡＧ４６０１に示されるポンプ駆動用タービンにおける軸受の評価方法を適用可能であるが，ここでは軸受荷重の許容値がメーカ規定の基本静定格荷重（メーカ保証値）で設定されていることから，ＪＩＳ（ＪＩＳ Ｂ 1519－2009）に基づくメーカ規定の計算式（ガスタービン回転軸に地震力や運転中のスラスト荷重が作用することにより軸受に発生する静等価荷重）にて評価する。 軸受強度は，軸受の剛性に関わりなく軸受に作用する荷重が許容される荷重以下であることで評価される。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 4.3.6－1 表　島根２号炉のガスタービンにおける動的機能維持評価の評価項目の検討結果(2/2) Ⅲ　減速機取付ボルト　ガスタービンと非常用ディーゼル発電機はいずれも剛性の高い設備であり，1 質点系モデルに置き換えることが可能である。したがって，減速機取付ボルトも，非常用ディーゼル発電機と同様に 1 質点系モデルにより評価する。 Ⅳ　燃料制御ユニット,燃料制御ユニットドライバ　燃料制御ユニットドライバは解析による評価が困難であるため，実機を加振試験することにより電気的機能維持の確認を行う。燃料制御ユニット及び燃料制御ユニットドライバの加振試験を第 4.3.6－1 図に示す。加振試験により燃料制御ユニットの機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。  ガスタービン発電機 燃料制御ユニットドライバ　燃料制御ユニット 試験装置 第 4.3.6－1 図　燃料制御ユニット及び燃料制御ユニットドライバ加振試験	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）

(2) 詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の検討については，ＪＥＡＧ4601－1991 追補版及び耐特委報告書にて，動的機能維持評価上必要な基本評価項目が地震時異常要因分析に基づき選定されている（第６表）。機能維持評価に当たっては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，基本評価項目に対して，必要な評価項目を選定し，その妥当性を示した上で検討を実施する。

第６表　各設備における基本評価項目

詳細検討が必要な設備	機種／型式	基本評価項目
・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	立形ポンプ／立形斜流ポンプ	基礎ボルト 取付ボルト ディスチャージケーシング コラム コラムサポート 軸受 軸 冷却水配管 メカニカルシール熱交換器 電動機
・残留熱除去系海水系ポンプ用電動機 ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	電動機／立形ころがり軸受電動機	端子箱 フレーム 基礎ボルト 取付ボルト 固定子 軸（回転子） 軸受 固定子と回転子とのクリアランス 軸継手

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

5. 詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の検討については，JEAG4601 及び耐特委報告書にて，動的機能維持の評価上必要な基本評価項目が地震時異常要因分析に基づき選定されている（第 5-1 表）。

機能維持評価に当たっては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，基本評価項目に対して，必要な評価項目を選定し，その妥当性を示した上で検討を実施する。

第 5-1 表　各設備における基本評価項目（1/2）

詳細検討が必要な設備	機種／型式	基本評価項目
・原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機 ・ほう酸水注入系ポンプ用電動機 ・非常用ガス処理系排風機用電動機 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	電動機／立形ころがり軸受，横形ころがり軸受	①端子箱 ②フレーム ③基礎ボルト・取付ボルト ④固定子 ⑤軸（回転子） ⑥軸受 ⑦固定子と回転子のクリアランス ⑧軸継手
・非常用ガス処理系排風機 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ファン／遠心直結型ファン，遠心直動型ファン	①ケーシング ②ケーシング取付ボルト ③軸 ④軸受 ⑤軸受取付ボルト ⑥インペラ ⑦ベローズ ⑧軸継手 ⑨メカニカルシール ⑩電動機取付ボルト ⑪電動機 ⑫基礎ボルト ⑬フレキシブルダクト継手

島根原子力発電所　２号炉

5.　詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の検討については，ＪＥＡＧ４６０１及び耐特委報告書にて，動的機能維持の評価上必要な基本評価項目が地震時異常要因分析に基づき選定されている（第５－１表）。

機能維持評価に当たっては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，基本評価項目に対して，必要な評価項目を選定し，その妥当性を示した上で検討を実施する。なお，詳細設計段階において，弁の応答加速度（機能維持評価用加速度）が機能確認済加速度を超える場合，ＪＥＡＧ４６０１に基づき詳細検討を実施する。

第５－１表　各設備における基本評価項目(1/2)

詳細検討が必要な設備	機種／形式	基本評価項目
・原子炉補機海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	立形ポンプ／斜流式	①基礎ボルト，取付ボルト ②ディスチャージケーシング ③バレル ④コラム ⑤軸受 ⑥軸 ⑦冷却水配管 ⑧メカニカルシール熱交換器 ⑨電動機
・燃料プール冷却ポンプ	横形ポンプ／単段遠心式	①基礎ボルト ②支持脚 ③摺動部（ライナーリング部） ④軸 ⑤メカニカルシール ⑥軸受 ⑦電動機 ⑧軸継手 ⑨ケーシングノズル部 ⑩冷却水配管
・ほう酸水注入ポンプ	往復動式ポンプ／横形３連往復動式	①基礎ボルト ②ポンプ本体取付ボルト ③クランク軸軸受 ④コネクティングロッド軸受 ⑤クロスヘッドガイド摺動部 ⑥バルブシート面 ⑦吸込・吐出ノズル ⑧減速機取付ボルト ⑨歯車軸軸受 ⑩歯車 ⑪電動機 ⑫軸継手 ⑬油配管

備考

・対象設備の相違
【東海第二，女川 2】
③の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 5-1 表　各設備における基本評価項目（2/2）

詳細検討が必要な設備	機種／型式	基本評価項目
・非常用ディーゼル発電設備 非常用ディーゼル発電機 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	非常用ディーゼル機関／機関本体，ガバナ	①クランク軸基準軸受 ②ピストン・クランク軸・連接棒 ③カム軸軸受 ④ギヤリング ⑤動弁装置 ⑥機関本体基礎ボルト ⑦ガバナリンク装置 ⑧オーバースピードトリップ装置 ⑨始動弁・主始動弁 ⑩過給機 ⑪排気筒ベローズ ⑫燃料噴射ポンプ ⑬冷却水ポンプ ⑭潤滑油ポンプ ⑮潤滑油サンプタンク ⑯発電機基礎ボルト ⑰発電機
・ほう酸水注入系ポンプ	往復動式ポンプ／横形３連往復動式ポンプ	①基礎ボルト ②ポンプ本体取付ボルト ③クランク軸軸受 ④コネクティングロッド軸受 ⑤クロスヘッドガイド摺動部 ⑥バルブシート面 ⑦吸込・吐出ノズル ⑧減速機取付ボルト ⑨歯車軸軸受 ⑩歯車 ⑪電動機 ⑫軸継手 ⑬油配管

第 5－1 表　各設備における基本評価項目(2/2)

詳細検討が必要な設備	機種／形式	基本評価項目
・燃料プール冷却ポンプ用電動機 ・原子炉補機海水ポンプ用電動機 ・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ用電動機 ・ほう酸水注入ポンプ用電動機 ・非常用ガス処理系排風機用電動機 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	電動機／横形ころがり軸受，立形ころがり軸受	①端子箱 ②フレーム ③基礎ボルト，取付ボルト ④固定子 ⑤軸（回転子） ⑥軸受 ⑦固定子と回転子のクリアランス ⑧軸継手
・非常用ガス処理系排風機 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ファン／遠心直結型，遠心直動式	①ケーシング ②ケーシング取付ボルト ③軸 ④軸受 ⑤軸受取付ボルト ⑥インペラ ⑦ベローズ ⑧軸継手 ⑨メカニカルシール ⑩電動機取付ボルト ⑪電動機 ⑫基礎ボルト ⑬フレキシブルダクト継手

・対象設備の相違
【東海第二，女川 2】
③の相違

<table>
<tr><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>6.　加振試験が必要な設備における動的機能維持評価の検討
高圧原子炉代替注水ポンプは，海外メーカー製であり，異常要因分析や基本評価項目の抽出が容易ではないことから，加振試験による評価を実施する。高圧原子炉代替注水ポンプの構造概要を第 6－1 図に示すとともに，加振試験の内容を添付資料 1 に示す。また，加振試験結果より設定した機能確認済加速度と島根２号炉高圧原子炉代替注水ポンプの動的機能維持における機能維持評価用加速度の比較を第 6－1 表に示す。

