

島根原子力発電所 2 号炉

地震による損傷の防止

令和 2 年 3 月

中国電力株式会社

第4条：地震による損傷の防止

<目 次>

第1部

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等
 - 1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備及び津波監視設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別添)

- 別添－ 1 設計用地震力
- 別添－ 2 動的機能維持の評価
- 別添－ 3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－ 4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－ 5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－ 6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－ 7 主要建物の構造概要について
- 別添－ 8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別紙)

- 別紙－ 1 設置変更許可申請における既許可からの変更点及び既工認との手法の相違点の整理について
- 別紙－ 2 建物の地震応答解析モデルについて（建物基礎底面の付着力及び 3 次元 F E M モデルの採用）
- 別紙－ 3 基礎スラブの応力解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－ 4 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－ 5 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－ 6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定について
- 別紙－ 7 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－ 8 サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更について
- 別紙－ 9 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－ 1 0 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
- 別紙－ 1 1 液状化影響の検討方針について
- 別紙－ 1 2 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－ 1 3 後施工せん断補強筋による耐震補強
- 別紙－ 1 4 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
- 別紙－ 1 5 動的機能維持評価の検討方針について
- 別紙－ 1 6 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価について

別紙－１７ 地下水位低下設備について

下線は，今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉

屋外重要土木構造物等の耐震評価に
おける断面選定の考え方
(耐震)

屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方

1. 方針

本資料では、屋外重要土木構造物等^{※1}の耐震評価における断面選定の考え方について示す。なお、津波防護施設については「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止」に示す。

※1 屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

本資料で記載する屋外重要土木構造物等の一覧を第6-1-1表に、屋外重要土木構造物等に設置される主要な設備一覧を第6-1-2表に、全体配置図を第6-1-1図に示す。

第6-1-1表 評価対象構造物一覧

分類	設備名称	構造形式
屋外重要土木構造物等	・取水槽	箱型構造物
	・ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	
	・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	
	・第1ペントフィルタ格納槽	
	・緊急時対策所用燃料地下タンク	
	・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	線状構造物
	・燃料移送系配管ダクト	
	・屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）	
	・屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	円筒状構造物
	・取水口	
	・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	
	・取水管	管路構造物

第6-1-2表 評価対象構造物に設置される設備一覧

設備名称	屋外重要 土木構造物	常設重大 事故等対 処設備	常設重大 事故等対 処施設	設置される設備				
				名称	耐震	耐津波		常設重大 事故等対 処設備
						浸水防止 設備	津波監視 設備	
取水槽	○	○※1	○	原子炉補機海水ストレーナ	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○	-	-	○
				原子炉補機海水系配管・弁	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ補機海水系配管・弁	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○	-	-	○
				原子炉補機海水ポンプ	○	-	-	○
				除じん機エリア防水壁	-	○	-	-※2
				海水ポンプエリア水密扉	-	○	-	-※2
				除じん機エリア水密扉	-	○	-	-※2
				取水管立入ビット閉止板	-	○	-	-※2
取水槽床ドレン逆止弁	-	○	-	-※2				
取水槽水位計	-	-	○	-※2				

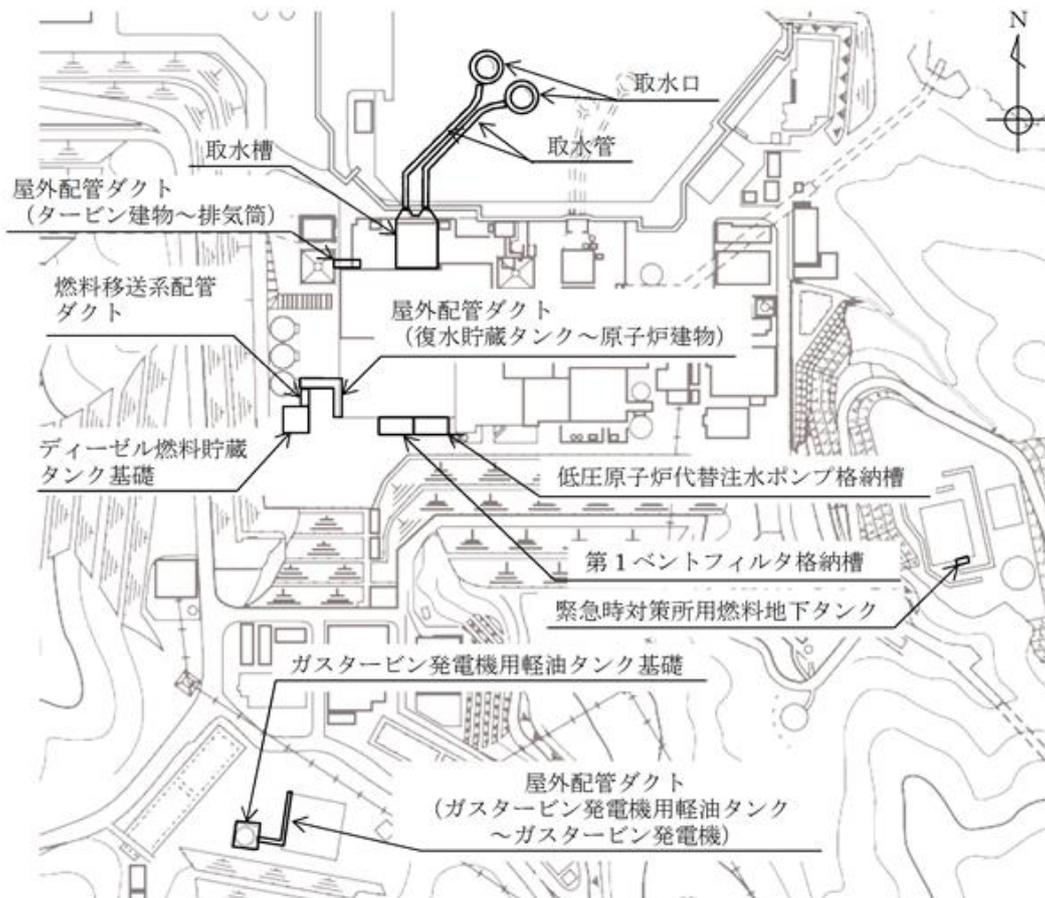
屋外重要土木構造物：耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能，若しくは非常用における海水の通水機能を求められる土木構造物
 常設重大事故等対処設備：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）
 常設重大事故等対処施設：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設
 （特定重大事故等対処施設を除く）
 耐震：耐震重要施設（浸水防止設備，津波監視設備を除く）
 ※1：非常用取水設備
 ※2：常設重大事故等対処設備に対する浸水防止設備，津波監視設備

設備名称	屋外重要 土木構造物	常設重大 事故等対 処設備	常設重大 事故等対 処施設	設置される設備				
				名称	耐震	耐津波		常設重大 事故等対 処設備
						浸水防止 設備	津波監視 設備	
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	○	-	○	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	○	-	-	○
				非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク	○	-	-	○
				非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
低圧原子炉代替注水ポンプ 格納槽	-	-	○	低圧原子炉代替注水ポンプ	-	-	-	○
				低圧原子炉代替注水系 配管・弁	-	-	-	○
第1ベントフィルタ格納槽	-	-	○	第1ベントフィルタスクラバ容器	-	-	-	○
				第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器	-	-	-	○
				圧力開放板	-	-	-	○
				格納容器フィルタベント系配管・弁	-	-	-	○
緊急時対策所用 燃料地下タンク	-	○	-	-	-	-	-	-

屋外重要土木構造物：耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能，若しくは非常用における海水の通水機能を求められる土木構造物
 常設重大事故等対処設備：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）
 常設重大事故等対処施設：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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）
 耐震：耐震重要施設（浸水防止設備，津波監視設備を除く）

設備名称	屋外重要 土木構造物	常設重大 事故等対 処設備	常設重大 事故等対 処施設	設置される設備				
				名称	耐震	耐津波		常設重大 事故等対 処設備
						浸水防止 設備	津波監視 設備	
屋外配管ダクト(タービン建物～ 排気筒)	○	-	○	非常用ガス処理系配管・弁	○	-	-	○
				非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
燃料移送系配管ダクト	○	-	○	非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
屋外配管ダクト(復水貯蔵タンク ～原子炉建物)	○	-	○	非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
屋外配管ダクト(ガスタービン発 電機用軽油タンク～ガスタービ ン発電機)	-	-	○	ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁	-	-	-	○
取水口	○	○※1	-	-	-	-	-	-
ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎	-	-	○	ガスタービン発電機用軽油タンク	-	-	-	○
取水管	○	○※1	-	ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁	-	-	-	○

屋外重要土木構造物：耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能，若しくは非常用における海水の通水機能を求められる土木構造物
 常設重大事故等対処設備：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）
 常設重大事故等対処施設：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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）
 耐震：耐震重要施設（浸水防止設備，津波監視設備を除く）
 ※1：非常用取水設備



第6-1-1図 評価対象構造物 全体配置図

島根原子力発電所の屋外重要土木構造物等は、箱型構造物、線状構造物、円筒状構造物、直接基礎及び管路構造物の5つの構造形式に分類され、構造上の特徴として、明確な強軸及び弱軸を有するものと、強軸及び弱軸が明確でないものが存在する。

箱型構造物に分類される評価対象構造物は、鉄筋コンクリート造で構成されており、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や間接支持する配管の管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されている。通水方向や配管の管軸方向と直交する方向には構造部材の配置が少ないことから、構造上の特徴として、明確に通水方向や配管の管軸方向が強軸に、通水方向や配管の管軸方向と直交する方向が弱軸となる。通水以外の要求機能が求められる箱型構造物は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向に平行に配置される壁の厚さの割合が小さい方が弱軸となり、大きい方が強軸となる。箱型構造物の設計方針として、強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないが、強軸方向断面についても、弱軸方向と同じように要求機能があり、間接支持する機器・配管の有無や浸水防護壁等の応答影響評価の必要性があることから、耐震評価候補断面に追加する。弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。ただし、加振方向と平行に配置される壁が多数ある構造物については、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、必要により壁間の幅を耐震評価候補断面とする。また、強軸方向断面では、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、構造物の奥行幅を耐震評価候補断面とする。箱型構造物の評価対象断面は、以上の理由により構造の安全性に支配的な弱軸方向及び強軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。

線状構造物に分類される評価対象構造物は、鉄筋コンクリート造で構成されており、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や間接支持する配管の管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されている。通水方向や配管の管軸方向と直交する方向には構造部材の配置が少ないことから、構造上の特徴として、明確に通水方向や配管の管軸方向が強軸に、通水方向や配管の管軸方向と直交する方向が弱軸となる。線状構造物は、加振方向と平行に配置される壁部材が少ない方が弱軸となり、多い方が強軸となる。強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。線状構造物の評価対象断面は、以上の理由により構造の安全性に支配的な弱軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。

円筒状構造物及び直接基礎に分類される評価対象構造物は、鋼製及び鉄筋コンクリート造の構造物であり、円筒状及び正方形であるため、箱型構造物や線状構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではない。円筒状構造物及び直接基礎は、質点系モデルでモデル化する。評価対象断面の選定においては、構造物中央を通

る断面及びその直交方向断面から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。

管路構造物に分類される評価対象構造物は、海水の通水機能を維持するため、通水方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されていることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。評価対象構造物は、鋼製部材で構成されており、管軸方向が強軸方向となり、管軸直交方向が弱軸方向となる。強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。弱軸方向断面では、延長方向の構造的特徴が一様であることから、代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。管路構造物の評価対象断面は、構造の安全性に支配的な弱軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。なお、「水道施設耐震工法指針・解説（日本水道協会，1997）」に基づき、一般的な地中埋設管路の設計で考慮される管軸方向断面についても検討する。

また、評価対象断面の選定の流れを以下に示す。

(1) 耐震評価候補断面の整理

評価対象構造物の以下の観点から耐震評価候補断面を整理する。

①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況

- ・要求機能に各候補断面で差異がある場合、要求機能に応じた許容限界が異なり、評価対象構造物の耐震評価に影響することから、要求機能の差異の有無により候補断面を整理する。
- ・間接支持する機器・配管系の種類及び設置状況に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する荷重及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、間接支持する機器・配管系の種類や設置状況に係る差異の有無により候補断面を整理する。

②構造的特徴（部材厚、内空断面、断面急変部、構造物間の連結部等）

- ・構造的特徴に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する土圧等の荷重及び床応答特性が各断面で異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、構造的特徴の差異の有無により候補断面を整理する。

③周辺状況（上載荷重、土被り厚、周辺地質、周辺地質変化部、隣接構造物、地下水位[※]）

- ・周辺地質や周辺地質変化部に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する土圧等の荷重、地震波の伝搬特性及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、周辺地質の差異の有無により候補断面を整理する。
- ・MMR（マンメイドロック）については、構造物を支持する又は構造物の周囲を埋め戻す等の目的・役割があり、その分布により、構造物に作用する土圧等の荷重、地震波の伝搬特性及び床応答特性に影響を与えることから、周辺地質の中で整理する。
- ・隣接構造物による影響については、2次元FEMにてモデル化する隣接構造物の有無や種類に各断面で差異がある場合、構造物に作用する土圧等の荷重及

び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、モデル化する隣接構造物の差異の有無により候補断面を整理する。
※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

④地震波の伝搬特性

- ・地震波の伝搬特性は、周辺状況のうち評価対象構造物下部の岩盤やMMR等の周辺地質の状況により異なることから、観点③の整理を踏まえ、地震波の伝搬特性に係る差異の有無により候補断面を整理する。

⑤床応答特性

- ・観点①～③の整理を踏まえ、床応答特性の差異の有無及び間接支持する機器・配管系の設置状況により候補断面を整理する。

(2) 評価対象断面の選定

⑥ 耐震評価候補断面の選定

- ・(1)にて整理した耐震評価候補断面に対して、①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況、②構造的特徴、③周辺状況を考慮し、耐震評価上厳しいと考えられる断面を選定する。

⑦ 評価候補断面の絞り込み

- ・複数の観点から異なる耐震評価候補断面が複数抽出される場合は、詳細設計段階で実施する浸透流解析結果を踏まえ、地震応答解析を実施して評価候補断面の絞り込みを行う場合もある。

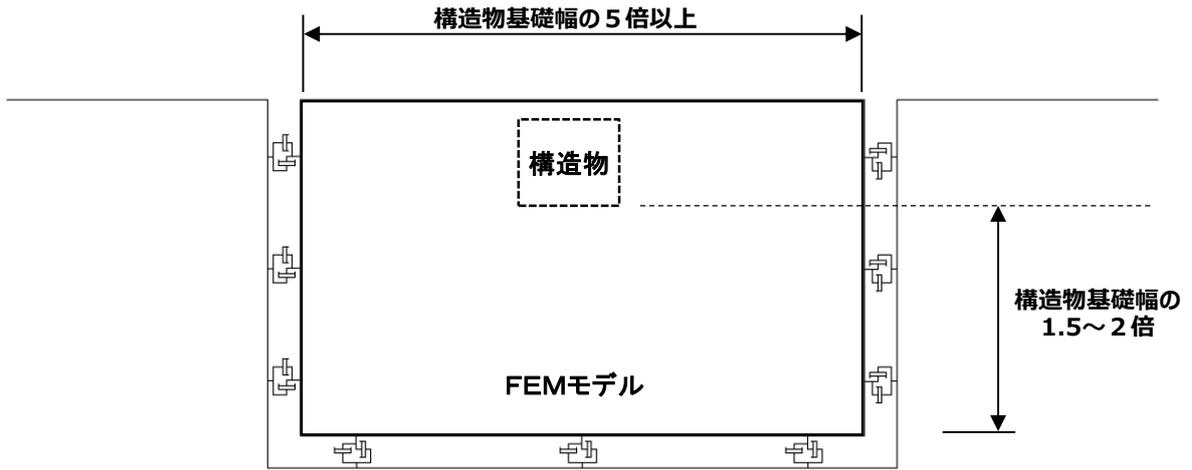
⑧ 床応答算出用の断面の選定

- ・耐震評価上の観点以外に機器・配管系の応答加速度及び応答変位の観点から、床応答算出用の断面を選定する。

評価対象断面のモデル化範囲（2次元FEM解析モデル）については、以下に考え方を示す。

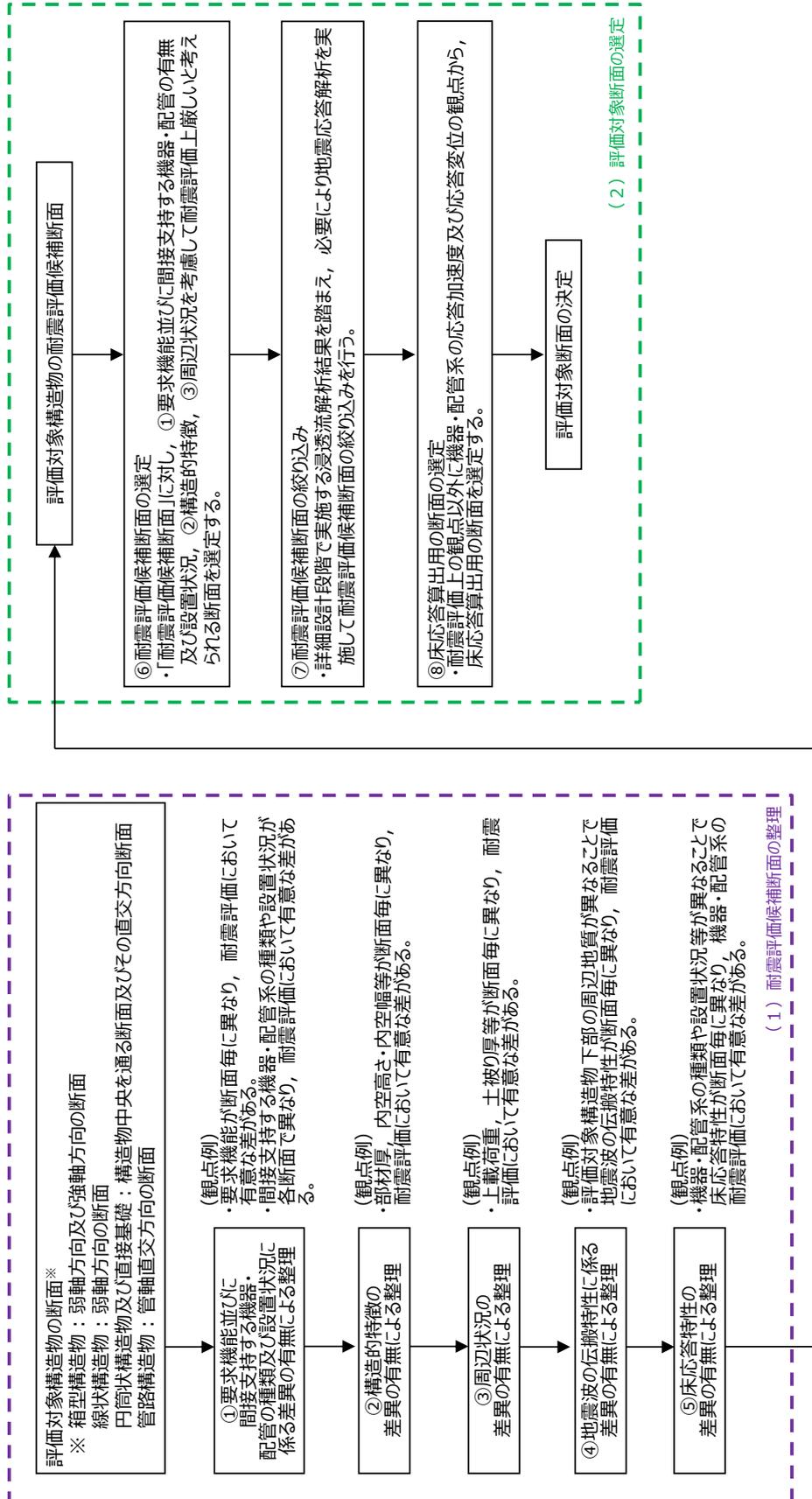
2次元FEMによる地震応答解析モデルの範囲が、地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」を適用し、以下に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の5倍以上、地盤モデルの入力基盤深さを構造物基礎幅の1.5～2倍確保する。

2次元FEMにおけるモデル化範囲の考え方を第6-1-2図に示す。



第6-1-2図 2次元FEMにおけるモデル化範囲の考え方

屋外重要土木構造物等について、耐震評価候補断面の整理及び評価対象断面の選定フローを第6-1-3図に示す。



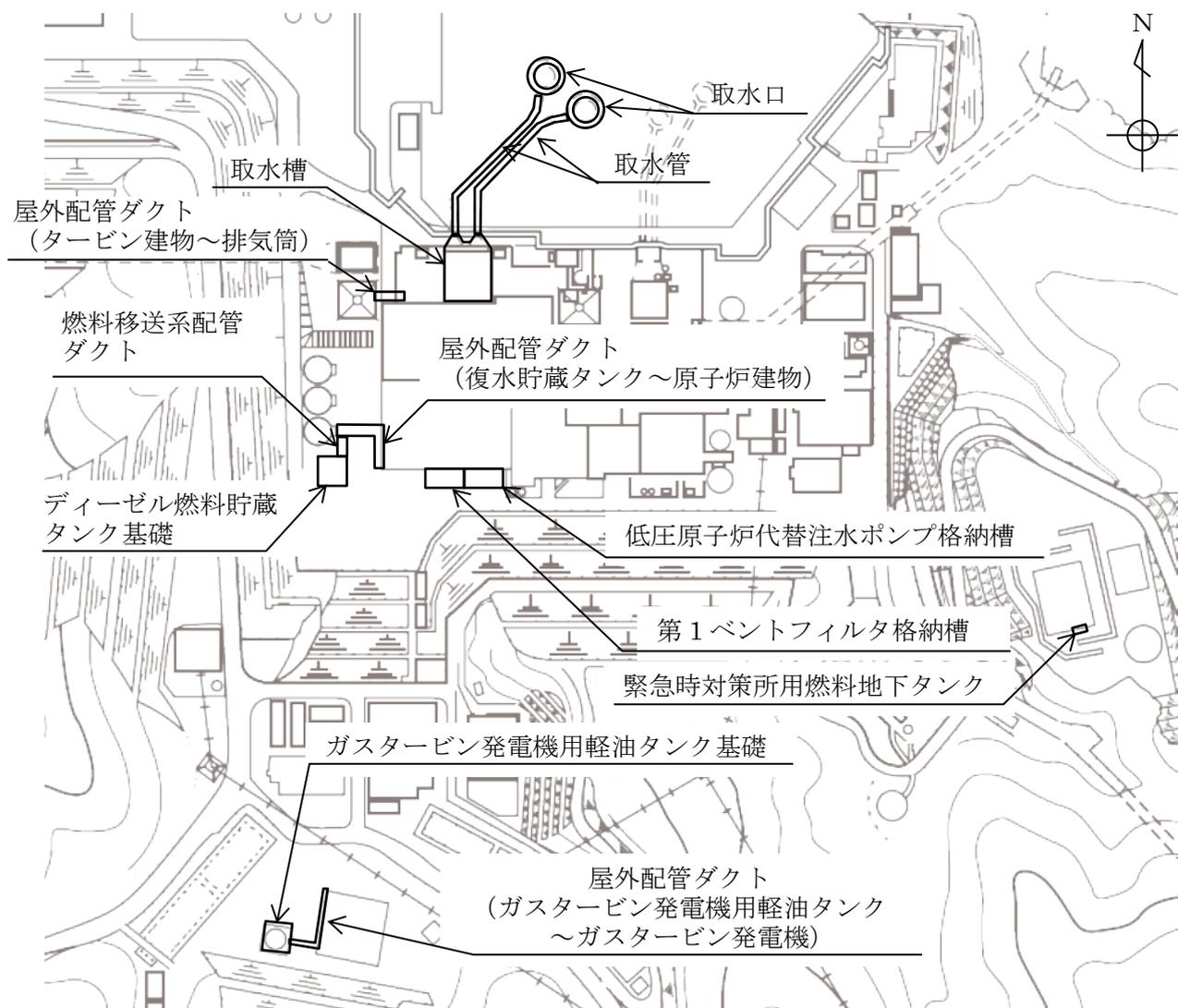
第6-1-3 図 耐震評価候補断面の整理及び評価対象断面の選定フロー

2. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方

2.1 各施設の配置

本章では屋外重要土木構造物等である，取水槽，ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽，緊急時対策所用燃料地下タンク，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），燃料移送系配管ダクト，屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物），屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機），取水口，ガスタービン発電機用軽油タンク基礎及び取水管の断面選定の考え方を示す。

第6-2-1図に屋外重要土木構造物等の全体配置図を示す。



第6-2-1図 屋外重要土木構造物等 全体配置図

2.2 取水槽

取水槽の配置図を第6-2-2図に、設置される浸水防止設備や津波監視設備の配置図を第6-2-3図～第6-2-4図に、平面図を第6-2-5図に、縦断面図を第6-2-6図に、断面図を第6-2-7図～第6-2-10図に、地質断面図を第6-2-11図～第6-2-12図に、岩級断面図を第6-2-13図～第6-2-14図にそれぞれ示す。

取水槽は、Sクラス設備である原子炉補機海水ポンプ等の間接支持機能と、非常用取水設備としての通水機能及び浸水防護重点化範囲を保持するための止水機能が要求される。

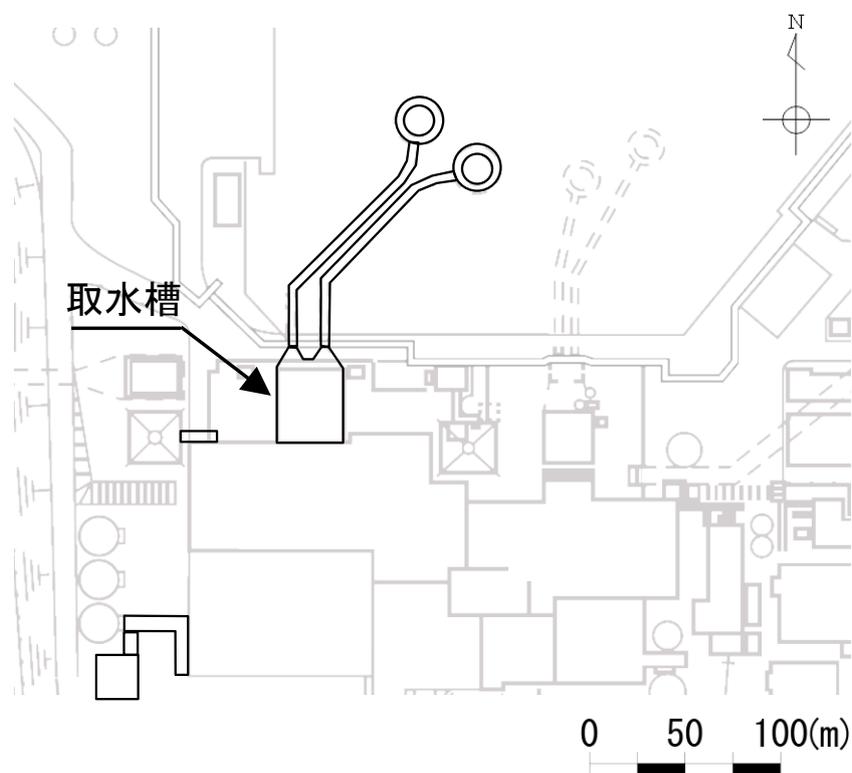
浸水防護重点化範囲を保持するために止水機能が求められる部位は、ポンプ室に設置される中床版 (EL+1.1m)、スクリーン室に設置される中床版 (EL+4.0m) 及びスクリーン室南側の除じん機エリア防水壁の位置に設置される中壁 (EL+1.1m～EL+8.8m) である。

取水槽はストレナ室、ポンプ室、スクリーン室及び漸拡ダクト部に大別される、延長47.25m、幅34.95m、高さ20.5mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

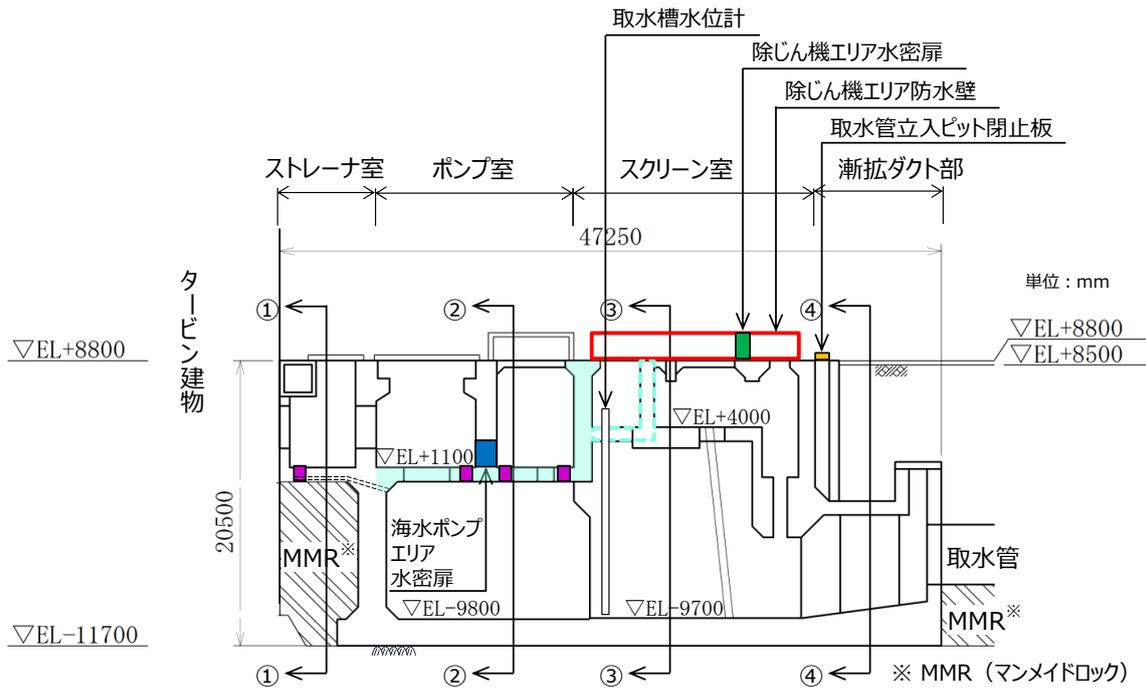
取水槽はCM級以上の岩盤に直接支持されている。

取水槽は、通水方向と平行に配置される壁部材が多いため、通水方向が強軸となり、通水直交方向が弱軸となる。

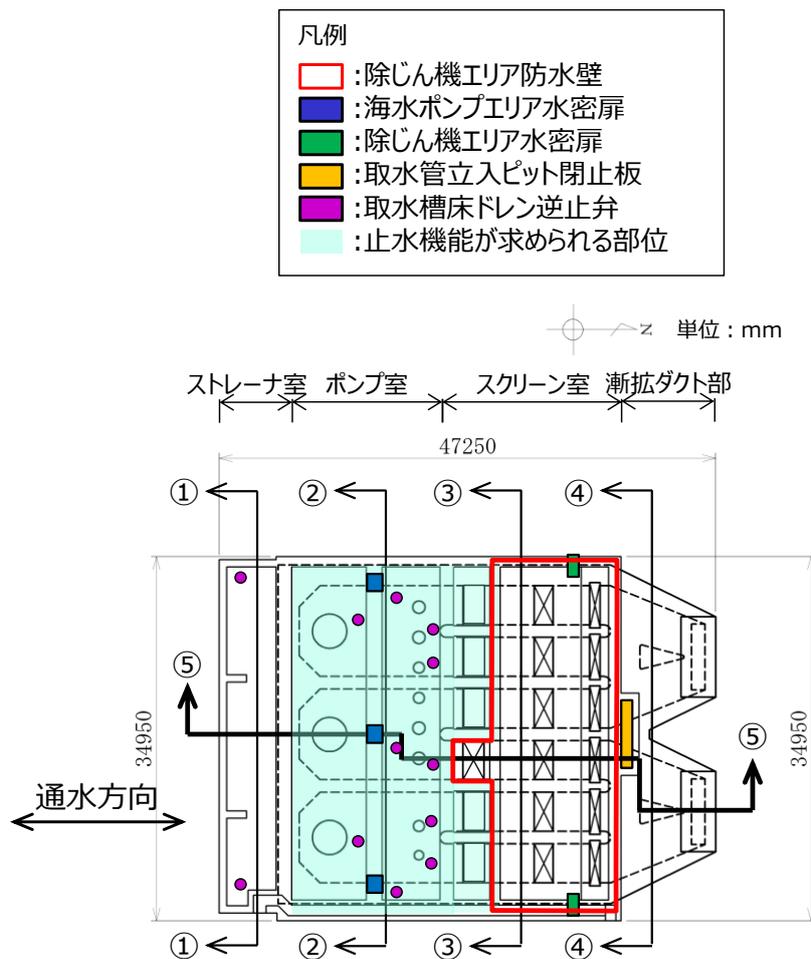
取水槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲を踏まえ、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、壁間の幅を耐震評価候補断面とする。



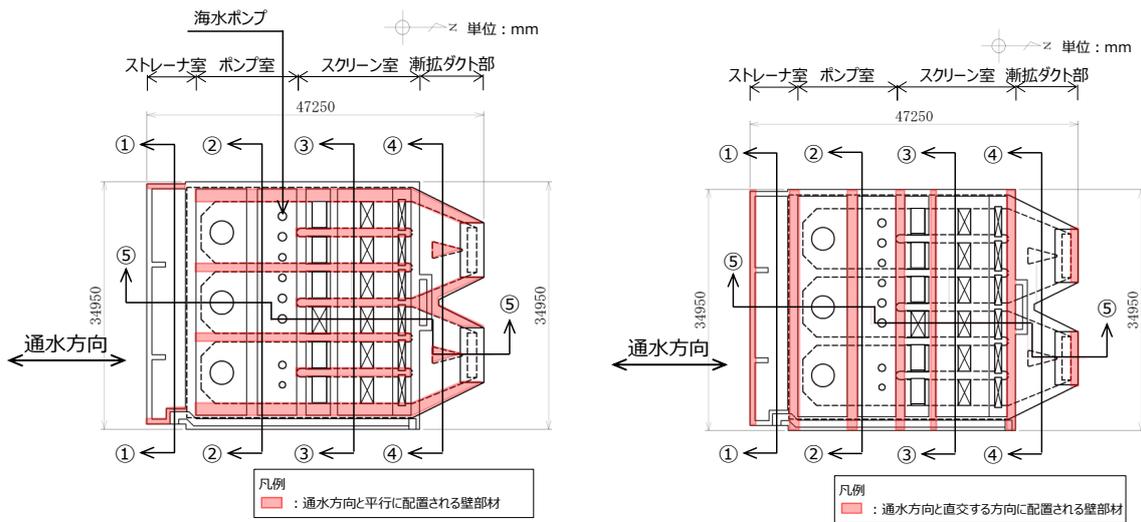
第6-2-2図 取水槽 配置図



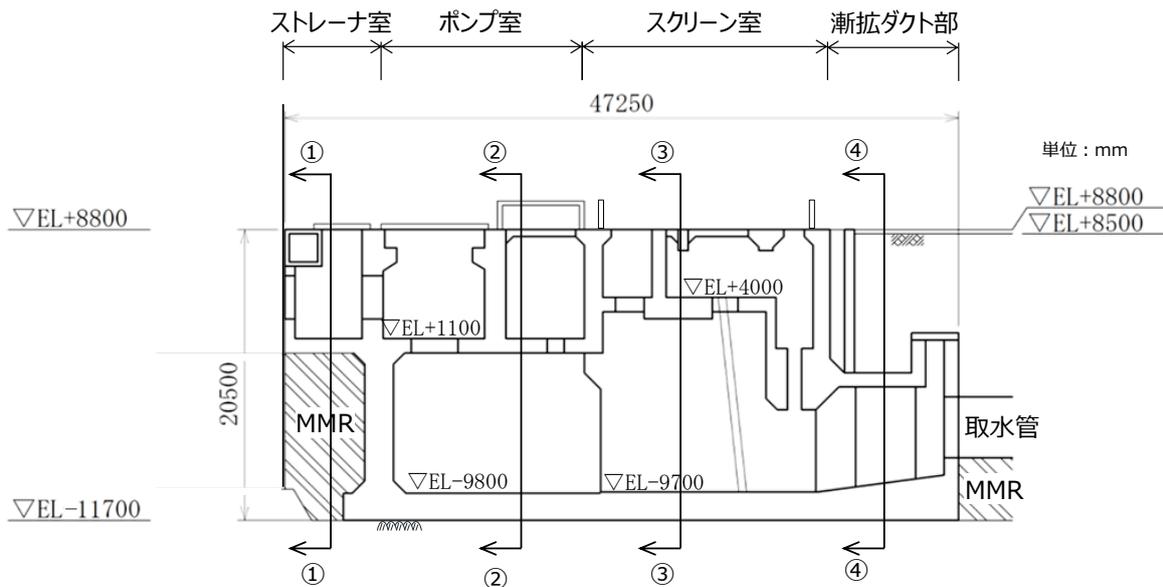
第6-2-3 図 取水槽 設置される設備の配置図 (縦断図)



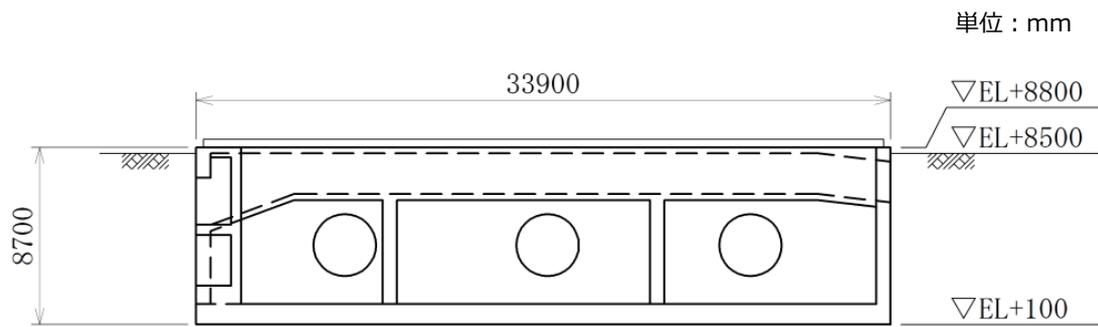
第6-2-4 図 取水槽 設置される設備の配置図 (平面図)



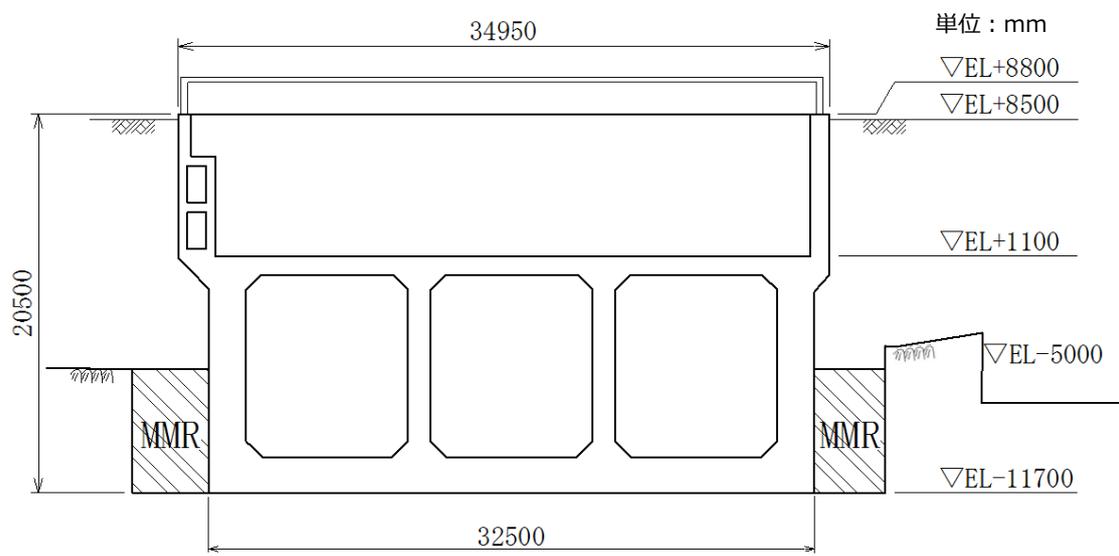
第6-2-5図 取水槽 平面図



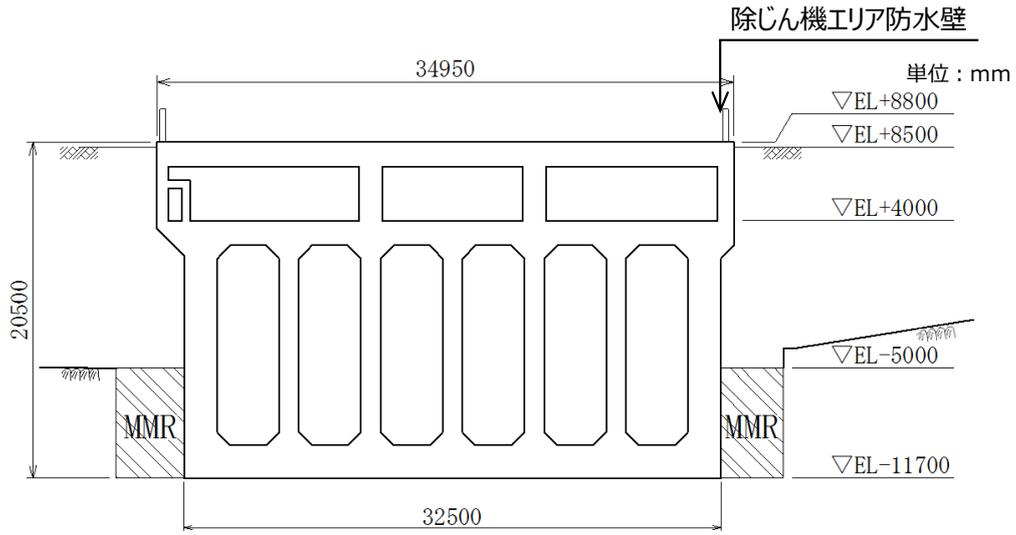
第6-2-6図 取水槽 縦断図 (⑤-⑤断面)



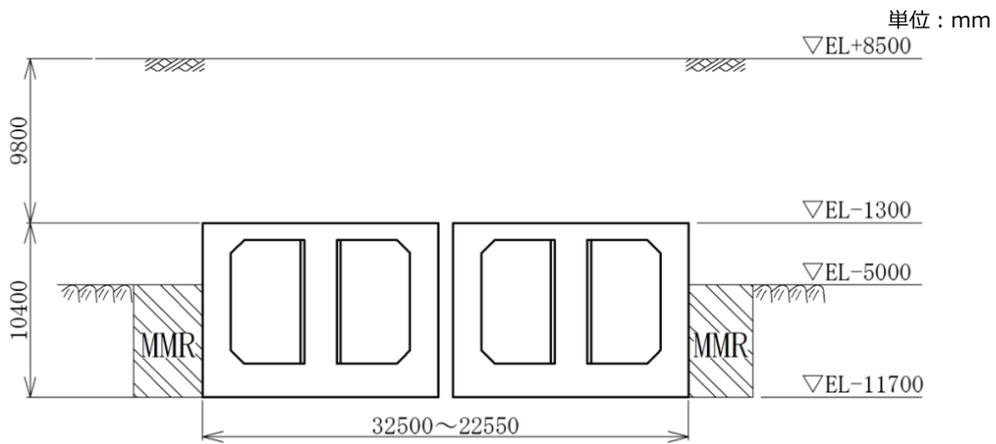
第6-2-7图 取水槽 断面图 (①-①断面)



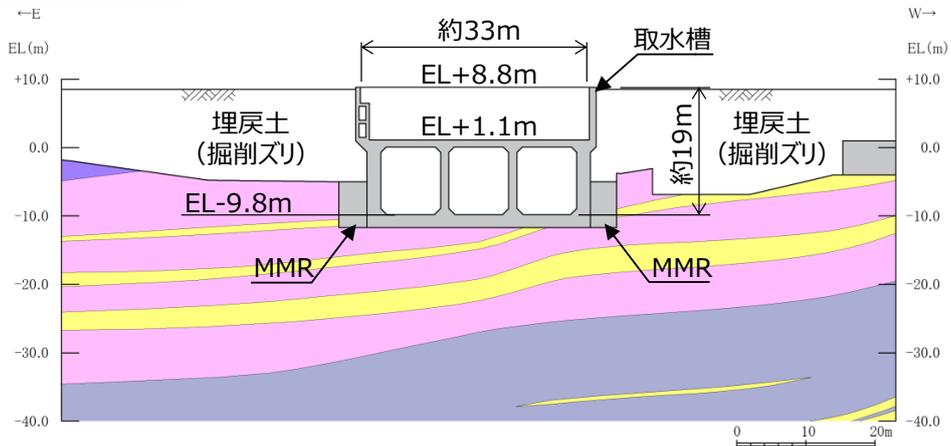
第6-2-8图 取水槽 断面图 (②-②断面)



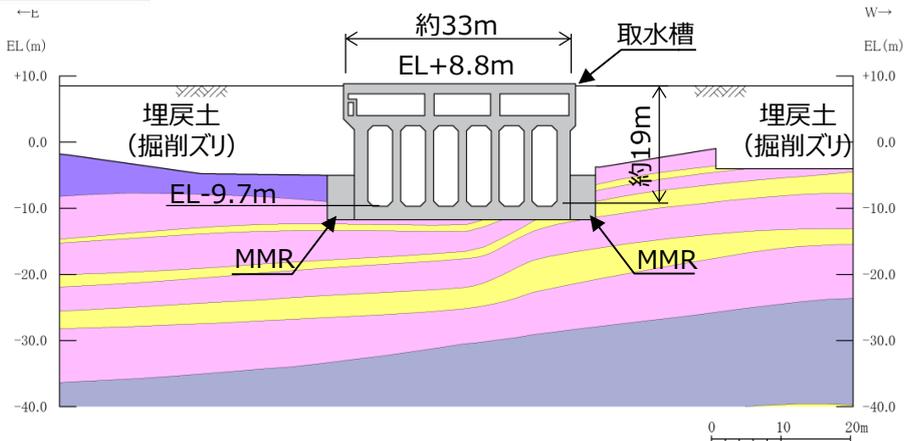
第6-2-9 図 取水槽 断面図 (③-③断面)



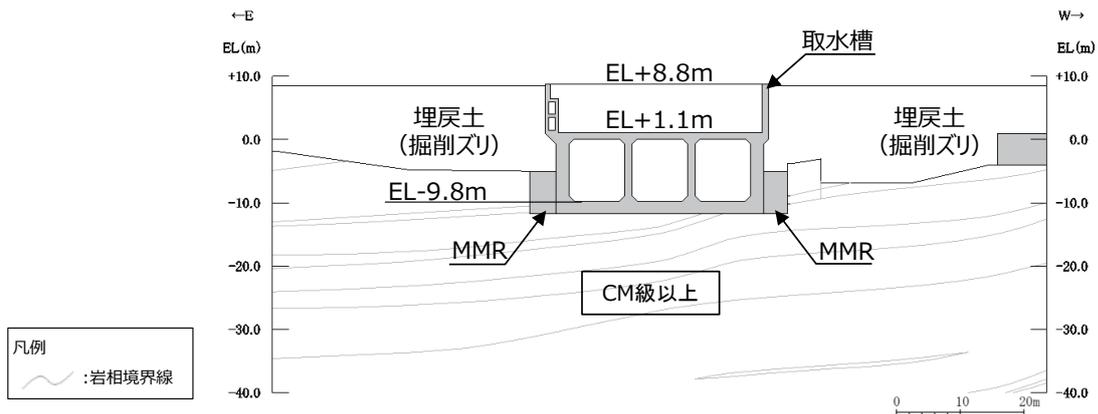
第6-2-10 図 取水槽 断面図 (④-④断面)



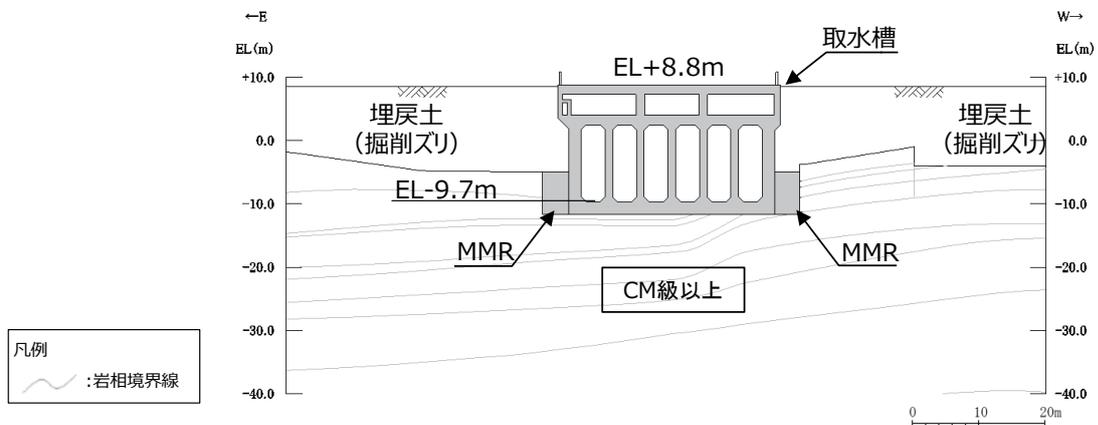
第6-2-11 図 取水槽 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-12 図 取水槽 地質断面図 (③-③断面)



第6-2-13図 取水槽 岩級断面図 (②-②断面)



第6-2-14図 取水槽 岩級断面図 (③-③断面)

取水槽について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点を整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.3 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎

ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎（地中部及び半地下部）の配置図を第6-2-15図に、平面図を第6-2-16図に、縦断面図を第6-2-17図に、断面図を第6-2-18図～第6-2-19図に、地質断面図を第6-2-20図に、岩級断面図を第6-2-21図にそれぞれ示す。

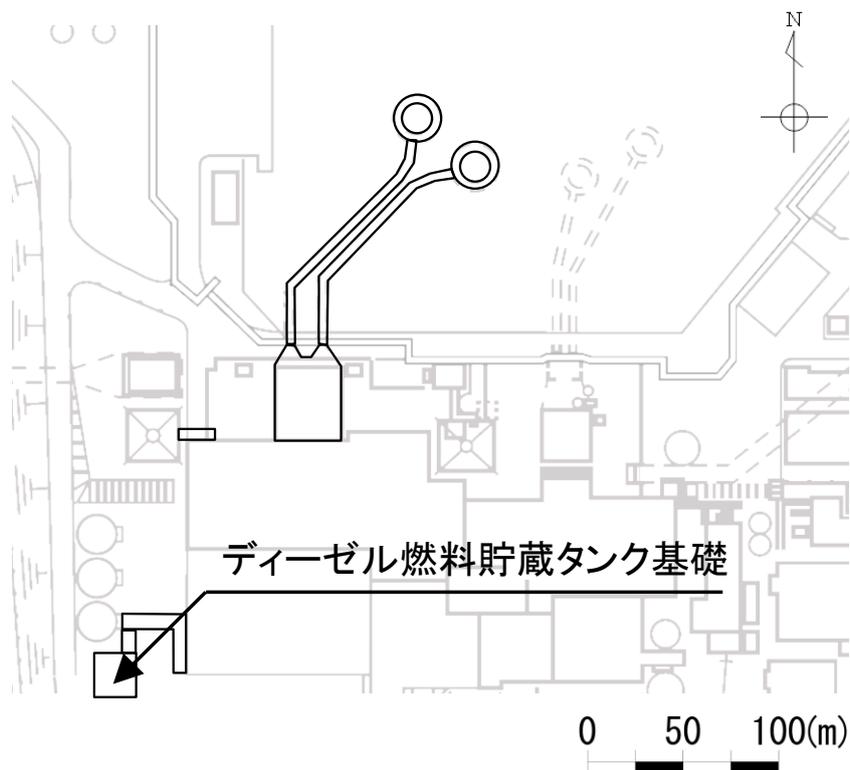
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク等の間接支持機能が要求される。

ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、延長約20m、幅約19m、高さ約7mの鉄筋コンクリート造の地中及び半地下構造物である。

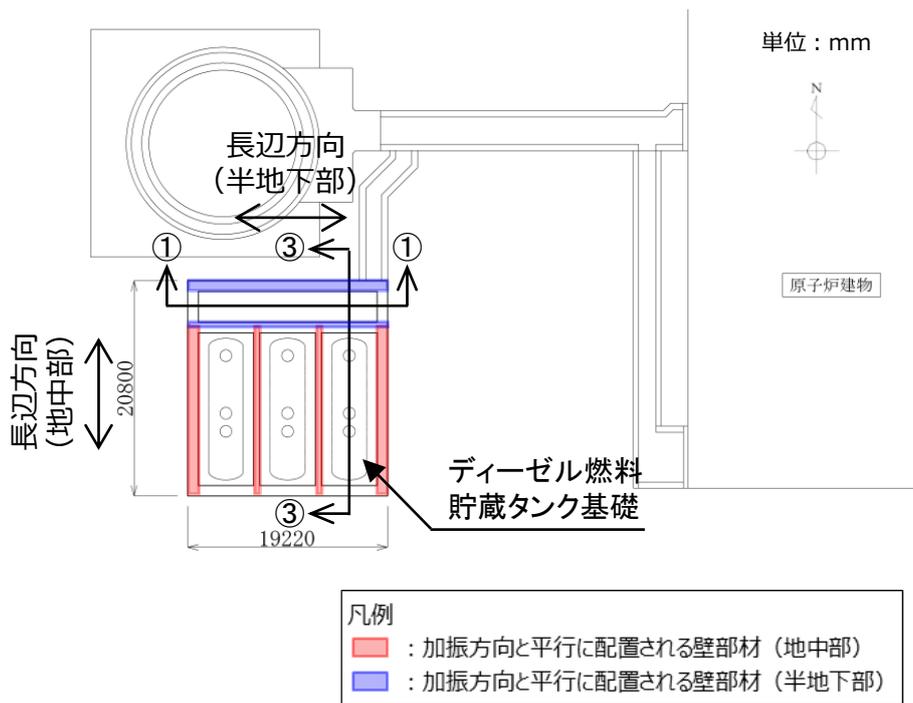
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、CM級以上の岩盤に直接支持されている。

長辺方向（地中部は南北方向、半地下部は東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に配置される壁の厚さの割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（地中部は東西方向、半地下部は南北方向）が弱軸となる。

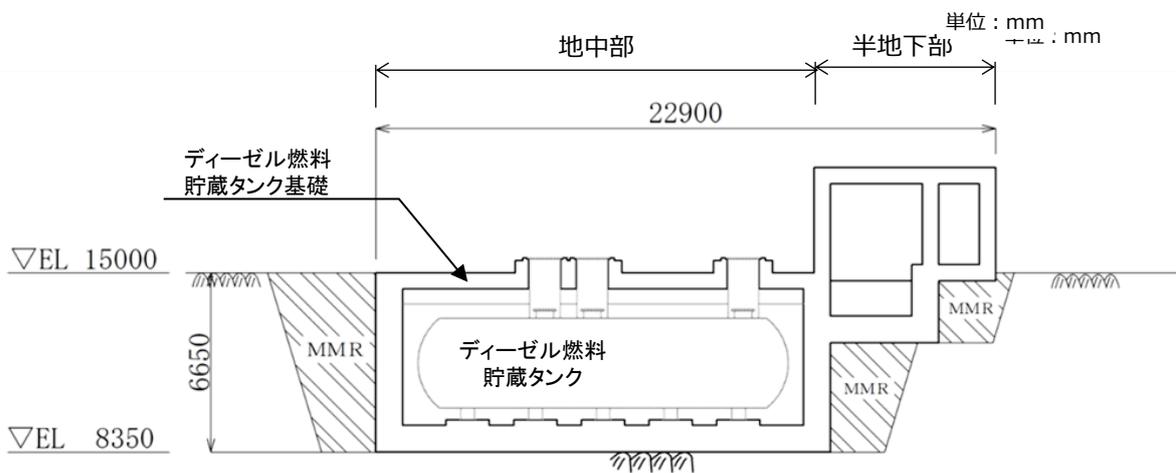
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



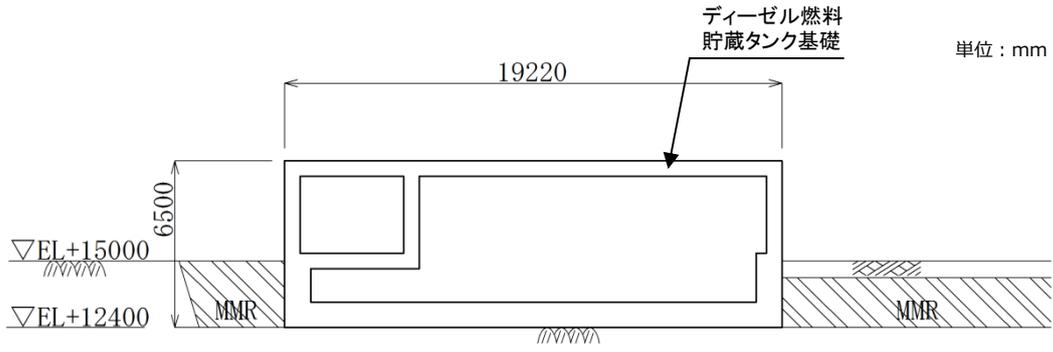
第6-2-15図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 配置図



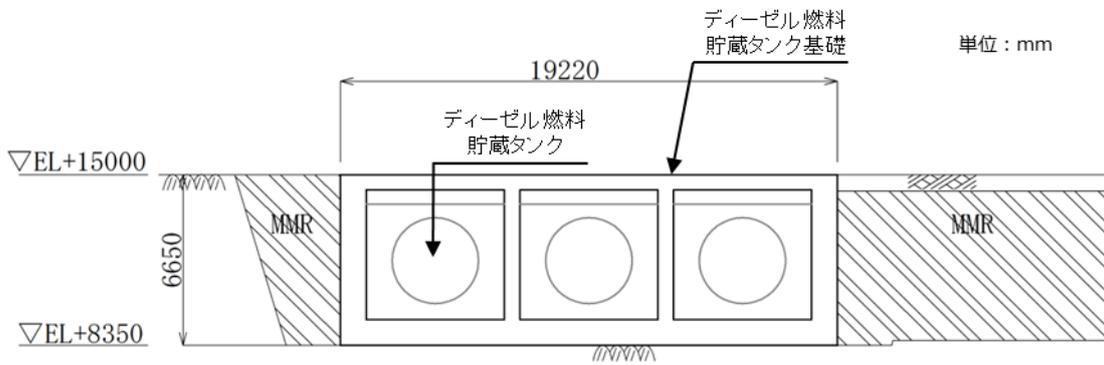
第6-2-16図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 平面図



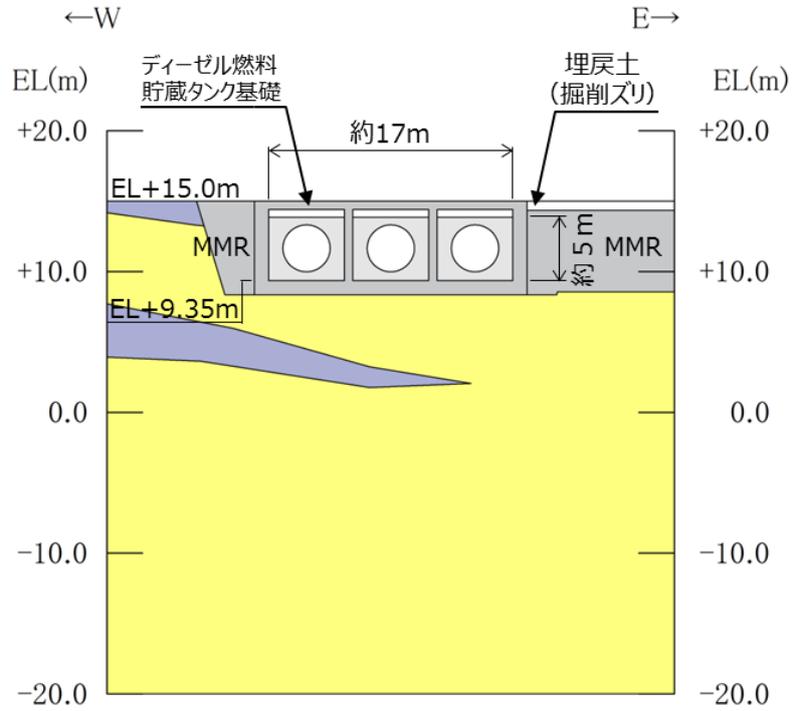
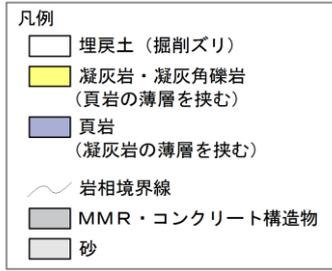
第6-2-17図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 縦断図 (③-③断面)



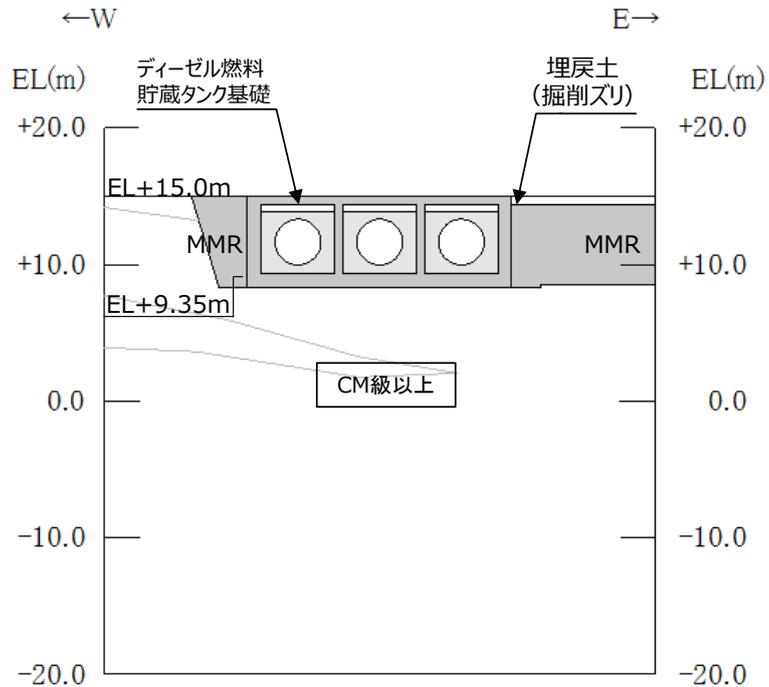
第6-2-18 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (①-①断面)



第6-2-19 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (②-②断面)



第6-2-20 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-21 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 岩級断面図 (②-②断面)

ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎について，間接支持する設備，構造的特徴，周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行う上で，構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお，詳細設計段階において設定する地下水位等，各断面で異なる要因があれば，その観点で整理を行い，評価対象断面を選定する。

2.4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の配置図を第6-2-22図に、平面図を第6-2-23図に、縦断面図を第6-2-24図に、断面図を第6-2-25図～第6-2-26図に、地質断面図を第6-2-27図～第6-2-28図に、岩級断面図を第6-2-29図～第6-2-30図にそれぞれ示す。

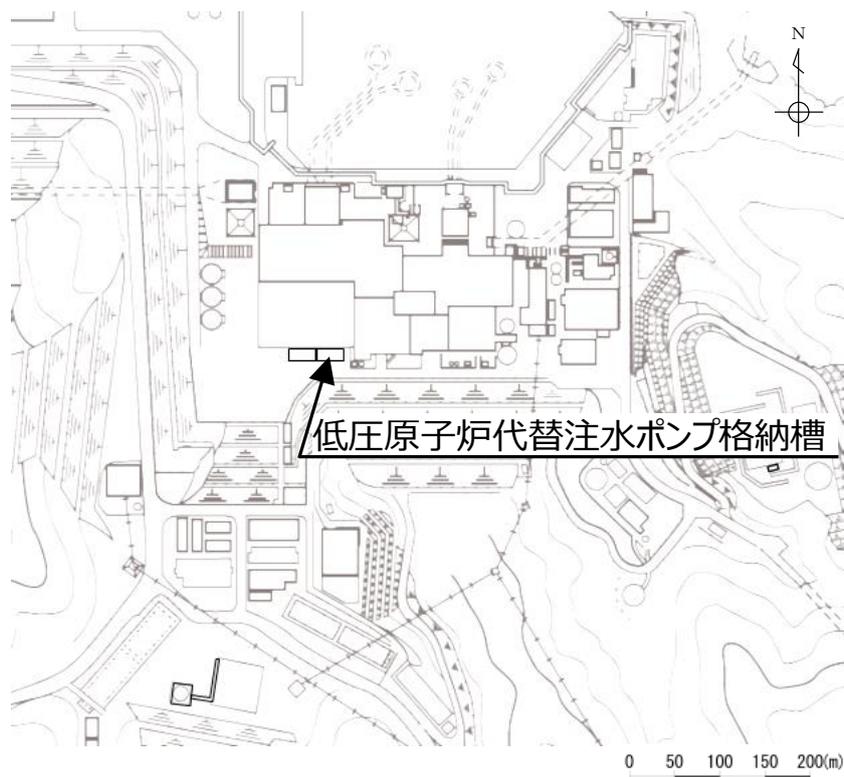
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、常設重大事故等対処設備である低圧原子炉代替注水ポンプ等の間接支持機能が要求される。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、延長26.6m、幅13.4m、高さ16.0m又は19.6mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

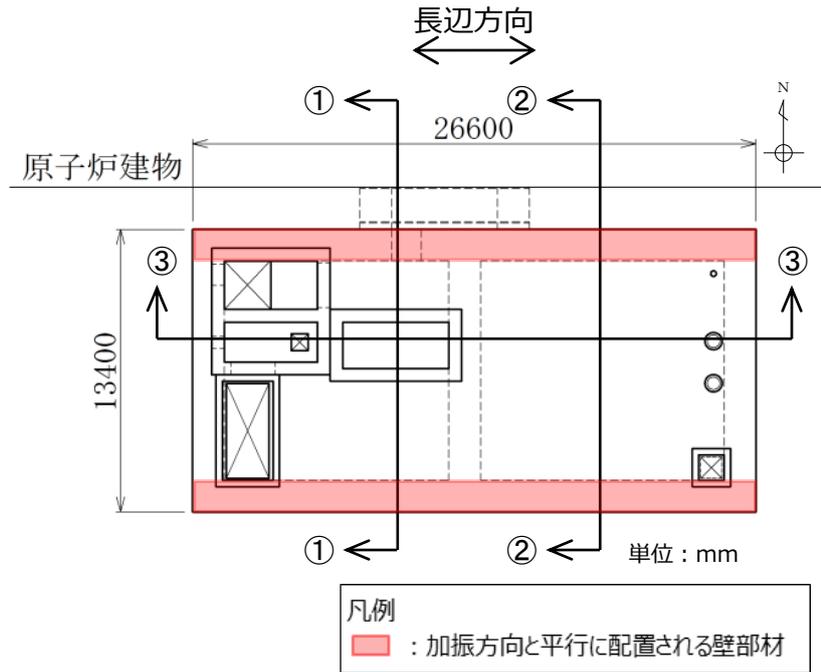
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、CM級以上の岩盤に直接支持されている。

長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される壁の厚さの割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。

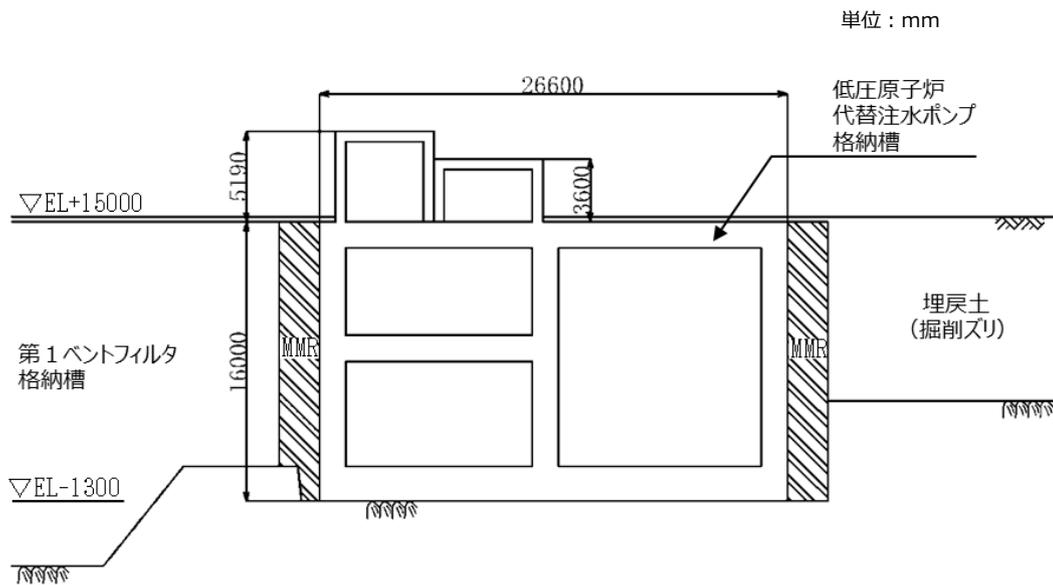
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



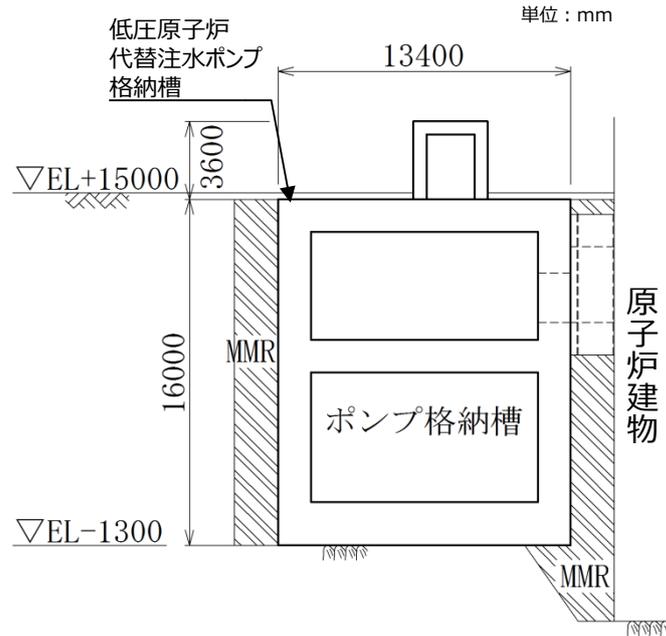
第6-2-22図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 配置図



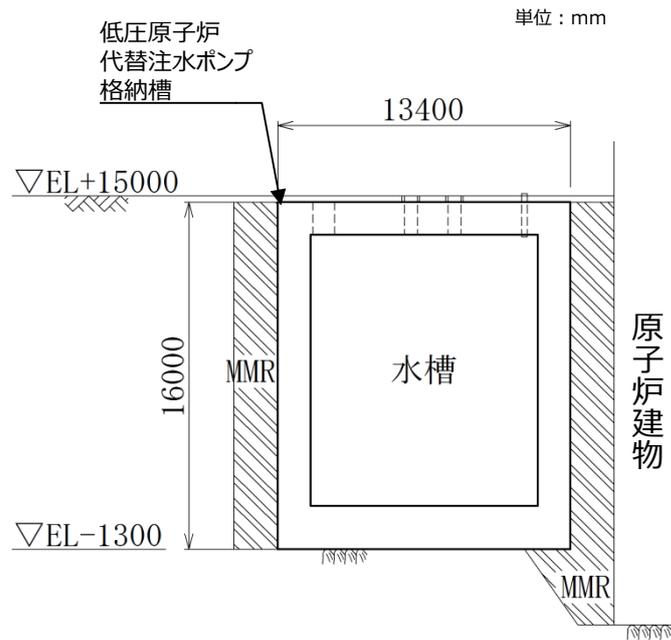
第6-2-23 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図



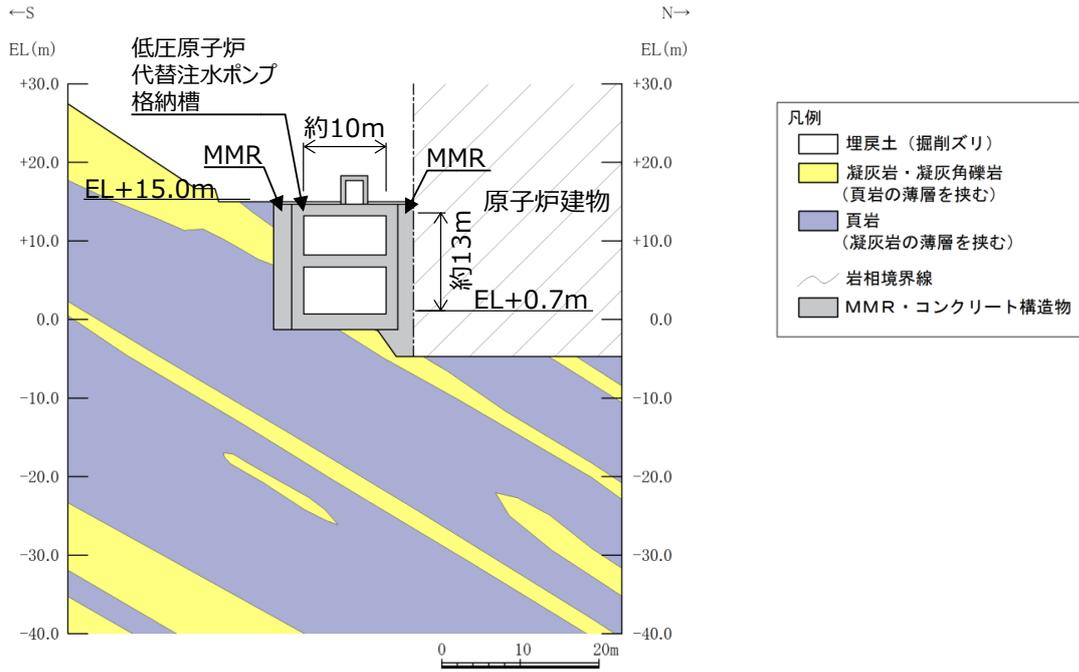
第6-2-24 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 縦断図 (③-③断面)



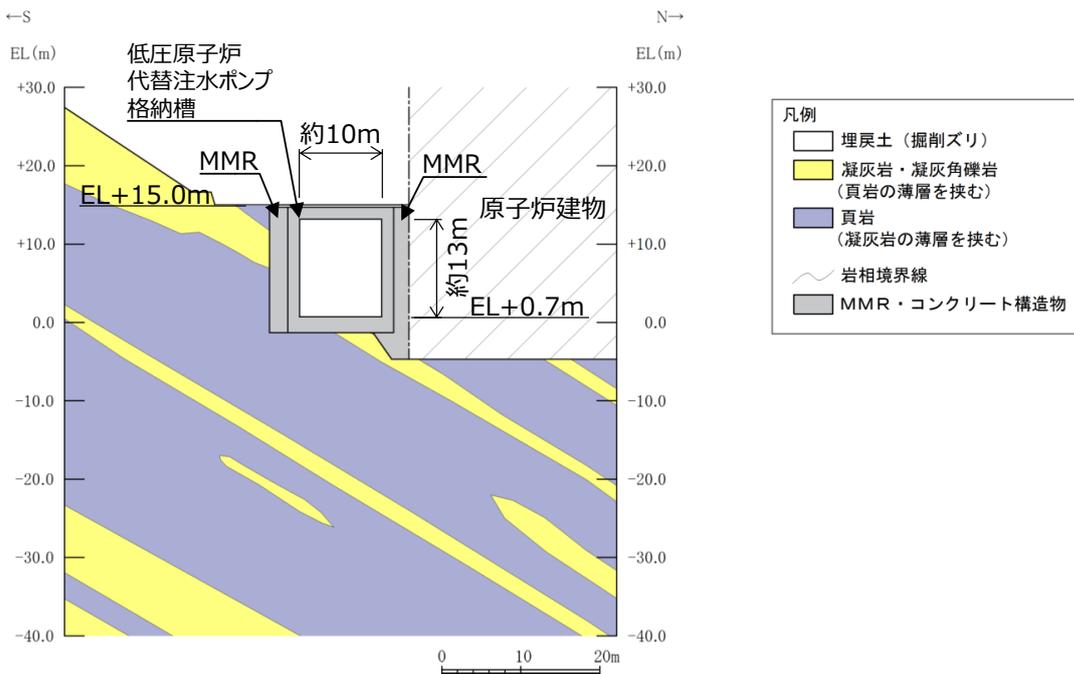
第 6-2-25 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (①-①断面)



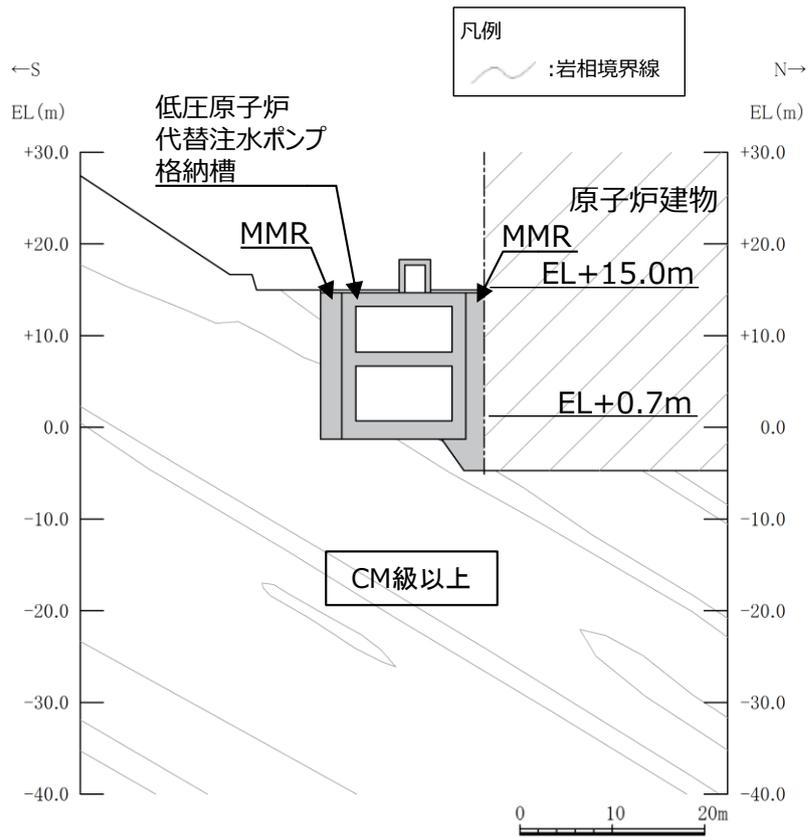
第 6-2-26 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (②-②断面)



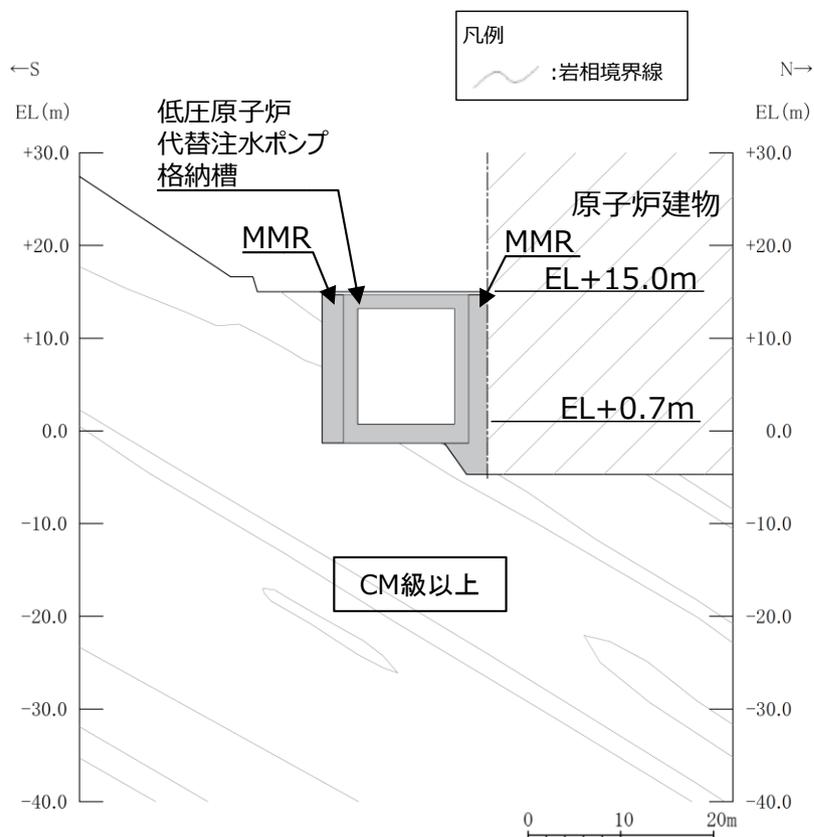
第 6-2-27 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (①-①断面)



第 6-2-28 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-29図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 岩級断面図 (①-①断面)



第6-2-30図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 岩級断面図 (②-②断面)

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽について，間接支持する設備，構造的特徴，周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行う上で，構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお，詳細設計段階において設定する地下水位等，各断面で異なる要因があれば，その観点で整理を行い，評価対象断面を選定する。

2.5 第1ベントフィルタ格納槽

第1ベントフィルタ格納槽の配置図を第6-2-31図に、平面図を第6-2-32図に、縦断図を第6-2-33図に、断面図を第6-2-34図～第6-2-35図に、地質断面図を第6-2-36図～第6-2-37図に、岩級断面図を第6-2-38図～第6-2-39図にそれぞれ示す。

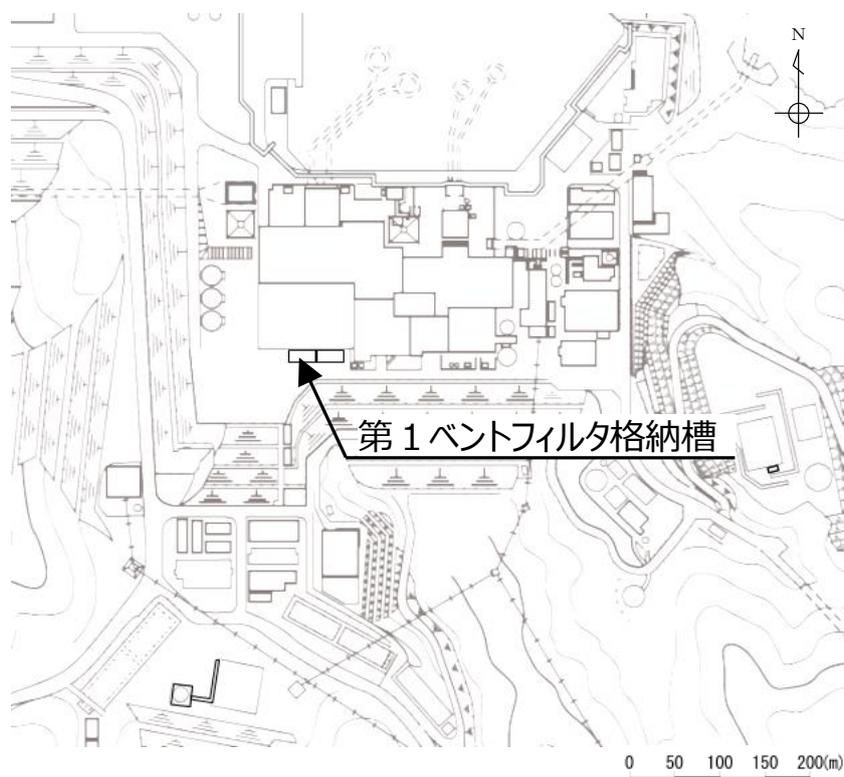
第1ベントフィルタ格納槽は、常設重大事故等対処設備である第1ベントフィルタスクラバ容器等の間接支持機能及び遮蔽機能が要求される。

第1ベントフィルタ格納槽は、延長24.6m、幅13.4m、高さ14.0m～18.7mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

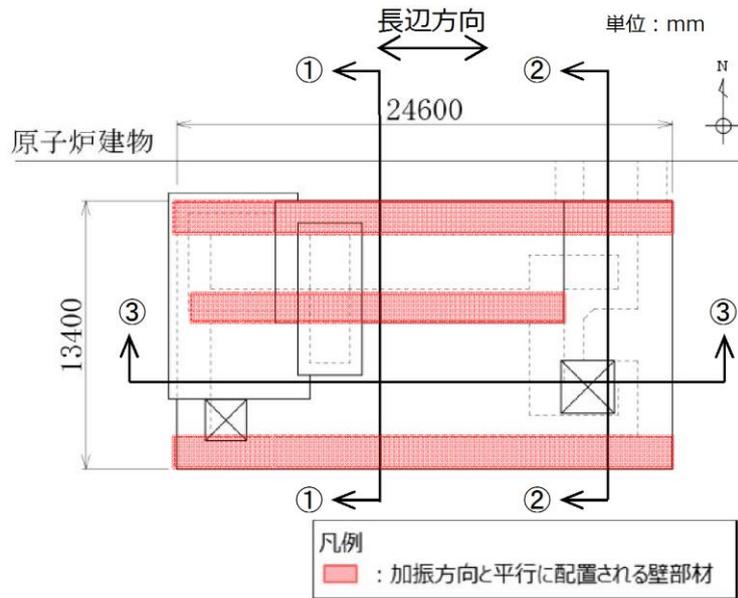
第1ベントフィルタ格納槽はMMR（マンメイドロック）を介してCM級以上の岩盤に支持されている。

長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向に平行に配置される壁の割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。

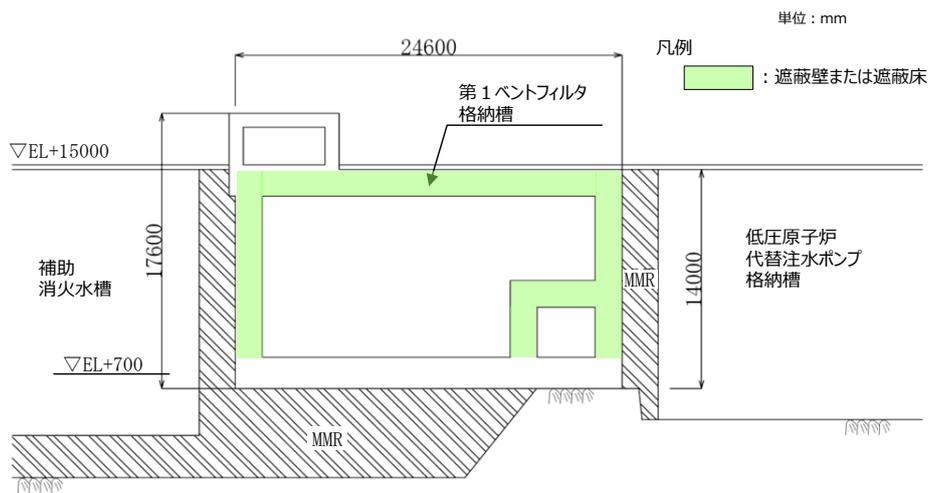
第1ベントフィルタ格納槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



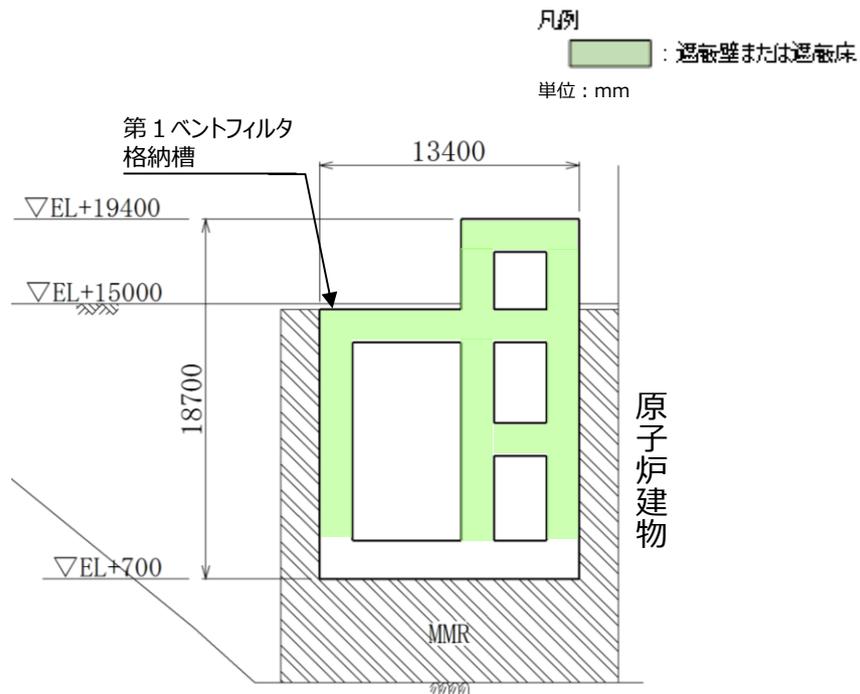
第6-2-31図 第1ベントフィルタ格納槽 配置図



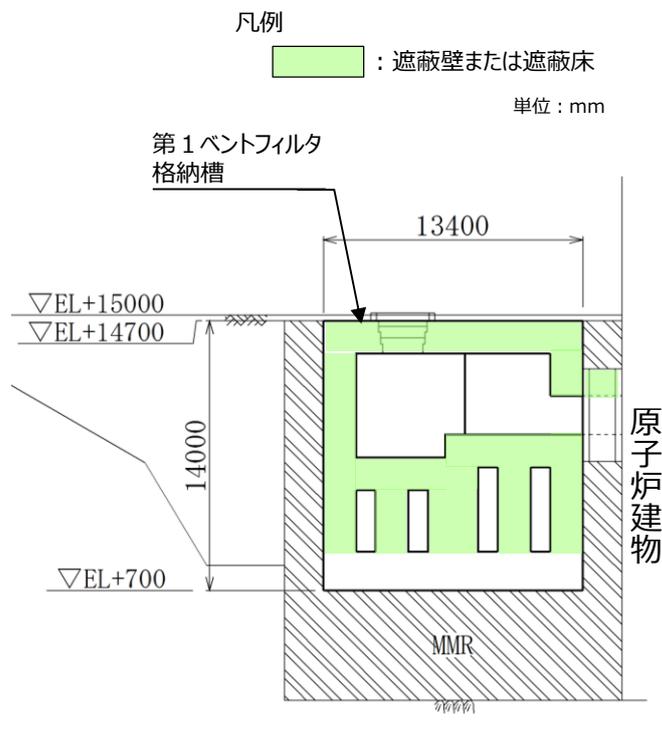
第6-2-32 図 第1 ベントフィルタ格納槽 平面図



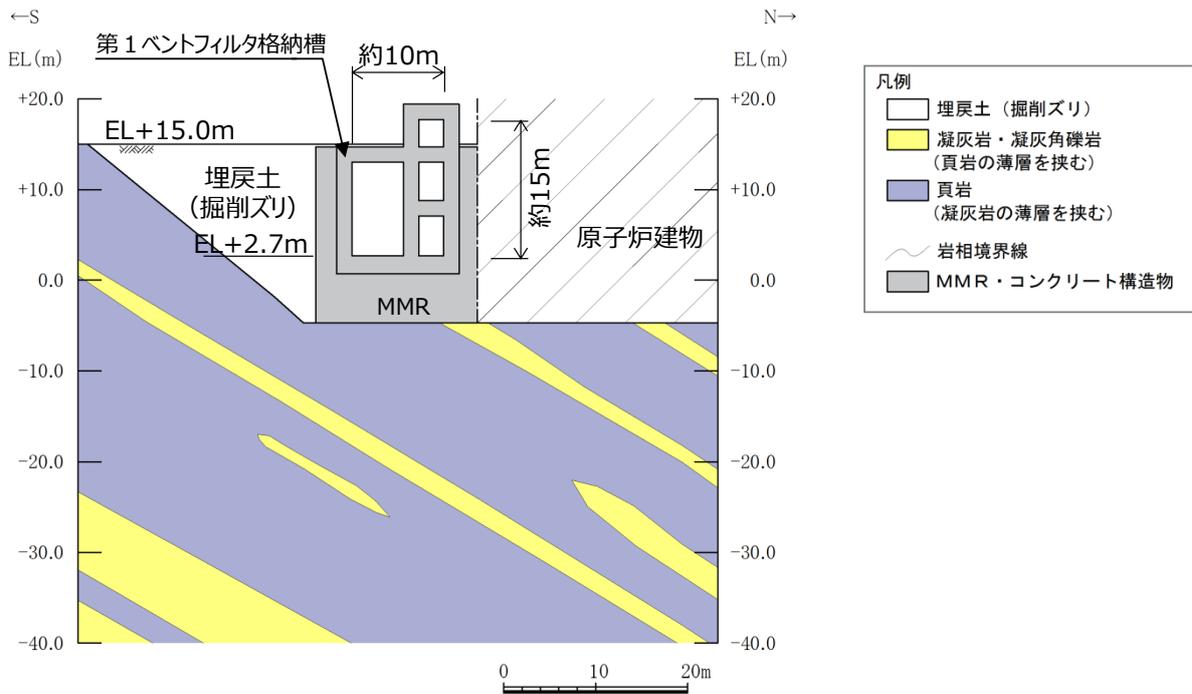
第6-2-33 図 第1 ベントフィルタ格納槽 縦断図 (③-③断面)



