

島根原子力発電所 2 号炉
地震による損傷の防止

令和元年10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

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。

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。

箱型構造物及び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。なお、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。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。箱型構造物及び線状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、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も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。

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。評価対象断面の選定においては、構造物中央を通る断面から、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も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。

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。一般的な地中埋設管路の設計では管軸方向を弱軸として設計されるため、管軸方向断面についても検討する。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、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も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。

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。

- ・ 要求機能及び間接支持する機器・配管の有無及び位置
- ・ 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）
- ・ 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^{※2}）
- ・ 地震波の伝搬特性
- ・ 機器・配管系への応答加速度及び応答変位算出位置

※2 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工認段階で設定する。

② 評価対象断面の選定

①にて整理した耐震評価候補断面（以下、「候補断面」という。）に対して、以下の考えで評価対象断面を選定する。

a. 構造的特徴による選定

候補断面の部材厚や内空断面等の構造的特徴を比較し、他の候補断面より耐震評価上厳しくなることが想定される候補断面を評価対象断面として選定する。同一断面となる場合には、同一断面となる区間毎に後述する他の観点で評価対象断面を選定する。

b. 周辺状況による選定

上載荷重、土被り厚、周辺地質及び隣接構造物の観点にて耐震評価上厳しくなる断面を選定する。

同一構造で延長方向に設置深さが異なる構造物に関しては、上載荷重が最大となる断面や土被り厚が最大となる断面を評価対象断面として選定する。

c. 評価対象断面の絞り込み

上記の観点で選定された評価対象断面と、地下水位や地震波の伝搬特性等に応じて整理された候補断面を比較して評価対象断面の絞り込みを行う。

候補断面によって周辺状況が異なる線状構造物や、箱型構造物のうち候補断面によって周辺状況が異なる構造物等については、地震応答解析を実施して評価対象断面を絞り込む。

d. 床応答算出位置による算定

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。

以上の流れで選定した複数断面を評価対象断面とする場合と、必要に応じて各観点で選定された断面の保守的な条件を組合せた断面を作成し、評価対象断面とする場合がある。

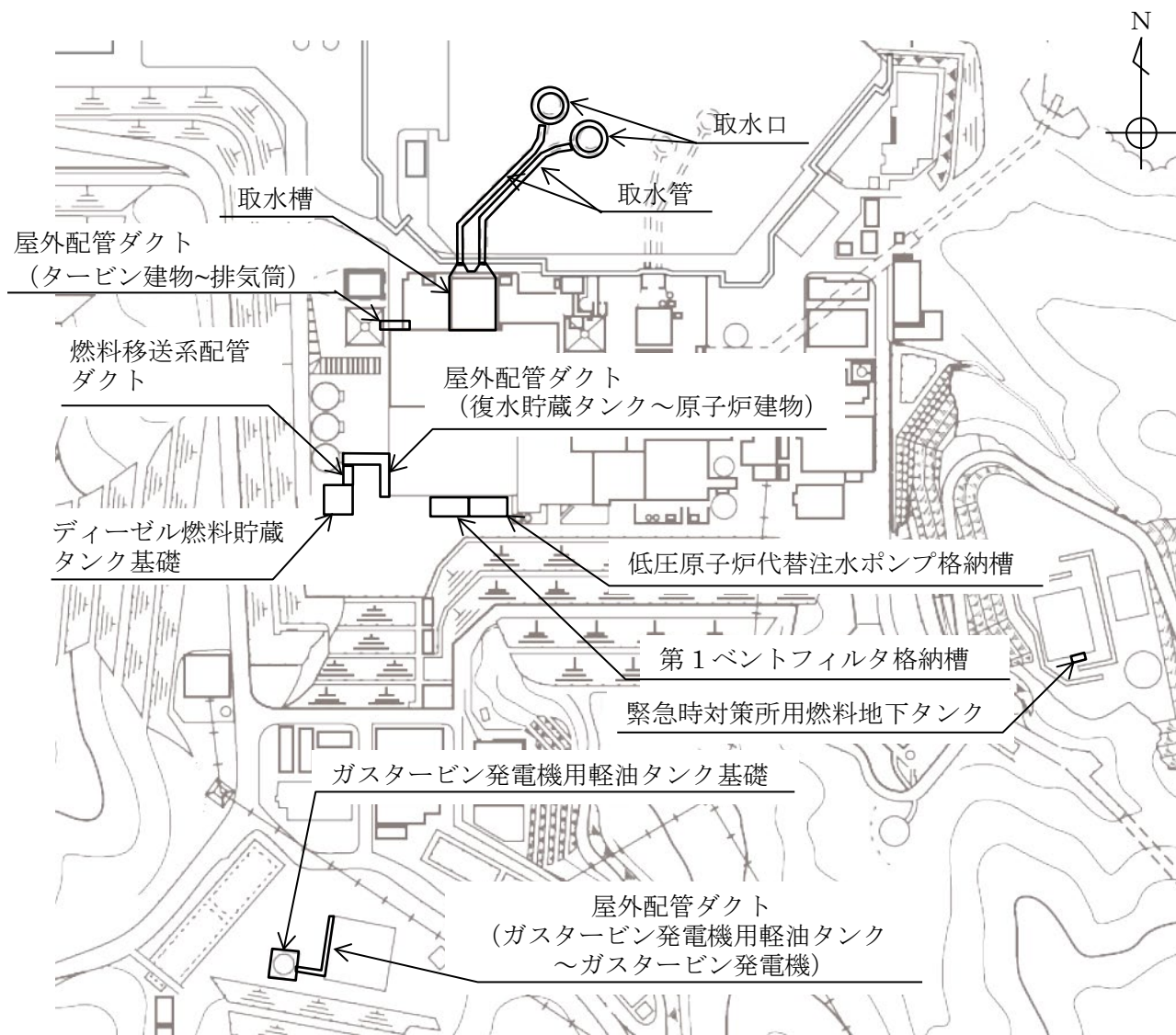
対象評価候補断面の整理と評価対象断面の選定結果については工認段階で示す。

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）	
	・取水口	円筒状構造物
	・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	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	波及的影 響
取水槽	○	○	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	—	○	—	—
			海水ポンプエリア水密扉	—	○	—	—
			除じん機エリア水密扉	—	○	—	—
			取水管立入ピット閉止板	—	○	—	—
			取水槽床ドレン逆止弁	—	○	—	—
			取水槽水位計	—	○	—	—
			海水ポンプエリア竜巻防護対策設備	—	—	—	○
			循環水ポンプエリア竜巻防護対策設備	—	—	—	○
海水ポンプエリア防水壁	—	—	—	○			
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	—	—	○	—
			格納容器代替スプレイ系配管・弁	—	—	○	—
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)	○	○	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	○	○	—	—	—	—	—
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	—	—	○	—
			ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁	—	—	○	—
			ガスタービン発電機用軽油タンク出口ノズル・弁	—	—	○	—
取水管	○	○	—	—	—	—	



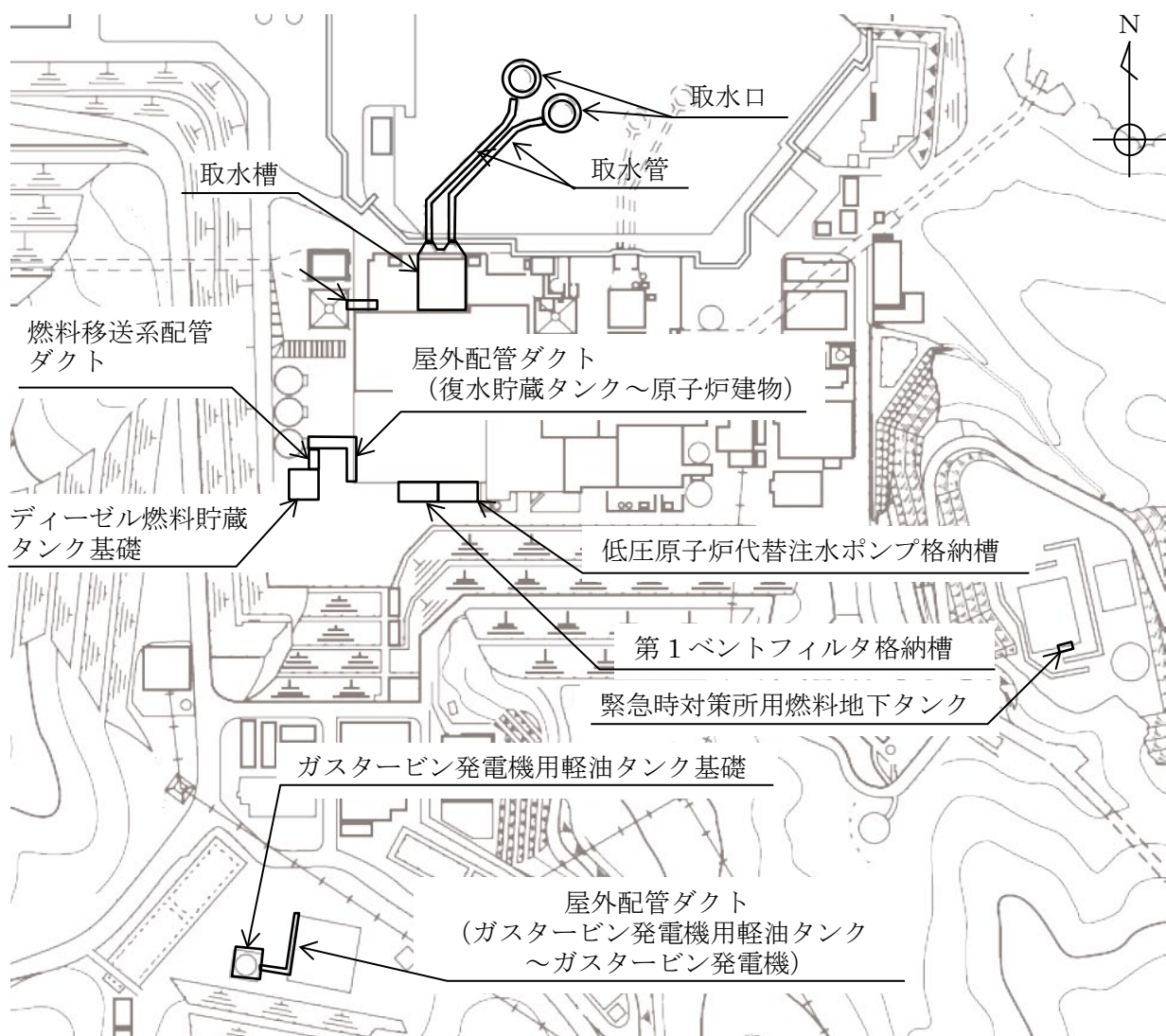
第6-1-1 図 評価対象構造物 全体配置図

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

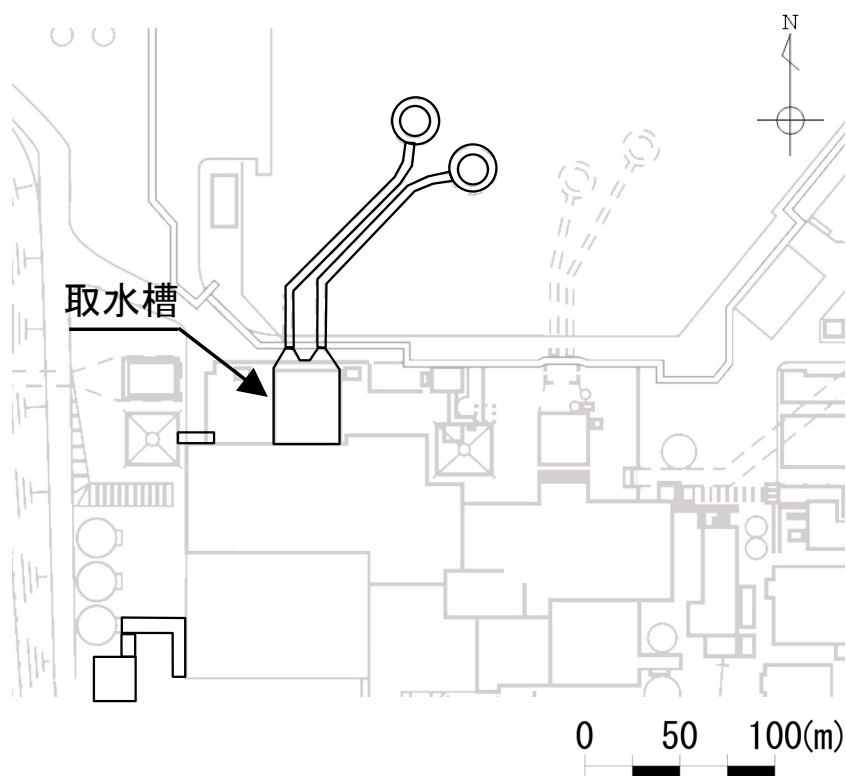
取水槽の配置図を第6-2-2図に、設置される設備の配置図を第6-2-3図～第6-2-4図に、平面図を第6-2-5図に、縦断図を第6-2-6図に、断面図を第6-2-7図～第6-2-10図に、地質断面図を第6-2-11図～第6-2-12図にそれぞれ示す。

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通水機能が要求される。

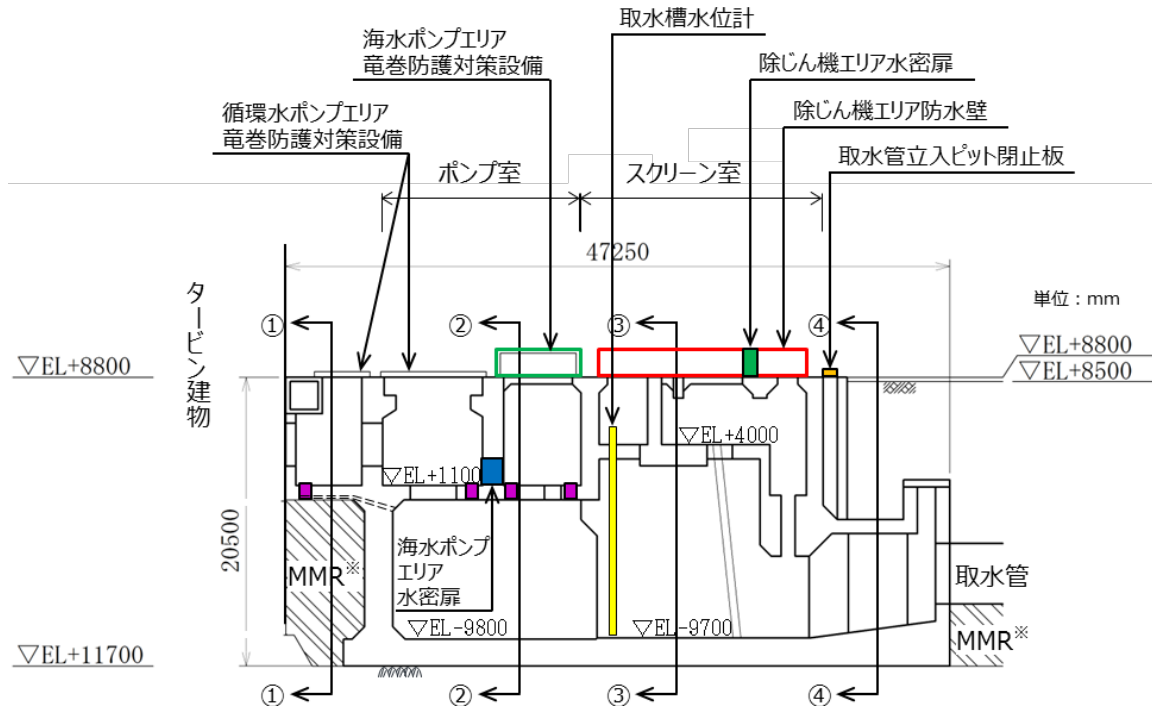
取水槽はポンプ室とスクリーン室に大別される、延長47.25m、幅34.95m、高さ20.5mの鉄筋コンクリート造の半地下構造物である。

取水槽は主にCM級岩盤に直接支持されている。

よって、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から考慮して断面を整理し、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最も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。

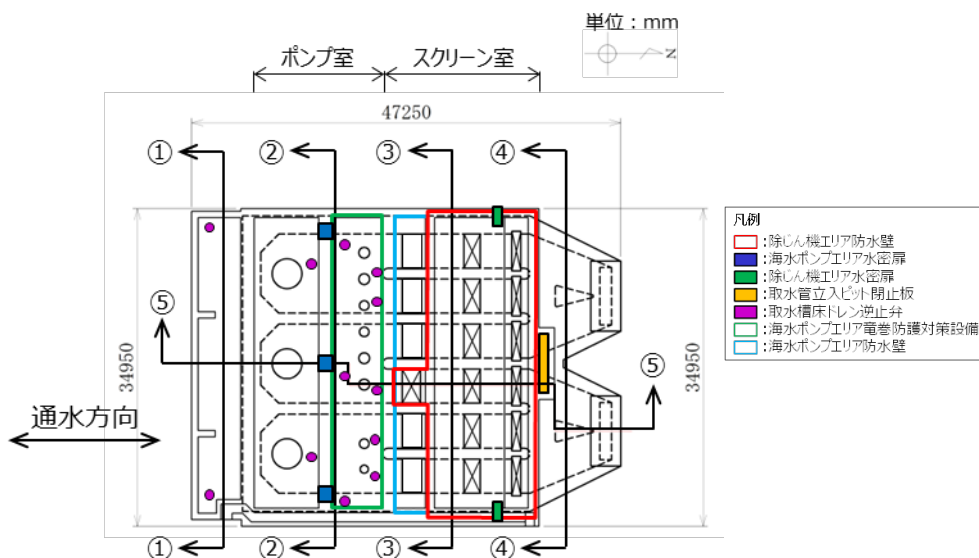


第6-2-2図 取水槽 配置図

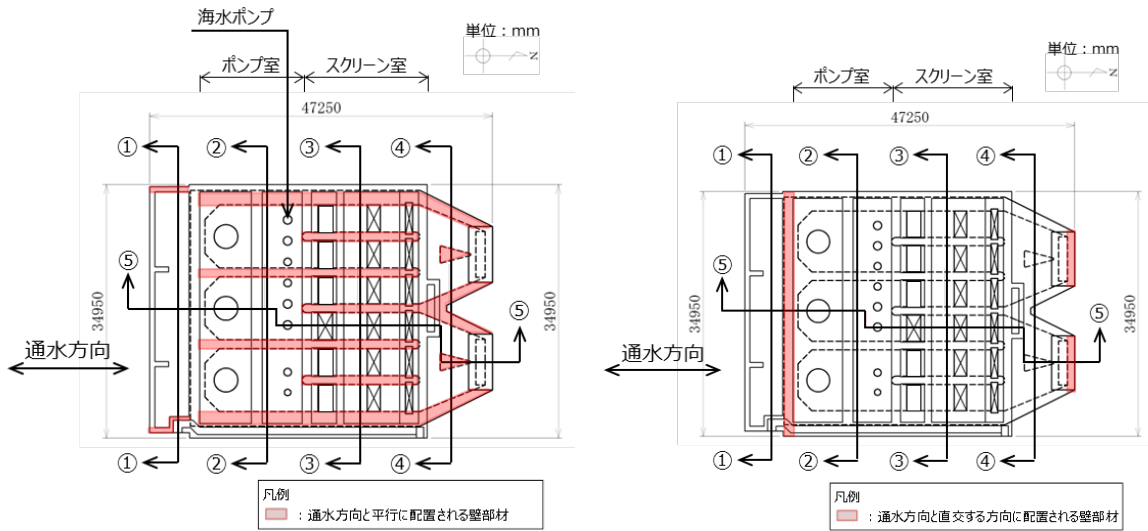


※ MMR (マンメイドロック)

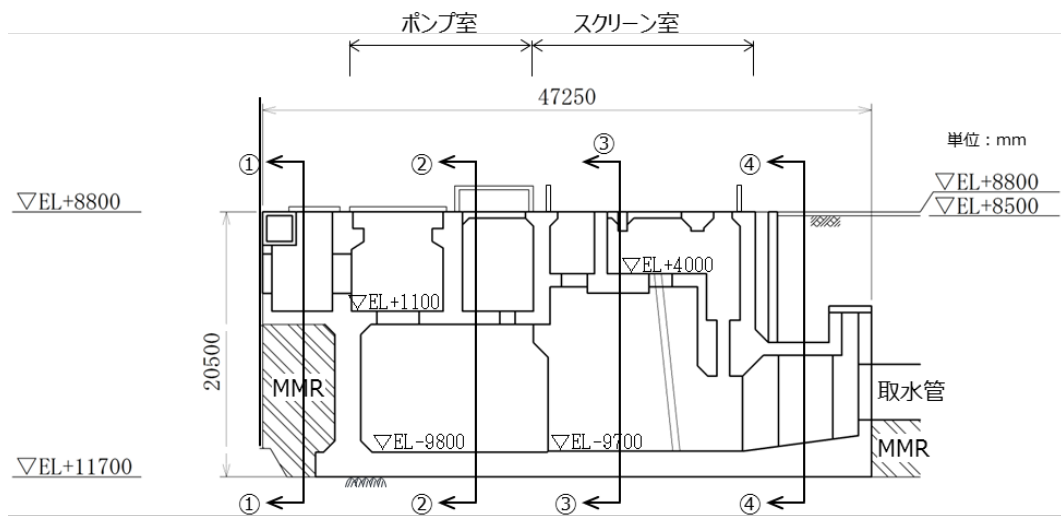
第6-2-3 図 取水槽 設置される設備の配置図 (縦断面図)



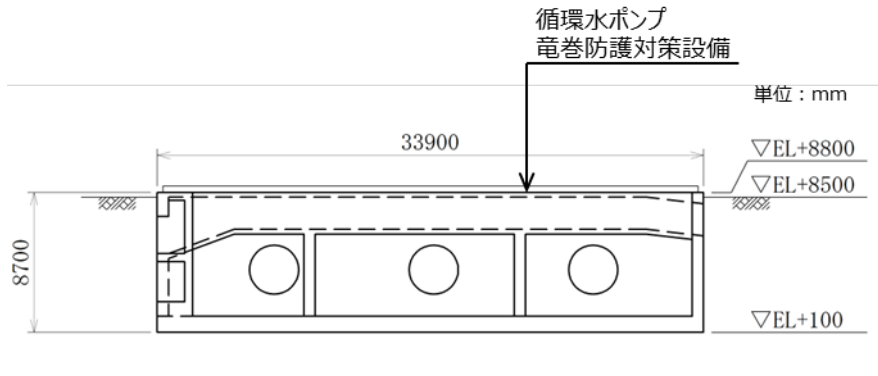
第6-2-4 図 取水槽 設置される設備の配置図 (平面図)



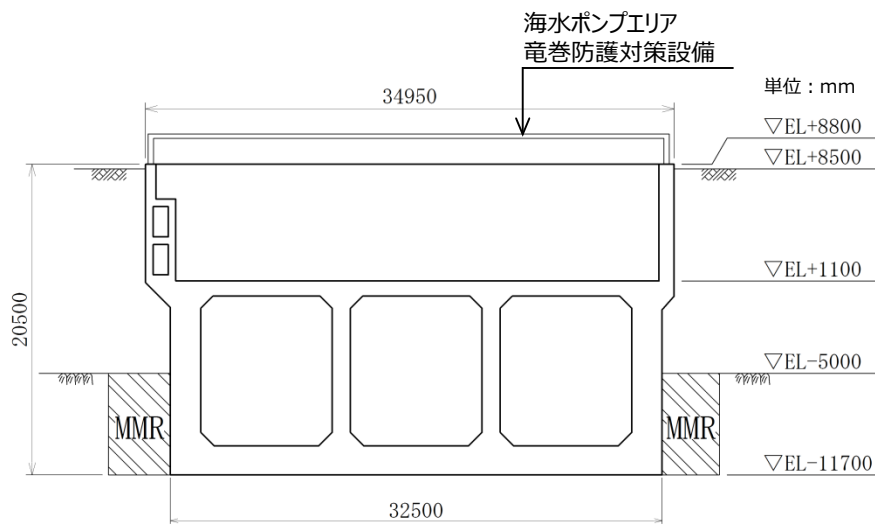
第6-2-5図 取水槽 平面図



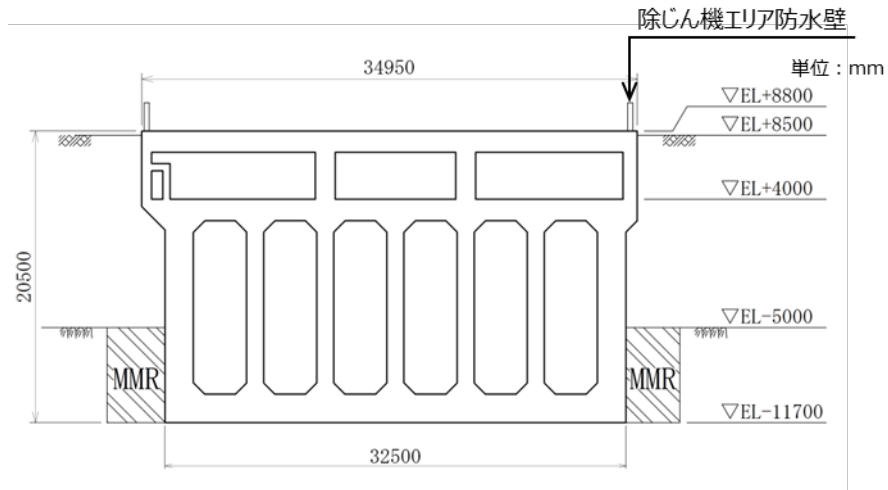
第6-2-6図 取水槽 縦断面図 (⑤-⑤断面)



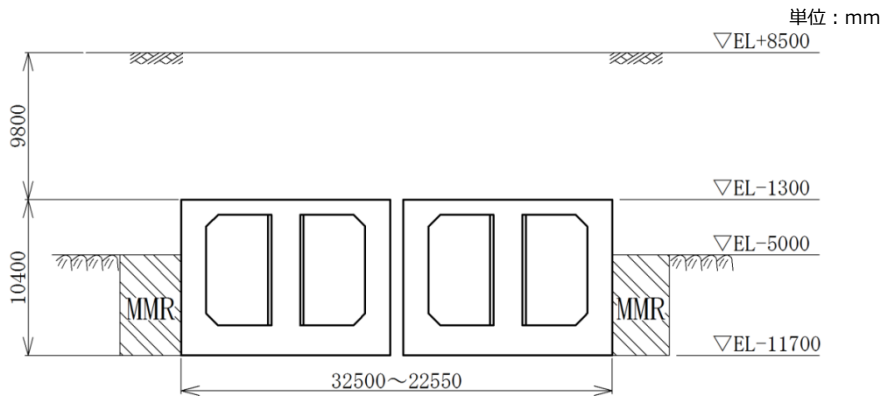
第6-2-7図 取水槽 断面図 (①-①断面)



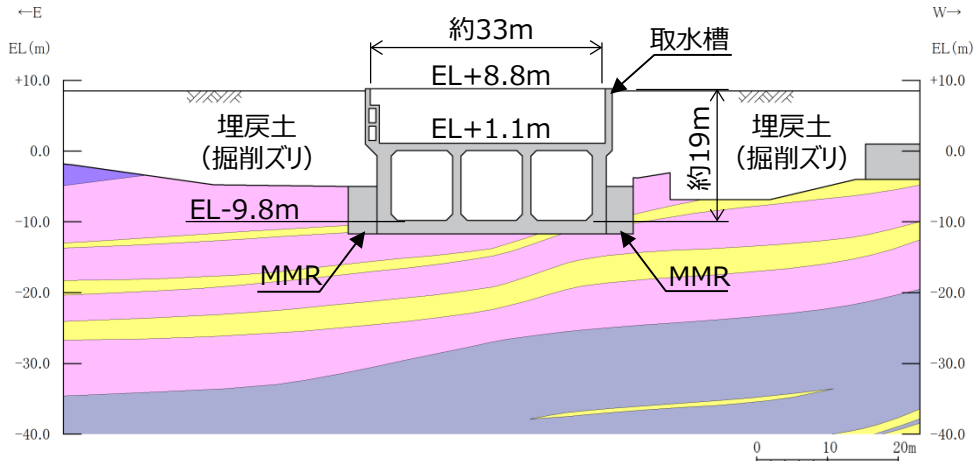
第6-2-8図 取水槽 断面図 (②-②断面)



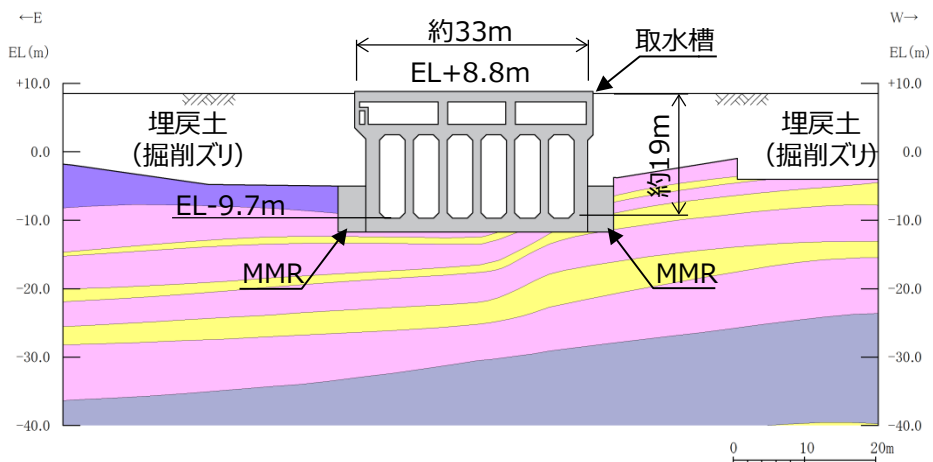
第6-2-9 図 取水槽 断面図 (③-③断面)



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)

2.3 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎

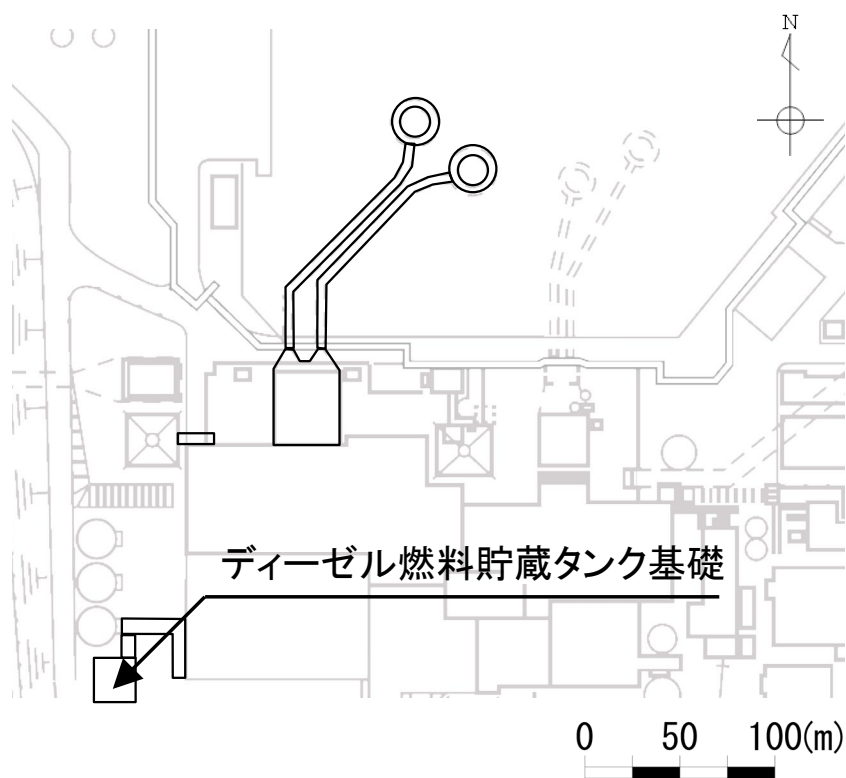
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の配置図を第 6-2-13 図に、平面図を第 6-2-14 図に、縦断図を第 6-2-15 図に、断面図を第 6-2-16 図～第 6-2-17 図に、地質断面図を第 6-2-18 図にそれぞれ示す。

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。

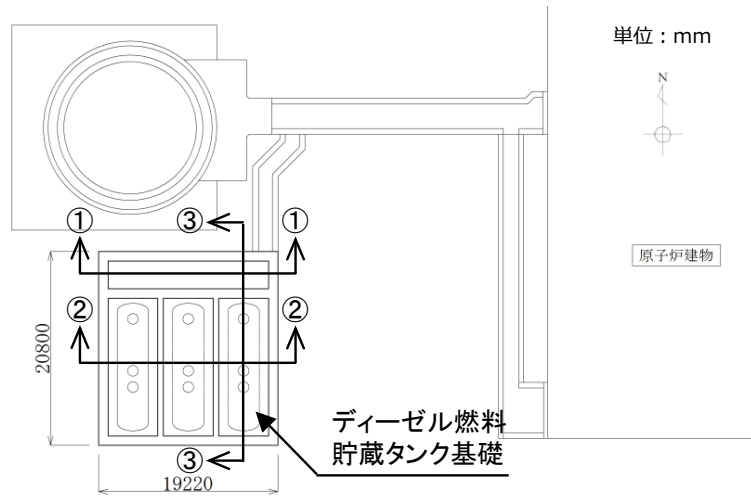
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、延長約 20m、幅約 19m、高さ約 7m の鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、主に CM 級岩盤に直接支持されている。

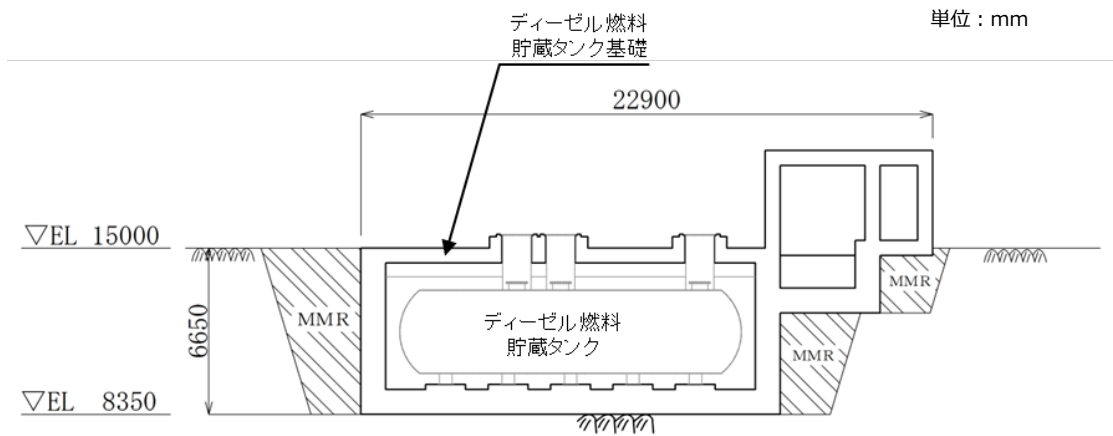
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



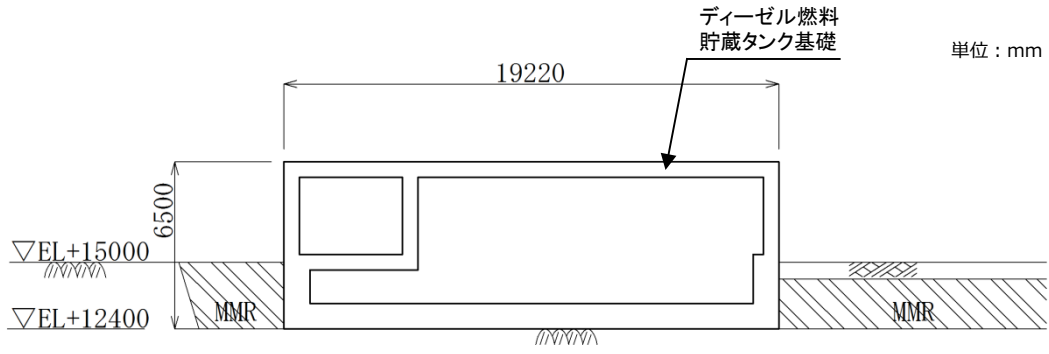
第 6-2-13 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 配置図



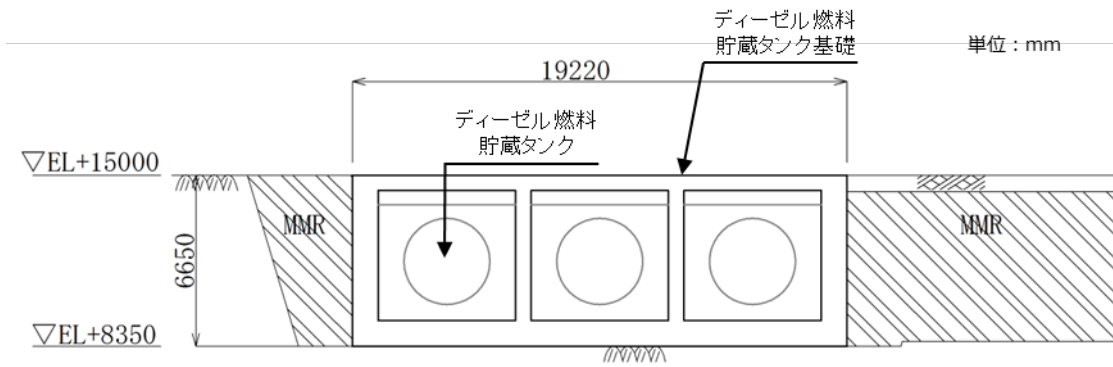
第 6-2-14 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 平面図



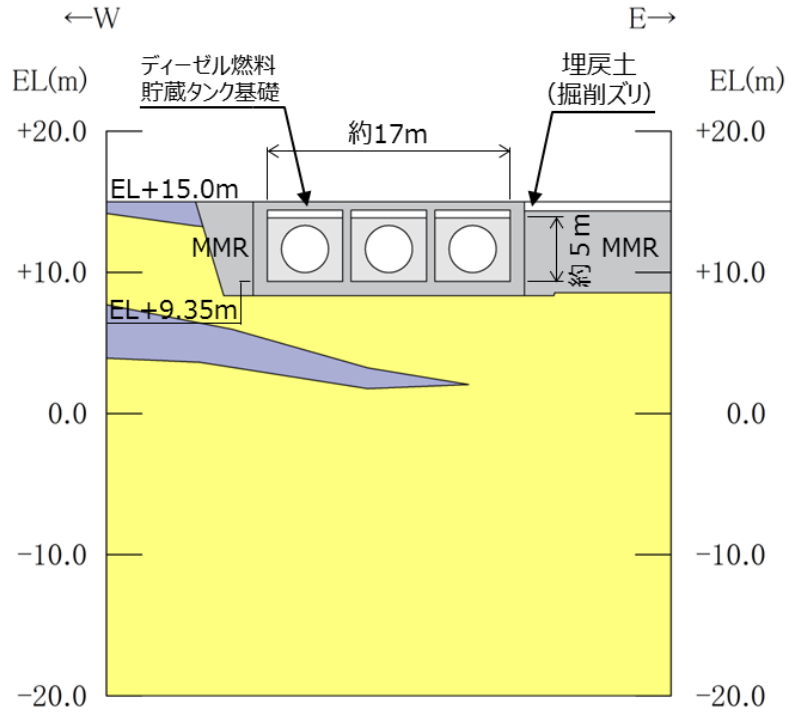
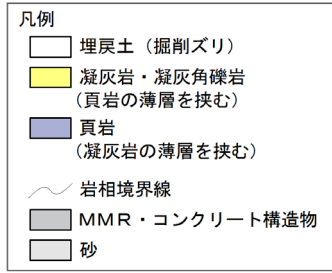
第 6-2-15 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 縦断図 (③-③断面)



第6-2-16図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (①-①断面)



第6-2-17図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (②-②断面)



第6-2-18 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 地質断面図 (②-②断面)

2.4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

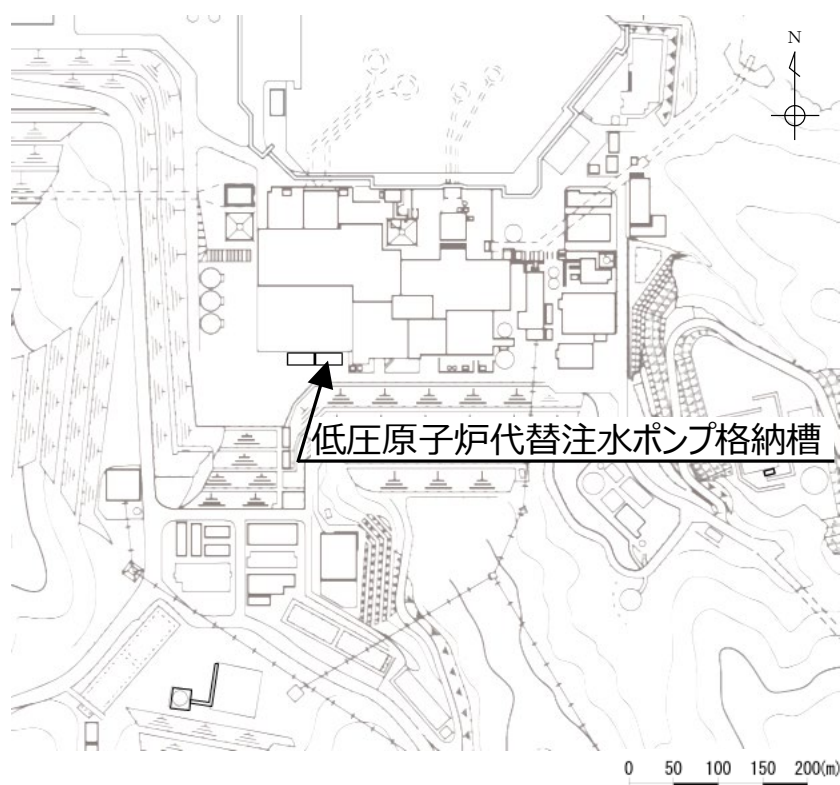
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の配置図を第6-2-19図に、平面図を第6-2-20図に、縦断図を第6-2-21図に、断面図を第6-2-22図～第6-2-23図に、地質断面図を第6-2-24図～第6-2-25図にそれぞれ示す。

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。

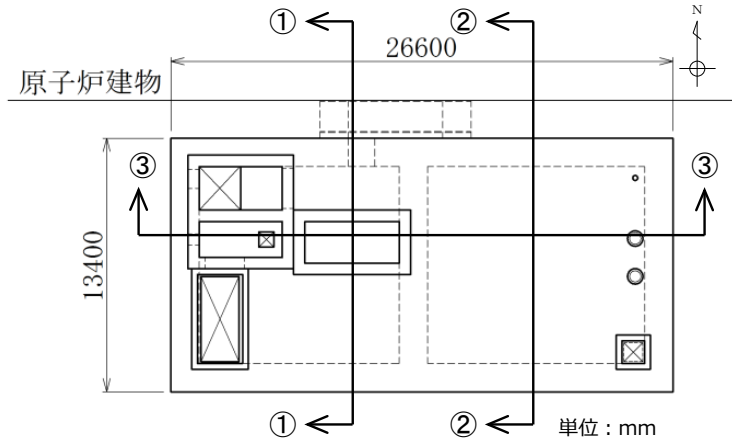
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、延長26.6m、幅13.4m、高さ16.0m又は19.6mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、主にCM級岩盤に直接支持されている。

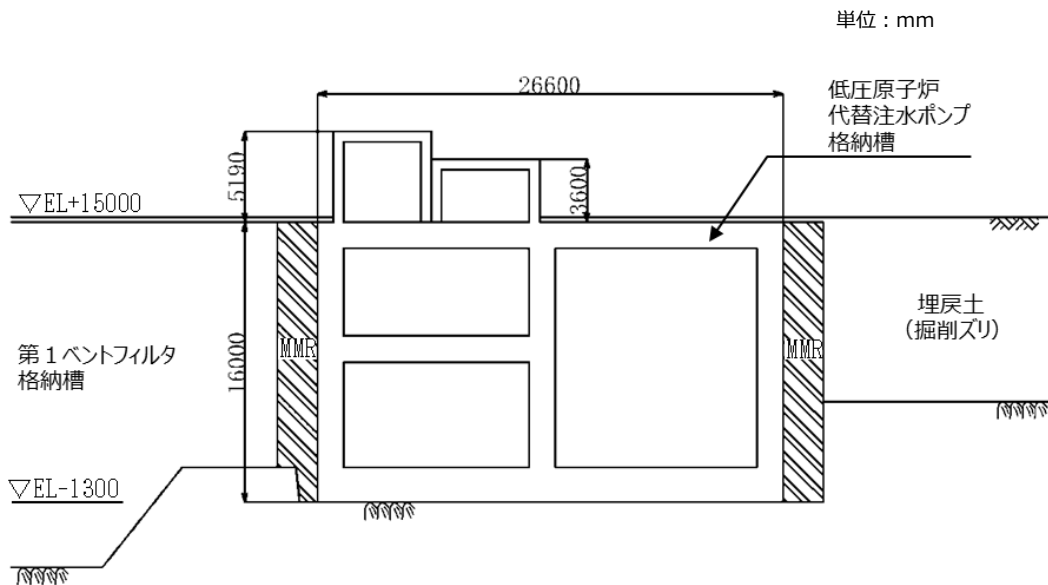
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



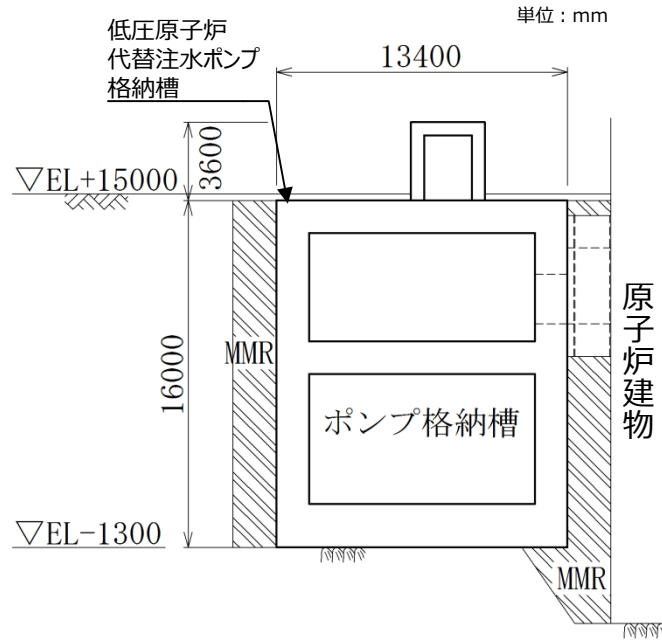
第6-2-19図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 配置図



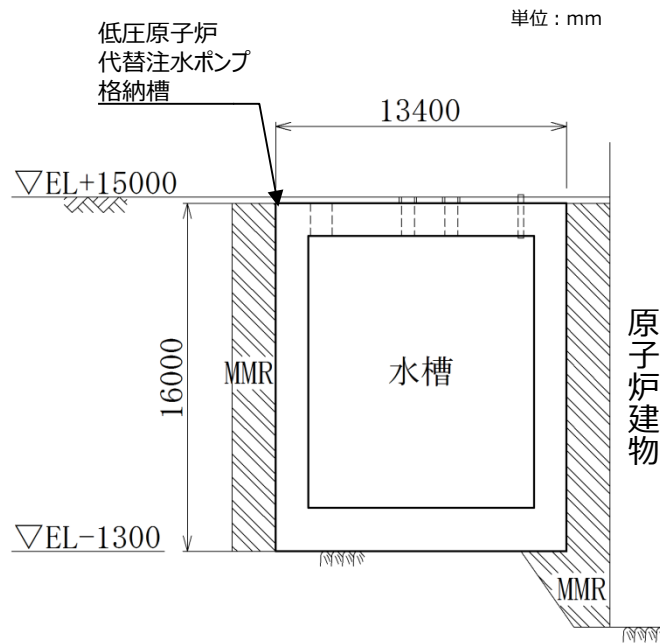
第 6-2-20 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図



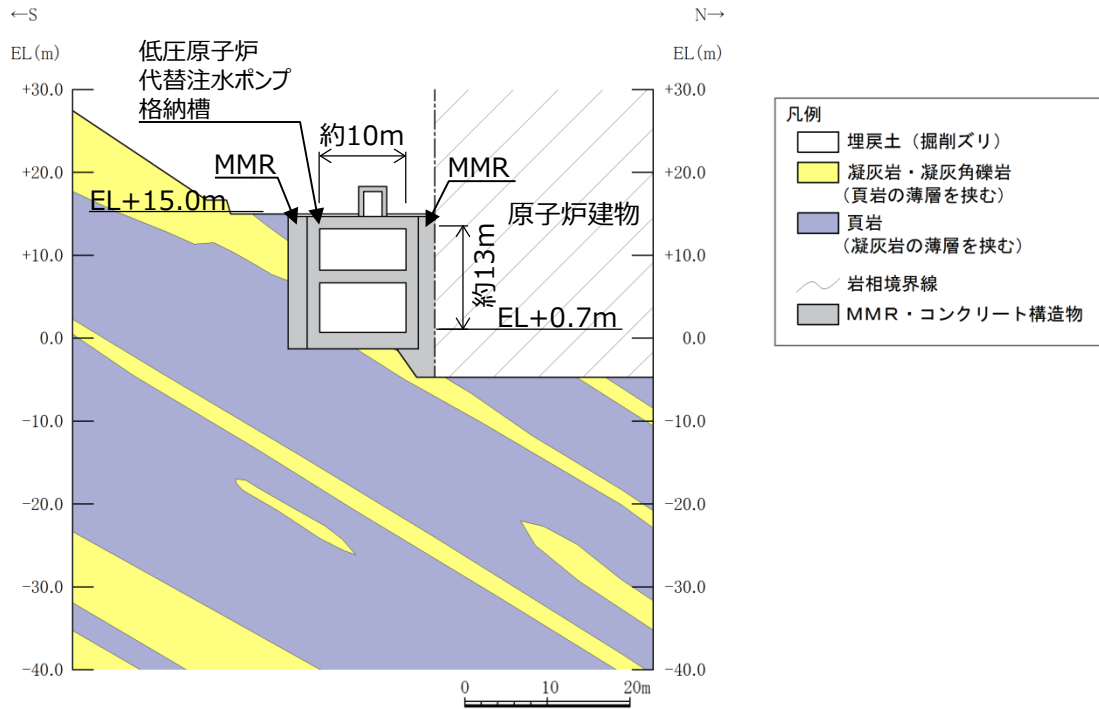
第 6-2-21 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 縦断図 (③-③断面)



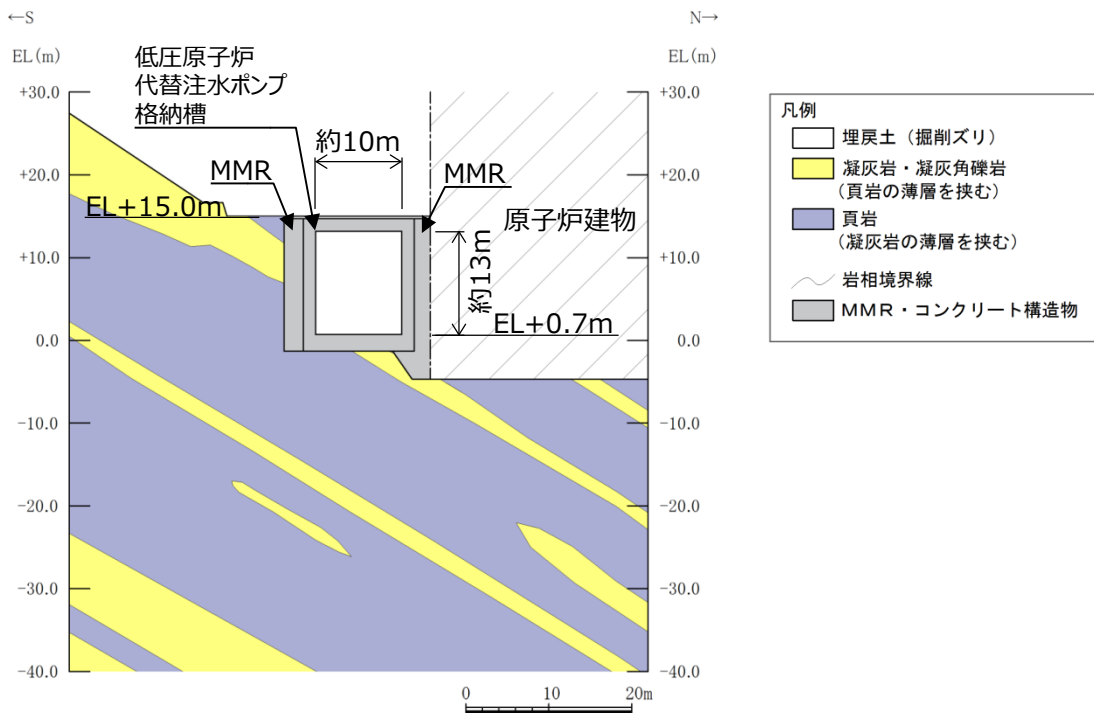
第 6-2-22 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (①-①断面)



第 6-2-23 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (②-②断面)



第 6-2-24 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 6-2-25 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)

2.5 第1ベントフィルタ格納槽

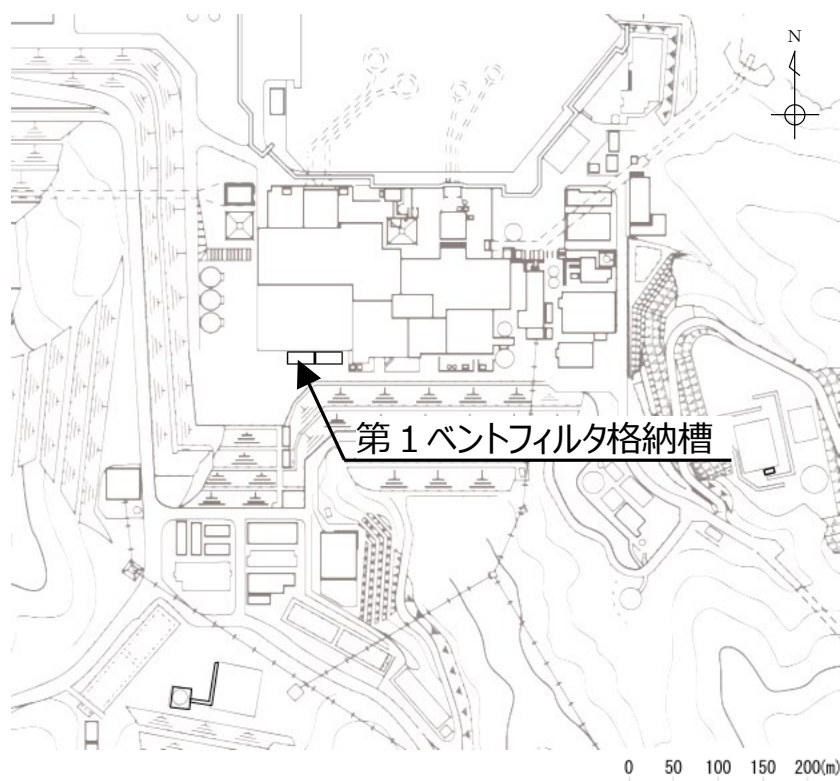
第1ベントフィルタ格納槽の配置図を第6-2-26図に、平面図を第6-2-27図に、縦断図を第6-2-28図に、断面図を第6-2-29図～第6-2-30図に、地質断面図を第6-2-31図～第6-2-32図にそれぞれ示す。