第 6－1 図　高圧原子炉代替注水ポンプの構造概要図

第 6－1 表　島根２号炉高圧原子炉代替注水ポンプ機能維持評価用加速度と機能確認済加速度の比較
<table><tr><th>島根２号炉
高圧原子炉代替注水ポンプ
機能維持評価用加速度[注1]
[G]</th><th>加振試験により確認された
機能確認済加速度
[G]</th></tr><tr><td>水平：0.81
鉛直：0.58</td><td></td></tr></table>注１：機能維持評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。</td><td>・資料構成の相違
【東海第二，女川 2】
②の相違</td></tr>
</table>

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
3.　弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について 技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について，規格基準に基づく設計手順を整理し，比較することにより示す。規格基準に基づく手法としてＪＥＡＧ4601 の当該記載部の抜粋を第 11 図に示す。 (1)　規格基準に基づく設計手順の整理 ＪＥＡＧ4601 において，弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。 配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（ZPA）を用いること，また，柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモーダル解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより，弁の動的機能維持評価を実施することとされている。 (2)　今回工認における東海第二発電所の設計手順 今回工認における東海第二発電所の弁駆動での応答加速度値の設定は，上記のＪＥＡＧ4601 の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。 ａ．剛の場合 配管系が剛な場合は，最大加速度に一定の余裕を考慮し 1.2 倍した値(1.2ZPA)を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し，機能維持評価を実施する。 ｂ．柔の場合 配管系の固有値が柔の場合は，ＪＥＡＧ4601 の手順と同様にスペクトルモーダル解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて，剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度（1.2ZPA）による弁駆動部の応答加速度を算定し，何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。	6．弁の機能維持評価に用いる配管系の応答値について 技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，女川２号炉の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について，規格基準に基づく設計手順を整理し，比較することにより示す。規格基準に基づく手法として JEAG4601 の当該記載部の抜粋を第 6-1 図に示す。 （1）規格基準に基づく設計手順の整理 JEAG4601 において，弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（ZPA）を用いること，また，柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモーダル解析を行い，算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより，弁の動的機能維持評価を実施することとされている。 （2）今回工認における女川２号炉の設計手順 今回工認における女川２号炉の弁駆動部での応答加速度値の設定は，上記　JEAG4601 の規定に加えて，一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。 ａ．剛の場合 配管系が剛な場合は，最大加速度に一定の余裕を考慮し，1.2 倍した値(1.2ZPA)を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し，機能維持評価を実施する。 ｂ．柔の場合 配管系の固有値が柔の場合は，JEAG4601 の手順と同様にスペクトルモーダル解析を行い，弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて，剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度（1.2ZPA）による弁駆動部の応答加速度を算定し，いずれか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。	7.　弁の動的機能維持評価に用いる配管系の応答値について 技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，島根２号炉の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について，規格基準に基づく設計手順を整理し，比較することにより示す。規格基準に基づく手法としてＪＥＡＧ４６０１の当該記載部の抜粋を第 7－1 図に示す。 (1)　規格基準に基づく設計手順の整理 ＪＥＡＧ４６０１において，弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（ＺＰＡ）を用いること，また，柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモーダル解析を行い，算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより，弁の動的機能維持評価を実施することとされている。 (2)　今回工認における島根２号炉の設計手順 今回工認における島根２号炉の弁駆動部での応答加速度値の設定は，上記ＪＥＡＧ４６０１の規定に加えて，一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。 ａ．剛の場合 配管系が剛な場合は，最大加速度に一定の裕度を考慮し，1.2 倍した値（1.2ＺＰＡ）を弁駆動部の応答加速度を算出し，機能維持評価を実施する。 ｂ．柔の場合 配管系の固有値が柔の場合は，ＪＥＡＧ４６０１の手順と同様にスペクトルモーダル解析を行い，弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて，剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度（1.2ＺＰＡ）による弁駆動部の応答加速度を算定し，いずれか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。	

東海第二発電所（2018.9.18 版）

また，弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において，剛領域の振動モードの影響により応答加速度の増加が考えられる場合には，剛領域の振動モードの影響を考慮するため，高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。スペクトルモーダル解析において考慮する高周波数域の範囲については，応答解析結果を用いた検討を踏まえて決定する。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を第７表に示す。

第７表に示すとおり，東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては，規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

第７表　弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の固有値	ＪＥＡＧ4601	東海第二発電所
剛の場合	最大加速度(1.0ZPA)を適用する。	最大加速度の 1.2 倍した値(1.2ZPA)を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答＊1又は最大加速度の 1.2 倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を適用する。

＊１　高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

また，弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において，剛領域の振動モードの影響により応答加速度の増加が考えられる場合には，剛領域の振動モードの影響を考慮するため，高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。スペクトルモーダル解析において考慮する高周波数域の範囲については，応答解析結果を用いた検討を踏まえて決定する。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び女川２号炉の耐震設計手順の比較を第 6-1 表に示す。

第 6-1 表に示すとおり，女川２号炉における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては，規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

第 6-1 表　弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の固有値	JEAG4601	女川２号炉
剛の場合	最大加速度（1.0ZPA）を適用する。	最大加速度の1.2倍した値（1.2ZPA）を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答※1 又は最大加速度の1.2倍した値（1.2ZPA）のいずれか大きい方を適用する。

※１　高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。

島根原子力発電所　２号炉

また，弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において，剛領域の振動モードの影響により応答加速度の増加が考えられる場合には，剛領域の振動モードの影響を考慮するため，高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。地震応答解析に用いる 20Hz 以上（周期 0.05s 以下）の高振動数領域を考慮した床応答スペクトルは，従来から適用している 20Hz 以下（周期 0.05s 以上）の床応答スペクトルの作成方法と同様に，建物や連成解析から得られた応答加速度時刻歴を用いて算出し，周期軸方向に拡幅して設定する。弁の動的機能維持評価に適用する床応答スペクトルのイメージを第 7－2 図に示す。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び島根２号炉の耐震設計手順の比較を第７－１表に示す。

第 7－1 表に示すとおり，島根２号炉における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては，規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

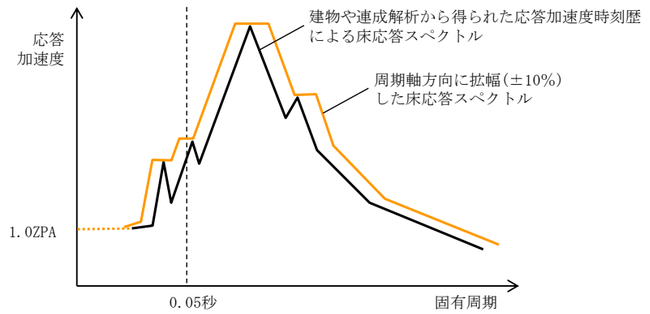
第７－１表　弁の動的機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の固有値	ＪＥＡＧ４６０１	島根２号炉
剛の場合	最大応答加速度（1.0ＺＰＡ）を適用する。	最大応答加速度を 1.2 倍した値（1.2ＺＰＡ）を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答注1 又は最大応答加速度を 1.2 倍した値（1.2ＺＰＡ）のいずれか大きい方を適用する。

注１：高周波数領域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。

備考

・記載の充実
【東海第二，女川 2】
島根２号炉では，スペクトルモーダル解析に用いる床応答スペクトルについて記載している

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(5)　地震応答解析 弁の地震応答を算出するに当たり，(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み，地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は，配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。 配管系の固有値が剛と判断される場合は，静的応答解析を行うが，この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのＺＰＡ（ゼロ周期加速度）であり，これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また，剛の範囲にない場合には，原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い，算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に，弁の詳細評価が必要となる場合には，弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。 なお，減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。 第 11 図　ＪＥＡＧ4601（1991）の抜粋	(5)　地震応答解析 弁の地震応答を算出するに当たり，(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み，地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は，配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。 配管系の固有値が剛と判断される場合は，静的応答解析を行うが，この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのＺＰＡ（ゼロ周期加速度）であり，これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また，剛の範囲にない場合には，原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い，算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に，弁の詳細評価が必要となる場合には，弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。 なお，減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。 第 6-1 図　JEAG4601（1991）の抜粋	(5)　地震応答解析 弁の地震応答を算出するに当たり，(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み，地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は，配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。 配管系の固有値が剛と判断される場合は，静的応答解析を行うが，この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのＺＰＡ（ゼロ周期加速度）であり，これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また，剛の範囲にない場合には，原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い，算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に，弁の詳細評価が必要となる場合には，弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。 なお，減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。 第 7－1 図　ＪＥＡＧ４６０１-1991 抜粋  第 7－2 図　弁の動的機能維持評価に適用する床応答スペクトル（イメージ）	・記載の充実 【東海第二，女川 2】 島根２号炉では，スペクトルモーダル解析に用いる床応答スペクトルについて記載している

