

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	O2-補-E-19-0610_改0
提出年月日	2020年6月18日

工事計画に係る補足説明資料

補足-610 【建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料】

2020年6月

東北電力株式会社

補足説明資料

工認添付書類	補足説明資料
VI-2-1-1 耐震設計の基本方針	補足-610-20
VI-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書	屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	O2-補-E-19-0610-20_改0
提出年月日	2020年6月18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	49
4.5 取水路（標準部・漸拡部）	58
4.6 海水ポンプ室	94
4.7 軽油タンク室	104
4.8 軽油タンク室（H）	112
4.9 取水口，貯留堰	120
4.10 復水貯蔵タンク基礎	131
4.11 ガスタービン発電設備軽油タンク室	139
4.12 第3号機海水ポンプ室	147
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法	157
5.1 耐震安全性評価における解析ケース	157
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	161
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	164
6. 許容限界について	167
6.1 許容応力度法による耐震安全性評価について	167
6.2 限界状態設計法による照査	169
6.3 土木学会マニュアル2005の適用性について	179
7. ジョイント要素のばね設定について	187
8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について	192
8.1 時刻歴応答解析（全応力解析）で設定するRayleigh減衰	192
8.2 時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定するRayleigh減衰	194
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	195
9.1 評価方針	195

- 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

## 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\*1:「常設重大事故等対処施設\*<sup>4</sup>」を兼務

\*2:「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

\*3:「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

\*4: 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。)

\*5: 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

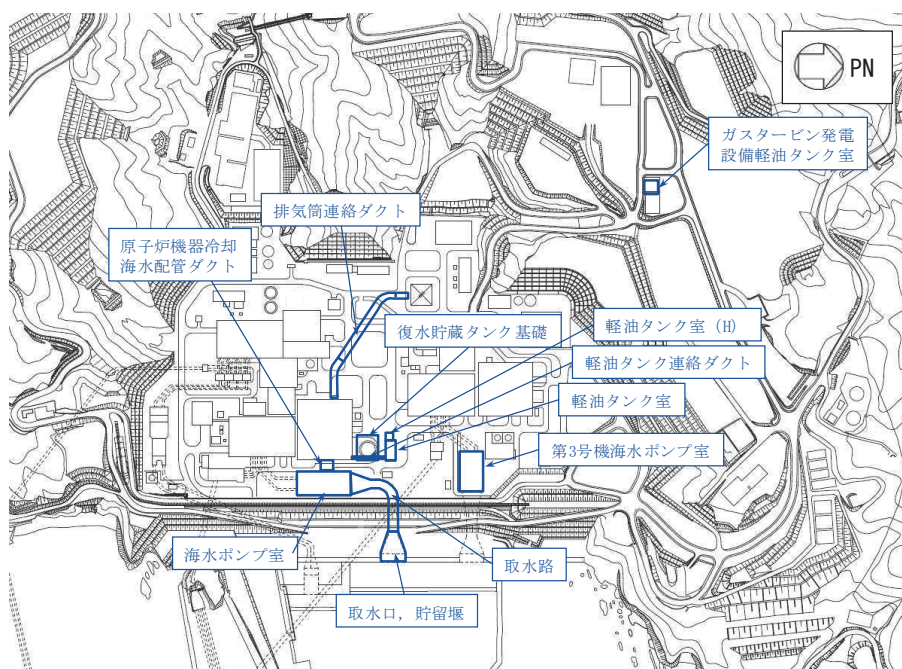


図1-1 屋外重要土木構造物等 位置図

## 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>又は降伏曲げモーメント<sup>\*3</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，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。）。

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>2</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>3</sup>以下であることを確認する。

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>4</sup>に至らないことを確認する。

注記\*1：層間変形角 1/100

\*2：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  $\mu$

\*3：鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

\*4：層間変形角 2/1000

## 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>5</sup>，限界ひずみ\*<sup>6</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>7</sup>に至らないことを確認する。

注記\*5：層間変形角 1/100

\*6：圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000  $\mu$ )

\*7：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，終局状態には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>8</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>9</sup>以下であること，せん断破壊についてはせん断耐力以下であることを



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 ( $\gamma_1$ ) 以下であ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\*8：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  $\mu$

\*9：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以下であれば、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以下であることを目標性能とし、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\*10に至らないこと、せん断破壊についてはせん断耐力以下であることを確認する。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 ( $\gamma_1$ ) 以下であ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\*10：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以下であ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、短期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以下であ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。

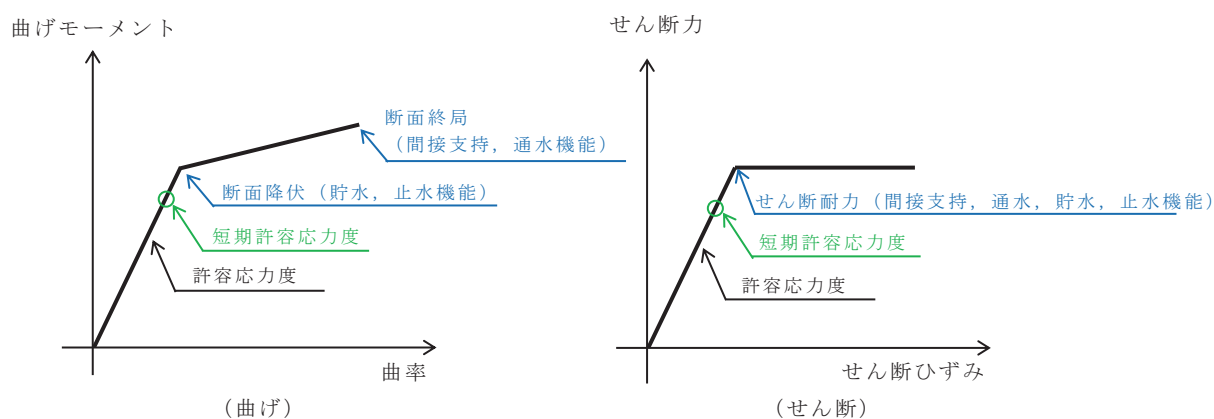


図 2.5-1 各要求機能と許容限界の関係の概念

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以下</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以下</li> </ul>
設定理由		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。 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する。	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。	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、及び発生せん断力がせん断耐力以下であることを目標性能とする。	断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力以下であれば、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以下であることを目標性能とする。
限界状態		終局耐力以下 アンカー定着部周辺においては降伏耐力以下	終局耐力以下	降伏耐力以下	降伏耐力以下
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 ( $\gamma_1$ ) 又は漏水量評価	層間変形角<第1折点 ( $\gamma_1$ ) 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、終局耐力以下であることを確認する。

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(遮蔽壁、バルブ室、連絡トレンチ)、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以下であ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、短期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。

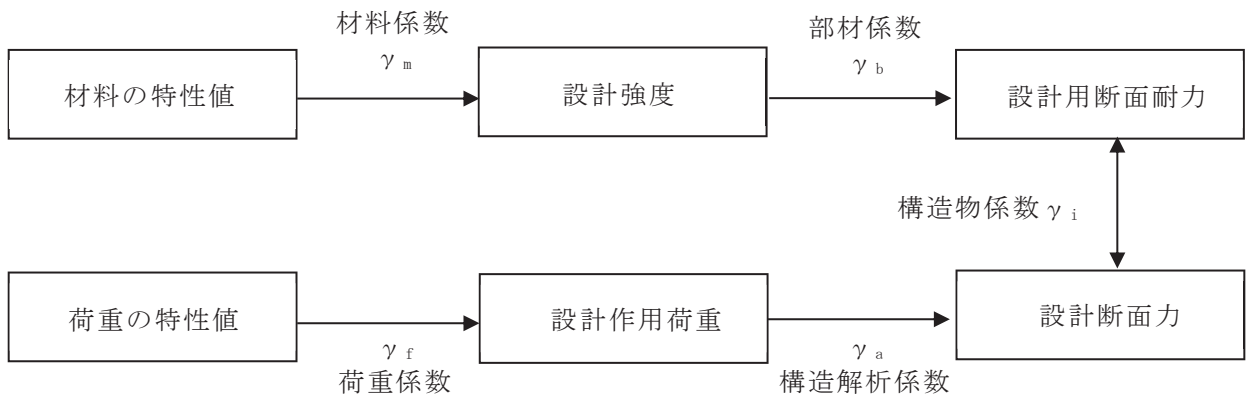


図 3-1 安全係数の考え方

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 (S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> </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>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>
③土木学会マニュアル 2018*3	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 (S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) 「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>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>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系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>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> </ul>	1.0	1.3	1.3*2	1.0	1.0	文献に基づく標準的な値を設定。
			<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0	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	1.0	安全側に考慮された限界値が別途定められていることから 1.0 に設定。
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ぼす影響，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	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	1.0	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 $S_s$ 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は 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>断面力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> </ul>	1.3*2	1.3	1.3*2, 3	1.0	1.0~1.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>応答値算定用は，文献に基づく標準的な値を設定。</li> <li>限界値算定用は，6.3項に示す考え方により1.3から低減する場合がある。</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献に基づく標準的な値を設定。</li> </ul>
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>コンクリートが分担するせん断耐力を当該値で除する。</li> </ul>	1.3	1.1~1.3	1.3	1.1~1.5	1.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断耐力評価式に用いる標準的な値を設定。なお，材料非線形解析によりせん断耐力を算定する場合は，キャリブレーション解析により設定する。</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断補強筋が分担するせん断耐力を当該値で除する。</li> </ul>	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実性等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.05	1.0	1.05*5	1.0	1.05	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献に基づく標準的な値を設定。</li> </ul>
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ぼす影響，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	1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献に基づく標準的な値を設定。</li> </ul>
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>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0~1.2	1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>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<math>S_s</math>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。</li> </ul>

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
	<p>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</p> <p>⇒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。</p>	<p>B：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や周辺地盤の剛性が急変する箇所が存在し、躯体のねじれや躯体への集中的な応力発生の影響が懸念されることから、三次元モデルを用いて耐震評価を行う線状構造物</p> <p>⇒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。</p>
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（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「3.3 敷地の地下水位分布及び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，モデル化可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

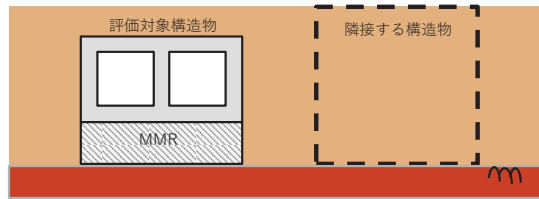
地中構造物の耐震評価においては、盛土よりも剛性の大きい隣接構造物をモデル化することにより、周辺地盤の変形が抑制されると考えられる。よって、評価対象構造物に作用する土圧を保守的に評価するため、隣接構造物の設置範囲を盛土としてモデル化する。

(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

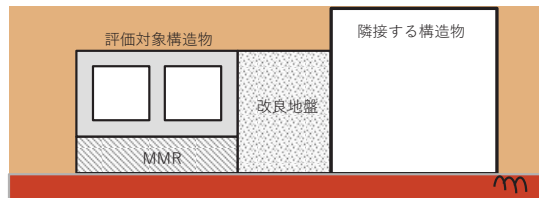
評価対象構造物と隣接構造物の間に剛性の大きい改良地盤が存在する場合には、隣接構造物の地震時応答が剛性の大きい改良地盤を介して評価対象構造物に伝達することが考えられる。よって、隣接構造物が改良地盤を介して評価対象構造物に与える影響を考慮するため隣接構造物をモデル化する。

(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

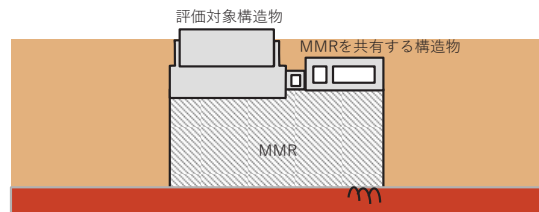
評価対象構造物が隣接構造物とマンメイドロック（以下「MMR」という。）を共有して設置されている場合には、共有する MMR とともに互いに影響を受けながら振動するため、隣接構造物をモデル化する。



(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。

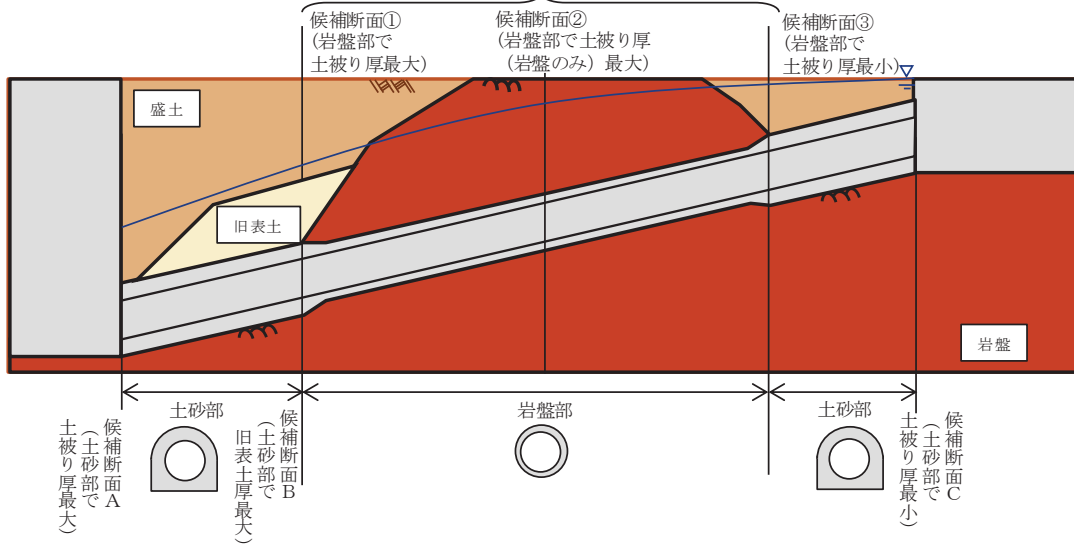
地震応答解析による評価対象断面の絞り込み及び解析手法の選定方法の例を図 4.1-2 に示す。

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「3.3 敷地の地下水位分布及び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：

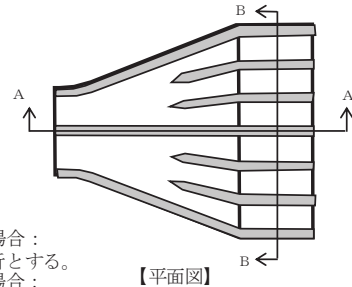
候補断面 A, B, C で一次元全応力解析及び一次元有効応力解析を行い、耐震評価上厳しい断面、解析手法を確認して選定する。

(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。

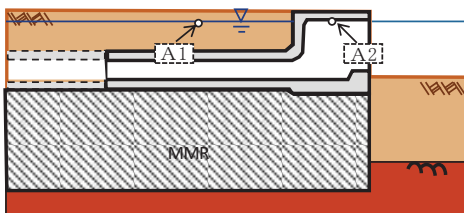
箱形構造物の例

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。

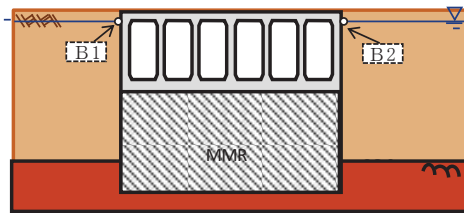


(例) 構造物範囲（深度）のせん断応力

- ・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。

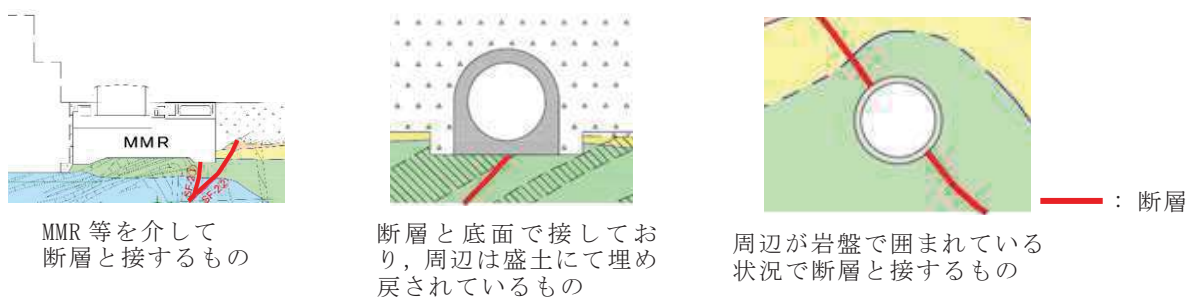


図 4.1-3 構造物と断層の位置関係の例

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。

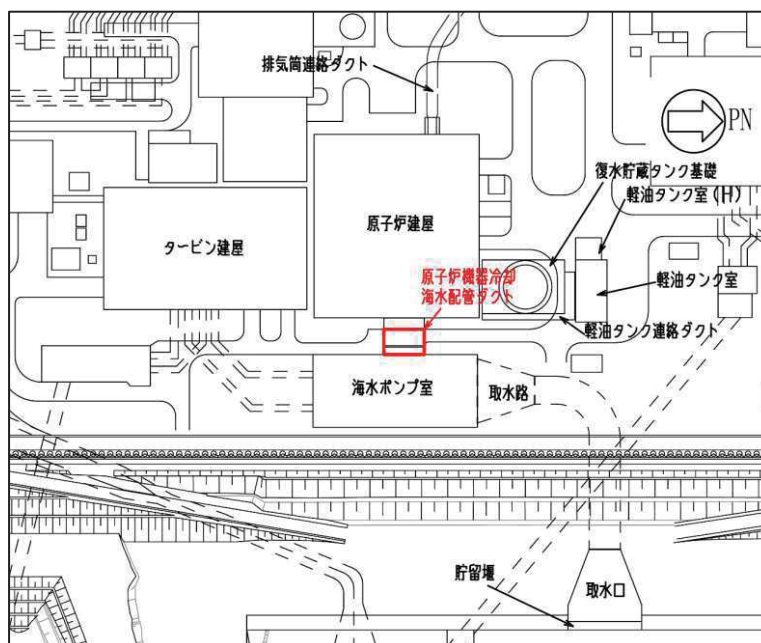


図 4.2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト配置図

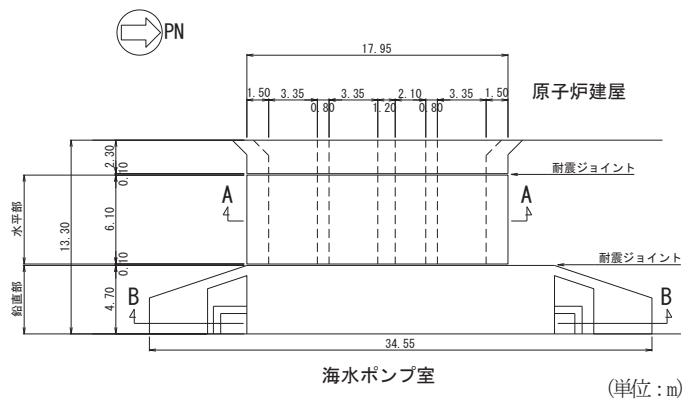


図 4.2-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト平面図

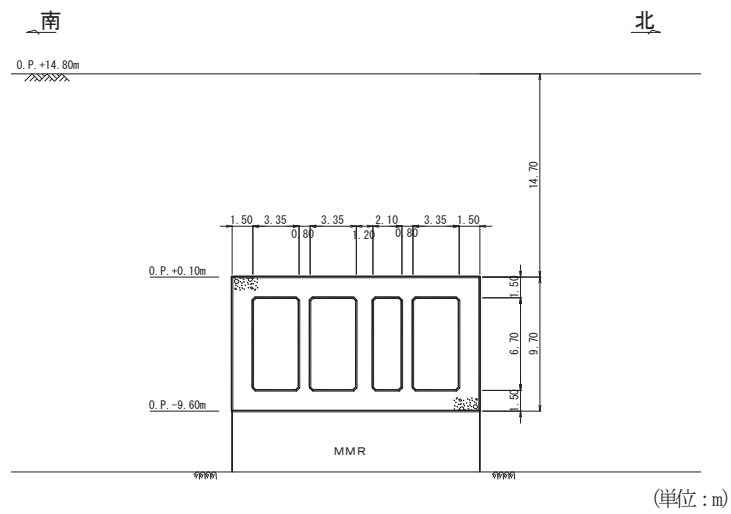


図 4.2-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）断面図（A-A）

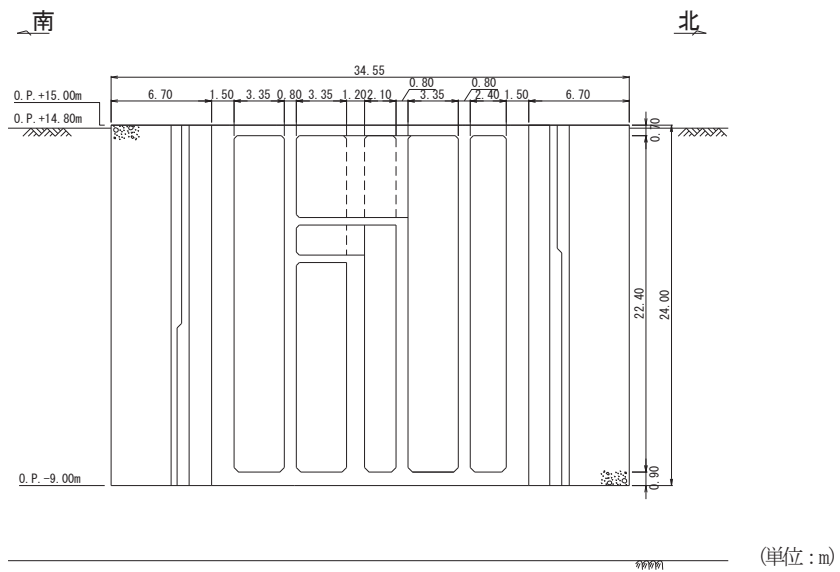


図 4.2-4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）断面図（B-B）

(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。

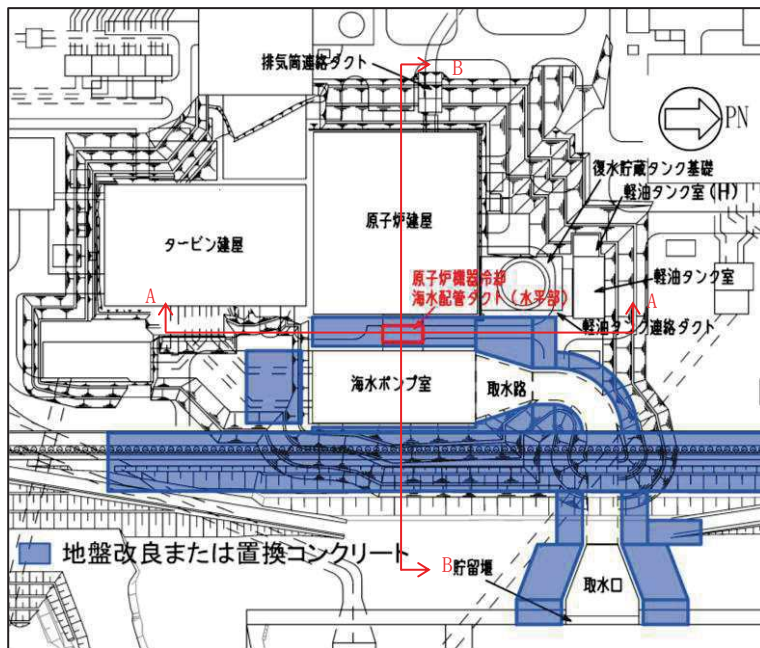


図 4.2-5 原子炉機器冷却海水配管ダクト掘削図

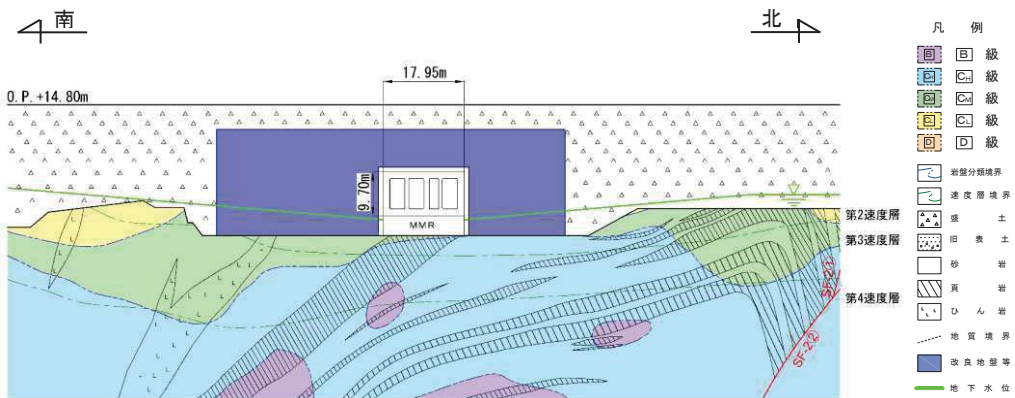


図 4.2-6 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）地質断面図 (A-A)

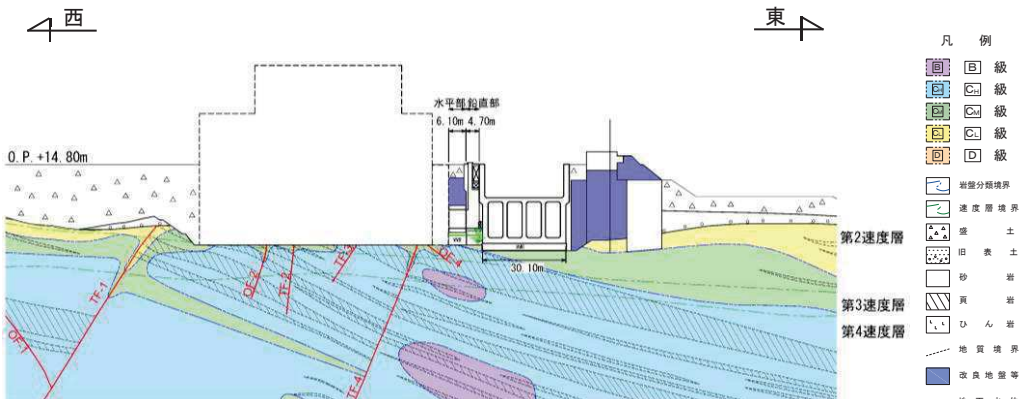


図 4.2-7 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）地質断面図 (B-B)