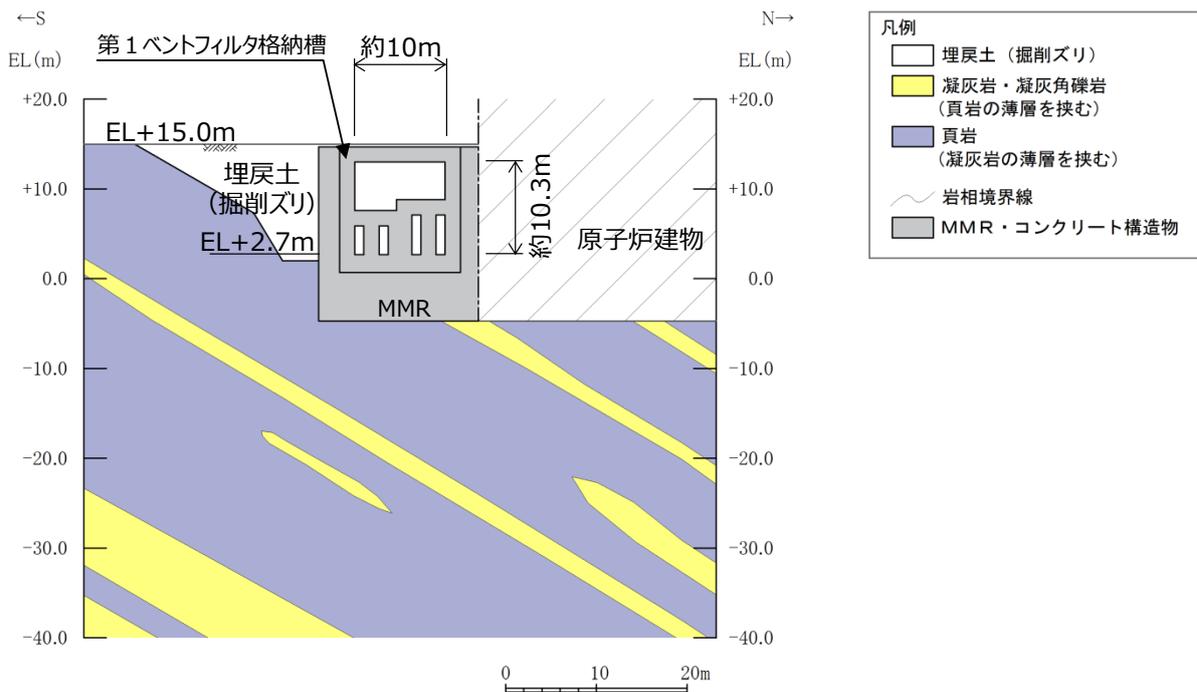
第6-2-34 図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (①-①断面)



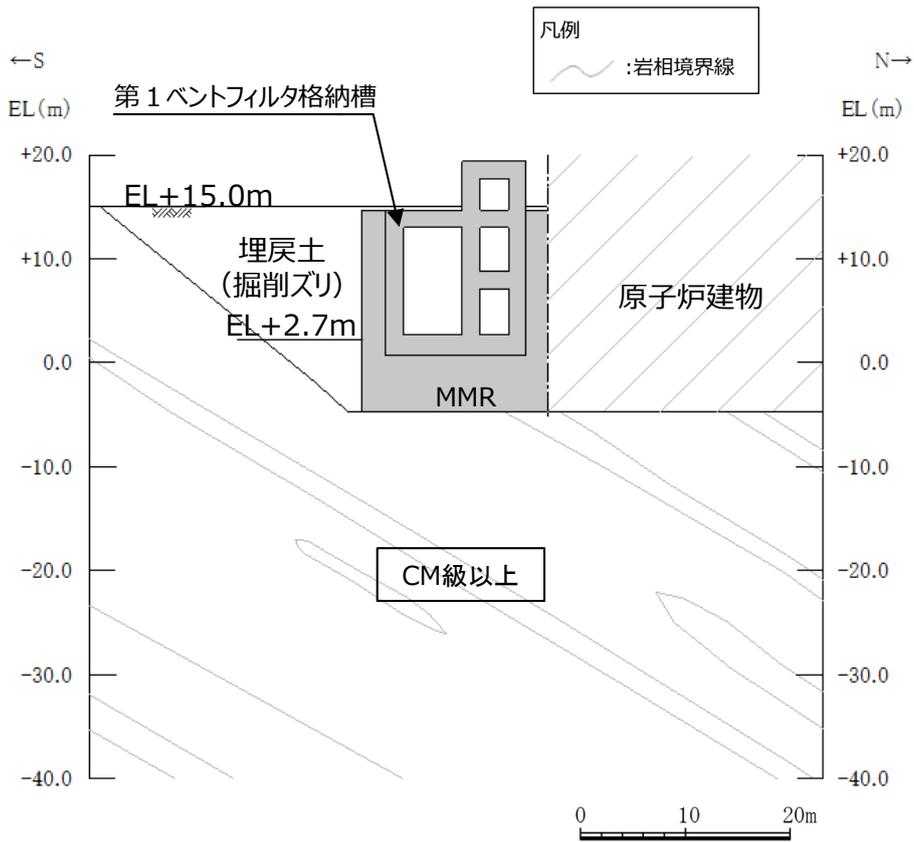
第6-2-35 図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (②-②断面)



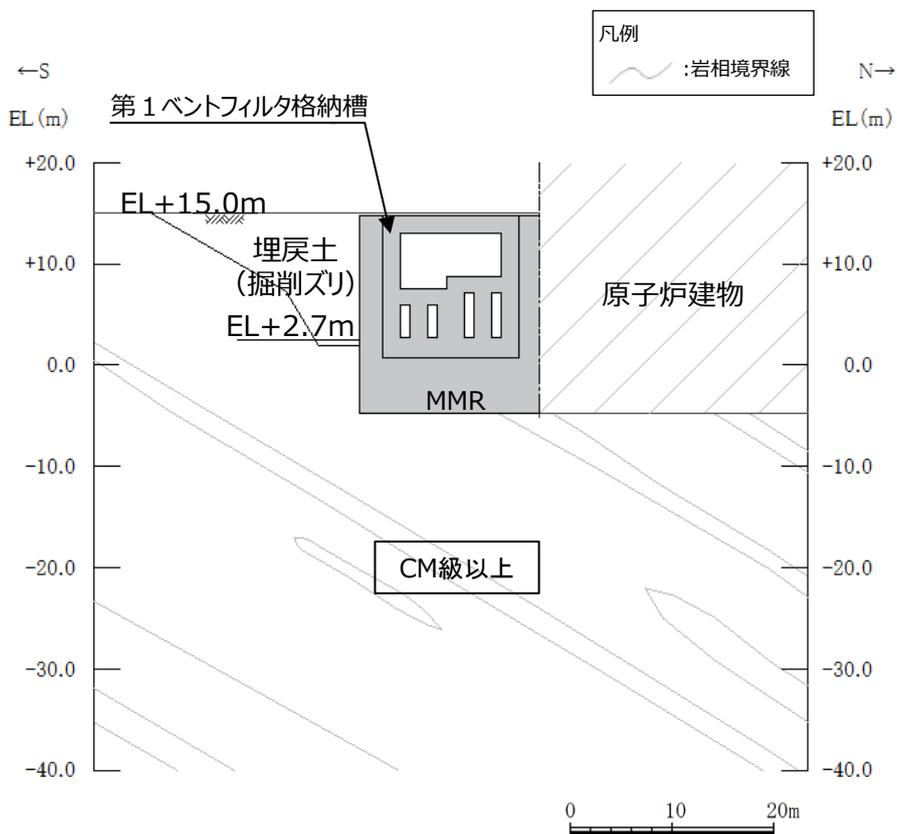
第6-2-36 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-37 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-38図 第1ベントフィルタ格納槽 岩級断面図 (①-①断面)



第6-2-39図 第1ベントフィルタ格納槽 岩級断面図 (②-②断面)

第1 ベントフィルタ格納槽について，間接支持する設備，構造的特徴，周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行う上で，構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお，詳細設計段階において設定する地下水位等，各断面で異なる要因があれば，その観点で整理を行い，評価対象断面を選定する。

2.6 緊急時対策所用燃料地下タンク

緊急時対策所用燃料地下タンクの配置図を第 6-2-40 図に、平面図を第 6-2-41 図に、縦断図を第 6-2-42 図に、断面図を第 6-2-43 図に、地質断面図を第 6-2-44 図に、岩級断面図を第 6-2-45 図にそれぞれ示す。

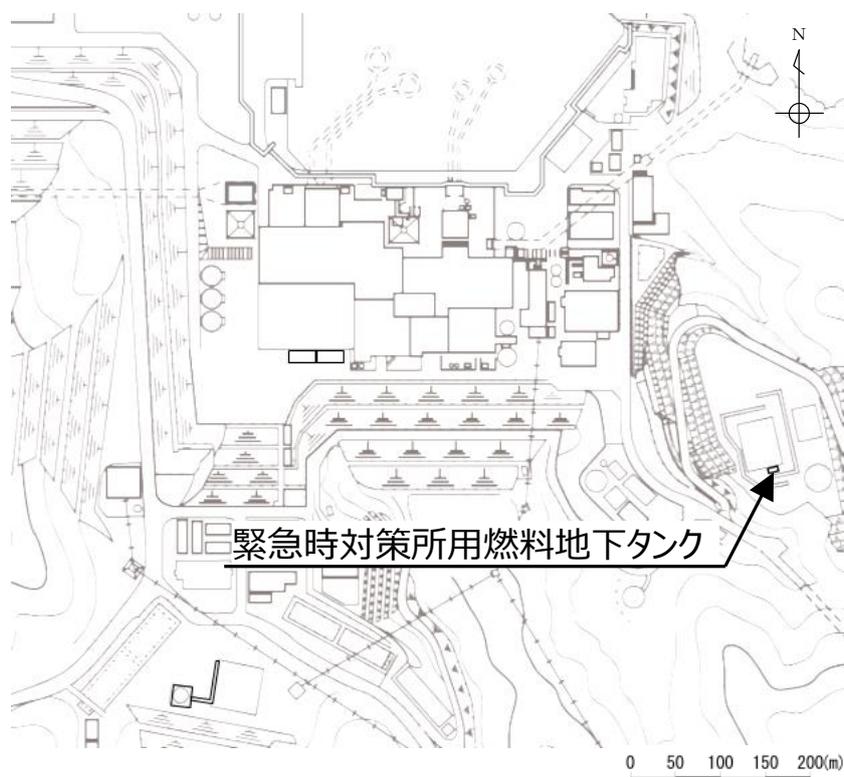
緊急時対策所用燃料地下タンクは、常設重大事故緩和設備であり、鉄筋コンクリート躯体及びライナ（鋼製タンク）で構成され、非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される構造物である。なお、要求性能を期待する部位は、鉄筋コンクリート躯体及びライナ（鋼製タンク）である。

緊急時対策所用燃料地下タンクは、延長 12.8m、幅 3.85m、高さ 3.9m の鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

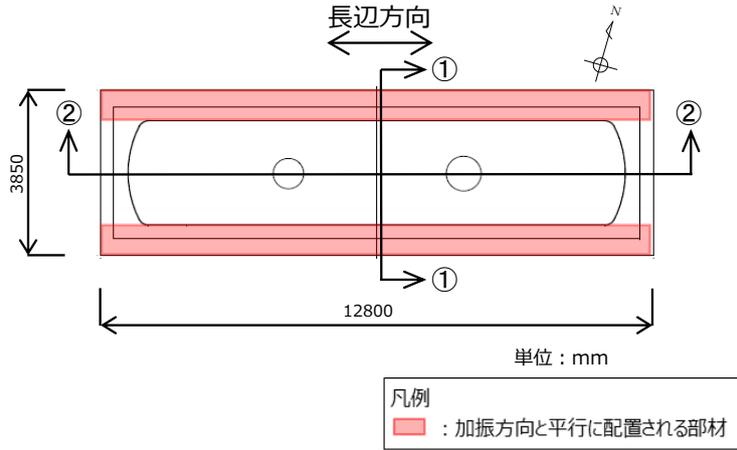
緊急時対策所用燃料地下タンクは、CM 級以上の岩盤に直接支持されている。

長辺方向（東西断面）に加振した場合は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に配置される壁の割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。

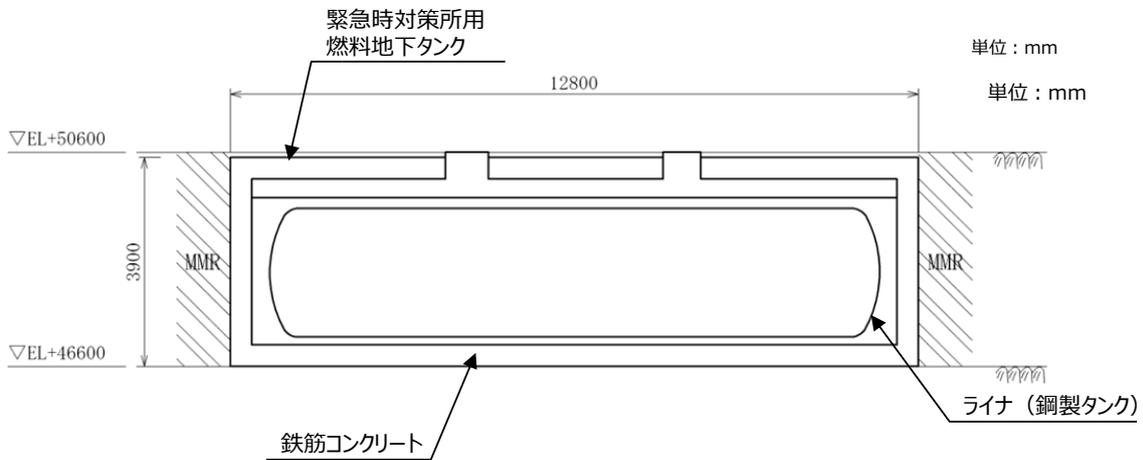
緊急時対策所用燃料地下タンクの弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



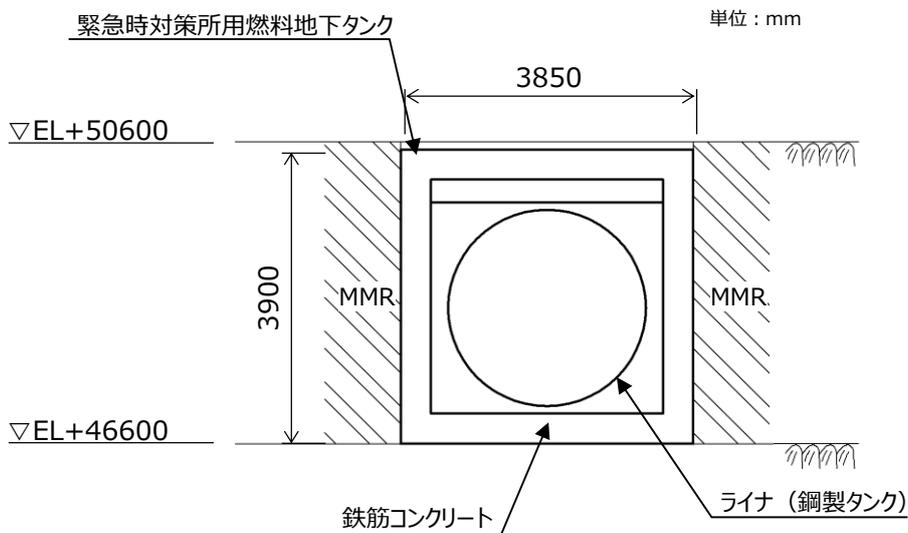
第 6-2-40 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 配置図



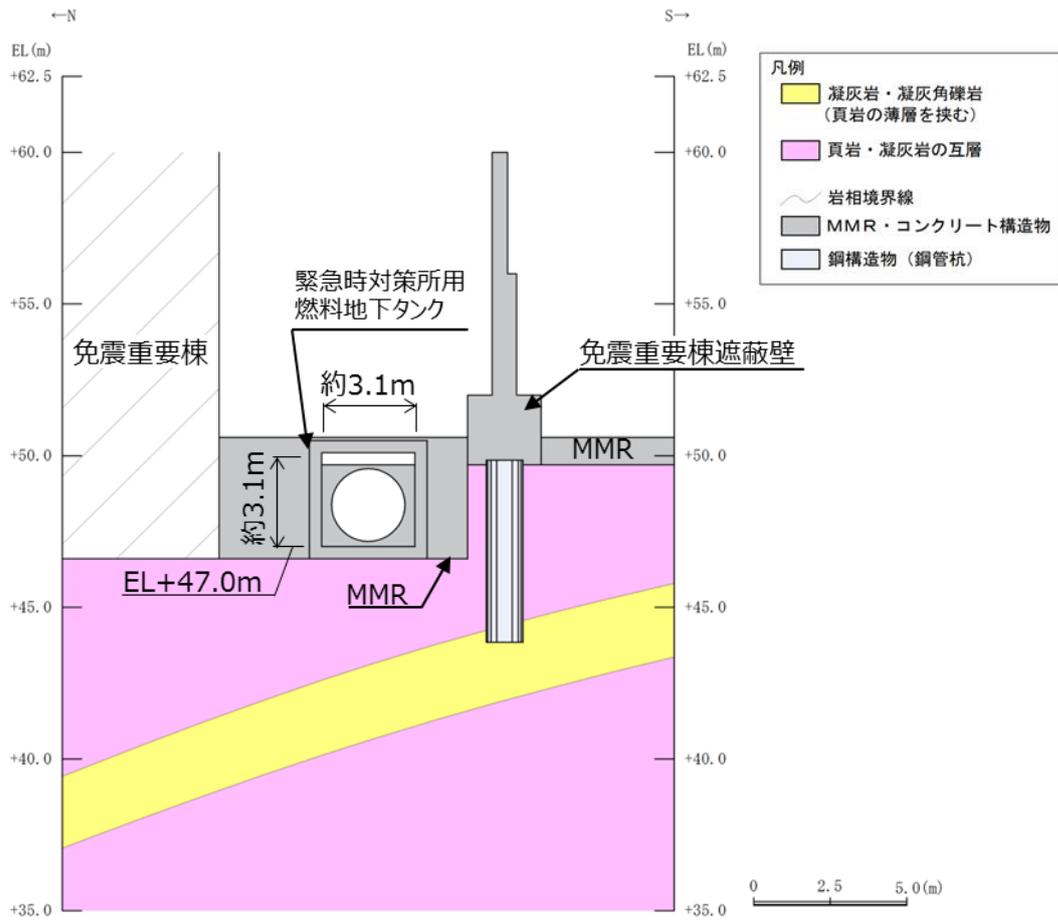
第 6-2-41 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図



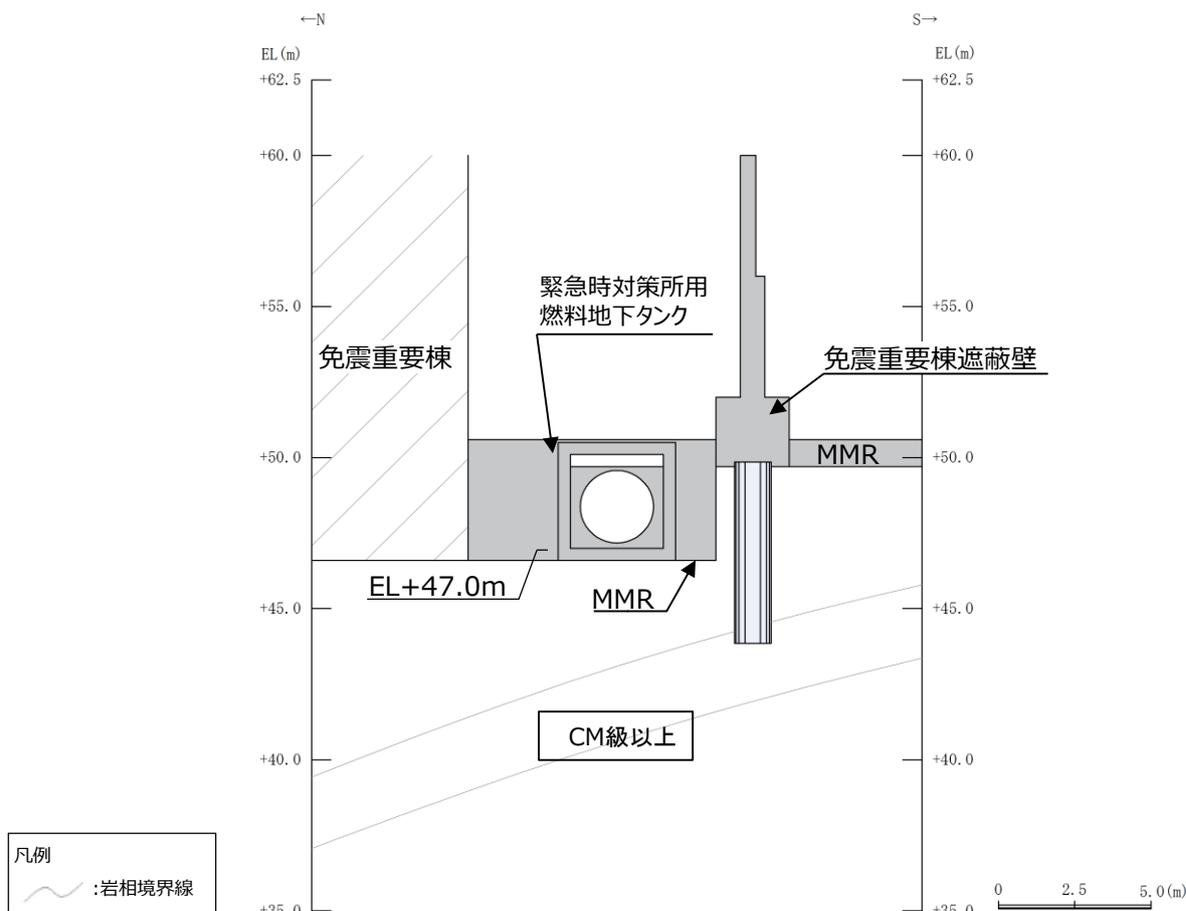
第 6-2-42 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 縦断図 (②-②断面)



第 6-2-43 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (①-①断面)



第 6-2-44 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-45 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 岩級断面図 (①-①断面)

緊急時対策所用燃料地下タンクについて、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.7 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）

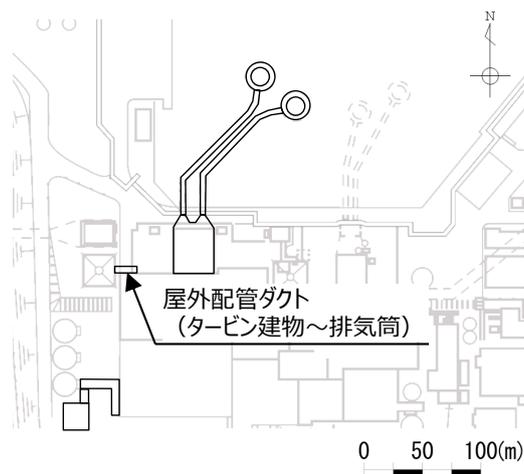
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の配置図を第6-2-46図に，平面図を第6-2-47図に，縦断図を第6-2-48図に，断面図を第6-2-49図～第6-2-52図に，地質断面図を第6-2-53図に，地質縦断図を第6-2-54図に，岩級縦断図を第6-2-55図にそれぞれ示す。

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は，Sクラス設備である非常用ガス処理系配管・弁等の間接支持機能が要求される。

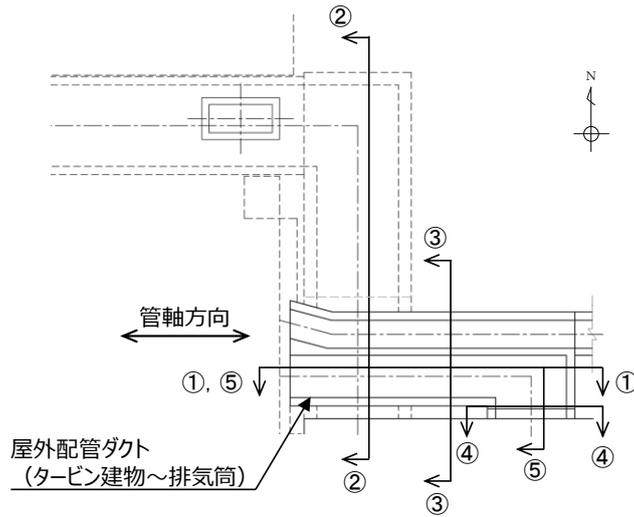
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は，延長約20mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，幅6.7m，高さ3.1mの2連のボックスカルバート構造，幅6.2m，高さ3.6mのボックスカルバート構造に大別される延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-49図～第6-2-52図）。

間接支持する配管の管軸方向と平行に配置される壁部材が多いので，間接支持する配管の管軸方向が強軸となる。

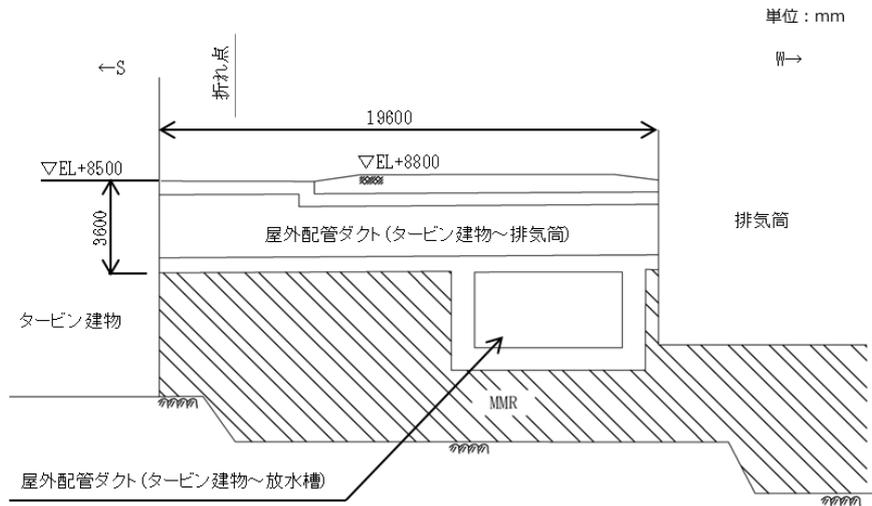
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。



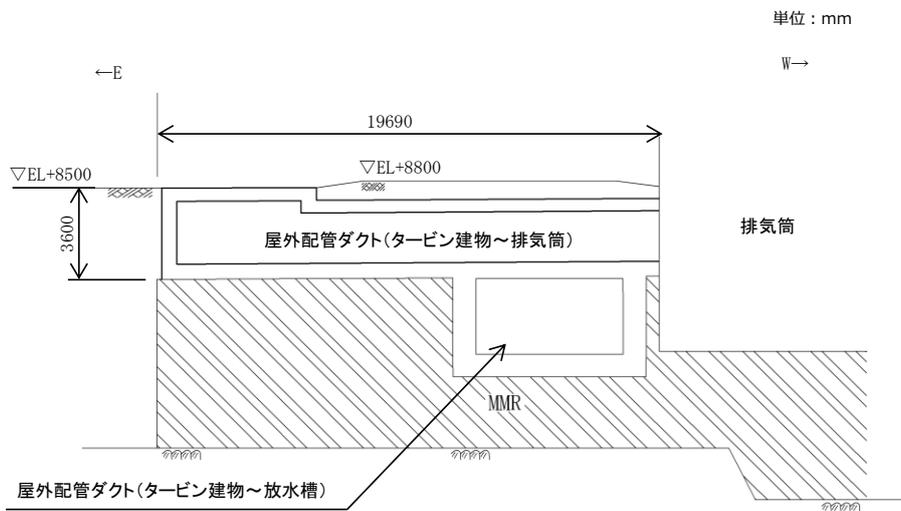
第6-2-46図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 配置図



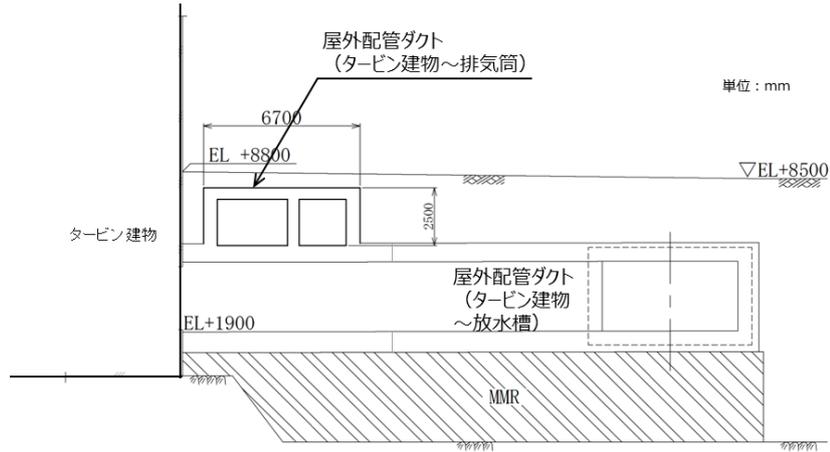
第6-2-47図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 平面図



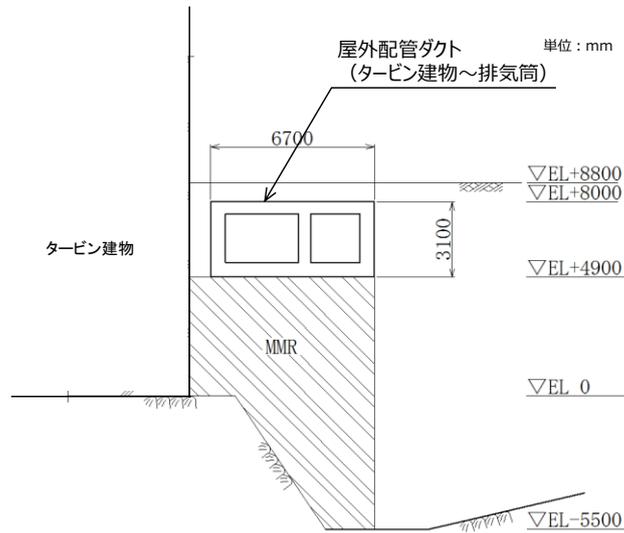
第6-2-48図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦断面図 (⑤-⑤断面)



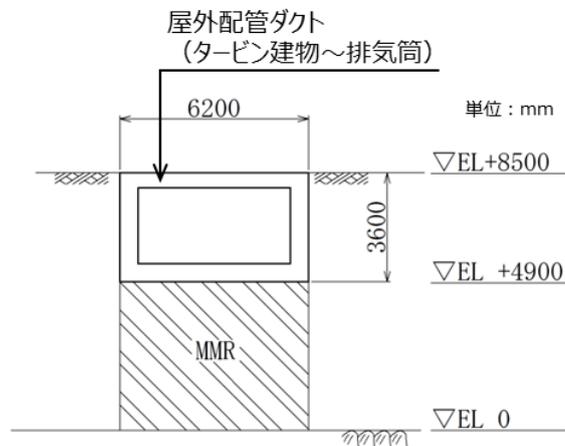
第6-2-49図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦断面図 (①-①断面)



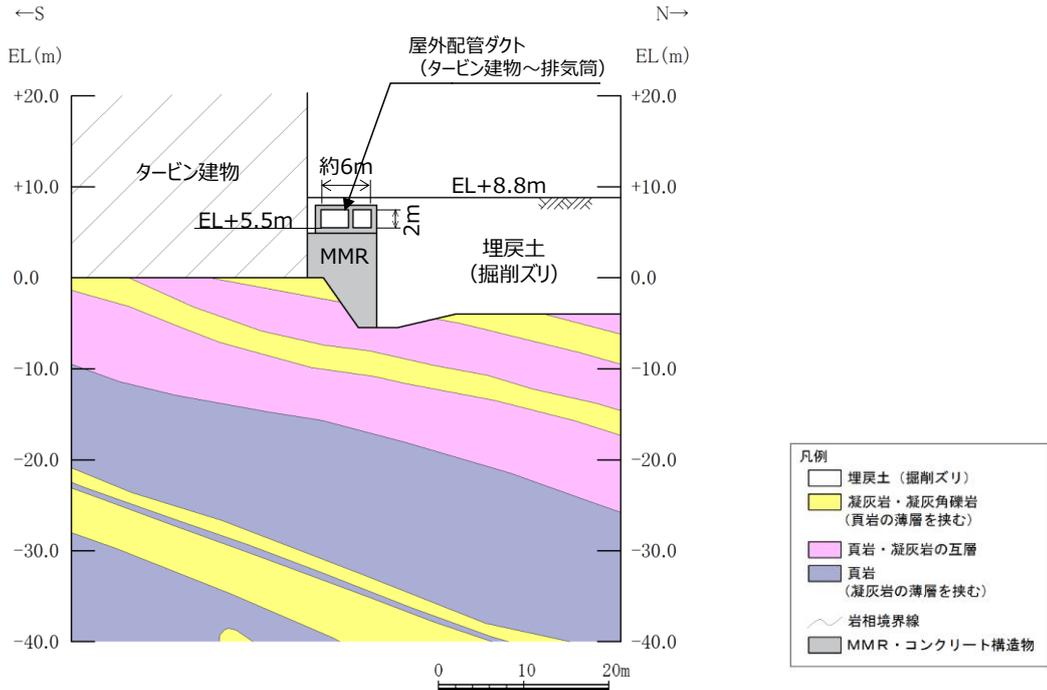
第6-2-50図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）断面図（②-②断面）



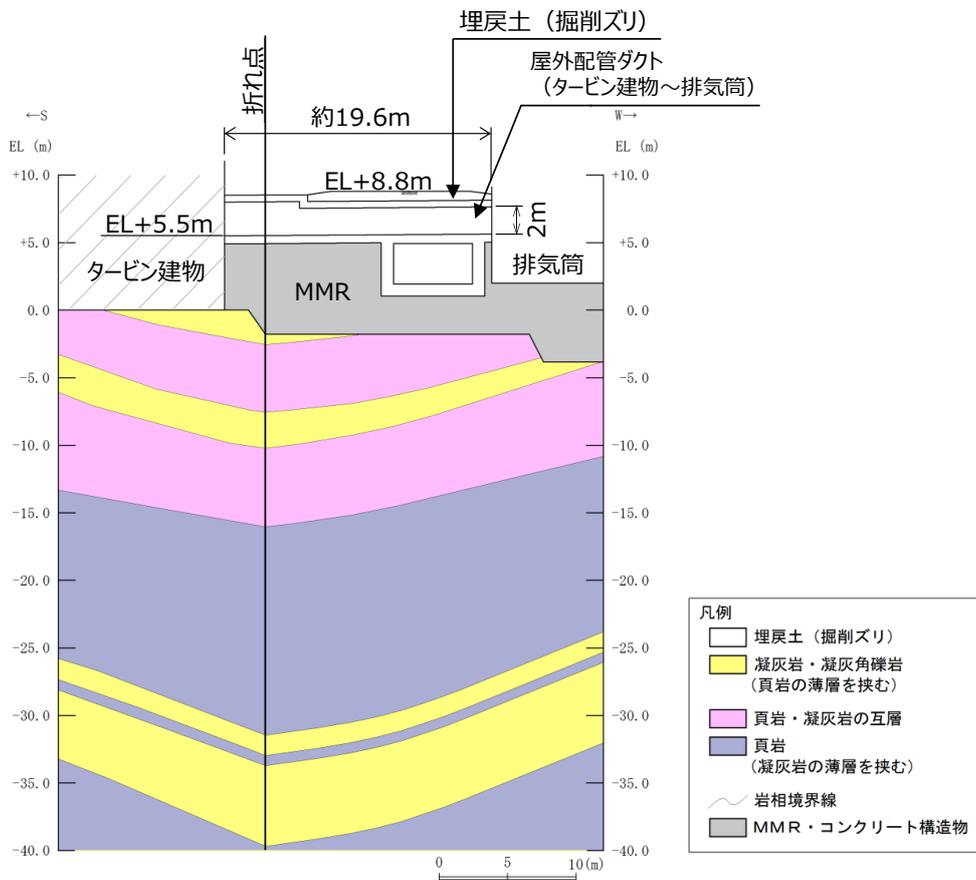
第6-2-51図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）断面図（③-③断面）



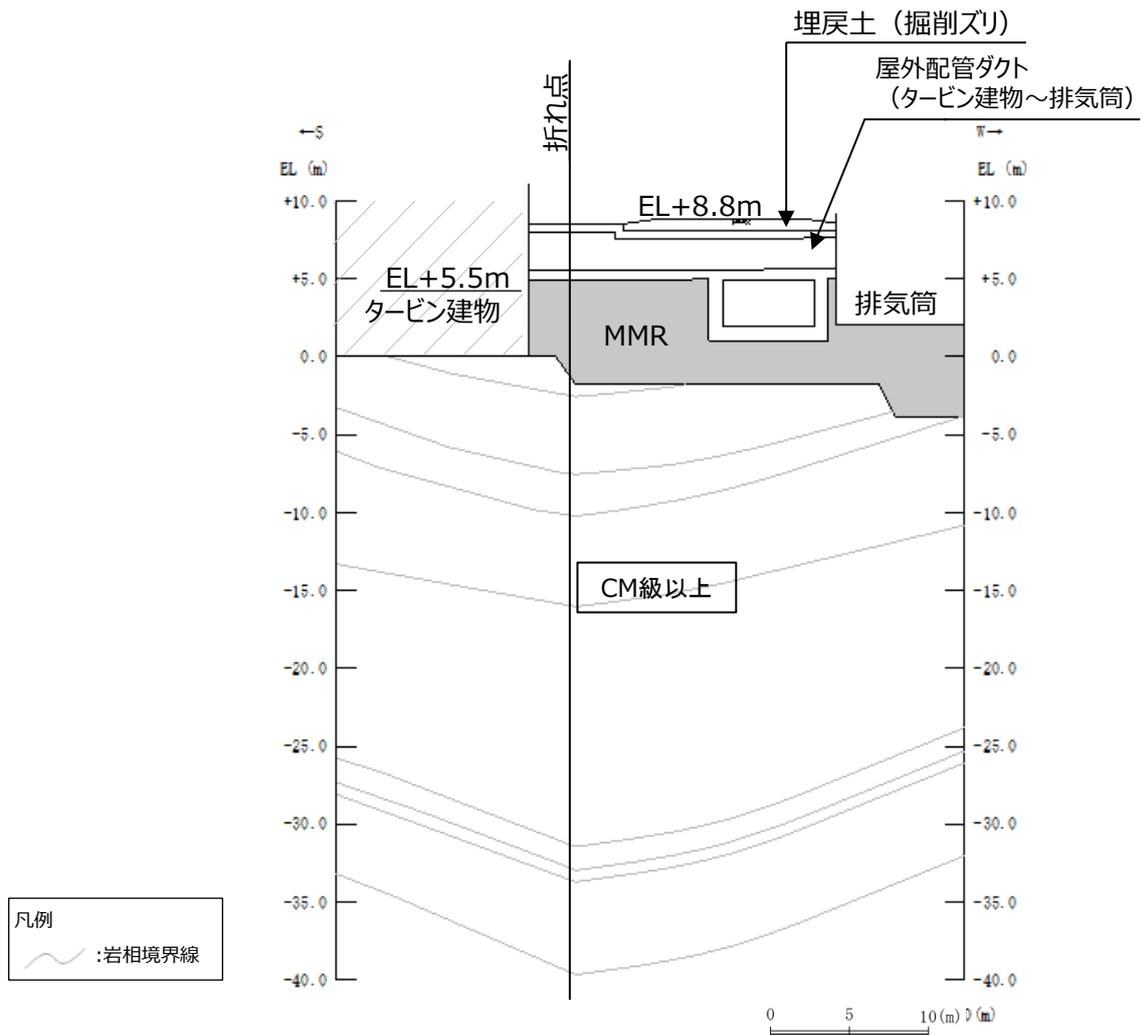
第6-2-52図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）断面図（④-④断面）



第6-2-53図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 地質断面図 (③-③断面)



第6-2-54図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 地質縦断面図 (⑤-⑤断面)



第6-2-55図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）岩級縦断図（⑤-⑤断面）

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）について、間接支持する設備，構造的特徴，周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において，地震応答解析により耐震評価を行う上で，構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお，詳細設計段階において設定する地下水位等，各断面で異なる要因があれば，その観点で整理を行い，評価対象断面を選定する。

2.8 燃料移送系配管ダクト

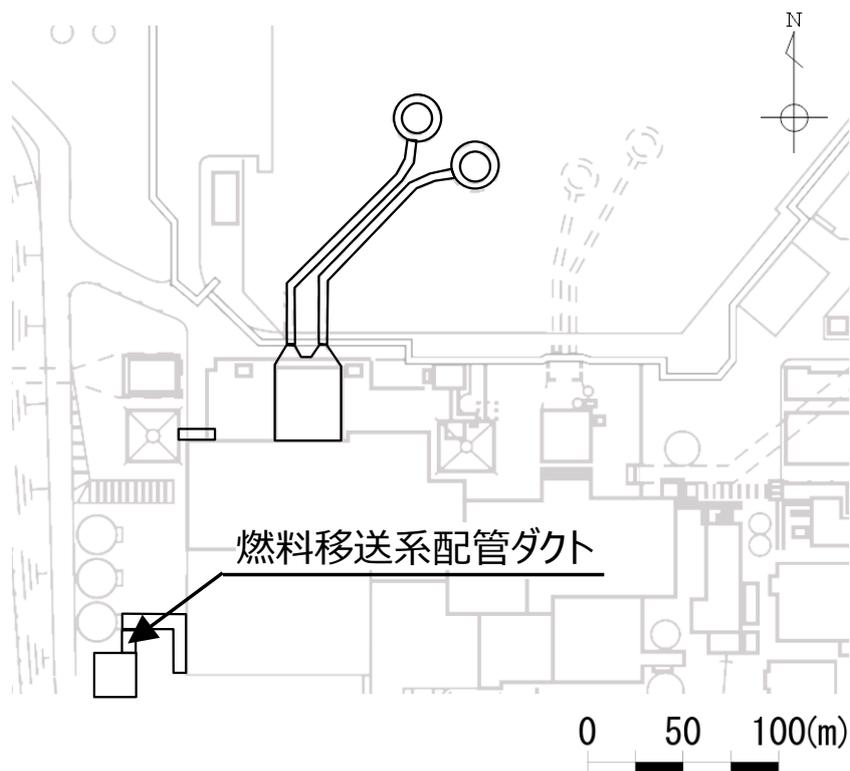
燃料移送系配管ダクトの配置図を第6-2-56図に、平面図を第6-2-57図に、縦断図を第6-2-58図に、断面図を第6-2-59図～第6-2-60図に、地質断面図を第6-2-61図に、地質縦断図を第6-2-62図に、岩級縦断図を第6-2-63図にそれぞれ示す。

燃料移送系配管ダクトは、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁の間接支持機能が要求される。

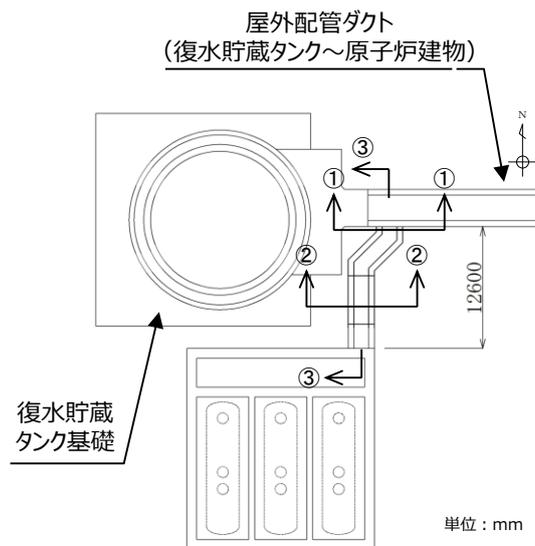
燃料移送系配管ダクトは、延長12.6mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅2.7m、高さ3.55～4.25mのボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-59図～第6-2-60図）。

燃料移送系配管ダクトは、一部MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

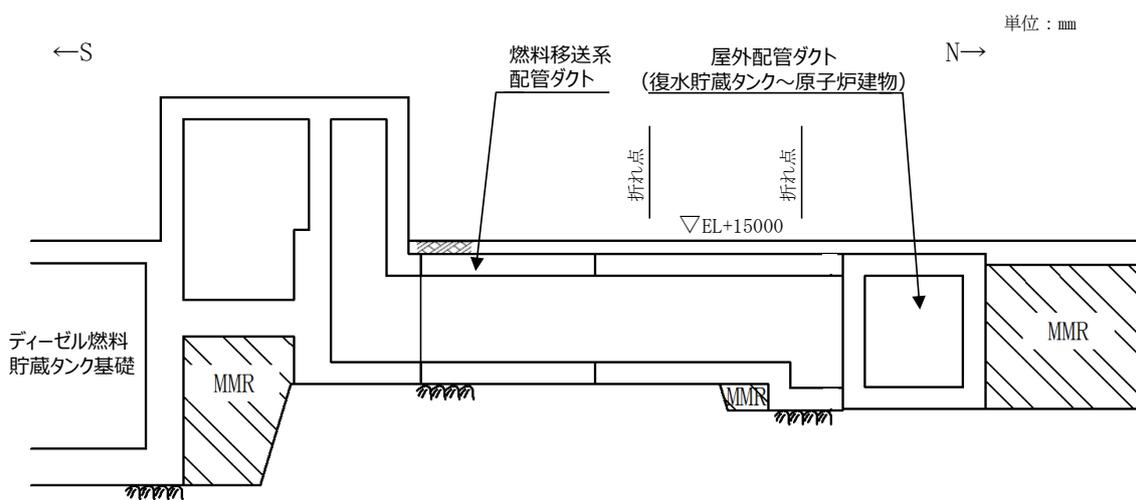
間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となり、管軸直交方向が弱軸となる。



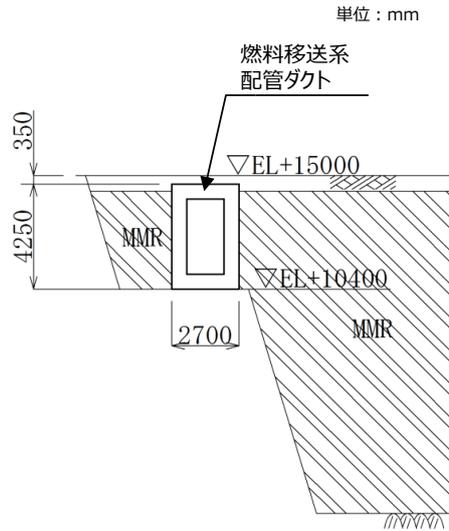
第6-2-56図 燃料移送系配管ダクト 配置図



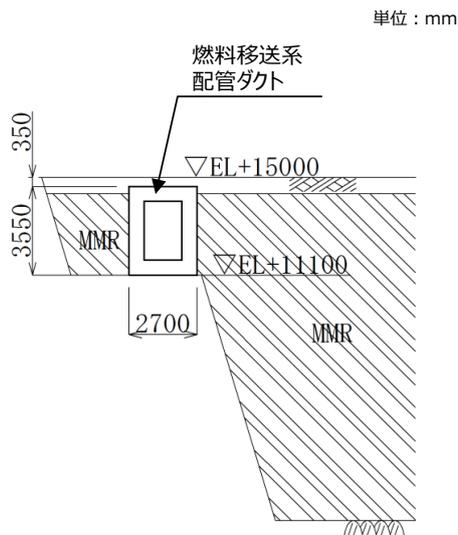
第 6-2-57 図 燃料移送系配管ダクト 平面図



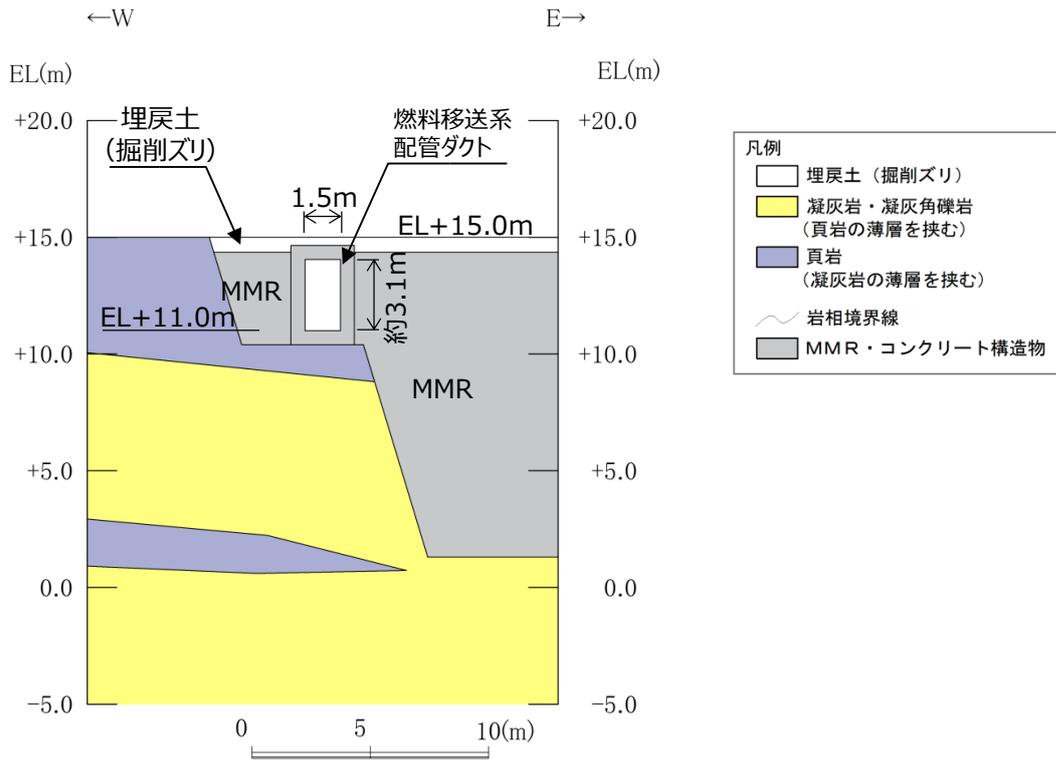
第 6-2-58 図 燃料移送系配管ダクト 縦断図 (③-③断面)



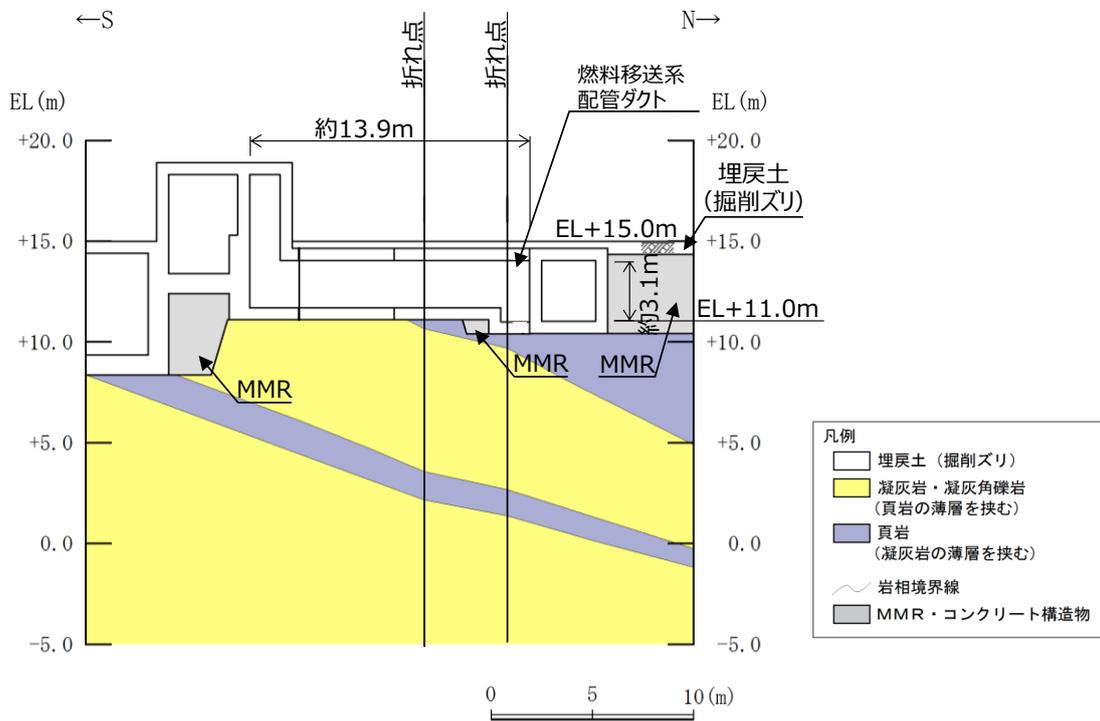
第6-2-59 図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (①-①断面)



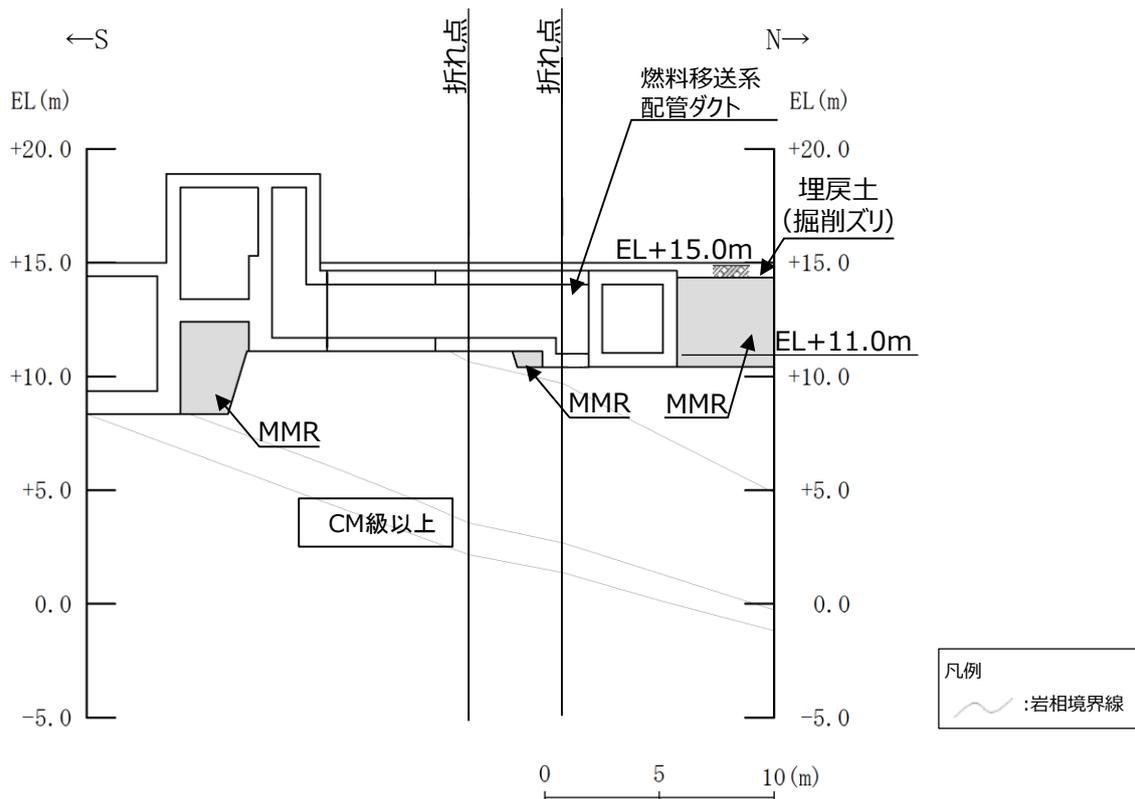
第6-2-60 図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (②-②断面)



第6-2-61図 燃料移送系配管ダクト 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-62図 燃料移送系配管ダクト 地質縦断面図 (③-③断面)



第6-2-63図 燃料移送系配管ダクト 岩級縦断面図 (③-③断面)

燃料移送系配管ダクトについて、間接支持する設備，構造的特徴，周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.9 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）

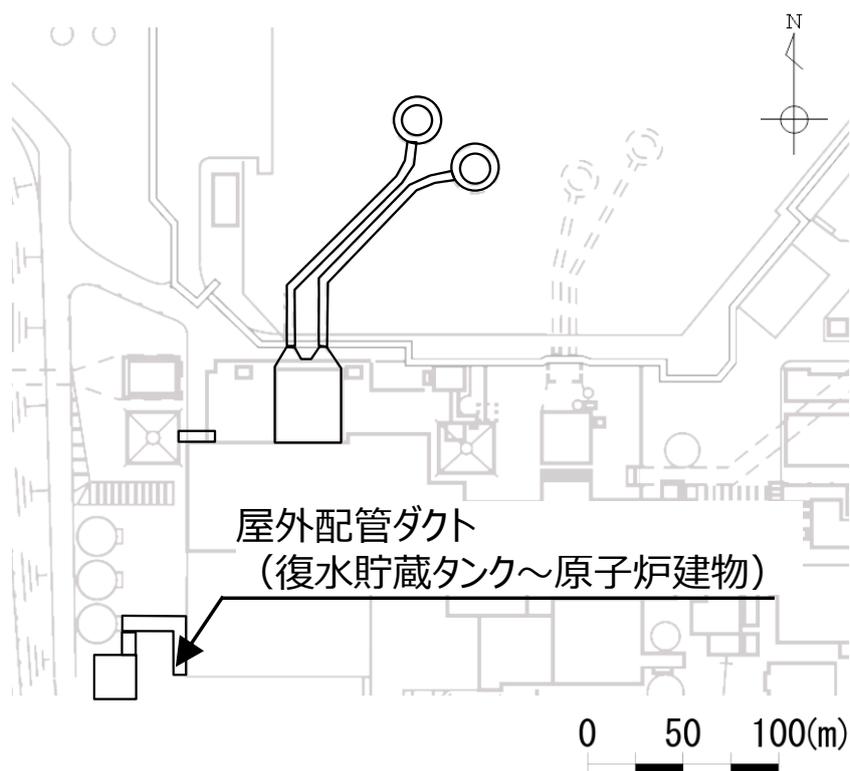
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）の配置図を第6-2-64図に、平面図を第6-2-65図に、縦断図を第6-2-66図に、断面図を第6-2-67図～第6-2-70図に、地質断面図を第6-2-71図～第6-2-72図に、地質縦断図を第6-2-73図に、岩級縦断図を第6-2-74図にそれぞれ示す。

屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁の間接支持機能が要求される。

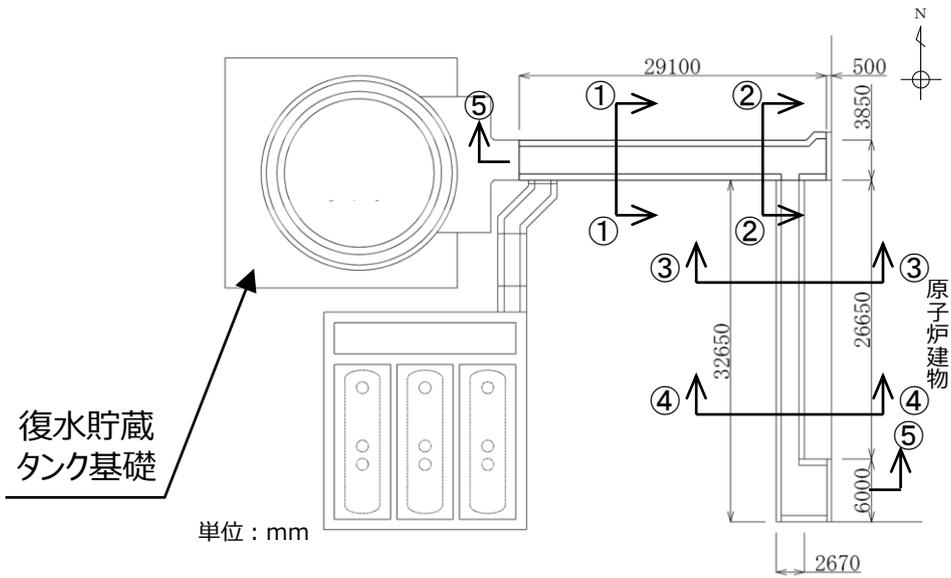
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は、延長約62mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅2.670m～3.850m、高さ3.739m～4.246mのボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-67図～第6-2-70図）。

屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

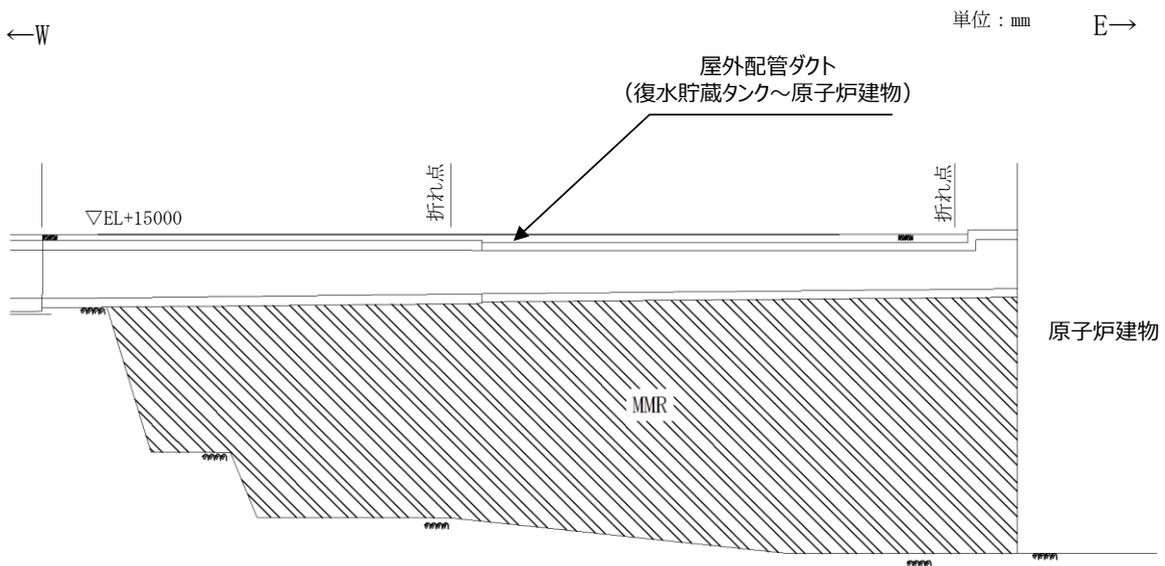
間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となり、管軸直交方向が弱軸となる。



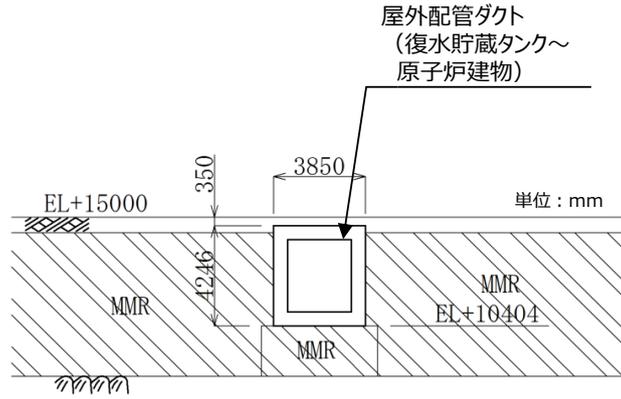
第6-2-64図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）配置図



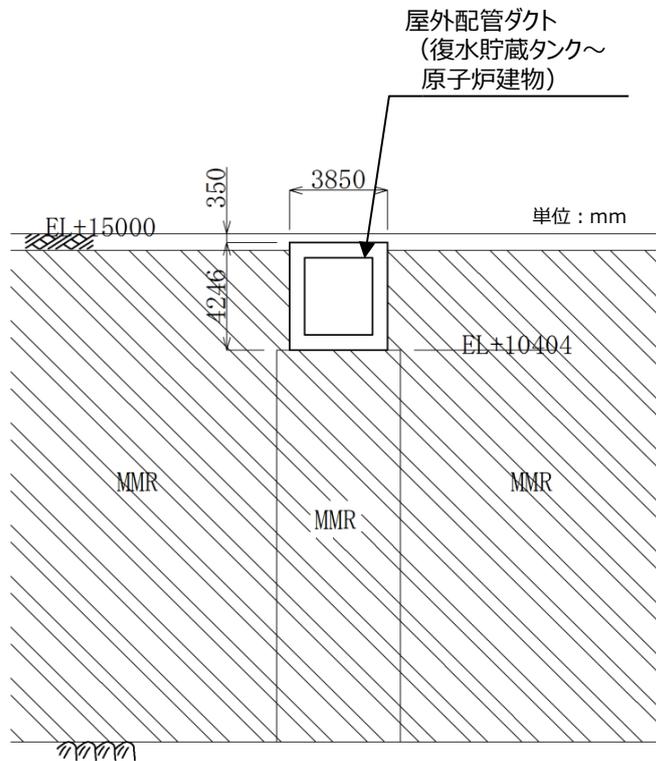
第 6-2-65 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 平面図



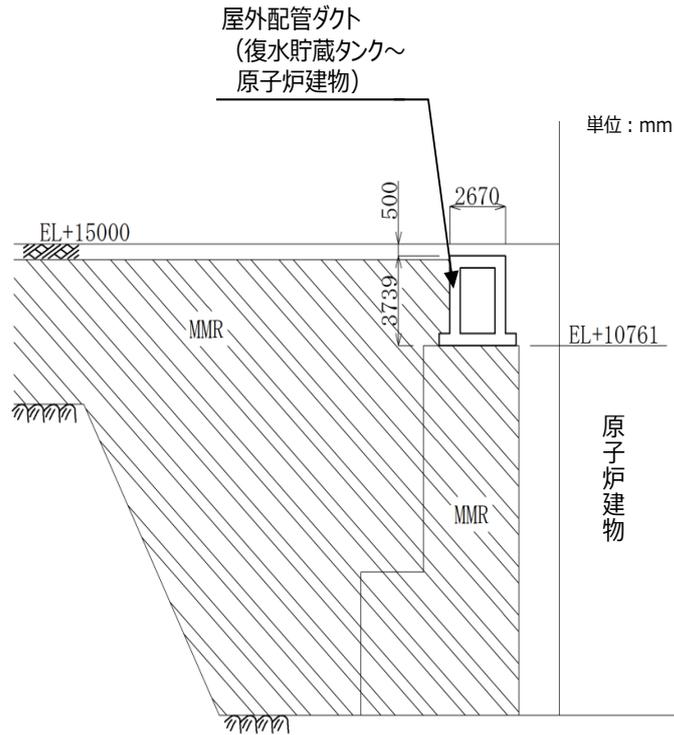
第 6-2-66 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
縦断図（⑤-⑤断面）



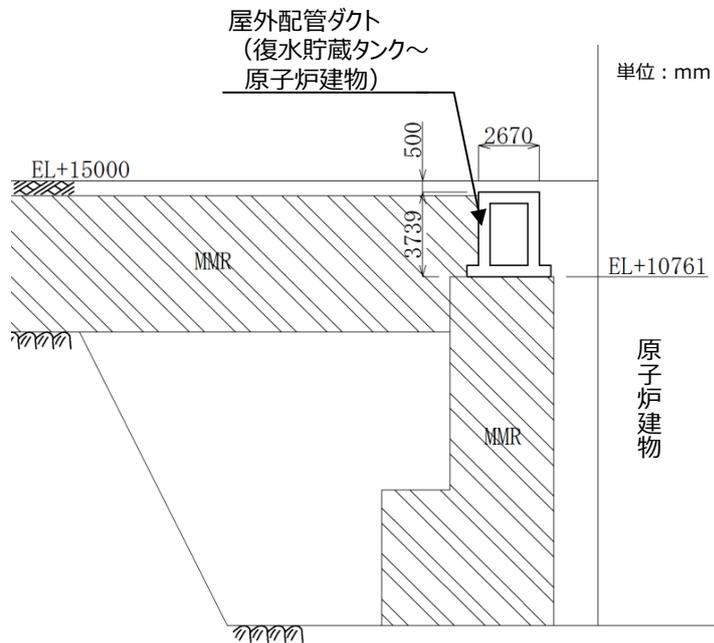
第 6-2-67 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (①-①断面)



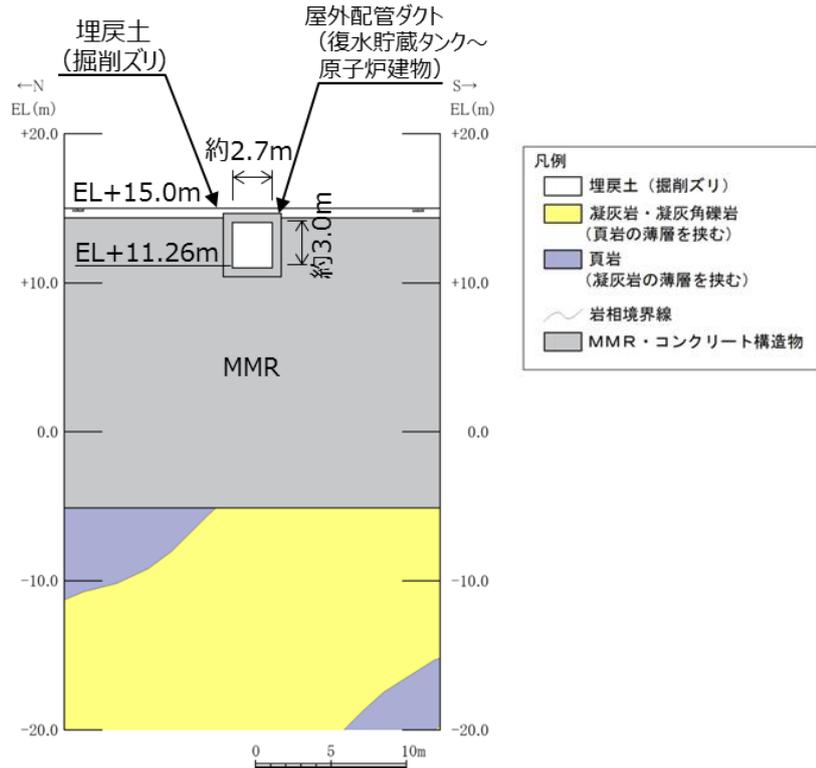
第 6-2-68 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (②-②断面)



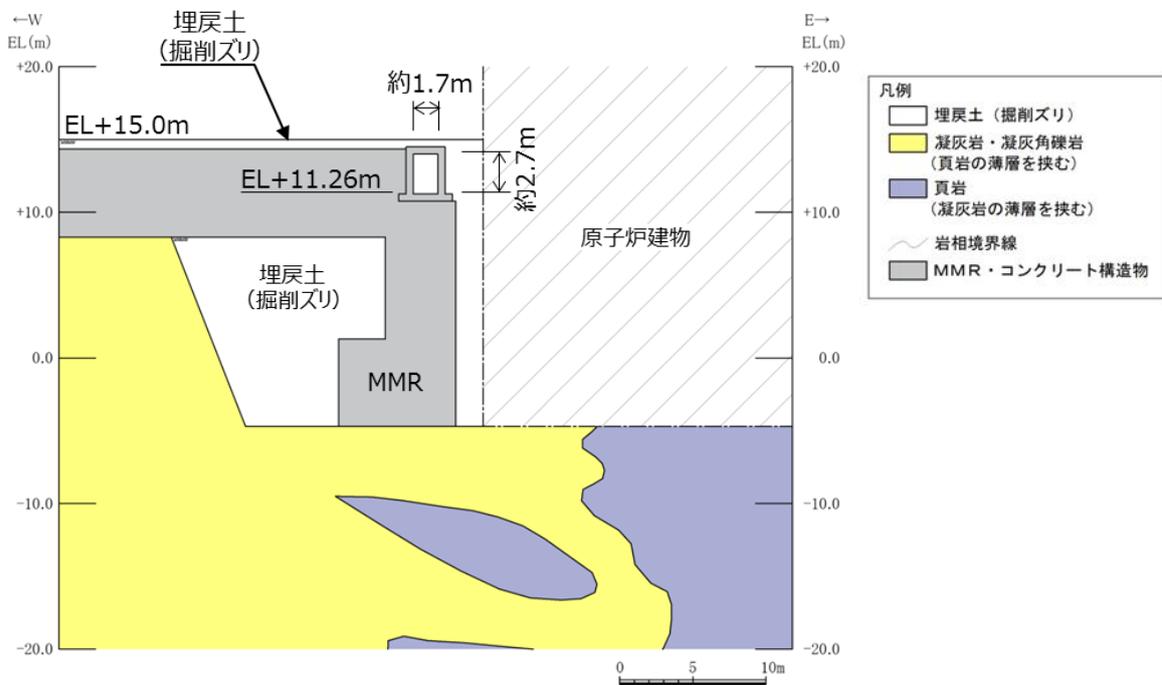
第6-2-69 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
断面図（③-③断面）



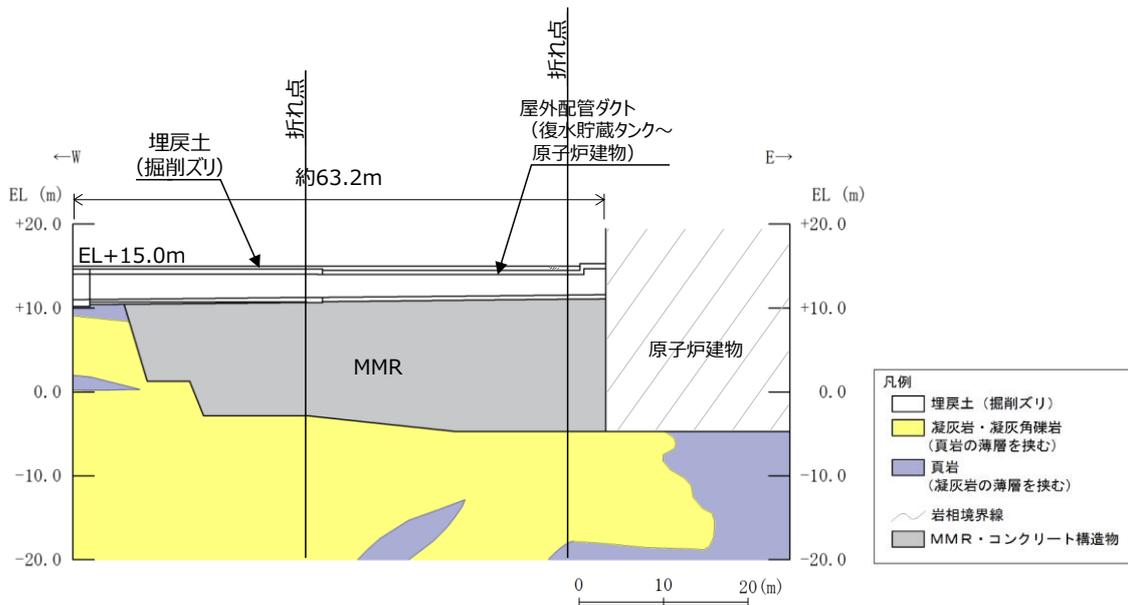
第6-2-70 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
断面図（④-④断面）



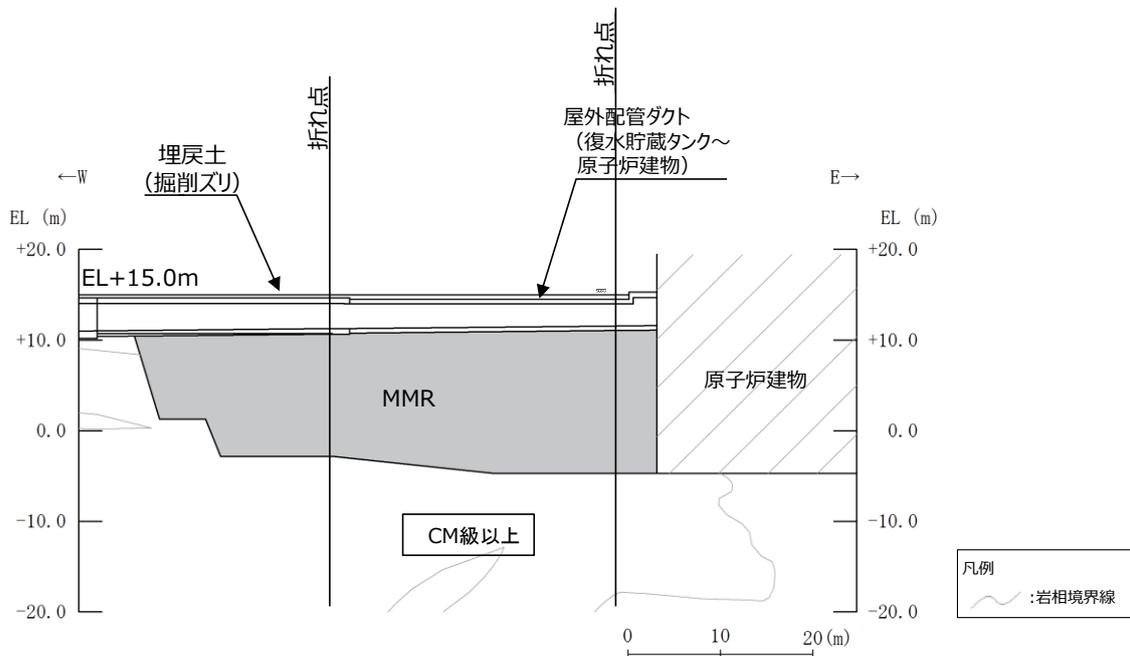
第 6-2-71 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
地質断面図（②-②断面）



第 6-2-72 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
地質断面図（④-④断面）



第6-2-73図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
地質縦断面図 (⑤-⑤断面)



第6-2-74図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
岩級縦断面図 (⑤-⑤断面)

屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物) について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.10 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）

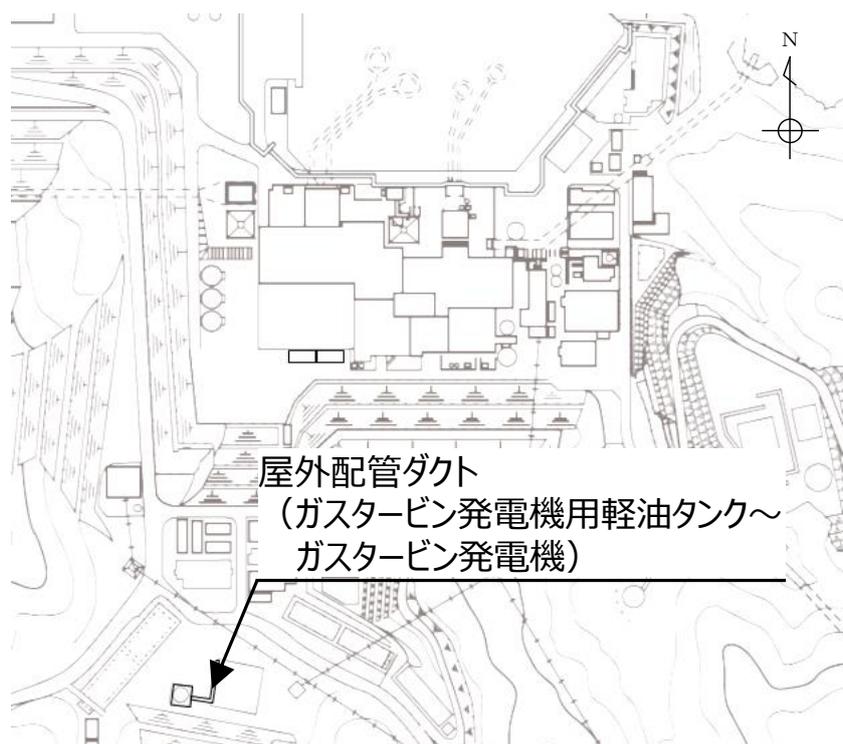
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の配置図を第6-2-75図に，平面図を第6-2-76図に，縦断図を第6-2-77図に，断面図を第6-2-78～第6-2-80図に，地質断面図を第6-2-81図に，地質縦断図を第6-2-82図に，岩級縦断図を第6-2-83図にそれぞれ示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は，Sクラス設備であるガスタービン発電機用燃料移送配管・弁の間接支持機能が要求される。

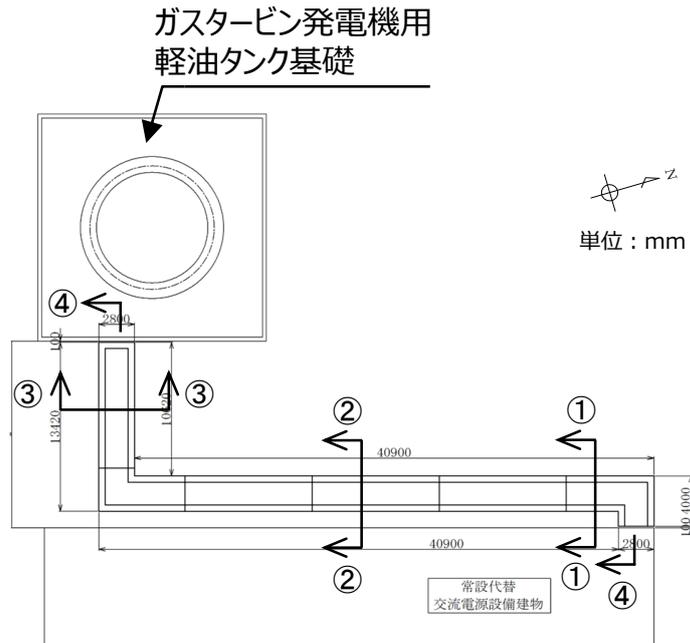
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は，延長58.32m，幅2.8m，高さ1.8mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，延長方向に断面の変化がない線状構造物である（第6-2-78～第6-2-80図）。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は，MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

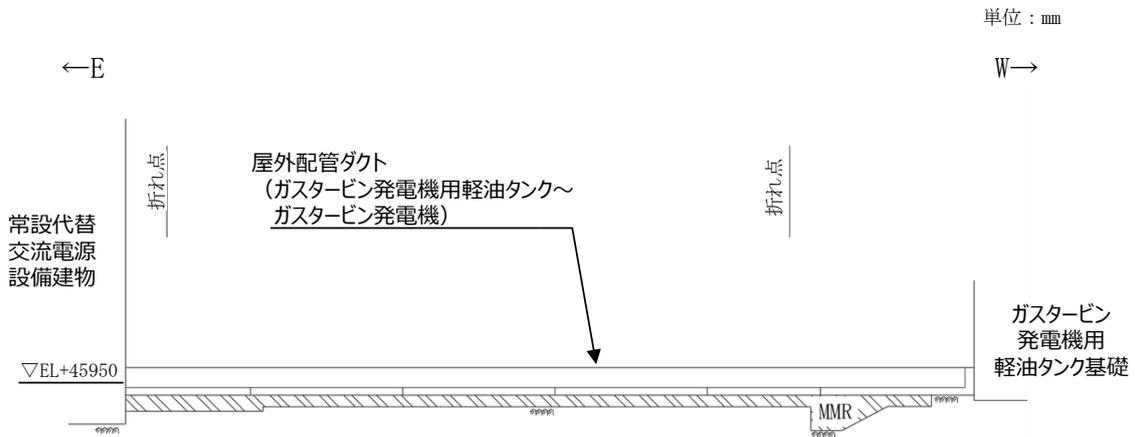
間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので，間接支持する配管の管軸方向が強軸となり，管軸直交方向が弱軸となる。



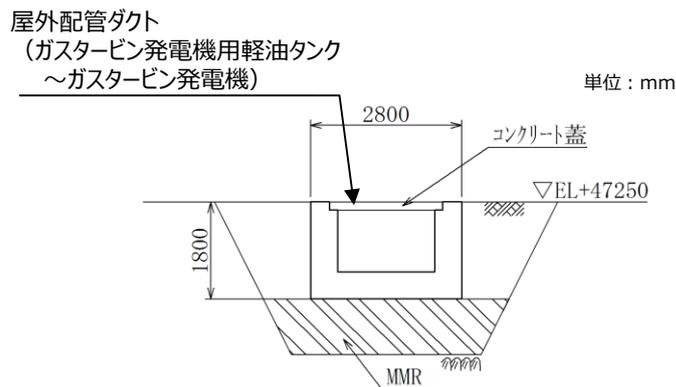
第6-2-75図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 配置図



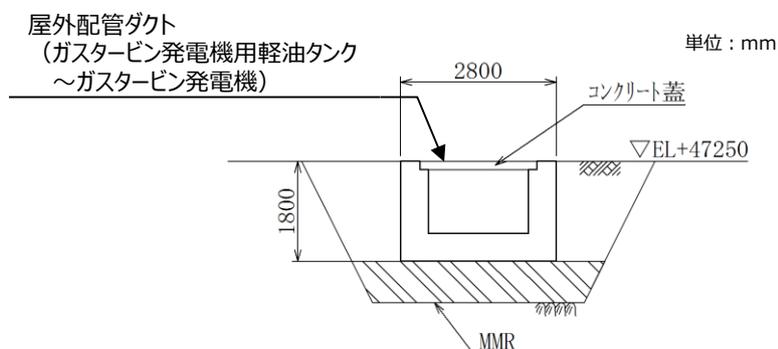
第6-2-76図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 平面図



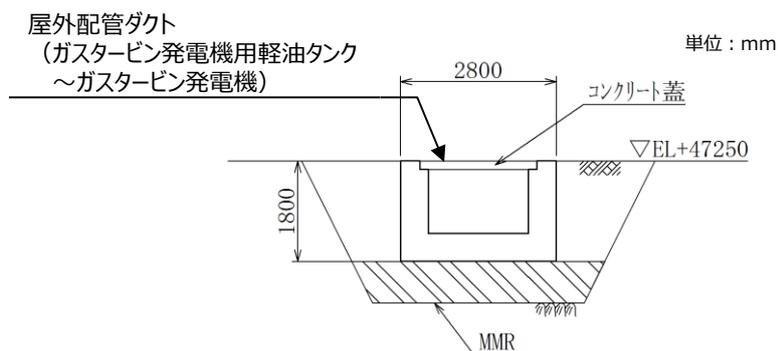
第6-2-77図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 縦断図 (④-④断面)



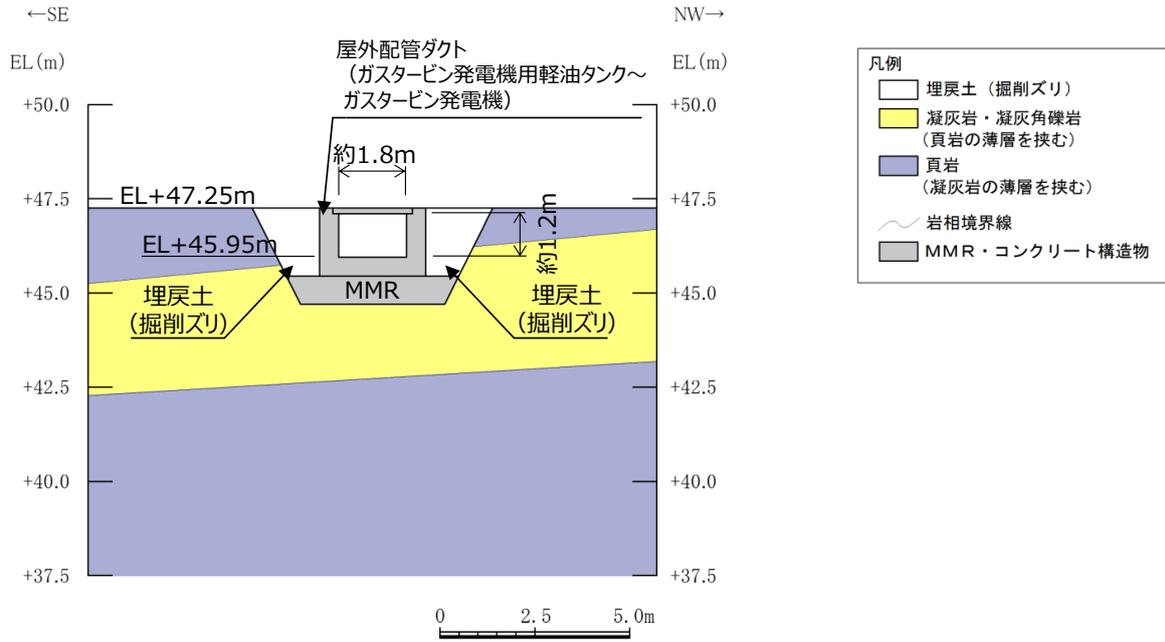
第6-2-78図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
断面図 (①-①断面)



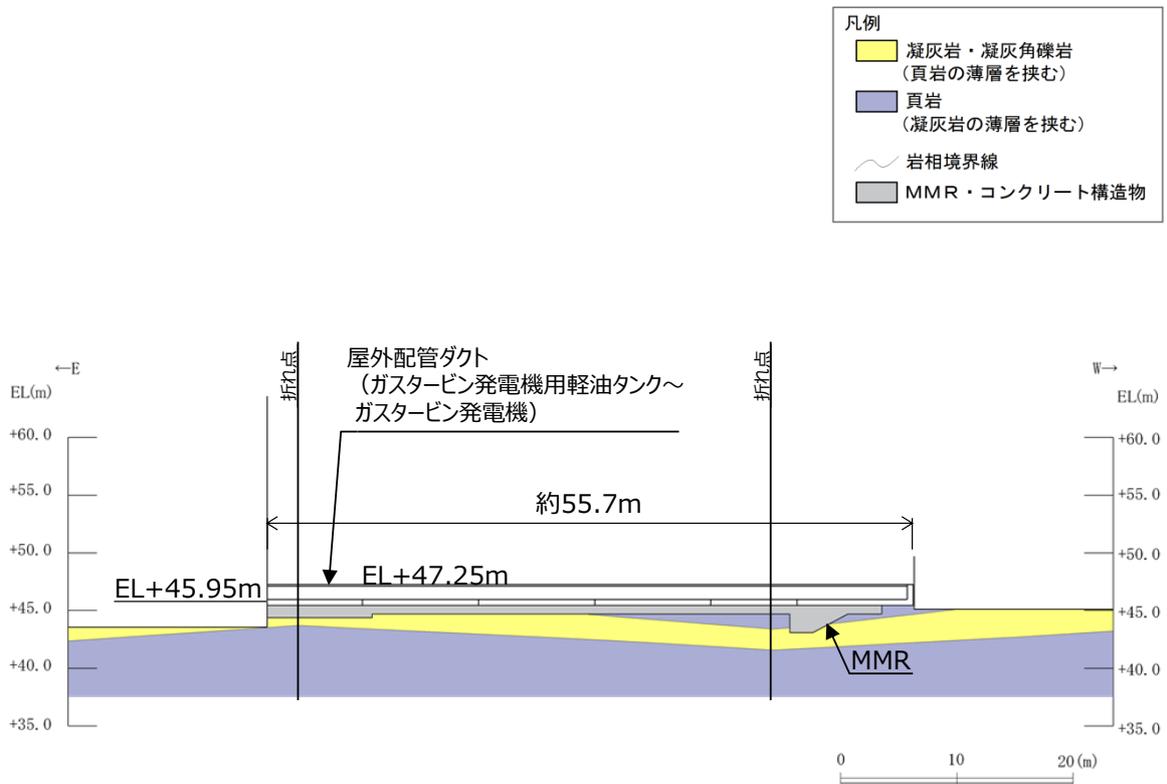
第6-2-79図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
断面図 (②-②断面)



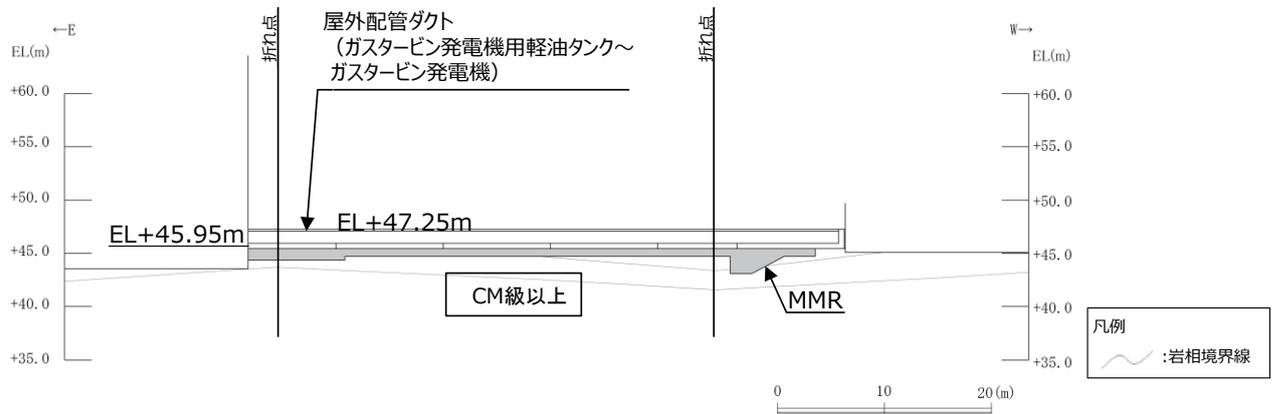
第6-2-80図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
断面図 (③-③断面)



第6-2-81 図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-82 図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 地質縦断面図 (④-④断面)



第6-2-83図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 岩級縦断面図 (④-④断面)

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.11 取水口

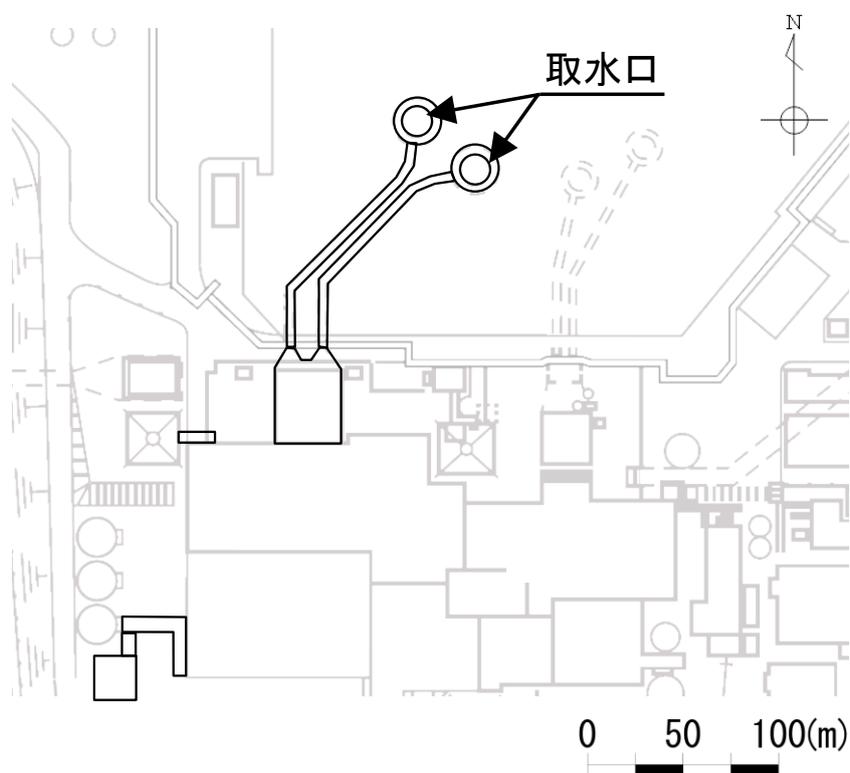
取水口の配置図を第6-2-84図に、平面図を第6-2-85図に、断面図を第6-2-86図～第6-2-87図に、地質断面図を第6-2-88図～第6-2-89図に、岩級断面図を第6-2-90図～第6-2-91図にそれぞれ示す。