東海第二発電所（2018.9.18版）	女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18版）

別表１　検討対象設備の抽出結果

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	ＪＥＡＧ4601 機種／型式 機種	型式	At確認 方向	評価用*1加速度	機能確認済加速度
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設									
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備									
代替燃料プール注水系									
常設低圧代替注水系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.61	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)
							鉛直	0.53	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.61	4.7
							鉛直	0.53	1.0
可搬型代替注水大型ポンプ	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－
代替燃料プール冷却系									
代替燃料プール冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.86	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)
							鉛直	0.65	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7
							鉛直	0.65	1.0
原子炉冷却系統施設									
原子炉冷却材再循環設備									
原子炉冷却材再循環系									
原子炉冷却材再循環系ポンプ	無	－	－	－	－	－	－	－	－
原子炉冷却材の循環設備									
残留熱除去設備									
残留熱除去系									
残留熱除去系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ピットバレル形	水平	0.48	10.0
							鉛直	0.50	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.48	2.5
							鉛直	0.50	1.0
格納容器圧力逃がし装置									
格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.61	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)
							鉛直	0.53	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.61	4.7
							鉛直	0.53	1.0
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備									
高圧炉心スプレイ系									
高圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ピットバレル形	水平	0.48	10.0
							鉛直	0.50	1.0
					電動機	立形すべり軸受	水平	0.48	2.5
							鉛直	0.50	1.0
低圧炉心スプレイ系									
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ピットバレル形	水平	0.48	10.0
							鉛直	0.50	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.48	2.5
							鉛直	0.50	1.0
原子炉隔離時冷却系									
原子炉隔離時冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)
							鉛直	0.50	1.0
					ポンプ駆動用タービン	ＲＣＩＣポンプ用	水平	0.48	2.4
							鉛直	0.50	1.0
高圧代替注水系									
常設高圧代替注水系ポンプ	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－

＊1　評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7版）

別表１　検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果（1/5）

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	評価用加速度がAt超過の時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認 機種名	型式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	機能確認済加速度(At)との比較 方向	評価用加速度※1	機能確認済加速度(At)	備考
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設											
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備											
燃料プール冷却浄化系											
燃料プール冷却浄化系ポンプ※2	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	160m³/h	○	水平	－	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	－	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	75kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	
燃料プール代替注水系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
燃料プールスプレイ系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
放射性物質拡散抑制系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉冷却系統施設											
原子炉冷却材再循環設備											
原子炉再循環系											
原子炉再循環ポンプ	無	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉冷却材の循環設備											
主蒸気系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
復水給水系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
給水加熱器ドレンベント系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
復水浄化系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
抽気系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
残留熱除去設備											
残留熱除去系											
残留熱除去系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	ピットバレル形（～1800m³/h）	1160m³/h	○	水平	0.68	10.0	
								鉛直	0.55	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形すべり軸受（～2700kW）	540kW	○	水平	0.68	2.5	
								鉛直	0.55	1.0	
原子炉格納容器フィルタベント系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
耐圧強化ベント系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備											
高圧炉心スプレイ系											
高圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	ピットバレル形（～1800m³/h）	1074m³/h	○	水平	0.68	10.0	
								鉛直	0.55	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形すべり軸受（～2700kW）	1900kW	○	水平	0.68	2.5	
								鉛直	0.55	1.0	
低圧炉心スプレイ系											
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	ピットバレル形（～1800m³/h）	1074m³/h	○	水平	0.68	10.0	
								鉛直	0.55	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形ころがり軸受（～1300kW）	880kW	○	水平	0.68	2.5	
								鉛直	0.55	1.0	
高圧代替注水系											
高圧代替注水系ポンプ※2	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	水平	－	－	・新設設備であり，設備の構造がJEAG4601適用外のため，加振試験による『個別評価』を実施する
								鉛直	－	－	
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	多段遠心式（～700m³/h）	96.5m³/h	○	水平	0.72	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.56	1.0	
		JEAG4601による確認	×	ポンプ駆動用タービン	RCICポンプ用（プラント出力による構造，寸法の違いはほとんどない）	－（構造の違いは殆どない）	○	水平	0.72	2.4	
								鉛直	0.56	1.0	

島根原子力発電所　２号炉

別表１　検討対象設備の抽出結果(1/4)

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	機能維持評価用加速度がAt超過時の評価方法がJEAGに規定されているか ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認 機種名	形式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	機能確認済加速度(At)との比較 方向	機能維持評価用加速度注1	機能確認済加速度	備考
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設											
使用済燃料貯蔵設備											
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備											
燃料プール冷却系											
燃料プール冷却ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	198m³/h	○	水平	1.46	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.44	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	110kW	○	水平	1.46	4.7	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.44	1.0	
燃料プールスプレイ系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
その他の核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設											
原子炉冷却系統施設											
原子炉冷却材再循環設備											
原子炉再循環系											
原子炉再循環ポンプ	無	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
原子炉冷却材の循環設備											
主蒸気系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
給水系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
残留熱除去設備											
残留熱除去系											
残留熱除去ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	ピットバレル形（～1800m³/h）	1218m³/h	○	水平	0.81	10.0	
								鉛直	0.58	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形すべり軸受（～2700kW）	560kw	○	水平	0.81	2.5	
								鉛直	0.58	1.0	
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備											
高圧炉心スプレイ系											
高圧炉心スプレイポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	ピットバレル形（～1800m³/h）	1342m³/h	○	水平	0.81	10.0	
								鉛直	0.58	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形すべり軸受（～2700kW）	2380kw	○	水平	0.81	2.5	
								鉛直	0.58	1.0	
低圧炉心スプレイ系											
低圧炉心スプレイポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	ピットバレル形（～1800m³/h）	1164m³/h	○	水平	0.81	10.0	
								鉛直	0.58	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形すべり軸受（～2700kW）	910kw	○	水平	0.81	2.5	
								鉛直	0.58	1.0	
高圧原子炉代替注水系											
高圧原子炉代替注水ポンプ	有	加振試験による確認	×	横形ポンプ	タービン駆動水潤滑式	93m³/h	×（該当型式なし）	水平	－	－	・設備の構造がJEAG4601適用外のため，加振試験を実施する。
								鉛直	－	－	
低圧原子炉代替注水系											
低圧原子炉代替注水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	多段遠心式（～700m³/h）	230 m³/h	○	水平	－	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	－	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	210 kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	
原子炉冷却材補給設備											
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	多段遠心式（～700m³/h）	99 m³/h	○	水平	0.81	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.58	1.0	
原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン	有	JEAG4601による確認	×	ポンプ駆動用タービン	RCICポンプ用（プラント出力等による構造，寸法の違いはほとんどない。）	550 kW	○	水平	0.81	2.4	
								鉛直	0.58	1.0	
原子炉補機冷却設備											
原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系											
原子炉補機冷却水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	1680 m³/h	○	水平	0.92	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.97	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	360 kW	○	水平	0.92	4.7	
								鉛直	0.97	1.0	
原子炉補機海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	斜流式（～7600m³/h）	2040 m³/h	○	水平	1.42	10.0	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.34	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形ころがり軸受（～1300kW）	410 kW	○	水平	1.42	2.5	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.34	1.0	

備考

・対象設備の相違

【東海第二，女川2】

③の相違

東海第二発電所（2018.9.18版）	女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）	島根原子力発電所　2号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18版）