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。

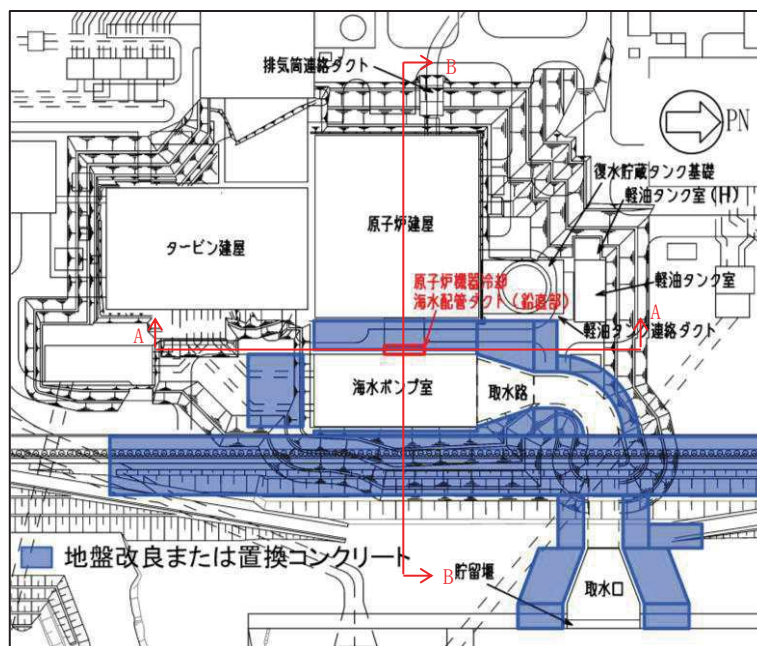


図 4.2-8 原子炉機器冷却海水配管ダクト掘削図

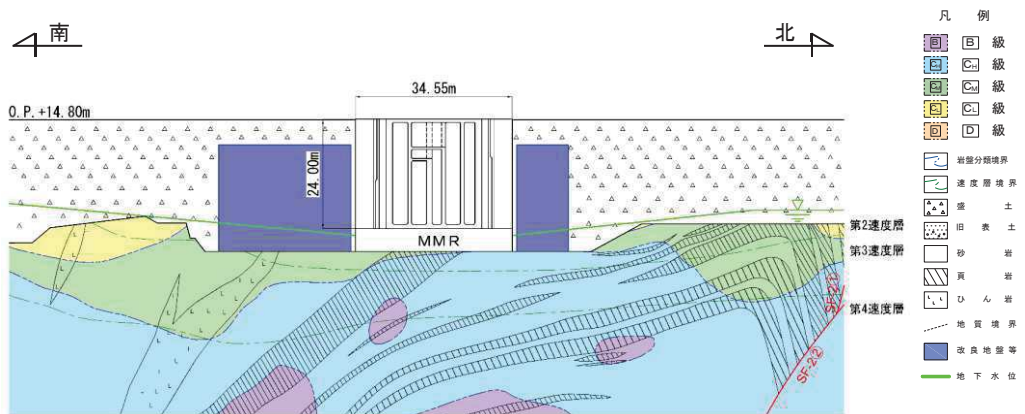


図 4.2-9 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）地質断面図（A-A）

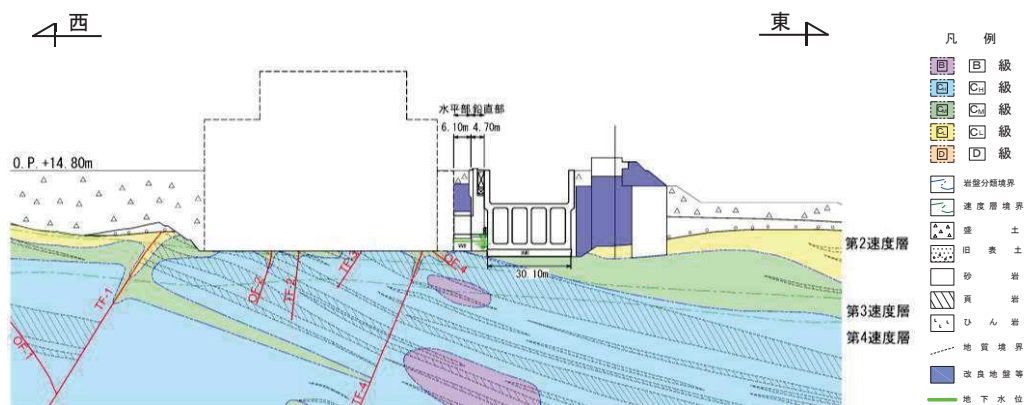


図 4.2-10 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）地質断面図（B-B）

(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。

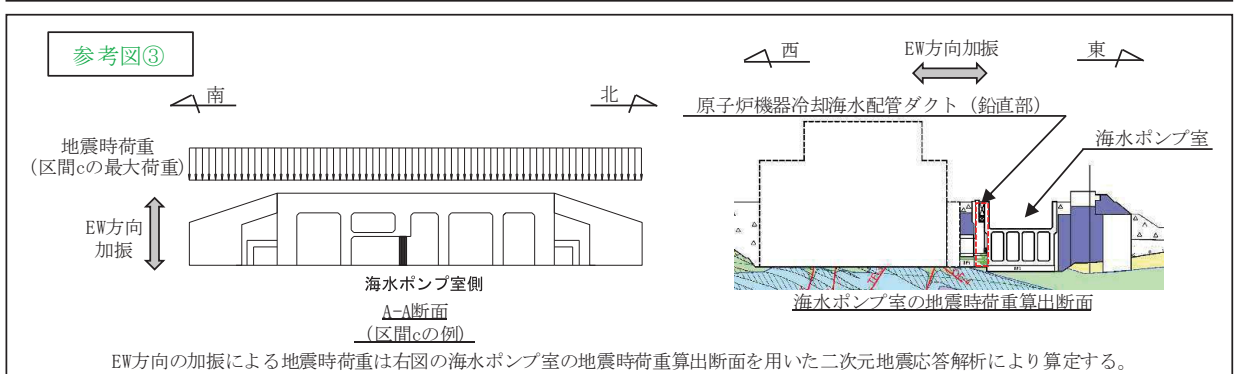
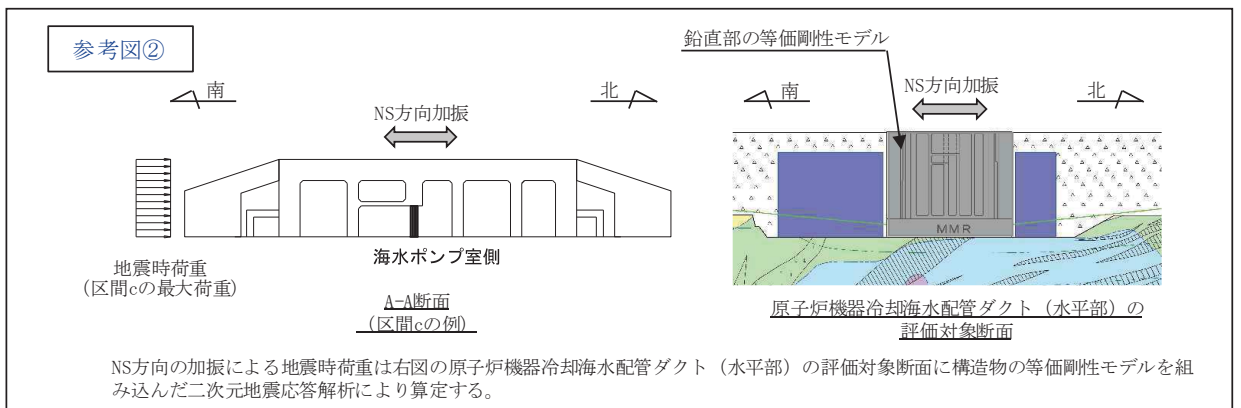
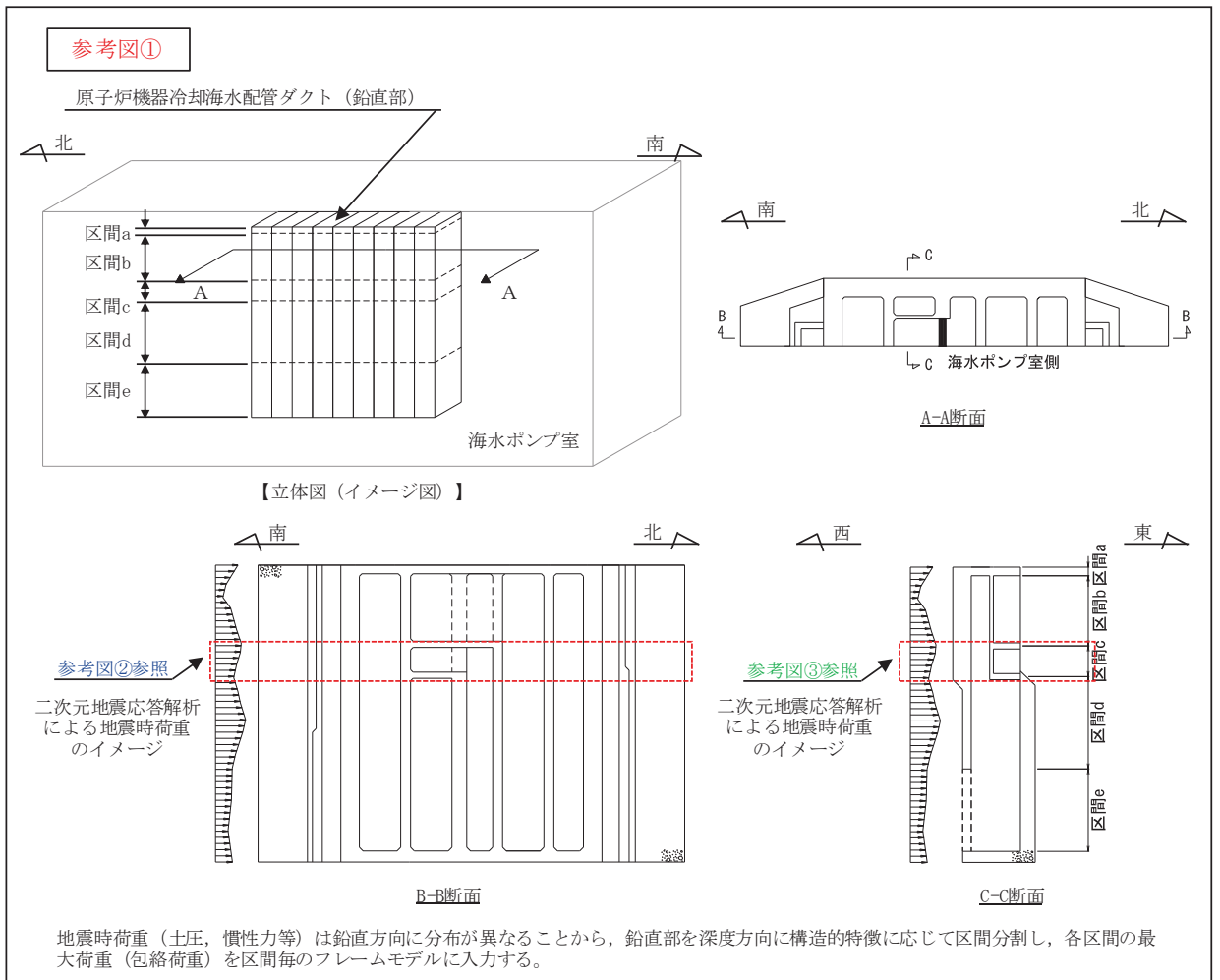
構造解析は、参考図 4.2-1 に示すように、深度ごとに区間を分割してフレームモデルを作成し地震時荷重を載荷するため、EW 方向及び NS 方向の両方向の断面から、地震時荷重を算出するための地震時荷重算出断面を選定する。

EW 方向の地震時荷重の算出においては、鉛直部の周辺は一樣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樣であり、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、鉛直部の周辺は一樣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樣であり、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、一樣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樣で、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>縦断方向（延長方向）に様な断面の比較的単純な四連のボックスカルバート構造</li> <li>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版より十分に低い。</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> </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>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>
鉛直部	EW 方向	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）にほぼ様な断面であり、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>
	NS 方向	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>

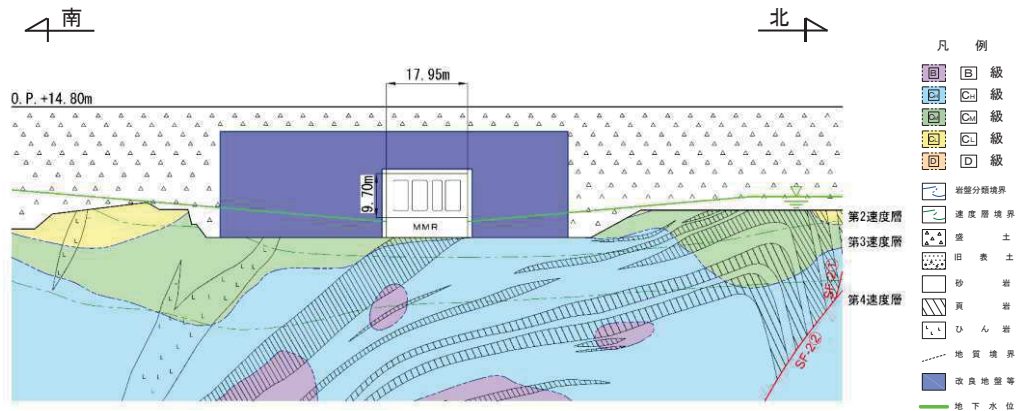


図 4.2-11(1) 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） 評価対象断面図

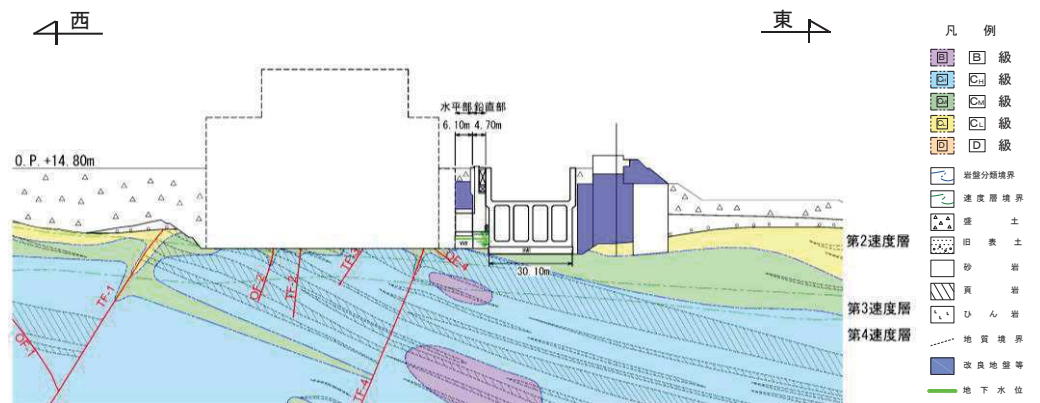


図 4.2-11(2) 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）  
地震時荷重算出断面図（EW 方向）

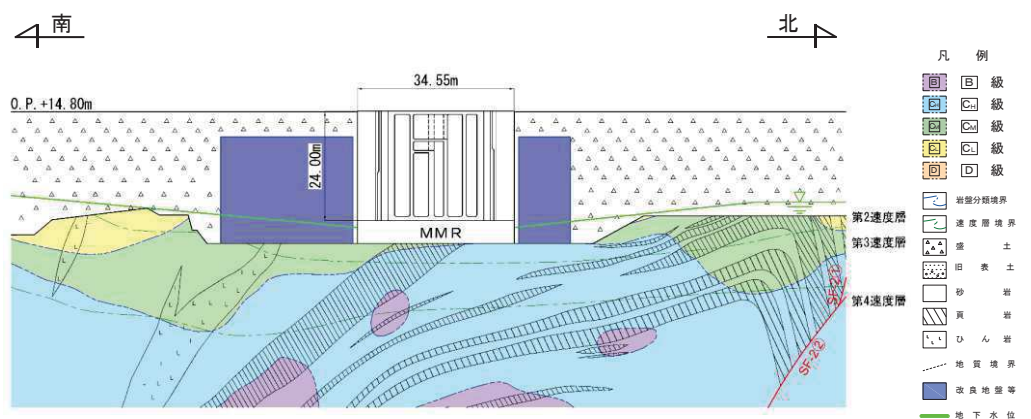


図 4.2-11(3) 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）  
地震時荷重算出断面図（NS 方向）

#### 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。

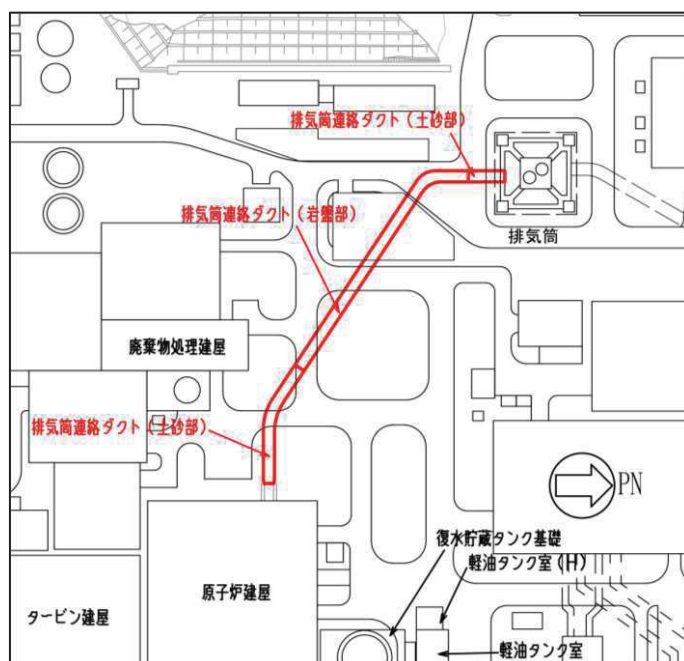


図 4.3-1 排気筒連絡ダクト配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

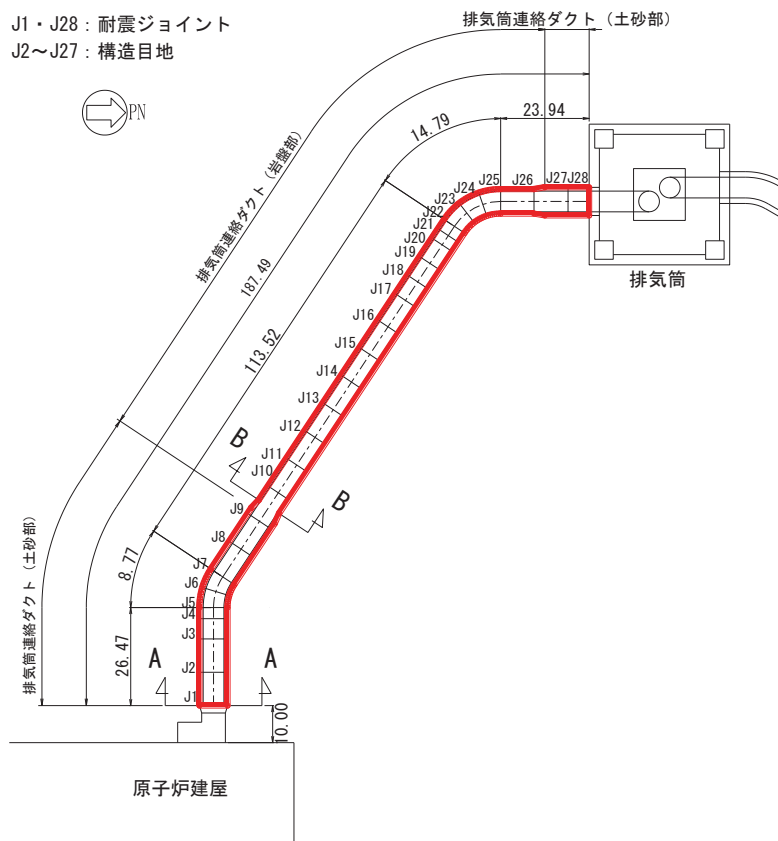


図 4.3-2 排気筒連絡ダクト平面図

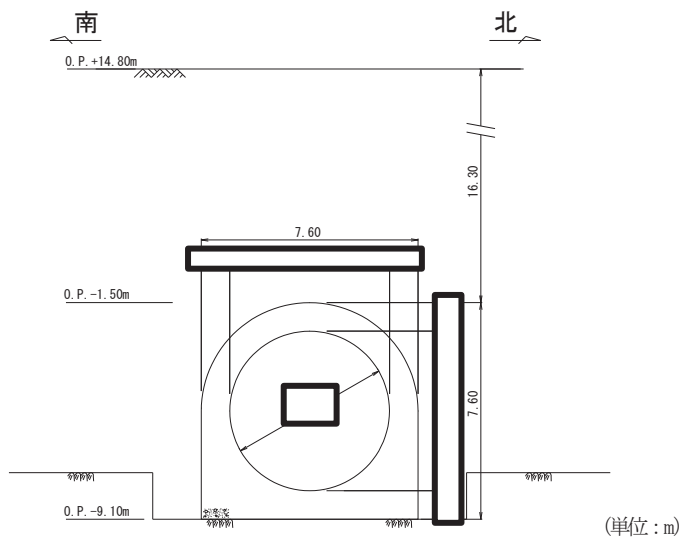


図 4.3-3 排気筒連絡ダクト断面図（土砂部，A-A）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

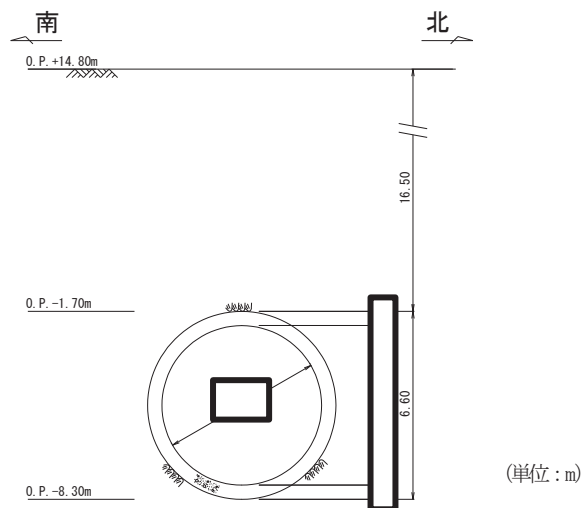


図 4.3-4 排気筒連絡ダクト断面図（岩盤部，B-B）

(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縦断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様（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。

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様であるが，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，排気筒連絡ダクト縦断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。

また，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。このうち，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。

排気筒連絡ダクトの横断方向の候補断面は，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。

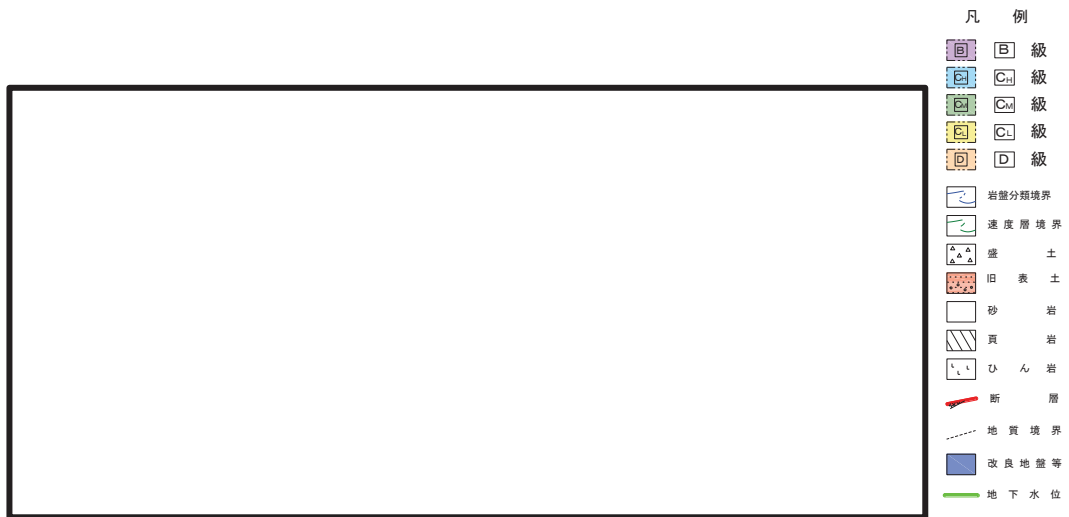


図 4.3-5 排気筒連絡ダクト縦断図及び候補断面位置

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



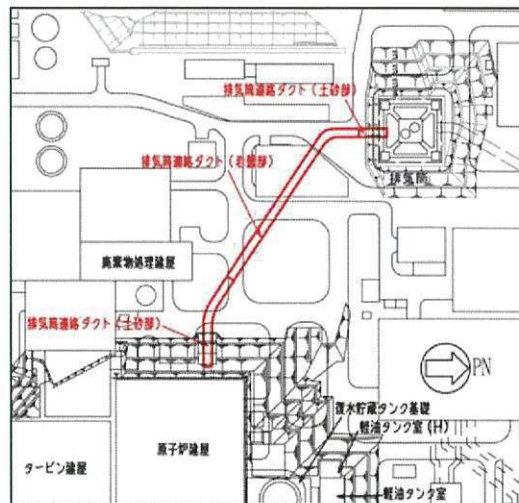


図4.3-6 排気筒連絡ダクト掘削図

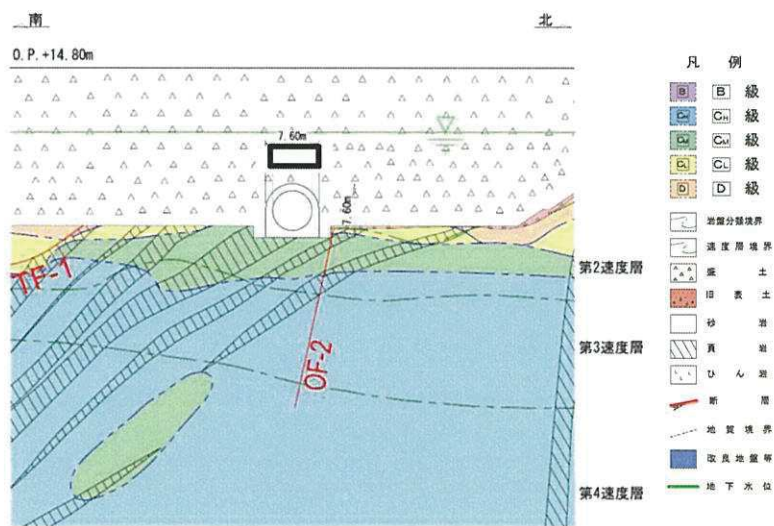


図 4.3-7 排気筒連絡ダクト（土砂部）地質断面図（断面①）

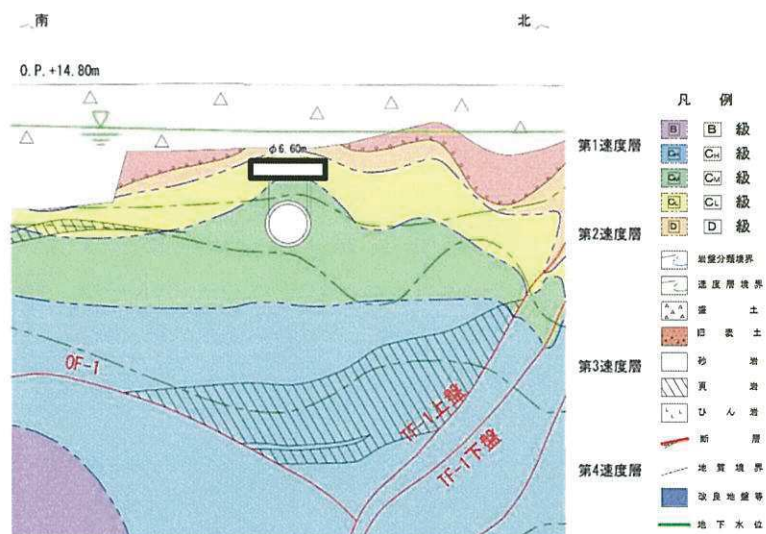


図 4.3-8 排気筒連絡ダクト（岩盤部）地質断面図（断面⑤）

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	トンネルの上下端の間に、地盤剛性が大きく異なる盛土と岩盤の変化部（境界部）が存在する。
排気筒側 (終点側)	断面⑪	同上	同上	トンネルの上下端の間に、地盤剛性が大きく異なる盛土と岩盤の変化部（境界部）が存在する。
	断面⑫	同上	同上	全区間で土被りが最も薄い。

注記\*：排気筒連絡ダクトに接する断層の位置及び規模等について、「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 4.3-2 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⑦	同上	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OF-1断層*と接する。
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。

注記\*：排気筒連絡ダクトに接する断層の位置及び規模等について、「参考資料2 断層の影響を評価する断面について」に示す。

## (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. 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⑩，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。なお、「(1) 候補断面の整理」で抽出した断面②については、断層（TF-1 断層）の影響を確認するため評価対象断面として選定する。

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）のせん断応力に着目し、応答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。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。

また、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。

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⑩，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、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全応力解析で最大となった。また、同じ全応力解析では、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がその次に大きな値となった。さらに、最大加速度については、断面③が全応力解析で最大となった。

