

本資料のうち、枠囲みの内容は防  
護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0610-20_改1
提出年月日	2020年11月11日

補足－610－20 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】

## 目 次

1. 対象設備	1
2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容	2
2.1 支持機能	2
2.2 通水機能	3
2.3 貯水機能	3
2.4 止水機能	4
2.5 屋外重要土木構造物等の耐震安全性に関する整理	4
3. 安全係数	8
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における解析手法選定及び断面選定	13
4.1 方針	13
4.2 原子炉機器冷却海水配管ダクト	22
4.3 排気筒連絡ダクト（土砂部・岩盤部）	32
4.4 軽油タンク連絡ダクト	50
4.5 取水路（標準部・漸拡部）	59
4.6 海水ポンプ室	95
4.7 軽油タンク室	105
4.8 軽油タンク室（H）	113
4.9 取水口，貯留堰	121
4.10 復水貯蔵タンク基礎	132
4.11 ガスタービン発電設備軽油タンク室	140
4.12 第3号機海水ポンプ室	148
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法	158
5.1 耐震安全性評価における解析ケース	158
5.2 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケースの組合せについて	162
5.3 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース	165
6. 許容限界について	168
6.1 許容応力度法による耐震安全性評価について	168
6.2 限界状態設計法による照査	170
6.3 土木学会マニュアル2005の適用性について	180
7. ジョイント要素のばね設定について	188
8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について	193
8.1 時刻歴応答解析（全応力解析）で設定するRayleigh減衰	193
8.2 時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定するRayleigh減衰	195
9. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定について	196
9.1 評価方針	196

- 参考資料 1 一次元地震応答解析による解析手法選定の妥当性について . . . . . (参考) 1-1
- 参考資料 2 断層の影響を評価する断面について . . . . . (参考) 2-1
- 参考資料 3 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定について . . . . . (参考) 3-1

本補足説明資料は、耐震性に関する説明書のうち屋外重要土木構造物の耐震安全性評価についての内容を補足するものである。本補足説明資料と添付書類との関連を以下に示す。

補足説明資料と添付書類との関連

工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち 補足-610-20 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】	該当添付書類
1. 対象設備	共通事項
2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容	
2.1 支持機能	共通事項
2.2 通水機能	共通事項
2.3 貯水機能	共通事項
2.4 止水機能	共通事項
2.5 屋外重要土木構造物等の耐震安全性に関する整理	共通事項
3. 安全係数	共通事項
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における解析手法選定及び断面選定	
4.1 方針	共通事項
4.2 原子炉機器冷却海水配管ダクト	VI-2-2-11 原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)の地震応答計算書 VI-2-2-12-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の耐震性についての計算書
4.3 排気筒連絡ダクト(土砂部・岩盤部)	VI-2-2-27 排気筒連絡ダクトの地震応答計算書
4.4 軽油タンク連絡ダクト	VI-2-2-19 軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書
4.5 取水路(標準部・漸拡部)	VI-2-10-4-4-1 取水路(漸拡部)の耐震性についての計算書
4.6 海水ポンプ室	VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書
4.7 軽油タンク室	VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書
4.8 軽油タンク室(H)	VI-2-2-15 軽油タンク室(H)の地震応答計算書

4.9	取水口, 貯留堰	VI-2-10-4-3 取水口の耐震性についての 計算書
4.10	復水貯蔵タンク基礎	VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応 答計算書
4.11	ガスタービン発電設備軽油タンク室	VI-2-2-17 ガスタービン発電設備軽油タ ンク室の地震応答計算書
4.12	第3号機海水ポンプ室	VI-2-2-9 第3号機海水ポンプ室の地震応 答計算書
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法		
5.1	耐震安全性評価における解析ケース	共通事項
5.2	屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価に おける解析ケースの組合せについて	共通事項
5.3	機器・配管系の耐震安全性評価に適用する 解析ケース	共通事項
6. 許容限界について		
6.1	許容応力度法による耐震安全性評価 について	共通事項
6.2	限界状態設計法による照査	共通事項
6.3	土木学会マニュアル2005の適用性 について	共通事項
7.	ジョイント要素のばね設定について	共通事項
8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について		
8.1	時刻歴応答解析(全応力解析)で設定する Rayleigh減衰	共通事項
8.2	時刻歴応答解析(有効応力解析)で設定す るRayleigh減衰	共通事項
9. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定について		
9.1	評価方針	共通事項

## 1. 対象設備

耐震評価の対象とする屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管等を間接支持する支持機能を求められる原子炉機器冷却海水配管ダクト\*<sup>1</sup>、排気筒連絡ダクト\*<sup>1</sup>、軽油タンク連絡ダクト\*<sup>1</sup>、軽油タンク室\*<sup>1</sup>、軽油タンク室(H)\*<sup>1</sup>である。また、貯留堰を間接支持する支持機能及び海水の通水機能・貯水機能を求められる取水口\*<sup>2</sup>、海水の通水機能・貯水機能を求められる取水路\*<sup>2</sup>、貯留堰\*<sup>2</sup>である。さらにSクラスの機器・配管等を間接支持する支持機能、海水の通水機能・貯水機能及び止水機能を求められる海水ポンプ室\*<sup>3</sup>、Sクラスの機器・配管等を間接支持する支持機能及び止水機能を求められる第3号機海水ポンプ室である。

加えて、耐震評価の対象とする常設重大事故等対処施設\*<sup>4</sup>のうち土木構造物である復水貯蔵タンク基礎、ガスタービン発電設備軽油タンク室についても記載する。(以上の構造物を「屋外重要土木構造物等」という。)

屋外重要土木構造物等の位置図を図1-1に示す。

注記\*<sup>1</sup>: 「常設重大事故等対処施設\*<sup>4</sup>」を兼務

\*<sup>2</sup>: 「常設重大事故等対処設備\*<sup>5</sup>」を兼務、また貯留堰は加えて「津波防護施設」を兼務

\*<sup>3</sup>: 「常設重大事故等対処施設\*<sup>4</sup>」, 「常設重大事故等対処設備\*<sup>5</sup>」を兼務

\*<sup>4</sup>: 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く。)

\*<sup>5</sup>: 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備

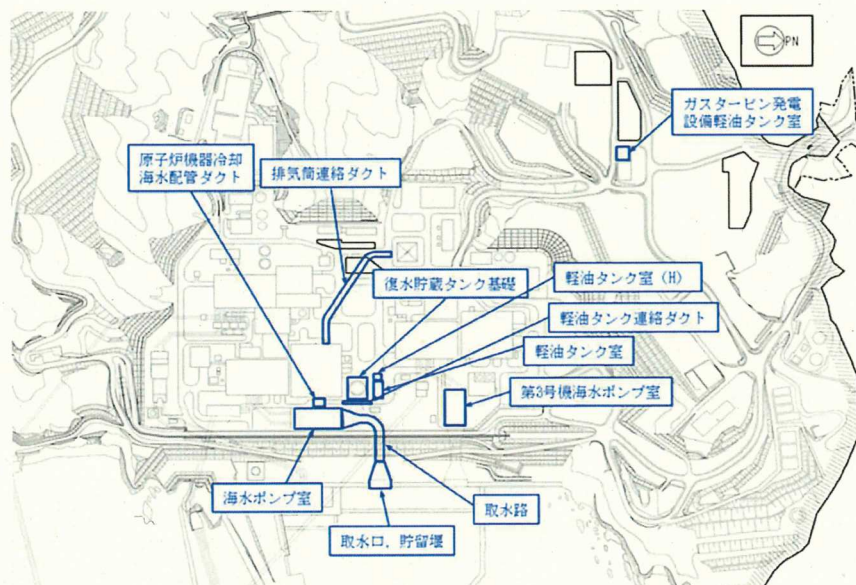


図1-1 屋外重要土木構造物等 位置図

## 2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容

屋外重要土木構造物等は、Sクラスの機器・配管等の間接支持構造物又は非常用取水設備であることを考慮し、その要求機能については、想定する地震動に対して次のように設定する。

- ① 支持機能：Sクラスの機器及び配管等を安全に支持できること。
- ② 通水機能：非常用取水設備のうち、通水断面を構成する部材について、その崩壊により通水断面を閉塞しないこと。
- ③ 貯水機能：非常用取水設備について、津波の引き波時に、部材の損傷により著しい漏水がなく、海水を取水できない時間に必要となる冷却用水を安全に貯留できること。
- ④ 止水機能：以下の3つの観点に対し、部材からの漏水により、Sクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないように止水できること。
  - (観点1) 津波の押し波時における外郭防護
  - (観点2) 屋外タンク損傷時における内郭防護
  - (観点3) 循環水単一破損時における内部溢水

上記、機能維持については、必ずしも同一の評価基準を満足することで確認できるものではないことから、以下のとおり、要求機能ごとに条件を整理し、基本となる評価内容及び要求機能を踏まえた追加検討内容について定める。

なお、屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価は、以下の基本設計方針に基づく。

- ・添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」
- ・添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」
- ・添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
- ・添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」

また、Sクラスの浸水防護施設である津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の要求機能と要求機能に対する耐津波評価は、以下の基本設計方針に基づく。

- ・添付資料「VI-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」
- ・添付資料「VI-3-添付 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」

### 2.1 支持機能

Sクラスの機器及び配管等を安全に支持することは、耐荷性能を維持することと同義であることから、部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。

したがって、目標性能に対応した許容限界として、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については限界層間変形角<sup>\*1</sup>、限界ひずみ<sup>\*2</sup>、せん断破壊についてはせん断耐力を設

定する。(限界層間変形角、限界ひずみ及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。)

また、面内変形に対しては、部材の層間変形角が J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されている支持機能の許容限界\*<sup>3</sup>に至らないことを確認する。

加えて、アンカー定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば、定着性能に影響を及ぼさないことから、鉄筋が降伏しないことを目標性能とし、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋のひずみが許容限界\*<sup>4</sup>に至らないこと、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメント\*<sup>5</sup>を下回ることを確認する。(限界ひずみ及び降伏曲げモーメントの許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。)

また、面内変形に対しては、部材の層間変形角が J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されている支持機能の許容限界\*<sup>3</sup>に至らないことを確認する。(限界層間変形角、限界ひずみ及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。)

注記\*1: 層間変形角 1/100

\*2: 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000  $\mu$ )

\*3: 層間変形角 2/1000

\*4: 圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000  $\mu$   
主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725  $\mu$

\*5: 鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

## 2.2 通水機能

一つの部材が終局状態に至った場合でも、直ちに通水断面の閉塞に繋がる事象には至らないが、保守的に部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。許容限界として、「2.1 支持機能」と同様に、曲げ・軸力系の破壊(面外変形)については限界層間変形角\*<sup>6</sup>、限界ひずみ\*<sup>7</sup>、せん断破壊についてはせん断耐力を設定し、面内変形に対しては、部材の層間変形角が J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されている支持機能の許容限界\*<sup>8</sup>に至らないことを確認する。

注記\*6: 層間変形角 1/100

\*7: 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000  $\mu$ )

\*8: 層間変形角 2/1000

## 2.3 貯水機能

構造物の周辺環境を考慮すると、周囲の盛土の透水性は十分に小さく、ひび割れが生じたとしても、漏えい量は貯水機能に影響を及ぼさないが、躯体のみで貯水機能を満足できるよう、漏水が生じるような顕著な(部材を貫通するような)ひび割れが発生しないと考えられる、鉄筋が降伏しないことを目標性能とする。また、せん断破壊については、せん断破壊が脆性的な破壊形態を示すことから、せん断耐力に至るまで



は部材を貫通するような顕著なひび割れは発生しないと判断し、終局状態に至らないことを目標性能とする。

したがって、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）についてはコンクリートの圧縮ひずみ及び主筋のひずみが許容限界\*<sup>9</sup>に至らないこと、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメント\*<sup>10</sup>を下回ることを、せん断破壊についてはせん断耐力を下回ることを確認する。

また、面内変形に対しては、層間変形角が J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されているスケルトンカーブの第一折点 ( $\gamma_1$ ) を下回れば面内せん断ひび割れは発生せず、水密性はあると考えられ、 $\gamma_1$  を超過する場合については、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。

注記\*<sup>9</sup>：圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000  $\mu$

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725  $\mu$

\*<sup>10</sup>：鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

#### 2.4 止水機能

断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力を下回れば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れは発生しないことから、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力を下回ること为目标性能とし、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）についてはコンクリートの圧縮ひずみ及び主筋のひずみが許容限界\*<sup>11</sup>に至らないこと、せん断破壊についてはせん断耐力を下回ることを確認する。そのうえで、顕著なひび割れが発生していないことを解析等により確認又は妥当な裕度を持たせることとする。

また、面内変形に対しては、層間変形角が J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されているスケルトンカーブの第一折点 ( $\gamma_1$ ) を下回れば面内せん断ひび割れは発生せず、水密性はあると考えられ、 $\gamma_1$  を超過する場合については、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。

注記\*<sup>11</sup>：圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000  $\mu$

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725  $\mu$

#### 2.5 屋外重要土木構造物等の耐震安全性に関する整理

既設構造物の支持機能及び通水機能に対する許容限界は、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊ともに終局限界とする。また、アンカー一定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば、定着性能に影響を及ぼさないことから、終局状態に対する許容限界に加え、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋のひずみが許容限界に至らないこと、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることの許容限界を追加する。

貯水機能及び止水機能に対する許容限界として、曲げについては断面降伏を、せん

断破壊については終局限界（せん断耐力）を適用する。

結果として、せん断に対しては、いずれの要求機能に対しても終局限界が統一的な許容限界として適用されることとなるが、この許容限界について各種安全係数を考慮することで、せん断破壊についても終局限界に対し妥当な安全余裕を考慮した設計を行う方針とする。

なお、新設の屋外重要土木構造物等は、許容応力度法による評価を基本としており、許容応力度を許容限界とする場合は、発生応力度が許容限界を下回ることを確認することで、降伏状態又は終局状態に至らないことは自明であるため、支持機能、通水機能、貯水機能及び止水機能に対する目標性能のすべてを満足することとなる。各要求機能と許容限界の関係の概念を図2.5-1に示す。

また、屋外重要土木構造物等の要求機能及び目標性能の整理表を表2.5-1に、屋外重要土木構造物等の要求機能一覧を表2.5-2に示す。

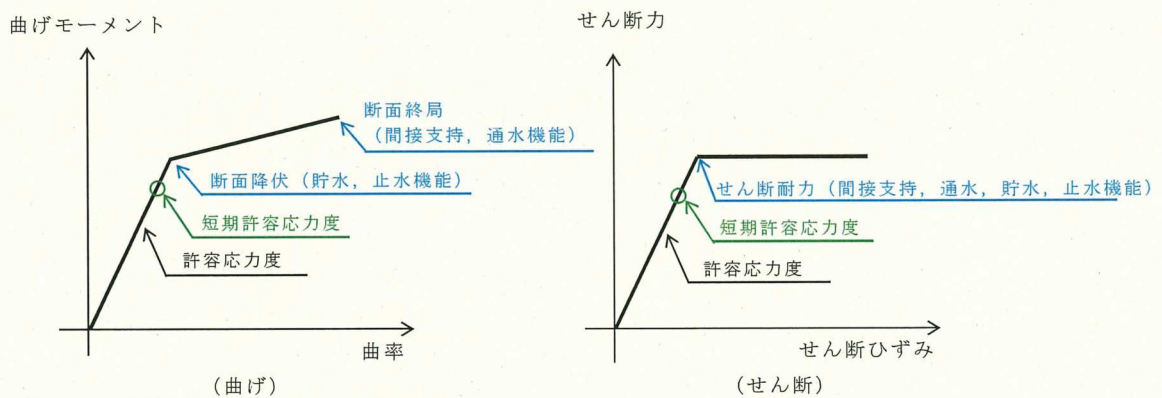


図 2.5-1 各要求機能と許容限界の関係の概念

表 2.5-1 屋外重要土木構造物等の要求機能及び目標性能の整理表

		屋外重要土木構造物等に求められる機能			
		① 支持機能*	② 通水機能	③ 貯水機能*	④ 止水機能*
要求機能		S クラスの機器及び配管等を安全に支持できる。	海水の通水断面を閉塞しない。	津波の引き波時に必要となる冷却用水を安全に貯留できる。	S クラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないよう止水できる。
目標性能		<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材が終局状態に至らない。</li> <li>・アンカー一定着部周辺において鉄筋が降伏しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材が終局状態に至らない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋が降伏しない。</li> <li>・発生せん断力がせん断耐力を下回る</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋が降伏しない。</li> <li>・発生せん断力がせん断耐力を下回る</li> </ul>
設定理由		<p>機器・配管等の支持機能は、部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。</p> <p>アンカー一定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば定着性能に影響を及ぼさないことから、鉄筋が降伏しないことを目標性能とする。</p>	<p>構造物が終局状態に至った場合でも、直ちに通水断面の閉塞に繋がる事象には至らないが、保守的に「① 支持機能」と同様に、終局状態に至らないことを目標性能とする。</p>	<p>構造物の周辺環境を考慮すると、周囲の盛土の透水性は十分に小さく、ひび割れが生じたとしても、漏れい量は貯水機能に影響を及ぼさないが、躯体のみで貯水機能を満足できるよう、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しないこと、及び発生せん断力がせん断耐力を下回ること、鉄筋が降伏しないこと、及び発生せん断力をせん断耐力を下回ることを目標性能とする。</p>	<p>断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力を下回れば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れは発生しないこと、及び発生せん断力がせん断耐力を下回ること、鉄筋が降伏しないこと、及び発生せん断力をせん断耐力を下回ることを目標性能とする。</p>
限界状態		終局耐力を下回る アンカー一定着部周辺においては降伏耐力を下回る	終局耐力を下回る	降伏耐力を下回る	降伏耐力を下回る
主な照査 指標・許 容限界	曲げ	圧縮ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ<降伏強度に対応するひずみ	層間変形角<層間変形角 1/100	圧縮ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ<降伏強度に対応するひずみ	圧縮ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ<降伏強度に対応するひずみ
	せん断	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力
	面内	層間変形角<層間変形角 2/1000	層間変形角<層間変形角 2/1000	層間変形角<第1折点 (γ <sub>1</sub> ) 又は漏水量評価	層間変形角<第1折点 (γ <sub>1</sub> ) 又は漏水量評価

注記\*：支持機能・貯水機能・止水機能においても構造物全体が終局状態に至らないことが前提であることから、終局耐力を下回ることを確認する。

表 2.5-2 屋外重要土木構造物等の要求機能一覧

構造物名称	要求機能				非常用 取水設備
	① 支持機能	② 通水機能	③ 貯水機能	④ 止水機能	
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	○	—	—	—	—
排気筒連絡ダクト	○	—	—	—	—
軽油タンク連絡 ダクト	○	—	—	—	—
取水路	—	○	○	—	○
海水ポンプ室	○	○	○	○	○
軽油タンク室	○	—	—	—	—
軽油タンク室 (H)	○	—	—	—	—
取水口	○	○	○	—	○
貯留堰*	—	○	○	—	○
復水貯蔵タンク 基礎	○	—	—	—	—
ガスタービン発電 設備軽油タンク室	○	—	—	—	—
第3号機 海水ポンプ室	○	—	—	○	—

注記\*：貯留堰は、津波防護施設としての機能も有する。

### 3. 安全係数

屋外重要土木構造物等の許容限界については、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のとおり、以下の基本方針としている。

屋外重要土木構造物等は、構造部材の曲げ・軸力系の破壊については限界層間変形角、限界ひずみ、降伏曲げモーメント及び許容応力度、せん断破壊についてはせん断耐力、許容応力度を許容限界とする。

なお、限界層間変形角、限界ひずみ、降伏曲げモーメント及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせることとし、それぞれ安全余裕については各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

上記の基本方針に基づき、原子炉機器冷却海水配管ダクト、排気筒連絡ダクト(土砂部)、軽油タンク連絡ダクト、取水路、海水ポンプ室、軽油タンク室、取水口、貯留堰、復水貯蔵タンク基礎(しゃへい壁、バルブ室、連絡ダクト)、第3号機海水ポンプ室の耐震評価においては、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、限界層間変形角又は限界ひずみを許容限界とする終局状態を想定した評価を実施する。また、鉄筋コンクリート部材のせん断破壊に対する照査は、せん断耐力を許容限界とする終局状態を想定した評価を実施する。

なお、アンカー定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば、定着性能に影響を及ぼさないことから、終局状態に対する許容限界に加え、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋のひずみが、圧縮強度及び降伏強度に対応するひずみに至らないこと、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることの許容限界を追加する。

排気筒連絡ダクト(岩盤部)、軽油タンク室(H)、復水貯蔵タンク基礎(基礎版)、ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震評価においては、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査は、許容応力度を許容限界とした評価を実施する。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査について限界層間変形角、限界ひずみ又は降伏曲げモーメントを用いる耐震評価、並びにせん断破壊に対する照査についてせん断耐力を用いる耐震評価では、当該許容限界値に対して妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。

安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を図3-1に示す。

安全係数の設定については、屋外重要土木構造物等の構造的な特徴を踏まえ、その適用性を判断したうえで、参考とする規格・基準類を表3-1のとおり選定した。

表3-2及び表3-3に、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。

安全係数については、各規格・基準類で、必ずしも一定の値が定められているわけではないことから、屋外重要土木構造物等の特徴、耐震評価における解析手法及び物性値の設

定根拠等を考慮し、表 3-2 及び表 3-3 に示すとおり設定する。

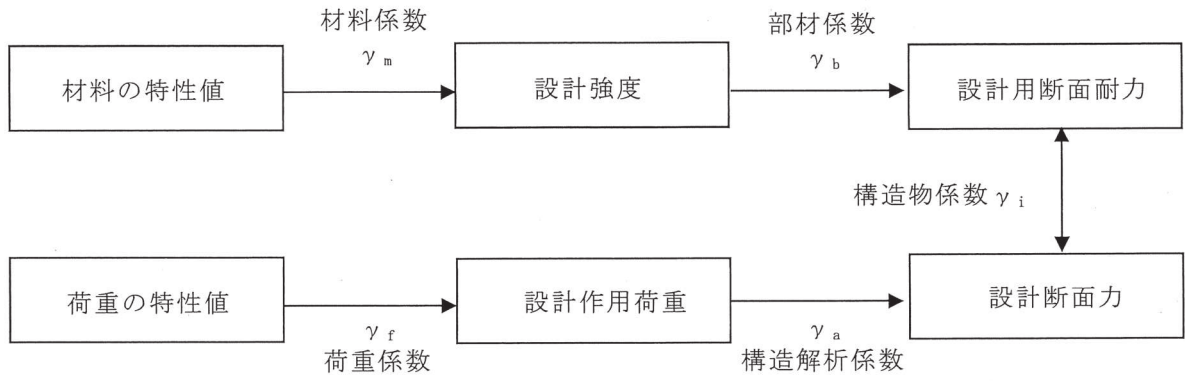


図 3-1 安全係数の考え方

表 3-1 安全係数の設定において参考とした規格・基準類とその適用性

参考とした規格・基準	規格・基準の適用範囲・対象構造物	適用性
① 土木学会マニュアル 2005*1	原子力発電所屋外重要土木構造物 (スクラスの機器・配管等を支持する鉄筋コンクリート構造物、又は同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物)	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力発電所屋外重要土木構造物に特化した規格・基準であり、屋外重要土木構造物の特徴(埋設された鉄筋コンクリート構造)を十分に考慮されたものであり、適用性がある。</li> <li>部材に対する照査方法として二次元材料非線形解析を用いた限界値の算定方法が規定されている。</li> <li>対象とする構造物には地下構造物があり、土圧が直接作用する構造物であるなど、構造上の特徴が、屋外重要土木構造物と比較的類似しており適用性がある。</li> </ul>
② 鉄道構造物等設計標準 2012*2	鉄道の橋梁、高架橋、橋台、擁壁、特殊な条件下のトンネル等の鉄道構造物	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力発電所屋外重要土木構造物及び同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物</li> <li>(スクラスの機器・配管等の間接支持機能が求められる鉄筋コンクリート構造物、及び非常時における海水の通水機能が求められる鉄筋コンクリート構造物)</li> </ul>
③ 土木学会マニュアル 2018*3	「第 3 章 材料非線形解析を用いた耐震性能照査」及び「第 4 章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査」がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>面部材で構成された三次元構造物の載荷実験を踏まえ、三次元材料非線形解析を用いた照査方法が規定されている。</li> <li>土圧等の荷重を想定した静的地震力を設定し、構造物単体のプッシュオーバー解析に基づき構造物全体の挙動に対する照査方法が規定されている。</li> </ul>
④ コンクリート標準示方書 2017*4	一般の鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造で構成される構造物(圧縮強度の特性値 80N/mm <sup>2</sup> 以下) 「設計編 標準 10 編」に非線形有限要素解析による性能照査がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>土木系コンクリート構造物の設計から維持管理に至るまで幅広く活用されており、適用性がある。</li> <li>非線形有限要素解析による性能照査として、三次元材料非線形有限要素解析を用いた性能照査が示されている。</li> </ul>