取水口は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

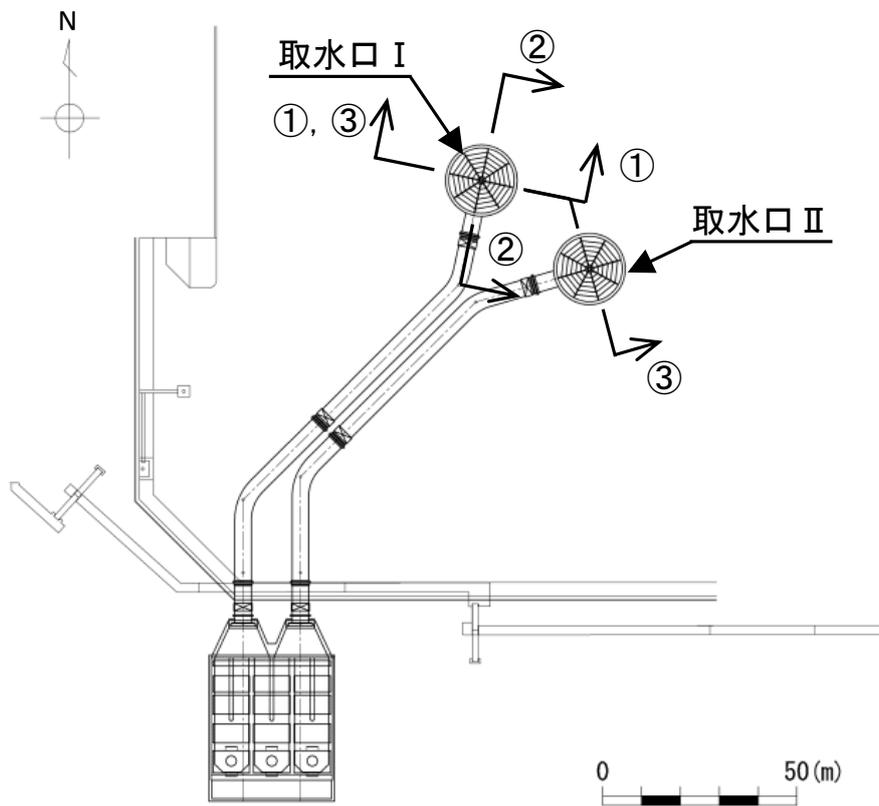
取水口は、直径18.6m、高さ13mの基部をアンカーコンクリートで巻き立てられた鋼製の構造物である。

取水口はCM級以上の岩盤に直接支持されている。

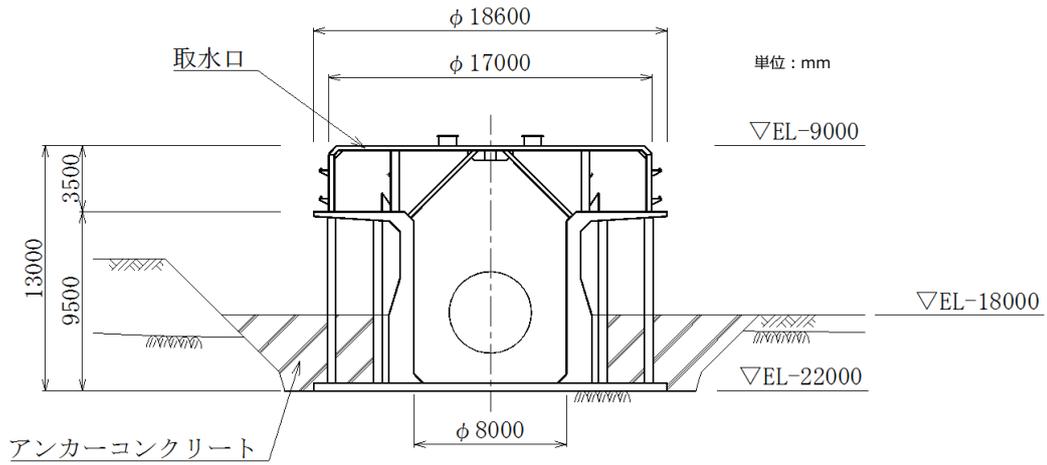
取水口は円筒状構造物であるため、強軸及び弱軸が明確ではない。



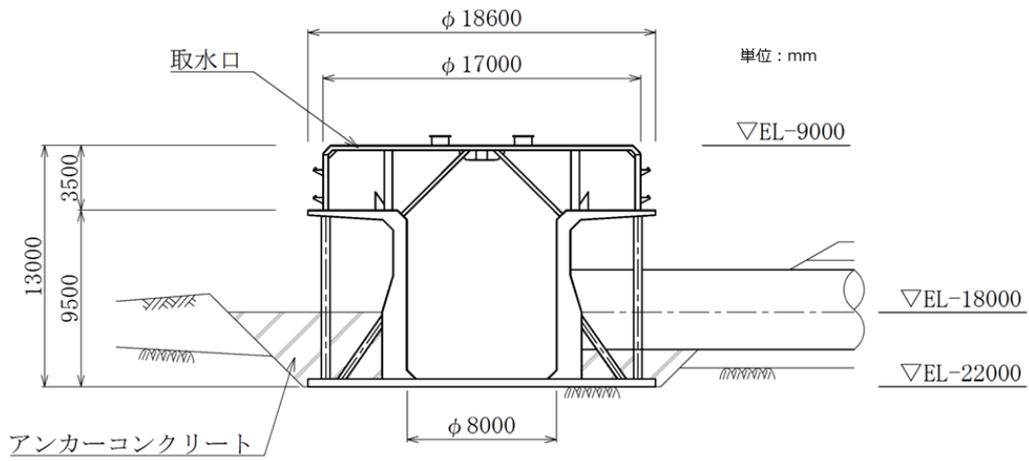
第6-2-84図 取水口 配置図



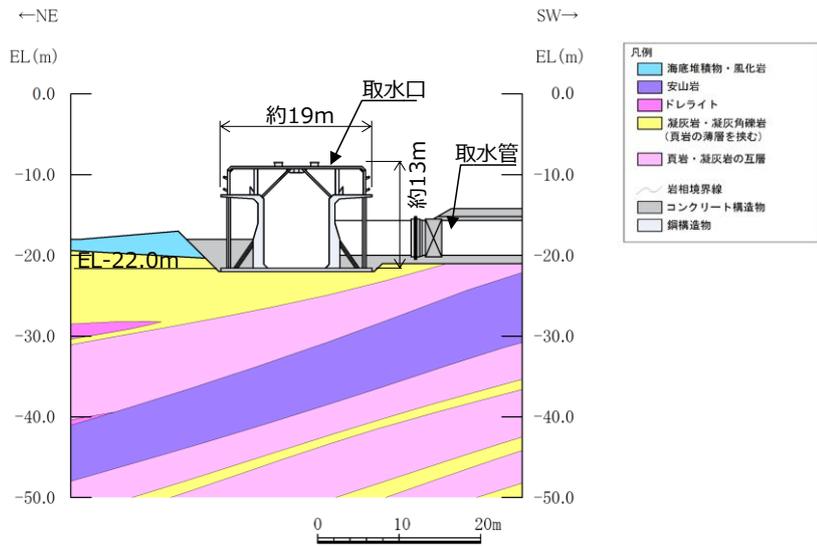
第6-2-85图 取水口 平面图



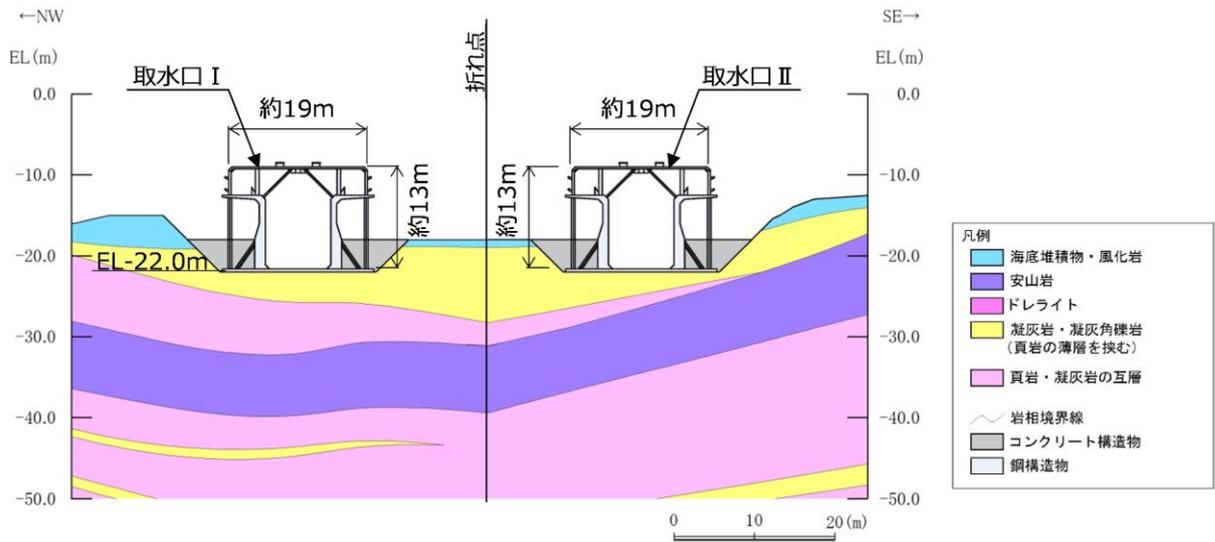
第 6-2-86 図 取水口 I 断面図 (①-①断面)



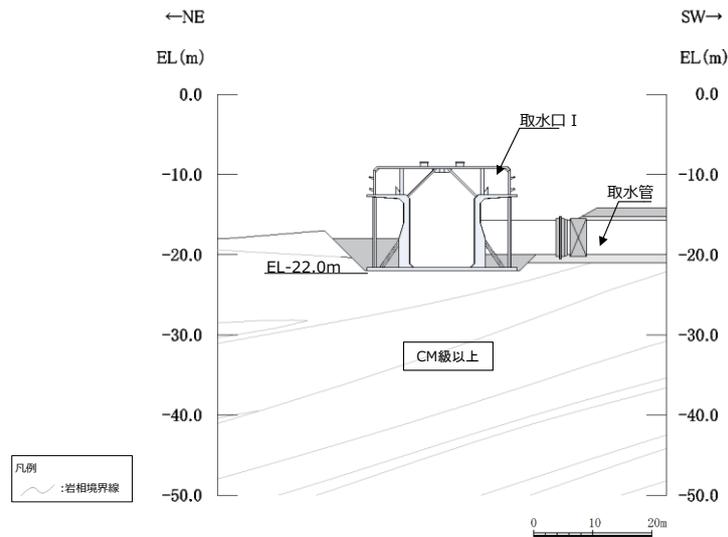
第 6-2-87 図 取水口 I 断面図 (②-②断面)



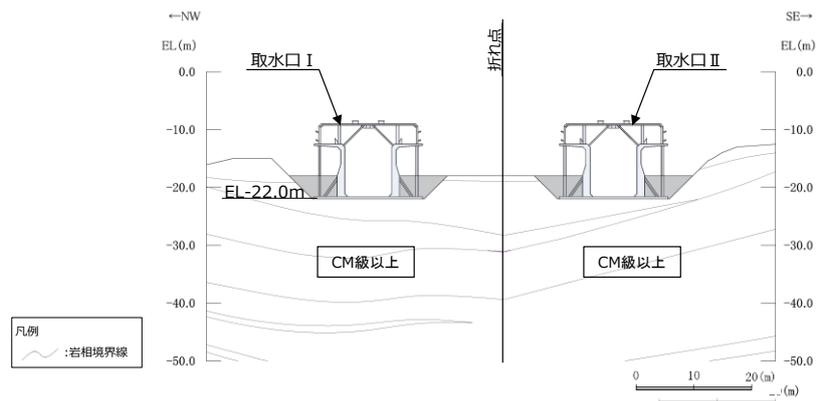
第6-2-88図 取水口 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-89図 取水口 地質断面図 (③-③断面)



第6-2-90図 取水口 岩級断面図 (②-②断面)



第6-2-91図 取水口 岩級断面図 (③-③断面)

取水口について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.12 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎

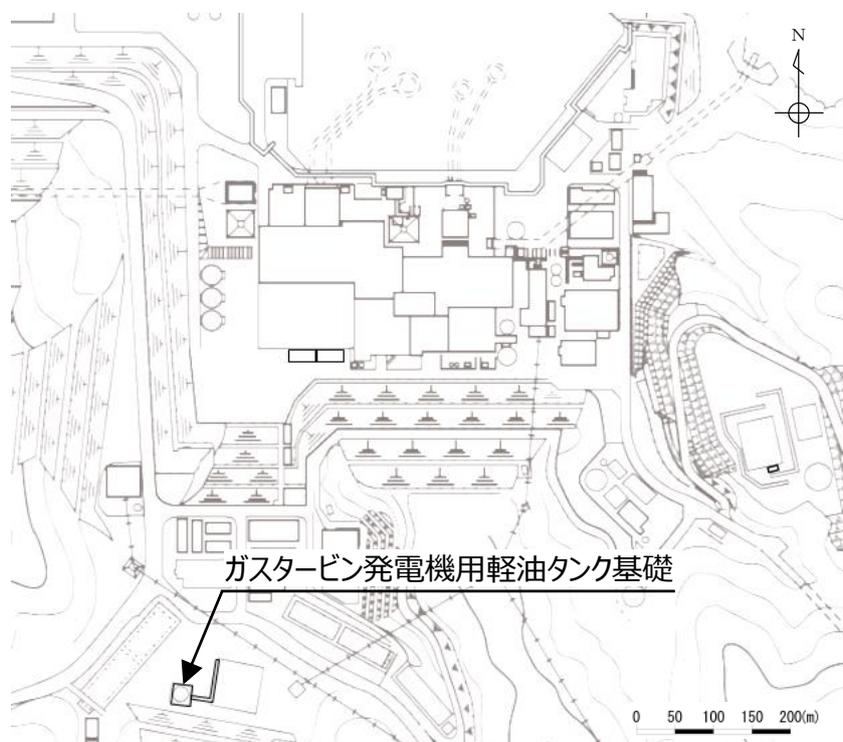
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の配置図を第6-2-92図に、平面図を第6-2-93図に、断面図を第6-2-94～第6-2-95図に、地質断面図を第6-2-96図に、岩級断面図を第6-2-97図にそれぞれ示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等の間接支持機能が要求される。

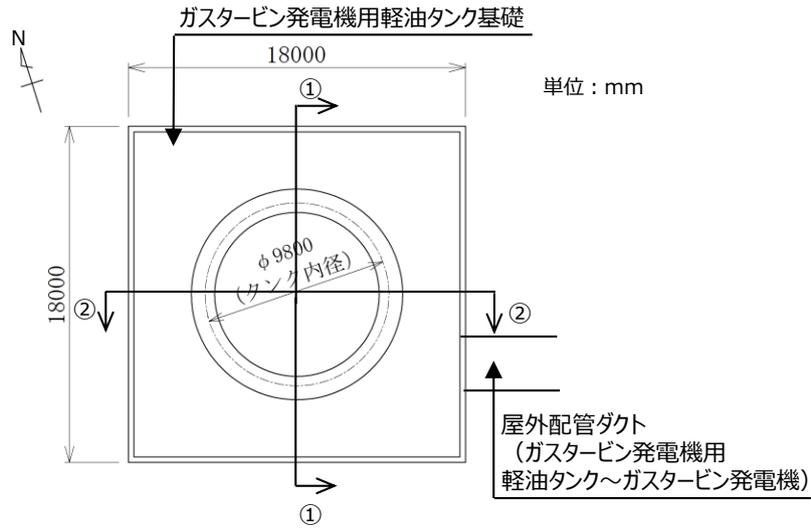
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、幅18m×18mの鉄筋コンクリート造の構造物である。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

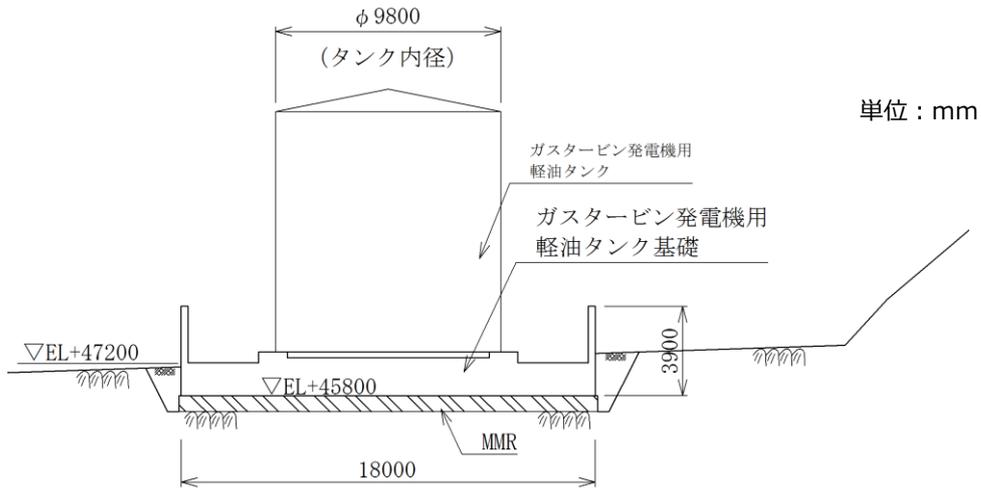
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は正方形の直接基礎であるため、強軸及び弱軸が明確ではない。



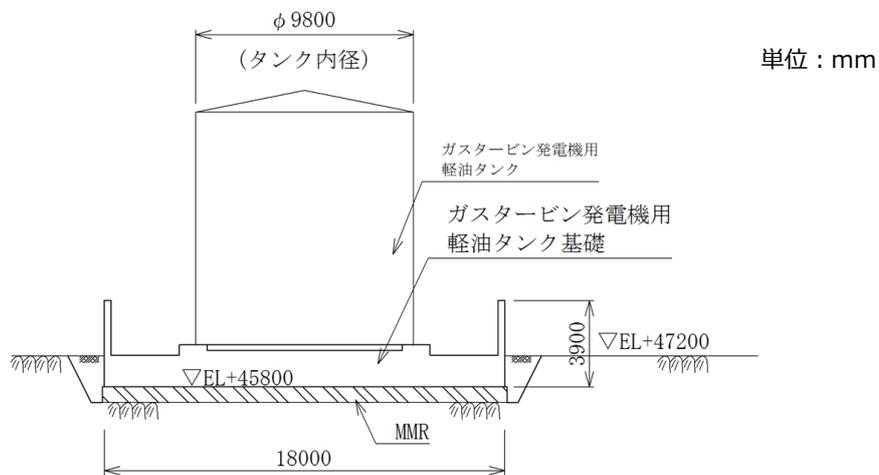
第6-2-92図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 配置図



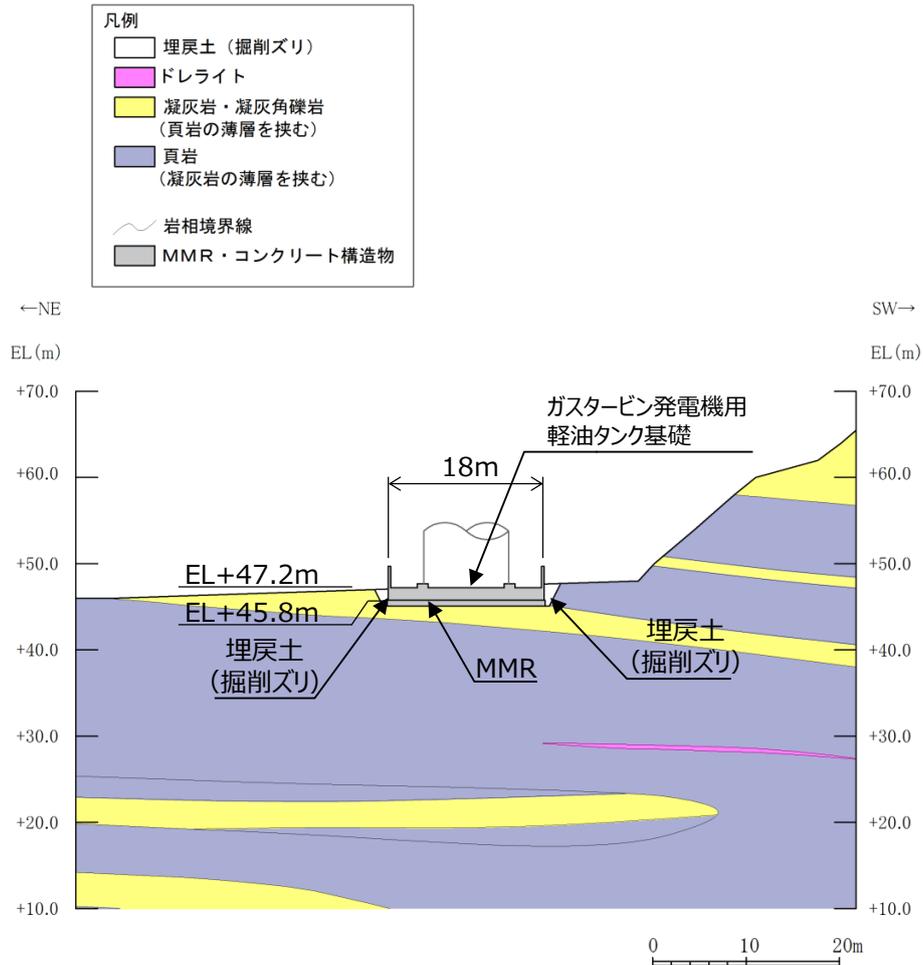
第6-2-93図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図



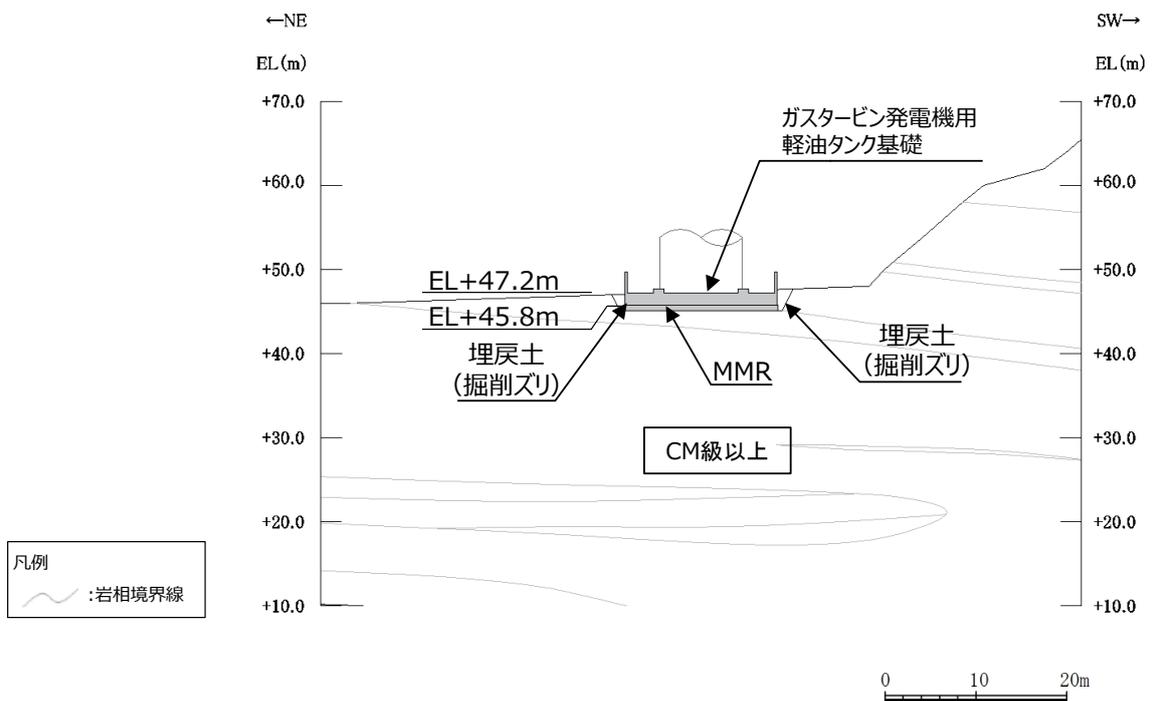
第6-2-94図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (①-①断面)



第6-2-95図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (②-②断面)



第6-2-96図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-97図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 岩級断面図 (①-①断面)

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.13 取水管

取水管の配置図を第6-2-98図に、平面図を第6-2-99図に、縦断図を第6-2-100図に、輪谷湾周辺の底質分布を第6-2-101図に、平面図（詳細図）を第6-2-102図に、断面図を第6-2-103図～第6-2-104図に、地質断面図を第6-2-105～第6-2-108図に、地質縦断図を第6-2-109図に、岩級縦断図を第6-2-110図にそれぞれ示す。

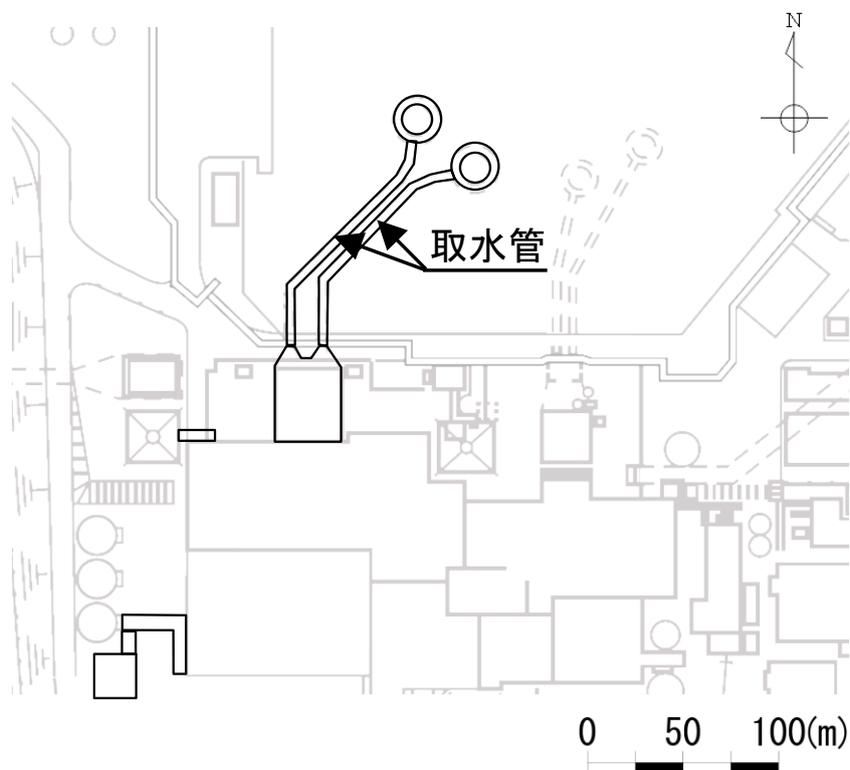
取水管は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

取水管は、取水口と取水槽を結ぶ、管径φ4,300mmの鋼製の構造物であり、北側より、③-③断面（砕石）、①-①断面（巻立コンクリート）により構成され、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である（第6-2-84図～第6-2-85図）。

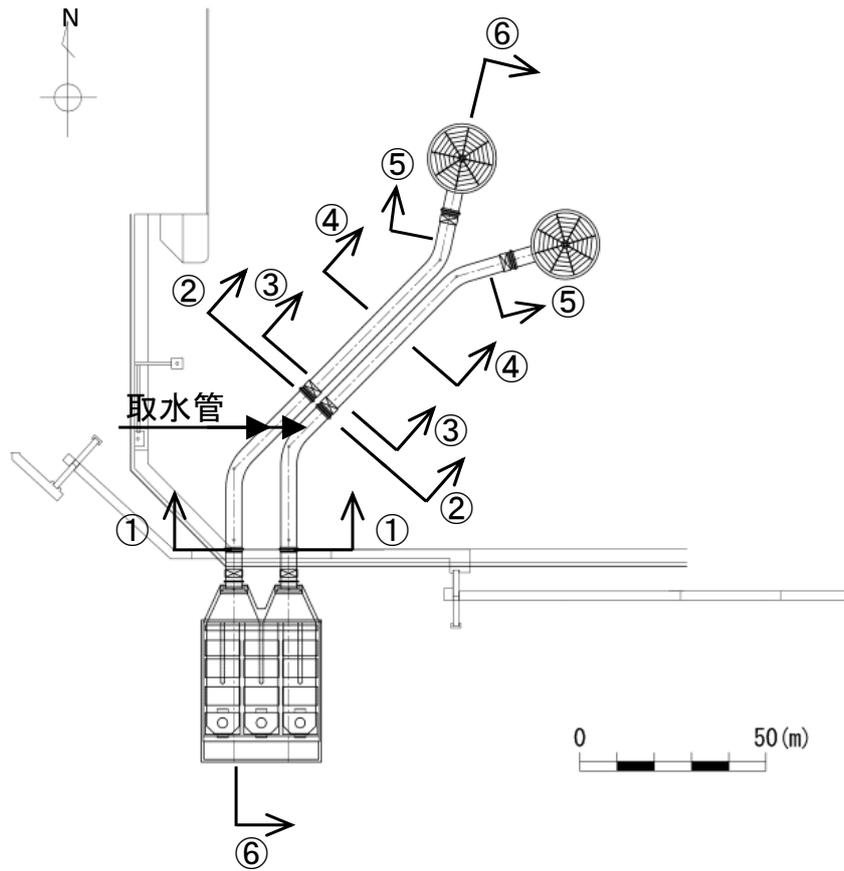
取水管の縦断方向（通水方向）は、通水方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されていることから強軸となり、横断方向（通水方向に対する直交方向）が弱軸となる。

輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されているが、島根2号炉の取水口・取水管が設置される周辺は、岩が分布している（第6-2-82図）。

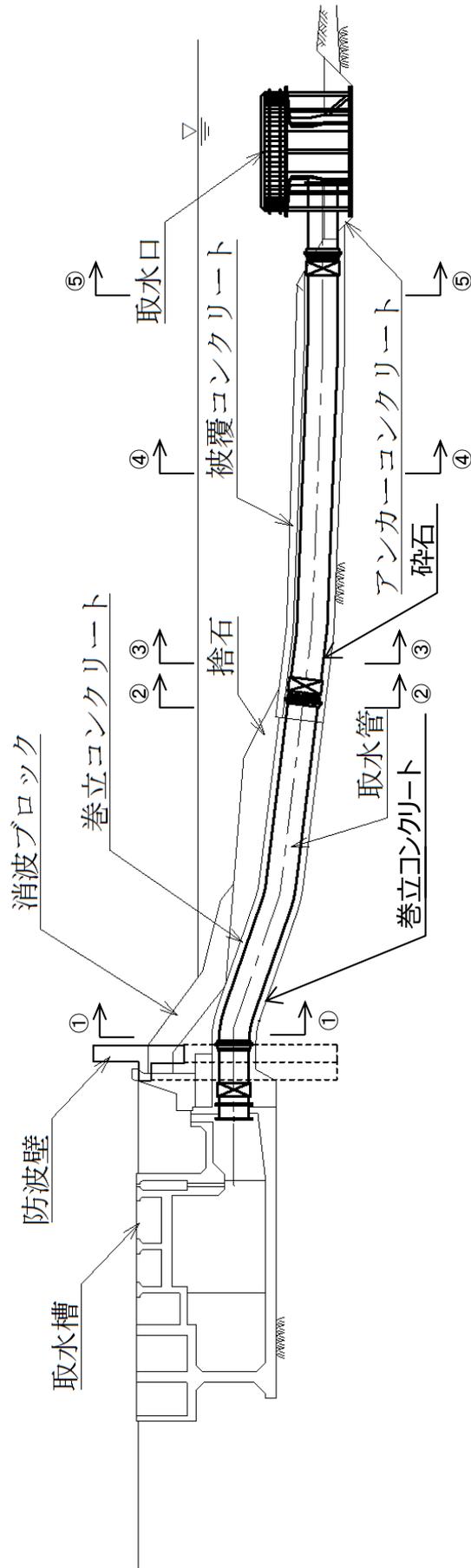
取水管は、岩盤掘削した中に砕石またはコンクリートを介してCM級以上の岩盤に支持されている。



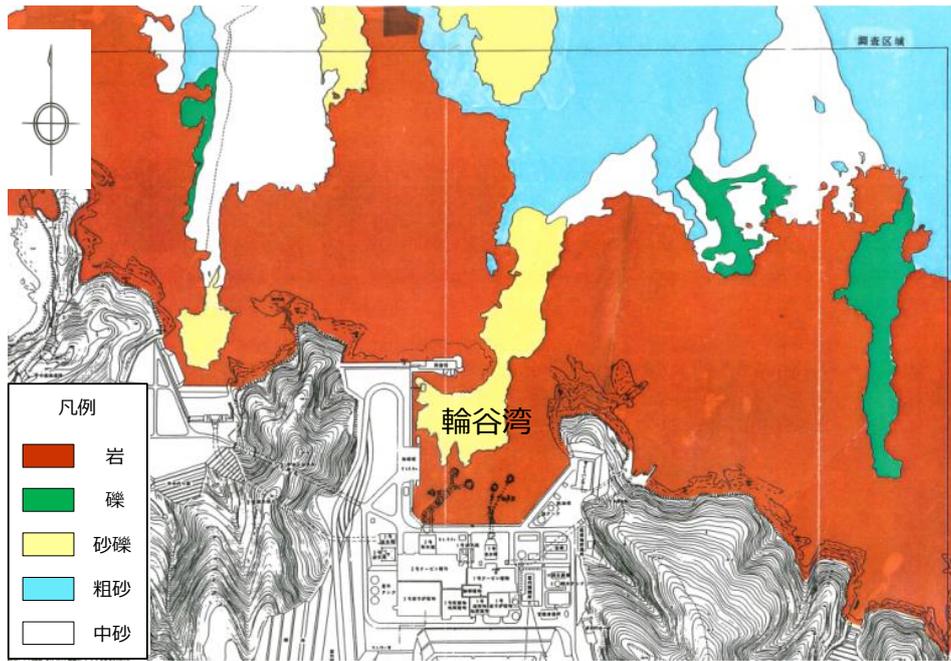
第6-2-98図 取水管 配置図



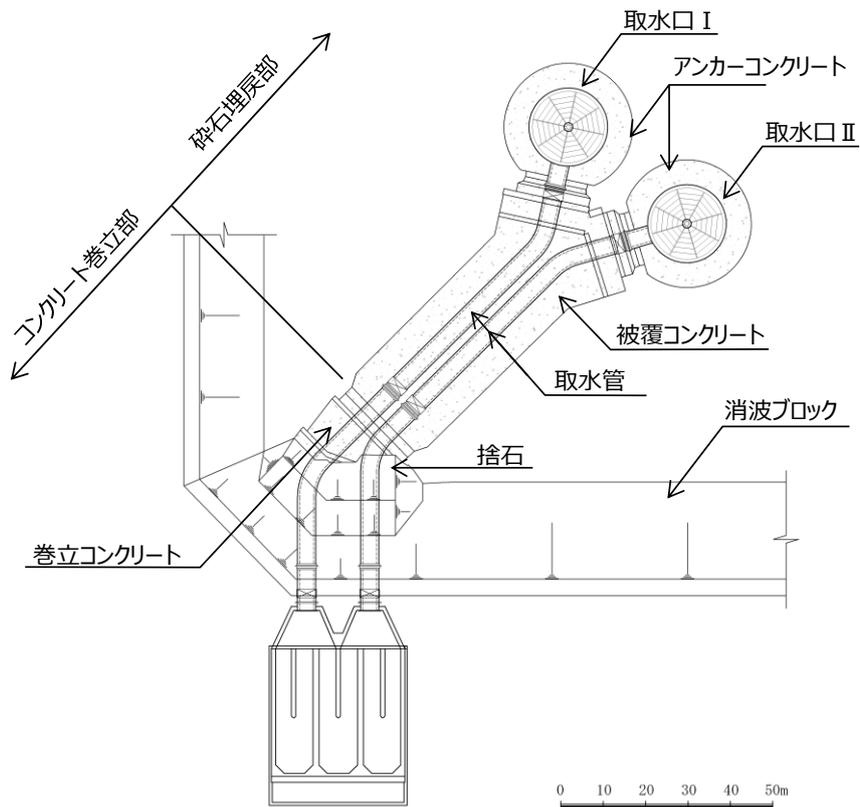
第 6-2-99 図 取水管 平面図



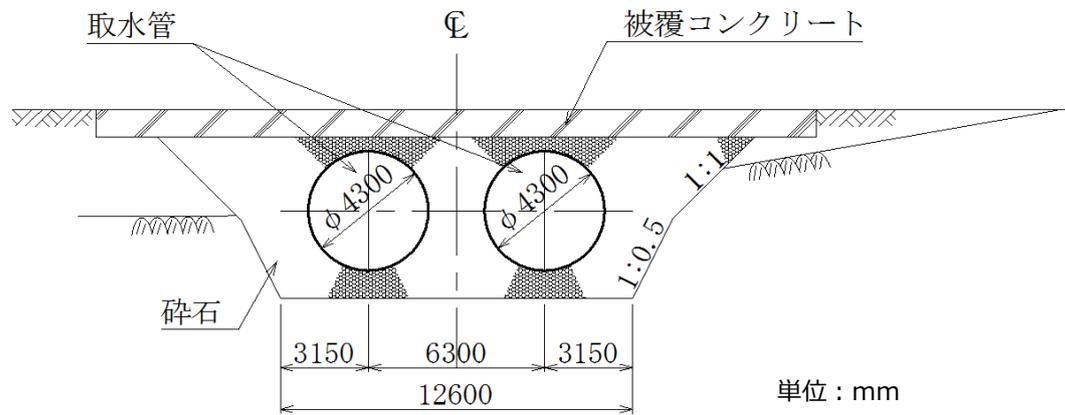
第6-2-100図 取水管 縦断図 (⑥-⑥断面)



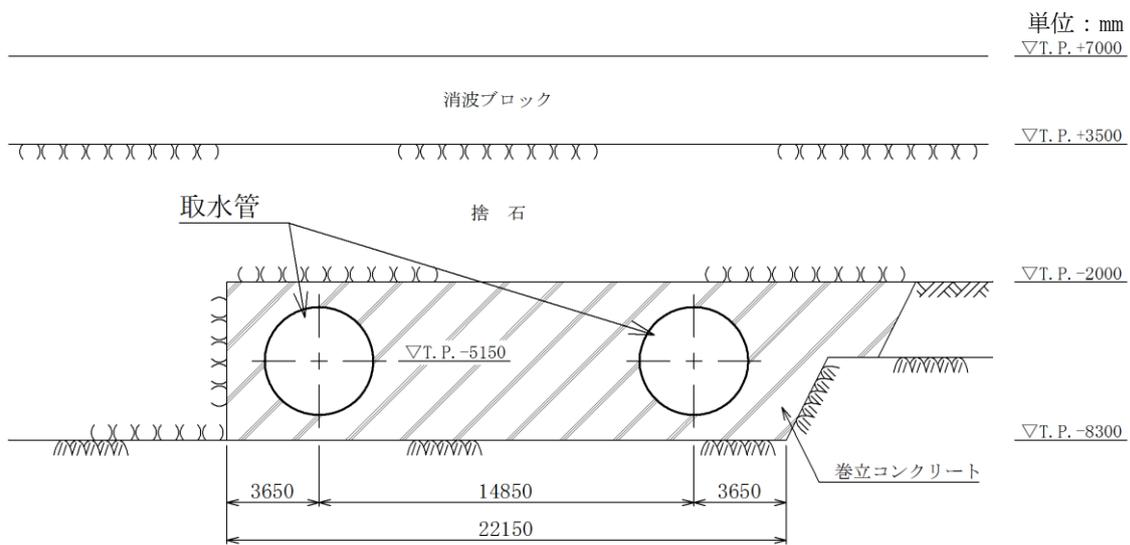
第6-2-101図 輪谷湾周辺の底質分布（自社調査（1995））



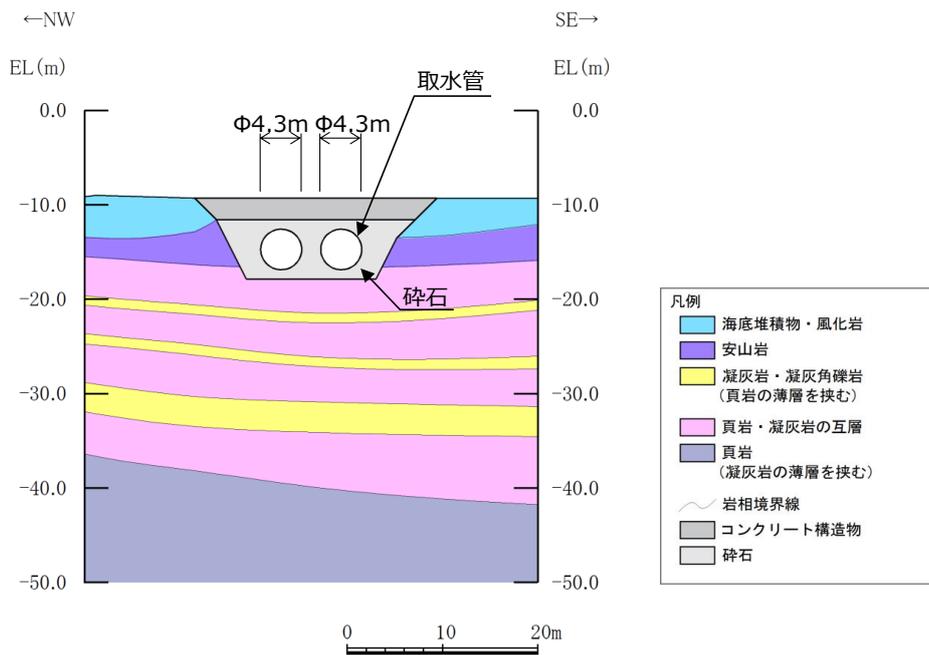
第6-2-102図 取水管 平面図（詳細図）



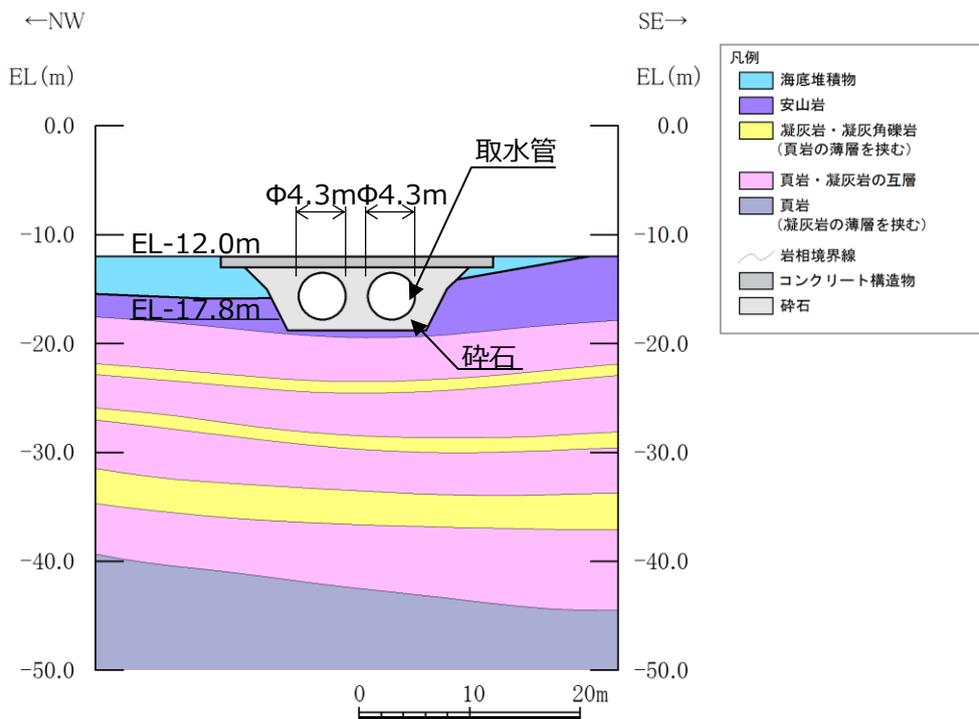
第6-2-103 図 取水管 断面図 (③-③断面)



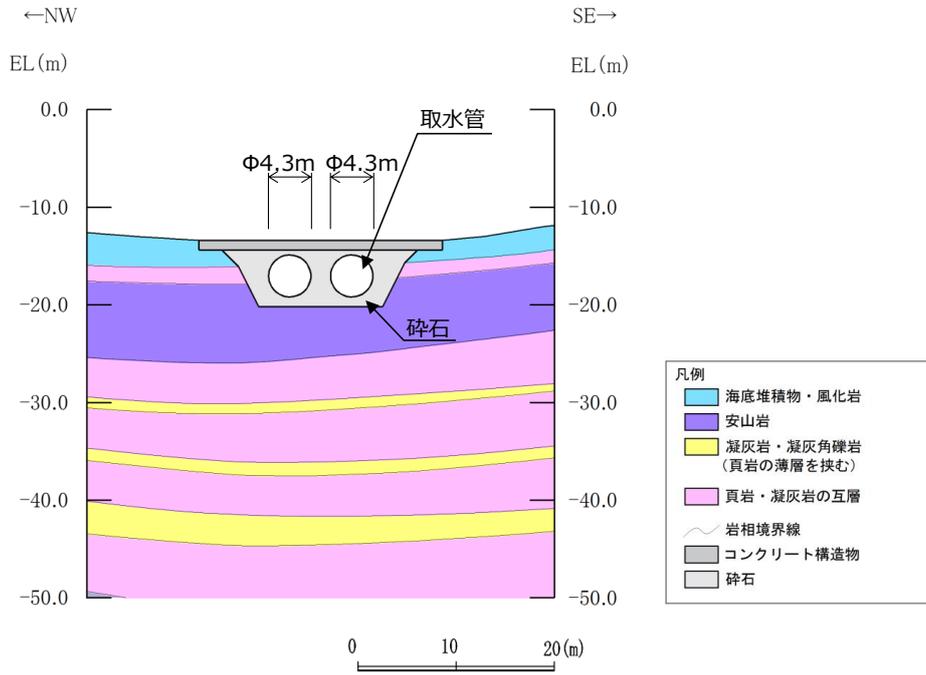
第6-2-104 図 取水管 断面図 (①-①断面)



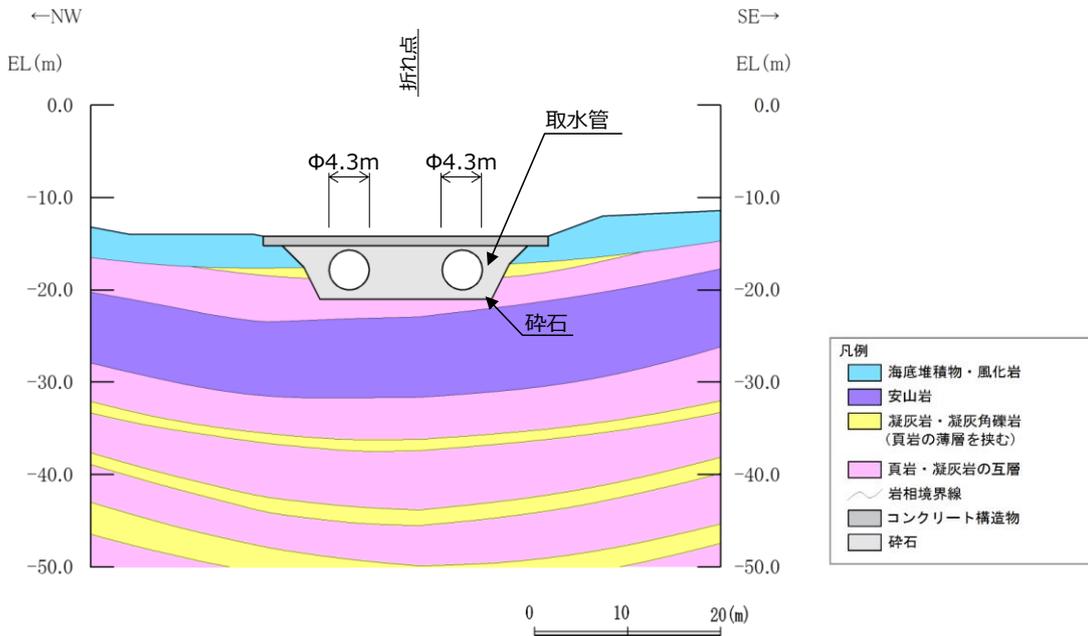
第6-2-105図 取水管 地質断面図 (②-②断面)



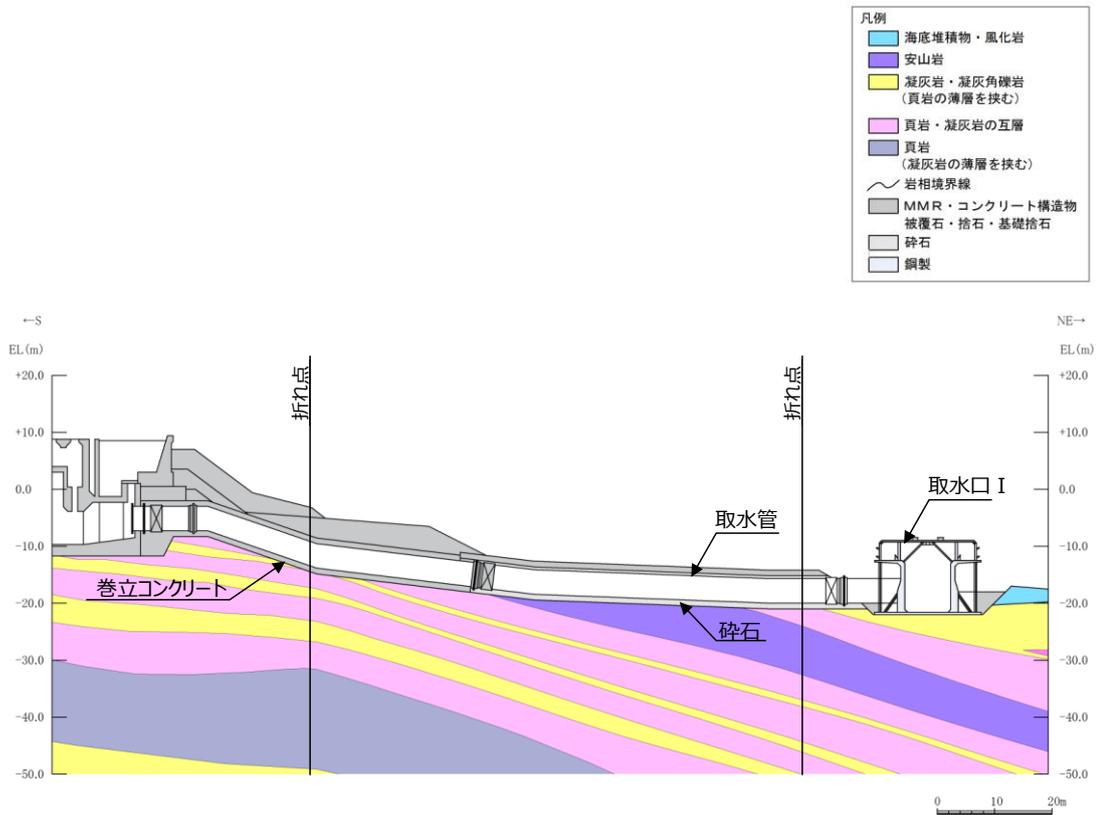
第6-2-106図 取水管 地質断面図 (③-③断面)



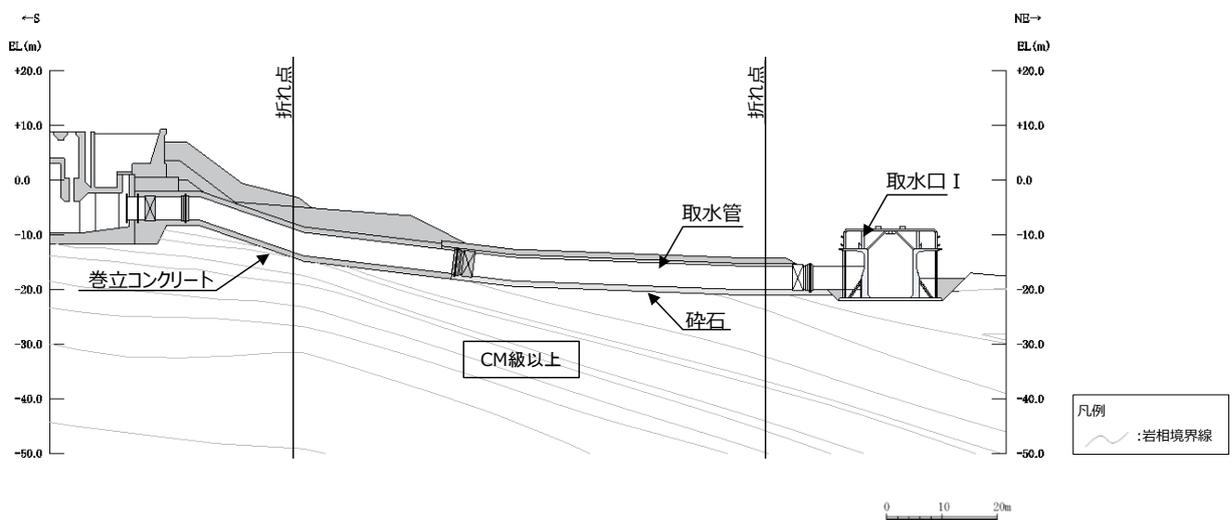
第6-2-107図 取水管 地質断面図 (④-④断面)



第6-2-108図 取水管 地質断面図 (⑤-⑤断面)



第6-2-109図 取水管 地質縦断図 (⑥-⑥断面)



第6-2-110図 取水管 岩級縦断図 (⑥-⑥断面)

取水管について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理する。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

島根原子力発電所 2 号炉

土木構造物の解析手法及び 解析モデルの精緻化について (耐震)

1. 屋外重要土木構造物等*の評価手法の概要

屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価について、島根原子力発電所2号炉の今回の工事計画認可申請書（以下「今回工認」という。）では、屋外重要土木構造物等の変位や変形をより実状に近い応答に精緻化することを目的に、評価手法の高度化として、解析手法と減衰定数の変更及び隣接構造物のモデル化を予定している。島根原子力発電所2号炉の建設時の工事計画認可申請書（1984年2月）（以下「既工認」という。）と今回工認との手法の比較を第5-1-1表に示す。

※設計基準対象施設のうち屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設のうち土木構造物及び波及的影響を及ぼすおそれのある施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

既工認との相違点のうち、解析手法として適用している「時刻歴応答解析、限界状態設計法」は、新規制基準施行後の工事計画認可にて適用例がある手法である。

なお、コンクリート強度は、既工認と同じく設計基準強度を採用する方針とする。

評価対象設備について、要求性能、解析手法、解析モデル及び許容限界を整理した。既工認の整理結果を第5-1-2表に、今回工認の整理結果を第5-1-3表に示す。また、評価対象設備の配置図を第5-1-1図に示す。

既工認では、各評価対象施設に求められる要求性能（支持性能、通水性能）を考慮し、構造部材の曲げについては終局強度、せん断については許容せん断力に対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としていた。

今回工認では、各評価対象施設に求められる要求性能（支持性能、通水性能、貯水性能、止水性能及び遮蔽性能）を考慮し、構造部材の曲げにおいては「限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ」、「圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ、主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ」、「曲げ耐力」、「許容応力度」又は「全塑性モーメント」から、せん断においては「せん断耐力」又は「許容応力度」から適切に選定する。

第5-1-1表 既工認と今回工認との手法の比較

	解析手法	解析モデル	減衰定数	コンクリート強度	隣接構造物
既工認	時刻歴応答解析及び周波数応答解析 許容応力度法等	ばね質点系モデル及び地質データに基づく水平成層地盤モデル	構造物の減衰5%	設計基準強度	地盤としてモデル化
今回工認	時刻歴応答解析 限界状態設計法	地質データに基づくFEMモデル	構造物の減衰2% +履歴減衰	設計基準強度	等価剛性でモデル化
比較結果	●異なる	●異なる	●異なる	○同じ	●異なる
適用例	○あり	○あり	○あり	○あり	○あり

第5-1-2表 耐震評価条件整理一覧表（既工認）

分類	設備名称	要求性能	要求性能に対する目標性能	許容限界		解析手法	解析モデル
				曲げ	せん断		
設計基準対象施設のうち 屋外重要土木構造物	取水槽	通水性能 間接支持性能	終局状態に至らない	終局強度	許容せん断力	時刻歴応答解析	ばね質点系モデル
	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	間接支持性能	終局状態に至らない	終局強度	許容せん断力	周波数応答解析	地質データに基づく水平成層地盤モデル（1次元波動論による）

第5-1-3表 耐震評価条件整理一覧表（今回工認）

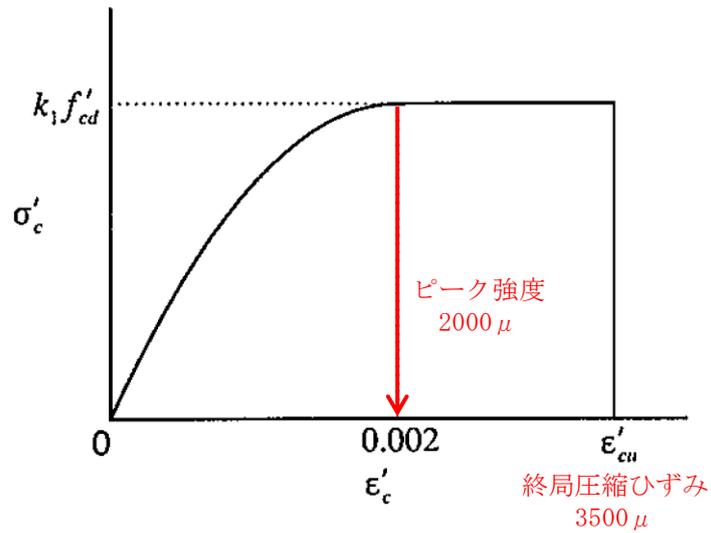
分類	設備名称	要求性能	要求性能に対する目標性能	許容限界		解析手法	解析モデル
				曲げ	せん断		
設計基準対象施設のうち 屋外重要土木構造物	取水槽	通水性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
		止水性能	鉄筋が降伏しない発生せん断力がせん断耐力以下	圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ	せん断耐力		
		支持性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力		
	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	支持性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	支持性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
	燃料移送系配管ダクト	支持性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
	屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）	支持性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
	取水管	通水性能	終局状態に至らない	許容応力度	許容応力度	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
取水口	通水性能	終局状態に至らない	許容応力度	許容応力度	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
重大事故等対処施設のうち土木構造物※1	第1バントフィルタ格納槽	支持性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
		遮蔽性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力		
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	貯水性能	鉄筋が降伏しない発生せん断力がせん断耐力以下	圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
		緊急時対策用燃料地下タンク	非常用発電装置に係る燃料の貯蔵※2	鉄筋が降伏しない発生せん断力がせん断耐力以下	圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	支持性能	終局状態に至らない	曲げ耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	【タンクモデル】水平：多節多質点系曲げせん断棒モデル、鉛直：多節多質点系棒モデル【相互作用】SRモデル
	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	支持性能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
波及的影響を及ぼすおそれのある施設のうち土木構造物	輪谷貯水槽（西側）	波及的影響	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
	免震重要棟遮蔽壁	波及的影響	終局状態に至らない	壁：限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ 杭基礎：全塑性モーメント	せん断耐力 —	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル

※1 設計基準対象施設と兼用する重要 S A 施設のうち、設計基準対象施設の評価手法と相違がない施設は設計基準対象施設の一覧表に代表して記載。

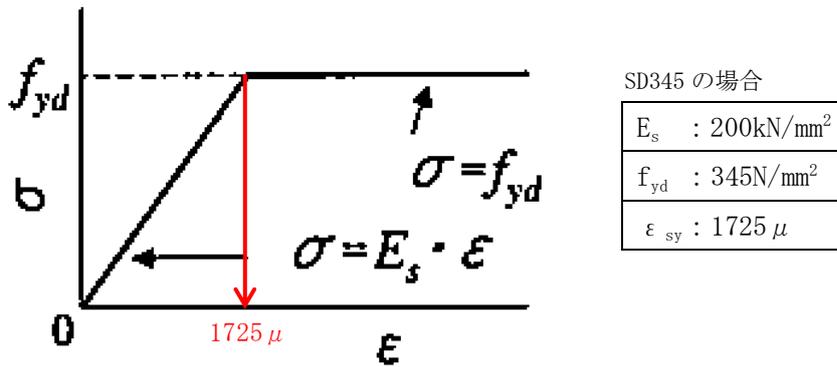
※2 コンクリート躯体内側のライナ（銅製タンク）においても要求性能を確保する設計とする（許容限界は許容応力度とする）。

第5-1-4表 貯水性能及び止水性能の許容限界

変形モード	許容限界		既工認実績
	指標	許容値	
曲げ	圧縮ひずみ	2000 μ	本許容値はコンクリート標準示方書2002において、応力-ひずみ関係として示されており、概ね弾性範囲の状態である(第5-1-2~3図参照)。概ね弾性範囲の状態は止水機能に対する許容限界として既工認実績がある。なお、この許容限界は水道施設耐震工法指針・解説2009に規定されている照査基準と同じレベルの許容値である(第5-1-5表参照)。
	主筋ひずみ	1725 μ (SD345の場合)	
せん断	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル2005に規定されており、屋外重要土木構造物の貯水機能の許容限界として既工認実績がある。

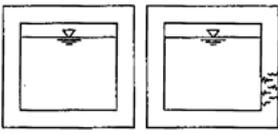
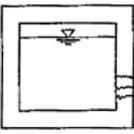
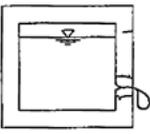


第5-1-2図 コンクリートの応力-ひずみ曲線



第5-1-3 図 鉄筋及び構造用鋼材の応力-ひずみ曲線

第5-1-5 表 池状構造物 (RC 構造物) の耐震性能と照査基準

耐震性能	耐震性能 1	耐震性能 2	耐震性能 3
限界状態 ^{※1}	限界状態 1 (降伏耐力以下)	限界状態 2 (最大耐荷力以下)	限界状態 3 (終局変位以下、せん断耐力以下)
損傷状態			
	無被害又はひび割れは生じるが漏水は生じない。修復の必要ない。	軽微なひび割れから漏水は生じるが地震後に早期に修復可能である。	ひび割れ幅が拡大し、漏水が生じるが施設全体が崩壊しない。修復可能。
照査項目例 ^{※2}	断面力 (曲げ、せん断)、応力度	断面力 (曲げ、せん断)、塑性率	変位量、曲率、断面力 (せん断)
照査用限界値例 ^{※3}	断面力 (曲げ) ≤ 降伏曲げ耐力 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力 応力度 ≤ 許容応力度	断面力 (曲げ) ≤ 最大曲げ耐力 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力 塑性率 ≤ 許容塑性率	変位量 ≤ 終局変位量 曲率 ≤ 終局曲率 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力

2. 解析手法

「耐震設計に係る工認審査ガイド」において、適用実績のある耐震設計に関連した規格及び基準等で示されていないが、先行サイトの審査で実績のある「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）」（以下「土木学会マニュアル」という。）の適用性について検討を行う。

2.1 曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

土木学会マニュアルでは、構造物の曲げ系の破壊については限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみに対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としており、今回工認における曲げに対する照査は、圧縮縁コンクリート限界ひずみによる方法を採用し、照査用圧縮縁コンクリートひずみが、限界圧縮縁コンクリートひずみを超えないことを確認する。

「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】（土木学会，2002）」（以下「コンクリート標準示方書 2002」という。）では、構造部材の終局変位は、部材の荷重－変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書 2002 による構造部材の終局変位の考え方を第 5-2-1 図に示す。

一方、土木学会マニュアルでは、以下の考え方に基づいている。

屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験の結果より、かぶりコンクリートが剥落すると荷重が低下し始める。圧縮縁コンクリートひずみが 1% に至る状態は、まだ応力を負担することができ、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることを確認しており¹⁾²⁾、荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで、構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。コンクリートの圧縮試験の例を第 5-2-2 図に示す。

したがって、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書 2002 による照査よりも安全側の評価を与えるため、適用性を有している。

さらに、土木学会マニュアルでは「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（案）・同解説（日本建築学会，1997）」（以下「日本建築学会」という。）にて記載されている設計限界変形 1/100、終局限界変形 1/80 等を基準値として参照している。

対象は同じラーメン構造であり、軸力比（軸応力度／コンクリート圧縮強度比）は建築物よりも屋外重要土木構造物の方が小さいと考えられることから、変形性能がより大きくなる傾向にあり、層間変形角 1/100 は限界値として安全側であると考えられる。土木学会マニュアルでは、層間変形角が 1/100 以下であれば、圧縮縁コンクリートひずみ 1% の基準を保証したものとみなすと示されており、機能維持確保の観点からも耐荷性能が確保されることが担保できるため限界値として適切である。

参考に、日本建築学会における曲げ降伏先行型の部材について、復元力特性と限界状態（損傷度）の関係の概念図を第 5-2-3 図に、土木学会マニュアルにおけ

る鉄筋コンクリートはり部材の荷重－変位関係と損傷状態に対する概念図を第5-2-4図に示す。日本建築学会と土木学会マニュアルにおいて概ね対応が取れており、土木学会マニュアルの各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。第5-2-4図において圧縮縁コンクリートひずみ1%は第4折れ点よりも手前にあり、屋外重要土木構造物の限界状態に至っていないと考えられる。また、第3折れ点は圧縮縁コンクリートひずみ1%よりもさらに手前にある。

耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、十分な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第5-2-5図に示す。また、地盤物性のばらつきの考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差(σ)のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。

曲げに対する照査において考慮している安全係数は第5-2-1表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。

(1) 材料係数

コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が5%以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格(JIS)の規格範囲の下限値を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は1.0としている。

(2) 部材係数

安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は1.0としている。

(3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。

(4) 構造解析係数

限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響などを考え併せて、構造解析係数は1.2以上を標準としている。

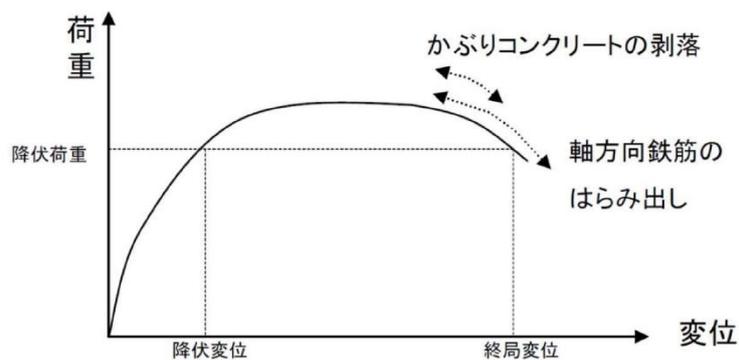
(5) 構造物係数

屋外重要土木構造物は重要度毎に適切な地震動が設定される。従って、構造物係数によりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。

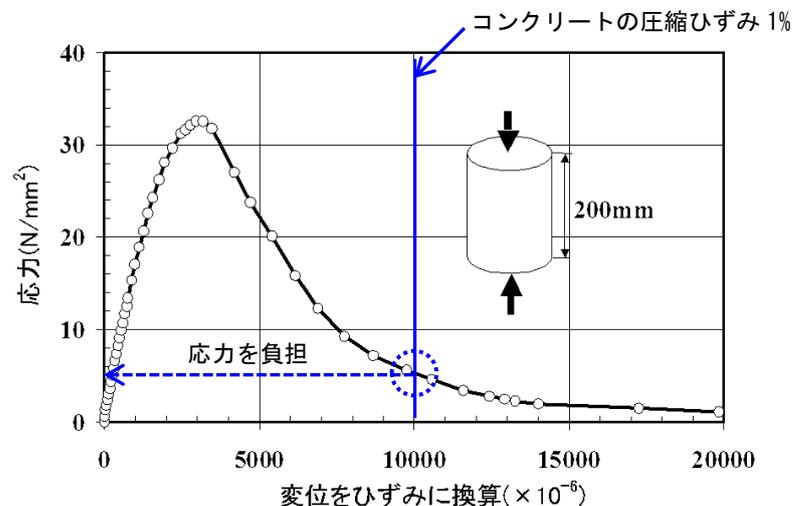
以上のことから、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書 2002 による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断できる。

第5-2-1表 曲げ評価において考慮している安全係数

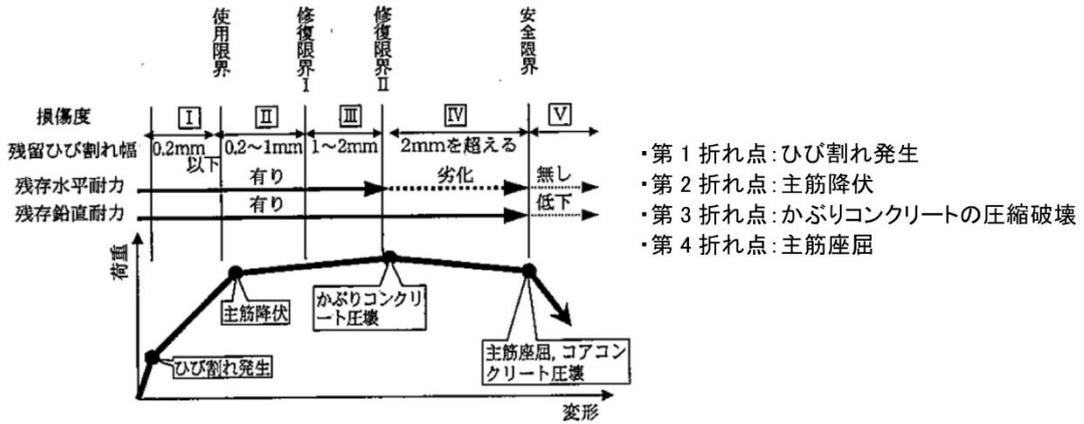
安全係数		曲げ照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.0
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数		—	1.0
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.2	—
構造物係数		1.0	



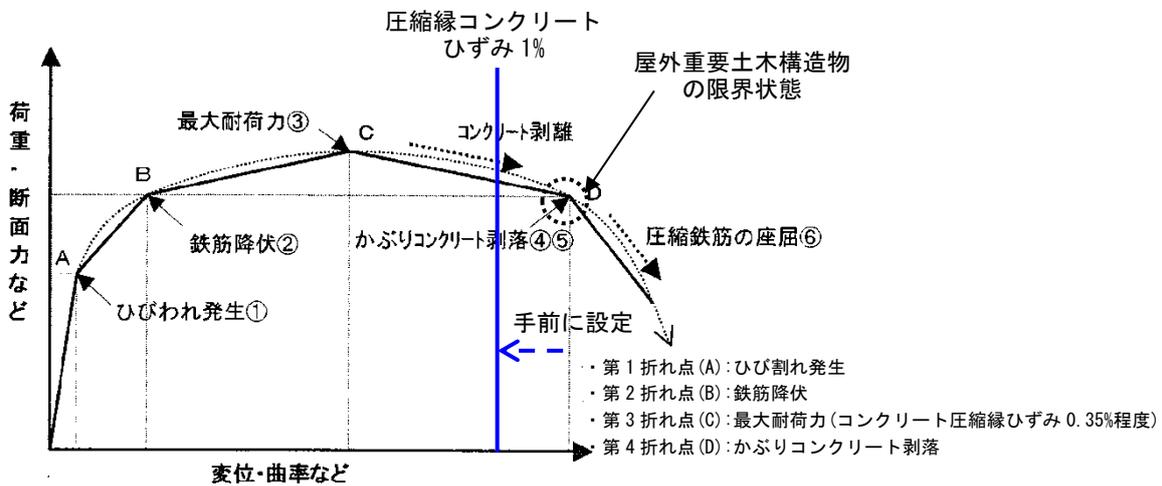
第5-2-1図 コンクリート標準示方書2002による構造部材の終局変位の考え方



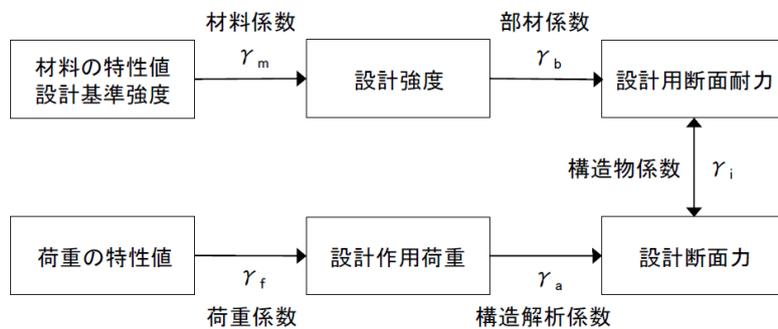
第5-2-2図 コンクリートの圧縮試験例³⁾



第5-2-3図 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態（損傷度）の関数の概念図（日本建築学会）



第5-2-4図 鉄筋コンクリートはり部材の荷重-変位関係と損傷状態に対する概念図（土木学会マニュアル）



※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

第5-2-5図 安全係数の考え方

【参考文献】

- 1) 土木学会：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，2005
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書【構造性能照査編】，2002
- 3) 松尾豊史・金津努・大友敬三・福本彦吉：コンクリート製地中構造物の合理的な耐震性能評価指標に関する検討，土木学会地震工学論文集，2003

2.2 せん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

今回工認におけるせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、照査用せん断力が、せん断耐力を下回ることを確認する。

2.2.1 せん断破壊に対する照査

応答せん断力とせん断耐力の比に構造物係数を乗じた数値が、1.0を下回ることを確認をもってせん断破壊に対する照査とする。せん断耐力は、以下の3つの選択肢のいずれかを用いて評価する。

(1) せん断耐力評価式

(2) 分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法*

分布荷重を受ける部材については、せん断耐力評価式を応用して、より合理的な評価を行うことができる。土木学会マニュアルでは、「等価せん断スパン比を用いた方法(第5-2-6図)」と「線形被害則を用いた方法(第5-2-7図)」の2法を示す。

(3) 材料非線形解析を用いる方法

ここでいう材料非線形解析とは、せん断耐力を求めるために用いる解析法を指し、応答解析で用いる解析とは区別している。部材が複雑な形状を有するなどの場合、これを選択できる。

(1)で全部材の照査を行った後、不合格と判定される部材だけを取り出して(2)や(3)で再照査を行う。

※(2)の中の「等価せん断スパン比を用いた方法」と「線形被害則を用いた方法」を同一構造物の異なる部材に対して使い分けることはできない。

2.2.2 せん断耐力評価式

コンクリート標準示方書2002では、棒部材及びディープビームについて第5-2-2表に示すとおりせん断耐力式を定義している。このうち、ディープビームについては、コンクリート標準示方書2002及び土木学会マニュアルにおいて同様の評価式となっている。

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書2002におけるせん断耐力式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数 β_a を考慮している。これは屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることによる分布荷重が卓越し、スパン内に反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、コンクリート標準示方書2002のせん断耐力式を精緻化したものである。当該せん断耐力式は、第5-2-6図に示すとおり、屋外重要土木構造物を模した破壊試験より得られるせん断耐力と整合的であり、合理的な評価が可能であることが確認されている¹⁾²⁾。

また、これら多数の荷重の複合作用を個々に分解することは困難であることから、せん断耐力の算定時に個々の荷重作用を区分せず最終的な設計用断面力分布を用いてせん断耐力を算定することとしている¹⁾。

耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第5-2-8図に示す。また、地盤物性のばらつきの考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差(σ)のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。

せん断に対する照査において考慮している安全係数は第5-2-3表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。

(1) 材料係数

応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が、特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定していることから安全側の照査がなされているため1.0としている。限界値算定時に適用する材料係数はコンクリート標準示方書2002に準拠して、コンクリートに対して1.3、鉄筋に対して1.0としている。

(2) 部材係数

コンクリート標準示方書2002に準拠して、コンクリート寄与分に対して1.3、鉄筋寄与分に対して1.1としている。

(3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。

(4) 構造解析係数

変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて1.05としている。

(5) 構造物係数

基準地震動は地点毎にサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。したがって、構造物係数により更に構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。

以上のことから、土木学会マニュアルによるせん断照査手法は、屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため、技術的妥当性及び適用性を有すると判断できる。

第5-2-2表 せん断耐力式の比較表

	コンクリート標準示方書2002	土木学会マニュアル
棒部材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 f_{vcd} : 設計基準強度、安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ f_{vcd} : 設計基準強度、安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数
	せん断スパンより設定される係数 β_a を考慮し コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化	
デュープビーム	$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$ V_{ydd} : せん断耐力 V_{cdd} : コンクリート負担 V_{sdd} : せん断補強筋負担 $V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{dd} : 設計基準強度、安全係数等で決まる	$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$ V_{ydd} : せん断耐力 V_{cdd} : コンクリート負担 V_{sdd} : せん断補強筋負担 $V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{dd} : 設計基準強度、安全係数等で決まる
	同一の評価式	

- コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式

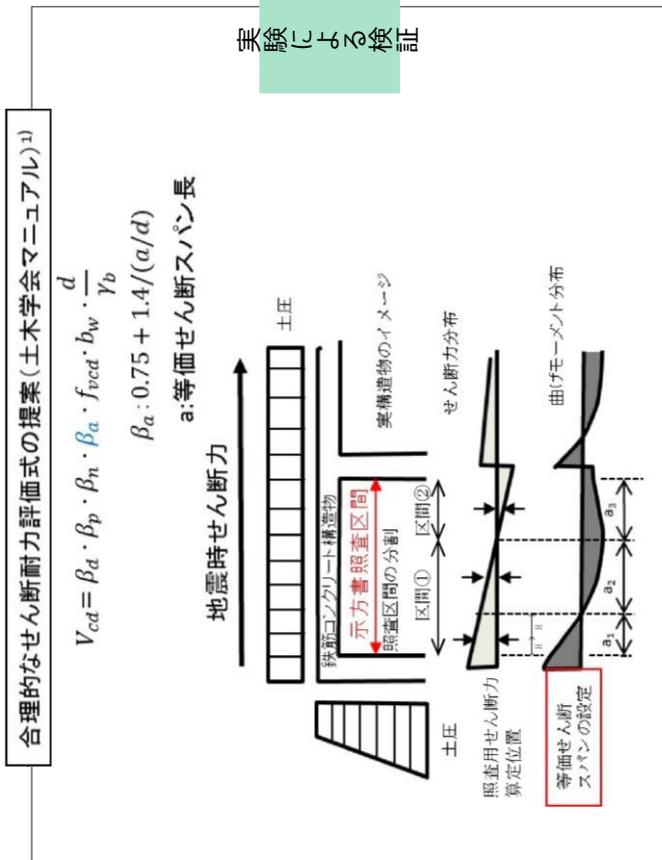
$$V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

2点载荷の単純ばりの実験結果に基づいた単純な載荷形態あるいは単純な断面力分布は精度良くせん断耐力を評価する。
(問題点)

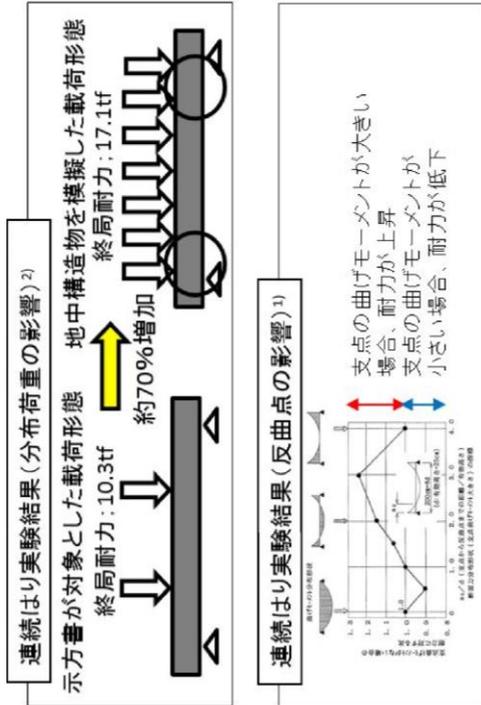
分布荷重が卓越する場合、支点付近に大きな荷重が加わる場合および支点反力が大きい場合において、せん断耐力を過小評価する。

- 地中構造物を模擬した実験によるせん断耐力評価式

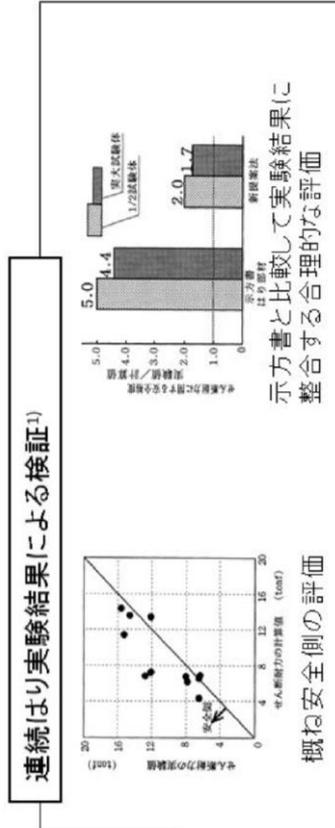
地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に反曲点が存在する等複雑な載荷形態を考慮してせん断耐力を評価する。



実験による検証



実験結果からの知見



1) 原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木構造物への限界状態設計法の適用－安全性照査マニュアルの提案－，土木学会論文集No.442/V-16，pp23-33，1992.2
2) 遠藤達巳，青柳征夫，松村卓郎：鉄筋コンクリート製地中構造物の限界状態設計に用いるせん断耐力評価法，電力中央研究所報告，平成4年3月

○応答解析の結果得られた断面力分布を基に耐力を算定する。

a. 部材の分割

応答せん断力分布を見て、部材中にせん断力の反転する点がある場合は、その点で領域分割する。照査は双方の領域に対して行う。

b. 荷重分布の設定

応答せん断力分布から、それと同じ状況を再現できる荷重分布を求める。部材非線形解析で応答を求めると、節点位置で階段状にせん断力が変化する。この変化分を着目節点位置に作用する荷重とすればよい。a. の操作による分割点における変化分は両側の領域に配分する。

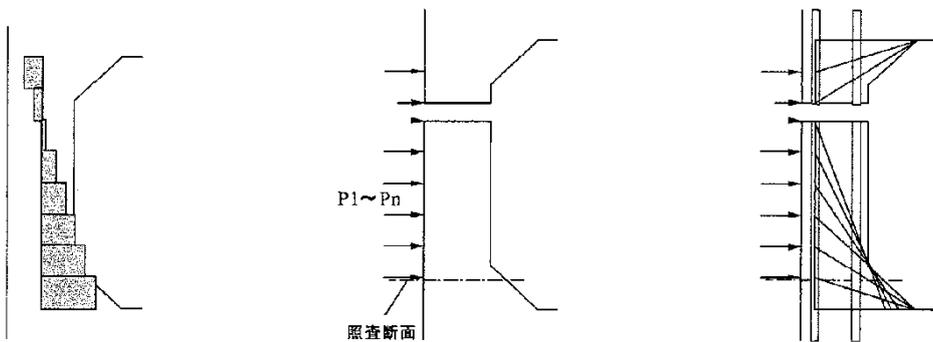
c. 照査断面の設定

照査断面は、せん断応力度（応答せん断力を断面積で除した値）が最大となる断面とする。

d. 線形被害則の適用

個々の作用 P_j （応答値側の安全係数を含む）に対するせん断耐力 V_j （限界値側の安全係数を含む）を評価し、作用力とせん断耐力の比の総和に構造物係数を乗じた値が 1.0 以内であることを確認を行う。

$$\gamma_i \cdot \sum_j \frac{P_j}{V_j} \leq 1.0$$

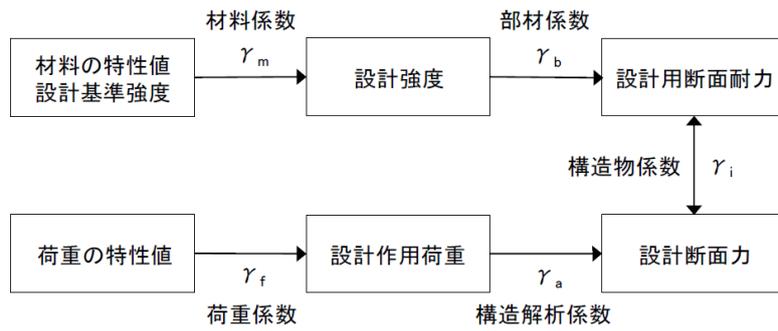


(a) 応答せん断力分布

(b) 外力分布の設定

(c) 作用点毎の a/d の設定

第 5-2-7 図 線形被害則を用いたせん断耐力評価法



※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

第5-2-8図 安全係数の考え方
(第5-2-5図の再掲)

第5-2-3表 せん断耐力評価において考慮している安全係数

安全係数		せん断照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数	コンクリート	—	1.3
	鉄筋	—	1.1
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.05	—
構造物係数		1.0	

(6) 安全上適切と認められる規格及び基準を用いた評価について

屋外重要土木構造物の耐震安全性については、屋外重要土木構造物の構造上の特徴を踏まえ、土木学会マニュアルに基づき評価を実施しているが、当該マニュアルについては「耐震設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，2013）」（以下「工認審査ガイド」という。）において「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われていない。このため代表構造物について、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として適用可能な規格及び基準等に準拠した評価を実施し、土木学会マニュアルの評価結果と比較することで、現在の評価が妥当であることを確認する。

評価項目のうち、構造部材の曲げについては、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われているコンクリート標準示方書2002よりも保守的な手法を用いていることから、今回工認では、耐震裕度が厳しい構造部材のせん断に対して検討を実施する。

検討では、基準地震動 S_s による地震応答解析により得られた応答値を用い、「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、工認審査ガイド記載の「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2005制定）」（以下「建築学会基準」という。）によるせん断照査結果と比較を行うことで、土木学会マニュアルによるせん断照査が妥当であることを確認する。

【参考文献】

- 1) 原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木構造物への限界状態設計法の適用－安全性照査マニュアルの提案－，土木学会論文集 No. 442/V-16，pp23-33，1992. 2
- 2) 遠藤達巳・青柳征夫・松村卓郎：鉄筋コンクリート製地中構造物の限界状態設計に用いるせん断耐力評価法，電力中央研究所報告，平成4年3月
- 3) 日本建築学会：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2005

2.2.3 材料非線形解析を用いたせん断耐力評価

構造部材の照査において発生するせん断力が、(1)せん断耐力評価式及び(2)分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法によるせん断耐力を上回る部材については、以下で示す材料非線形解析を用いたせん断耐力評価を実施する。

(1) 評価条件

2.2.2 で示したせん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断照査を行う。

材料非線形解析は、90年代までに、ひび割れの進展モデルや破壊エネルギーの概念等、基本となるモデルが提示され、様々な問題に適用されながら有効性と信頼性を高めており、「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。)や土木学会マニュアル等で取り扱われている。

材料非線形解析にて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おり、コンクリート標準示方書 2012 において標準とされる以下の手法とする。

- ①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。
- ②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。
- ③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。

なお、材料非線形解析の適用にあたっては、当該構造物の構造的な特徴や荷重条件が類似する既往の実験等から得られたせん断耐力と、材料非線形解析によるせん断耐力を比較し、その適用性を判断した上で、モデル化や各種パラメータの設定に係る解析者の差を考慮した安全係数を設定する。

参考として、耐震性能照査における応答値の評価に用いる解析手法を第5-2-4表及び第5-2-5表に示す。

第5-2-4表 耐震性能と地震応答解析手法との対応

区分	限界状態	選択される標準的な解析手法と耐震性能に用いる物理量	
1	構造物の部材が降伏に至らない	①	① 線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力
		②	② 等価線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力、最大せん断力 ・最大曲げモーメント
2	構造物が最大耐力に至らない	③	③ 部材非線形解析 ・最大曲げモーメント ・最大曲率、最大変位 ・最大層間変形角、最大せん断力
		④	④ 材料非線形解析 ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大ひずみ、最大せん断力
3	構造物が崩壊しない		

- ・地震応答解析手法の使用に当たっては、新設土木構造物は、①線形解析を基本とする。
- ・また、既設構造物は、③部材非線形解析の使用を基本とするが、部材によっては、④材料非線形解析を用いる場合もある。

第5-2-5表 解析モデルの分類

	部材非線形解析	材料非線形解析		
モデル化	骨組モデル	有限要素		
解析次元	1次元		2次元	3次元
構成則	M-φ, M-θ 等	応力-ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面ひずみ要素	立体要素
特徴	(汎用性) (解析時間)	狭い	← →	広い 長い

1) 適用基準

材料非線形解析については、土木学会マニュアル、コンクリート標準示方書2012等に基づき実施する。

第5-2-6表に参考とする主な基準・文献を示す。

第5-2-6表 参考とする主な基準等

項目	参考とする主な基準等	備考
材料定数・材料特性	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル 	—
許容限界	—	<ul style="list-style-type: none"> ・既往文献等により設定した許容限界（破壊基準）が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と整合的であることを確認。

2) 材料定数

耐震安全性評価に用いる材料定数は、設計図書及び文献等を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の材料定数を第5-2-7表及び第5-2-8表に示す。

第5-2-7表 コンクリートの材料定数

	設定値	諸元
単位体積重量	0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない
圧縮強度	18.1N/mm ²	設計基準強度（設計図書23.5N/mm ² ） ／材料係数（ $\gamma_{mc}=1.3$ ）
引張強度	1.45N/mm ²	引張強度／材料係数
圧縮ピークひずみ	0.15%	コンクリート標準示方書2012
ひび割れ—せん断 伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2012
破壊エネルギー	0.0754N/mm	コンクリート標準示方書2012

第5-2-8表 鉄筋の材料定数

		設定値	諸元
単位体積重量		0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない
ヤング係数		200kN/mm ²	コンクリート標準示方書2012
降伏 強度	主鉄筋	1000N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、 曲げ耐力が増大するように設定
	せん断 補強筋	345N/mm ²	設計図書

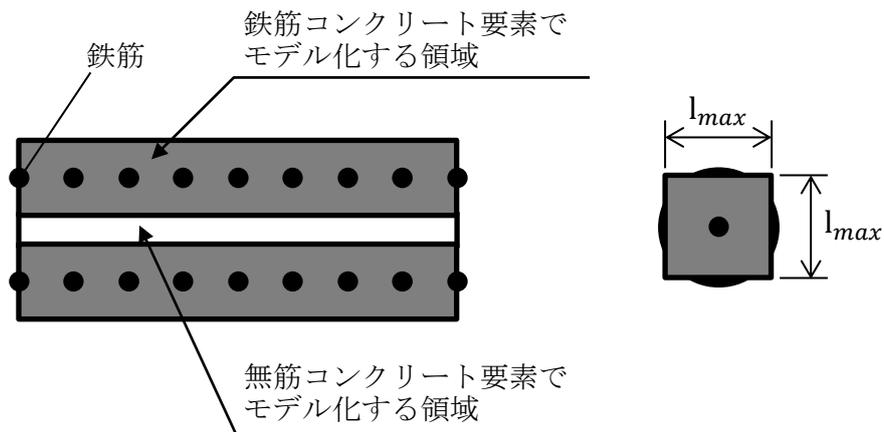
3) 解析モデルの要素分割

材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化にあたっては、第5-2-9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コンクリート要素としてモデル化する。

部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと及び3層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じないことから3層以上に設定することとする。

具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの2倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平とならないように分割する。

なお、対象とする構造部材に接合する部材は、弾性要素でモデル化し、モデル端部を固定境界とする。



$$l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_y}{f_t}}$$

ここに、 l_{max} : 鉄筋一本当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

D_b : 鉄筋の直径

f_y : 鉄筋の降伏強度

f_t : コンクリートの引張強度

第5-2-9図 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要

4) コンクリートの非線形特性

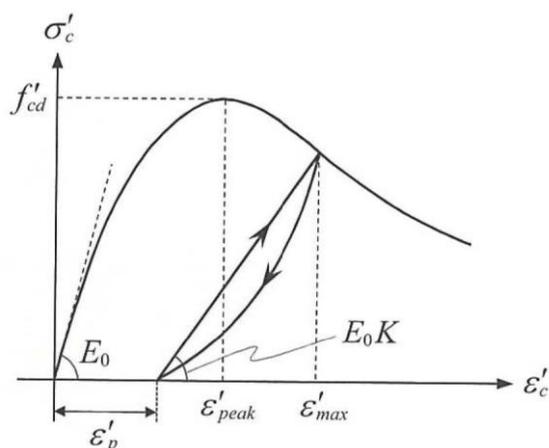
耐震安全性評価に用いる要素は鉄筋コンクリート要素及び無筋コンクリート要素に分類されるが、それぞれの非線形特性は同一の考え方で表される。

・圧縮応力下における応力-ひずみ関係

第5-2-10図における一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。

圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、第5-2-11図に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。



$$\sigma'_c = E_0 K (\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\varepsilon'_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$$

$$\varepsilon'_p = \varepsilon'_{max} - 2.86 \cdot \varepsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right\}$$

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_{mc}$

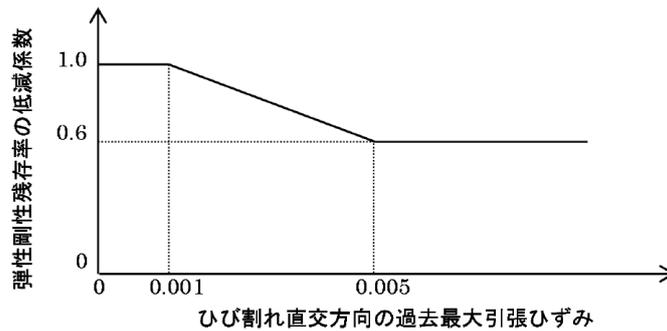
ε'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002としてもよい)