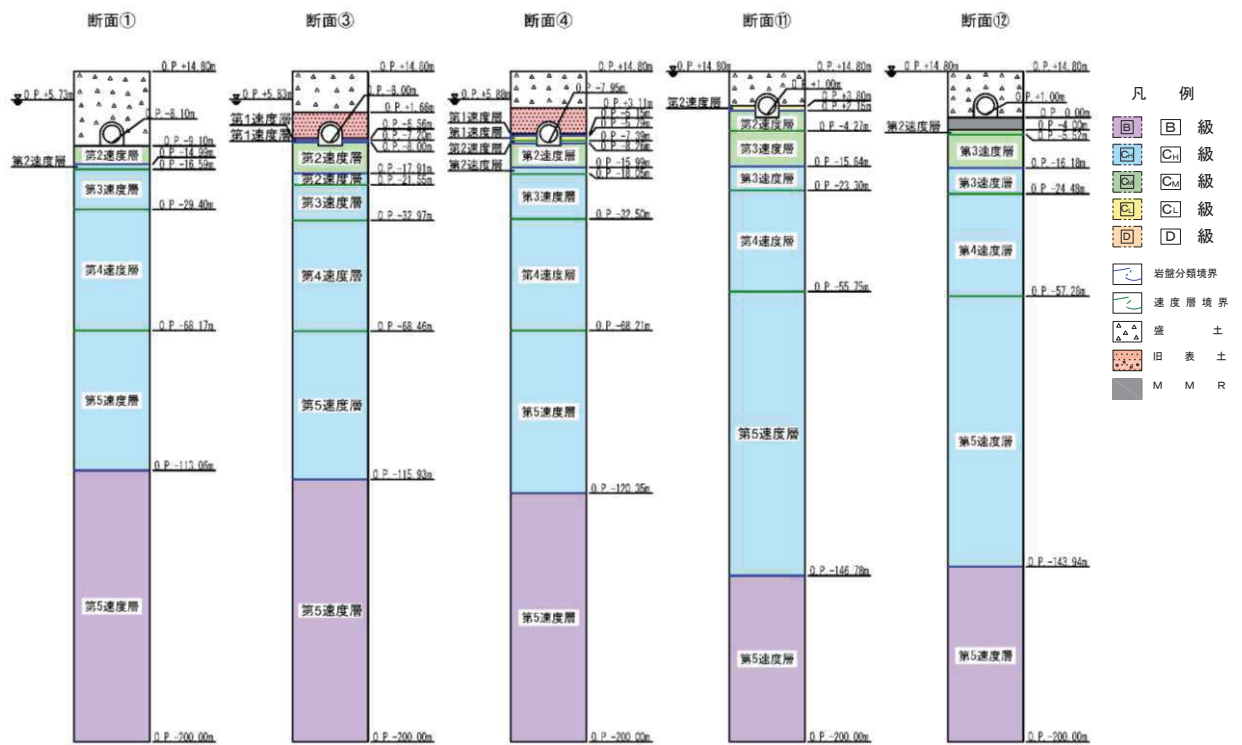


図 4.3-9 一次元地震応答解析モデル図（土砂部）

表4.3-3 一次元地震応答解析結果（土砂部）

候補 断面	全応力解析		有効応力解析	
	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
断面①	101 (S s - N 1)	833 (S s - D 2)	100 (S s - D 2)	726 (S s - F 3)
断面③	85 (S s - F 2)	967 (S s - D 2)	62 (S s - N 1)	844 (S s - D 3)
断面④	82 (S s - D 2)	940 (S s - D 2)	59 (S s - N 1)	781 (S s - F 3)
断面⑪	74 (S s - N 1)	937 (S s - D 2)	52 (S s - N 1)	748 (S s - F 3)
断面⑫	75 (S s - N 1)	797 (S s - F 3)	58 (S s - N 1)	702 (S s - 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（せん断応力，最大加速度）の最大値

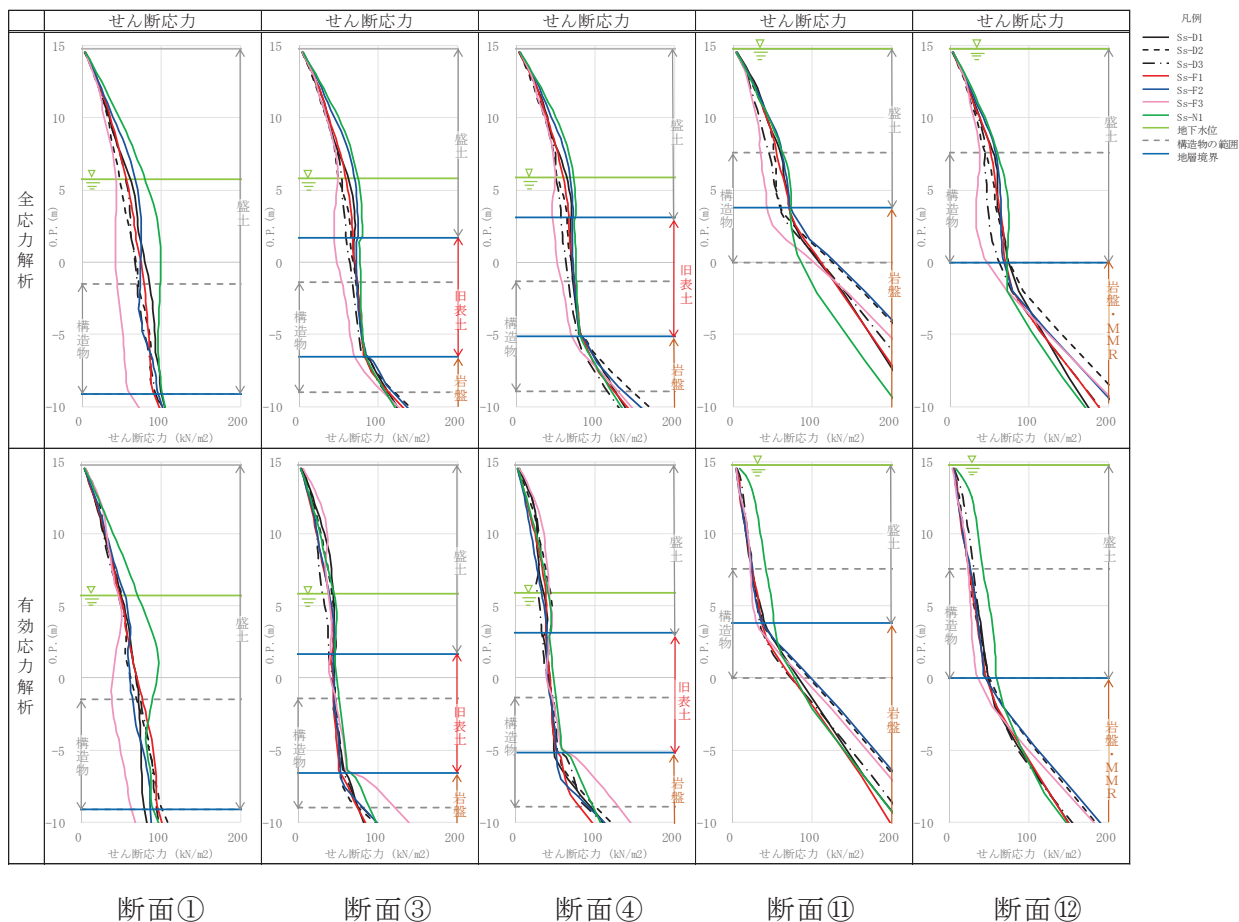


図 4.3-10 せん断応力分布（全時刻最大）

b. 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。なお、「(1) 候補断面の整理」で抽出した断面⑦については，断層（OF-1 断層）の影響を確認するため評価対象断面として選定する。

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が変形する。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の相対変位に着目し，応答を比較することにより，評価対象断面を選定する。

また，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。

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の最大相対変位(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。また，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）が最も薄い断面⑩における最大加速度が最大となった。

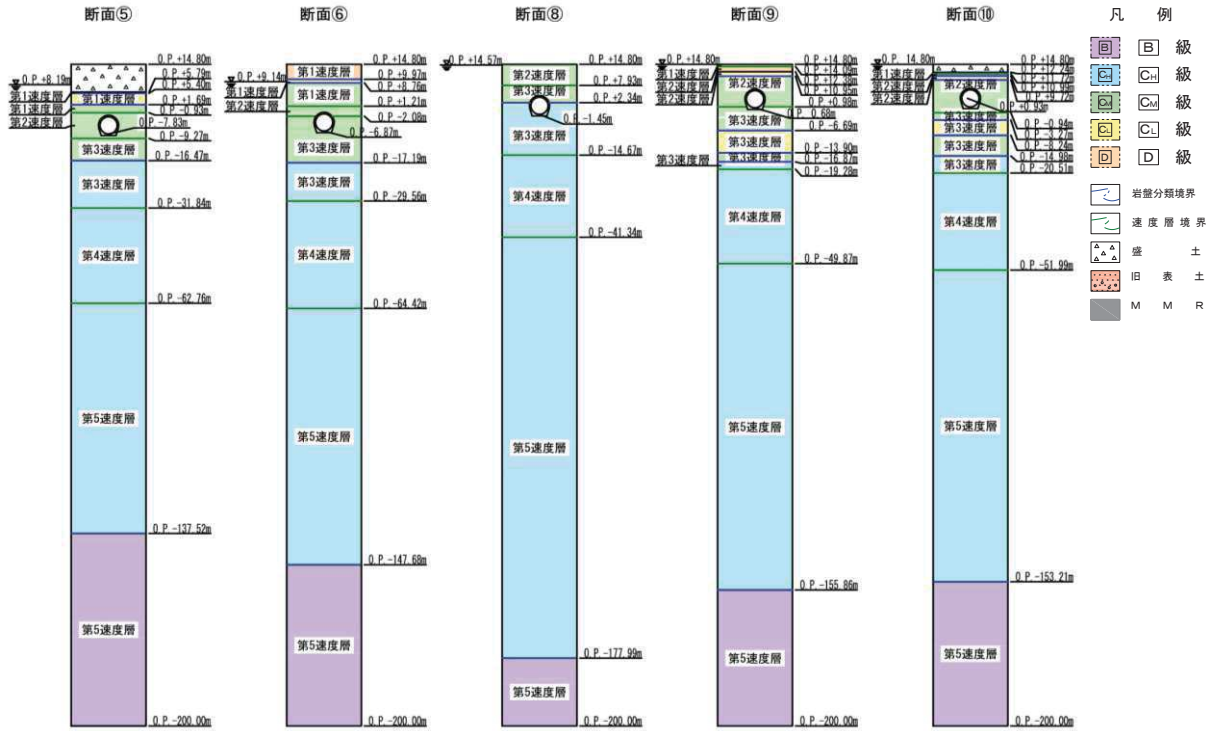


図 4.3-11 一次元地震応答解析のモデル図（岩盤部）

表4.3-4 一次元応答解析結果（岩盤部）

候補断面	全応力解析	
	最大相対変位(mm)	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
断面⑤	1.1 (S <sub>s</sub> -F2)	717 (S <sub>s</sub> -F3)
断面⑥	0.7 (S <sub>s</sub> -N1)	687 (S <sub>s</sub> -F3)
断面⑧	0.3 (S <sub>s</sub> -F3)	673 (S <sub>s</sub> -F2)
断面⑨	1.0 (S <sub>s</sub> -F3)	661 (S <sub>s</sub> -D1)
断面⑩	1.0 (S <sub>s</sub> -D2)	749 (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（せん断応力，最大加速度）の最大値

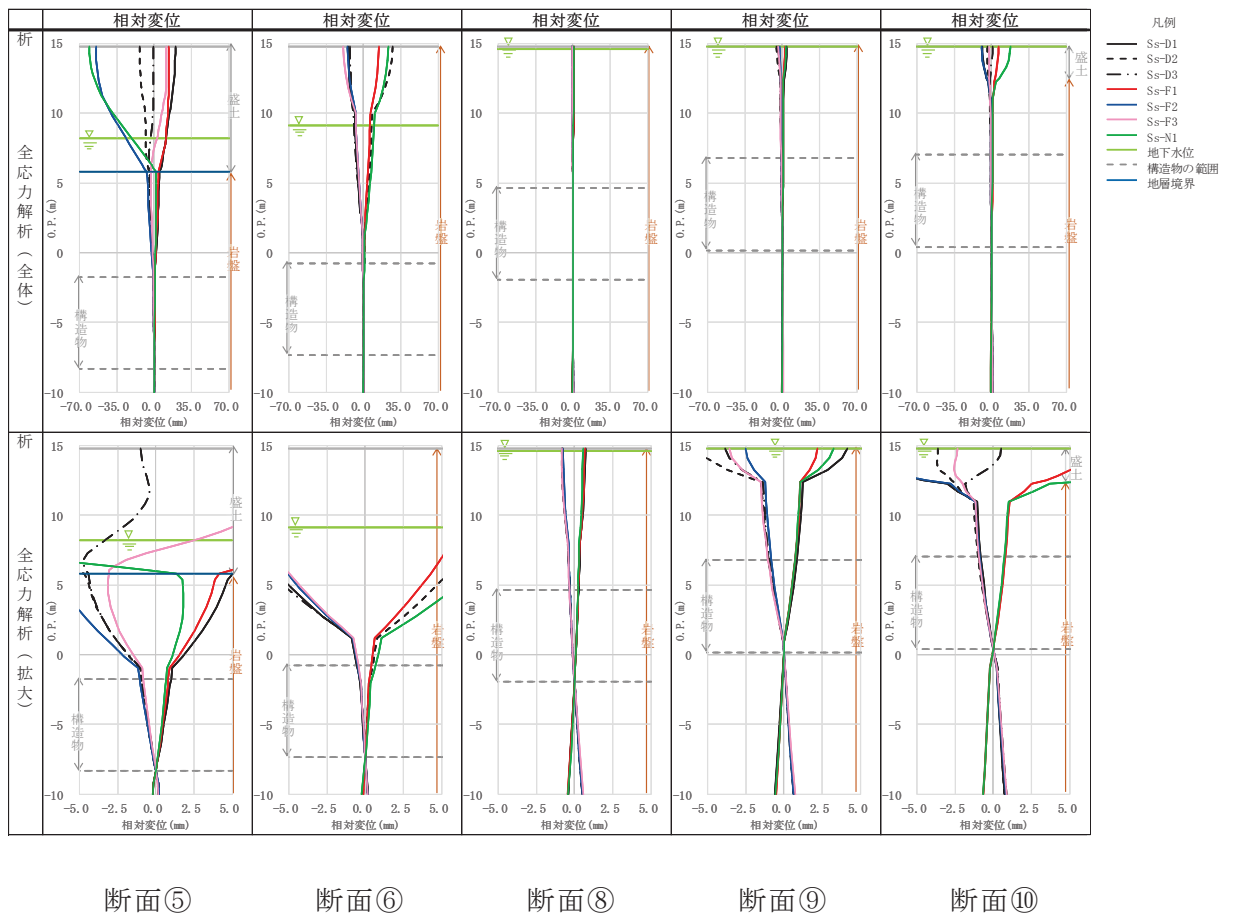


図4.3-12 相対変位分布（最大相対変位発生時刻）

(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。

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。また、断面③は構造物範囲に旧表土が広く分布し、全区間で旧表土が最も厚い断面であるとともに、せん断応力が比較的大きい断面であることから、断面③についても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。

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。

また、断層の影響を確認するため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。

機器・配管系の床応答の観点については、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した結果、土砂部では、旧表土が広く分布し全区間で旧表土が最も厚い断面③が抽出され、岩盤部では、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）が最も薄い断面⑩が抽出されるが、これらの最大値の比較から、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。



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
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。	・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。	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評価対象断面として選定する。 (解析手法：全応力解析)
	断面③	同上	同上	・液状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間で最も厚い。	同上	○	・盛土に加え旧表土が存在し、全区間で旧表土が最も厚い断面であるとともに、一次元地震応答解析の結果、せん断応力が比較的大きい断面であることから、旧表土が広く分布する断面の代表として評価対象断面として選定する。 ・一次元地震応答解析の結果、全区間（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	・トンネルの上下端の間に、地盤剛性が大きく異なる盛土と岩盤の変化部（境界部）が存在する。	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。
排気筒側 (終点側)	断面⑪	同上	同上	・トンネルの上下端の間に、地盤剛性が大きく異なる盛土と岩盤の変化部（境界部）が存在する。	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	・全区間で土被りが最も薄い。	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\*：排気筒連絡ダクトに接する断層の位置及び規模等について、「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
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。	・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態で接する断層のうち、規模の大きい OF-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態で接している断層のうち、規模の大きい OF-1 断層*と接し、断層の影響を確認するため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、トンネル底版の標高が最も高く、土被り（盛土、岩盤）が最も薄い。	同上	—	・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下端の深度の応答加速度が最大となるが、土砂部の断面③と比較して応答加速度が小さく、断面③を代表とすることから、評価対象断面として選定しない。

注記\*：排気筒連絡ダクトに接する断層の位置及び規模等について、「参考資料2 断層の影響を評価する断面について」に示す。

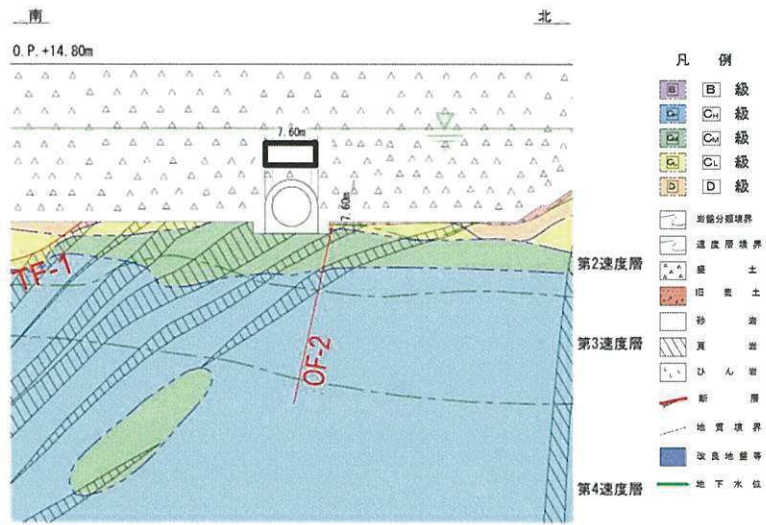


図 4.3-13(1) 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面①）

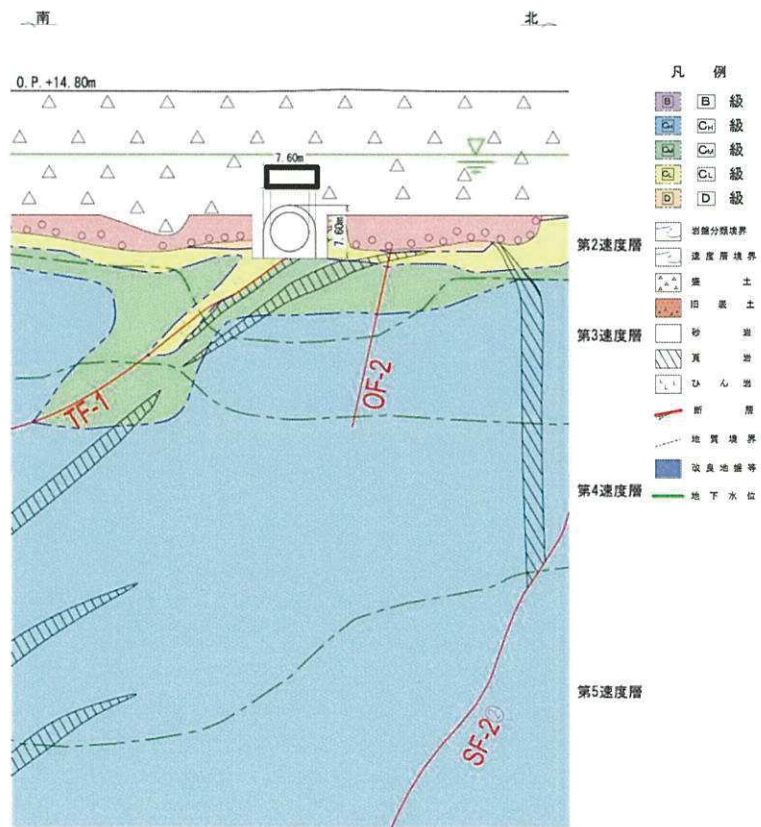


図 4.3-13(2) 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面②）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

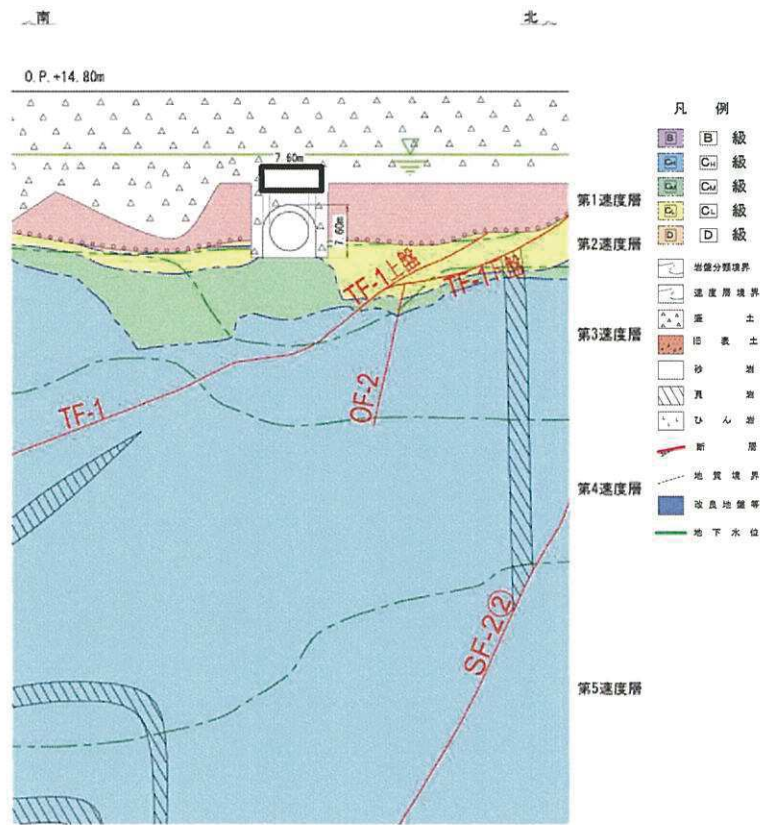


図 4.3-13 (3) 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面③）

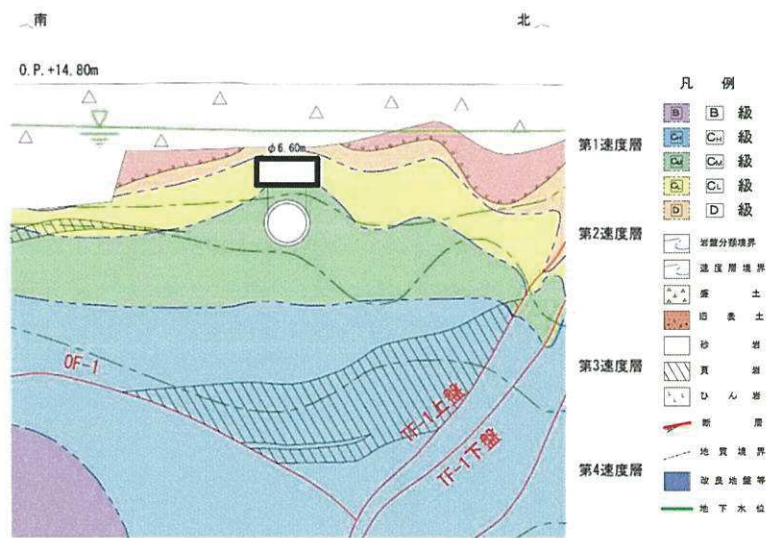


図 4.3-14 (1) 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面図（断面⑤）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

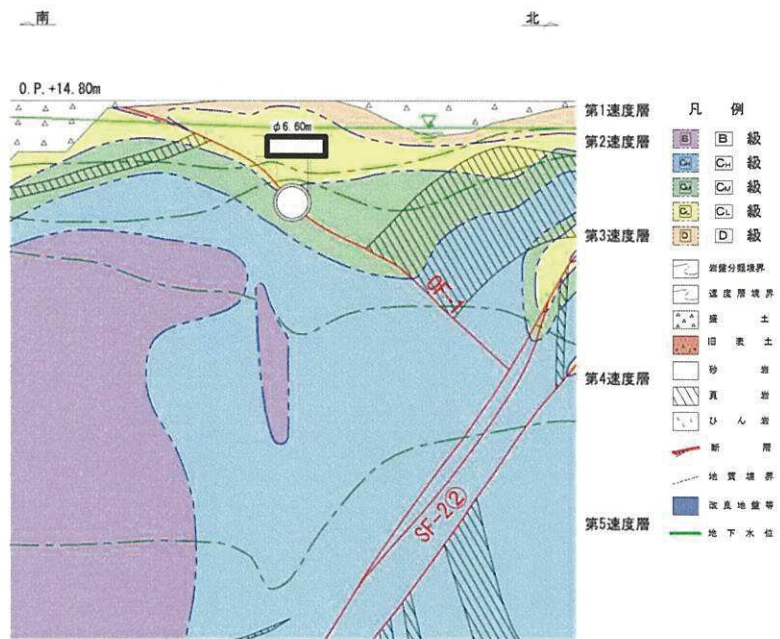


図 4.3-14(2) 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面図（断面⑦）

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。

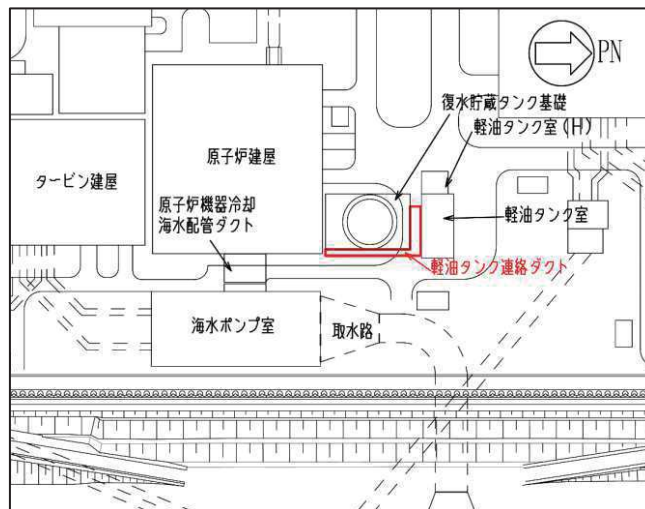


図 4.4-1 軽油タンク連絡ダクト配置図

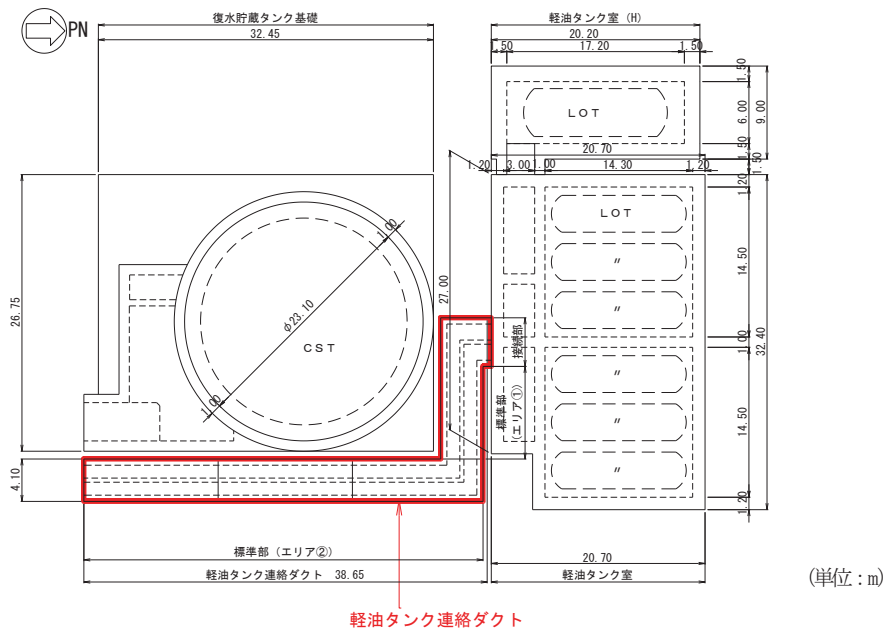


図 4.4-2 軽油タンク連絡ダクト平面図

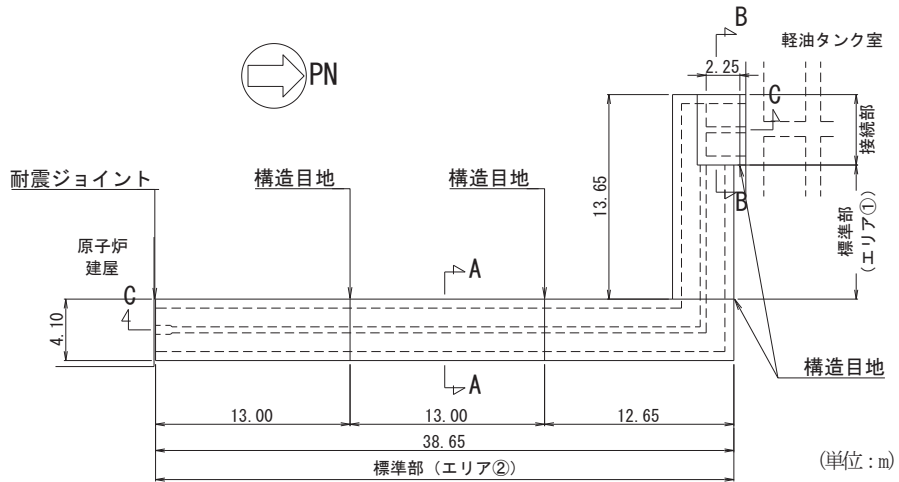


図 4.4-3 軽油タンク連絡ダクト平面図 (詳細)

