

5. 管台加工に伴う影響確認について

5. 1 配管モデル解析における影響

①ループ解析への影響

ループ解析モデルにおいて、母管に対して分岐管管台の質量が十分に小さく、母管の振動応答への影響がないものと考え、1次冷却材管は母管のみをモデル化していることから、ループ解析の変更とはならない。

②加圧器スプレイ配管の影響

管台加工に伴い、配管ルートの変更は行わないが、管台に取りつく配管の寸法に若干の変更が生じており、配管モデルにおける質点質量が一部変更となっている。

今回申請において新規制一括工認から質点質量が変更となっている箇所を下表に示す。

質点質量の比較

--

節点番号 183 については、管台加工に伴い管台に取りつく配管長が長くなることから、今回申請における配管重量は 2kg 程度増加する。また、保温材重量は配管モデル化の際、単位長さあたりの質量を適正化したことから、若干の変更が生じている。

節点番号 618、619 については、配管重量に変更はなく、保温材重量の適正化による変更のみである。

質点質量の変動割合は最大で約 2%程度であり、解析においては支持点の midpoint に質量を付加することにより実機よりも保守側の評価を行っていることから、質点質量の変更に伴う解析における応力評価への影響は軽微である。

: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

また、今回申請の耐震評価においては、総合評価として最大発生応力点をまとめたものとなっているが、解析モデルの範囲（ブロック①）のうち配管取替範囲の各節点における発生応力については、それぞれ下表に示すとおりであり、いずれも許容値を満足している。

節点番号 1202 〔単位：MPa 〔最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く〕〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス1管	(注1) Sd	一次応力 (曲げ応力を含む)	116	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	58	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力(注2)	287	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度(°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
			疲労累積係数(注3)	0.00032	1.0
	Ss	一次応力 (曲げ応力を含む)	149	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	81	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力(注2)	500(注4)	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
			供用状態A及びBにおける温度(°C)	328	430
		繰返しピーク応力強さ	310	4881	
		疲労累積係数(注3)	0.03686	1.0	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

(注4) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

節点番号 177

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス 1 管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	148	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	86 ^(注4)	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	110	206	
		一次+二次応力 ^(注2)	355 ^(注5)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	328	430
			繰返しピーク応力強さ	200	4881
		疲労累積係数 ^(注3)		0.00070	1.0
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	193	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	120 ^(注4)	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	155	274	
		一次+二次応力 ^(注2)	658 ^(注5)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	328	430
			繰返しピーク応力強さ	371	4881
		疲労累積係数 ^(注3)		0.14298	1.0

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

(注4) 許容値を超えているため、一次応力 (曲げとねじりによる応力) 評価を行う。

(注5) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

節点番号 179

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス1管	(注1) Sd	一次応力 (曲げ応力を含む)	123	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	50	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	311	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
			疲労累積係数 ^(注3)	0.00032	1.0
	Ss	一次応力 (曲げ応力を含む)	155	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	68	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	617 ^(注4)	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	328	430
		繰返しピーク応力強さ	348	4881	
		疲労累積係数 ^(注3)	0.10112	1.0	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

(注4) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

節点番号 180

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス1管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	115	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	50	62	
		(注1) 一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力(注2)	332	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度(°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数(注3)	0.00034	1.0	
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	144	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	68	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力(注2)	711(注4)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
			供用状態A及びBにおける温度(°C)	328	430
			繰返しピーク応力強さ	401	4881
		疲労累積係数(注3)	0.21119	1.0	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

(注4) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

節点番号 182

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値
クラス 1 管	(注1) Sd 地 震 時	一次応力 (曲げ応力を含む)	118	257
		一次応力 (ねじりによる応力)	41	62
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-
		一次+二次応力 ^(注2)	293	343
	簡易 弾 塑 性 解 析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
		供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
		繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00022	1.0
	Ss 地 震 時	一次応力 (曲げ応力を含む)	149	343
		一次応力 (ねじりによる応力)	59	83
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-
		一次+二次応力 ^(注2)	583 ^(注4)	343
	簡易 弾 塑 性 解 析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
		供用状態A及びBにおける温度 (°C)	328	430
繰返しピーク応力強さ		329	4881	
疲労累積係数 ^(注3)		0.07097	1.0	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

(注4) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

節点番号 183

〔単位：MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く)〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス 1 管	(注1) Sd	一次応力 (曲げ応力を含む)	86	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	28	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	198	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00003	1.0	
	Ss	一次応力 (曲げ応力を含む)	107	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	40	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	313	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
繰返しピーク応力強さ			-	-	
疲労累積係数 ^(注3)		0.00015	1.0		