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	JEAG4601 機種／型式 機種	型式	At確認 方向	評価用[*1]加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系									
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）								
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
代替循環冷却系									
代替循環冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)
							鉛直	0.50	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.48	4.7
							鉛直	0.50	1.0
原子炉冷却材補給設備									
原子炉隔離時冷却系									
原子炉隔離時冷却系ポンプ	－（前段で整理済）								
原子炉補機冷却設備									
残留熱除去系海水系									
残留熱除去系海水系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.38	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
代替残留熱除去系海水系									
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
緊急用海水系									
緊急用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.61	10.0
							鉛直	0.53	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.61	2.5
							鉛直	0.53	1.0
計測制御系統施設									
制御材									
制御棒	有	加振試験による確認	－	－	制御棒	BWR標準型式	水平	11.2mm	40mm
							鉛直	詳細設計段階で鉛直方向地震による影響を整理する。	
ほう酸水注入設備									
ほう酸水注入系									
ほう酸水注入ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	往復動式ポンプ	横形	水平	0.93	1.6
							鉛直	0.80	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.93	4.7
							鉛直	0.80	1.0
放射線管理施設									
放射線管理用計測装置									
換気設備									
中央制御室換気系									
中央制御室換気系空気調和機ファン	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7
							鉛直	0.65	1.0
中央制御室換気系フィルタ系ファン	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7
							鉛直	0.65	1.0

＊1　評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）

別表１　検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果（2/5）

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	評価用加速度がAt超過の時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認 機種名	型式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	機能確認済加速度(At)との比較 方向	評価用加速度[※1]	機能確認済加速度(At)	備考
低圧代替注水系											
復水移送ポンプ[※2]	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	100m³/h	○	水平	－	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	－	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	45kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	
直流駆動低圧注水系ポンプ[※2]	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	82.2m³/h	－	水平	－	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	－	1.0	
		－	×	直流電動機	－	37kW	－	水平	－	－	・動的機能維持の確認方法を検討中。
								鉛直	－	－	
代替水源移送系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
ほう酸水注入系											
ほう酸水注入系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	往復動式ポンプ	横形３連往復動式（流量，吐出圧力等ほぼ同一）	9.78m³/h	○	水平	1.61	1.6	・評価用加速度がAt超過のため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.26	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	37kW	○	水平	1.61	4.7	・評価用加速度がAt超過のため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.26	1.0	
残留熱除去系											
残留熱除去系ポンプ	（前段で整理済）										
原子炉冷却材補給設備											
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却系ポンプ	（前段で整理済）										
補給水系											
復水移送ポンプ	（前段で整理済）										
原子炉補機冷却設備											
原子炉補機冷却水系（原子炉補機冷却海水系を含む。）											
原子炉補機冷却水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	1400m³/h	○	水平	0.68	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.55	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	235kW	○	水平	0.68	4.7	
								鉛直	0.55	1.0	
原子炉補機冷却海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	立形斜流式（～7600m³/h）	1900m³/h	○	水平	8.14	10.0	
								鉛直	1.00	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形ころがり軸受（～1300kW）	420kW	○	水平	4.87	2.5	・評価用加速度がAt超過のため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.00	1.0	
高圧炉心スプレイ補機冷却水系（高圧炉心スプレイ補機冷却海水系を含む。）											
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	240m³/h	○	水平	0.68	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.55	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	40kW	○	水平	0.68	4.7	
								鉛直	0.55	1.0	
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	立形斜流式（～7600m³/h）	250m³/h	○	水平	3.55	10.0	
								鉛直	1.00	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形ころがり軸受（～1300kW）	60kW	○	水平	0.96	2.5	
								鉛直	1.00	1.0	
原子炉補機代替冷却水系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉冷却材浄化設備											
原子炉冷却材浄化系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉冷却系統施設											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
計測制御系統施設											
制御材											
制御棒	有	JEAG4601による確認	×	制御棒	BWR標準形式	BWR標準形式	○	水平	評価用変位45.3mm	確認済変位55mm	・工認申請書（平成26年7月2日申請）記載値であり，評価用変位は詳細設計段階で再度評価する
								鉛直	詳細設計段階で鉛直方向地震による影響を評価する		

島根原子力発電所　2号炉

別表１　検討対象設備の抽出結果(2/4)

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	機能維持評価用加速度がAt超過時の評価方法がJEAGに規定されているか ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認 機種名	形式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	機能確認済加速度(At)との比較 方向	機能維持評価用加速度[注1]	機能確認済加速度	備考
高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系											
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	240 m³/h	○	水平	0.88	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.64	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	37 kW	○	水平	0.88	4.7	
								鉛直	0.64	1.0	
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	立形ポンプ	斜流式（～7600m³/h）	336 m³/h	○	水平	1.42	10.0	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.34	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	立形ころがり軸受（～1300kW）	75 kW	○	水平	1.42	2.5	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.34	1.0	
原子炉補機代替冷却系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
原子炉冷却材浄化設備											
原子炉浄化系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
計測制御系統施設											
制御材											
制御棒（地震時挿入性）	有	JEAG4601による確認	×	制御棒	BWR標準型式	BWR標準型式	○	水平	評価用変位35.0 mm	確認済変位40.0 mm	
								鉛直	詳細設計段階で鉛直方向地震による影響を評価する		
制御材駆動装置											
制御棒駆動水圧系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ほう酸水注入設備											
ほう酸水注入系											
ほう酸水注入ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	往復動式ポンプ	横形3連往復動式（流量，吐出圧力等ほぼ同一）	9.72 m³/h	○	水平	1.17	1.6	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.49	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	45 kW	○	水平	1.17	4.7	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.49	1.0	
放射性廃棄物の廃棄施設											
放射線管理施設											
換気設備											
中央制御室空調換気系											
中央制御室送風機	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直結型（～2900m³/min）	2000 m³/min	○	水平	1.10	2.3	
								鉛直	0.93	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	180 kW	○	水平	1.10	4.7	
								鉛直	0.93	1.0	
中央制御室非常用再循環送風機	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直結型（～2900m³/min）	534 m³/min	○	水平	1.10	2.3	
								鉛直	0.93	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	30 kW	○	水平	1.10	4.7	
								鉛直	0.93	1.0	
中央制御室空気供給系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
緊急時対策所換気空調系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
生体遮蔽装置											
その他の放射線管理施設											
原子炉格納施設											
原子炉格納容器安全設備											
原子炉格納容器スプレイ設備											
格納容器代替スプレイ系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ペデスタル代替注水系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
残留熱代替除去系											
残留熱代替除去ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	150 m³/h	○	水平	0.81	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.58	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	75 kW	○	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.58	1.0	

備考

・対象設備の相違
【東海第二，女川2】
③の相違

東海第二発電所（2018.9.18版）	女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）	島根原子力発電所　2号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18版）

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	JEAG4601 機種／型式 機種	型式	At確認 方向	評価用＊1加速度	機能確認済加速度
緊急時対策所換気系									
緊急時対策所非常用送風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	0.90	2.6
							鉛直	0.78	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.90	4.7
							鉛直	0.78	1.0
原子炉格納施設									
圧力低減設備その他の安全設備									
原子炉格納容器安全設備									
格納容器スプレイ冷却系									
残留熱除去系ポンプ	－（前段で整理済）								
代替格納容器スプレイ冷却系									
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）								
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
代替循環冷却系ポンプ	－（前段で整理済）								
緊急用海水ポンプ	－（前段で整理済）								
格納容器下部注水系									
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）								
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
原子炉建屋放水設備									
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備									
非常用ガス処理系									
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.4	4.7
							鉛直	1.0	1.0
非常用ガス再循環系									
非常用ガス再循環系排風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	1.4	2.6
							鉛直	1.0	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.4	4.7
							鉛直	1.0	1.0
可燃性ガス濃度制御系									
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	1.11	2.6
							鉛直	0.84	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.11	4.7
							鉛直	0.84	1.0
その他発電用原子炉の附属設備									
非常用電源設備									
非常用発電装置									
非常用ディーゼル発電機									
非常用ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	水平	0.72	1.1
							鉛直	0.75	1.0
					調速装置	UG型	水平	0.72	1.8
							鉛直	0.75	1.0
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.44	4.7
							鉛直	0.59	1.0