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。

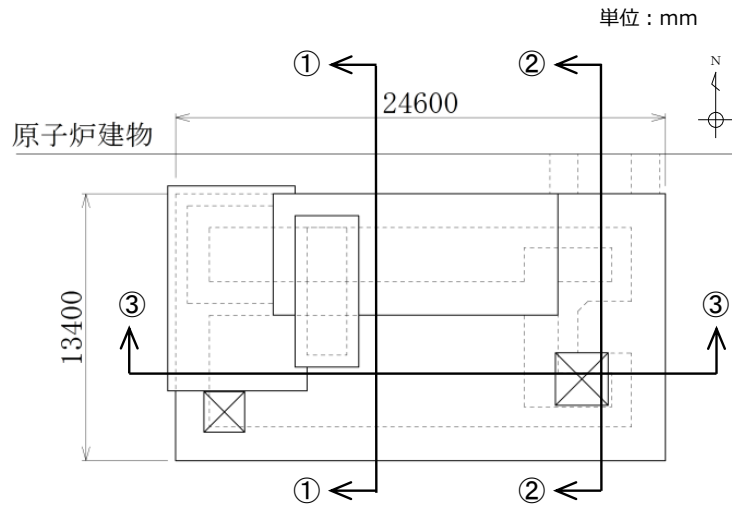
第1ベントフィルタ格納槽は、延長24.6m、幅13.4m、高さ14.0m～18.7mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

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

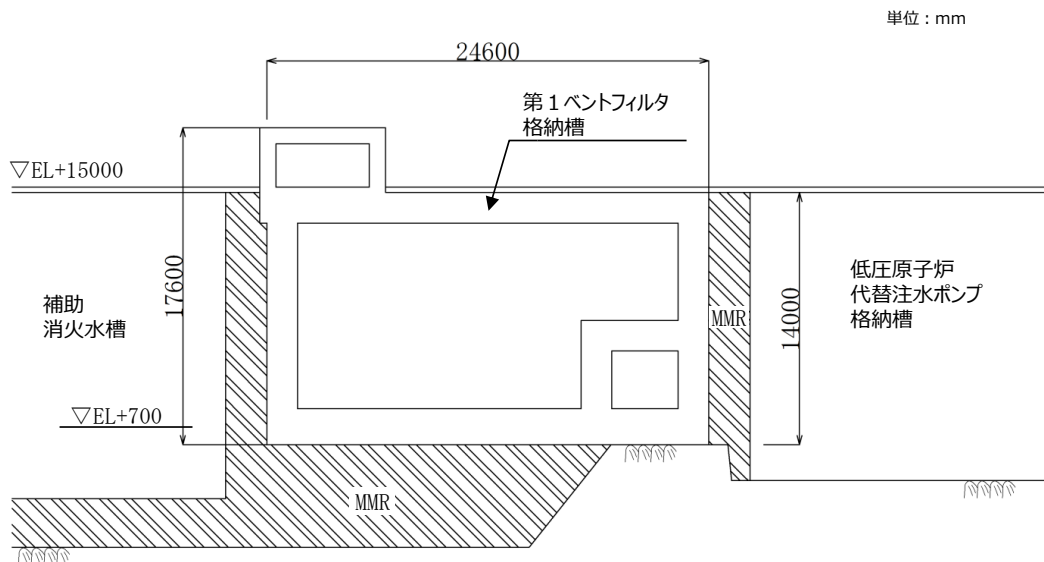
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



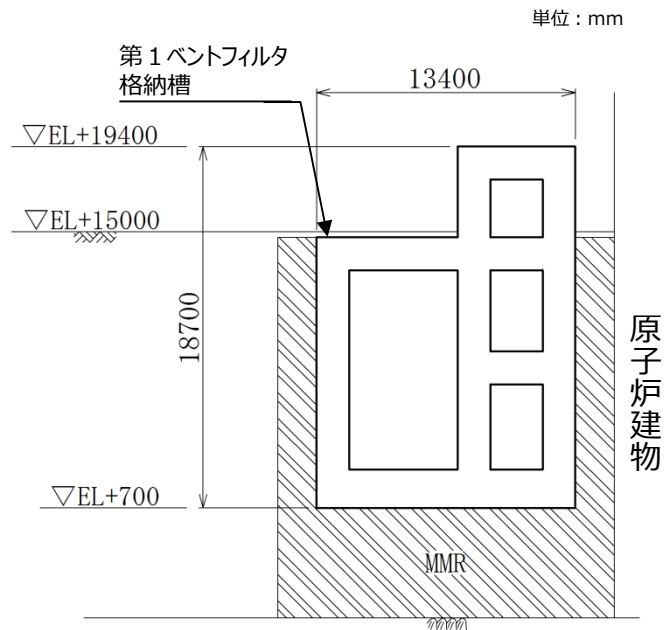
第6-2-26図 第1ベントフィルタ格納槽 配置図



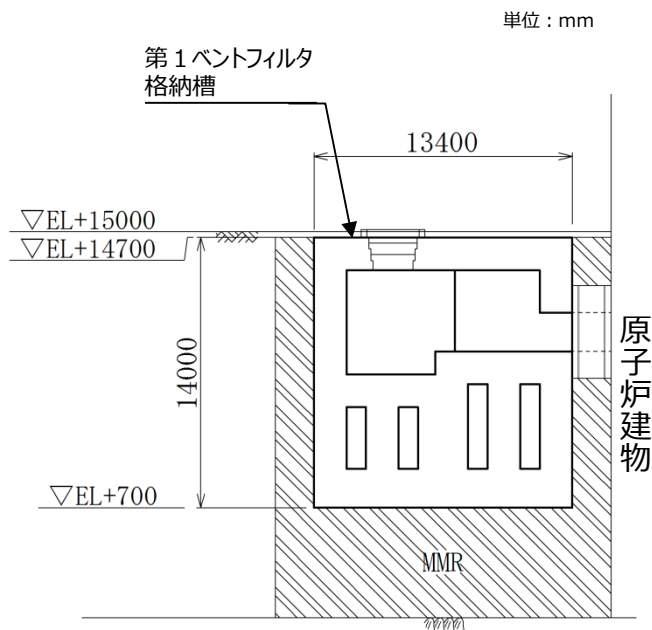
第6-2-27図 第1ベントフィルタ格納槽 平面図



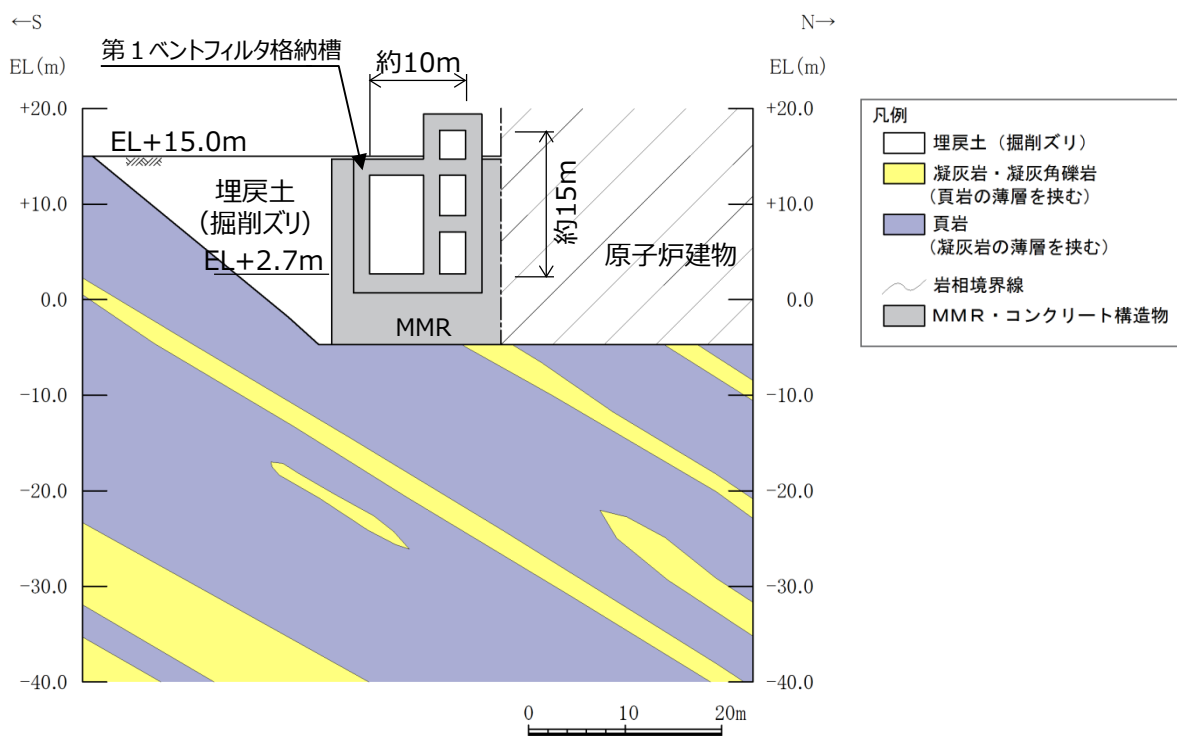
第6-2-28図 第1ベントフィルタ格納槽 縦断図 (③-③断面)



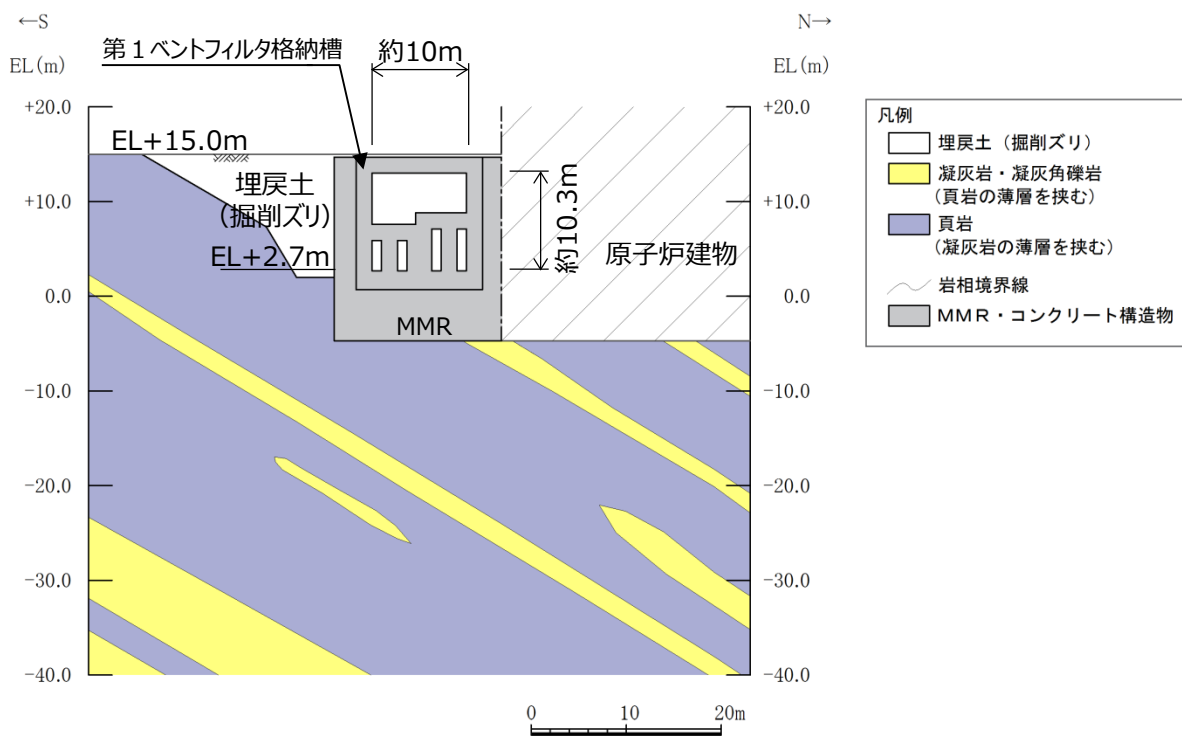
第6-2-29 図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (①-①断面)



第6-2-30 図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (②-②断面)



第6-2-31 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-32 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (②-②断面)

2.6 緊急時対策所用燃料地下タンク

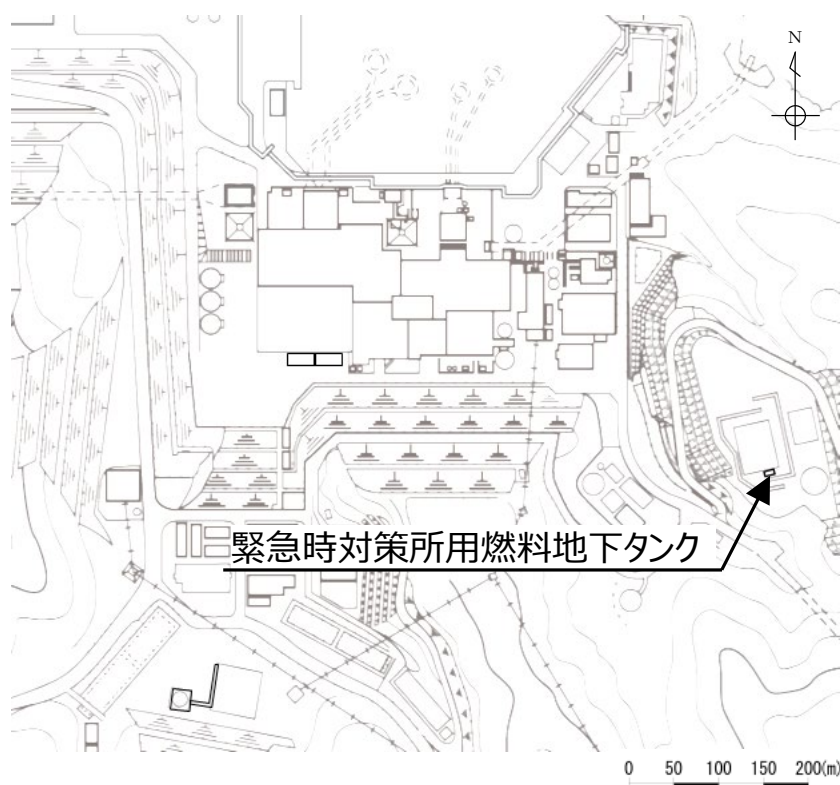
緊急時対策所用燃料地下タンクの配置図を第 6-2-33 図に、平面図を第 6-2-34 図に、縦断図を第 6-2-35 図に、断面図を第 6-2-36 図に、地質断面図を第 6-2-37 図にそれぞれ示す。

緊急時対策所用燃料地下タンクは、非常用発電装置に係る燃料の貯蔵機能が要求される。

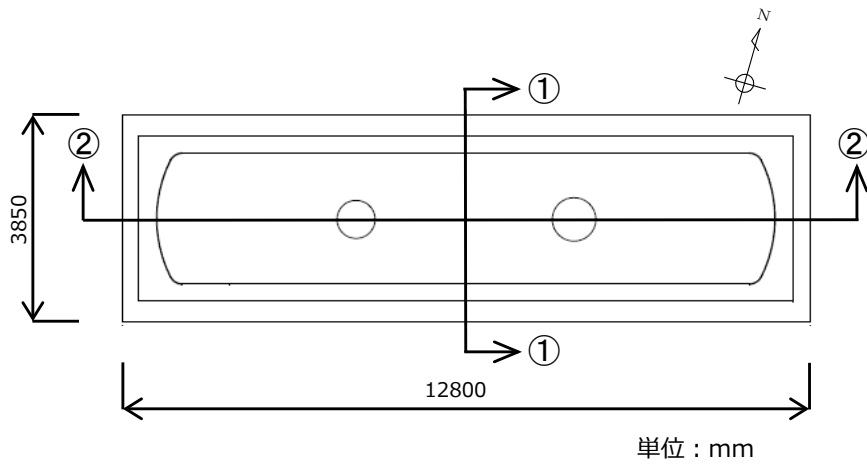
緊急時対策所用燃料地下タンクは、延長 12.8m、幅 3.85m、高さ 3.9m の鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

緊急時対策所用燃料地下タンクは、主に CM 級岩盤に直接支持されている。

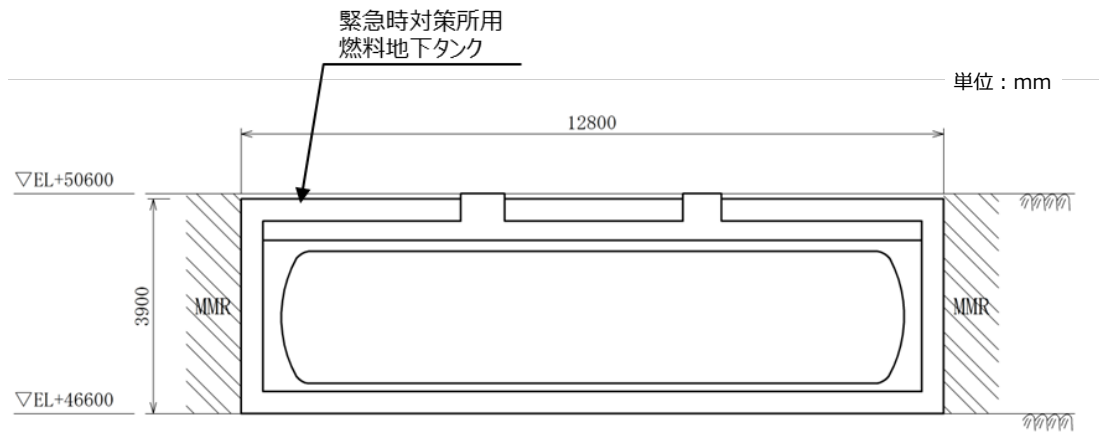
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



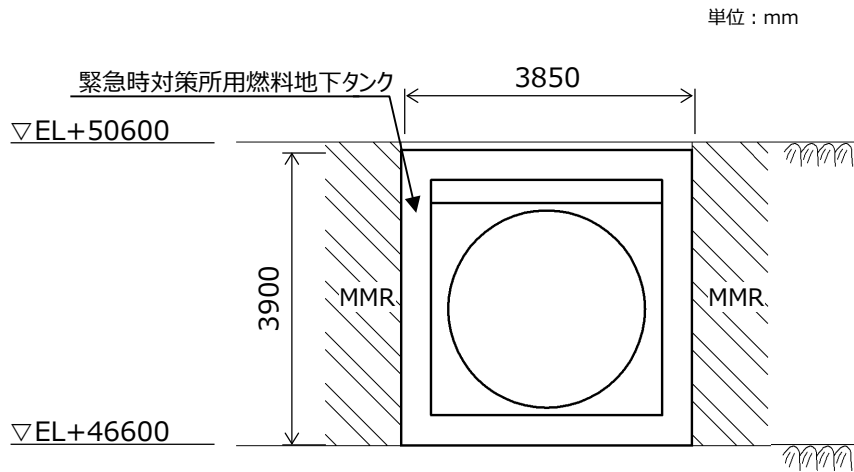
第 6-2-33 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 配置図



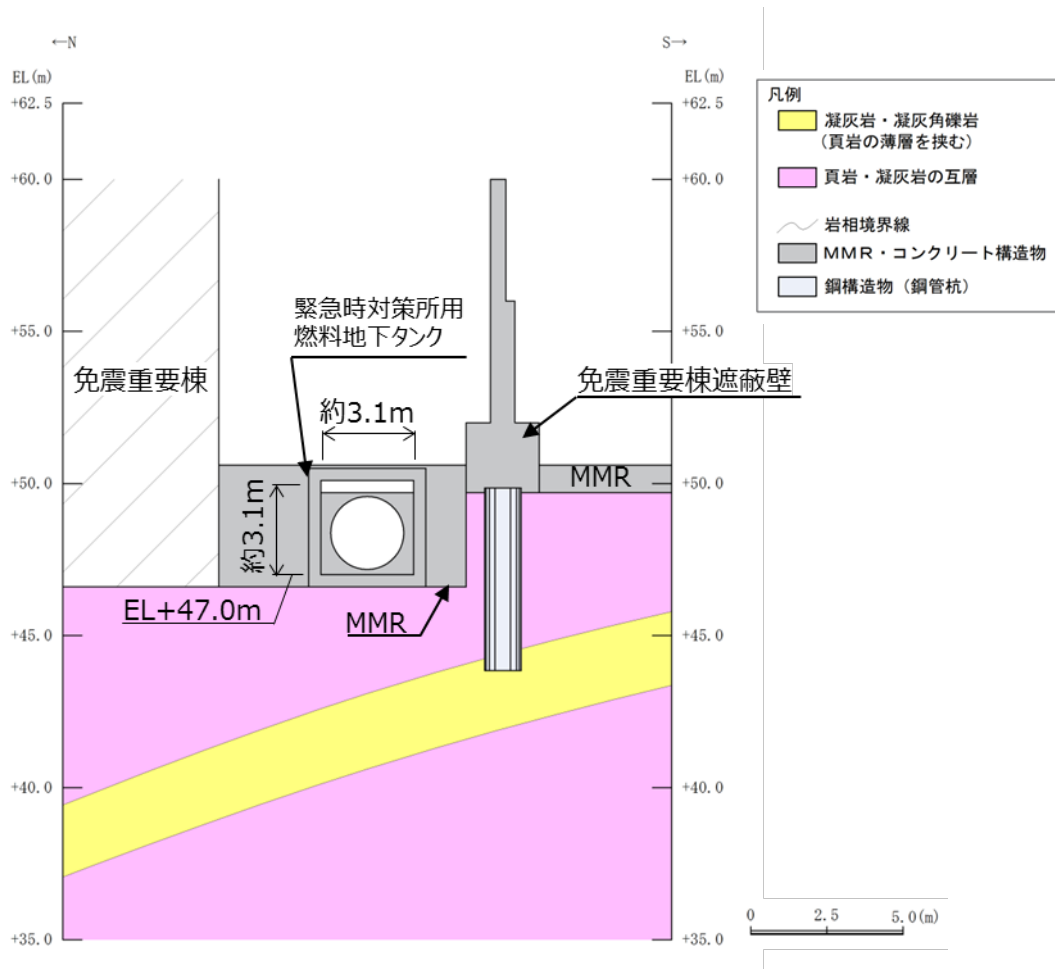
第 6-2-34 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図



第 6-2-35 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 縦断図 (②-②断面)



第 6-2-36 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (①-①断面)



第 6-2-37 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 地質断面図 (①-①断面)

2.7 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）

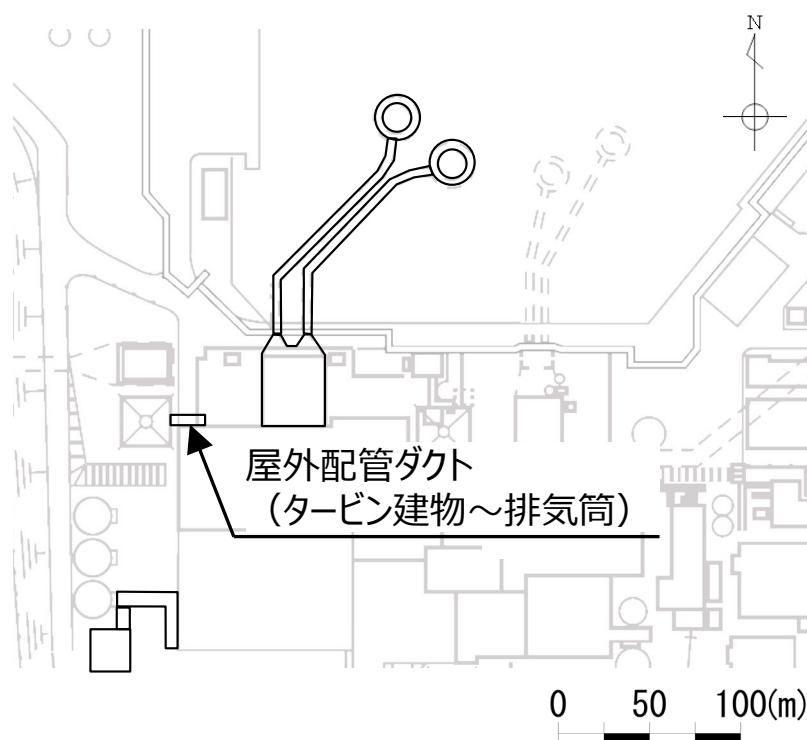
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の配置図を第6-2-38図に、平面図を第6-2-39図に、縦断図を第6-2-40図に、断面図を第6-2-41図～第6-2-43図に、地質断面図を第6-2-44図にそれぞれ示す。

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。

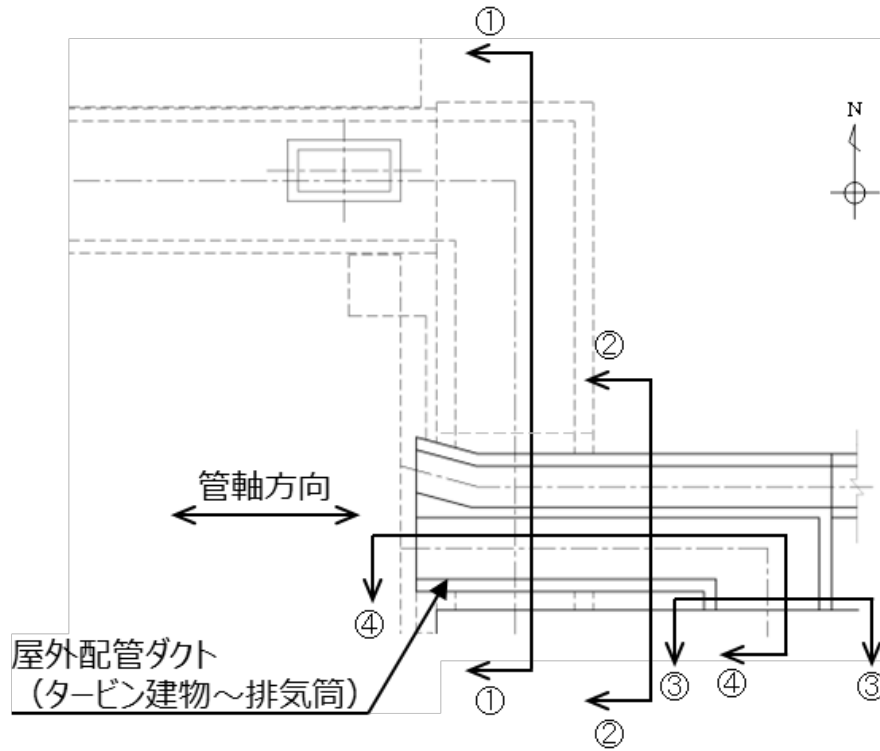
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、延長約20mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅6.7m、高さ3.1mの2連のボックスカルバート構造、幅6.2m、高さ3.6mのボックスカルバート構造に大別される延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-41図～第6-2-43図）。

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）はMMRを介して主にCH級岩盤に支持されている。

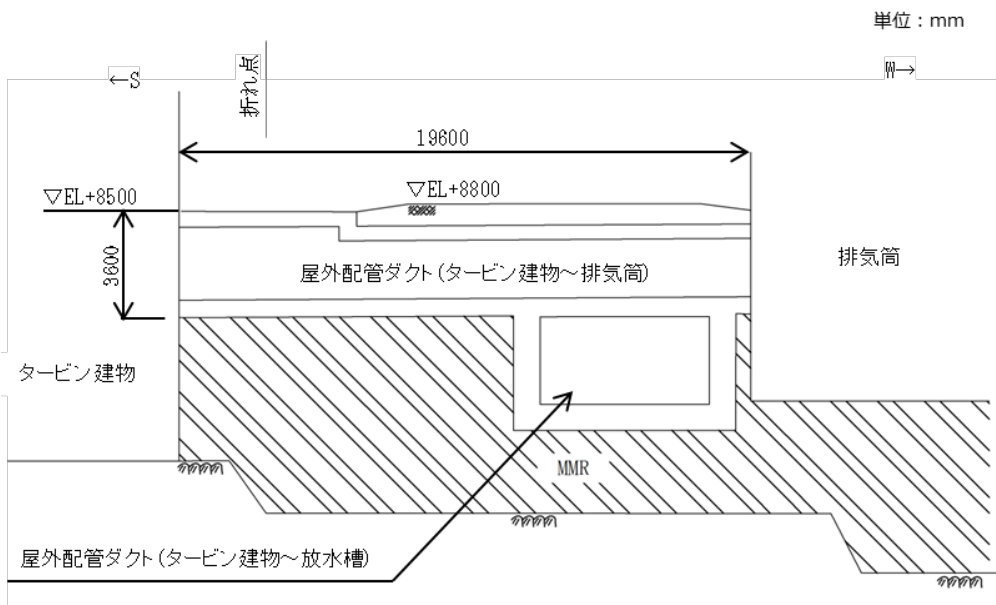
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



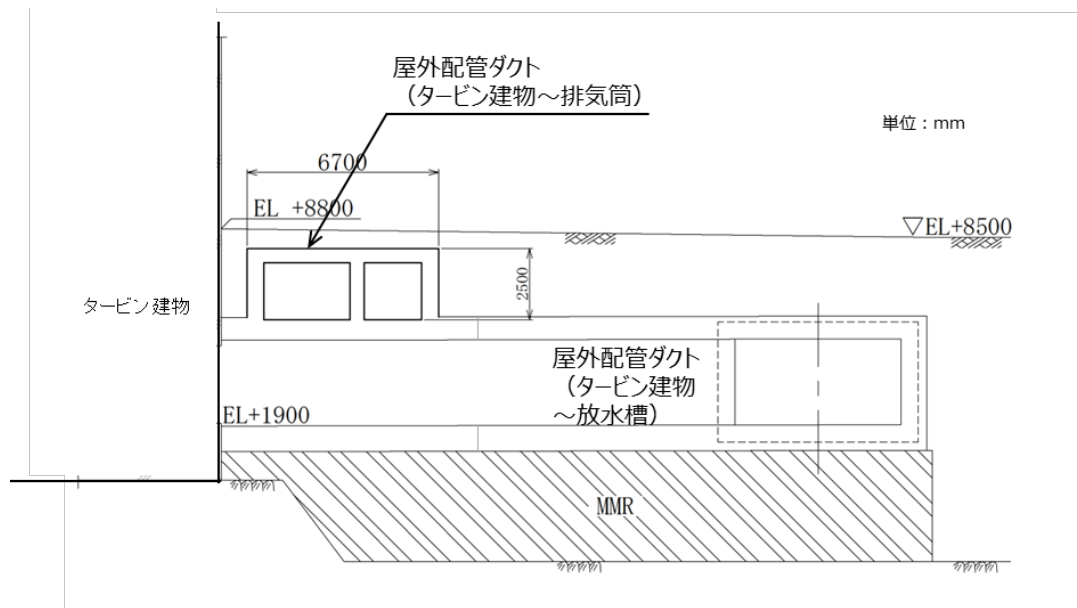
第6-2-38図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 配置図



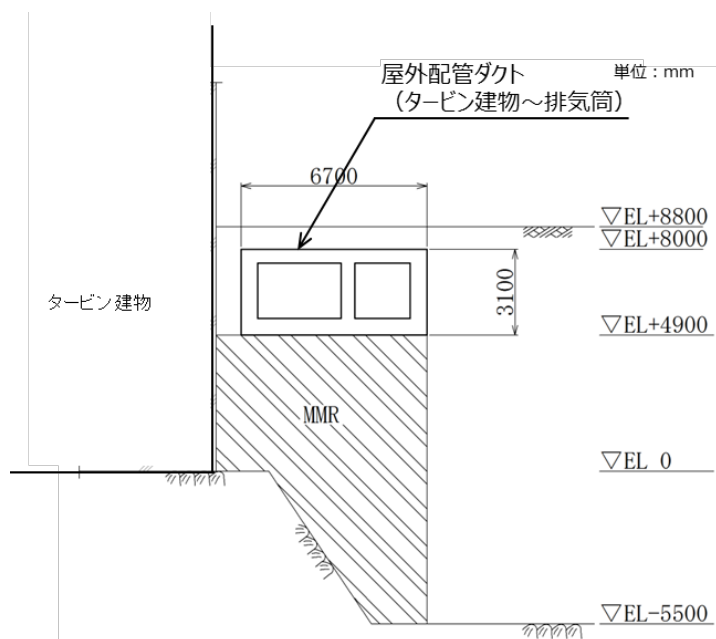
第 6-2-39 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 平面図



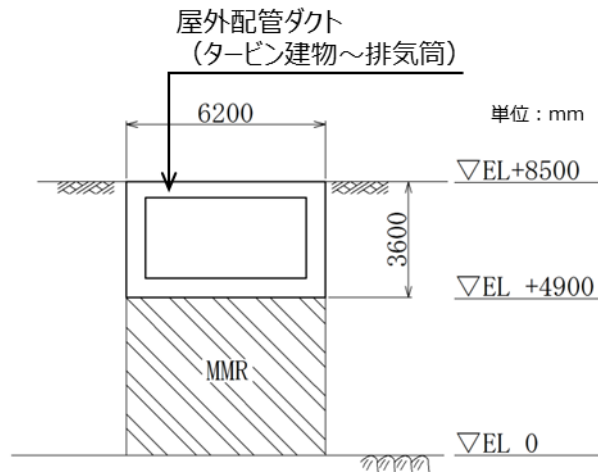
第 6-2-40 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦断図 (④-④断面)



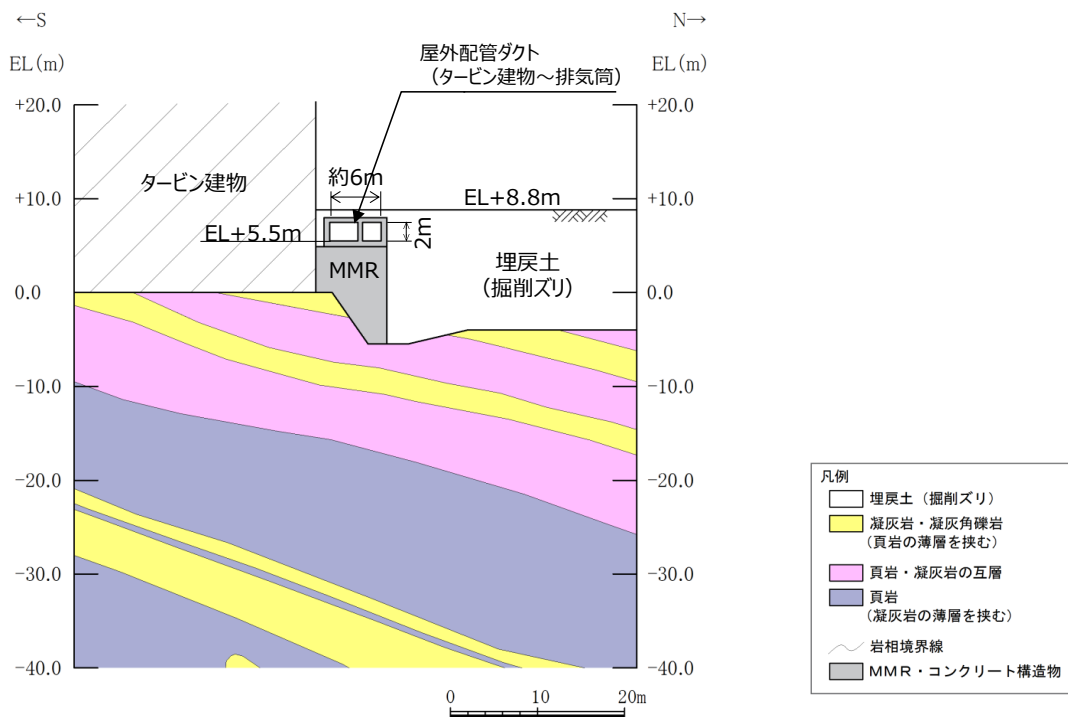
第6-2-41 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)
断面図 (①-①断面)



第6-2-42 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 6-2-43 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 6-2-44 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)
地質断面図 (②-②断面)

2.8 燃料移送系配管ダクト

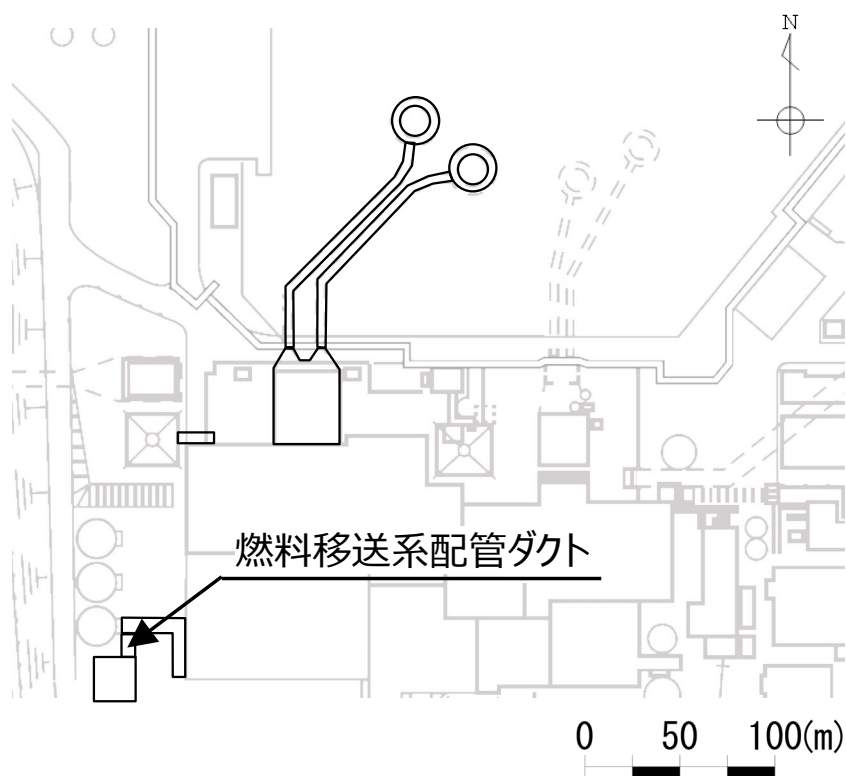
燃料移送系配管ダクトの配置図を第6-2-45図に、平面図を第6-2-46図に、縦断図を第6-2-47図に、断面図を第6-2-48図～第6-2-49図に、地質断面図を第6-2-50図にそれぞれ示す。

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。

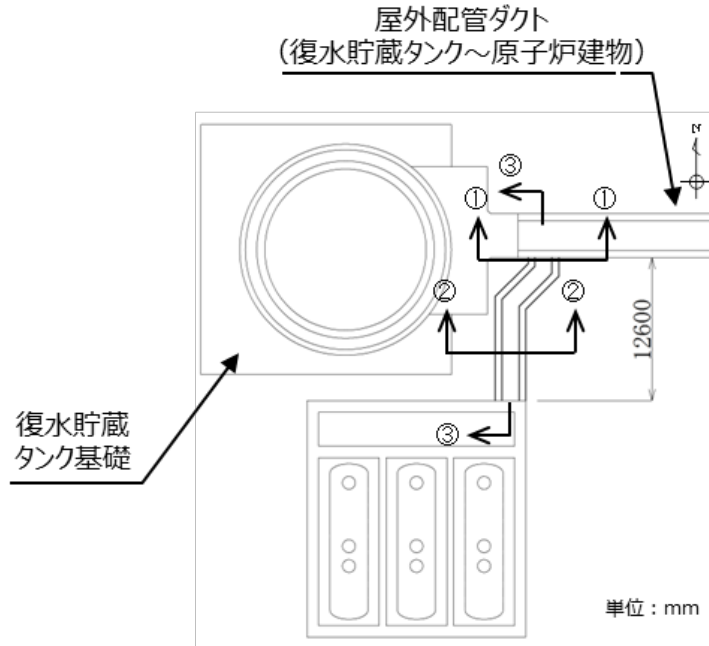
燃料移送系配管ダクトは、延長12.6mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅2.7m、高さ3.55～4.25mのボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第6-2-48図～第6-2-49図）。

燃料移送系配管ダクトは、一部MMRを介して主にCM級岩盤に支持されている。

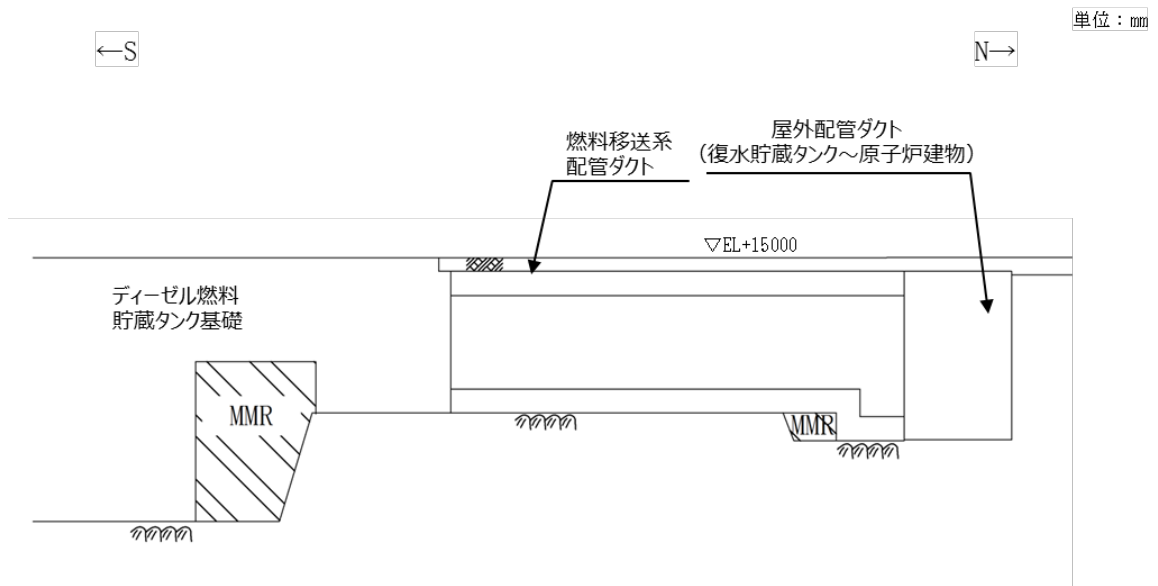
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



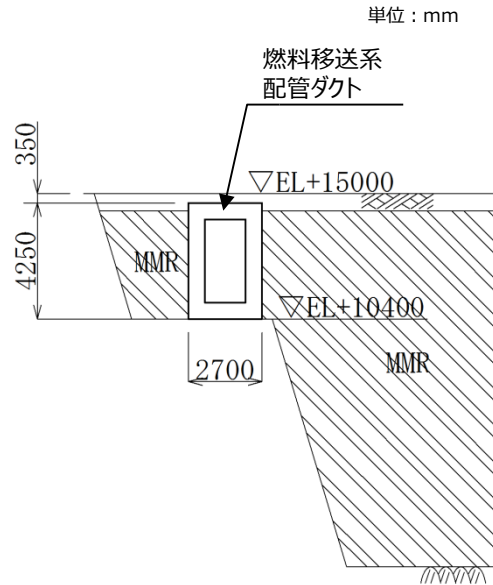
第6-2-45図 燃料移送系配管ダクト 配置図



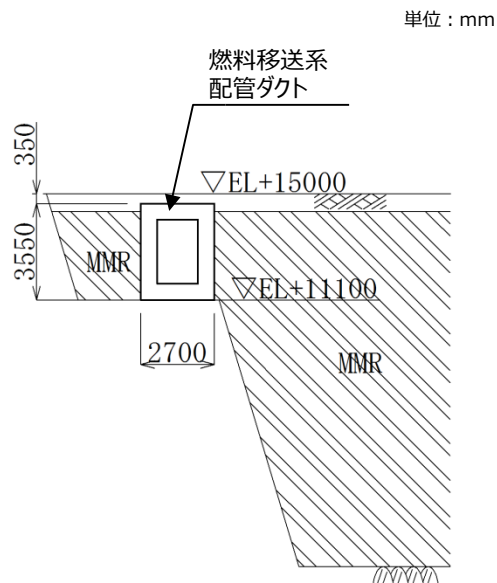
第 6-2-46 図 燃料移送系配管ダクト 平面図



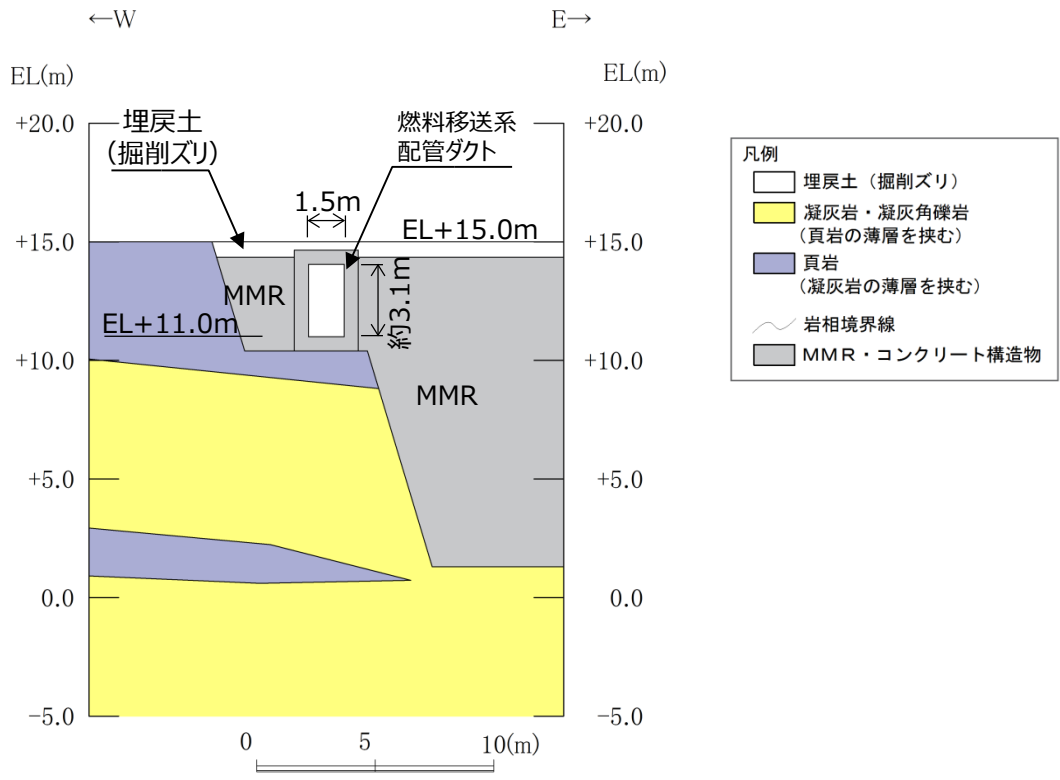
第 6-2-47 図 燃料移送系配管ダクト 縦断図 (③-③断面)



第 6-2-48 図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (①-①断面)



第 6-2-49 図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (②-②断面)



第6-2-50 図 燃料移送系配管ダクト 地質断面図 (①-①断面)

2.9 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）

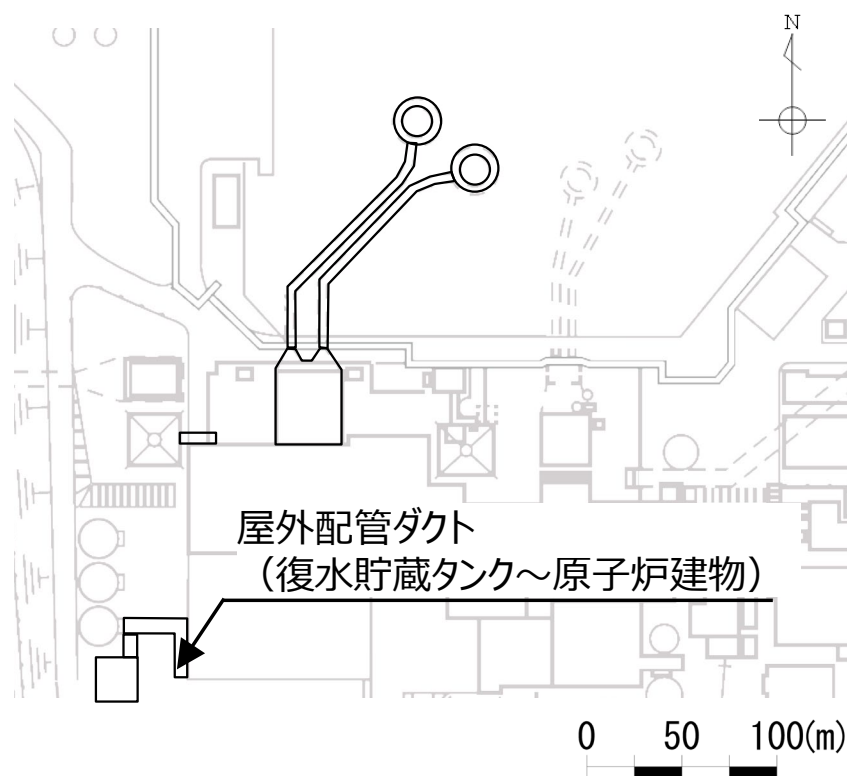
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）の配置図を第 6-2-51 図に、平面図を第 6-2-52 図に、縦断図を第 6-2-53 図に、断面図を第 6-2-54 図～第 6-2-57 図に、地質断面図を第 6-2-58 図～第 6-2-59 図にそれぞれ示す。

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。

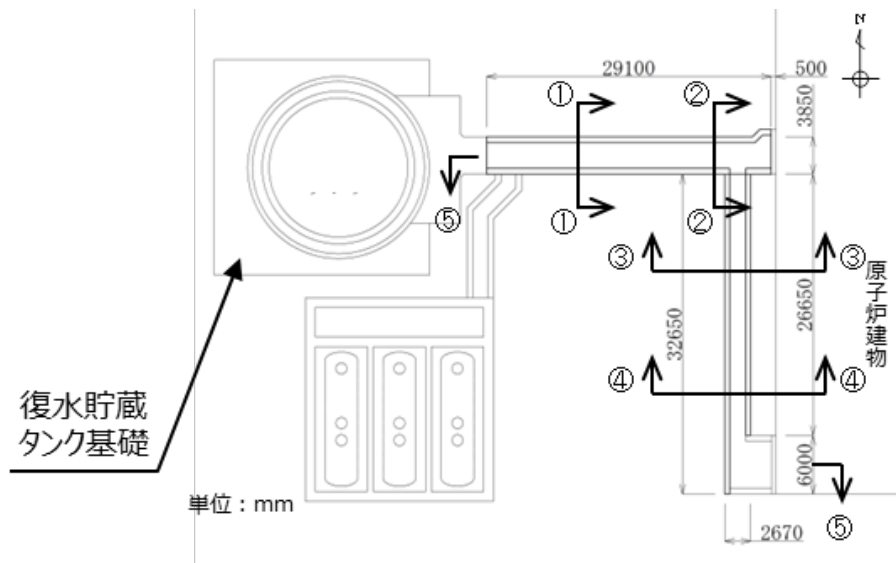
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は、延長約 62m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅 2.670m ～3.850m、高さ 3.739m ～4.246m のボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である（第 6-2-54 図～第 6-2-57 図）。

屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は MMR を介して主に CM 級地盤に支持されている。

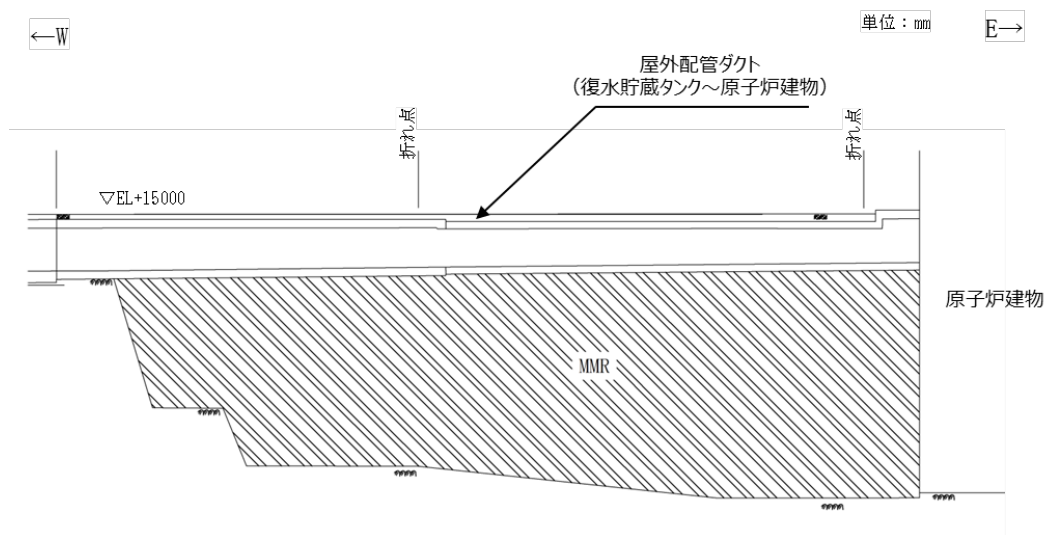
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



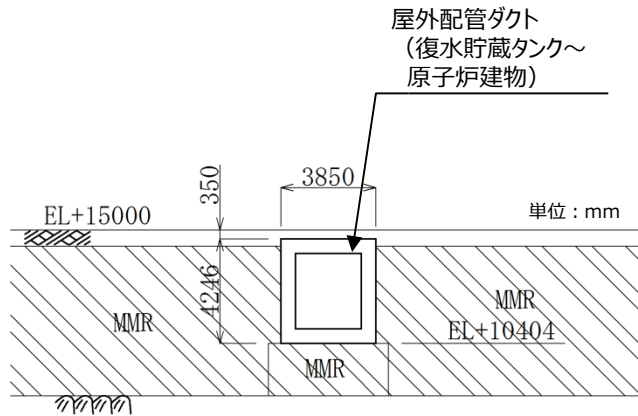
第 6-2-51 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 配置図