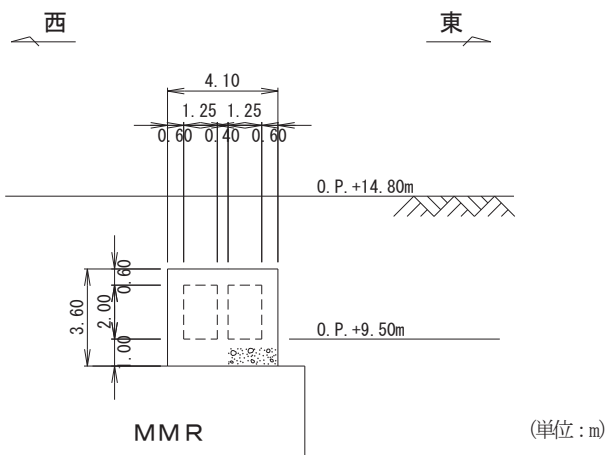


図 4.4-4 軽油タンク連絡ダクト断面図 (標準部, A-A)

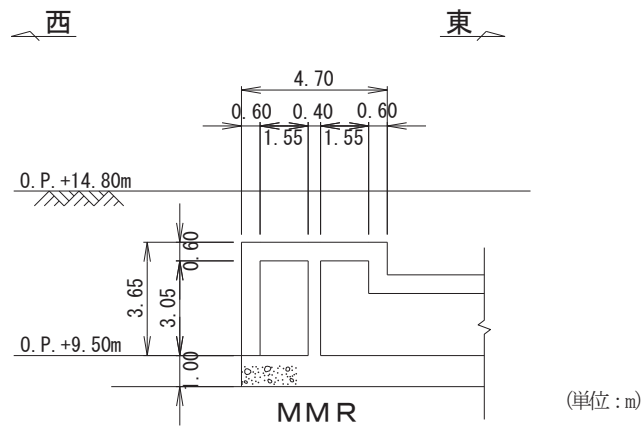


図 4.4-5 軽油タンク連絡ダクト断面図（接続部，B-B）

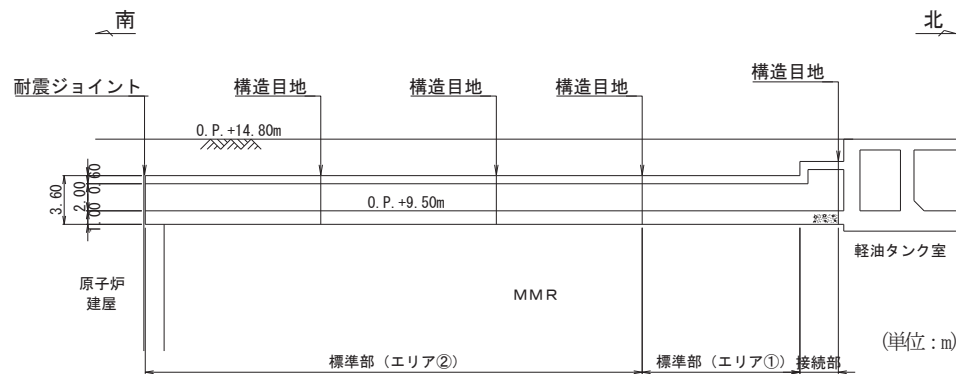


図 4.4-6 軽油タンク連絡ダクト縦断面図（C-C）

(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様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。

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。

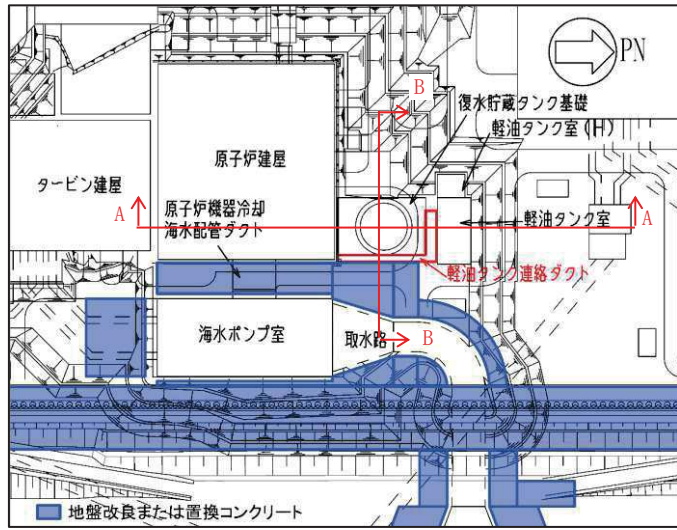


図 4.4-7 軽油タンク連絡ダクト掘削図

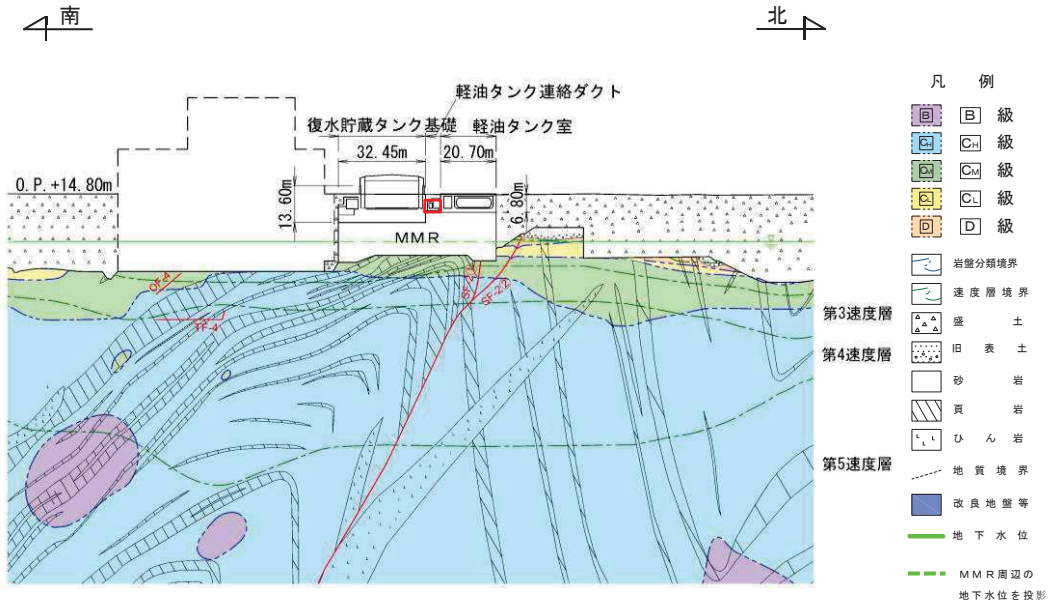


図 4.4-8 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (A-A)

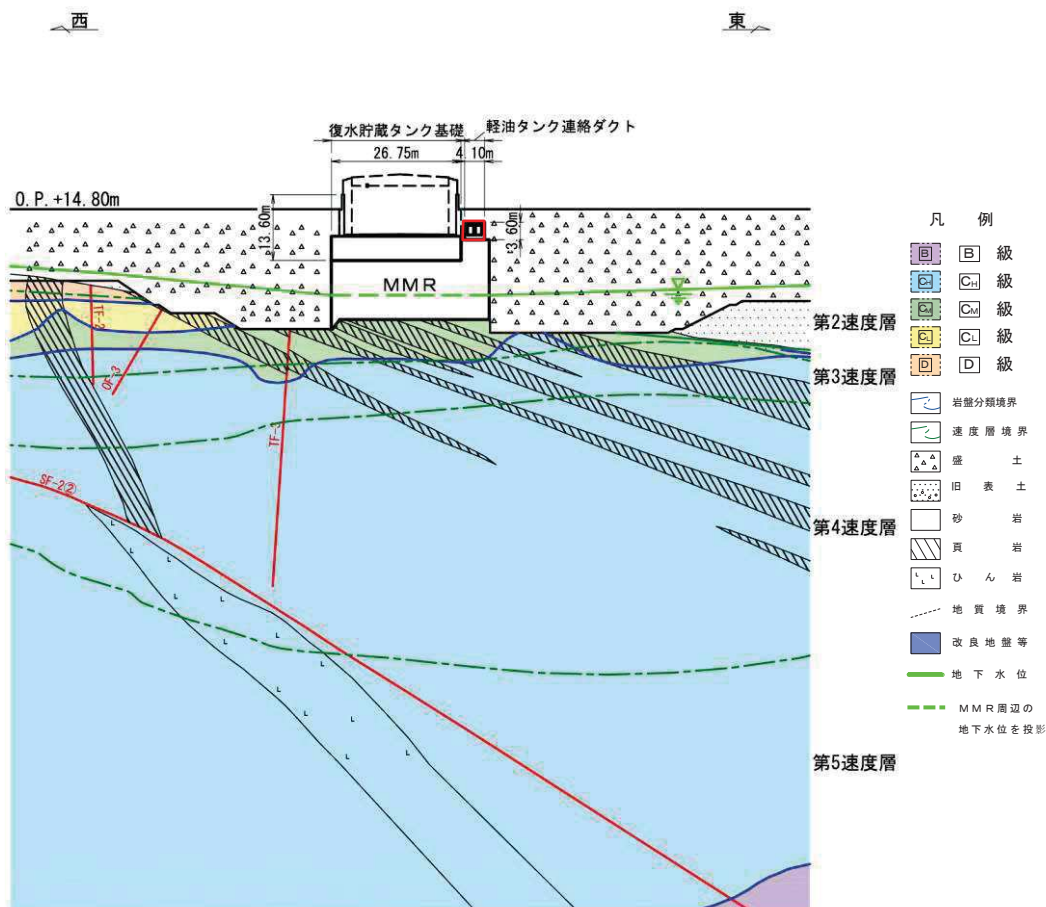


図 4.4-9 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (B-B)

(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)	エリア①  (軽油タンク室と復水貯蔵タンク基礎に挟まれるエリア)	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>延長方向に一様な断面の単純な二連のボックスカルバート構造</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>	燃料移送系配管	—	<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>
	エリア②  (復水貯蔵タンク基礎の東側に位置するエリア)	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に設置されている。</li> <li>西側には復水貯蔵タンク基礎が隣接し、MMR を共有する。</li> <li>東側は、一様に盛土が分布するが、地下水位が構造物底版より十分に低い。</li> </ul>	同上	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時土圧はエリア②の方がエリア①よりも大きいと考えられる。また、構造、配管の設置位置及び周辺状況について、延長方向に差異がないことから、復水貯蔵タンクを中心を通る断面を、評価対象断面とする。 (解析手法：全応力解析)</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、一様な断面の単純な二連のボックスカルバート構造</li> <li>NS 方向は、EW 方向と比較し、耐震上見込むことができる面部材が相対的に多いことから、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。</li> </ul>

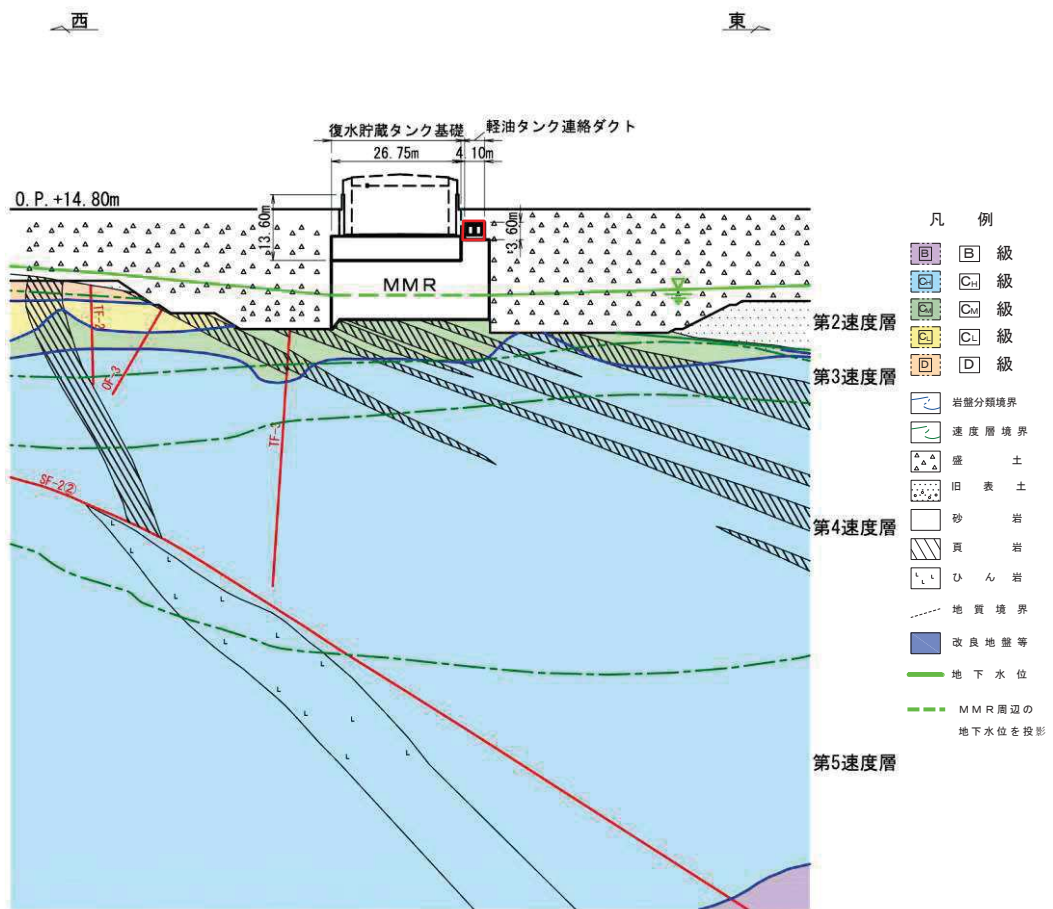


図 4.4-10 軽油タンク連絡ダクト 評価対象断面図 (標準部: エリア②)

#### 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）に断面が一様な標準部と、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する。

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。

取水路は、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いボックスカルバート状の線状構造物であるものの、標準部は防潮堤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、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）の加振に対して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）が弱軸方向となり、強軸方向と弱軸方向が明確である。

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。

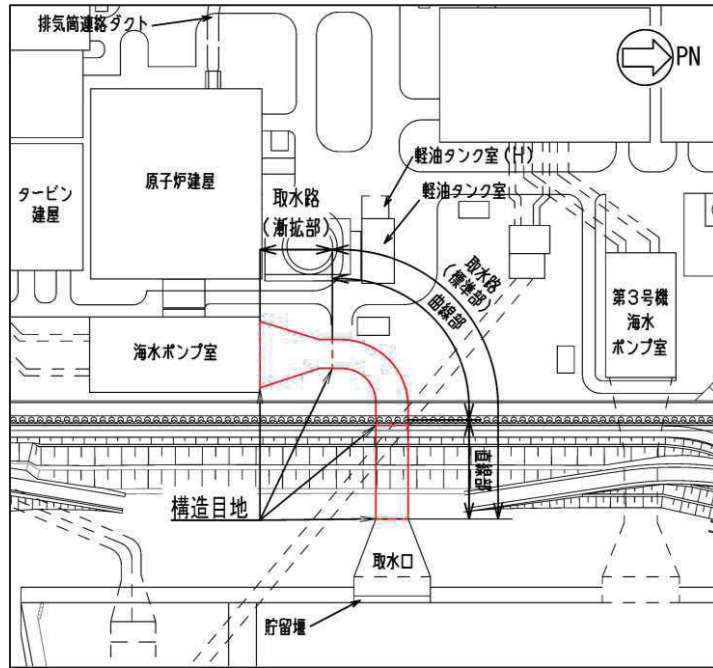


図 4.5-1 取水路配置図

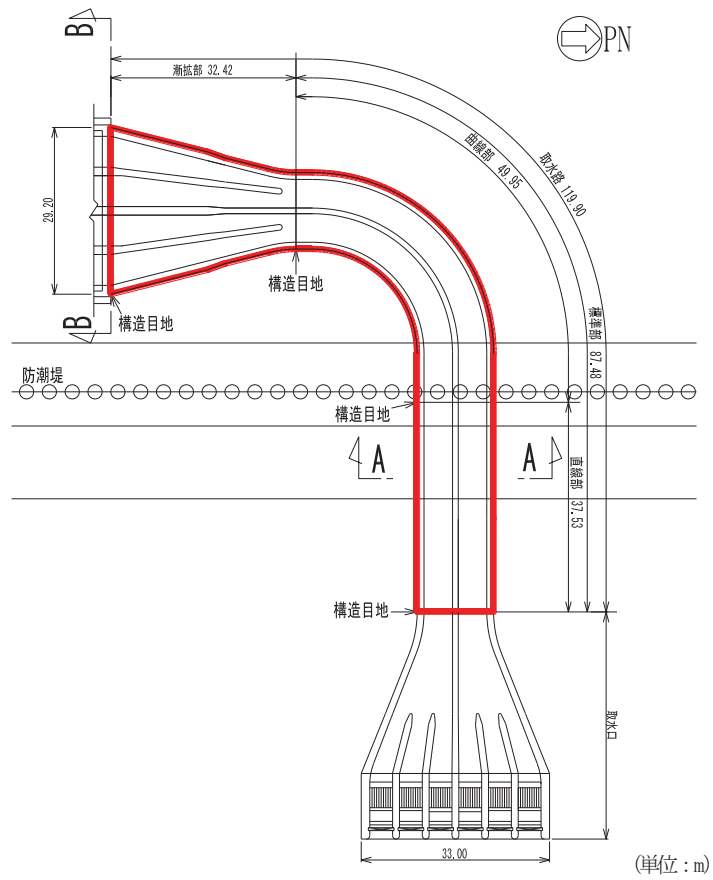
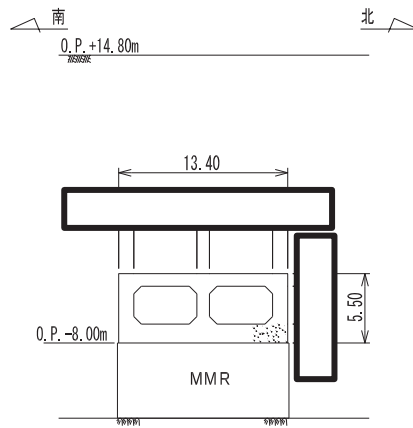


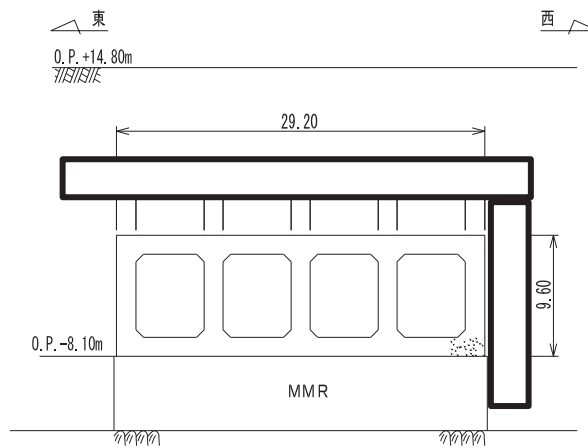
図 4.5-2 取水路平面図





(単位: m)

図 4.5-3 取水路断面図 (標準部, A-A)

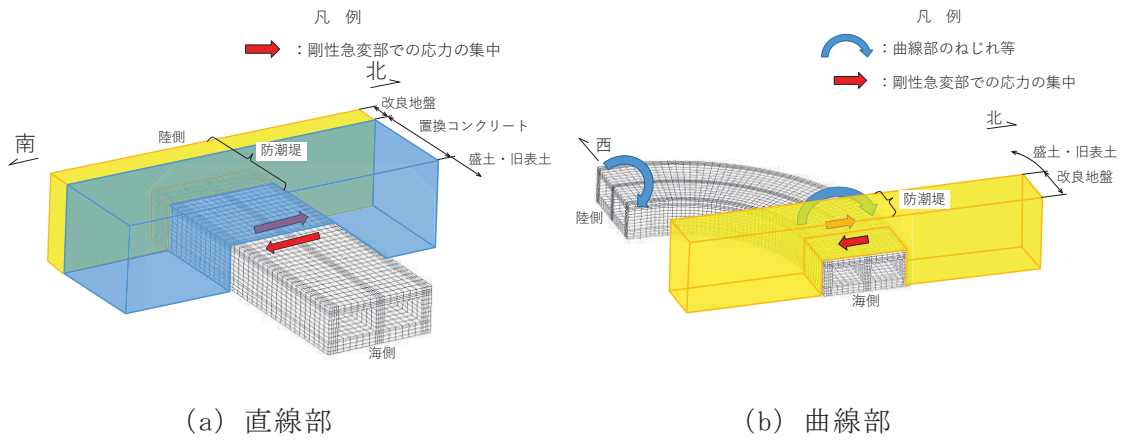


(単位: m)

図 4.5-4 取水路断面図 (漸拡部, B-B)

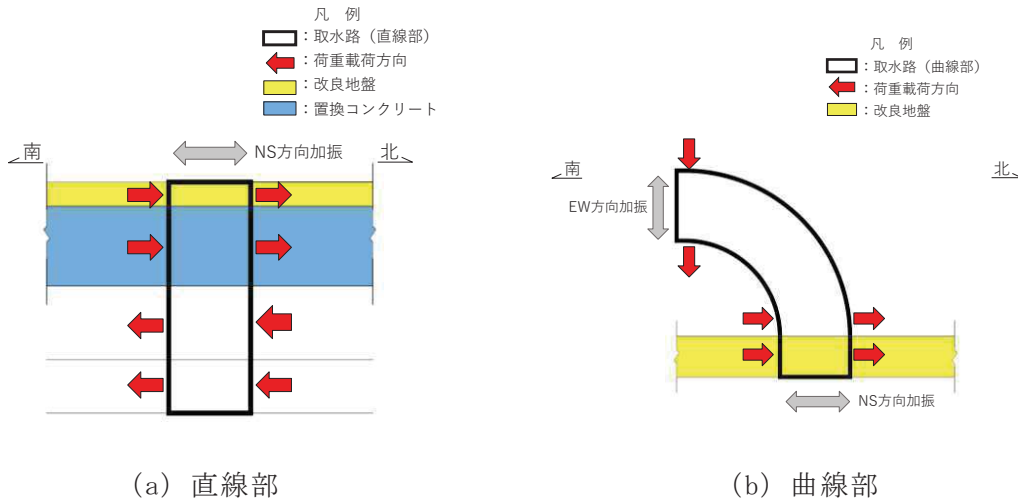
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

### 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、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）の加振に対して、妻壁等の耐震要素として機能する面部材はなく、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加振に対して評価を行うこととし、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、直線部は取水路の北側及び南側が、曲線部は取水路と防潮堤の間（南側～東側）、及び北側～西側が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周辺状況の影響を考慮する。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、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。

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。

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、構造形態（直線状又は曲線状）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、各区間における土被りや周辺の地質状況等の違いを考慮して、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。

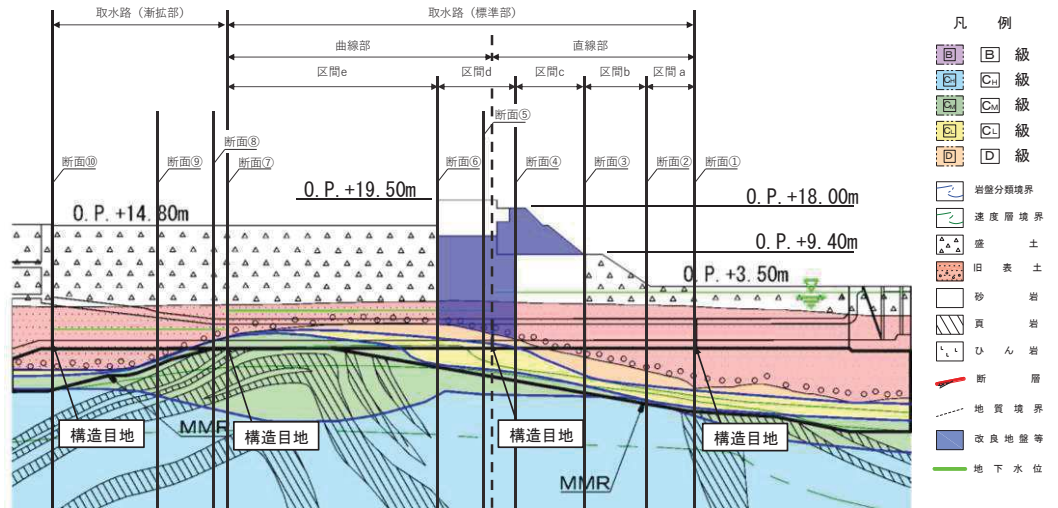


図 4.5.1-1 取水路縦断図及び候補断面位置

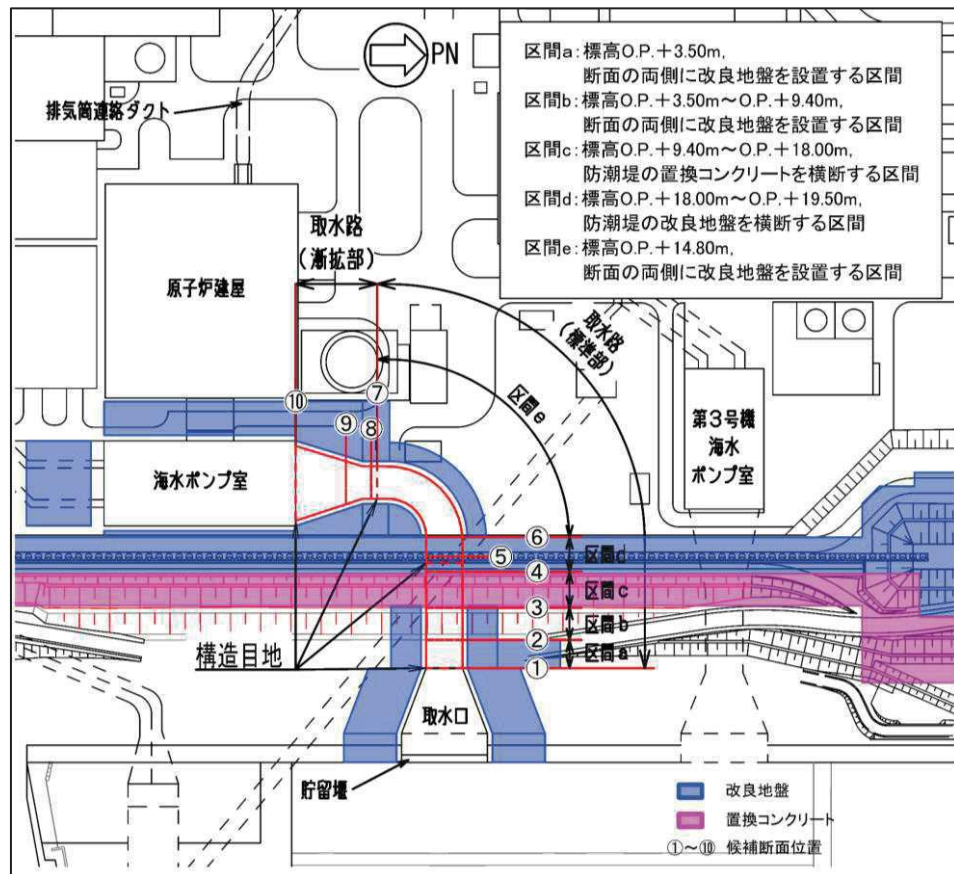


図 4.5.1-2 取水路平面図 (区間及び候補断面位置)