ε'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

ε'_p : 塑性ひずみ

K : 弾性剛性残存率

第5-2-10図 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性

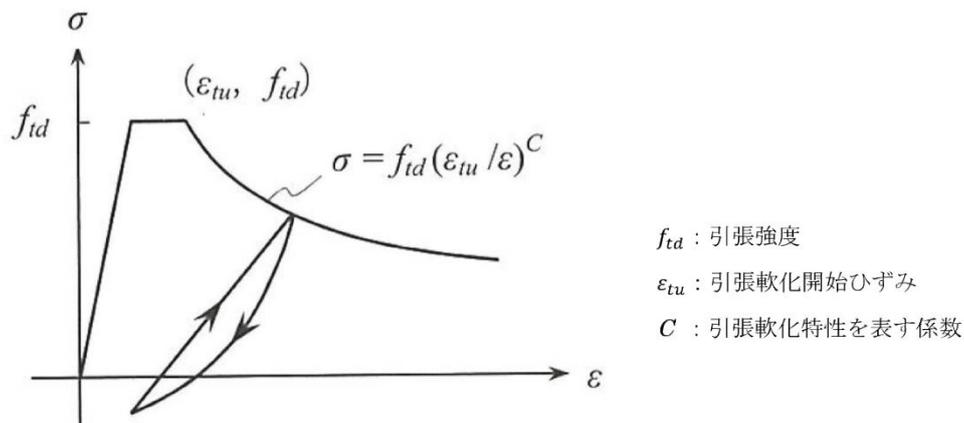


第5-2-11図 弾性剛性残存率の低減係数

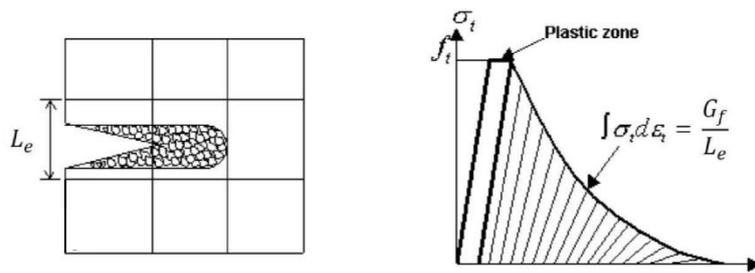
・引張応力下における応力-ひずみ関係

引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、第5-2-12図に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー G_f によって定義する。引張軟化挙動の考慮にあたっては、第5-2-13図に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が G_f/L_e (要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数 C を用いる。



第5-2-12図 引張応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した
応力-ひずみ関係

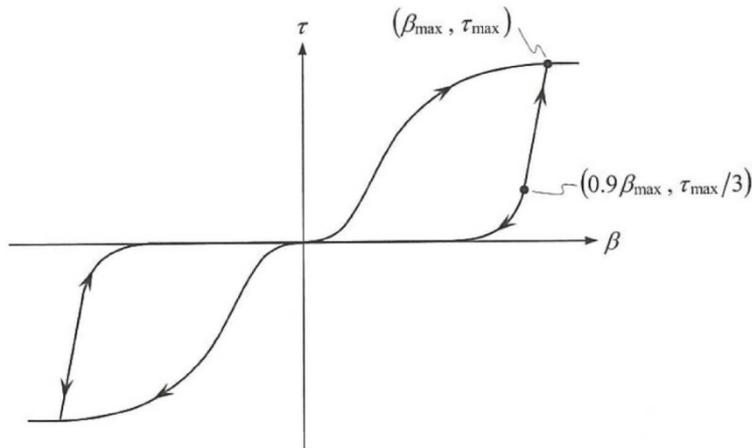


第5-2-13図 応力-ひずみ曲線と破壊エネルギー G_f の関係

・ひび割れ面でのせん断伝達関係

コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、第5-2-14図に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比 β をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。

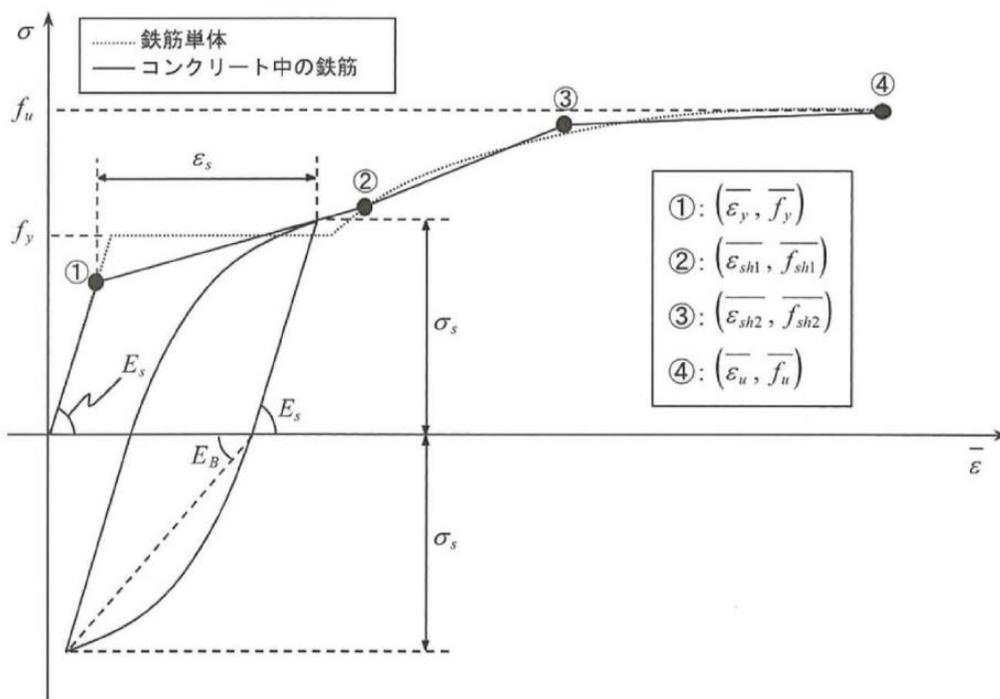


- β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比(γ/ε)
- τ : ひび割れ面でのせん断応力
- τ_{max} : 除荷開始時せん断応力
- β_{max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

第5-2-14図 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

5) 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力ー平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力ーひずみ関係と異なり、第5-2-15図に示すひずみ硬化特性を考慮する。



第5-2-15図 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力ー平均ひずみ関係

6) 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果(引張特性が硬化する現象)として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに、 $\bar{\sigma}_s$ 、 $\bar{\sigma}_c$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

A_s 、 A_c : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積、 $A_{RC} = A_s + A_c$

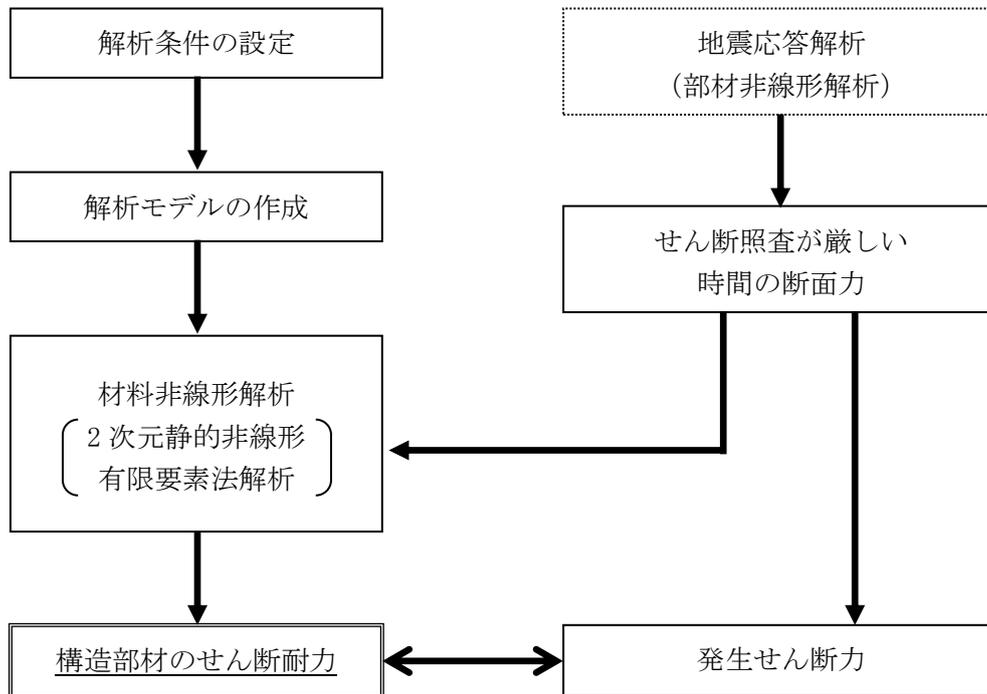
7) 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析(部材非線形解析)により得られた荷重を用いることから、荷重の組み合わせは、地震応答解析と同様である。

(2) 評価方法

1) 耐震安全性評価フロー

材料非線形解析を用いたせん断耐力評価の評価フローを第5-2-16図に示す。



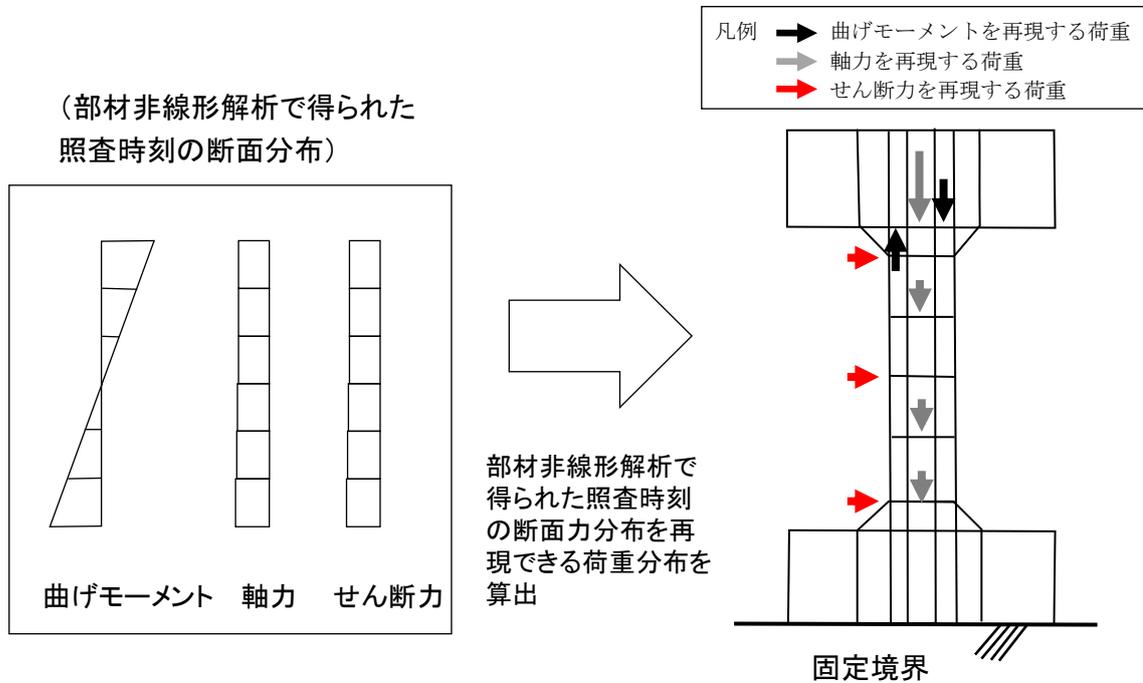
第5-2-16図 材料非線形解析の耐震安全性評価フロー

2) 荷重の設定

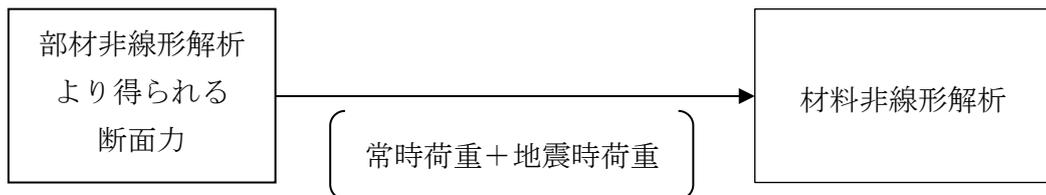
材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（部材非線形解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析（部材非線形解析）で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻における断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析モデルに第5-2-17図に示すとおり作用させる。

材料非線形解析では、地震応答解析（部材非線形解析）で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重比率を維持しながら漸増載荷する。

作用荷重は第5-2-18図に示すとおり、常時荷重と地震時荷重を足し合わせ、材料非線形解析を実施する。



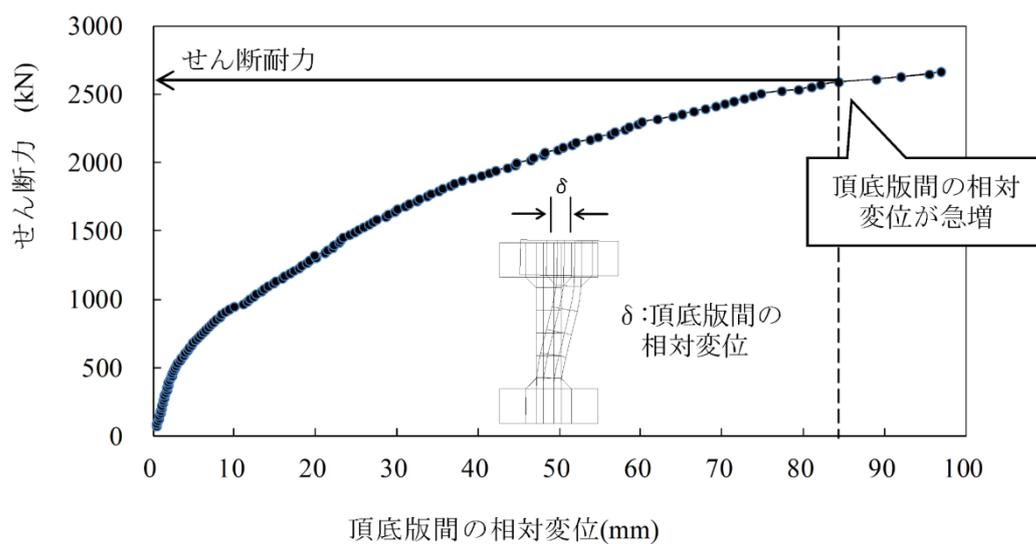
第5-2-17図 材料非線形解析における載荷状況



第5-2-18図 荷重の作用手順

3) せん断耐力

材料非線形解析を用いたせん断耐力は、材料非線形解析におけるせん断力－相対変位関係や要素ひずみの応答から設定する。具体的には、第5-2-19図に示す例のとおり、せん断力－相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位が急増する点又はせん断力が最大となる点を部材のせん断耐力と判断する。



第5-2-19図 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例

4) 安全係数の設定

材料非線形解析では、地震応答解析（部材非線形解析）で得られる断面力 P_0 （曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析に作用させた時のせん断力 V と材料非線形解析で得られるせん断耐力 V_y に、下記の通り部材係数 γ_{b1} 、 γ_{b2} 、構造解析係数 γ_a 、構造物係数 γ_i を考慮し、照査用せん断力 V_d 、設計せん断耐力 V_{yd} を算定する。

$$V_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot V$$

$$V_{yd} = V_y / (\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2})$$

考慮した安全係数を第5-2-9表に示す。ここで、部材係数 γ_{b1} については、実験又はせん断耐力式により得られるせん断耐力と材料非線形解析により得られるせん断耐力との比率により設定することとし、解析における構成則の相違や、要素の種類、要素分割、材料物性の設定、入力増分等、多岐にわたる解析者間の差を考慮する。

具体的には、土木学会マニュアルに示される17ケースの材料非線形解析を実施し、実験又はせん断耐力との差が最も大きいCase No. 8の部材係数1.15を設定する（第5-2-10表）。

第5-2-9表 考慮した安全係数

安全係数		値	設定根拠
部材係数	γ_{b1}	1.15	別途実施する材料非線形解析により設定
	γ_{b2}	1.00	地震応答解析による層間変形角より設定
構造物係数	γ_i	1.00	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断
構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定
材料係数	γ_{mc}	1.3	各種文献より設定

第5-2-10表 部材係数 γ_{b1} の設定

Case No.	実験結果	解析結果	部材係数 (解析結果/ 実験結果)
	せん断耐力 (kN)	せん断耐力 (kN)	
1	475	461	0.97
2	1,187	1,167	0.98
3	324	363	1.12
4	294	314	1.07
5	581	510	0.88
6	329	343	1.04
7	1,587	1,716	1.08
8	350	402	1.15
9	855	863	1.01
10	165	108	0.65
11	333	346	1.04
12	127	105	0.83
13	188	128	0.68
14	163	120	0.74
15	273	188	0.69
16	356	324	0.91
17	432	252	0.58
平均	—	—	0.91
標準偏差	—	—	0.18

3. 屋外重要土木構造物の減衰定数

(1) 減衰の設定について

今回工認で採用している時刻歴応答解析において、地盤及び構造物の減衰は、粘性減衰と履歴減衰とで考慮している。

粘性減衰による減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。なお、卓越する基準モードについては解析モデル全体の固有値解析において、卓越するモードを選定している。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C]：減衰係数マトリックス，[M]：質量マトリックス

[K]：剛性マトリックス， α ， β ：係数

係数 α ， β は、解析モデル全体系の固有値解析において、卓越するモードの減衰と Rayleigh 減衰が一致するように、以下の式により決定する。

$$h_n = \alpha / 2 \omega_n + \beta \omega_n / 2$$

h_n ：固有値解析により求められた n 次モードの減衰定数

ω_n ：固有値解析により求められた n 次モードの固有円振動数

卓越するモードは、全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定する。

設定した Rayleigh 減衰の一例（取水槽）を第 5-3-1 図に、Rayleigh 減衰の設定のために実施した固有値解析結果を第 5-3-1 表に、固有値解析のモード図を第 5-3-2 図に示す。

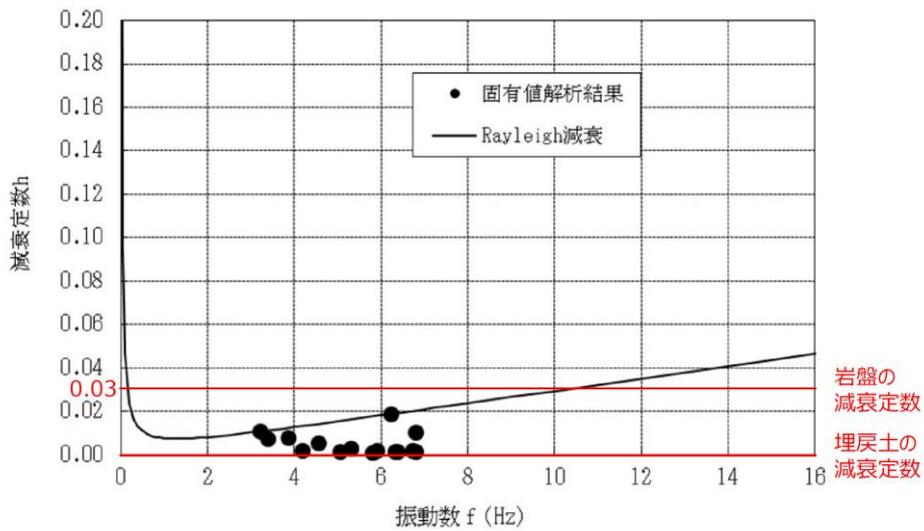
取水槽の固有値解析結果によると、各モード次数の減衰定数は 0～2% 程度となっている。これは取水槽周辺の表層地盤に埋戻土（減衰定数 0%）が分布していることが影響していると判断した。

Rayleigh 減衰の設定に際しては、加振方向に振動するモードの刺激係数の大きさ及びモード図を選定の指標とした。

取水槽の場合、刺激係数の値及びモード図より 1 次モード及び 10 次モードを選定した。

1 次及び 10 次モードは全体系で大きく振動しており、その他のモードは表層地盤（埋戻土）が局所的に振動していることから、モード図からも主要なモードは 1 次及び 10 次モードであると判断した。

履歴減衰による減衰は、構造部材の部材非線形性（ファイバーモデルのコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係）における非線形の程度に応じた値となる。



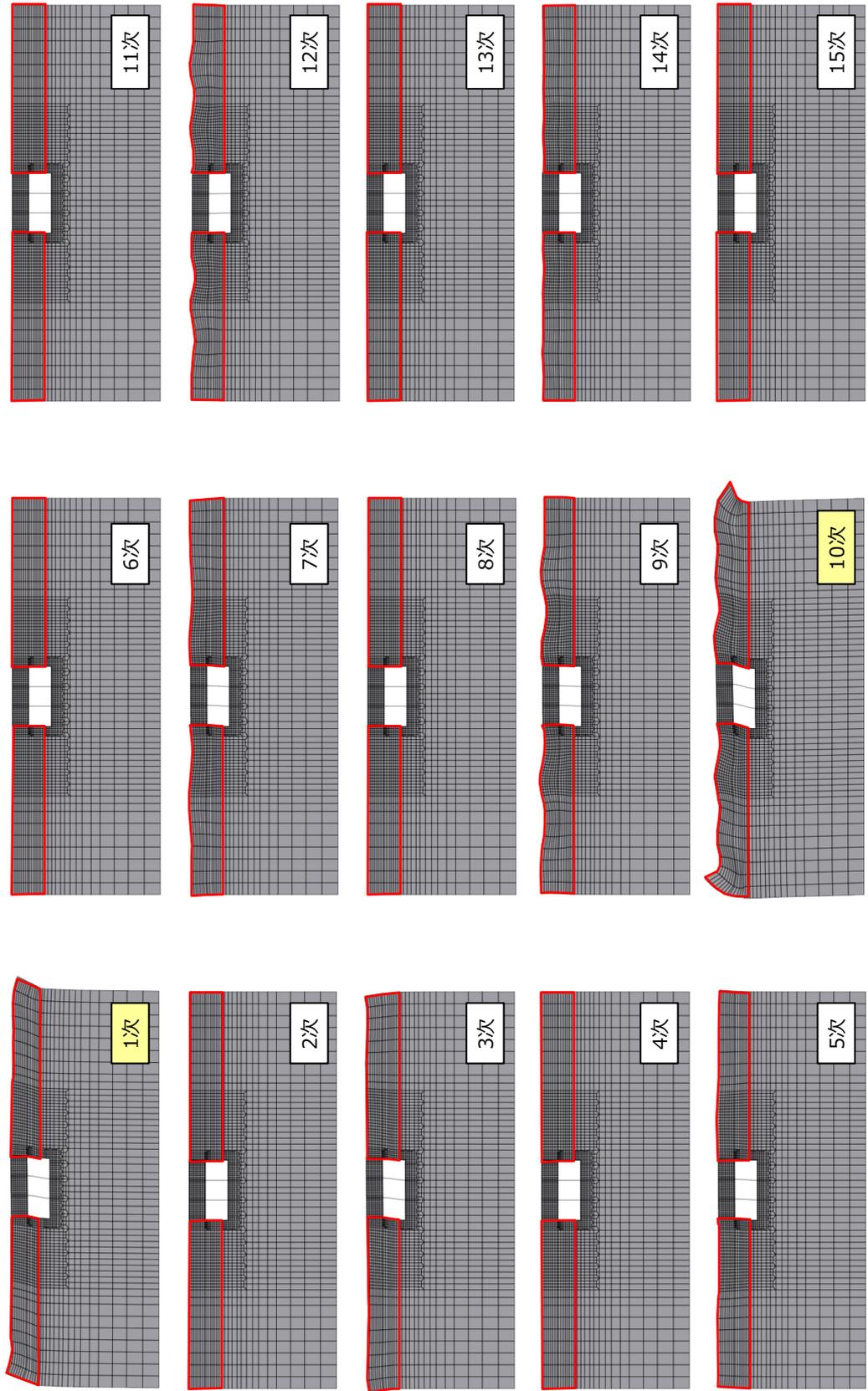
第5-3-1図 設定したRayleigh減衰（取水槽の例）

第5-3-1表 固有値解析結果（取水槽の例）

モード 次数	固有円振動数 ω (rad/s)	固有振動数 F (Hz)	固有周期 T (s)	減衰定数 h	刺激係数(水平) β
1	20.275	3.227	0.310	0.0108	3159.600
2	21.257	3.383	0.296	0.0072	0.000
3	24.272	3.863	0.259	0.0079	922.350
4	26.316	4.188	0.239	0.0021	0.000
5	28.729	4.572	0.219	0.0051	348.170
6	31.765	5.056	0.198	0.0012	0.000
7	33.307	5.301	0.189	0.0028	383.250
8	36.410	5.795	0.173	0.0011	0.000
9	37.161	5.914	0.169	0.0020	603.040
10	39.201	6.239	0.160	0.0188	-3412.700
11	39.702	6.319	0.158	0.0013	0.000
12	40.138	6.388	0.157	0.0014	-423.950
13	42.302	6.733	0.149	0.0017	0.000
14	42.692	6.795	0.147	0.0012	-150.580
15	42.748	6.804	0.147	0.0103	0.000

：Rayleigh減衰のフィッティングに用いた次数

凡例
 埋戻土



第5-3-2図 固有値解析のモード図

(2) 既工認と今回工認との相違について

今回工認において、固有値解析における減衰定数は、岩盤は減衰3%、埋戻土は減衰0%、構造部材は減衰2%とした。

既工認では、時刻歴応答解析及び周波数応答解析における構造部材の減衰定数は5%を用いた（J E A G 4 6 0 1 -1987 記載）。

非線形解析における粘性減衰による減衰の値は、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（平成 14 年 3 月）¹⁾において、構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合には、この部材の履歴減衰は履歴モデルによって自動的に解析に取り入れられるため、非線形履歴モデルを用いて表した部材の減衰定数は、コンクリート部材は2% (0.02) 程度、鋼部材は1% (0.01) 程度とするのがよいとされている。

最新の道路橋示方書・同解説（平成 29 年 11 月）²⁾においても、構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合の減衰定数について、鉄筋コンクリート橋脚は2% (0.02) とされている。

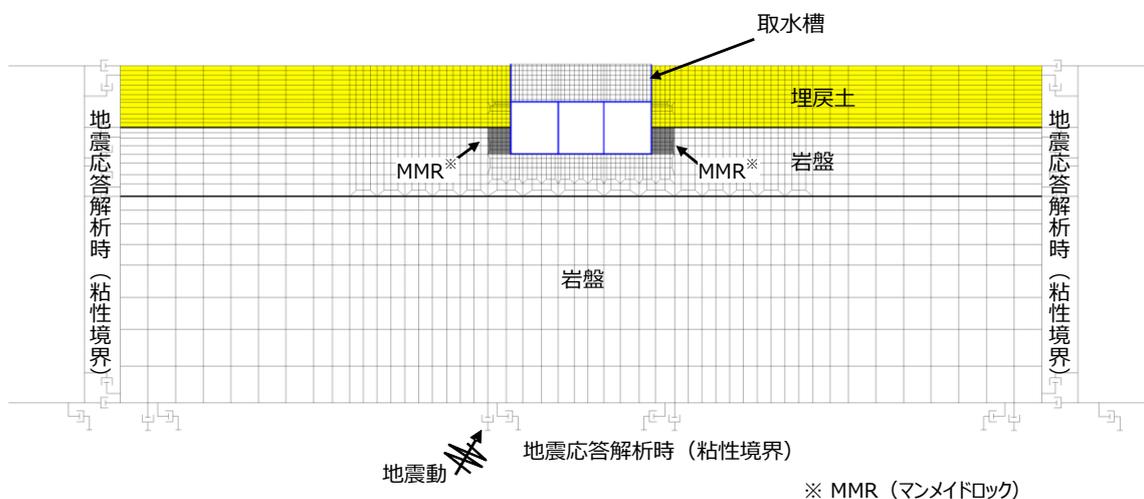
以上のように、粘性減衰の減衰定数は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のために設定される値であるため、構造物の減衰について減衰2%を採用していることは、技術的妥当性を有するものと判断した。

(3) 構造物の減衰定数の影響

解析モデルの例を第5-3-3 図に示す。解析モデルの中で構造物の占める割合は小さいため、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。

既工認と同様に、岩盤は減衰3%、埋戻土は減衰0%、構造部材は減衰5%に設定した固有値解析における解析モデル全体の一次モード減衰を確認したところ、比率（既工認/今回工認）は1.06であった。

以上のことから、地盤の減衰の影響が支配的であり、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。



第5-3-3 図 解析モデル（取水槽の例）

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成 14 年 3 月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成 29 年 11 月

4. 耐震性能照査の手順

機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の照査では、想定される荷重条件に対して機器・配管の機能を維持することが主たる目的となる。このため、土木学会マニュアルでは、機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の耐震性能評価においては、機器・配管の機能維持のために屋外重要土木構造物に求められる制約条件を与条件としている。

屋外重要土木構造物の耐震性能の照査に当たっては、地盤と構造物の連成解析を行い、床応答や変位を算定する。機器・配管の耐震安全性は、当該構造物を支持する屋外重要土木構造物の床応答や変位を用いて、別途確認を行う。第 5-4-1 表に対象構造物の例を示す。

第5-4-1表 検討対象構造物の例

屋外重要土木構造物	機器・配管
取水槽	原子炉補機海水ポンプ 原子炉補機海水ストレナ 原子炉補機海水系配管
屋外配管ダクト（タービン建物 ～排気筒）	非常用ガス処理系配管 非常用ディーゼル発電設備配管

5. 隣接構造物のモデル化

既工認では、簡便かつ保守的に評価する観点から、評価対象構造物に隣接する建物等（以下「隣接構造物」という。）は地震応答解析モデルでは地盤としてモデル化していた。今回工認では、評価対象構造物に隣接する構造物の影響を考慮した現実的な挙動特性を把握する必要がある場合について、隣接する構造物を等価剛性でモデル化する。

5.1 隣接構造物のモデル化方針

評価対象構造物と隣接する構造物が接している場合、又は評価対象構造物と隣接する構造物が近接している場合においては、隣接する構造物の挙動を含めた応答を正しく評価する必要がある。したがって、隣接構造物の種類、規模及び設置箇所における地盤状況を考慮し、隣接構造物が評価対象構造物の地震時応答に与える影響及び間接支持する設備がある場合はその設備（以下、「収納設備」とする。）の地震時応答に与える影響を踏まえ、モデル化要否を検討する。

隣接構造物をモデル化する場合には、隣接構造物を等価剛性でモデル化する。モデル化対象は、岩盤上に設置されており、評価対象構造物と同等以上の大きさで耐震性を有する建物・構造物（原子炉建物等）とする。なお、評価対象構造物が隣接構造物へ及ぼす影響については、評価対象構造物の規模、構造及び応答特性等を踏まえ、詳細設計段階において影響検討を実施する。

隣接構造物のモデル化方針を以下に示す。

① 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合

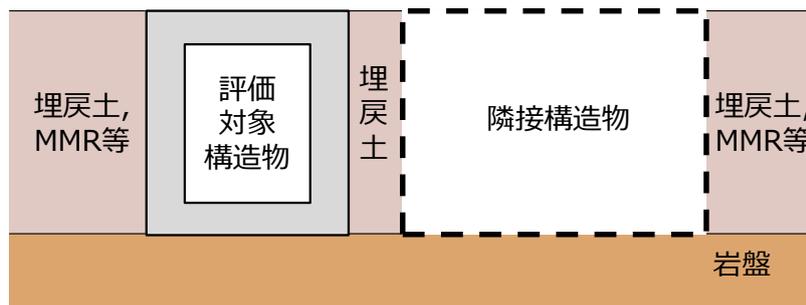
評価対象構造物及び収納設備の地震時応答に与える影響が大きいことから、隣接構造物をモデル化するとともに、評価対象構造物と隣接構造物との相互影響について別途確認する。評価対象構造物と隣接構造物が接している場合の概略図を第5-5-1図に示す。



第5-5-1図 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合 概略図

②評価対象構造物と隣接構造物との間が埋戻土の場合

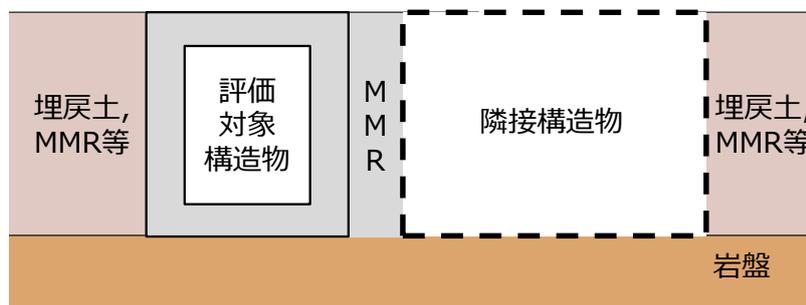
評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻土を介しており、評価対象構造物と隣接構造物が近接している場合は、埋戻土よりも剛性の大きい隣接構造物をモデル化することにより、解析モデルの固有周期が短くなる等、評価対象構造物及び収納設備の地震時応答に与える影響が大きいことから、隣接構造物をモデル化するとともに、評価対象構造物と隣接構造物との相互影響について別途確認する。評価対象構造物と隣接構造物との間が埋戻土の場合の概略図を第5-5-2図に示す。



第5-5-2図 評価対象構造物と隣接構造物との間が埋戻土の場合 概略図

③評価対象構造物と隣接構造物との間が MMR の場合

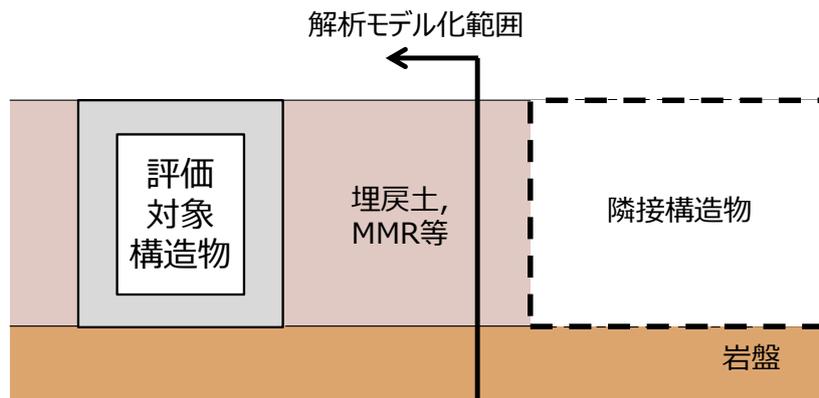
評価対象構造物と隣接構造物の間が MMR を介している場合は、隣接構造物をモデル化することにより、解析モデルの固有周期が短くなる等、評価対象構造物及び収納設備の地震時応答に与える影響が大きいことから、隣接構造物をモデル化するとともに、評価対象構造物と隣接構造物との相互影響について別途確認する。評価対象構造物と隣接構造物との間が MMR の場合の概略図を第5-5-3図に示す。



第5-5-3図 評価対象構造物と隣接構造物との間が MMR（マンメイドロック）の場合 概略図

④-1 評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合（隣接構造物が評価対象構造物の解析モデル範囲外にある場合）

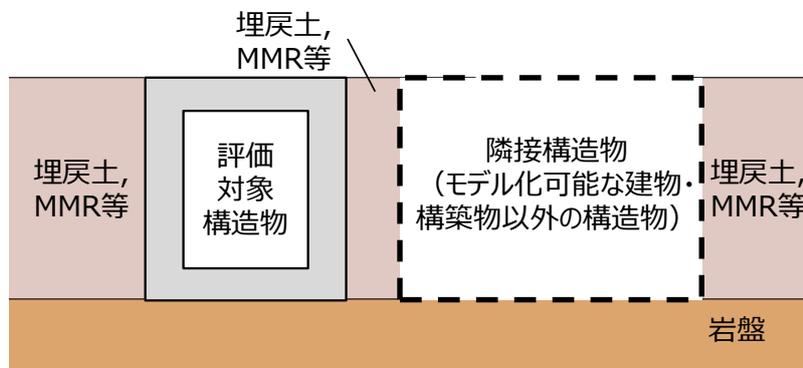
評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合、又は評価対象構造物と隣接構造物の間が十分な離隔を有する場合、隣接構造物の応答が評価対象構造物の地震時応答に与える影響は小さいことから、隣接構造物をモデル化しない。評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合の概略図を第5-5-4図に示す。



第5-5-4図 評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合 概略図

④-2 評価対象構造物の周辺にモデル化対象の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合

評価対象構造物の周辺に、モデル化対象の建物・構築物（原子炉建物等）以外の構造物が隣接する場合、隣接構造物をモデル化しない。概略図を第5-5-5図に示す。

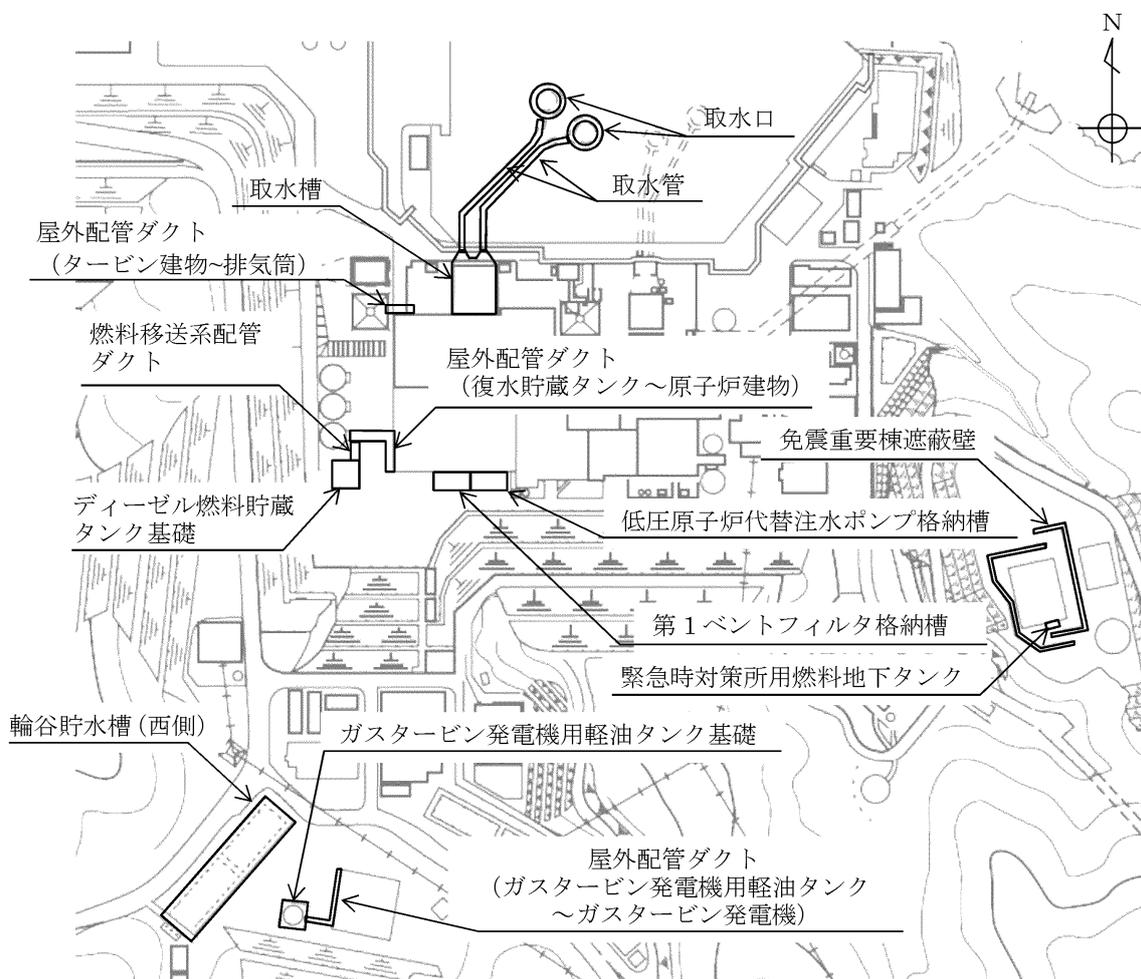


第5-5-5図 評価対象構造物の周辺にモデル化対象の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合 概略図

5.2 隣接構造物のモデル化

評価対象設備の配置図を第5-5-6図に示す。

隣接構造物のモデル化方針を踏まえ、各評価対象設備について隣接構造物のモデル化を検討した。隣接構造物のモデル化（例）を第5-5-1表に示す。



第5-5-6図 評価対象設備 配置図

第5-5-1表 隣接構造物のモデル化 (例)

分類	設備名称	隣接構造物のモデル化方針※2	モデル化方針選定の理由	隣接構造物のモデル化
設計基準対象施設のうち 屋外重要土木構造物	取水槽	①	南側にタービン建物が隣接している。	する
	屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	②	南側に埋戻土を介してタービン建物が隣接している。	する
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	③	東側にMMRを介して原子炉建物が隣接している。	する
	燃料移送系配管ダクト	④-1	解析モデル範囲に復水貯蔵タンク基礎が存在するが、地表面付近の岩盤上に設置され、燃料移送系配管ダクトへ与える影響が小さいことから、隣接構造物が存在しない場合と整理した。	しない
	屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)	②	東側に埋戻土を介して原子炉建物が隣接している。	する
	取水管	④-1	解析モデル範囲内に隣接構造物が存在しない。	しない
	取水口	④-1	取水口Ⅰの南側、取水口Ⅱの西側に取水管が隣接しているが、取水口と取水管は可撓ジョイントで接続されており、取水管の影響を受けないことから、隣接構造物が存在しない場合と整理した。	しない
	第1バントフィルタ格納槽	③	北側にMMRを介して原子炉建物が隣接している。また、西側にMMRを介して補助消火水槽が、東側にMMRを介して低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽が隣接している。	する
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	③	西側にMMRを介して第1バントフィルタ格納槽が隣接している。また、北側にMMRを介して原子炉建物が隣接している。	する
	緊急時対策用燃料地下タンク	④-2	北側に免震重要棟が隣接するが、免震重要棟は免震装置を有しており、その影響を受けないことから、モデル化しない。	しない
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	④-1	解析モデル範囲に屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 及び常設代替交流電源設備建物が存在するが、地表面付近の岩盤上に設置され、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎へ与える影響は小さいことから隣接構造物が存在しない場合と整理した。	しない
	屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)	④-1	解析モデル範囲に常設代替交流電源設備建物が存在するが、地表面付近の岩盤上に設置され、屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) へ与える影響が小さいことから、隣接構造物が存在しない場合と整理した。	しない
	輪谷貯水槽 (西側)	④-1	解析モデル範囲内に隣接構造物が存在しない。	しない
免震重要棟遮壁	④-1	解析モデル範囲に緊急時対策所が存在するが、地表面付近の岩盤上に設置され、免震重要棟遮壁へ与える影響は小さいことから隣接構造物が存在しない場合と整理した。	しない	

※1 設計基準対象施設と兼用する重要SA施設のうち、設計基準対象施設の評価手法と相違がない施設は設計基準対象施設の一覧表に代表して記載。

※2 ① 評価対象構造物と隣接構造物が親している場合

② 評価対象構造物と隣接構造物との間が埋戻土の場合

③ 評価対象構造物と隣接構造物との間がMMRの場合

④-1 評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な距離を有する場合 (隣接構造物が評価対象構造物のFEMモデル化範囲外にある場合)

④-2 評価対象構造物の周辺にモデル化対象の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合

島根原子力発電所 2 号炉

屋外重要土木構造物等の耐震評価に
おける断面選定について
(耐震)

屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方

1. 方針

本資料では、屋外重要土木構造物等^{※1}の耐震評価における断面選定の考え方について示す。なお、津波防護施設については「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止」に示す。

※1 屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

本資料で記載する屋外重要土木構造物等の一覧を第6-1-1表に、屋外重要土木構造物等に設置される主要な設備一覧を第6-1-2表に、全体配置図を第6-1-1図に示す。

第6-1-1表 評価対象構造物一覧

分類	設備名称	構造形式
屋外重要土木構造物等	・取水槽	箱型構造物
	・ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	
	・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	
	・第1ベントフィルタ格納槽	
	・緊急時対策所用燃料地下タンク	
	・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	線状構造物
	・燃料移送系配管ダクト	
	・屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）	
	・屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	円筒状構造物
	・取水口	
	・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	直接基礎
	・取水管	管路構造物

第6-1-2表 評価対象構造物に設置される設備一覧

設備名称	屋外重要 土木構造物	常設重大 事故等対 処設備	常設重大 事故等対 処施設	設置される設備				
				名称	耐震	耐津波		常設重大 事故等対 処設備
						浸水防止 設備	津波監視 設備	
取水槽	○	○※1	○	原子炉補機海水ストレーナ	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○	-	-	○
				原子炉補機海水系配管・弁	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ補機海水系配管・弁	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○	-	-	○
				原子炉補機海水ポンプ	○	-	-	○
				除じん機エリア防水壁	-	○	-	—※2
				海水ポンプエリア水密扉	-	○	-	—※2
				除じん機エリア水密扉	-	○	-	—※2
				取水管立入ビッド閉止板	-	○	-	—※2
取水槽床ドレン逆止弁	-	○	-	—※2				
取水槽水位計	-	-	○	—※2				

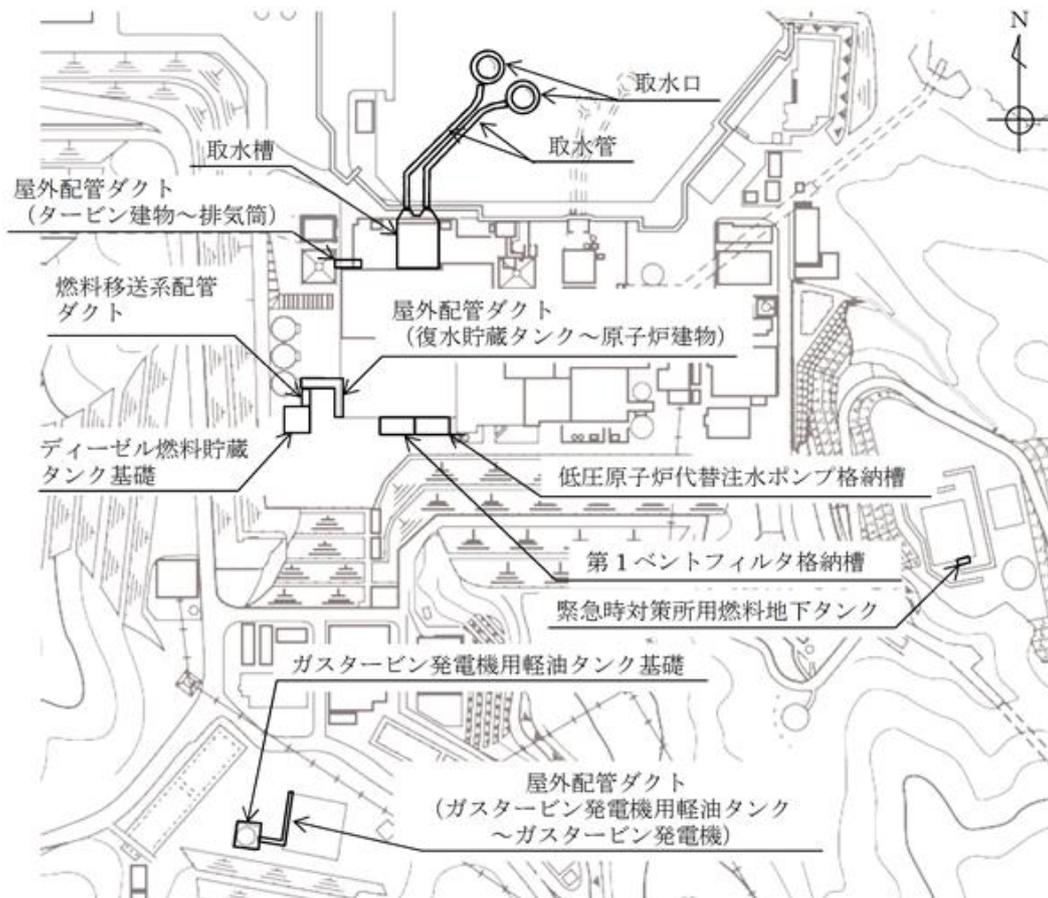
屋外重要土木構造物：耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能，若しくは非常用における海水の通水機能を求められる土木構造物
 常設重大事故等対処設備：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）
 常設重大事故等対処施設：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設
 （特定重大事故等対処施設を除く）
 耐震：耐震重要施設（浸水防止設備，津波監視設備を除く）
 ※1：非常用取水設備
 ※2：常設重大事故等対処設備に対する浸水防止設備，津波監視設備

設備名称	屋外重要 土木構造物	常設重大 事故等対 処設備	常設重大 事故等対 処施設	設置される設備				
				名称	耐震	耐津波		常設重大 事故等対 処設備
						浸水防止 設備	津波監視 設備	
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	○	-	○	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	○	-	-	○
				非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク	○	-	-	○
				非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
低圧原子炉代替注水ポンプ 格納槽	-	-	○	低圧原子炉代替注水ポンプ	-	-	-	○
				低圧原子炉代替注水系 配管・弁	-	-	-	○
第1ペントフィルタ格納槽	-	-	○	第1ペントフィルタスクラバ容器	-	-	-	○
				第1ペントフィルタ銀ゼオライト容器	-	-	-	○
				圧力開放板	-	-	-	○
緊急時対策所用 燃料地下タンク	-	○	-	-	-	-	-	-
				格納容器フィルタペント系配管・弁	-	-	-	○

屋外重要土木構造物：耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能，若しくは非常用における海水の通水機能を求められる土木構造物
 常設重大事故等対処設備：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）
 常設重大事故等対処施設：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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）
 耐震：耐震重要施設（浸水防止設備，津波監視設備を除く）

設備名称	屋外重要 土木構造物	常設重大 事故等対 処設備	常設重大 事故等対 処施設	設置される設備				
				名称	耐震	耐津波		常設重大 事故等対 処設備
						浸水防止 設備	津波監視 設備	
屋外配管ダクト(タービン建物～ 排気筒)	○	-	○	非常用ガス処理系配管・弁	○	-	-	○
				非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
				高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
燃料移送系配管ダクト	○	-	○	非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
屋外配管ダクト(復水貯蔵タンク ～原子炉建物)	○	-	○	非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁	○	-	-	○
屋外配管ダクト(ガスタービン発 電機用軽油タンク～ガスター ビン発電機)	-	-	○	ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁	-	-	-	○
取水口	○	○※1	-	-	-	-	-	-
ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎	-	-	○	ガスタービン発電機用軽油タンク	-	-	-	○
取水管	○	○※1	-	ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁	-	-	-	○

屋外重要土木構造物：耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能，若しくは非常用における海水の通水機能を求められる土木構造物
 常設重大事故等対処設備：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）
 常設重大事故等対処施設：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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）
 耐震：耐震重要施設（浸水防止設備，津波監視設備を除く）
 ※1：非常用取水設備



第6-1-1図 評価対象構造物 全体配置図

島根原子力発電所の屋外重要土木構造物等は、箱型構造物、線状構造物、円筒状構造物、直接基礎及び管路構造物の5つの構造形式に分類され、構造上の特徴として、明確な強軸及び弱軸を有するものと、強軸及び弱軸が明確でないものが存在する。

箱型構造物に分類される評価対象構造物は、鉄筋コンクリート造で構成されており、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や間接支持する配管の管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されている。通水方向や配管の管軸方向と直交する方向には構造部材の配置が少ないことから、構造上の特徴として、明確に通水方向や配管の管軸方向が強軸に、通水方向や配管の管軸方向と直交する方向が弱軸となる。通水以外の要求機能が求められる箱型構造物は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向に平行に配置される壁の厚さの割合が小さい方が弱軸となり、大きい方が強軸となる。箱型構造物の設計方針として、強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないが、強軸方向断面についても、弱軸方向と同じように要求機能があり、間接支持する機器・配管の有無や浸水防護壁等の応答影響評価の必要性があることから、耐震評価候補断面に追加する。弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。ただし、加振方向と平行に配置される壁が多数ある構造物については、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、必要により壁間の幅を耐震評価候補断面とする。また、強軸方向断面では、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、構造物の奥行幅を耐震評価候補断面とする。箱型構造物の評価対象断面は、以上の理由により構造の安全性に支配的な弱軸方向及び強軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。

線状構造物に分類される評価対象構造物は、鉄筋コンクリート造で構成されており、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や間接支持する配管の管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されている。通水方向や配管の管軸方向と直交する方向には構造部材の配置が少ないことから、構造上の特徴として、明確に通水方向や配管の管軸方向が強軸に、通水方向や配管の管軸方向と直交する方向が弱軸となる。線状構造物は、加振方向と平行に配置される壁部材が少ない方が弱軸となり、多い方が強軸となる。強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。線状構造物の評価対象断面は、以上の理由により構造の安全性に支配的な弱軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。

円筒状構造物及び直接基礎に分類される評価対象構造物は、鋼製及び鉄筋コンクリート造の構造物であり、円筒状及び正方形であるため、箱型構造物や線状構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではない。円筒状構造物及び直接基礎は、質点系モデルでモデル化する。評価対象断面の選定においては、構造物中央を通

る断面及びその直交方向断面から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。

管路構造物に分類される評価対象構造物は、海水の通水機能を維持するため、通水方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されていることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。評価対象構造物は、鋼製部材で構成されており、管軸方向が強軸方向となり、管軸直交方向が弱軸方向となる。強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。弱軸方向断面では、延長方向の構造的特徴が一様であることから、代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。管路構造物の評価対象断面は、構造の安全性に支配的な弱軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。なお、「水道施設耐震工法指針・解説（日本水道協会，1997）」に基づき、一般的な地中埋設管路の設計で考慮される管軸方向断面についても検討する。

また、評価対象断面の選定の流れを以下に示す。

(1) 耐震評価候補断面の整理

評価対象構造物の以下の観点から耐震評価候補断面を整理する。

①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況

- ・要求機能に各候補断面で差異がある場合、要求機能に応じた許容限界が異なり、評価対象構造物の耐震評価に影響することから、要求機能の差異の有無により候補断面を整理する。
- ・間接支持する機器・配管系の種類及び設置状況に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する荷重及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、間接支持する機器・配管系の種類や設置状況に係る差異の有無により候補断面を整理する。

②構造的特徴（部材厚、内空断面、断面急変部、構造物間の連結部等）

- ・構造的特徴に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する土圧等の荷重及び床応答特性が各断面で異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、構造的特徴の差異の有無により候補断面を整理する。

③周辺状況（上載荷重、土被り厚、周辺地質、周辺地質変化部、隣接構造物、地下水位[※]）

- ・周辺地質や周辺地質変化部に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する土圧等の荷重、地震波の伝搬特性及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、周辺地質の差異の有無により候補断面を整理する。
- ・MMR（マンメイドロック）については、構造物を支持する又は構造物の周囲を埋め戻す等の目的・役割があり、その分布により、構造物に作用する土圧等の荷重、地震波の伝搬特性及び床応答特性に影響を与えることから、周辺地質の中で整理する。
- ・隣接構造物による影響については、2次元FEMにてモデル化する隣接構造物の有無や種類に各断面で差異がある場合、構造物に作用する土圧等の荷重及

び床応答特性が異なり，評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから，モデル化する隣接構造物の差異の有無により候補断面を整理する。
※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

④地震波の伝搬特性

- ・地震波の伝搬特性は，周辺状況のうち評価対象構造物下部の岩盤やMMR等の周辺地質の状況により異なることから，観点③の整理を踏まえ，地震波の伝搬特性に係る差異の有無により候補断面を整理する。

⑤床応答特性

- ・観点①～③の整理を踏まえ，床応答特性の差異の有無及び間接支持する機器・配管系の設置状況により候補断面を整理する。

(2) 評価対象断面の選定

⑥ 耐震評価候補断面の選定

- ・(1)にて整理した耐震評価候補断面に対して，①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況，②構造的特徴，③周辺状況を考慮し，耐震評価上厳しいと考えられる断面を選定する。

⑦ 耐震評価候補断面の絞り込み

- ・複数の観点から異なる耐震評価候補断面が複数抽出される場合は，詳細設計段階で実施する浸透流解析結果を踏まえ，地震応答解析を実施して耐震評価候補断面の絞り込みを行う場合もある。

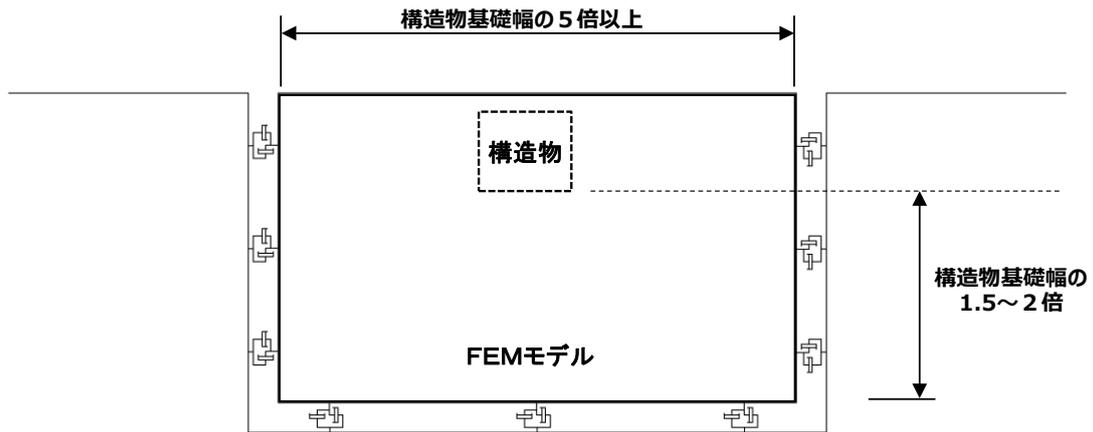
⑧ 床応答算出用の断面の選定

- ・耐震評価上の観点以外に機器・配管系の応答加速度及び応答変位の観点から，床応答算出用の断面を選定する。

評価対象断面のモデル化範囲（2次元FEM解析モデル）については，以下に考え方を示す。

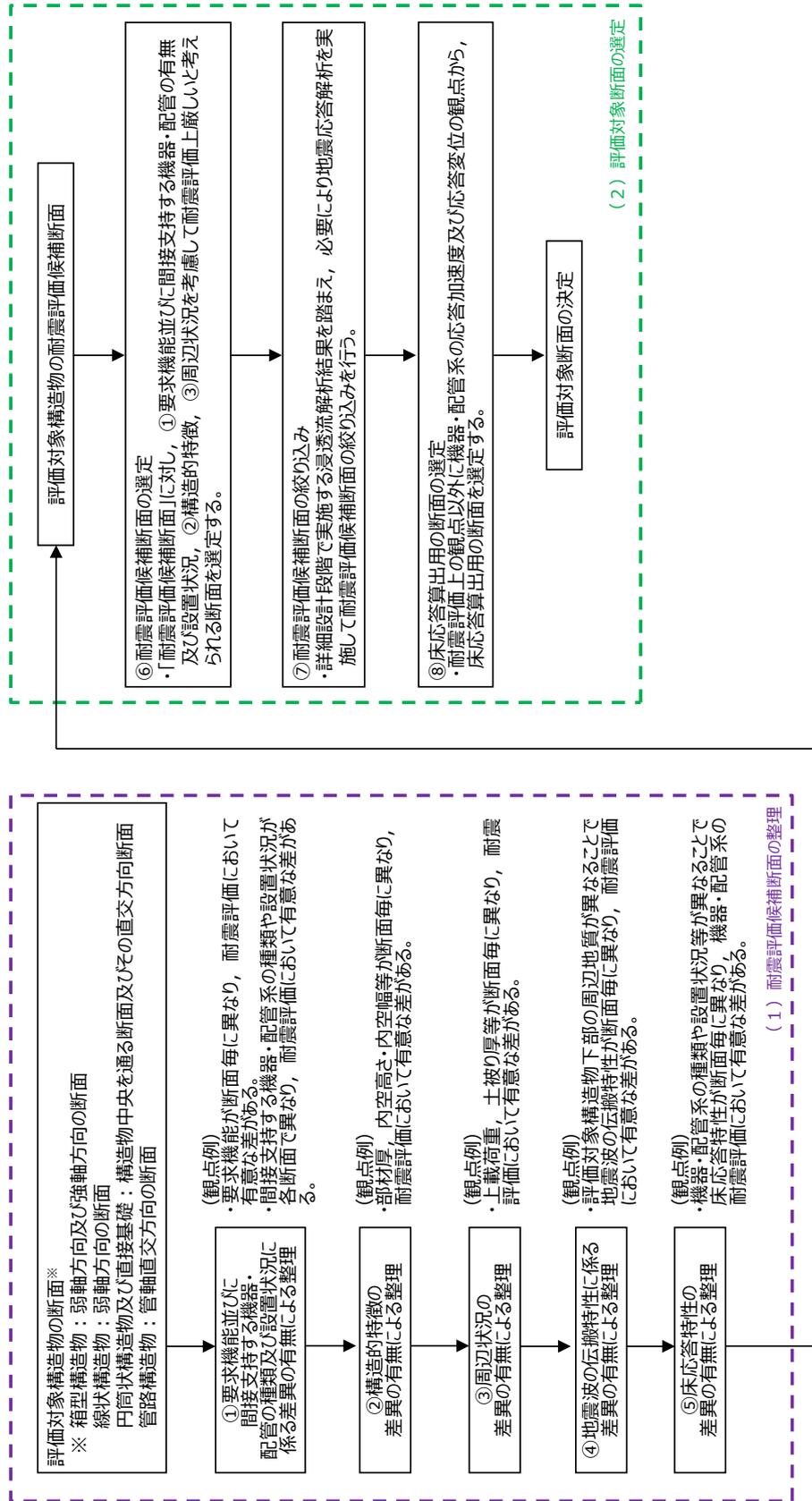
2次元FEMによる地震応答解析モデルの範囲が，地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。具体的には，「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」を適用し，以下に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の5倍以上，地盤モデルの入力基盤深さを構造物基礎幅の1.5～2倍確保する。

2次元FEMにおけるモデル化範囲の考え方を第6-1-2図に示す。



第6-1-2図 2次元FEMにおけるモデル化範囲の考え方

屋外重要土木構造物等について、耐震評価候補断面の整理及び評価対象断面の選定フローを第6-1-3図に示す。



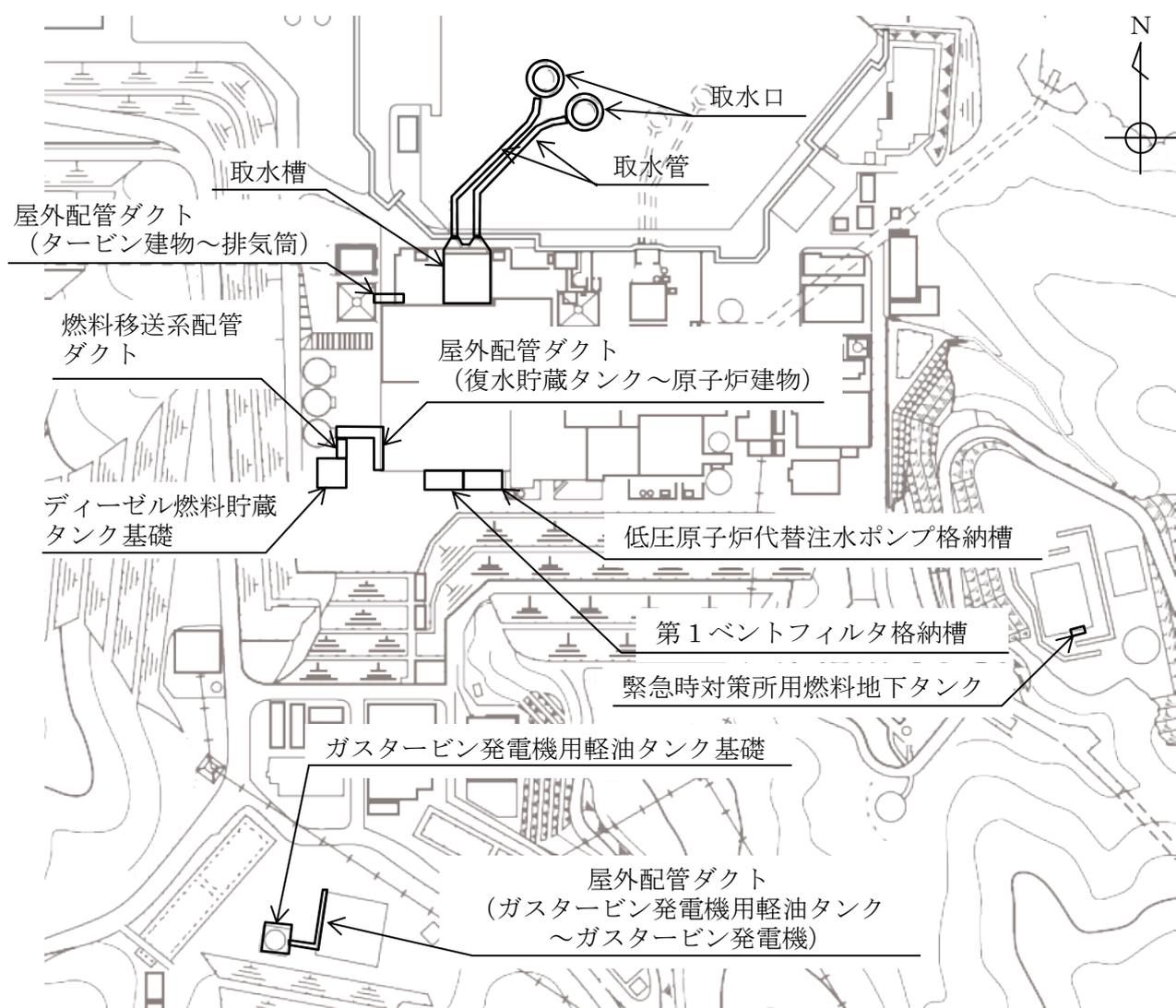
第6-1-3 図 耐震評価候補断面の整理及び評価対象断面の選定フロー

2. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方

2.1 各施設の配置

本章では屋外重要土木構造物等である，取水槽，ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽，緊急時対策所用燃料地下タンク，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），燃料移送系配管ダクト，屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物），屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機），取水口，ガスタービン発電機用軽油タンク基礎及び取水管の断面選定の考え方を示す。

第6-2-1図に屋外重要土木構造物等の全体配置図を示す。



第6-2-1図 屋外重要土木構造物等 全体配置図

2.2 取水槽

取水槽の配置図を第6-2-2図に、設置される浸水防止設備や津波監視設備の配置図を第6-2-3図～第6-2-4図に、平面図を第6-2-5図に、縦断面図を第6-2-6図に、断面図を第6-2-7図～第6-2-10図に、地質断面図を第6-2-11図～第6-2-12図に、岩級断面図を第6-2-13図～第6-2-14図にそれぞれ示す。

取水槽は、Sクラス設備である原子炉補機海水ポンプ等の間接支持機能と、非常用取水設備としての通水機能及び浸水防護重点化範囲を保持するための止水機能が要求される。

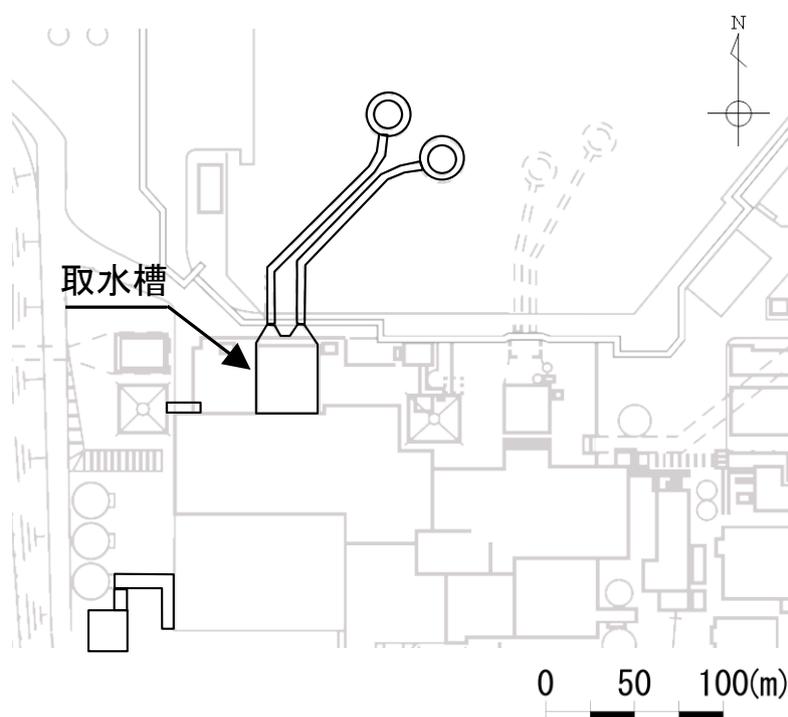
浸水防護重点化範囲を保持するために止水機能が求められる部位は、ポンプ室に設置される中床版 (EL+1.1m)、スクリーン室に設置される中床版 (EL+4.0m) 及びスクリーン室南側の除じん機エリア防水壁の位置に設置される中壁 (EL+1.1m～EL+8.8m) である。

取水槽はストレナ室、ポンプ室、スクリーン室及び漸拡ダクト部に大別される、延長47.25m、幅34.95m、高さ20.5mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

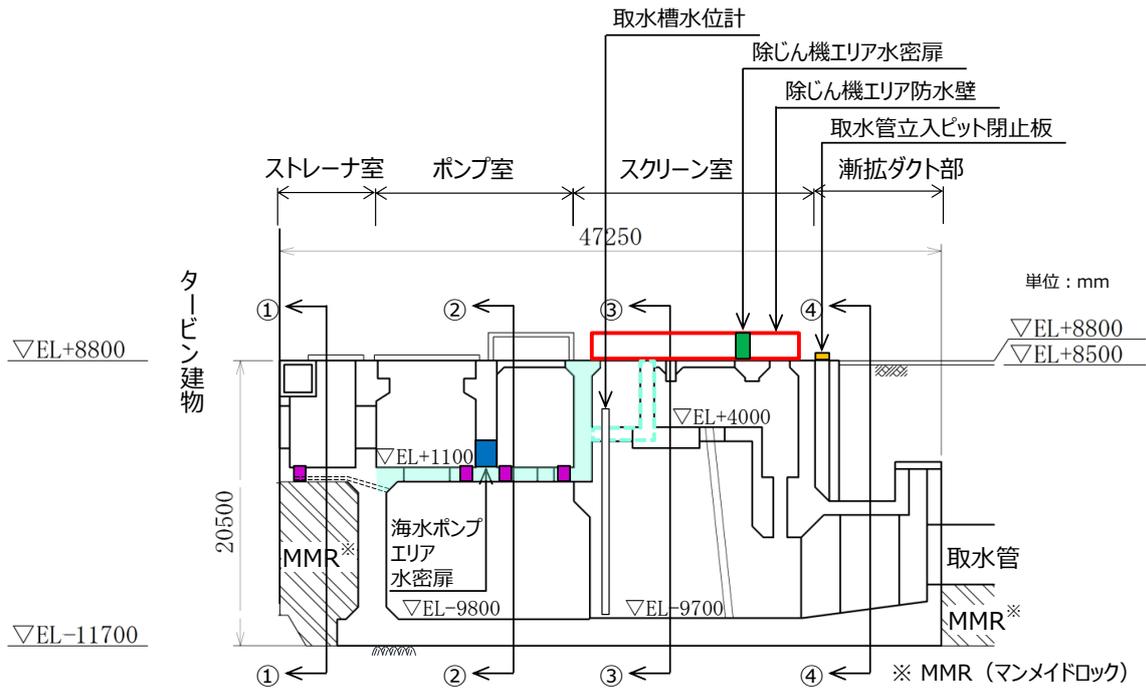
取水槽はCM級以上の岩盤に直接支持されている。

取水槽は、通水方向と平行に配置される壁部材が多いため、通水方向が強軸となり、通水直交方向が弱軸となる。

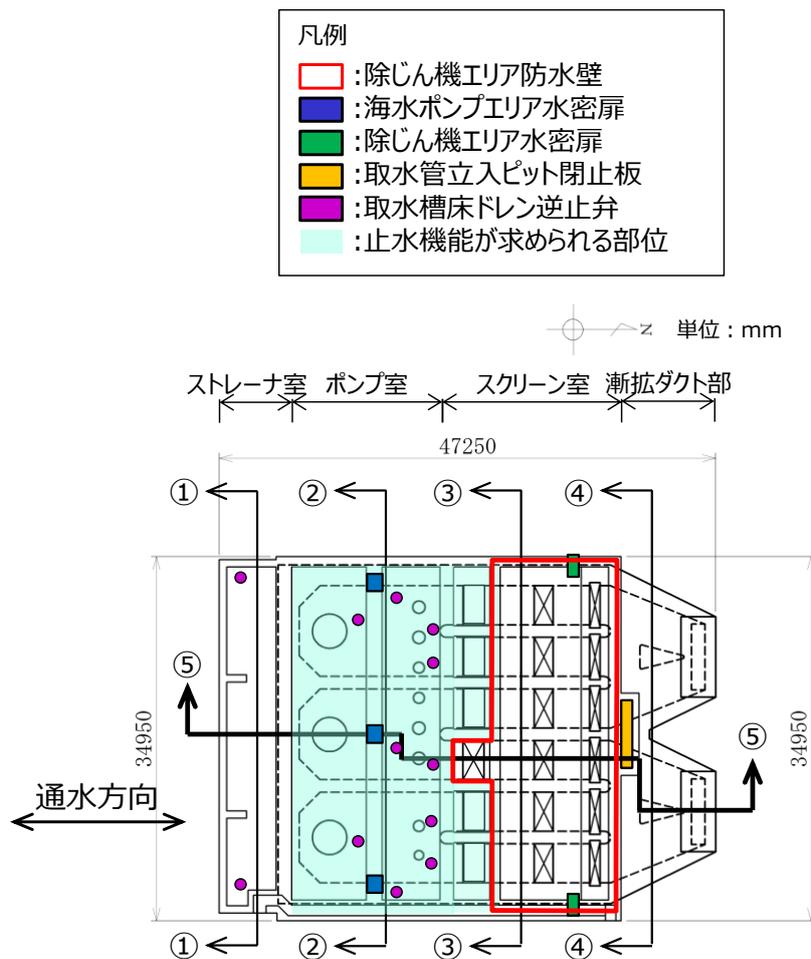
取水槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲を踏まえ、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、壁間の幅を耐震評価候補断面とする。



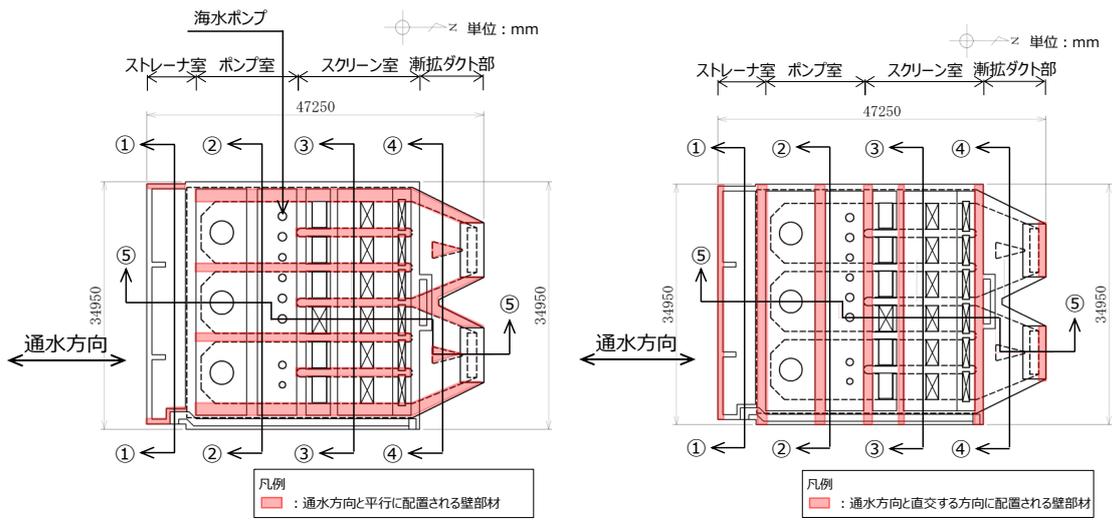
第6-2-2図 取水槽 配置図



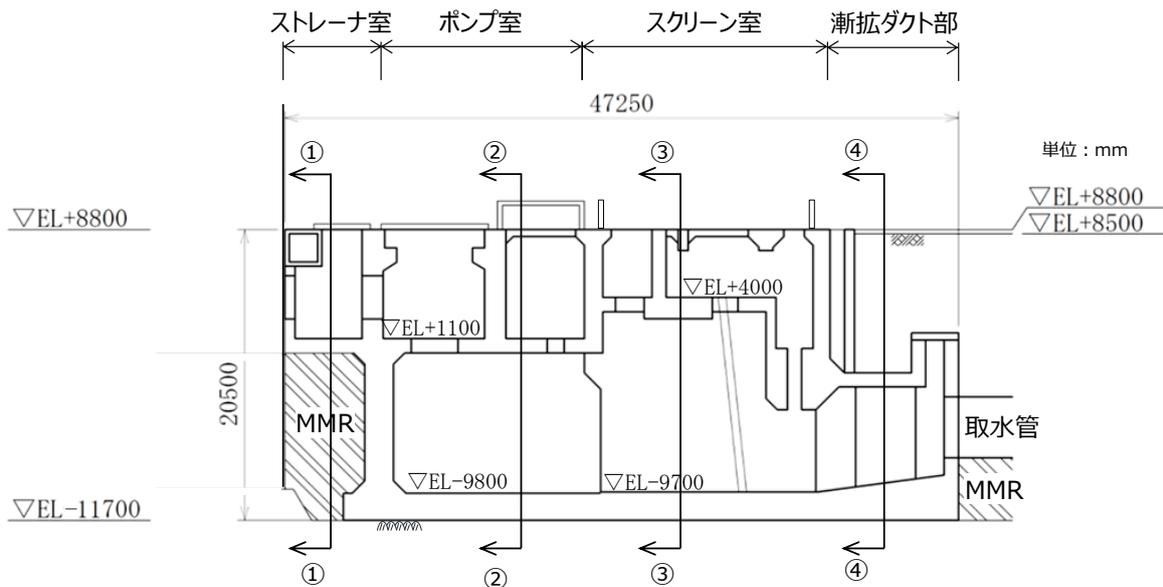
第6-2-3図 取水槽 設置される設備の配置図 (縦断面図)



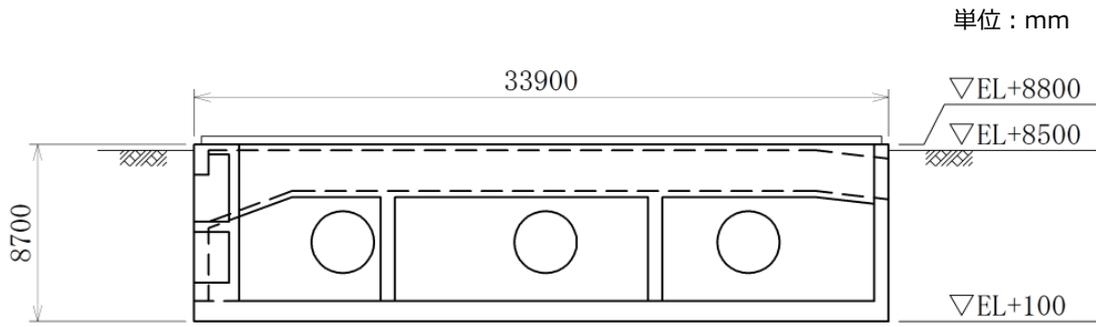
第6-2-4図 取水槽 設置される設備の配置図 (平面図)



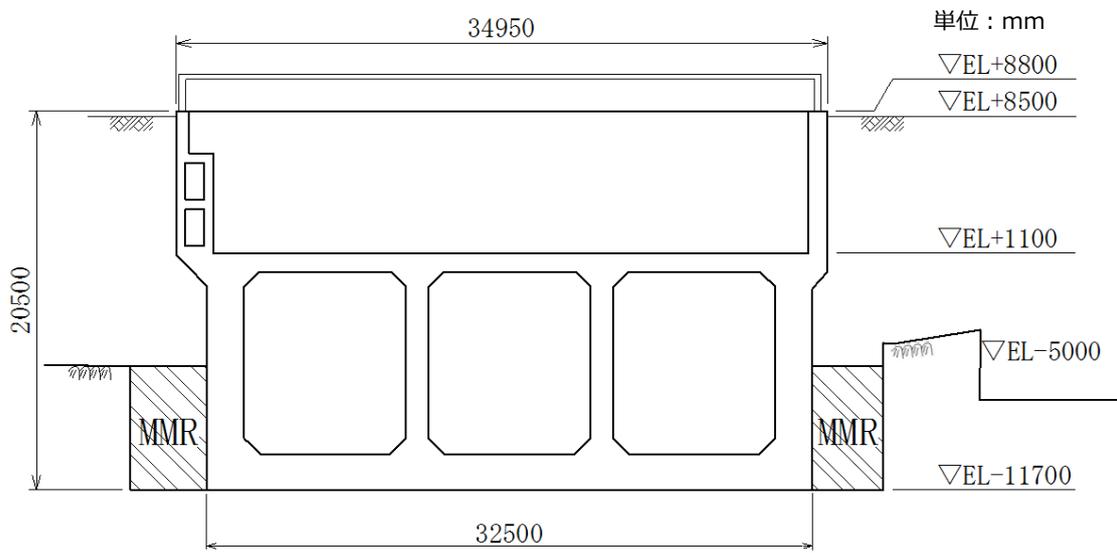
第6-2-5図 取水槽 平面図



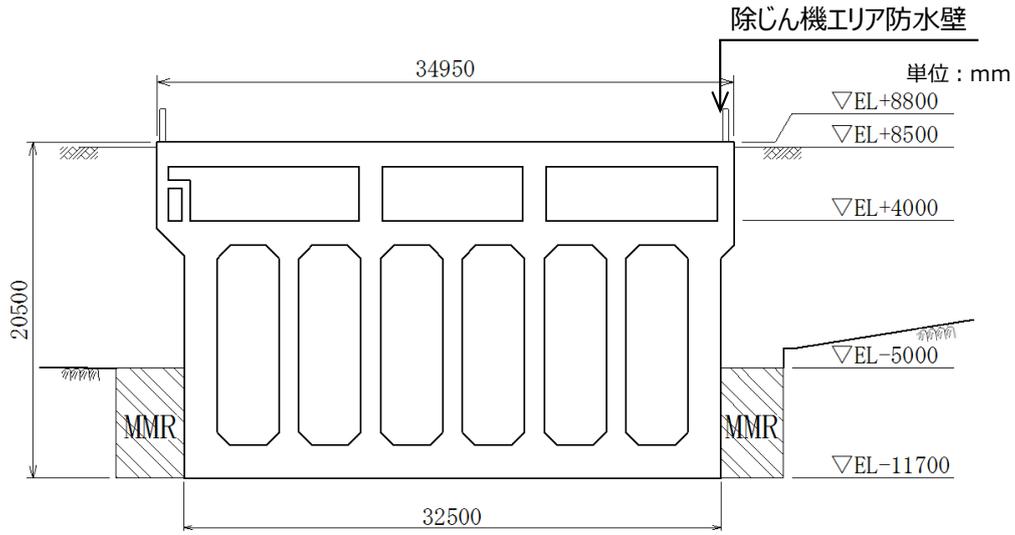
第6-2-6図 取水槽 縦断面図 (⑤-⑤断面)



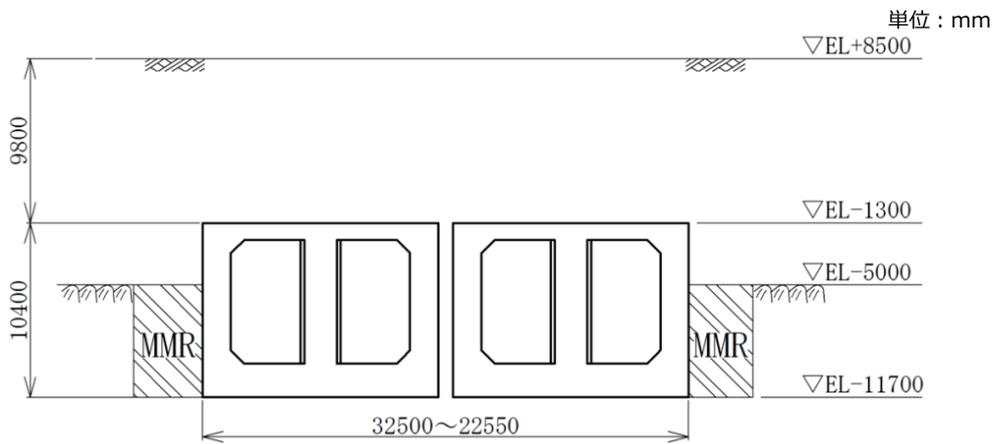
第6-2-7图 取水槽 断面图 (①-①断面)



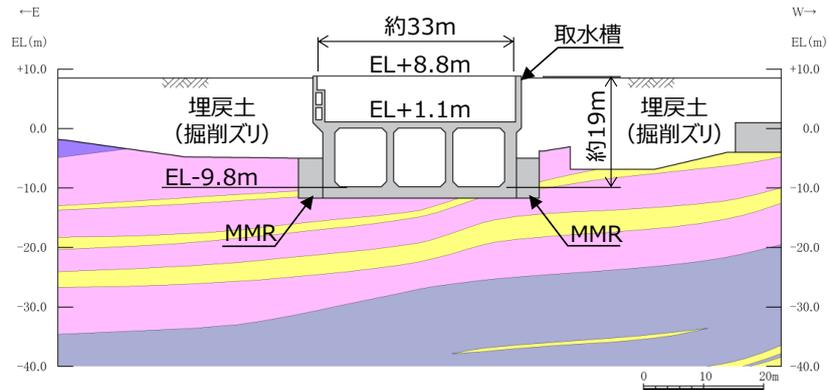
第6-2-8图 取水槽 断面图 (②-②断面)



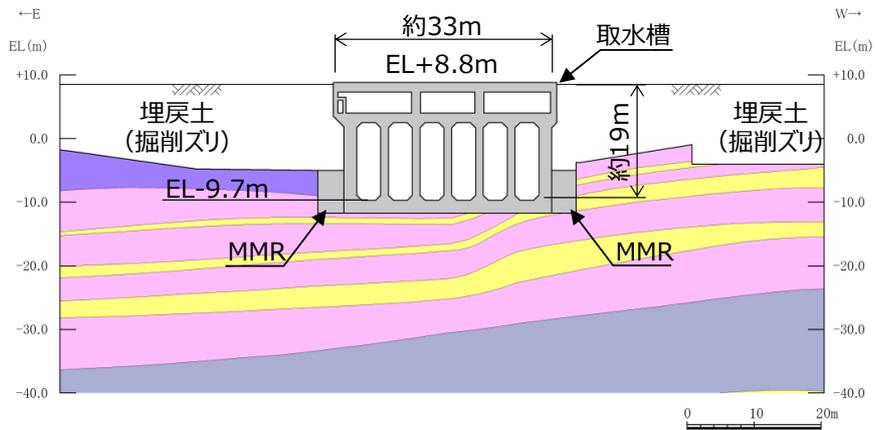
第 6-2-9 図 取水槽 断面図 (③-③断面)



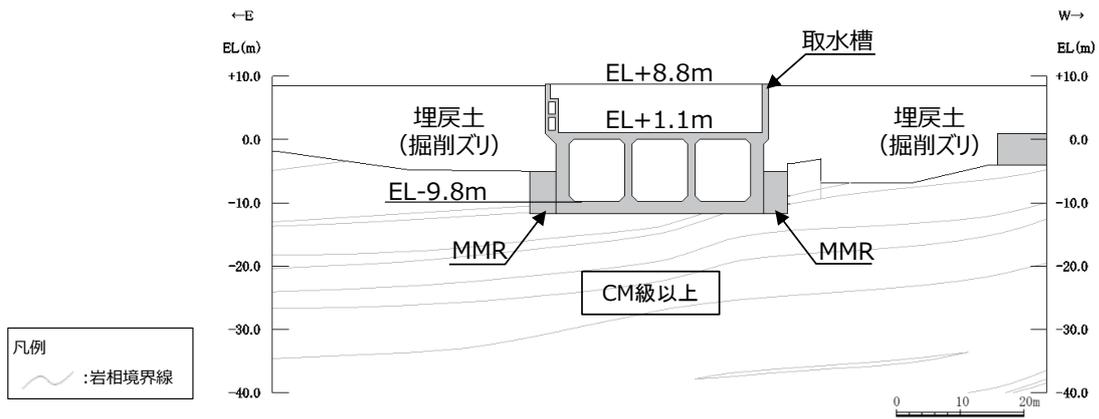
第 6-2-10 図 取水槽 断面図 (④-④断面)



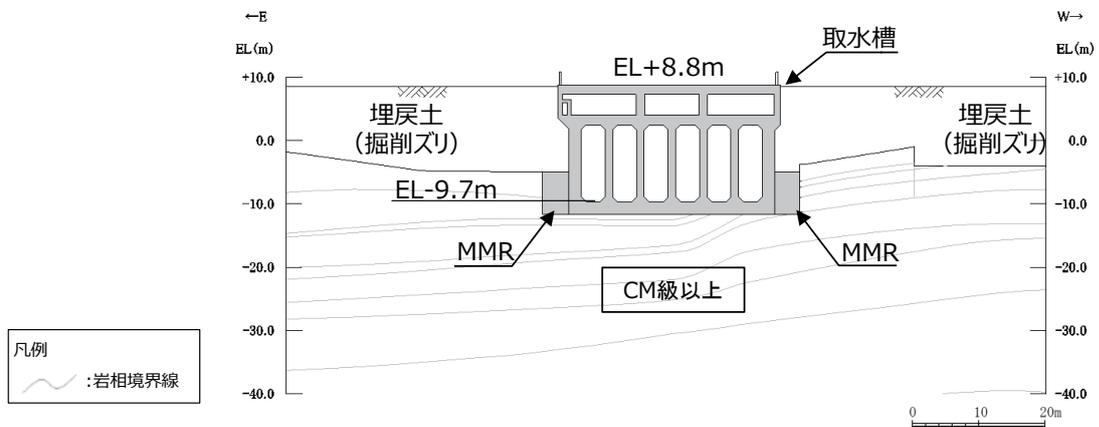
第6-2-11 図 取水槽 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-12 図 取水槽 地質断面図 (③-③断面)



第6-2-13図 取水槽 岩級断面図 (②-②断面)



第6-2-14図 取水槽 岩級断面図 (③-③断面)

取水槽について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-1表）。

第6-2-1表 耐震評価候補断面の整理（取水槽）（1/3）

観点		取水槽				
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・通水 ・間接支持	・通水 ・間接支持 ・止水	・通水 ・間接支持	・通水	・通水 ・間接支持 ・止水
	間接支持する設備	・原子炉補機海水ストレーナ ・高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ ・原子炉補機海水系配管・弁 ・高圧炉心スプレイ補機海水系配管・弁 他	・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ ・原子炉補機海水ポンプ ・原子炉補機海水系配管・弁 ・高圧炉心スプレイ補機海水系配管・弁 ・海水ポンプエリア水密扉 他	・取水槽水位計 ・除じん機エリア防水壁 ・除じん機エリア水密扉 他	・なし	・①-①断面～③-③断面において間接支持する設備
	設置状況	・設備毎に異なる			-	・設備毎に異なる

第6-2-1表 耐震評価候補断面の整理（取水槽）（2/3）

観点		取水槽				
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面
②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面				・強軸方向断面
		・鉄筋コンクリート造の地中構造物				
		・ストレーナ室により構成される	・上部のポンプ室及び下部の3連のボックスカルパートにより構成される	・上部のスクリーン室及び下部の6連のボックスカルパートにより構成される	・2連のボックスカルパートにより構成される	・ストレーナ室、ポンプ室、スクリーン室及び取水管取合部により構成される
	・中床版に開口部が存在しない	・中床版に開口部が存在する	・中床版に開口部が存在する	・開口部が存在しない	・中床版に開口部が存在する	
寸法	・幅33.90m、高さ8.70m	・幅32.50～34.95m、高さ20.50m		・幅22.55～32.50m、高さ10.40m	・幅47.25m、高さ20.50m	

第6-2-1表 耐震評価候補断面の整理（取水槽）（3/3）

観点		取水槽				
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・①-①断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、②-②～⑤-⑤断面との差異は小さいと判断する			
		構造物側部及び上部	・埋戻土（掘削スリ）が分布している	・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約6.7mで、矩形である		・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約4.4m及び1.8mで台形状である
		地質変化部	・なし			
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。				
	モデル化する隣接構造物	・なし				・タービン建物
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は各断面で概ね同様であり、地震波の伝搬特性は概ね同様である					
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、①-①～③-③及び⑤-⑤断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる					

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.3 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎

ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎（地中部及び半地下部）の配置図を第6-2-15図に、平面図を第6-2-16図に、縦断図を第6-2-17図に、断面図を第6-2-18図～第6-2-19図に、地質断面図を第6-2-20図に、岩級断面図を第6-2-21図にそれぞれ示す。

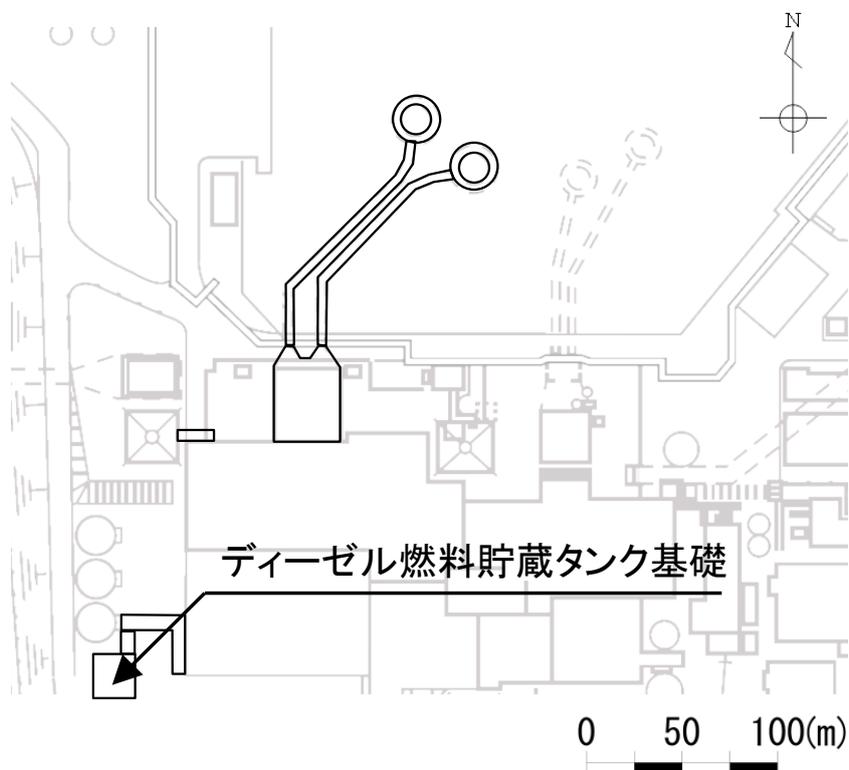
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク等の間接支持機能が要求される。

ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、延長約20m、幅約19m、高さ約7mの鉄筋コンクリート造の地中及び半地下構造物である。

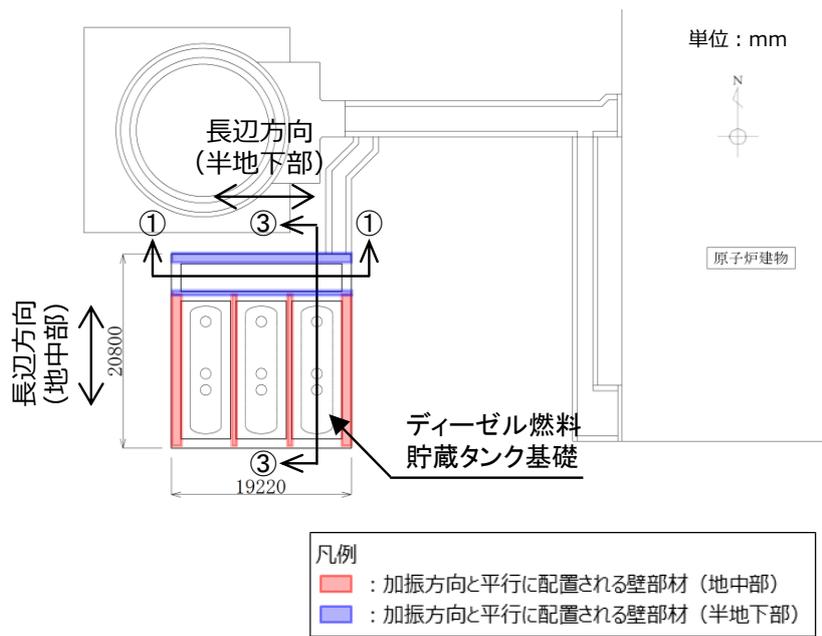
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、CM級以上の岩盤に直接支持されている。

長辺方向（地中部は南北方向、半地下部は東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に配置される壁の厚さの割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（地中部は東西方向、半地下部は南北方向）が弱軸となる。

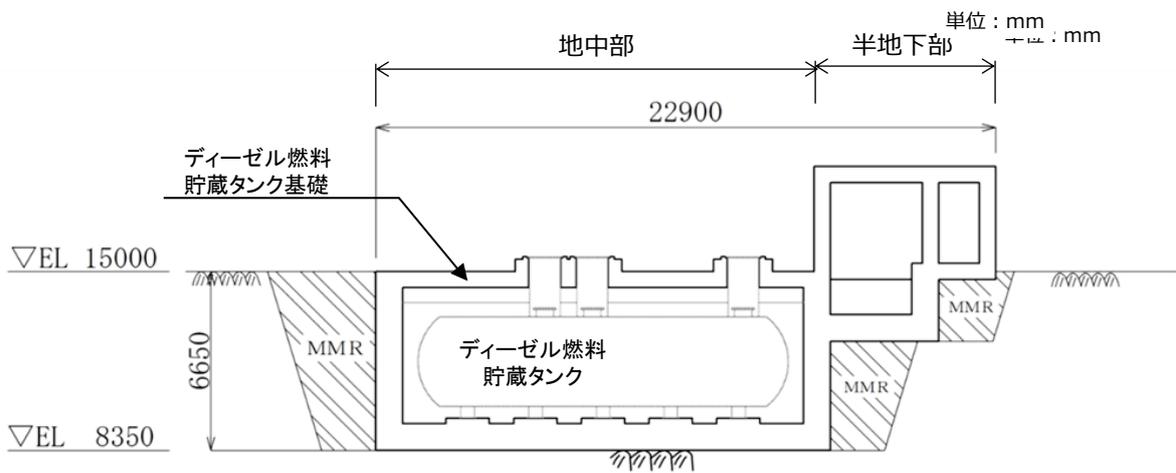
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



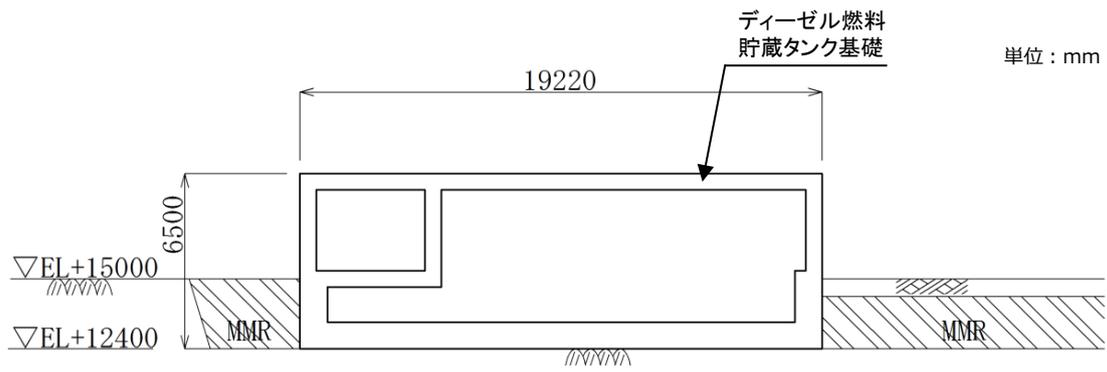
第6-2-15図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 配置図



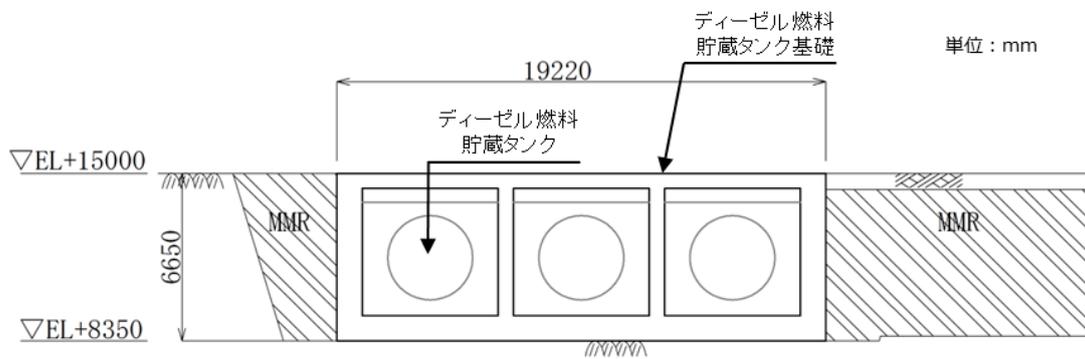
第6-2-16図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 平面図



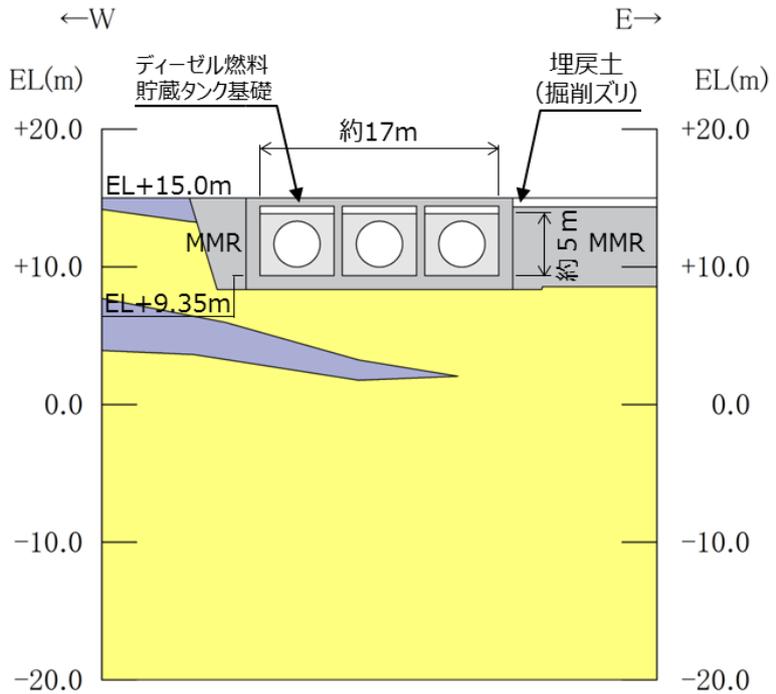
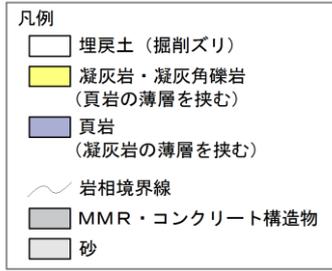
第6-2-17図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 縦断図 (③-③断面)



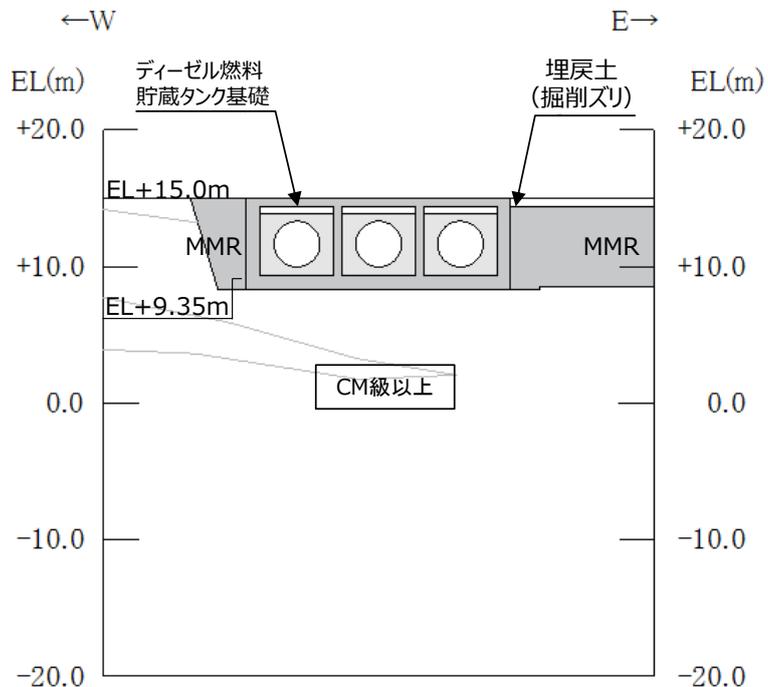
第6-2-18 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (①-①断面)



第6-2-19 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (②-②断面)



第6-2-20 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-21 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 岩級断面図 (②-②断面)

ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-2表）。

第6-2-2表 耐震評価候補断面の整理（ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎）（1/2）

観点		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎		
		①-①断面	②-②断面	③-③断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持		
	間接支持する設備	設備	・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁 他	・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁 他
	設置状況	・設備毎に異なる		
②構造的特徴	形式	・強軸方向断面（半地下部）	・弱軸方向断面（地中部）	・強軸方向断面（地中部） ・弱軸方向断面（半地下部）
		・鉄筋コンクリート造の半地下構造物	・鉄筋コンクリート造の地中構造物	・鉄筋コンクリート造の地中構造物及び半地下構造物
	・隔壁及び中床版を有する	・3連のボックスカルバート（タンク格納槽）により構成される	・地中部及び半地下部により構成される	
寸法	・幅19.22m，高さ6.50m	・幅19.22m，高さ6.65m	・幅22.90m，高さ4.20m，6.50m及び6.65m	

第6-2-2表 耐震評価候補断面の整理（ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎）（2/2）

観点		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎		
		①-①断面	②-②断面	③-③断面
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・③-③断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、①-①～②-②断面との差異は小さいと判断する	
		構造物側部及び上部	・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRの周辺地質が岩盤であり、各断面で差異は小さいと判断する	
		地質変化部	・なし	
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		
	モデル化する隣接構造物	・原子炉建物	・なし	
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である			
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる			

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の配置図を第6-2-22図に、平面図を第6-2-23図に、縦断図を第6-2-24図に、断面図を第6-2-25図～第6-2-26図に、地質断面図を第6-2-27図～第6-2-28図に、岩級断面図を第6-2-29図～第6-2-30図にそれぞれ示す。

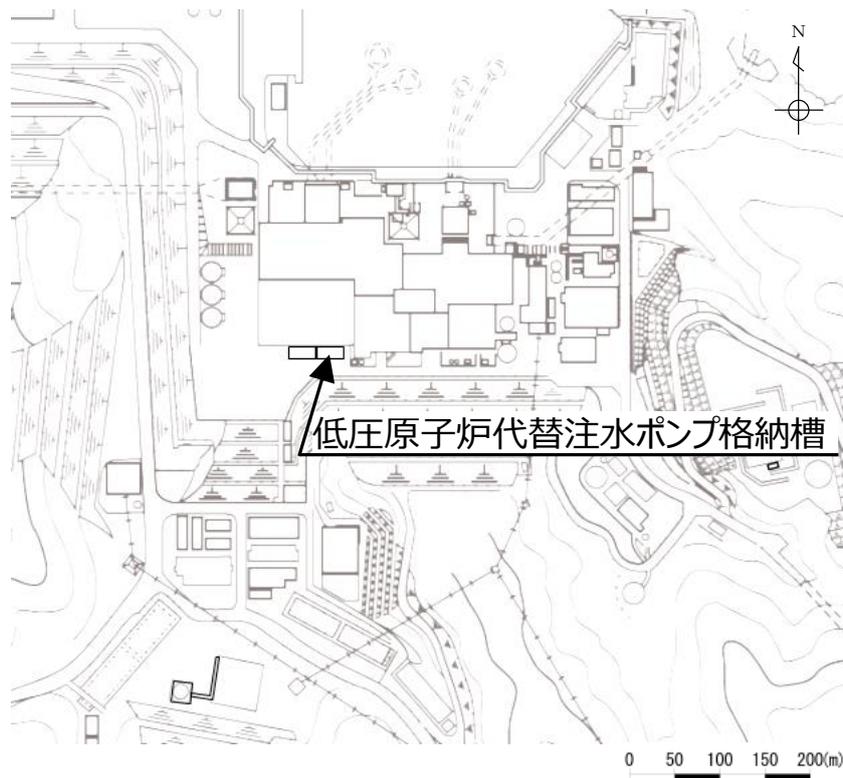
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、常設重大事故等対処設備である低圧原子炉代替注水ポンプ等の間接支持機能が要求される。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、延長26.6m、幅13.4m、高さ16.0m又は19.6mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

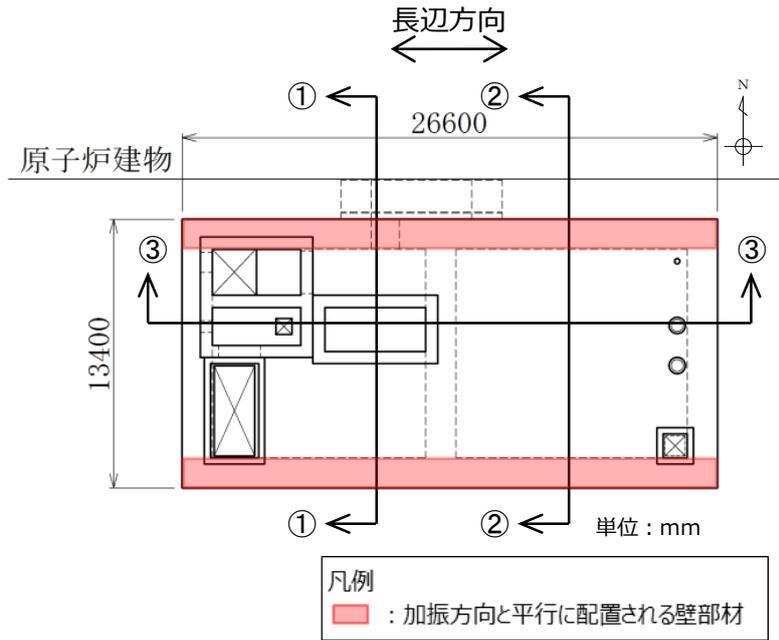
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、CM級以上の岩盤に直接支持されている。

長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される壁の厚さの割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。

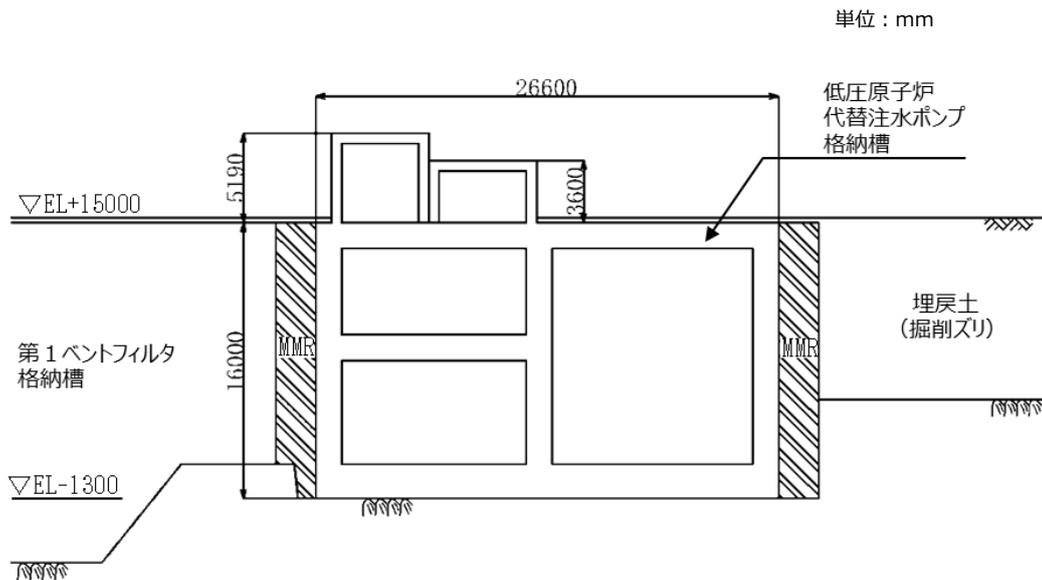
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



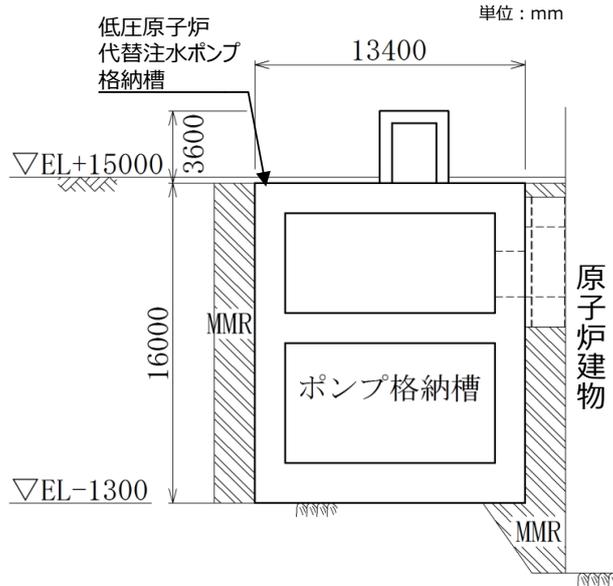
第6-2-22図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 配置図



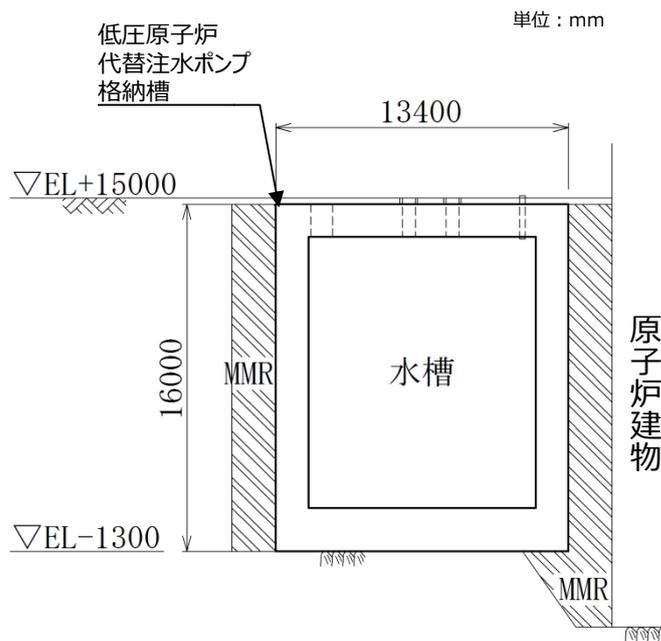
第 6-2-23 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図



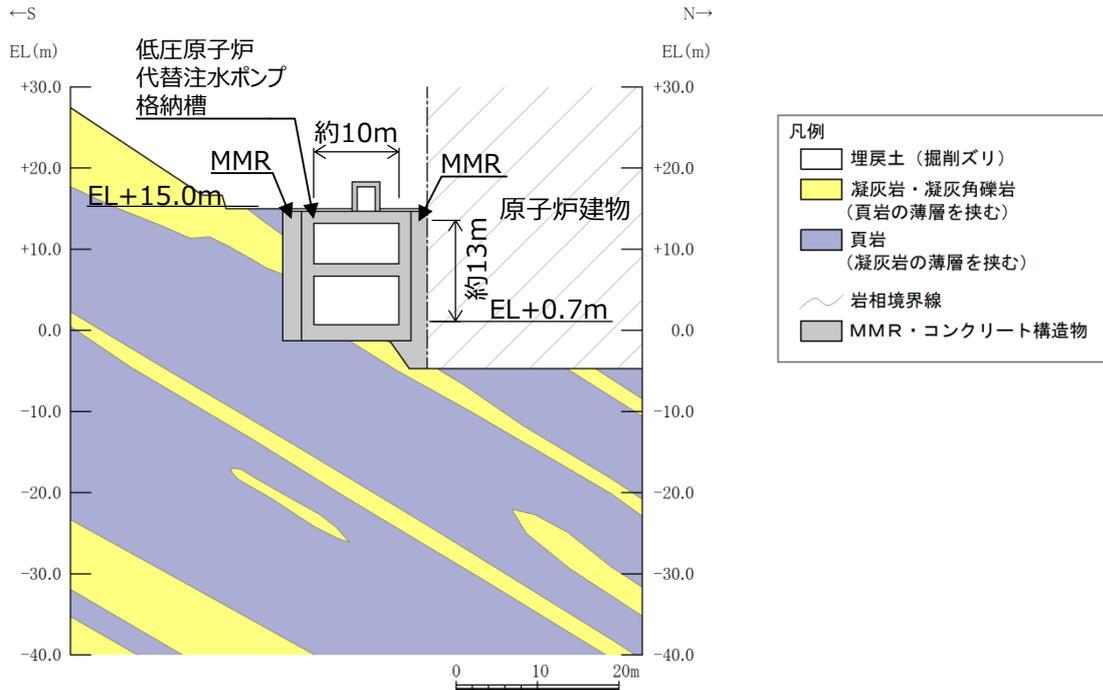
第 6-2-24 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 縦断図 (③-③断面)



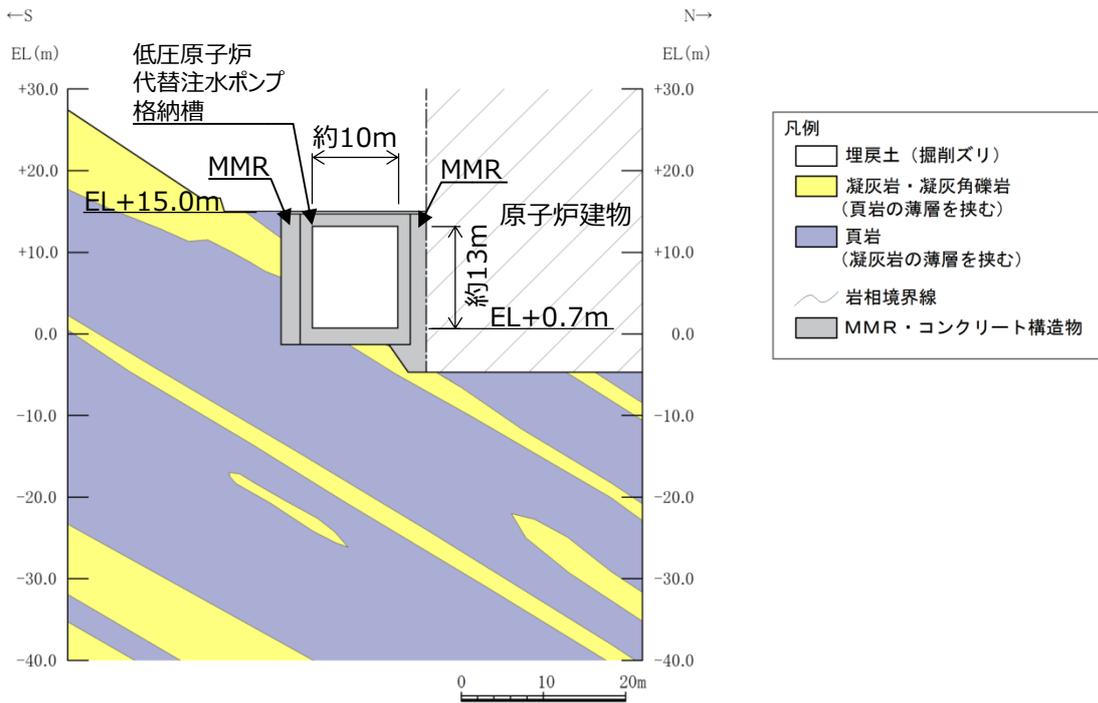
第 6-2-25 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (①-①断面)



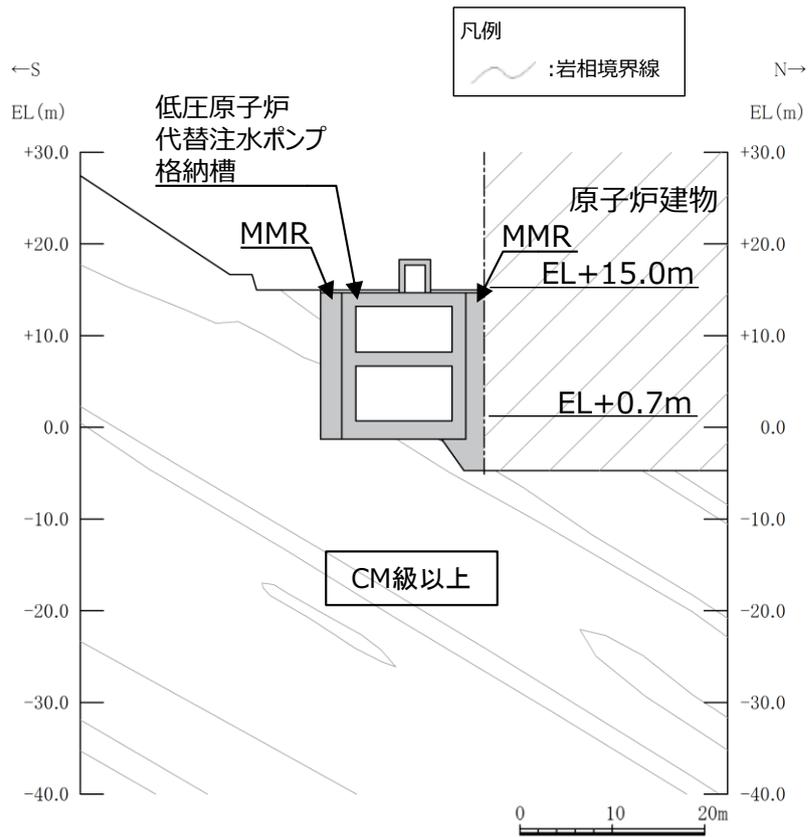
第 6-2-26 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (②-②断面)



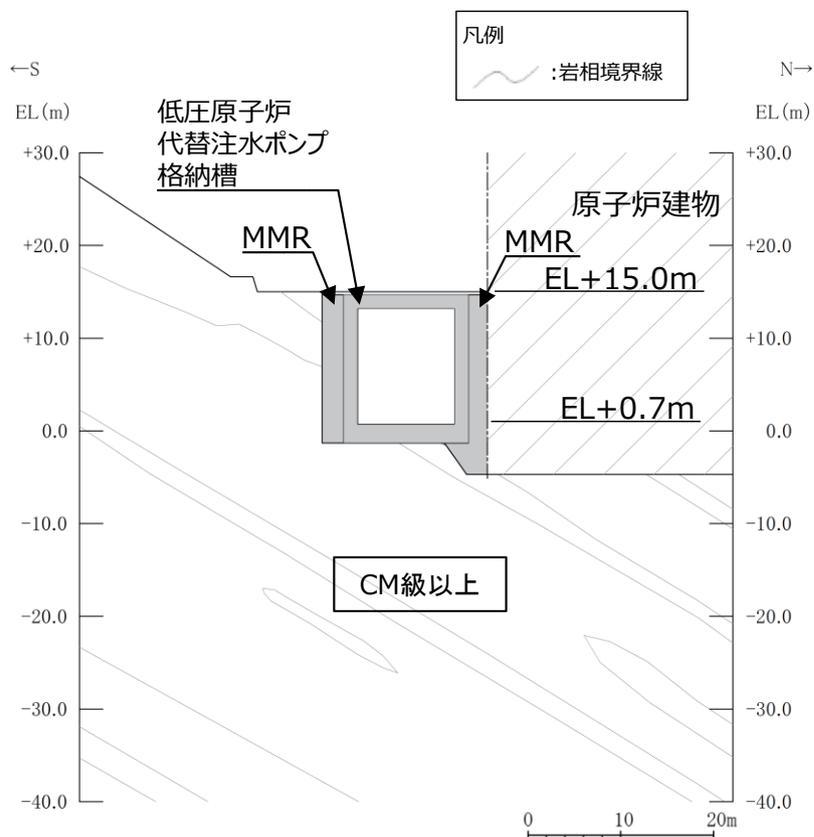
第 6-2-27 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (①-①断面)



第 6-2-28 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-29図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 岩級断面図 (①-①断面)



第6-2-30図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 岩級断面図 (②-②断面)

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-3表）。

第6-2-3表 耐震評価候補断面の整理（低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽）（1/2）

観点		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽			
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持	・貯水	・間接支持 ・貯水	
	間接支持する設備	設備	・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 弁 他	・なし	・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 弁 他
		設置状況	・設備毎に異なる	-	・設備毎に異なる
②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面		・強軸方向断面	
		・鉄筋コンクリート造の地中構造物			
		・中床版を有する	・水槽により構成される	・隔壁及び中床版を有する	
	寸法	・幅13.40m, 高さ16.00～19.60m	・幅13.40m, 高さ16.00m	・幅26.60m, 高さ16.00～21.19m	

第6-2-3表 耐震評価候補断面の整理（低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽）（2/2）

観点		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽		
		①-①断面	②-②断面	③-③断面
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている	
		構造物側部及び上部	・周辺に埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している	
			・MMRは高さ約16.0mで、概ね矩形である	
	地質変化部	・なし		
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		
モデル化する隣接構造物	・原子炉建物	・第1ベントフィルタ格納槽		
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である			
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、①-①及び③-③断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一樣であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる			

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.5 第1ベントフィルタ格納槽

第1ベントフィルタ格納槽の配置図を第6-2-31図に、平面図を第6-2-32図に、縦断図を第6-2-33図に、断面図を第6-2-34図～第6-2-35図に、地質断面図を第6-2-36図～第6-2-37図に、岩級断面図を第6-2-38図～第6-2-39図にそれぞれ示す。

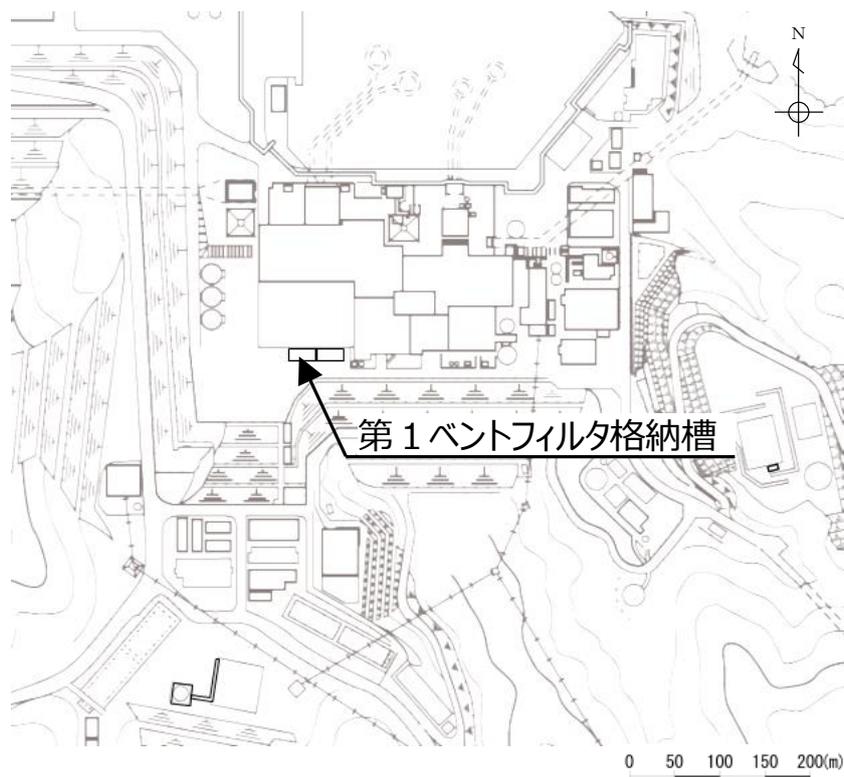
第1ベントフィルタ格納槽は、常設重大事故等対処設備である第1ベントフィルタスクラバ容器等の間接支持機能及び遮蔽機能が要求される。

第1ベントフィルタ格納槽は、延長24.6m、幅13.4m、高さ14.0m～18.7mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

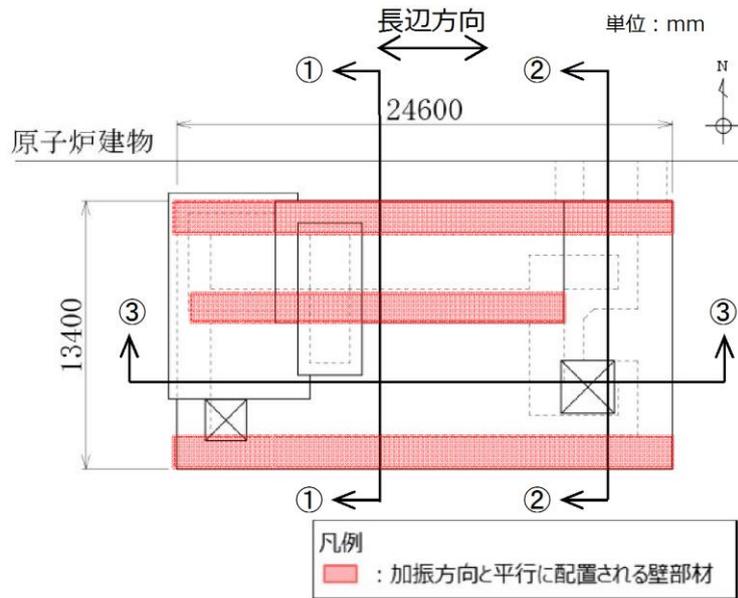
第1ベントフィルタ格納槽はMMR（マンメイドロック）を介してCM級以上の岩盤に支持されている。

長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向に平行に配置される壁の割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。

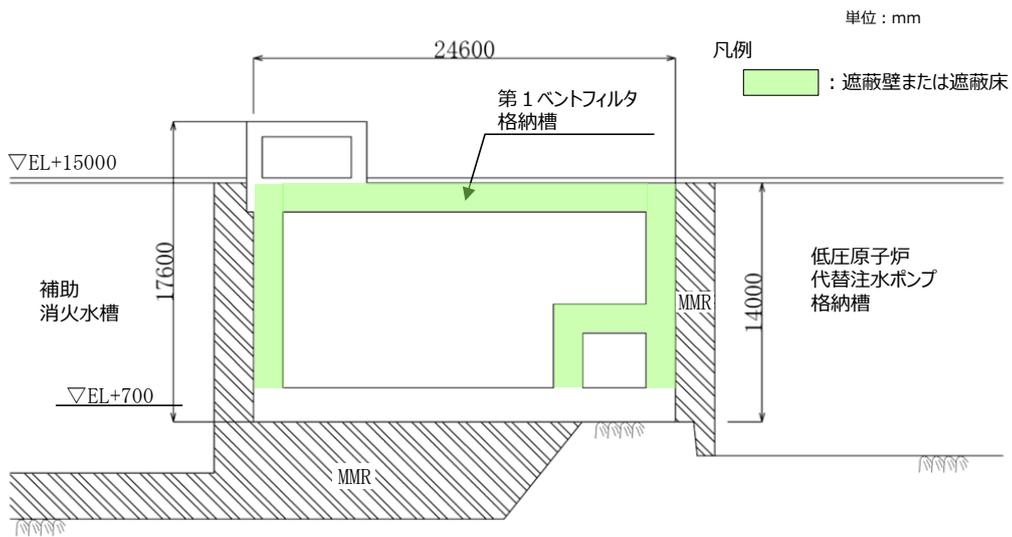
第1ベントフィルタ格納槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



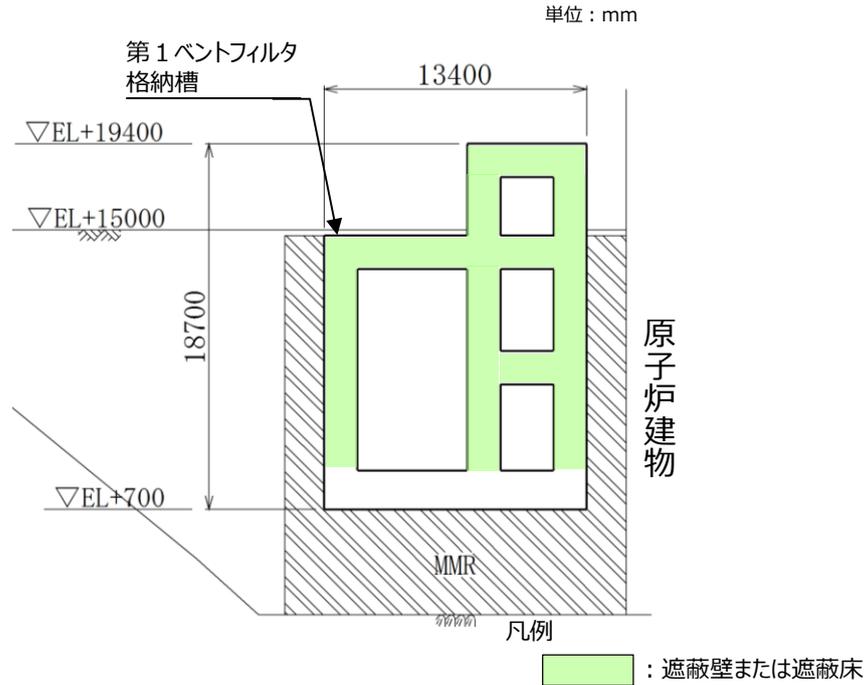
第6-2-31図 第1ベントフィルタ格納槽 配置図



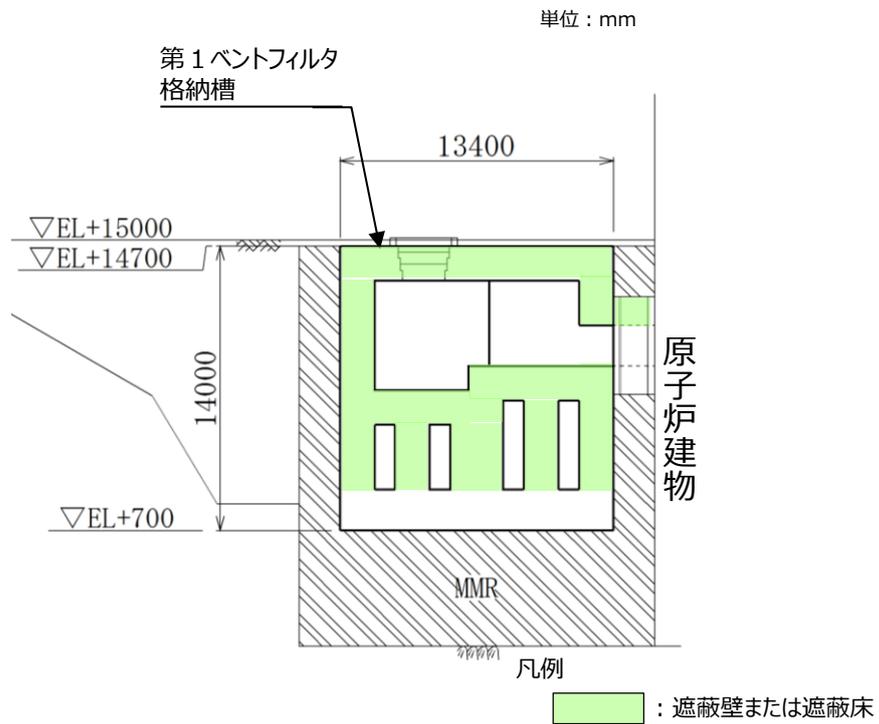
第6-2-32 図 第1 ベントフィルタ格納槽 平面図



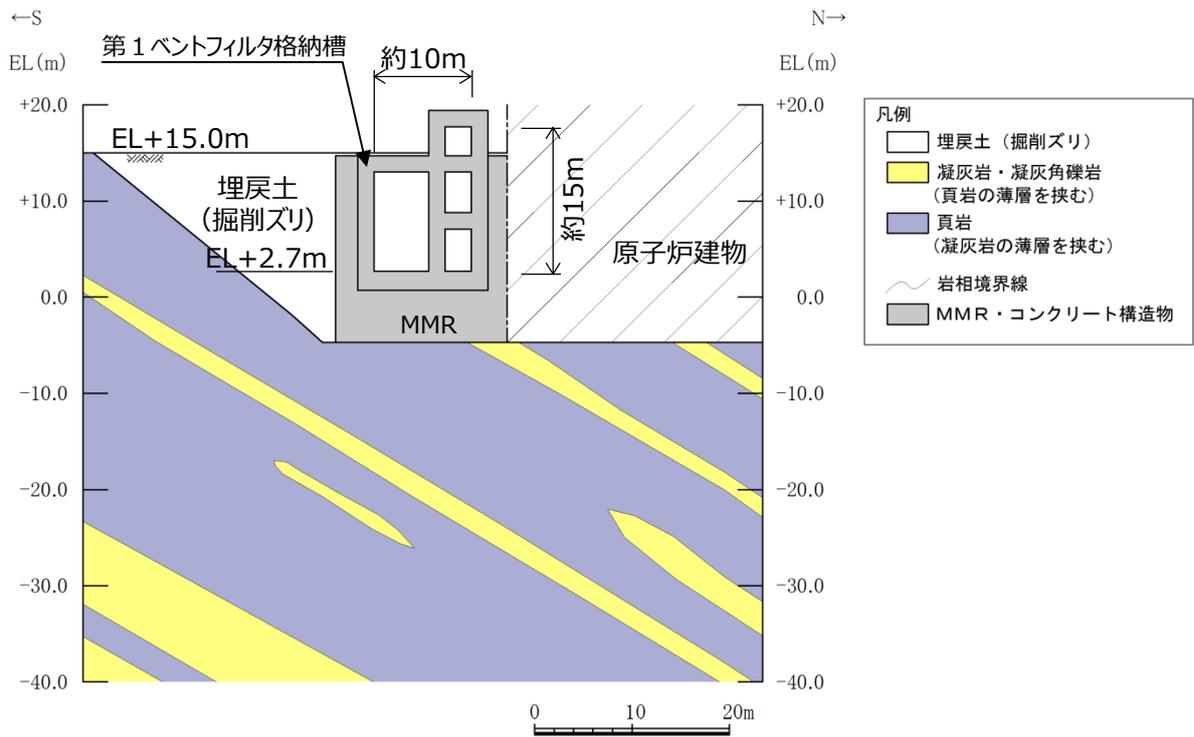
第6-2-33 図 第1 ベントフィルタ格納槽 縦断図 (③-③断面)



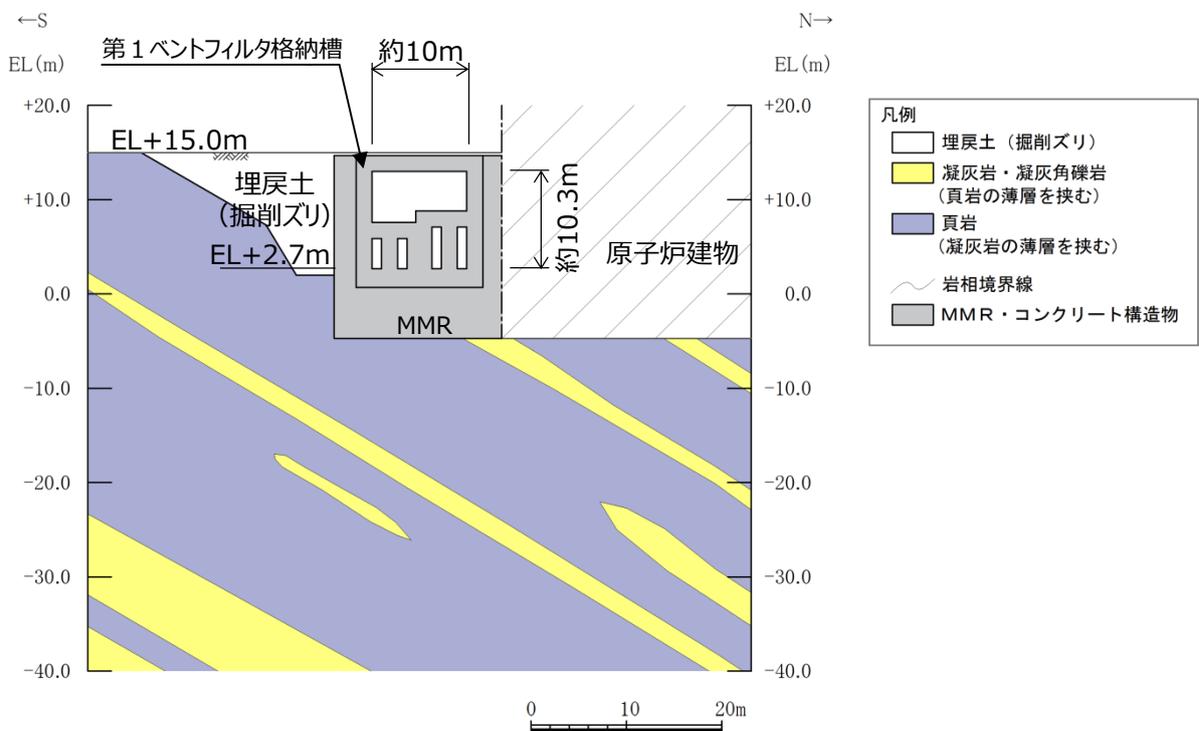
第6-2-34図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図(①-①断面)



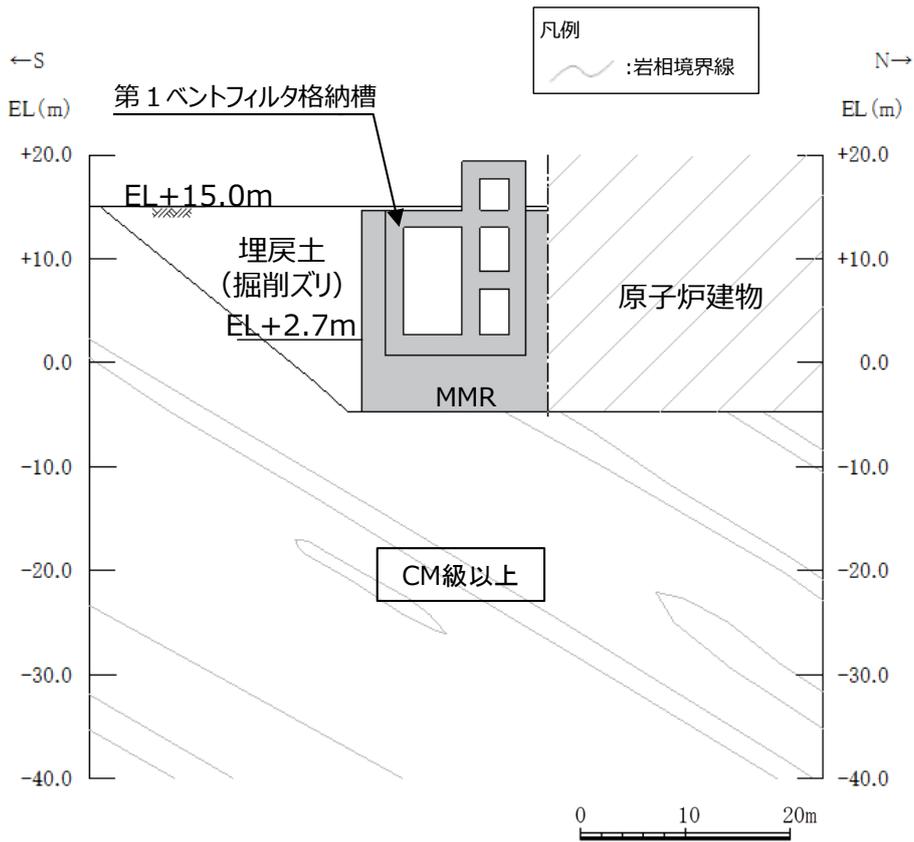
第6-2-35図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図(②-②断面)



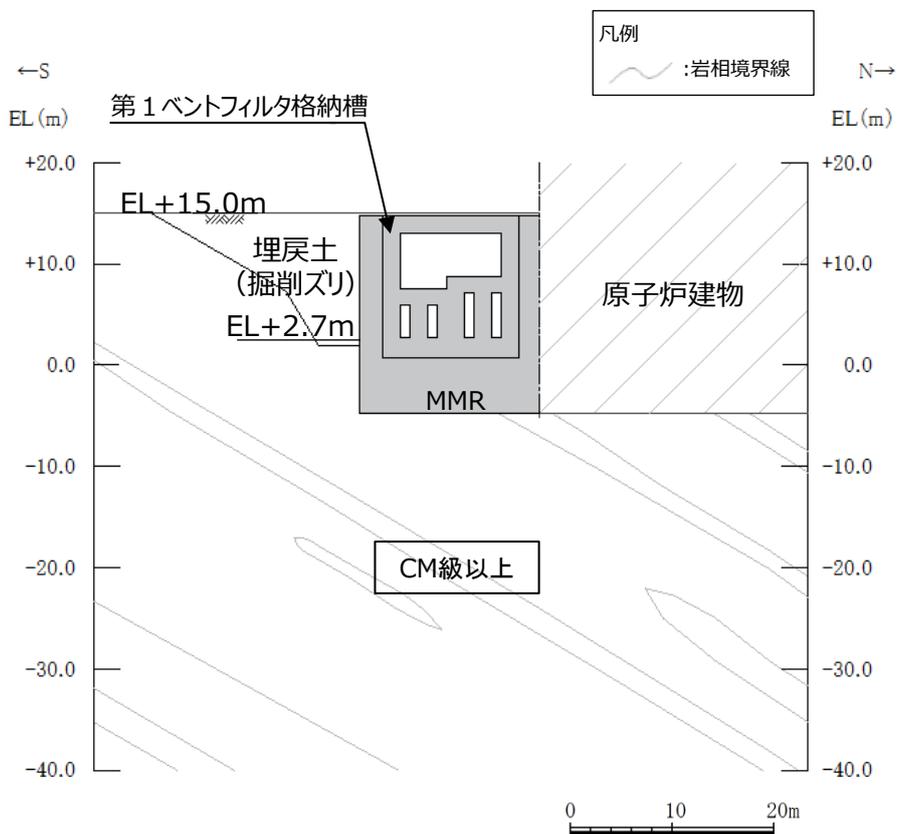
第6-2-36 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-37 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-38図 第1ベントフィルタ格納槽 岩級断面図 (①-①断面)



第6-2-39図 第1ベントフィルタ格納槽 岩級断面図 (②-②断面)

第1 ベントフィルタ格納槽について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-4表）。

第6-2-4表 耐震評価候補断面の整理（第1 ベントフィルタ格納槽）（1/2）

観点		第1 ベントフィルタ格納槽		
		①-①断面	②-②断面	③-③断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	<ul style="list-style-type: none"> ・間接支持 ・遮蔽 		
	間接支持する設備	<ul style="list-style-type: none"> ・第1 ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁他 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1 ベントフィルタ銀ゼオライト容器 ・格納容器フィルタベント系配管・弁他 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1 ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・第1 ベントフィルタ銀ゼオライト容器他
	設置状況	・設備毎に異なる。		
②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面		・強軸方向断面
		・鉄筋コンクリート造の地中構造物		
	寸法	・幅13.40m, 高さ14.00～18.70m	・幅13.40m, 高さ14.00m	・幅24.60m, 高さ14.00～17.60m

第6-2-4表 耐震評価候補断面の整理（第1 ベントフィルタ格納槽）（2/2）

観点		第1 ベントフィルタ格納槽		
		①-①断面	②-②断面	③-③断面
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている	
		構造物側部及び上部	・MMRは高さ約5.7mで矩形及び台形状である	
		地質変化部	・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している	
			・MMRは高さ約14.0m～19.7mで矩形である	
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		
	モデル化する隣接構造物	・原子炉建物	・補助消火水槽	・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である			
⑤床応答特性	<ul style="list-style-type: none"> ・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる 			

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点を整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.6 緊急時対策所用燃料地下タンク

緊急時対策所用燃料地下タンクの配置図を第6-2-40図に、平面図を第6-2-41図に、縦断図を第6-2-42図に、断面図を第6-2-43図に、地質断面図を第6-2-44図に、岩級断面図を第6-2-45図にそれぞれ示す。

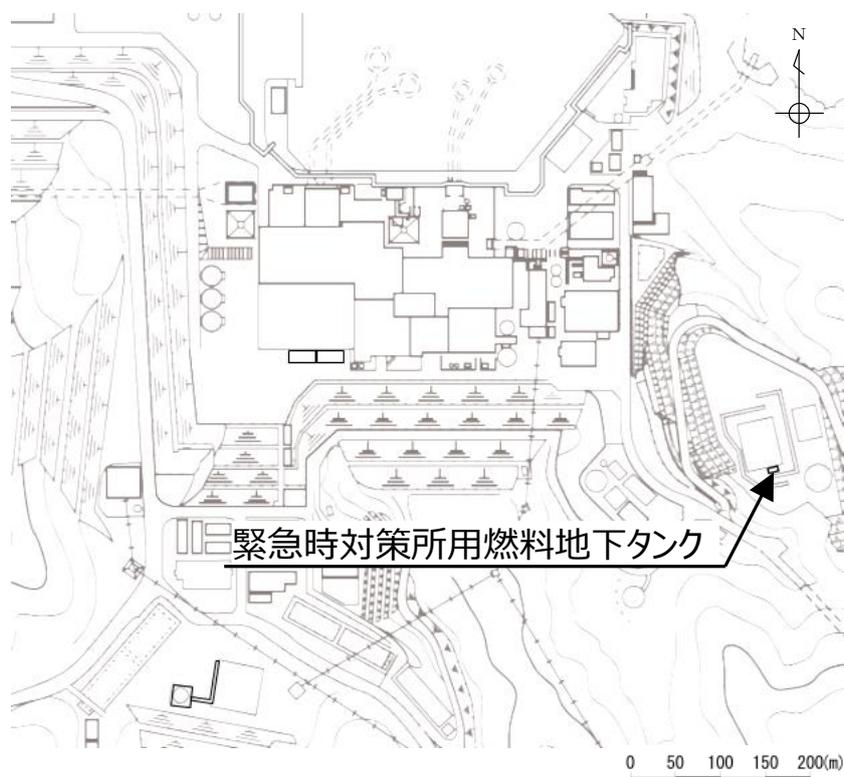
緊急時対策所用燃料地下タンクは、常設重大事故緩和設備であり、鉄筋コンクリート躯体及びライナ（鋼製タンク）で構成され、非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される構造物である。なお、要求性能を期待する部位は、鉄筋コンクリート躯体及びライナ（鋼製タンク）である。

緊急時対策所用燃料地下タンクは、延長12.8m、幅3.85m、高さ3.9mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

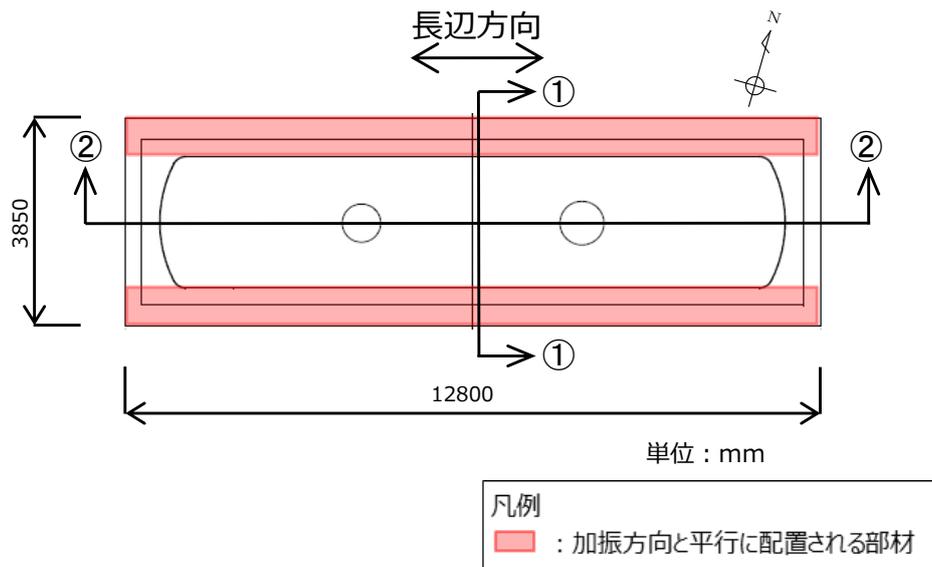
緊急時対策所用燃料地下タンクは、CM級以上の岩盤に直接支持されている。

長辺方向（東西断面）に加振した場合は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に配置される壁の割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。

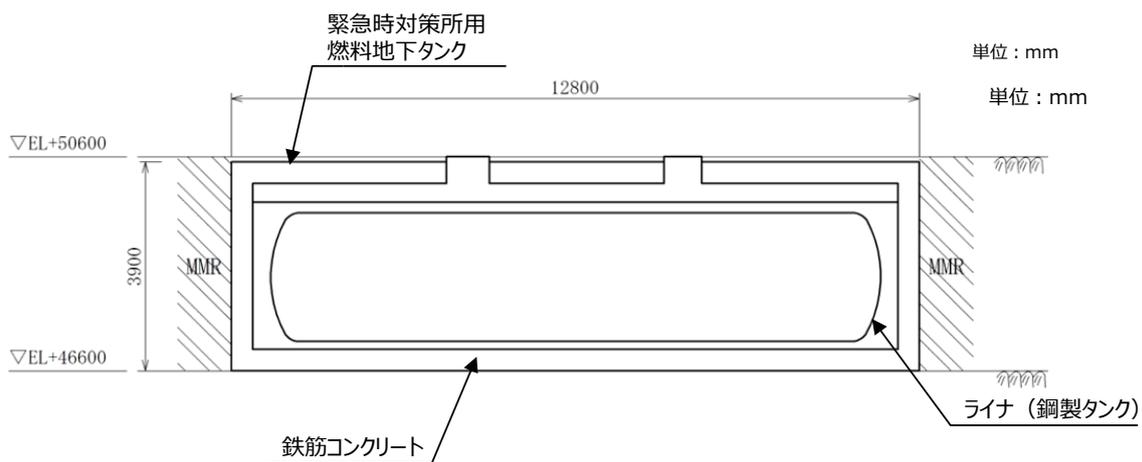
緊急時対策所用燃料地下タンクの弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。



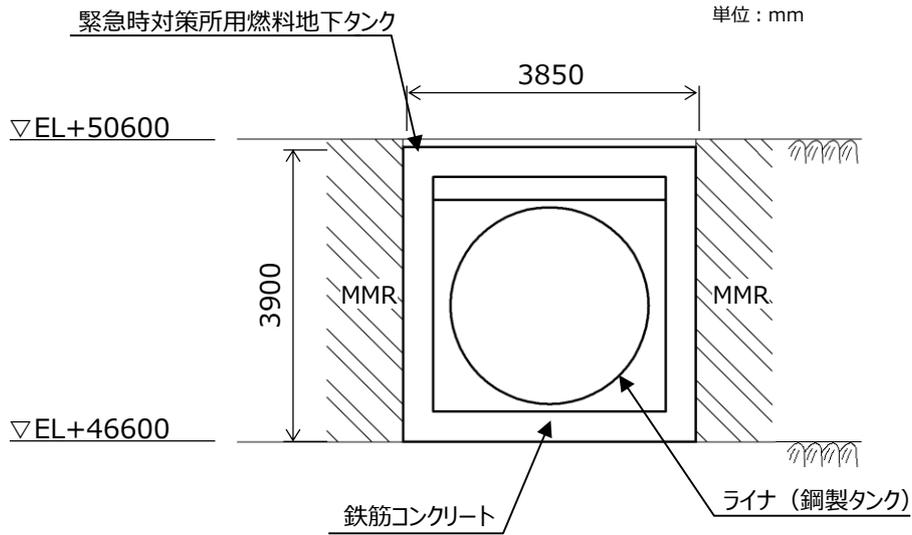
第6-2-40図 緊急時対策所用燃料地下タンク 配置図



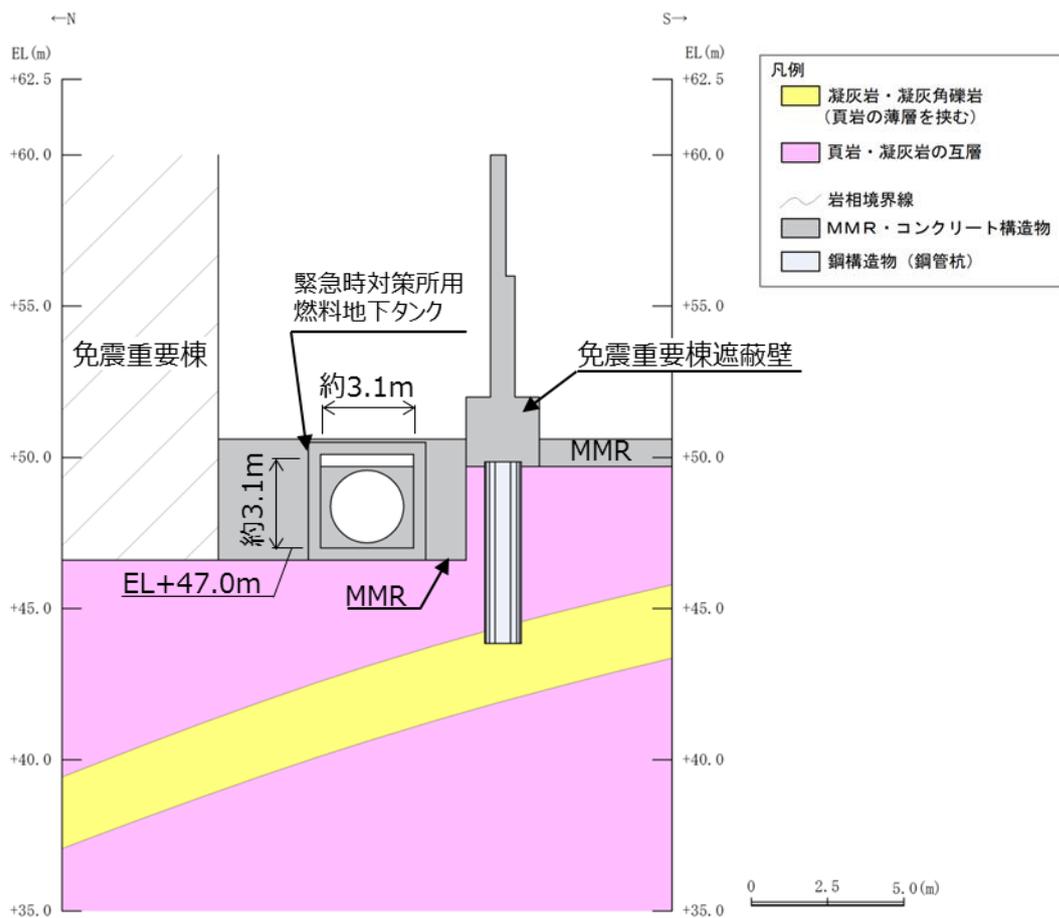
第 6-2-41 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図



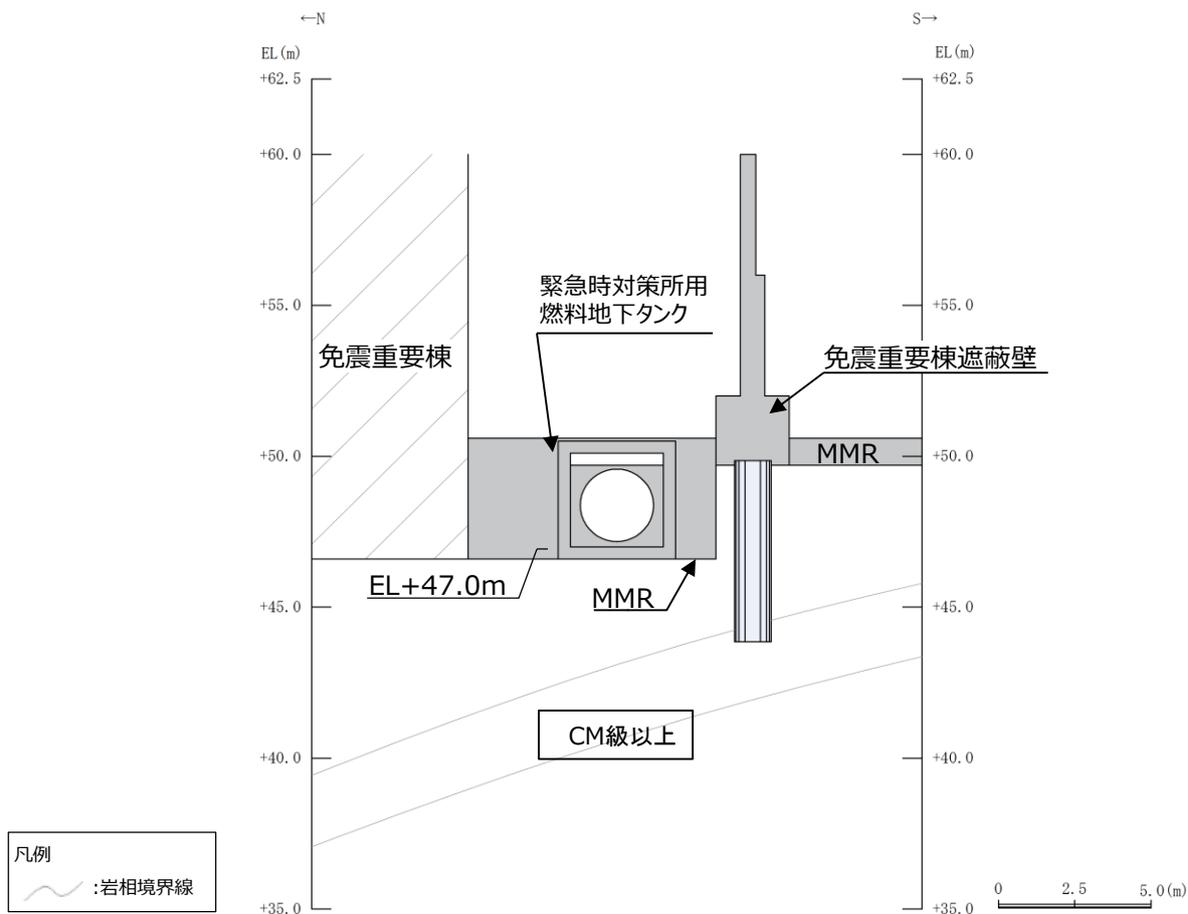
第 6-2-42 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 縦断図 (②-②断面)



第 6-2-43 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (①-①断面)



第 6-2-44 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 地質断面図 (①-①断面)



第 6-2-45 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 岩級断面図 (①-①断面)

緊急時対策所用燃料地下タンクについて、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-5表）。

第6-2-5表 耐震評価候補断面の整理（緊急時対策所用燃料地下タンク）（1/2）

観点			緊急時対策所用燃料地下タンク	
			①-①断面	②-②断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能		・非常用発電装置に係る燃料の貯蔵	
	間接支持する設備	設備	・なし	
		設置状況	-	
②構造的特徴	形式		・弱軸方向断面	・強軸方向断面
			・鉄筋コンクリート造の地中構造物	
	寸法		・幅3.85m, 高さ3.90m	・幅12.80m, 高さ3.90m

第6-2-5表 耐震評価候補断面の整理（緊急時対策所用燃料地下タンク）（2/2）

観点			緊急時対策所用燃料地下タンク	
			①-①断面	②-②断面
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている	
		構造物側部及び上部	・MMRが分布している	
			・MMRは高さ約4.0mで、矩形である	
	地質変化部	・なし		
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		
	モデル化する隣接構造物	・なし		
④地震波の伝搬特性			・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は概ね一様であり、地震波の伝搬特性は一様である	
⑤機器・配管系の振動特性			・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない	

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.7 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）

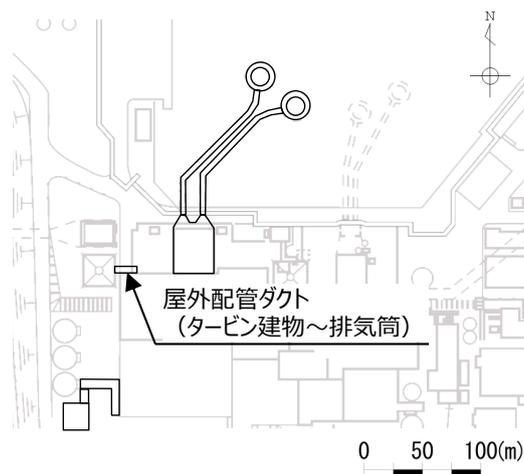
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の配置図を第6-2-46図に、平面図を第6-2-47図に、縦断図を第6-2-48図に、断面図を第6-2-49図～第6-2-52図に、地質断面図を第6-2-53図に、地質縦断図を第6-2-54図に、岩級縦断図を第6-2-55図にそれぞれ示す。

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、Sクラス設備である非常用ガス処理系配管・弁等の間接支持機能が要求される。

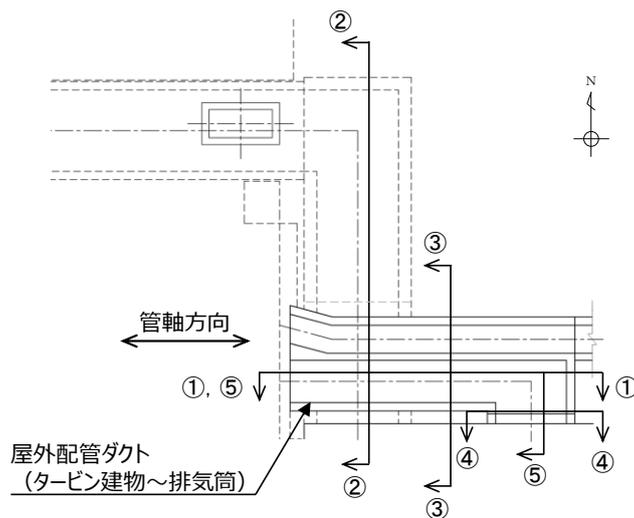
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、延長約20mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅6.7m、高さ3.1mの2連のボックスカルバート構造、幅6.2m、高さ3.6mのボックスカルバート構造に大別される延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-49図～第6-2-52図）。

間接支持する配管の管軸方向と平行に配置される壁部材が多いので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となる。

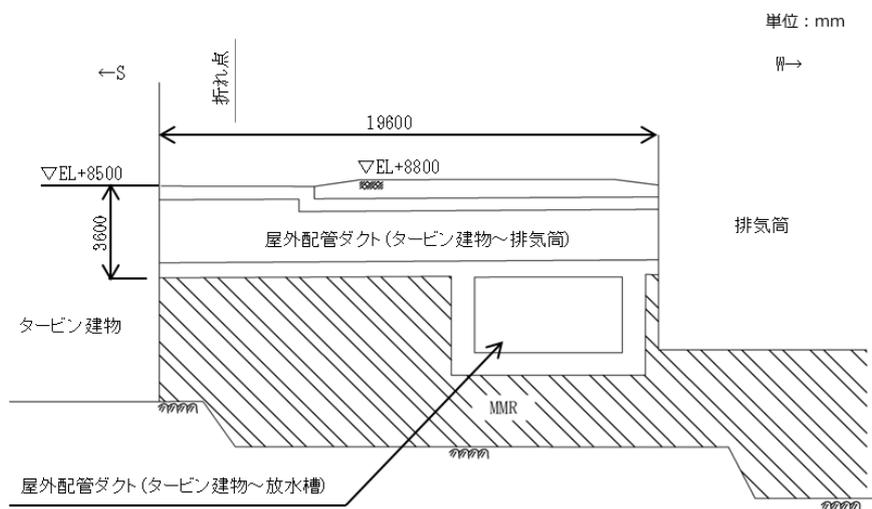
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。



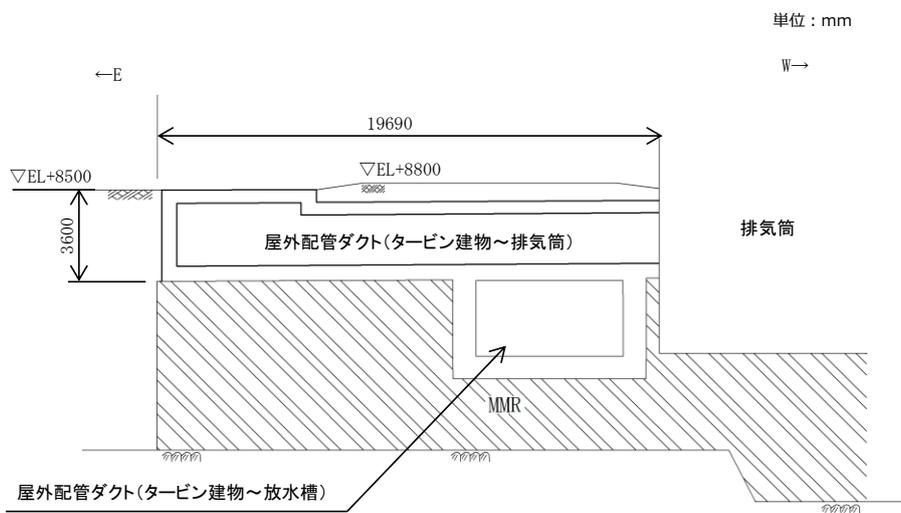
第6-2-46図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 配置図



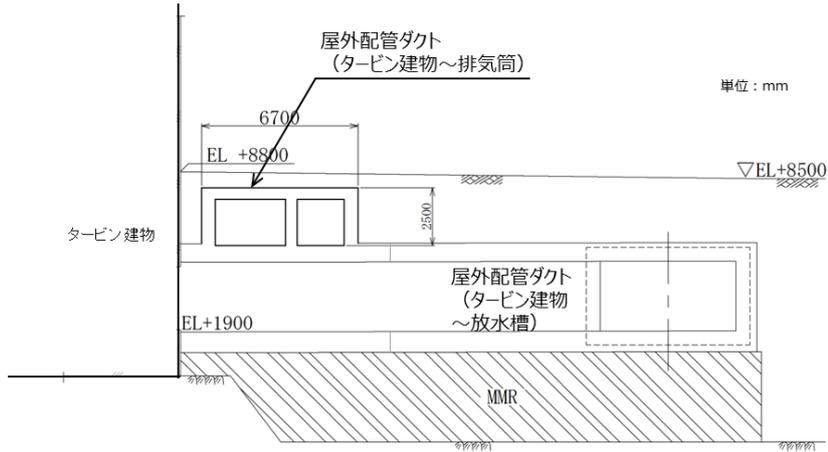
第6-2-47図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 平面図



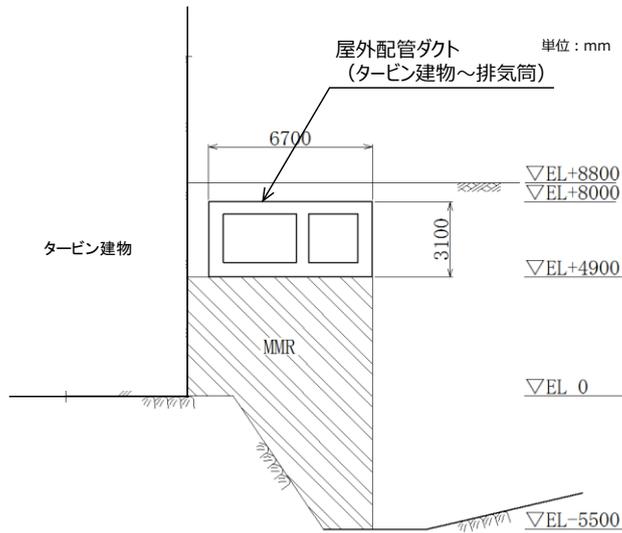
第6-2-48図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦断面図 (⑤-⑤断面)



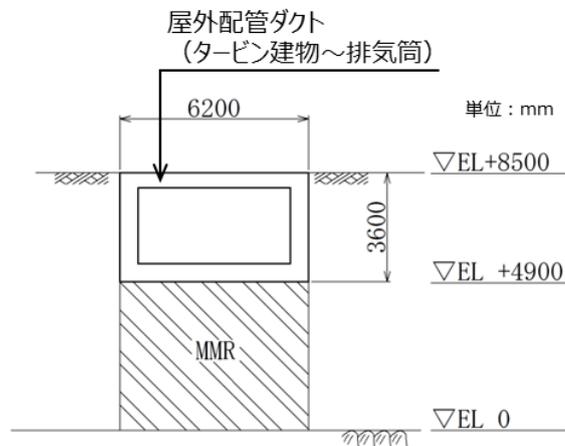
第6-2-49図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦断面図 (①-①断面)



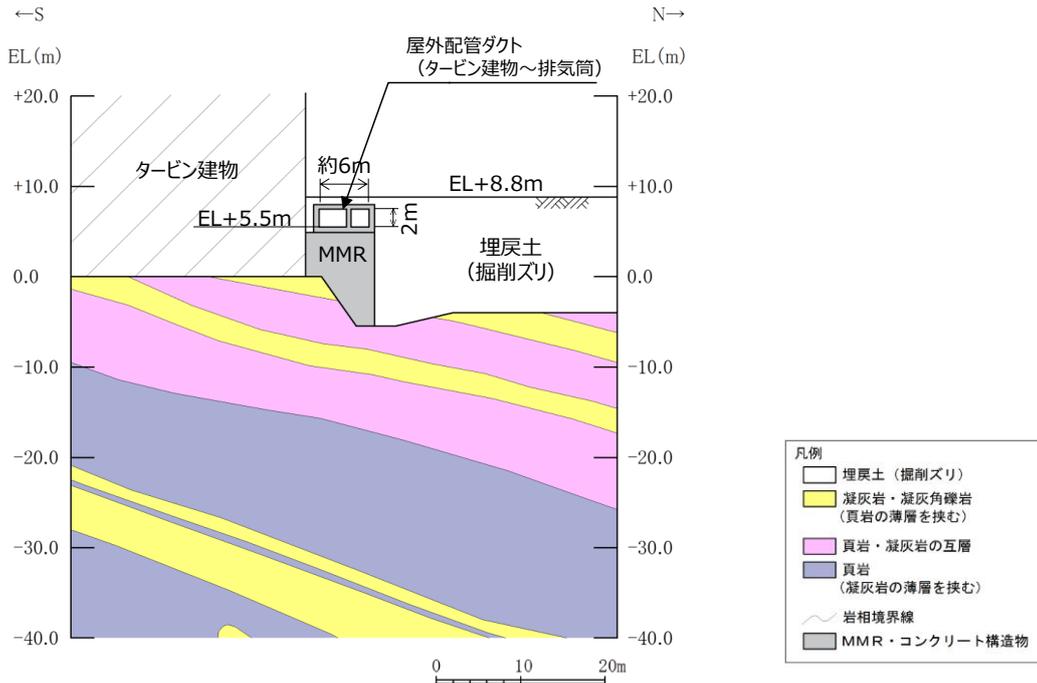
第6-2-50図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (②-②断面)



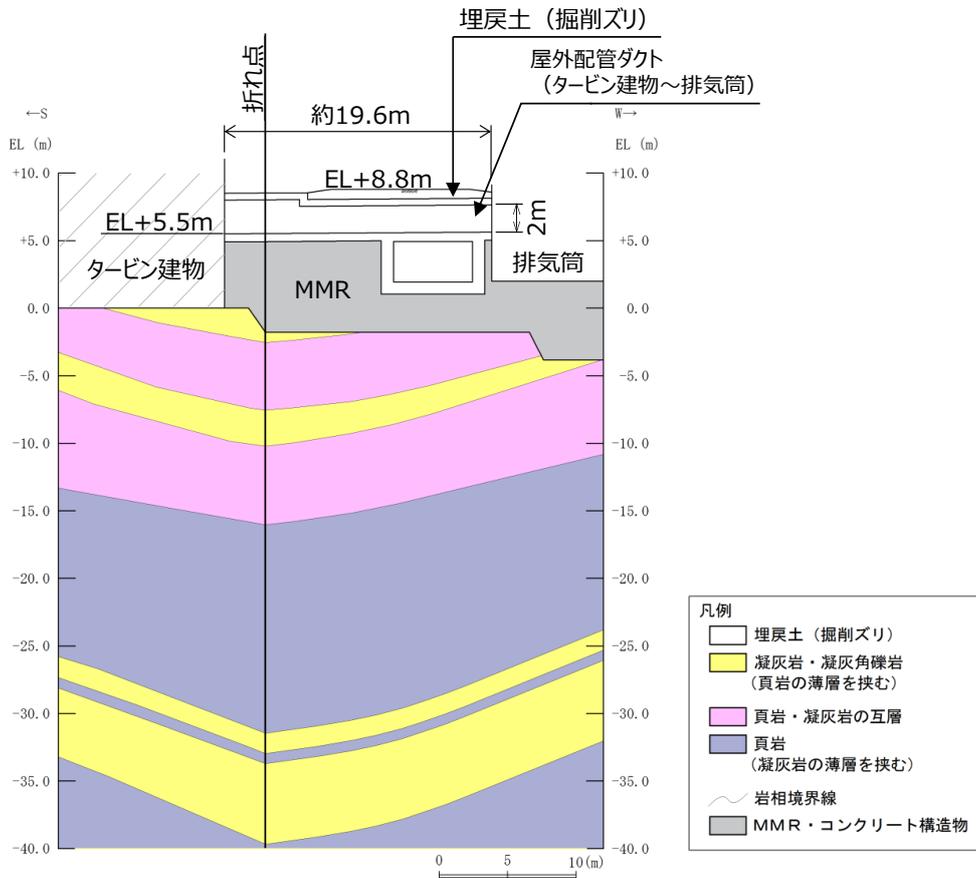
第6-2-51図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (③-③断面)



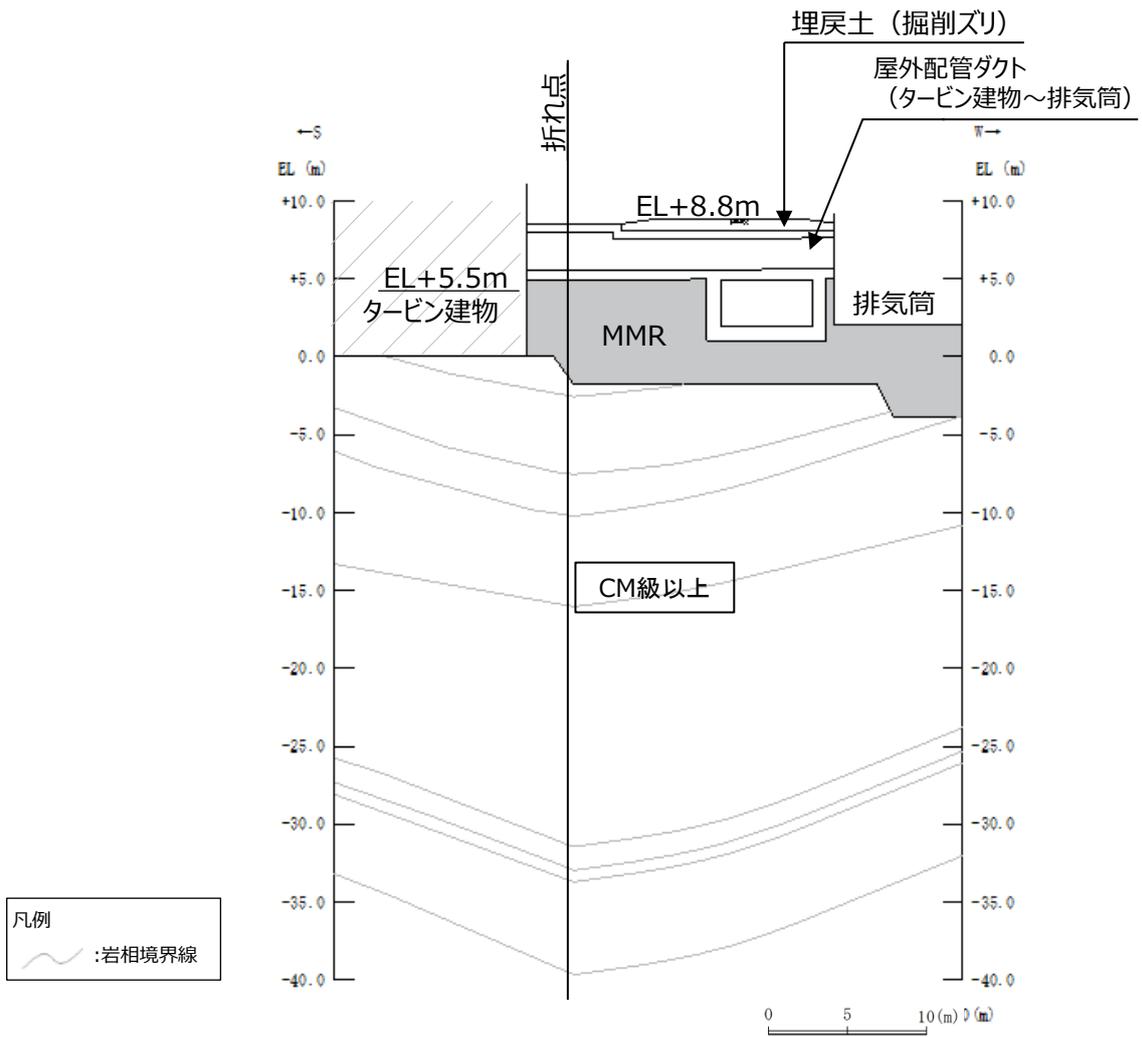
第6-2-52図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (④-④断面)



第6-2-53図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 地質断面図 (③-③断面)



第6-2-54図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 地質縦断面図 (⑤-⑤断面)



第6-2-55図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）岩級縦断図（⑤-⑤断面）

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-6表）。

第6-2-6表 耐震評価候補断面の整理
（屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒））（1/2）

観点		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）			
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持			
	間接支持する設備	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ガス処理系 配管, 弁 ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管, 弁 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送系 配管, 弁 			
	設置状況	・延長方向に一樣に配置されている			
②構造的特徴	形式	・強軸方向断面	・弱軸方向断面		
		・鉄筋コンクリート造の地中構造物			
		・ボックスカルバート	・2連のボックスカルバート		・ボックスカルバート
	・底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）弱軸方向断面の頂版の一部と一体化している	・底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）強軸方向断面の頂版の一部と一体化している	—		
寸法	・幅19.60m, 高さ3.60m	・幅6.70m, 高さ2.50m	・幅6.70m, 高さ3.10m	・幅6.20m, 高さ3.60m	

第6-2-6表 耐震評価候補断面の整理
（屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒））（2/2）

観点		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）				
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている			
		構造物側部及び上部	・埋戻土（掘削スリ）が分布している			
		地質変化部	・なし			
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。				
	モデル化する隣接構造物	・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は排気筒と構造物目で接続されており、排気筒の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない	・タービン建物		・なし	
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる					
⑤床応答特性	<ul style="list-style-type: none"> ・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一樣であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる 					

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.8 燃料移送系配管ダクト

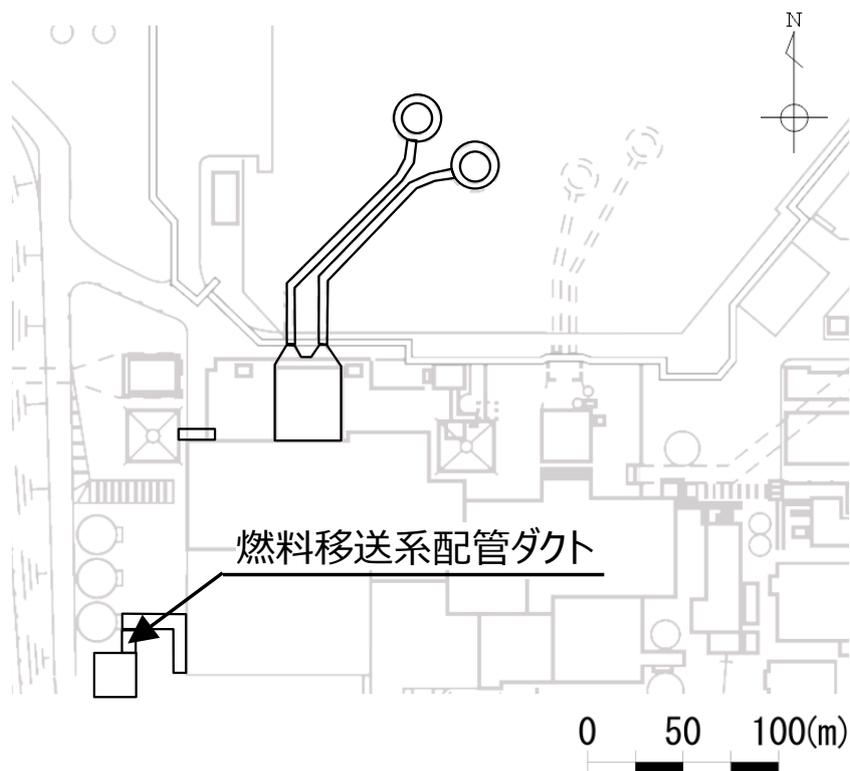
燃料移送系配管ダクトの配置図を第6-2-56図に、平面図を第6-2-57図に、縦断図を第6-2-58図に、断面図を第6-2-59図～第6-2-60図に、地質断面図を第6-2-61図に、地質縦断図を第6-2-62図に、岩級縦断図を第6-2-63図にそれぞれ示す。

燃料移送系配管ダクトは、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁の間接支持機能が要求される。

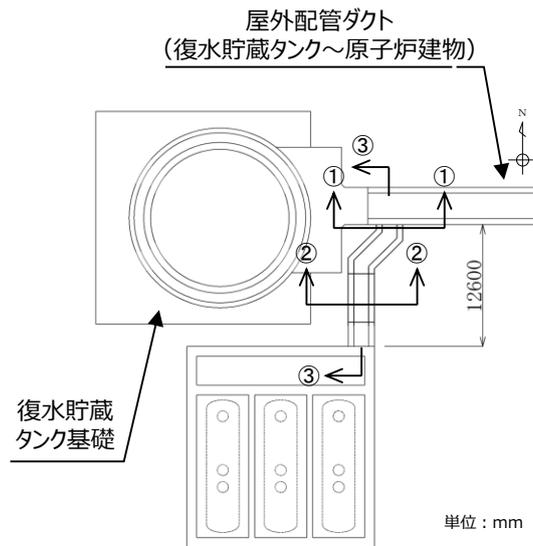
燃料移送系配管ダクトは、延長12.6mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅2.7m、高さ3.55～4.25mのボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-59図～第6-2-60図）。

燃料移送系配管ダクトは、一部MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

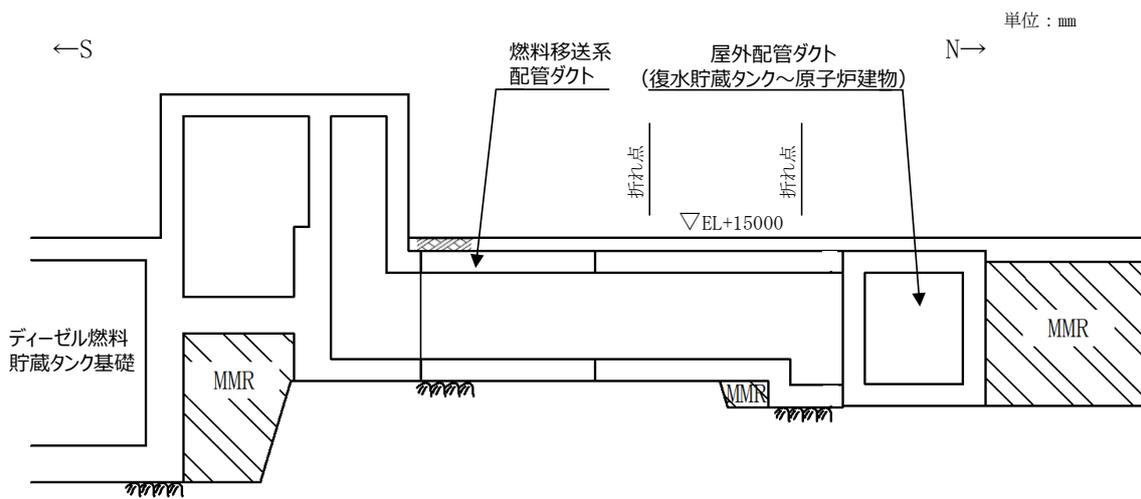
間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となり、管軸直交方向が弱軸となる。