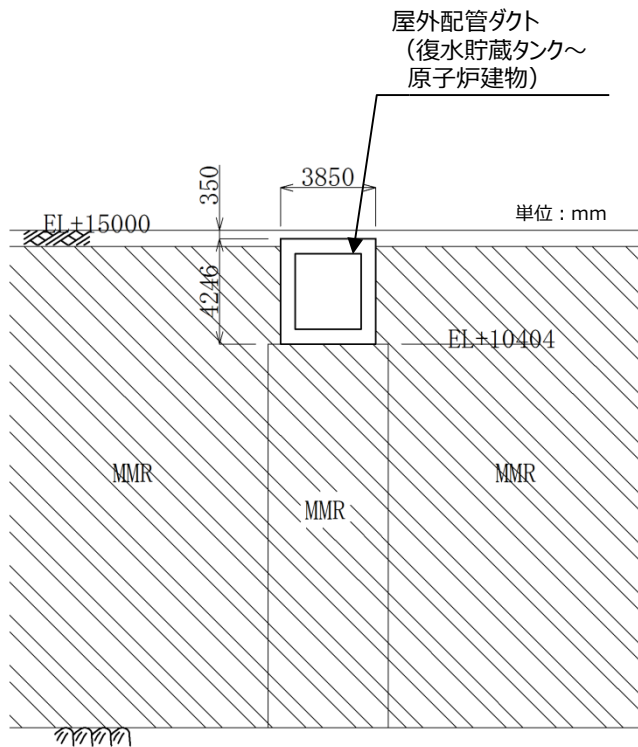
第 6-2-52 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 平面図



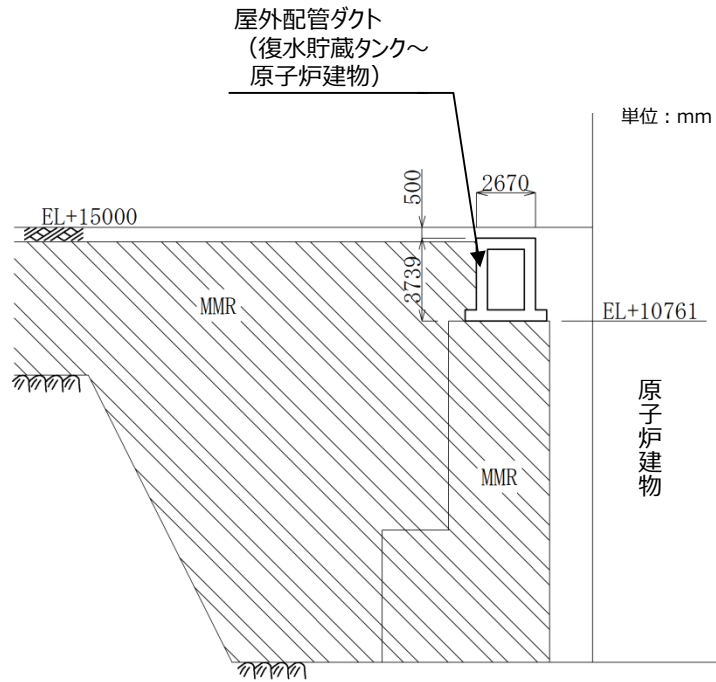
第 6-2-53 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 縦断面図
（⑤-⑤断面）



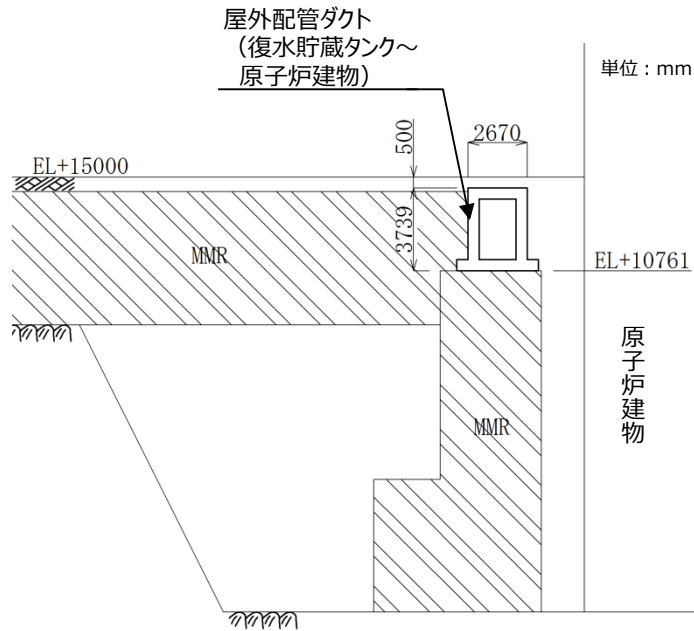
第6-2-54 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図
(①-①断面)



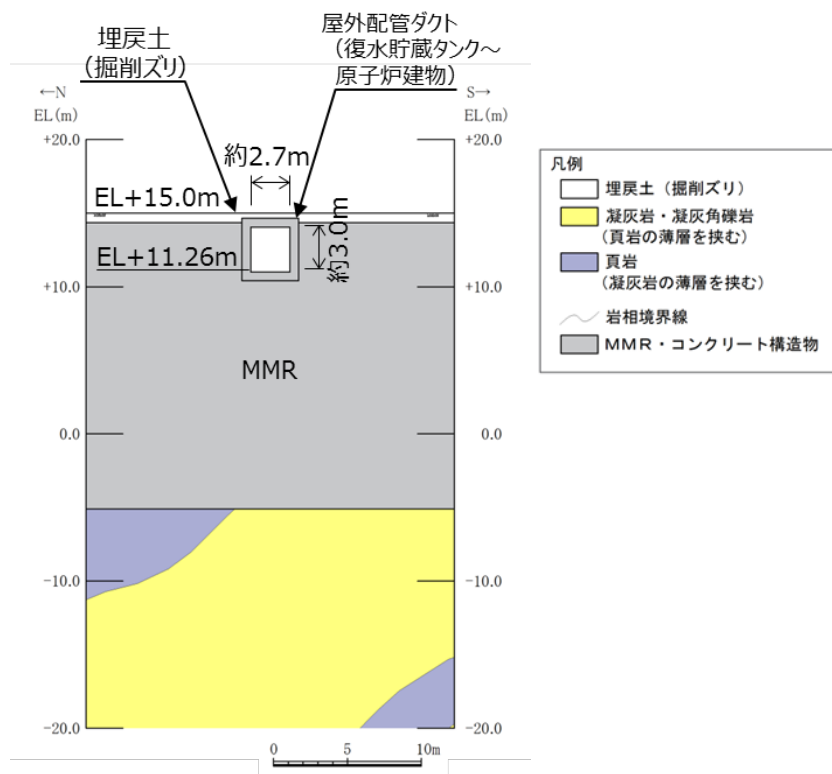
第6-2-55 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図
(②-②断面)



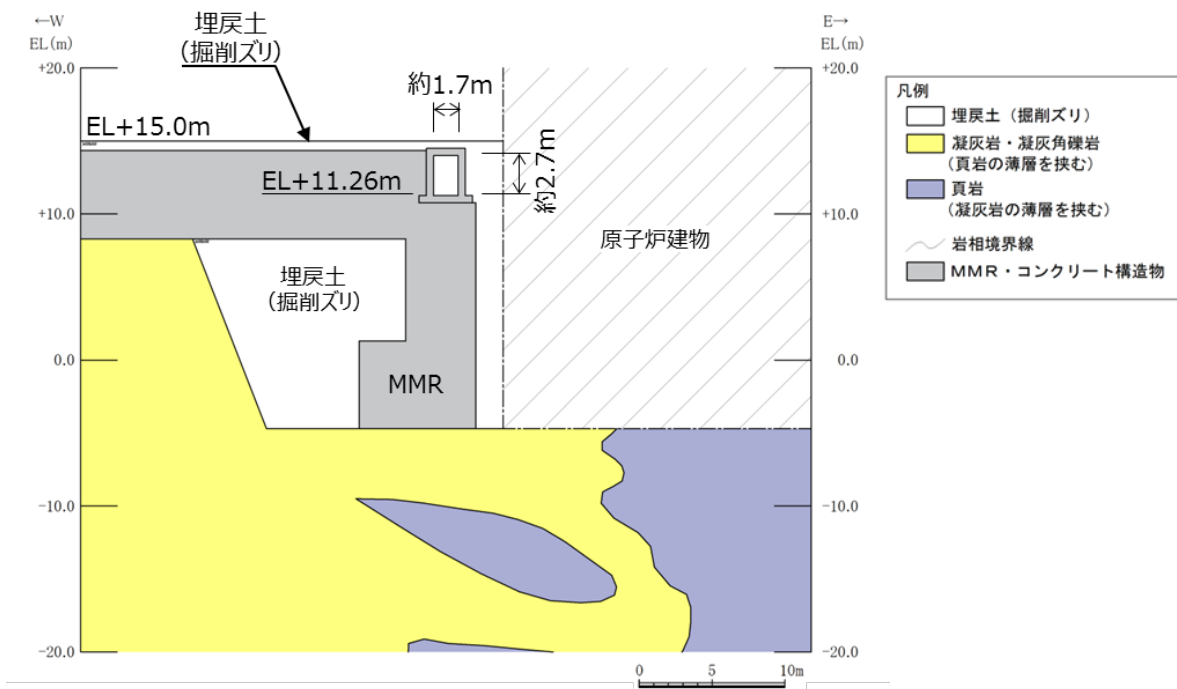
第 6-2-56 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図
(③-③断面)



第 6-2-57 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 6-2-58 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 6-2-59 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)

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）

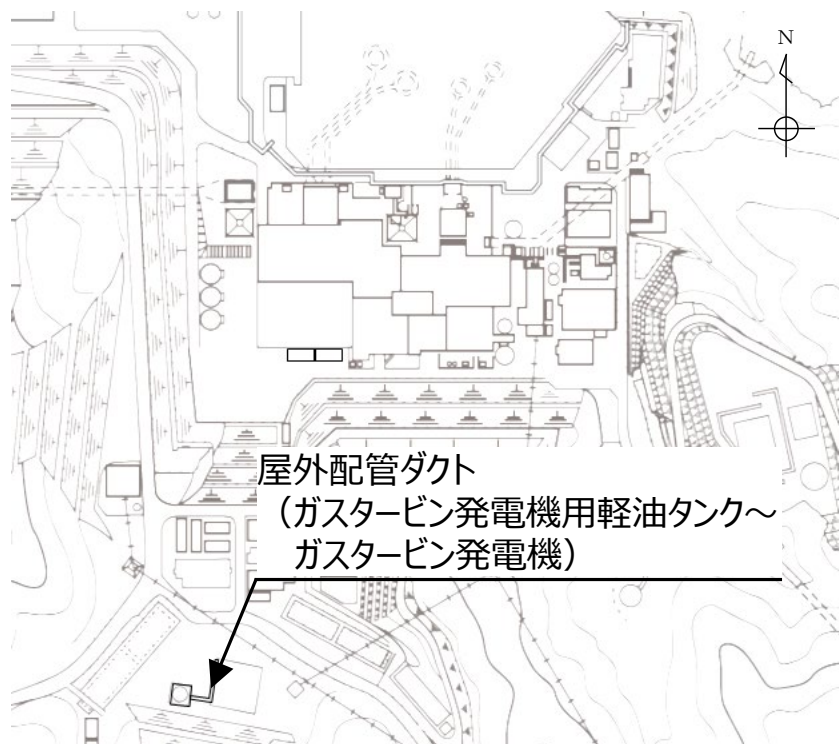
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の配置図を第6-2-60図に、平面図を第6-2-61図に、縦断図を第6-2-62図に、断面図を第6-2-63図に、地質断面図を第6-2-64図にそれぞれ示す。

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。

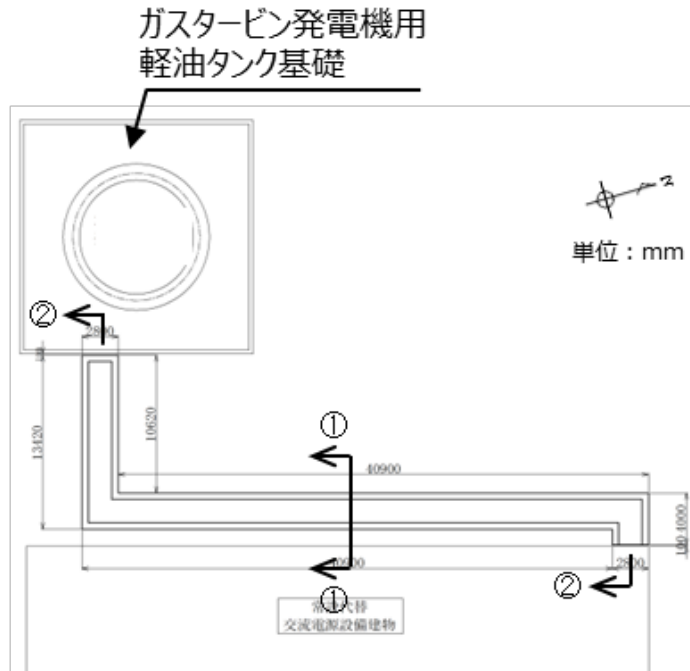
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、延長58.32m、幅2.8m、高さ1.8mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長方向に断面の変化がない線状構造物である（第6-2-63図）。

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を介して主にCM級岩盤に支持されている。

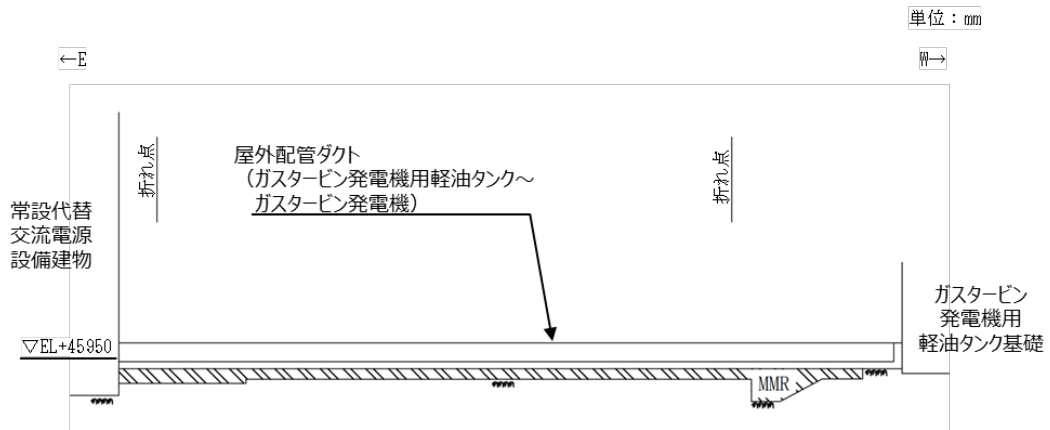
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



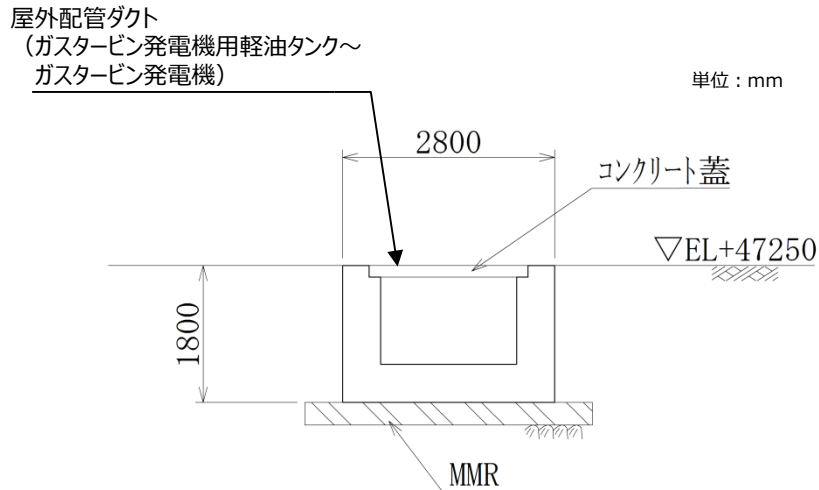
第6-2-60図 屋外配管ダクト
（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機） 配置図



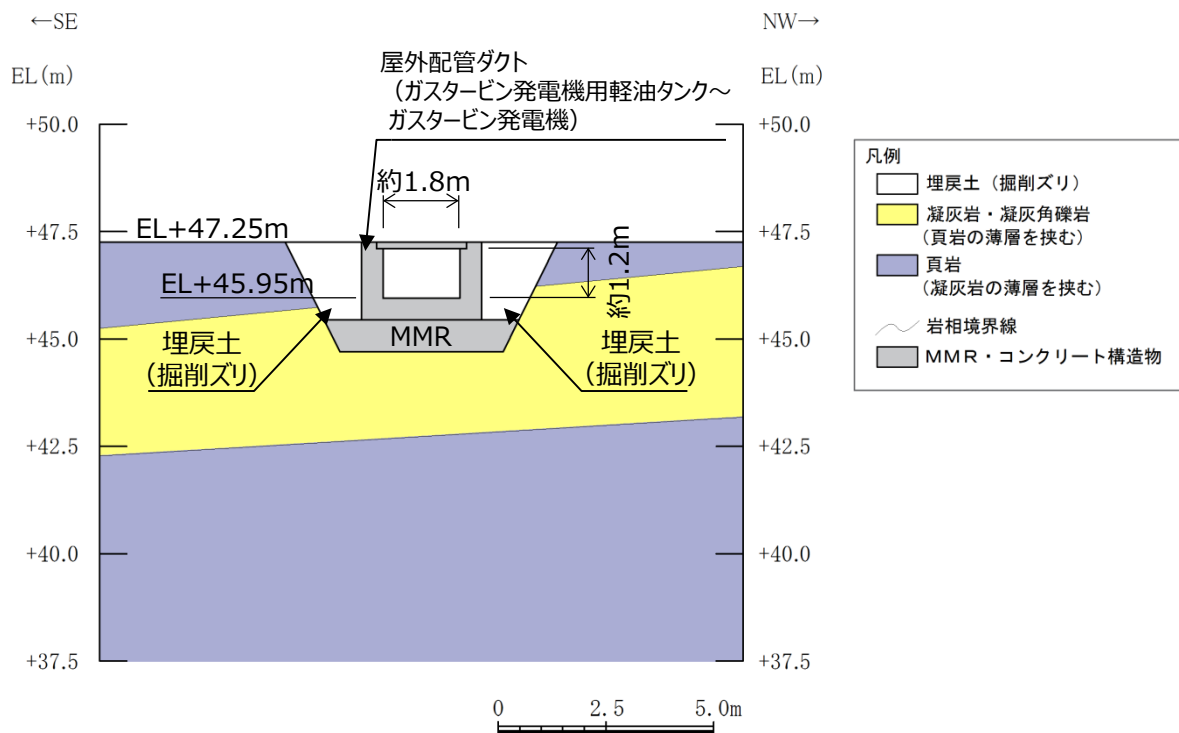
第 6-2-61 図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 平面図



第 6-2-62 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
 (②-②断面)



第 6-2-63 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 6-2-64 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
 (①-①断面)

2.11 取水口

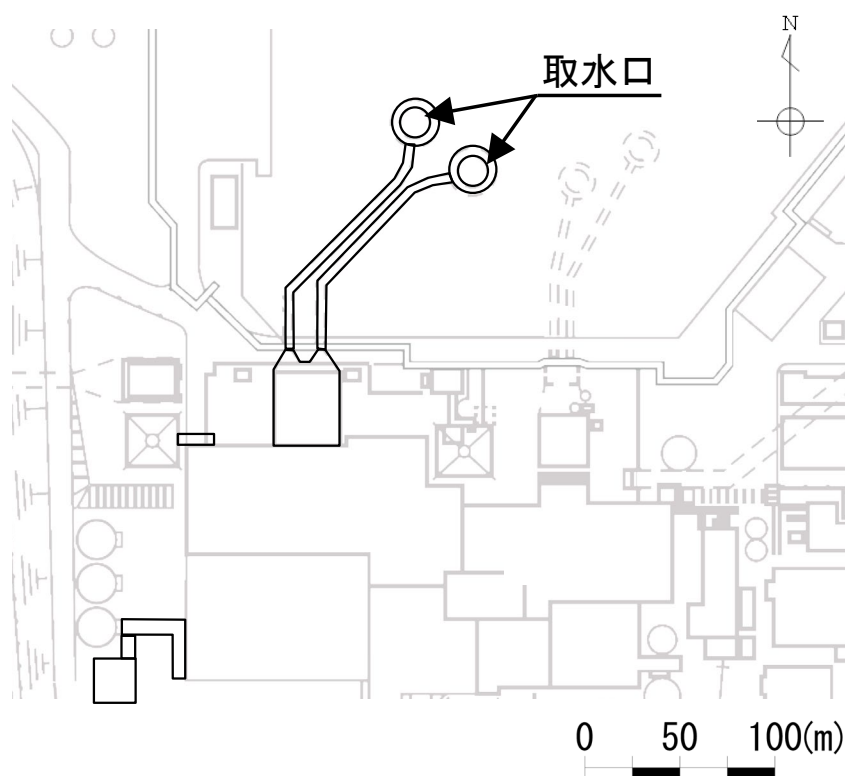
取水口の配置図を第 6-2-65 図に，平面図を第 6-2-66 図に，断面図を第 6-2-67 図～第 6-2-68 図に，地質断面図を第 6-2-69 図にそれぞれ示す。

取水口は，非常用取水設備であり，通水機能が要求される。

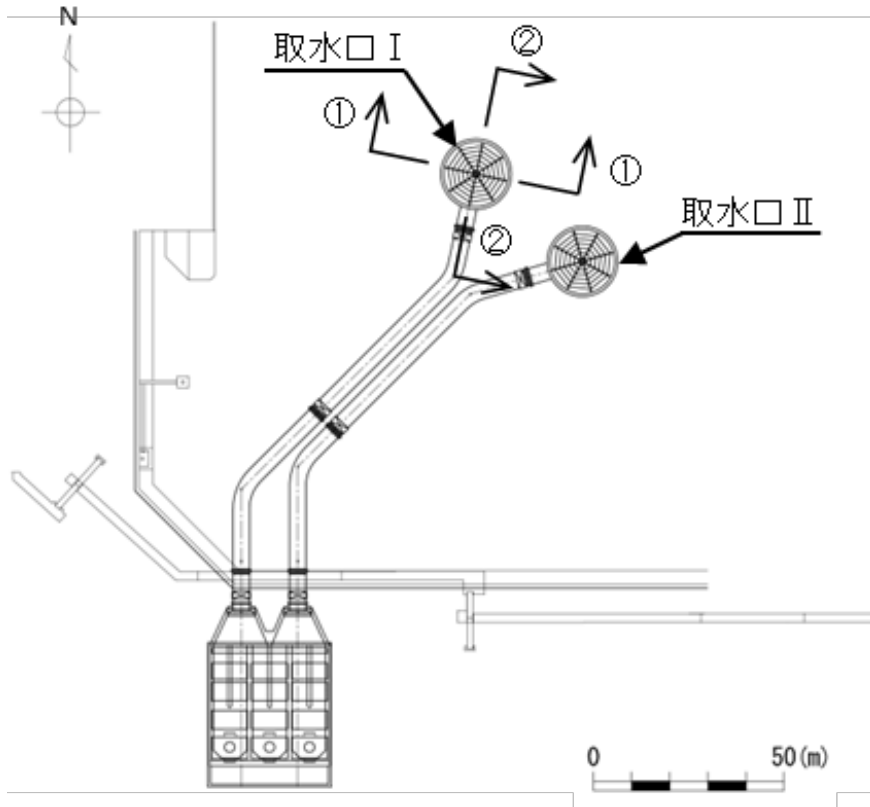
取水口は，直径 18.6m，高さ 13m の基部をアンカーコンクリートで巻き立てられた鋼製の構造物である。

取水口は主に CM 級岩盤に直接支持されている。

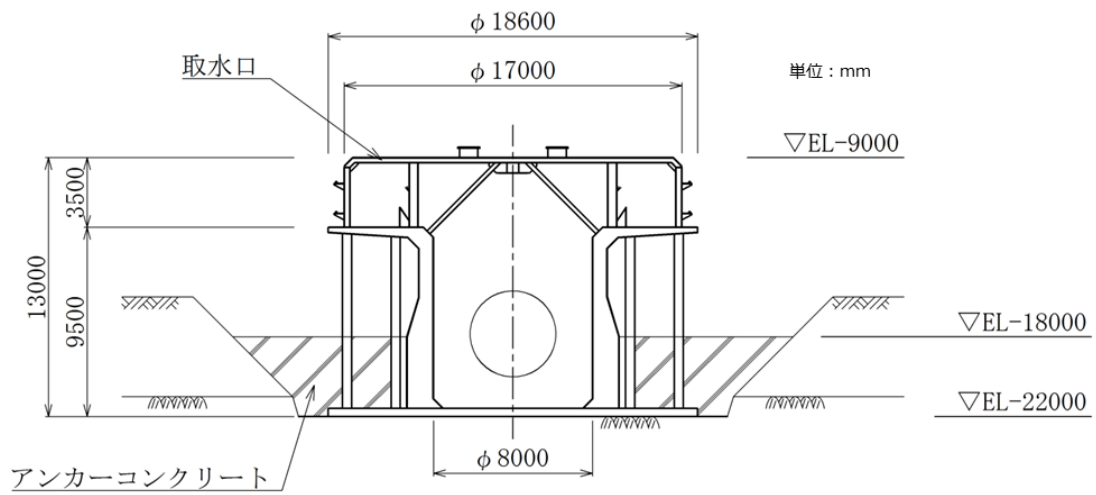
よって，取水口の評価対象断面の選定においては，構造物中央を通る断面から，耐震評価を行う上で，構造的特徴，周辺状況等を考慮して，耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



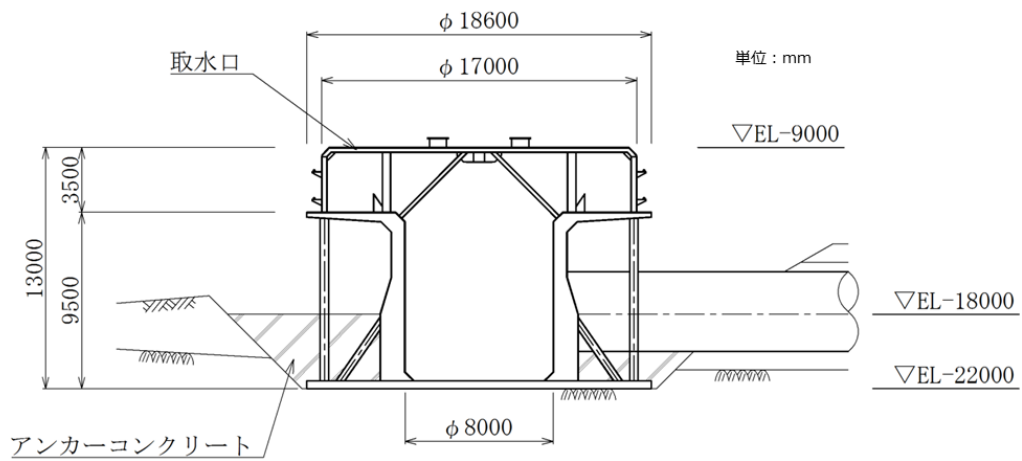
第 6-2-65 図 取水口 配置図



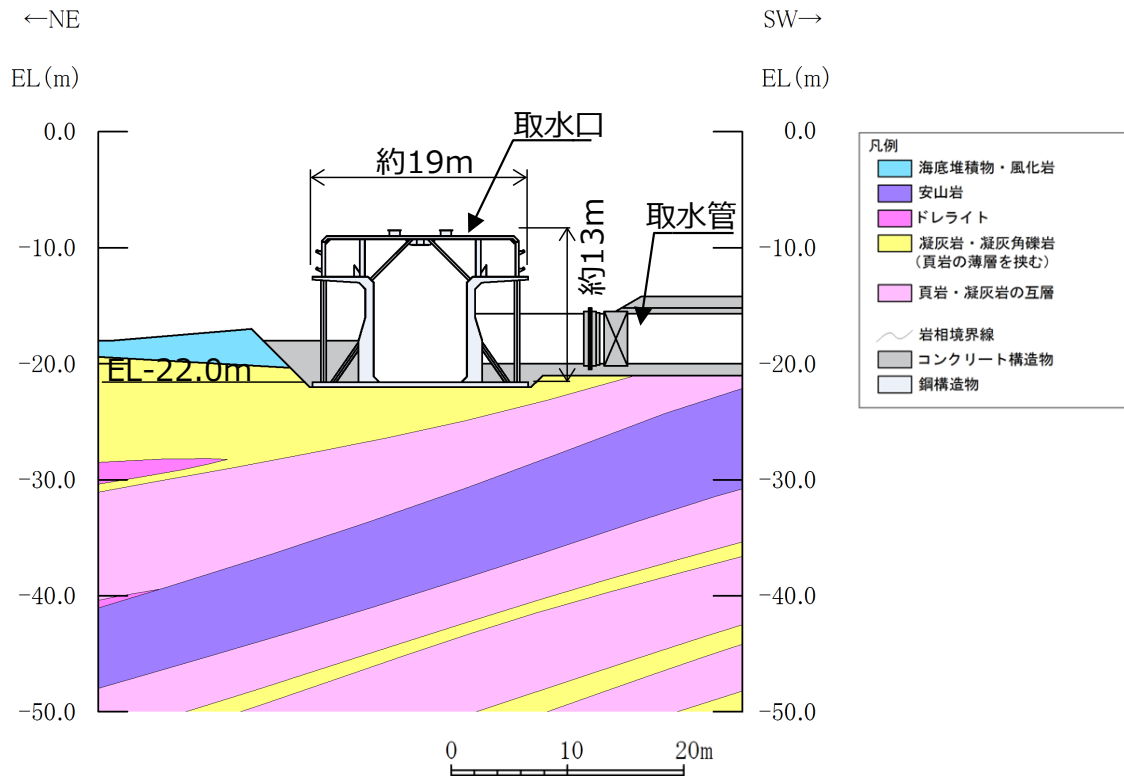
第 6-2-66 図 取水口 平面図



第6-2-67図 取水口 断面図 (①-①断面)



第6-2-68図 取水口 断面図 (②-②断面)



第 6-2-69 図 取水口 地質断面図 (②-②断面)

2.12 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎

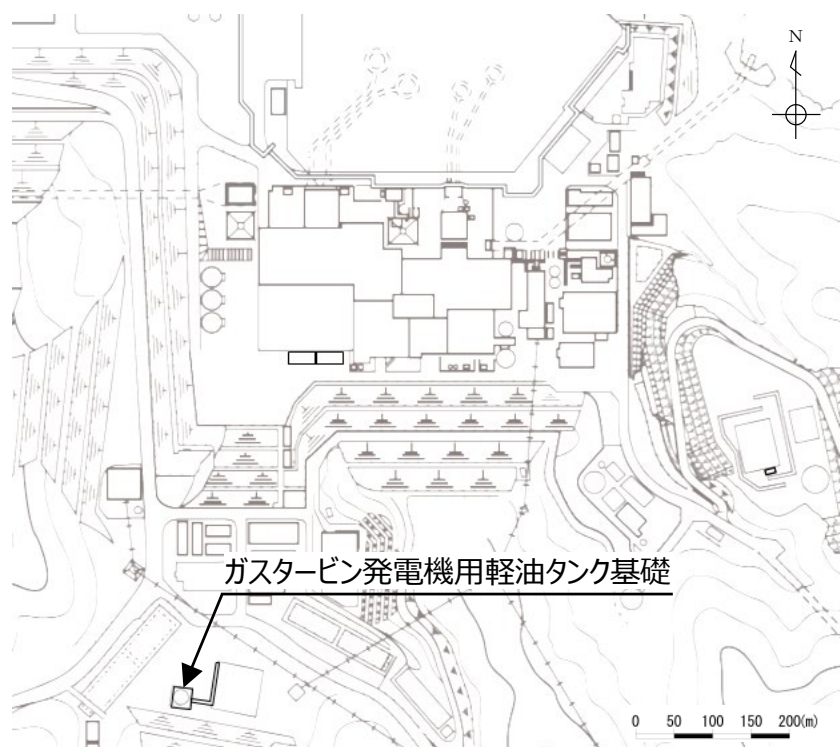
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の配置図を第6-2-70図に、平面図を第6-2-71図に、断面図を第6-2-72図に、地質断面図を第6-2-73図にそれぞれ示す。

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。

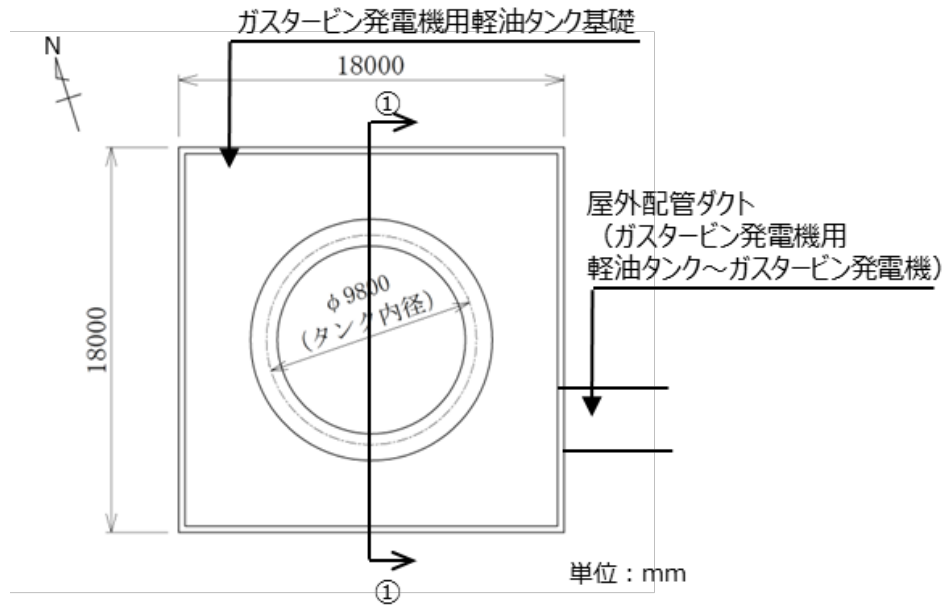
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、幅18m×18mの鉄筋コンクリート造の構造物である。

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

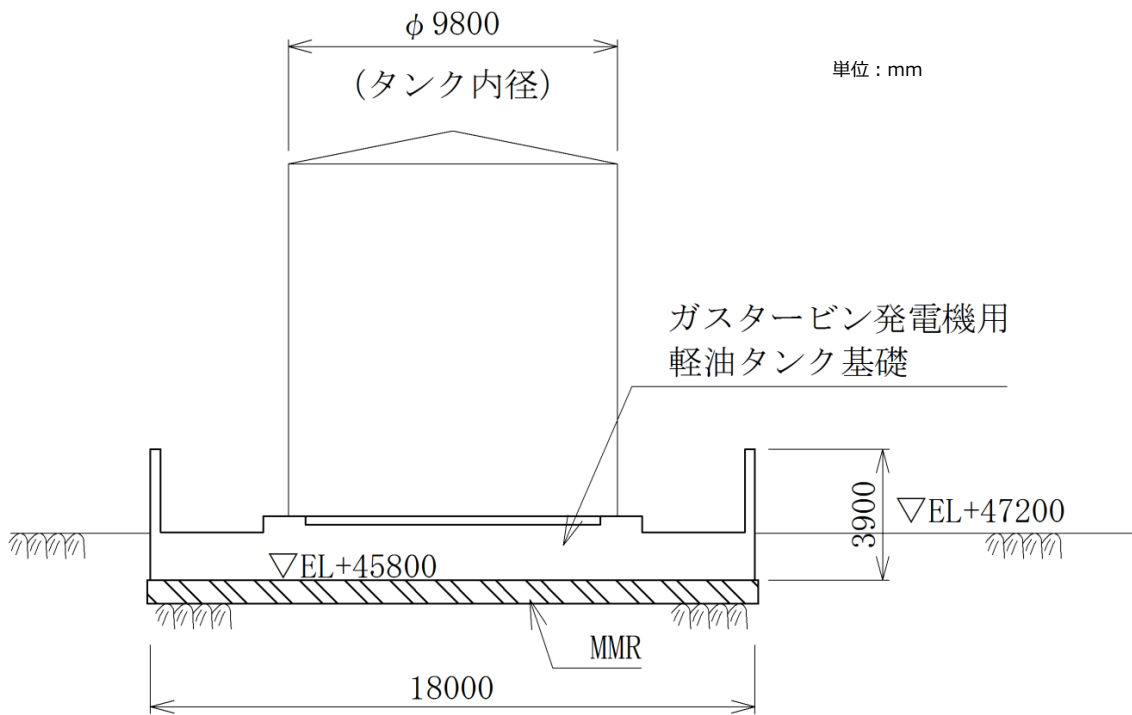
よって、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の評価対象断面の選定においては、構造物中央を通る断面から、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面とする。



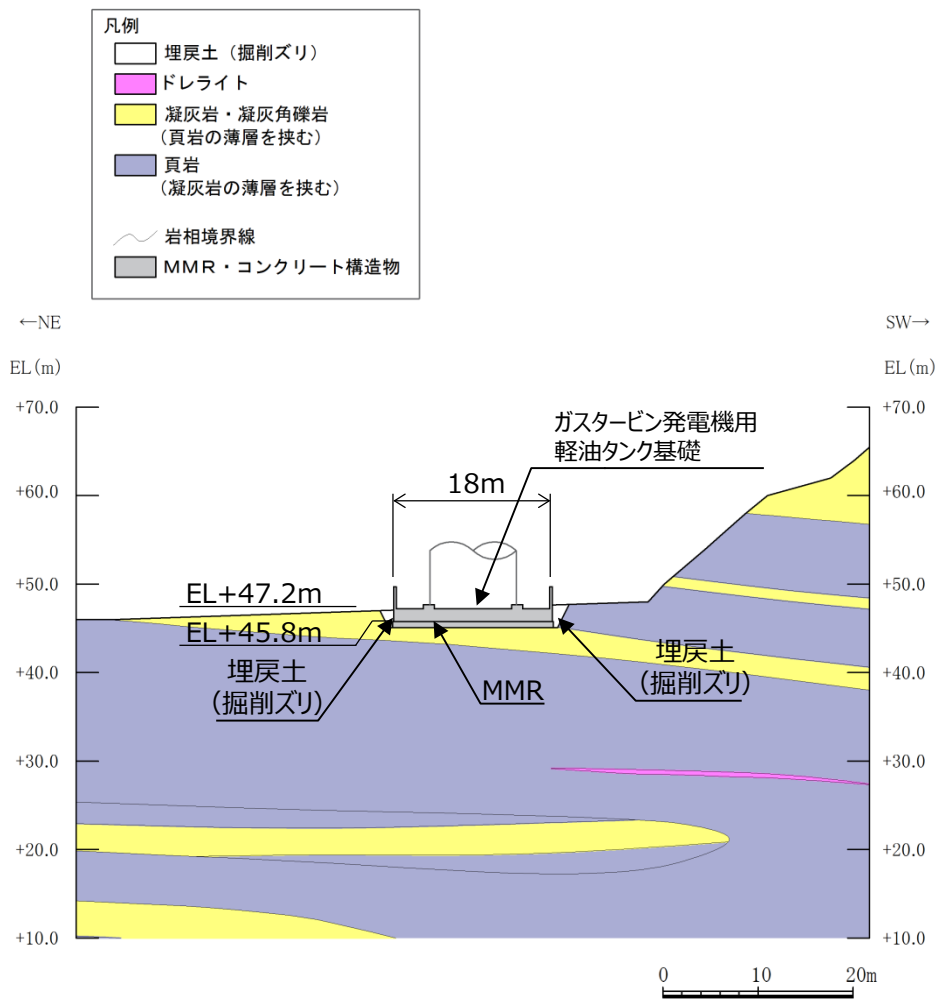
第6-2-70図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 配置図



第6-2-71 図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図



第6-2-72 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6-2-73 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)

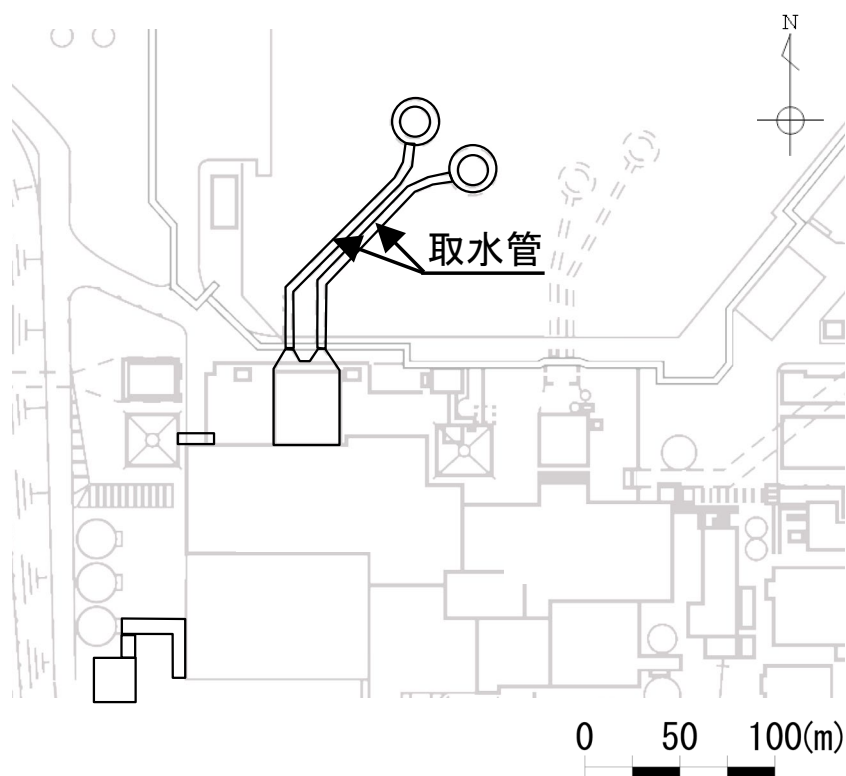
2.13 取水管

取水管の配置図を第 6-2-74 図に、平面図を第 6-2-75 図に、縦断図を第 6-2-76 図に、断面図を第 6-2-77 図～第 6-2-78 図に、地質断面図を第 6-2-79 図にそれぞれ示す。

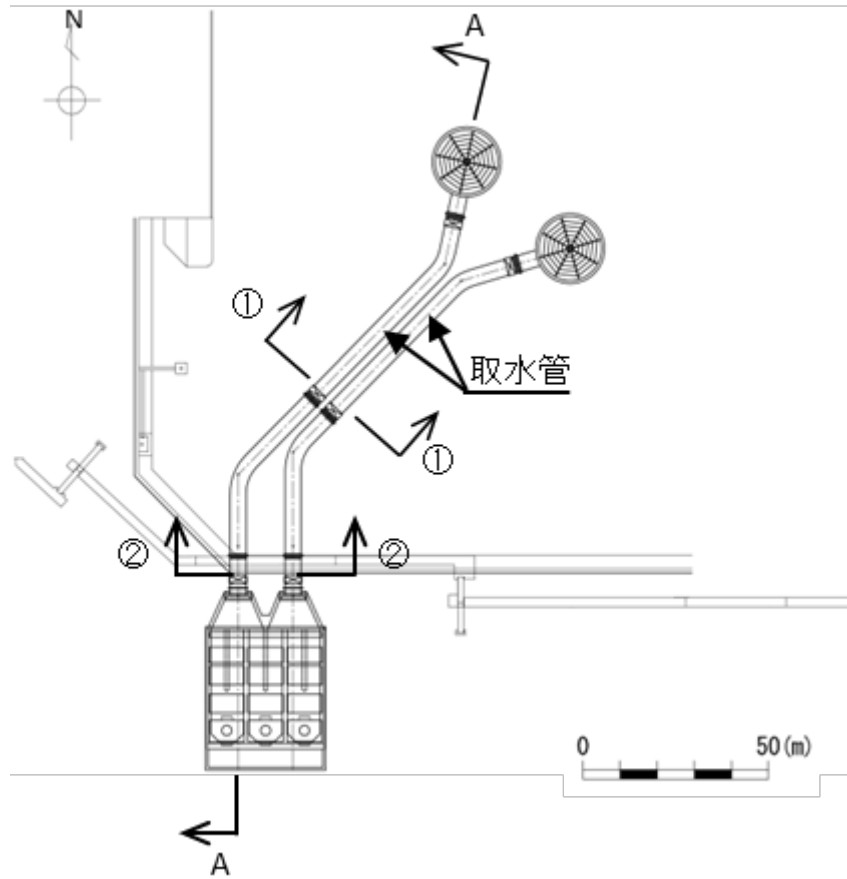
取水管は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

取水管は、取水口と取水槽を結ぶ、管径 $\phi 4,300\text{mm}$ の鋼製の構造物であり、北側より、①-①断面（砕石）、②-②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 6-2-77 図～第 6-2-78 図）。

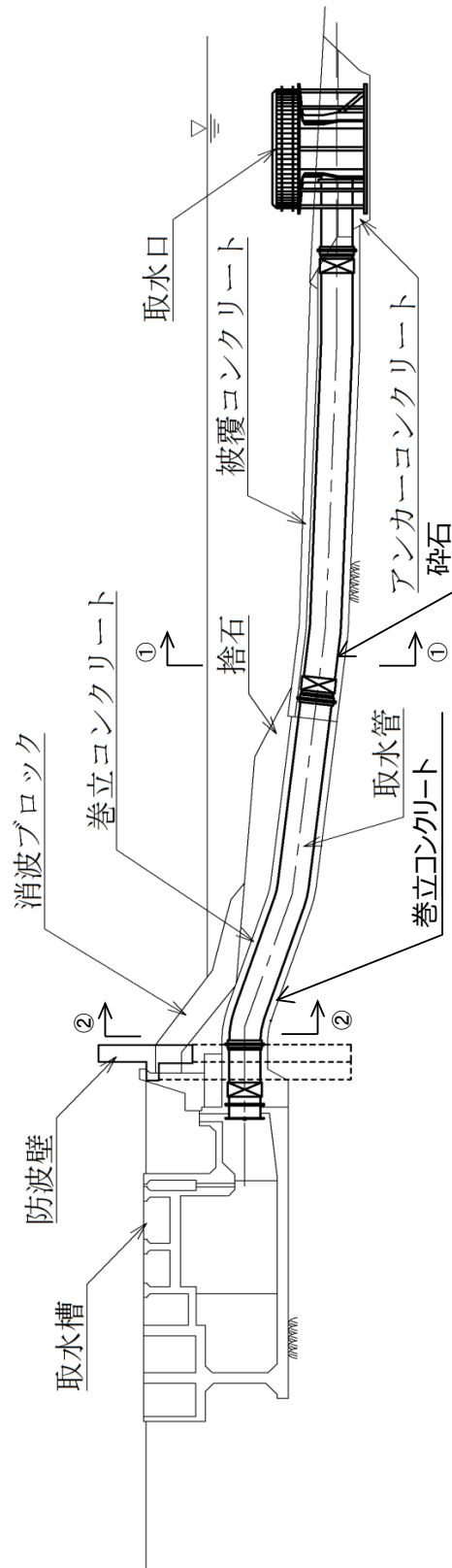
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の床応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



第 6-2-74 図 取水管 配置図

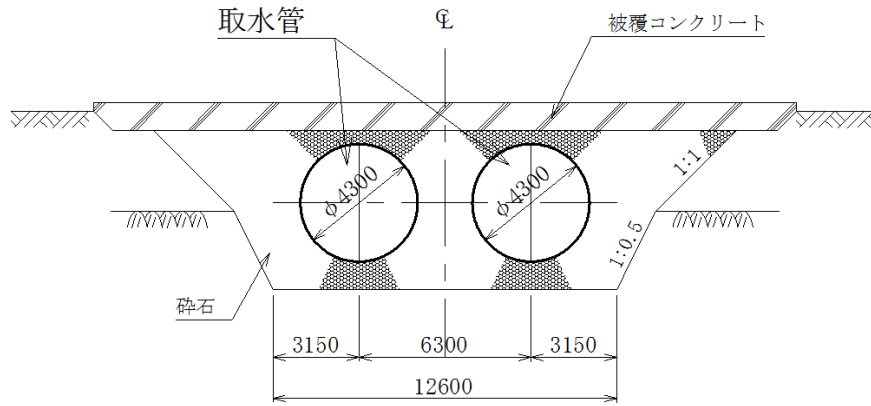


第 6-2-75 図 取水管 平面図



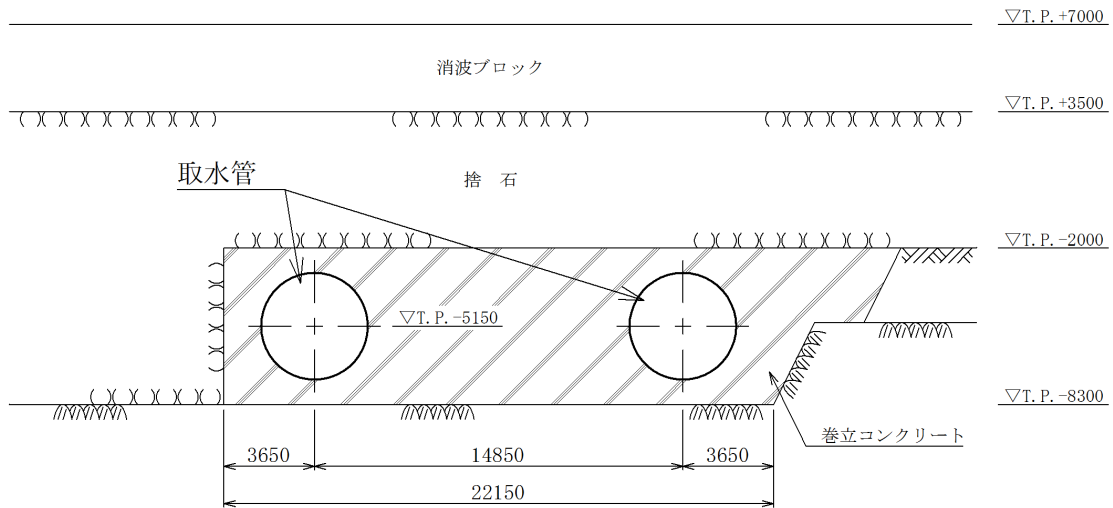
第 6-2-76 図 取水管 縦断図 (A-A断面)

単位：mm

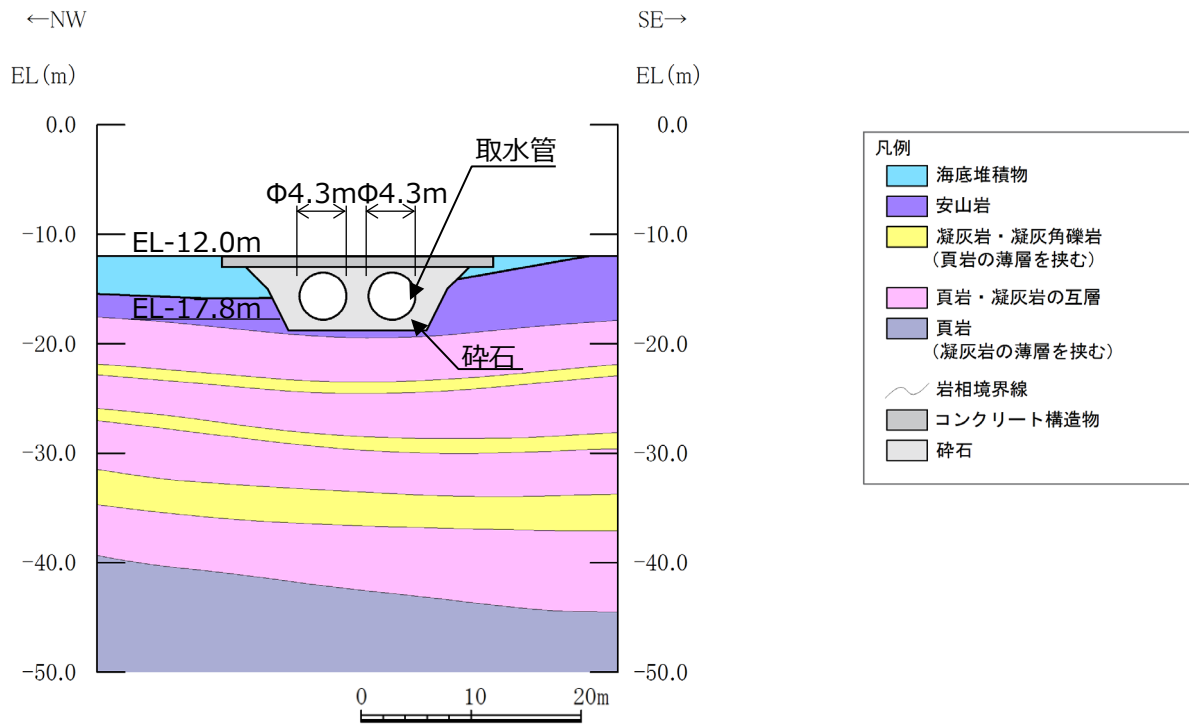


第6-2-77図 取水管 断面図 (①-①断面)

単位：mm



第6-2-78図 取水管 断面図 (②-②断面)



第6-2-79 図 取水管 地質断面図 (①-①断面)

島根原子力発電所 2 号炉

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 (耐震)

目 次

1. 概要
 2. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について
 - 2.1 原子炉建物の基礎スラブの構造概要
 - 2.2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について
 - 2.3 既工認との差異についての考察
 3. 弾塑性解析を採用する目的と論点について
 - 3.1 弾塑性解析を採用する目的
 - 3.2 弾塑性解析を採用するに当たっての論点
 4. 材料構成則の適用性・妥当性について
 - 4.1 コンクリート（引張側）
 - 4.2 コンクリート（圧縮側）
 - 4.3 鉄筋（圧縮側，引張側）
 5. 既往研究に基づく弾塑性解析の適用性・妥当性について
 6. まとめ
 7. 参考文献
-
- 添付資料－1 C C V規格における許容限界設定の考え方について
 - 添付資料－2 コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について
 - 添付資料－3 ドライウェル外側壁内部の構造物から基礎スラブに伝達される荷重等の考え方について
 - 添付資料－4 耐震壁のシェル要素でのモデル化について
 - 参考資料－1 弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較
 - 参考資料－2 原子炉建物の基礎スラブの耐震重要度分類の考え方について