注記\*1: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル 2005 年 6 月 土木学会 原子力土木委員会

\*2: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 平成 24 年 9 月

\*3: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル・照査例 2018 年 10 月 土木学会 原子力土木委員会

\*4: コンクリート標準示方書 設計編 2017 年制定 土木学会

表 3-2 鉄筋コンクリート部材の耐震評価における安全係数の考え方 (曲げ・軸力系の破壊に対する照査)

安全係数	係数の概要・設定に至る経緯	考慮の方法	各種規格・基準に基づき標準的な値				屋外重要土木構造物等の耐震評価で採用した値及び設定の考え方
			①*1	②*1	③*1	④*1	
材料係数 $\gamma_m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>変形評価に用いる材料の設計用値の評価</li> <li>物性のばらつきや供試体と構造物中との材料特性の差異, 材料特性の経時的変化を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する。</li> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	1.0	1.3	1.3*2	1.0	文献に基づく標準的な値を設定。
部材係数 $\gamma_b$	<ul style="list-style-type: none"> <li>限界値計算上の不確実性, 部材寸法のばらつきの影響, 部材の重要度を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>変形に対する限界値を当該値で除する。</li> </ul>	1.0	1.0~1.15	1.0	併せて 1.1~1.5	文献に基づく標準的な値を設定。
構造解析係数 $\gamma_a$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析手法自体の精度や不確実性を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生主ひずみに当該値を乗じる。</li> </ul>	1.2	1.0	1.2	1.2	解析精度は高いと考えられることから1.2に設定。
荷重係数 $\gamma_f$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動, 荷重の算定方法の不確実性, 設計耐用期間中の荷重の変化, 荷重特性が限界状態に及ばず影響, 環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久荷重, 変動荷重, 偶発荷重(地震荷重)の特性値に当該荷重を乗じる。</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0	文献に基づく標準的な値を設定。
構造物係数 $\gamma_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要度, 限界状態に達した時の社会的影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>応答値と限界値の比に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0~1.2	構造物の重要度及び限界状態に達した時の社会的影響については, 屋外重要土木構造物として基準地震動Ssによる地震力を適用することで十分に考慮されているとして1.0に設定。

注記\*1: ①は土木学会マニュアル2005, ②は鉄道構造物等設計標準2012, ③は土木学会マニュアル2018, ④はコンクリート標準示方書2017に記載の値。

\*2: 既設構造物において, 材料特性のばらつきを考慮して特性値が設定されていることを確認した場合1.0として良い。



表 3-3 鉄筋コンクリート部材の耐震評価における安全係数の考え方（せん断破壊に対する照査）

安全係数	係数の概要・設定に至る経緯	考慮の方法	各種規格・基準に基づく標準的な値				屋外重要土木構造物等の耐震評価で採用した値及び設定の考え方
			①*1	②*1	③*1	④*1	
材料係数	$\gamma_m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する。</li> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	1.3*2	1.3	1.3*2.3	1.0	1.0~1.3
			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
部材係数	$\gamma_b$ *4	<ul style="list-style-type: none"> <li>部材耐力の計算上の不確かさ、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要性を考慮</li> </ul>	1.3	1.1~1.3	1.3	1.1~1.5	1.3
			1.1	1.3	1.1	1.1	1.1
構造解析係数	$\gamma_a$	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面力の評価</li> <li>断面力算定時の構造解析の不確か性を考慮</li> </ul>	1.05	1.0	1.05*5	1.0	1.05
荷重係数	$\gamma_f$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動、荷重の算定方法の不確かさ、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
構造物係数	$\gamma_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要性、限界状態に達した時の社会的影響を考慮</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0~1.2	1.0

注記\*1: ①は土木学会マニュアル2005, ②は鉄道構造物等設計標準2012, ③は土木学会マニュアル2018, ④はコンクリート標準示方書2017に記載の値。

\*2: 応答値算定用の材料係数は1.0を設定。

\*3: 既設構造物において、材料特性のばらつきを考慮して特性値が設定されていることを確認した場合は1.0として良い。

\*4:  $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$  表中の値は $\gamma_{b1}$ の値であり、 $\gamma_{b2}$ は層間変形角が1/100以下であることを確認のうえ、1.0を設定。

\*5: 地震時荷重を適切に設定することを前提に1.0として良い。

#### 4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における解析手法選定及び断面選定

##### 4.1 方針

女川原子力発電所の屋外重要土木構造物等には、二次元地震応答解析により得られる構造物の応答に対して耐震評価を行う構造物と、二次元地震応答解析により得られる土圧等の荷重を三次元モデルに作用させて耐震評価を行う構造物がある。

延長方向への海水の通水機能や配管等の支持機能を維持するため、延長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る構造物（以下「線状構造物」という。）は、横断方向（延長方向に直交する方向）に設置される構造部材が少なく、横断方向が明確に弱軸となることから、横断方向の二次元地震応答解析により耐震評価を行う。よって、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位置から横断方向の断面を評価対象断面として選定する。

また、線状構造物のうち、構造物の断面が延長方向で一様であるが延長方向に大きな曲線部が存在し、躯体のねじれ等の影響が懸念される構造物は、三次元モデルを用いて耐震評価を行う。よって、三次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能であり、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位置から横断方向の断面を評価対象断面として選定する。

構造物の断面が延長方向で異なり、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する構造物（以下「箱形構造物」という。）は、三次元モデルを用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を考慮して耐震評価を行う。よって、三次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定する。

上記を考慮した屋外重要土木構造物等の断面選定の考え方を表 4.1-1 に示す。

また、評価対象断面の選定の流れを以下に示す。

表 4.1-1 屋外重要土木構造物等の断面選定の考え方

名称	断面選定の考え方	
	線状構造物	箱形構造物
原子炉機器冷却海水配管ダクト	A: 横断方向が明確に弱軸となることから、横断方向の二次元地震応答解析により耐震評価を行う線状構造物 ⇒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位置から横断方向の断面を評価対象断面として選定する。	C: 構造物の断面が延長方向で異なり、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮し、三次元モデルを用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮して耐震評価を行う箱形構造物 ⇒三次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定する。
排気筒連絡ダクト	○	
軽油タンク連絡ダクト	○	
取水路 (標準部)	○	
取水路 (漸拡部)	○	
海水ポンプ室		○
軽油タンク室		○
軽油タンク室 (H)		○
取水口		○
貯留堰*		○
復水貯蔵タンク基礎		○
ガスタービン発電設備軽油タンク室		○
第3号機海水ポンプ室		○

注記\*: 貯留堰の耐震評価は、箱形構造物として三次元モデルにより耐震評価を行う取水口に含む。

(1) 耐震評価候補断面の整理

以下の観点にて、耐震評価候補断面を整理する。

- ・ 要求機能及び間接支持される機器・配管系の有無及び設置位置
- ・ 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\*，断層との交差状況）
- ・ 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

注記\*：地下水位低下設備を考慮した浸透流解析を実施し，その結果に基づき地下水位を設定する。地下水位の設定方法については，「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「5. 耐震評価における地下水位設定方針」に記載する。

(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。）の観点に基づき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

横断方向の二次元地震応答解析により，耐震評価を実施する線状構造物については，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。構造的特徴が同一となる区間では，区間ごとに後述する他の観点で評価対象断面を選定する。

三次元モデルで耐震評価を実施する線状構造物及び箱形構造物については，二次元地震応答解析を実施し，地震時荷重を算出する断面を，構造的特徴を踏まえて選定する。

b. 周辺状況による選定

上載荷重，土被り厚，周辺地質，隣接構造物，地下水位につい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線状構造物は，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。

隣接構造物については，評価対象構造物との間の埋戻し材料や，それぞれの設置状況に応じて，隣接構造物が評価対象構造物の地震時応答に与える影響を踏まえ，モデル化要否を検討したうえで評価対象断面を選定する。候補断面の中で，隣接構造物との位置関係により土圧が作用しない断面と，周辺地質が盛土となる

断面がある場合のように、構造物に作用する土圧が大きく評価される候補断面が明確な場合には、その候補断面を評価対象断面として選定する。隣接構造物のモデル化の方針は以下のとおりとし、評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例を図 4.1-1 に示す。

(a) 評価対象構造物と隣接構造物の間が盛土で埋め戻されている場合

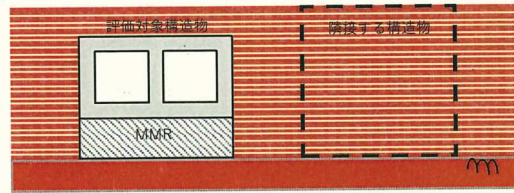
地中構造物の耐震評価においては、盛土よりも剛性の大きい隣接構造物をモデル化することにより、周辺地盤の変形が抑制されると考えられる。よって、評価対象構造物に作用する土圧を保守的に評価するため、隣接構造物の設置範囲を盛土としてモデル化する。

(b) 評価対象構造物と隣接構造物の間が地盤改良されている場合

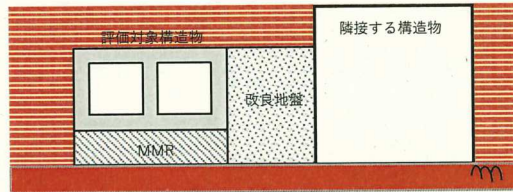
評価対象構造物と隣接構造物の間に剛性の大きい改良地盤が存在する場合には、隣接構造物の地震時応答が剛性の大きい改良地盤を介して評価対象構造物に伝達することが考えられる。よって、隣接構造物が改良地盤を介して評価対象構造物に与える影響を考慮するため隣接構造物をモデル化する。

(c) 評価対象構造物と隣接構造物がマンメイドロックを共有している場合

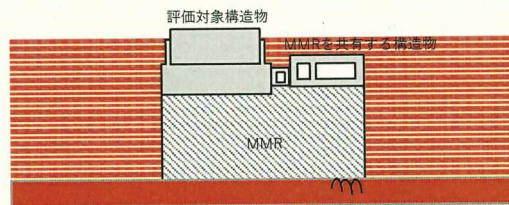
評価対象構造物が隣接構造物とマンメイドロック（以下「MMR」という。）を共有して設置されている場合には、共有する MMR とともに互いに影響を受けながら振動するため、隣接構造物をモデル化する。



(a) 評価対象構造物と隣接構造物の間が盛土で埋め戻されている場合



(b) 評価対象構造物と隣接構造物の間が地盤改良されている場合



(c) 評価対象構造物と隣接構造物が MMR を共有している場合

図 4.1-1 評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例

c. 地震波の伝播特性による選定

構造物が設置される岩盤の速度層区分は、地震波の伝播特性に影響し、速度層区分の状況の違いが、応答加速度等の地震時応答に影響を与えることから、構造物直下の岩盤の速度層区分に着目し、断面を選定する。

d. 評価対象断面の絞り込み及び解析手法の選定

候補断面によって周辺状況が異なる線状構造物や、箱形構造物のうち周辺地質や地下水位等により液状化の影響を考慮する必要がある構造物については、評価対象断面の絞り込みや保守的となる解析手法を選定するため、地震応答解析を実施する。

岩盤内に設置される構造物等、周辺に液状化検討対象層が分布しない構造物（液状化検討対象施設以外の施設）については一次元全応力解析により評価対象断面の絞り込みを行い、耐震評価上厳しい候補断面を評価対象断面として選定する。

周辺に液状化検討対象層が分布する構造物（液状化検討対象施設）については、

一次元又は二次元の全応力解析及び有効応力解析による地震応答解析を実施し、耐震評価上厳しい断面（評価対象断面）の絞り込みや保守的となる解析手法を選定する。また、構造的特徴、周辺地質、地下水位及び地震波の伝播特性が同様の場合は、構造物の耐震性に影響を与える土被り厚に着目して、評価対象断面を選定する。

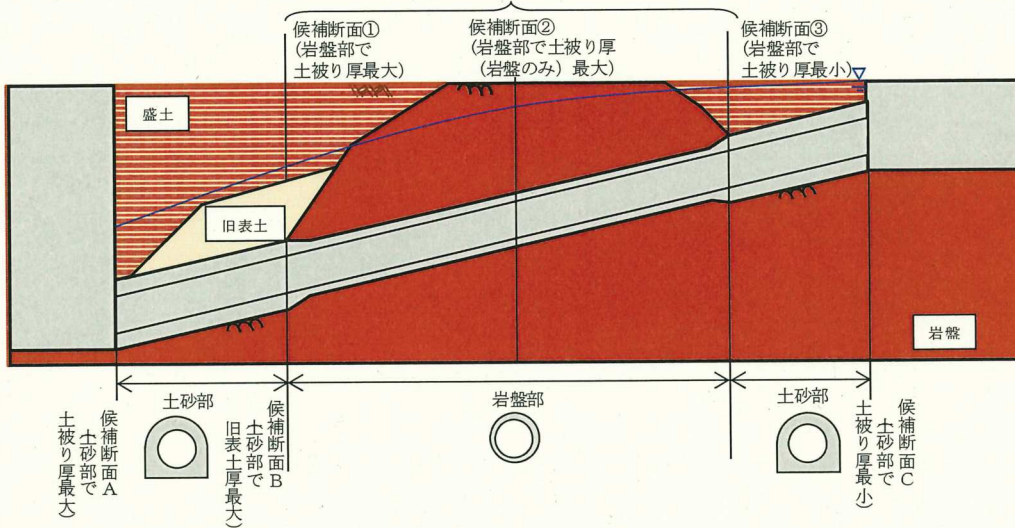
地震応答解析による評価対象断面の絞り込み及び解析手法の選定方法の例を図 4.1-2 に示す。

液状化検討対象施設の抽出結果について、表 4.1-2 に示す。なお、地下水位の設定に係る詳細については、「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「5. 耐震評価における地下水位設定方針」に記載する。

線状構造物の例

岩盤部：①，②，③断面で一次元全応力解析を行い，耐震評価上厳しい断面を選定する。

(例) 構造物上下端の相対変位：候補断面①>候補断面②>候補断面③ ⇒ 候補断面①を評価対象断面とする



土砂部：

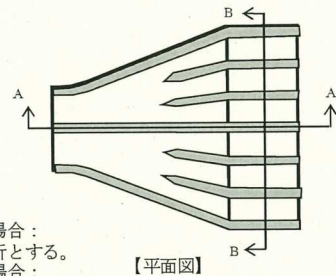
候補断面A, B, Cで一次元全応力解析及び一次元有効応力解析を行い，耐震評価上厳しい断面，解析手法を確認して選定する。

(例) 構造物範囲（深度）のせん断応力：

候補断面A (全応力) > 候補断面B (全応力) > 候補断面A (有効応力) > 候補断面B (有効応力) > 候補断面C (全応力) > 候補断面C (有効応力)  
⇒ 候補断面Aを評価対象断面とし，解析手法は全応力解析とする。

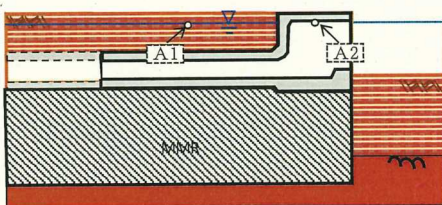
箱形構造物の例

A-A断面及びB-B断面において，構造物側面の設計水位 (A1, A2, B1, B2) が同一であり，一次元全応力解析及び一次元有効応力解析を行い，耐震評価上厳しい解析手法を選定する。

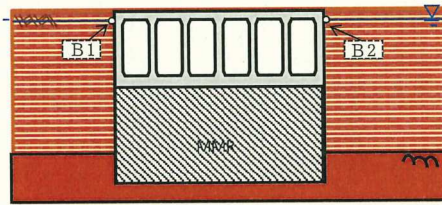


(例) 構造物範囲（深度）のせん断応力

- 対象構造物の縦断方向 (A-A断面) で周辺状況の差異がなく，A1を代表とできる場合：  
A1の全応力 > A1の有効応力 ⇒ 縦断方向 (A-A断面) の解析手法は全応力解析とする。
- 対象構造物の横断方向 (B-B断面) で周辺状況の差異がなく，B1を代表とできる場合：  
B1の全応力 > B1の有効応力 ⇒ 横断方向 (B-B断面) の解析手法は全応力解析とする。



【A-A断面】



【B-B断面】

図 4.1-2 評価対象断面の絞り込み及び解析手法の選定方法の例



表 4.1-2 液状化検討対象施設の抽出結果

施設名称		項目			液状化検討 対象施設 ○:対象 ×:対象外
		①施設が岩 盤中に設置 されている	②施設周辺の地下水位が十分に低い		
原子炉機器冷却海水配管ダクト		No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
排気筒連絡 ダクト	岩盤部	Yes	-		×
	土砂部	No	No	施設より高い位置に地下水位 を設定する。	○
軽油タンク連絡ダクト		No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
取水路	標準部	No	No	施設より高い位置に地下水位 を設定する。	○
	漸拡部	No	No	施設に接する高さに地下水位 を設定する。	○
海水 ポンプ室	横断	No	No	施設から離れた位置で地下 水位が上昇する。	○
	縦断	No	No	施設から離れた位置で地下 水位が上昇する。	○
軽油 タンク室	南北断面	No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
	東西断面	No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
軽油 タンク室 (H)	南北断面	No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
	東西断面	No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
取水口 (貯留堰)	標準部 (横断)	No	No	施設に接する高さに地下水位 を設定する。	○
	漸縮部 (横断)	No	No	施設より高い位置に地下水位 を設定する。	○
	縦断	No	No	施設より高い位置又は接す る高さに地下水位を設定す る。	○
復水貯蔵 タンク基礎	南北断面	No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
	東西断面	No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
ガスタービン 発電設備軽油 タンク室	南北断面	No	No	施設周辺の地下水位を地表 面に設定する。	○
	東西断面	No	No	施設周辺の地下水位を地表 面に設定する。	○
第3号機 海水ポンプ室	横断	No	Yes	周辺地盤における地下水位 が、施設底版より低い。	×
	縦断	No	No	施設から離れた位置で地下 水位が上昇する。	○

e. 周辺地質が急変した場合の影響を確認するための断面選定

周辺地質が改良地盤から盛土に急変する場合等は、その境界部にて周辺地質の剛性が急変するため、その影響を確認するために境界部を評価対象断面として選定する。

f. 断層の変形の影響を確認するための断面選定

構造物と断層が交差する断面については、構造物と断層の接し方や周辺地質により、断層の変形による構造物への影響が異なると考えられるため、構造物と断層の位置関係により以下のとおり分類し、それぞれから断層の変形の影響を評価する断面を選定する。構造物と断層の位置関係の例について図 4.1-3 に示す。

- ・ 構造物の掘削底面にて MMR 又は改良地盤を介して断層と接するもの
- ・ 構造物と断層が底面で接しており、構造物周辺は盛土にて埋め戻されているもの
- ・ 構造物周辺が岩盤で囲まれている状況で断層と接するもの

評価対象断面は、断層の幅や連続性を勘案して、耐震評価上、構造物への影響が厳しくなる断層を対象として選定する。

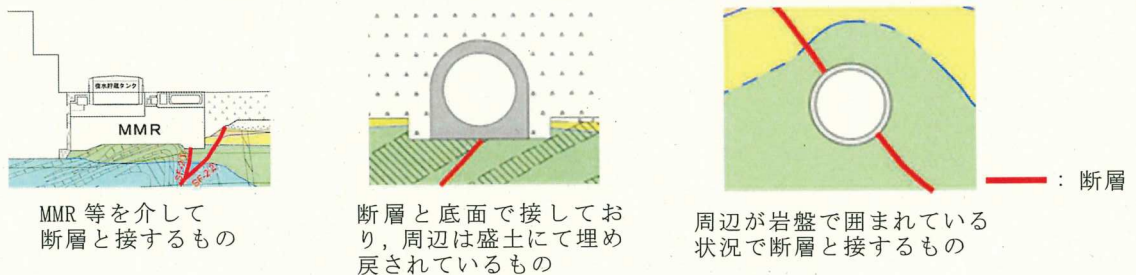


図 4.1-3 構造物と断層の位置関係の例

g. 床応答算出位置による選定

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

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み合わせた断面を作成し、評価対象断面とする場合がある。

#### 4.2 原子炉機器冷却海水配管ダクト

原子炉機器冷却海水配管ダクトの配置図を図 4.2-1 に、平面図を図 4.2-2 に、断面図を図 4.2-3、図 4.2-4 に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクトは、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機冷却海水系配管、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管等を間接支持しており、支持機能が要求される。

原子炉機器冷却海水配管ダクトは、海水ポンプ室と原子炉建屋を結ぶ、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長 6.10m、内空幅 2.10m~3.35m、内空高さ 6.70m の四連ボックスカルバート構造の水平部（以下「水平部」という。）と、幅（横断方向）34.55m、延長（鉛直方向）24.00m、高さ 4.70m の九連ボックスカルバート構造（矩形）の鉛直部（以下「鉛直部」という。）から構成される。

原子炉機器冷却海水配管ダクトの水平部は、MMR を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。鉛直部は、原子炉機器冷却海水配管ダクトと比較して規模・重量が十分に大きい海水ポンプ室と結合しており、MMR を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

原子炉機器冷却海水配管ダクトは、水平部と鉛直部の接合部、及び水平部と原子炉建屋の接合部に耐震ジョイントが設置されており、水平部は延長方向に断面の変化がない線状構造物である。

鉛直部は、縦断方向（鉛直方向）に配置されている隔壁により仕切られ、縦断方向（鉛直方向）に断面変化の少ない線状構造物である。

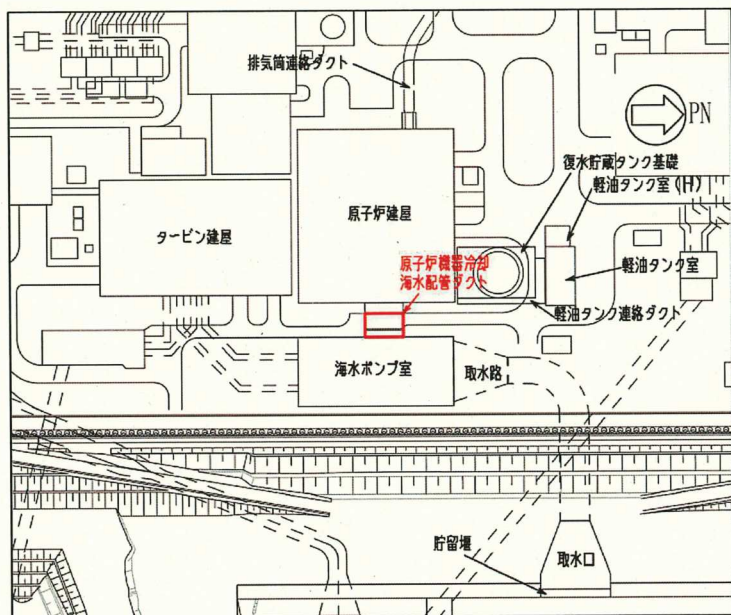


図 4.2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト配置図

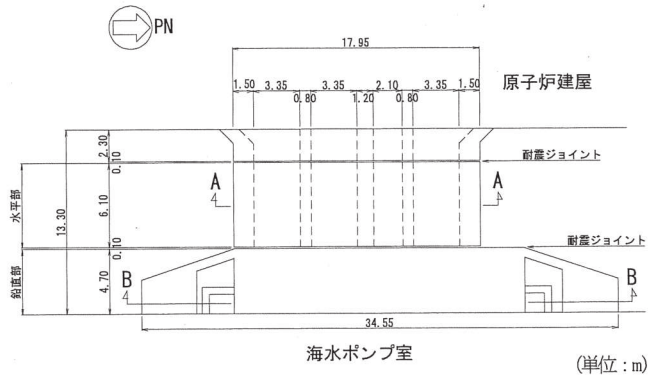


図 4.2-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト平面図

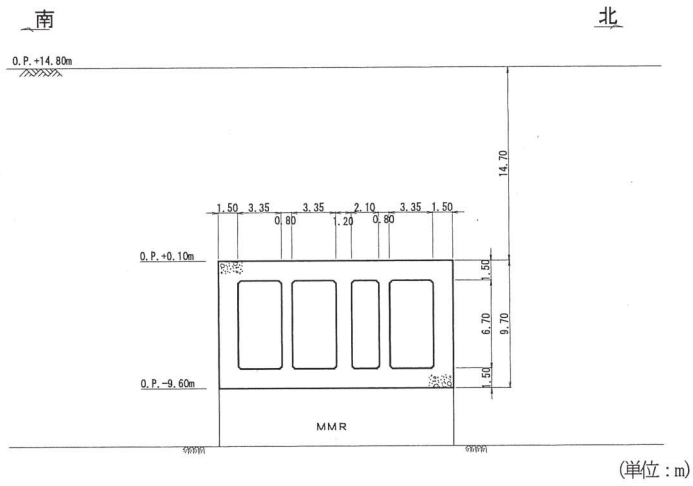


図 4.2-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）断面図（A-A）

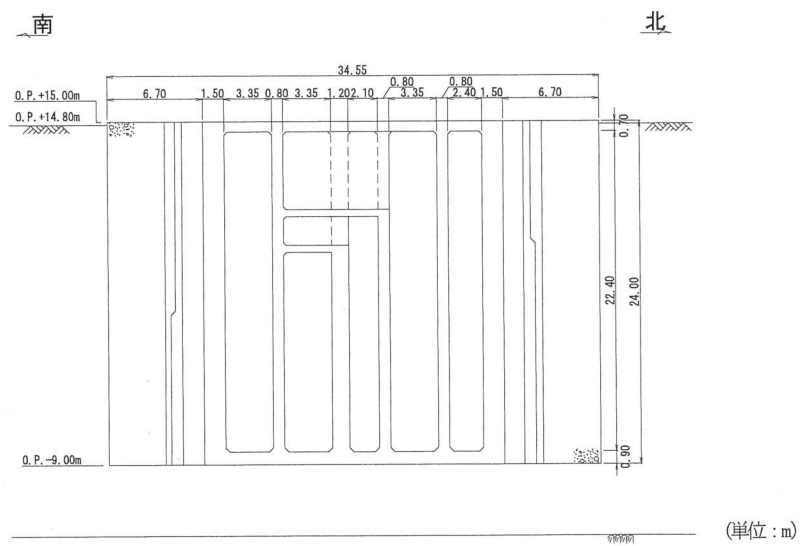


図 4.2-4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）断面図（B-B）

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

原子炉機器冷却海水配管ダクトは、原子炉建屋につながる水平部と海水ポンプ室と結合する鉛直部の2つの構造物に大別される。水平部は、縦断方向（延長方向）に一樣な断面の比較的単純な四連のボックスカルバート構造である。また、鉛直部は、縦断方向（鉛直方向）に隔壁を有し、九連のボックスカルバート構造となっている。これら構造形態や構造解析手法の違いから、候補断面は、水平部と鉛直部に分けて整理する。

a. 水平部

原子炉機器冷却海水配管ダクトの水平部は、一樣な断面を有する比較的単純な四連のボックスカルバート構造の線状構造物であり、断面形状及び配筋も縦断方向（延長方向）に一樣であるため、断面選定の観点として構造・配筋の変化による影響を考慮する必要はない。