＊1　評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

女川原子力発電所　2号炉（2020.2.7版）

別表１　検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果（3/5）

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	評価用加速度がAt超過の時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認 機種名	型式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	機能確認済加速度(At)との比較 方向	評価用加速度※1	機能確認済加速度(At)	備考
ほう酸水注入設備											
ほう酸水注入系											
ほう酸水注入系ポンプ	（前段で整理済）										
放射線管理施設											
放射線管理用計測装置											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
換気設備											
中央制御室換気空調系											
中央制御室送風機	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直結型ファン（～2900m³/min）	1333m³/min	○	水平	1.17	2.3	
								鉛直	0.60	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	110kW	○	水平	1.17	4.7	
								鉛直	0.60	1.0	
中央制御室再循環送風機	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直結型ファン（～2900m³/min）	133m³/min	○	水平	1.17	2.3	
								鉛直	0.60	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	15kW	○	水平	1.17	4.7	
								鉛直	0.60	1.0	
中央制御室排風機	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直動型ファン（～2500m³/min）	83m³/min	○	水平	1.17	2.6	
								鉛直	0.60	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	3.7kW	○	水平	1.17	4.7	
								鉛直	0.60	1.0	
緊急時対策所換気空調系											
緊急時対策所非常用送風機※2	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直動型ファン（～2500m³/min）	16.7m³/min	○	水平	－	2.6	
								鉛直	－	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	3.7kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	
中央制御室待避所加圧空気供給系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
緊急時対策所加圧空気供給系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
生体遮蔽装置											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉格納施設											
原子炉格納容器											
－	－	－	－	－	－	－	－	－		－	
原子炉建屋											
－	－	－	－	－	－	－	－	－		－	
圧力低減設備その他の安全設備											
原子炉格納容器スプレイ系											
原子炉格納容器安全設備											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉格納容器下部注水系											
復水移送ポンプ	（前段で整理済み）										
原子炉格納容器代替スプレイ冷却系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
高圧代替注水系											
高圧代替注水系ポンプ	（前段で整理済み）										
ほう酸水注水系											
ほう酸水注入系ポンプ	（前段で整理済み）										
低圧代替注水系											
復水移送ポンプ	（前段で整理済み）										
残留熱除去系											
残留熱除去系ポンプ	（前段で整理済み）										
代替循環冷却系											
代替循環冷却ポンプ※2	有	JEAG4601による確認	×	横形ポンプ	単段遠心式（～2400m³/h）	150m³/h	○	水平	－	3.2（軸直角方向） 1.4（軸方向）	
								鉛直	－	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	90kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	

島根原子力発電所　2号炉

別表１　検討対象設備の抽出結果(3/4)

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	機能維持評価用加速度がAt超過時の評価方法がJEAGに規定されているか ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認 機種名	形式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	機能確認済加速度(At)との比較 方向	機能維持評価用加速度注1	機能確認済加速度	備考
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備											
非常用ガス処理系											
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直結型（～2900m³/min）	74m³/min	○	水平	1.17	2.3	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.49	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	22 kW	○	水平	1.17	4.7	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.49	1.0	
可燃性ガス濃度制御系											
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直動型（～2500m³/min）	4.25 m³/min	○	水平	1.17	2.6	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.49	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	15 kW	○	水平	1.17	4.7	機能維持評価用加速度がAt超過のため詳細検討を実施する。
								鉛直	1.49	1.0	
原子炉建物水素濃度抑制設備											
窒素ガス代替注入系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
原子炉格納容器調気設備											
窒素ガス制御系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
圧力逃がし装置											
格納容器フィルタベント系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
その他発電用原子炉の附属施設											
非常用電源設備											
非常用発電装置											
非常用ディーゼル発電設備											
非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置											
非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機	有	JEAG4601による確認	×	中速形ディーゼル機関	機関本体（～15500kW）	6150kW	○	水平	0.88	1.1	
								鉛直	0.64	1.0	
		JEAG4601による確認	×	調速装置	UG形	UG形	○	水平	0.88	1.8	
								鉛直	0.64	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形すべり軸受（～1400kW）	5840kW	○	水平	0.88	2.6	発電機の基本構造は電動機と同一であることから，電動機における機能確認済加速度を適用する。
								鉛直	0.64	1.0	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	有	新たな検討による確認	×	横形ポンプ	スクリュー式	4 m³/h	×（該当型式なし）	水平	－	－	型式がJEAG4601の適用対象外のため新たな検討を実施する。
								鉛直	－	－	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	2.2 kW	○	水平	1.22	4.7	
								鉛直	0.78	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備											
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置											
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機	有	JEAG4601による確認	×	中速形ディーゼル機関	機関本体（～15500kW）	3480kW	○	水平	0.88	1.1	
								鉛直	0.64	1.0	
		JEAG4601による確認	×	調速装置	UG形	UG形	○	水平	0.88	1.8	
								鉛直	0.64	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形すべり軸受（～1400kW）	3200kW	○	水平	0.88	2.6	発電機の基本構造は電動機と同一であることから，電動機における機能確認済加速度を適用する。
								鉛直	0.64	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	有	新たな検討による確認	×	横形ポンプ	スクリュー式	4 m³/h	×（該当型式なし）	水平	－	－	型式がJEAG4601の適用対象外のため新たな検討を実施する。
								鉛直	－	－	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	2.2 kW	○	水平	1.22	4.7	
								鉛直	0.78	1.0	
ガスタービン発電機											
ガスタービン発電機励磁装置及び保護継電装置											
ガスタービン発電機	有	新たな検討による確認	×	ガスタービン機関	機関本体	4800kW	×（該当型式なし）	水平	－	－	型式がJEAG4601の適用対象外のため新たな検討を実施する。
								鉛直	－	－	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	4800kW	○	水平	1.47	4.7	発電機の基本構造は電動機と同一であることから，電動機における機能確認済加速度を適用する。
								鉛直	0.69	1.0	
ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	有	新たな検討による確認	×	横形ポンプ	スクリュー式	4 m³/h	×（該当型式なし）	水平	－	－	型式がJEAG4601の適用対象外のため新たな検討を実施する。
								鉛直	－	－	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	3.7 kW	○	水平	0.96	4.7	
								鉛直	0.61	1.0	

備考

・対象設備の相違
【東海第二，女川2】
③の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法が JEAG に規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	JEAG4601 機種／型式		At：確認		
					機種	型式	方向	評価用*1 加速度	機能確認済加速度
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.72	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機									
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	水平	0.72	1.1
							鉛直	0.75	1.0
					調速装置	UG型	水平	0.72	1.8
							鉛直	0.75	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.44	4.7
							鉛直	0.59	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.72	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
常設代替高圧電源装置									
常設代替高圧電源装置	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－
常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.44	4.7
							鉛直	0.59	1.0
緊急時対策所用発電機									
緊急時対策所用発電機	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－
緊急時対策所用発電機給油ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.80	4.7
							鉛直	0.71	1.0
可搬型代替低圧電源車									
可搬型代替低圧電源車	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－
タンクローリー	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－
可搬型窒素供給装置用電源車									
可搬型窒素供給装置用電源車	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－
タンクローリー	－（前段で整理済）								
補機駆動用燃料設備									
可搬型									
タンクローリー	－（前段で整理済）								
弁									
一般弁									
グローブ弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－
ゲート弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－
バタフライ弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－
逆止弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－
特殊弁									
主蒸気隔離弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－
安全弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動系スクラム弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－