1. 概要

島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）では、原子炉建物の基礎スラブ等の鉄筋コンクリート部材の応力解析において、3次元FEMモデル等を用いた弾性解析により評価を実施していた。

今回の工事計画認可申請書（以下「今回工認」という。）では、入力地震動の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために、基準地震動 S_s による検討においては、基本的に材料（コンクリート、鉄筋）の非線形特性を考慮した弾塑性解析を採用する予定である。

本資料は、鉄筋コンクリート構造物の3次元弾塑性解析が先行電力を含めた既工認での採用事例がないことを踏まえ、その妥当性・適用性について説明するものである。

本資料では、まず既工認モデルと今回工認モデルの差異について整理・考察し、新手法としての妥当性を確認すべき項目として、弾塑性解析の採用のみが抽出されることを確認する。その上で、弾塑性解析を採用する際の論点を整理する。次に、抽出された論点に対して、既往の研究から得られた知見の整理を通して、その適用性・妥当性について考察する。

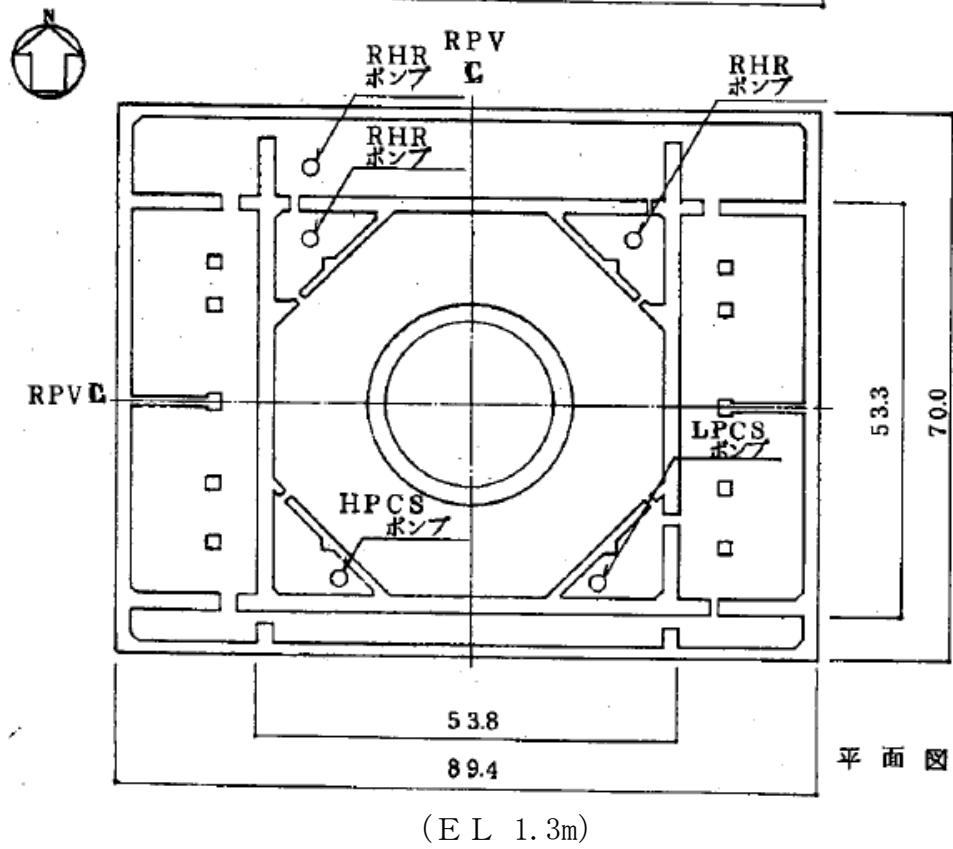
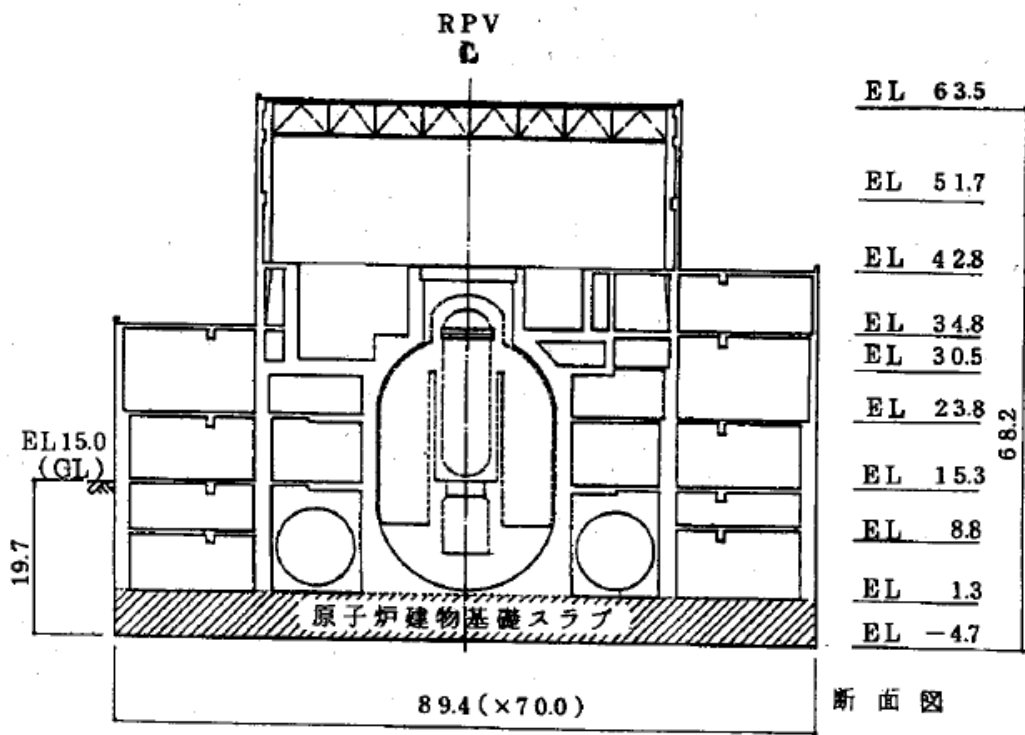
2. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について

原子炉建物の基礎スラブを代表として既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異を整理し、論点を抽出する。

2.1 原子炉建物の基礎スラブの構造概要

島根原子力発電所2号炉（以下、「島根2号炉」という。）原子炉建物の基礎スラブは、70.0m（NS）×89.4m（EW）の矩形を成しており、厚さ6.0mの鉄筋コンクリート造のべた基礎で、岩盤に直接設置している。また、原子炉格納容器及びその内部構造物、原子炉一次しゃへい壁並びに原子炉建物の内外壁等から伝わる荷重を支持する部材である。

原子炉建物の基礎スラブの概要を第2-1図に示す。



第2-1図 原子炉建物の基礎スラブの概要 (単位: m)

2.2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について

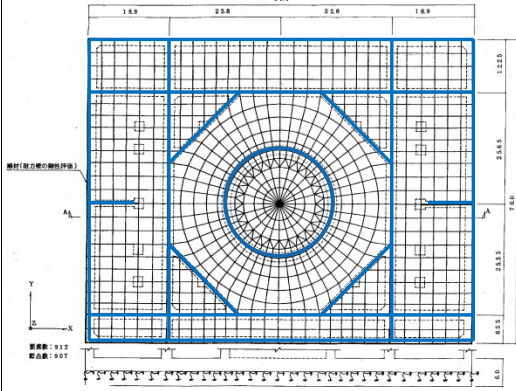
まず、既工認で採用した原子炉建物の基礎スラブの解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理し、論点となり得る項目を整理する。

既工認における原子炉建物の基礎スラブの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第2-1表に示す。

第2-1表で整理したとおり、既工認と今回工認における解析モデルの差異としては、以下の2点が抽出された。

- (1) 応力解析に弾塑性解析を採用すること
- (2) コンクリートの物性値（ヤング係数，ポアソン比）

第2-1表 応力解析モデル及び手法の比較（原子炉建物の基礎スラブ）

項目		既工認時	今回工認時
解析手法		・弾性地盤上に支持された厚さ6.0mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・同左
解析コード		・NASTRAN	・ABAQUS
荷重		・固定荷重，機器配管荷重，積載荷重，地震荷重（S2），土圧等	・固定荷重，機器配管荷重，積載荷重，地震荷重（Ss），土圧等
モデル化	モデル化範囲	・基礎スラブ全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。従って，モデルの大きさは外壁の最外端までの70.0m（NS）×89.4m（EW）となる。	・同左
	メッシュサイズ	・モデル全体で概ね1~3m程度	・同左
	要素タイプ	・基礎スラブ全体をシェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁（外部ボックス壁，内部ボックス壁及びドライウェル外側壁）は，その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化する。外部ボックス壁及び内部ボックス壁は燃料取替床レベル（E L 42.8m）まで，ドライウェル外側壁はE L約23mまでの剛性を考慮する。また，梁要素の剛性算定においては開口部による影響は考慮しない。	・同左 （ただし，基礎スラブのシェル要素は，コンクリート及び鉄筋それぞれに弾塑性特性を設定した積層シェル要素でモデル化）
材料物性		・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^5$ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.25 \times 10^4$ (N/mm ²) ^{※1} ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ^{※1}
評価方法	応力解析	・弾性解析	・弾塑性解析
	許容限界	（機能維持） 部材に発生する応力が終局強度を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。	（機能維持） 部材に発生する応力，ひずみが終局強度を超えないことを確認する。 ^{※2} 接地圧が地盤の極限支持力度を超えないことを確認する。
モデル		<p>・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は，その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化，底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。</p> <p>・基礎スラブより立ち上がっている独立柱はその剛性を考慮しない。</p> <p>・B2F壁の開口は比較的小さく影響はないと判断し，梁要素には開口部をモデル化しない。</p>  <p>— 梁要素（耐震壁の剛性を考慮）</p>	・同左

※1：コンクリートのヤング係数及びポアソン比は，日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 - 許容応力度設計法 -」（1999）による計算式に基づく値を用いる。

※2：許容限界については，日本機械学会「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 J S M E S N E I - 2003」等によるものとし，設定の考え方については添付資料-1に示す。

注1：コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の折れ線近似については添付資料-2に示す。

注2：ドライウェル外側壁内部の構造物から基礎スラブに伝達される荷重等の考え方については添付資料-3に示す。

注3：タービン建物及び制御室建物の基礎スラブについては，剛性の高い壁のうち低層部の一部をシェル要素でモデル化し，壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する予定であるが，詳細については，詳細設計段階で説明する。モデル化の考え方については添付資料-4に示す。

注4：弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較を参考資料-1に示す。

2.3 既工認との差異についての考察

(1) 応力解析に弾塑性解析を採用することについて

弾塑性解析については、基準地震動 S_s による入力が増大に伴い、原子炉建物の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性領域に入ると考えられるため、その塑性域の挙動を適切に評価するために採用するものである。

島根2号炉原子炉建物の基礎スラブに要求される機能は、基準地震動 S_s に対する間接支持構造物としての機能であり、許容限界としては機能維持となる。原子炉建物の基礎スラブの耐震重要度分類の考え方について参考資料-2に示す。また、鉄筋コンクリート造構造物に関する規格である日本機械学会「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE I-2003」(以下「CCV規格」という。)は、基準地震動 S_s に対して主要施設としての機能確保が必要な施設に対する設計規格である。

以上のことから、基礎スラブの弾塑性解析はCCV規格に基づき実施する。

ただし、鉄筋コンクリート構造物の弾塑性解析については先行電力を含めた既工認で採用された事例がなく、手法自体の変更となることから解析結果に与える影響も大きいと判断し、以降でその詳細について分析・検討し、今回工認で新手法として採用することの妥当性を確認することとする。なお、弾塑性解析の採用に当たって解析コードとして「ABAQUS」を採用しているが、汎用の有限要素解析コードであり、鉄筋コンクリート構造物に対する既往知見もあること(詳細は、本資料「4. 材料構成則の適用性・妥当性について 4.1 (2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例」を参照)から、ここでは論点として取り上げないこととする。なお、今回工認では、添付資料として「計算機プログラム(解析コード)の概要」を添付し、その妥当性を説明する予定である。

(2) コンクリートの物性値(ヤング係数、ポアソン比)

コンクリートの物性値のうち、ヤング係数については、設計基準強度に基づき算定した値を採用する予定である。

一方、ポアソン比の変更については適用基準を日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—」(1999)(以下、RC規準という。)に見直したことによるものであり、同様の変更については先行審査でも認可実績があり、論点とはならないと考えている。

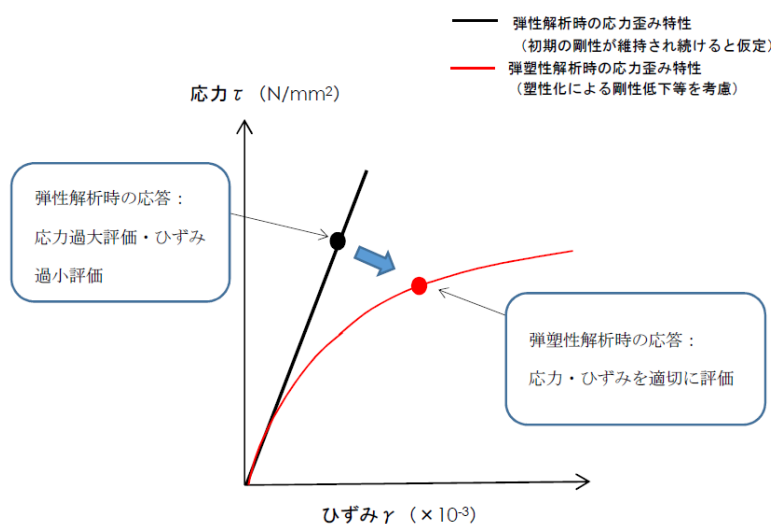
以上のことから、コンクリートの物性値の変更については、本資料における論点としては取り扱わないこととする。

3. 弾塑性解析を採用する目的と論点について

3.1 弾塑性解析を採用する目的

弾性解析と弾塑性解析の応答性状の違いを示した概念図を第 3-1 図に示す。弾性解析は、どれだけ入力が大きくなっても初期の剛性が維持され続けるという仮定での解析を実施することとなるので、入力レベルが小さい場合は実現象を精度良く再現することができるが、入力の増大により挙動が塑性領域に入るような場合、部材の塑性化により剛性が低下する現象を模擬できない。そのため、実挙動が塑性領域に入る場合に弾性解析を用いると、応力を過大に評価し、ひずみ（変形量）は過小に評価することとなる。この傾向は入力が大きくなればなるほど、より顕著になると考えられる。

今回工認では、基準地震動 S_s による入力の増大に伴い、原子炉建物等の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性領域に入ると考えられることから、入力レベルに応じた構造物の挙動を適切に評価することを目的として弾塑性解析を採用することが必要であると判断した。



第 3-1 図 弾性解析と弾塑性解析の違い（概念図）

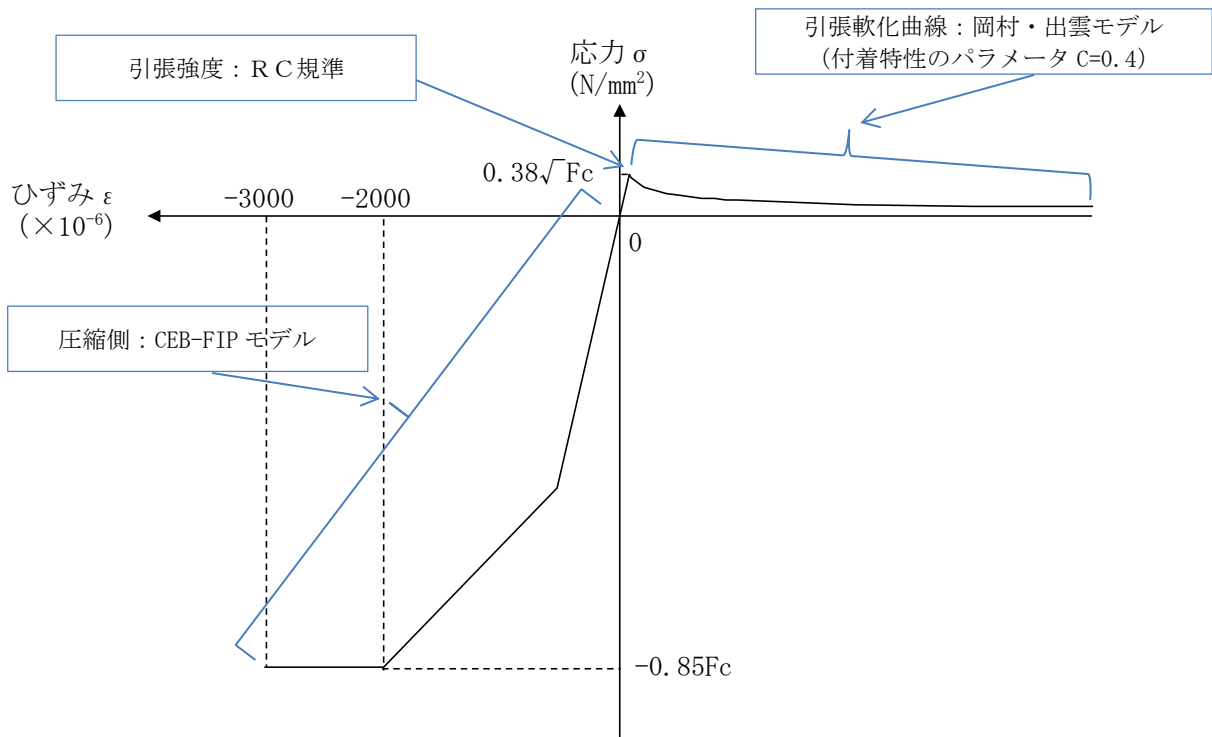
3.2 弾塑性解析を採用するに当たっての論点

3.1で説明したとおり、原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現出来ないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するに当たっては、塑性領域を含めた鉄筋及びコンクリートの材料構成則（材料の応力とひずみの関係をモデル化したもの）を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。

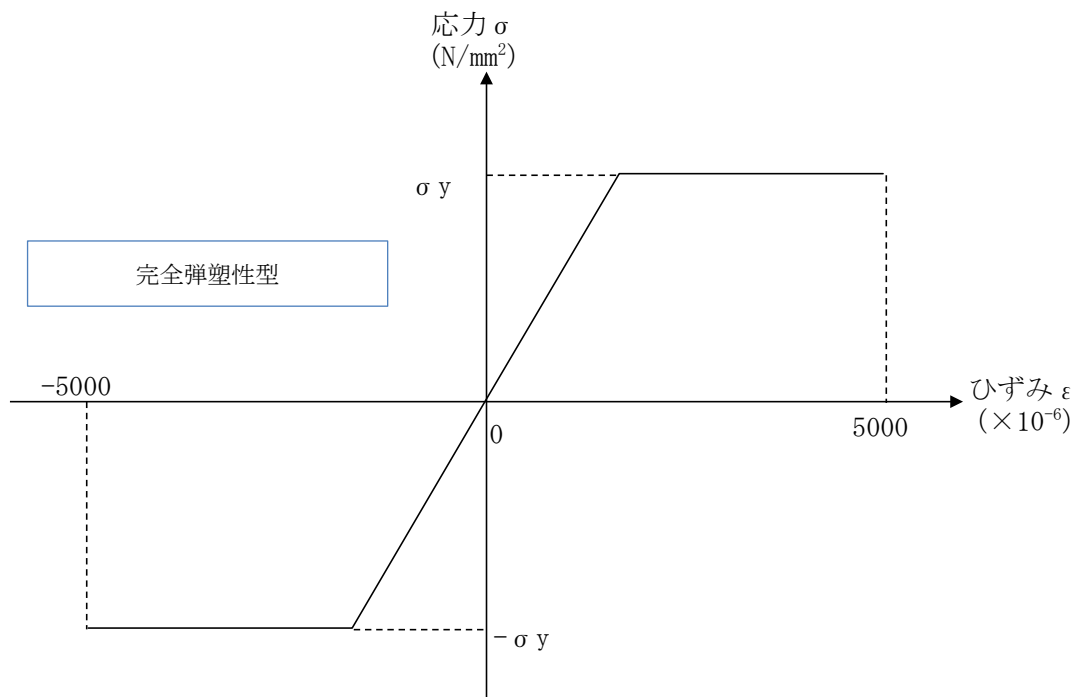
今回工認で採用予定の材料構成則を第3-2図に示す。ここで、コンクリート（圧縮側）はCEB-FIP⁽¹⁾モデル、コンクリート（引張側）はRC規準（ひび割れ点の評価）と岡村・出雲モデル⁽²⁾（ひび割れ点以降の引張軟化曲線）、鉄筋（圧縮・引張側）は完全弾塑性型を用いているが、弾塑性挙動へ与える影響が大きいため、その設定の妥当性・適用性については十分に確認する必要があると判断し、「材料構成則の設定の妥当性」を弾塑性解析採用に当たっての論点として位置づけ、その妥当性・適用性を検討することとした。

また、応力解析においてシェル要素を用いた弾塑性解析を採用することについても、その妥当性・適用性を検討する。

なお、本材料構成則については、柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉の鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）の設置変更許可段階の審査において採用している手法と同様である。



(a) コンクリートの応力-ひずみ関係



(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

F_c : コンクリートの設計基準強度, σ_y : 鉄筋の降伏強度

第 3-2 図 採用予定の材料構成則

4. 材料構成則の適用性・妥当性について

原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析では、基準地震動 S_s による外力の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために弾塑性解析を採用する予定である。その中でも適用した材料構成則が弾塑性挙動に直結する項目であることから、弾塑性解析を採用する上での論点として位置づけ、以下で設定に当たって適用した文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を検討する。

4.1 コンクリート（引張側）

コンクリートの引張側の材料構成則のうち、ひび割れが発生するまでのコンクリートの剛性は圧縮側の初期剛性と同様の値とし、引張強度については、RC規準における曲げひび割れ時のコンクリート引張強度に関する記載である(4.1)式を参考に、その下限値を設定している。なお、RC規準は、既工認でも適用実績のある規格規準である。また、今回の検討では保守的に引張強度の下限値を参照し、コンクリート引張側のエネルギー消費を低く見積もることにより鉄筋の引張側の負担が増えるように配慮しており、十分に保守的な設定であると考えられる。

$${}_c\sigma_t = (0.38 \sim 0.75) \sqrt{\sigma_b} \quad \dots (4.1)$$

${}_c\sigma_t$: コンクリートの引張強度

σ_b : コンクリートの圧縮強度

また、ひび割れ発生後は応力再配分により力の大部分は鉄筋が負担することとなるものの、実現象としては、鉄筋とコンクリート間の付着によりひび割れ後のコンクリートも構造全体に生じる応力の一部を負担することから、ひび割れ後の性状を考慮するために、ひび割れ点以降のコンクリートの構成則として引張軟化曲線を定義している。引張軟化曲線としては、弾塑性解析で使用する計算機コード「ABAQUS」で、各種実験結果との対応が良いことが確認されている岡村・出雲モデルを採用する予定である。

岡村・出雲モデルは、既往文献における知見を参照して設定した項目であり、既工認で適用実績がないため、以下で、モデルの概要（モデルが提唱された論文における妥当性検証の内容含む）について整理した上で、既往の検討例を整理することにより原子炉建物の基礎スラブ等の弾塑性解析への適用性を検討する。

(1) 岡村・出雲モデルの概要

岡村・出雲モデルは、ひび割れた鉄筋コンクリートの引張軟化を評価する際に設定するコンクリートの引張軟化曲線である。鉄筋に関係なく、ひび割れ後のコンクリートの平均応力-平均ひずみの関係を与えているのが特徴であり、下記の式により表現される。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} = \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad \dots (4.2)$$

σ_t : ひび割れと直角方向のコンクリートの平均引張応力

f_t : 2軸応力下のコンクリートの引張強度

ε_{cr} : ひび割れ発生時の平均引張ひずみ

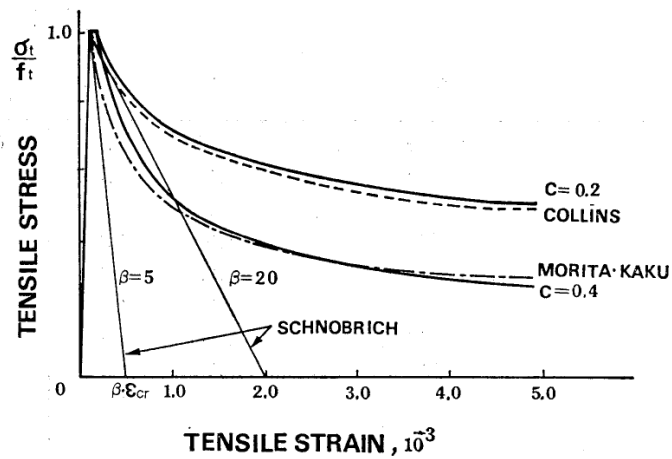
ε_t : ひび割れと直角方向の平均引張ひずみ

c : 付着性状を表すパラメータ

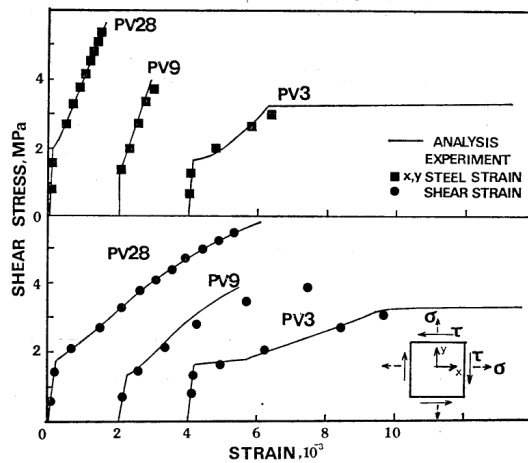
本モデルの妥当性については、原論文においても既往の実験結果との比較により検証されているため、以下ではその概要について記載する。

原論文では、(4.2)式を用いることで既往の実験(Collins-Vecchioの実験⁽³⁾、森田・角の実験⁽⁴⁾)から求められたコンクリートの平均応力-平均ひずみ曲線をほぼ再現できることを確認している(第4-1図)。ここで、付着性状を表すパラメータ c としては、鉄筋として溶接された金網を用いたCollins-Vecchioの実験では $c=0.2$ 、異形鉄筋を用いた森田・角の実験は $c=0.4$ が採用されている。なお、今回工認の原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析モデルでは、原子炉建物の基礎スラブ等で用いている鉄筋が異形鉄筋であることを踏まえ、 $c=0.4$ を採用している。

また、ひび割れ後のコンクリートの構成則として(4.2)式を用いた検討を実施し、既往の実験時の挙動を再現できるかを確認している。ここでは、既往の実験(Collins-Vecchioの実験及び青柳・山田の実験⁽⁵⁾)からコンクリートの引張剛性の影響を受ける供試体を選定し、鉄筋コンクリート部材の挙動(せん断ひずみ、鉄筋のひずみ)が実験値とよく一致する結果となることを確認している(第4-2図)。このことから岡村・出雲モデルがひび割れ後の挙動をよく表現できるモデルであるとしている。



第4-1図 岡村・出雲モデルと他のモデルとの比較
(文献(2)より引用)



第4-2図 コンクリート引張剛性モデルの検証結果
(文献(2)より引用)

(2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例

a. 日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」での検討例

日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」⁽⁶⁾には、鉄筋コンクリート部材の応力解析に用いる予定の解析プログラム「ABAQUS」を使用した解析例が示されている。

ここでもコンクリートの引張軟化曲線として岡村・出雲モデルを用いた検討例が示されており、既往の試験結果と解析結果との対応が良好であることが確認されている。

本文献においては、簡易要素ベンチマークテスト、梁せん断試験、床曲げ試験の検討例が示されている。以下にその概要を述べる。

梁せん断破壊試験については、既往の文献⁽⁷⁾に示される試験体を模擬して、試験体中央部に鉛直方向単調荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである（第4-3図）。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

鉄筋コンクリート床の曲げ破壊試験については、既往の文献⁽⁸⁾に示される試験体を模擬し、荷重積載部に鉛直方向単位荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである（第4-4図）。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

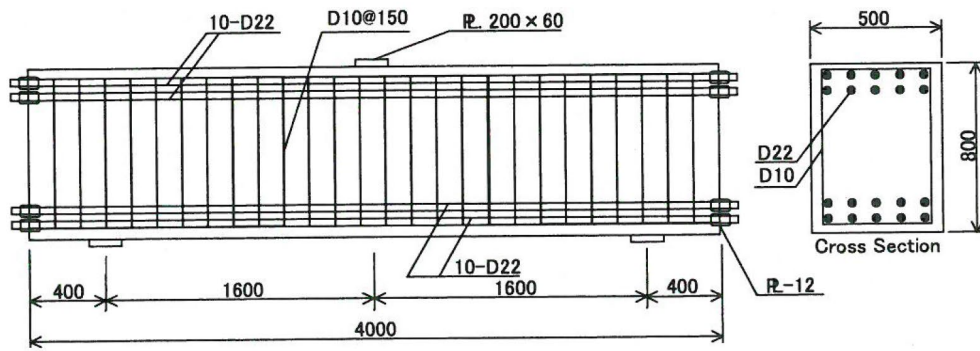


図-4.3.9 試験体諸元 (単位: mm)

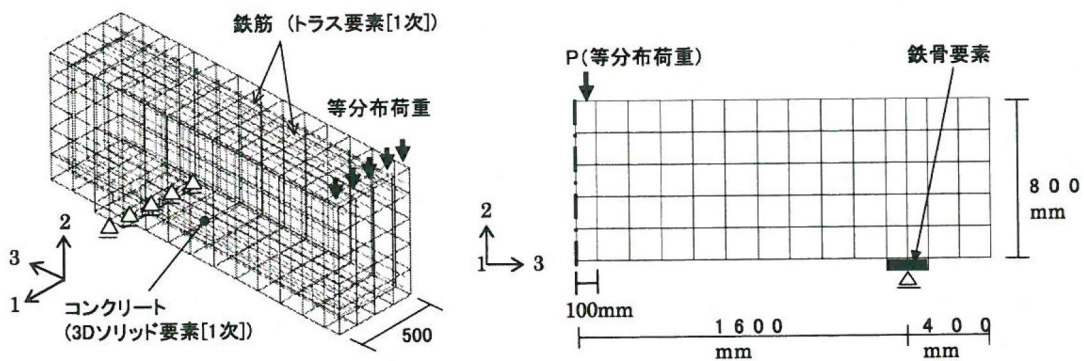


図-4.3.10 解析モデル

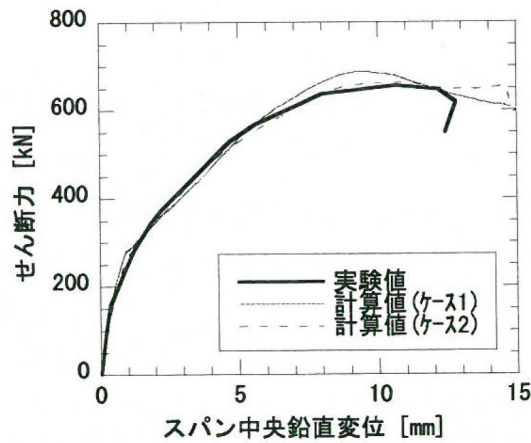


図-4.3.11 セン断力ー-span中央鉛直変位関係

第4-3図 梁せん断破壊試験に基づく検証結果 (文献(6)より引用)

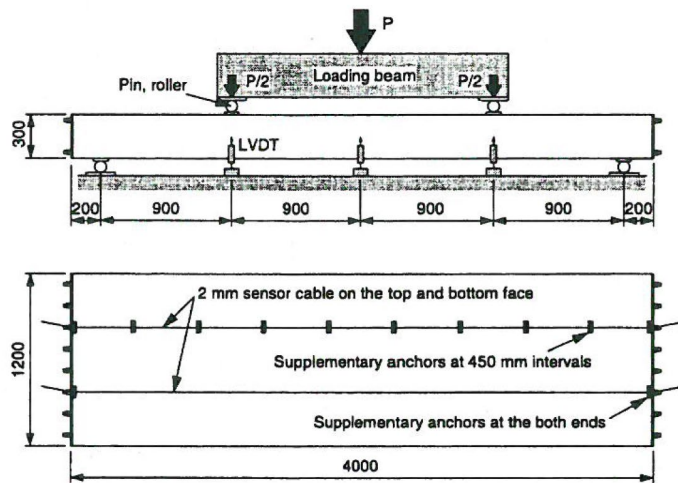


図-4.3.12 試験体諸元

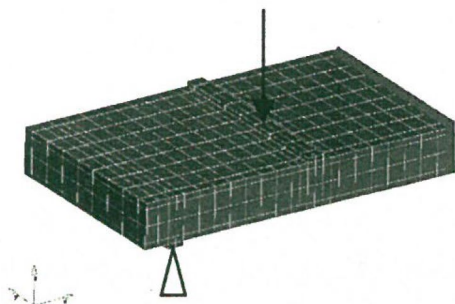


図-4.3.13 解析モデル

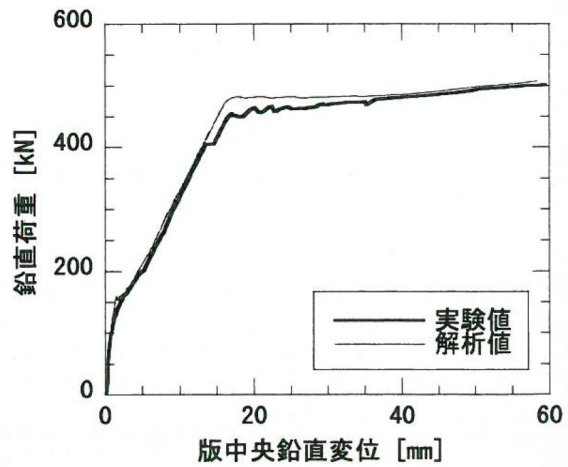


図-4.3.14 鉛直荷重—版中央鉛直変位関係

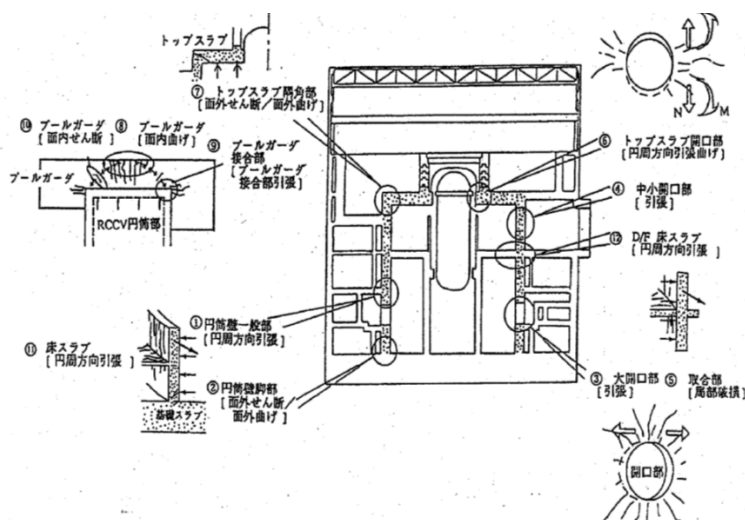
第4-4図 鉄筋コンクリートの曲げ破壊試験に基づく検証結果
(文献(6)より引用)

b. 原子炉格納容器信頼性実証事業における検討例

財団法人原子力発電技術機構が実施した原子炉格納容器信頼性実証事業⁽⁹⁾においても、基礎要素特性試験（二軸引張基礎要素特性試験）の結果を用いて、「ABAQUS」による検討を実施しており、そこで得られた知見として、コンクリートの構成則特性については、出雲式が実験との整合が良いと記載されている。試験及び解析の概要を以下に示す。

基礎要素特性試験は、RCCVの限界挙動を評価する解析モデルの妥当性検証を主たる目的として実施されたものであり、RCCVにおいて想定される破損部位とモードを踏まえて試験内容が設定されている。RCCVの破壊想定部位及びモードは第4-5図に示すとおりとしており、このうち、局部的な損傷が大きくなる領域（円筒壁脚部：面外せん断，面外曲げ，大開口部：引張，トップスラブ開口部：円周方向引張曲げ，トップスラブ隅角部：面外せん断，面外曲げ）に対しては，部分詳細モデルを用いた解析を実施し，特に，円筒壁における大開口部周りでは，開口部周りの厚板部と薄板の接合部等の開口部を構成する補強部材等の影響で，ライナにひずみ集中が発生することが想定された。このため，開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した2軸引張試験が実施されることとなったものである。

試験ではRCCVの開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した試験体（ライナあり・なしの2種類の試験体）を直角2方向に引張加力し，その構造的挙動を確認している。試験体の材料（鉄筋，コンクリート）は実機と同等のものを用いており，配筋についても実機をできる限り忠実にモデル化するとしている。試験体の縮尺は，ライナの破損を評価するためにはできるだけ大きな縮尺が望ましいとして，1/2倍としている。試験体形状及び加力装置を第4-6図に示す。



第4-5図 RCCVの破損想定部位とモード
(文献(9)より引用)

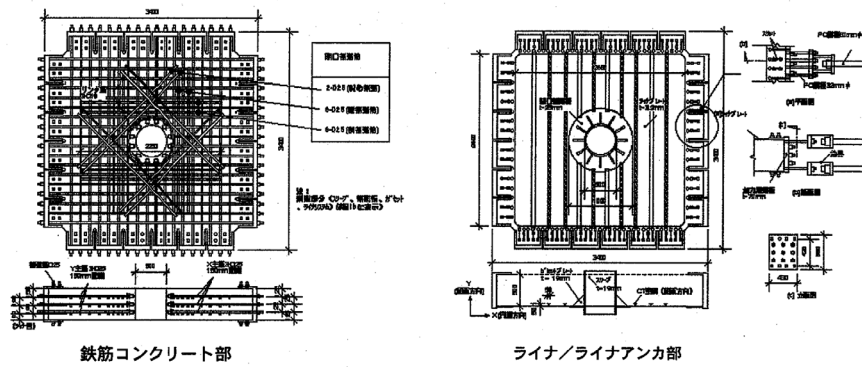


図 4.3-9 二軸引張試験体

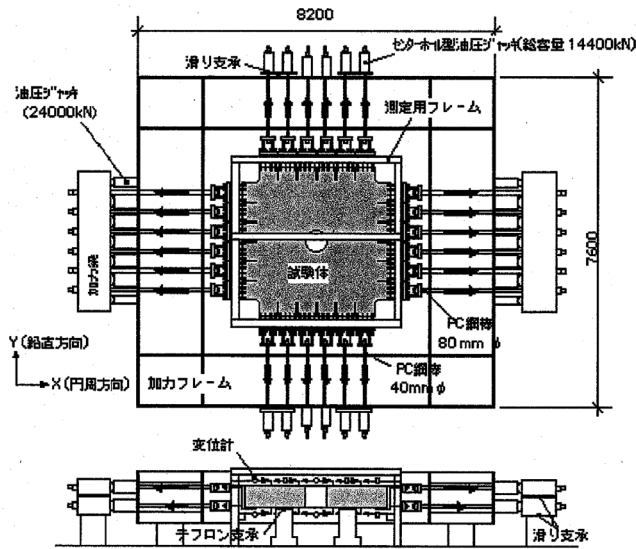


図 4.3-10 二軸引張試験装置

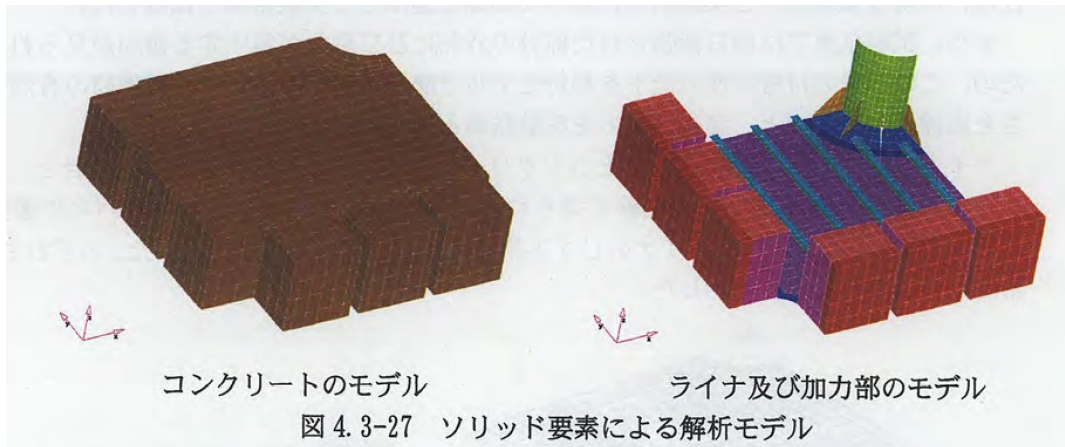
第 4-6 図 二軸引張基礎要素特性試験の試験体及び試験装置
(文献(9)より引用)

実験結果を踏まえた解析としては、荷重分布・材料物性・構成則・要素の種類（シェル要素，ソリッド要素）・ライナアンカのモデル化が及ぼす影響について検討が行われている。シェル要素での検討は，解析コード「LASHET」（清水建設（株）所有），ソリッド要素での検討では，解析コードとして「ABAQUS」が使用されている。

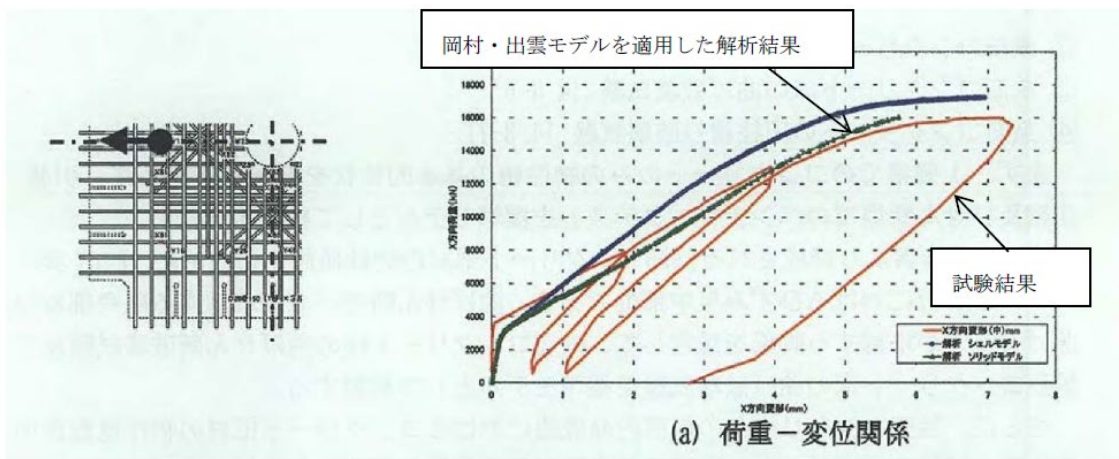
ソリッド要素モデルは，開口部周りや円筒部脚部，トップスラブ隅角部を対象とする解析に用いられており，検討に当たっては，第4-7図に示すとおり，ライナなしのRCのみのモデルとライナありのモデルが作成されている。ライナなしのモデルはコンクリートの引張強度とテンションスティフニング特性（引張軟化曲線）をパラメータとして解析し，シェル要素モデルと解析精度の比較が行われている。

解析結果を第4-8図に示す。この解析から得られた知見のうち，コンクリート構成則特性については，出雲式（岡村・出雲モデル）が実験との整合が良いとされている。

なお，NUPECによる解析において，岡村・出雲モデル適用時の付着性状を表すパラメータは，岡村・出雲モデルの原論文で異形鉄筋に対する適用性が確認されている $c=0.4$ が使用されている。



第 4-7 図 ソリッド要素による解析モデル (文献(9)より引用)



第 4-8 図 解析結果 (文献(9)より引用, 加筆)

c. 基礎スラブをシェル要素でモデル化した場合の検討例

弾塑性解析による既往の検討⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾では、基礎スラブをシェル要素でモデル化した場合の面外変形時の応力分布性状に関する比較検討を行っており、A I J 指針、道路橋示方書、鉄道構造物等設計標準、Eurocode に記述されている柱・梁部材の塑性ヒンジ領域の長さとの関係におおむね整合する解析結果が得られることを示している。(第 4-9 図)

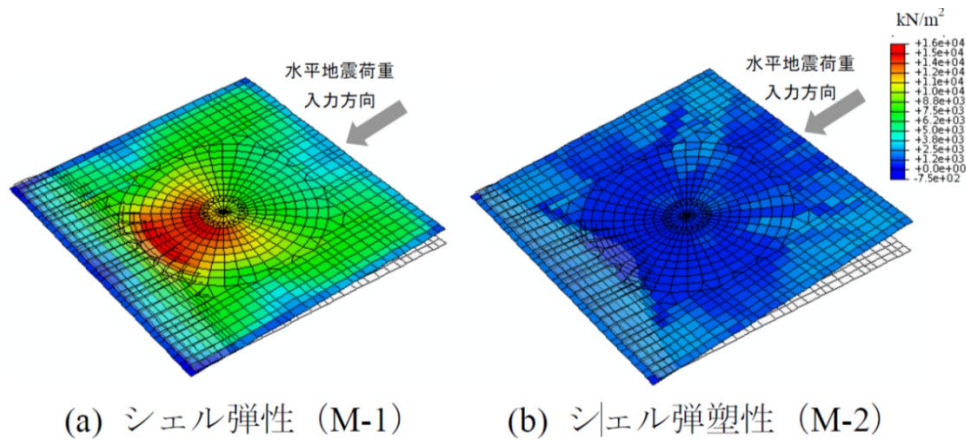


図-5 基礎スラブコンクリート部の最大主応力分布

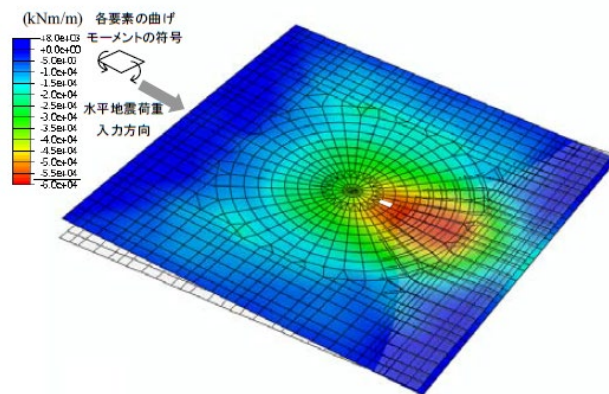


図-3 弾塑性解析 (M-2) による曲げモーメント分布

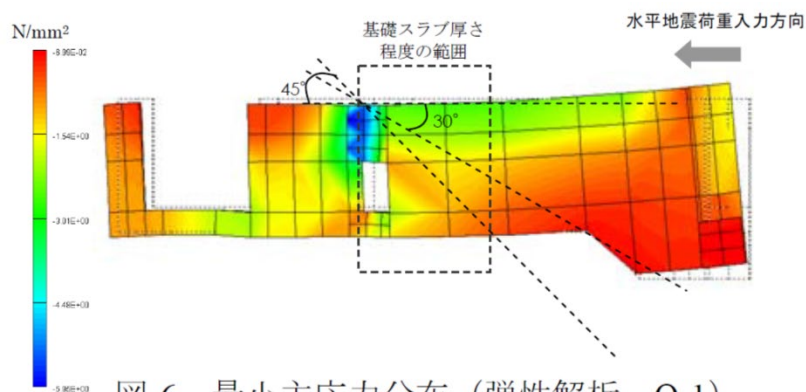


図-6 最小主応力分布 (弾性解析、Q-1)

第 4-9 図 弾塑性解析による既往の検討例
(文献(10), (11)より引用)

(3) 岡村・出雲モデルの鉄筋コンクリート部材の応力解析への適用性について

岡村・出雲モデルは、提案時より既往の複数の実験結果を用いて妥当性が十分に検証されていること、また、今回使用する解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例でも鉄筋コンクリート部材の各種実験結果との対応が良好とされていることから、3次元FEMモデルによる弾塑性解析を実施する際のコンクリート（引張側）の構成則（引張軟化曲線）として、採用することは妥当であると考えている。

4.2 コンクリート（圧縮側）

コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、CCV規格の図CVE3511.2-1を参考にした上で、パラボラ型の応力ひずみ曲線を想定するに当たって標準的なCEB-FIP Model Codeに基づき設定している。

CEB-FIP Model Codeにおけるコンクリート（圧縮側）の構成則は以下の(4.3)式により規定されている。なお、(4.3)式に基づく場合、島根2号炉のコンクリート強度は50MPa(N/mm²)以下であるため、終局ひずみは0.0035となるが、CCV規格における終局ひずみは0.003であるため、鉄筋コンクリート部材の応力解析で用いるのは0.003までの範囲内とする。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^2 \right] && (\epsilon_c < \epsilon_{c1} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\epsilon_{cu} < \epsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \cdot \cdot (4.3)$$

ここで、

$$\epsilon_{c1} = 0.002$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0035 \quad (f_{ck} \leq 50\text{MPa} \text{ の場合})$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}} \right) \quad (50\text{MPa} < f_{ck} \leq 80\text{MPa} \text{ の場合})$$

σ_{cd} : コンクリートの応力

ϵ_c : コンクリートのひずみ

ϵ_{cu} : コンクリートの終局ひずみ

f_{cd}, f_{ck} : コンクリート圧縮強度

CCV規格では、鉄筋コンクリート部材から構成されるRCCVにおいて、荷重状態IVに対する応力解析から求まる応力（膜力、曲げモーメント等）をもとにコンクリートの圧縮ひずみを算定する際、パラボラ型の応力ひずみ曲線を仮定している。CCV規格に示されるコンクリートの応力度・ひずみ関係を第4-9図に示す。

なお、今回工認で参照したCEB-FIP Model Codeはパラボラ型であるものの、前掲した第3-2図に示したとおり、今回工認では折れ線近似している。

今回工認で適用するコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について添付資料-2に示す。

以上のことから、コンクリートの圧縮側の弾塑性特性については、CEB-FIP Model Codeに基づき設定することは妥当であると考えている。

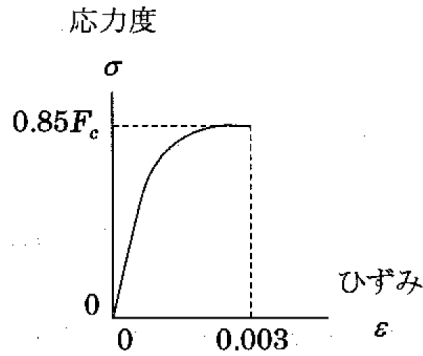


図 CVE3511.2-1 コンクリートの
応力度・ひずみ関係

第4-9図 コンクリートの応力度・ひずみ関係（CCV規格より引用）

4.3 鉄筋（引張側，圧縮側）

鉄筋の非線形特性については，CCV規格（CVE-3511.2の記載）に基づき完全弾塑性型として設定している。

CCV規格では，鉄筋コンクリート部材から構成されるRCCVにおいて，荷重状態IVに対する応力解析から求まる応力をもとに鉄筋の圧縮及び引張ひずみを算定する際，完全弾塑性型を仮定している。CCV規格に示される鉄筋の応力度・ひずみ関係を第4-10図に示す。

以上のことから，3次元FEMモデルによる弾塑性応力解析を実施する際の鉄筋（引張側，圧縮側）の材料構成則として，完全弾塑性型を採用することは妥当であると考えている。

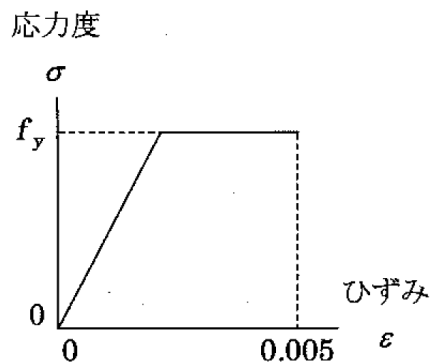


図 CVE3511.2-2 鉄筋の
応力度・ひずみ関係

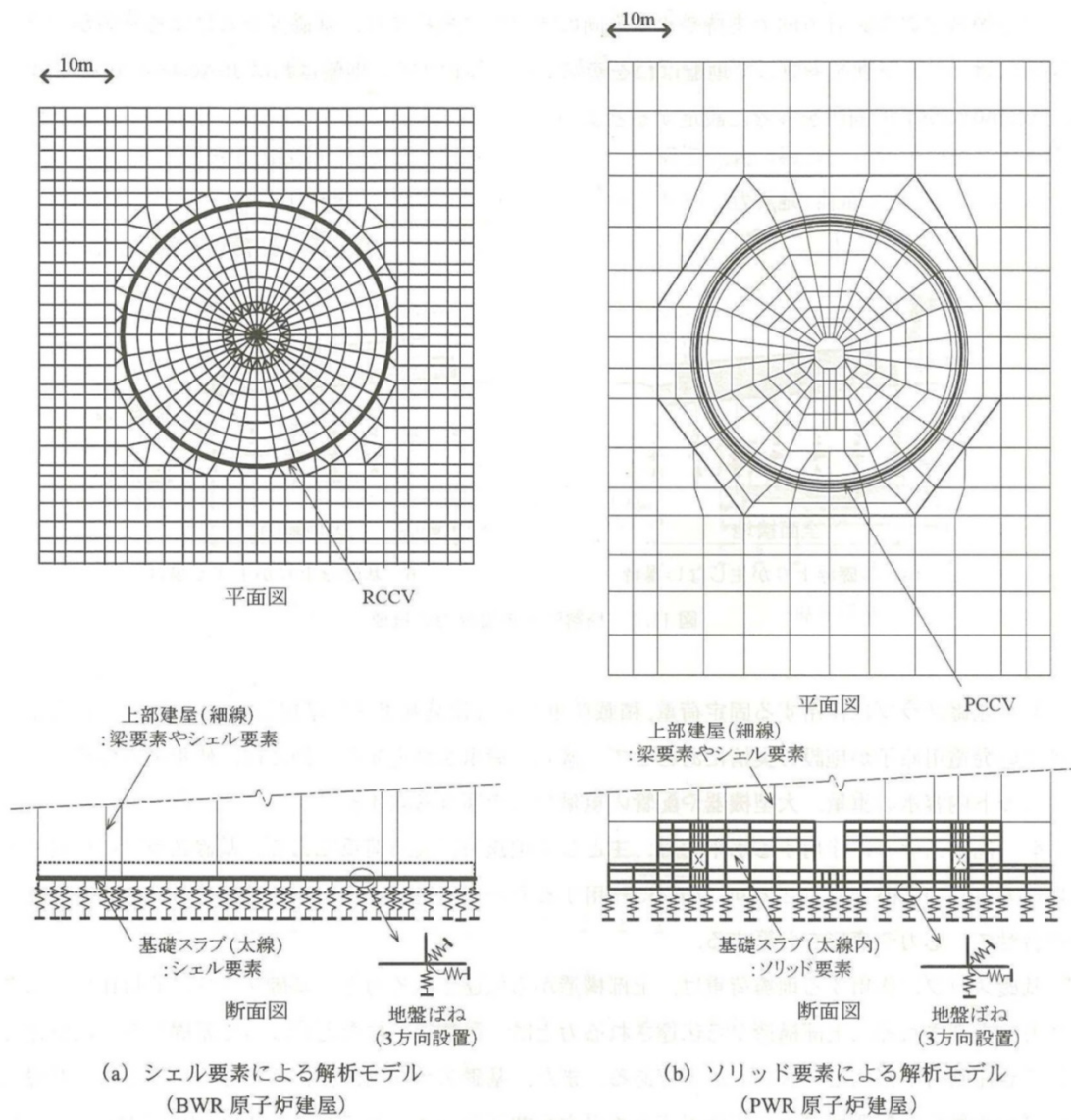
第4-10図 鉄筋の応力度・ひずみ関係（CCV規格より引用）

5. 既往研究に基づく弾塑性解析の適用性・妥当性について

(1) 基礎スラブの応力解析における適用要素の規基準類上の扱い

「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」の「5.3.2 応力解析」には、「格納施設の基礎マット等の厚いコンクリート構造の F E M 解析のモデル化については、基礎の幾何学的形状、上部構造及び基礎の解析モデル作成上の整合性を考慮して適切な要素を選択しなければならない。一般的に、原子炉建屋の基礎マットのようにマット厚の厚い部位の 3 次元 F E M 解析にはソリッド要素、又は面外せん断を考慮した平板要素を採用するのが良い。」と記載されている。ここで、面外せん断を考慮した平板要素とは、今回適用するシェル要素に該当する。