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

節点番号 185

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値
クラス1管	(注1) Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	91	257
		一次応力 (ねじりによる応力)	13	62
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-
		一次+二次応力 ^(注2)	286	343
	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
		供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
		繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00017	1.0
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	112	343
		一次応力 (ねじりによる応力)	19	83
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-
		一次+二次応力 ^(注2)	504 ^(注4)	343
	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
		供用状態A及びBにおける温度 (°C)	328	430
繰返しピーク応力強さ		284	4881	
疲労累積係数 ^(注3)		0.02653	1.0	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

(注4) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

節点番号 820

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス 1 管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	110	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	13	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	162	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)		0.00000	1.0
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	131	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	19	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	287	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
繰返しピーク応力強さ			-	-	
疲労累積係数 ^(注3)		0.00011	1.0		

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

節点番号 186

〔単位：MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く)〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス1管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	74	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	13	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	176	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度(°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)		0.00001	1.0
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	85	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	19	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	326	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度(°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)		0.00017	1.0

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

節点番号 618

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス1管	(注1) Sd	一次応力 (曲げ応力を含む)	85	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	13	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	167	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00000	1.0	
	Ss	一次応力 (曲げ応力を含む)	103	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	18	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	283	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
繰返しピーク応力強さ			-	-	
疲労累積係数 ^(注3)		0.00011	1.0		

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

節点番号 188

〔単位：MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く)〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス 1 管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	107	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	3	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	216	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00005	1.0	
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	133	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	4	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	379 ^(注4)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4	0.8
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	328	430
			繰返しピーク応力強さ	214	4881
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00116	1.0	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

(注4) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

節点番号 821

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス 1 管	(注1) Sd	一次応力 (曲げ応力を含む)	113	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	3	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	163	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00000	1.0	
	Ss	一次応力 (曲げ応力を含む)	142	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	4	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	296	343	
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
繰返しピーク応力強さ			-	-	
疲労累積係数 ^(注3)		0.00013	1.0		

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

節点番号 619

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項 目		最大値	許容値	
クラス1管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	118	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	3	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	166	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)		0.00000	1.0
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	155	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	4	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
		一次+二次応力 ^(注2)	269	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
			繰返しピーク応力強さ	-	-
		疲労累積係数 ^(注3)		0.00009	1.0

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。

節点番号 530

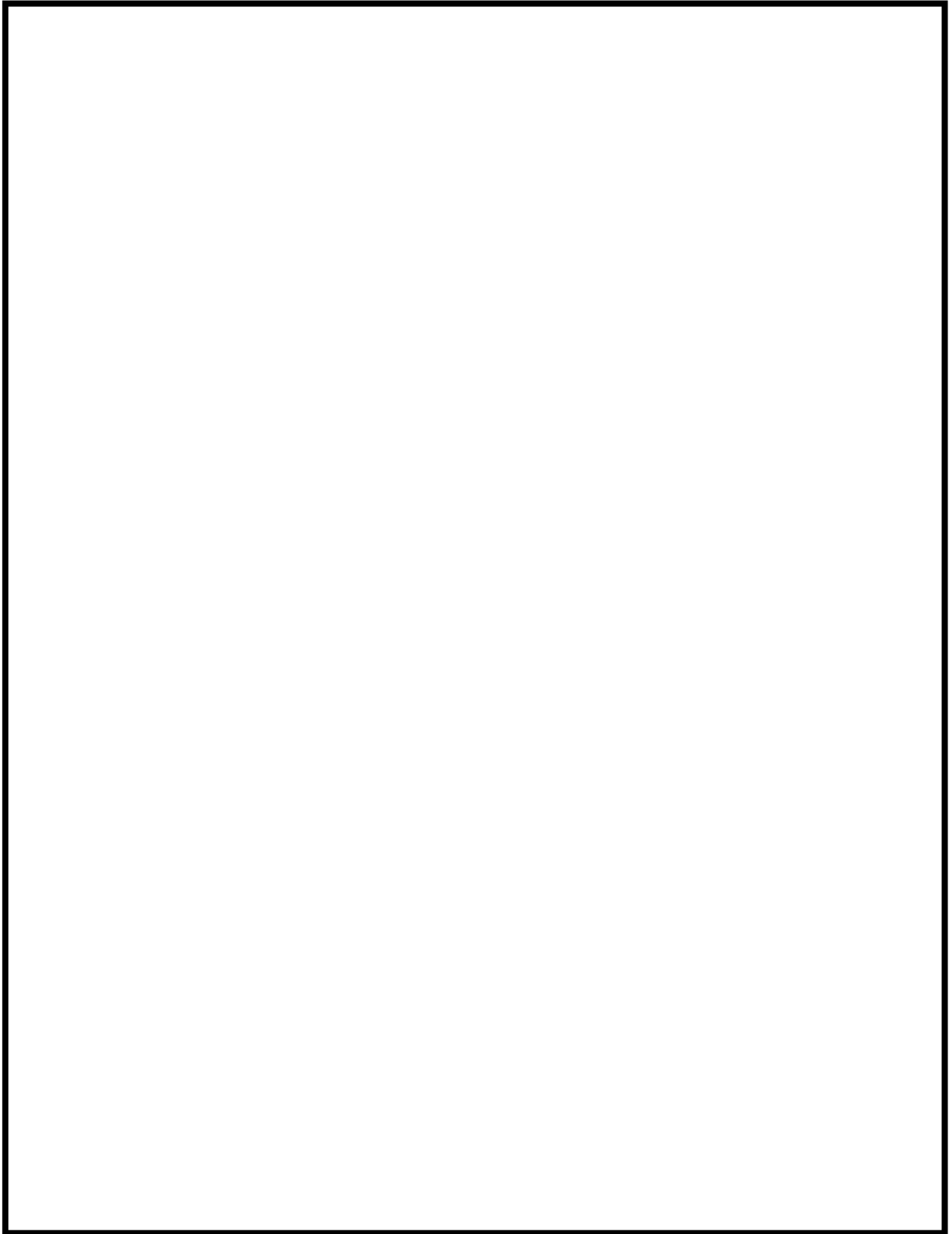
〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さとの比及び疲労累積係数を除く) 〕