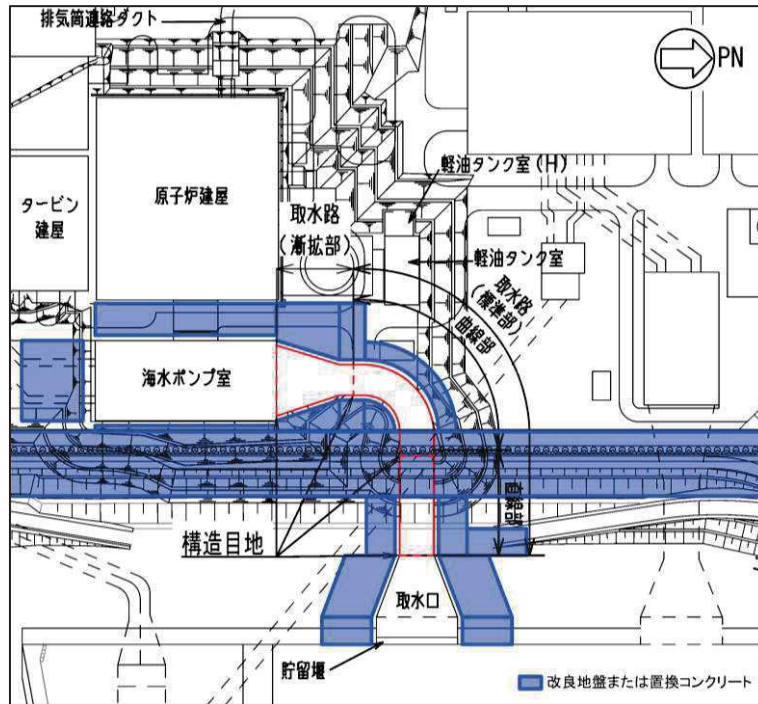


図 4.5.1-3 取水路掘削図

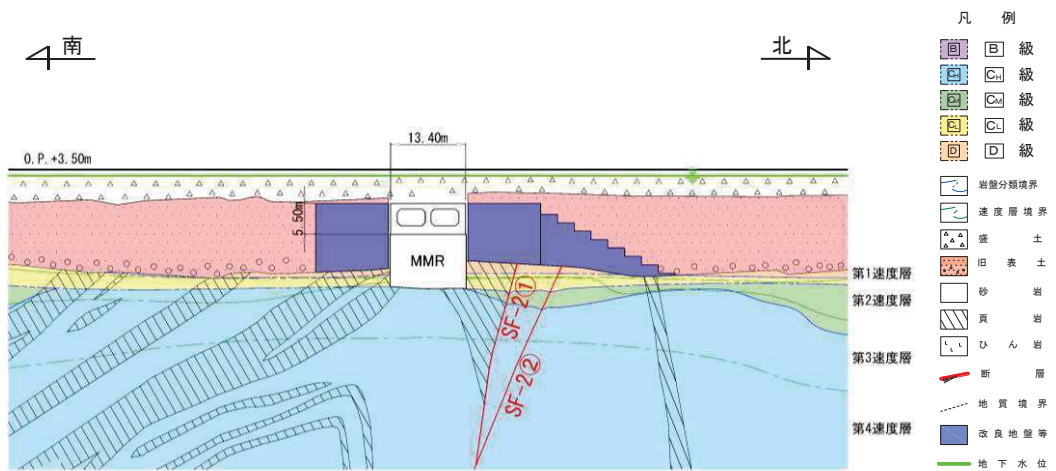


図 4.5.1-4 取水路（標準部）地質断面図（断面②：直線部）

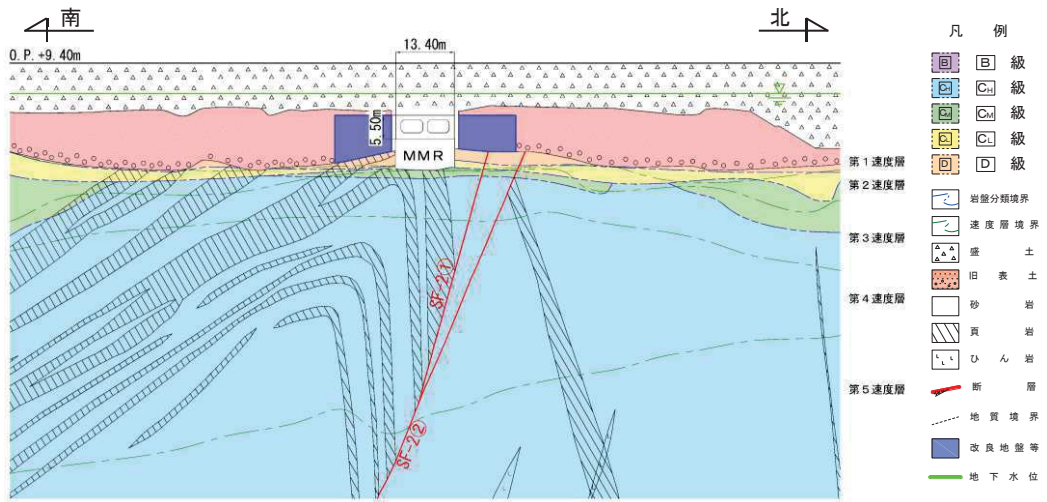


図 4.5.1-5 取水路（標準部）地質断面図（断面③：直線部）

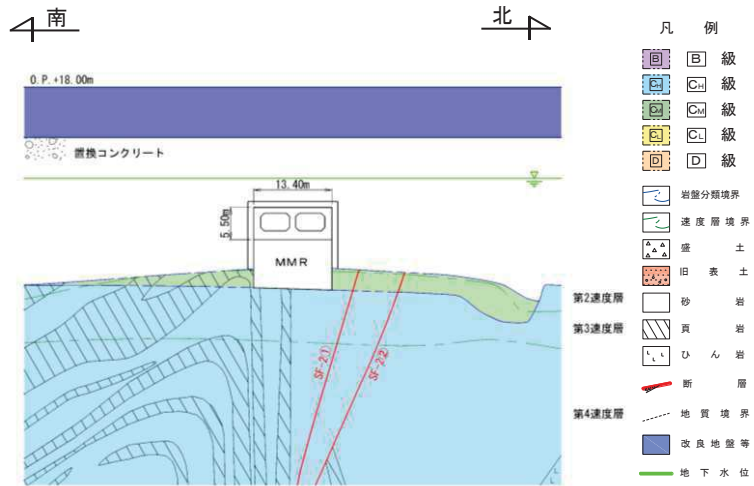


図 4.5.1-6 取水路（標準部）地質断面図（断面④：直線部）

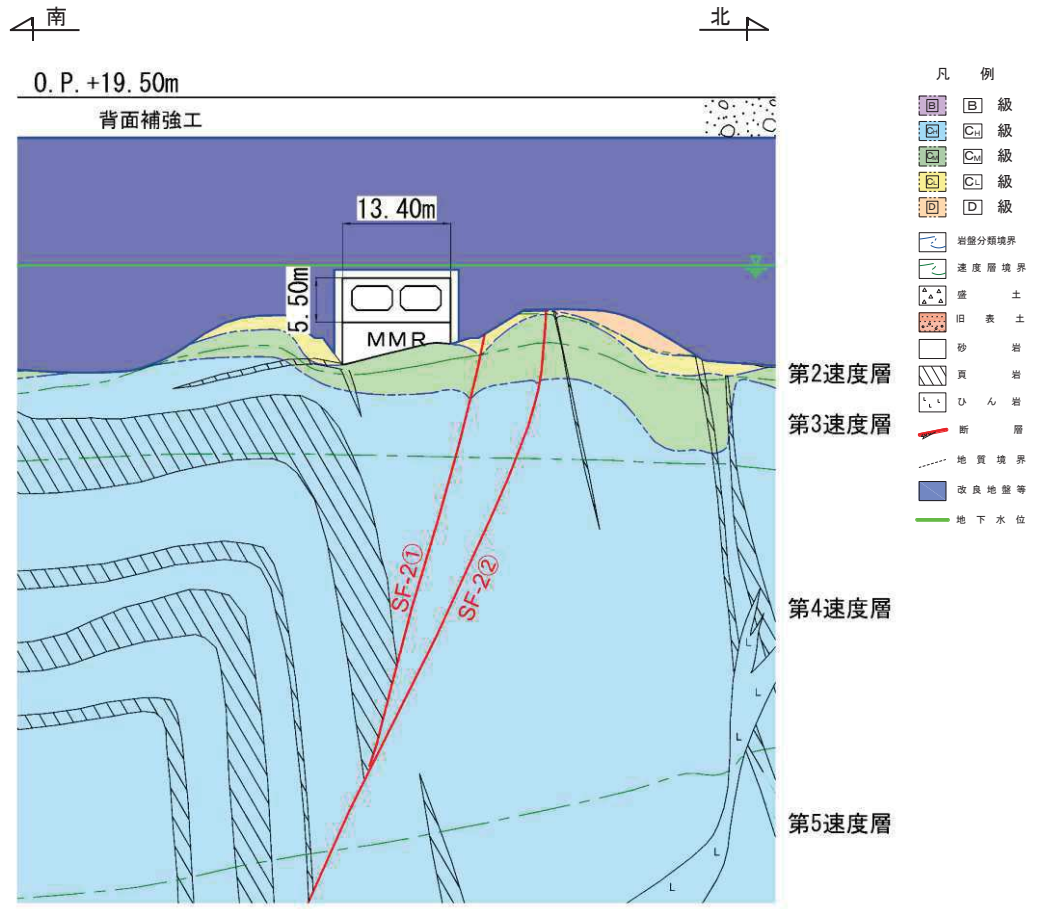


图 4.5.1-7 取水路（標準部）地質断面図（断面⑤：曲線部）

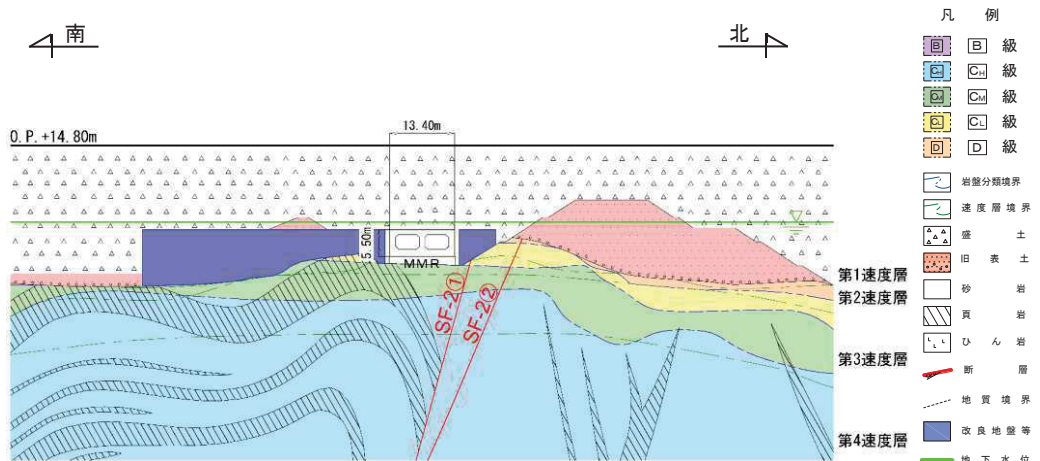


图 4.5.1-8 取水路（標準部）地質断面図（断面⑥：曲線部）

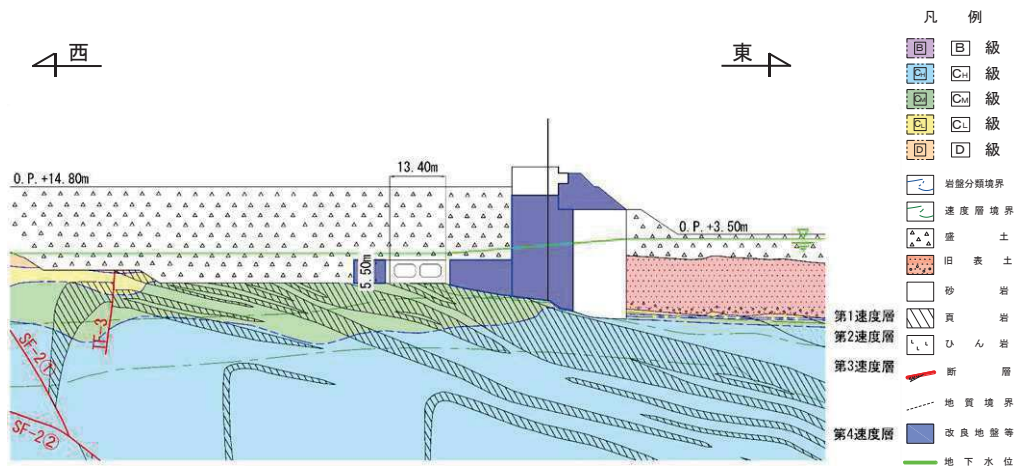


図 4.5.1-9 取水路（標準部）地質断面図（断面⑦：曲線部）

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、海側から、取水口近傍で O.P. +3.50m、防潮堤前面（海側）の盛土の斜面で最高 O.P. +9.40m、防潮堤の置換コンクリートの横断部で最高 O.P. +18.00m、防潮堤の改良地盤の横断部で最高 O.P. +19.50m となっており、土被り及び周辺の地質状況が断面位置により異なる。

取水路（標準部）のうち直線部は、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。なお、区間 a と区間 b は、改良地盤の幅及び形状の違いにより区分する。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。

周辺状況として、区間 a 及び区間 b の地盤改良の外側には液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布している。

断面①は、区間 a の始点であり、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 の境界であり、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 の境界であり、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。

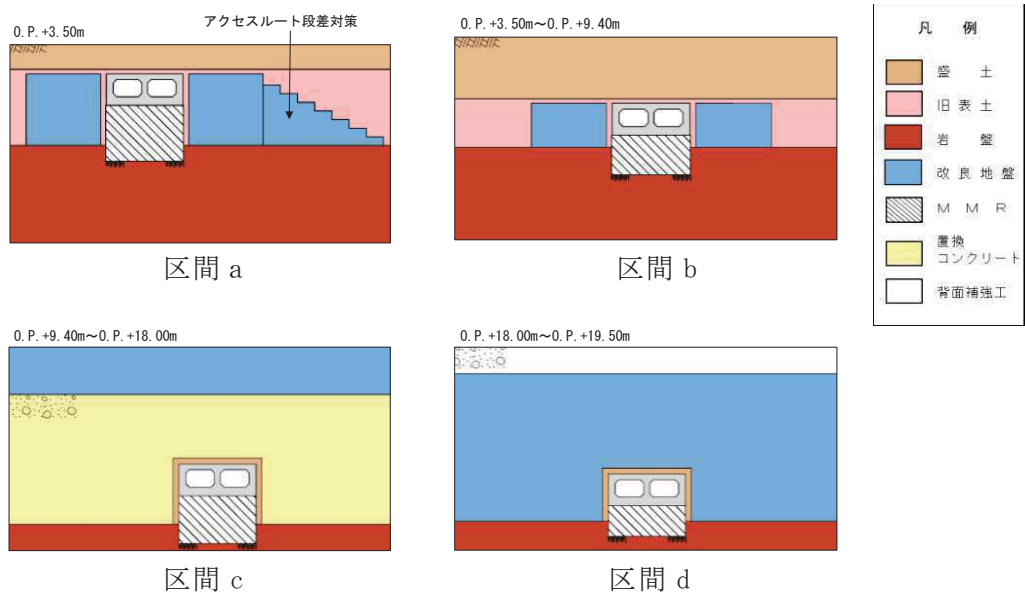


図 4.5.1-10 区間 a ～区間 d の周辺状況図（イメージ図）

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，防潮堤の改良地盤の横断部で O.P. +19.50m，防潮堤から陸側の敷地側で O.P. +14.80m となっており，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，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，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（取水路（標準部）と取水路（漸拡部）との境界）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。

周辺状況として，区間 e の地盤改良の外側（北側～西側）には液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布している。

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 及び区間 b

断面①と断面②は、区間内で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、区間 a の候補断面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。

断面③は、周辺状況として、構造物周辺は改良地盤であり、その外側に盛土・旧表土が分布する断面から、防潮堤の置換コンクリートに遷移する周辺の剛性が急変する位置であり、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。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。

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。

また，土圧は，改良地盤を介して構造物に作用することから，一次元地震応答解析の地盤モデルは改良地盤の脇の地盤を想定する。

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。

(b) 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。

(c) 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、区間内は一律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。

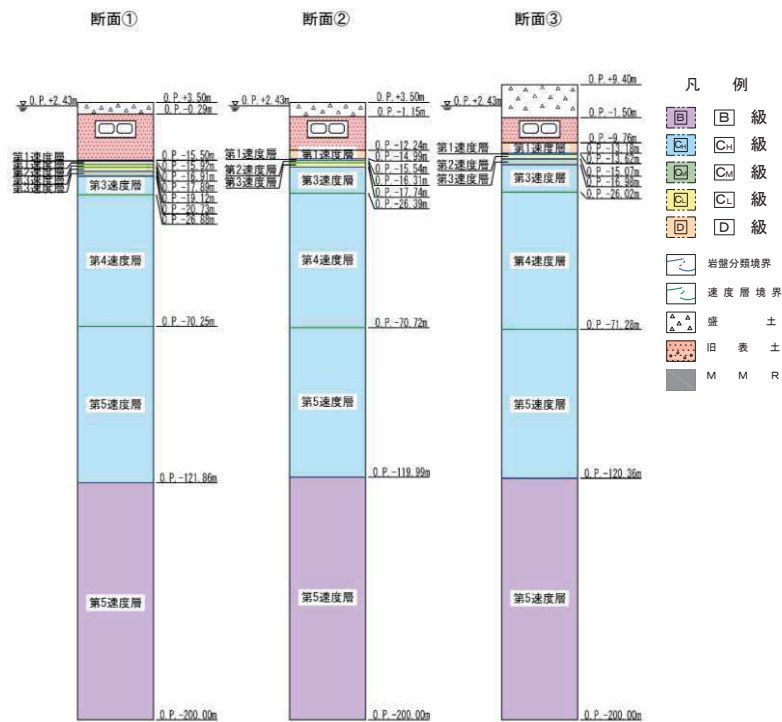


図 4.5.1-11 一次元地震応答解析モデル図（標準部）

表 4.5.1-3 一次元地震応答解析結果（標準部）

断面	全応力解析	有効応力解析
	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )	
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)
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

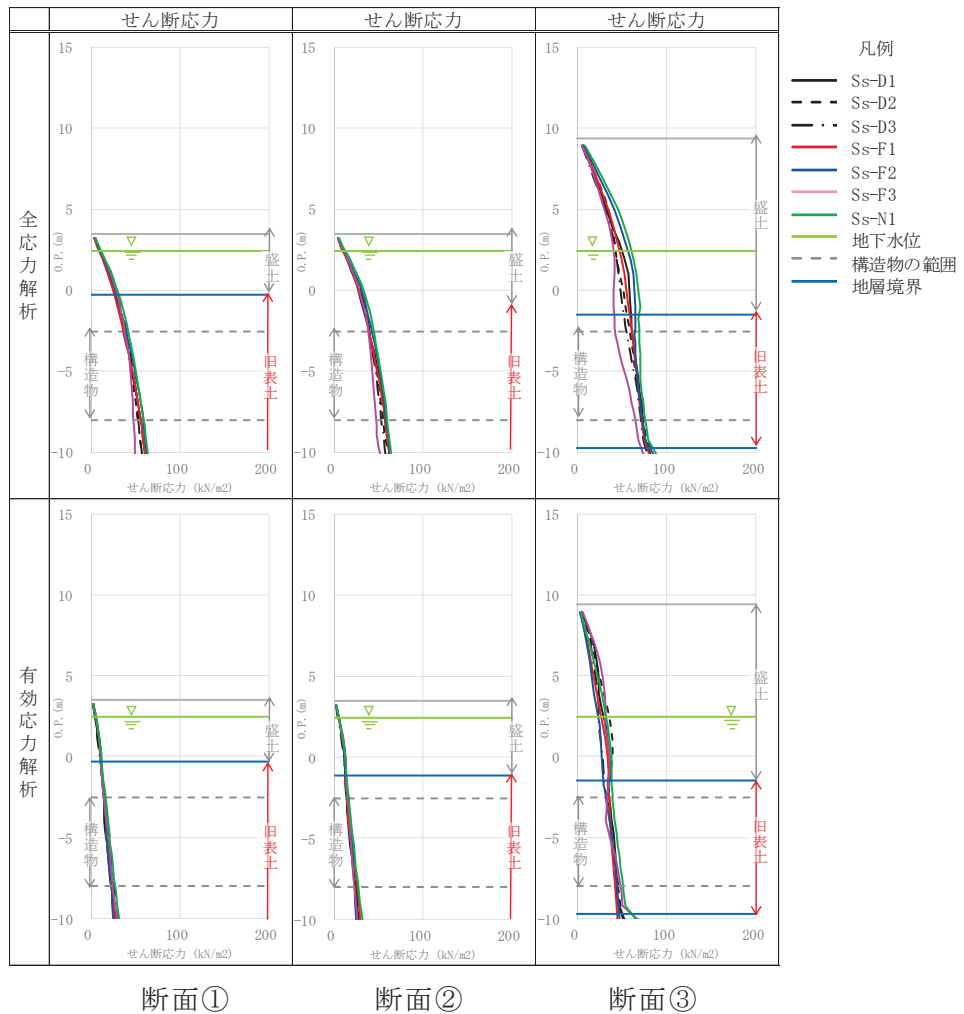


図 4.5.1-12 せん断応力分布（全時刻最大）

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と断面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は横断方向に広範囲に地盤改良された防潮堤を抜け、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、剛性の変化点であり、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、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。

なお、周辺状況として、断面⑥は構造物周辺が地盤改良されており、南側は改良幅が広く、構造物の耐震評価に対しては、北側からの土圧の影響が支配的である。また断面⑦についても構造物周辺が地盤改良されており、東側には防潮堤が存在し、西側からの土圧の影響が支配的である。一次元地震応答解析の地盤モデルについては、これらの周辺状況にも配慮し、改良地盤の脇（北側、西側）の地盤を基本としてモデル化した。

曲線部の断面⑥、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。

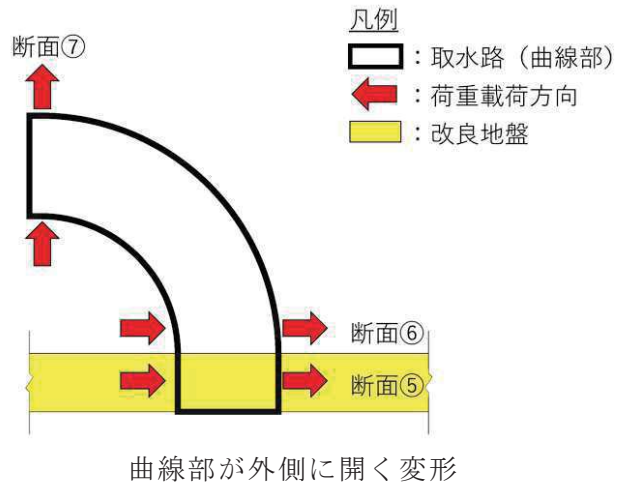


図 4.5.1-13 取水路（標準部）のうち曲線部 荷重概要図（1）

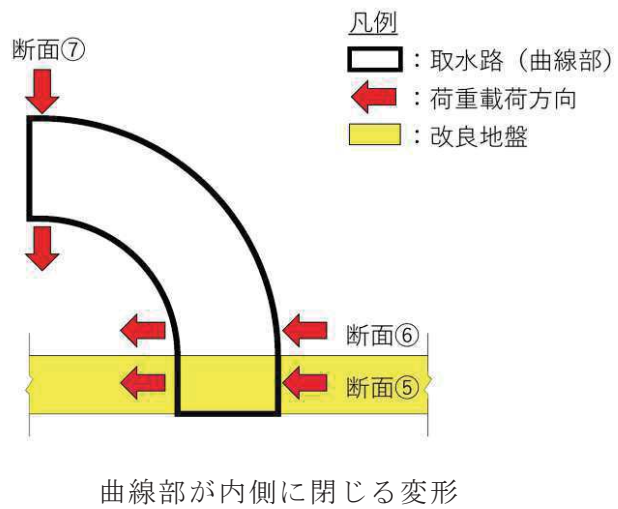
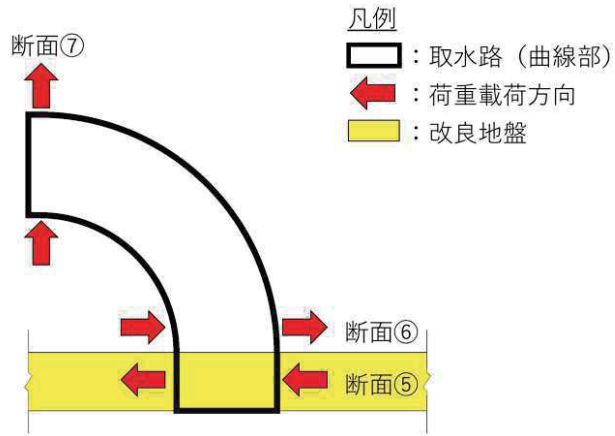


図 4.5.1-14 取水路（標準部）のうち曲線部 荷重概要図（2）



断面⑤と断面⑥の剛性急変部の変形

図 4. 5. 1-15 取水路（標準部）のうち曲線部 荷重概要図（3）

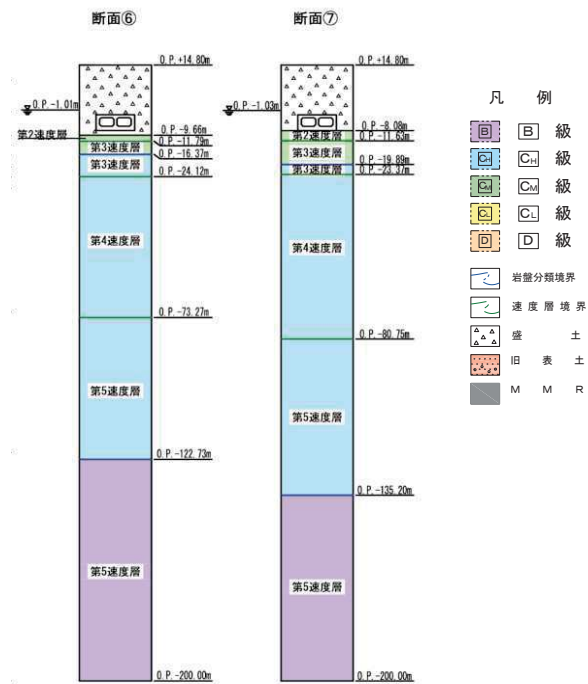


図 4. 5. 1-16 一次元地震応答解析モデル図（標準部）



表 4.5.1-4 一次元地震応答解析結果（標準部）

断面	全応力解析	有効応力解析
	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )	
⑥断面	94 (S <sub>s</sub> -N1)	118 (S <sub>s</sub> -N1)
⑦断面	92 (S <sub>s</sub> -N1)	119 (S <sub>s</sub> -D1)