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)の「8 条 構造解析の基本事項」の解説には、「基礎スラブは荷重状態が複雑なため、弾性地盤に支持された板として F E M でモデル化する場合が多い。要素としてはシェル要素またはソリッド要素が用いられる。」とされており、また、「11 条 基礎スラブ」の解説には、「原子炉建屋の基礎スラブの解析モデルは図 11.1 に示すように基礎スラブの形状に応じて、シェル要素やソリッド要素によりモデル化する。また、ボックス壁やボックス壁に接合する上層の床スラブによる全体変形の拘束効果を適切に反映する。」として、シェル要素を用いた基礎スラブのモデル化例(第 5-1 図)が記載されている。



第5-1図 FEMによる解析モデルの例
(文献(12)より引用)

(2) 弾塑性解析を用いた解析的検討

小柳他、小林他が実施した「原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討」⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾においては、基礎スラブをシェル要素でモデル化した場合とソリッド要素でモデル化した場合の弾性解析及び弾塑性解析を実施し、曲げモーメント及びせん断力の応力性状について比較検討することにより、合理的な応力評価法について検討している。

検討に当たっては、曲げモーメントについては、厚さ 5.5m 程度の基礎スラブを対象に積層シェル要素を、面外せん断力に対しては厚さ 8m 程度の基礎スラブを対象にソリッド要素をそれぞれ用いて検討を実施している。解析結果の概要を第 5-2 図及び第 5-3 図に示す。

第 5-2 図に示したシェル要素によるモデルでは、弾塑性解析結果の各要素の曲げモーメントと弾性解析結果の曲げモーメントの比率の分析から、これらの比率が一定とみなせる範囲を評価している。この結果、基礎スラブ程度の厚さの範囲では応力比率がほぼ一定であり、弾塑性モデルにおいてコンクリートのひび割れ等により応力が平均化されていると評価している。また、この結果は既往知見に基づく柱・梁接合部の塑性ヒンジ領域と同等であるとしている。

第 5-3 図に示したソリッド要素によるモデルの場合は、基礎スラブの断面内の応力分布から圧縮ストラット角度を 30~45° と評価し、柱・梁部材に関する既往知見とおおむね対応することを示している。圧縮ストラット角度から面外せん断力に関する平均化応力の範囲を基礎スラブ厚さの 0.8 倍~1.4 倍、平均的には 1.0 倍程度と想定できると評価している。また、この結果は実験等による既往知見ともおおむね対応しているとしている。

本文献は、塑性化が生じる応力レベルの基礎スラブの部位についての合理的な応力評価法について検討した文献であり、検討の過程において厚さ 5.5m 程度の基礎スラブの曲げモーメントに対してはシェル要素の弾性解析及び弾塑性解析を、厚さ 8m 程度の基礎スラブの面外せん断力に対してはソリッド要素を用いて検討を実施している。これらより、曲げモーメントに関しては、弾性解析結果と弾塑性解析結果の比較により平均化応力の範囲を検討し、既往知見の塑性ヒンジ領域と同等であることが確認された。また、検討に用いているモデルは違うものの、シェル要素とソリッド要素を用いた検討では同程度の平均化応力の範囲を示していることが確認された。

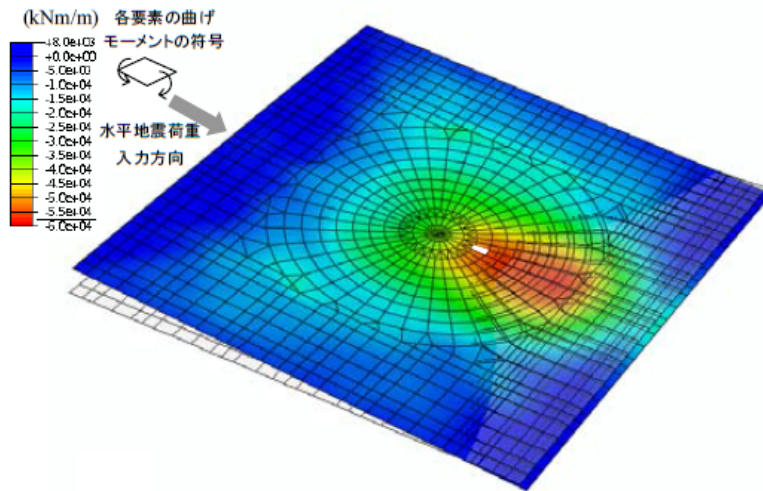
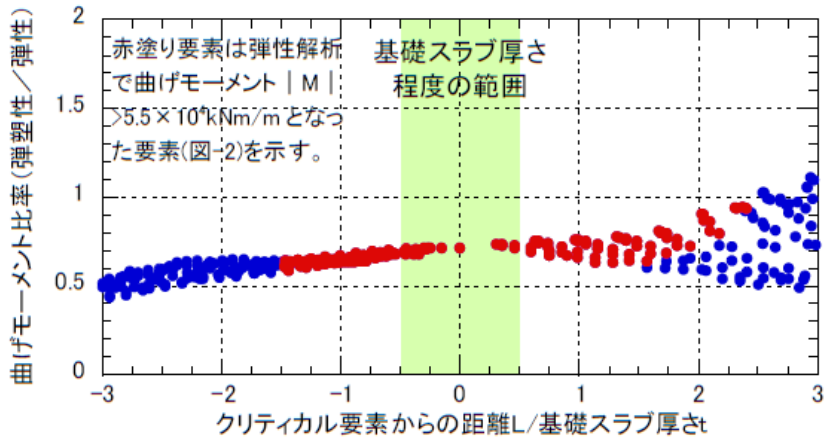


図-3 弾塑性解析 (M-2) による曲げモーメント分布



第5-2図 シェル要素を用いた基礎スラブの弾塑性解析結果の概要 (文献(11)より引用)

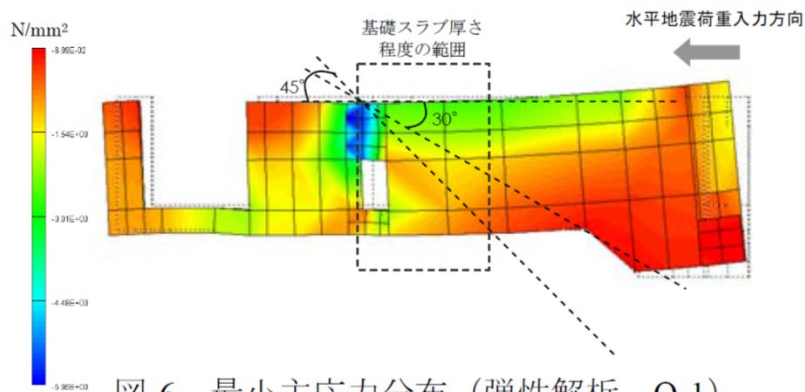


図-6 最小主応力分布 (弾性解析、Q-1)

第5-3図 ソリッド要素を用いた基礎スラブの弾塑性解析結果の概要 (文献(11)より引用)

(3) ソリッド要素と梁要素及びシェル要素の比較検討

山田が実施した「FEMにおける構造モデリング—ソリッド要素と構造要素（はり，シェル）の選択—」⁽¹²⁾においては、「コンピュータ性能の飛躍的な進歩により，非常に大規模な連続体の数値シミュレーションが可能となっている現状では，はり要素やシェル要素によってモデル化されてきた対象を，連続体としてソリッド要素によってモデル化し，大規模問題として複雑な構造物の応力解析を行うことが可能となっている。しかしながら，工学的観点で計算の精度や効率を考えたとき，すべてをソリッド要素でモデル化することは必ずしも適切ではない」との観点に基づき，モデル化の選択について考察を加えている。本文献では，はり要素やシェル要素の構造要素とソリッド要素とした場合について，片持ちはりを対象とした解析を行い，たわみの理論値との比較から要素選定に関する検討を行っている。

第5-1表及び第5-4図は，せん断変形の影響が表れる問題として，片持ちはりの長さが比較的短い場合の結果であり，たわみの数値をソリッド要素（双1次四辺形要素）とティモシェンコはり要素で比較したものである。表中の値は，ソリッド要素を用いた詳細な分割（1000×2000）による結果を参照解として正規化したものである。局所的な応力集中が無く曲げとほぼ様なせん断変形が支配的な状況においては，はり要素が適用可能であること，また，ある程度詳細な要素分割を行うことで，ソリッド要素についても適用可能であることが分かる。「以上では，はりにより議論を進めてきたが，シェル要素についても基本的には同様である」とされている。

なお，基礎スラブに支配的な地震時においては，ほぼ同様な応力状態にあると考えられる。

本論文では，はり，シェルの構造要素について，「一般に構造要素が適用可能な場合には，連続体としてソリッド要素によりモデル化するよりも効率的で精度の高いシミュレーションが可能となる」としている。

第5-1表 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析結果の概要
(文献(13)より引用)

表3 短い片持ちはりに対するたわみ

L	双1次四辺形要素			ティモシェンコ はり要素	
	分割	変位型	改良型	分割	1次要素
3	3×2	0.697	0.952	5	0.995
	6×4	0.898	0.984	10	1.002
	12×8	0.971	0.995	20	1.004
5	5×2	0.703	0.978	5	0.993
	10×4	0.902	0.992	10	1.000
	20×8	0.973	0.997	20	1.002

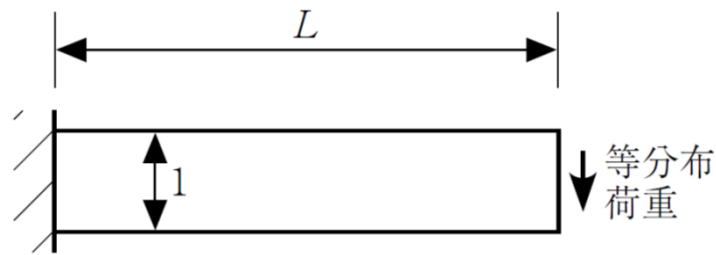


図7 一定断面片持ちはりの問題

第5-4図 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析検討モデル
概要図（文献(13)より引用）

(4) まとめ

既往研究に基づき、弾塑性解析の妥当性・適用性についての検討を行った結果、シェル要素を用いた基礎スラブの応力解析については規基準類上採用できること、また既往文献における適用実績があることを確認した。

以上より、原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析において、シェル要素を用いた弾塑性解析による手法を採用することは妥当であると考えられる。

また、シェル要素を用いた応力解析の検証の観点から、面外せん断応力が大きい場合には、詳細設計段階において代表ケースを選定してソリッド要素で基礎スラブをモデル化した解析を行い、モデル化手法による比較を行うこととする。

6. まとめ

原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析で採用予定の解析モデルについて、既工認との手法の差異を整理した。論点として、弾塑性挙動に与える影響が大きい材料構成則（鉄筋，コンクリート）を抽出した。今回工認で採用する材料構成則について、適用文献の内容を整理し，その適用性・妥当性を確認した。また，応力解析においてシェル要素を用いた弾塑性解析を採用することについても，既往研究に基づき適用性・妥当性を確認した。

以上より，今回採用予定の応力解析モデルの妥当性を確認した。

7. 参考文献

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993
- (2) 出雲 淳一，島 弘，岡村 甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル，コンクリート工学，Vol.25，No.9，pp.107-120，1987.9
- (3) M. P. Collins, F. J. Vecchio: The response of reinforced concrete to in-plane shear and normal stresses, University of Toronto, March 1982
- (4) 森田司郎・角徹三：鉄筋コンクリート部材の引張試験による付着効果の研究，セメント技術年報，Vol.18，pp.426-430，昭39
- (5) 山田一字，青柳征夫：ひび割れ面におけるせん断伝達，第2回RC構造物のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集，pp.19-26，1983.10
- (6) 日本建築学会：コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用，2008
- (7) Saito, H et al.: Ultimate strength of reinforced concrete members subjected to transient high temperature distribution, Transactions of the 12th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Volume H, pp.31-36, Aug. 1993
- (8) Kumagai, H. et al.: Fiber optic distributed sensor for concrete structures, Proceeding of the 1st fib Congress, Session 15, pp.179-184, 2002
- (9) 財団法人 原子力発電技術機構：重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する総括報告書，平成15年3月
- (10) 小柳他：原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討（その1）基礎スラブの試解析，日本建築学会学術講演梗概集，構造Ⅱ，pp.1039-1040，2009
- (11) 小林他：原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討（その2）合理的応力評価法（案），日本建築学会学術講演梗概集，構造Ⅱ，pp.1041-1042，2009
- (12) 山田貴博：FEMにおける構造モデリング—ソリッド要素と構造要素（はり，シェル）の選択—，精密工学会誌 Vol.77, No9, 2011

CCV規格等における許容限界設定の考え方について

CCV規格等における荷重状態Ⅳのコンクリート及び鉄筋のせん断ひずみの許容限界設定の考え方について以下に示す。

1. コンクリート

CCV規格において荷重状態Ⅳのコンクリートのひずみの許容値としては、 $0.003(3000\mu)$ が採用されている。

これは、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-02)」のChapter 10 Flexural and axial loadsの記載に基づき設定されている。

コンクリートのひずみが 3000μ に達した状態は、最大圧縮強度時のひずみ(2000μ 程度)を超えた応力下降域(軟化域)の状態にあり、若干のひび割れが入っているものの、ある程度の強度を有している状態である。また、一般的に、コンクリートのひび割れは、スリット状ではなく、複雑な形状で生じるため、放射線の低減効果が期待でき、遮蔽性能にあたえる影響は無い。

なお、コンクリートの最大圧縮強度については、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」のChapter 10 Flexural and axial loadsの記載に基づき、 $0.85F_c$ (設計基準強度の0.85倍)に制限しており、実際のコンクリートの最大圧縮強度に対して余裕を見込んだ数値が設定されている。

2. 鉄筋

CCV規格において荷重状態Ⅳの鉄筋のひずみの許容値としては、 $0.005(5000\mu)$ が採用されている。

鉄筋のひずみを 5000μ とした理由について、CCV規格の解説に「部材の変形が過大にならないように配慮して定めた」とし、「一般的に多く使用されているSD345及びSD390の降伏ひずみ(中略)は 0.0017 及び 0.0019 であり、鉄筋の最大ひずみはこれら降伏ひずみの2から3倍程度とした」と記載されている。

一般に、鉄筋のひずみが 5000μ に達した状態は、降伏ひずみの2～3倍程度であり、最大引張強度に至るまでには程遠い状態である。また、JISに示される鉄筋の機械的性質としては、SD345及びSD390の場合、伸びが16～19%($160000\sim 190000\mu$)以上とされており、 5000μ は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。

3. 鉄筋コンクリートの面外せん断力

面外せん断力の許容値は短期許容応力度を基本とし、発生値が短期許容応力度

を上回る場合には、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）に記載の荒川平均式等の適用を検討する。

なお、荒川平均式等を適用した場合における設備の支持性能については、地震によってコンクリートにひび割れが発生した場合の設備への影響を詳細設計段階で説明を行う。

コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について

コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定の考え方について、以下に示す。

1. CEB-FIP Model Code の適用について

CCV規格では、鉄筋コンクリート部材から構成されるRCCVにおいて、荷重状態IVに対する応力解析から求まる応力（膜力，曲げモーメント等）をもとにコンクリートの圧縮ひずみを算定する際、パラボラ型の応力ひずみ曲線を仮定している。また、CCV規格（CVE-3511.2）では、「コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、矩形，放物線または実験で妥当なことが確認された形に設定してよい。」とされていることから、今回工認では、放物線であるCEB-FIP Model Codeを採用する。なお、CEB-FIP Model Codeによる応力ひずみ曲線はCCV規格の放物線による応力ひずみ曲線と同じであると考えている。

2. CEB-FIP Model Code の概要について

コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、CCV規格の図 CVE3511.2-1 を参考にした上で、パラボラ型の応力ひずみ曲線を想定するに当たって標準的なCEB-FIP Model Codeに基づき設定している。CEB-FIP Model Codeにおけるコンクリート（圧縮側）の構成則は本編で示した以下の(4.3)式により規定されている。なお、(4.3)式に基づく場合、島根2号炉のコンクリート強度は50MPa(N/mm²)以下であるため、終局ひずみは0.0035となるが、CCV規格における終局ひずみは0.003であるため、鉄筋コンクリート部材の応力解析に用いる範囲は0.003までとする。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^2 \right] && (\epsilon_c < \epsilon_{c1} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\epsilon_{cu} < \epsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \cdot \cdot (4.3)$$

ここで、

$$\epsilon_{c1} = 0.002$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0035 \quad (f_{ck} \leq 50\text{MPa} \text{ の場合})$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}} \right) \quad (50\text{MPa} < f_{ck} \leq 80\text{MPa} \text{ の場合})$$

σ_{cd} : コンクリートの応力

ϵ_c : コンクリートのひずみ

ϵ_{cu} : コンクリートの終局ひずみ

f_{cd}, f_{ck} : コンクリート圧縮強度

3. コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の折れ線近似について

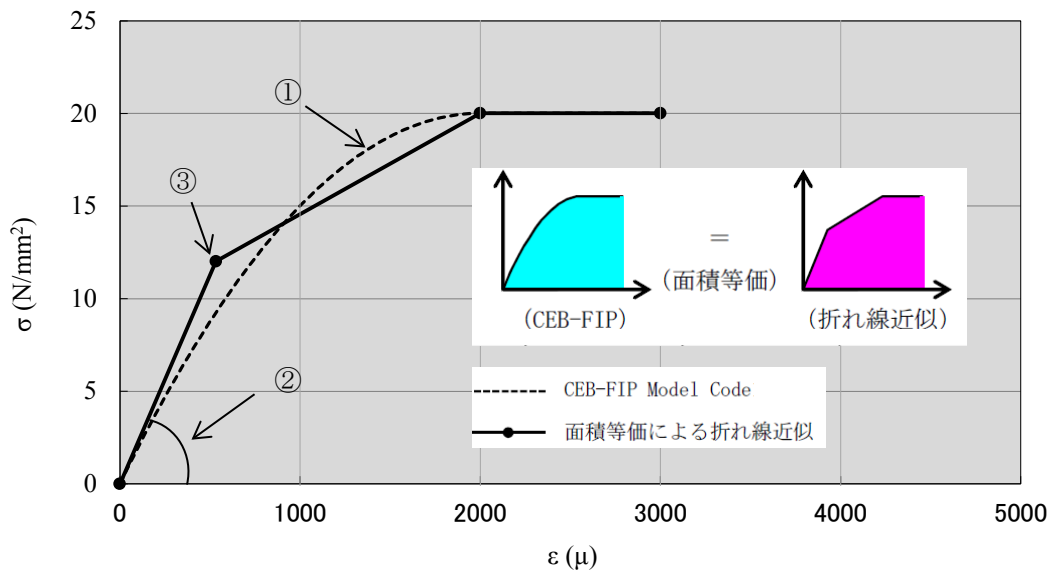
コンクリート圧縮側の構成則の設定に当たって参照している CEB-FIP Model Code では、コンクリートの応力ひずみ関係はパラボラ型として定義されている。一方、今回工認の鉄筋コンクリート部材の応力解析に当たっては、CEB-FIP Model Code に基づくパラボラ型を折れ線近似した応力ひずみ関係を用いて解析を実施する予定である。

今回工認で用いる予定の材料構成則について、折れ線近似を用いるに当たっての考え方を下記の①～③及び第 2-1 図に示す。

- ① CEB-FIP Model Code に基づくパラボラ型の応力ひずみ曲線（図中破線）を算定する。算定式については、本編で示した (4.3) 式を用いることとする。
- ② 初期剛性（ヤング係数）については、RC 規準に基づく算定式により算定する。なお、CCV 規格 (CVE-3320) においても解析に用いる材料定数は本算定式を用いて設定することとされている。
- ③ CEB-FIP Model Code によるパラボラ型の曲線が包絡する面積と、折れ線近似の応力ひずみ関係が包絡する面積が等価となる初期剛性上の折れ点を算出し、解析に用いる折れ線近似の応力ひずみ関係とする。

以上で示したとおり、今回工認で採用予定のコンクリート圧縮側の応力ひずみ関係は、折れ線近似しているものの、包絡面積は CEB-FIP Model Code に基づくパラボラ型と等価としており、保守性を損なうような近似方法ではないと考えられる。また、RC 規準において、初期剛性は第 2-2 図に示すとおりセカントモジュラス（応力度-ひずみ度曲線におけるコンクリート強度の 1/4 または 1/3 の応力度の点と原点を結んだ直線の傾斜）から設定しており、初期剛性からある一定範囲について剛性を一定とすることを示していることから、直線により初期剛性を設定することは妥当であると考えている。

なお、CEB-FIP Model Code に対する折れ線近似の考え方は、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉 R C C V の設置変更許可段階の審査において採用している手法と同様である。



第 2-1 図 CEB-FIP Model Code に基づくパラボラ型と折れ線近似の応力ひずみ関係

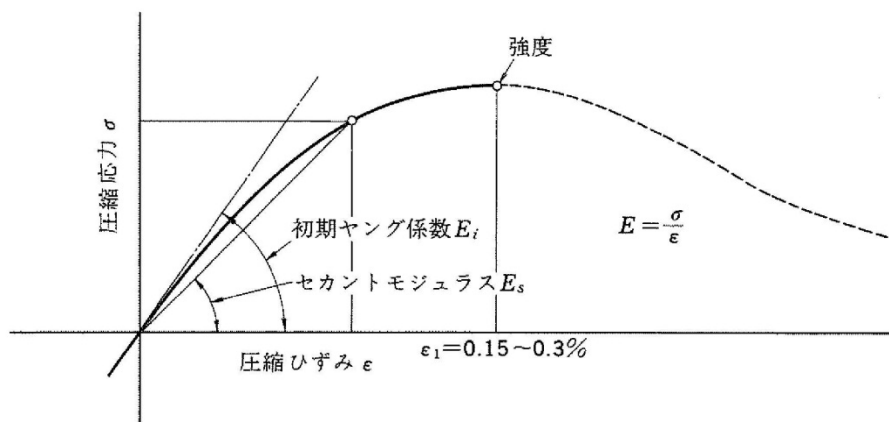


図 5.1 コンクリートの応力度-ひずみ度曲線

第 2-2 図 セカントモジュラスによる初期剛性の設定 (RC 規準より引用)

ドライウエル外側壁内部の構造物から
基礎スラブに伝達される荷重等の考え方について

1. はじめに

原子炉建物の基礎スラブの応力解析において、ドライウエル外側壁内部の構造物に関するモデル化及び基礎スラブへ伝達する荷重の考え方を以下に示す。

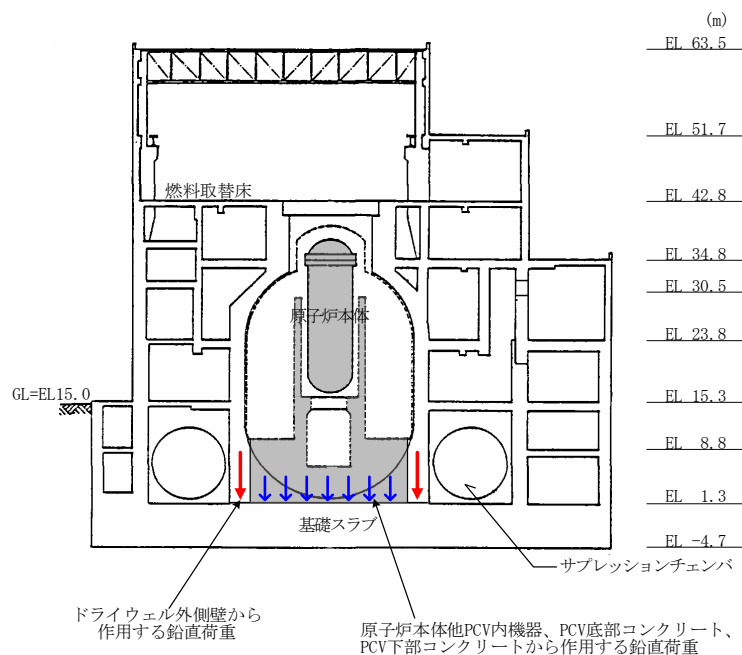
2. 基礎スラブのモデル化の考え方

基礎スラブの解析モデルでは、基礎スラブは一律 6m の厚さとしてモデル化しており、原子炉本体他 PCV 内機器や PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの剛性についてはモデル化上考慮せず、これらの常時荷重、地震時の慣性力は考慮している。これは既工認と同様の考え方である。

3. 基礎スラブへ伝達する荷重の考え方

(1) 鉛直荷重の考え方

ドライウエル外側壁内部の鉛直荷重については、基礎に作用する荷重を当該作用位置に応じて入力する。ドライウエル外側壁から作用する鉛直荷重については、当該壁位置に入力している。原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの自重及び鉛直地震荷重（質点系モデルによる応答結果に基づき設定）は、基礎スラブに直接作用する荷重として入力しており、第 3-1 図に鉛直荷重の考え方を示す。また、ドライウエル外側壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。



第 3-1 図 ドライウエル外側壁内部の鉛直荷重の考え方

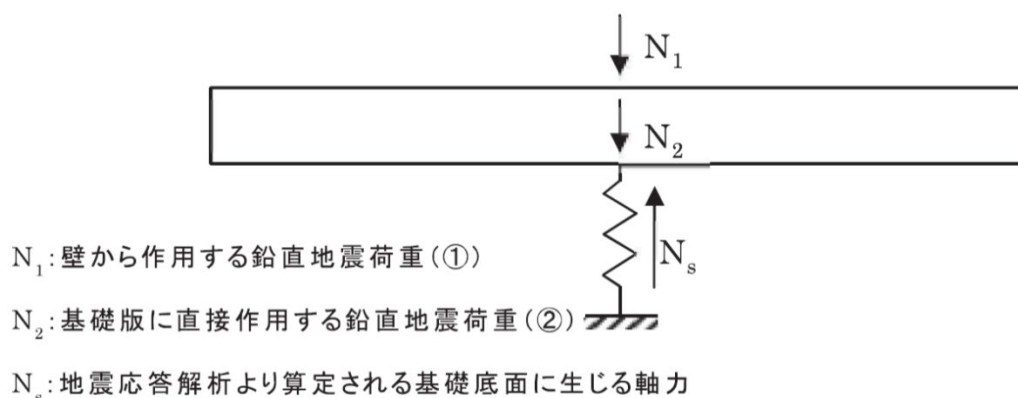
具体的な鉛直地震荷重の設定方法は次のとおり。

① 壁から作用する鉛直地震荷重

壁から作用する鉛直地震荷重は、基礎スラブの解析モデルにおいて当該部分が支える重量（原子炉本体他PCV内機器、PCV底部コンクリート、PCV下部コンクリートは含まない）に係数を乗じて算定する。算定に用いる係数は、質点系モデルによる鉛直方向の地震応答解析により算定される基礎スラブ直上の軸力を、質点系モデルにおいて当該部分が支える重量で除して求める。ここで、鉛直方向の質点系モデルの質点重量は水平方向の質点系モデルの質点重量と整合した値としている。

② 基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重

基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重は、質点系モデルによる鉛直方向の地震応答解析より算定される基礎底面地盤ばねの軸力から、壁から作用する鉛直地震荷重を差し引いた値を、基礎スラブ各部に直接作用する重量（原子炉本体他PCV内機器、PCV底部コンクリート、PCV下部コンクリートの他、基礎スラブの自重を含む）に応じて分配する。すなわち、基礎スラブの解析モデルにおける鉛直方向地盤ばねの反力の総和と、質点系モデルの基礎底面ばねの軸力が等価になるように設定する。第3-2図に基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重の算定の考え方を示す。



$$N_2 = N_s - N_1$$

第3-2図 基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重の算定の考え方

(2) 水平荷重の考え方

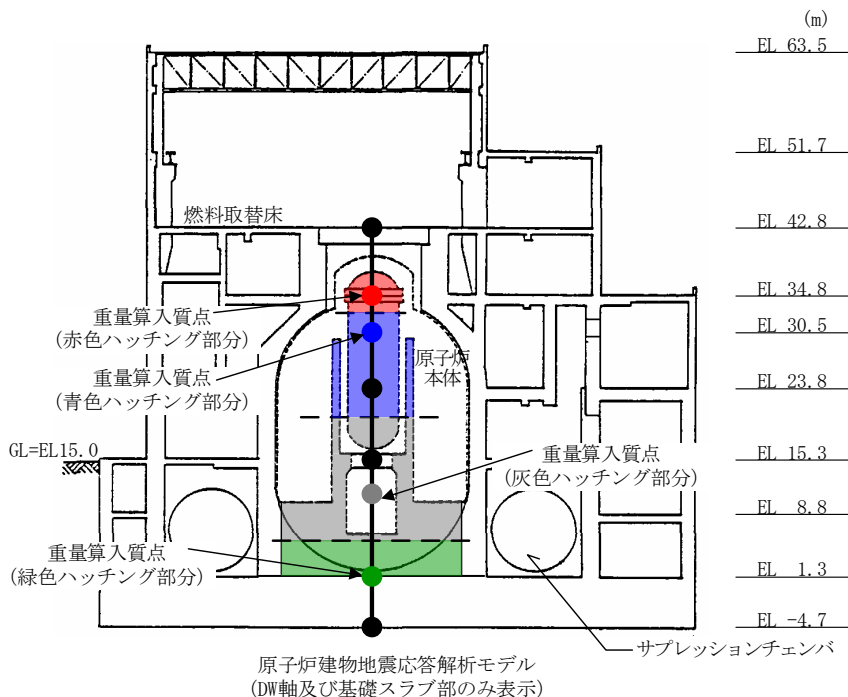
ドライウェル外側壁内部の水平荷重については、質点系モデルによる地震応答解析結果より得られるドライウェル外側壁脚部のせん断力、曲げモーメントを用い、基礎上端 (E L 1.3m) と基礎スラブのモデル化位置である基礎スラブ中心 (E L -1.7m) との離間距離により付加される曲げモーメント分についても考慮のうえ、ドライウェル外側壁位置に入力^{*}する。

質点系モデルでは、原子炉本体他 P C V 内機器、P C V 底部コンクリート、P C V 下部コンクリートの重量は、D W 軸の質点重量に集約している。重量を算入する質点レベルは R P V スタビライザや原子炉本体基礎脚部の位置を考慮して、第 3-3 図に示すように算入している。

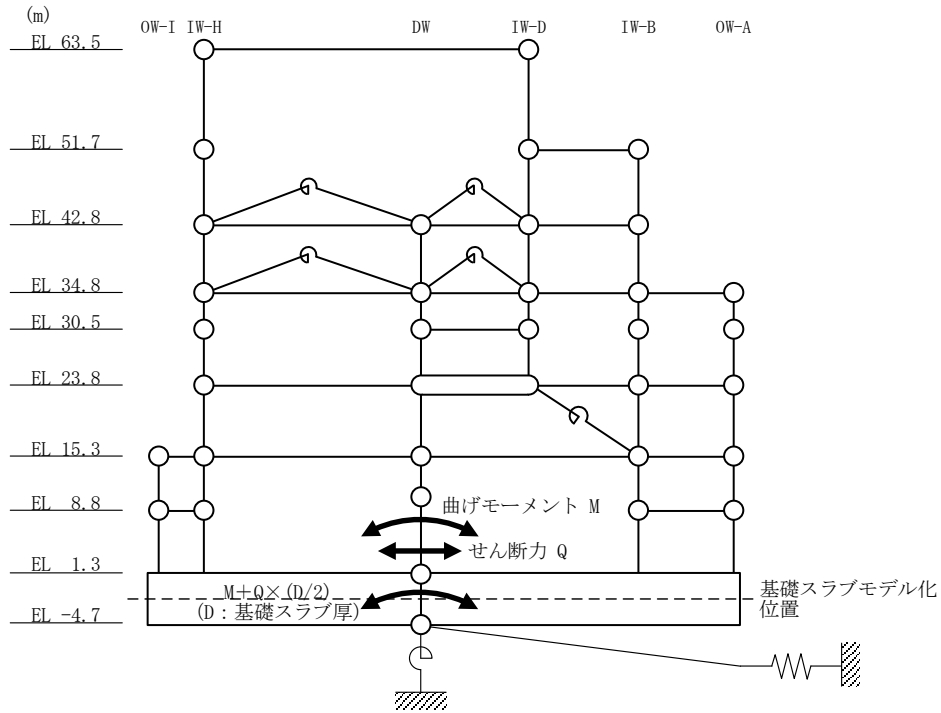
このため、ドライウェル外側壁内部の構造物に作用する水平地震時慣性力は、原子炉建物地震応答解析により得られる D W 軸の応答 (せん断力、曲げモーメント) に含まれ、曲げモーメントは各重量算入質点の高さを考慮した値として得られる。

曲げモーメントの補正方法を第 3-4 図に、ドライウェル外側壁から伝達する水平地震荷重の基礎スラブ解析における入力イメージを第 3-5 図に示す。なお、ドライウェル外側壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。

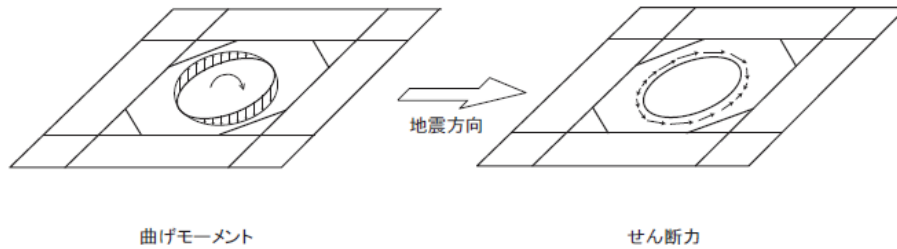
※：耐震設計上、当該レベルの耐震要素として評価しているドライウェル外側壁部で地震力を負担することとしているが、原子炉本体基礎からの反力等についてはその影響に応じて詳細設計段階で検討していく。



第 3-3 図 原子炉本体他 P C V 内機器、P C V 底部コンクリート、P C V 下部コンクリートの重量算入質点の考え方



第3-4図 基礎スラブの解析モデルに用いる曲げモーメントの補正方法



第3-5図 ドライウェル外側壁から伝達する水平地震荷重の基礎スラブの解析モデルにおける入力イメージ

耐震壁のシェル要素でのモデル化について
(タービン建物及び制御室建物)

1. タービン建物

タービン建物の既工認における基礎スラブの応力解析は、原子炉建物と同様に 3次元 FEMモデルによる評価を行い、剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化している。今回工認では、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮することを目的に、耐震壁の一部をシェル要素でモデル化することとする。既工認におけるタービン建物の基礎スラブの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第 4-1 表に、概念図を第 4-1 図に示す。

この既工認とのモデル化の差異は、より実状に近い構造挙動となるため、本資料における論点としては取り扱わないこととするが、既工認時には梁要素でモデル化している耐震壁について、低層部の壁の一部をシェル要素でモデル化することによる影響を以下に示す。

既工認時は剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化しているが、考慮している剛性は基礎スラブ面外方向の剛性のみとしている。本来、基礎スラブより上階において直交する耐震壁は相互につながっているが、その効果は考慮されない。

一方、今回工認では低層部の壁の一部をシェル要素でモデル化することから、既工認時に梁要素で考慮していた基礎スラブに対する面外剛性に加えて、耐震壁の面外剛性、面内剛性も考慮される。これらの壁が全体として基礎スラブへの拘束部材となり、より実状に近い構造挙動となる。例えば、地震荷重時に基礎スラブが面外に変形しながら浮き上がりを生ずる挙動に対して、地震方向の耐震壁と直交方向の耐震壁が一体性を保持しつつ、立体的に抵抗することとなる。また、既工認モデルの梁要素は中立軸を耐震壁の図心として評価したものを基礎スラブ中心位置に設定しており偏心が考慮されないのに対し、今回工認モデルではシェル要素を基礎スラブ上端より立ち上げるため、基礎スラブ中心（モデル化位置）と耐震壁の図心の偏心距離が考慮されることにより曲げ剛性が大きく評価される。これらの結果、基礎スラブの面外変形が既工認モデルに比較して小さくなり、基礎スラブの応力は低減することとなる。

ただし、実機では基礎スラブ上端から上部全体の耐震壁及び床スラブが一体として拘束効果を発揮するのに対し、今回工認モデルではシェル要素でモデル化するのは低層部の壁の一部のみであり、拘束効果は実機より小さく保守的である。

なお、耐震壁の地震力算定に用いる地震応答解析では基礎スラブを剛体として扱っているため、基礎スラブの柔性を考慮する場合に対し基本的に耐震壁が負担する地震力を保守的に評価している。また、耐震壁の土圧荷重の評価においては一方向版を仮定し、基礎スラブとの接続部で固定とした評価を実施していること

等から耐震壁には十分な余裕があるが、シェル要素でモデル化した耐震壁に発生する応力については、念のため詳細設計段階でその影響について確認する。

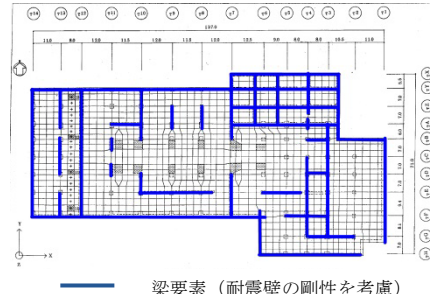
なお、耐震壁のシェル要素でのモデル化については、女川原子力発電所2号炉の原子炉建屋基礎版の設置変更許可段階の審査において採用している手法と同様である。

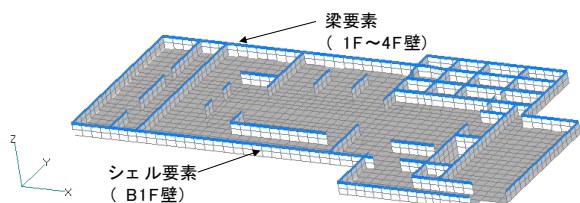
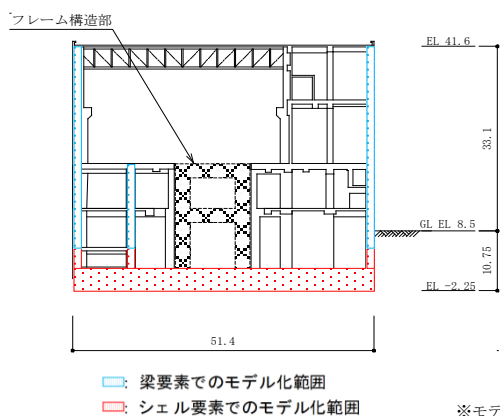
2. 制御室建物

制御室建物の既工認における基礎スラブの応力解析は、公式等による応力計算を実施しているが、今回工認では3次元FEMモデルによる評価を行う。この既工認との差異については、島根2号炉を含む先行プラントの既工認等において多数の適用実績があること、より実状に近い構造挙動となることから本資料における論点としては取り扱わないこととする。

なお、制御室建物の今回工認で用いる3次元FEMモデルではタービン建物と同様の考え方により、剛性の高い壁のうち低層部の一部をシェル要素でモデル化する。既工認における制御室建物の基礎スラブの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第4-2表に、概念図を第4-2図に示す。

第4-1表 応力解析モデル及び手法の比較（タービン建物の基礎スラブ）

項目		既工認時	今回工認時
解析手法		・弾性地盤上に支持された厚さ2.0~2.5mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・同左
解析コード		・NASTRAN	・ABAQUS
荷重		・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重 (S2), 土圧等	・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重 (Ss), 土圧等
モデル化	モデル化範囲	・基礎スラブ全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。	・同左
	メッシュサイズ	・モデル全体で概ね1~3m程度	・同左
	要素タイプ	・基礎スラブ全体をシェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は, その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化する。耐震壁はRFL (EL 41.6m) までの剛性を考慮する。また, タービン建物は開口部が多いことから, 梁要素の剛性算定においては開口部による影響を考慮する。	・基礎スラブ全体を積層シェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は, その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化することを基本とするが, 低層部の壁の一部はシェル要素でモデル化し, 壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。耐震壁はRFL (EL 41.6m) までの剛性を考慮する。また, 既工認時と同様に梁要素の剛性算定においては開口部による影響を考慮する。
材料物性		・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^6$ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.25 \times 10^4$ (N/mm ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$
評価方法	応力解析	・弾性解析	・弾塑性解析
	許容限界	(機能維持) 部材に発生する応力が終局強度を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。	(機能維持) 部材に発生する応力, ひずみが終局強度を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の極限支持力度を超えないことを確認する。
モデル		<p>・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は, その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化, 底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。</p> <p>・基礎スラブより立ち上がっている独立柱及び蒸気タービンの基礎は, その剛性を考慮しない。</p> <p>・B1F壁の開口のうち比較的小さいものは影響がないと判断し, 梁要素には大開口をモデル化する。</p>  <p style="text-align: center;">— 梁要素 (耐震壁の剛性を考慮)</p>	<p>・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は, その剛性を考慮した等価な梁要素及びシェル要素でモデル化, 底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。</p> <p>・基礎スラブより立ち上がっている独立柱及び蒸気タービンの基礎は, その剛性を考慮しない。</p> <p>・シェル要素部は主要な開口部をモデル化する。</p> <p>・モデル図は第4-1図参照</p>

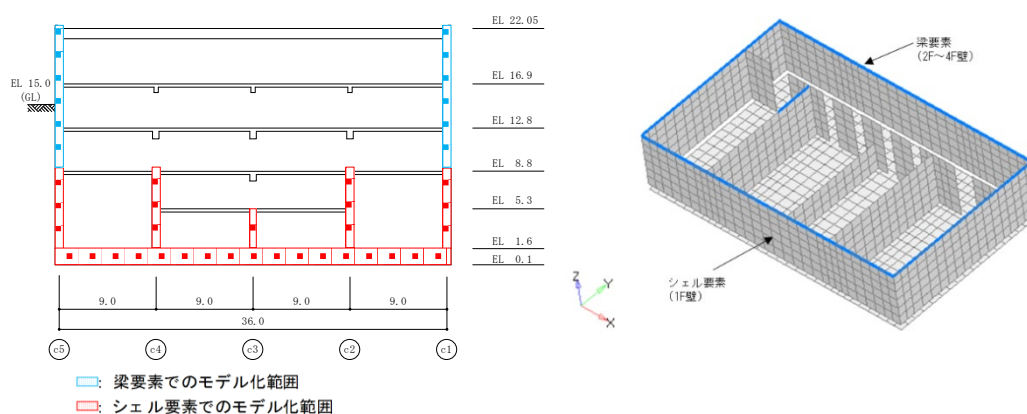


※モデル化については本条件を基本とし, 荷重の入力方法を含め詳細設計段階にて検討する。

第4-1図 基礎スラブの3次元FEMモデルの概念図(タービン建物)

第4-2表 応力解析モデル及び手法の比較（制御室建物の基礎スラブ）

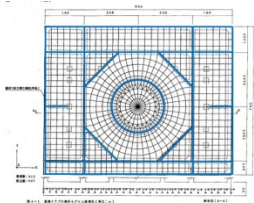
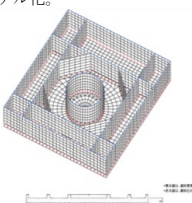
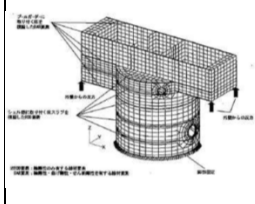
項目		既工認時	今回工認時
解析手法		・公式等による応力計算による。	・弾性地盤上に支持された厚さ1.5mの一枚の版として有限要素法により解析する。
解析コード		—	・ABAQUS
荷重		・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重	・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重 (Ss)
モデル化	モデル化範囲	—	・基礎スラブ全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。
	メッシュサイズ	—	・モデル全体で概ね1~3m程度
	要素タイプ	—	・基礎スラブ全体を積層シェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化することを基本とするが、低層部の壁の一部はシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。耐震壁はRFL (EL 22.05m) までの剛性を考慮する。また、タービン建物の基礎スラブと同様に、梁要素の剛性算定においては開口部による影響を考慮する。
材料物性		—	・コンクリートのヤング係数 $E=2.20 \times 10^4$ (N/mm ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$
評価方法	応力解析	・公式等による応力計算による。	・弾塑性解析
	許容限界	(短期許容応力度) 部材に発生する応力が短期許容応力度を超えないことを確認する。	(機能維持) 部材に発生する応力、ひずみが終局強度を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の極限支持力度を超えないことを確認する。
モデル		—	・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素及びシェル要素でモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。 ・基礎スラブより立ち上がっている独立柱はない。 ・シェル要素部は主要な開口部をモデル化する。 ・モデル図は第4-2図参照



※モデル化については本条件を基本とし、荷重の入力方法を含め詳細設計段階にて検討する。

第4-2図 基礎スラブの3次元FEMモデルの概念図（制御室建物）

弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較

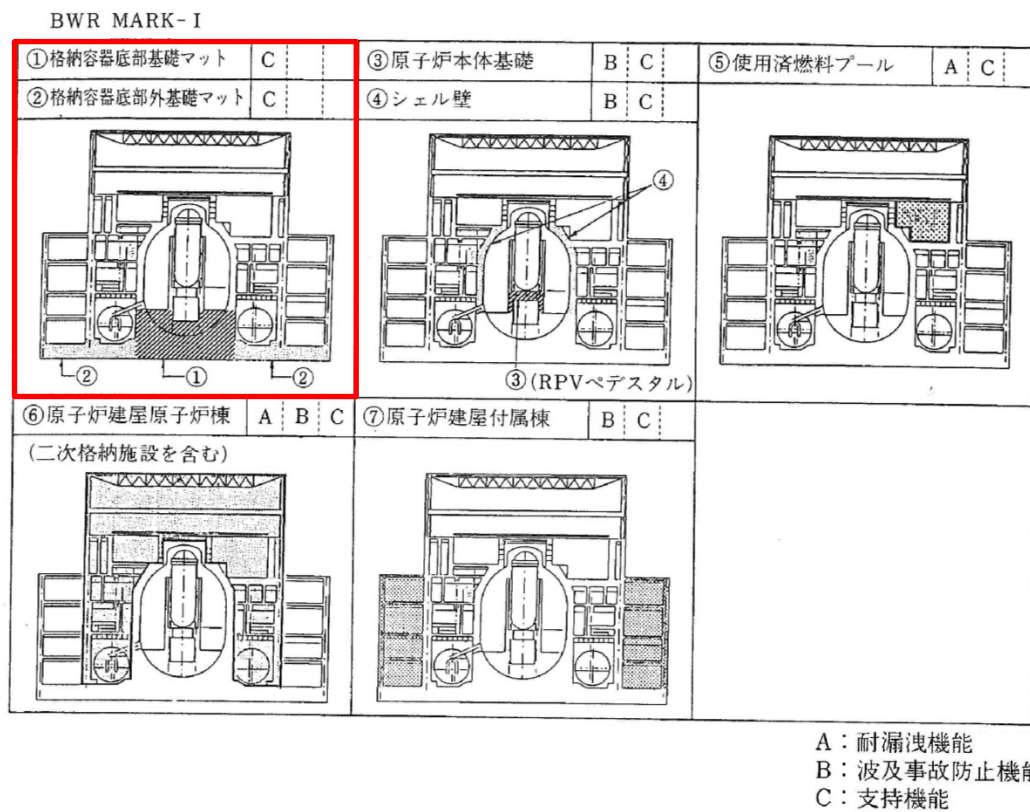
プラント	島根2号炉		女川2号炉(参考) [※]	柏崎刈羽6号及び7号炉(参考) [※]	
部位	原子炉建物の基礎スラブ		原子炉建屋の基礎	RCCVコンクリート部	
項目	既工認時	今回工認時	今回工認時	今回工認時	
分類	間接支持構造物 (検討用地震動：S2)	間接支持構造物 (検討用地震動：Ss)	間接支持構造物 (検討用地震動：Ss)	主要設備 (Sクラス)	
解析手法	・弾性地盤上に支持された厚さ6.0mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・同左	・弾性地盤上に支持された厚さ6.0mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・3次元FEMモデルを用いた応力解析	
解析コード	・NASTRAN	・ABAQUS	・ABAQUS	・NASTRAN	・ABAQUS
荷重状態	—	—	—	荷重状態Ⅰ～Ⅲ	荷重状態Ⅳ
考慮する荷重	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(S2)、土圧等	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(Ss)、土圧等	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(Ss)、土圧等	・死荷重、運転時圧力等	・死荷重、運転時圧力、地震荷重等
モデル化	モデル化範囲	・基礎スラブ全体と剛性の高い一部壁をモデル化	・同左	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化	・360° 全周をモデル化
	メッシュサイズ	・モデル全体で概ね1～3m程度	・同左	・モデル全体で概ね1～3m程度	・モデル全体で概ね1～2m程度
	要素タイプ	・基礎スラブ全体をシェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁(外部ボックス壁、内部ボックス壁及びドライウエル外側壁)は、その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化する。外部ボックス壁及び内部ボックス壁は燃料取替床レベル(E L 42.8m)まで、ドライウエル外側壁はE L約23mまでの剛性を考慮する。また、梁要素の剛性算定においては開口部による影響は考慮しない。	・同左 (ただし、基礎スラブのシェル要素は、コンクリート及び鉄筋それぞれに弾塑性特性を設定した積層シェル要素でモデル化)	・基礎版全体を積層シェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁は、等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化する。 ・地下部分の壁の一部はシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。	積層シェル要素：シェル部、トップスラブ部 ROD要素、BAR(梁)要素：境界条件の設定に使用
材料物性	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4$ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.25 \times 10^4$ (N/mm ²) ^{※1} ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ^{※1}	・コンクリートのヤング係数 $E=2.51 \times 10^4$ (N/mm ²) ^{※1} ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ^{※1}	・コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4$ (N/mm ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	
評価方法	応力解析	・弾性解析	・弾塑性解析	・弾塑性解析 ^{※2}	・弾性解析 ・弾塑性解析
	許容限界	(機能維持) 部材に発生する応力が終局強度を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。	(機能維持) 部材に発生する応力、ひずみが終局強度を超えないことを確認する。 ^{※2} 接地圧が地盤の極限支持力度を超えないことを確認する。	(機能維持) 部材に生じる応力、ひずみが許容限界を超えないことを確認する。 ^{※2} 接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。	(弾性範囲内) 部材に発生する応力、ひずみが許容限界を超えないことを確認
境界条件及びモデル図	・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。 ・基礎スラブより立ち上がっている独立柱はその剛性を考慮しない。 ・B2F壁の開口は比較的小さく影響はないと判断し、梁要素には開口部をモデル化しない。 	・同左	・基礎版より立ち上がっている耐震壁はその剛性を考慮してシェル要素及び梁要素でモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。 ^{※4} 	基礎スラブとシェル部とは固定とし、シェル部及びプールガードに取り付く床スラブはそれぞれ梁要素としてモデル化。 	
備考	<p>※1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説 一許容応力度設計法」(1999)による計算式に基づく値を用いる。</p> <p>※2: 許容限界については、日本機械学会「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 J S M E S N E I - 2003」等によるものとし、設定の考え方については添付資料-1に示す。</p> <p>注1: コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の折れ線近似については添付資料-2に示す。</p> <p>注2: ドライウエル外側壁内部の構造物から基礎スラブに伝達される荷重等の考え方については添付資料-3に示す。</p> <p>注3: タービン建物及び制御室建物の基礎スラブについては、剛性の高い壁のうち低層部の一部をシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する予定であるが、詳細については、詳細設計段階で説明する。モデル化の考え方については添付資料-4に示す。</p>		<p>※1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説 一許容応力度設計法」(1999)による計算式に基づく値を用いる。</p> <p>※2: 終局強度設計の許容値に基づく評価を実施することとした。</p> <p>※3: 許容限界についてはCCV規格によるものを基本とする。</p> <p>※4: 基準地震動Ss以外の荷重(常時荷重及び弾性設計用地震動Sd)に対して検討する場合については、基準地震動Ssに對しては、基準地震動Ssに對する検討に用いる解析モデルを採用するが、数値は同じである。荷重状態Ⅳ(Ss(既工認時はS2)を含む荷重組合せ等)の場合は、鉄筋：5000μ、コンクリート：3000μ</p>	<p>・荷重状態Ⅰ～Ⅲに対しては弾性解析を実施する。荷重状態Ⅰ～Ⅲについては、RCCVの挙動を弾性範囲内に取めるという設計思想に基づき設計が行われており、許容値も弾性範囲内とされていること、並びに、温度荷重により発生する熱応力については荷重状態Ⅰ及び荷重状態Ⅱにおいては弾性剛性を1/2に、荷重状態Ⅲにおいては弾性剛性を1/3に一律低減して算定することにより考慮することから既工認時と同様に弾性解析を実施することとした。</p> <p>・許容限界については、過重状態Ⅳについては、評価基準値が塑性化を許容した終局強度設計を行っており、許容値も塑性化を考慮した数値となっていることから、弾塑性解析を実施することとした。</p>	