機器等の区分	項 目		最大値	許容値		
クラス 1 管	(注1) Sd	一次応力 (曲げ応力を含む)	90	257		
		一次応力 (ねじりによる応力)	3	62		
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-		
		一次+二次応力 ^(注2)	106	343		
	地震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-	
			供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-	
			繰返しピーク応力強さ	-	-	
		疲労累積係数 ^(注3)	0.00000	1.0		
	Ss	地	一次応力 (曲げ応力を含む)	114	343	
			一次応力 (ねじりによる応力)	4	83	
			一次応力 (曲げとねじりによる応力)	-	-	
			一次+二次応力 ^(注2)	171	343	
		震時	簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	-	-
				供用状態A及びBにおける温度 (°C)	-	-
				繰返しピーク応力強さ	-	-
			疲労累積係数 ^(注3)	0.00002	1.0	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注3) 地震による疲労累積係数と供用状態A及びBによる疲労累積係数との和を示す。



 :枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

5. 2 管台の補強評価への影響

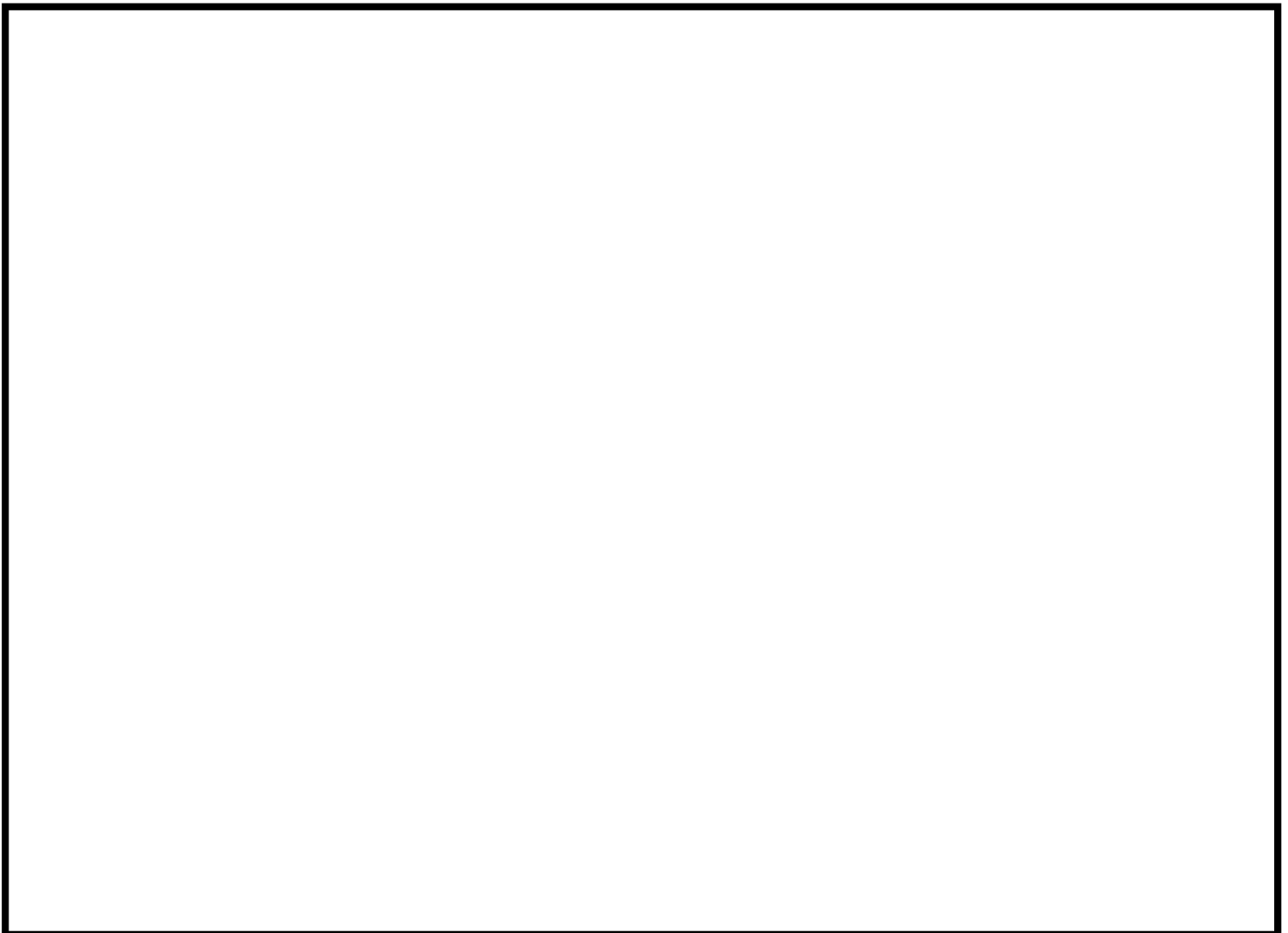
管台の加工に伴う配管の穴と補強に関しては、設計・建設規格 PPB-3420 に基づき実施した結果、問題がないことを確認している。