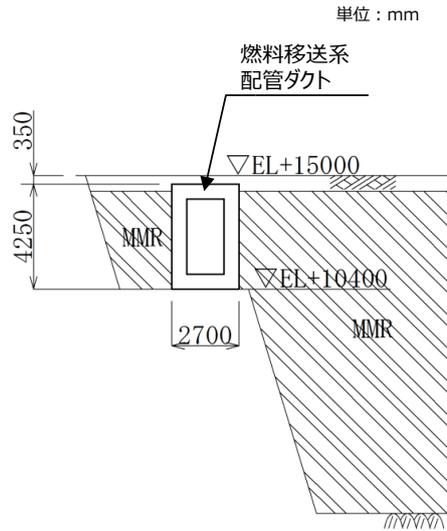
第6-2-56図 燃料移送系配管ダクト 配置図



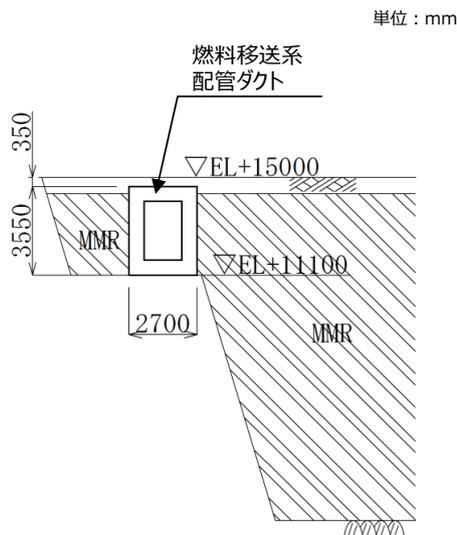
第 6-2-57 図 燃料移送系配管ダクト 平面図



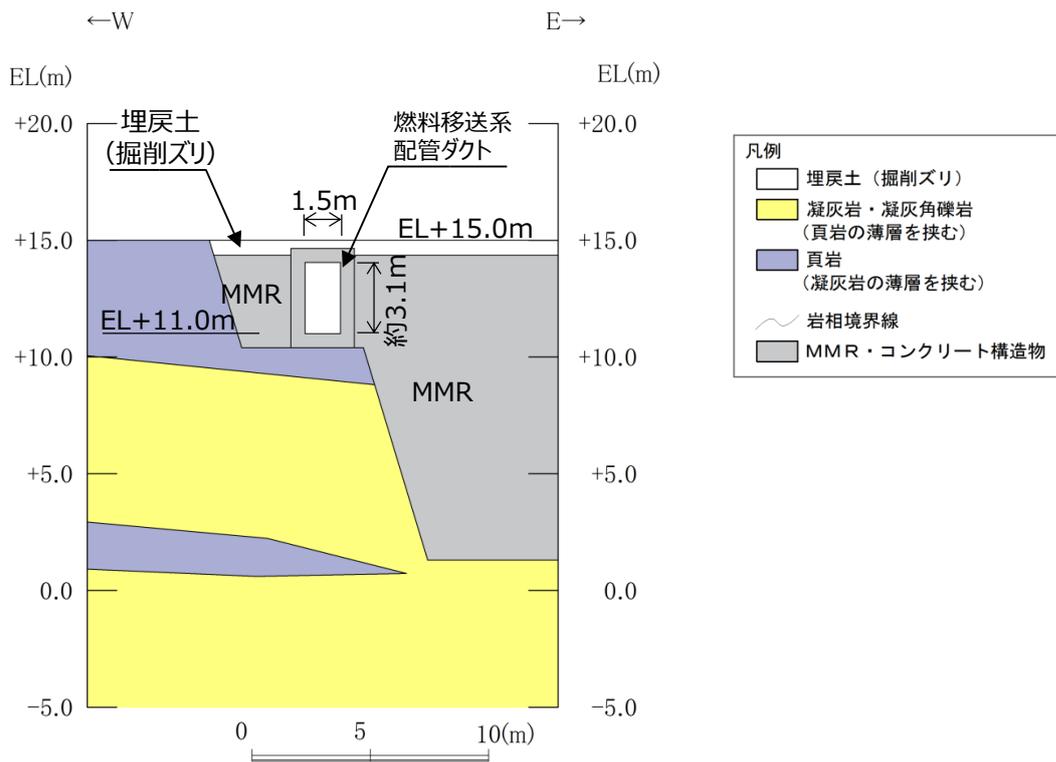
第 6-2-58 図 燃料移送系配管ダクト 縦断図 (③-③断面)



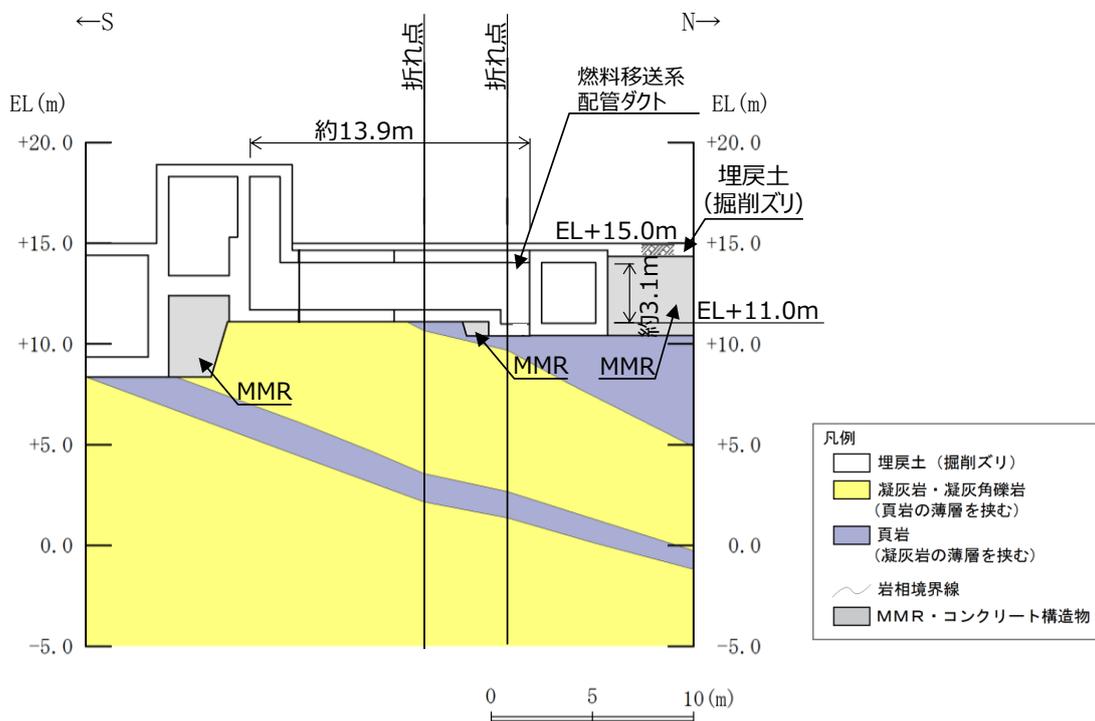
第 6-2-59 図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (①-①断面)



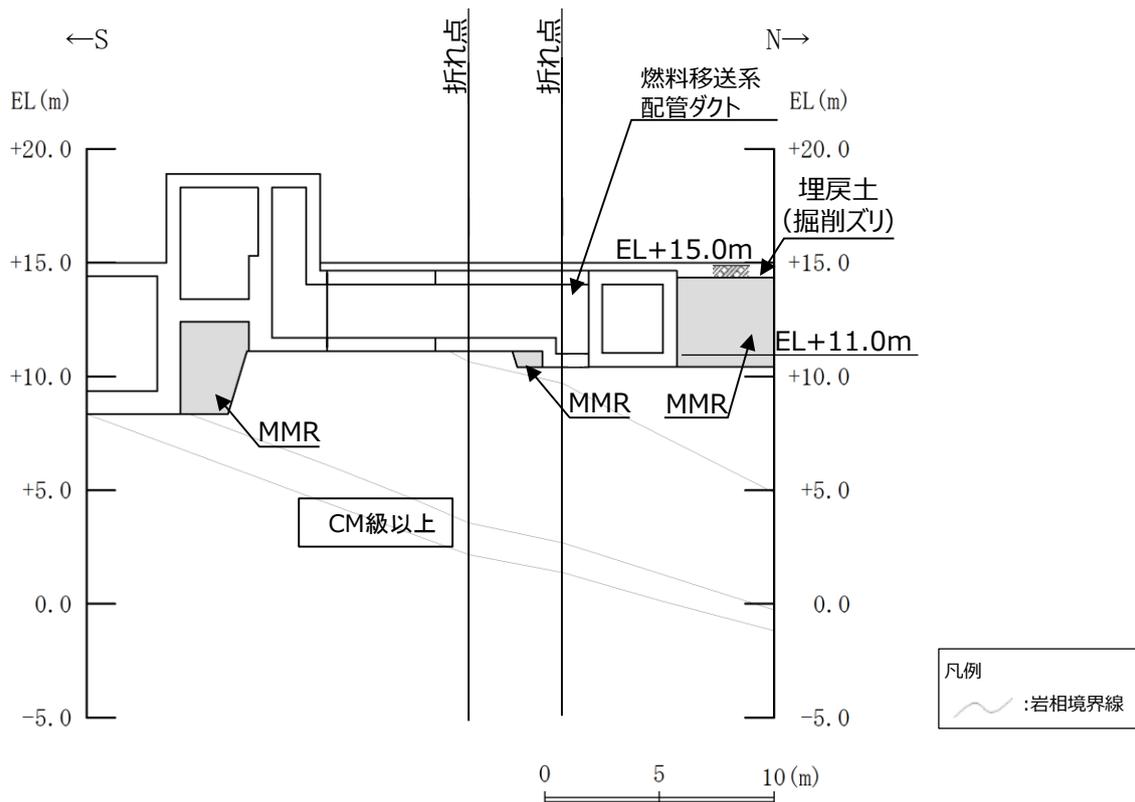
第 6-2-60 図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (②-②断面)



第6-2-61図 燃料移送系配管ダクト 地質断面図(①-①断面)



第6-2-62図 燃料移送系配管ダクト 地質縦断面図(③-③断面)



第6-2-63図 燃料移送系配管ダクト 岩級縦断面図 (③-③断面)

燃料移送系配管ダクトについて、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-7表）。

第6-2-7表 耐震評価候補断面の整理（燃料移送系配管ダクト）

観点		燃料移送系配管ダクト	
		①-①断面	②-②断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持	
	間接支持する設備	設備	・非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁
		設置状況	・延長方向に一樣に配置されている
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物	
		・ボックスカルバート	
	寸法	・幅2.70m, 高さ4.25m	・幅2.70m, 高さ3.55m
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・一部MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている
		構造物側部及び上部	・周辺に埋戻土（掘削ズリ）及びMMRが分布している
			・MMRは高さ約3.6m～13.1mで、台形状である
	地質変化部	・なし	
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。	
モデル化する隣接構造物	・なし		
④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異はなく、地震波の伝搬特性は一樣である	
⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況並びに周辺状況は一樣であるが、構造的特徴に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる	

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.9 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）

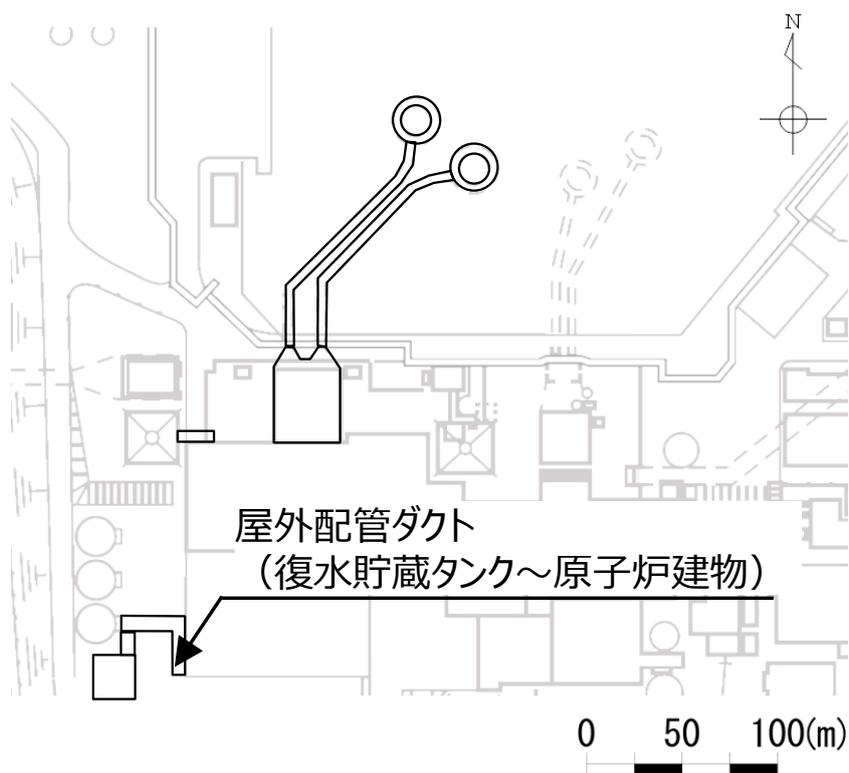
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）の配置図を第6-2-64図に、平面図を第6-2-65図に、縦断図を第6-2-66図に、断面図を第6-2-67図～第6-2-70図に、地質断面図を第6-2-71図～第6-2-72図に、地質縦断図を第6-2-73図に、岩級縦断図を第6-2-74図にそれぞれ示す。

屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁の間接支持機能が要求される。

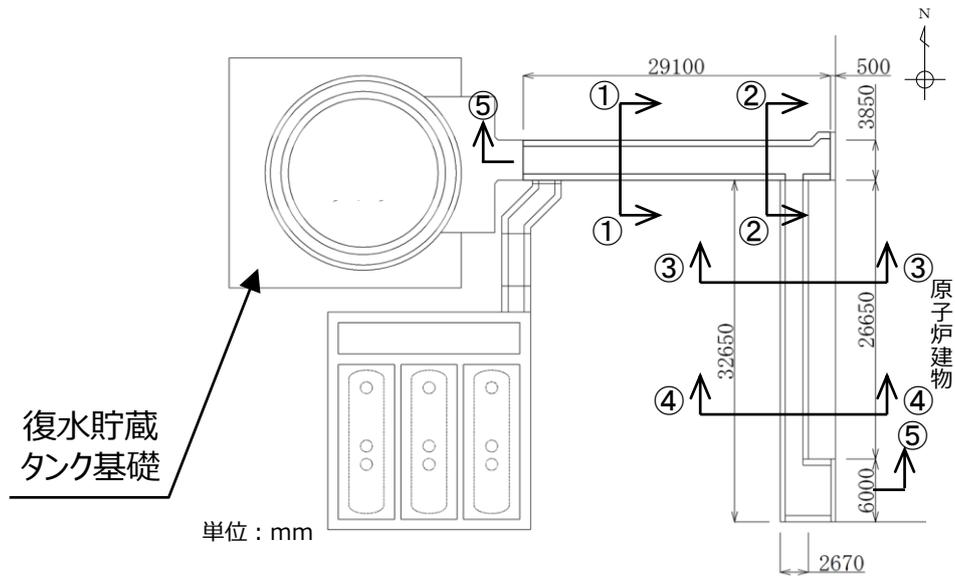
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は、延長約62mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅2.670m～3.850m、高さ3.739m～4.246mのボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-67図～第6-2-70図）。

屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

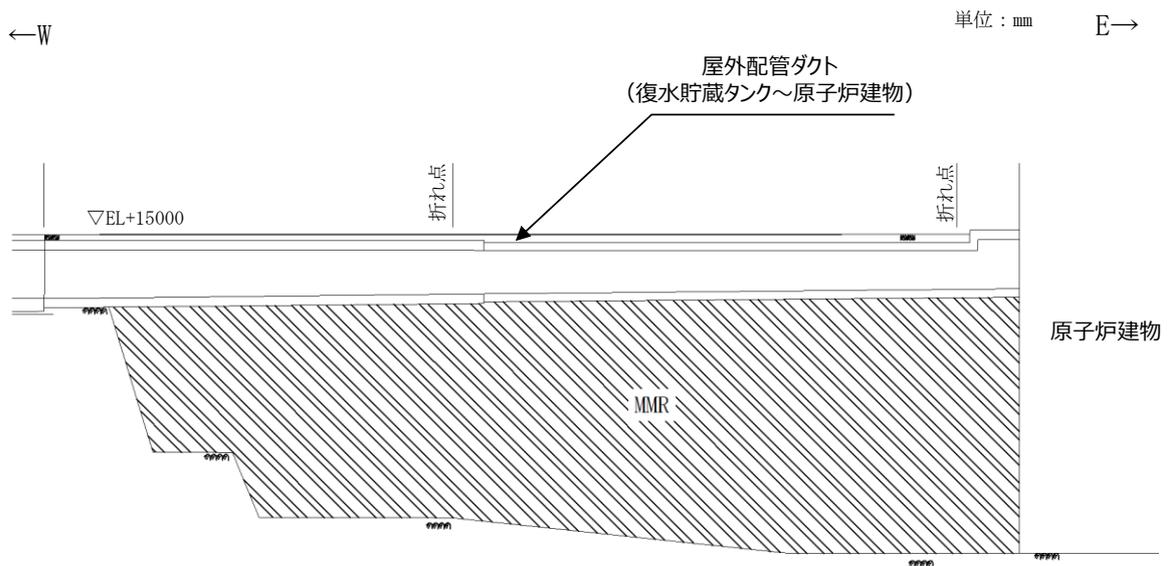
間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となり、管軸直交方向が弱軸となる。



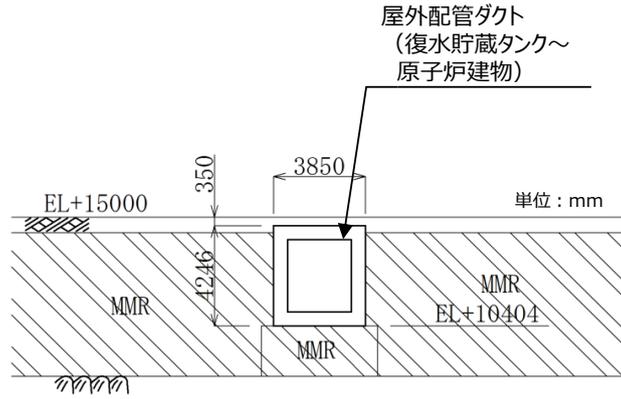
第6-2-64図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 配置図



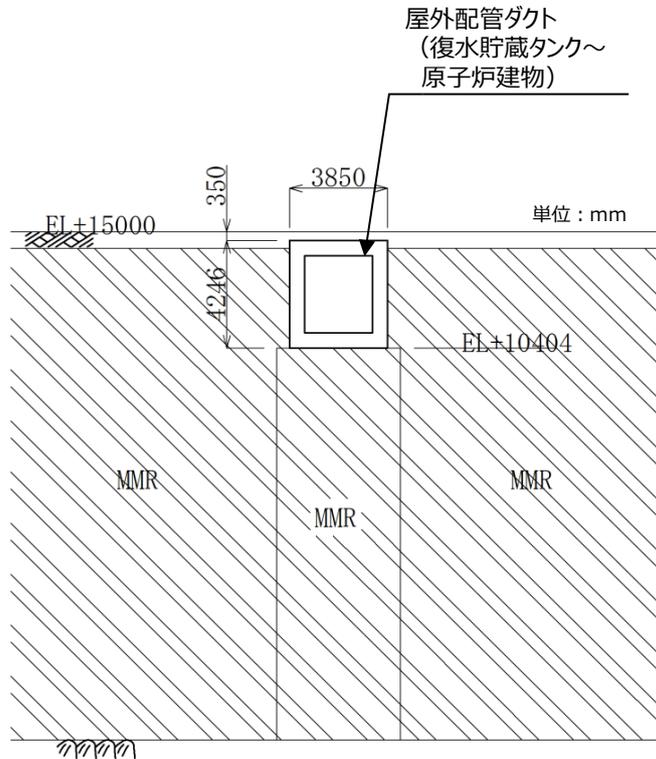
第 6-2-65 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 平面図



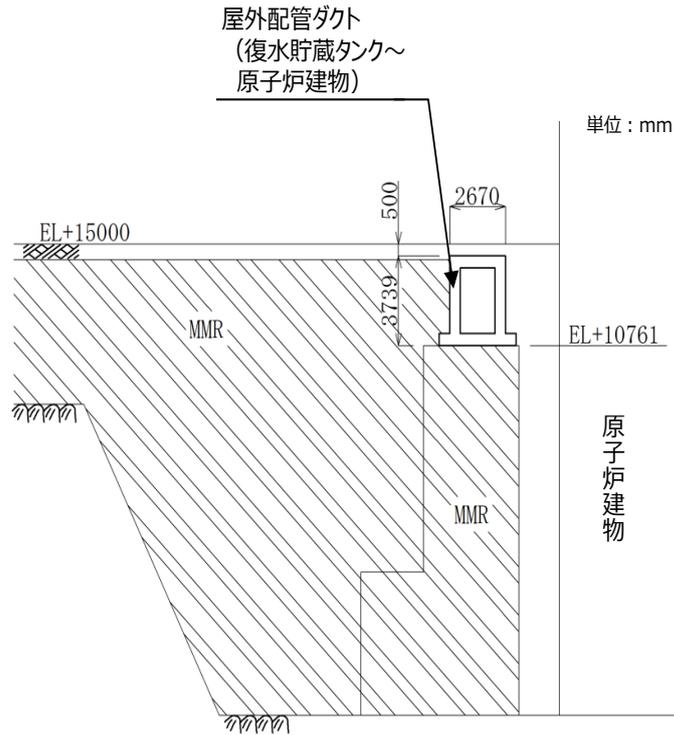
第 6-2-66 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
縦断図（⑤-⑤断面）



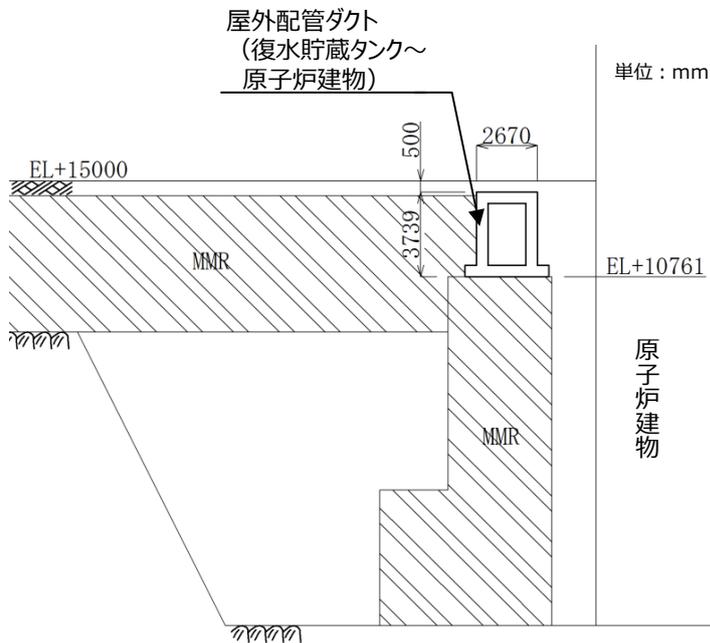
第 6-2-67 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (①-①断面)



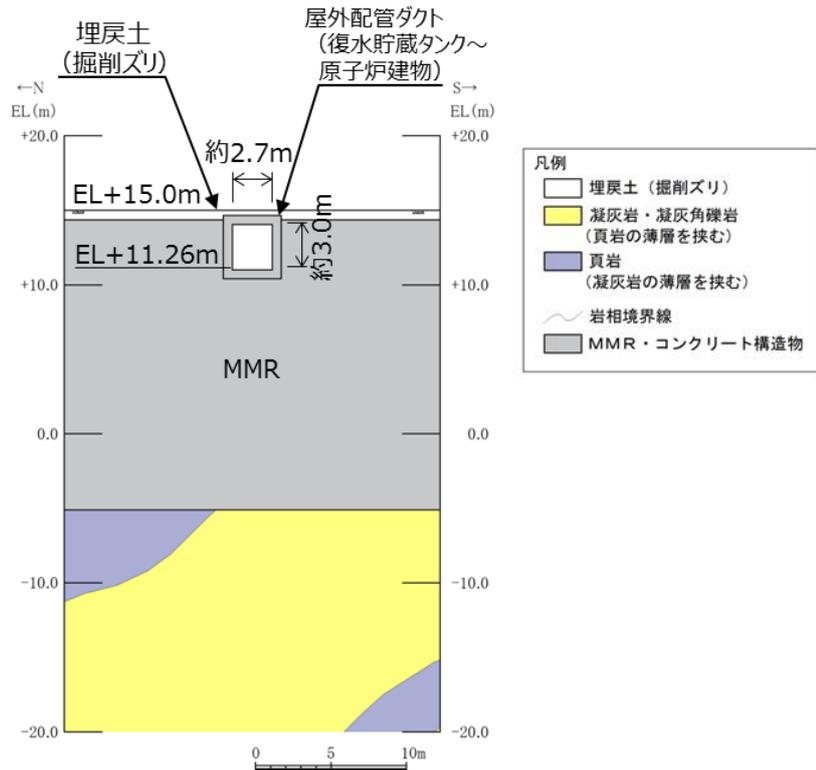
第 6-2-68 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (②-②断面)



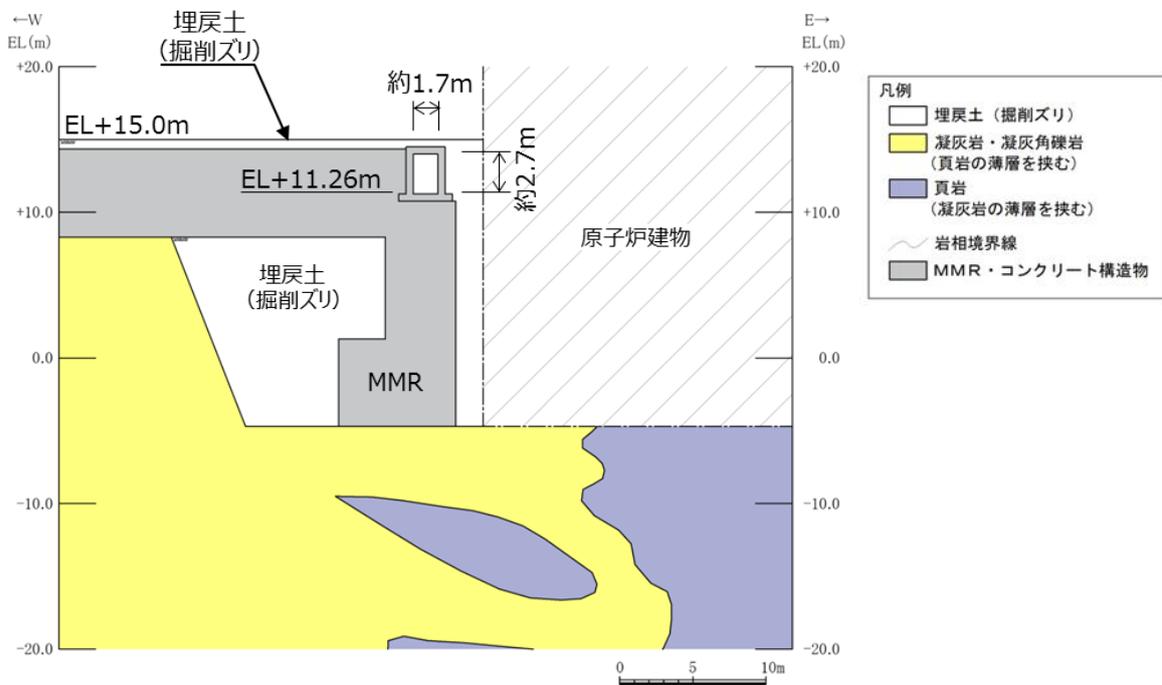
第6-2-69 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (③-③断面)



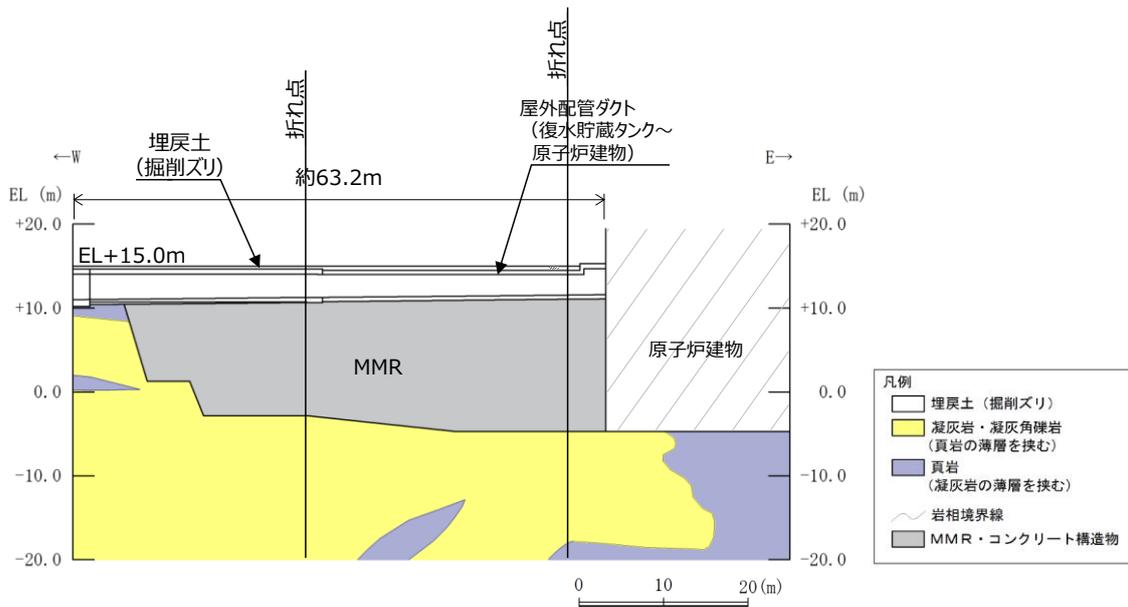
第6-2-70 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (④-④断面)



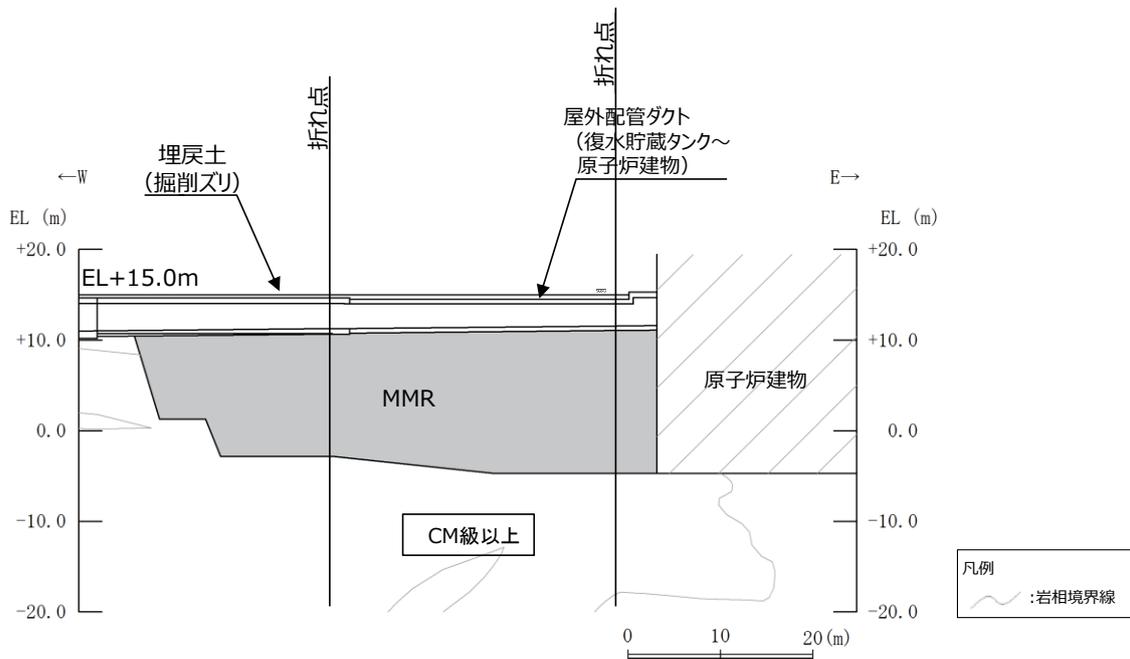
第 6-2-71 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
地質断面図（②-②断面）



第 6-2-72 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
地質断面図（④-④断面）



第6-2-73図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
地質縦断面図 (⑤-⑤断面)



第6-2-74図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)
岩級縦断面図 (⑤-⑤断面)

屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-8表）。

第6-2-8表 耐震評価候補断面の整理
（屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物））（1/2）

観点		屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）			
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持			
	間接支持する設備	設備	・非常用ディーゼル発電設備燃料移送系 配管・弁		
		設置状況	・延長方向に一樣に配置されている		
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物			
		・ボックスカルバート			
	寸法	・幅3.85m, 高さ4.25m		・幅2.67m, 高さ3.74m	

第6-2-8表 耐震評価候補断面の整理
（屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物））（2/2）

観点		屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）				
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている			
		構造物側部及び上部	・MMRは高さ約2.1m及び15.5mで一樣に分布している		・MMRは高さ約15.5mで西側に一樣に分布している	・MMRは高さ約15.5mでL字形である
			・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している		・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している	
	地質変化部	・MMRは高さ約6.1m及び19.5mで一樣に分布している		・MMRは高さ約19.1mで西側に一樣に分布している	・MMRは高さ約3.6mで西側に一樣に分布している	
		・なし				
		地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。			
モデル化する隣接構造物	・なし		・原子炉建物			
④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる				
⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一樣であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる				

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.10 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）

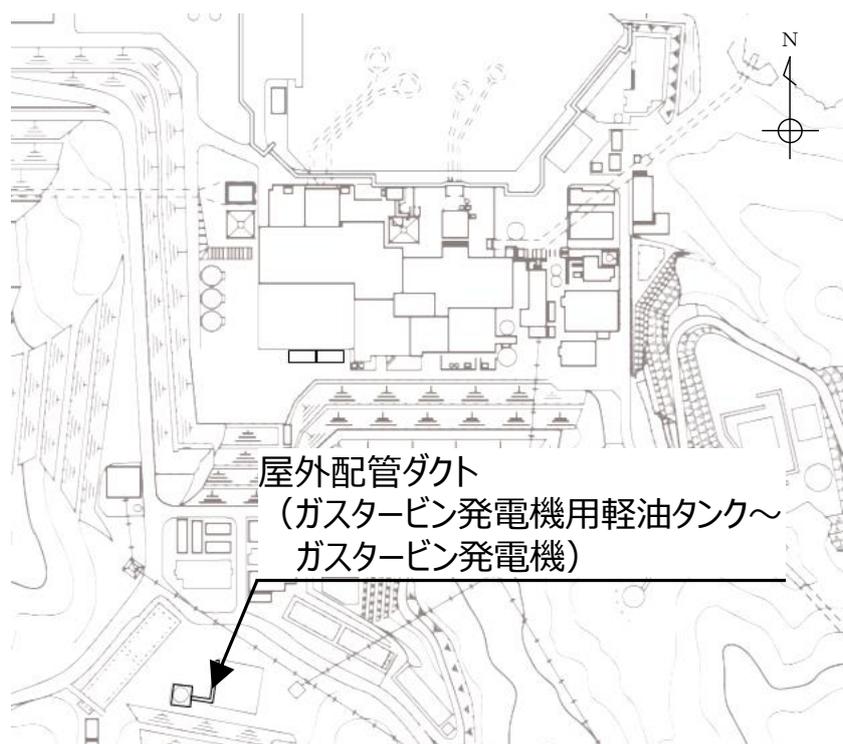
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の配置図を第6-2-75図に，平面図を第6-2-76図に，縦断図を第6-2-77図に，断面図を第6-2-78～第6-2-80図に，地質断面図を第6-2-81図に，地質縦断図を第6-2-82図に，岩級縦断図を第6-2-83図にそれぞれ示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は，Sクラス設備であるガスタービン発電機用燃料移送配管・弁の間接支持機能が要求される。

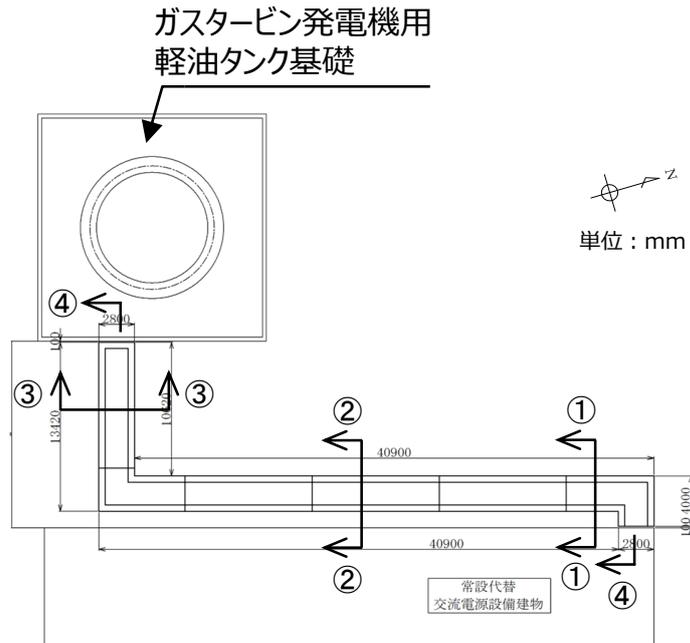
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は，延長58.32m，幅2.8m，高さ1.8mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，延長方向に断面の変化がない線状構造物である（第6-2-78～第6-2-80図）。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は，MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

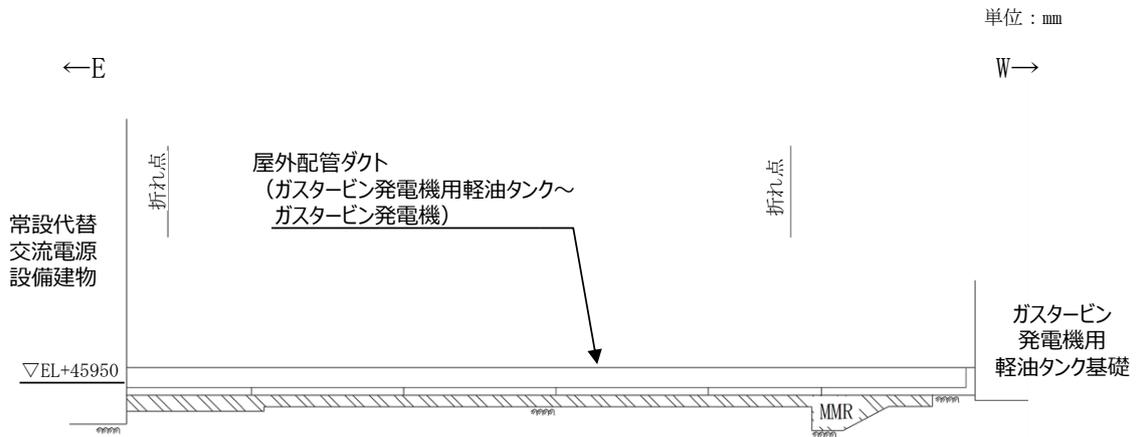
間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので，間接支持する配管の管軸方向が強軸となり，管軸直交方向が弱軸となる。



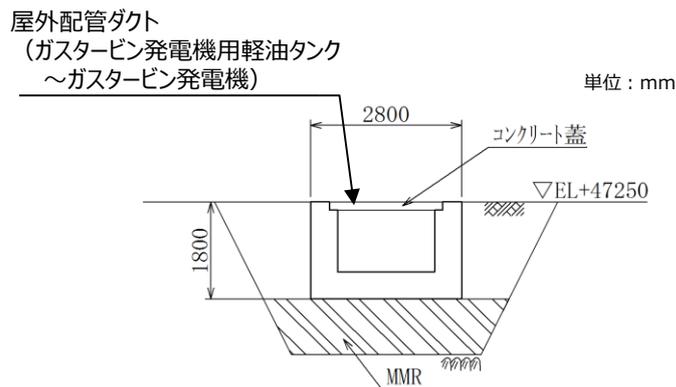
第6-2-75図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 配置図



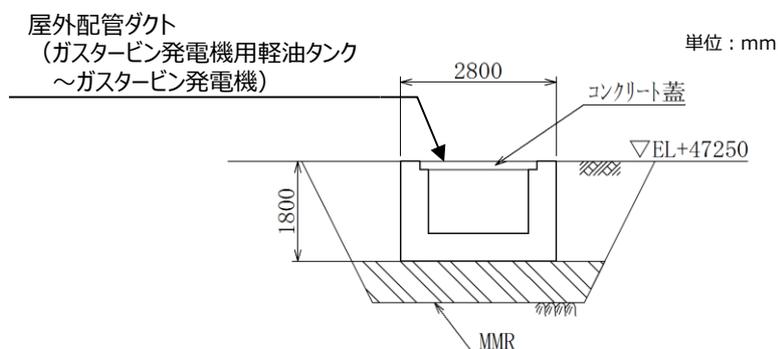
第6-2-76図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 平面図



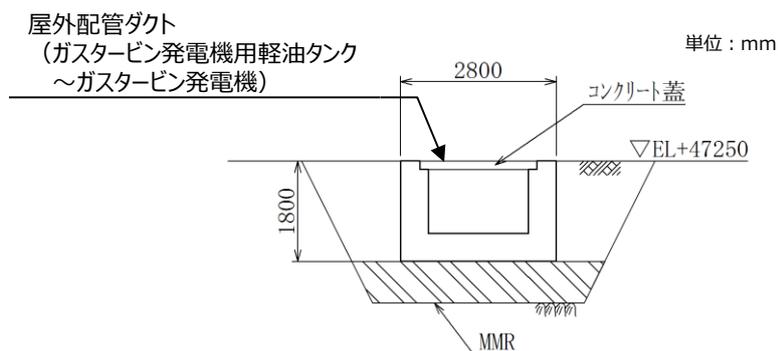
第6-2-77図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 縦断面図 (④-④断面)



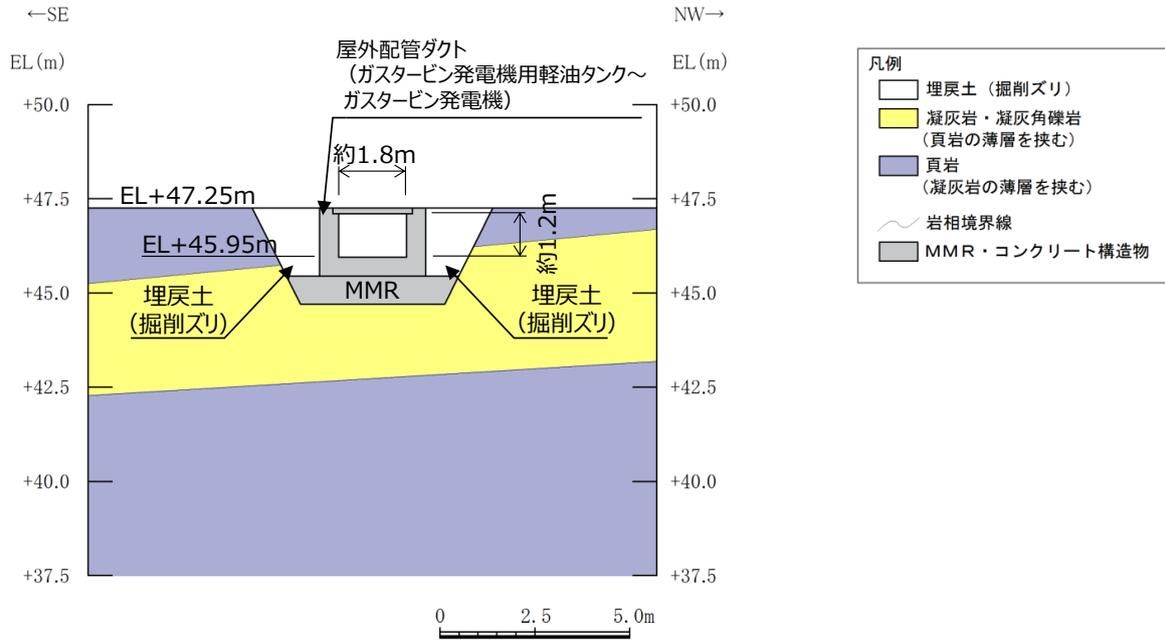
第6-2-78図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
断面図 (①-①断面)



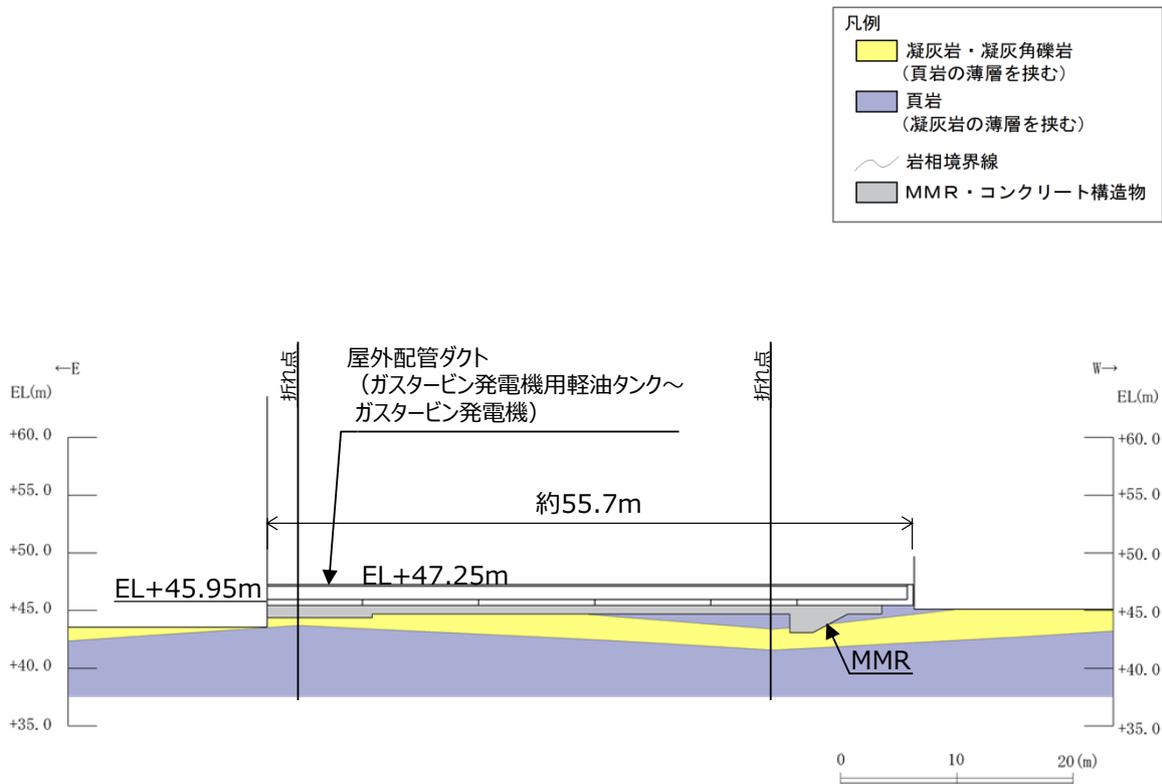
第6-2-79図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
断面図 (②-②断面)



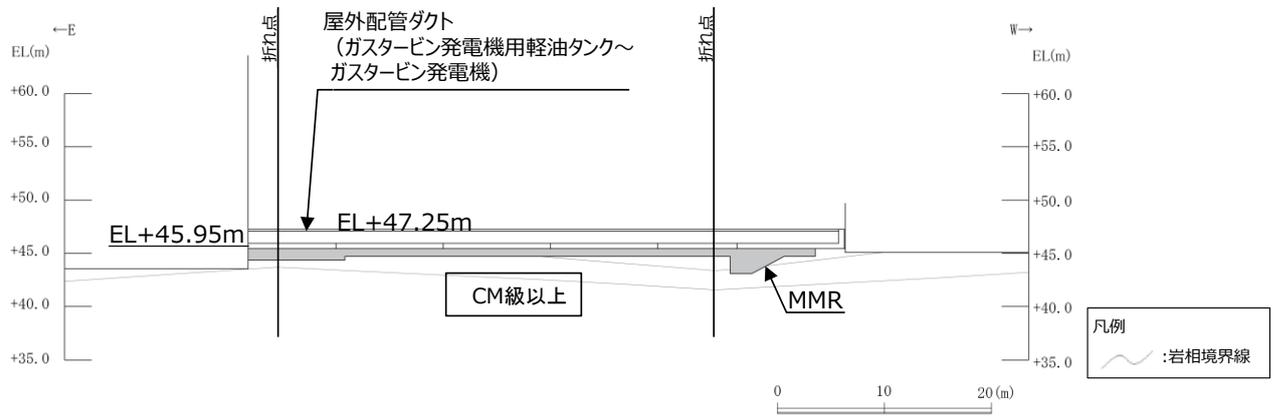
第6-2-80図 屋外配管ダクト
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
断面図 (③-③断面)



第6-2-81 図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-82 図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 地質縦断面図 (④-④断面)



第6-2-83図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
 岩級縦断面 (④-④断面)

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-9表）。

第6-2-9表 耐震評価候補断面の整理

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）

観点		屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）		
		①-①断面	②-②断面	③-③断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持		
	間接支持する設備	設備	・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁	
		設置状況	・延長方向に一樣に配置されている。	
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物		
	寸法	・幅2.80m, 高さ1.80m		
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている	
			・MMRは高さ約0.8～1.0m程度で台形状である。	
	構造物側部及び上部	・埋戻土（掘削スリ）が分布している。		
	地質変化部	・なし		
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		
	モデル化する隣接構造物	・なし		
④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異はなく、地震波の伝搬特性は一樣である		
⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一樣であり、構造的特徴及び周辺状況も一樣であることから、各断面の床応答特性に差異はない		

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点を整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.11 取水口

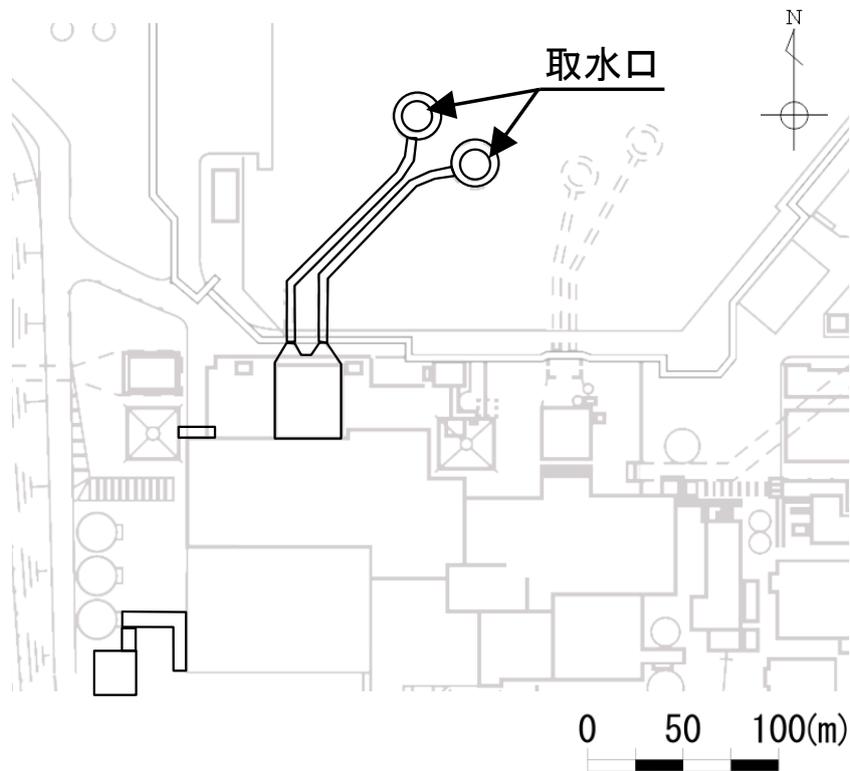
取水口の配置図を第6-2-84図に，平面図を第6-2-85図に，断面図を第6-2-86図～第6-2-87図に，地質断面図を第6-2-88図～第6-2-89図に，岩級断面図を第6-2-90図～第6-2-91図にそれぞれ示す。

取水口は，非常用取水設備であり，通水機能が要求される。

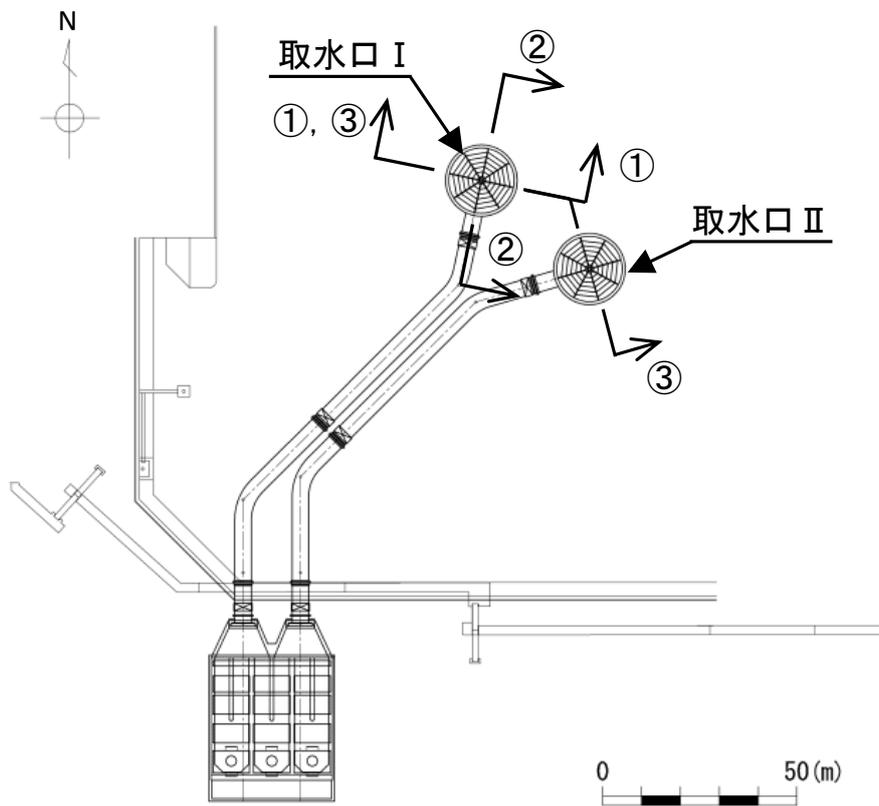
取水口は，直径18.6m，高さ13mの基部をアンカーコンクリートで巻き立てられた鋼製の構造物である。

取水口はCM級以上の岩盤に直接支持されている。

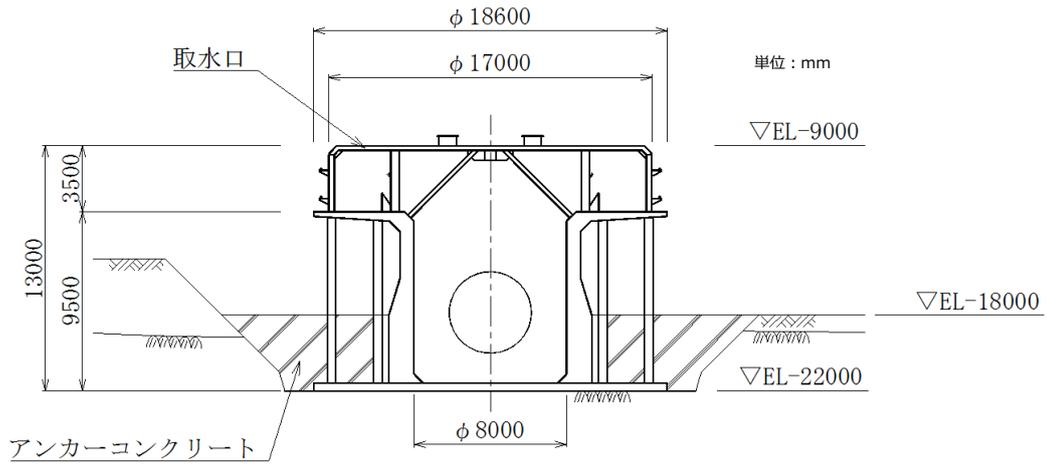
取水口は円筒状構造物であるため，強軸及び弱軸が明確ではない。



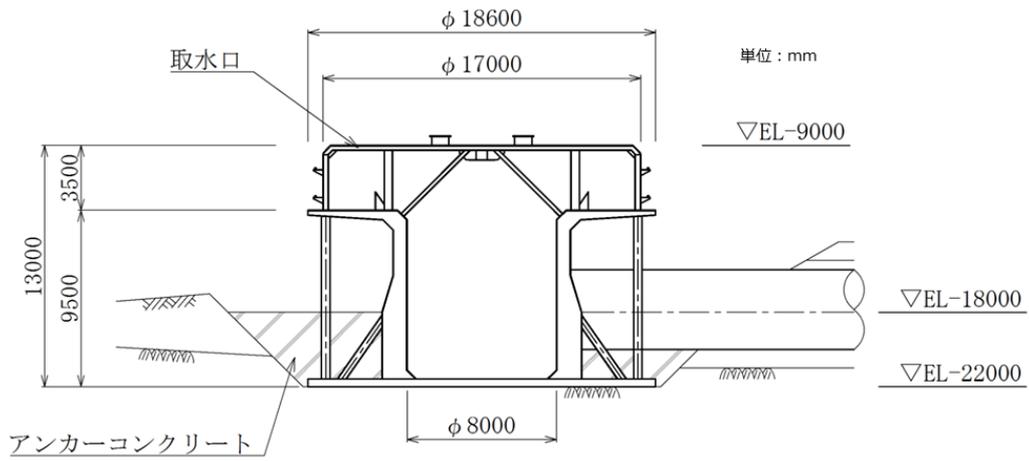
第6-2-84図 取水口 配置図



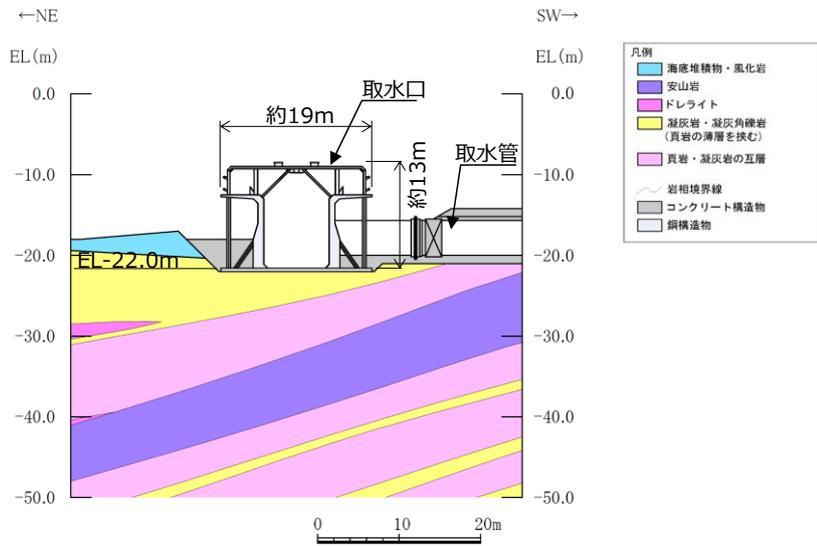
第6-2-85図 取水口 平面図



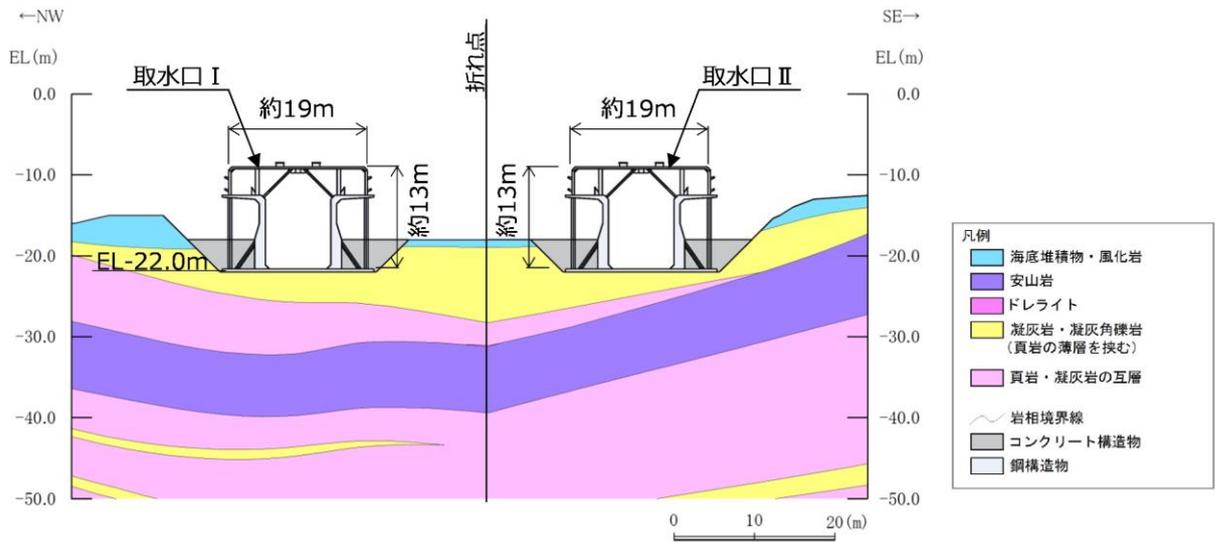
第 6-2-86 図 取水口 I 断面図 (①-①断面)



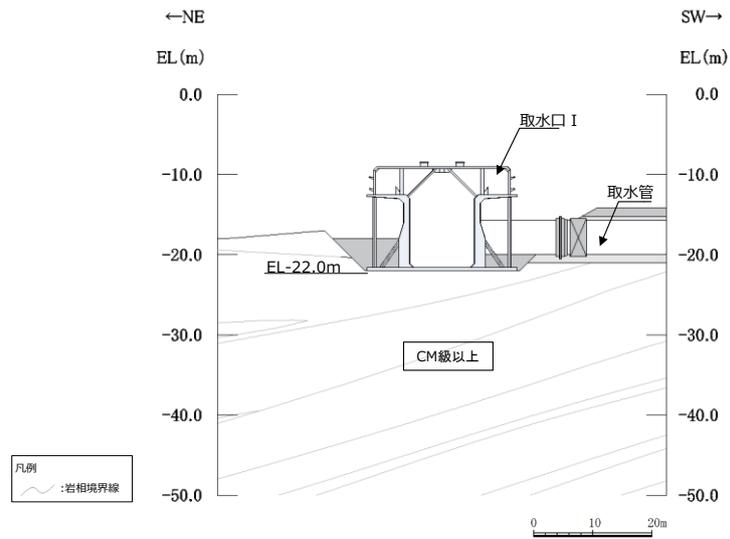
第 6-2-87 図 取水口 I 断面図 (②-②断面)



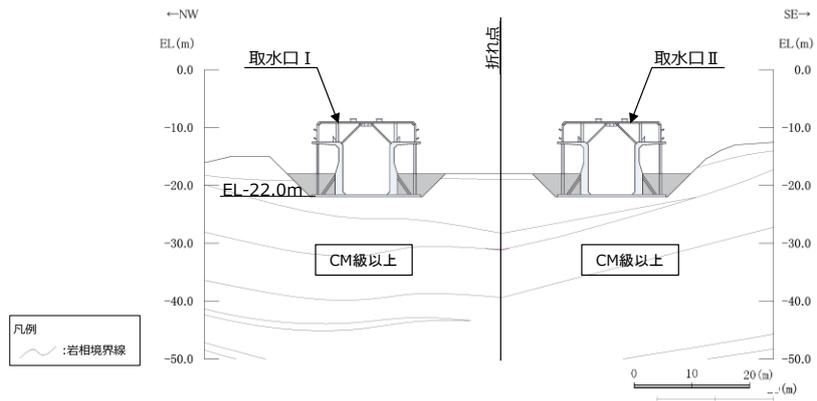
第6-2-88図 取水口 地質断面図 (②-②断面)



第6-2-89図 取水口 地質断面図 (③-③断面)



第6-2-90図 取水口 岩級断面図 (②-②断面)



第6-2-91図 取水口 岩級断面図 (③-③断面)

取水口について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-10表）。

第6-2-10表 耐震評価候補断面の整理（取水口）

観点		取水口	
		①-①断面, ③-③断面	②-②断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・通水	
	間接支持する設備	設備	・なし
		設置状況	-
②構造的特徴	形式	・鋼製の円筒状構造物	
	寸法	・Φ18.60m, 高さ13.00m	
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている
		構造物側部及び上部	・アンカーコンクリート及び海底堆積物・風化岩が分布している
		地質変化部	・なし
	地下水位	-（水中構造物）	
	モデル化する隣接構造物	・なし	・取水口は取水管と可撓ジョイントで接続されており、取水管の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない
④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、断面位置により周辺状況に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である	
⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない	

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点を整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.12 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎

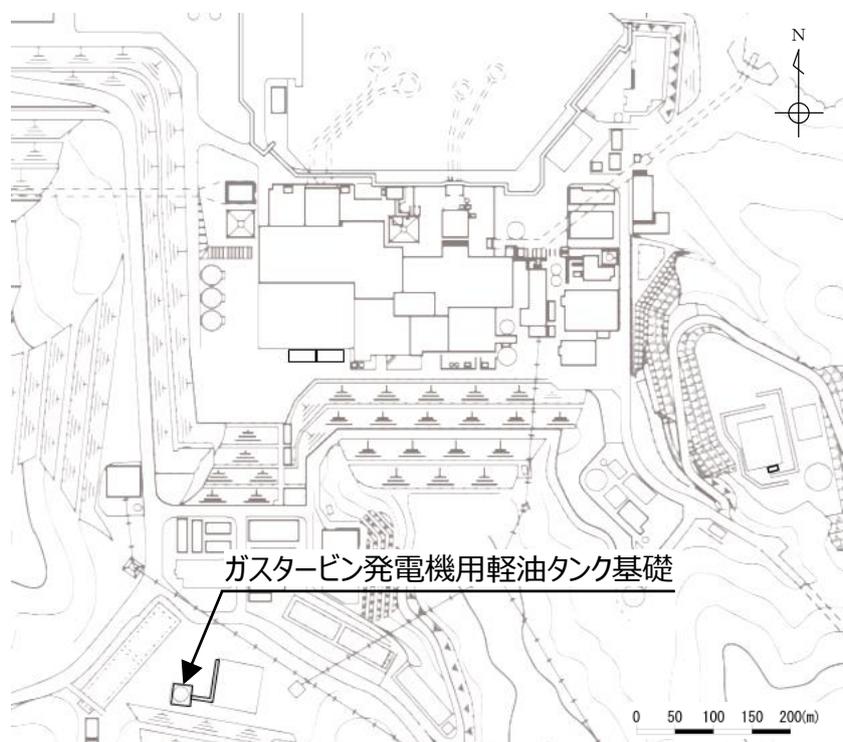
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の配置図を第6-2-92図に、平面図を第6-2-93図に、断面図を第6-2-94～第6-2-95図に、地質断面図を第6-2-96図に、岩級断面図を第6-2-97図にそれぞれ示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等の間接支持機能が要求される。

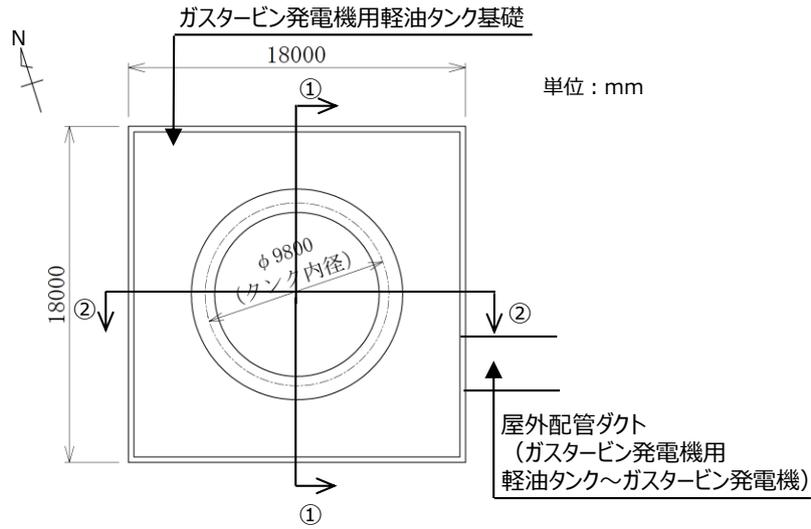
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、幅18m×18mの鉄筋コンクリート造の構造物である。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている。

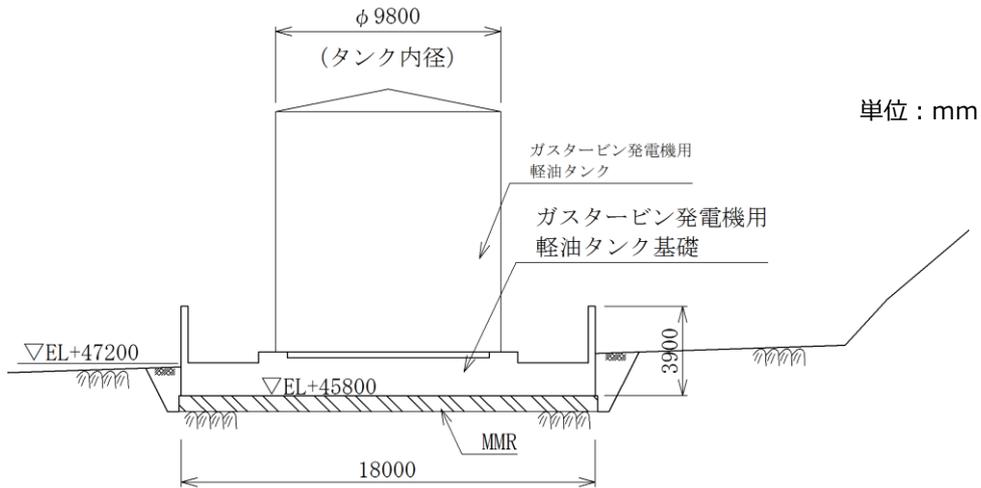
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は正方形の直接基礎であるため、強軸及び弱軸が明確ではない。



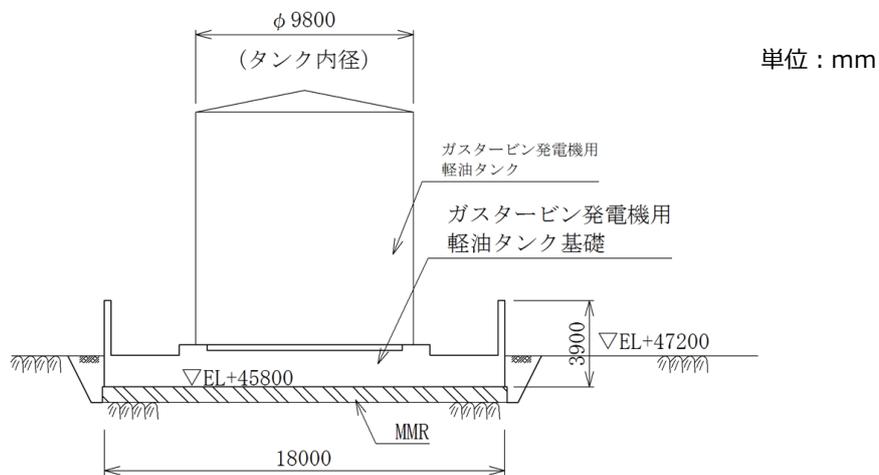
第6-2-92図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 配置図



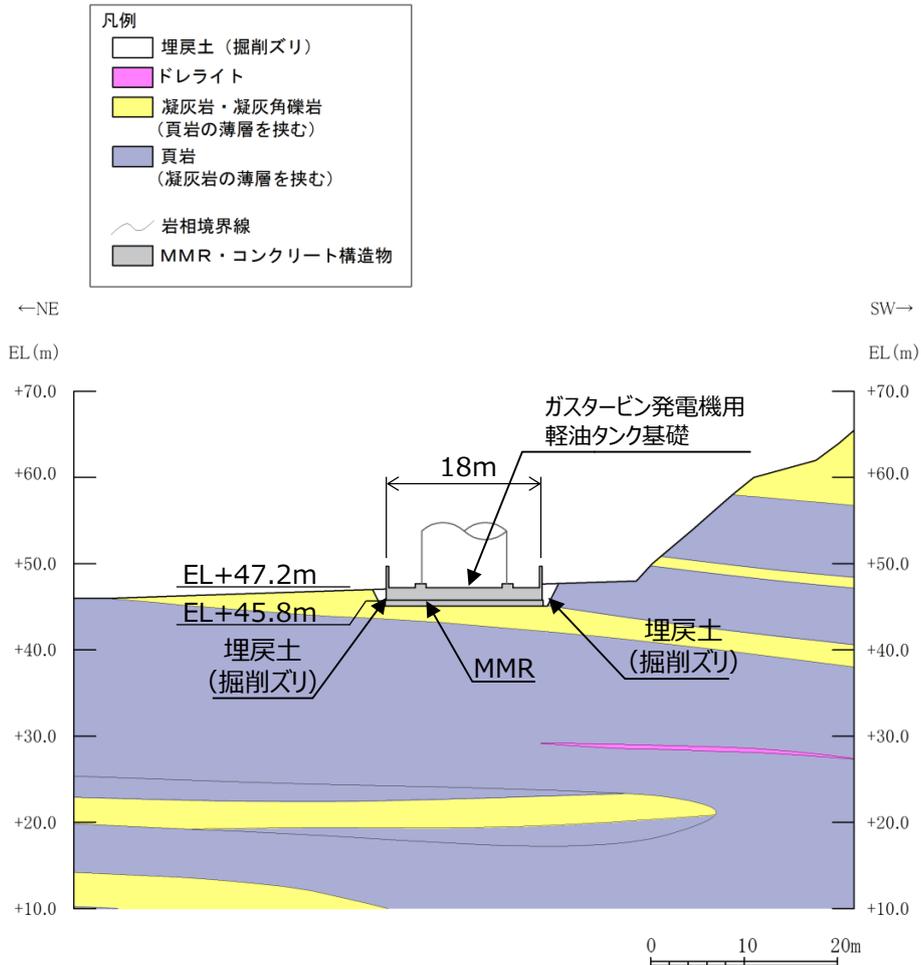
第6-2-93図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図



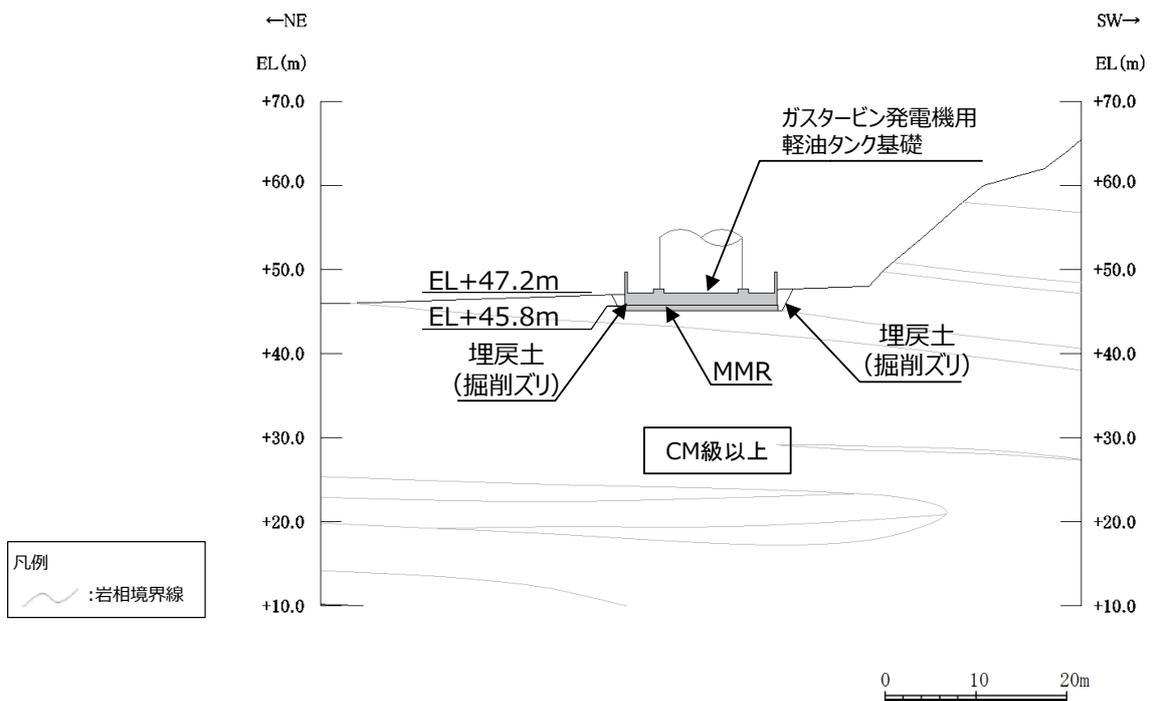
第6-2-94図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (①-①断面)



第6-2-95図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (②-②断面)



第6-2-96図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-97図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 岩級断面図 (①-①断面)

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した(第6-2-11表)。

第6-2-11表 耐震評価候補断面の整理(ガスタービン発電機用軽油タンク基礎)

観点		ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	
		①-①断面	②-②断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持	
	間接支持する設備	設備	・ガスタービン発電機用軽油タンク ・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁
		設置状況	・一様に配置されている
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・断面急変部は存在しない	
	寸法	・幅18.00×18.00m	
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている ・MMRは高さ約0.7mで、矩形である
		構造物側部及び上部	・岩盤及び一部に埋戻土(掘削スリ)が分布している
		地質変化部	・南側に岩盤斜面が存在する
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。	
	モデル化する隣接構造物	・なし	
④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である	
⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況並びに構造的特徴は一樣であるが、周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる	

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点を整理を行い、評価対象断面を選定する。

2.13 取水管

取水管の配置図を第6-2-98図に、平面図を第6-2-99図に、縦断図を第6-2-100図に、輪谷湾周辺の底質分布を第6-2-101図に、平面図（詳細図）を第6-2-102図に、断面図を第6-2-103図～第6-2-104図に、地質断面図を第6-2-105～第6-2-108図に、地質縦断図を第6-2-109図に、岩級縦断図を第6-2-110図にそれぞれ示す。

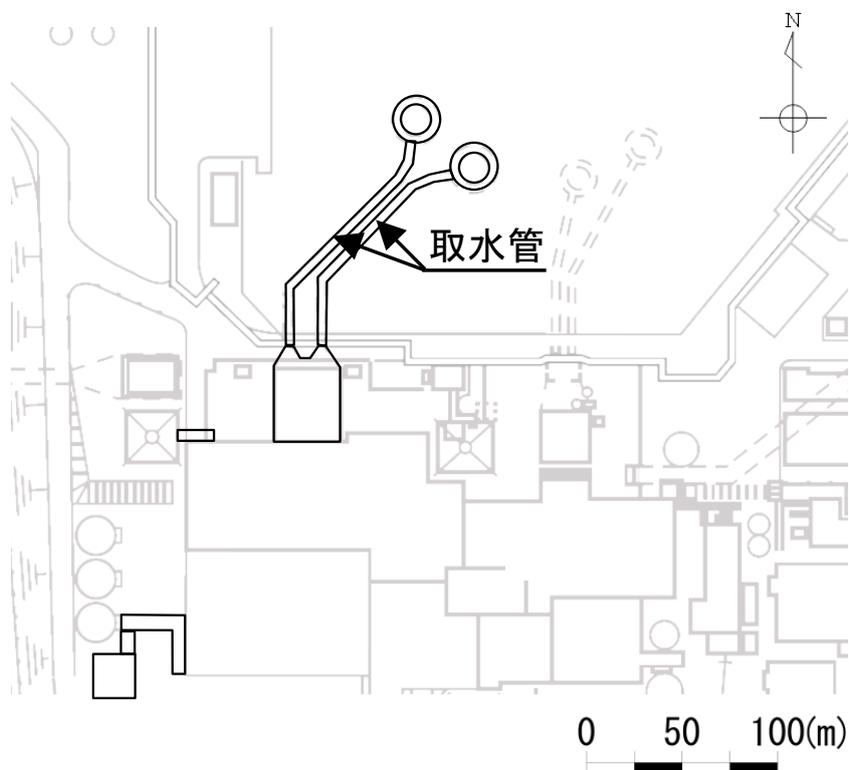
取水管は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

取水管は、取水口と取水槽を結ぶ、管径φ4,300mmの鋼製の構造物であり、北側より、③-③断面（砕石）、①-①断面（巻立コンクリート）により構成され、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である（第6-2-84図～第6-2-85図）。

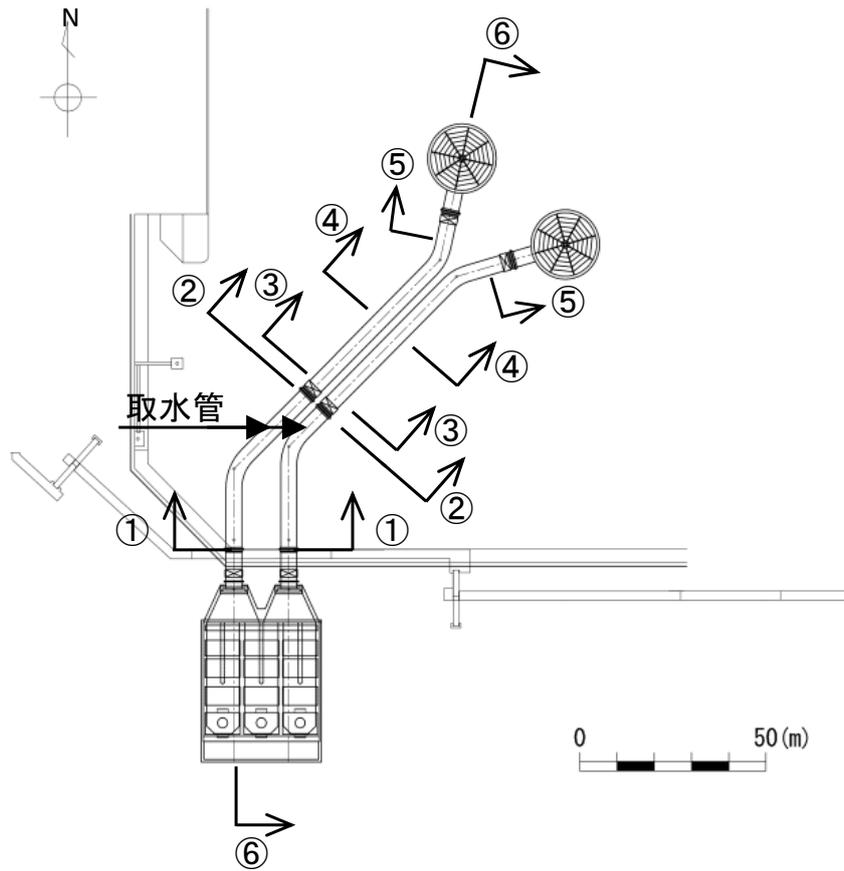
取水管の縦断方向（通水方向）は、通水方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されていることから強軸となり、横断方向（通水方向に対する直交方向）が弱軸となる。

輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されているが、島根2号炉の取水口・取水管が設置される周辺は、岩が分布している（第6-2-82図）。

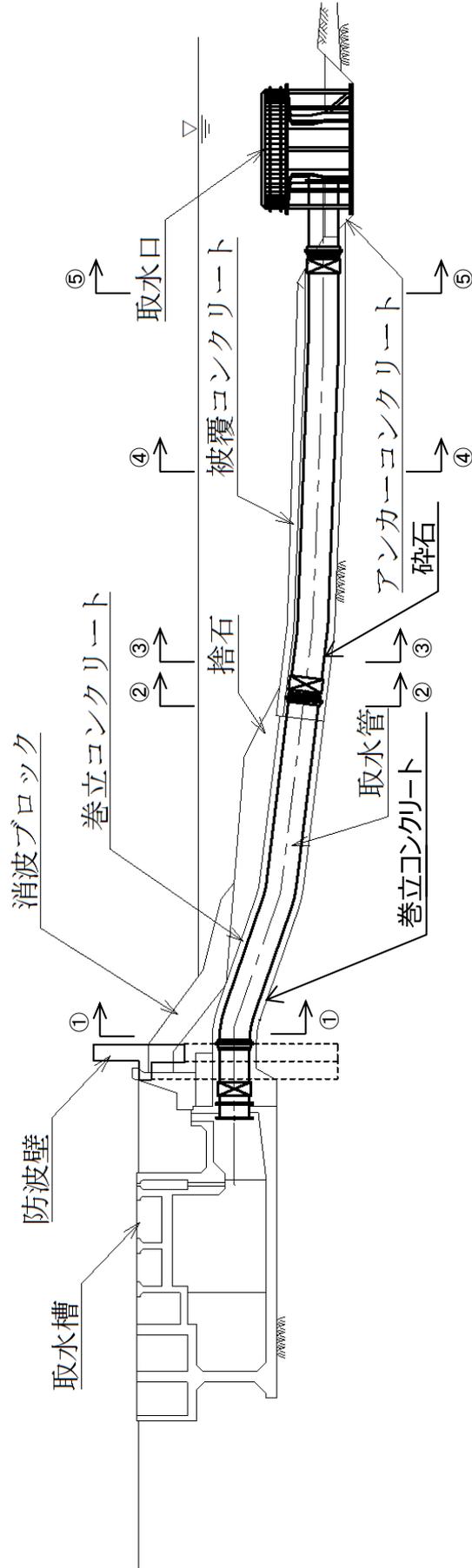
取水管は、岩盤掘削した中に砕石またはコンクリートを介してCM級以上の岩盤に支持されている。



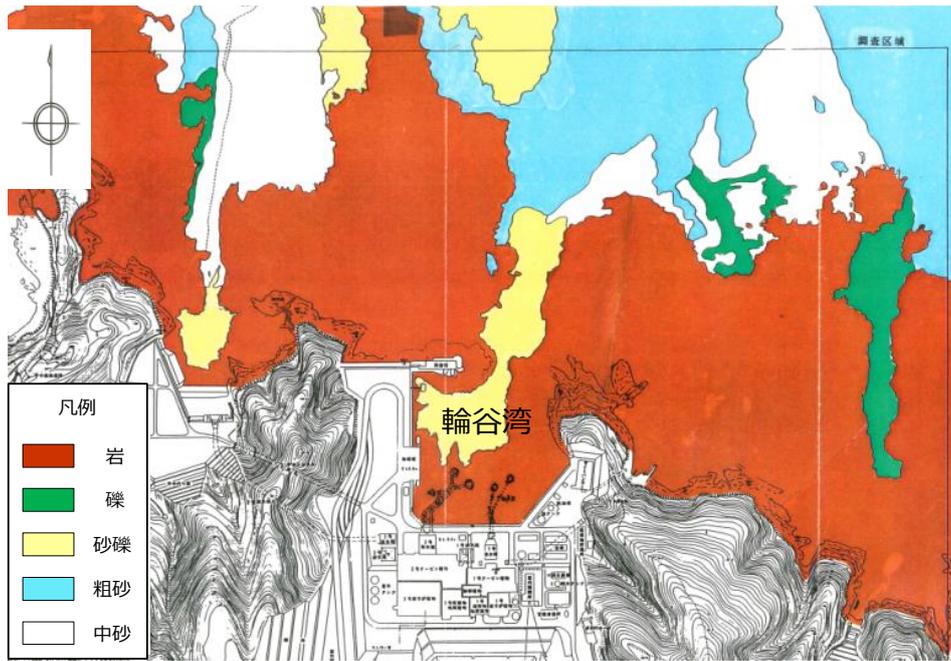
第6-2-98図 取水管 配置図



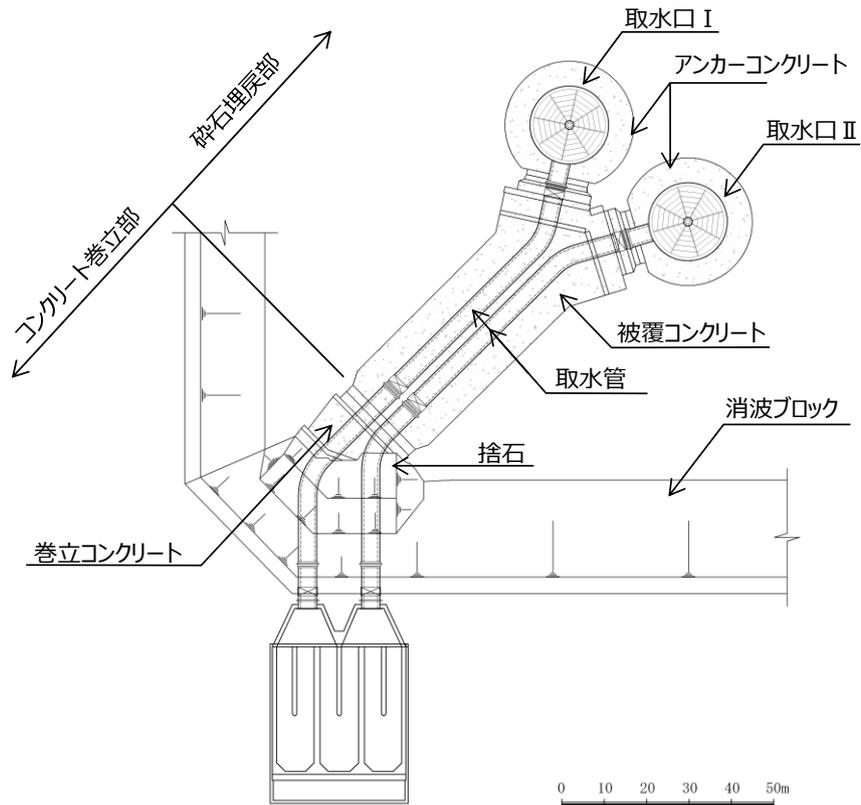
第 6-2-99 図 取水管 平面図



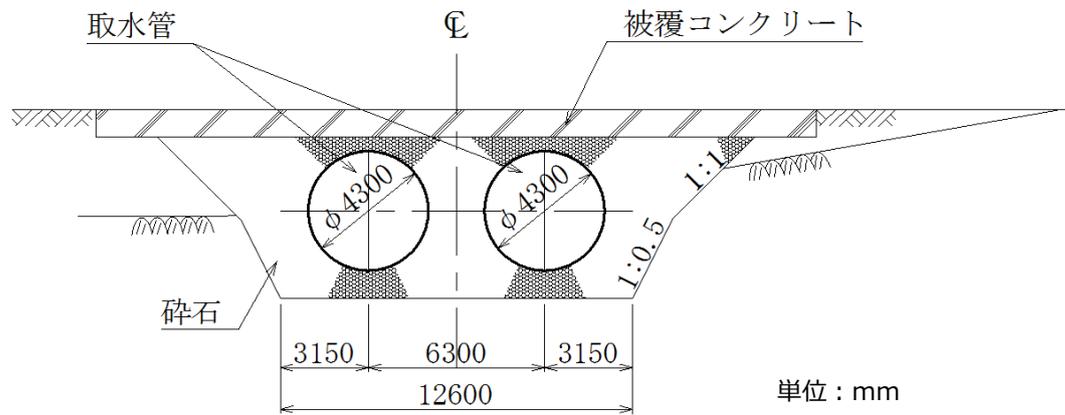
第6-2-100 図 取水管 縦断図 (⑥-⑥断面)