＊1　評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

女川原子力発電所　２号炉（2020.2.7 版）

別表１　検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果（4/5）

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	評価用加速度がAt超えの時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性機能				機能確認済加速度(At)との比較			備考
				機種名	型式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	方向	評価用加速度*1	機能確認済加速度(At)	
非常用ガス処理系											
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備											
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直動型ファン（～2900m³/min）	41.7m³/min	○	水平	1.66	2.3	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.29	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	225kW	○	水平	1.66	4.7	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.29	1.0	
可燃性ガス濃度制御系											
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備											
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	有	JEAG4601による確認	×	ファン	遠心直動型ファン（～2500m³/min）	3.7m³/min	○	水平	1.61	2.6	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.26	1.0	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	11kW	○	水平	1.61	4.7	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.26	1.0	
原子炉建屋水素濃度抑制系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
放射性物質拡散抑制系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
放射性物質拡散抑制系（航空機燃料火災への泡消火）											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
可搬型窒素ガス供給系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉格納容器フィルタベント系											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
その他発電用原子炉の附属施設											
非常用電源設備											
非常用発電装置											
非常用ディーゼル発電設備											
非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	非常用ディーゼル機関（中速形ディーゼル機関）	機関本体（～15000kW）	6100kW	○	水平	1.60	1.1	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.04	1.0	
		JEAG4601による確認	×	ガバナ	UG形	UG形	○	水平	1.61	1.2	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.07	1.0	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ*2	有	新たな検討による確認	－	横形ポンプ	スクリュー式（－）	4m³/h	×（類当型式なし）	水平	－	－	・設備の型式がJEAG4601の適用外であるため，『新たな検討』を実施する
								鉛直	－	－	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	2.2kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備											
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	非常用ディーゼル発電機（高速形ディーゼル機関）	機関本体（～15000kW）	3000kW	○	水平	1.60	1.1	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.04	1.0	
		JEAG4601による確認	×	ガバナ	UG形	UG形	○	水平	1.61	1.2	・評価用加速度がAt超えのため，『詳細検討』を実施する
								鉛直	1.07	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ*2	有	新たな検討による確認	－	横形ポンプ	スクリュー式（－）	4m³/h	×（類当型式なし）	水平	－	－	・設備の型式がJEAG4601の適用外であるため，『新たな検討』を実施する
								鉛直	－	－	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	2.2kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	
ガスタービン発電機設備											
ガスタービン発電機*2	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	・新設設備であり，設備の型式がJEAG4601適用しないため，加振試験による『個別評価』を実施する
ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ*2	有	新たな検討による確認	－	横形ポンプ	スクリュー式（－）	3m³/h	×（類当型式なし）	水平	－	－	・設備の型式がJEAG4601の適用外であるため，『新たな検討』を実施する
								鉛直	－	－	
		JEAG4601による確認	×	電動機	横形ころがり軸受（～950kW）	1.5kW	○	水平	－	4.7	
								鉛直	－	1.0	
浸水防護施設											
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	

島根原子力発電所　２号炉

別表１　検討対象設備の抽出結果(4/4)

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	機能維持評価用加速度がAt超過時の評価方法がJEAGに規定されているか ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認				機能確認済加速度(At)との比較			備考
				機種名	形式（適用範囲）	設備容量	適用性 ○：適用可 ×：適用外	方向	機能維持評価用加速度*1	機能確認済加速度	
弁											
一般弁											
グローブ弁*2	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	－
ゲート弁*2	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	－
バタフライ弁*2	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	－
逆止弁*2	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	－
特殊弁											
主蒸気隔離弁*2	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	－
安全弁*2	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動系スクラム弁*2	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	－

注１：機能維持評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

注２：弁の確認結果については，詳細設計段階にて示す。

備考

・対象設備の相違
【東海第二，女川 2】
③の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　2 号炉	備考

別表１　検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果

(5/5)

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	評価用加速度がAs相当の時の評価方法が JEAG に規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	JEAG4601適用性確認 機種名	JEAG4601適用性確認 型式（適用範囲）	JEAG4601適用性確認 設置容量	JEAG4601適用性確認 ○：適用可 ×：適用外	機能維持済加速度（As）との比較 方向	機能維持済加速度（As）との比較 評価用加速度※1	機能維持済加速度（As）	備　考
ポ											
特殊ポ											
主蒸気隔離弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
主蒸気逃がし安全弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
一般ポ											
主蒸気系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉再循環系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
給水復水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
補給水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
燃料プール補給水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
燃料プール冷却浄化系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
ほう酸水注入系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
スクラム入口ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
高圧代替注水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
高圧窒素ガス供給系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
代替高圧窒素ガス供給系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
D/G系 空気だめ安全ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
HPCS D/G系 空気だめ安全ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
残留熱除去系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
高圧炉心スプレイ系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
低圧炉心スプレイ系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉隔離時冷却系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉補機冷却水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉補機冷却海水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
高圧炉心スプレイ補機冷却水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉冷却材浄化系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
ドライウェル機器ドレンサンプ系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
ドライウェル床ドレンサンプ系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
非常用ガス処理系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
可燃性ガス濃度制御系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉格納容器調気系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉格納容器フィルタベント系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
直流駆動低圧注水系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
ガスタービン発電設備燃料移送系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
中央制御室待避所加圧設備系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
緊急時対策所非常用給気系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
緊急時対策所加圧設備系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
緊急時対策所燃料移送系ポ	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	

注）地下水位下設備（揚水ポンプ）については本資料における検討対象外の設備であるが、現在審議中のため、動的機能維持評価については工認段階で示す。

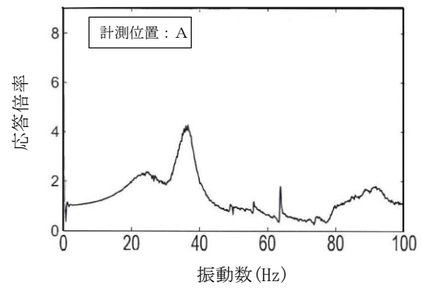
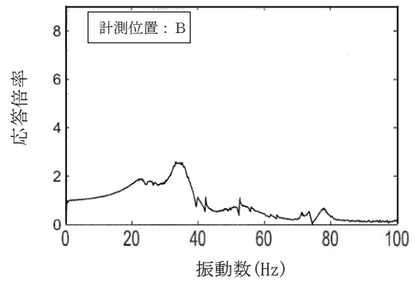
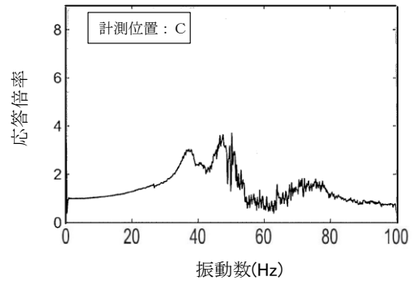
※1　評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。
※2　SA 設備として現在設計中。

・対象設備の相違
【東海第二，女川 2】
③の相違

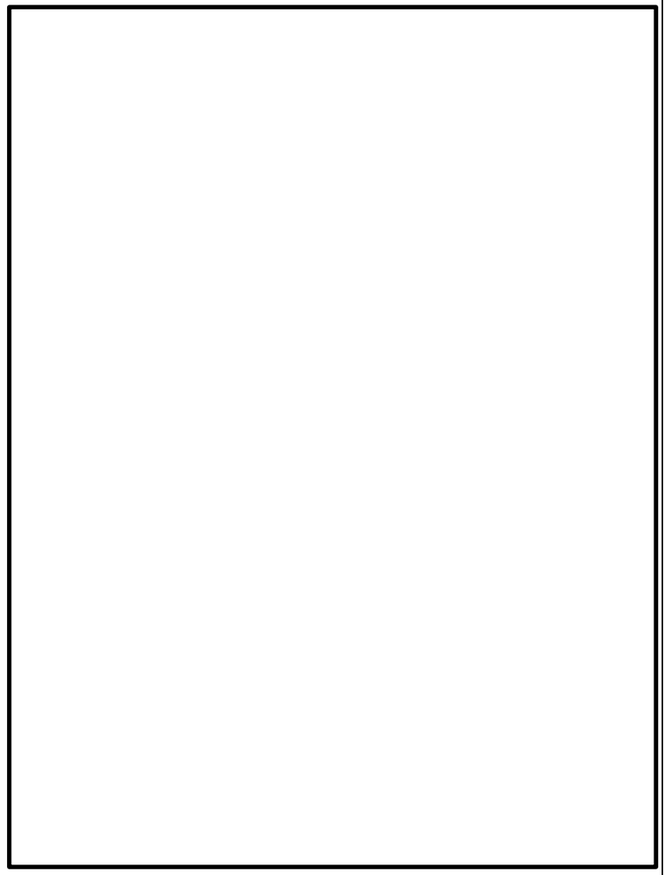
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料１ 高圧原子炉代替注水ポンプの加振試験について 高圧原子炉代替注水ポンプは横形のポンプであるが，原動機であるタービンと一体構造となっており，ＪＥＡＧ４６０１における適用形式が異なることから，機能確認済加速度を用いた評価とすることができない。そのため，機能確認済加速度を設定することを目的とし，［　　］を用いて，高圧原子炉代替注水ポンプに対する加振試験を実施した。加振試験の概要について，以下に示す。 1.　試験概要 高圧原子炉代替注水ポンプはタービンと一体構造であるため，ガバナ等の付属品を含む形で試験を実施した。ポンプ断面イメージ図を第 1－1 図に示す。 試験方法としては振動特性把握試験を実施し固有振動数を求め，剛構造であることを確認した後，機器の据付位置における機能維持評価用加速度を包絡する加振波で加振試験を実施した。また，加振試験に加え，試験前後の性能比較及び試験後に機器毎の部品に分解し目視検査を実施することで健全性を確認している。振動試験装置外観を第 1－2 図，加振台仕様を第 1－1 表に示す。 第 1－1 図　ポンプ断面イメージ図	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