水平部の縦断方向（延長方向）は、側壁及び隔壁が耐震要素として機能することから、縦断方向（延長方向）は強軸方向となる。一方、横断方向（延長方向に直交する方向）の加振に対しては、水平部の延長方向端部は耐震ジョイントが設置されており、妻壁等、耐震要素として機能する面部材はないことから、横断方向（延長方向に直交する方向）が弱軸方向になるとともに、耐震ジョイント部において延長方向の応力は解放されることから、構造的特徴及び床応答の観点から、横断方向（延長方向に直交する方向）の断面を候補断面とする。

水平部は、原子炉補機冷却海水系配管、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管等を間接支持する支持機能が要求されるが、機器・配管は延長方向に一樣に設置されているため、断面選定の観点として機器・配管の設置位置による影響を考慮する必要はない。

水平部の周辺状況として、横断方向（延長方向に直交する方向）の北側及び南側は、一樣に地盤改良がなされており、その外側の地下水位も構造物底版より十分低く延長方向にほぼ一樣であることから、断面選定の観点として周辺状況の影響を考慮する必要はない。また、水平部は、水平部直下のMMRを介してOF-4断層と接しているが、同様にMMRを介して構造物（軽油タンク室(H)）と接しているSF-2①断層及びSF-2②断層と比較してOF-4断層は規模が小さく、断層の影響の確認は軽油タンク室(H)を代表とすることから、候補断面としては選定しない。なお、断層の影響を確認するための断面選定の詳細については、「参考資料2 断層の影響を評価する断面について」に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクトの掘削図を図4.2-5に、原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の地質断面図を図4.2-6、図4.2-7に示す。

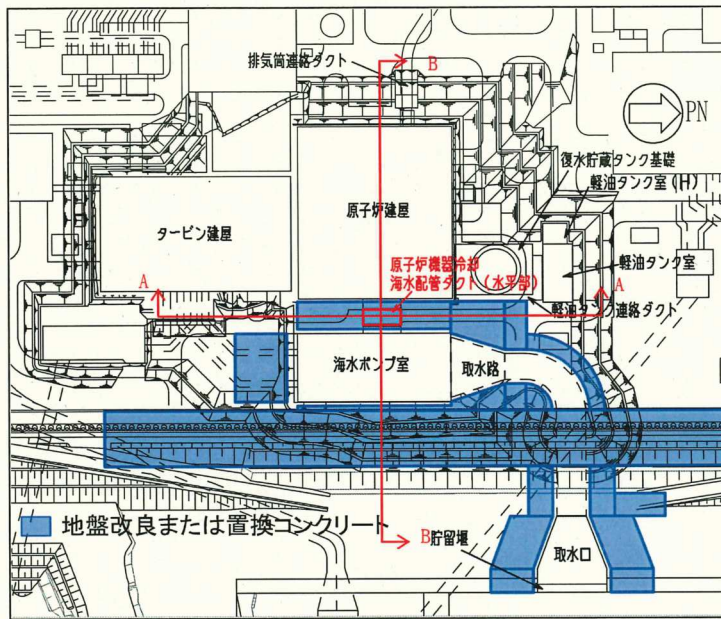


図 4.2-5 原子炉機器冷却海水配管ダクト掘削図

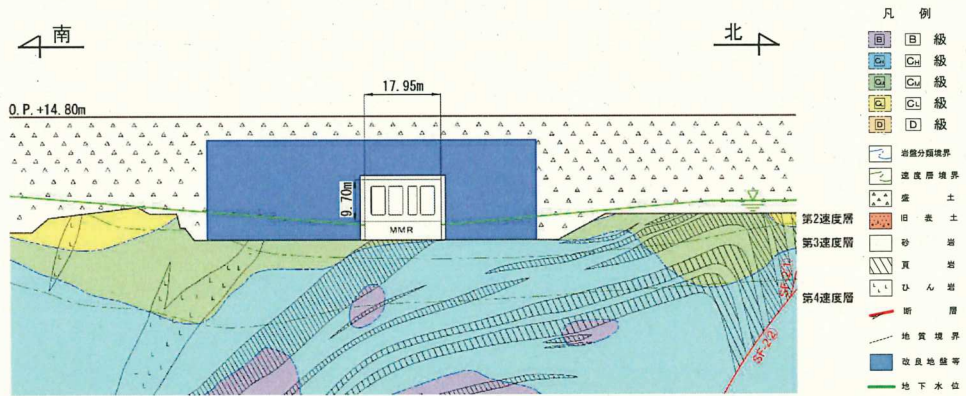


図 4.2-6 原子炉機器冷却海水配管ダクト (水平部) 地質断面図 (A-A)

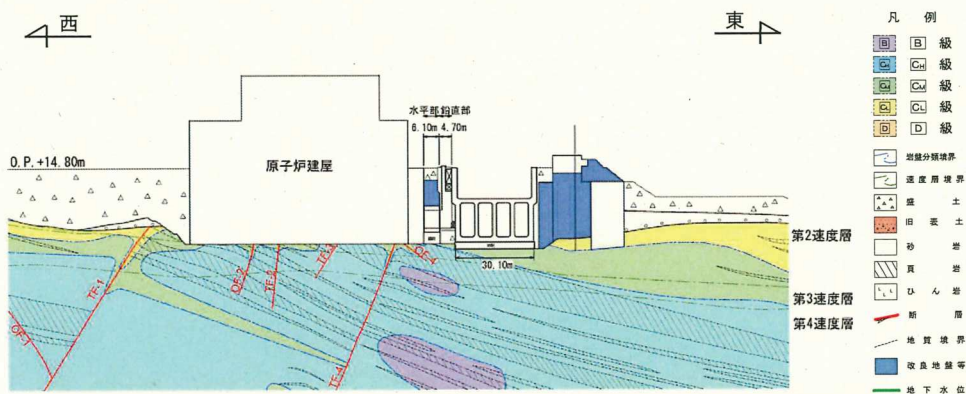


図 4.2-7 原子炉機器冷却海水配管ダクト (水平部) 地質断面図 (B-B)

b. 鉛直部

原子炉機器冷却海水配管ダクトの鉛直部は、縦断方向（鉛直方向）には8つの隔壁が存在し、縦断方向（鉛直方向）の断面形状に大きな違いがなく、縦断方向（鉛直方向）の加振に対しては側壁、隔壁等の面部材が耐震要素として機能し強軸方向となる。一方、横断方向（水平方向）の加振に対しては、妻壁等、耐震要素として機能する面部材が少なく、横断方向（水平方向）が弱軸方向となることから、地震時荷重を算出するための横断方向（水平方向）の断面を候補断面とする。

また、鉛直部は、原子炉補機冷却海水系配管、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管等を間接支持する支持機能が要求されるが、機器・配管は横断方向（水平方向）・縦断方向（鉛直方向）にほぼ一様に設置されているため、断面選定の観点として機器・配管の設置位置による影響を考慮する必要はない。

鉛直部の周辺状況として、横断方向（水平方向）の北側及び南側には、一様に地盤改良がなされており、その外側の地下水位も構造物下端より十分低くほぼ同様であることから、断面選定の観点として周辺状況の影響を考慮する必要はない。

さらに、床応答については、水平部及び海水ポンプ室の地震応答解析で代表することから、候補断面の整理の観点には含めない。

原子炉機器冷却海水配管ダクトの掘削図を図4.2-8に、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地質断面図を図4.2-9、図4.2-10に示す。

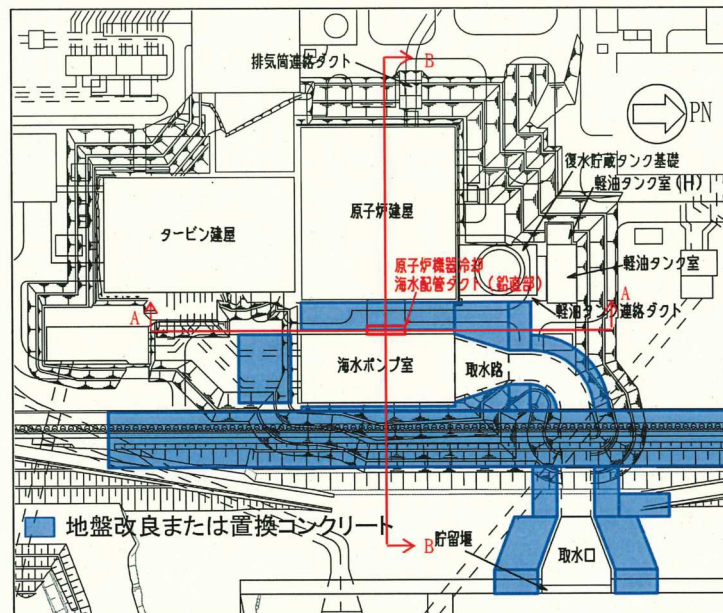


図4.2-8 原子炉機器冷却海水配管ダクト掘削図

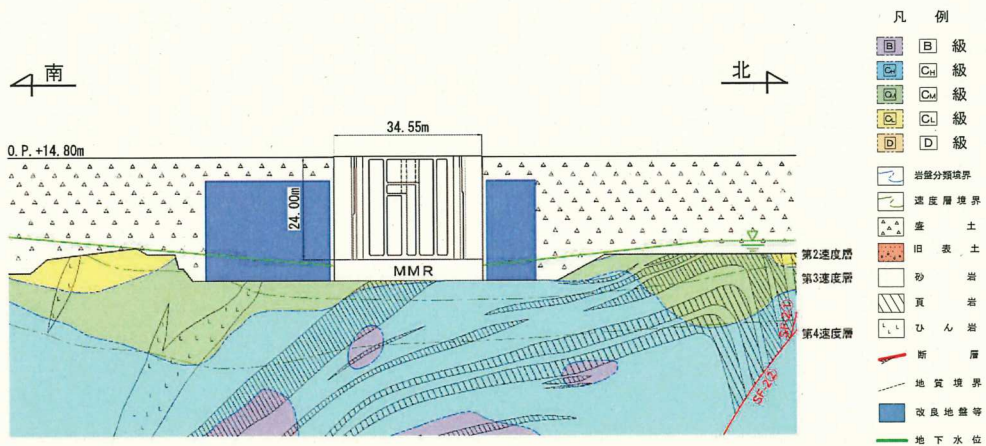


図 4.2-9 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）地質断面図（A-A）

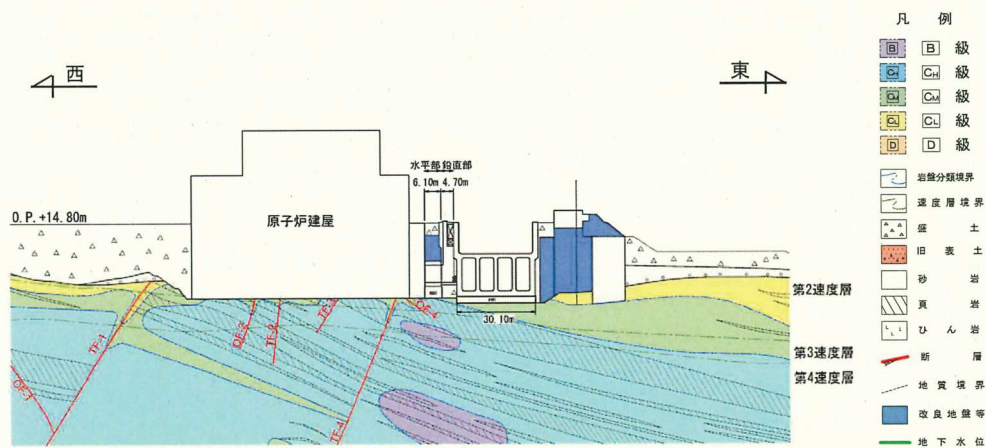


図 4.2-10 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）地質断面図（B-B）

(2) 評価対象断面・地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

a. 水平部

原子炉機器冷却海水配管ダクトの水平部は、一様な断面を有する比較的単純な四連のボックスカルバート構造の線状構造物であり、明確な弱軸方向・強軸方向を有し、縦断方向（延長方向）に構造・配筋の変化もなく、機器・配管の設置位置及び周辺状況も延長方向に差異がないことから、構造物延長方向の中心を通る横断方向（延長方向に直交する方向）の断面を代表として、評価対象断面とする。

解析手法について、水平部の北側及び南側の地盤は、一様に地盤改良がなされており、その外側の地下水位はほぼ一様で、構造物底版より十分に低いことから液状化の影響はなく、解析手法は全応力解析を選定する。



b. 鉛直部

原子炉機器冷却海水配管ダクトの鉛直部は、8つの隔壁を有する九連のボックスカルバート構造である。地震時の照査においては、縦断方向（鉛直方向）に区間を分割し、横断方向（水平方向）のフレームモデルにて断面力等を算出し照査を行うことから、横断方向（水平方向）のフレームモデルに作用させる地震時荷重を算出するための断面を選定する。

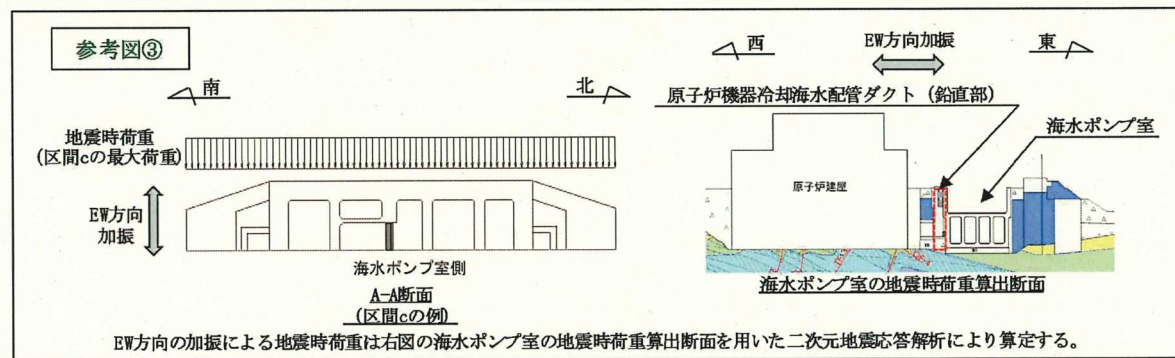
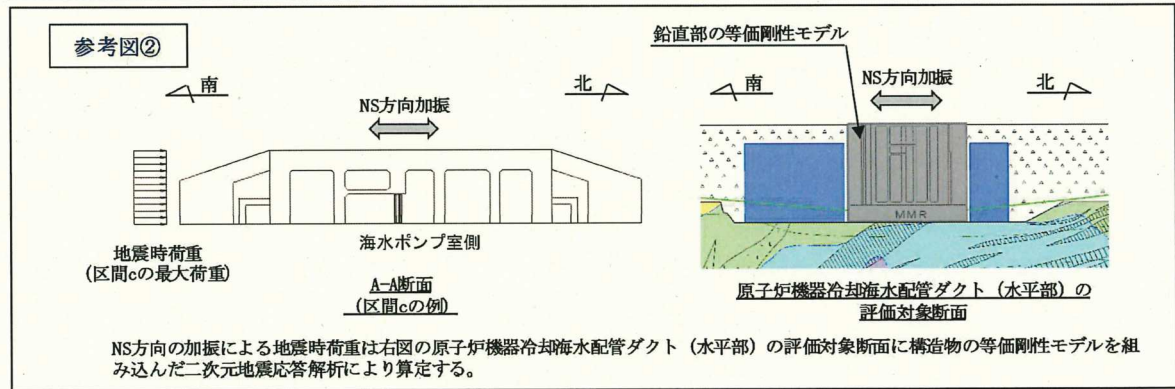
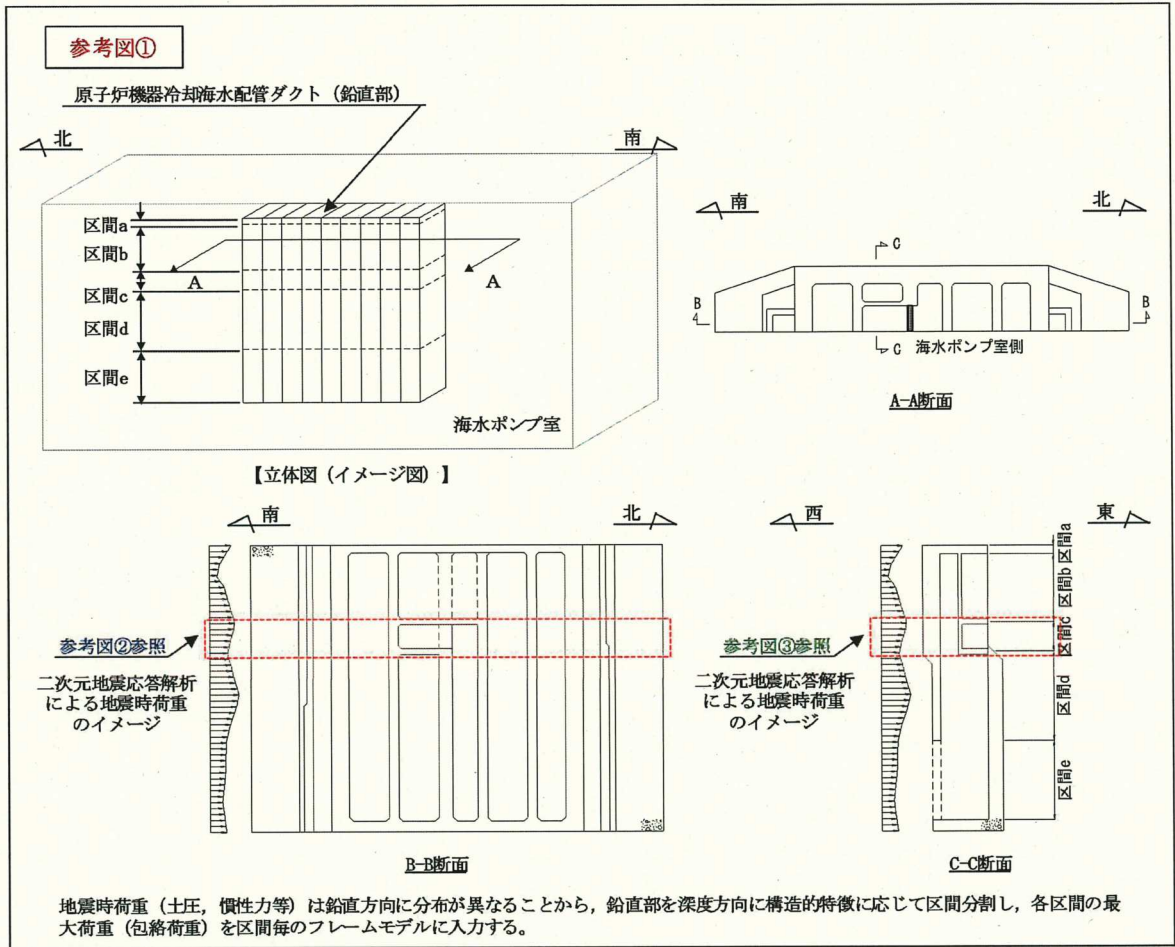
構造解析は、参考図 4.2-1 に示すように、深度ごとに区間を分割してフレームモデルを作成し地震時荷重を載荷するため、EW 方向及び NS 方向の両方向の断面から、地震時荷重を算出するための地震時荷重算出断面を選定する。

EW 方向の地震時荷重の算出においては、鉛直部の周辺は一様に地盤改良がなされ、その外側の地下水位も構造物下端より十分に低くほぼ一様であり、隣接する海水ポンプ室と同様であることから、海水ポンプ室の補機ポンプエリアの中心を通る断面を代表として、地震時荷重算出断面とする。

NS 方向の地震時荷重の算出においては、鉛直部の周辺は一様に地盤改良がなされ、その外側の地下水位も構造物下端より十分に低くほぼ一様であり、水平部と同様であることから、水平部で選定した断面を代表として地震時荷重算出断面とし、構造物は等価な剛性を考慮してモデル化する。

解析手法について、鉛直部の北側及び南側の地盤は、一様に地盤改良がなされており、その外側の地下水位はほぼ一様で、構造物下端より十分に低いことから液状化の影響はない。また、東側には海水ポンプ室が、西側には原子炉建屋が隣接し、周辺に液状化検討対象層が分布しないことから、解析手法は全応力解析を選定する。

原子炉機器冷却海水配管ダクトの評価対象断面・地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.2-1 に、評価対象断面図・地震時荷重算出断面図を図 4.2-11 に示す。



参考図 4.2-1 地震時荷重算出のイメージ

表 4.2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト 評価対象断面・地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

位置	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	選定結果
水平部	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>縦断面の比較的单純な四連のボックスカルバート構造</li> <li>一様な断面を有する線状構造物であり、明確な弱軸方向・強軸方向を有し、横断方向(延長方向に直交する方向)が弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に設置されている。</li> <li>北側及び南側は一樣に地盤改良がなされ、その外側の地下水位はほぼ一樣で構造物底板より十分に低い。</li> <li>東側には海水ポンプ室が、西側には原子炉建屋が隣接する。</li> <li>水平部直下の MMR を介して OF-4 断層と接している。</li> <li>規模・重量が十分に大きい海水ポンプ室と東側で結合しており、MMR を介して岩盤に設置されている。</li> <li>西側は地盤改良がなされており、その外側には原子炉建屋が配置されている。</li> <li>地下水位はほぼ一樣で構造物下端より十分に低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機冷却海水系配管</li> <li>高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一様な断面を有する四連のボックスカルバート構造であり、機器・配管の設置位置や周辺状況の差異もないことから、構造物延長方向の中心を通る横断方向(延長方向に直交する方向)の断面を評価対象断面とする。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>
	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水ポンプ室と結合し、縦断方向(鉛直方向)に8つの隔壁により仕切られたボックスカルバート構造</li> <li>縦断方向(鉛直方向)にはほぼ一様な断面であり、明確な弱軸・強軸方向を有し、横断方向(水平方向)が弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規模・重量が十分に大きい海水ポンプ室と東側で結合しており、MMR を介して岩盤に設置されている。</li> <li>西側は地盤改良がなされており、その外側には原子炉建屋が配置されている。</li> <li>地下水位はほぼ一樣で構造物下端より十分に低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機冷却海水系配管</li> <li>高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管</li> <li>浸水防止蓋</li> <li>防潮壁</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺状況の差異がなく、海水ポンプ室と同様であることから、海水ポンプ室補機ポンプエリアを通る断面を地震時荷重算出断面とする。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>
鉛直部	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>南側、北側のいずれも地盤改良がなされており、その外側は盛土で埋め戻されている。</li> <li>地下水位はほぼ一樣で、構造物下端より十分に低い。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺状況の差異がなく、水平部と同様であることから、水平部で選定する断面を地震時荷重算出断面とする。</li> <li>二次元等価剛性モデルは、構造物の剛性を考慮する。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>
NS 方向	同上	同上	同上	同上	同上