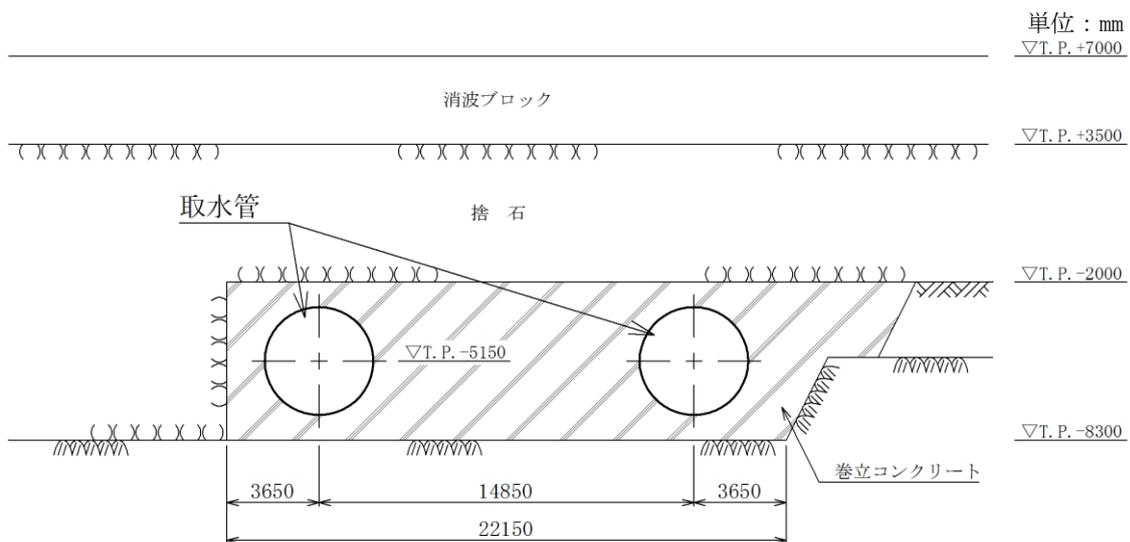
第6-2-101図 輪谷湾周辺の底質分布（自社調査（1995））



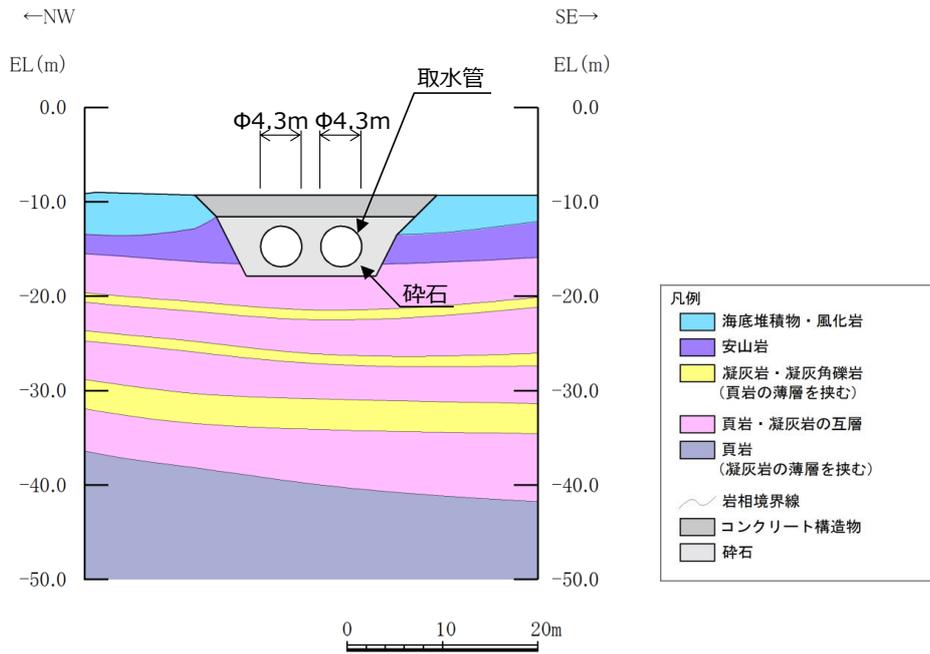
第6-2-102図 取水管 平面図（詳細図）



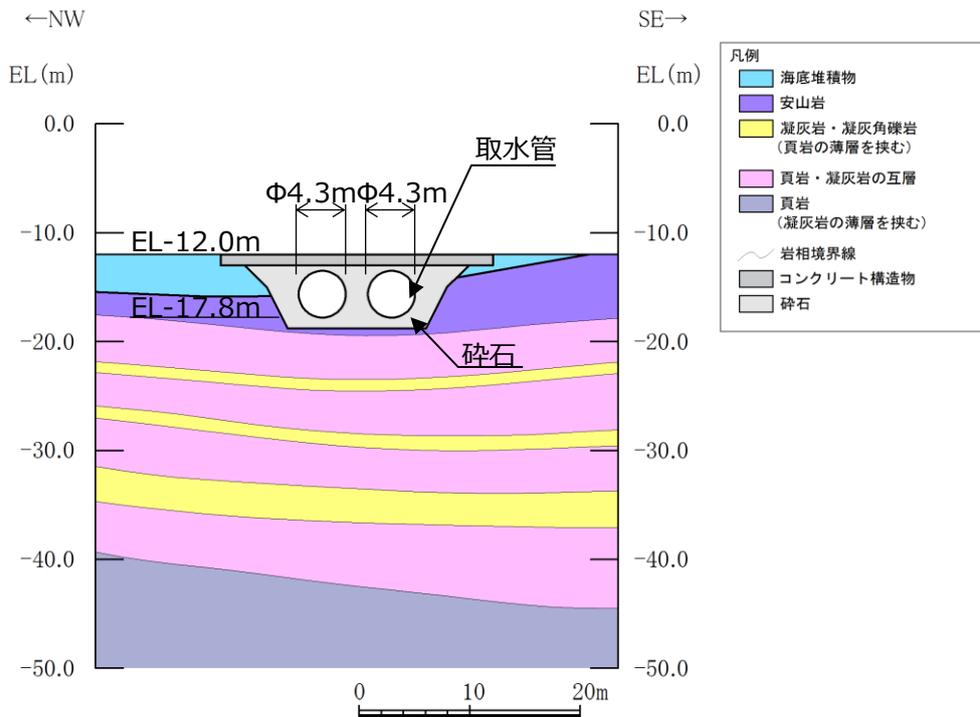
第6-2-103 図 取水管 断面図 (③-③断面)



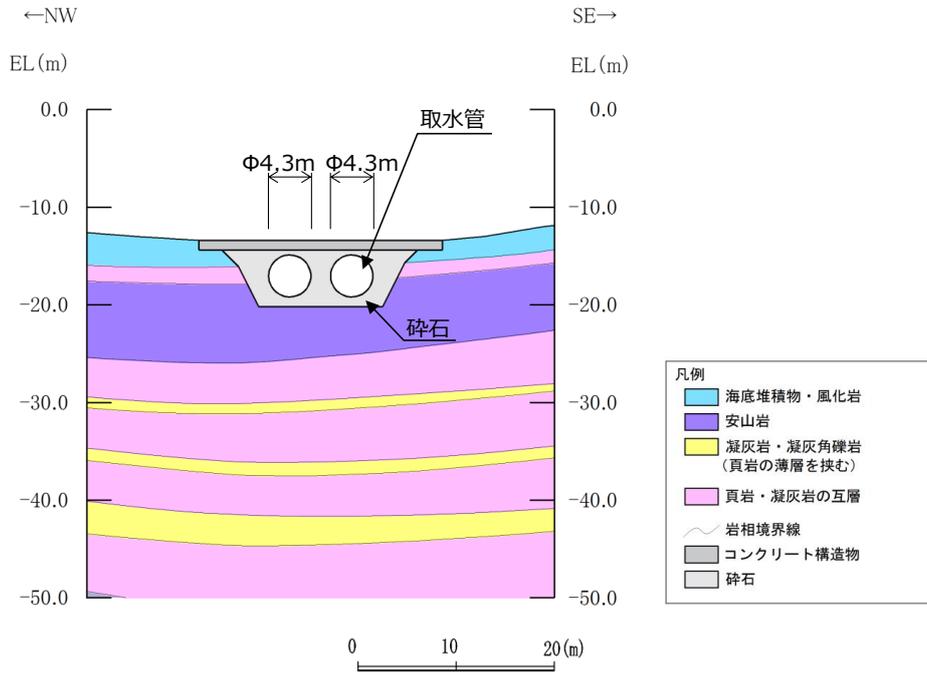
第6-2-104 図 取水管 断面図 (①-①断面)



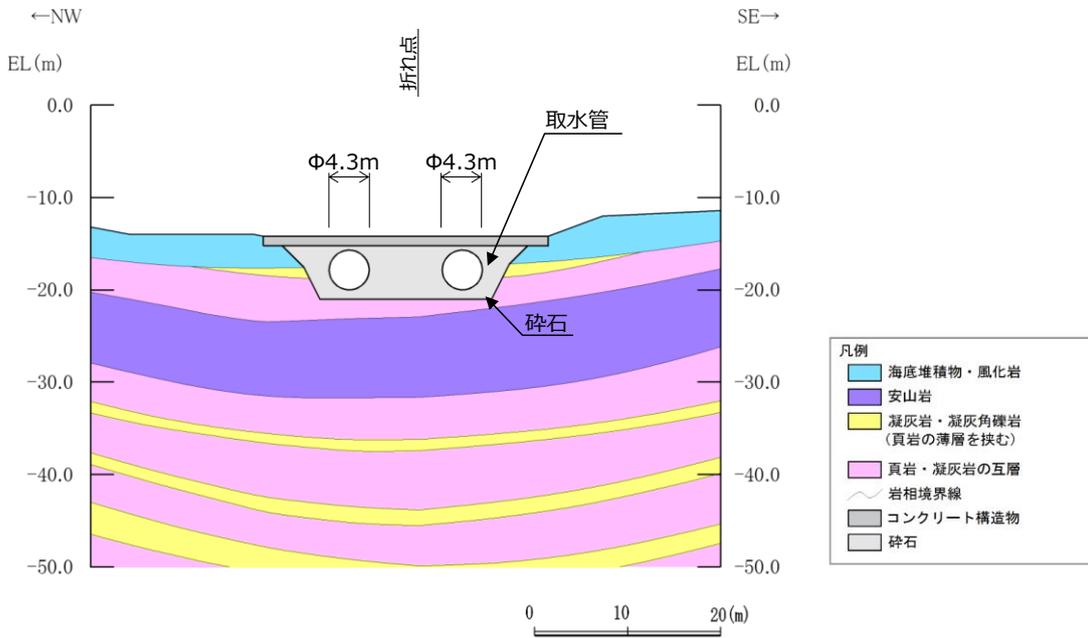
第6-2-105図 取水管 地質断面図 (②-②断面)



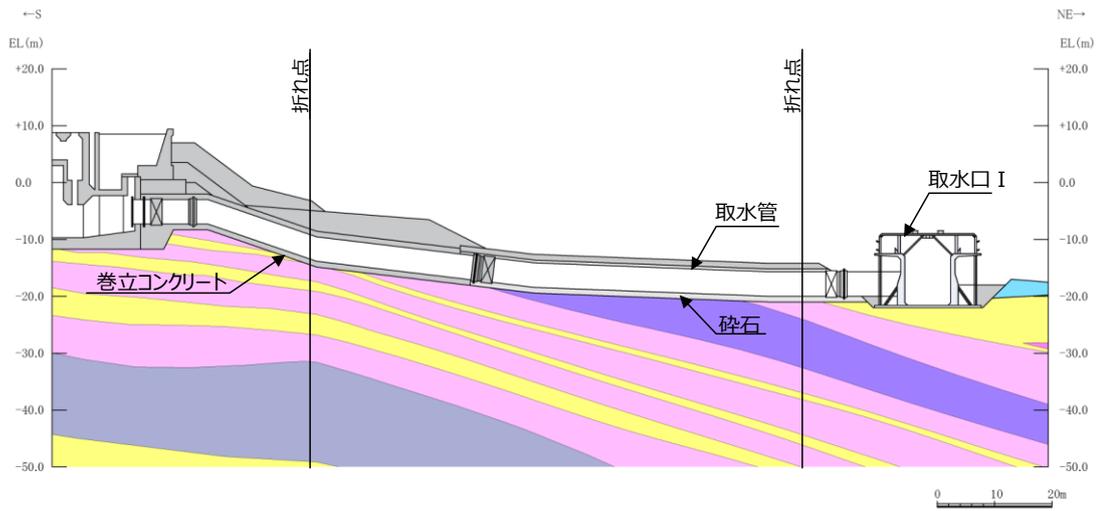
第6-2-106図 取水管 地質断面図 (③-③断面)



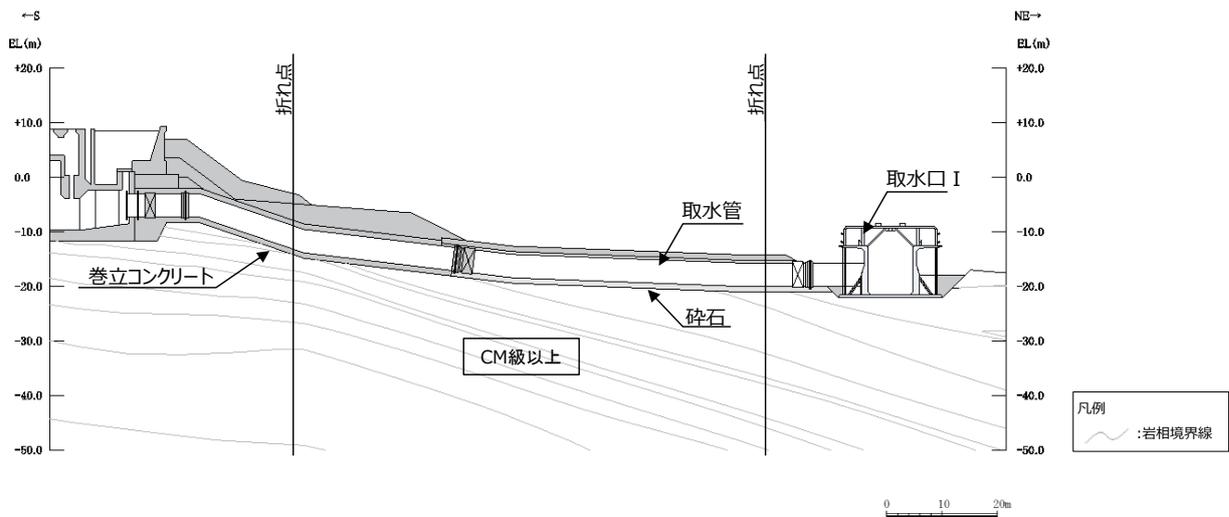
第6-2-107図 取水管 地質断面図 (④-④断面)



第6-2-108図 取水管 地質断面図 (⑤-⑤断面)



第6-2-109図 取水管 地質縦断図 (⑥-⑥断面)



第6-2-110図 取水管 岩級縦断図 (⑥-⑥断面)

取水管について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-12表）。

第6-2-12表 耐震評価候補断面の整理（取水管）

観点		取水管（管軸直角方向）				
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・通水				
	間接支持する設備	設備	・なし			
		設置位置	-			
②構造的特徴	形式	・通水方向に対して一様の断面形状を示す鋼製の構造物				
	寸法	・管径Φ4.30m（2連）				
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・コンクリートを介してCM級以上の岩盤に支持されている	・砕石を介してCM級以上の岩盤に支持されている		
		構造物側部及び上部	・コンクリートが分布している	・砕石が分布している		
		地質変化部	・なし			
	地下水位	-（水中構造物）				
	モデル化する隣接構造物	・なし				
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が①-①断面と②-②～⑤-⑤断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる					
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない					

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点を整理を行い、評価対象断面を選定する。

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
(耐震)

目次

	頁
1. 概要	1
2. PHb 工法について	1
2.1 PHb 工法の使用部位	1
2.2 PHb 工法の概要	2
3. 建設技術審査証明報告書の概要	3
3.1 PHb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け	3
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	4
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	5
3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認	21
4. 島根原子力発電所 2 号炉における PHb の適用性確認	24
4.1 方針	24
4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定	26
4.3 適用性確認項目の抽出	27
4.4 建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認	29
4.5 せん断補強効果の確認	33
4.6 施工実績・研究事例等の確認	39
4.7 PHb の施工上の確認	55
4.8 PHb の適用性確認結果	59

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

1. 概要

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。

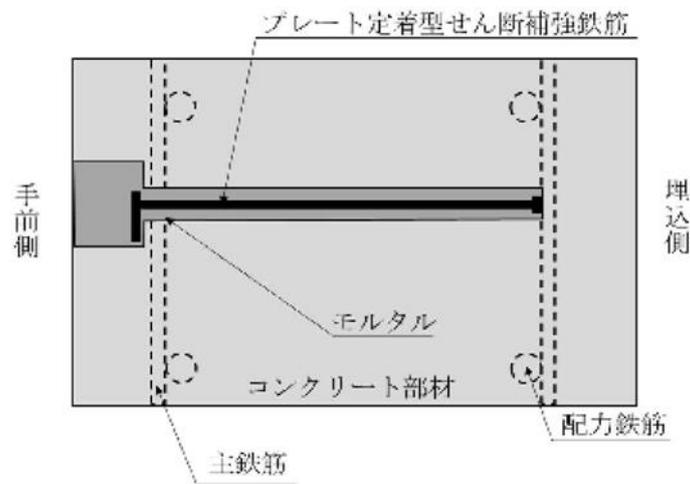
2. PHb工法について

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、も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る。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。

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後施工タイプのプレート定着型せん断補強鉄筋 (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

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。

※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 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」

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）毎に定め、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、堰，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。

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。

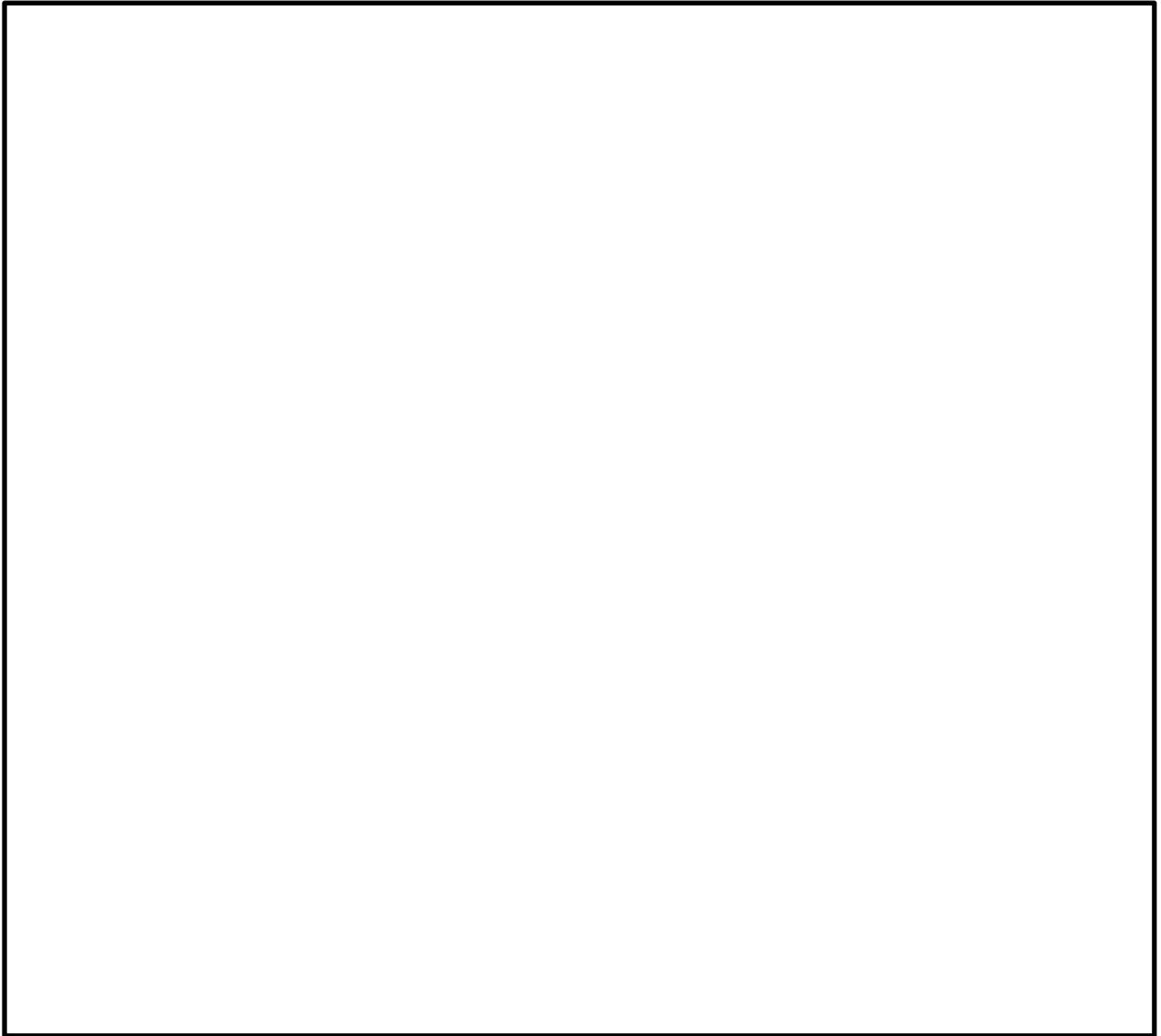
シリーズ 2 では、シリーズ 1 の CASE2 と同じ補強条件の試験体（CASE4）、CASE4 の PHb 先端の埋込み深さを埋込側の主鉄筋前面から 5mm 手前に留めた試験体（CASE5）、CASE5 の PHb の鉄筋量を 1.5 倍（3 列補強）とした試験体（CASE6）に対して、各々交番繰返し加力試験を行った。

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）、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。

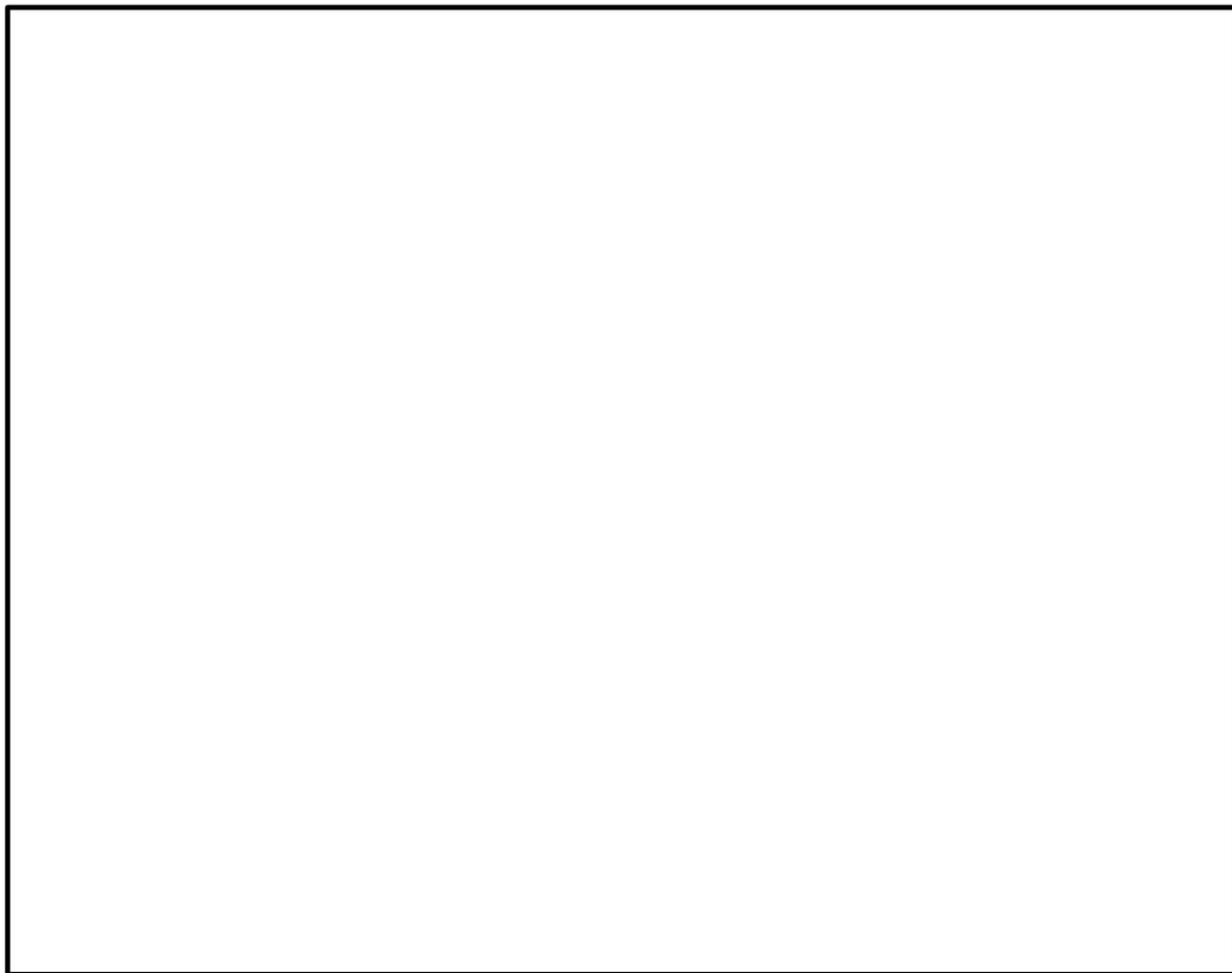
シリーズ 4 では、高強度（D25・SD390）の PHb を設置した梁試験体（CASE4-1）に対して、正負交番繰返し加力試験を行った。シリーズ 3 と 4 では、PHb の径及び強度以外の配筋条件は同じである。

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。

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)

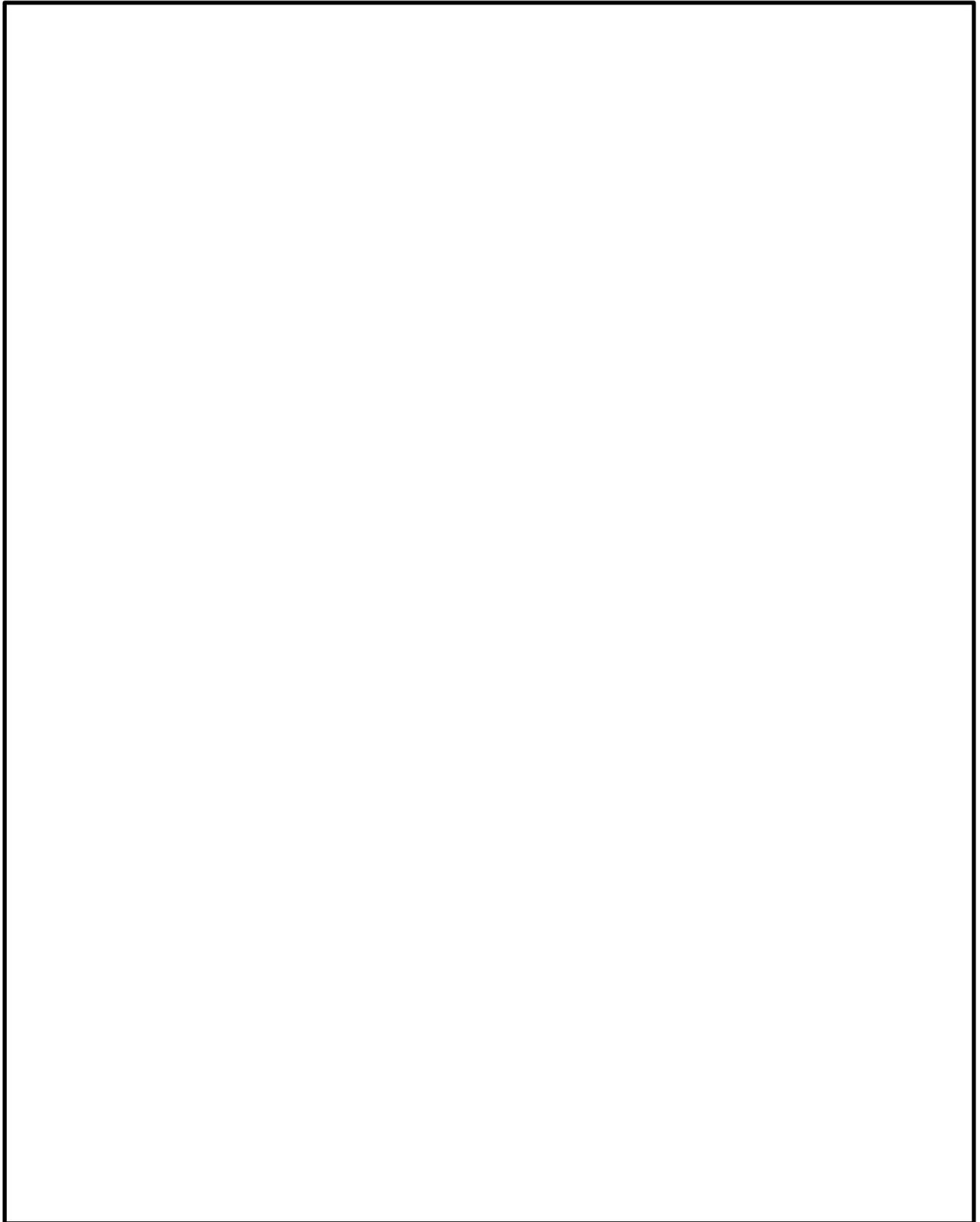


本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



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(抜粋)
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



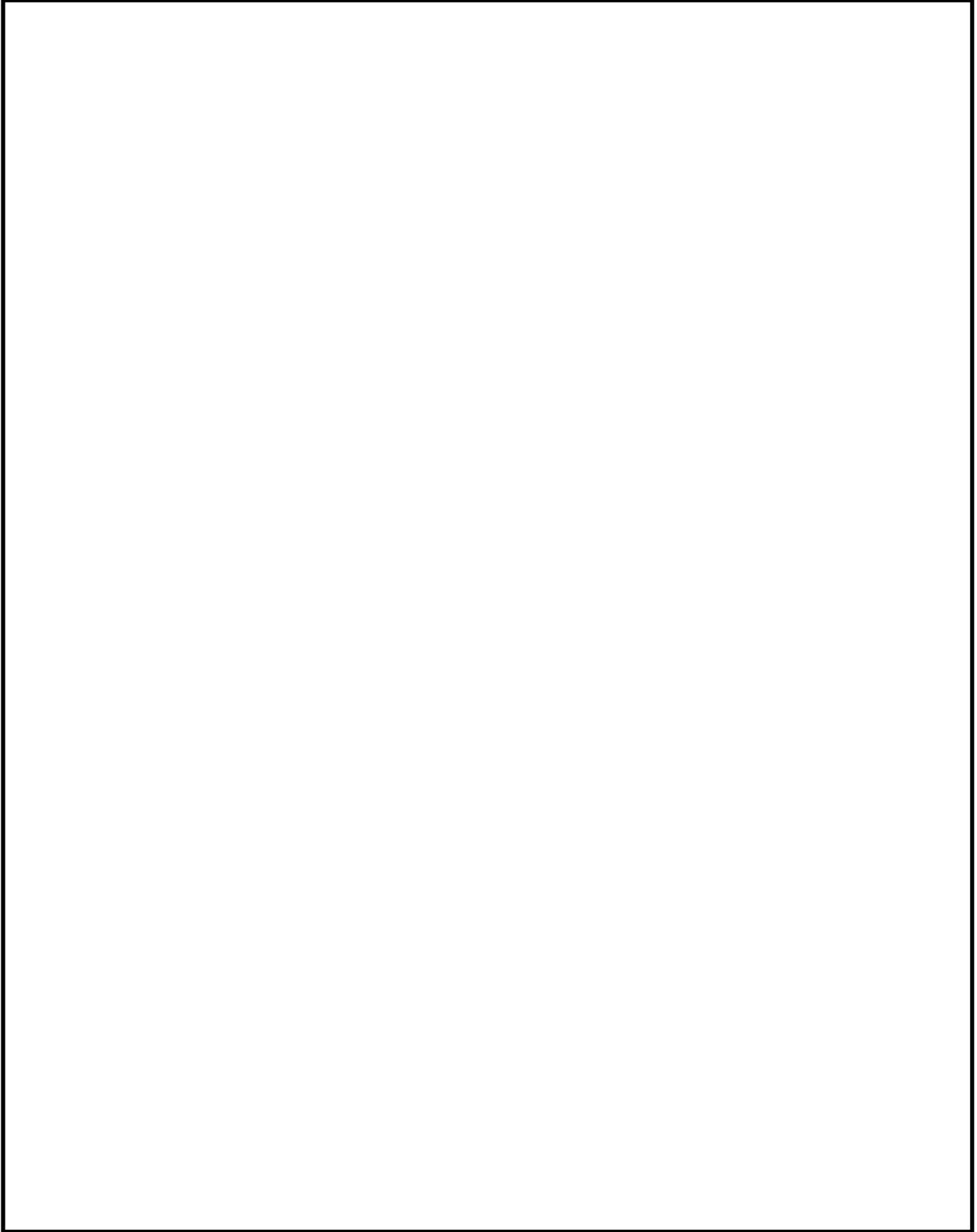
第 13-3-2 図 せん断耐力向上性能試験の加力要領
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

b. 実験結果

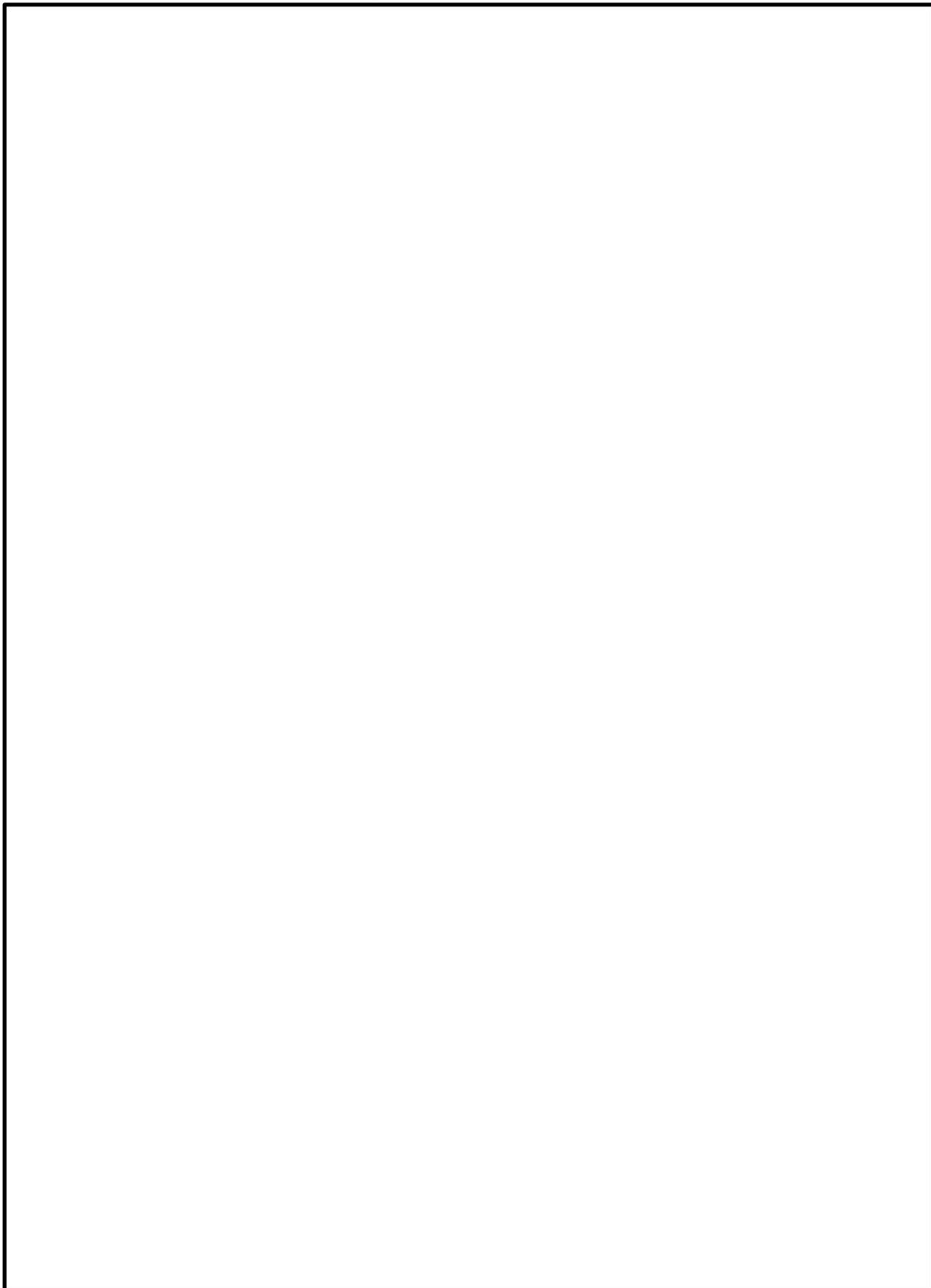
a. の試験結果を第 13-3-2 表に示す。PHb の有効係数は、PHb を通常のせん断補強鉄筋とみなして求められるせん断耐力 V_s に対して PHb が分担できるせん断耐力の比率である。有効係数の算定において、コンクリートの分担するせん断力 V_c はコンクリート標準示方書（安全係数 1.0）に基づく場合と、実験での斜めひび割れ発生時のせん断力を用いた場合について算定した。CASE2 については、荷重装置の制御が不十分で大変位時に偏荷重が作用した実験条件上の理由により、検討ケースから除外した。これは、本来は 2 点の荷重点に均等に荷重がかかることで実験せん断耐力を（左右の合計荷重）/2 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。

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)

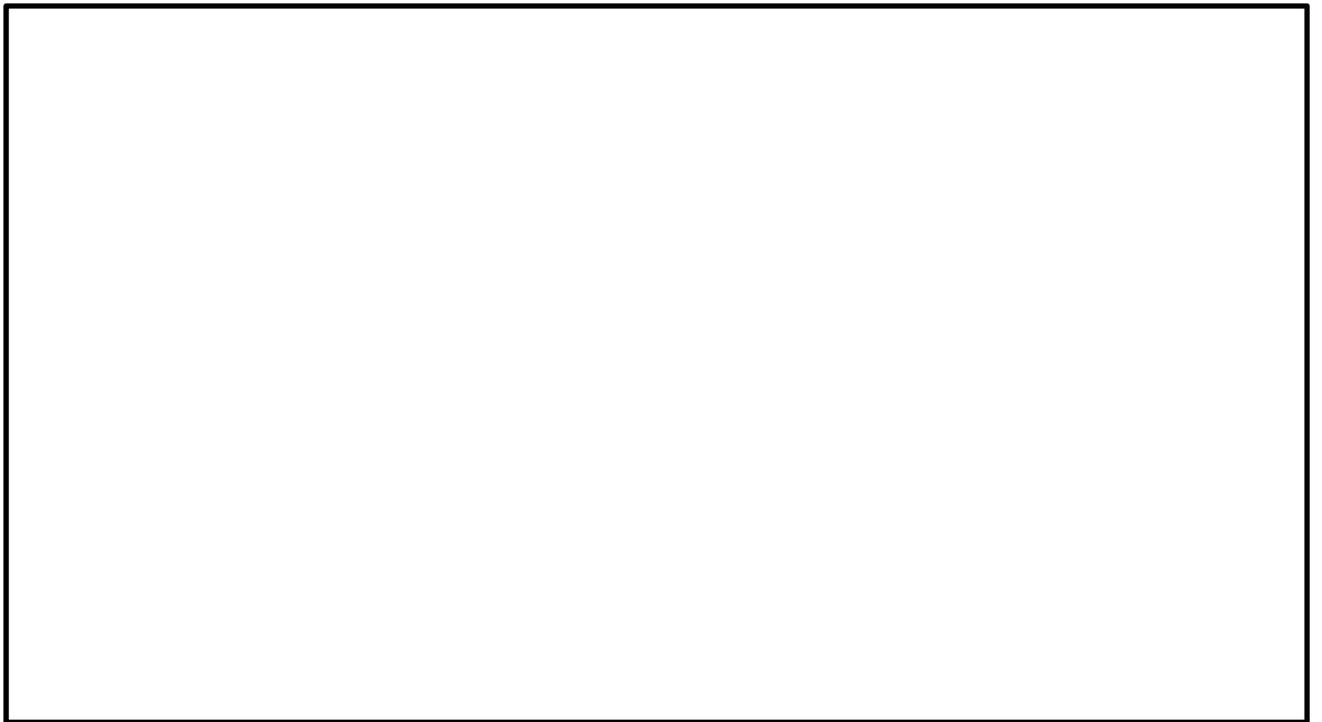


本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

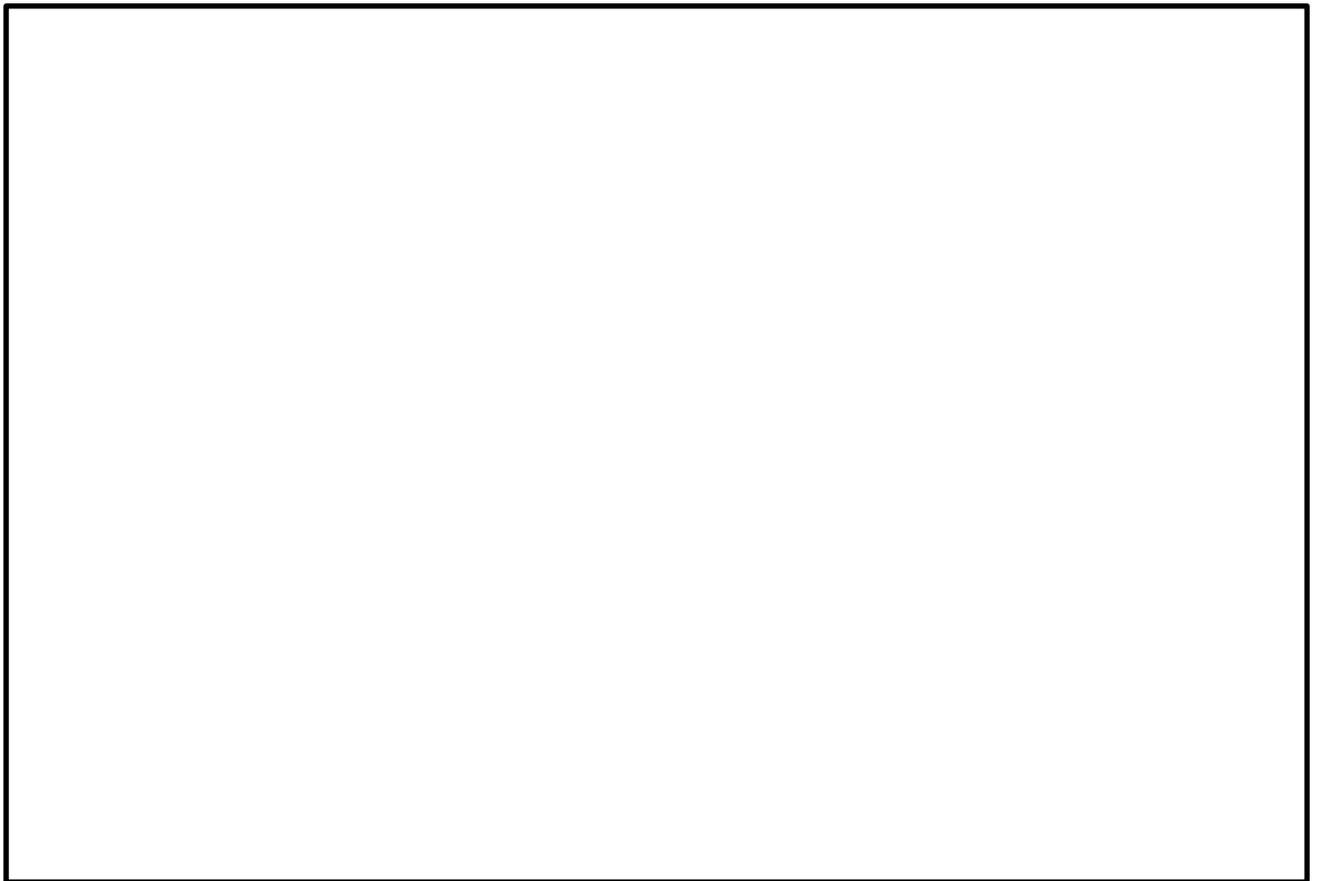
c. PHb のせん断補強の考え方



本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



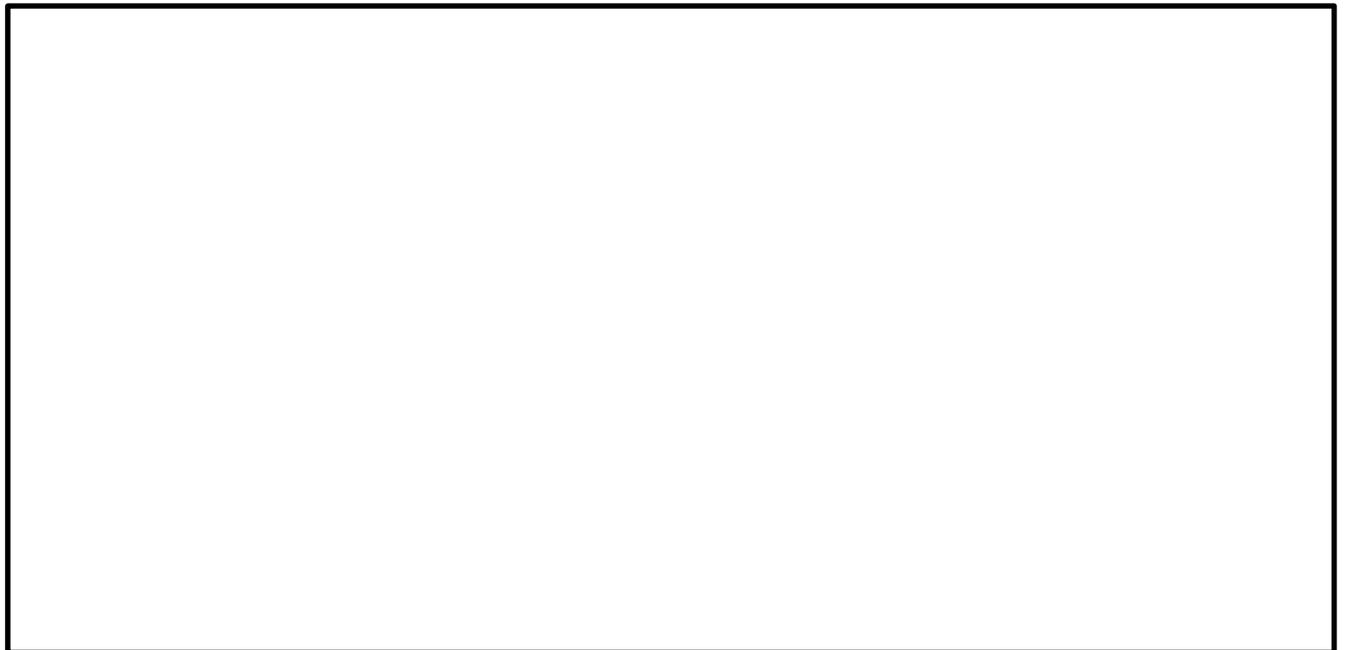
第 13-3-3 図 斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力
(建設技術審査証明報告書より抜粋)



本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



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

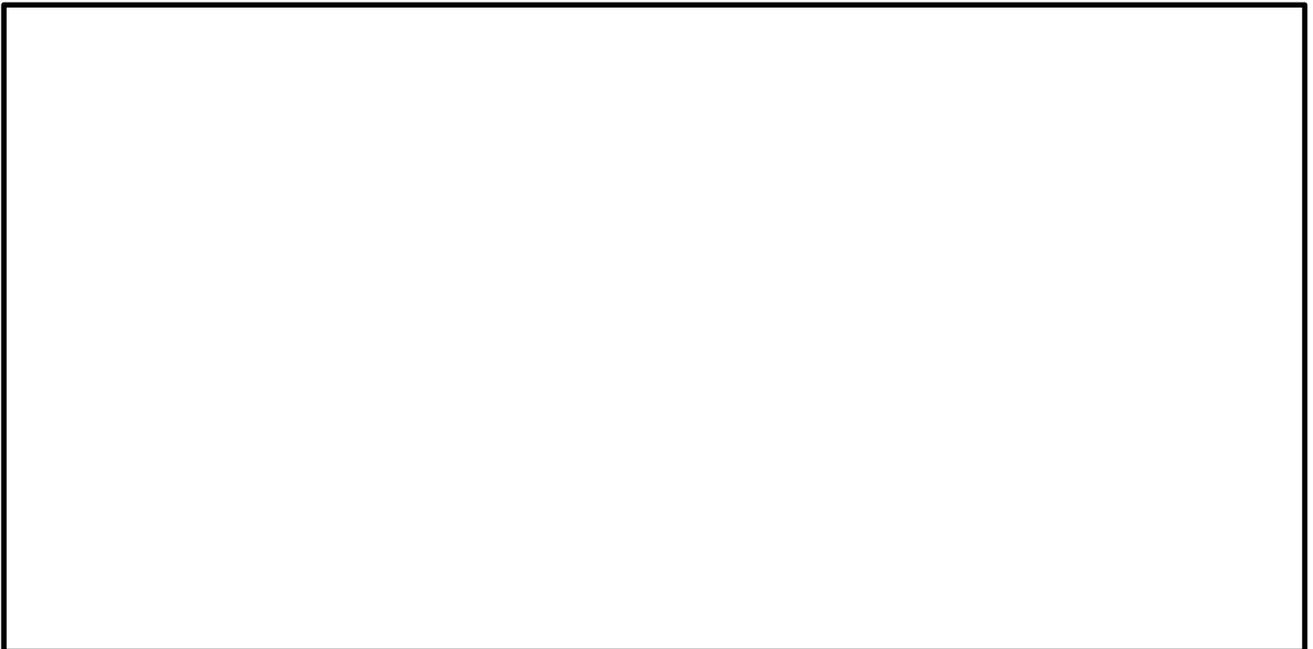
d. 実験結果に基づく PHb によるせん断補強効果の評価



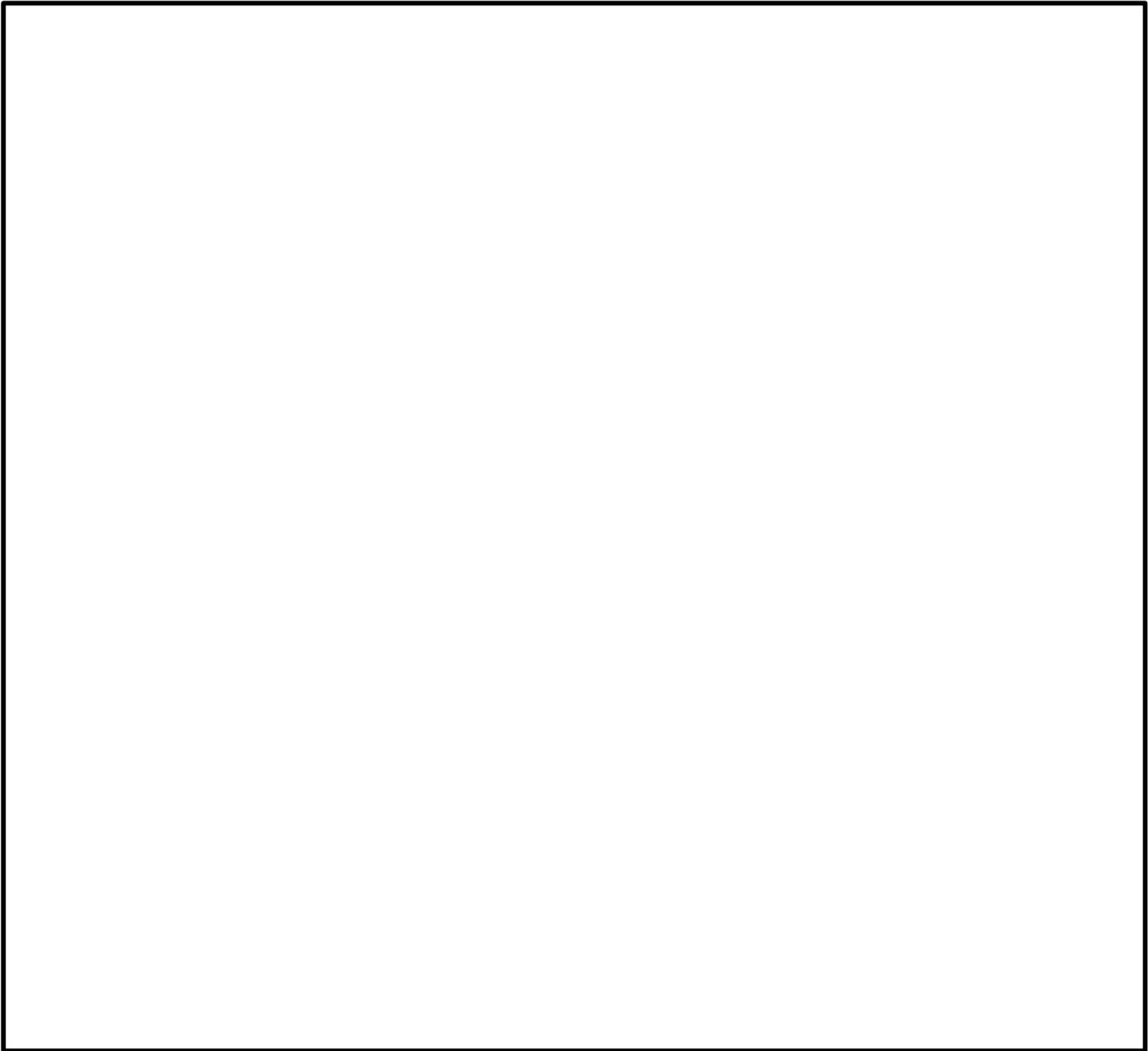
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



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)



本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



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)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

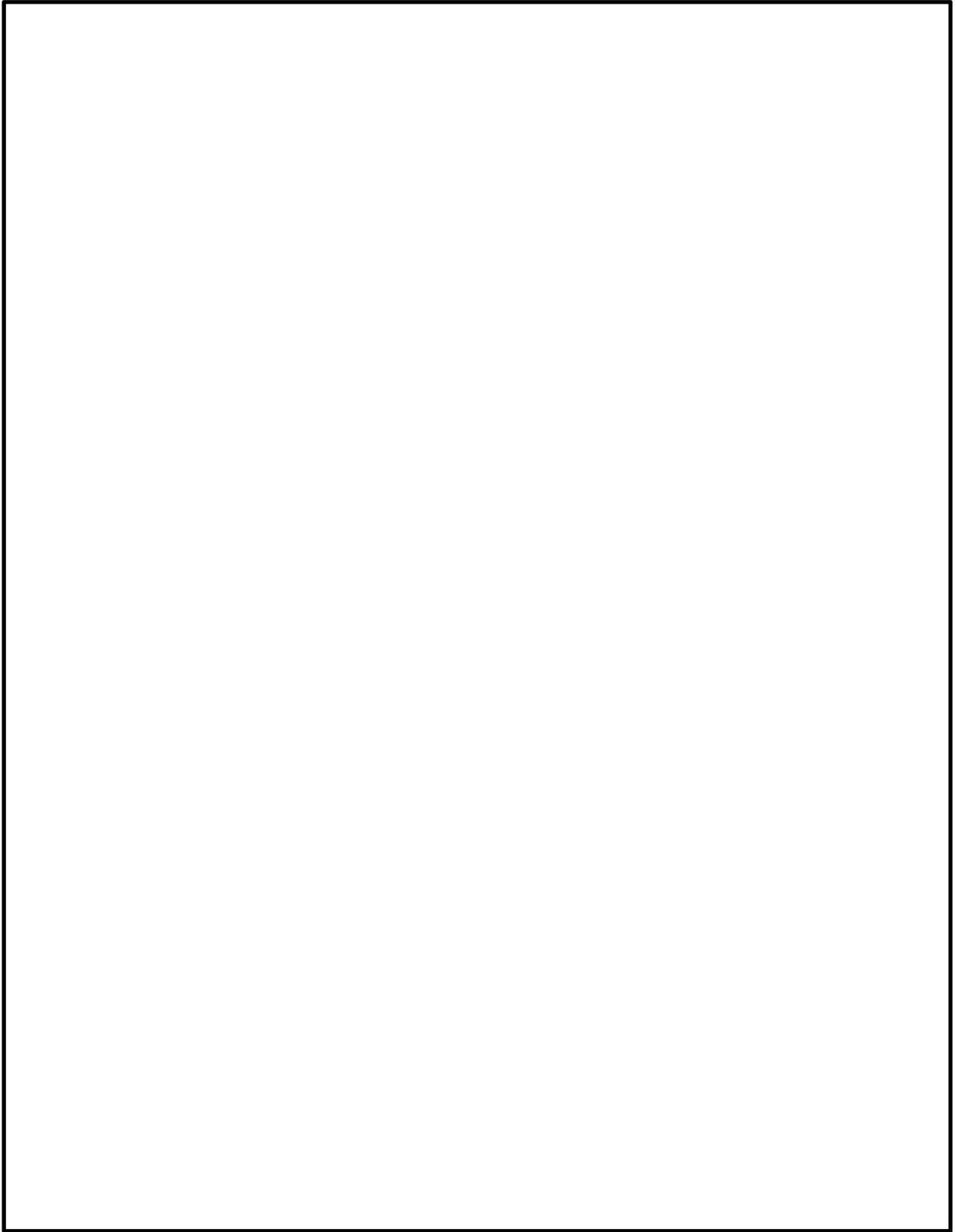
(2) 使用材料・許容応力度・強度

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)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



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)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

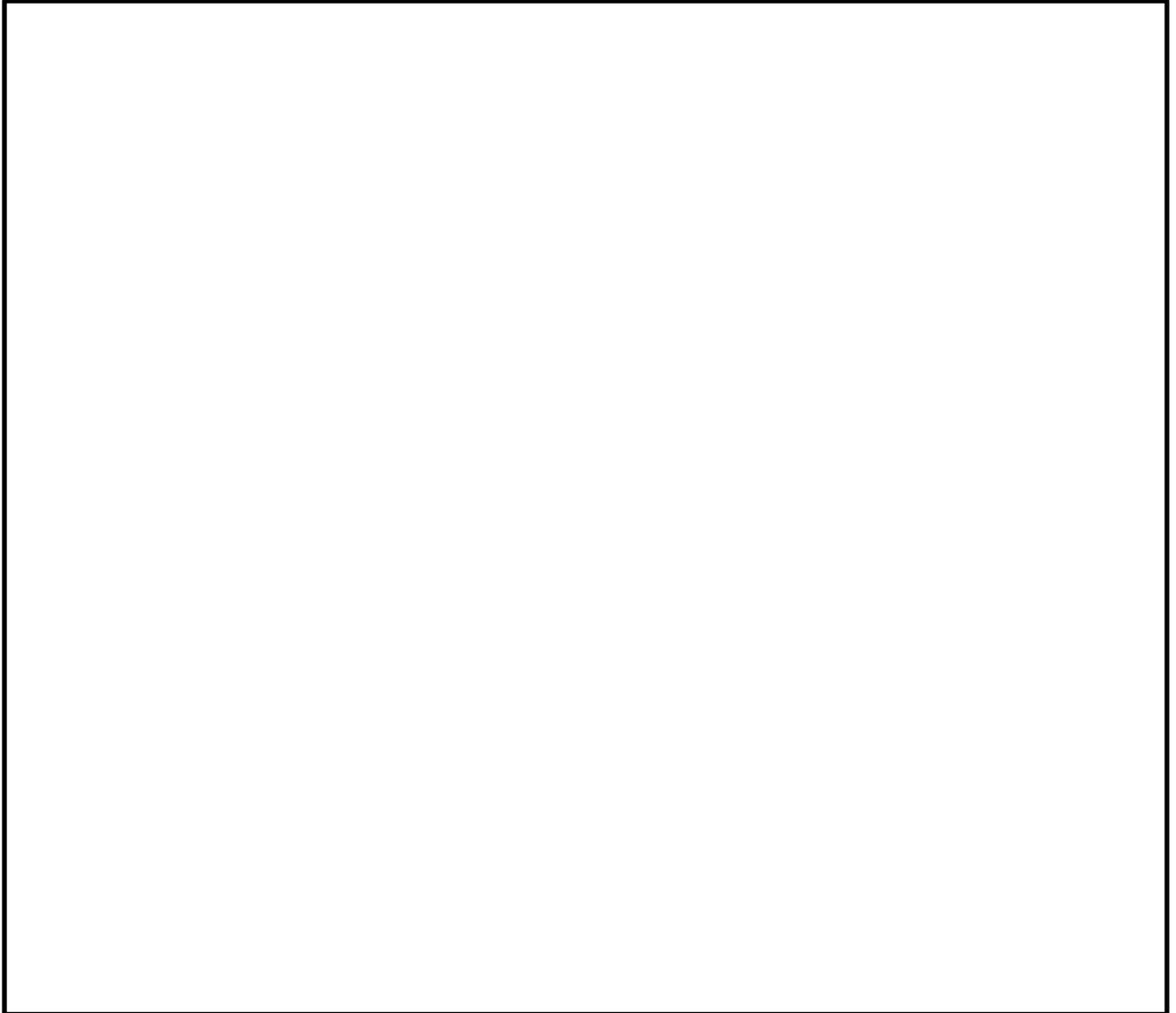


第 13-3-9 図 使用材料・許容応力度・強度
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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。

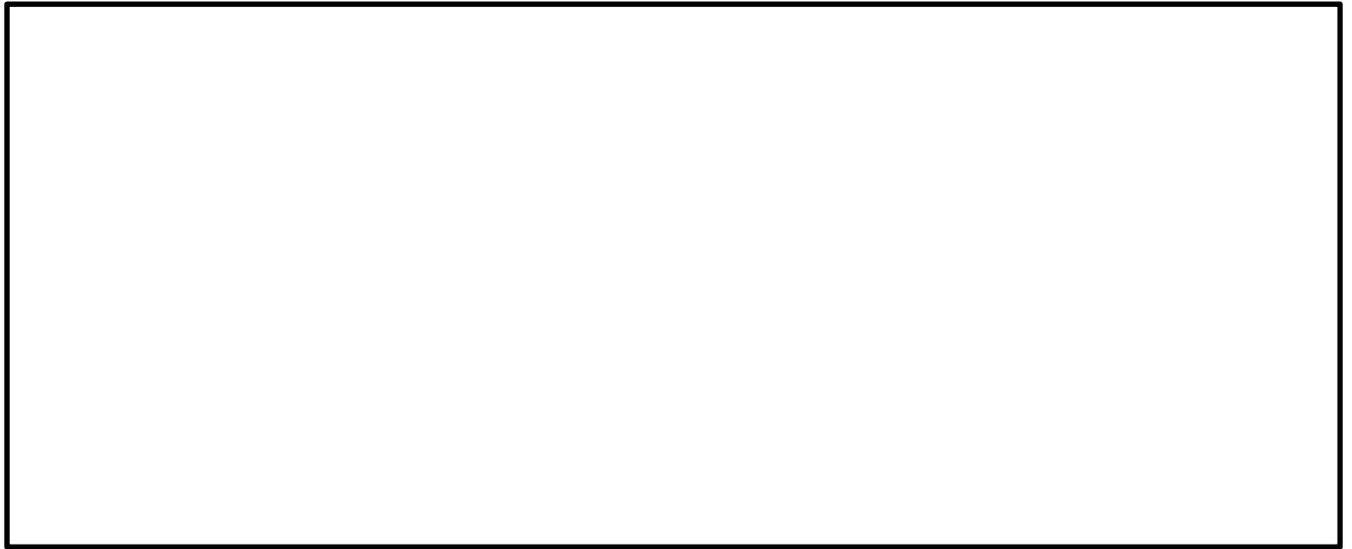


第13-3-10図 使用材料・許容応力度・強度
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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。

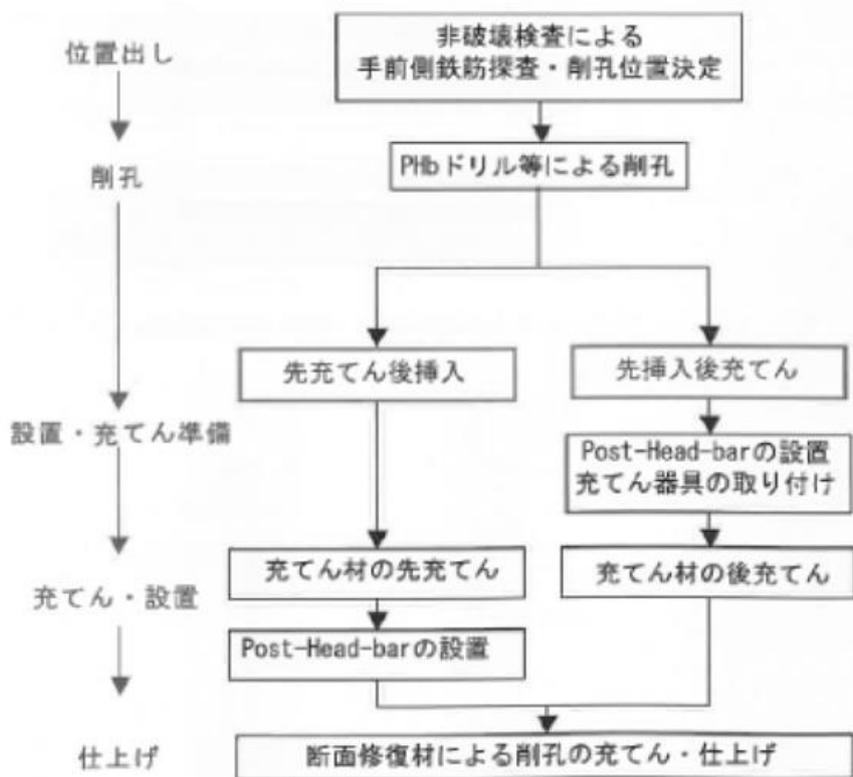


第 13-3-11 図 構造規定（建設技術審査証明報告書より抜粋）

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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。確認にあたっては、第 13-3-12 図に示す通り 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。例えば、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。

(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。

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あたり、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上で行う。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。

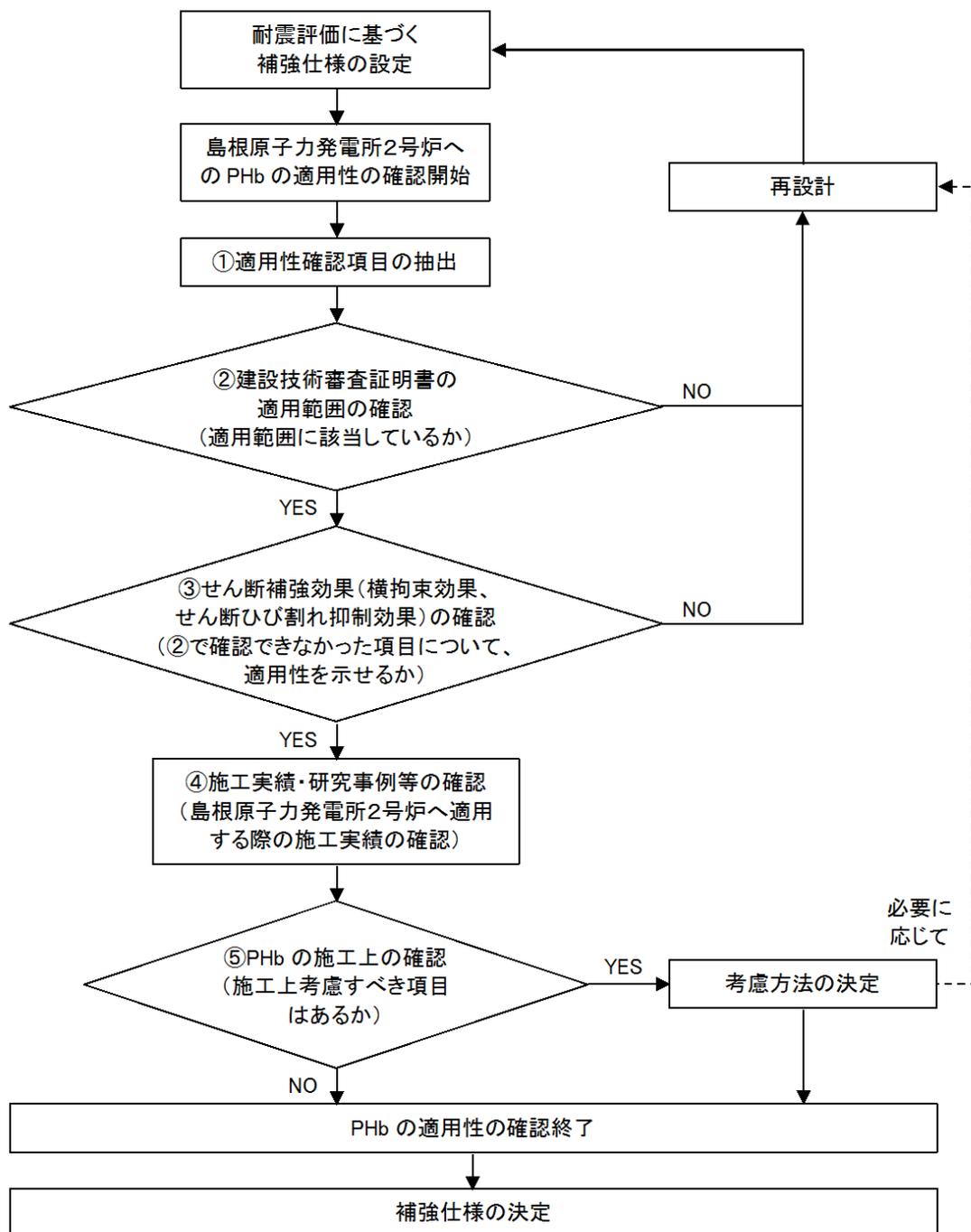
③ 補強仕様に対して②以外の項目においてもせん断補強効果を期待できるか

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。

⑤ PHbの施工において考慮すべき項目はあるか

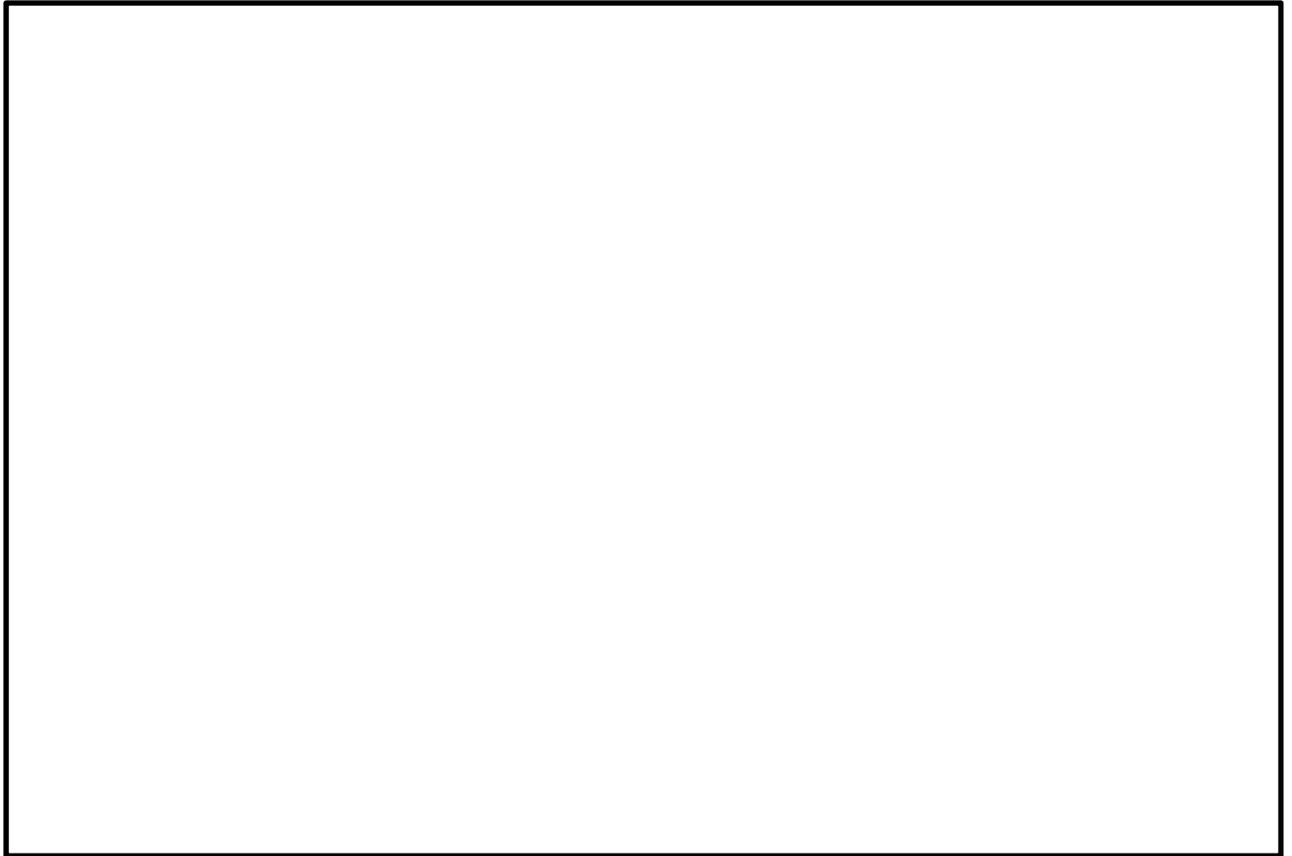
島根原子力発電所2号炉の屋外重要土木構造物に対してPHb工法の施工をする際に、考慮しておくべき事項がないか確認を行う。ある場合は施工上または設計上どのように考慮するかを決定した上で考慮方法によっては再設計を実施するか適宜判断を行う。



第 13-4-1 図 確認フロー図

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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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、または、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。

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が確認された補強鉄筋を用いる必要がある。

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。

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、または、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。

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。

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。

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る、そのために構造物が概ね弾性範囲内であることを確認する。

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。

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
	<p>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。</p>
	<p>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。)</p>

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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。

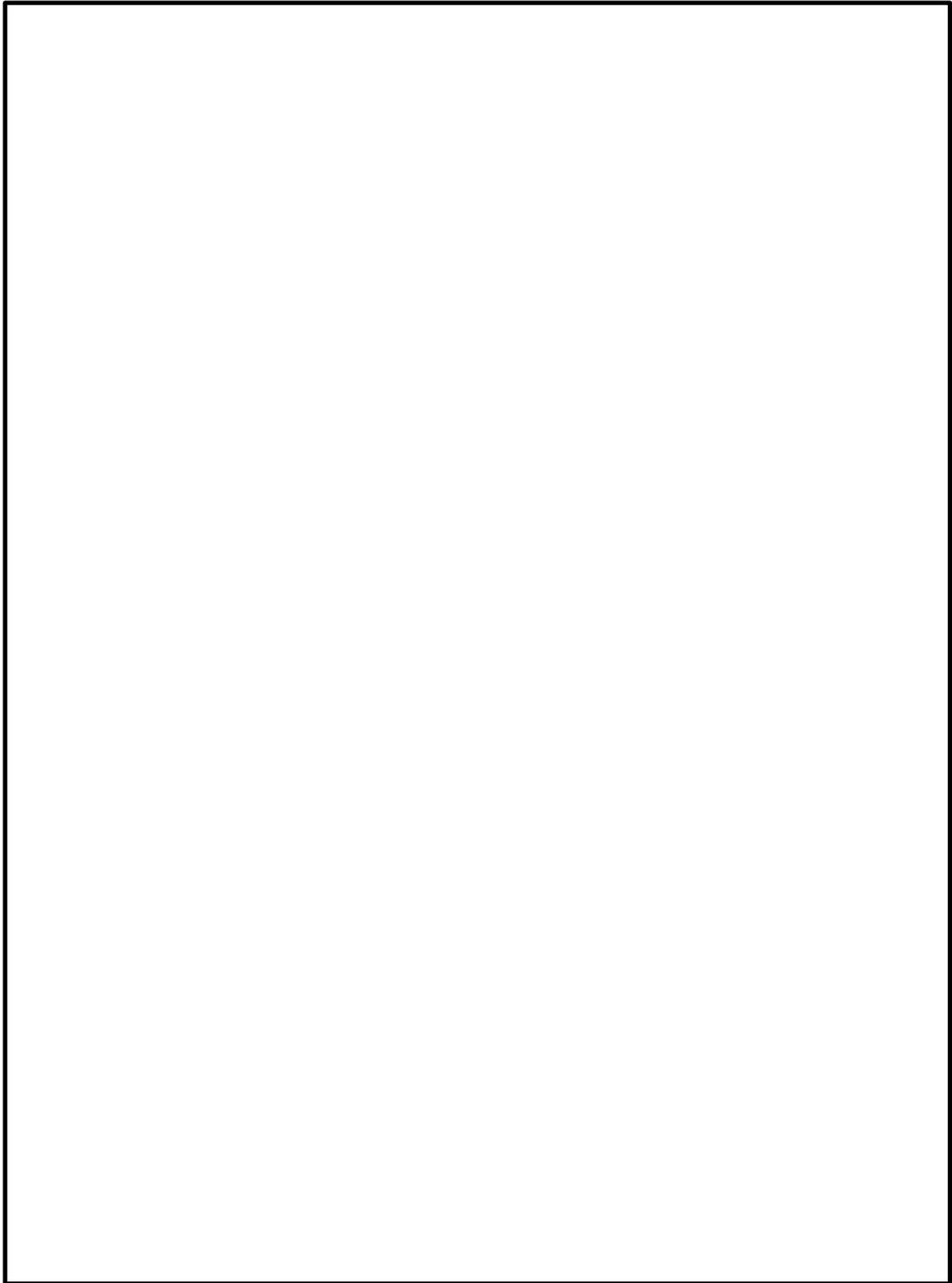
第 13-4-2 表の構造細目②においては、収縮ひび割れに対する用心鉄筋としての配慮であることがコンクリート標準示方書に記述されているので、収縮が収束していると考えられる部材の補強ではこの規定（せん断スパン方向の最大間隔 300mm 以下）を外すことができる。

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 mm 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 mm 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 mm 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 mm 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 mm+主筋径の 1/2 とし、50 mm 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 mm+主筋径の 1/2 とし、50 mm 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 mm+主筋径の 1/2 とし、50 mm 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 mm 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。



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)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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)

--	--	--

	建設技術審査証明報告書の材料範囲等	実使用材料
せん断補強筋		左記範囲内の材料を使用する。 (D19～D32 SD345)
プレート		材質は、SM490相当を用い、品質証明書でその品質を確認する。
充てん材		躯体コンクリート以上の強度
断面修復材		躯体コンクリート以上の強度
定着長		左記の定着長を考慮して設計を実施する。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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、b～f の項目については、(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

(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_{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。（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、主鉄筋比及び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であるb～fの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 mm	2,000 mm (海水ポンプ室 底板)	3,190 mm (取水ピット中頂板) 1,500 mm (左・右側壁) 1,200 mm (取水ピット底板, 隔壁) 1,000 mm (上記以外の部材)	・1,200 mm (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 β_{exp}	0.90	0.92	0.97	0.96
式 ^{※1} により計算した有効係数 β_{aw}	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 mm）～審査実績（3,190 mm）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。

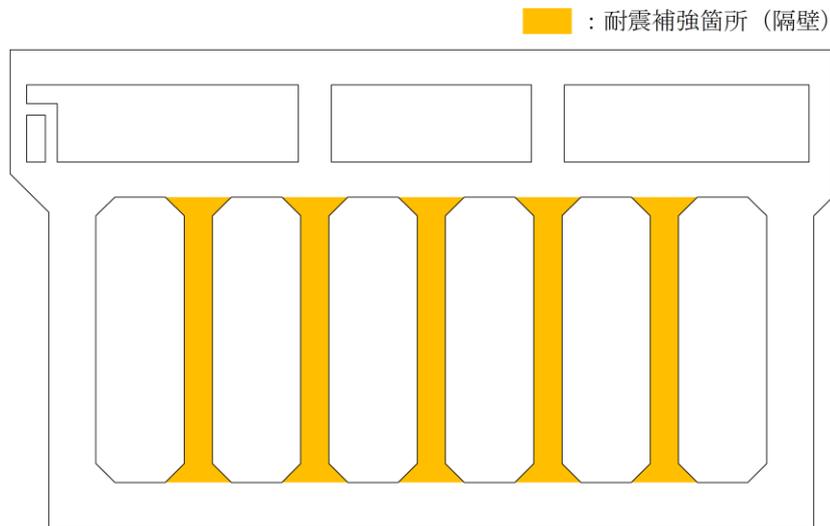
注記 ※1. 建設技術審査証明報告書における実証試験結果より設定された以下の設計式

$$\beta_{aw} = 1 - l_y / \{2 \cdot (d - d')\} \quad (\text{ただし, } \beta_a \leq 0.9)$$

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 ($d - d' \geq l_y$)

※2. 取水槽（スクリーン室）の各部材配置を以下に示す。



・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}
<p>【検証結果】</p> <p>・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。</p> <p>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。</p>				

※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 $a = 12.2\text{m}$ (隔壁の全長), 部材の有効高さ $d = 1.07\text{m}$ から, せん断スパン比 = $a / d = 11.40$

・主鉄筋比

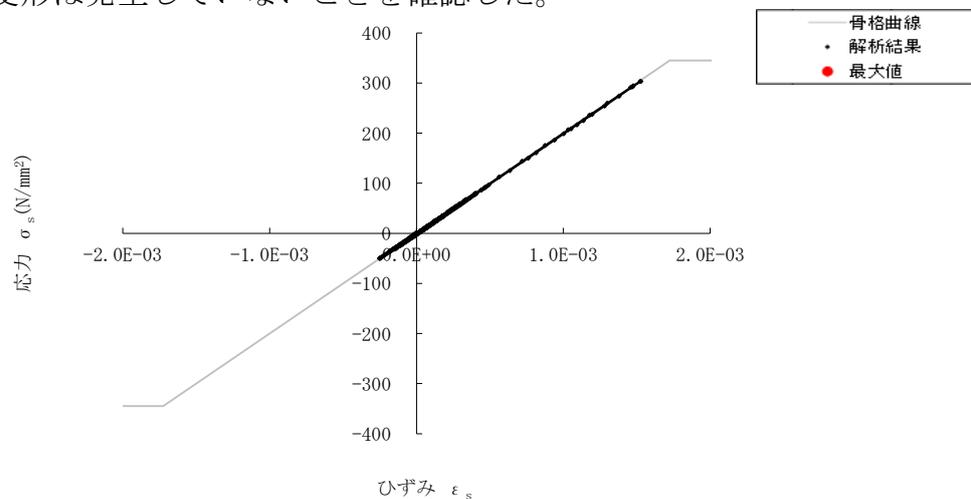
項目	建設技術審査証 明報告書 (実証試験)	先行原子力発電 所における審査 実績 (美浜3号炉)	先行原子力発電 所における審査 実績 (東海第二)	島根2号炉取水 槽のPHb適用部 材
主鉄筋比	1.48	0.47	0.46	0.85
<p>【検証結果】</p> <p>・島根2号炉取水槽（スクリーン室）のPHb適用部材の最大の主鉄筋比は、先行原子力発電所における審査実績（0.47、0.46）と比較して大きいですが、実証試験（1.48）と比較して主鉄筋比が十分に小さいため、PHbの定着性能に影響を与えるような付着割裂破壊は生じないと推察される。</p> <p>以上より、島根2号炉取水槽（スクリーン室）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。</p>				

・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)
<p>【検証結果】</p> <p>・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/mm²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。</p> <p>・設計基準強度23.5N/mm²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。</p> <p>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。</p>				

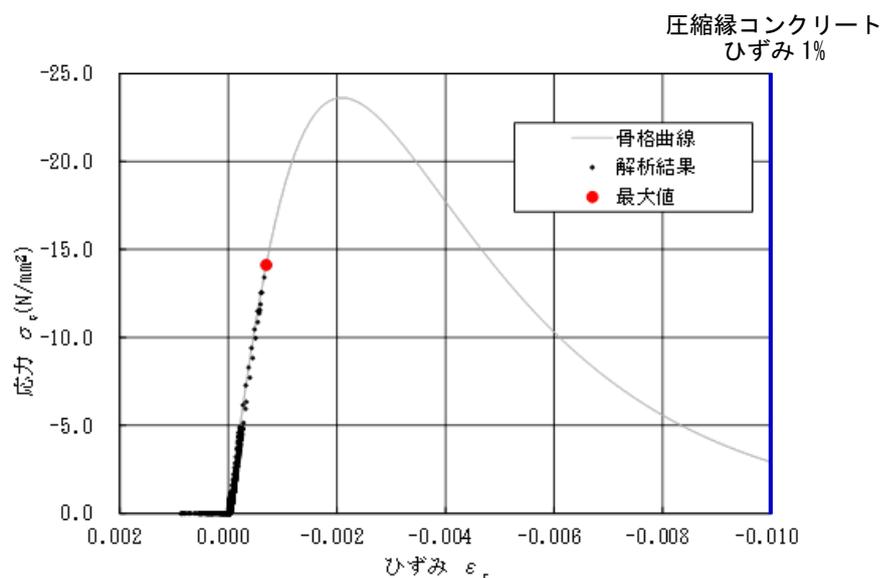
1. 応力状態（損傷状態）

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の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(1)図 取水槽の損傷図

(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)



第13-4-4(2)図 取水槽の損傷図

(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

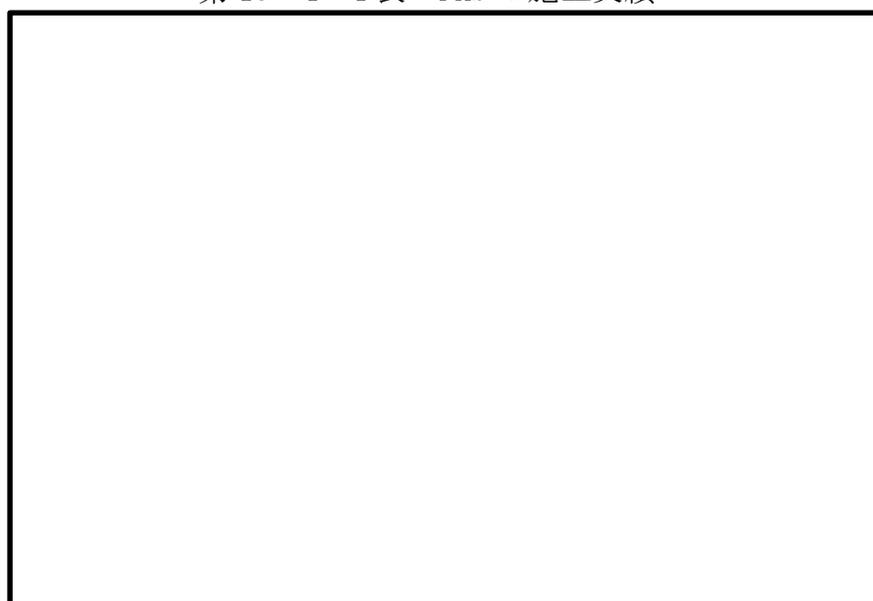
島根原子力発電所2号炉の屋外重要土木構造物におけるPHb工法による耐震補強では、先行サイトと同様、気中及び水中の部材に対してPHb工法を適用する。PHbそのものはすべて構造物内に埋設され、かぶり部分によって腐食に対する抵抗性が確保される。また、「4.6 施工実績・研究事例等の確認」に記載のとおり、気中及び水中で数多くの施工実績があることが確認できている。

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 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、鉄筋径毎に整理する。部材厚毎に整理した結果を第 13-4-5 表に、鉄筋径毎に整理した結果を第 13-4-6 表に、使用環境毎に整理した表を第 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。表に示す通り、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。先にも述べた通り、後施工せん断補強鉄筋工法は、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。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

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

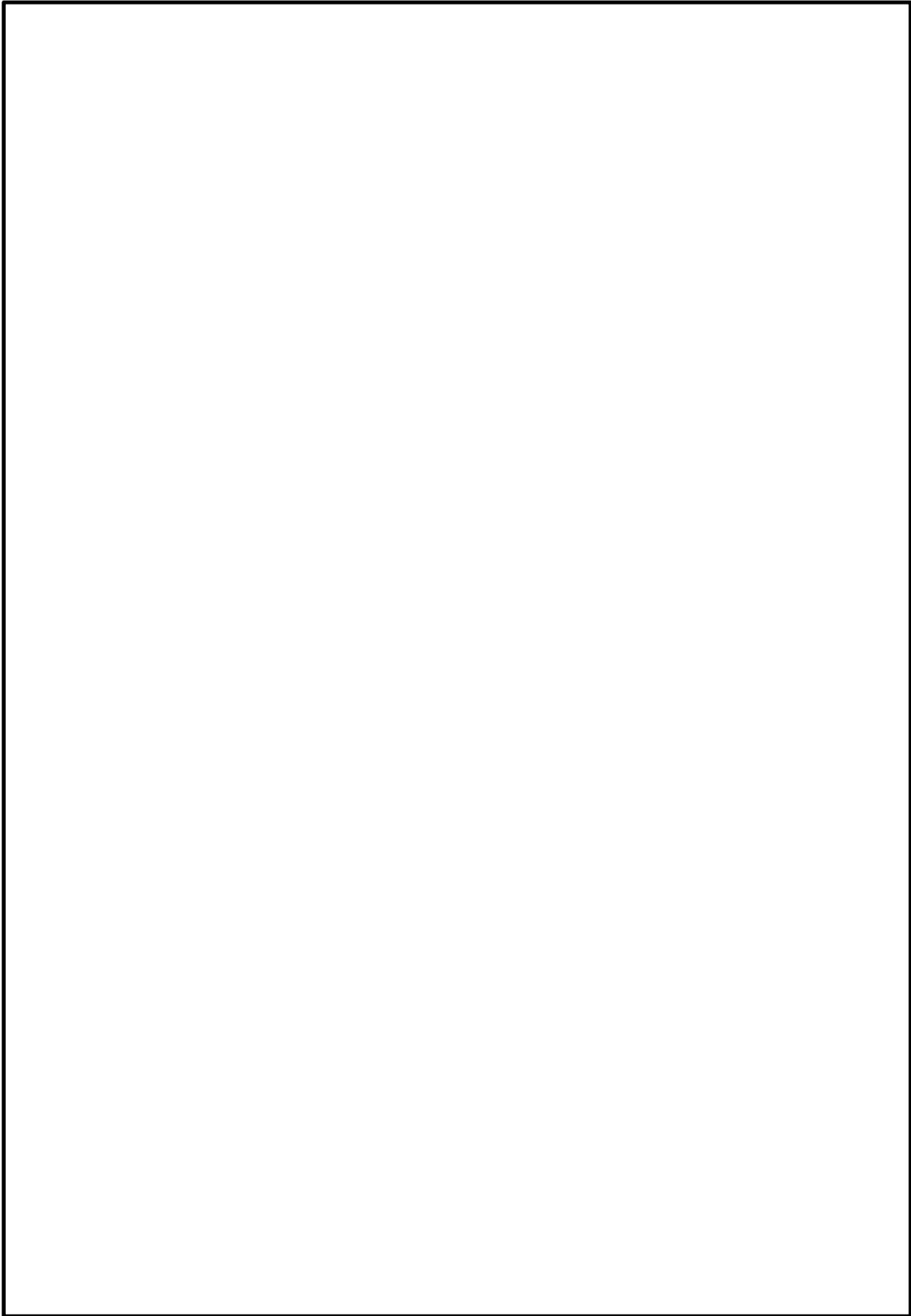
第 13-4-7 表 PHb の施工実績（使用環境）

施工場所	件数
気中	48
水中	694

(2) 過去の地震の経験事例

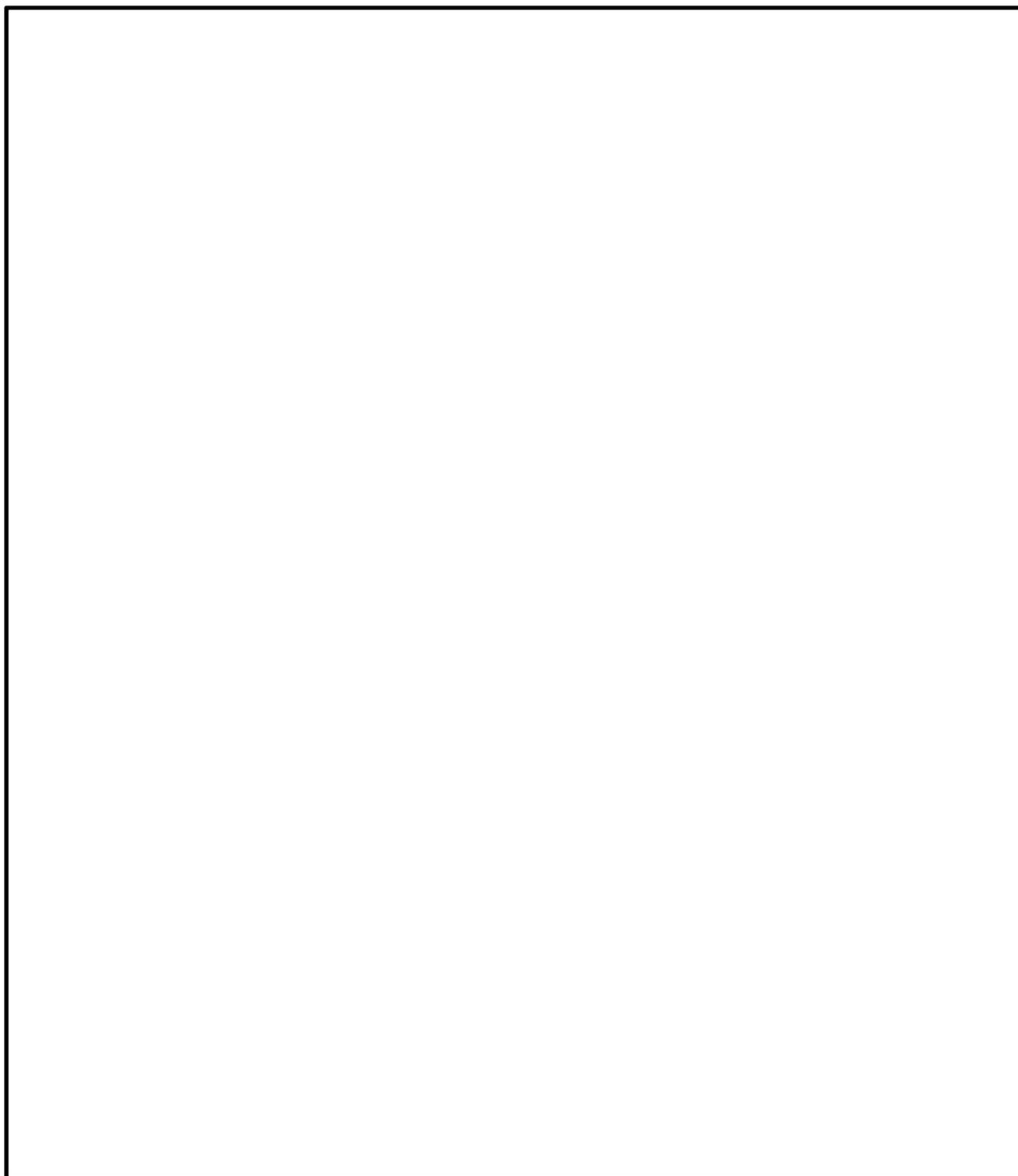
PHb 施工実績のうち、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震において、震度 5 強以上が観測された地域にある、地震発生前に施工された実績もしくは施工中であった実績を抽出した。

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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



第 13-4-6 図 熊本地震の強震域にある施工実績

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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概ねトラス理論を基にせん断耐力の算出を行っている。