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

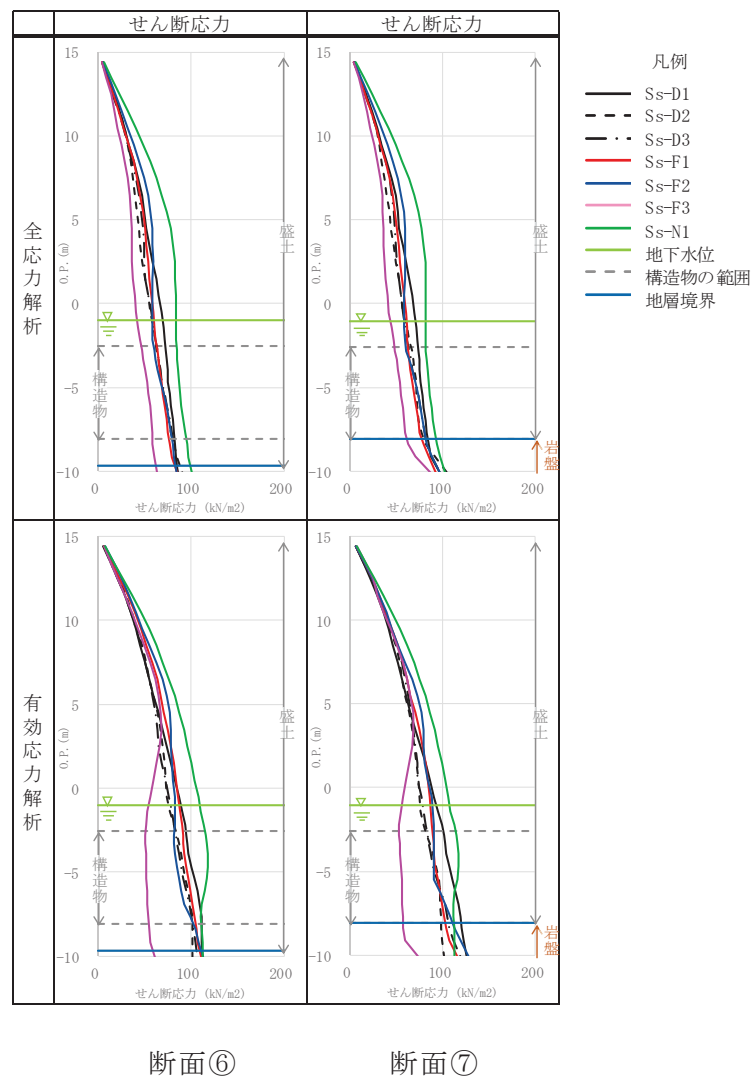


図 4.5.1-17 せん断応力分布（全時刻最大）

### (3) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

取水路（標準部）の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.5.1-5 に示す。また、取水路（標準部）の地震時荷重算出断面図を図 4.5.1-18 に示す。

区間 a は、区間内で土被りが最も厚く、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②を三次元モデルに作用させる地震時荷重算出断面として選定し、解析手法は全応力解析とする。区間 b は、区間内で土被りが最も厚く、周辺地盤の剛性が急変する断面③を三次元モデルに作用させる地震時荷重算出断面として選定し、解析手法は全応力解析とする。区間 c は、区間内で土被り（セメント改良土、置換コンクリート含む。）が最も厚い断面④を三次元モデルに作用させる地震時荷重算出断面として選定し、解析手法は全応力解析とする。区間 d は、区間内で上載荷重が最大となる防潮堤の鋼管杭（杭芯）位置の断面⑤を三次元モデルに作用させる地震時荷重算出断面として選定し、解析手法は全応力解析とする。なお、区間 d は直線部と曲線部にまたがることから、直線部及び曲線部において地震時荷重算出断面として選定する。区間 e は、断面⑥と断面⑦が互いに直交する断面であり、断面⑥は周辺地盤の剛性が急変する断面である。また、断面⑦は区間 e 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をそれぞれ三次元モデルに作用させる地震時荷重算出断面として選定し、解析手法は有効応力解析とする。

表 4.5.1-5 (1) 取水路 (標準部) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果 (直線部)

位置	候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺地質	地震時荷重算出断面	選定結果
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>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一次元地震応答解析の結果から, 地震時荷重算出断面として選定しない。</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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区間 a における候補断面で一次元地震応答解析の結果のせん断応力が最大となることから, 地震時荷重算出断面として選定する。 (解析手法: 全応力解析)</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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区間 b 内で土被りが最も厚く, 土被りが最大のため, 地震時の土圧が最大になると考えられる。</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もあることから, 地震時荷重算出断面として選定する。 (解析手法: 全応力解析)</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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区間 c 内で土被り (セメント改良土等を含む。) が最も厚く, 地震時の土圧が最大になると考えられることから, 地震時荷重算出断面として選定する。 (解析手法: 全応力解析)</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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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, 地震時の土圧が最大になると考えられることから, 直線部の区間 d の地震時荷重算出断面として選定する。 (解析手法: 全応力解析)</li> </ul>

表 4.5.1-5(2) 取水路（標準部） 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果（曲線部）

位置	候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺地質	地震時荷重算出断面	選定結果
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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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，地震時の土圧が最大となると考えられることから，曲線部の区間 d の地震時荷重算出断面として選定する。（解析手法：全応力解析）</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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区間 e 内の断面⑦と直交する断面であるとともに，区間 d と区間 e の境界で周辺地盤の剛性が急変する位置であることから，地震時荷重算出断面として選定する。（解析手法：有効応力解析）</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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区間 e 内の断面⑥と直交する断面であるとともに，土被りが最も厚いことから，地震時荷重算出断面として選定する。（解析手法：有効応力解析）</li> </ul>

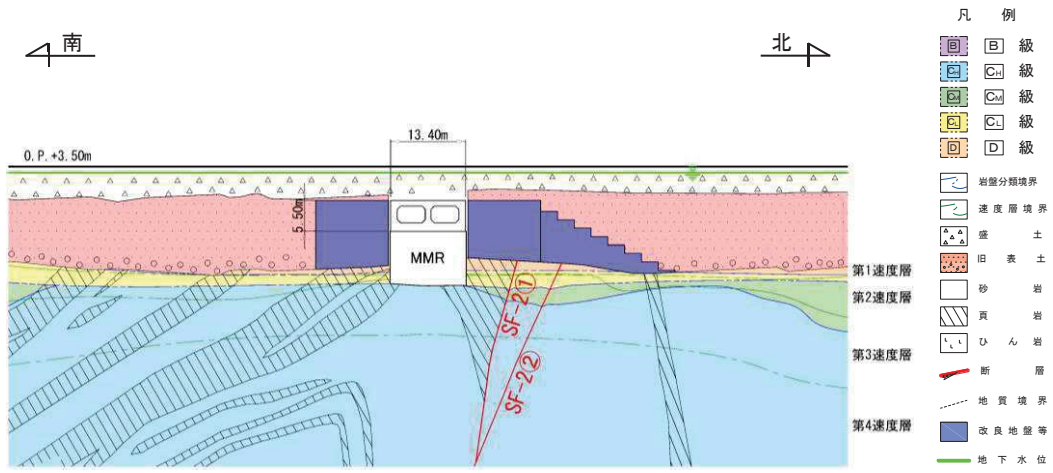


図 4.5.1-18(1) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面②：直線部）

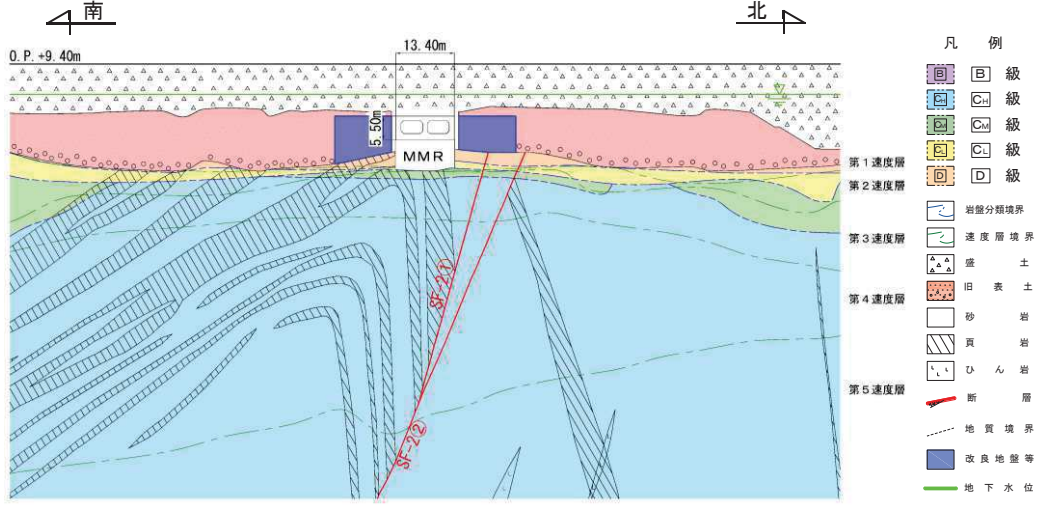


図 4.5.1-18(2) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面③：直線部）

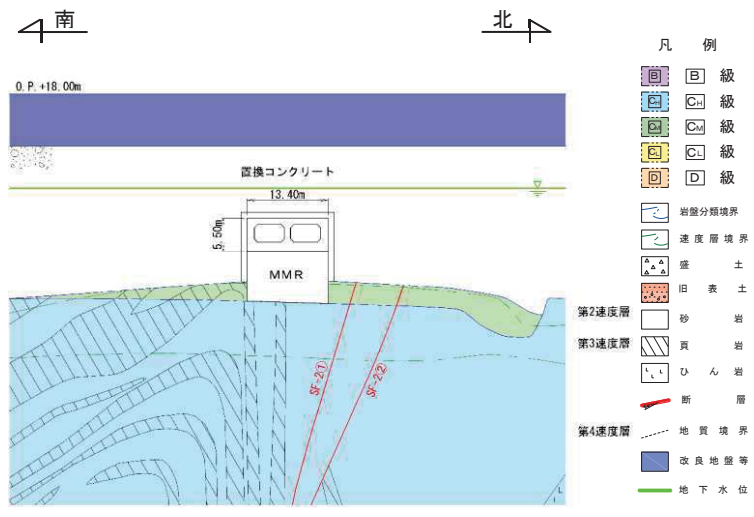


図 4.5.1-18(3) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面④：直線部）

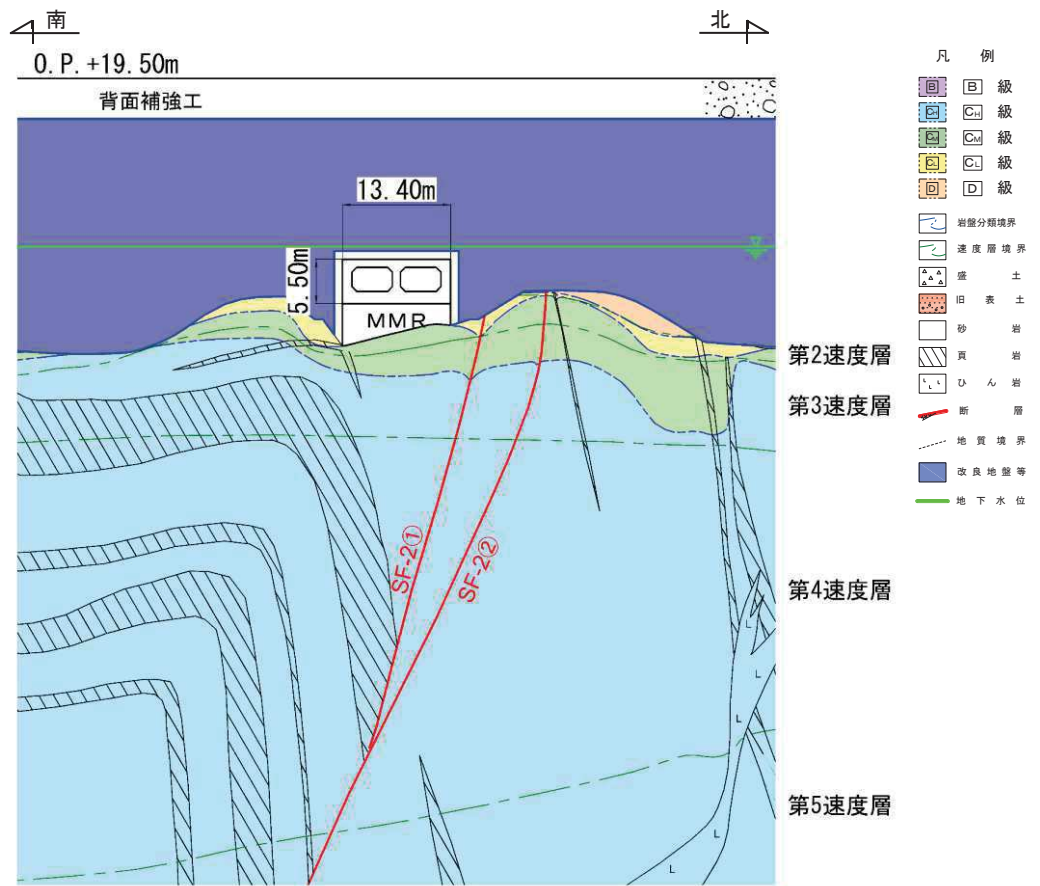


图 4.5.1-18(4) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面⑤：直線部及び曲線部）

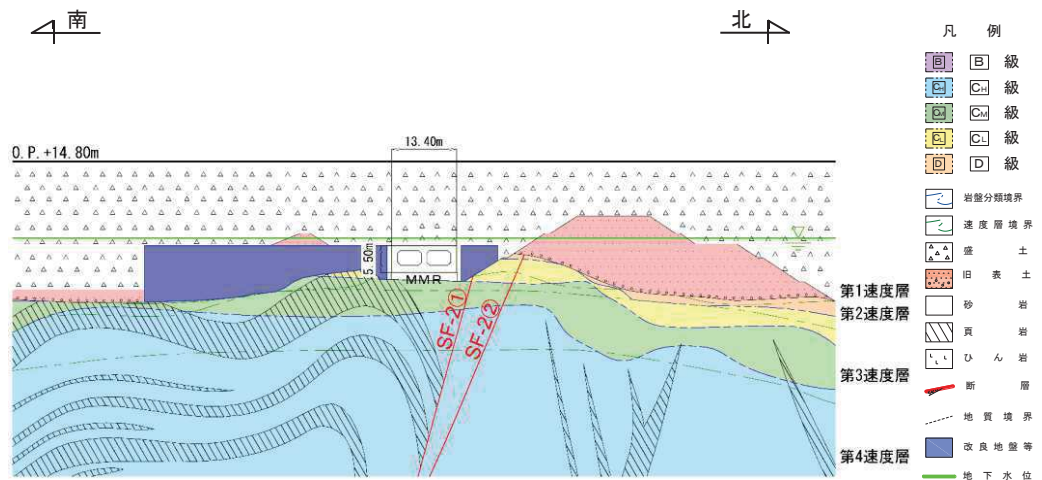


图 4.5.1-18(5) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面⑥：曲線部）

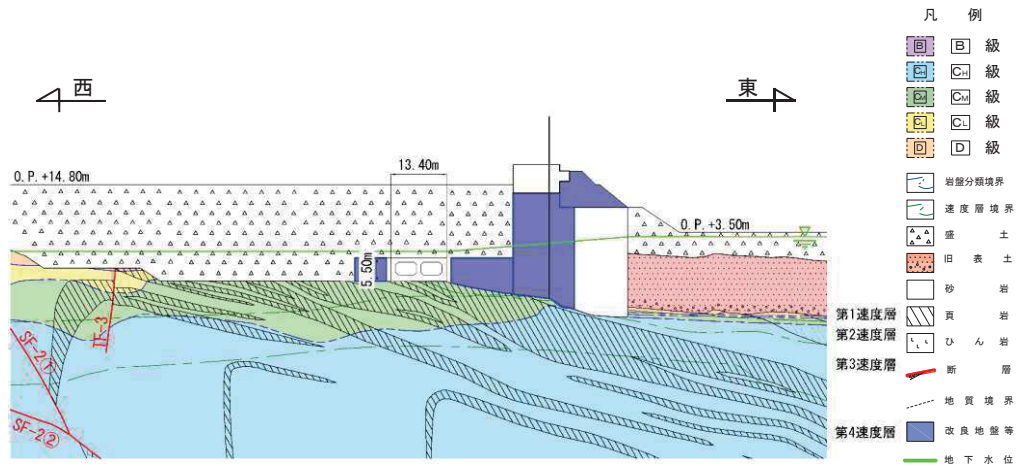


図 4.5.1-18(6) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面⑦：曲線部）

#### 4.5.2 取水路（漸拡部）

##### (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（漸拡部）は、二連ボックスカルバート構造から四連ボックスカルバート構造へ変化する構造である。このうち二連ボックスカルバート構造の区間は、取水路（標準部）と断面形状及び配筋が同様であることから、取水路（標準部）の評価で代表することとし、候補断面の整理の観点には含めない。また、地下水位は、底板位置から一様（ボックスカルバート延長方向と平行）で延長方向に変化がないことから、周辺状況は候補断面の整理の観点には含めない。

取水路（漸拡部）は、横断方向（延長方向に直交する方向）の加振に対して耐震要素として機能する面部材がない線状構造物であり横断方向が明確な弱軸となることから、横断方向の断面を候補断面とする。

取水路（漸拡部）のうち四連ボックスカルバート構造の区間は、延長方向に断面が拡幅し、海水ポンプ室と接続する終点で内空断面（内空幅  内空高さ ）が最大となる。また、始点と終点の間には部材厚が変化する断面（始点側の部材厚が薄く、終点側の部材厚が厚い）が存在する。このことから、断面選定の観点として構造的特徴を考慮する。

取水路（漸拡部）の平面図及び候補断面の位置を図 4.5.2-1 に、縦断図及び候補断面の位置を図 4.5.2-2 に、断面図を図 4.5.2-3～図 4.5.2-5 に、地質断面図を図 4.5.2-6 に示す。

断面⑧は、四連ボックスカルバートの始点で、二連ボックスカルバート構造から四連ボックスカルバート構造へ変化する位置であり、内空断面が幅・高さともに、最小である。

断面⑨は、躯体の部材厚が変化する位置であり、部材厚が薄い区間（断面⑧～断面⑨）では内空断面が幅・高さともに、最大である。

断面⑩は、取水路（漸拡部）の終点の位置で、全区間を通じて、内空断面が幅・高さともに、最大である。

取水路（漸拡部）の周辺状況として、構造物の両側に改良地盤が設置されており、また、東側に改良地盤を介して防潮堤が、西側には地盤改良を介して復水貯蔵タンク基礎の MMR が設置されている。

取水路（漸拡部）の候補断面の特徴を表 4.5.2-1 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。



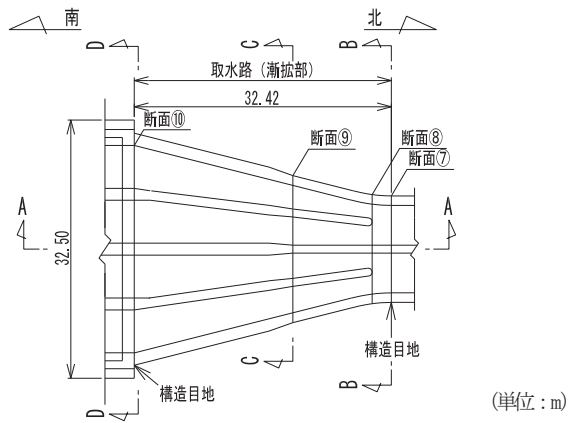


図 4.5.2-1 取水路（漸拡部）平面図及び候補断面位置

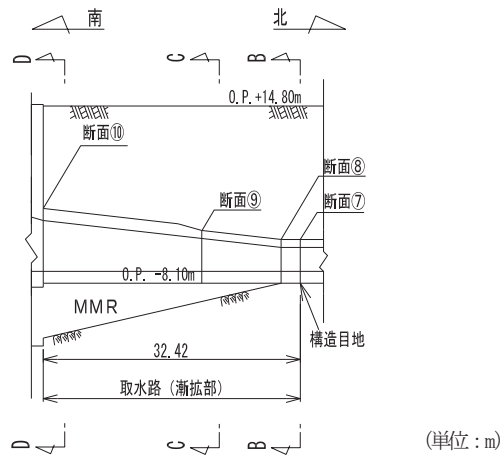


図 4.5.2-2 取水路（漸拡部）縦断面図（A-A）及び候補断面位置

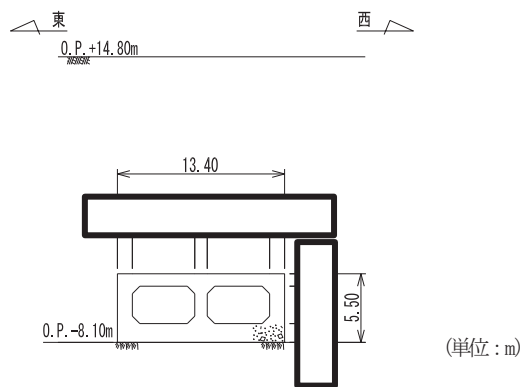


図 4.5.2-3 取水路（漸拡部）断面図（B-B）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

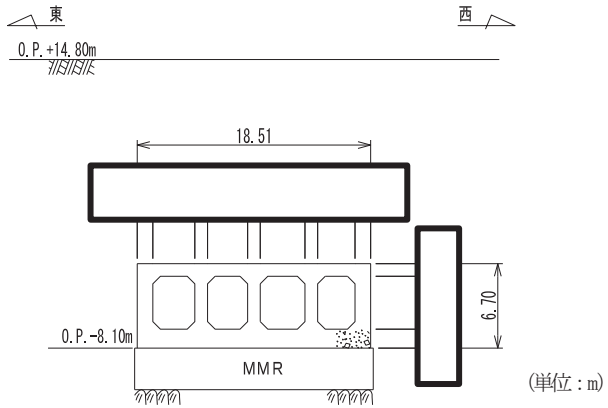


図 4.5.2-4 取水路（漸拡部）断面図（C-C）

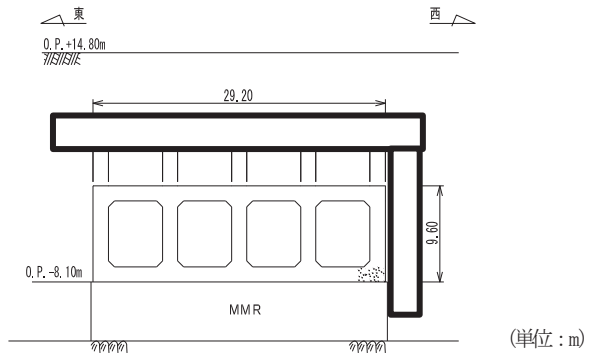


図 4.5.2-5 取水路（漸拡部）断面図（D-D）

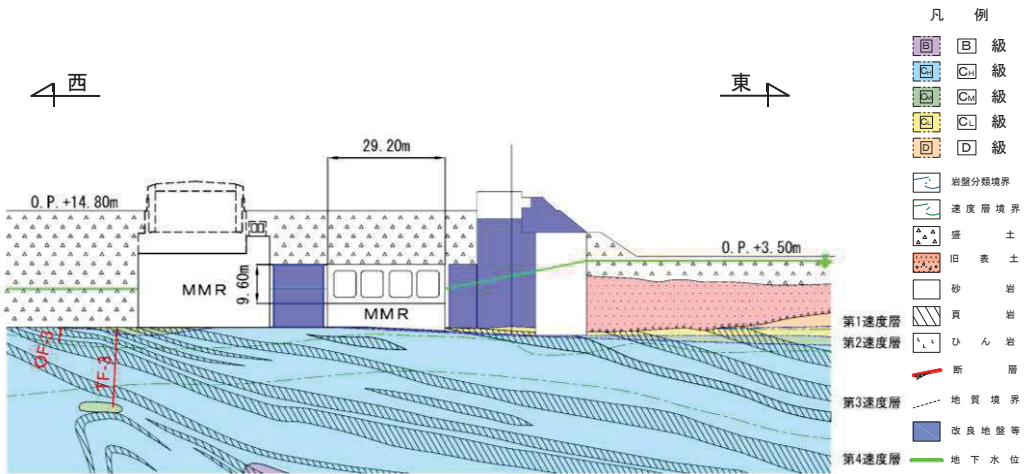


図 4.5.2-6 取水路（漸拡部）地質断面図（断面⑩）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 4.5.2-1 取水路（漸拡部） 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⑧	通水機能 貯水機能	・二連ボックスカルバート構造から四連ボックスカルバート構造へ変化する位置であり、内空断面が幅・高さともに、最小である。	・構造物の両側に改良地盤が設置されており、また、東側に改良地盤を介して防潮堤が、西側には地盤改良を介して復水貯蔵タンク基礎のMMRが設置されている。
断面⑨	同上	・躯体の部材厚が変化する位置であり、部材厚が薄い区間（断面⑧～断面⑨）では内空断面が幅・高さともに、最大である。	同上
断面⑩	同上	・取水路（漸拡部）の終点の位置で、全区間を通じて、内空断面が幅・高さともに、最大である。	同上

(2) 評価対象断面及び解析手法の選定結果

断面⑧は、断面⑦（取水路（標準部）の地震時荷重算出断面）と幅及び高さが同様であることから、取水路（標準部）の断面⑦の評価で代表させることとし、評価対象断面には選定しない。

断面⑨及び断面⑩は、土被り、部材厚及び内空断面（幅、高さ）が異なり、土被りは断面⑨の方が厚く、部材厚及び内空断面（幅、高さ）は断面⑩の方が大きい。断面⑨及び断面⑩の寸法一覧を表 4.5.2-2 に示す。

評価対象断面の選定においては、土被り、部材厚及び内空断面（幅、高さ）が構造物の耐震性に与える影響を部材ごとに検討し、耐震評価上、構造物に対して厳しい断面を選定することとした。取水路（漸拡部）に要求される機能は、通水機能及び貯水機能であり、曲げ・軸力系の破壊に対しては鉄筋が降伏ひずみに至らないこと、せん断破壊に対しては終局状態に至らないことを目標性能としている。このことから、曲げ・軸力系の破壊に対しては、鉄筋の発生引張応力に着目し、比較を行った。

せん断破壊に対しては、部材スパンが断面⑨に比べて断面⑩の方が大きいことを考慮すれば、構造物に作用する荷重は断面⑩の方が大きくなる傾向になるものと考えられ、部材に発生するせん断力は、断面⑩の方が大きくなるものと想定される。一方、配筋は同様であるため、部材厚が厚い断面⑩は、せん断耐力も大きくなることから、断面⑨と断面⑩のどちらの断面が、耐震評価上、厳しい断面であるかの検討を行った。

ここでは、耐震評価上、厳しい断面を選定するため、各断面における発生せん断力とせん断耐力との関係に着目し、発生せん断力とせん断耐力の比率（照査値の比

率)を、両断面について部材ごとに整理した。検討に当たっては、荷重形態は等分布荷重を仮定し、部材は単純梁にモデル化した。また照査に当たっては、土木学会マニュアル 2005 を参照した。

構造物に作用する荷重のイメージ図を図 4.5.2-7 に示す。

表 4.5.2-2 断面⑨及び断面⑩の寸法一覧 (単位：m)

断面	土被り h	部材厚 d			内空断面 l	
		頂版	側壁	中壁	幅	高さ
断面⑨	16.2					
断面⑩	13.3					

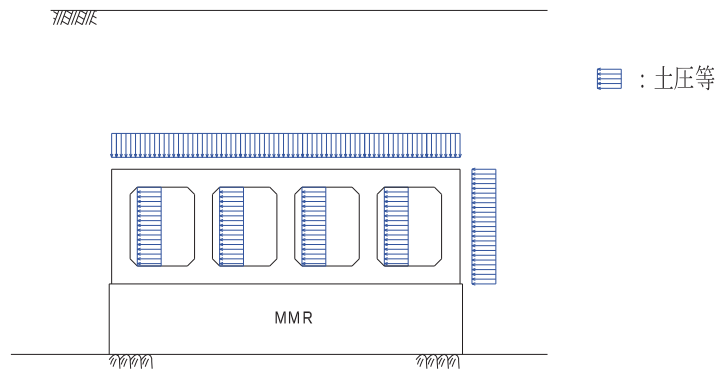


図 4.5.2-7 荷重イメージ図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

a. 曲げ・軸力系の破壊

曲げ・軸力系の破壊については、鉄筋の引張応力度  $\sigma_s$  は、式(1)及び式(2)により算定される。両断面に発生する鉄筋の引張応力度の比率（断面⑨の値を 1.0 とした場合の断面⑩の値）を表 4.5.2-3 に示す。なお、式(2)の分布荷重  $w$  については、頂版は両断面で土被り  $h$  が異なることから、各断面での土被り厚さ  $h$  を考慮して算定した。側壁及び中壁に関しては、断面⑨と断面⑩で地震時に躯体に作用する分布荷重は同等と仮定した。