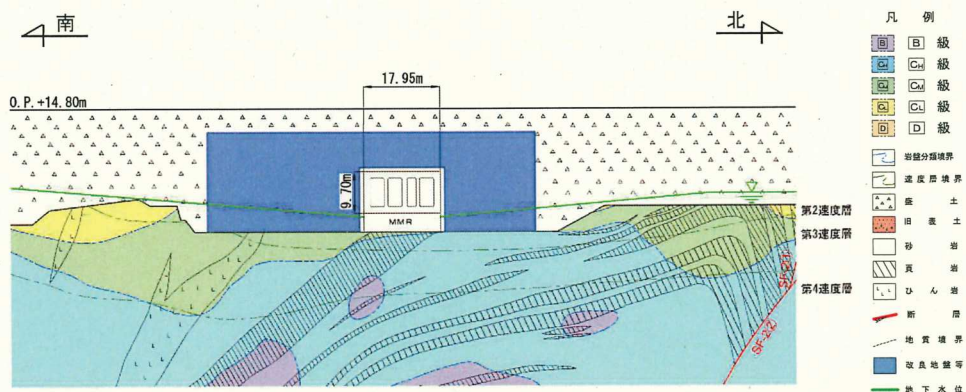


図 4.2-11(1) 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）評価対象断面図

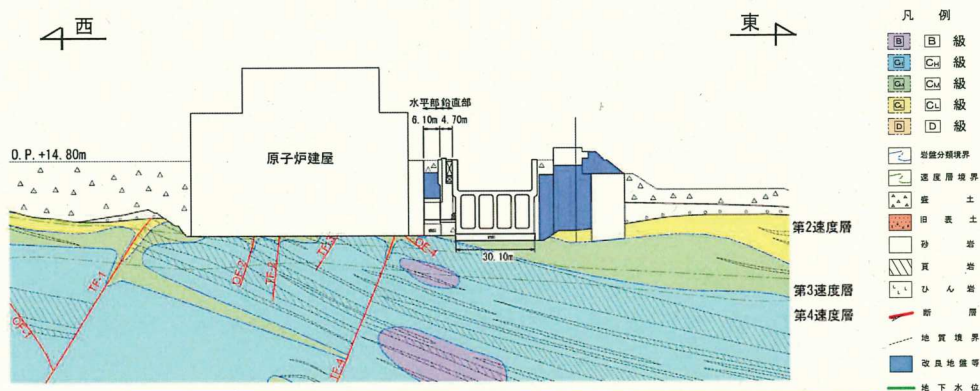


図 4.2-11(2) 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）  
地震時荷重算出断面図（EW方向）

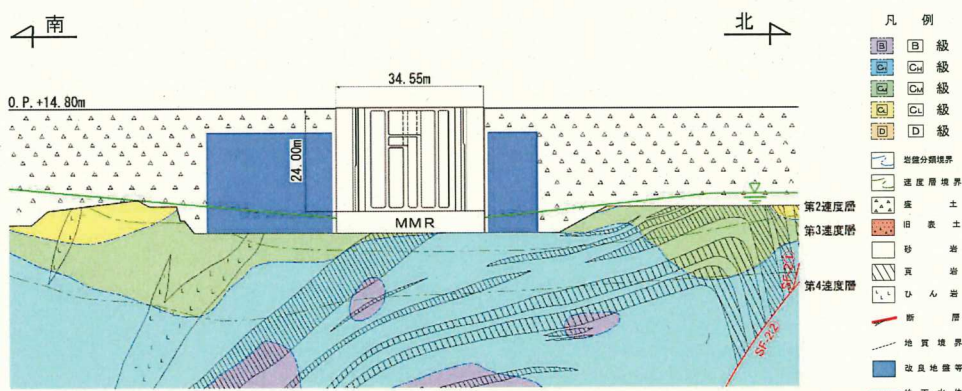


図 4.2-11(3) 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）  
地震時荷重算出断面図（NS方向）

#### 4.3 排気筒連絡ダクト（土砂部・岩盤部）

排気筒連絡ダクトの配置図を図 4.3-1 に、平面図を図 4.3-2 に、断面図を図 4.3-3、図 4.3-4 に示す。

排気筒連絡ダクトは、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である非常用ガス処理系配管を間接支持しており、支持機能が要求される。

排気筒連絡ダクトは、原子炉建屋と排気筒を結ぶ、延長 187.49m、内空  の鉄筋コンクリート造の地下トンネル構造物であり、幌形トンネルの土砂部と円形トンネルの岩盤部にて構成され、岩盤部は円形トンネルが岩盤に囲まれており、土砂部は直接又は MMR を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

排気筒連絡ダクトは、延長方向に 3.0m~9.0m 間隔に分割し構造目地を介して接合され、原子炉建屋及び排気筒との接合部には耐震ジョイントが設置されており、土砂部と岩盤部のそれぞれの区間で延長方向に断面の変化がない線状構造物である。

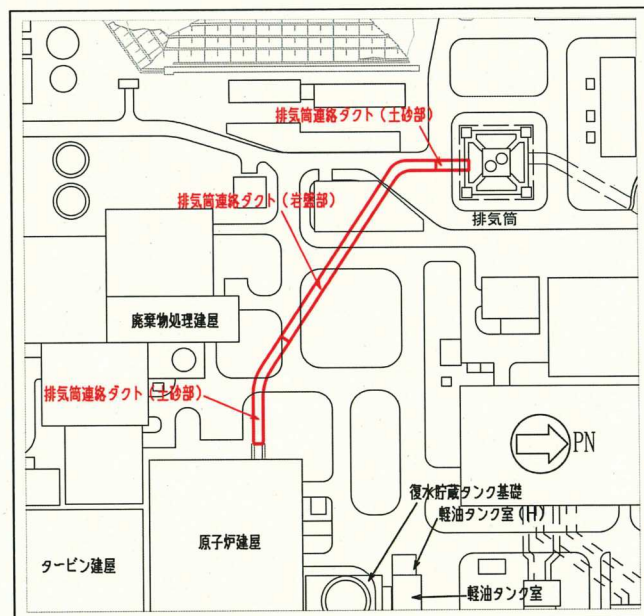


図 4.3-1 排気筒連絡ダクト配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

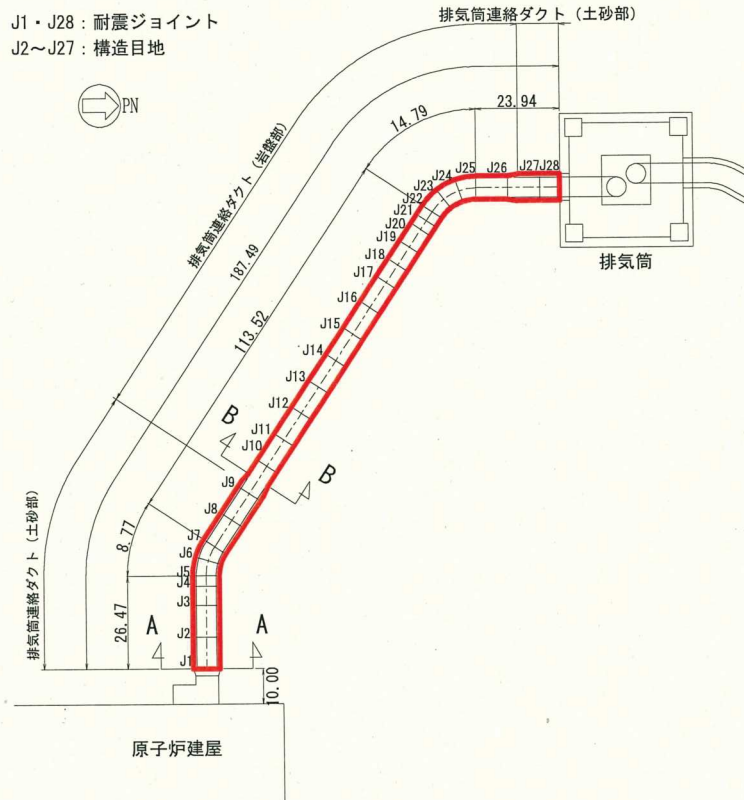


図 4.3-2 排気筒連絡ダクト平面図

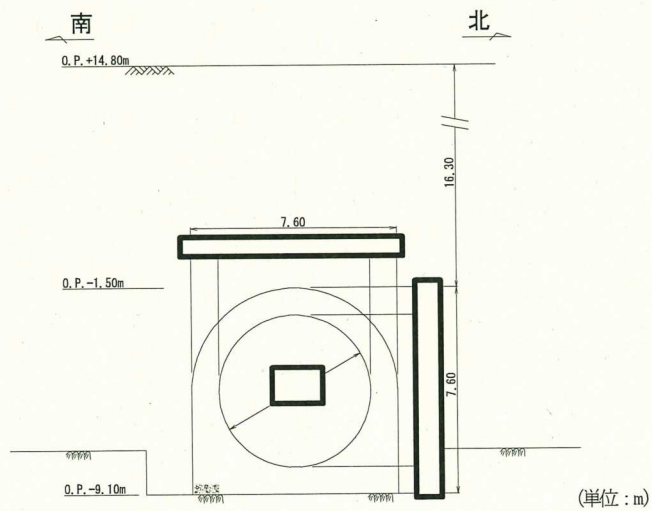


図 4.3-3 排気筒連絡ダクト断面図 (土砂部, A-A)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

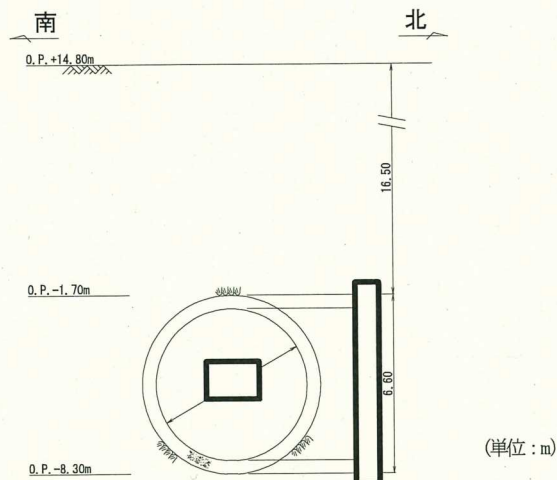


図 4.3-4 排気筒連絡ダクト断面図（岩盤部，B-B）

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い，候補断面を整理する。

排気筒連絡ダクトは，幌型トンネル（土砂部）と円形トンネル（岩盤部）のそれぞれの区間において，断面形状及び配筋が延長方向に一樣であるため，断面選定の観点として構造・配筋の変化による影響を考慮する必要はなく，断面選定上考慮すべき隣接構造物も存在しない。地下水位は，全線において排気筒連絡ダクト底板位置から一樣（トンネル縦断勾配と平行）とすることから，周辺状況の地下水位は，候補断面の整理の観点には含めない。

また，排気筒連絡ダクトは，非常用ガス処理系配管を間接支持する支持機能が要求されるが，機器・配管は延長方向に一樣に設置されているため，断面選定の観点として機器・配管の設置位置による影響を考慮する必要はない。

排気筒連絡ダクトは，横断方向（延長方向に直交する方向）に構造部材がない線状構造物であり，横断方向（延長方向に直交する方向）が明確な弱軸になるとともに全線にわたりブロック割されており，延長方向の応力は区画ごとに解放されることから，横断方向（延長方向に直交する方向）の断面を候補断面とする。

排気筒連絡ダクトの構造は，土砂部及び岩盤部のそれぞれで一樣であるが，周辺地質状況は断面位置により異なる。地震時においては，排気筒連絡ダクトの土被り及び周辺の地質状況の影響が支配的であると考えられることから，土被り厚が最大の位置に加え，排気筒連絡ダクト延長方向の複数地点にて基準地震動  $S_s$ （7波）による一次元地震応答解析を実施し，その結果に基づいて評価対象断面を選定する。

排気筒連絡ダクトの縦断図及び候補断面の位置を図 4.3-5 に，掘削図を図 4.3-6 に，土砂部及び岩盤部の地質断面図を図 4.3-7，図 4.3-8 に示す。また，候補断面（一次元地震応答解析の実施位置）の特徴について，土砂部を表 4.3-1 に，岩盤部を表 4.3-2 に示す。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

排気筒連絡ダクトの深さは始点（断面①）で最も深く、終点（断面⑫）が最も浅くなっている。また、排気筒連絡ダクトの縦断勾配は、土砂部は0.5%であり、岩盤部は7.3%である。

周辺地盤について、土砂部は始点近傍（原子炉建屋側）と終点近傍（排気筒側）に分かれており、始点近傍には盛土及び旧表土が、終点近傍には盛土が分布している。一方、岩盤部は、始点近傍及び終点近傍の土砂部に挟まれた区間であり、土砂部との境界の地表面付近に一部盛土が分布するものの、大部分は地表面まで岩盤が露出しており、円形トンネルは岩盤に囲まれている。

排気筒連絡ダクトの耐震評価及び床応答算出の候補断面は、液状化検討対象層（盛土・旧表土）の分布状況、トンネルの構造形式の違いに着目し、土砂部と岩盤部に分類し、各区間における周辺状況等を考慮して、それぞれ選定する。

始点近傍の土砂部にはTF-1断層が、終点近傍の土砂部にはSF-2②断層が幌型トンネル底面で接しており、岩盤部ではOF-1断層及びSF-2①断層が、円形トンネルと接している。断層と構造物の位置関係について、断層の影響を確認する断面としては、土砂部はTF-1断層の方が、岩盤部はOF-1断層の方が断層の規模は大きく、断層の変形による構造物への影響は大きいと考えられることから、土砂部はTF-1断層と接する断面②を、岩盤部はOF-1断層と接する断面⑦を候補断面とする。なお、断層の影響を確認するための断面選定の詳細については、「参考資料2 断層の影響を評価する断面について」に示す。

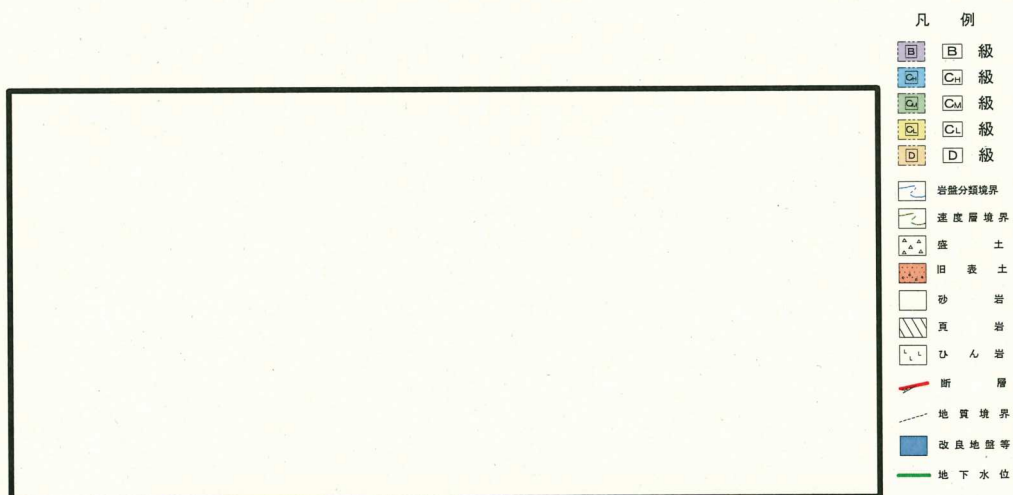


図 4.3-5 排気筒連絡ダクト縦断図及び候補断面位置

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



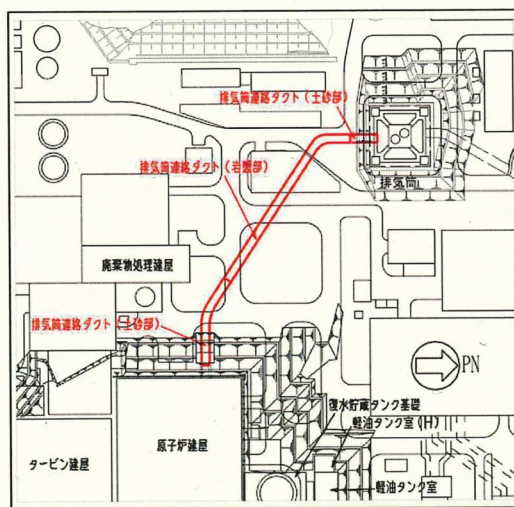


図4.3-6 排気筒連絡ダクト掘削図

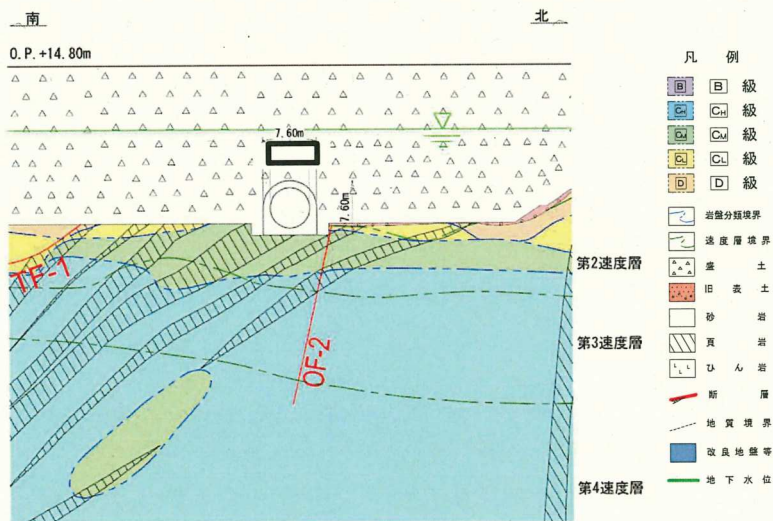


図 4.3-7 排気筒連絡ダクト (土砂部) 地質断面図 (断面①)

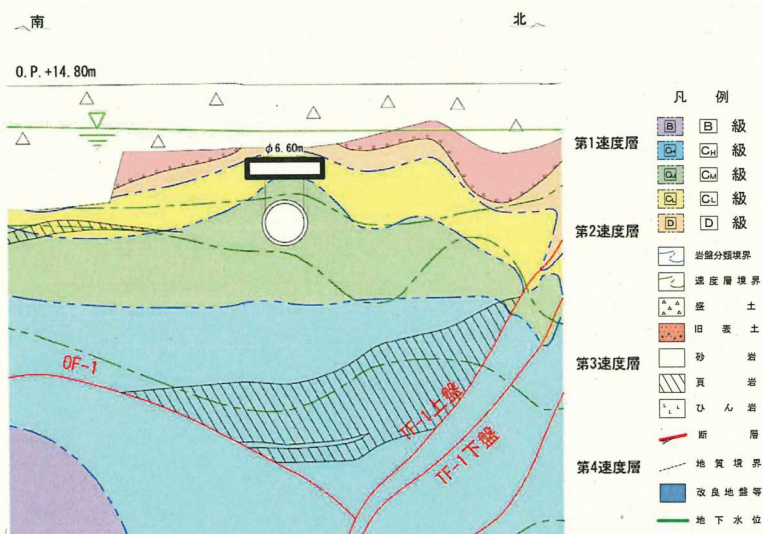


図 4.3-8 排気筒連絡ダクト (岩盤部) 地質断面図 (断面⑤)

表 4.3-1 排気筒連絡ダクト（土砂部） 候補断面の特徴

位置	候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況
原子炉 建屋側 (始点側)	断面①	支持機能	幌型 トンネル	全区間で岩盤上面の標高が最も低く、土被りが最も厚い。
	断面③	同上	同上	液状化検討対象層となる盛土及び旧表土が広く分布し、旧表土の厚さが全区間で最も厚い。
	断面④	同上	同上	岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。
排気筒側 (終点側)	断面⑪	同上	同上	岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。
	断面⑫	同上	同上	全区間で土被りが最も薄い。

表 4.3-2 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 候補断面の特徴

候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況
断面⑤	支持機能	円形 トンネル	岩盤部において、トンネル底版の標高が最も低く、土被り（盛土、岩盤）が最も厚い。地震応答に影響を与える岩盤の速度層区分に着目すると、地盤の剛性が低い第2速度層下面が最も深い。
断面⑥	同上	同上	地表面に岩盤が露出している区間（土被りに盛土が存在しない区間）において、土被り（岩盤のみ）が最も厚い。
断面⑧	同上	同上	地震応答に影響を与える岩盤の速度層区分に着目し、地盤の剛性が高い第3速度層上面が最も浅い。
断面⑨	同上	同上	地表面に岩盤が露出している区間（土被りに盛土が存在しない区間）において、土被り（岩盤のみ）が最も薄い。
断面⑩	同上	同上	岩盤部において、トンネル底版の標高が最も高く、土被り（盛土、岩盤）が最も薄い。

(2) 評価対象断面及び解析手法の選定

排気筒連絡ダクトは、土砂部と岩盤部で、構造的特徴や周辺状況が異なることから、それぞれの断面から評価対象断面を選定する。

土砂部は、構造物周辺に液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布することから、一次元全応力解析及び一次元有効応力解析による地震応答解析を実施し、耐震評価上厳しい候補断面を評価対象断面として絞り込むとともに、保守的となる解析手法を選定する。岩盤部は構造物周辺に液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布しないことから、一次元全応力解析により評価対象断面の絞り込みを行う。

また、評価に使用する地震波は、基準地震動  $S_s$ （7波）を用いる。

a. 耐震評価断面（土砂部）

候補断面として選定した断面①、断面③、断面④、断面⑪、断面⑫の一次元地震応答解析のモデル図（土砂部）を図 4.3-9 に示す。

土砂部については、周辺に盛土・旧表土が分布する幌型のトンネル構造であり、地震時の地盤の変形に構造物が抵抗することより、地盤から構造物に荷重（土圧）が作用する。その作用荷重は、地盤のせん断応力が大きい程大きくなり、耐震評価上、構造物は厳しくなると考えられる。したがって、地盤の一次元地震応答解析における構造物範囲（深度）の盛土及び旧表土のせん断応力に着目し、評価対象断面及び解析手法を選定する。指標選定の詳細については、「参考資料 1 一次元地震応答解析による解析手法選定の妥当性について」に示す。

土砂部の一次元地震応答解析結果を表 4.3-3 に示す。また候補断面におけるせん断応力分布（全時刻最大）を図 4.3-10 に示す。

候補断面として選定した断面①、断面③、断面④、断面⑪、断面⑫について、一次元全応力解析及び一次元有効応力解析による比較を行った結果、構造物の震度における盛土及び旧表土のせん断応力分布は、全応力解析から求まるせん断応力の方が大きかった。また、候補断面のなかでは、岩盤上面の標高が最も低く、土被りが最も厚い断面①におけるせん断応力が最大となった。