注：他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に弊社の責任において独自解釈したものです。

原子炉建物の基礎スラブの耐震重要度分類の考え方について

耐震重要度分類は、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度（耐震重要度）に応じて分類することとされている。BWR MARK-Iである島根2号炉原子炉建物の基礎スラブについては、J E A G 4 6 0 1 -1987において、第2-1図に示すように、「格納容器底部基礎マット」及び「格納容器底部外基礎マット」は耐漏洩機能は求められておらず、支持機能のみを有している。従って、原子炉建物の基礎スラブはSクラス設備ではなく、Sクラス設備の間接支持構造物として分類される。

以上を踏まえ、島根2号炉の原子炉建物の基礎スラブの評価においては、基準地震動 S_s に対する評価を実施する。



第2-1図 原子炉建物に要求される機能（J E A G 4 6 0 1 -1987 より引用，加筆）

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。

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。

箱型構造物及び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。なお、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。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。箱型構造物及び線状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、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も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。

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。評価対象断面の選定においては、構造物中央を通る断面から、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も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。

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。一般的な地中埋設管路の設計では管軸方向を弱軸として設計されるため、管軸方向断面についても検討する。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、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も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。

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。

- ・ 要求機能及び間接支持する機器・配管の有無及び位置
- ・ 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）
- ・ 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^{※2}）
- ・ 地震波の伝搬特性
- ・ 機器・配管系への応答加速度及び応答変位算出位置

※2 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工認段階で設定する。

② 評価対象断面の選定

①にて整理した耐震評価候補断面（以下、「候補断面」という。）に対して、以下の考えで評価対象断面を選定する。

a. 構造的特徴による選定

候補断面の部材厚や内空断面等の構造的特徴を比較し、他の候補断面より耐震評価上厳しくなることが想定される候補断面を評価対象断面として選定する。同一断面となる場合には、同一断面となる区間毎に後述する他の観点で評価対象断面を選定する。

b. 周辺状況による選定

上載荷重、土被り厚、周辺地質及び隣接構造物の観点にて耐震評価上厳しくなる断面を選定する。

同一構造で延長方向に設置深さが異なる構造物に関しては、上載荷重が最大となる断面や土被り厚が最大となる断面を評価対象断面として選定する。

c. 評価対象断面の絞り込み

上記の観点で選定された評価対象断面と、地下水位や地震波の伝搬特性等に応じて整理された候補断面を比較して評価対象断面の絞り込みを行う。

候補断面によって周辺状況が異なる線状構造物や、箱型構造物のうち候補断面によって周辺状況が異なる構造物等については、地震応答解析を実施して評価対象断面を絞り込む。

d. 床応答算出位置による算定

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。

以上の流れで選定した複数断面を評価対象断面とする場合と、必要に応じて各観点で選定された断面の保守的な条件を組合せた断面を作成し、評価対象断面とする場合がある。

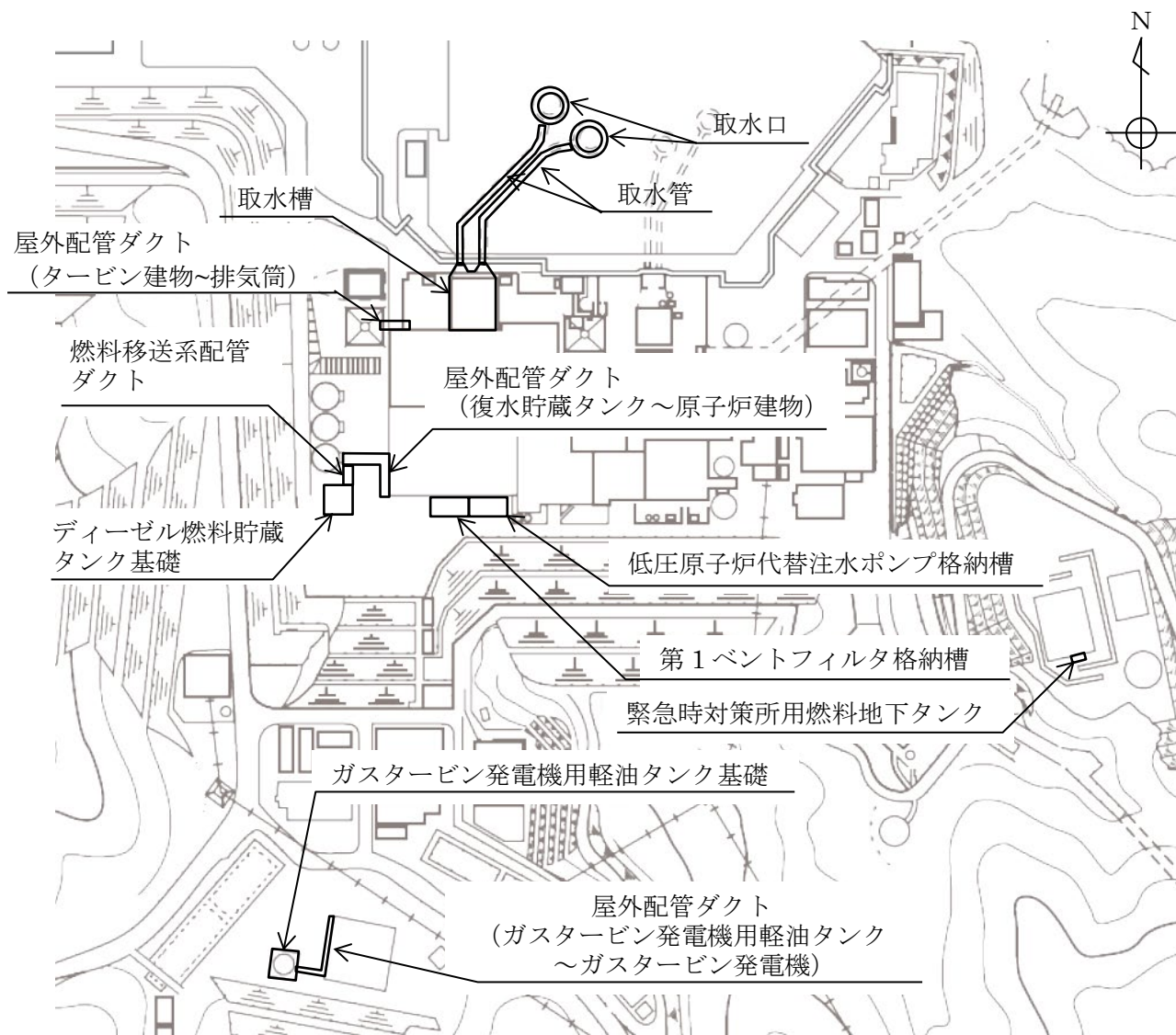
対象評価候補断面の整理と評価対象断面の選定結果については工認段階で示す。

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）	
	・取水口	円筒状構造物
	・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	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	波及的影 響
取水槽	○	○	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	-	○	-	-
			海水ポンプエリア水密扉	-	○	-	-
			除じん機エリア水密扉	-	○	-	-
			取水管立入ピット閉止板	-	○	-	-
			取水槽床ドレン逆止弁	-	○	-	-
			取水槽水位計	-	○	-	-
			海水ポンプエリア竜巻防護対策設備	-	-	-	○
			循環水ポンプエリア竜巻防護対策設備	-	-	-	○
海水ポンプエリア防水壁	-	-	-	○			
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	-	-	○	-
			格納容器代替スプレイ系配管・弁	-	-	○	-
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)	○	○	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	○	○	-	-	-	-	-
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	-	-	○	-
			ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁	-	-	○	-
			ガスタービン発電機用軽油タンク出口ノズル・弁	-	-	○	-
取水管	○	○	-	-	-	-	-



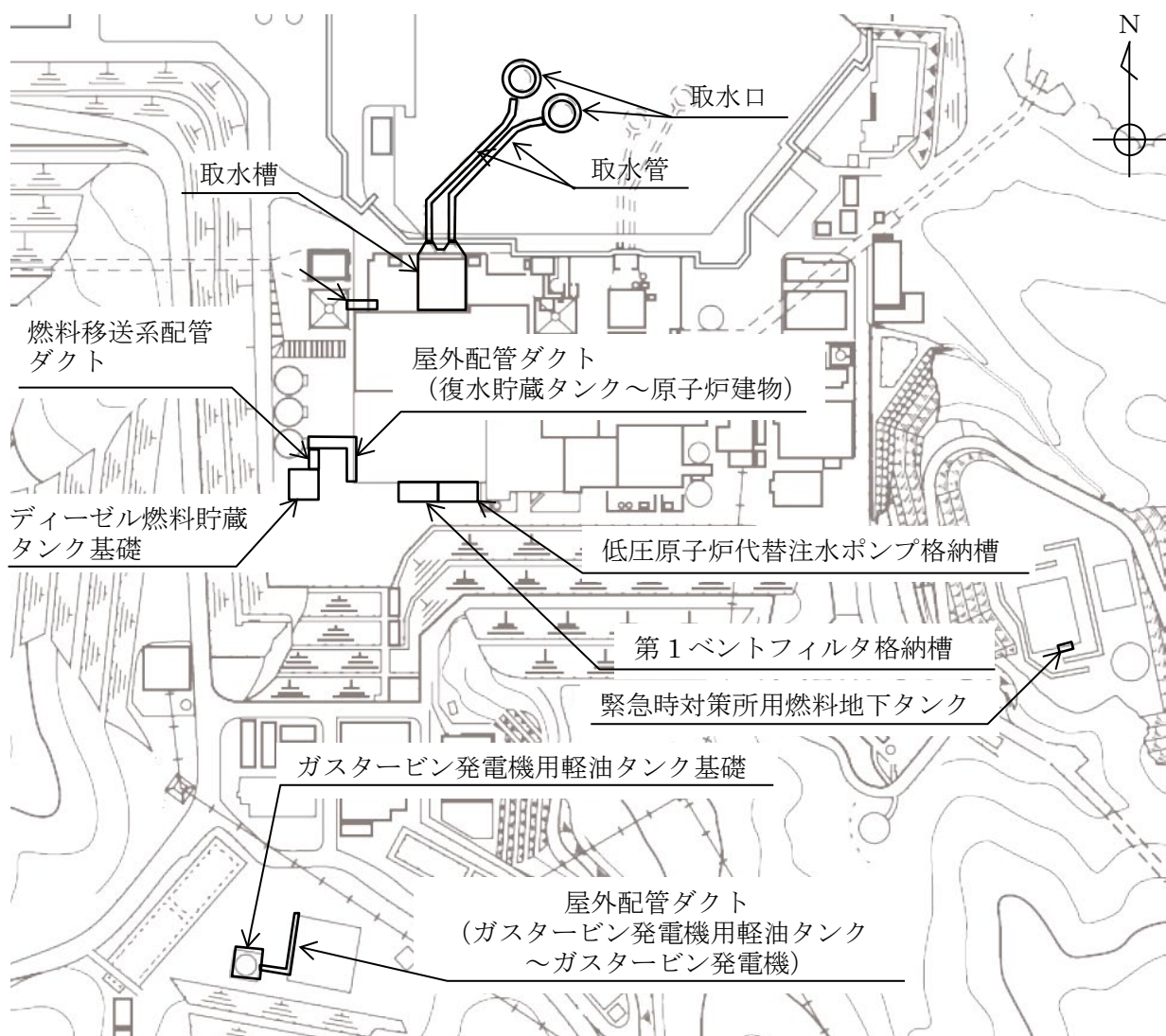
第6-1-1 図 評価対象構造物 全体配置図

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。

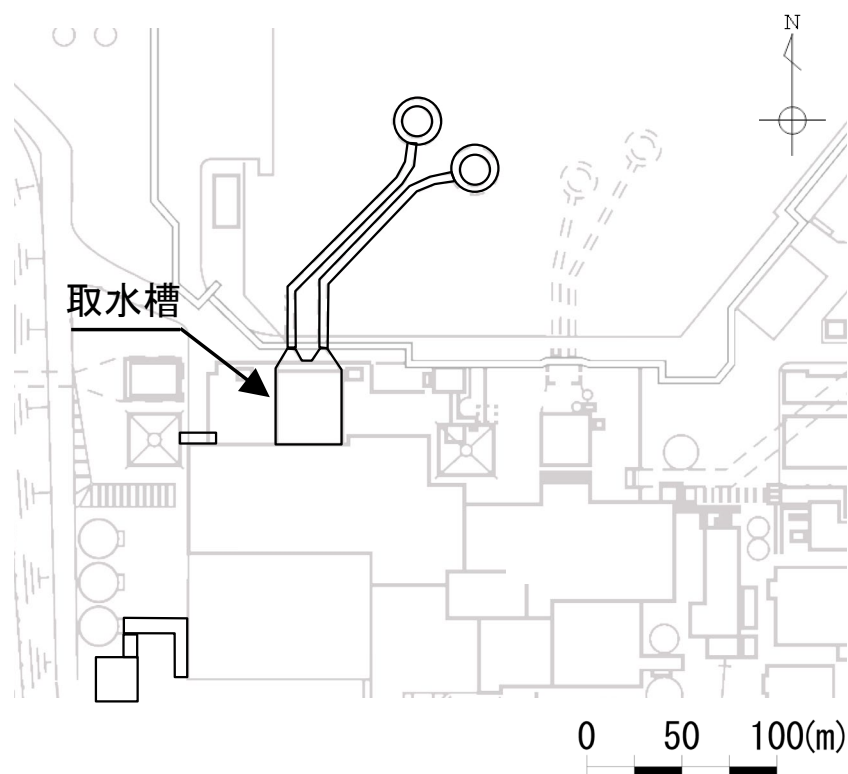
取水槽は、Sクラス設備である原子炉補機海水ポンプ等の間接支持機能と、非常用取水設備として通水機能が要求される。

取水槽はポンプ室とスクリーン室に大別される、延長47.25m、幅34.95m、高さ20.5mの鉄筋コンクリート造の半地下構造物である。

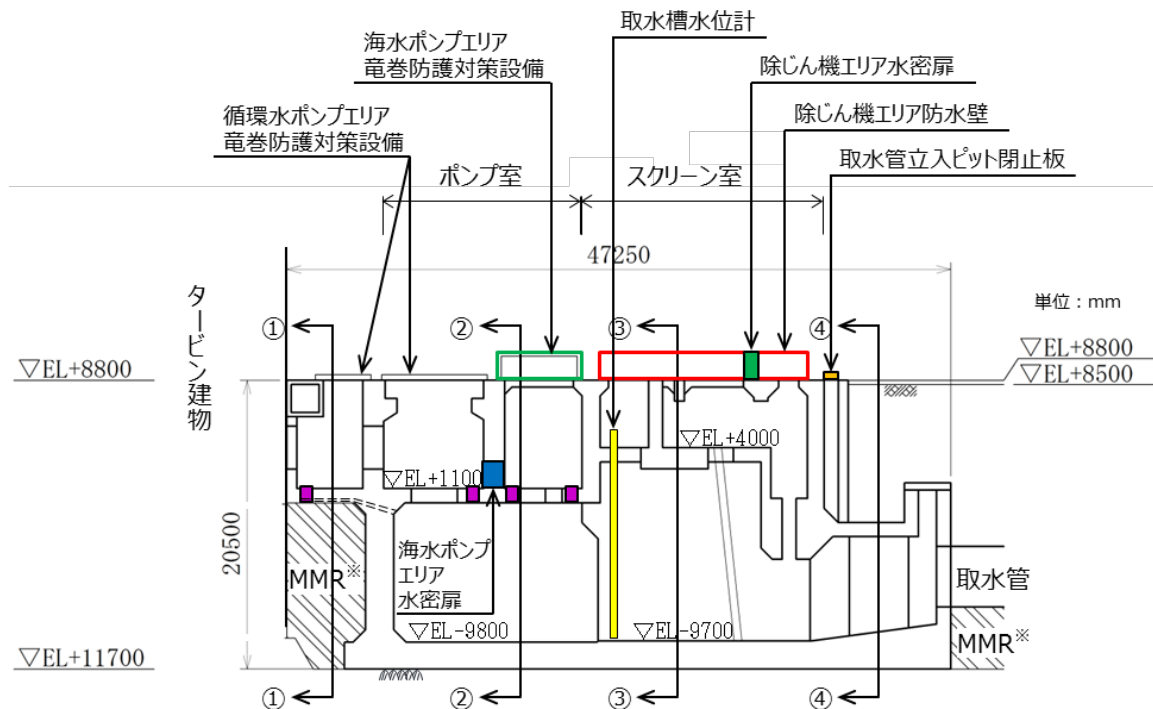
取水槽は主にCM級岩盤に直接支持されている。

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。

よって、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から断面を整理し、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最も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。

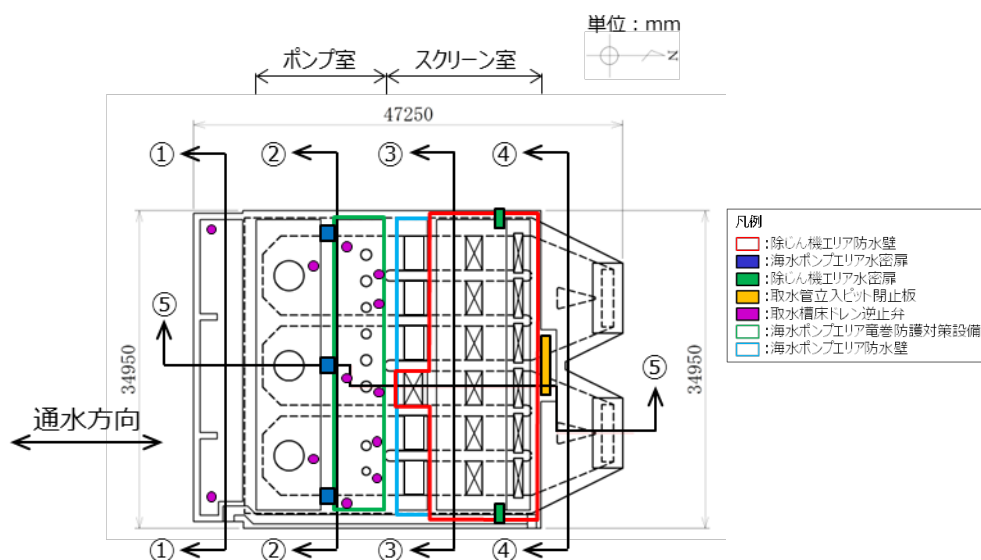


第6-2-2図 取水槽 配置図

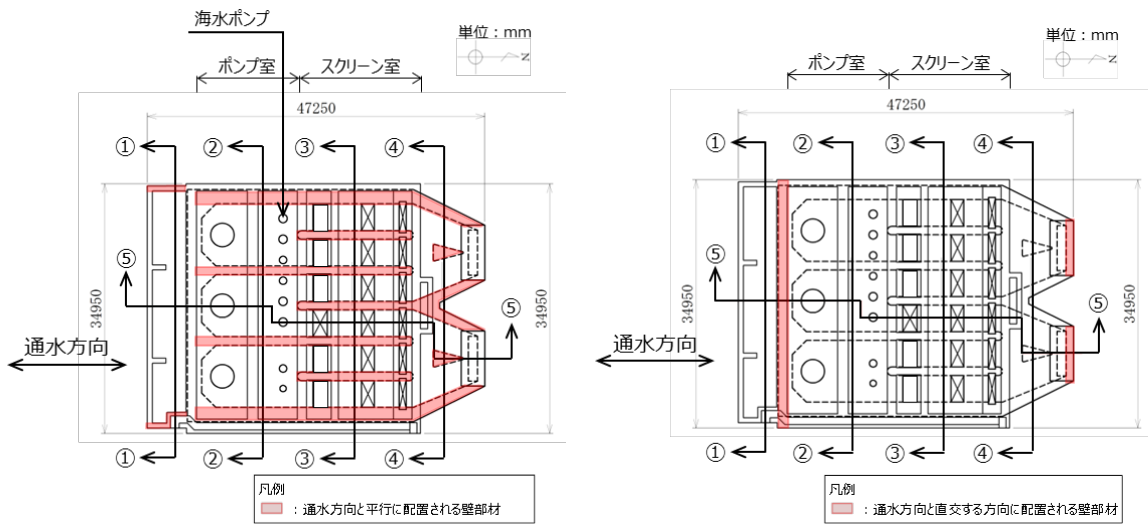


※ MMR (マンメイドロック)

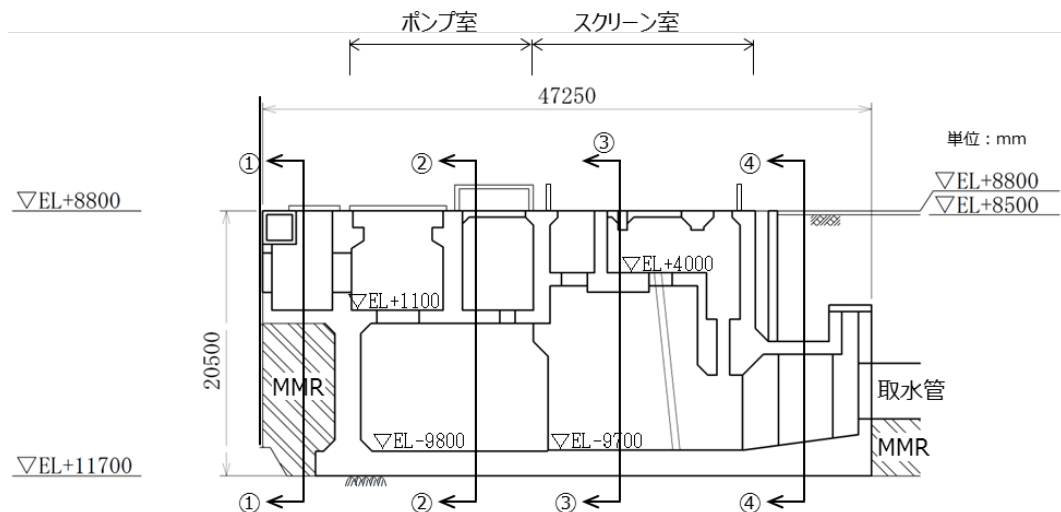
第6-2-3 図 取水槽 設置される設備の配置図 (縦断面図)



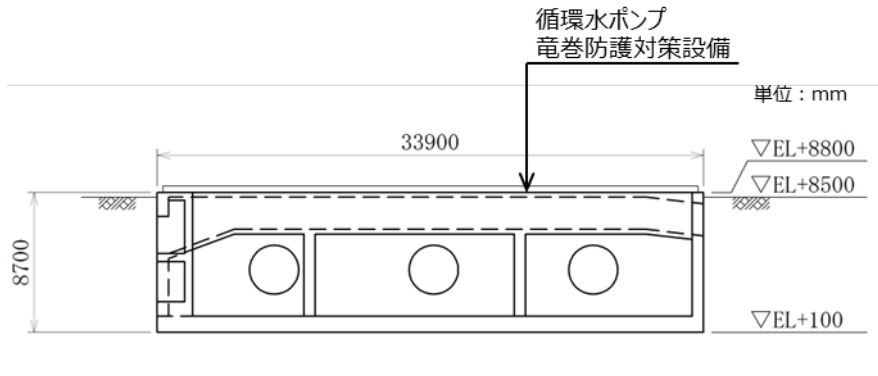
第6-2-4 図 取水槽 設置される設備の配置図 (平面図)



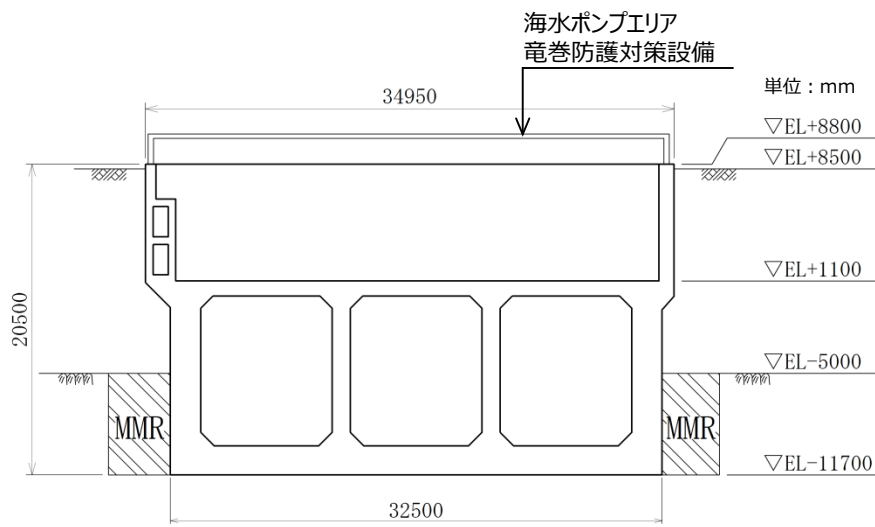
第6-2-5図 取水槽 平面図



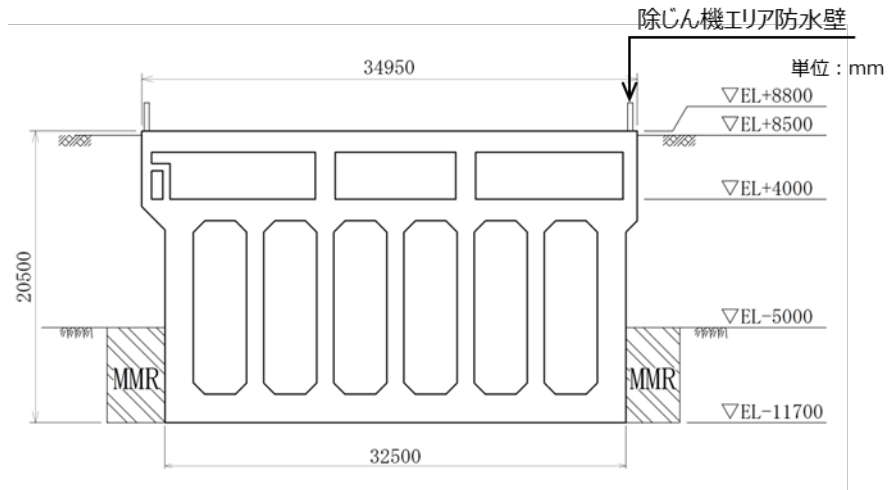
第6-2-6図 取水槽 縦断図 (⑤-⑤断面)



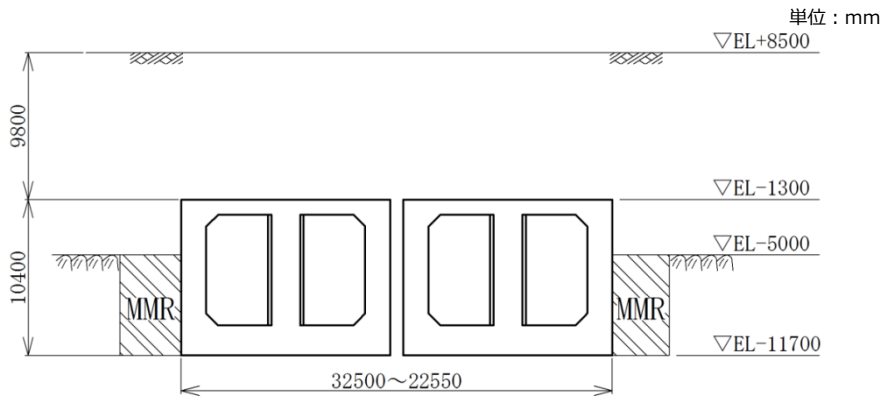
第6-2-7図 取水槽 断面図 (①-①断面)



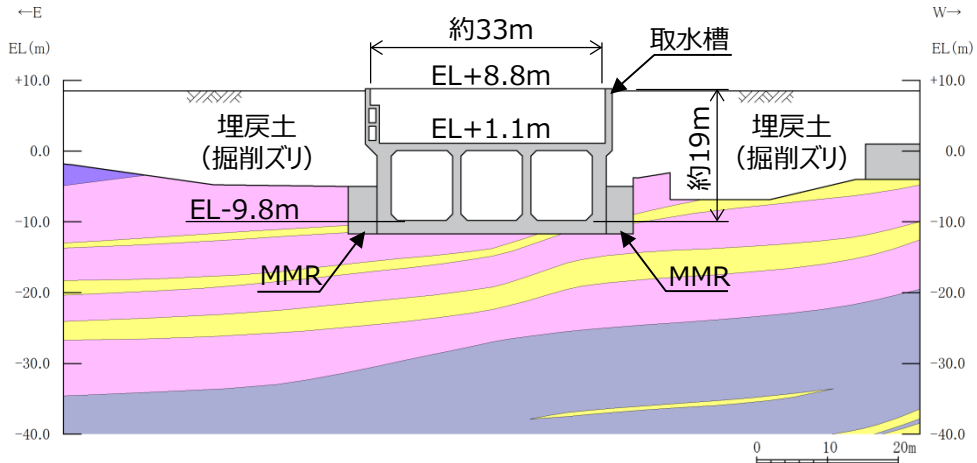
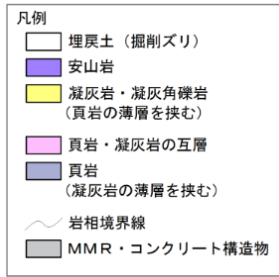
第6-2-8図 取水槽 断面図 (②-②断面)



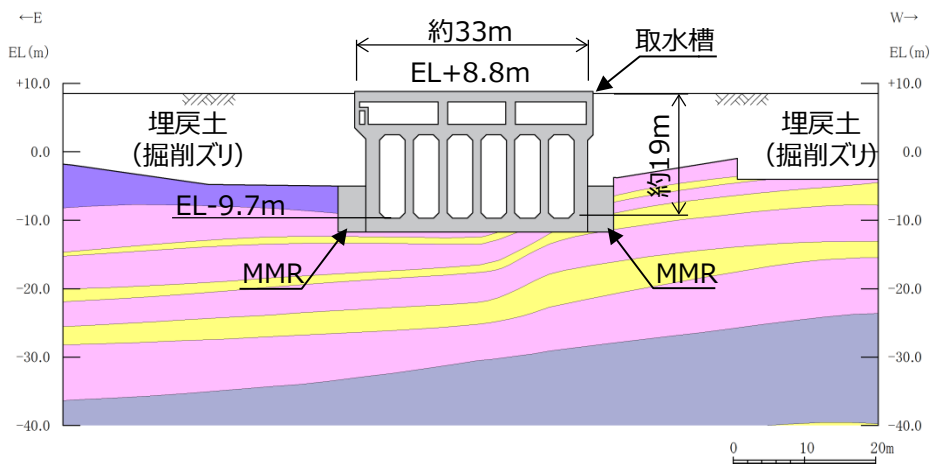
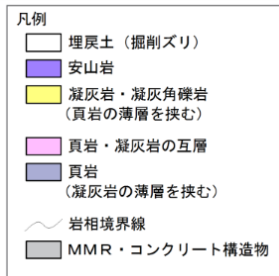
第6-2-9 図 取水槽 断面図 (③-③断面)



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)

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の配置図を第 6-2-13 図に、平面図を第 6-2-14 図に、縦断面図を第 6-2-15 図に、断面図を第 6-2-16 図～第 6-2-17 図に、地質断面図を第 6-2-18 図にそれぞれ示す。

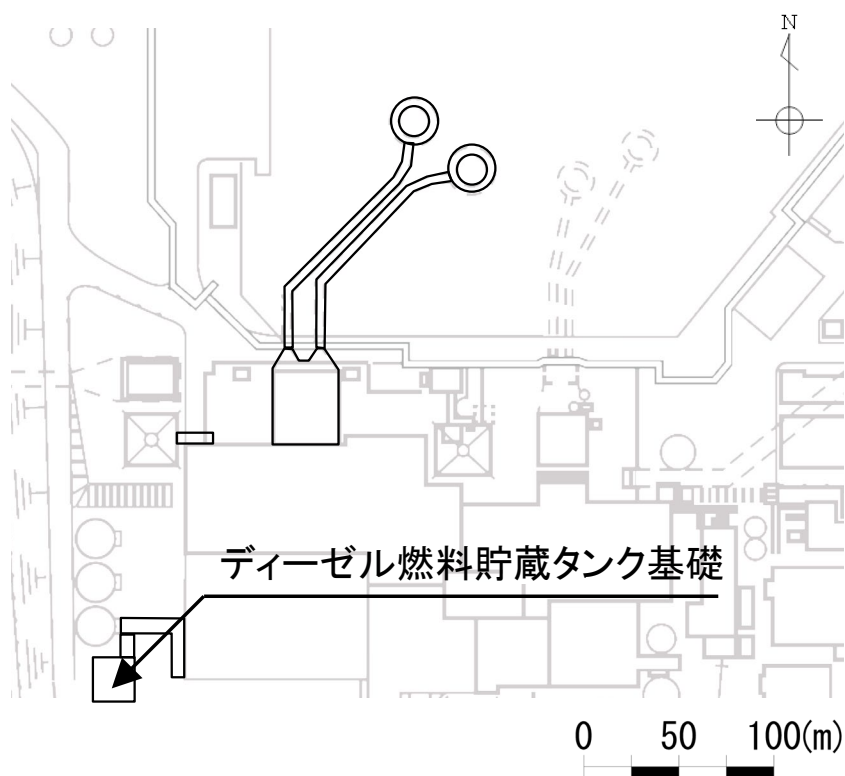
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク等の間接支持機能が要求される。

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構造物である。

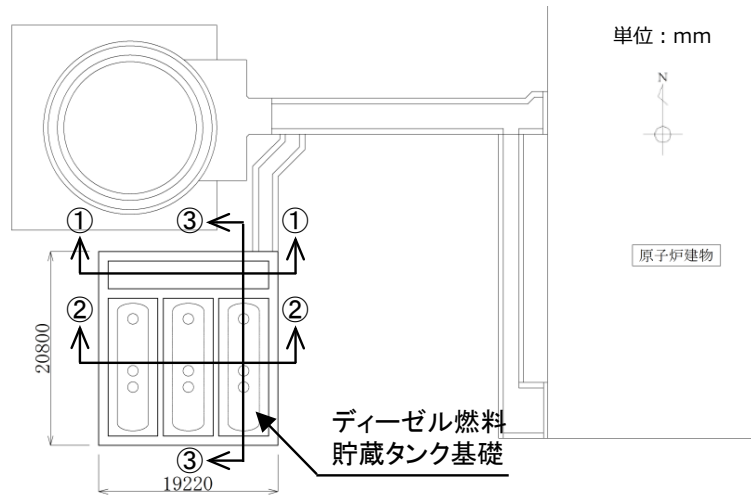
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、主に CM 級岩盤に直接支持されている。

長辺方向（南北方向）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（東西方向）が弱軸となる。

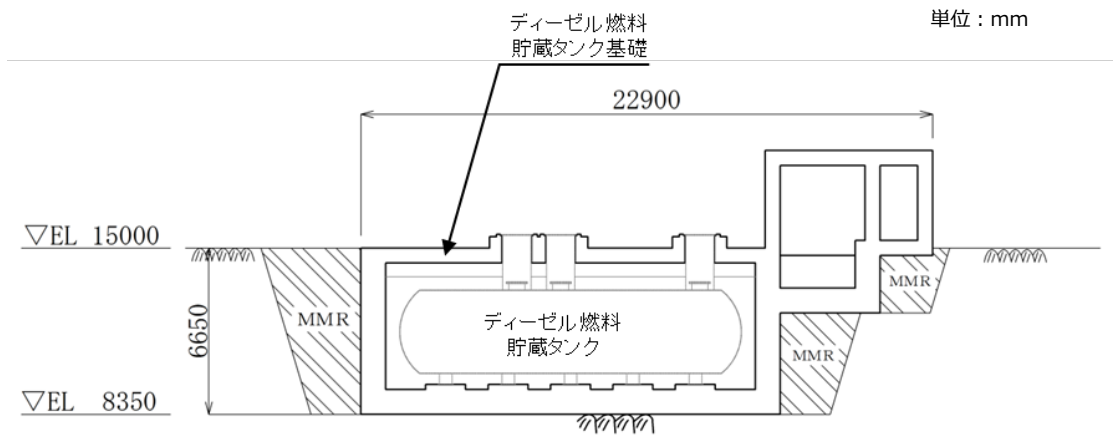
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



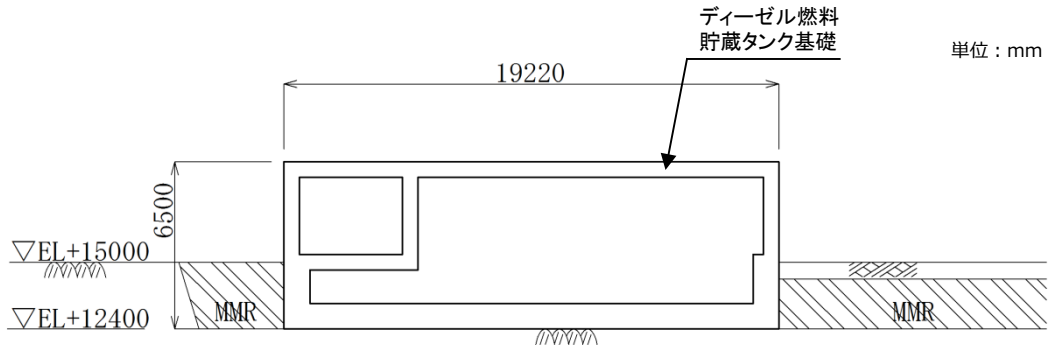
第 6-2-13 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 配置図



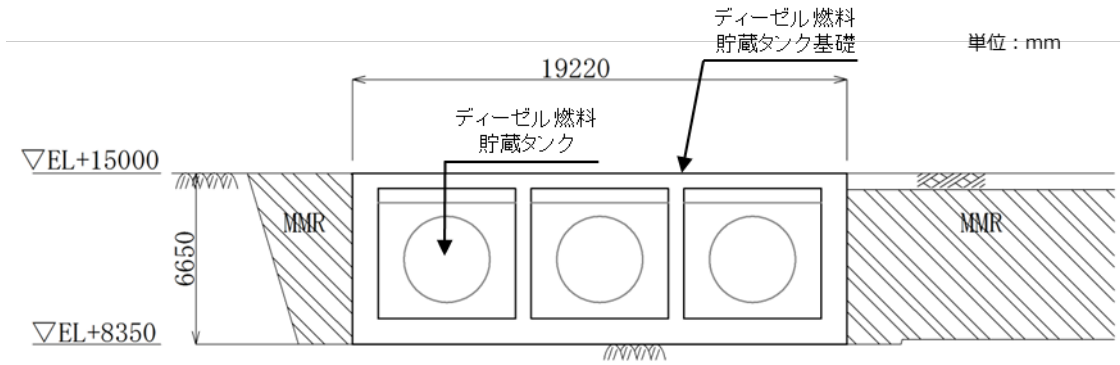
第 6-2-14 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 平面図



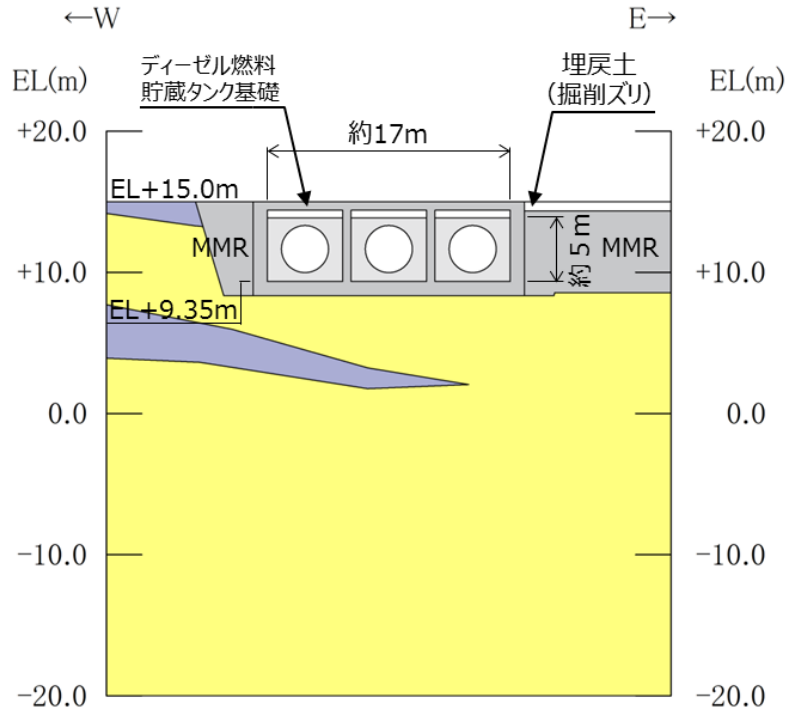
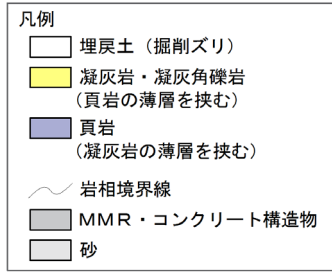
第 6-2-15 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 縦断図 (③-③断面)



第6-2-16図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (①-①断面)



第6-2-17図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図 (②-②断面)



第 6-2-18 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 地質断面図 (②-②断面)

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6-2-19図に、平面図を第6-2-20図に、縦断図を第6-2-21図に、断面図を第6-2-22図～第6-2-23図に、地質断面図を第6-2-24図～第6-2-25図にそれぞれ示す。

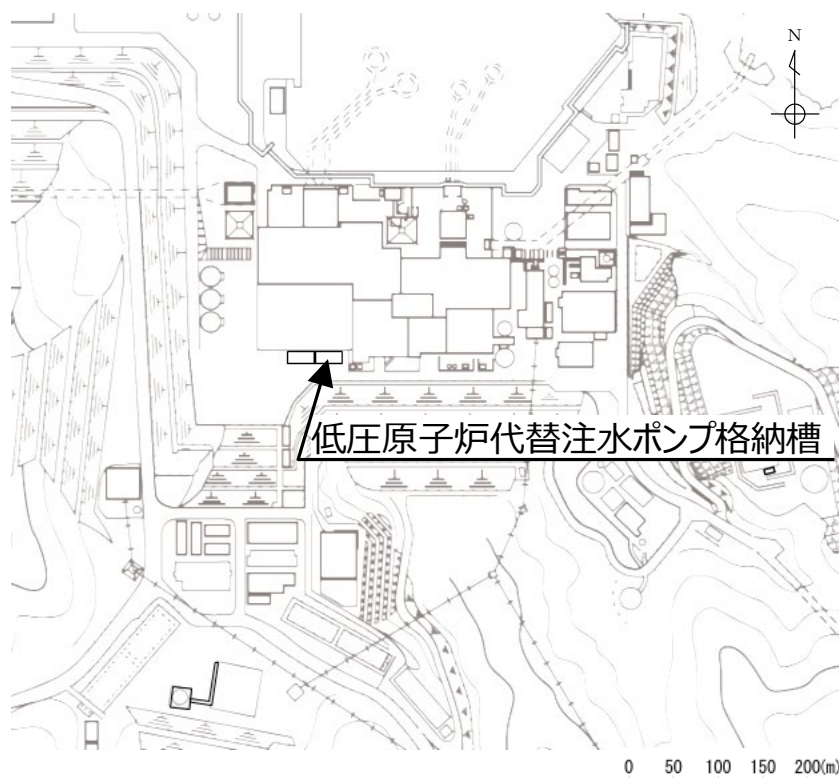
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、常設重大事故等対処設備である低圧原子炉代替注水ポンプ等の間接支持機能が要求される。

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。

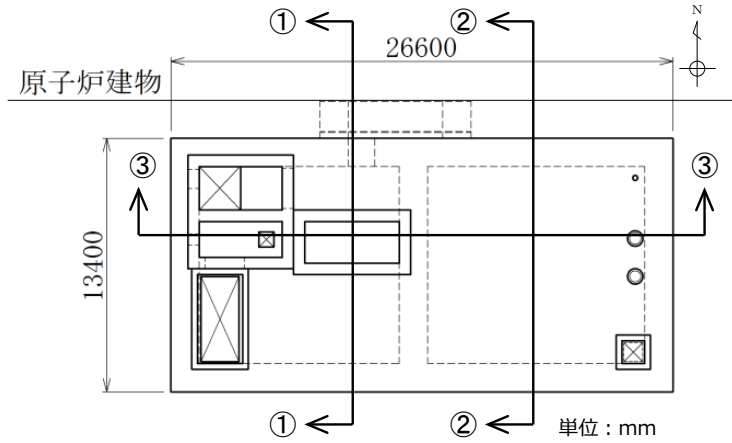
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、主にCM級岩盤に直接支持されている。

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。

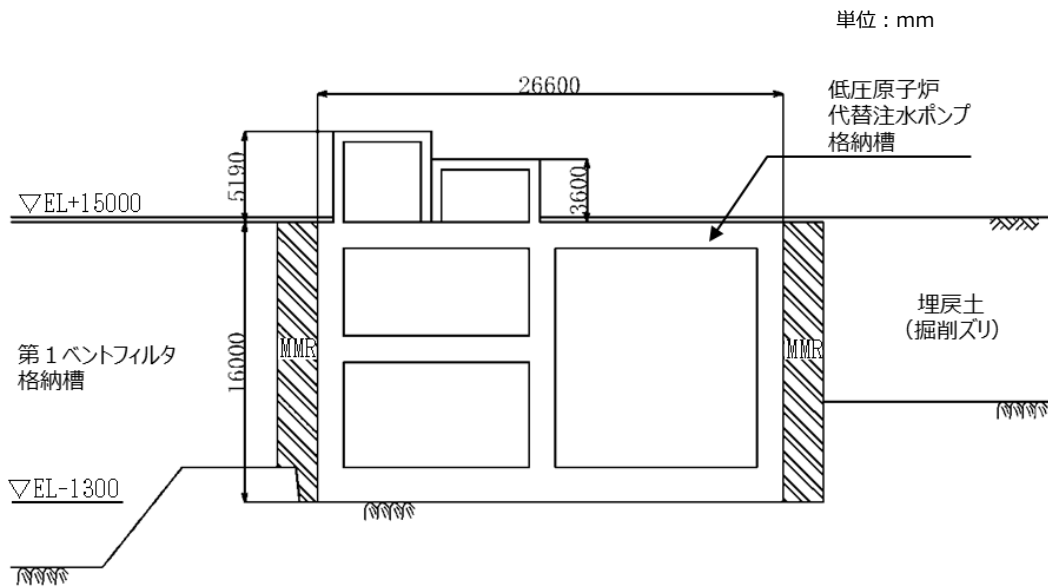
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



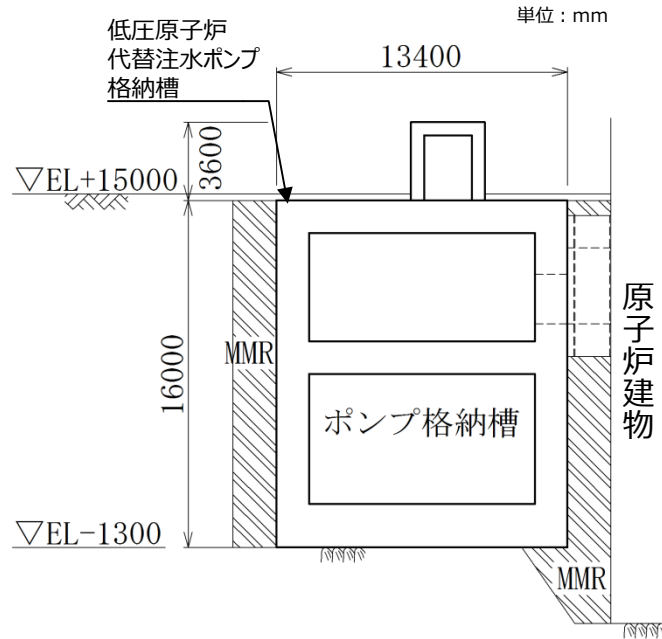
第6-2-19図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 配置図



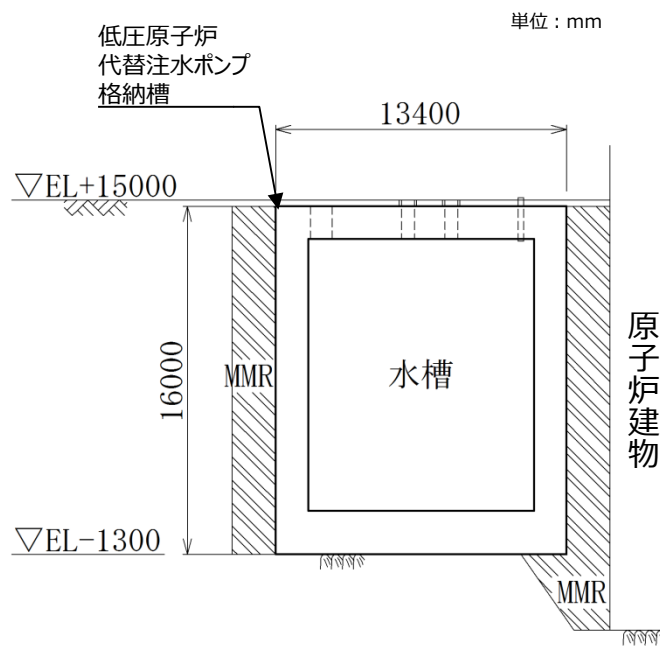
第 6-2-20 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図



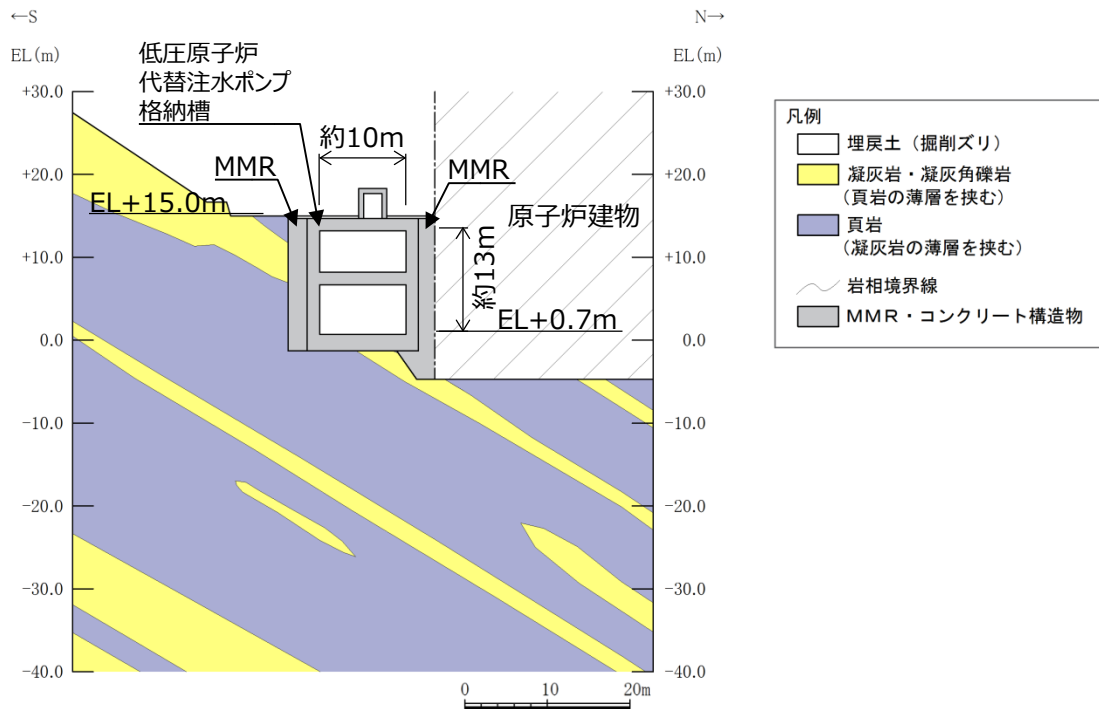
第 6-2-21 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 縦断図 (③-③断面)



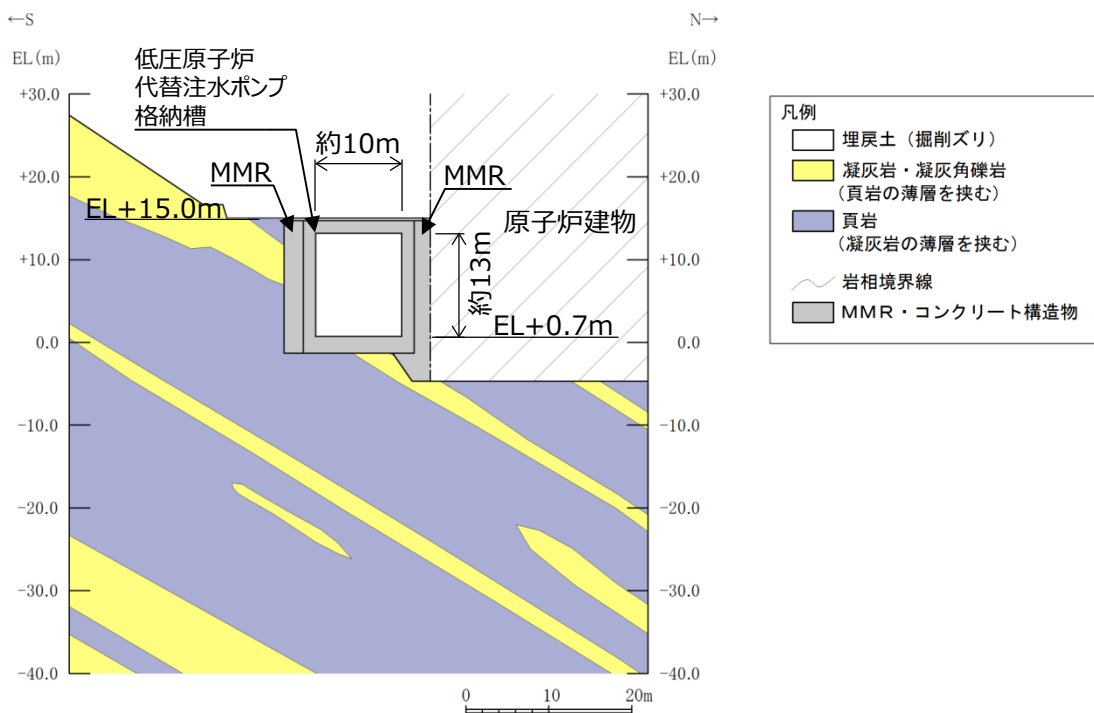
第 6-2-22 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (①-①断面)



第 6-2-23 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (②-②断面)



第 6-2-24 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 6-2-25 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)

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6-2-26図に、平面図を第6-2-27図に、縦断図を第6-2-28図に、断面図を第6-2-29図～第6-2-30図に、地質断面図を第6-2-31図～第6-2-32図にそれぞれ示す。