JSME-S NC1-2012 PPB-3420に基づいた計算

設備区分 原子炉冷却系統設備 一次冷却設備 クラス1配管
 最高使用圧力 17.16 MPa 最高使用温度 343 °C
 主 管

材 料	設計応力強さ S_m (N/mm^2)	外 径 D_o (mm)	厚 さ t_s (mm)	計算上必要な厚さ t_{r3} (mm)	補強を要しない 穴の最大径 (mm)	補強計算を行う管台
SCS14A	114	836	68.75	59.4	32.4	4B

管 台



:枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

項目		管台名称	4B加圧器スプレイ管台
補強計算	補強に有効な範囲 (mm)	穴の中心線に平行な直線間の距離 l_a	
		主管の面に沿う線と主管の面との距離 l_b	
	補強に有効な面積 (mm ²)	A_1	
		A_2	
		A_3	
		$A_t = \sum_{i=1}^3 A_i$	
	補強に必要な面積： A_r (mm ²)		
評価		A_t は、 A_r より大きいので補強は十分である。	

:枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

6. 1次冷却材管4B加圧器スプレイ管台の耐震評価について

6. 1 概要

本資料は、1次冷却材管4B加圧器スプレイ管台が十分な耐震性を有することを確認するため、設計確認として実施した耐震評価についてまとめたものである。評価の結果、発生値は許容値を満足しており、地震動に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

適用規格は、次のとおりである。

- (1) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2012)
(以下「JSME S NC1」という。)
- (2) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格」(JSME S NJ1-2012)
- (3) 日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程」(JEAC4601-2008)
(以下「JEAC4601」という。)
- (4) 日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」
(JEAG4601・補-1984)
- (5) 日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987)
- (6) 日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1991 追補版)
(以降、「JEAG4601」と記載しているものは上記3指針を指す。)

6. 2 記号の説明

本資料で用いる記号については、次に定義する。

記号	単位	定義
MIN (A、B)	—	A又はBの2つの値のうち小さい方の値
S_m	MPa	設計応力強さ
S_u	MPa	設計引張強さ
D	—	死荷重
P	—	地震と組み合わせべきプラントの運転状態（冷却材喪失事故後の状態は除く）における圧力荷重
M	—	地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（冷却材喪失事故後の状態は除く）で設備に作用している機械的荷重
P_L	—	冷却材喪失事故直後を除き、その後に生じる圧力荷重
M_L	—	冷却材喪失事故直後を除き、その後に生じる死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
S_d	—	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力
S_s	—	基準地震動 S_s により定まる地震力
C_s	—	JSME S NC1の供用状態C相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
D_s	—	JSME S NC1の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