表 4.5.2-3 のとおり、曲げ・軸力系の破壊について、鉄筋に発生する引張応力度は、断面⑨に比べて断面⑩の方が大きいことから、断面⑩の方が、構造上厳しい断面であると考えられる。

$$\sigma_s = M / (A_s \cdot j \cdot d) \quad (1)$$

$$M = wl^2 / 8 \quad (2)$$

$\sigma_s$  : 鉄筋の引張応力度

$M$  : 発生曲げモーメント

$A_s$  : 引張鉄筋断面積

$d$  : 有効高さ（純かぶり=100mm）

$j : j = d/z$

$z$  : 圧縮応力の合力作用位置から引張鉄筋までの距離

$w$  : 分布荷重（頂版は  $w = \gamma_s \cdot h$ 、側壁及び中壁は断面⑨と断面⑩で同一と仮定）

$l$  : スパン長

$\gamma_s$  : 盛土の単位体積重量

$h$  : 土被り

表 4.5.2-3 曲げ・軸力系の破壊に対する構造上の厳しさに係る検討結果  
（断面⑨と断面⑩の比較）

曲げ・軸力系の破壊			
鉄筋の引張応力度 $\sigma_s$ の比率			
$\sigma_s = M / (A_s \cdot j \cdot d) \quad (1)$ $M = wl^2 / 8 \quad (2)$ 上記, 式(1), (2)及び $A_s$ =一定より $\sigma_{s10} / \sigma_{s9} = (w_{10} / w_9) \cdot (l_{10} / l_9)^2 \cdot (d_9 / d_{10})$			
	頂版	側壁	中壁
	$(w_{10} / w_9) : 0.8$ $(l_{10} / l_9) : 1.5$ $(d_9 / d_{10}) : 0.6$	$(w_{10} / w_9) : 1.0$ $(l_{10} / l_9) : 1.6$ $(d_9 / d_{10}) : 0.8$	$(w_{10} / w_9) : 1.0$ $(l_{10} / l_9) : 1.6$ $(d_9 / d_{10}) : 0.6$
断面⑨	1.0	1.0	1.0
断面⑩	1.3	1.9	1.6

b. せん断破壊

せん断破壊については、部材に発生するせん断力  $V$  は、式(3)により算定され、分布荷重  $w$  及びスパン長  $l$  に比例する関係となる。両断面に発生するせん断力の比率（断面⑨の値を 1.0 とした場合の断面⑩の値）を表 4.5.2-4 の(A)に示す。

$$V = wl/2 \quad (3)$$

$V$  : 発生せん断力

$w$  : 分布荷重（頂版は  $w = \gamma_s \cdot h$ ，側壁及び中壁は断面⑨と断面⑩で同一と仮定）

$l$  : スパン長

一方、せん断耐力は、式(4)のとおり、コンクリート負担分  $V_{cd}$  と鉄筋負担分  $V_{sd}$  に分けられる。コンクリート負担分  $V_{cd}$  については式(5)により算定される。両断面のコンクリート負担分  $V_{cd}$  のせん断耐力の比率（断面⑨の値を 1.0 とした場合の断面⑩の値）を表 4.5.2-4 の(B)に示す。なお、 $f_{vcd}$ 、 $b_w$ 、 $\gamma_{bc}$  は断面⑨及び断面⑩で同等であり、 $\beta_n$  は同値と仮定し算出した。

また、配筋は断面⑨と断面⑩で同様であることから、鉄筋負担分  $V_{sd}$  は両断面で同等である。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} \quad (4)$$

$V_{yd}$  : せん断耐力

$V_{cd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sd}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc} \quad (5)$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad \text{ただし、} f_{vcd} > 0.72 [N/mm^2] \text{ となる場合は}$$

$$f_{vcd} = 0.72 [N/mm^2]$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} (d[m]) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は} \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は} \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_0/M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は} \beta_n = 2.0$$

$$\beta_n = 1 + 2M_0/M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{ となる場合は} \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は} \beta_a = 1.0$$

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$  : 引張鉄筋比

$A_s$  : 引張側鋼材の断面積

$d$  : 部材の有効高さ

$b_w$  : 腹部の幅

$N'_d$  : 設計軸圧縮力

$M_d$  : 設計曲げモーメント

$M_0 = N'_d \cdot D/6 : M_d$ に対する引張縁において、軸方向によって発生する応力を打消すのに必要なモーメント（デコンプレッションモーメント）

$D$ ：断面高さ

$a$ ：部材の内法長さ

$\gamma_{bc}$ ：部材係数

表 4.5.2-4 のとおり、発生せん断力 $V$ とせん断耐力 $V_{cd}$ （コンクリート負担分）は、ともに断面⑨より断面⑩の方が大きいですが、せん断耐力 $V_{cd}$ の増加割合に比べ、発生せん断力 $V$ の増加割合の方が大きいことから、断面⑩の方が、構造上厳しい断面であると考えられる。

上記、「a. 曲げ・軸力系の破壊」、「b. せん断破壊」から、断面⑨に比べて断面⑩の方が耐震評価上厳しい断面と考えられることから、断面⑩を評価対象断面として選定する。なお、せん断耐力 $V_{yd}$ に鉄筋負担分 $V_{sd}$ を考慮した場合は、鉄筋負担分 $V_{sd}$ の耐力は断面⑨と断面⑩で同値であるため、断面⑨に対する断面⑩のせん断耐力 $V_{yd}$ の増加割合は、コンクリート負担分 $V_{cd}$ のみの増加割合より小さくなり、断面⑩を選定することは安全側の評価となる。

解析手法は、構造物の周辺には東側に改良地盤を介して防潮堤が、西側には改良地盤を介して復水貯蔵タンク基礎の MMR が設置されており、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とする。

取水路（漸拡部）の評価対象断面及び解析手法の選定結果を表 4.5.2-5 に、取水路（漸拡部）の評価対象断面図を図 4.5.2-8 に示す。

表 4.5.2-4 セン断破壊に対する構造上の厳しさに係る検討結果  
(断面⑨と断面⑩の比較)

せん断破壊									
	発生せん断力 $V$ の比率 (A)			せん断耐力* (コンクリート負担分) $V_{cd}$ の比率 (B)			せん断破壊に関する 照査値の比率 (A) / (B)		
	頂版	側壁	中壁	頂版	側壁	中壁	頂版	側壁	中壁
	$V = wl/2$ (3) 上記, 式(3)より $V_{10}/V_9 = (w_{10}/w_9) \cdot (l_{10}/l_9)$			$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$ (5) 上記, 式(5)より $V_{cd} = (1/d)^{1/4} \cdot (1/d)^{1/3} \cdot (100 \cdot A_s / b_w)^{1/3} \cdot (0.75 + 1.4d/a) \cdot d$ $A_s = \text{一定}, b_w = \text{一定より}$ $V_{cd10}/V_{cd9} = (d_9/d_{10})^{(-5/12)} \cdot (0.75 + 1.4d_{10}/a_{10}) / (0.75 + 1.4d_9/a_9)$			—	—	—
	$(w_{10}/w_9): 0.8$ $(l_{10}/l_9): 1.5$	$(w_{10}/w_9): 1.0$ $(l_{10}/l_9): 1.6$	$(w_{10}/w_9): 1.0$ $(l_{10}/l_9): 1.6$	$(d_9/d_{10}): 0.6$ $(d_{10}/a_{10}): 0.3$ $(d_9/a_9): 0.3$	$(d_9/d_{10}): 0.8$ $(d_{10}/a_{10}): 0.2$ $(d_9/a_9): 0.3$	$(d_9/d_{10}): 0.6$ $(d_{10}/a_{10}): 0.2$ $(d_9/a_9): 0.2$	—	—	—
断面⑨	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
断面⑩	1.3	1.6	1.6	1.2	1.0	1.2	1.1	1.5	1.3

注記\* : 式(4)のせん断耐力 $V_{yd}$ のうち鉄筋負担分 $V_{sd}$ は, 断面⑨と断面⑩で同値 ( $V_{sd9} = V_{sd10}$ ) であるため, 鉄筋負担分 $V_{sd}$ を考慮した場合断面⑨に対する断面⑩のせん断耐力 $V_{yd}$ の増加割合 ( $V_{yd10}/V_{yd9}$ ) は, コンクリート負担分のみの増加割合 ( $V_{cd10}/V_{cd9}$ ) より小さくなり, 断面⑩を選定することは安全側の評価となる。



表 4.5.2-5 取水路（漸拡部） 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	評価対象断面	選定結果
断面⑧	通水機能 貯水機能	・二連ボックスカルバート構造から四連ボックスカルバート構造へ変化する位置であり、内空断面が幅・高さともに、最小である。	・構造物の両側に改良地盤が設置されており、また、東側に改良地盤を介して防潮堤が、西側には地盤改良を介して復水貯蔵タンク基礎の MMR が設置されている。	—	・断面⑧は断面⑦（取水路（標準部）の地震時荷重算出断面）と幅及び高さが同様であることから、取水路（標準部）の断面⑦の評価で代表させることとし、評価対象断面には選定しない。
断面⑨	同上	・躯体の部材厚が変化する位置であり、部材厚が薄い区間（断面⑧～断面⑨）では内空断面が幅・高さともに、最大である。	同上	—	・断面⑩と比較し、断面⑨は曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対して、耐震評価上、厳しい断面とは考えられないことから、評価対象断面には選定しない。
断面⑩	同上	・取水路（漸拡部）の終点の位置で、全区間を通じて、内空断面が幅・高さともに、最大である。	同上	○	・漸拡部で断面が最大であり、断面⑨と比較し、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対して、耐震評価上、断面⑨より厳しい断面であると考えられることから、評価対象断面として選定する。 (解析手法：全応力解析)

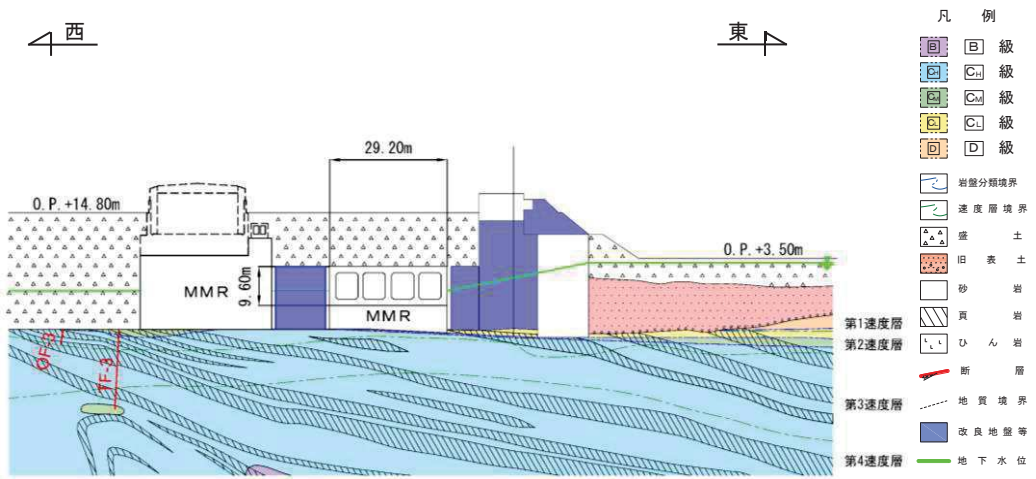


図 4.5.2-8 取水路（漸拡部） 評価対象断面図（断面⑩）

#### 4.6 海水ポンプ室

海水ポンプ室の配置図を図 4.6-1 に、海水ポンプ室の平面図を図 4.6-2 に、縦断面図を図 4.6-3 に、断面図を図 4.6-4～図 4.6-6 に示す。

海水ポンプ室は、非常用取水設備の一つの設備であり、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ポンプ等を間接支持する支持機能、非常時における海水の通水機能及び貯水機能、浸水防止のための止水機能が要求される。

海水ポンプ室は、延長 77.00m、幅 32.50m、高さ 28.40m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、上流側より、スクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアの 3 つのエリアにて構成され、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。

海水ポンプ室は、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箱形構造物であり、三次元モデルにて耐震評価を実施することから、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。耐震評価に用いる三次元モデル図を図 4.6-7 に示す。

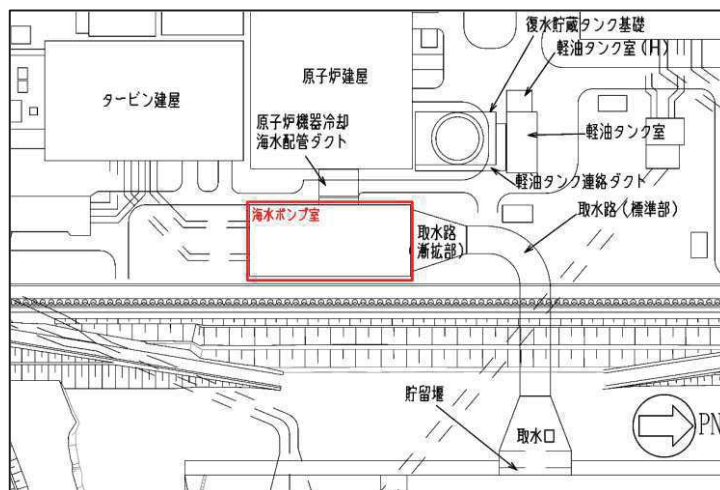


図 4.6-1 海水ポンプ室配置図

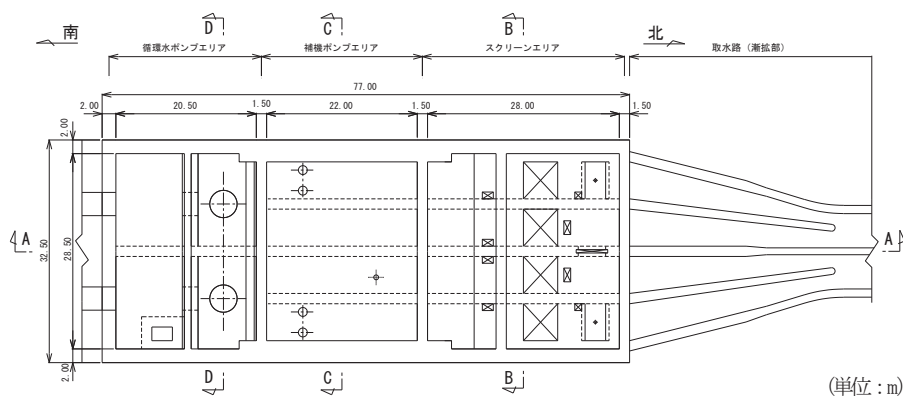


図 4.6-2 海水ポンプ室平面図

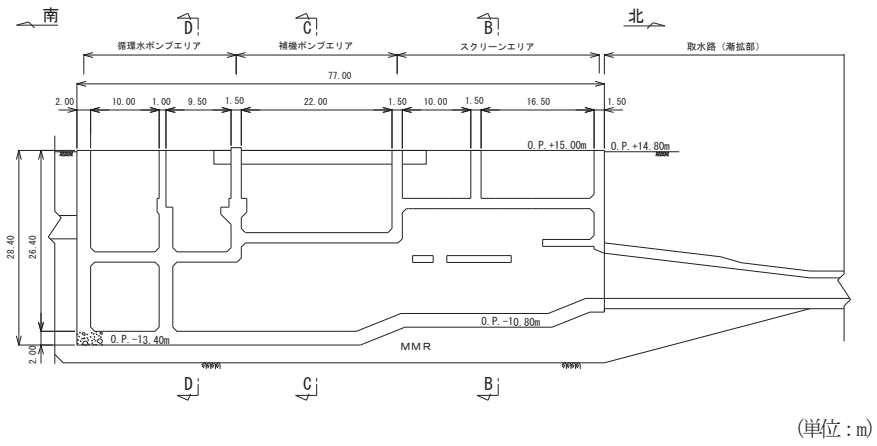


図 4.6-3 海水ポンプ室縦断面図 (A-A)

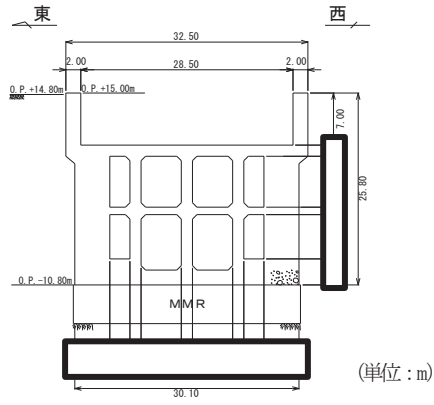


図 4.6-4 海水ポンプ室断面図 (B-B)

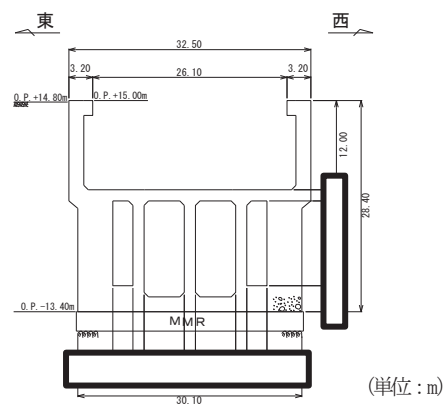


図 4.6-5 海水ポンプ室断面図 (C-C)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

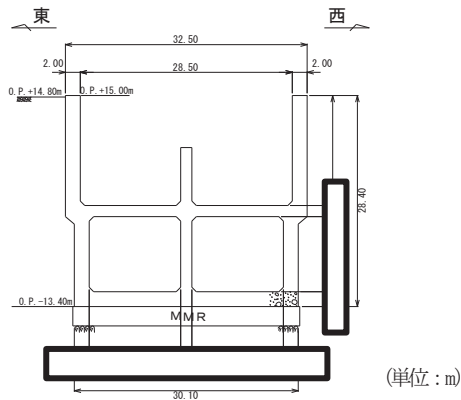


図 4.6-6 海水ポンプ室断面図 (D-D)

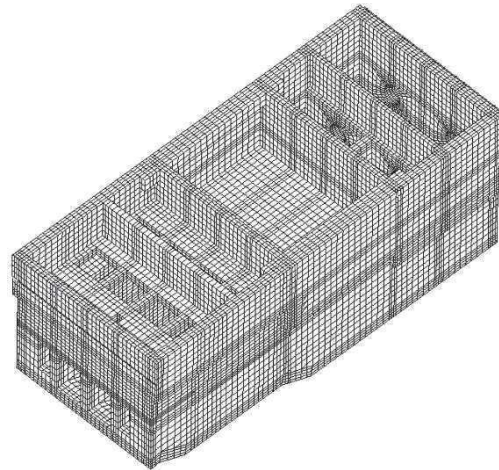


図 4.6-7 海水ポンプ室 三次元モデル図

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

海水ポンプ室は、地下2階構造となっており、上部はスクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアの3エリアに分かれている。下部は水路となっており、スクリーンエリア及び補機ポンプエリアの下部は四連のボックスカルバート構造、循環水ポンプエリアの下部は二連のボックスカルバート構造となっている。また、上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置レベルが異なる等、複雑な構造となっている。

構造的特徴の観点から、海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される面部材は耐震要素として機能するため、海水ポンプ室の延長方向加振に対しては、側壁に加え、水路部の隔壁が耐震要素として機能し、縦断方向(NS方向)が強軸方向となる。一方、横断方向加振に対しては、耐震要素として機能する面部材は妻壁と上部の隔壁のみであり、耐震上見込むことができる面部材が縦断方向(NS方向)

に比べて少ないことから、横断方向（EW 方向）が弱軸方向となる。

横断方向（EW 方向）については、スクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアのそれぞれで剛性の差があり、各エリアでの剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすことから、地震時荷重及び床応答を算出するための二次元地震応答解析は、各エリアで構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して実施することとし、各エリアの横断方向（EW 方向）の断面を候補断面とする。また、海水ポンプ室は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箱形構造物であり、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ことから、縦断方向（NS 方向）の断面も候補断面とする。

海水ポンプ室には、すべてのエリアに支持機能、通水機能、貯水機能、止水機能が要求され、各エリアで要求機能に差異はない。

海水ポンプ室の周辺状況として、横断方向（EW 方向）は、西側に原子炉建屋が、東側に防潮堤が隣接し、海水ポンプ室と原子炉建屋及び防潮堤との間は一様に地盤改良がなされている。縦断方向（NS 方向）は、北側は取水路と接続し、南側は地盤改良がなされている。また、海水ポンプ室周辺の地下水位は、延長方向に一様であることから、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。

また、海水ポンプ室は、海水ポンプ室直下の MMR を介して 0F-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 0F-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。

さらに、床応答の観点から、横断方向（EW 方向）と縦断方向（NS 方向）は剛性の差があり床応答も異なることから、横断方向（EW 方向）と縦断方向（NS 方向）の両断面を候補断面とする。

海水ポンプ室の掘削図を図 4.6-8 に、海水ポンプ室地質断面図を図 4.6-9、図 4.6-10 に示す。

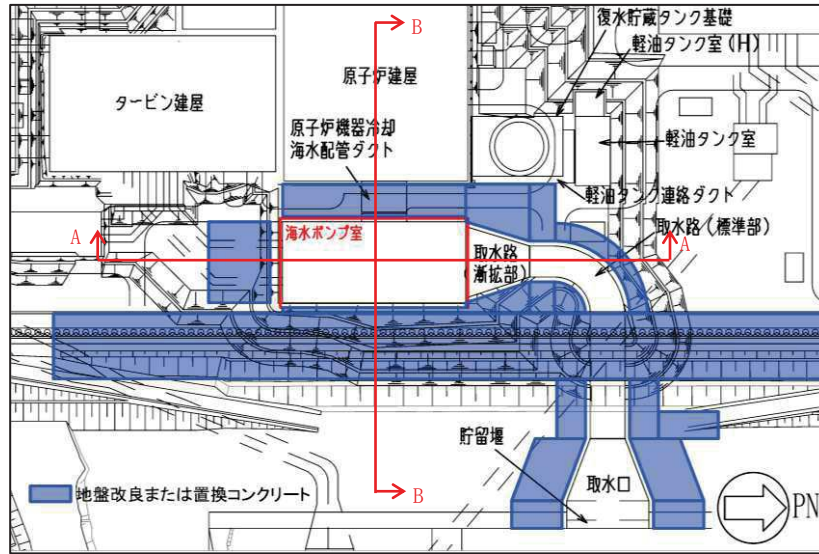


図 4.6-8 海水ポンプ室掘削図



図 4.6-9 海水ポンプ室地質断面図 (A-A)

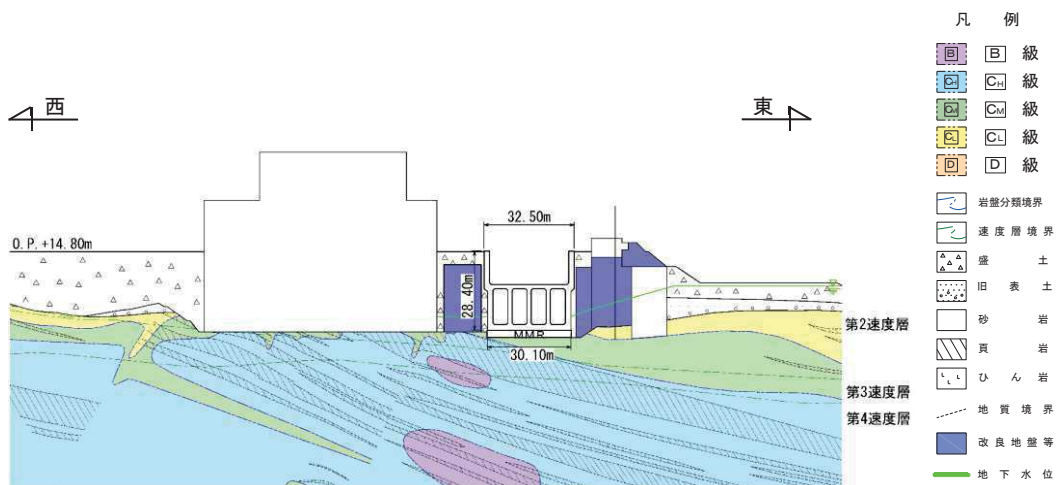


図 4.6-10 海水ポンプ室地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

横断方向については、スクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアの各エリアにおいて、構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して地震応答解析に反映するが、延長方向に周辺状況の差異がないことから海水ポンプ室のほぼ中心となる補機ポンプエリアの中心を通る地質断面を各エリアの代表として、地震時荷重算出断面とする。

縦断方向については、軸心を中心とする対称性を有し、また周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

なお、海水ポンプ室の北側には取水路が存在するが、保守的な設定として、取水路は盛土として耐震評価を行う。

解析手法について、横断方向は、海水ポンプ室周辺の地盤が一様に地盤改良されるとともに原子炉建屋及び防潮堤が隣接し、周辺に液状化検討対象層が分布しないことから全応力解析を選定する。また、縦断方向については、北側には取水路が存在し、南側は地盤改良がなされその外側の地下水位は改良地盤よりも深く、液状化の影響はないことから全応力解析を選定し、三次元モデルに作用させる荷重及び応答加速度等の床応答を算出する。

海水ポンプ室の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.6-1 に、地震時荷重算出断面図を図 4.6-11 に示す。



表 4.6-1(1) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向	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	
横断方向 (EW 方向)	スクリーン エリア	支持機能 通水機能 貯水機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、下部は四連のカルバート構造、上部は開口部を有する中床版 (O.P. +8.00m) が設置されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>原子炉建屋及び防潮堤と隣接し、海水ポンプ室との間は地盤改良がなされている。</li> <li>海水ポンプ室直下の MMR を介して OF-4 断層と接している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>防潮壁</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の延長方向に周辺状況の差異がないことから、補機ポンプエリア中心を通る地質断面を横断方向の代表断面とし、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スクリーンエリアの剛性を考慮する。</li> </ul> <p>(解析手法：全応力解析)</p>
	補機ポンプ エリア	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、下部は四連のカルバート構造、上部は中床版 (O.P. +3.00m) が設置されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>原子炉建屋及び防潮堤と隣接し、海水ポンプ室との間は地盤改良がなされている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機冷却海水ポンプ</li> <li>高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ</li> <li>逆止弁付きファンネル</li> <li>浸水防止壁</li> <li>防潮壁</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エリア内で周辺状況の差異がないことから、補機ポンプエリア中心を通る地質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補機ポンプエリアの剛性を考慮する。</li> </ul> <p>(解析手法：全応力解析)</p>
	循環水ポンプ エリア	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、下部は二連又は一連のカルバート構造、上部は中床版 (O.P. +0.20m) が設置されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>浸水防止壁</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の延長方向に周辺状況の差異がないことから、補機ポンプエリア中心を通る地質断面を横断方向の代表とし、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循環水ポンプエリアの剛性を考慮する。</li> </ul> <p>(解析手法：全応力解析)</p>

表 4.6-1(2) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向	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
縦断方向 (NS 方向)	支持機能 通水機能 貯水機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下 2 階構造で、上部はスクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアの 3 エリアに分かれており、下部は水路となっている。</li> <li>側壁、隔壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>北側は取水路と接続し、南側は地盤改良がなされている。</li> <li>海水ポンプ室直下の MMR を介して OF-4 断層と接している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機冷却海水ポンプ</li> <li>高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ</li> <li>逆止弁付きファンネル</li> <li>浸水防止壁</li> <li>防潮壁</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸心を中心とする対称性を有し、また周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の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>