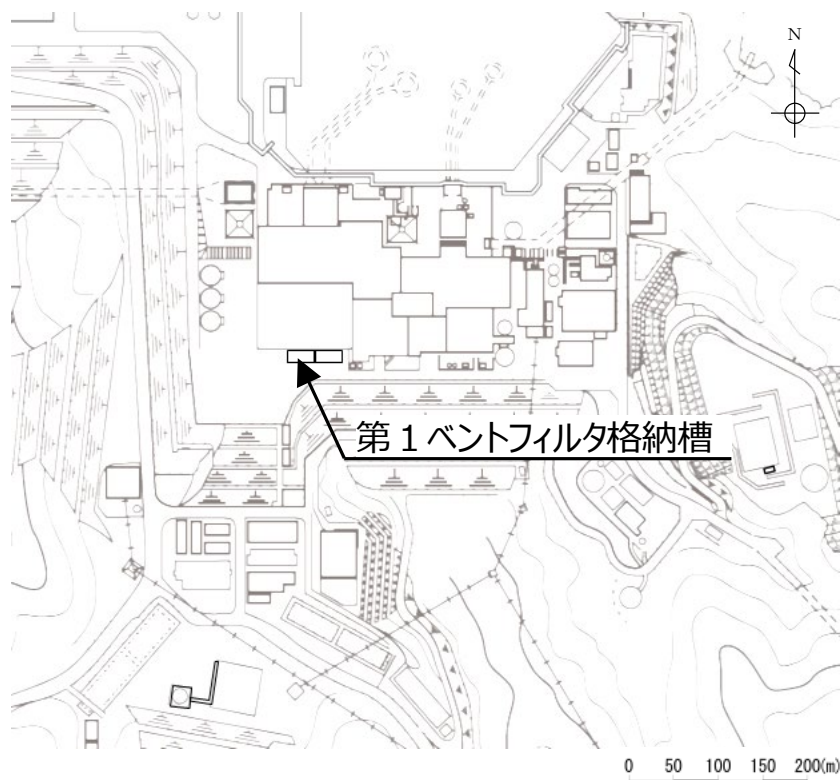
第1ベントフィルタ格納槽は、常設重大事故等対処設備である第1ベントフィルタスクラバ容器等の間接支持機能が要求される。

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。

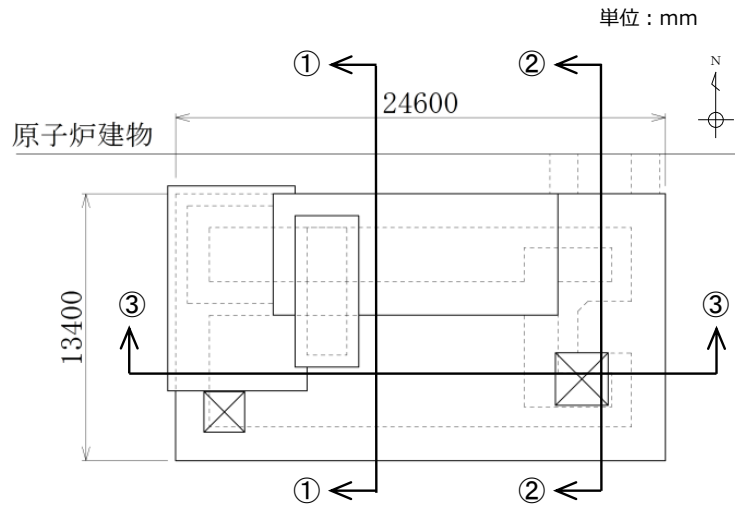
第1ベントフィルタ格納槽はMMR（マンメイドロック）を介して主にCM級岩盤に支持されている。

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。

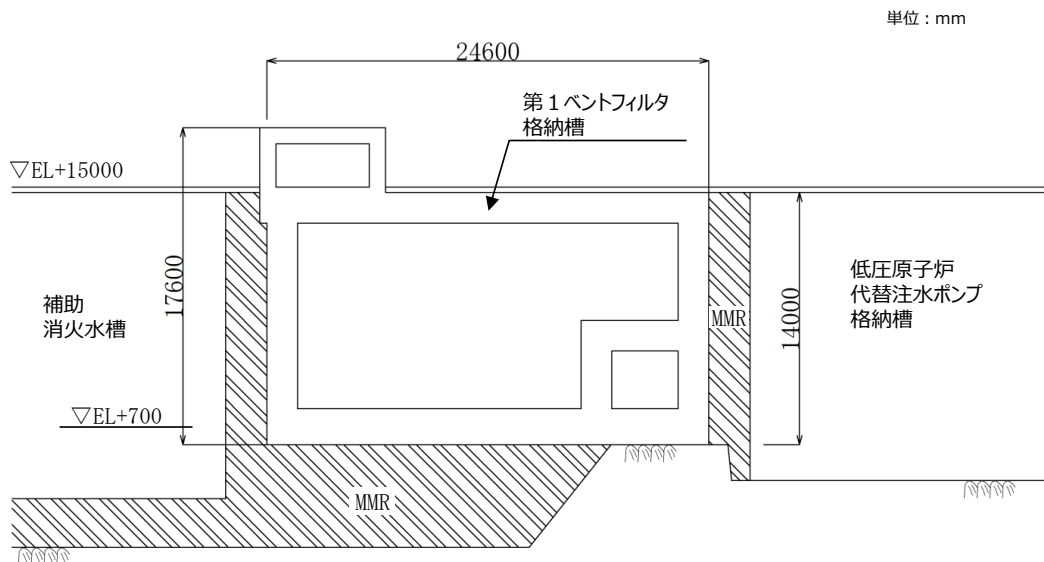
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



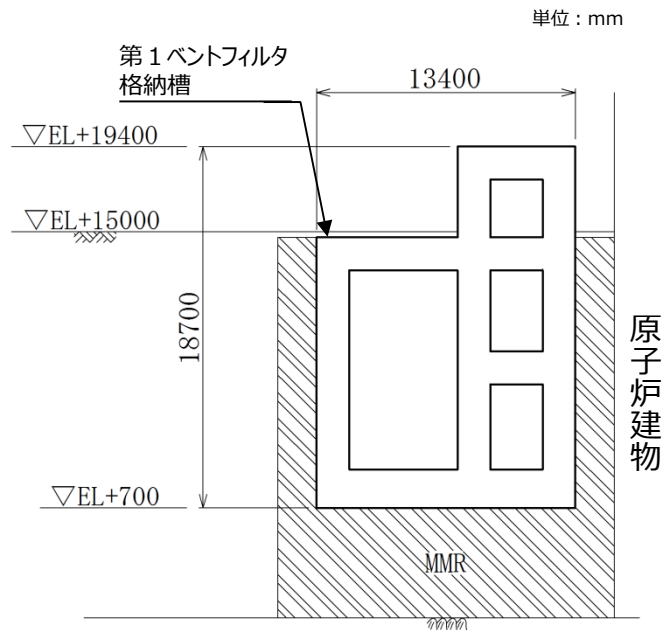
第6-2-26図 第1ベントフィルタ格納槽 配置図



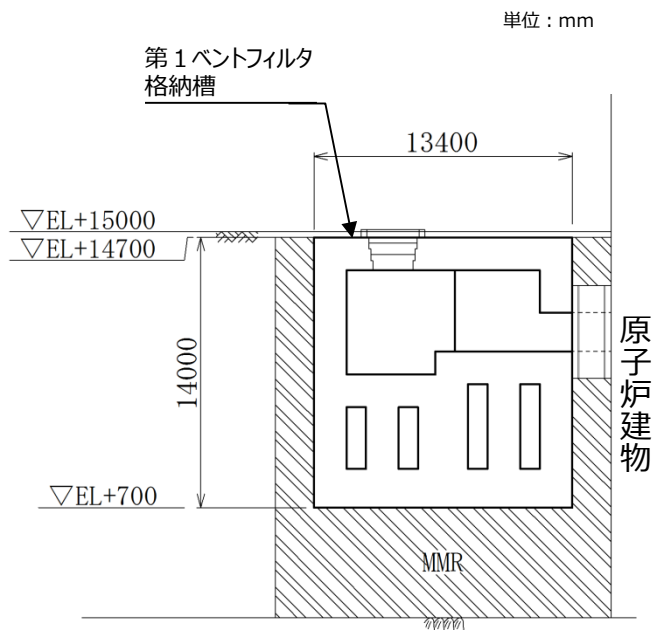
第 6-2-27 図 第 1 ベントフィルタ格納槽 平面図



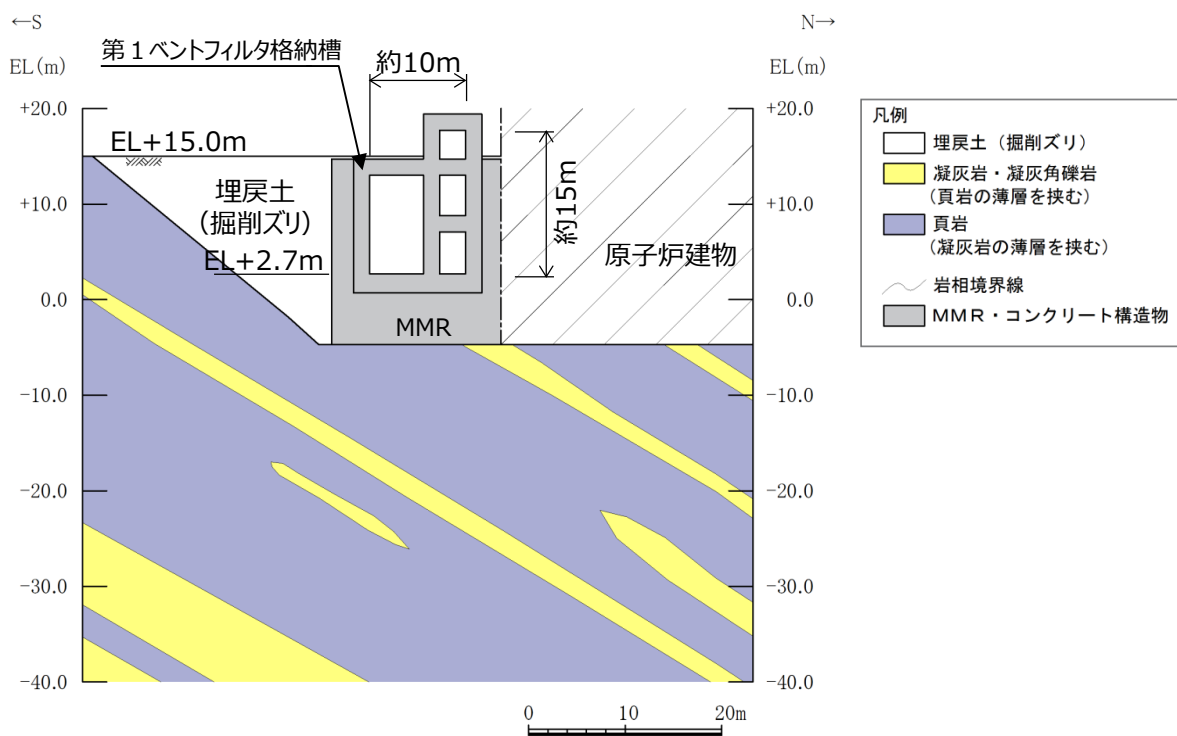
第 6-2-28 図 第 1 ベントフィルタ格納槽 縦断図 (③-③断面)



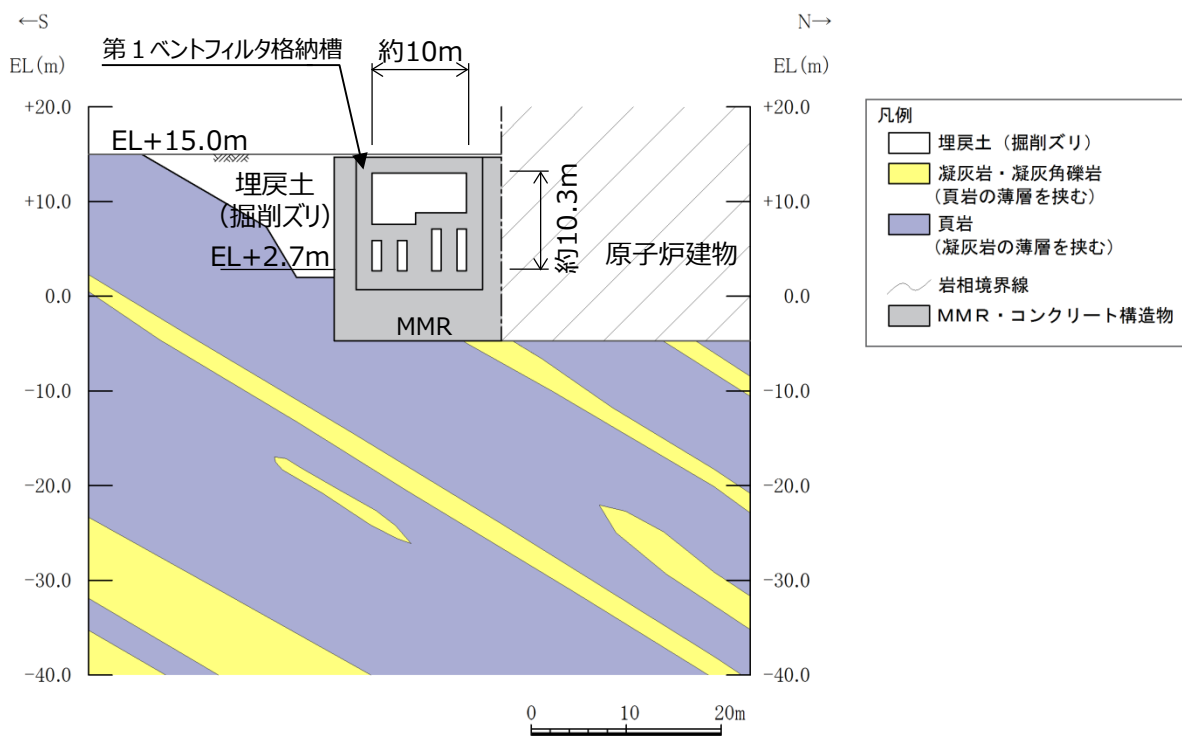
第6-2-29 図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (①-①断面)



第6-2-30 図 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (②-②断面)



第6-2-31 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (①-①断面)



第6-2-32 図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (②-②断面)

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 6-2-33 図に、平面図を第 6-2-34 図に、縦断図を第 6-2-35 図に、断面図を第 6-2-36 図に、地質断面図を第 6-2-37 図にそれぞれ示す。

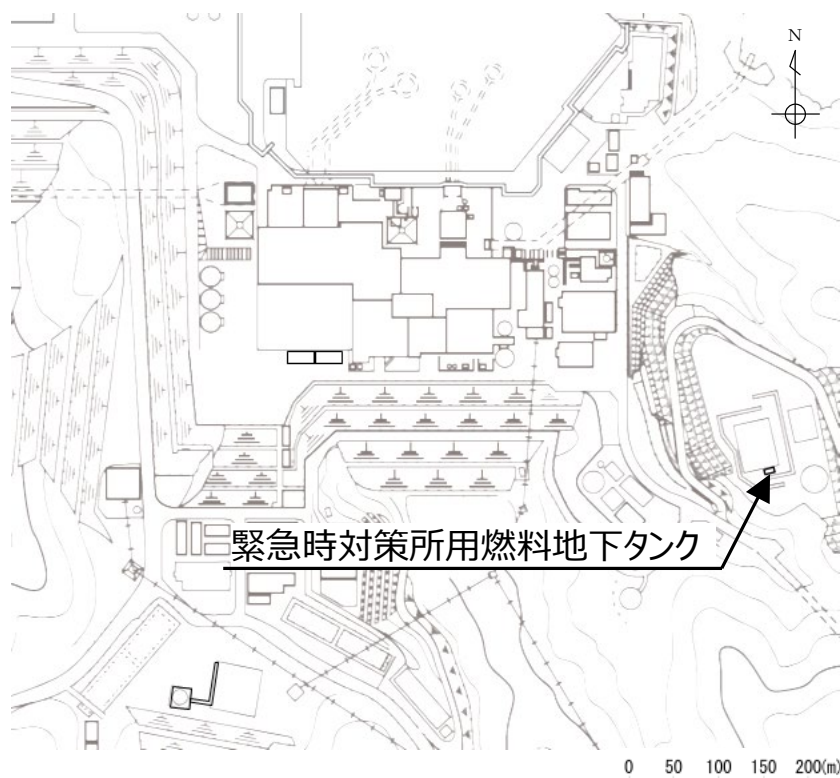
緊急時対策所用燃料地下タンクは、非常用発電装置に係る燃料の貯蔵機能が要求される。

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。

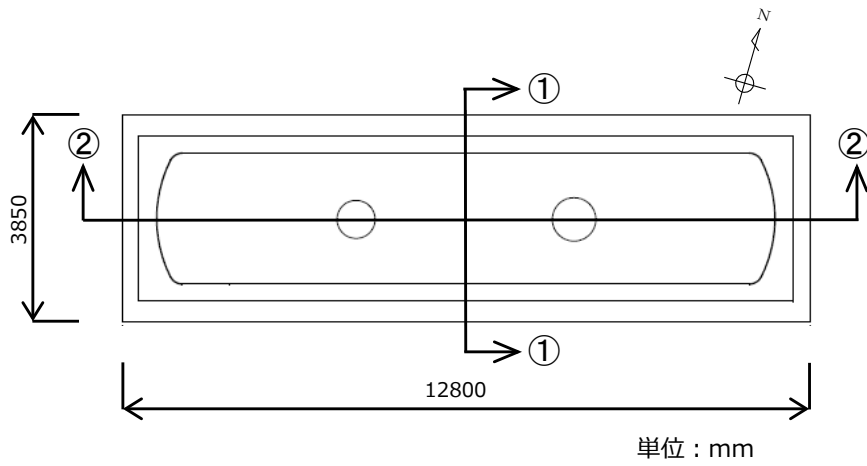
緊急時対策所用燃料地下タンクは、主に CM 級岩盤に直接支持されている。

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。

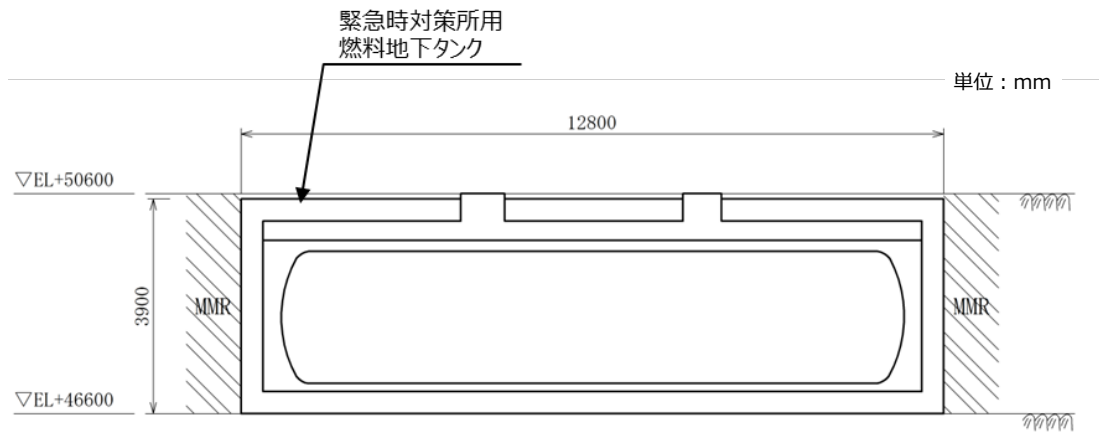
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



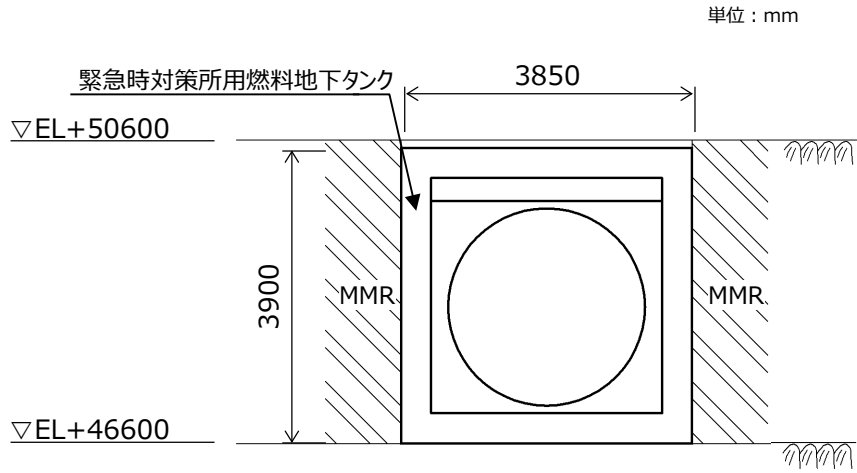
第 6-2-33 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 配置図



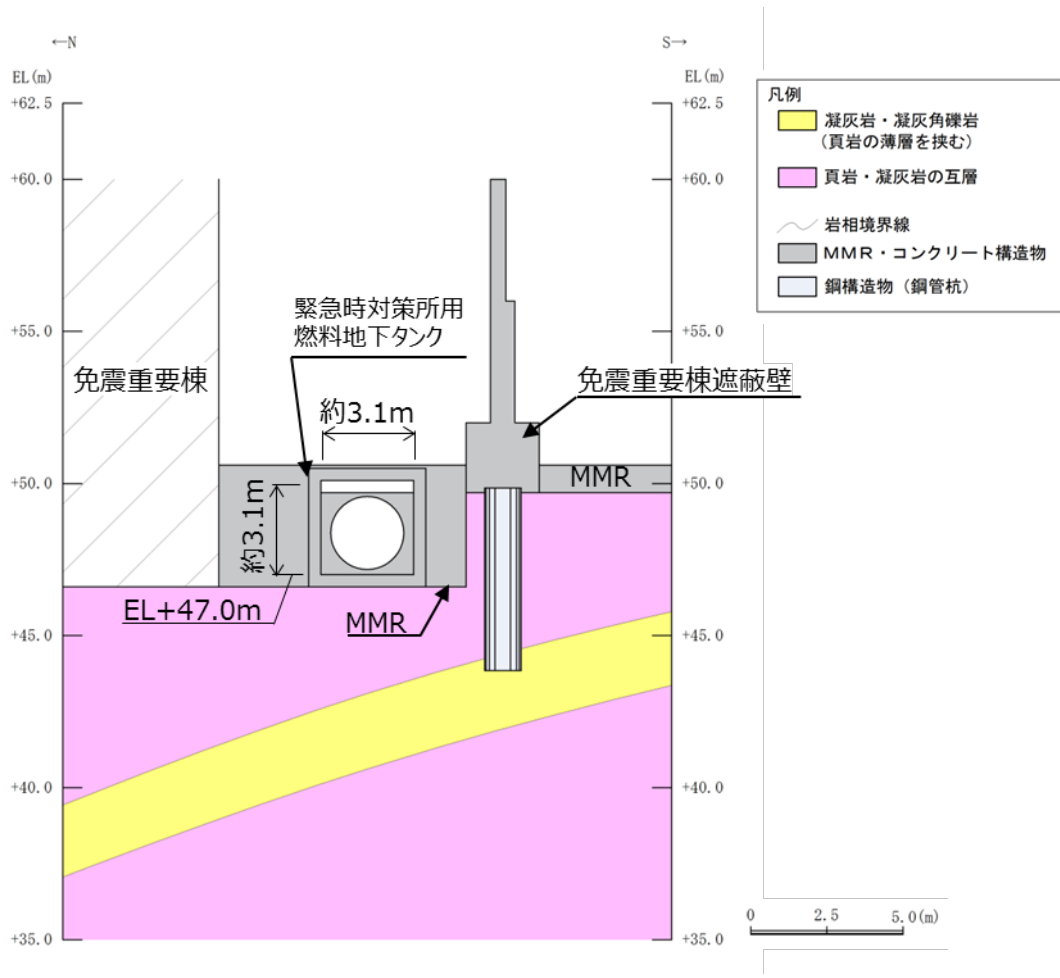
第 6-2-34 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図



第 6-2-35 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 縦断図 (②-②断面)



第 6-2-36 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (①-①断面)



第 6-2-37 図 緊急時対策所用燃料地下タンク 地質断面図 (①-①断面)

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6-2-38図に、平面図を第6-2-39図に、縦断図を第6-2-40図に、断面図を第6-2-41図～第6-2-43図に、地質断面図を第6-2-44図にそれぞれ示す。

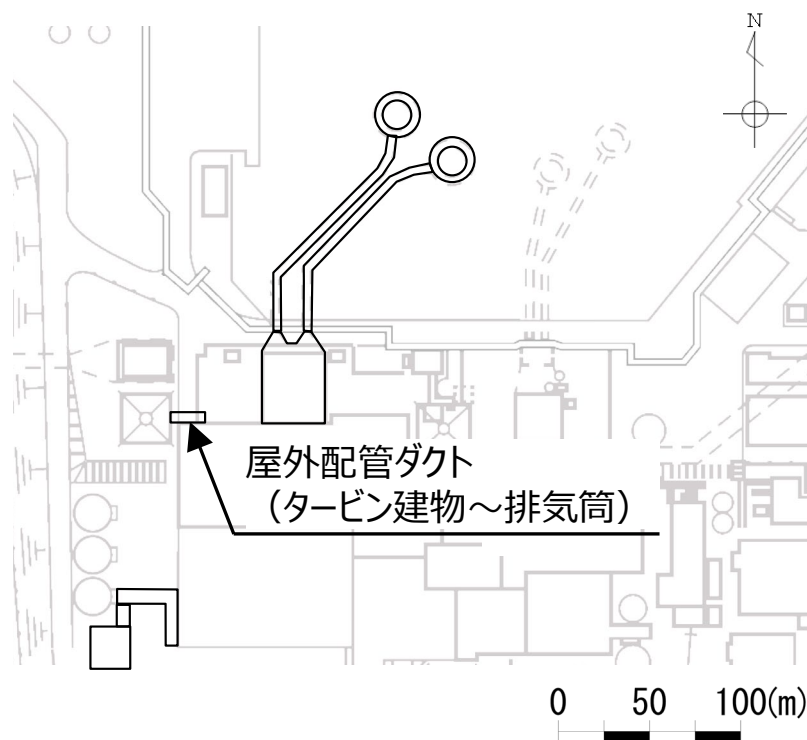
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、Sクラス設備である非常用ガス処理系配管・弁等の間接支持機能が要求される。

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6-2-41図～第6-2-43図）。

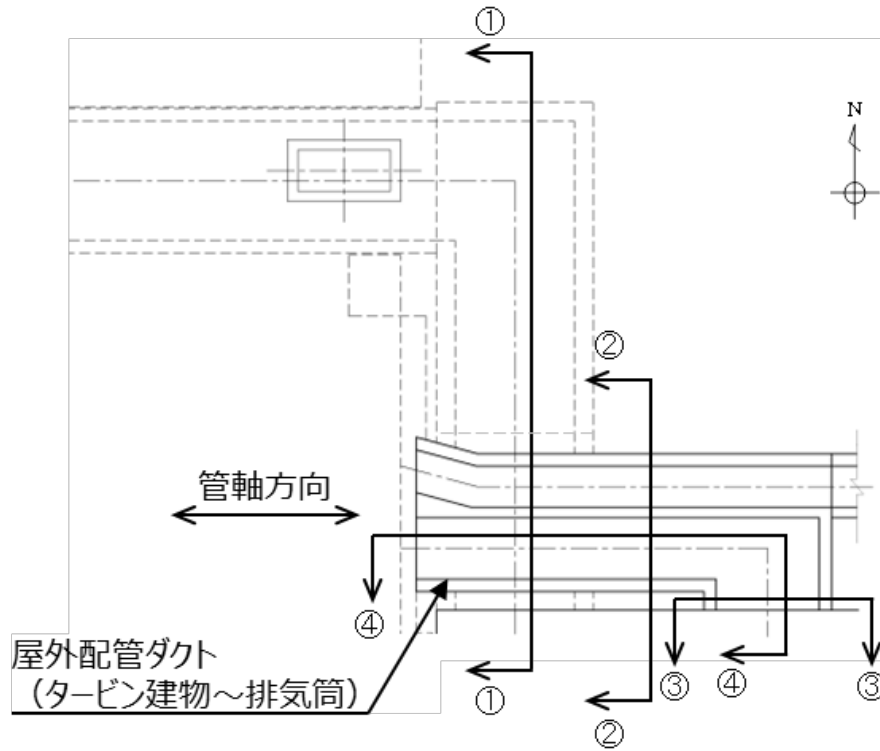
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）はMMRを介して主にCH級岩盤に支持されている。

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り、管軸直交方向が弱軸となる。

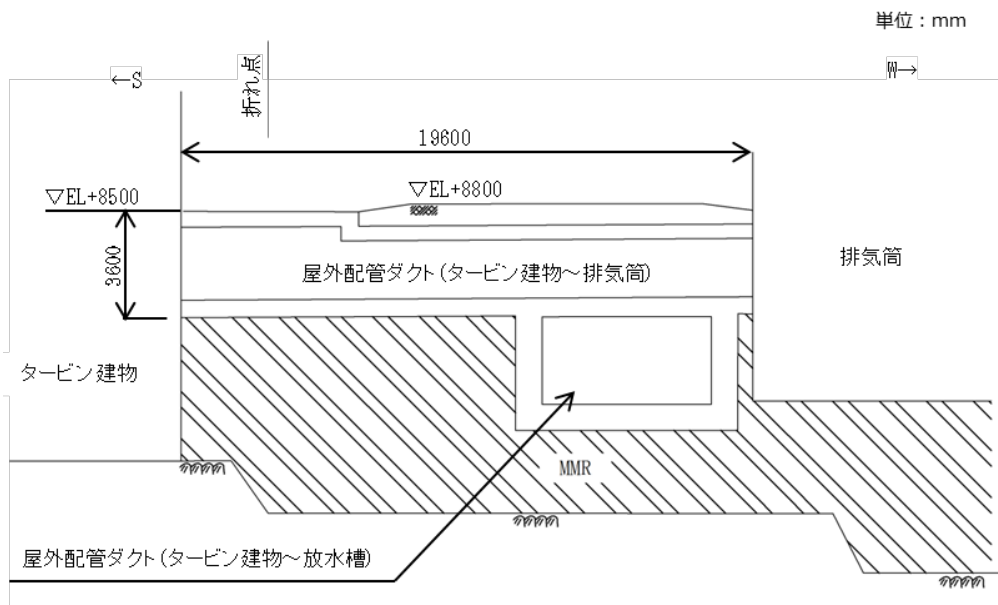
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



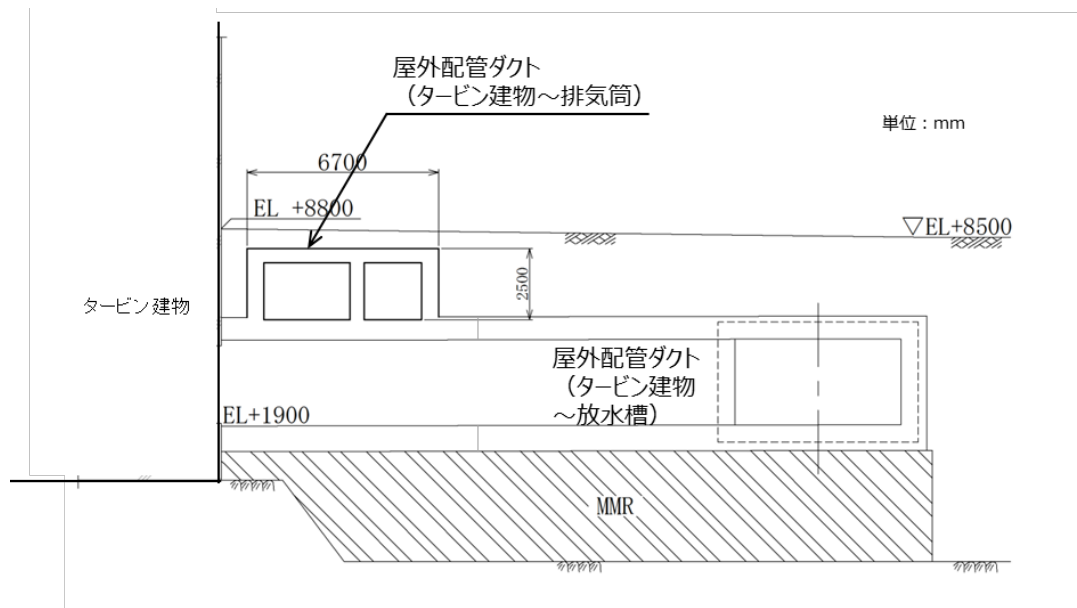
第6-2-38図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 配置図



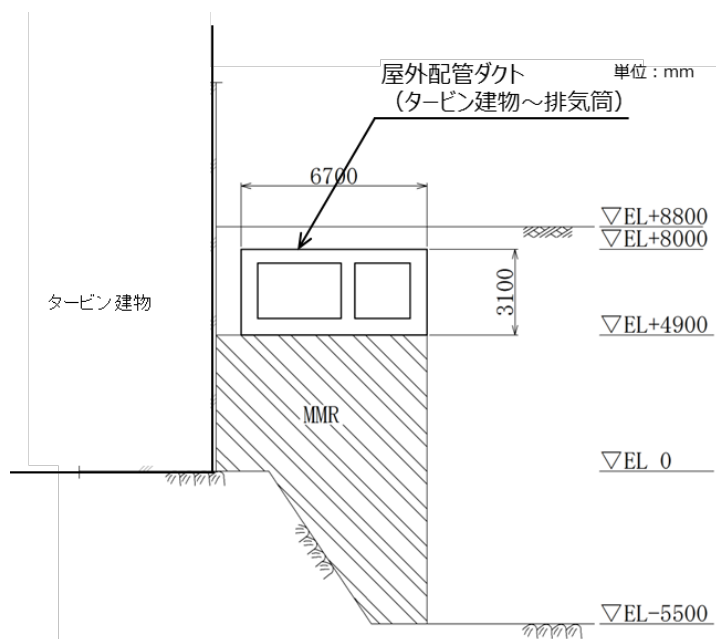
第 6-2-39 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 平面図



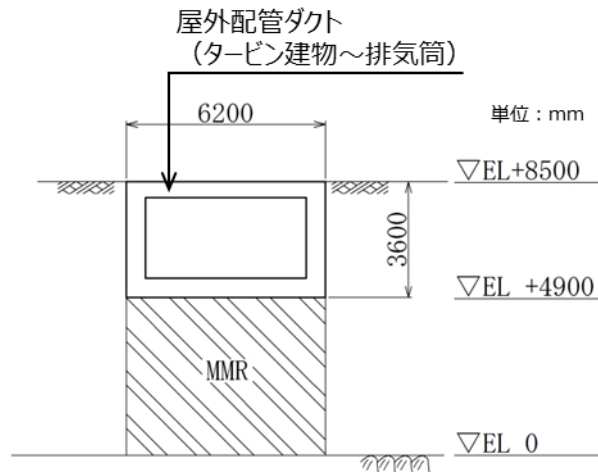
第 6-2-40 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦断図 (④-④断面)



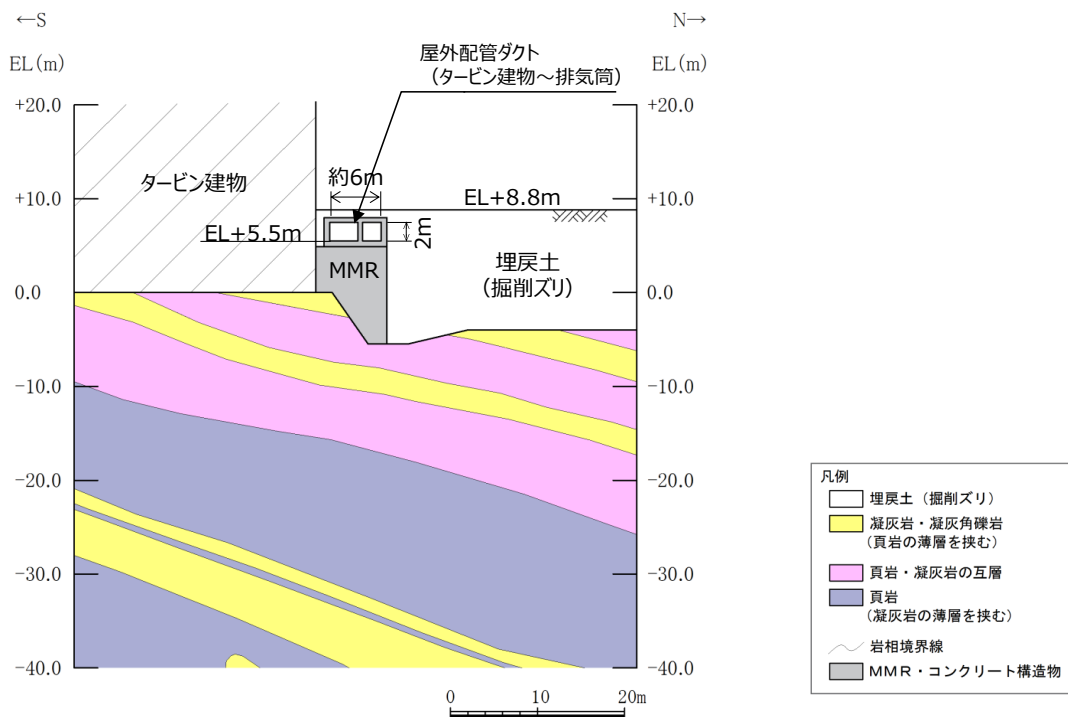
第6-2-41 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)
断面図 (①-①断面)



第6-2-42 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 6-2-43 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 6-2-44 図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)
地質断面図 (②-②断面)

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6-2-45図に、平面図を第6-2-46図に、縦断図を第6-2-47図に、断面図を第6-2-48図～第6-2-49図に、地質断面図を第6-2-50図にそれぞれ示す。

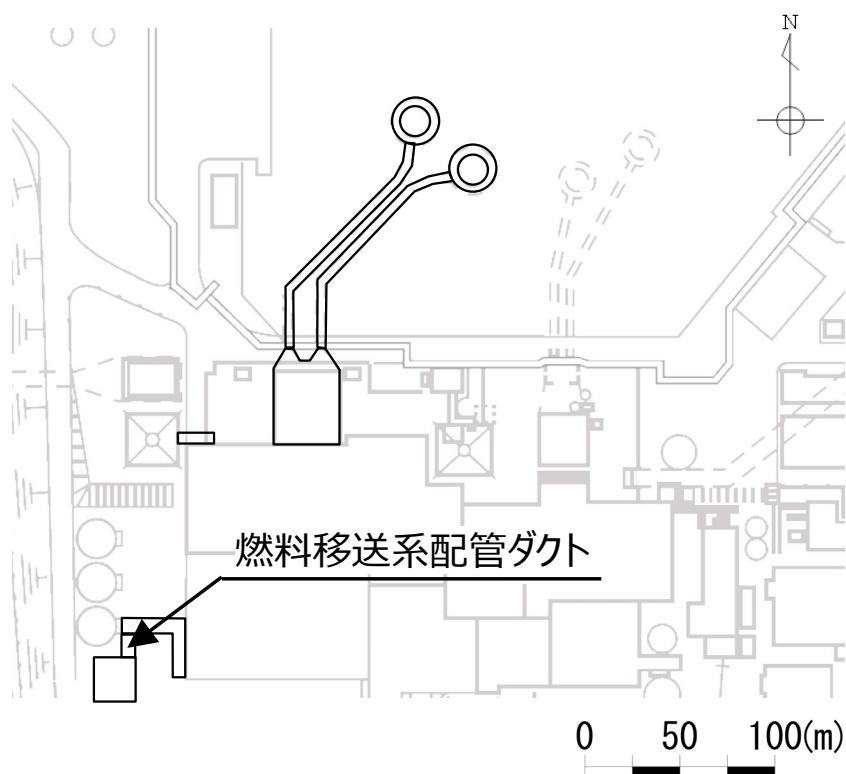
燃料移送系配管ダクトは、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁の間接支持機能が要求される。

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6-2-48図～第6-2-49図）。

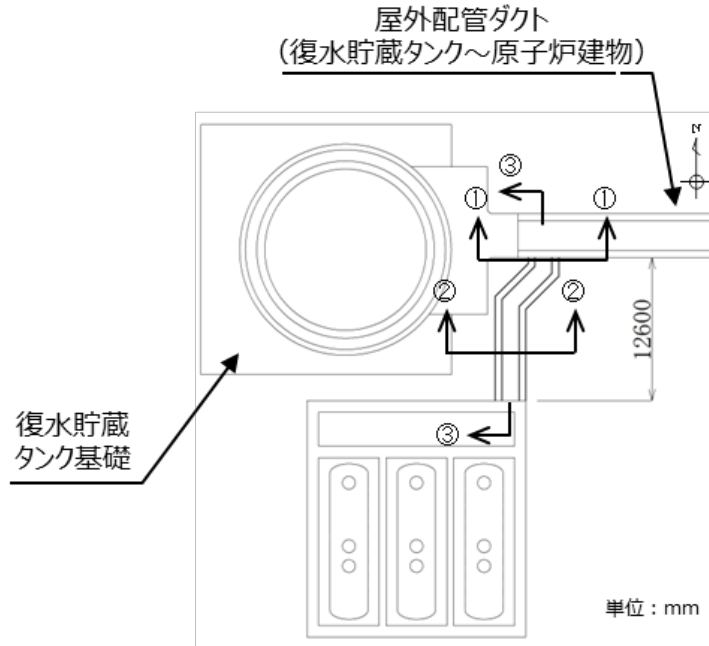
燃料移送系配管ダクトは、一部MMRを介して主にCM級岩盤に支持されている。

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り、管軸直交方向が弱軸となる。

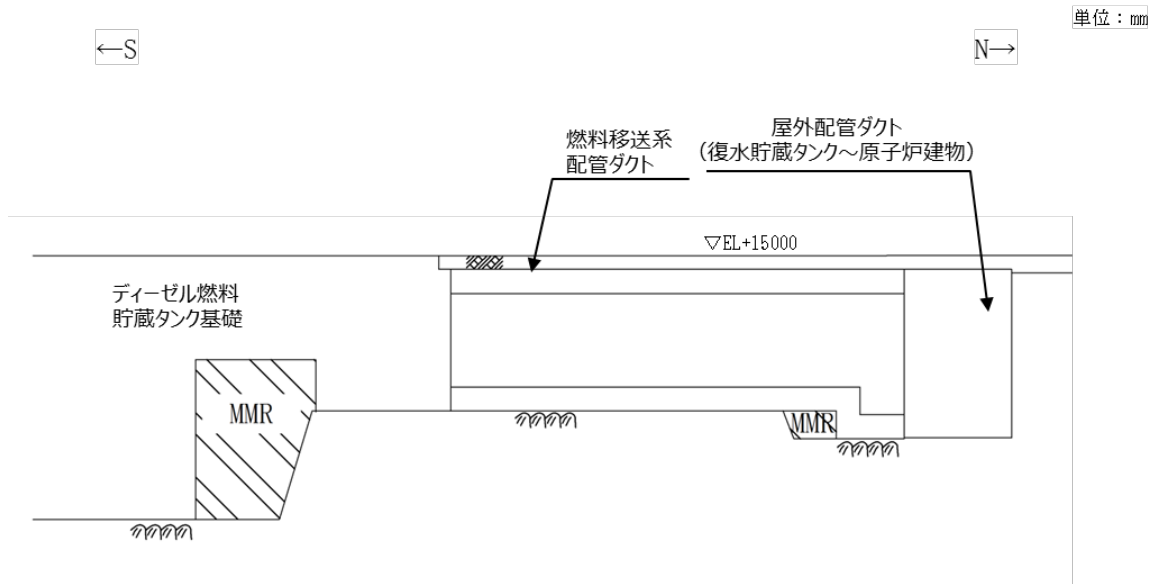
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



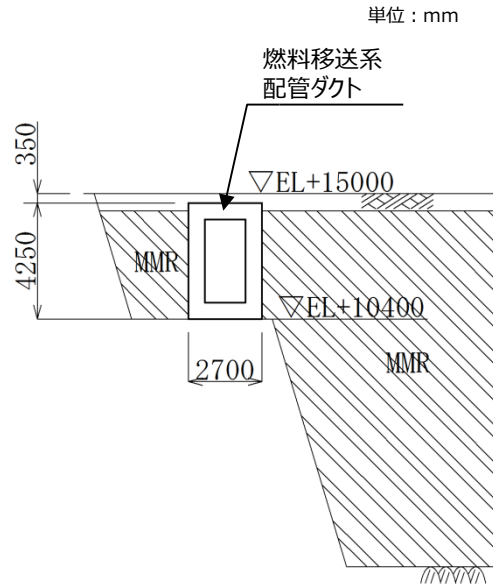
第6-2-45図 燃料移送系配管ダクト 配置図



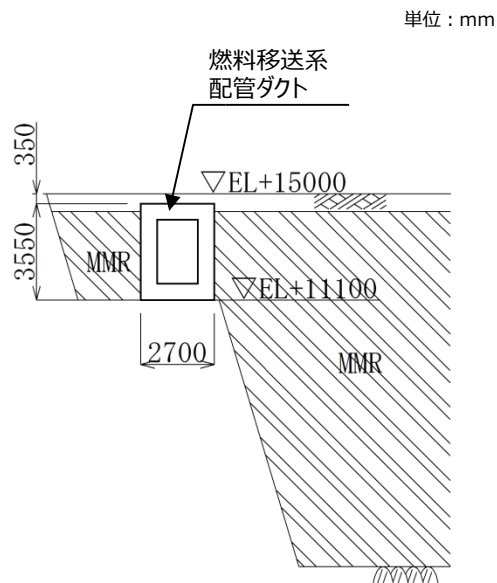
第 6-2-46 図 燃料移送系配管ダクト 平面図



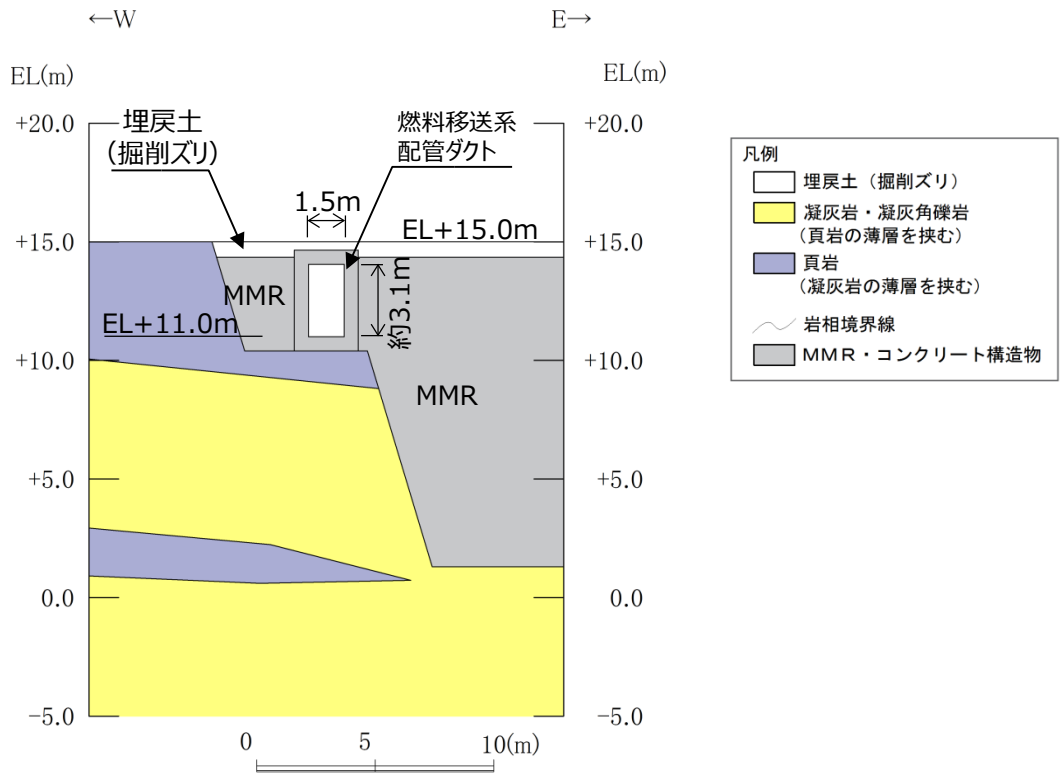
第 6-2-47 図 燃料移送系配管ダクト 縦断図 (③-③断面)



第6-2-48図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (①-①断面)



第6-2-49図 燃料移送系配管ダクト 断面図 (②-②断面)



第6-2-50 図 燃料移送系配管ダクト 地質断面図 (①-①断面)

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 6-2-51 図に、平面図を第 6-2-52 図に、縦断図を第 6-2-53 図に、断面図を第 6-2-54 図～第 6-2-57 図に、地質断面図を第 6-2-58 図～第 6-2-59 図にそれぞれ示す。

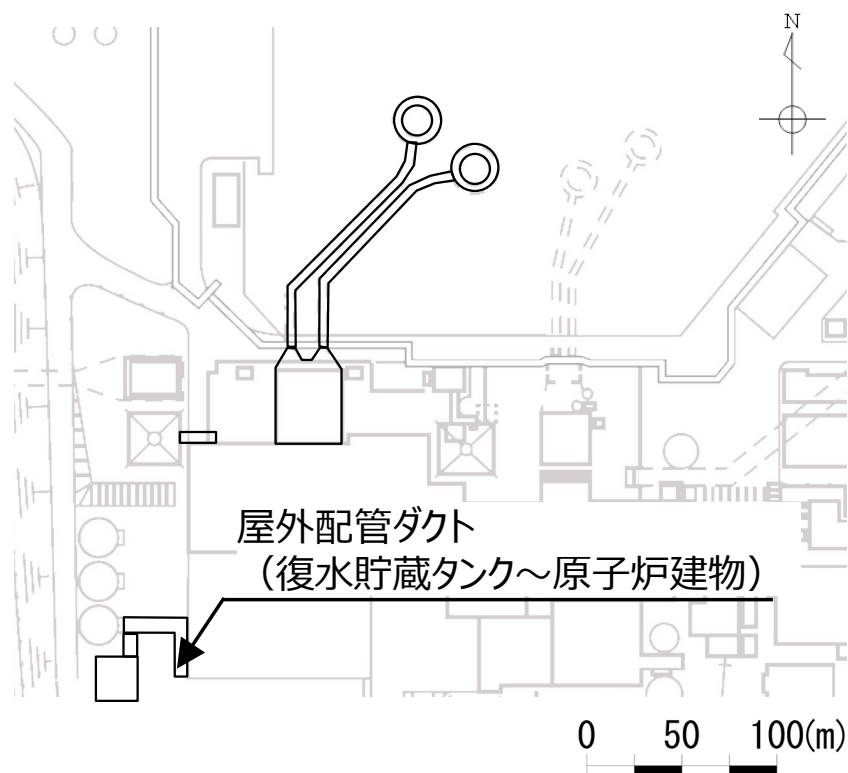
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管・弁の間接支持機能が要求される。

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 6-2-54 図～第 6-2-57 図）。

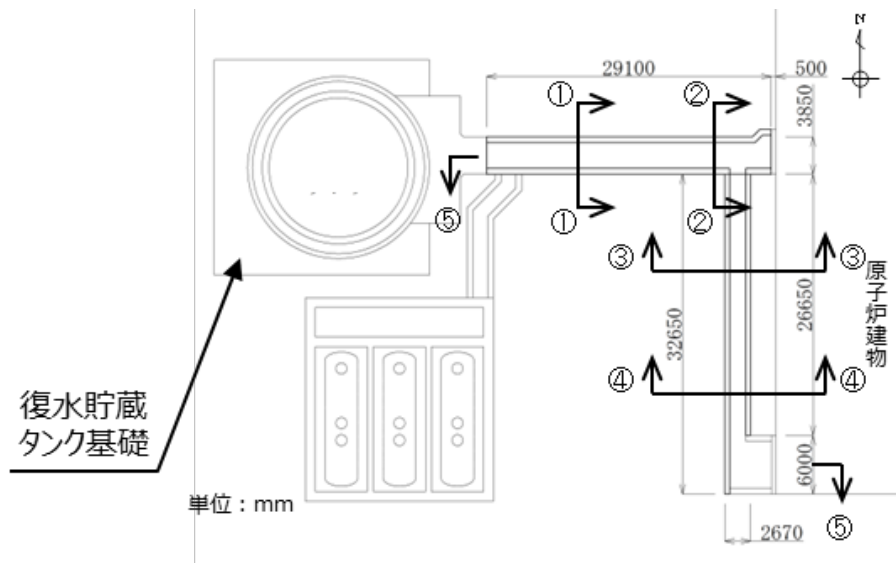
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は MMR を介して主に CM 級地盤に支持されている。

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り、管軸直交方向が弱軸となる。

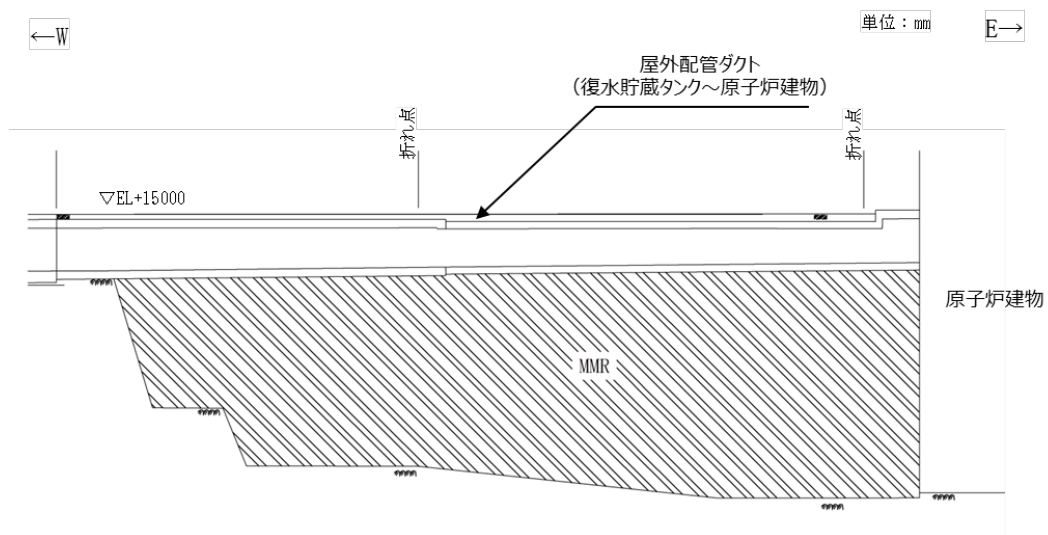
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