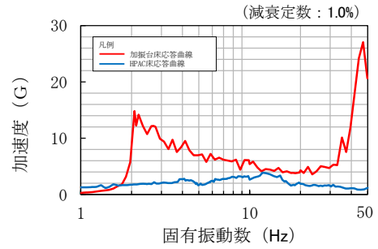
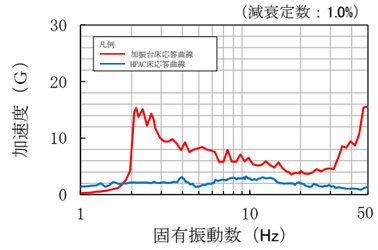
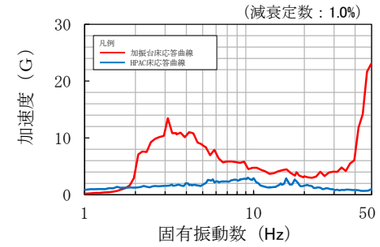
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 1－2 図　振動試験装置外観 第 1－1 表　加振台仕様 寸法 [redacted] 最大積載量 運転周波数帯域 最大加速度　水平 最大加速度　鉛直 2.　振動特性把握試験 2.1　試験条件 ポンプに 3 軸加速度計を取付け，[redacted]までの範囲のランダム波による各軸単独加振を実施し，応答加速度による周波数応答関数から固有周期を求める。計測センサー取付位置を第 2.1－1 図に示す。	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 2.1－1 図　計測センサー取付位置 2.2　試験結果 試験結果として得られた周波数応答関数を第 2.2－1 図に，各軸方向の固有振動数を第 2.2－1 表に示す。第 2.2－1 表より，各軸方向について剛構造と見なせる固有周期 0.05 秒を十分に下回る結果が得られた。	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 X方向  Y方向  Z方向 第 2.2－1 図　周波数応答関数 第 2.2－1 表　各軸方向での固有振動数 方向 / 固有周期（s） / 固有振動数（Hz） X Y Z	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		3.　加振試験 3.1　試験条件 加振試験における試験条件を第 3.1－1 表に示す。また，加振台上の加速度時刻歴波形を第 3.1－1 図に，加振台床応答曲線と島根２号炉の高圧原子炉代替注水ポンプの設置位置における床応答曲線（以下「HPAC 床応答曲線」という。）の比較を第 3.1－2 図に示す。機器の固有周期は 0.05 秒を下回っており，剛構造と見なせることから，機器設置位置における機能維持評価用加速度を包絡する加振波を生成し，加振試験を実施する。加振方向は水平（前後，左右）及び鉛直方向の三軸同時加振とする。なお，第 3.1－1 図に示す加振台床応答曲線は，加振波を入力とした振動台の時刻歴応答波形の床応答曲線であり，振動台の［　　］の影響により，50Hz 近傍にピークが生じている。 第 3.1－1 表　加振試験条件 項目 / 試験条件 加振地震波 / ランダム波 加振方向 / 水平２方向＋鉛直方向の３軸同時加振試験 運転状態 / 停止中加振[注1]（満水状態） 取付条件 / 振動台上に設置された台板にボルトにて取り付け 注１：重大事故等は「地震の独立事象」として扱っており，高圧原子炉代替注水ポンプの運転を想定する時間は，事象発生後約 8.3 時間であることから，地震荷重との組合せが不要な期間（10^{-2} 年）より短時間であるため，加振試験条件として停止時を考慮する。	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

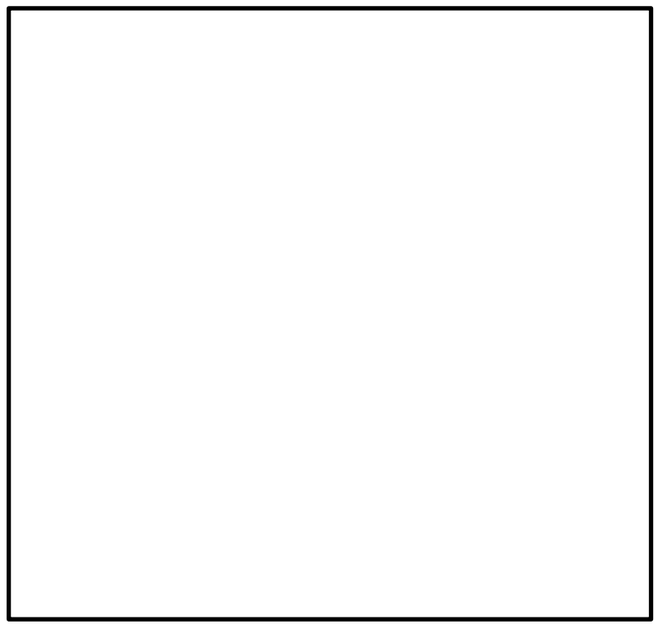
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第 3.1－1 図　加振台上の加速度時刻歴波形	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 X 方向  Y 方向  Z 方向 第 3.1－2 図　加振台床応答曲線と HPAC 床応答曲線の比較	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		3.2　試験結果 以下について機器に異常のないことを確認し，本試験において加振台での最大加速度を整数位で切り捨てた値を機能確認済加速度とした。 (1)　漏えいのないこと。 (2)　構造上損傷のないこと。 (3)　加振中にガバナが［　　］以上変位しないこと。 (4)　トリップ装置が誤作動しないこと。 (5)　動作試験として，加振試験前後の性能比較を実施し，機器の健全性並びに動作性に異常のないこと。 a.　高圧及び低圧時における定格流量点で設計揚程の［　　］の範囲にあること。 b.　高圧時による性能試験で，必要揚程を下回らないこと。 c.　高圧時による性能試験で，設定締切揚程を上回らないこと。 d.　正常にトリップ機能が動作すること e.　漏えいのないこと (6)　加振試験後に機器毎の部品に分解し，外観目視点検により損傷のないこと。 加振試験における機能確認済加速度と，島根２号炉高圧原子炉代替注水ポンプの動的機能維持における機能維持評価用加速度の比較を第 3.2－1 表に示す。また，試験体と島根２号炉高圧原子炉代替注水ポンプの主な仕様の比較を第 3.2－2 表に示す。	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 3.2－1 表　機能確認済加速度と島根２号炉高圧原子炉代替注水ポンプ機能維持評価用加速度の比較 方向 / 島根２号炉 高圧原子炉代替注水ポンプ 機能維持評価用加速度[注1] [G] / 試験により確認された 機能確認済加速度 [G] / 加振台加振試験時 最大加速度 [G] X / 0.81 Y / 0.81 Z / 0.58 注１：機能維持評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。 第 3.2－2 表　高圧原子炉代替注水ポンプの主な仕様の比較 試験体 / 島根２号炉 高圧原子炉代替注水ポンプ 外形寸法：1430mm（長さ） 940mm（幅） 1285mm（高さ） / 1394mm（長さ） 850mm（幅） 1251.5mm（高さ） 重量：3740kg / 3280kg ポンプ 種類：ターボ形 ポンプ 容量：136 m^3/h / 93 m^3/h 原動機 種類：背圧式蒸気タービン 原動機 出力：553kW / 567kW	・資料構成の相違 【東海第二，女川 2】 ②の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		参考資料１ ガスタービン発電機の加振試験について 米国ＰＷＲ向けのガスタービン（以下「US-APWR ガスタービン」という。）について，加振試験が実施されている[1]。 島根２号炉のガスタービンと US-APWR ガスタービンは類似の仕様であることから，島根２号炉のガスタービン発電機に対する動的機能維持のための新たな検討の補足として，US-APWR ガスタービンに対する加振試験を示すとともに，US-APWR ガスタービンと島根２号炉のガスタービンの類似性を示す。 1.　US-APWR ガスタービン加振試験 1.1　試験概要 US-APWR ガスタービンは，米国における電気設備の加振試験に関して規定されている IEEE Std 344[2]に基づき試験が実施されている。実規模の試験における US-APWR ガスタービンの構造概要を第 1.1－1 図に示す。  第 1.1－1 図　US-APWR ガスタービンの構造概要	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		1.2　振動特性把握試験 1.2.1　試験条件 振動特性把握試験における試験条件を第 1.2.1－1 表に示す。水平（軸方向，軸直方向）及び鉛直方向に対して、それぞれ 1～50Hz の振動数範囲で加振レベル約 0.1 G の正弦波掃引加振を実施し，ガスタービンの固有振動数を確認した。計測センサー取付位置を第 1.2.1－1 図に示す。 第 1.2.1－1 表　正弦波掃引加振の試験条件 項目：掃引振動数／加振レベル／加振方向 試験条件：1～50Hz／0.1G／水平（軸方向，軸直方向）及び鉛直方向単独  第 1.2.1－1 図　計測センサー取付位置	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