6. 3 評価方針

4 B加圧器スプレイ管台の評価では、「6. 3. 1 荷重の組合せ及び許容応力」にて設定した荷重の組合せ及び許容限界に基づき、「6. 4 荷重条件」に示す荷重によって発生する応力等が許容限界内に収まることを確認する。

6. 3. 1 荷重の組合せ及び許容応力

荷重の組合せ及び許容応力を第3-1表に示す。また、材料の設計応力強さ及び設計引張強さを第3-2表に示す。なお、地震と組み合わせる運転状態は とし、許容応力の設定に用いる温度は、 時の最高温度とする。

6. 3. 2 内圧による応力

内圧による応力は、有限要素法及び規格式により算出する。有限要素解析モデル図を第3-1図に示す。

6. 3. 3 外荷重による応力

外荷重による応力は、はり理論及びバイラード法により算出する。

6. 3. 4 地震荷重の変動回数

疲労評価に用いる地震荷重の変動回数は、以下のとおりとする。

S_d 地震：300回

S_s 地震：200回

:枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第3-1表 荷重の組合せ及び許容応力

項目 区分	許容 応力 状態	荷重の組合せ	許 容 限 界			
			一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	C _s	D+P+M+S _d	(注1) 1.2S _m	(注2) 左欄のα倍の値	(注3) 3S _m 〔 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。 〕	(注4、5) S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、供用状態A,Bにおける疲労累積係数との和を1.0以下とする。
	D _s	(注6) D+P _L +M _L +S _d	(注1) MIN (2/3S _u 、2.4S _m)	(注2) 左欄のα倍の値		
		D+P+M+S _s				

(注1) オーステナイト系ステンレス鋼に適用する許容限界を示す。

(注2) αは応力解析における純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値とする。

(注3) 3S_mを超えるときは簡易弾塑性解析を行う。

(注4) JSME S NC1 PVB-3140(6)を満たすときは、疲労解析を行うことを要しない。ただし、「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

(注5) 供用状態A,Bにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下とする。

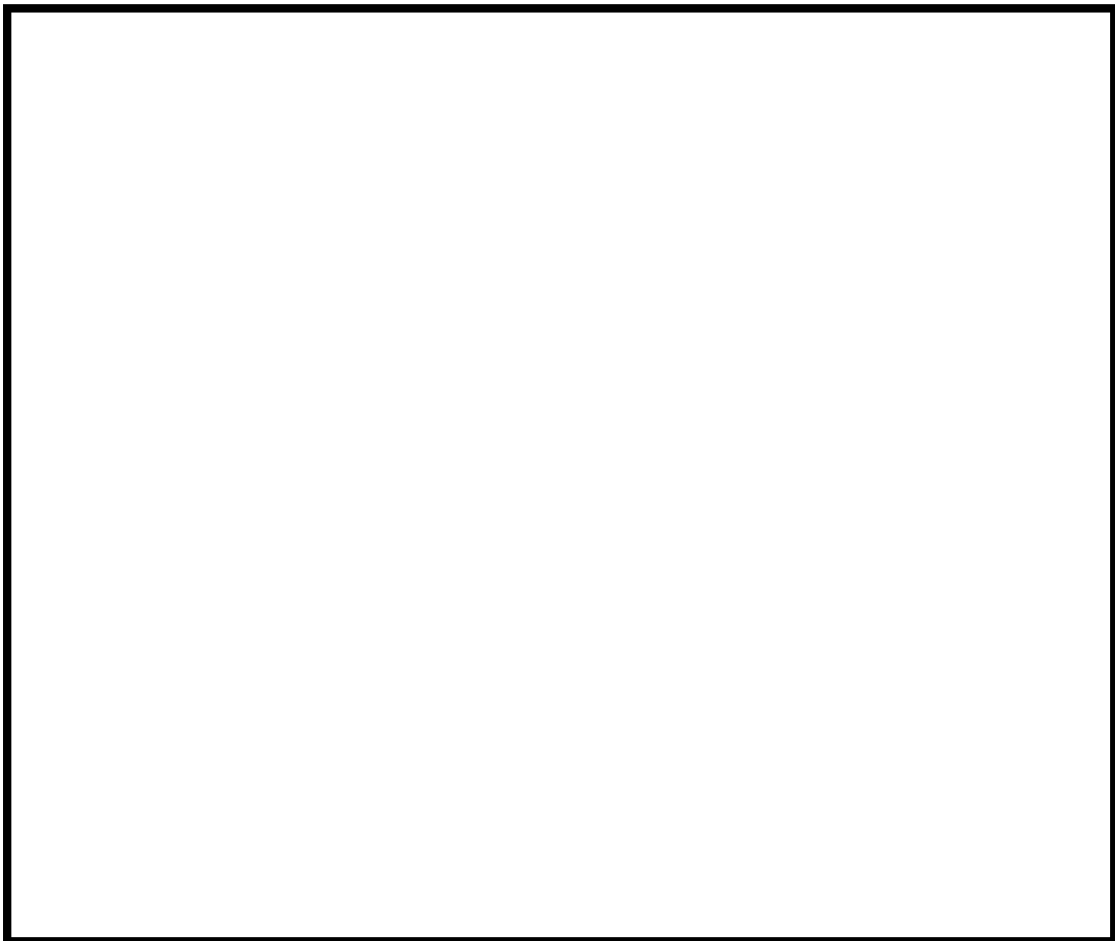
(注6) 冷却材喪失事故後の状態における圧力荷重は、に比べて十分小さいため考慮しない。また、冷却材喪失事故後の状態で設備に作用する機械的荷重はないため考慮しない。

:枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。


第3-2表 設計応力強さ及び設計引張強さ

(単位：MPa)

材 料	設計応力強さ等の種類	温度条件	使用箇所
SUSF316	S_m	117	4 B 加圧器スプレイ管台
	S_u	427	
SCS14A	S_m	117	27.5 ^{IN} ID主管 (コールドレグ)
	S_u	420	



第3-1図 有限要素解析モデル図

 :枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

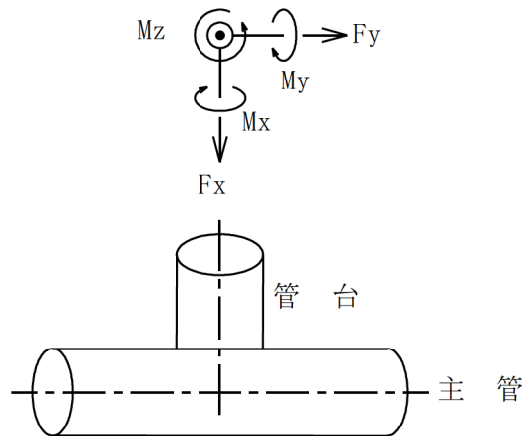
6. 4 荷重条件

管台に作用する荷重として、加圧器スプレイ配管における地震応答解析から得られた反力を第4-1表に示す。

第4-1表 管台に作用する荷重

箇 所	荷重の種 類		軸 力 (kN)			モーメント (kN・m)		
			Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
4B 加圧器 スプレイ管台	自重							
	Ss地震	一次						
		一次+二次						
	Sd地震	一次						
		一次+二次						