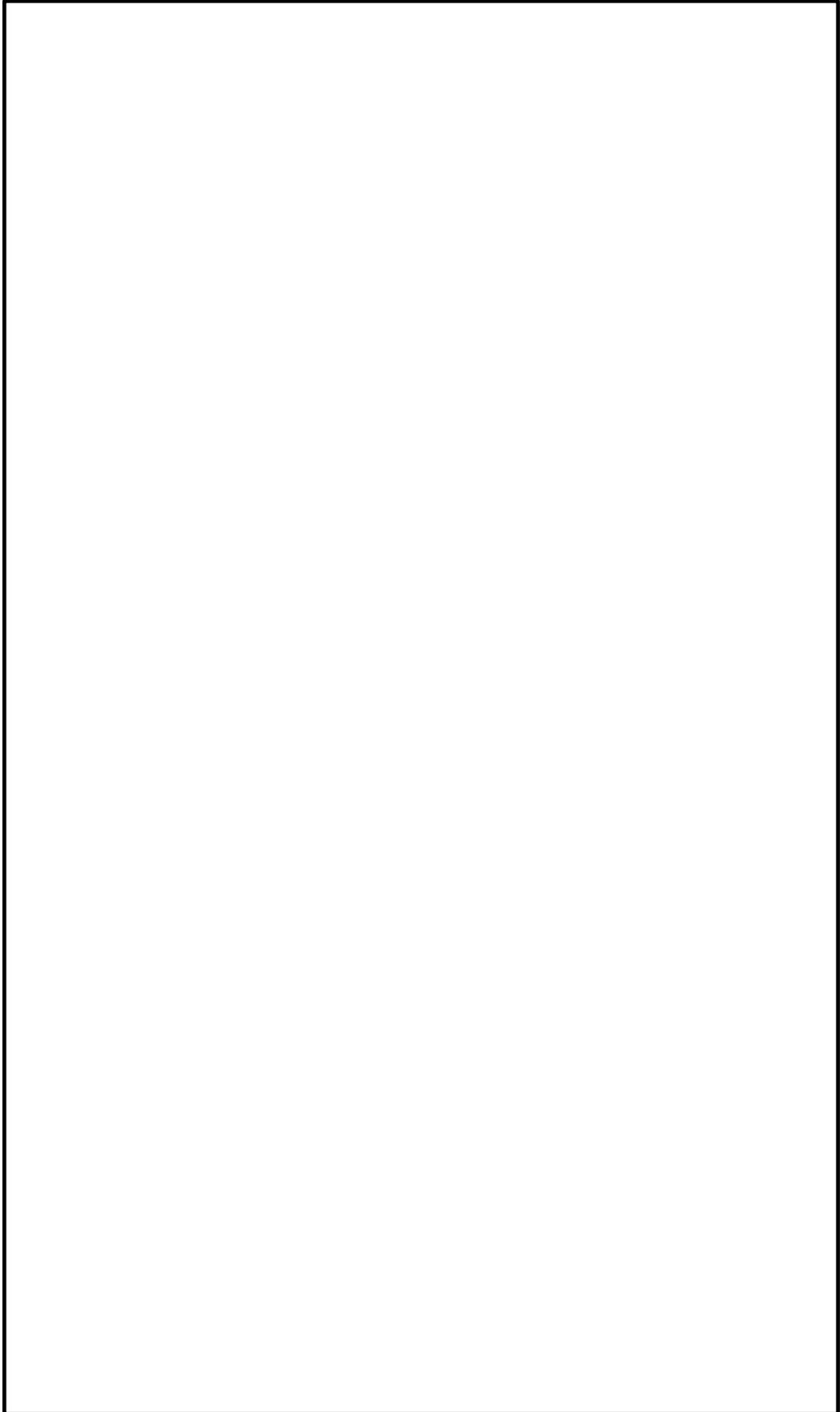
第13-4-4-8表 後施工せん断補強鉄筋工法の比較 (1/2)

--

※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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第13-4-4-8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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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、そんな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。

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：600mm（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。

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。

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：1600mm

・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：1200mm）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。

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, なら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 460mm, 底版 800mm (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も有する 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。

⑥論文 セン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 : 350mm (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。

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

350mm×350mm×650mm

・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。

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・小林亨・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:460mm（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。

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。

4.7 PHb の施工上の確認

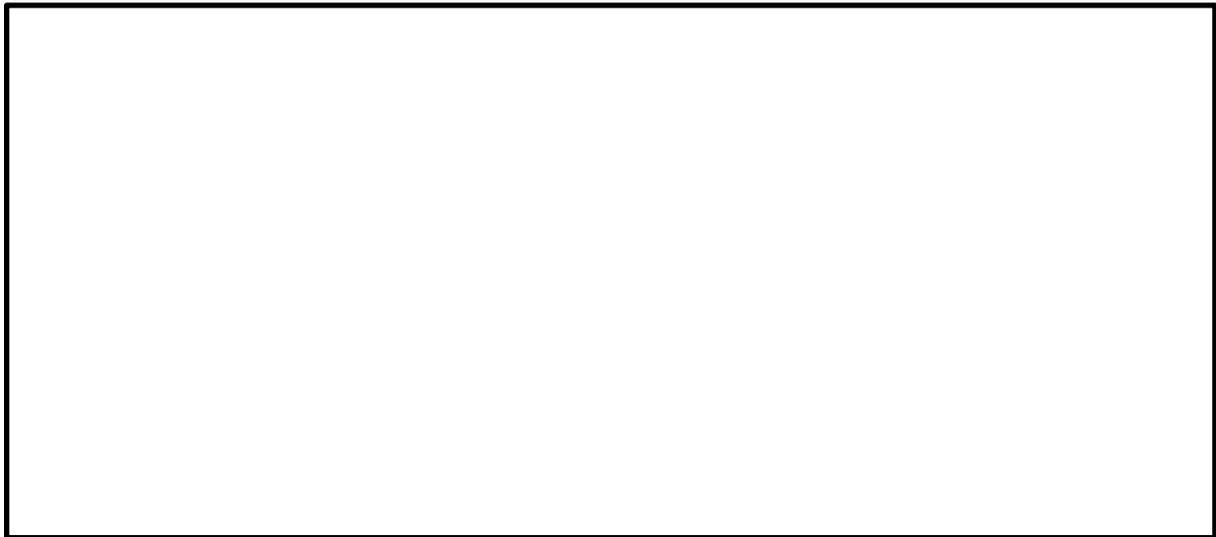
PHb 工法によるせん断補強にあたっては、既設鉄筋配置のずれ等施工のばらつきにより計画通り施工できなかつた場合、期待するせん断補強効果に影響を及ぼす可能性がある。そこで施工上せん断補強効果に影響を及ぼす可能性がある施工のばらつきに関する項目を抽出し、適切な施工管理によりばらつきを生じさせない、もしくはせん断補強効果に大きな影響を及ぼさないことを確認する。

(1) 削孔角度

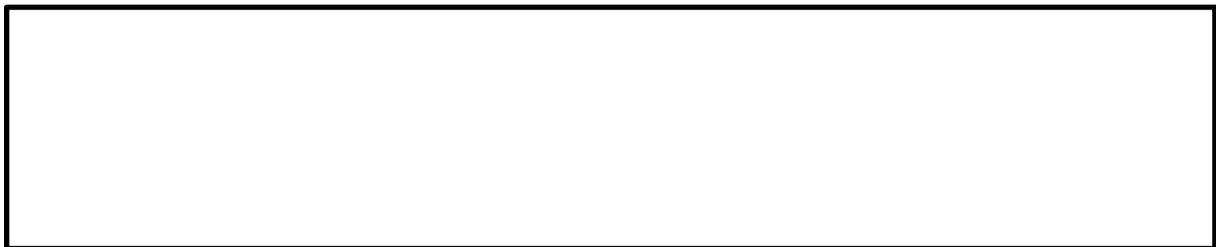
PHb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが、削孔角度に誤差が生じた場合、PHb のせん断補強効果に影響が及ぶ可能性がある。そこで施工用架台にドリルを設置し、ドリルの鉛直方向、水平方向が削孔面に対して垂直となるようスラントルール、金尺等で確認し削孔する。第 13-4-7 図に施工用架台に設置した PHb ドリルと鉛直・水平の確認状況を示す。以上より、削孔時に施工用架台を使用することで削孔角度のばらつきは生じない。

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 1200mm×高さ 600mm×長さ 1200mm 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 1200mm 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 1200mm 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 15mm 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。



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



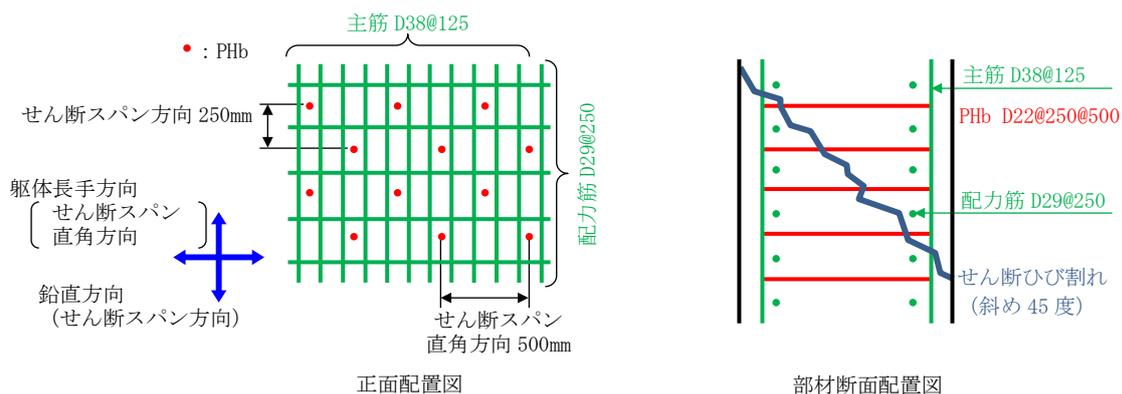
第 13-4-9 図 レッグドリルによる削孔

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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 を計画通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。

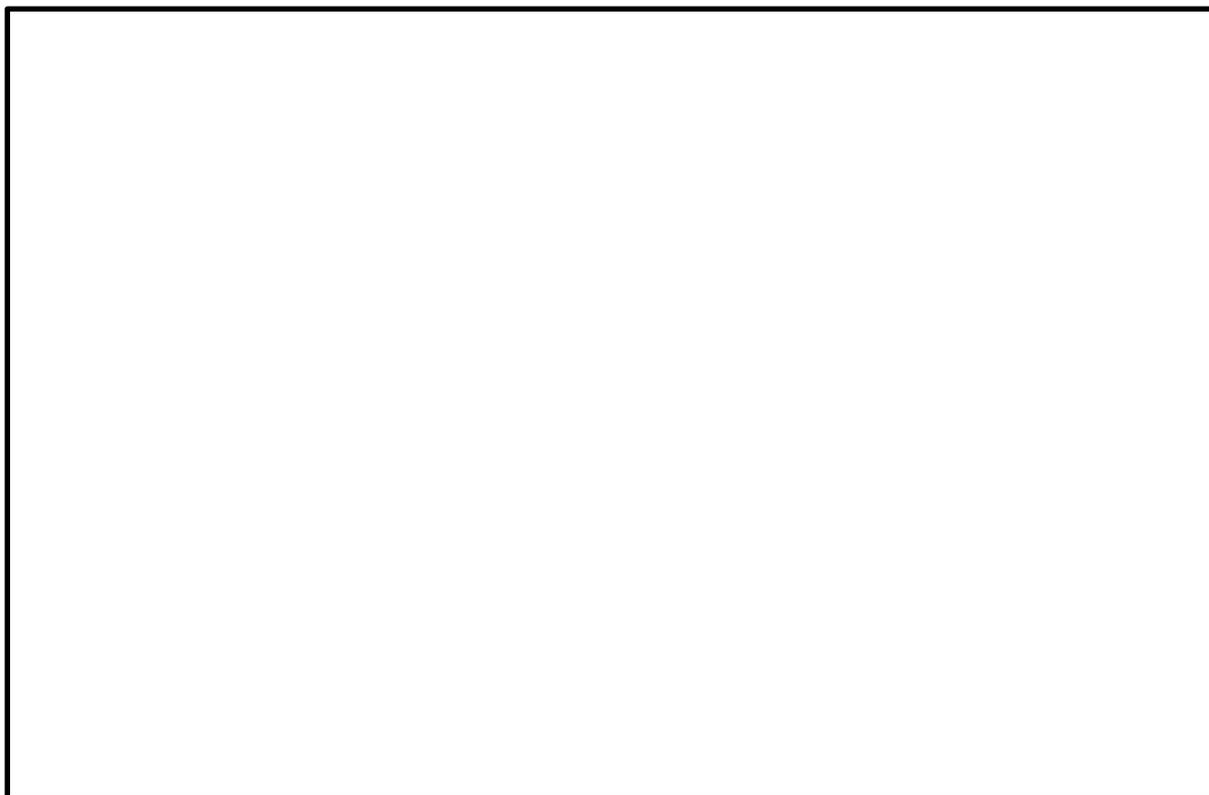
(1)～(3)に示した通り、施工上の配慮により、せん断補強効果に大きな影響を及ぼすような施工のばらつきは生じないと考えられる。しかし、現時点では後施工による施工のばらつきに対して施工実績に基づく十分な統計がとれていないため、施工のばらつきによる影響が生じる可能性を完全に否定することはできない。

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（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。

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。

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

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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



建設技術審査証明書

建技審証第 0522 号

技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋
「Post-Head-bar」

(開発の趣旨)
せん断補強を構造物の内側から施工できない供用中の既設構造物においても、構造物の片側からの施工が可能で、かつ、せん断耐力の補強に限定してせん断余裕度を向上させることでせん断破壊モードから曲げ破壊モードに移行させることができる後施工せん断補強鉄筋を提供する。

(開発目標)

- (1) 力学性能
 - ① 後施工せん断補強鉄筋の定着性能
後施工せん断補強鉄筋の実降伏荷重を発揮するために必要な円形プレート側の定着長が、鉄筋種類および鉄筋径に応じて設定できること。
 - ② 施工後のせん断耐力
「Post-Head-bar」のせん断耐力への寄与分は、新設構造物に一般に用いられている半円形フックタイプのせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力の算定方法において「Post-Head-bar」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および「Post-Head-bar」円形プレート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。また、せん断スパン比の小さい部材に対しても、SD345 以上の材質の Post-Head-bar により補強した場合には、せん断スパン比が小さい部材に適用されるせん断耐力算定式に Post-Head-bar の有効係数を用いて評価できること。
 - ③ 施工後の変形性能
新設構造物で一般に用いられる半円形フックタイプのせん断補強鉄筋を用いた部材の軸方向鉄筋の座屈が生じるまでの変形レベルと同等のじん性率が確保されること。補強後の部材の骨格曲線は、補強後の合計せん断補強鉄筋量に上限値を考慮して設定した量のせん断補強鉄筋が配置された部材として算定できること。
- (2) 施工性
 - ① 適用部材
背面に地盤や水、機器などの障害物などがあるような制約のある施工条件においても、構造物の片側からのみの施工によりせん断補強できること。
 - ② 施工の容易性と迅速性の評価
狭い空間や複雑な部位においても、大型機材を必要とせず、かつ、短時間に施工できる作業の容易さがあること。

一般財団法人土木研究センターの建設技術審査証明事業実施要領に基づき、依頼のあった標記の技術について下記のとおり証明する。

平成 17 年 12 月 21 日
平成 22 年 12 月 21 日 内容変更・更新 (依頼者変更)
平成 23 年 8 月 22 日 内容変更
平成 27 年 12 月 21 日 更新
平成 28 年 10 月 17 日 内容変更



建設技術審査証明事業実施機関
一般財団法人 土木研究センター
理事長 西川 和廣
記

1. 審査証明の結果
「Post-Head-bar」は以下の性能を有することが確認された。
 - (1) 力学的性能
 - ① 後施工せん断補強鉄筋の定着性能
後施工せん断補強鉄筋の実降伏荷重を発揮するために必要な円形プレート側の定着長が、鉄筋種類および鉄筋径に応じて審査証明報告書に示す値で設定できることが確認された。
 - ② 施工後のせん断耐力
「Post-Head-bar」のせん断耐力への寄与分は、新設構造物に一般に用いられている半円形フックタイプのせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力の算定方法において「Post-Head-bar」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および「Post-Head-bar」円形プレート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。また、せん断スパン比の小さい部材に対しても、SD345 以上の材質の Post-Head-bar により補強した場合には、せん断スパン比が小さい部材に適用されるせん断耐力算定式に Post-Head-bar の有効係数を用いて評価できることが確認された。
 - ③ 施工後の変形性能
新設構造物で一般に用いられる半円形フックタイプのせん断補強鉄筋を用いた部材の軸方向鉄筋の座屈が生じるまでの変形レベルと同等のじん性率が確保されることが確認された。
補強後の部材の骨格曲線は、補強前のせん断補強鉄筋と「Post-Head-bar」を合わせた実配型に対し、変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の設定値に上限を設けた部材として算定できることが確認された。
 - (2) 施工性
 - ① 適用部材
背面に地盤や水、機器などの障害物などがあるような制約のある施工条件においても、構造物の片側からのみの施工によりせん断補強できることが確認された。
 - ② 施工の容易性と迅速性の評価
狭い空間や複雑な部位においても、大型機材を必要とせず、かつ、短時間に施工できる作業の容易さがあることが確認された。
2. 審査証明の前提
 - (1) 本審査証明は、依頼者からの試験データ等の資料を基に審査し、確認したものである。
 - (2) 「Post-Head-bar」は、所定の材料を用いて、適正な品質管理のもとで製造されるものとする。
 - (3) 「Post-Head-bar」は、適正な補強設計によって計画されるものとする。
 - (4) 「Post-Head-bar」は、適正な機材および施工手順によって設置されるものとする。
 - (5) 「Post-Head-bar」は、適正な管理のもとで施工されるものとする。
3. 審査証明の範囲
 - (1) 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約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。
 - (2) 環、水門、橋台や橋脚等の既設の半地下およ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、曲げ破壊モードにある構造物の変形性能の改善を目的とする補強に用いてはならない。せん断補強により 2 次的に得られる変形性能を考慮する場合には、変形の応答値は変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の上限を「Post-Head-bar」の矩形プレート側で 0.30%、円形プレート側で 0.15% として求めた部材の骨格曲線の範囲内に限定する。
 - (3) 杭で支持される橋脚のワーキングのようなせん断スパン比の小さい部材に対して、後施工によるせん断補強の目的で用いる。
4. 審査証明の詳細: 建設技術審査証明報告書
6. 審査証明の有効期限 平成 32 年 12 月 20 日
7. 審査証明の依頼者

大成建設株式会社
所在地: 東京都新宿区西新宿 1-25-1

成和リニューアールワークス株式会社
所在地: 東京都港区六本木 1-6-1

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。

①PHb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あたり、PHbの解析モデルへの考慮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。

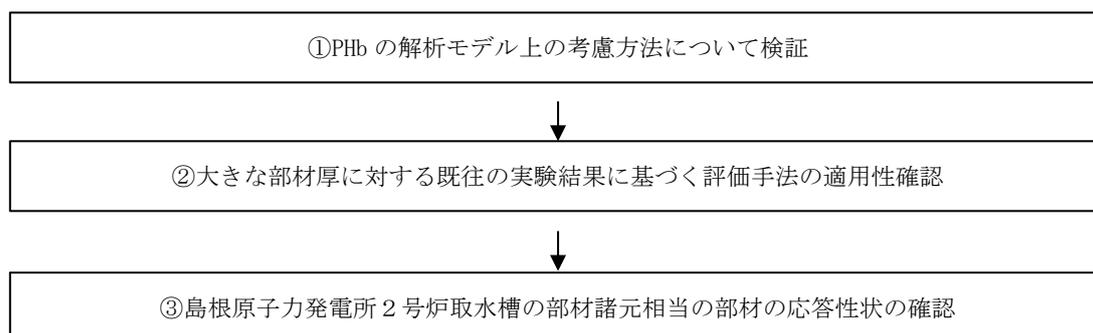
なお、先施工せん断補強鉄筋はフックを有し鉄筋に定着をとっているが、フックを有しないせん断補強鉄筋であるPHbはコンクリートに定着をとっていることから、その違いをモデル上で考慮する必要がある。そのため「コンクリート工学年次論文集 Vol. 26, No. 2, 2004 せん断補強筋の定着不良がRCはりのせん断耐力に及ぼす影響」を参考に、供試体をモデル化する際に要素内鉄筋比を0とする区間を設けることとし、実験への再現性が高い区間設定を基に②以降の検討を実施する。

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を示すため、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。

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を確認の上、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。



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

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。

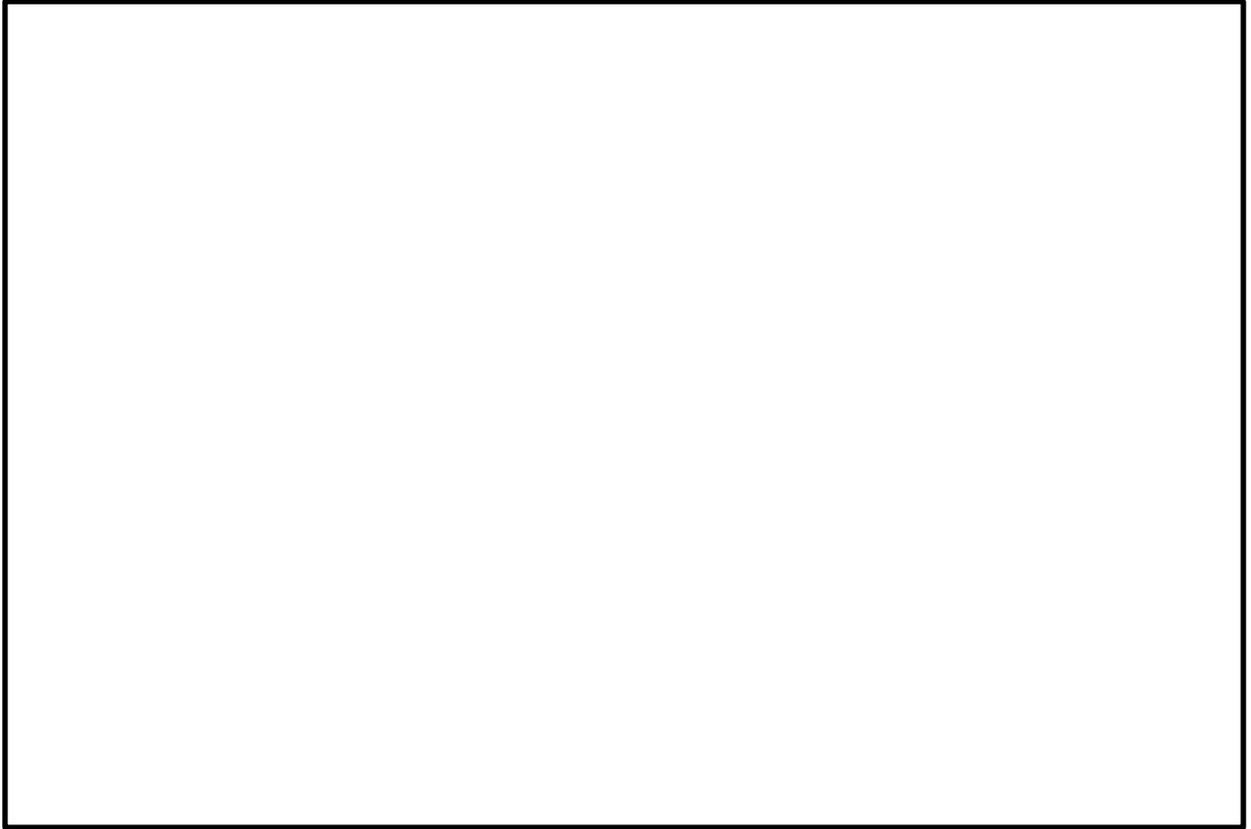
材料非線形解析について用いる解析コードは、上記の RC の構成則を有する解析コードの 1 つとして「UC-win/WCOMD ver2.01」とする。

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。

2.1 モデル化について

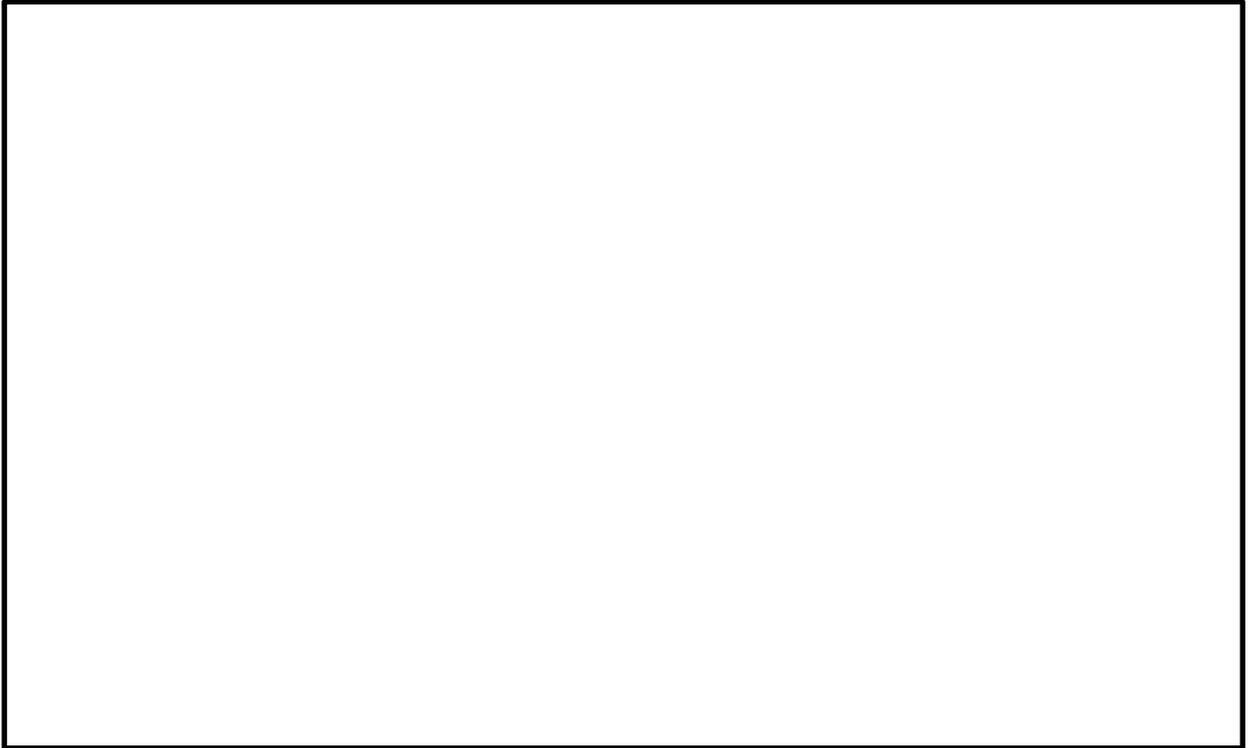
材料非線形解析では、建設技術審査証明報告書の実験で用いた試験体 (CASE5) をモデル化する。第 2-1 図にモデル化の対象とする試験体 (CASE5) を、第 2-2 図にせん断耐力の向上性能確認試験の加力要領を示す。なお、CASE5 は PHb 先端位置が主鉄筋手前であり、施工時の条件と一致している。また、第 2-1 表に示すとおり、CASE5 は破壊形態がせん断破壊先行であり、適切にせん断耐力を評価できること、かつ①の再現解析においては実験値と理論値が整合的である必要があるため、その条件を満たす CASE5 を選定した。

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あたっては、第 2-3 図に示す通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（抜粋）
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

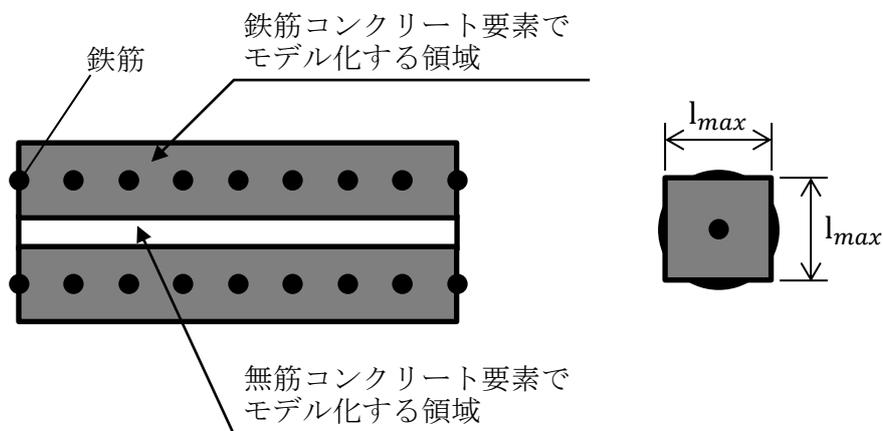


第 2-2 図 せん断耐力の向上性能確認試験の加力要領（抜粋）
 （建設技術審査証明報告書より抜粋）

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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



$$l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{f_y / f_t}$$

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

D_b : 鉄筋の直径

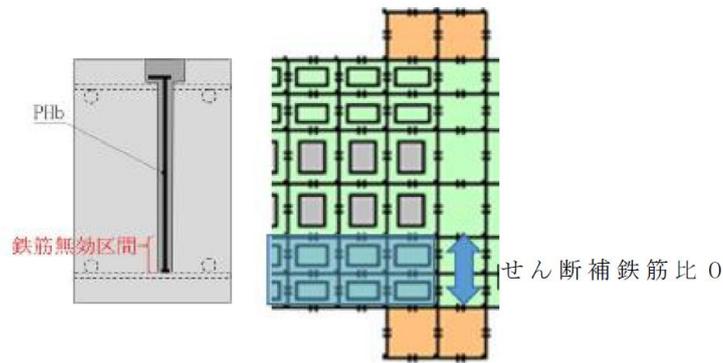
f_y : 鉄筋の降伏強度

f_t : 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

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 Vo1. 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：先施工によるせん断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の材料特性および鉄筋の材料特性を第 2-2 表及び第 2-3 表に示す。

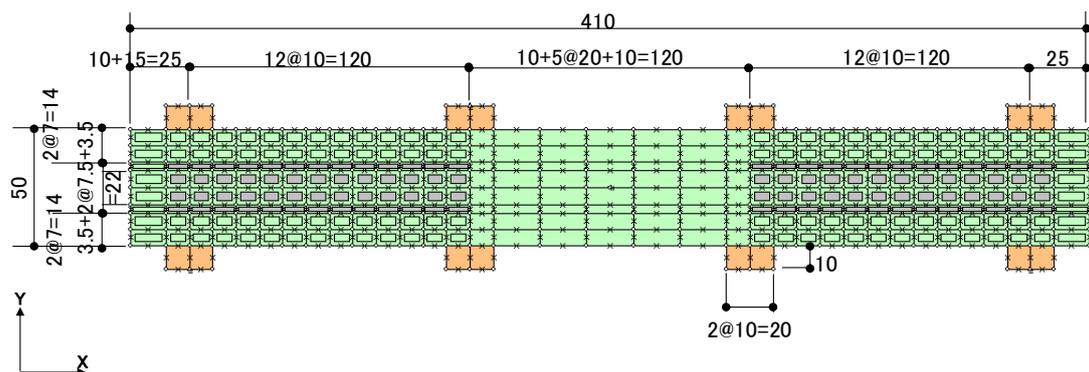
以上，条件により設定した解析モデル図を第 2-5 図に示す。

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/mm ²
引張強度 f_t	2.32N/mm ² (小数 2 位に四捨五入) ($=0.23 \times 32.0^{2/3} = 2.3182$)
ヤング係数 E_c	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/mm ²
主鉄筋の降伏強度	999N/mm ²
PHb 鉄筋の降伏強度	384N/mm ²
その他鉄筋 (D16, D19) の降伏強度	345N/mm ²



(単位：cm)

第 2-5 図 解析モデル図

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。

2.3 破壊判定基準

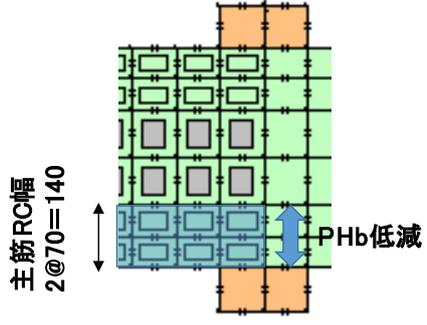
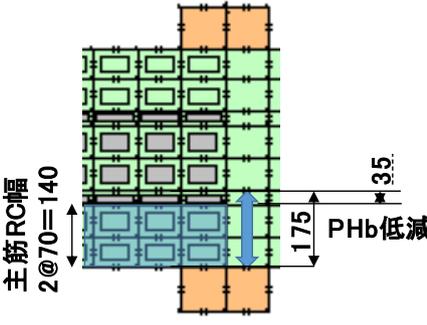
材料非線形解析における構造部材の破壊判定基準は、既往の研究事例に基づき圧縮ひずみ 1%、せん断ひずみ 2%、引張ひずみ 3%とする。(以下「1, 2, 3%破壊基準」という。)

2.4 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。表に示す通り、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、従来の先施工によるせん断補強鉄筋を考慮した場合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。

第 2-4 表 PHb の定着区間のモデル化

<p>PHb1</p>		<p>主筋領域 2 要素分 (PHb 先端から 4.4D 分) の鋼材比を 0</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実験値 (CASE5) : 486kN ・ 1, 2, 3%破壊基準 : 477kN (実験値の 98%)
<p>PHb2</p>		<p>PHb 先端から必要定着長である 5D 分の要素の鋼材比を 0 とするために無筋要素を挿入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実験値 (CASE5) : 486kN ・ 1, 2, 3%破壊基準 : 341kN (実験値の 70%)

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概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。

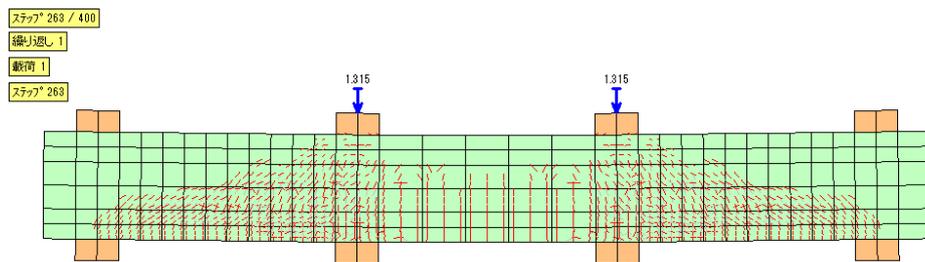
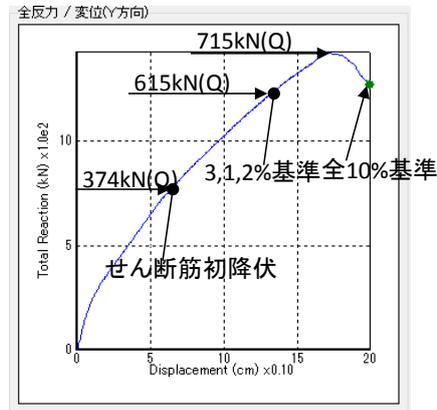
実験値 (CASE5 : 486kN) に対して、ケース①-Aは PHb の定着不良領域を設定していないため実験値に対して上回ったと考えられ、ケース①-B及びケース①-Cではせん断耐力は概ね実験を再現できている。また、ひび割れ状況については①-Aが部材全体にひび割れが分散しているのに対し、①-Bにおいては、若干ひび割れの分散性が低下しており、スパン中央側に寄った部位に発生している。これは、参考にした論文である「コンクリート工学年次論文集 Vol.26, No.2, 2004 せん断補強筋の定着不良が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響」においても同様の傾向が確認できており、PHb の定着不良分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。

実験では正負交番荷重が行われており、再現解析においては载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。単調荷重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。

・ケース①－A

1, 2, 3%破壊基準までの最大荷重：615kN

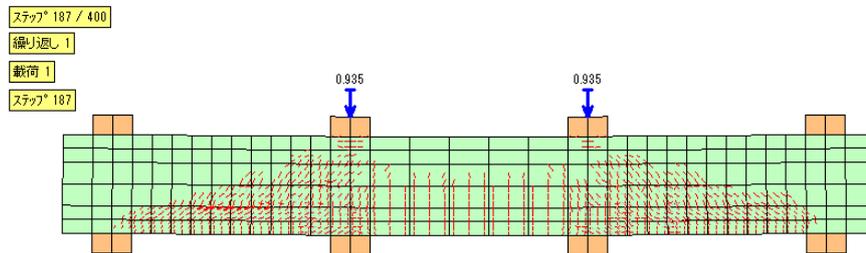
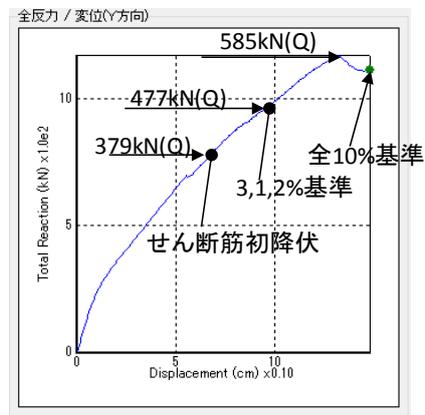


第 2-6 図 ケース①－Aの荷重－変位関係とひび割れ状況

・ 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

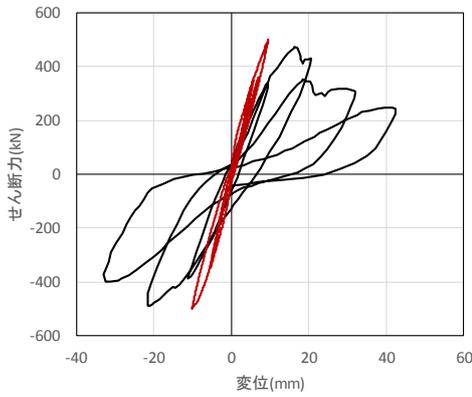
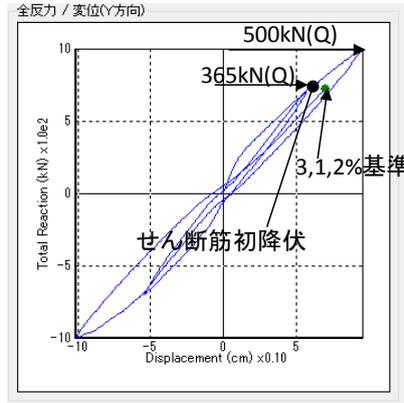


第 2-7 図 ケース①-B の荷重-変位関係とひび割れ状況

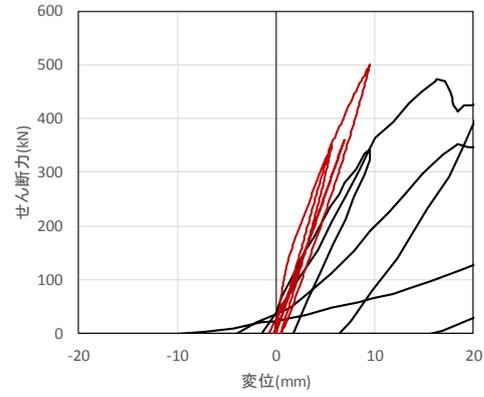
・ケース①-C

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

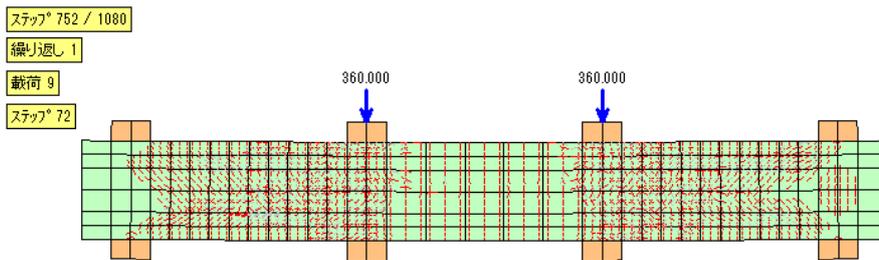


荷重変位図



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

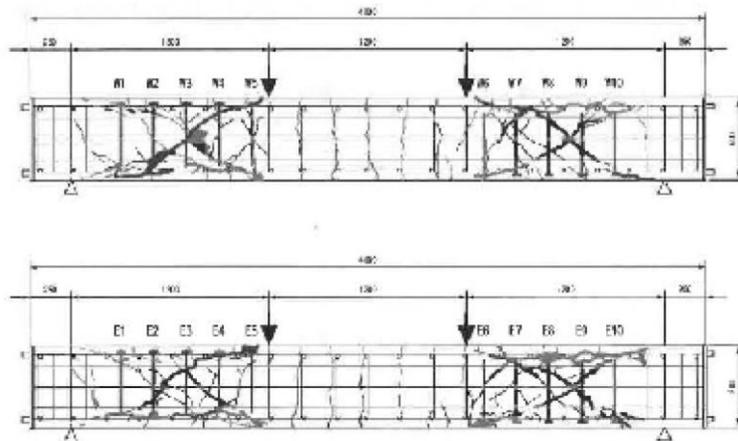
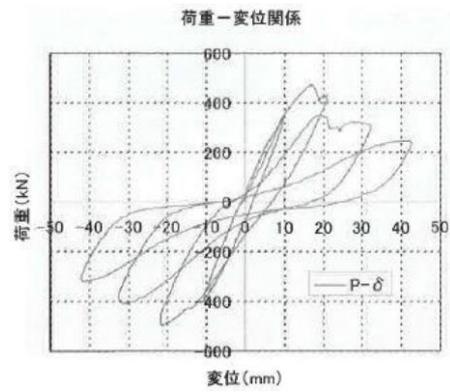


図-8.2 Post-Head-bar (2列) を後施工したはり試験体 (先端: 主鉄筋手前) の破壊状況 (CASE5)

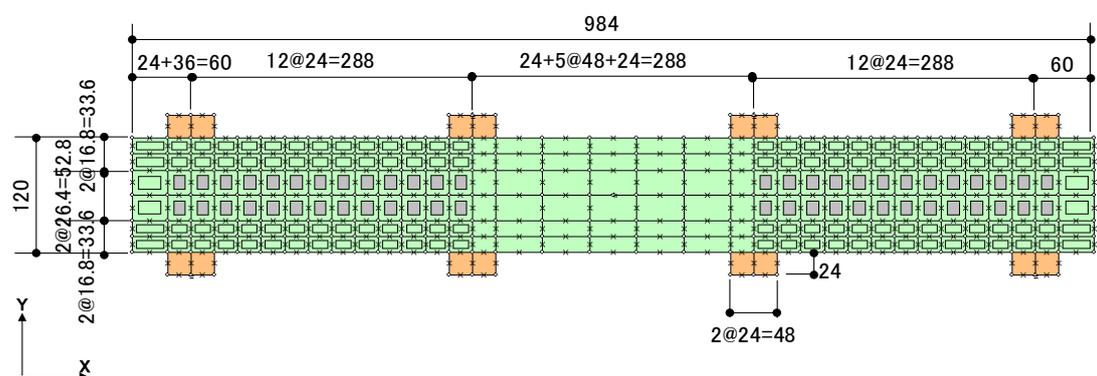
第 2-9 図 構造実験 (CASE5) の荷重-変位関係とひび割れ状況

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

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。

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 1335kN、ケース②-Bのせん断耐力は 1235kN 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 1200kN 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。

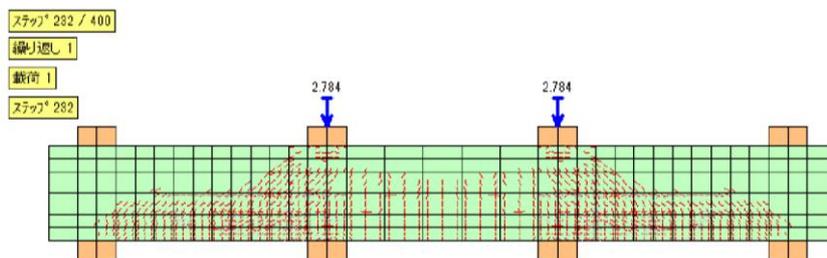
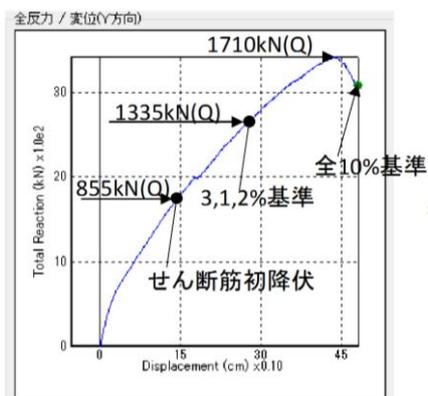
ステップ①、②の評価結果一覧を第 3-2 表に示す。また、ステップ②の解析結果を第 3-5～7 図に示す。

第 3-1 表 ケース一覧

ケース	荷重載荷方法
②-A	単調載荷
②-B	単調載荷
②-C	交番載荷

・ケース②-A

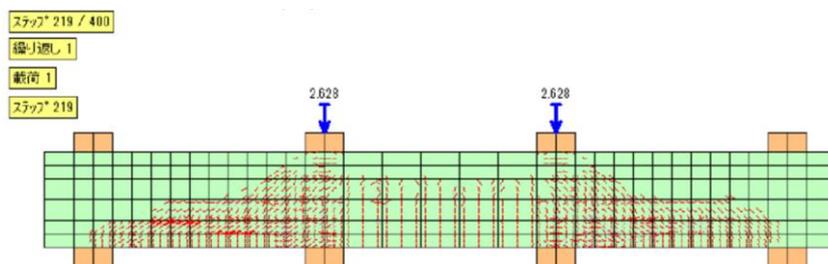
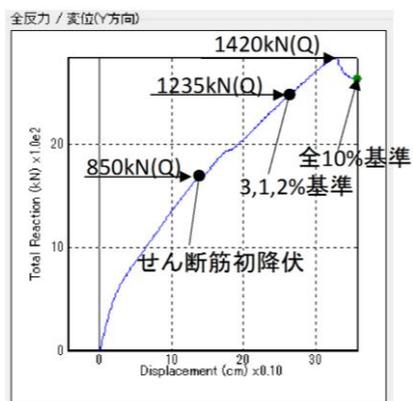
破壊基準時の最大荷重：1335kN



第 3-2 図 ケース②-A の荷重-変位関係とひび割れ状況

・ ケース②-B

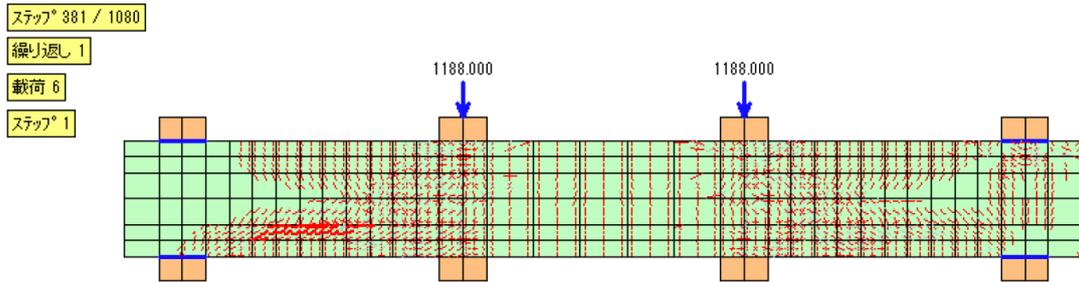
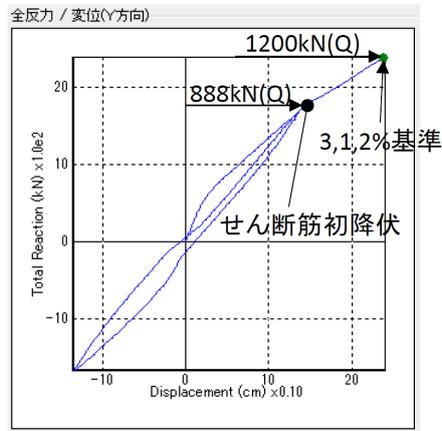
破壊基準時の最大荷重：1235kN



第 3-3 図 ケース②-B の荷重-変位関係とひび割れ状況

・ケース②-C

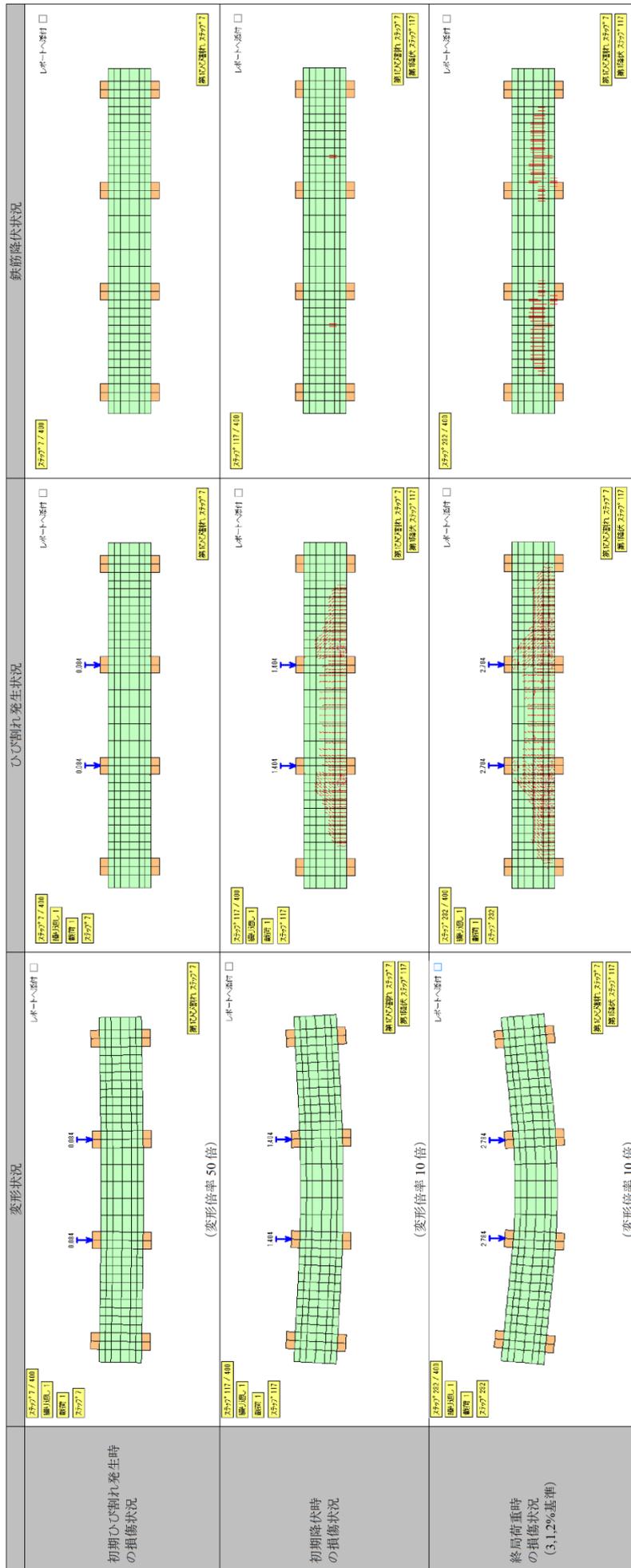
破壊基準時の最大荷重：1200kN



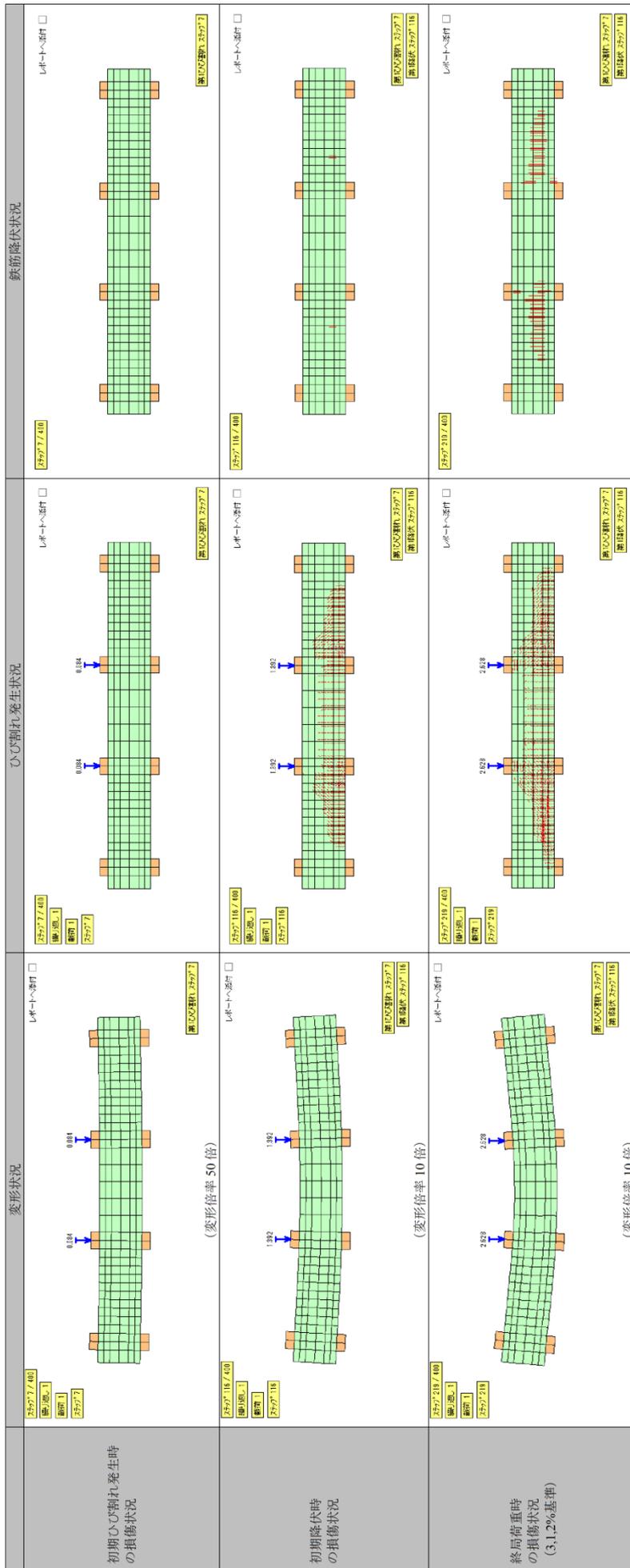
第 3-4 図 ケース②-C の荷重-変位関係とひび割れ状況

第 3-2 表 評価結果一覧

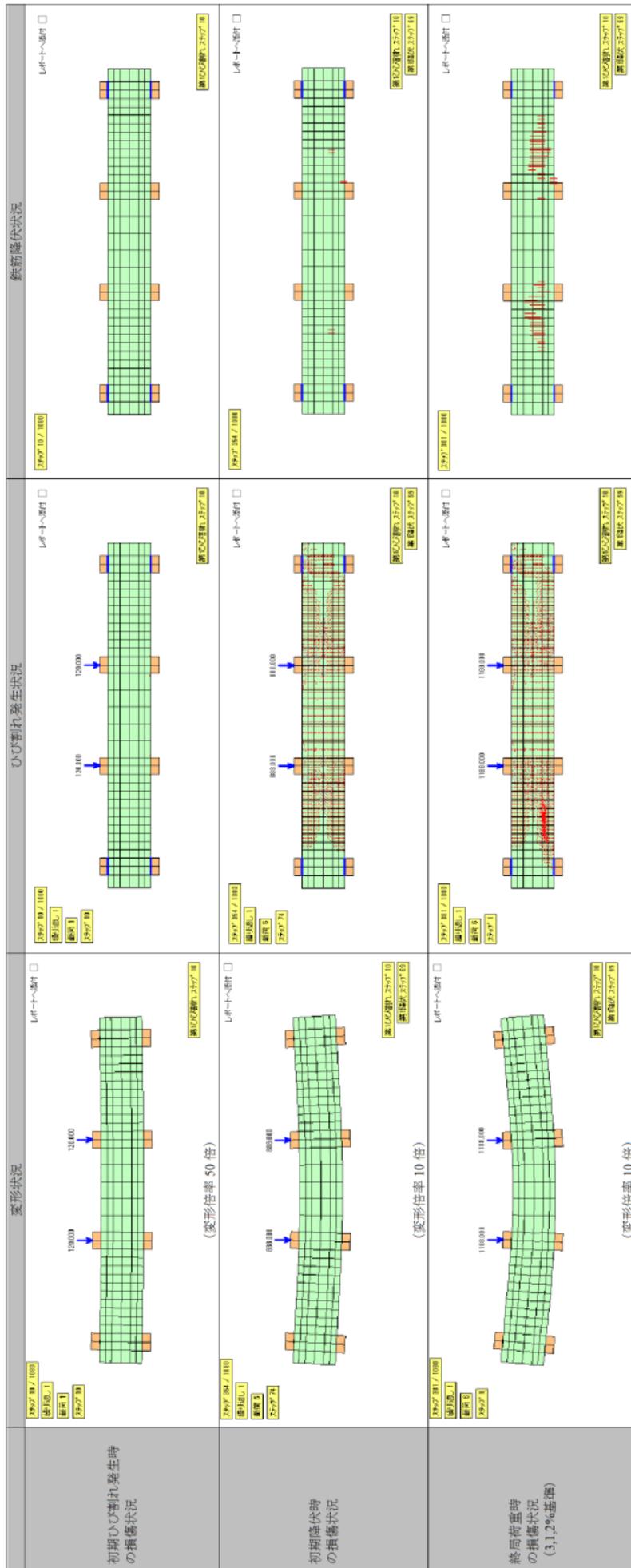
ケース	せん断耐力 (kN)	在来工法と PHb 工法の比率
①-A (在来工法)	615	—
①-B	477	0.78
①-C	500	0.81
②-A (在来工法)	1335	—
②-B	1235	0.93
②-C	1200	0.90



第 3-5 図 ケース②-A の解析結果



第 3-6 図 ケース②-B の解析結果



第 3-7 図 ケース②-C の解析結果

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。



第4-1図 評価対象部材

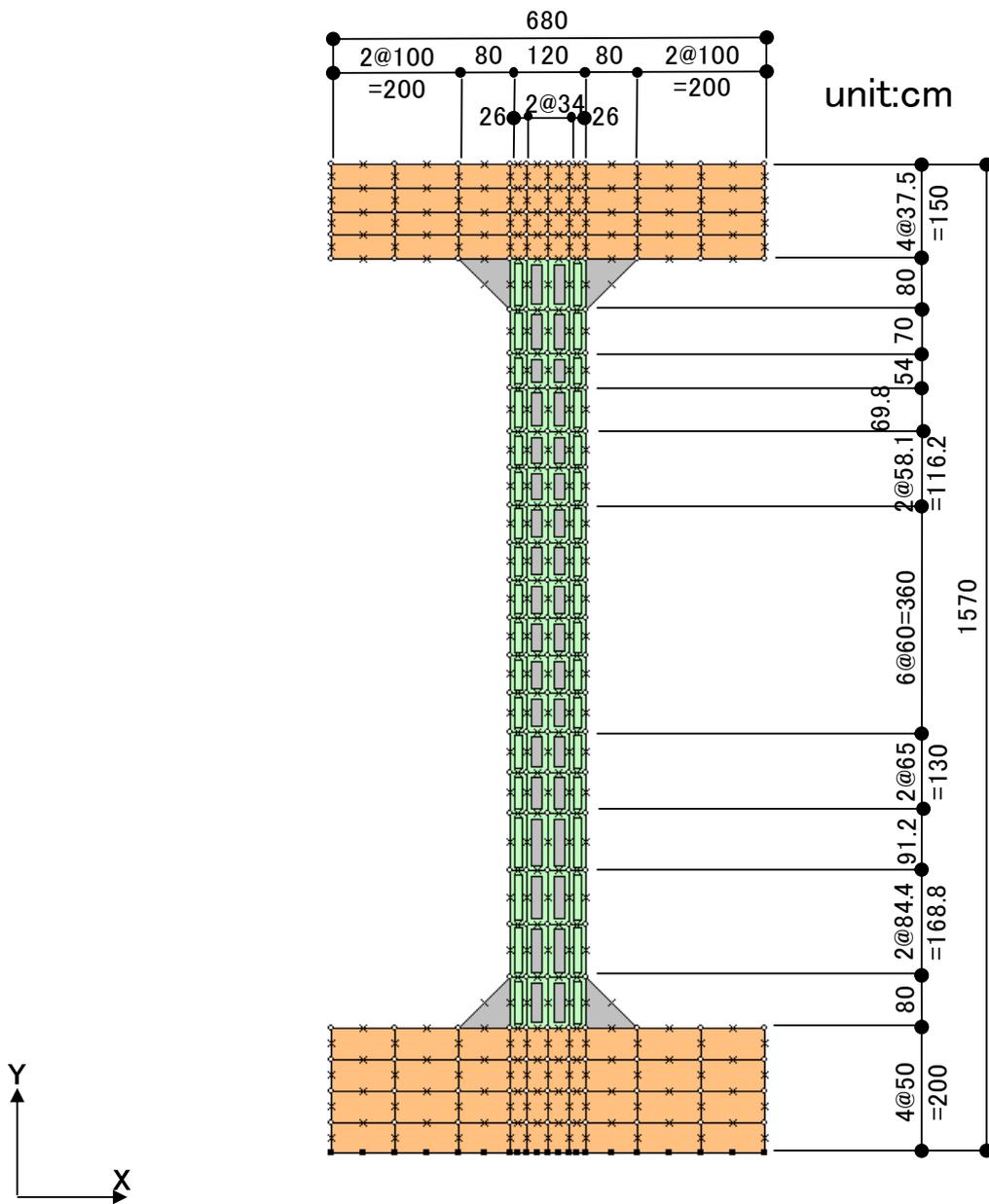
解析モデルについては、主鉄筋位置やPHbの鉄筋無効区間のモデル化を考慮して要素分割を検討する。なお、奥行き方向の厚さは100cmとする。

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。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



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の材料特性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。表に示す通り，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/mm ²
引張強度 f _t	1.91N/mm ² (小数 2 位に四捨五入) (=0.23×24.0 ^{2/3} =1.91367)
ヤング係数 E _c	WCOMD で自動計算

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 S_s-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。

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*
S _s -D	0.37
S _s -N1	0.51
S _s -N2 (NS)	0.28
S _s -N2 (EW)	0.28
S _s -F1	0.26
S _s -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

4.3 破壊判定基準

「2.3 破壊判定基準」に準じて設定する。

4.4 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。ケース一覧を第4-5表に、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。表に示す通り、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、概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。

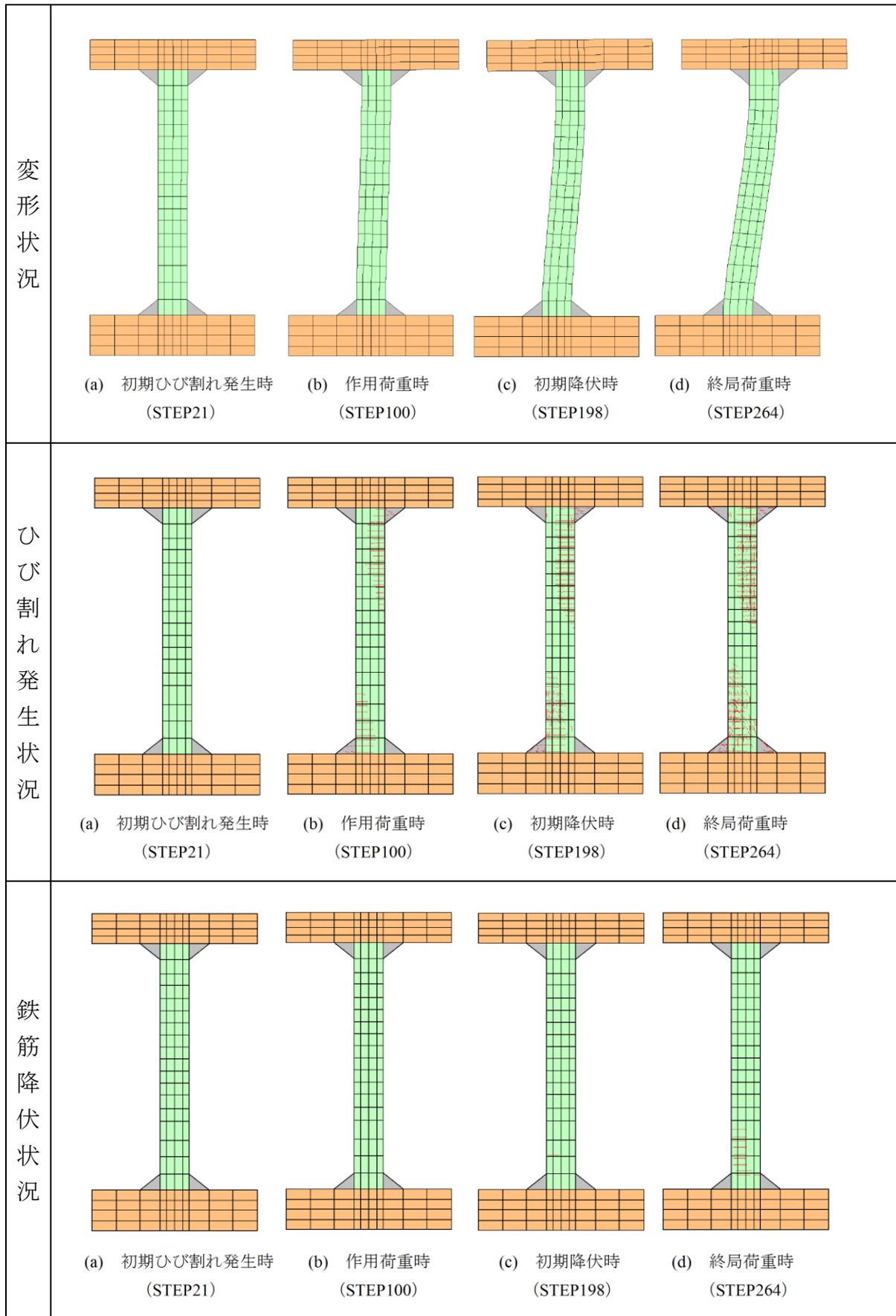
第4-5表 ケース一覧

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）

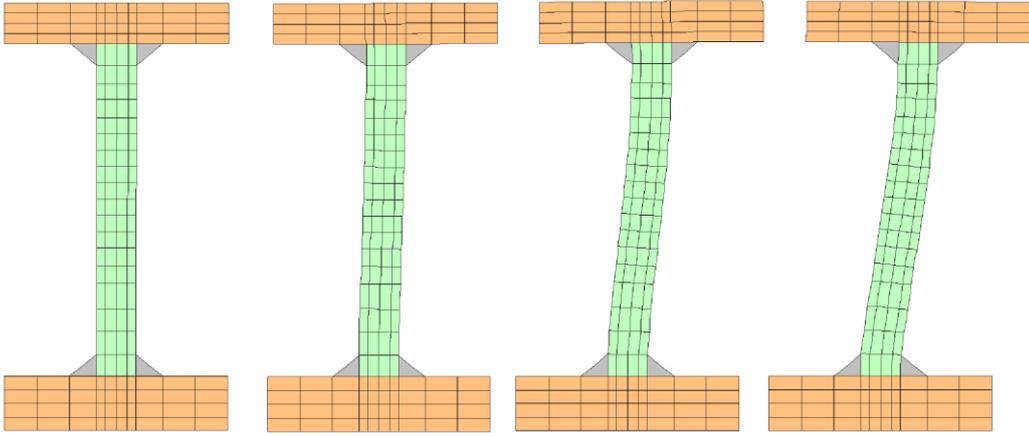
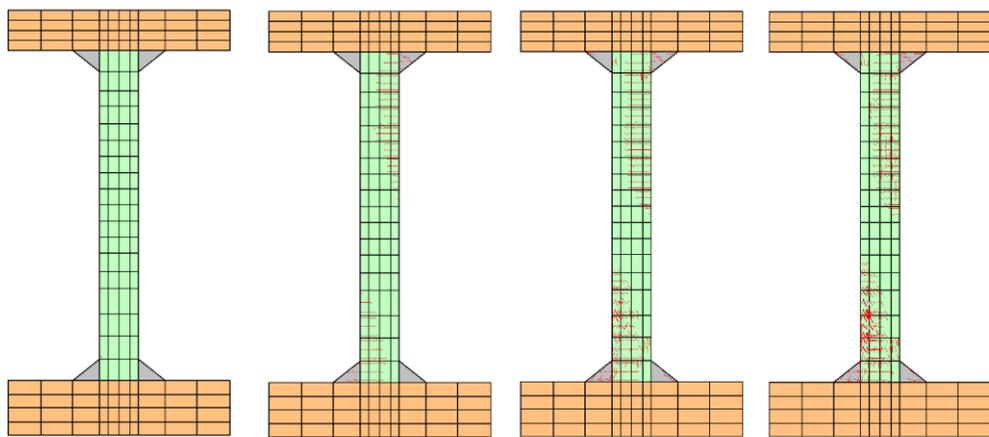
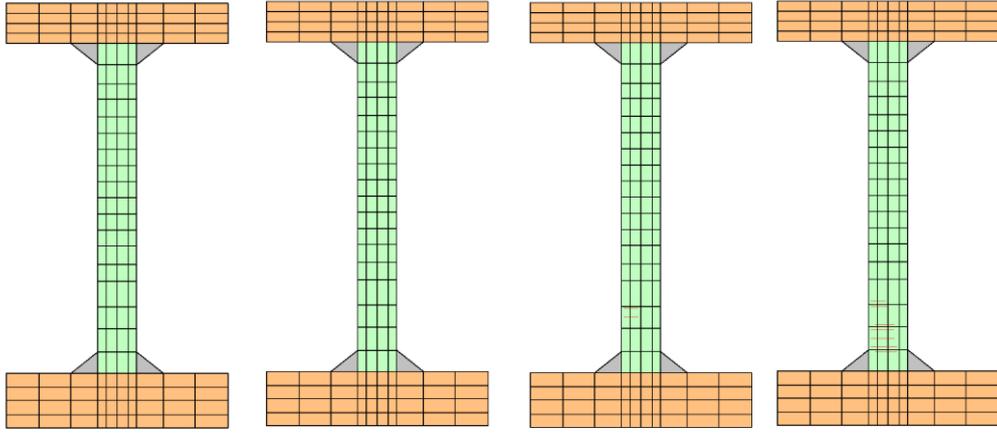
第4-6表 せん断耐力結果一覧

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

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

<p>変形状況</p>	 <p>(a) 初期ひび割れ発生時 (STEP21)</p> <p>(b) 作用荷重時 (STEP100)</p> <p>(c) 初期降伏時 (STEP221)</p> <p>(d) 終局荷重時 (STEP254)</p>
<p>ひび割れ発生状況</p>	 <p>(a) 初期ひび割れ発生時 (STEP21)</p> <p>(b) 作用荷重時 (STEP100)</p> <p>(c) 初期降伏時 (STEP221)</p> <p>(d) 終局荷重時 (STEP254)</p>
<p>鉄筋降伏状況</p>	 <p>(a) 初期ひび割れ発生時 (STEP21)</p> <p>(b) 作用荷重時 (STEP100)</p> <p>(c) 初期降伏時 (STEP221)</p> <p>(d) 終局荷重時 (STEP254)</p>

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。

添付資料 3

中国電力株式会社
島根原子力発電所

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））

中国電力株式会社

目次

	頁
1. 目的	92
2. 準拠事項	92
3. 工事の管理	92
4. 耐震補強工事	92
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	92
4.2 注入材の種類及び品質	92
4.3 断面修復材の種類及び品質	92
4.4 品質管理及び検査	92
5. 施工要領	95
5.1 施工フロー	95

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あたり、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上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 後施エプレーター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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 もしくは 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 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。 	ミルシート	材料搬入時		
		外観・寸法検査	<ul style="list-style-type: none"> ・ PHb モルタル-N 又は同等品であること。 ・ RS モルタル-P 又は同等品であること。 				PHb 出来形検査表	材料搬入時
		引張強度試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 				試験成績表	
削孔	削孔	材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 	試験成績書	材料搬入時			
		断面修復材	<ul style="list-style-type: none"> ・ RS モルタル-P 又は同等品であること。 	試験成績書		削孔完了後		
		削孔径	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 	コンベックス ノギス				
		削孔深さ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 	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)

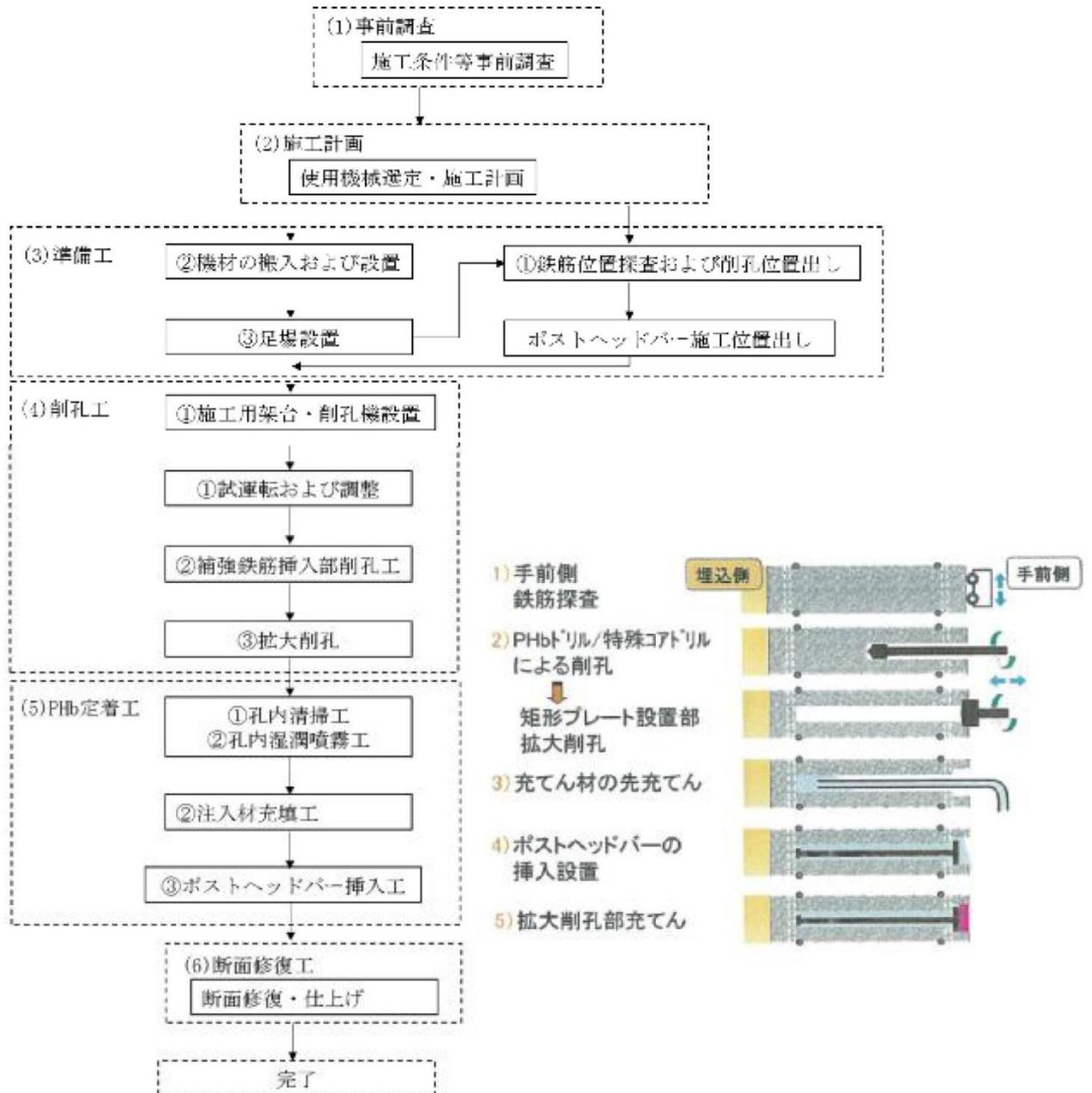
工 程	項 目	管理項目	管理水準	判定基準	検査方法	管理時期
PHb 挿入	かぶり	かぶり	・かぶりが設計図どおりであること。 PHb 工法研究会の定める管理値	設計かぶり以上	コンベックス, ノギス	設置後
		注入材	フレッシュ時の性状 材料温度 圧縮強度試験	・フローが PHb 工法研究会の定める管理値内であること。 ・材料温度が 5°C 以上であること。 ・躯体コンクリートの設計強度以上であること。	190mm ± 20mm	フロー試験 温度計 圧縮強度試験
定着	断面修復材	フレッシュ時の性状 材料温度 圧縮強度試験	・フローが PHb 工法研究会の定める管理値内であること。 ・材料温度が 5°C 以上であること。 ・躯体コンクリートの設計強度以上であること。	150mm ± 20mm	フロー試験 温度計 圧縮強度試験	注入前 注入前 打設後 28 日
		フレッシュ時の性状 材料温度 圧縮強度試験	・材料温度が 5°C 以上であること。 ・躯体コンクリートの設計強度以上であること。	σ _{ck} = 24N/mm ² 以上	温度計 圧縮強度試験	注入前 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」

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。

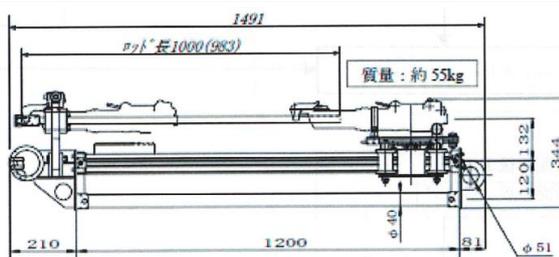
5.1.2 施工計画（使用機器選定）

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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

5.1.3 準備工

(1) 鉄筋位置探査及び削孔位置出し

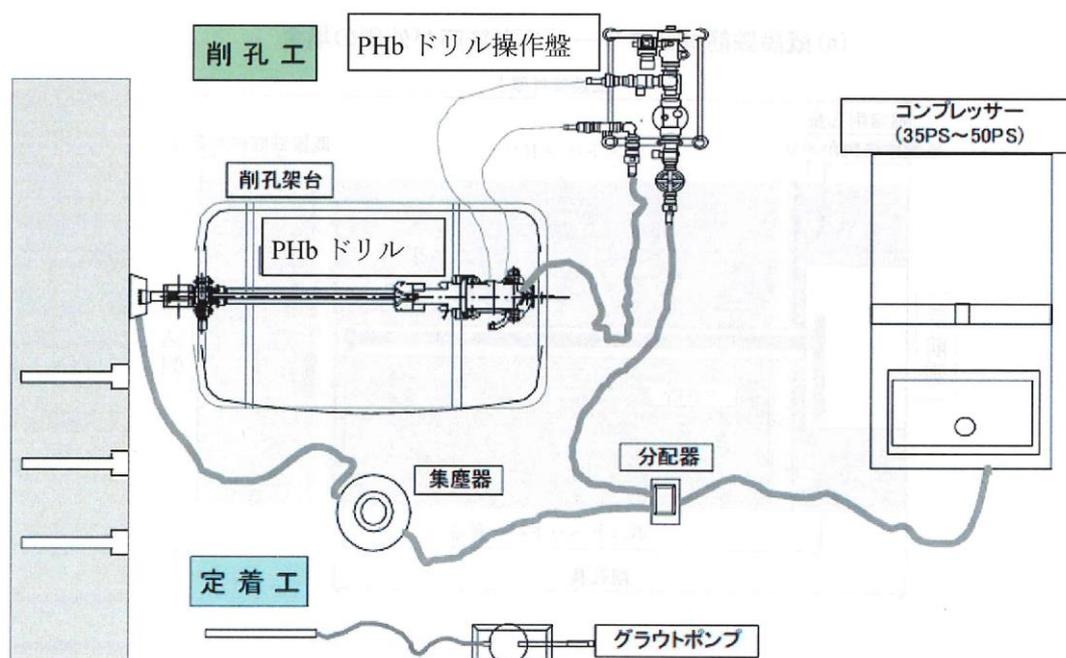
事前に PHb の設計位置を墨出し、内空側既存鉄筋の位置を鉄筋探査装置により調査する。調査結果をもとに、内空側既存鉄筋位置と PHb の設計位置とを確認し、PHb の施工位置を決定する。第 5-1-3-1 図に鉄筋探査の概要を示す。



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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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

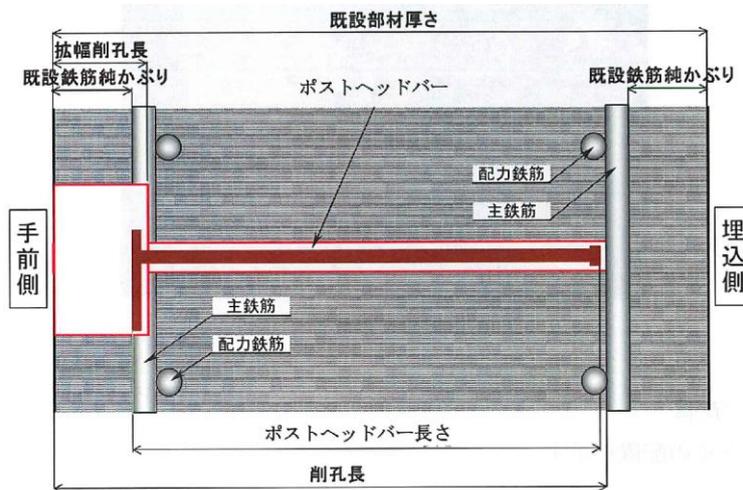
第5-1-4-1図に示すように、PHbの施工では下記の削孔深さを原則とする。

- ・ 補強鉄筋挿入部の削孔長

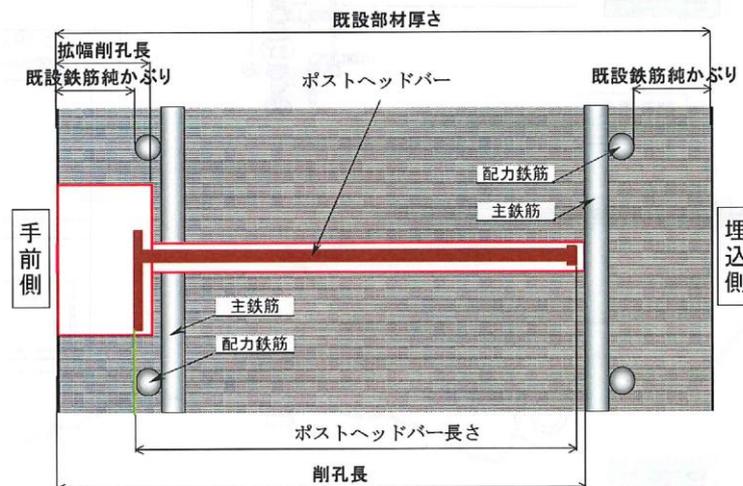
手前側削孔表面から埋込側既設主鉄筋の手前側までの距離

- ・ 矩形プレート部の拡幅削孔長

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同様に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5mm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。



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」に図示した寸法とし、削孔深さの誤差は -10mm ～ $+20\text{mm}$ 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。万が一地山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

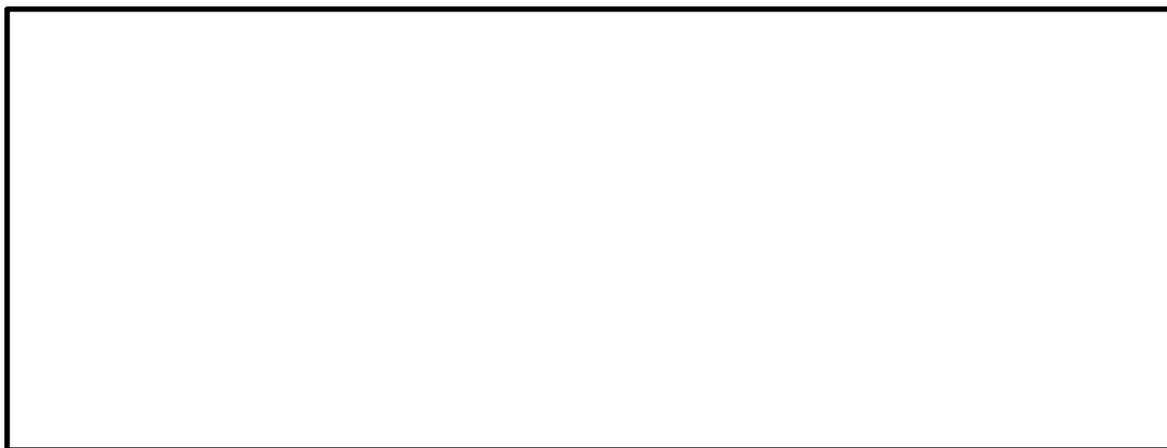
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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」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図に孔内清孔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

(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

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(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。



第 5-1-6-1 図 断面修復工

本資料のうち,枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

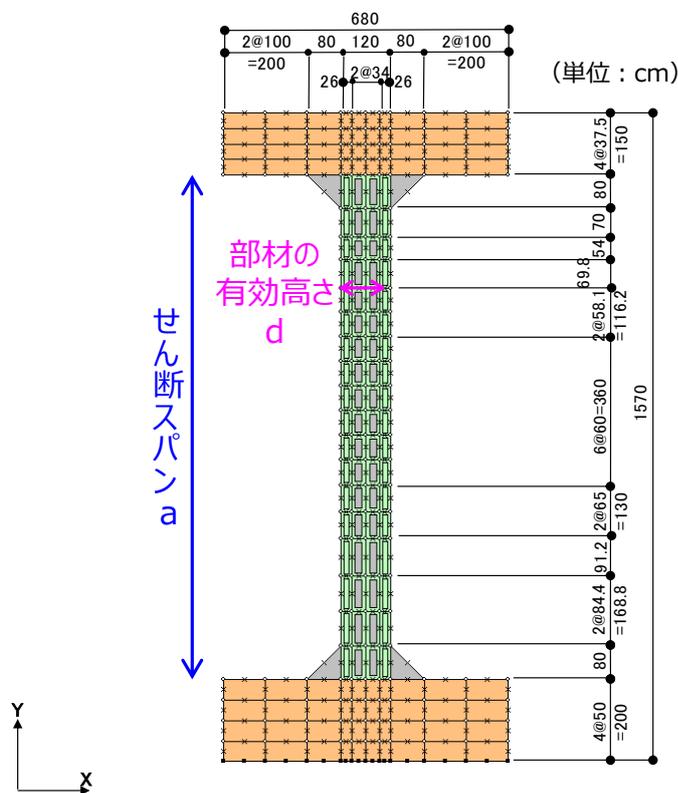
添付資料 4

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)

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。

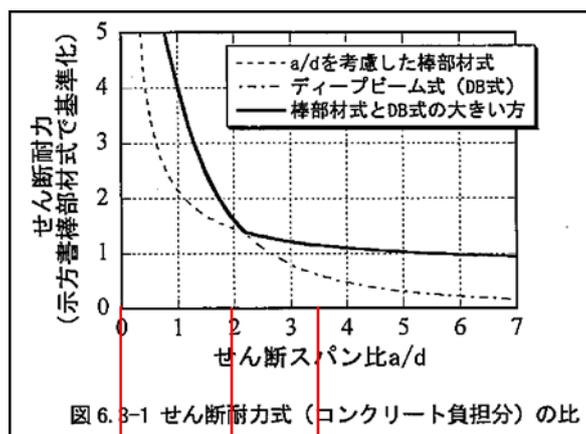
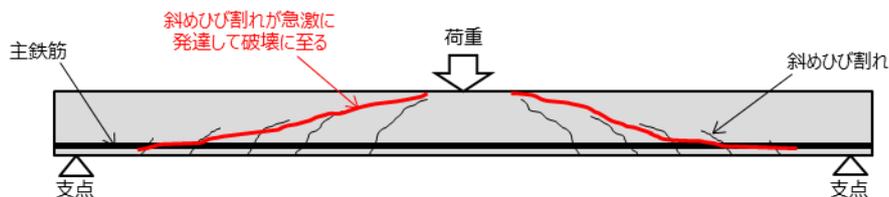


図 6.3-1 せん断耐力式（コンクリート負担分）の比
ディープビーム式で想定する破壊形態 遷移領域 棒部材式で想定する破壊形態

第 2-1 図 せん断スパン比とせん断破壊形態の関係性

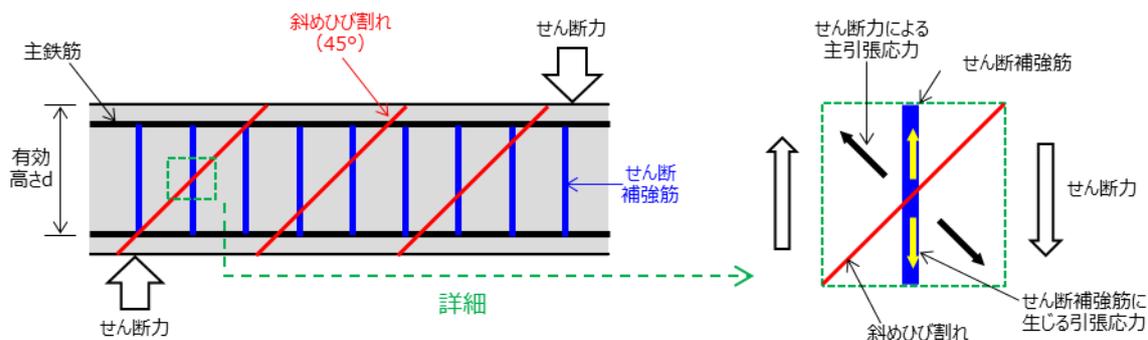
（「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」に赤色で加筆）

島根 2 号炉の取水槽（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

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

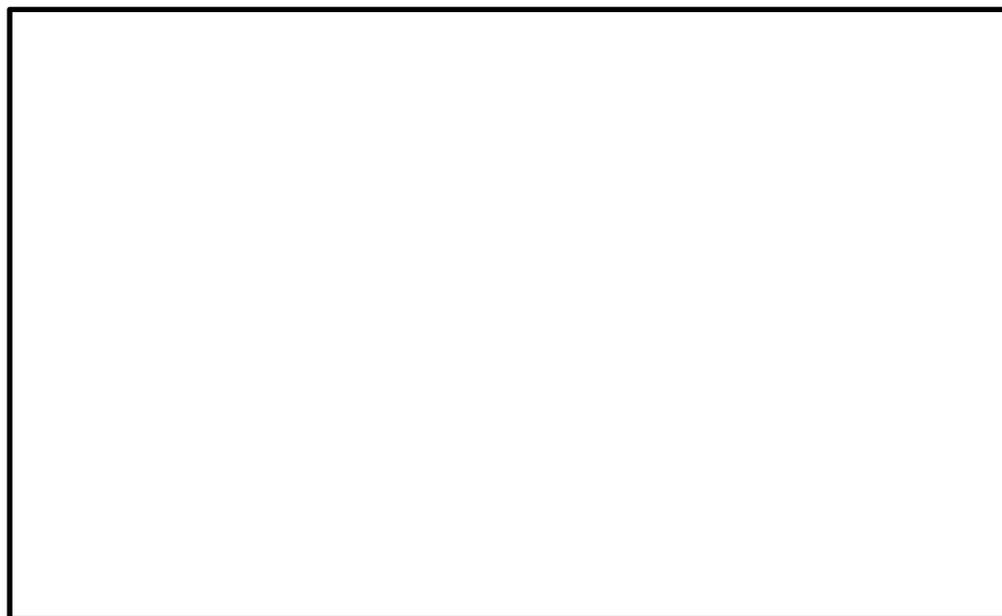
3. PHb 工法によるせん断補強効果

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、概ね 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 号炉の取水槽（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。



(a) はり試験体のせん断補強仕様



凡例

赤青線：正負交番载荷によるひび割れ

(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)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

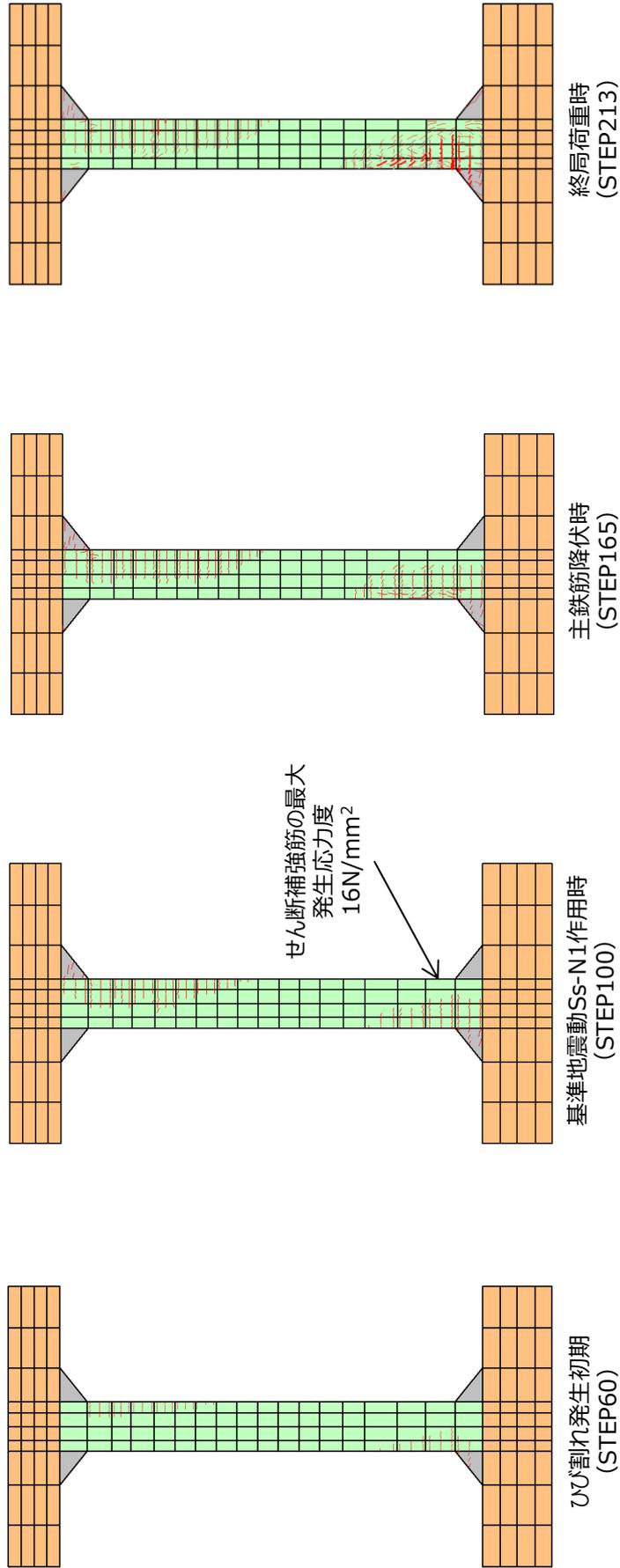
前述の考察について、取水槽（スクリーン室）隔壁の材料非線形解析により確認した。

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。



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）