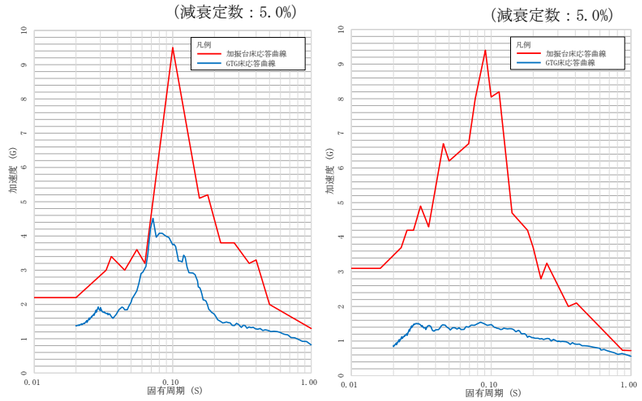
東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		1.2.2　試験結果 試験結果として得られた周波数応答関数を第 1.2.2－1 図に，各軸方向での固有振動数を第 1.2.2－1 表に示す。第 1.2.2－1 表より，ガスタービンが剛構造であることを確認した。 第 1.2.2－1 図　周波数応答関数	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		第 1.2.2－1 表　各軸方向の固有振動数 	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		1.3　加振試験 1.3.1　試験条件 加振試験における試験条件を第 1.3.1－1 表に示す。また，US-APWR ガスタービンの加振試験は地震波加振により実施されている為，参考として加振台床応答曲線と島根２号炉のガスタービン設置位置における床応答曲線（以下「GTG 床応答曲線」という。）の比較を第 1.3.1－1 図に示す。なお，第 1.3.1－1 図に示す加振台床応答曲線の減衰定数は，IEEE Std 344[2]に基づき，米国の加振試験における加振波の設定において推奨されている減衰定数 5.0％を用いている。	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

第 1.3.1－1 表　加振試験条件

項目	試験条件
試験体	US-APWR ガスタービン（発電機部分を除く）
加振地震波	ランダム波
加振方向	水平１方向＋鉛直方向の２軸同時加振試験
運転状態	・停止中加振 ・運転中加振 ・加振中起動
取付条件	振動台上に設置された台板にボルトにて取り付け

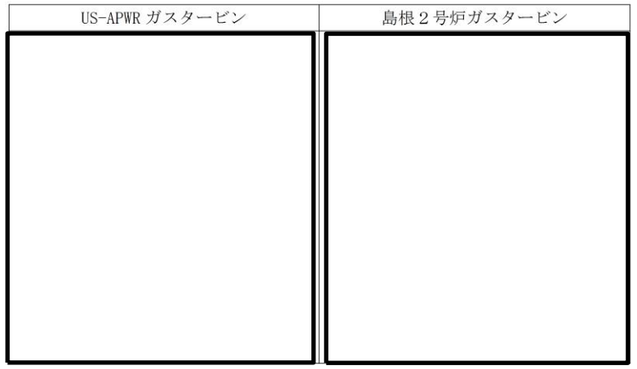


水平方向　　鉛直方向

第 1.3.1－1 図　加振台床応答曲線と GTG 床応答曲線の比較

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		1.3.2　試験結果 US-APWR ガスタービンの試験結果を第 1.3.2－1 表に示す。加振試験時及び加振試験後において，ガスタービンの運転性能に異常は確認されず，US-APWR ガスタービンの機能確認済加速度として，水平方向：2.2G，鉛直方向：3.1Gが得られた。 第 1.3.2－1 表　加振試験結果 <table><tr><th colspan="2">項目</th><th>試験結果</th></tr><tr><td rowspan="2">最大 加速度</td><td>水平</td><td>２．２Ｇ</td></tr><tr><td>鉛直</td><td>３．１Ｇ</td></tr><tr><td colspan="2">試験結果</td><td>すべての運転状態（停止中加振，運転中加振，加振中起動）において，ガスタービンの運転性能に異常のないことを確認した。</td></tr><tr><td colspan="2">試験後確認</td><td>試験後の確認運転において，ガスタービンの運転性能に異常のないことを確認した。また，試験後の開放点検においても，外観，寸法，構成部品の作動に異常のないことを確認した。</td></tr></table>	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		2.　島根２号炉のガスタービンと US-APWR ガスタービンの類似性 US-APWR ガスタービンと島根２号炉のガスタービンの主な仕様の比較を第 2－1 表に，ガスタービン機関の構造概要の比較を第 2－1 図に示す。また，US-APWR ガスタービン加振試験における機能確認済加速度と，島根２号炉ガスタービンの動的機能維持における機能維持評価用加速度の比較を第 2－2 表に示す。 第 2－1 表及び第 2－1 図のとおり，US-APWR ガスタービンと島根２号炉のガスタービンは類似している。また，島根２号炉の機能維持評価用加速度を上回る加速度による加振試験により健全性が確認されている。このため，島根２号炉のガスタービンにおいても加振試験に対して同等の健全性を有すると考えられる。 第 2－1 表　ガスタービンの主な仕様の比較 <table><tr><td colspan="2"></td><td>US-APWR ガスタービン</td><td>島根２号炉 ガスタービン</td></tr><tr><td colspan="2">型式</td><td colspan="2" rowspan="5"></td></tr><tr><td colspan="2">エンジン基数</td></tr><tr><td rowspan="4">構造</td><td>圧縮機</td></tr><tr><td>タービン</td></tr><tr><td>燃焼器</td></tr><tr><td>減速機</td></tr><tr><td>外形寸法</td><td>2877 mm(全長) 2180 mm(幅) 2275 mm(高さ)</td><td>同左</td></tr><tr><td colspan="2">定格出力 ［発電機出力］</td><td>5,625 kVA ［4,500 kW］</td><td>6,000 kVA ［4,800 kW］</td></tr><tr><td colspan="2">電圧</td><td>6,900 V</td><td>同左</td></tr><tr><td colspan="2">周波数</td><td>60 Hz</td><td>同左</td></tr><tr><td rowspan="2">回転数</td><td>ガスタービン</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>発電機</td><td>1,800 min^{-1}</td><td>同左</td></tr><tr><td colspan="2">始動方式</td><td>空気始動方式</td><td>電気始動方式</td></tr></table>	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違

東海第二発電所（2018.9.18 版）	女川原子力発電所　2 号炉（2020.2.7 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第２－１図　ガスタービン機関の構造概要の比較 第２－２表　US-APWR ガスタービンの機能確認済加速度と島根２号炉ガスタービン機能維持評価用加速度の比較 US-APWR ガスタービンの試験により確認された機能確認済加速度 [G]：水平：2.2 鉛直：3.1 島根２号炉ガスタービン機能維持評価用加速度[注1] [G]：水平：1.47 鉛直：0.69 注１：機能維持評価用加速度は，暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。 【参考文献】 [1] Mitsubishi Heavy Industries, LTD.,” Initial Type Test Result of Class 1E Gas Turbine Generator System” (MUAP-10023-NP[R7]), December 2013 [2] IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations	・新たな検討が必要な設備の相違 【東海第二，女川 2】 ①の相違