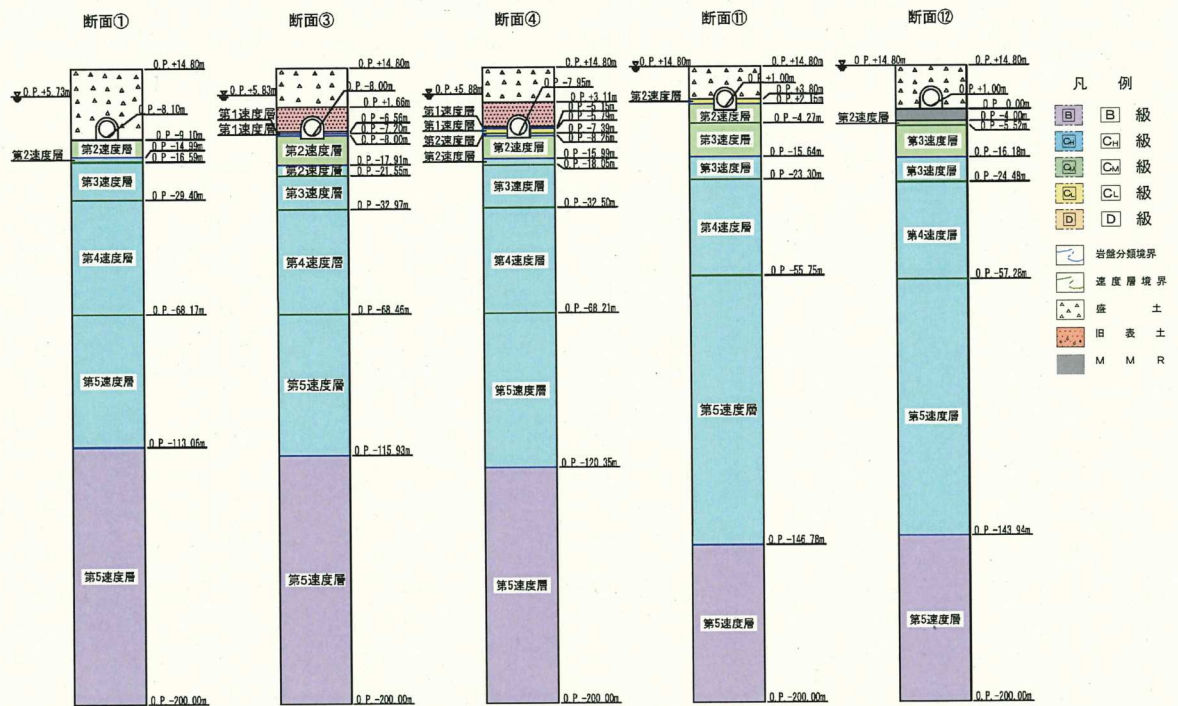


図 4.3-9 一次元地震応答解析モデル図（土砂部）

表 4.3-3 一次元地震応答解析結果（土砂部）

候補 断面	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> ) *	
	全応力解析	有効応力解析
断面①	101 (S <sub>s</sub> - N 1)	100 (S <sub>s</sub> - D 2)
断面③	85 (S <sub>s</sub> - F 2)	62 (S <sub>s</sub> - N 1)
断面④	82 (S <sub>s</sub> - D 2)	59 (S <sub>s</sub> - N 1)
断面⑪	74 (S <sub>s</sub> - N 1)	52 (S <sub>s</sub> - N 1)
断面⑫	75 (S <sub>s</sub> - N 1)	58 (S <sub>s</sub> - N 1)

注記\*：構造物深度のうち盛土及び旧表土における最大値  
 上段：最大応答値，下段：最大応答値を示す地震動  
 網掛：各指標（せん断応力）の最大値

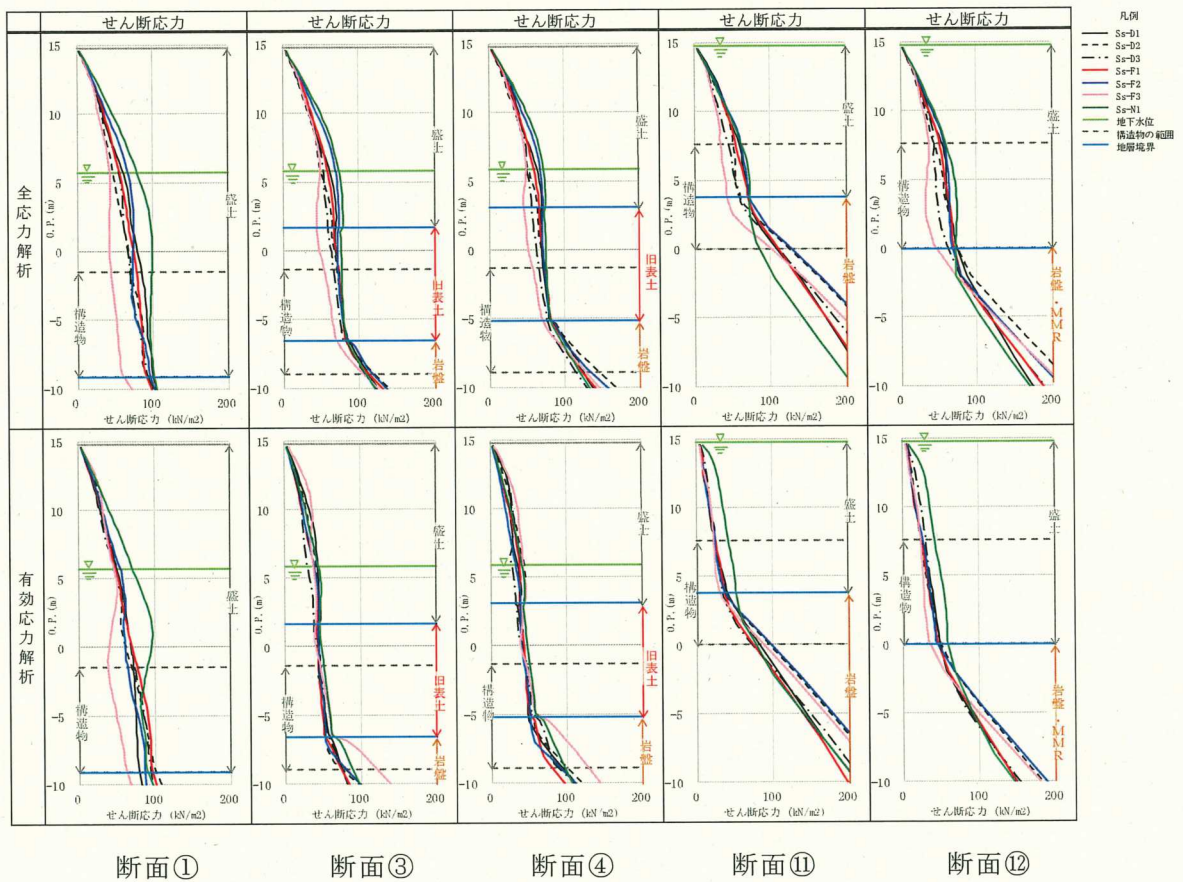


図 4.3-10 せん断応力分布 (全時刻最大)

b. 耐震評価断面 (岩盤部)

候補断面として選定した断面⑤, 断面⑥, 断面⑧, 断面⑨, 断面⑩の一次元地震応答解析のモデル図 (岩盤部) を図 4.3-11 に示す。

岩盤部については, 周辺が硬質な岩盤に囲まれた円形のトンネル構造であり, 地震時の地盤の変形に追従するように構造物の変形する。その変形は, 地盤の変形が大きい程大きくなり, 耐震評価上, 構造物は厳しくなると考えられる。したがって, 地盤の一次元地震応答解析における構造物上端と下端位置における相対変位に着目し, 評価対象断面を選定する。

岩盤部の一次元地震応答解析結果を表 4.3-4 に示す。また候補断面における構造物上端と下端位置における最大相対変位 (最大相対変位発生時刻) を図 4.3-12 に示す。

候補断面として選定した断面⑤, 断面⑥, 断面⑧, 断面⑨, 断面⑩について, 一次元全応力解析による比較を行った結果, 岩盤部においてトンネル底版の標高が最も低く, 土被り (盛土, 岩盤) が最も厚い断面⑤における最大相対変位が最大となった。なお, 断面⑤の最大相対変位は断面⑨, 断面⑩に比べて 10% 大きい

変位となっている。

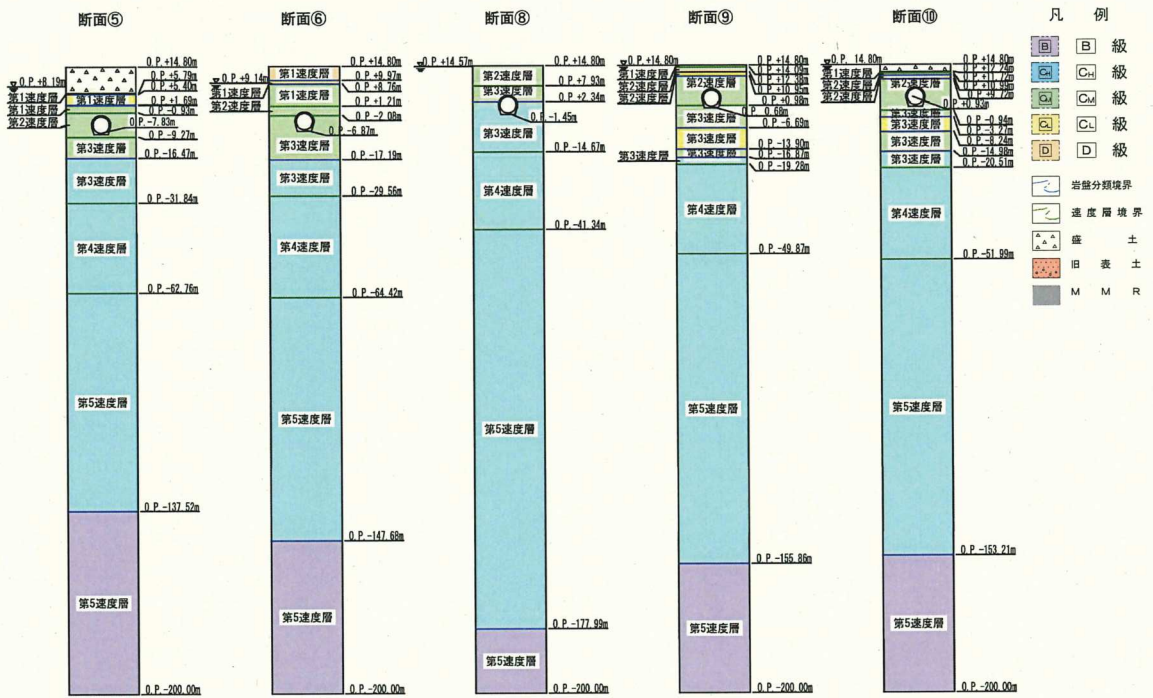


図 4.3-11 一次元地震応答解析のモデル図 (岩盤部)

表4.3-4 一次元応答解析結果（岩盤部）

候補断面	最大相対変位(mm)
	全応力解析
断面⑤	1.1 (S <sub>s</sub> -F2)
断面⑥	0.7 (S <sub>s</sub> -N1)
断面⑧	0.3 (S <sub>s</sub> -F3)
断面⑨	1.0 (S <sub>s</sub> -F3)
断面⑩	1.0 (S <sub>s</sub> -D2)

上段：最大応答値，下段：最大応答値を示す地震動  
 網掛：各指標（最大相対変位）の最大値

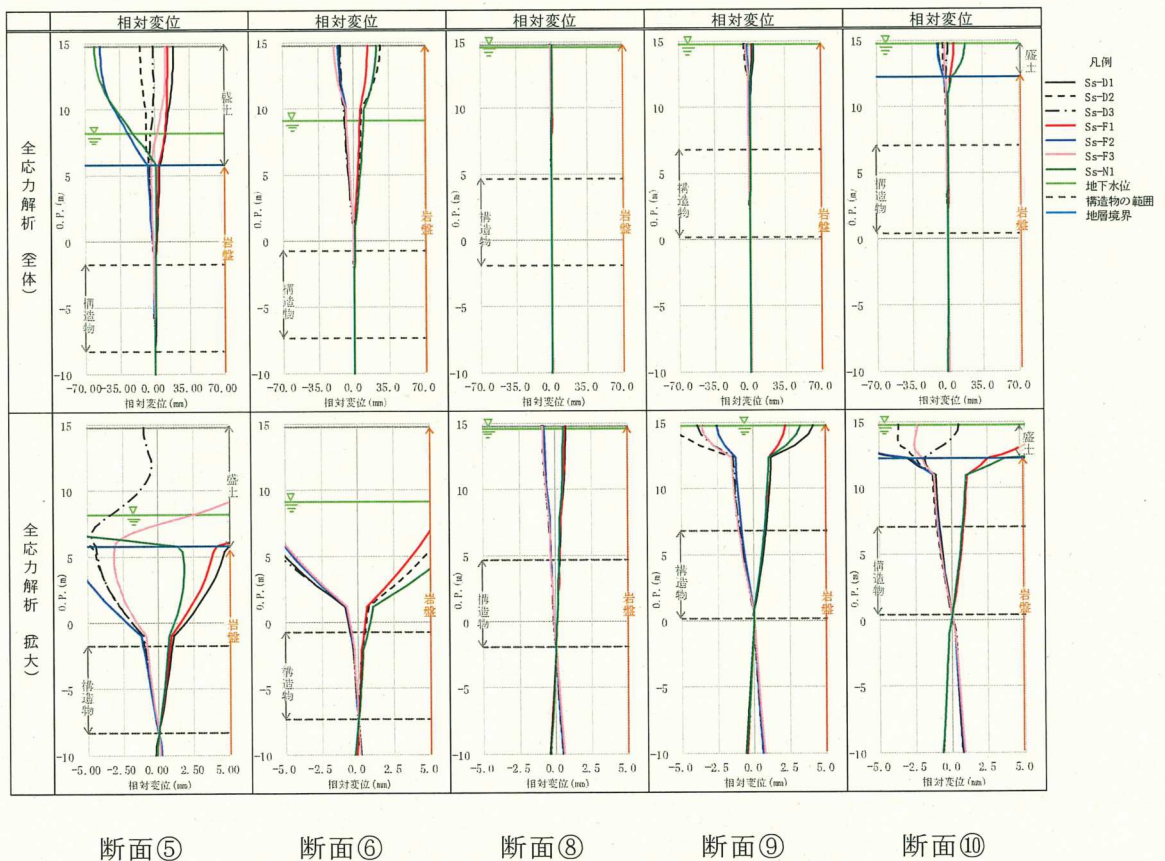


図4.3-12 相対変位分布（最大相対変位発生時刻）

c. 床応答算出断面

候補断面として選定した断面①，断面③，断面④，断面⑤，断面⑥，断面⑧，断面⑨，断面⑩，断面⑪，断面⑫に対し，機器・配管系の床応答の観点から，配管が設置される構造物下端の深度の応答加速度を比較することにより，評価対象断面及び解析手法を選定する。

候補断面の一次元地震応答解析結果を表 4.3-5 に示す。

候補断面として選定した断面について，一次元全応力解析及び一次元有効応力解析（土砂部）による比較を行った結果，盛土に加え旧表土が広く分布し，旧表土の厚さが最も厚い断面③における最大加速度が全応力解析で最大となった。

表4.3-5 一次元地震応答解析結果（床応答）

候補断面	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	
	全応力解析	有効応力解析
断面①	833 (S <sub>s</sub> -D 2)	726 (S <sub>s</sub> -F 3)
断面③	967 (S <sub>s</sub> -D 2)	844 (S <sub>s</sub> -D 3)
断面④	940 (S <sub>s</sub> -D 2)	781 (S <sub>s</sub> -F 3)
断面⑤	717 (S <sub>s</sub> -F 3)	—
断面⑥	687 (S <sub>s</sub> -F 3)	—
断面⑧	673 (S <sub>s</sub> -F 2)	—
断面⑨	661 (S <sub>s</sub> -D 1)	—
断面⑩	749 (S <sub>s</sub> -D 2)	—
断面⑪	937 (S <sub>s</sub> -D 2)	748 (S <sub>s</sub> -F 3)
断面⑫	797 (S <sub>s</sub> -F 3)	702 (S <sub>s</sub> -F 3)

上段：最大応答値，下段：最大応答値を示す地震動  
網掛：各指標（最大加速度）の最大値



(3) 評価対象断面及び解析手法の選定結果

排気筒連絡ダクト（土砂部）の評価対象断面及び解析手法の選定結果を表 4.3-5 に、排気筒連絡ダクト（岩盤部）の評価対象断面及び解析手法の選定結果を表 4.3-6 に示す。また、排気筒連絡ダクト（土砂部）の評価対象断面図を図 4.3-13 に、排気筒連絡ダクト（岩盤部）の評価対象断面図を図 4.3-14 に示す。

耐震評価断面のうち土砂部については、岩盤上面の標高が最も低く、また土被りが最も厚く、一次元地震応答解析結果のせん断応力が最も大きい断面①を評価対象断面として選定し、解析手法は全応力解析を選定する。

耐震評価断面のうち岩盤部については、岩盤部でトンネル底版の標高が最も低く、また土被り（盛土、岩盤）が最も厚く、一次元地震応答解析結果の構造物上端と下端位置におけるの相対変位が最も大きい断面⑤を評価対象断面として選定し、解析手法は全応力解析を選定する。

機器・配管系の床応答算出断面については、旧表土が広く分布し全区間で旧表土が最も厚く、配管が設置される構造物下端の深度の応答加速度が最も大きい断面③を評価対象断面として選定し、解析手法は全応力解析を選定する。

また、断層の影響を確認するための評価対象断面として、土砂部の断面②（TF-1 断層）及び岩盤部の断面⑦（OF-1 断層）を選定し、解析手法は全応力解析を選定する。

表 4.3-5 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面及び解析手法の選定結果

位置	候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	評価対象断面			選定結果
						耐震評価	床応答算出	断層影響	
原子炉 建屋側 (始点側)	断面①	支持機能	幌型トンネル	・全区間で岩盤上面の標高が最も低く、土破りが最も厚い。	・非常用ガス処理系配管	○	—	—	・土砂部における候補断面で一次元地震応答解析結果のせん断応力が最大となることから、評価対象断面として選定する。 (解析手法：全応力解析)
	断面②*	同上	同上	・トンネル底面で接する断層のうち、規模の大きい TF-1 断層と接する断層と接する。	同上	—	—	○	・トンネル底面で接する断層のうち、規模の大きい TF-1 断層と接し、断層の影響を確認するための評価対象断面として選定する。 (解析手法：全応力解析)
排気筒側 (終点側)	断面③	同上	同上	・液化化検討対象層となる盛土に加え旧表土が分布し、旧表土の厚さが全区间で最も厚い。	同上	—	○	—	・一次元地震応答解析の結果、全区间（土砂部・岩盤部）を通じて構造物下端の深度の応答加速度が最大となる。このため床応答の観点から評価対象断面として選定する。 (解析手法：全応力解析)
	断面④	同上	同上	・岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。	同上	—	—	—	・一次元地震応答解析の結果から、評価対象断面として選定しない。
	断面⑪	同上	同上	・岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。	同上	—	—	—	・一次元地震応答解析の結果から、評価対象断面として選定しない。
	断面⑫	同上	同上	・全区間で土破りが最も薄い。	同上	—	—	—	・一次元地震応答解析の結果から、評価対象断面として選定しない。

注記\*：詳細は、「参考資料 2 断層の影響を評価する断面について」に示す。

表 4.3-6 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面及び解析手法の選定結果

候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	評価対象断面			選定結果
					耐震評価	床応答算出	断層影響	
断面⑤	支持機能	円形トンネル	・岩盤部において、トンネル底板の標高が最も低く、土被り（盛土、岩盤）が最も厚い。地震応答に影響を与える岩盤の速度層区分に着目すると、地盤の剛性が低い第2速度層下面が最も深い。	・非常用ガス処理系配管	○	—	—	・岩盤部における候補断面で一次元地震応答解析結果の構造物上端と下端の相対変位が最大となることから、評価対象断面として選定する。 (解析手法：全応力解析)
断面⑥	同上	同上	・地表面に岩盤が露出している区間（土被りに盛土が存在しない区間）において、土被り（岩盤のみ）が最も厚い。	同上	—	—	—	・一次元地震応答解析の結果から、評価対象断面として選定しない。
断面⑦*	同上	同上	・構造物周辺が岩盤で囲まれている状況で接する断層のうち、規模の大きい0F-1断層と接する。	同上	—	—	○	・構造物周辺が岩盤で囲まれている状況で接している断層のうち、規模の大きい0F-1断層と接し、断層の影響を確認するための評価対象断面として選定する。 (解析手法：全応力解析)
断面⑧	同上	同上	・地震応答に影響を与える岩盤の速度層区分に着目し、地盤の剛性が高い第3速度層上面が最も浅い。	同上	—	—	—	・一次元地震応答解析の結果から、評価対象断面として選定しない。
断面⑨	同上	同上	・地表面に岩盤が露出している区間（土被りに盛土が存在しない区間）において、土被り（岩盤のみ）が最も薄い。	同上	—	—	—	・一次元地震応答解析の結果から、評価対象断面として選定しない。
断面⑩	同上	同上	・岩盤部において、トンネル底板の標高が最も高く、土被り（盛土、岩盤）が最も薄い。	同上	—	—	—	・一次元地震応答解析の結果から、評価対象断面として選定しない。

注記\*：詳細は、「参考資料2 断層の影響を評価する断面について」に示す。

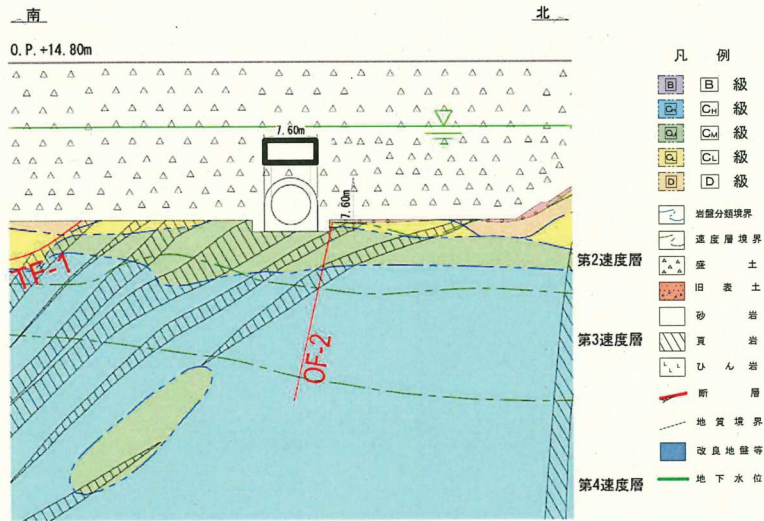


図 4.3-13(1) 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面①）

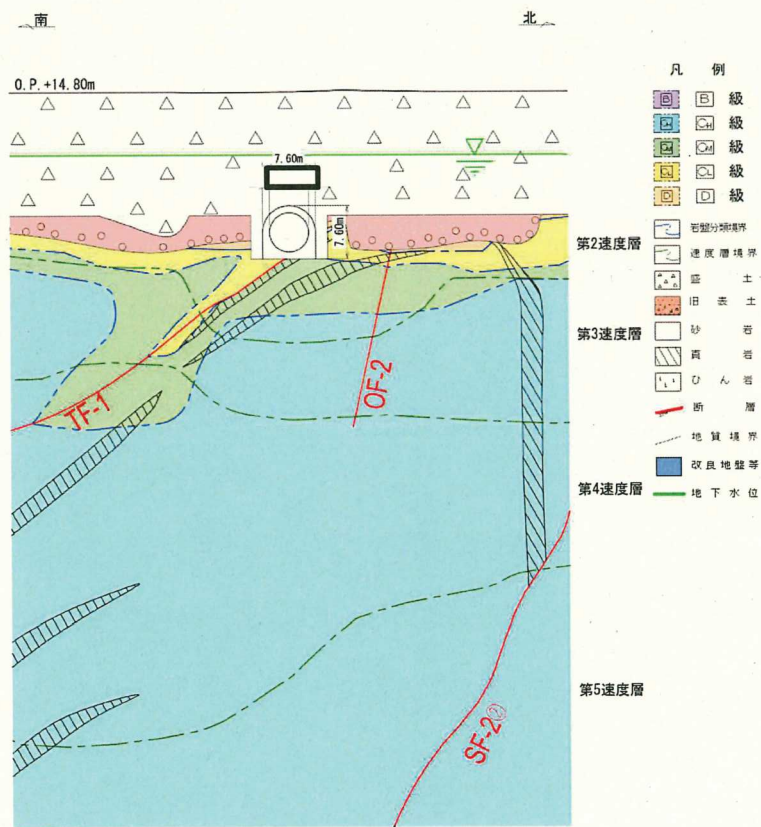


図 4.3-13(2) 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面②）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