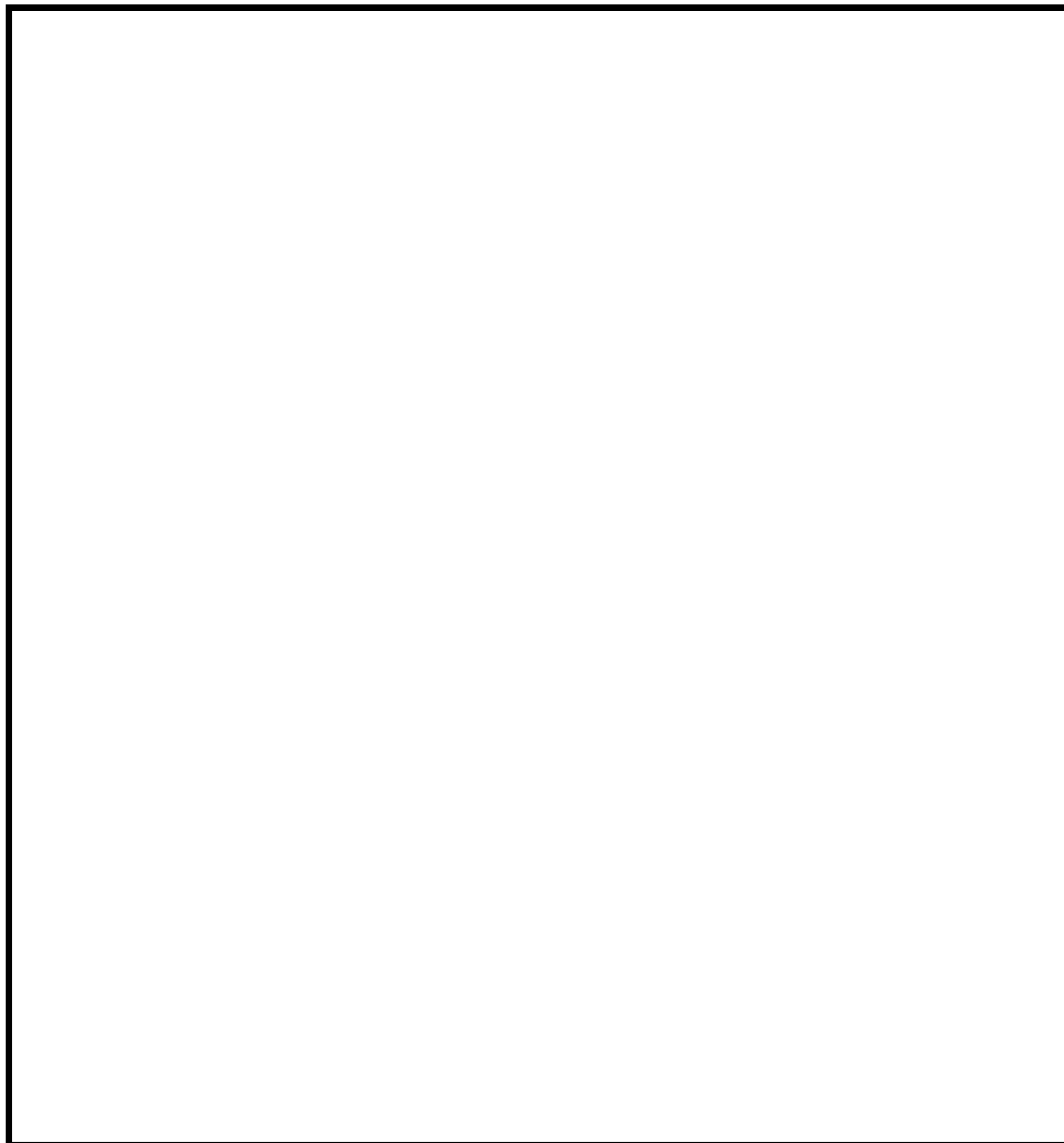
(注) 荷重の方向は以下による。




: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

6. 5 評価結果

4 B加圧器スプレイ管台の形状、寸法、材料及び評価点を第5-1図に、評価結果の概要を第5-1表及び第5-2表に示す。発生値は許容値を満足しており、地震動に対して十分な構造強度を有していることを確認した。



第5-1図 形状、寸法、材料及び評価点

: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第5-1表 弾性設計用地震動 S_d による評価結果 (D+P+M+Sd)

評価部位	応力分類	発生値	許容値	備考
4 B加圧器 スプレイ管台	一次一般膜応力強さ (MPa)	118	140	【評価点2, 4】
	一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)	161	196	【評価点4】
	一次+二次応力強さ (MPa)	314	351	【評価点4】
	疲労評価	0.002	1.0	【評価点6】

第5-2表 基準地震動 S_s による評価結果 (D+P+M+Ss)

評価部位	応力分類	発生値	許容値	備考
4 B加圧器 スプレイ管台	一次一般膜応力強さ (MPa)	155	280	【評価点2, 4】
	一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)	214	393	【評価点4】
	一次+二次応力強さ (MPa)	557	351	【評価点4】(注1)
	疲労評価	0.137	1.0	【評価点6】

(注1) 簡易弾塑性解析を実施し、疲労評価により発生値が許容値を満足することを確認している。

6. 6 その他

応力評価の手法については、新規制一括工認における管台の応力評価に適用されているものである。

また、新規制一括工認において、コールドレグの管台である蓄圧タンク注入管台及び充てん管台は、当該管台と同様、一次＋二次応力強さの発生値が許容値を上回っており、簡易弾塑性解析を実施し、疲労評価により発生値が許容値を満足することを確認している。

以上のことから、当該管台の評価は特異なものではないと考える。

7. 技術基準規則 17 条（材料及び構造）への適合性について


本工事においては、同材料、同仕様（外径、厚さ）の配管取替を実施することとしており、使用する材料は、炭素含有量を制限（ $C \leq 0.05\%$ ）した SUS316 系材料であり、応力腐食割れの感受性が低く、これまでも PWR の 1 次系高温環境下における応力腐食割れ対策材料として多く使用されているものである。

また、原子力発電所配管破損防護設計技術指針（以下「JEAG4613」という）において O2SCC 対策として挙げられている SUS316NG（ $C \leq 0.02\%$ ）材は、発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）において、「沸騰水型原子炉で生じた配管の応力腐食割れに対し、対策材として開発されたもので、加圧水型原子炉（PWR）環境での耐食性は確認されていないことから、耐食性目的での適用用途は沸騰水型原子炉に限定した」との記載があり、BWR プラントの水質環境に比べ、PWR プラントでは溶存酸素濃度及び塩化物イオン濃度が低く管理されており、SCC が発生し難い環境であることから、炭素含有量を 0.05%以下に制限した SUS316 材を用いる。（参考 1 1）

構造及び強度については、強度に関する説明書において、JSME 設計・建設規格 2012 年版、JSME 材料規格 2012 年版に基づく強度評価を行っており、原子炉冷却材圧力バウンダリに属する配管に対する LBB 成立性評価結果に関する説明書において、JEAG4613 に基づき、以下のとおり、LBB 成立性評価を実施している。