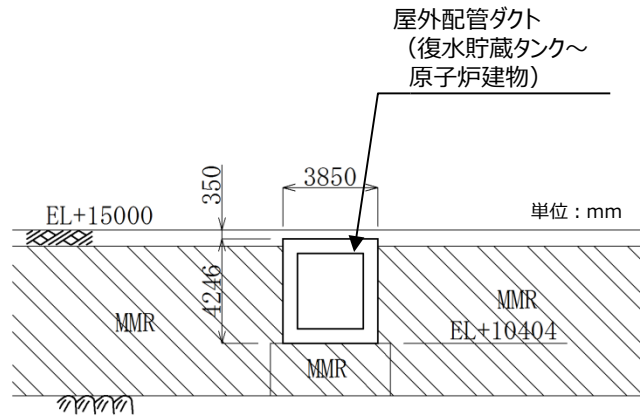
第 6-2-51 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 配置図



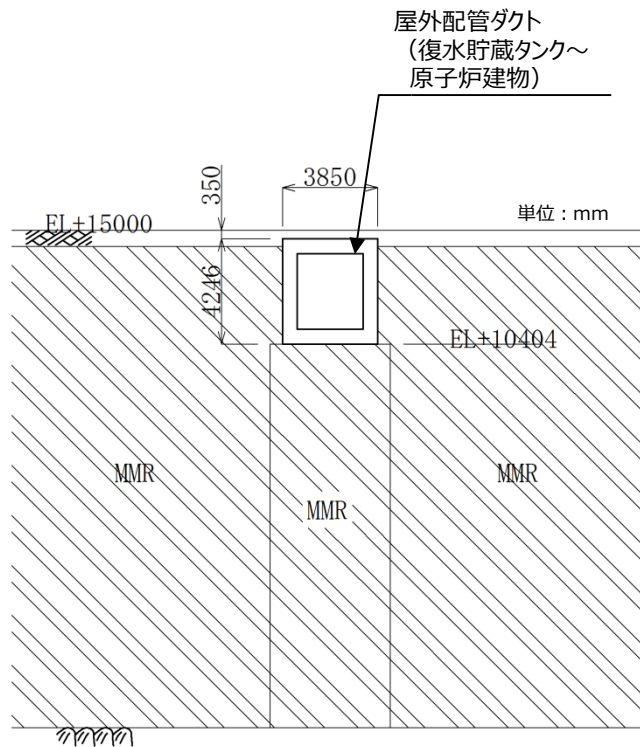
第 6-2-52 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 平面図



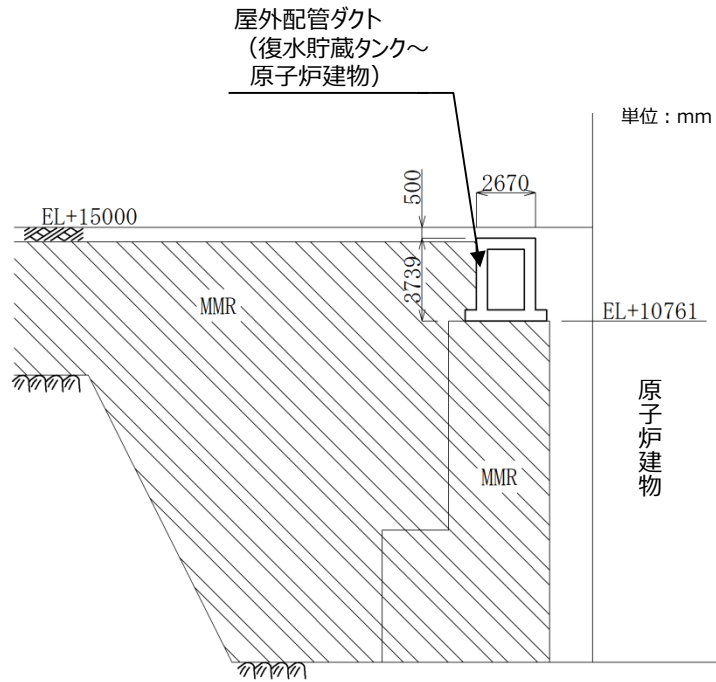
第 6-2-53 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 縦断面図
（⑤-⑤断面）



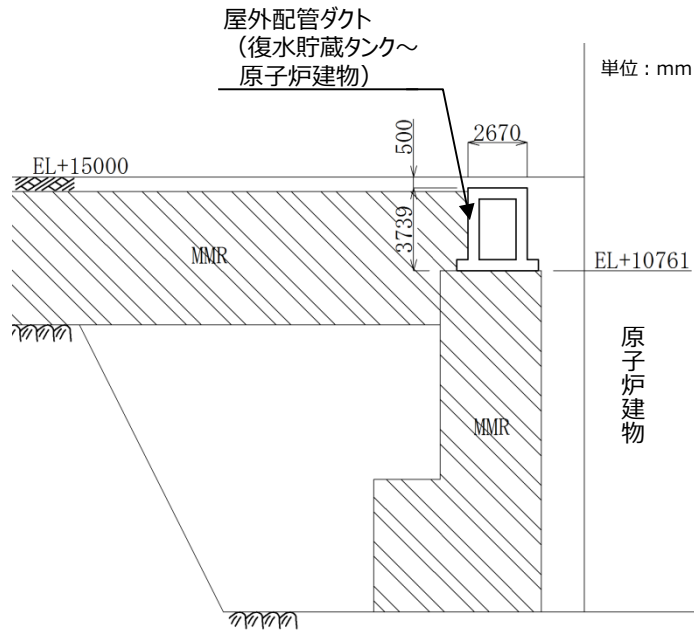
第 6-2-54 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図
(①-①断面)



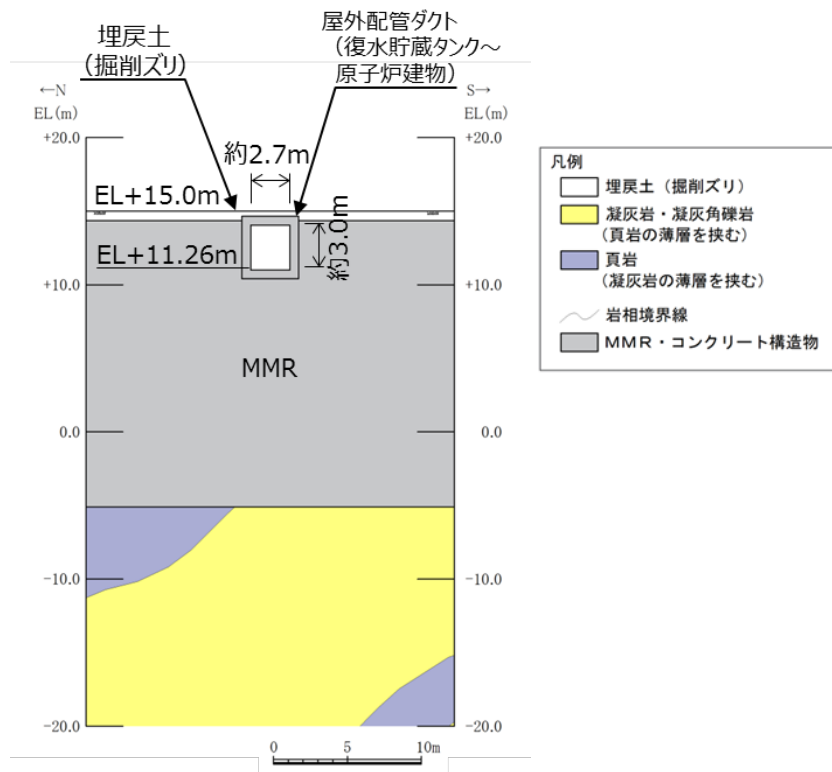
第 6-2-55 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図
(②-②断面)



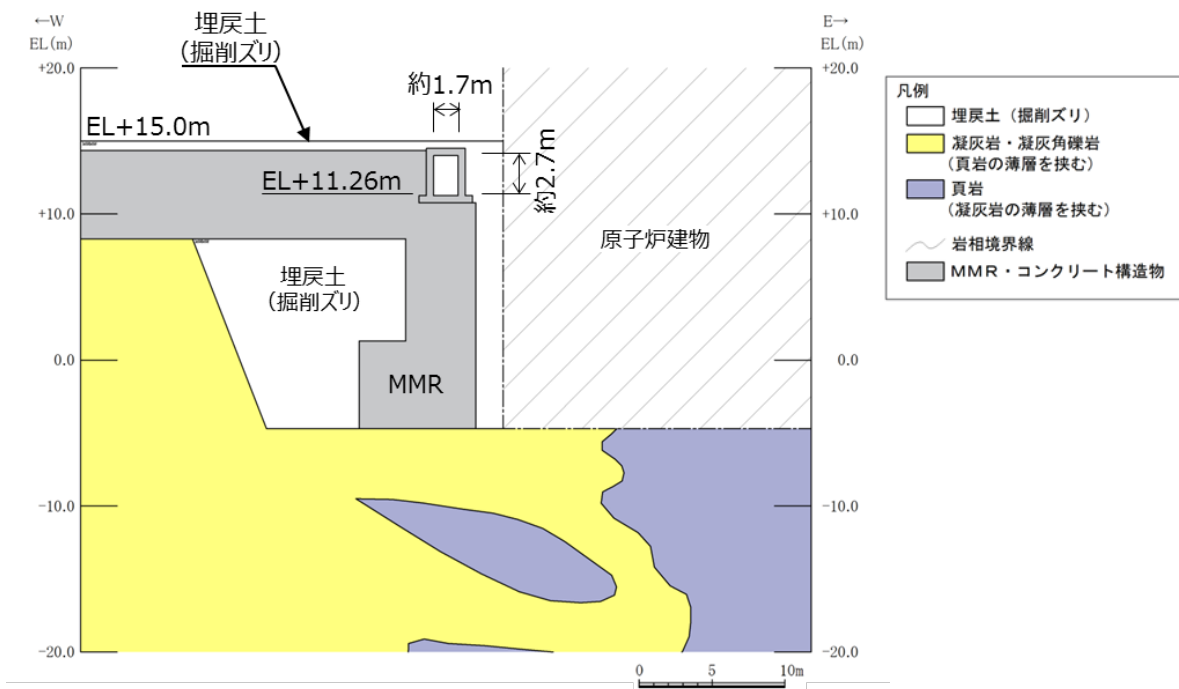
第 6-2-56 図 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図
(③-③断面)



第 6-2-57 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 6-2-58 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 6-2-59 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)

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6-2-60図に、平面図を第6-2-61図に、縦断図を第6-2-62図に、断面図を第6-2-63図に、地質断面図を第6-2-64図にそれぞれ示す。

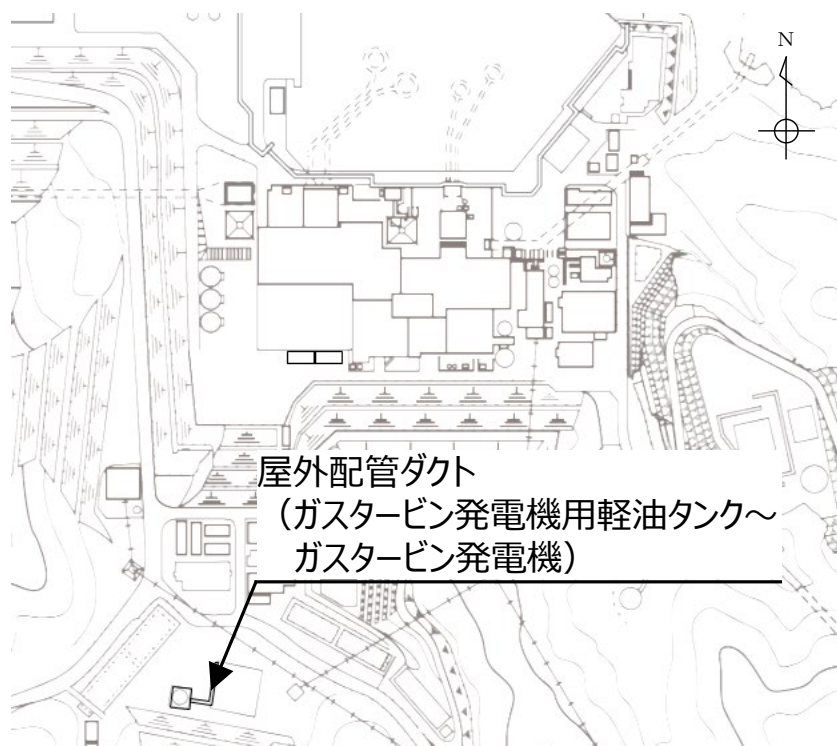
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、Sクラス設備であるガスタービン発電機用燃料移送配管・弁の間接支持機能が要求される。

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6-2-63図）。

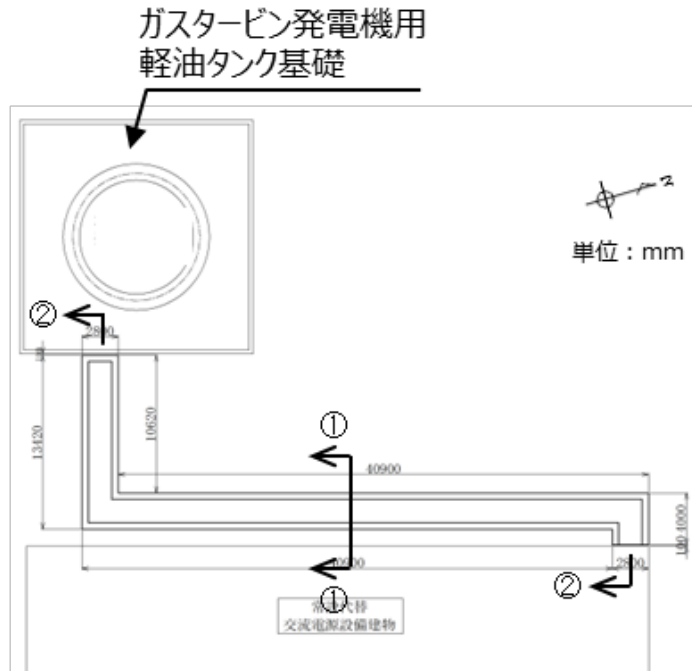
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、MMRを介して主にCM級岩盤に支持されている。

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り、管軸直交方向が弱軸となる。

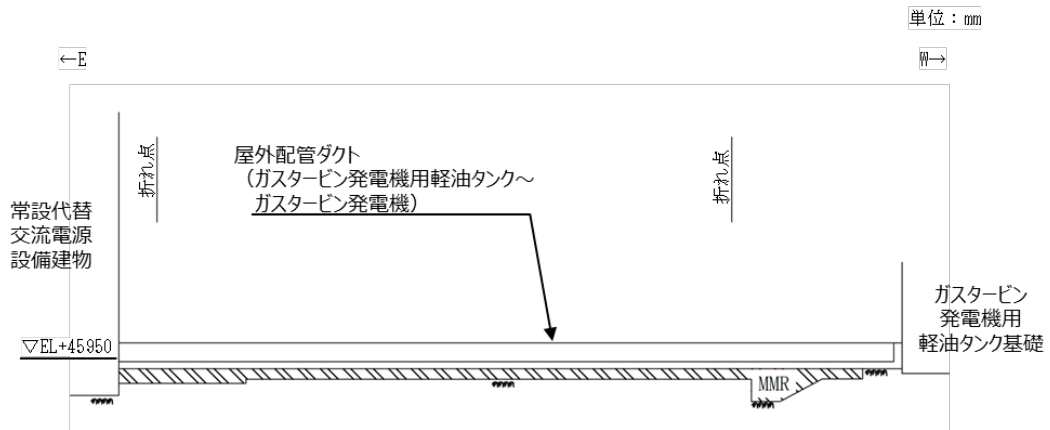
よって、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を考慮して断面を整理し、地震応答解析により耐震評価を行う上で、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



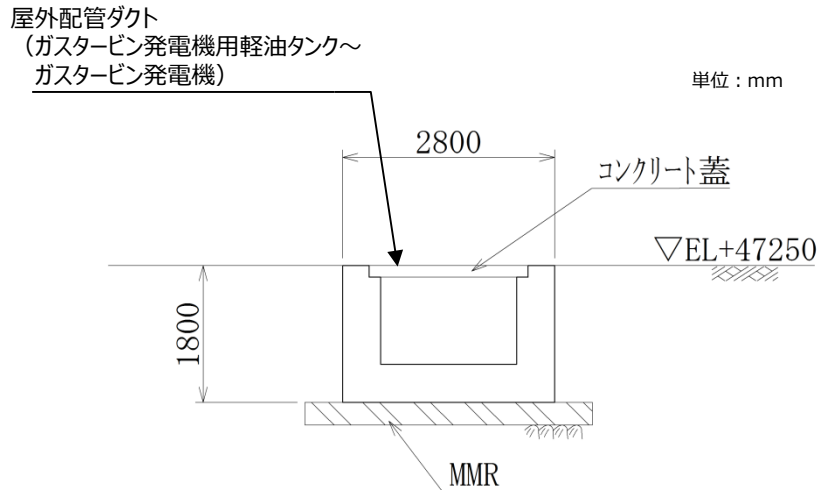
第6-2-60図 屋外配管ダクト
（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機） 配置図



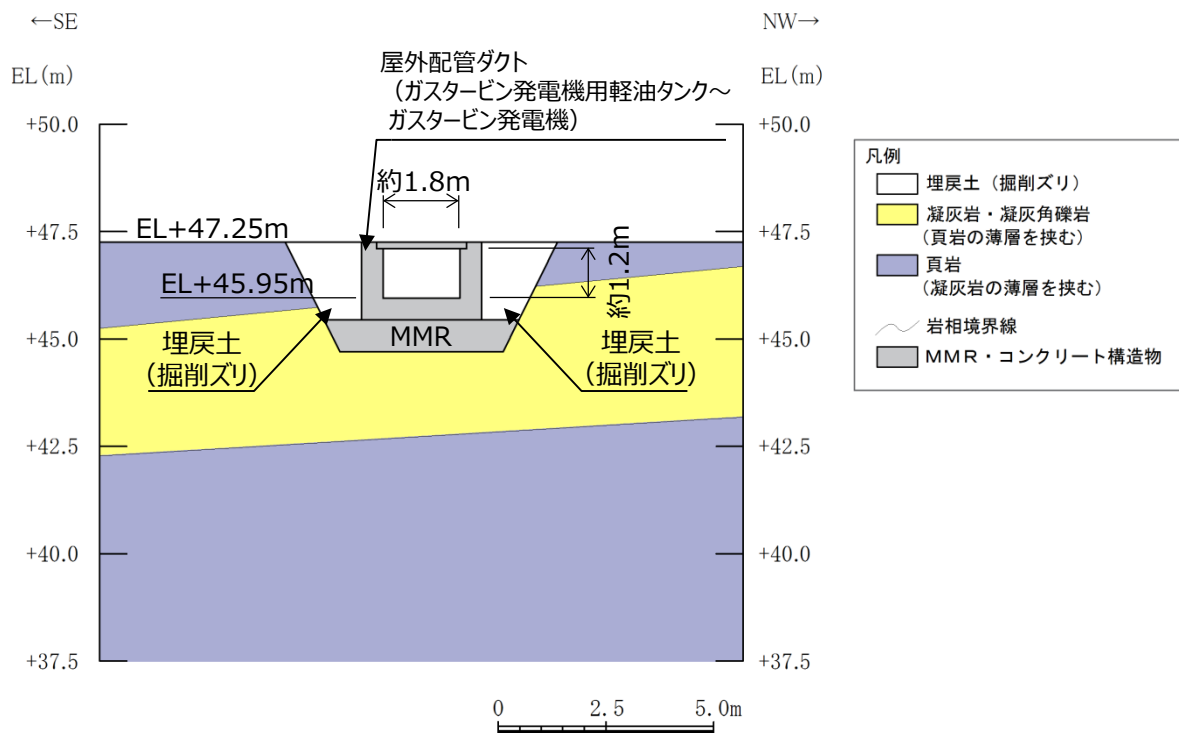
第 6-2-61 図 屋外配管ダクト
 (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 平面図



第 6-2-62 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
 (②-②断面)



第 6-2-63 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 6-2-64 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
(①-①断面)

2.11 取水口

取水口の配置図を第 6-2-65 図に、平面図を第 6-2-66 図に、断面図を第 6-2-67 図～第 6-2-68 図に、地質断面図を第 6-2-69 図にそれぞれ示す。

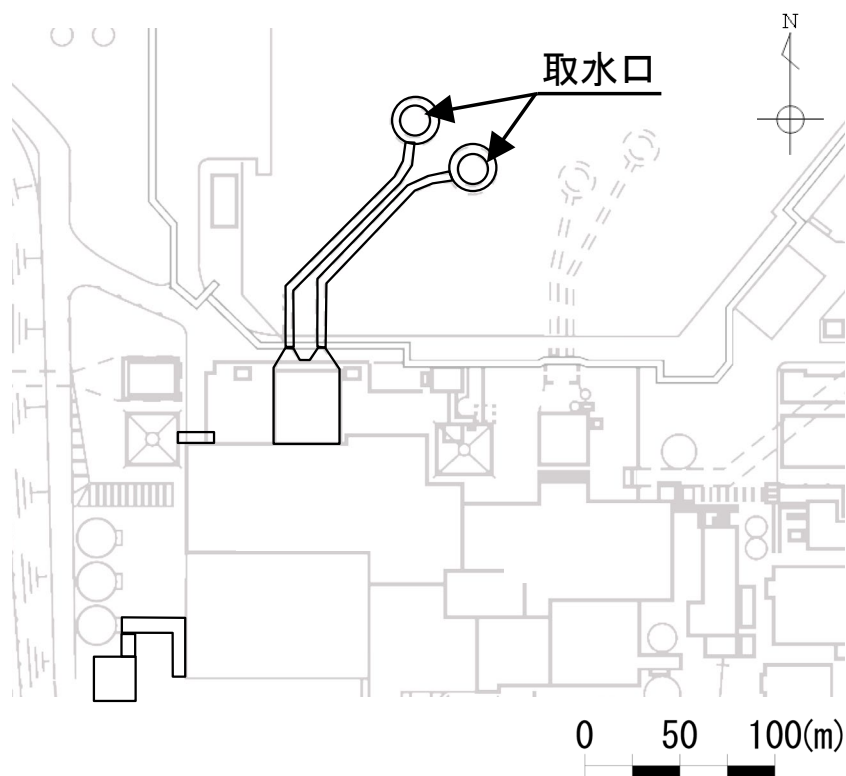
取水口は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

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。

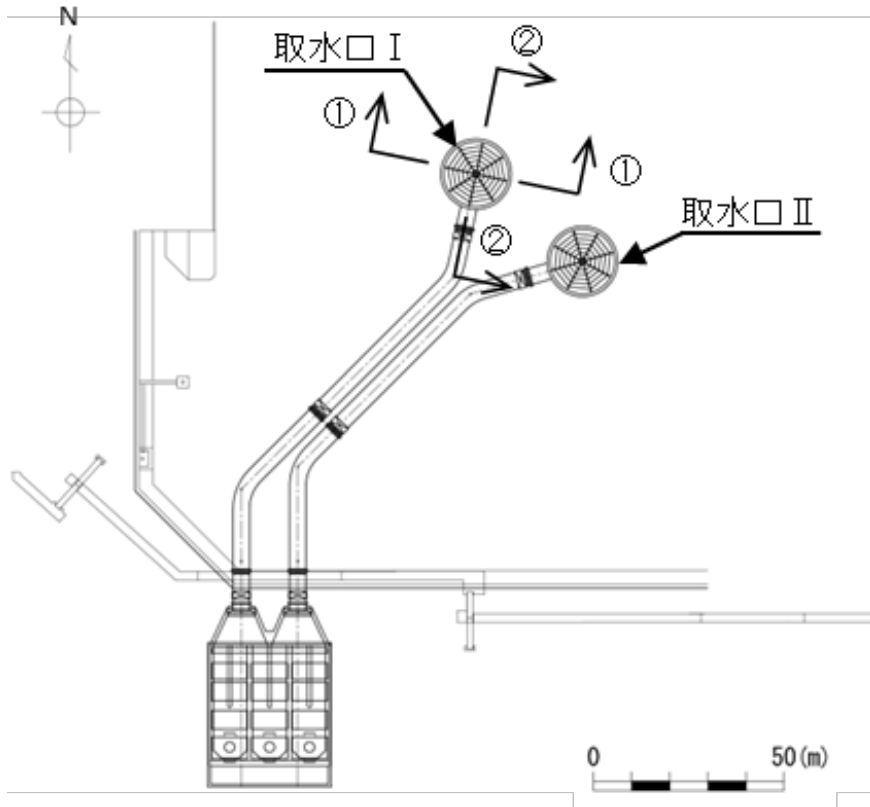
取水口は主に CM 級岩盤に直接支持されている。

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。

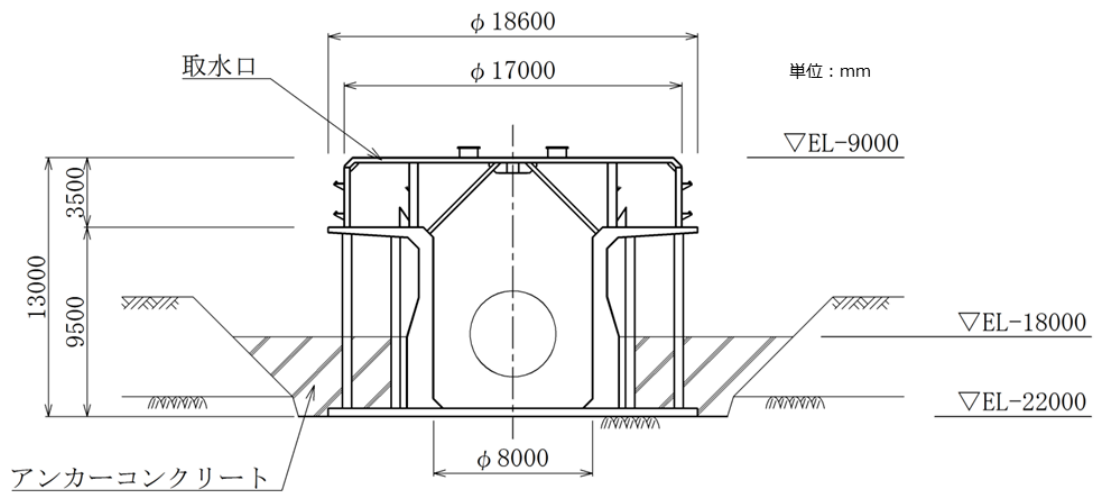
よって、取水口の評価対象断面の選定においては、構造物中央を通る断面から、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



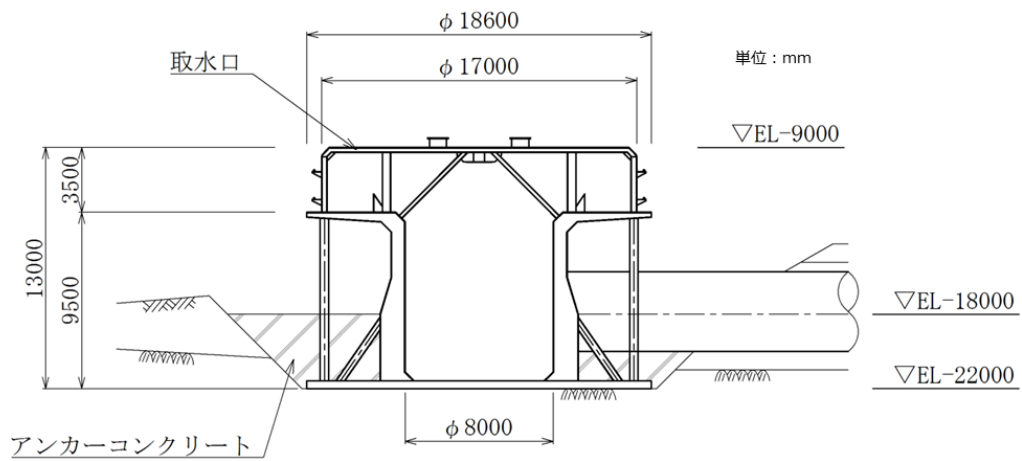
第 6-2-65 図 取水口 配置図



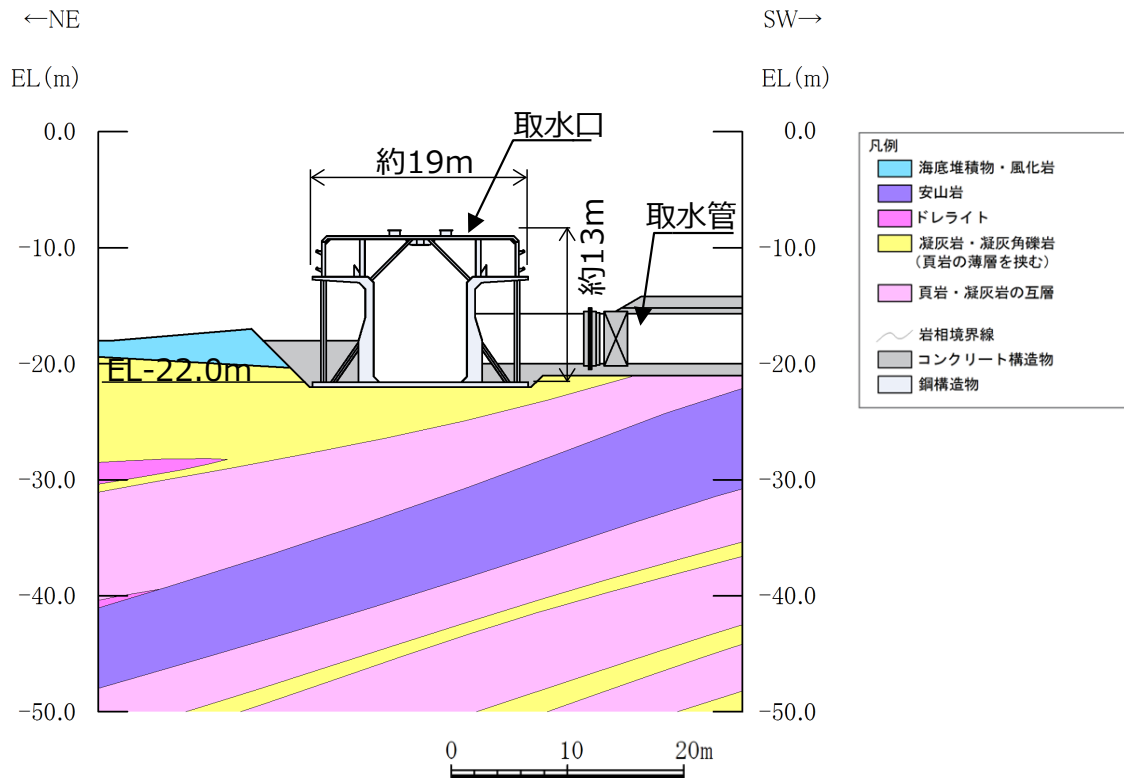
第 6-2-66 図 取水口 平面図



第 6-2-67 図 取水口 断面図 (①-①断面)



第 6-2-68 図 取水口 断面図 (②-②断面)



第 6-2-69 図 取水口 地質断面図 (②-②断面)

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6-2-70図に、平面図を第6-2-71図に、断面図を第6-2-72図に、地質断面図を第6-2-73図にそれぞれ示す。

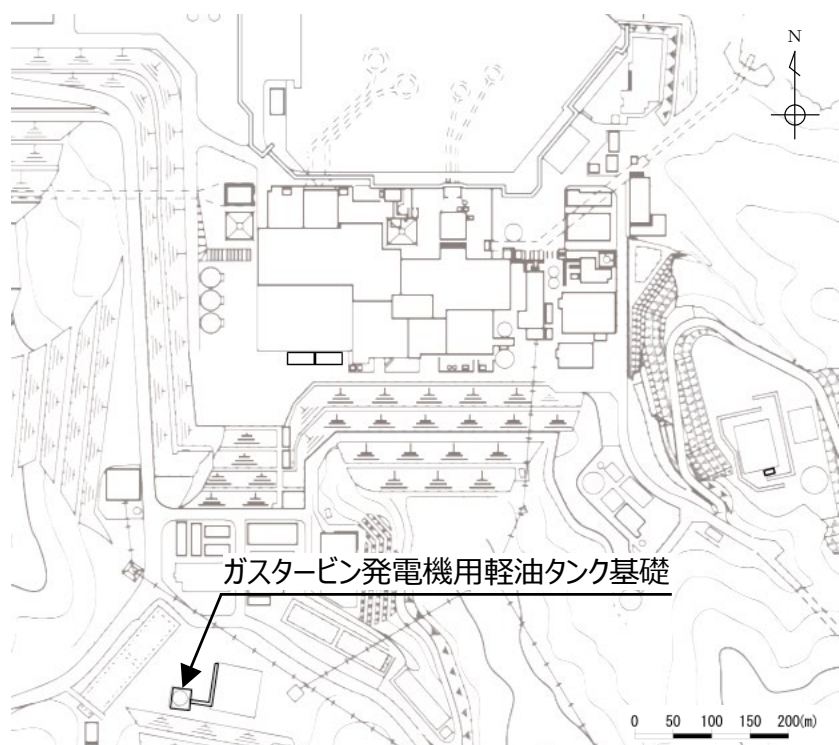
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等の間接支持機能が要求される。

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。

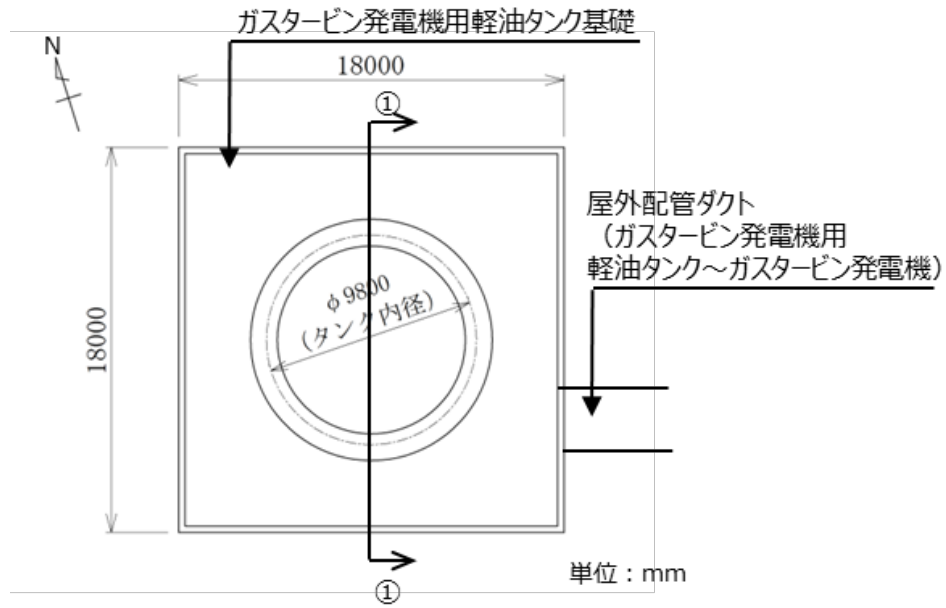
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、MMRを介して主にCM級岩盤に支持されている。

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。

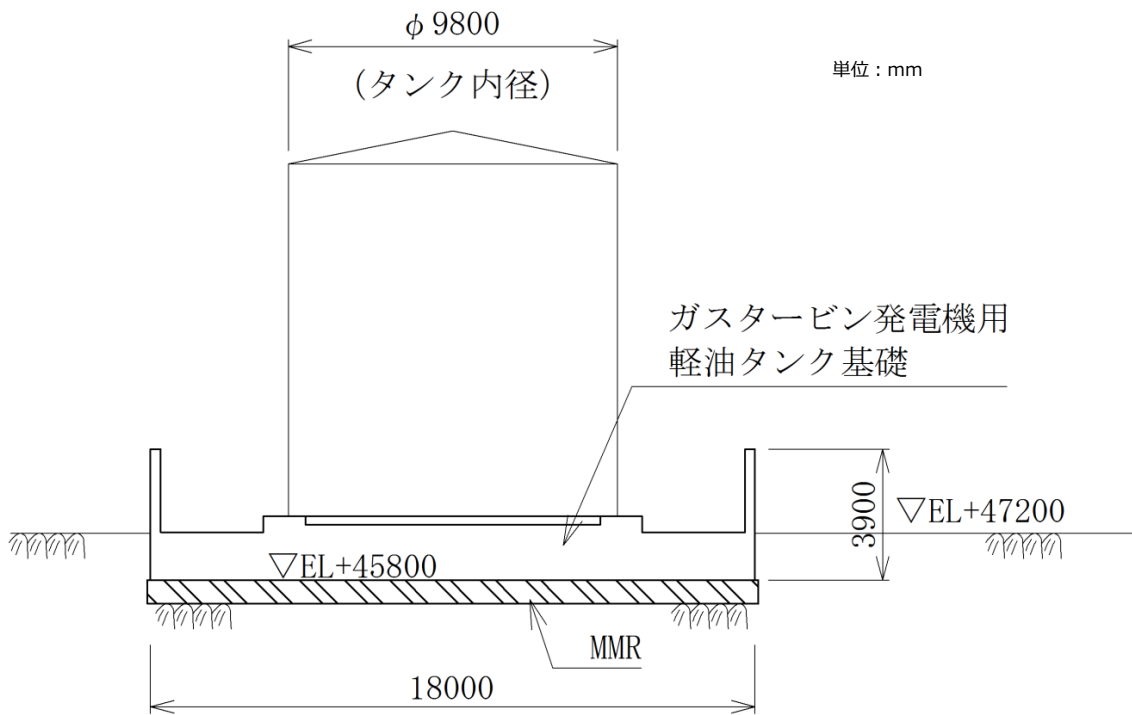
よって、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の評価対象断面の選定においては、構造物中央を通る断面から、耐震評価を行う上で、構造的特徴、周辺状況等を考慮して、耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面とする。



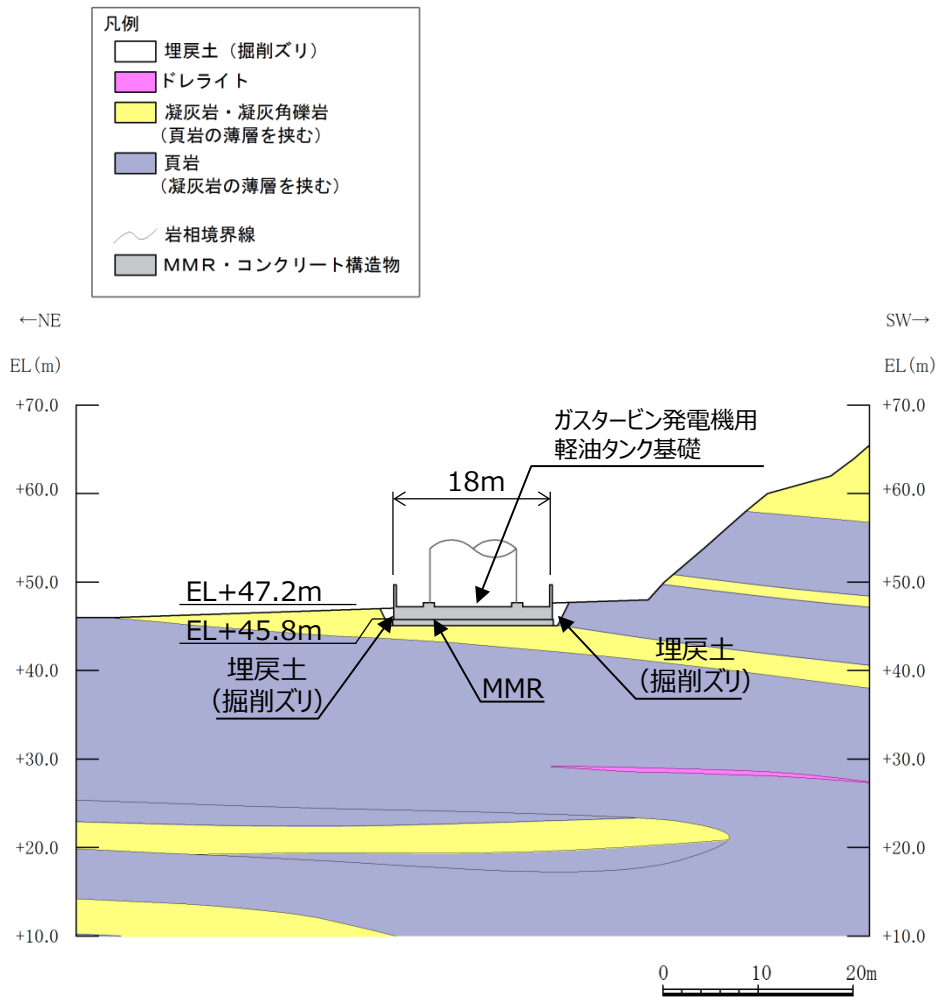
第6-2-70図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 配置図



第6-2-71 図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図



第6-2-72 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6-2-73 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)

2.13 取水管

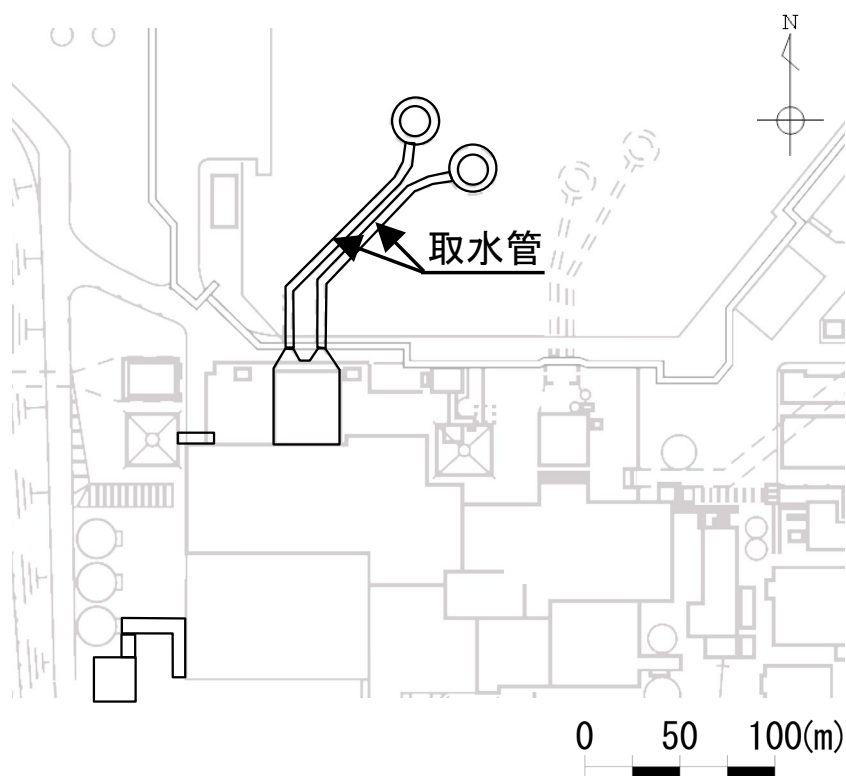
取水管の配置図を第 6-2-74 図に，平面図を第 6-2-75 図に，縦断図を第 6-2-76 図に，断面図を第 6-2-77 図～第 6-2-78 図に，地質断面図を第 6-2-79 図にそれぞれ示す。

取水管は，非常用取水設備であり，通水機能が要求される。

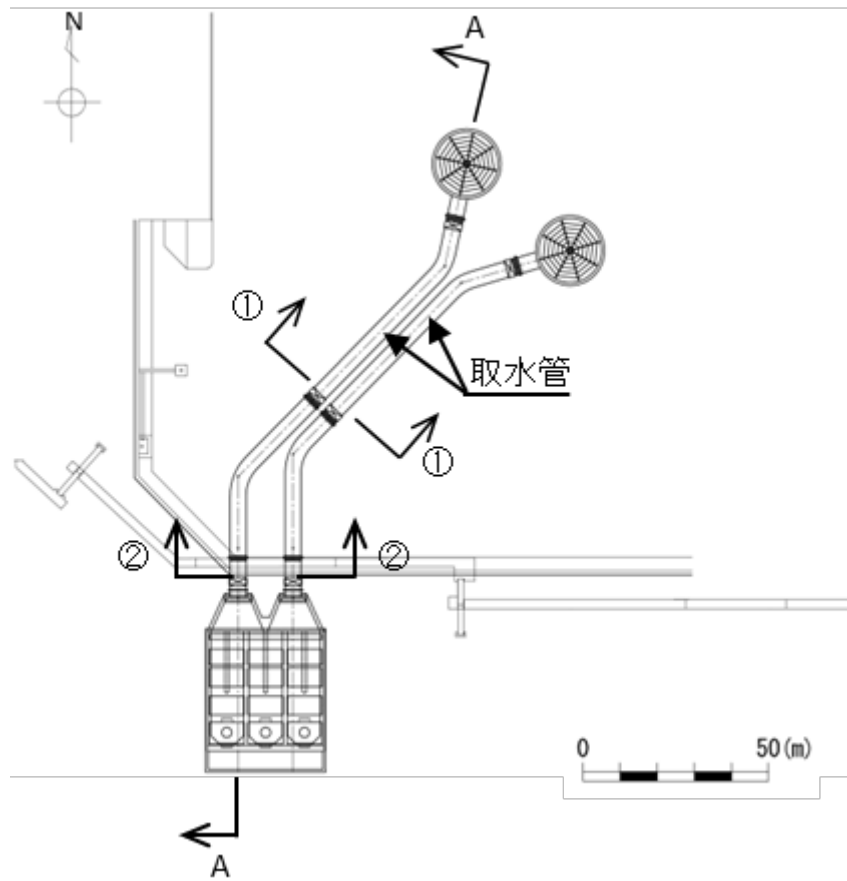
取水管は，取水口と取水槽を結ぶ，管径 $\phi 4,300\text{mm}$ の鋼製の構造物であり，北側より，①-①断面（砕石），②-②断面（巻立コンクリート）により構成され，通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である（第 6-2-77 図～第 6-2-78 図）。

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。

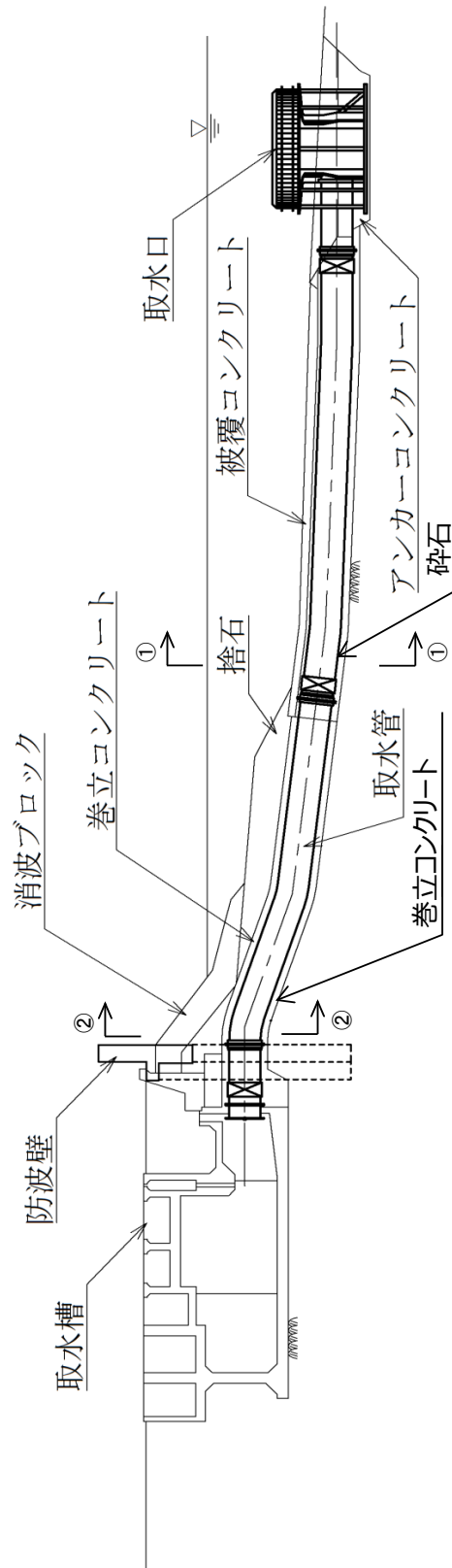
よって，間接支持する設備，構造的特徴，周辺状況及び地震力特性等の観点を考慮して断面を整理し，地震応答解析により耐震評価を行う上で，構造物の床応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。



第 6-2-74 図 取水管 配置図

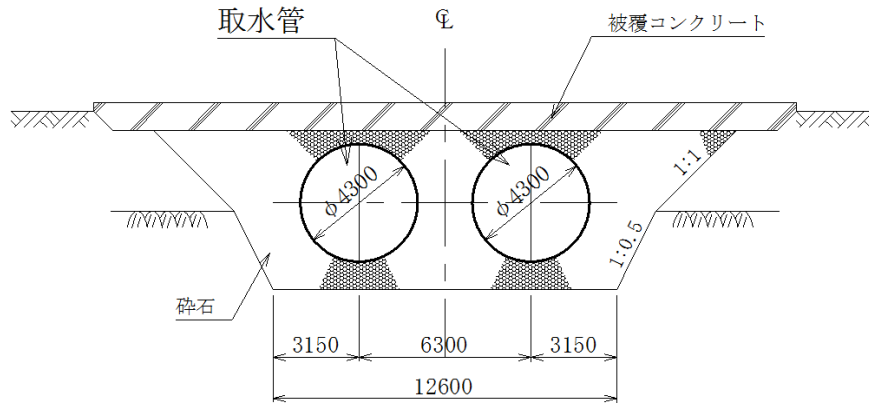


第 6-2-75 図 取水管 平面図



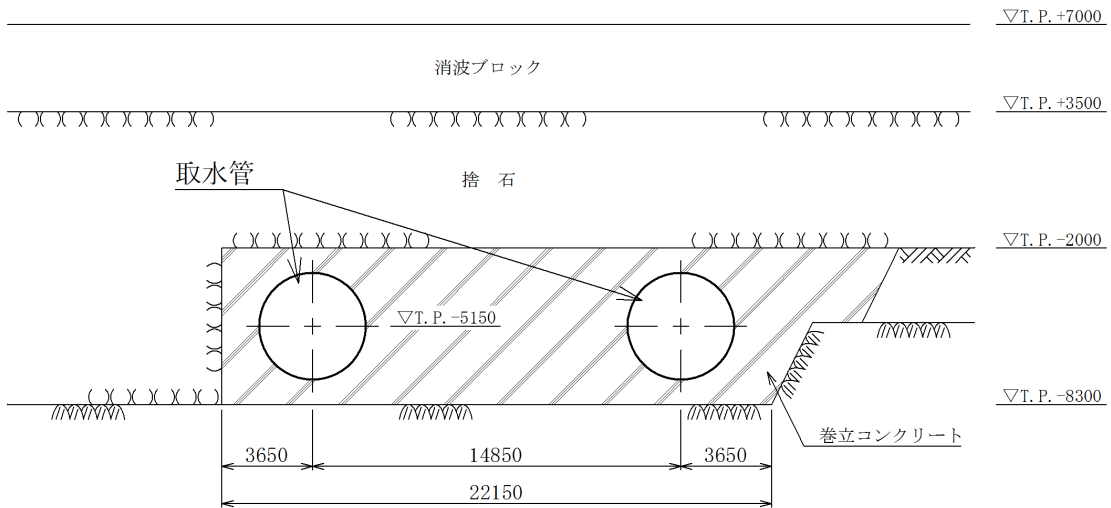
第 6-2-76 図 取水管 縦断図 (A-A断面)

単位：mm

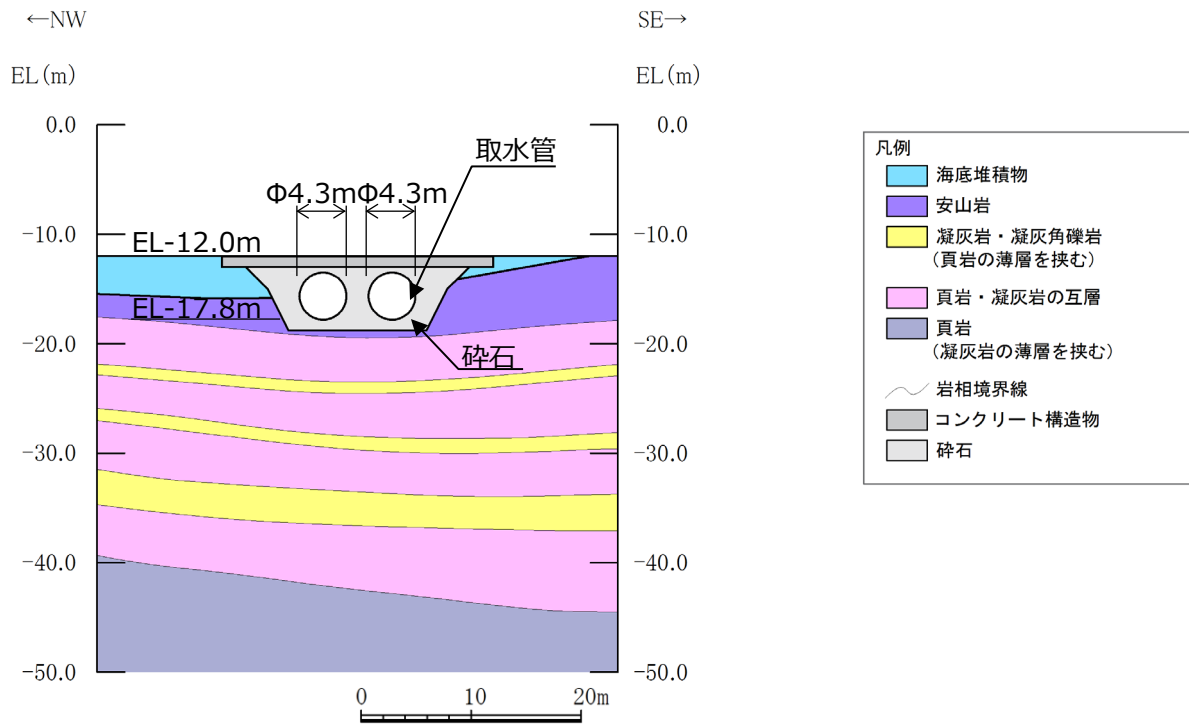


第6-2-77図 取水管 断面図 (①-①断面)

単位：mm



第6-2-78図 取水管 断面図 (②-②断面)



第6-2-79 図 取水管 地質断面図 (①-①断面)