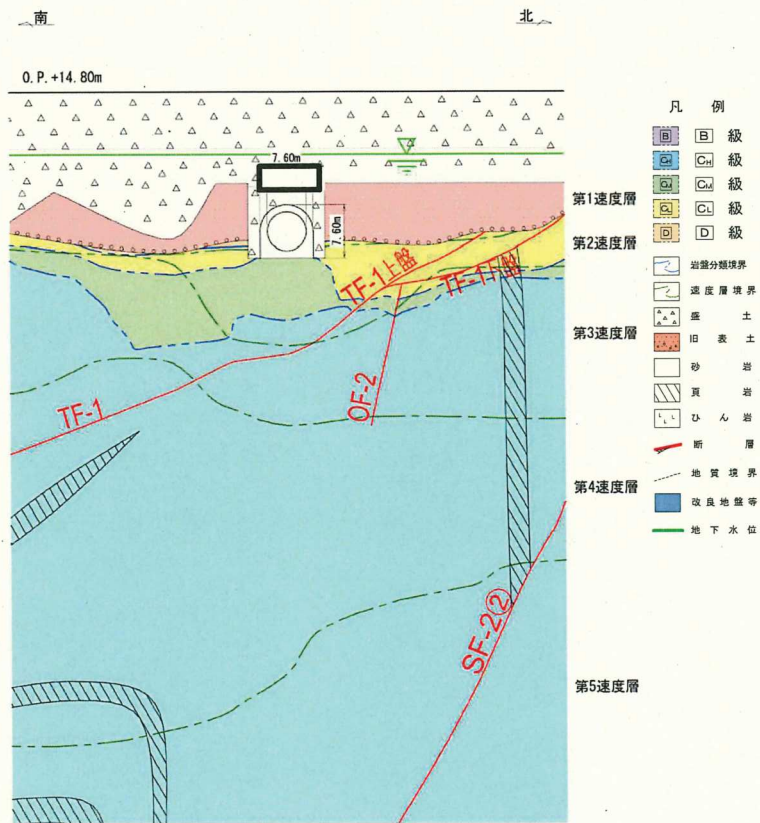


図 4.3-13 (3) 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面③）

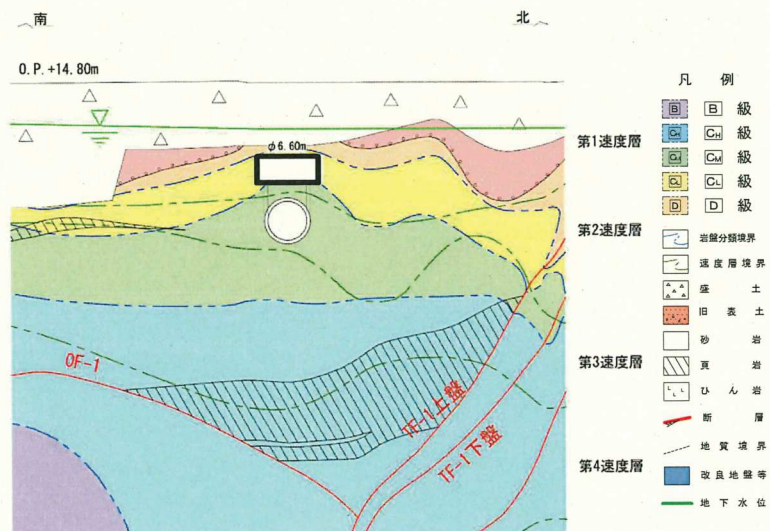


図 4.3-14 (1) 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面図（断面⑤）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

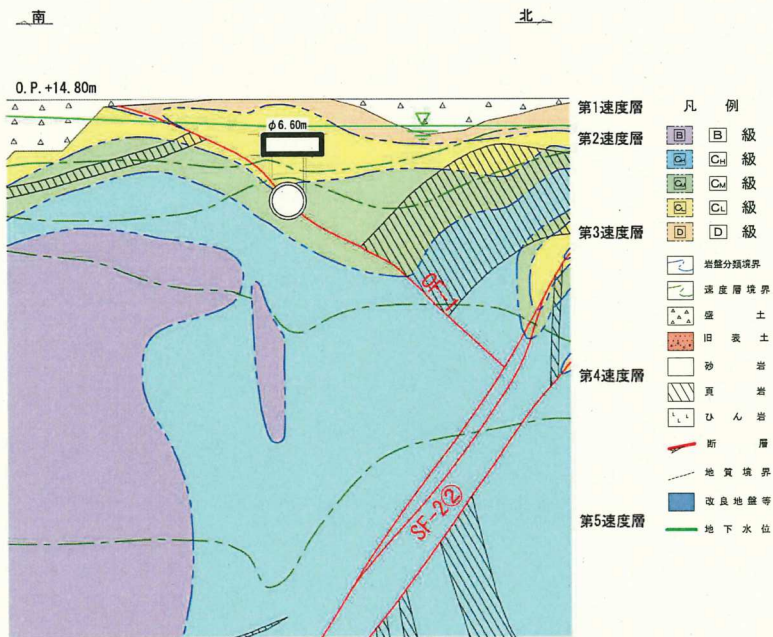


図 4.3-14(2) 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面図（断面⑦）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

#### 4.4 軽油タンク連絡ダクト

軽油タンク連絡ダクトの配置図を図 4.4-1 に、平面図を図 4.4-2、図 4.4-3 に、断面図を図 4.4-4、図 4.4-5 に、縦断面図を図 4.4-6 に示す。

軽油タンク連絡ダクトは、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である燃料移送系配管を間接支持しており、支持機能が要求される。

軽油タンク連絡ダクトは、軽油タンク室と原子炉建屋を結ぶ、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長 52.30m、内空幅 1.25m、内空高さ 2.00m の二連ボックスカルバート構造の標準部（以下「標準部」という。）と、内空幅 1.55m（EW 方向）×2.25m（NS 方向）、内空高さ 3.05m の二連ボックスカルバート構造で軽油タンク室と接続する接続部（以下「接続部」という。）から構成される。軽油タンク連絡ダクトは、MMR を復水貯蔵タンク基礎及び軽油タンク室と共有し、十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

軽油タンク連絡ダクトは、延長方向に約 13m 間隔に分割し構造目地を介して接合され、原子炉建屋との接合部には耐震ジョイントが設置されており、二連ボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が少ない線状構造物である。

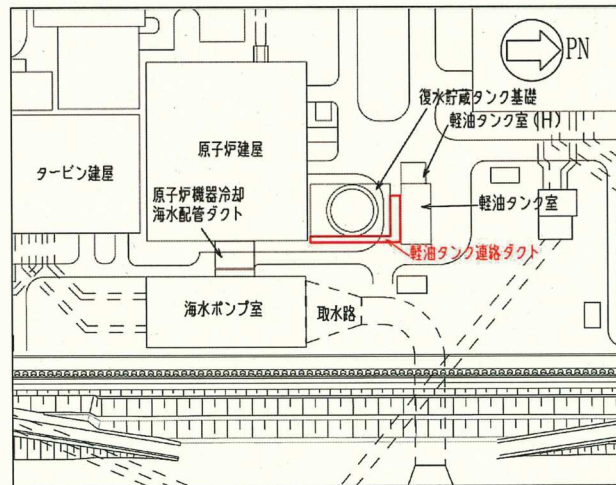


図 4.4-1 軽油タンク連絡ダクト配置図

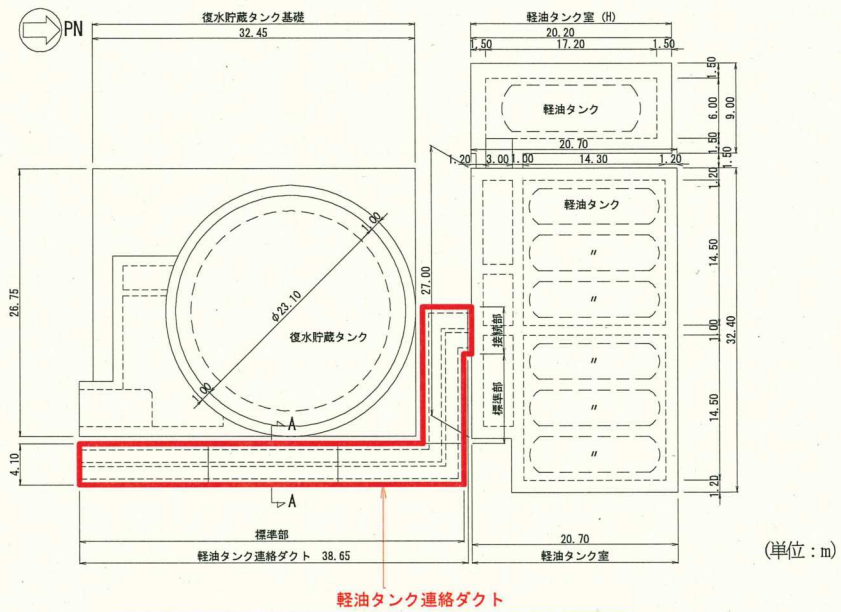


図 4.4-2 軽油タンク連絡ダクト平面図

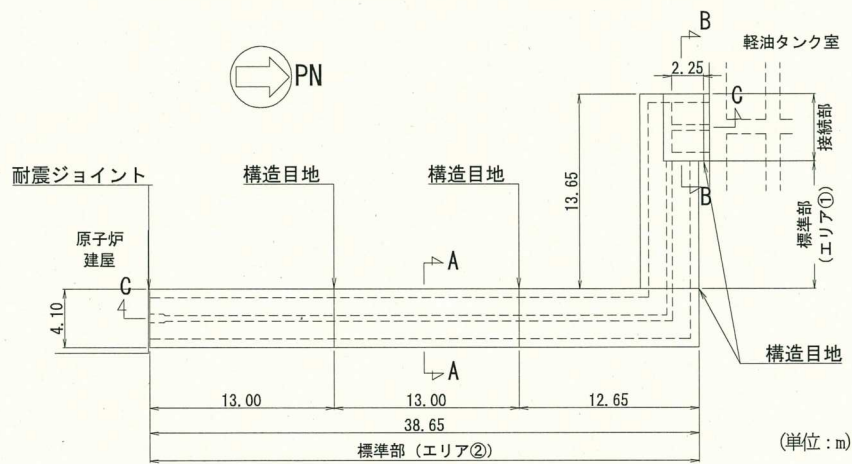


図 4.4-3 軽油タンク連絡ダクト平面図 (詳細)

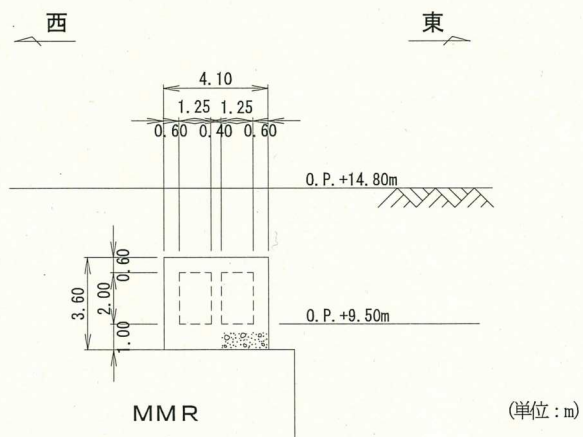


図 4.4-4 軽油タンク連絡ダクト断面図 (標準部, A-A)



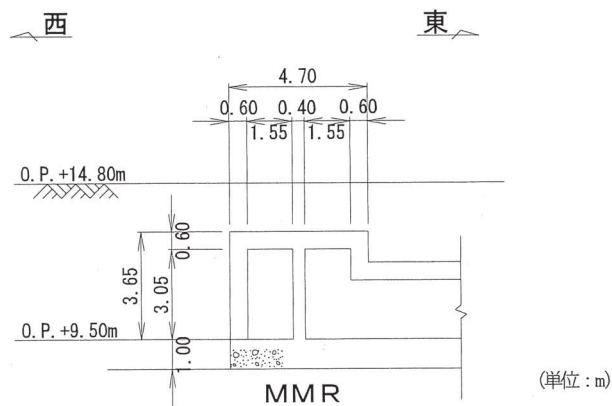


図 4.4-5 軽油タンク連絡ダクト断面図（接続部，B-B）

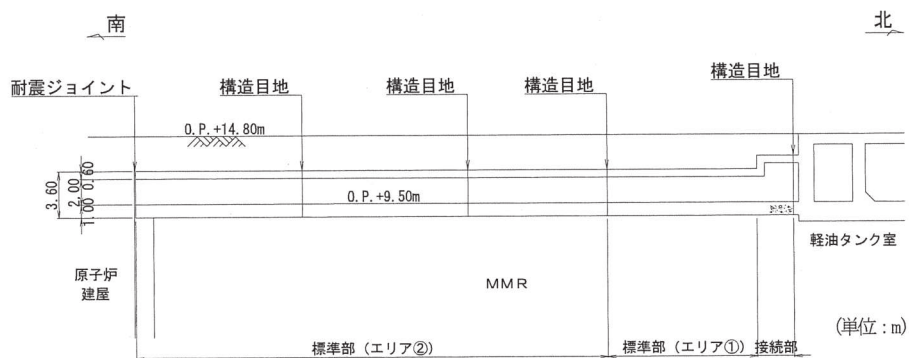


図 4.4-6 軽油タンク連絡ダクト縦断面図（C-C）

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

軽油タンク連絡ダクトは、軽油タンク室及び復水貯蔵タンク基礎と MMR を共有することから、断面選定の観点として軽油タンク室及び復水貯蔵タンク基礎が周辺構造物として配置されていることを考慮する。

軽油タンク連絡ダクトの標準部は、軽油タンク室と復水貯蔵タンク基礎に挟まれ、EW 方向に延長するエリア（以下「エリア①」という。）と、復水貯蔵タンク基礎の東側に位置し NS 方向に延長するエリア（以下「エリア②」という。）に分けられる。

標準部は、単純な二連ボックスカルバート構造の線状構造物であり、横断方向（延長方向に直交する方向）に構造部材がないため横断方向が明確な弱軸方向となるとともに、延長方向にブロック割されており、延長方向の応力は区画ごとに解放されることから、横断方向の断面を候補断面とする。

また、接続部は、標準部と断面形状が異なるため、構造的特徴の観点から、接続部からも候補断面を選定する。

接続部は、NS 方向に隔壁を有する二連ボックスカルバート構造となっており、NS 方向の加振に対して隔壁及び側壁が耐震要素として機能し、EW 方向と比較して、加振に平行に配置され耐震上見込むことができる面部材が相対的に多いことから、NS 方向が強軸方向となり、EW 方向が弱軸方向となる。このため接続部は EW 方向の断面を候補断面とする。

軽油タンク連絡ダクトは、燃料移送系配管を間接支持する支持機能が要求されるが、配管は延長方向に一樣に設置されていることから、断面選定の観点として配管の設置位置による影響を考慮する必要はない。

また、地下水位は構造物底版より十分低く、地下水位及び土被り厚は延長方向にほぼ一樣であることから、断面選定の観点として周辺状況の影響を考慮する必要はない。

軽油タンク連絡ダクトの掘削図を図 4.4-7 に、地質断面図を図 4.4-8、図 4.4-9 に示す。

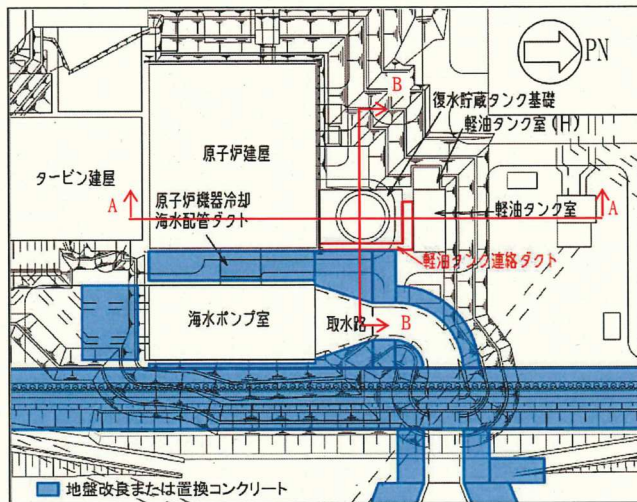


図 4.4-7 軽油タンク連絡ダクト掘削図

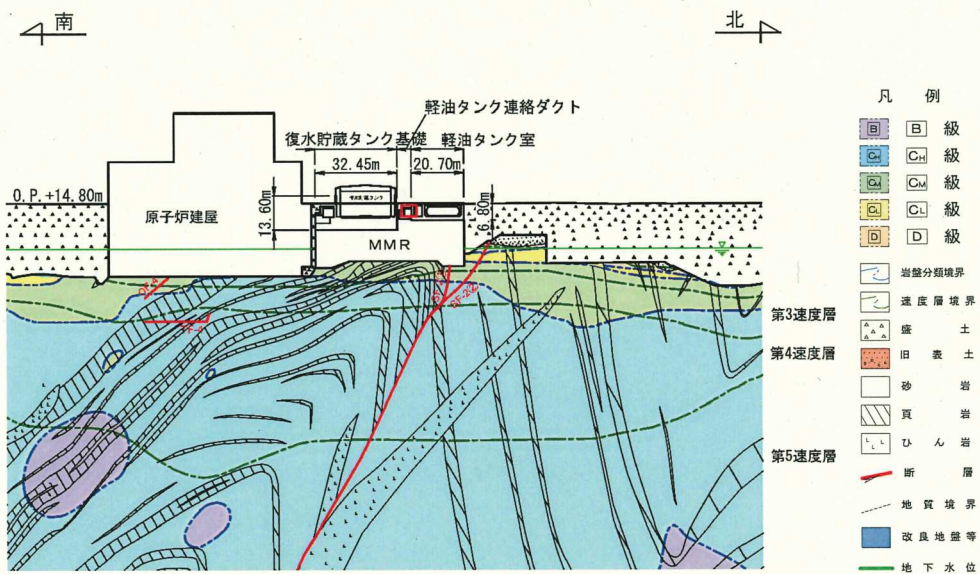


図 4.4-8 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (A-A)

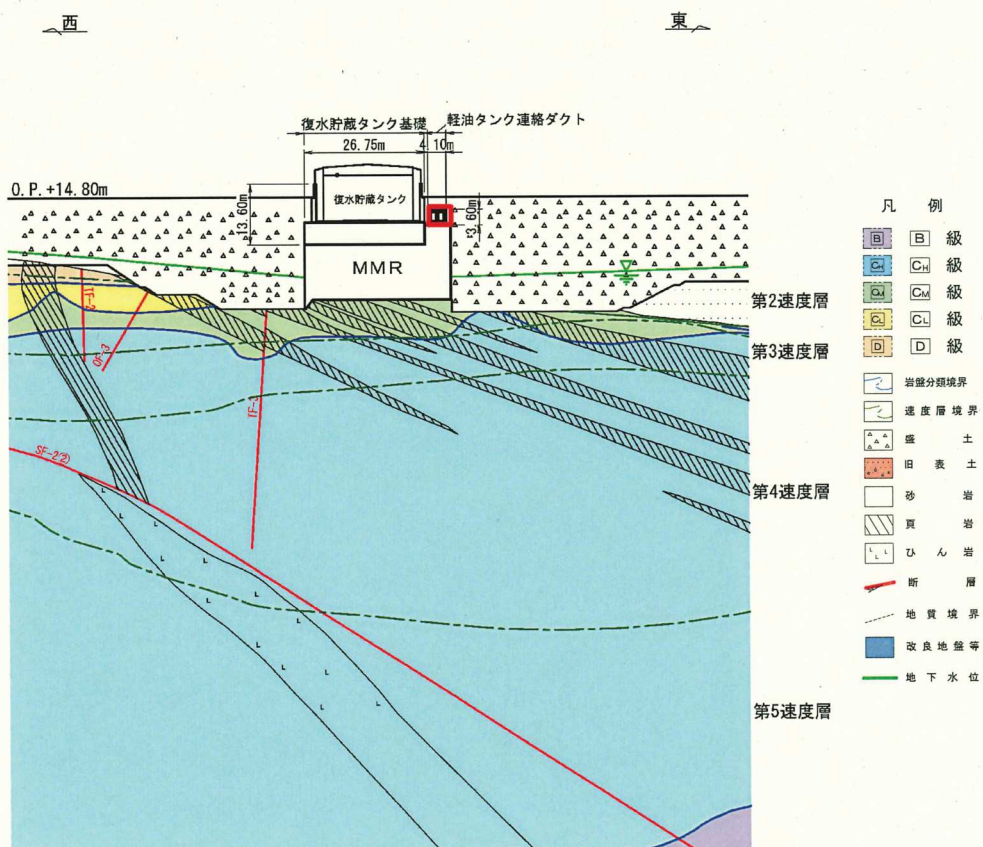


図 4.4-9 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (B-B)

(2) 評価対象断面及び解析手法の選定結果

接続部は、標準部より断面がやや大きいですが、南側に耐震上機能する妻壁を有するとともに東側には標準部が位置し、EW 方向の加振では標準部の側壁及び隔壁が耐震上機能すると考えられ、標準部の横断方向と比較して、耐震上見込むことができる面部材が多いことから、評価対象断面として選定しない。

標準部は、一様な断面を有する比較的単純な二連ボックスカルバート構造の線状構造物であり、明確な弱軸方向・強軸方向を有し、延長方向に構造の変化がなく配管の設置位置の差異もない。また、エリア①は、北側に軽油タンク室が、南側に復水貯蔵タンク基礎が隣接し、エリア①の弱軸方向である NS 方向の加振においてはこれら周辺構造物が土圧の作用を抑制することから、エリア①はエリア②より地震時に作用する土圧が小さい。以上から、復水貯蔵タンク基礎の東側に位置するエリア②が耐震評価上、厳しい断面を有すると考えられるため、エリア②の横断方向の断面から評価対象断面を選定する。

標準部の周辺状況について、東側には一様に盛土が分布し、西側には復水貯蔵タンク基礎が隣接しその外側に盛土が一様に分布する。また、地下水位は延長方向に

ほぼ一様で差異がないことから、復水貯蔵タンクを中心を通る横断方向（延長方向に直交する方向）の断面を代表として、評価対象断面とする。

解析手法については、軽油タンク連絡ダクトの周辺には盛土が分布するものの、地下水位が構造物底版より十分に低く、また、西側には復水貯蔵タンク基礎が隣接することから、液状化の影響はない。このことから、解析手法は全応力解析を選定する。

軽油タンク連絡ダクトの評価対象断面及び解析手法の選定結果を表 4.4-1 に、評価対象断面図を図 4.4-10 に示す。

表 4.4-1 軽油タンク連絡ダクト 評価対象断面及び解析手法の選定結果

位置・エリア	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	評価対象断面	選定結果
標準部 (横断方向)	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>延長方向に一樣な断面の単純な二連のボックスクラスカルバート構造</li> <li>明確な弱軸方向・強軸方向を有し、横断方向が弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に設置されている。</li> <li>北側には軽油タンク室が、南側には復水貯蔵タンク基礎が隣接し、MMR を共有する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料移送系配管</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>エリア①は、北側に軽油タンク室が、南側に復水貯蔵タンク基礎が隣接し、弱軸方向である NS 方向の加振に対して、これら周辺構造物が土圧の作用を抑制する。このため、エリア②と比べて地震時の土圧が小さいと考えられることから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>
						<ul style="list-style-type: none"> <li>エリア② (復水貯蔵タンク基礎の東側に位置するエリア)</li> </ul>
接続部	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準部に比べ断面がやや大きく、一樣な断面の単純な二連のボックスクラスカルバート構造</li> <li>NS 方向は、EW 方向と比較し、耐震上見込むことができない面材材から、EW 方向が弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に設置されている。</li> <li>北側には軽油タンク室が、南側には復水貯蔵タンク基礎が隣接し、MMR を共有する。</li> </ul>	同上	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>南側に耐震上機能する妻壁を有する。また、東側には標準部が存在し、EW 方向の加振では標準部の側壁及び隔壁が耐震上機能すると考えられ、標準部の横断方向と比較して耐震上見込むことができている面材材が多いことから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>

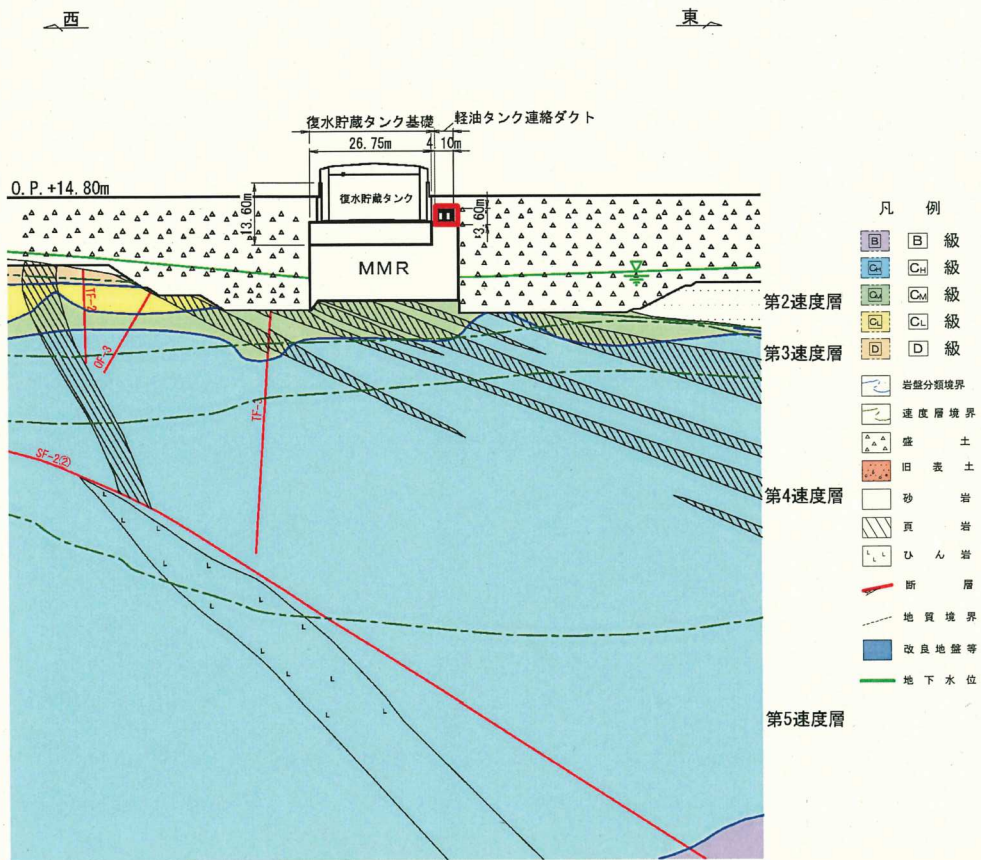


図 4.4-10 軽油タンク連絡ダクト 評価対象断面図 (標準部: エリア②)