工事の範囲である加圧器スプレイ配管は、き裂安定性解析において、作用応力が判定応力内であることから、配管破損形式は取替え前と同じ漏えいとなり、LBB が成立していることを確認している。



 :枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第3-1表 配管の破損形式及び開口面積

呼び径 (B)	4		
外径 D _o (mm)	114.3		
板厚 t (mm)	13.5		
想定き裂角度 2θ (°)	(注5)	96.9	
判定応力 (× S _m)	(注2)	1.54	
作用 応 力	破損形式 (B) (L) 及び 開口面積 (mm ²)	(注1, 3) σ _t = 0.5 S _m σ _b = 0	L(16)
		σ _t = 0.5 S _m σ _b = 0.5 S _m	L(52)
		σ _t = 0.5 S _m σ _b = 1.0 S _m	L(169)
		σ _t = 0.5 S _m σ _b = 1.5 S _m	B
		σ _t = 0.5 S _m σ _b = 2.0 S _m	B
		判定応力 (注2)	L(187)

(注1) B：破断を想定する。
L：漏えいを想定する。
() 内数値は開口面積 (mm²)。
(注2) 判定応力 (σ_t + σ_b) 及び作用
応力のうち、σ_t (膜応力) は内
圧で 0.5 S_m とみなし、残りは σ_b
(曲げ応力) とする。ただし、
S_m は 114.7 MPa とする。
(注3) 開口面積は作用応力に応じて内挿
するものとする。
(注5) 想定き裂角度 2θ は、想定き裂長
さに対する中心角を表わす。

第4-1表 L B B 成立性評価結果 (1/2)

分類	破損想定位置	呼び径 (B)	作用応力 (× S _m)			判定応力 (× S _m)	配管破損 形式	開口面積 (mm ²)	配管破損 反力 (kN)
			膜応力 ^(注1)	曲げ応力 ^(注2)	合計応力				
分岐管台 ^(注4)	加圧器スプレイ管台 ^(注6)	4	0.5	1.03	1.53	1.54	L	183	5

- (注1) 膜応力は第3-1表の(注2)に従い、0.5 S_m とする。
(注2) 曲げ応力は自重、熱膨張、機械的荷重及び地震による応力値を合算し、小数第3位を切り上げたものとする。
(注4) 同一種類の管台で複数存在する場合、厳しい側の結果を代表として記載する。
(注6) 今回の申請にて、新規に評価を実施した。

JEAG4613 において LBB 適用の前提条件としている「SCC に対する損傷防止対策が施されていること」については、以下の理由にて満足している。

- ・フローに基づき選定された溶接部について超音波探傷検査を 37 箇所実施し、現時点で優位な指示がないことを確認している。また、運用管理での対策として今後も 37 箇所のうち、溶接時の大入熱の影響又は形状による影響が大きい溶接部について、定検時に継続的に超音波探傷検査を実施し、優位な指示がないことを確認する。
- ・JEAG4613 で言及されている既知の SCC (O2SCC, CISCC) に対しては、従前同様の対策※を行っている。

※従前同様の対策

- ・ O2SCC…SUS316 材の使用 (C ≤ 0.05%)
- ・ CISCC…制作施工段階での塩化物イオン混入防止

なお、JEAG4613では、「LBB概念の成立性条件として、ISIの効果は考慮しないものとする。」との記載があるが、これは「ISIの効果は期待できないということではなく、評価上保守性を考慮したものである。^{注3)}と記載されており、「注3 ISIにより欠陥がない事を確認されていても、LBB概念適用に際しては欠陥が存在すると仮定して評価を行う」の記載のとおり、LBB成立性評価では、ISIにより欠陥のないことが確認されていても、その結果に基づき欠陥想定をする（例えば、評価用亀裂を小さくする）ことはしないことを定めたものであり、損傷防止対策としてISI等検査を前提にすることを認めていないものではない。

これについては、JEAG4613でも損傷防止対策としては、設備対策（取替、緩和）だけでなく、水質管理といった運用管理が認められており、対象鋼種を拡大したJSMEの配管破損防護設計規格（JSME S ND1-2002）では炭素鋼のエロージョン/コロージョンに対して、損傷防止対策として肉厚管理を前提としたものとしている。（参考1 2）

継続的な超音波探傷検査（以下、継続検査という）を実施していく対象箇所については、以下のフローを基に選定する。

- 入熱が大きくなる可能性のある溶接部については検査を実施する。また、入熱が大きくなる可能性が低い溶接部であっても、形状による影響を踏まえ検査を実施する。
- これらの類似性の高い箇所に対しては3定検の間、毎定検で検査を実施する。
- なお、知見拡充や研究結果を踏まえて、対象・頻度を検討し、ISI計画に反映する。