#### 4.5 取水路（標準部・漸拡部）

取水路の配置図を図 4.5-1 に、平面図を図 4.5-2 に、断面図を図 4.5-3、図 4.5-4 に示す。

取水路は、海側から取水口、取水路及び海水ポンプ室にて構成される非常用取水設備の 1 つの設備であり、非常時における海水の通水機能及び貯水機能が要求される。

取水路は、取水口と海水ポンプ室を結ぶ延長 119.90m、鉄筋コンクリート造のボックスカルバート状の地中構造物であり、内空幅 、内空高さ  の二連のボックスカルバート構造で縦断方向（延長方向）に断面が一樣な標準部と、二連ボックスカルバート構造から、内空幅が最大  内空高さが最大  の四連ボックスカルバート構造に変化し、縦断方向（延長方向）に断面が拡幅する漸拡部により構成され、標準部は海側の取水口に接続し、漸拡部は海水ポンプ室に接続し、取水口から海水ポンプ室に向かって下り勾配となっており、徐々に土被りが大きくなる。

取水路は、直接又は MMR を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

標準部は、横断方向（延長方向に直交する方向）に設置される構造部材がない二連のボックスカルバート構造の線状構造物であり、横断方向（延長方向に直交する方向）が弱軸方向となる。標準部は防潮堤の改良地盤や置換コンクリートの内部を横断し周辺地盤の剛性が急変する箇所が存在すること、防潮堤の西側に曲線箇所を有し躯体のねじれ等の影響を評価する必要があることから、三次元モデルを用いて耐震評価を行う。三次元モデルを用いた耐震評価の概要（イメージ図）を参考図 4.5-1 に示す。

漸拡部は、横断方向（延長方向に直交する方向）に設置される構造部材がない四連のボックスカルバート構造の線状構造物であり、横断方向（延長方向に直交する方向）が弱軸方向となる。

このことから、取水路の標準部（以下「取水路（標準部）」という。）は、三次元モデルに作用させる地震時荷重を算出するための断面（以下「地震時荷重算出断面」という。）を選定する。また、取水路の漸拡部（以下「取水路（漸拡部）」という。）は、二次元地震応答解析により耐震評価を行ううえで、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。



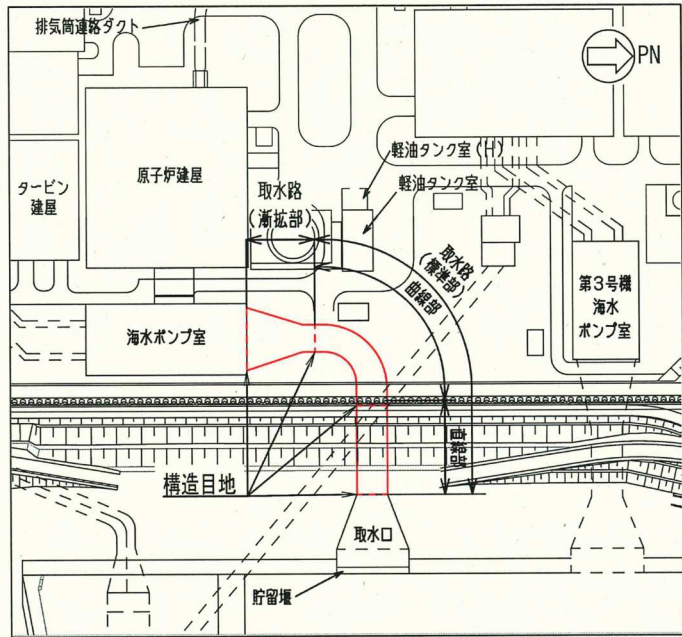


図 4.5-1 取水路配置図

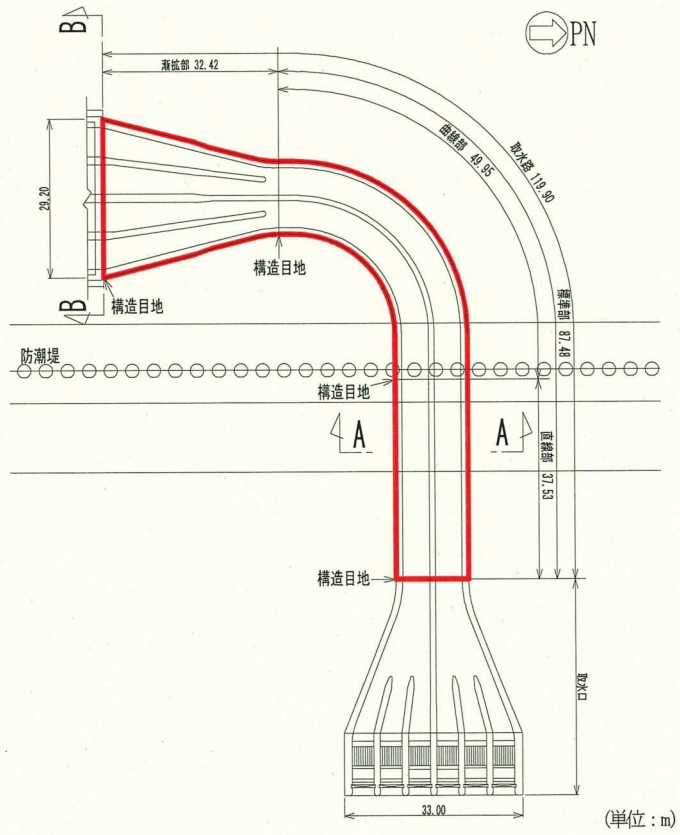
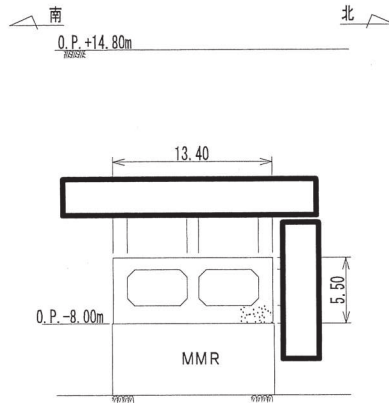
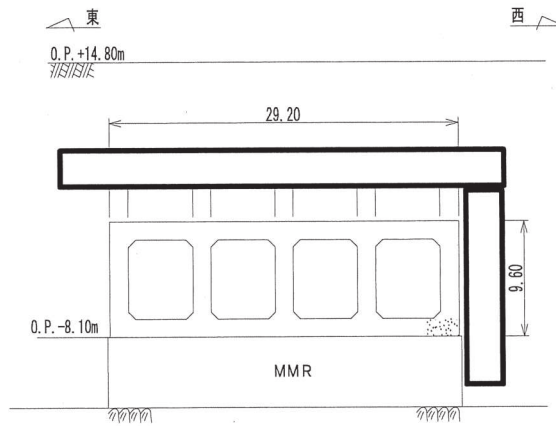


図 4.5-2 取水路平面図



(単位: m)

図 4.5-3 取水路断面図 (標準部, A-A)

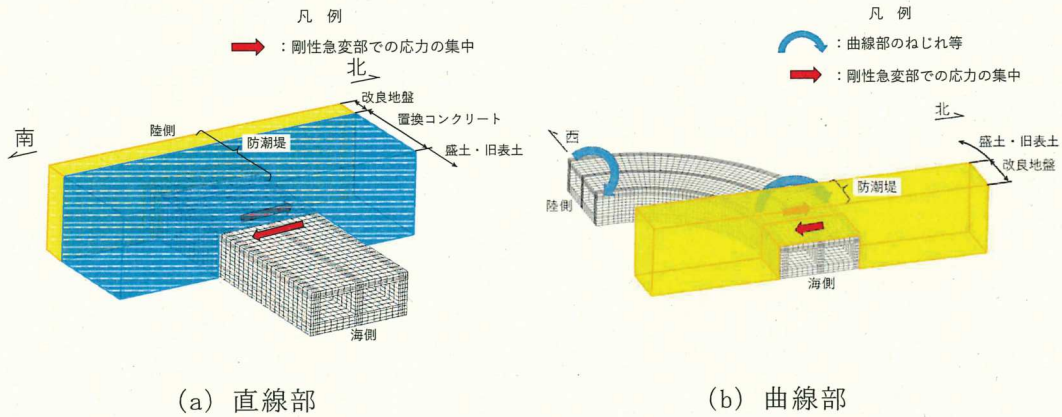


(単位: m)

図 4.5-4 取水路断面図 (漸拡部, B-B)

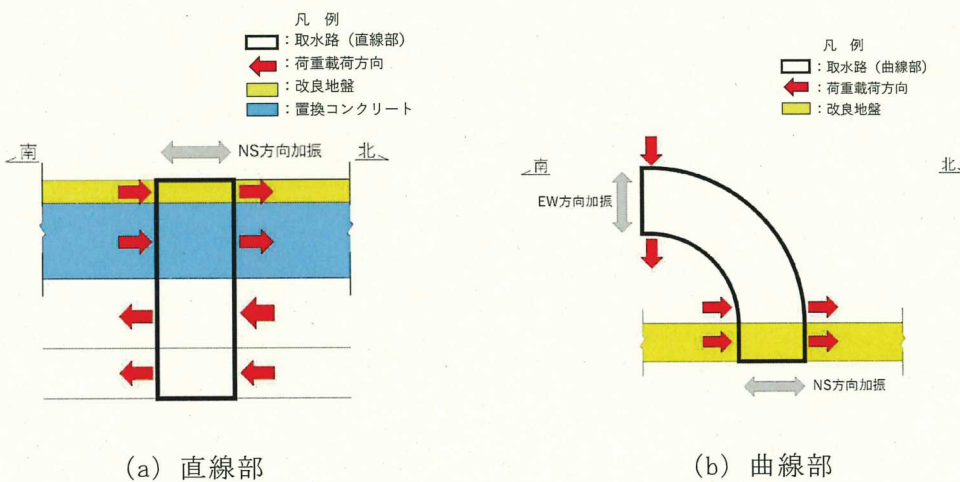
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

取水路（標準部）の三次元モデルによる荷重評価のイメージ



直線部は、防潮堤を横断する箇所（盛土・旧表土～置換コンクリート）で周辺地盤の剛性が急変する影響を三次元モデルにて考慮する。曲線部は防潮堤を横断する箇所（改良地盤～盛土・旧表土）で周辺地盤の剛性が急変する影響及び曲線部でのねじれ等の影響を三次元モデルにて考慮する。

取水路（標準部）の荷重概要（例）



直線部は、NS 方向の加振による地震時荷重を二次元地震応答解析により算出し、構造物に厳しくなる荷重方向を考慮し三次元モデルに載荷する。

曲線部は断面が 90° 直交するため、NS 方向加振及び EW 方向加振による地震時荷重を二次元地震応答解析により算出し、周辺地盤状況及び構造物の形状から構造物に厳しくなる荷重方向を考慮し三次元モデルに載荷する。

参考図 4.5-1 三次元モデルを用いた耐震評価の概要（イメージ図）

#### 4.5.1 取水路（標準部）

##### (1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

取水路（標準部）は、取水口から防潮堤までの直線部と、防潮堤から取水路（漸拡部）までの曲線部に大別される。直線部と曲線部は、構造目地を境界として構造上それぞれ独立していることから、地震時荷重算出断面の選定においては、直線部及び曲線部のそれぞれの断面から候補断面を選定する。

取水路（標準部）は、横断方向（延長方向に直交する方向）が明確な弱軸方向となることから、三次元モデルを用いた耐震評価においても横断方向（延長方向に直交する方向）の断面を候補断面とする。

取水路（標準部）は、直線部及び曲線部のそれぞれの区間において断面形状及び配筋も縦断方向（延長方向）に一様であるため、断面選定の観点として構造・配筋の変化による影響を考慮する必要はない。

周辺状況について、取水路（標準部）は、直線部において防潮堤の置換コンクリート及び改良地盤を横断し、また曲線部においては防潮堤の改良地盤を横断する。また、直線部及び曲線部は図 4.5.1-2 に示すとおり周囲を地盤改良されており、縦断方向（延長方向）に対し周辺状況が変化することから、断面選定の観点として考慮する。また、地下水位は、全線において取水路の底版位置からほぼ一様（取水路縦断勾配と平行）とすることから、候補断面の整理の観点には含めない。

地震時荷重の算出においては、土被り及び周辺の地質状況の影響が支配的であると考えられることから、土被り厚が最大の位置に加え、取水路（標準部）の縦断方向断面の複数地点にて基準地震動  $S_s$  (7波) による一次元地震応答解析を実施し、その結果に基づいて地震時荷重算出断面を選定する。一次元地震応答解析に用いる解析モデルは、図 4.5-1-1 に示す取水路の縦断図の地質分布に基づき作成する。

取水路（標準部）の横断方向（延長方向に直交する方向）の断面は、液状化検討対象層（盛土・旧表土）の分布状況の違いから、直線部の区間 a～区間 d と、曲線部の区間 d～区間 e に分類され、それぞれの区間から候補断面を選定する。取水路の縦断図及び候補断面の位置を図 4.5.1-1 に、平面図を図 4.5.1-2 に、掘削図を図 4.5.1-3 に、直線部及び曲線部の地質断面図を図 4.5.1-4～図 4.5.1-9 にそれぞれ示す。

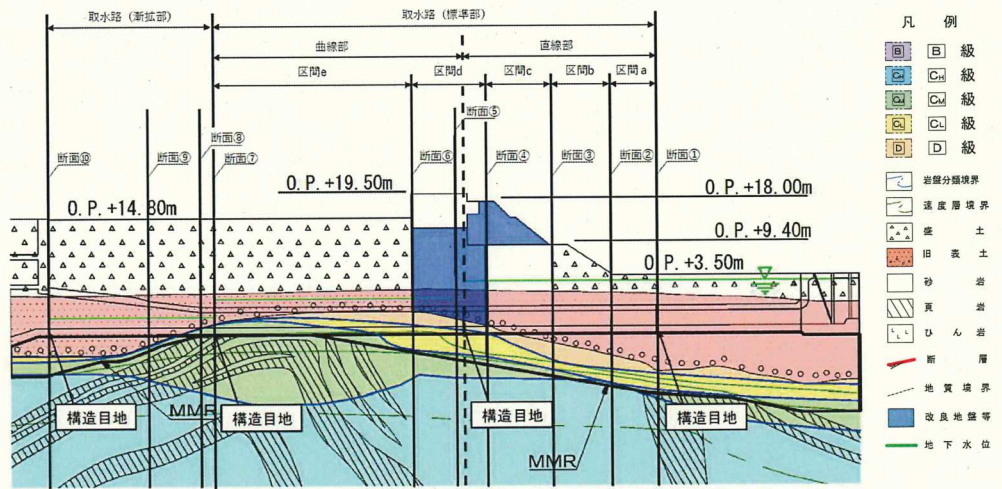


図 4.5.1-1 取水路縦断面図及び候補断面位置

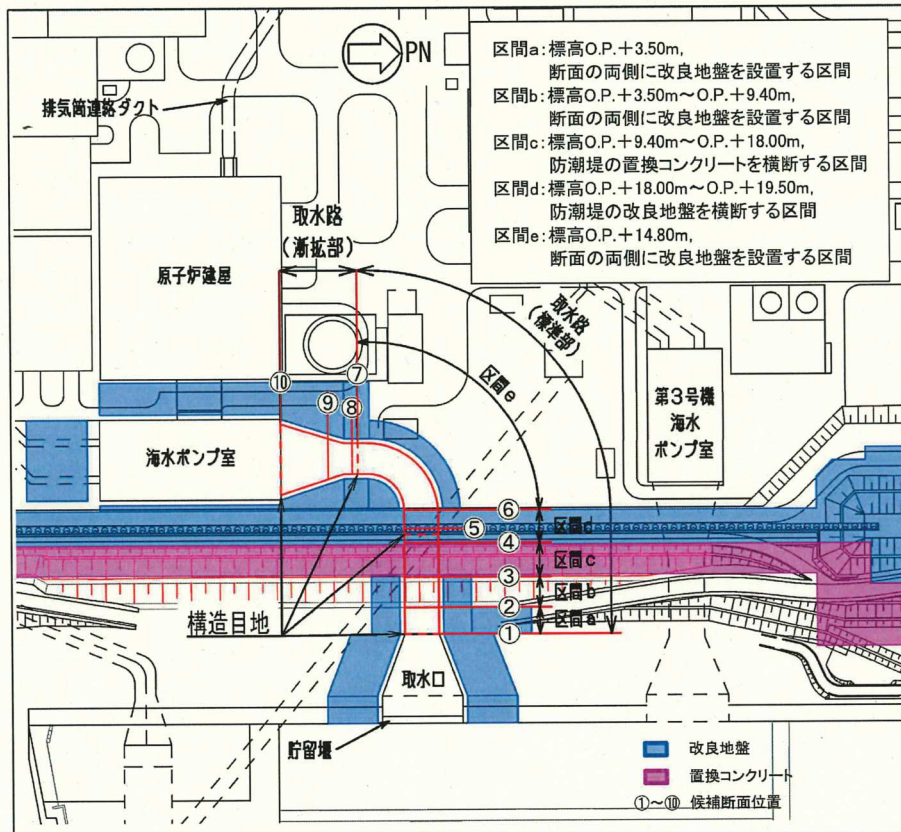


図 4.5.1-2 取水路平面図 (区間及び候補断面位置)

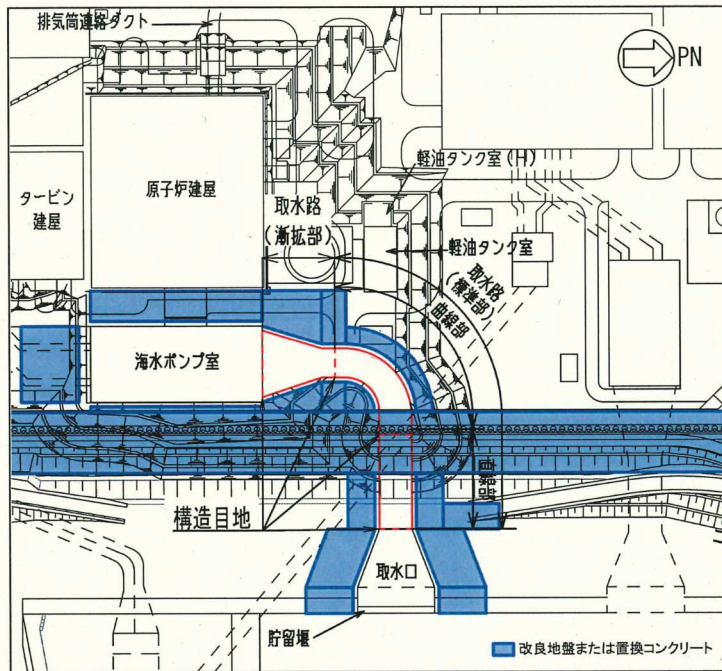


図 4.5.1-3 取水路掘削図

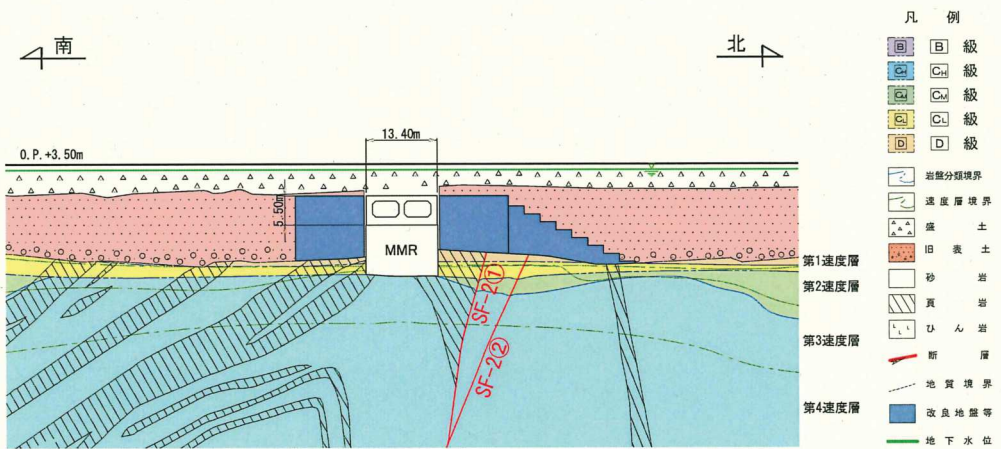


図 4.5.1-4 取水路（標準部）地質断面図（断面②：直線部）

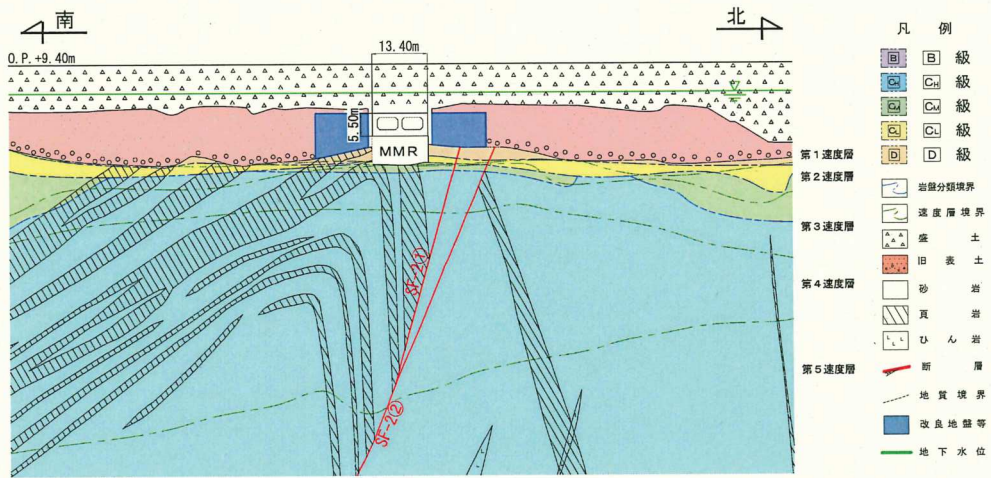


図 4.5.1-5 取水路（標準部）地質断面図（断面③：直線部）

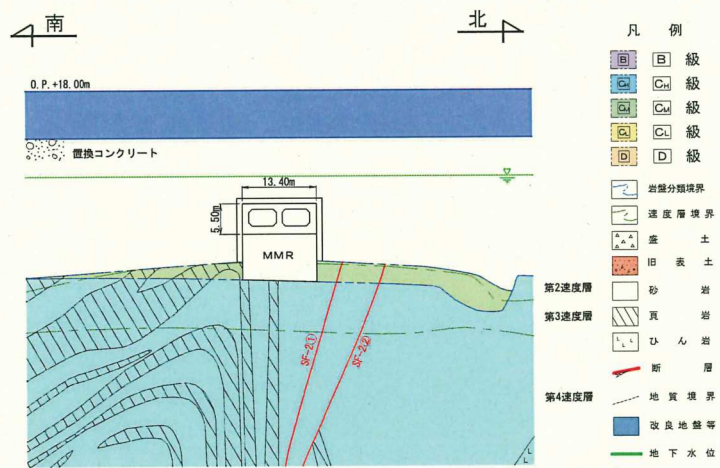


図 4.5.1-6 取水路（標準部）地質断面図（断面④：直線部）

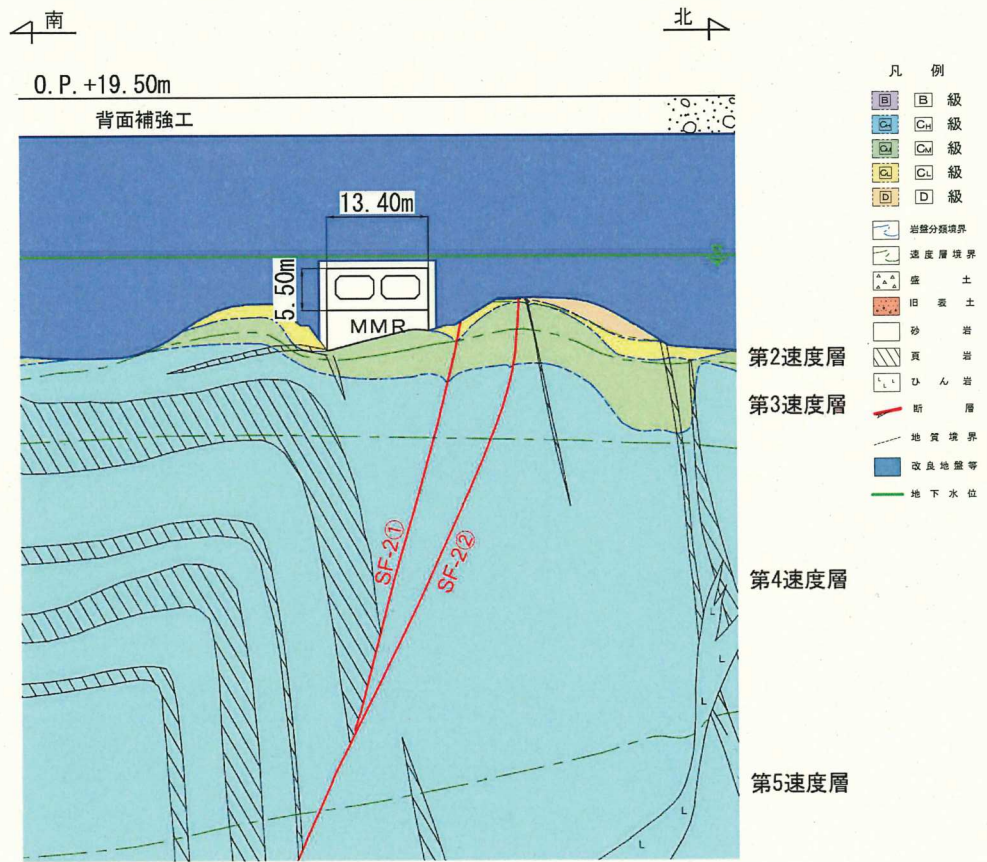


图 4.5.1-7 取水路（標準部）地質断面图（断面⑤：曲線部）

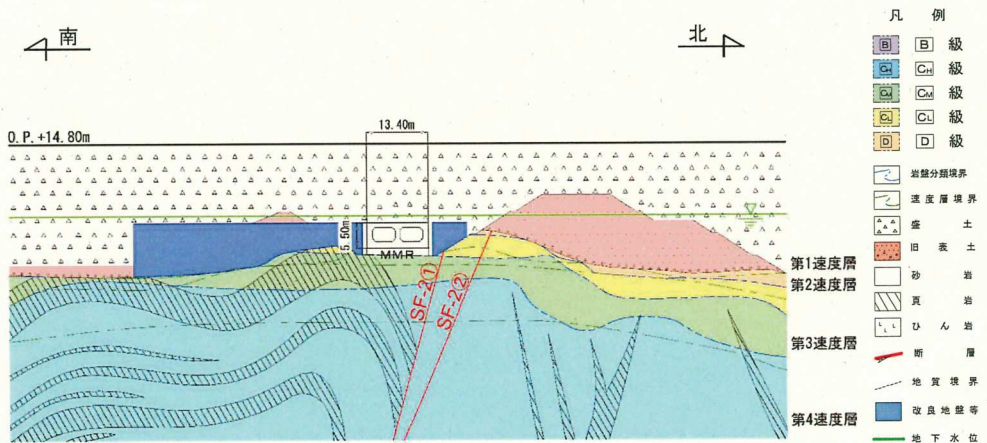


图 4.5.1-8 取水路（標準部）地質断面图（断面⑥：曲線部）



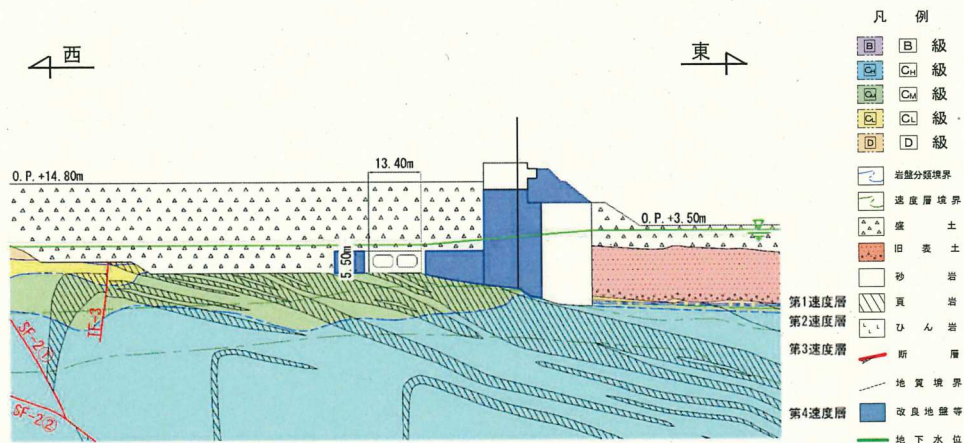


図 4.5.1-9 取水路（標準部）地質断面図（断面⑦：曲線部）

a. 取水路（標準部）のうち直線部

取水路（標準部）のうち直線部の地表面標高は、土被り及び周辺の地質状況が断面位置により異なる。

取水路（標準部）のうち直線部は、**図 4.5.1-2 に示すとおり**横断方向（延長方向に直交する方向）の断面の両側に改良地盤を設置する区間 a 及び区間 b と、防潮堤の置換コンクリートを横断する区間 c 及び防潮堤の改良地盤を横断する区間 d に区分される。区間 a～区間 d の周辺状況図（イメージ図）を図 4.5.1-10 に示す。

断面①は、区間 a の始点で、区間 a 内で土被りが最も薄く、旧表土の厚さが最も厚い断面である。また、構造物の両側に改良地盤が設置されている。

断面②は、区間 a と区間 b の境界で、区間 a 内で土被りが最も厚い断面である。また、構造物の両側に改良地盤が設置されている。

断面③は、区間 b と区間 c の境界で、区間 b 内で土被りが最も厚い断面であり、周辺地盤の剛性が急変する位置である。また、構造物の両側に改良地盤が設置されている。

断面④は、区間 c と区間 d の境界で、防潮堤の置換コンクリートを横断する位置であり、周辺が置換コンクリートに囲まれている。また、区間 c 内で土被り（セメント改良土、置換コンクリートを含む。）が最も厚い断面である。

断面⑤は、区間 d 内の断面で、防潮堤の改良地盤を横断する位置であり、周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれている。また、防潮堤の鋼管杭（杭芯）の位置であり、区間 d 内で上載荷重が最も大きい断面である。なお、区間 d は直線部と曲線部にまたがる区間であり、断面⑤は曲線部に位置するものの、区間 d 内で上載荷重が最も大きい断面であることから、直線部の候補断面としても整理する。

取水路（標準部）のうち直線部の候補断面の特徴を表 4.5.1-1 に示す。

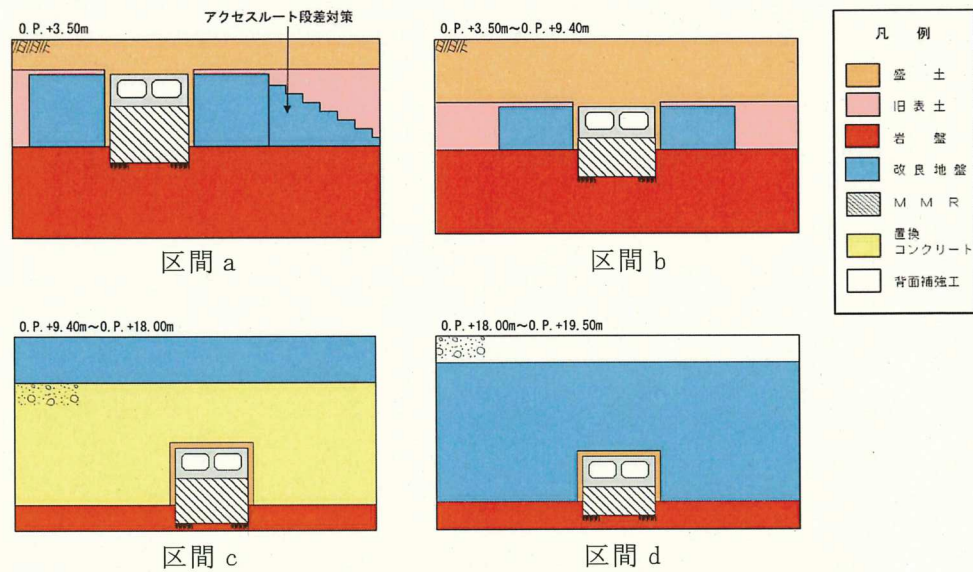


図 4.5.1-10 区間 a ~ 区間 d の周辺状況図 (イメージ図)

表 4.5.1-1 取水路 (標準部) のうち直線部 候補断面の特徴

位置	候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況
直線部	断面①	通水機能 貯水機能	二連ボックス カルバート	<ul style="list-style-type: none"> <li>区間 a 内で土被りが最も薄く、旧表土の厚さが最も厚い。</li> <li>構造物の両側に改良地盤が設置されている。</li> </ul>
	断面②	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>区間 a 内で土被りが最も厚い。</li> <li>構造物の両側に改良地盤が設置されている。</li> </ul>
	断面③	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>区間 b 内で土被りが最も厚い。</li> <li>区間 b と区間 c の境界であり、周辺地盤の剛性が急変する位置である。</li> <li>構造物の両側に改良地盤が設置されている。</li> </ul>
	断面④	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺が防潮堤の置換コンクリートに囲まれている。</li> <li>区間 c 内で土被り (セメント改良土、置換コンクリートを含む。) が最も厚い。</li> </ul>
	断面⑤	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれている。</li> <li>区間 d 内で上載荷重が最も大きい。(防潮堤の鋼管杭 (杭芯) 位置)</li> </ul>

b. 取水路（標準部）のうち曲線部

取水路（標準部）のうち曲線部の標高は、**図 4.5.1-1 に示すとおり**土被り及び周辺の地質状況が断面位置により異なる。また、曲線部は始点側と終点側で断面方向が直交している。

取水路（標準部）のうち曲線部は、**図 4.5.1-2 に示すとおり**防潮堤の改良地盤を横断する区間 d と、横断方向（延長方向に直交する方向）の断面の両側に改良地盤を設置する区間 e に区分される。

断面⑤は、区間 d 内の防潮堤の鋼管杭（杭芯）の位置であり、周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれ、区間 d 内で上載荷重が最も大きい断面である。

断面⑥は、区間 d と区間 e の境界であり、**防潮堤の改良地盤の境界に位置し**周辺地盤の剛性が急変する位置である。また、構造物の両側に改良地盤が設置されており、断面⑦と直交する断面である。

断面⑦は、区間 e 内の終点であり、断面⑥と直交する断面である。また、区間 e 内で土被りが最も厚い断面である。さらに、構造物の両側に改良地盤が設置され、東側は地盤改良を介して防潮堤が設置されている。

取水路（標準部）のうち曲線部の候補断面の特徴を表 4.5.1-2 に示す。

表 4.5.1-2 取水路（標準部）のうち曲線部 候補断面の特徴

位置	候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況
曲線部	断面⑤	通水機能 貯水機能	二連ボックス カルバート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれている。</li> <li>・区間 d 内で上載荷重が最も大きい。（防潮堤の鋼管杭（杭芯）位置）</li> </ul>
	断面⑥	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区間 d と区間 e の境界であり、周辺地盤の剛性が急変する位置である。</li> <li>・構造物の両側に改良地盤が設置されている。</li> <li>・断面⑦と直交する断面である。</li> </ul>
	断面⑦	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断面⑥と直交する断面である。</li> <li>・区間 e 内で土被りが最も厚い。</li> <li>・構造物の両側に改良地盤が設置されている。また、東側は改良地盤を介して防潮堤が設置されている。</li> </ul>

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定

a. 取水路（標準部）のうち直線部

(a) 区間 a

区間 a は，取水路周辺に液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布することから一次元全応力解析及び一次元有効応力解析により地震応答解析を実施し，断面①と断面②から耐震評価上厳しい断面を地震時荷重算出断面として絞り込むとともに，保守的となる解析手法（全応力解析又は有効応力解析）を選定する。

(b) 区間 b

断面③は，土被りが区間 b 内で最も厚く構造物に最も厳しい（土圧が最も大きい）断面であると考えられることから，区間 b の地震時荷重算出断面として選定する。また，周辺には改良地盤を介して液状化検討対象層が分布することから，保守的となる解析手法（全応力解析又は有効応力解析）を選定する。

断面①，断面②，断面③について，一次元地震応答解析のモデル図を図 4.5.1-11 に示す。

断面①，断面②，断面③については，構造物周辺が地盤改良されており，構造物の耐震性に対しては，改良地盤を介して構造物に作用する液状化検討対象層（盛土・旧表土）の土圧が支配的な荷重となる。その作用荷重は，地盤のせん断応力が大きい程大きくなり，耐震評価上，構造物は厳しくなると考えられる。したがって，地盤の一次元地震応答解析における構造物範囲（深度）のせん断応力に着目し，応答を比較することにより，地震時荷重算出断面及び解析手法を選定する。指標選定の詳細について，「参考資料 1 一次元地震応答解析による解析手法選定の妥当性について」に示す。

断面①，断面②，断面③について，一次元地震応答解析結果を表 4.5.1-3 に，せん断応力分布（全時刻最大）を図 4.5.1-12 に示す。

区間 a の候補断面とした断面①，断面②について，一次元全応力解析及び一次元有効応力解析によるせん断応力の比較を行った結果，区間 a 内で土被りが最も厚い断面②の全応力解析が最大となった。また，区間 b の地震時荷重算出断面とする断面③については，有効応力解析に比べ，全応力解析の方が大きな値となった。

(c) 区間 c

断面④は，防潮堤を横断する箇所であり，周辺状況の差異がなく，土被り（セメント改良土，置換コンクリートを含む。）が区間 c 内で最も厚く，構造物に最も厳しい（土圧が最も大きい）断面であると考えられることから，区間 c の地震時荷重算出断面として選定する。また断面④は，周辺が防潮堤の置換コンクリートと改良地盤の境界部に位置し，液状化の影響はないことから，解析手法は全応力解析を選定する。

(d) 区間 d

断面⑤は、曲線部に位置するが、防潮堤の鋼管杭（杭芯）の位置であり、区間 d 内で上載荷重が最も大きく、区間内は一様に防潮堤の改良地盤に囲まれ、周辺状況の差異がないことから、区間 d 内で耐震評価上、構造物に最も厳しい（上載荷重が最も大きい）断面であると考えられる。このことから、直線部においては、区間 d の曲線部に位置する断面⑤を地震時荷重算出断面として選定する。また、周辺は防潮堤の改良地盤に囲まれ、液状化の影響はないことから、解析手法は全応力解析を選定する。

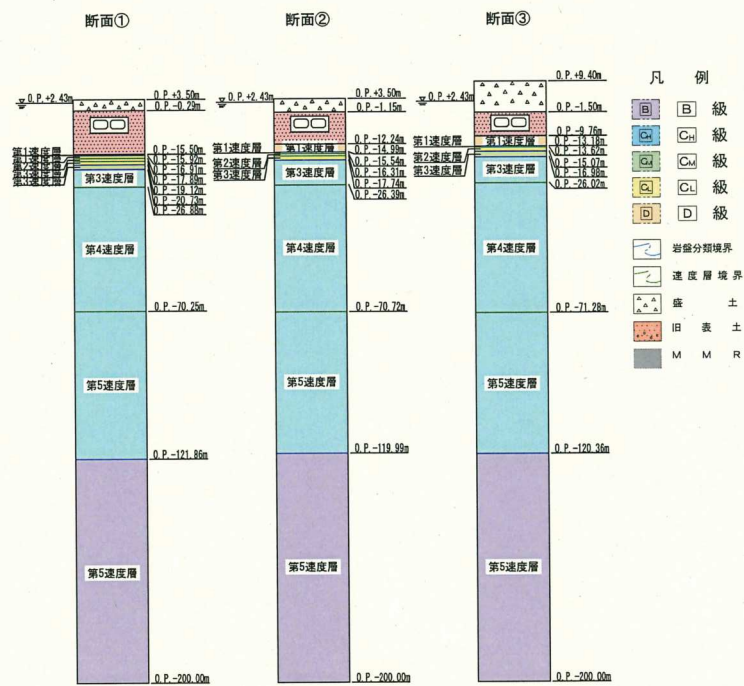


図 4.5.1-11 一次元地震応答解析モデル図（標準部）

表 4.5.1-3 一次元地震応答解析結果（標準部）

区間	断面	全応力解析	有効応力解析	地震時荷重 算出断面
		せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )		
a	断面①	58 (S <sub>s</sub> -N1)	26 (S <sub>s</sub> -N1)	—
	断面②	59 (S <sub>s</sub> -N1)	26 (S <sub>s</sub> -N1)	○
b	断面③	75 (S <sub>s</sub> -N1)	50 (S <sub>s</sub> -N1)	○

上段：最大応答値，下段：最大応答値を示す地震動  
 網掛：各断面で全応力解析と有効応力解析を比較して  
 大きい方の値

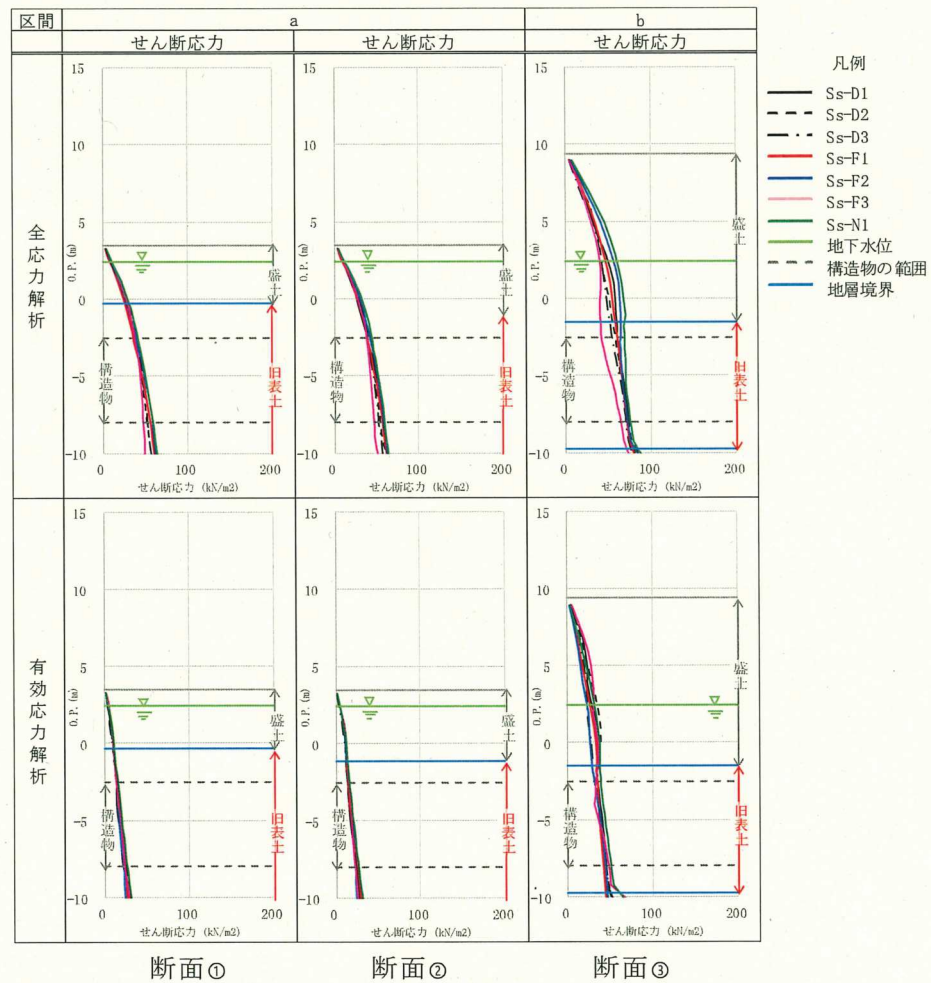


図 4.5.1-12 せん断応力分布（全時刻最大）

b. 取水路（標準部）のうち曲線部

(a) 区間 d

断面⑤は、区間 d 内で耐震評価上、構造物に最も厳しい（上載荷重が最も大きい）断面であると考えられることから、曲線部においても区間 d の地震時荷重算出断面として選定する。また、解析手法も直線部の区間 d と同様に、全応力解析を選定する。

(b) 区間 e

取水路（標準部）の曲線部については、図 4.5.1-13～図 4.5.1-15 のとおり、構造物にとって厳しい载荷状態（二次元地震応答解析では表現できない三次元的な荷重状態）を想定し耐震評価を行うため、90° 直交する断面から地震時荷重を算出する。断面⑥及び断面⑦は、曲線部の同じ区間 e 内でそれぞれ直交する断面であり、断面⑥は地盤改良範囲が限定的でその外側（北側）に液状化検討対象層が分布する。断面⑦は区間 e 内で土被りが最も厚い断面である。このことから、断面⑥及び断面⑦を区間 e の地震時荷重算出断面として選定する。

また、断面⑥及び断面⑦については、構造物周辺に液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布することから一次元全応力解析及び一次元有効応力解析により地震応答解析を実施し、直線部と同様に、せん断応力を比較することにより、保守的となる解析手法（全応力解析又は有効応力解析）を選定する。

断面⑥及び断面⑦について、一次元地震応答解析のモデル図を図 4.5.1-16 に示す。また、一次元地震応答解析による評価に使用する地震波は、基準地震動  $S_s$ （7 波）とする。

曲線部の断面⑥及び断面⑦について、一次元地震応答解析結果を表 4.5.1-4 に、せん断応力分布（全時刻最大）を図 4.5.1-17 に示す。

一次元全応力解析及び一次元有効応力解析による比較を行った結果、区間 e の地震時荷重算出断面とする断面⑥及び断面⑦については、全応力解析に比べ、有効応力解析の方が大きな値となった。

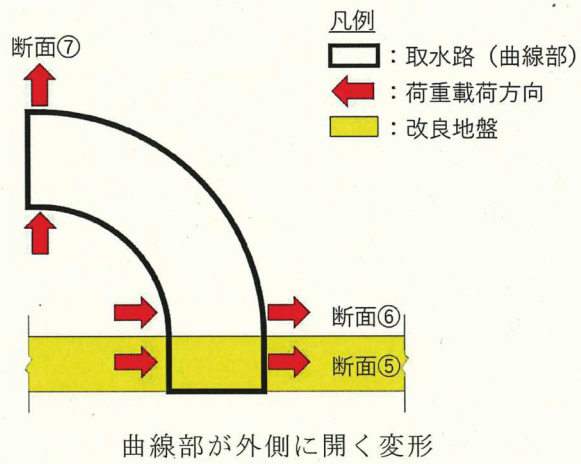


図 4.5.1-13 取水路 (標準部) のうち曲線部 荷重概要図 (1)

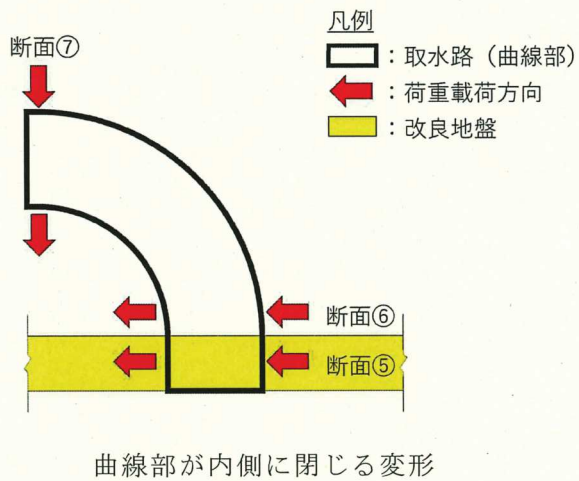


図 4.5.1-14 取水路 (標準部) のうち曲線部 荷重概要図 (2)