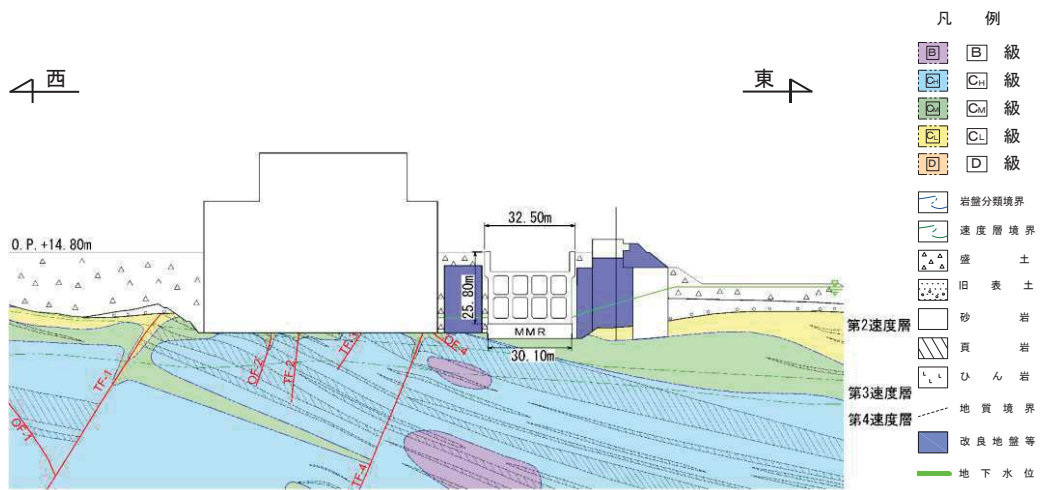


図 4.6-11(1) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図（横断方向：スクリーンエリア）

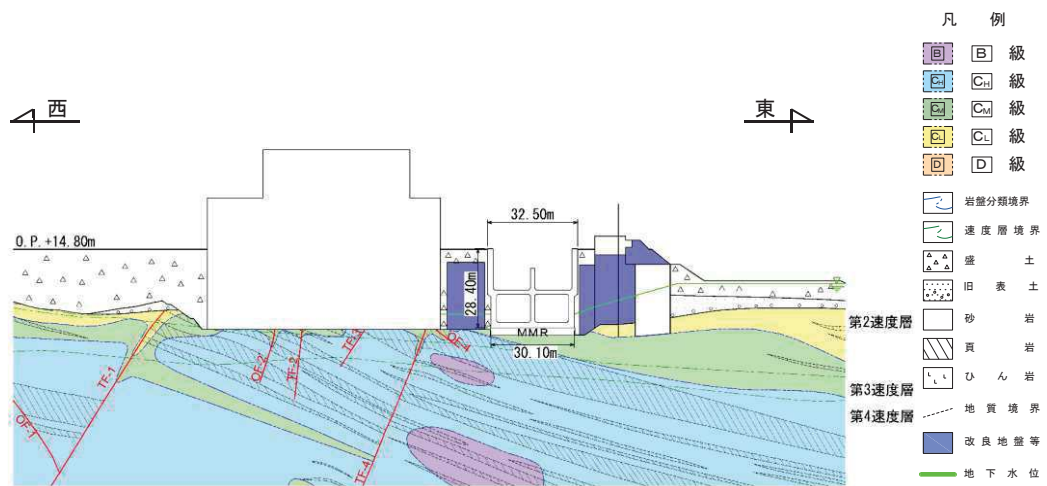


図 4.6-11(2) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図（横断方向：補機ポンプエリア）

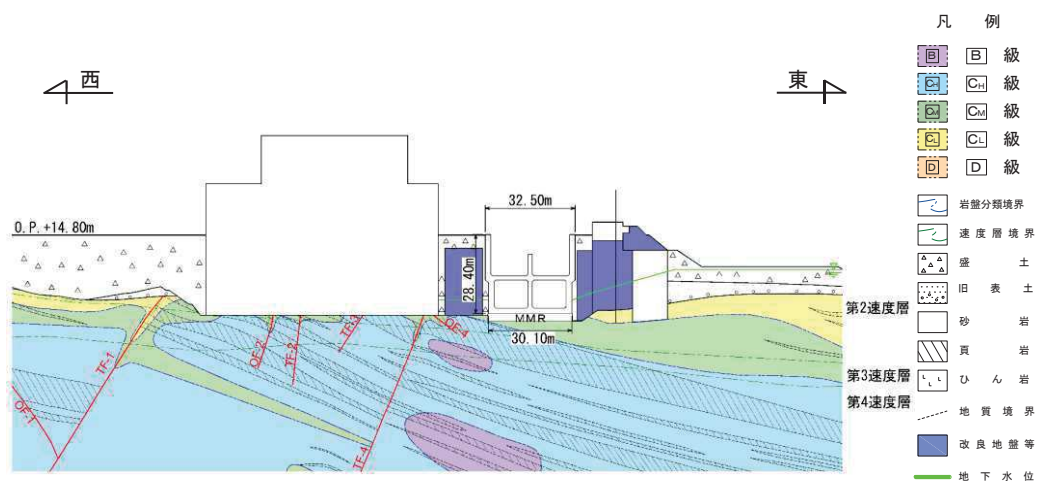


図 4.6-11(3) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図（横断方向：循環水ポンプエリア）

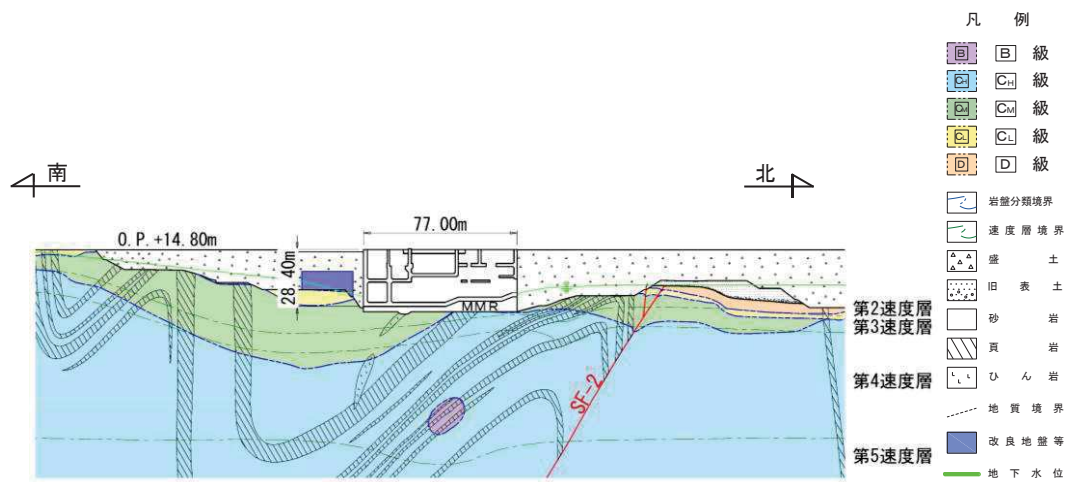


図 4.6-11(4) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図 (縦断方向)

#### 4.7 軽油タンク室

軽油タンク室の配置図を図 4.7-1 に、平面図を図 4.7-2 に、断面図を図 4.7-3、図 4.7-4 に示す。

軽油タンク室は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である軽油タンクや燃料移送ポンプ等を間接支持しており、支持機能が要求される。

軽油タンク室は、幅 32.40m (EW 方向) × 20.70m (NS 方向)、高さ 6.80m の鉄筋コンクリート造の地中構造物で、二連ボックスカルバート構造のタンク室と、タンク室南側に位置し三連のボックスカルバート状の断面を有する 3 室のポンプ室にて構成され、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。

軽油タンク室は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を有する箱形構造物であり、三次元モデルにて耐震評価を実施することから、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。耐震評価に用いる三次元モデル図を図 4.7-5 に示す。

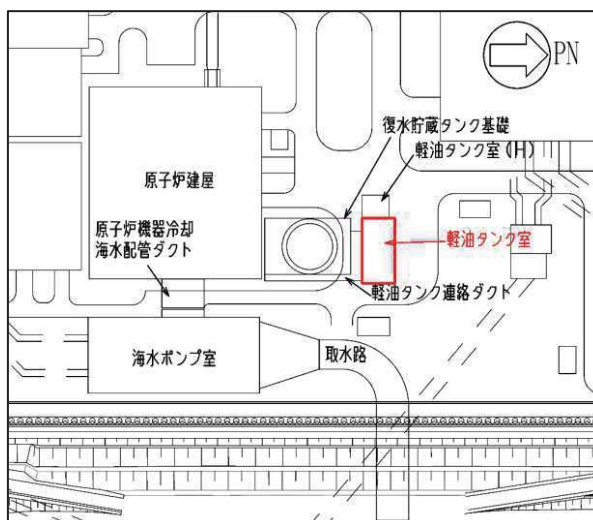


図 4.7-1 軽油タンク室配置図

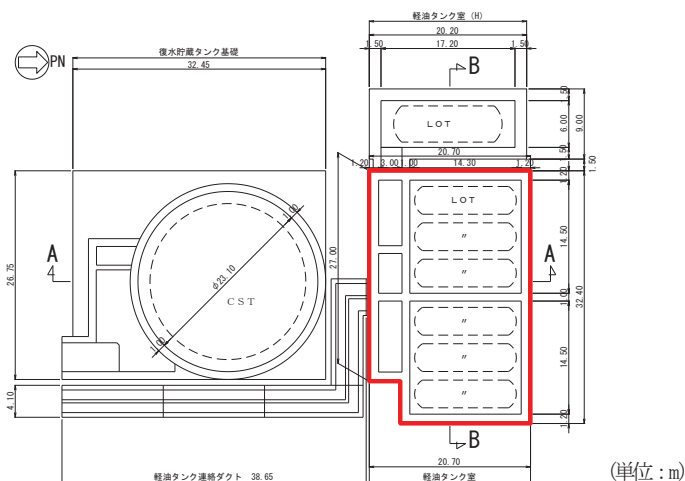


図 4.7-2 軽油タンク室平面図

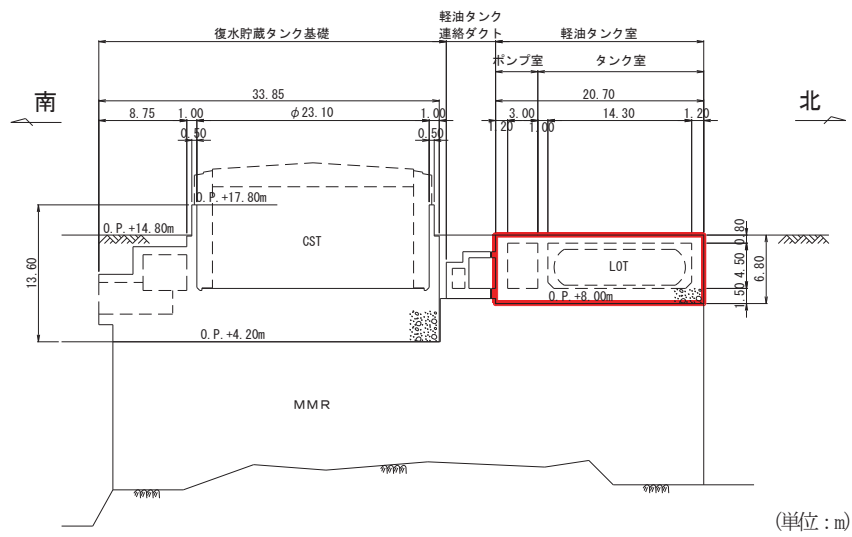


図 4.7-3 軽油タンク室断面図 (A-A)

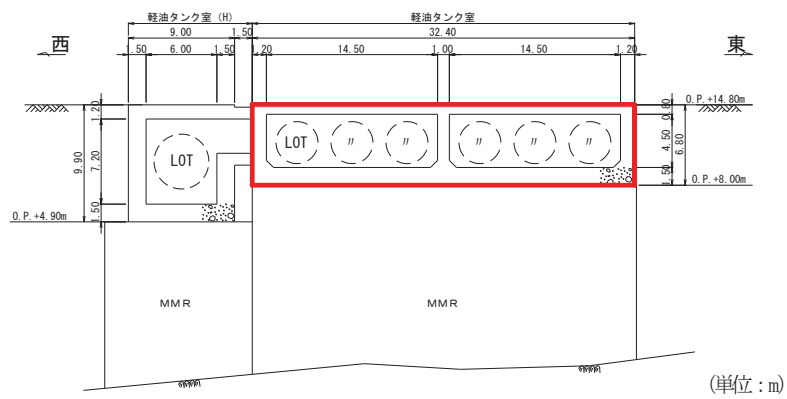


図 4.7-4 軽油タンク室断面図 (B-B)

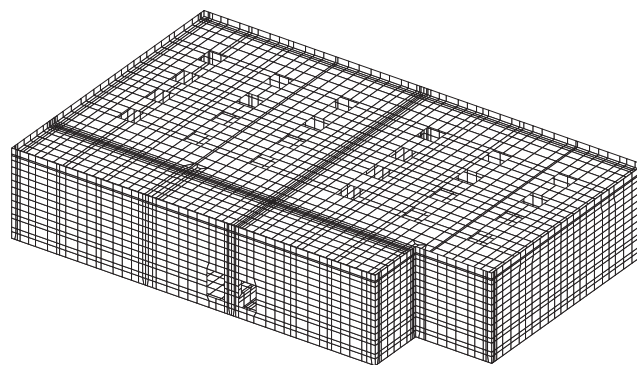


図 4.7-5 軽油タンク室 三次元モデル図

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

軽油タンク室は、縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）に一様な比較的単純な二連ボックスカルバート状の断面を有するタンク室と、その南側に三連のボックスカルバート状の断面を有する 3 室のポンプ室から構成される箱形構造物であり、縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、タンク室・ポンプ室の縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）の側壁、及びタンク室とポンプ室を隔てる隔壁が耐震要素として機能し、横断方向（タンク軸方向）と比較して、加振方向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、縦断方向が強軸方向となる。一方、横断方向（タンク軸方向）は、加振方向と平行に配置される面部材が、縦断方向に比べて少ないことから、弱軸方向となる。このことから、軽油タンク室は横断方向（タンク軸方向）の断面を候補断面とする。

また、軽油タンク室は、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箱形構造物であり、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ことから、縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）の断面も候補断面とする。

軽油タンク室には、軽油タンク等を間接支持する支持機能が要求されるが、横断方向（タンク軸方向）は、二連のボックスカルバート内に同形状のタンクが均等に配置され、ポンプは各 3 室に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。一方、縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、タンク室及びポンプ室にそれぞれ異なる機器が配置されていることから、縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、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。

また、縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）について、タンク室とポンプ室では、妻壁や隔壁の配置が異なり剛性の差があることから、地震時荷重及び床応答を算出するための二次元地震応答解析は、タンク室とポンプ室において、それぞれ構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して実施する。この剛性の違いは、地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすことから、タンク室及びポンプ室を通る縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）の断面を、それぞれ候補断面とする。

軽油タンク室の周辺状況として、横断方向（タンク軸方向）は、南側に MMR を共有する軽油タンク連絡ダクト及び復水貯蔵タンク基礎が隣接し、その外側には原子炉建屋が位置する。北側には一様に盛土が分布している。縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、西側に軽油タンク室 (H) が隣接し、その外側には一様に盛土が分布する。東側には盛土が一様に分布する。また、軽油タンク室周辺の地下水位は、構造物底版より十分に低くほぼ一様に分布していることから、横断方向・

縦断方向ともに、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、軽油タンク室は、軽油タンク室直下の MMR を介して SF-2①断層と接しているが、同様に MMR を介して SF-2①断層と SF-2②断層の両方の断層が接している軽油タンク室 (H) を代表として断層の影響を確認することから、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。

軽油タンク室の掘削図を図 4.7-6 に、軽油タンク室の地質断面図を図 4.7-7、図 4.7-8 に示す。

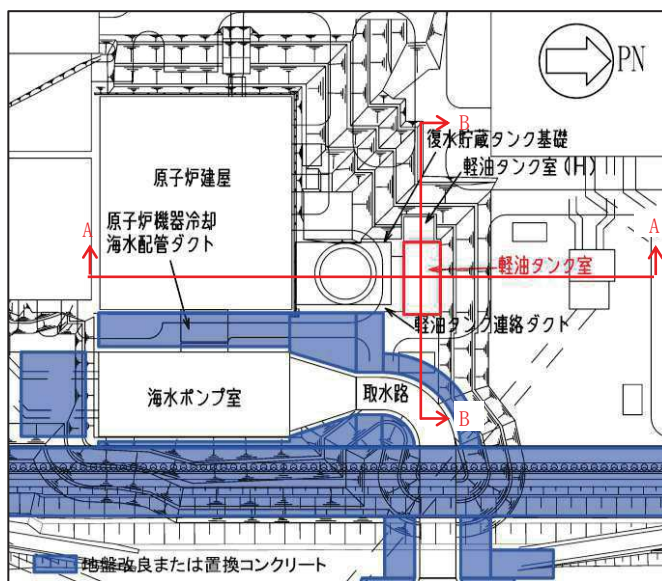


図 4.7-6 軽油タンク室掘削図

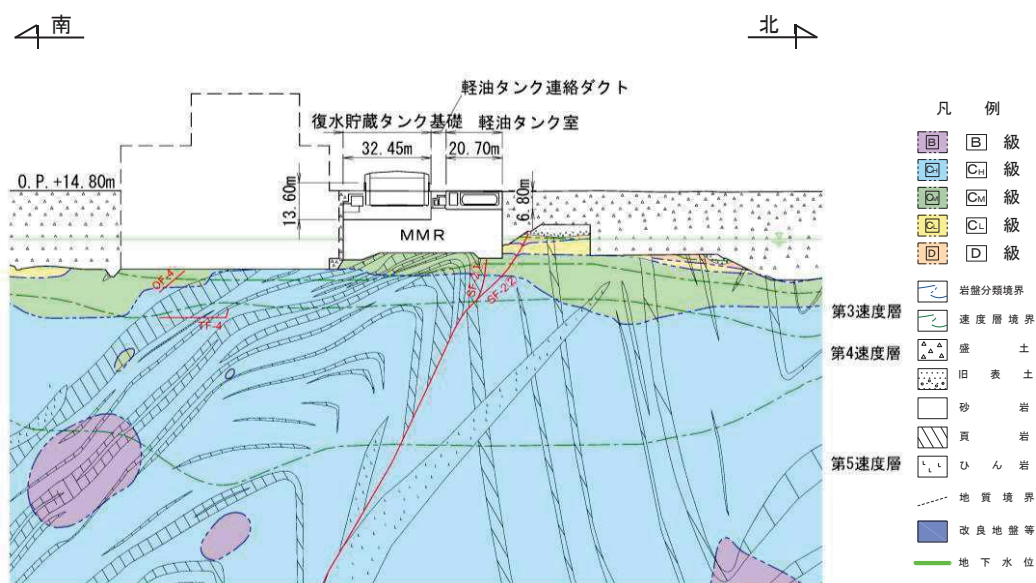


図 4.7-7 軽油タンク室地質断面図 (A-A)



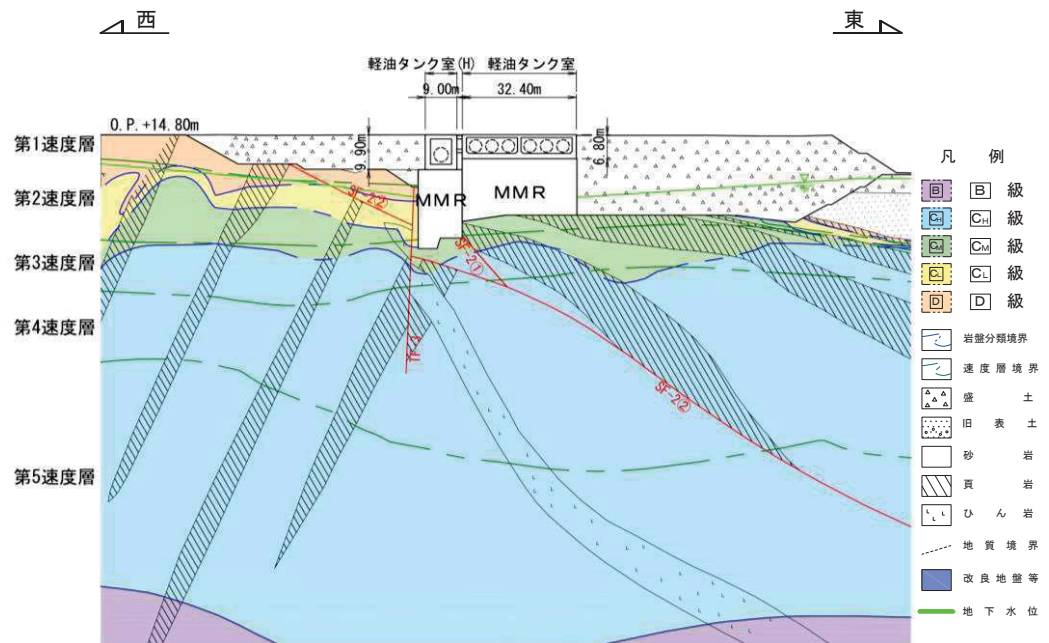


図 4.7-8 軽油タンク室地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

横断方向（タンク軸方向）については、構造物の二次元等価剛性モデルが軸心を中心としてほぼ対称性を有することから1つのモデルとし、縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）に周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る横断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）については、構造物はタンク室及びポンプ室ごとに二次元等価剛性モデルを作成するが、両エリアに周辺状況の差異がないことから、軽油タンク室の中心を通る地質断面を各エリアの代表として、地震時荷重算出断面とする。

周辺状況として、軽油タンク室の南側には、MMRを共有する軽油タンク連絡ダクト及び復水貯蔵タンク基礎が隣接し、その外側に原子炉建屋が存在するが、保守的な設定として、原子炉建屋は盛土として耐震評価を行う。

解析手法については、横断方向（タンク軸方向）の南側には、軽油タンク連絡ダクト、復水貯蔵タンク基礎、原子炉建屋が隣接し、北側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いことから、液状化の影響はない。縦断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）の東側は盛土が分布し、また西側は隣接する軽油タンク（H）の外側に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いことから、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し、三次元モデルに作用させる荷重及び応答加速度等の床応答を算出する。

軽油タンク室の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.7-1 に、地震時荷重算出断面図を図 4.7-9 に示す。

表 4.7-1 軽油タンク室 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向		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
横断方向 (タンク軸方向)	タンク室 ポンプ室	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造のカルバート構造であり、北側にタンク室（二連のボックスカルバート構造）、南側にポンプ室（三連のボックスカルバート構造）が配置される。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>南側は、軽油タンク連絡ダクト及び復水貯蔵タンク基礎が隣接し、その外側には原子炉建屋が存在する。北側は盛土が分布する。</li> <li>地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。</li> <li>軽油タンク室直下の MMR を介して SF-2①断層と接している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽油タンク</li> <li>燃料移送ポンプ</li> <li>燃料移送系配管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る横断方向の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>
縦断方向 (タンクの軸方向に対し直交する方向)	タンク室	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の二連のボックスカルバート構造であり、南側にポンプ室が配置される。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が多く強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>東側は盛土により埋戻しがなされている。西側は軽油タンク室(H)が隣接し、その外側は盛土が分布する。</li> <li>地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。</li> <li>軽油タンク室直下の MMR を介して SF-2①断層と接している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽油タンク</li> <li>燃料移送系配管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る地質断面を縦断方向の代表断面とし、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タンク室の剛性を考慮する。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>
	ポンプ室	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の三連のボックスカルバート構造であり、北側にタンク室が配置される。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が多く強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>東側は、盛土が分布する。西側は、軽油タンク室(H)が隣接し、その外側は盛土が分布する。</li> <li>地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料移送ポンプ</li> <li>燃料移送系配管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る地質断面を縦断方向の代表断面とし、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ポンプ室の剛性を考慮する。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>

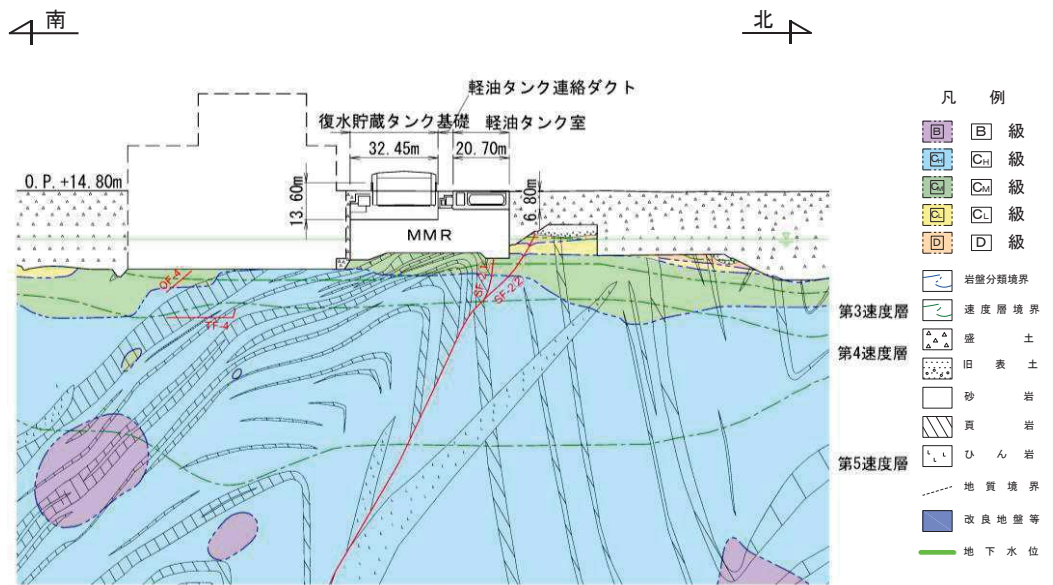


図 4.7-9(1) 軽油タンク室 地震時荷重算出断面図 (横断方向)

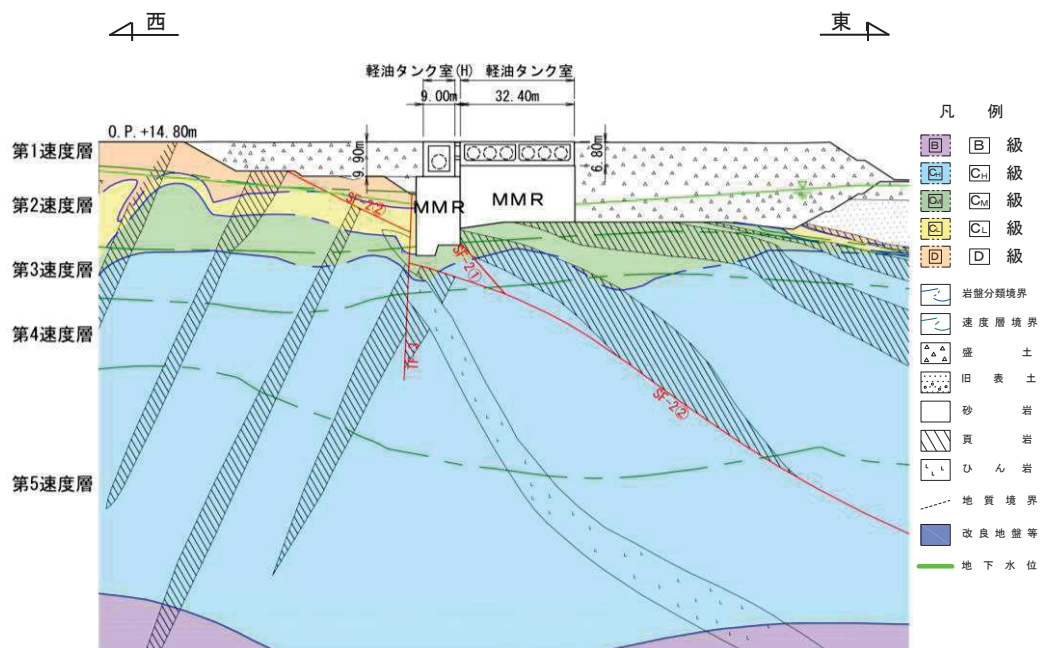


図 4.7-9(2) 軽油タンク室 地震時荷重算出断面図 (縦断方向：タンク室)

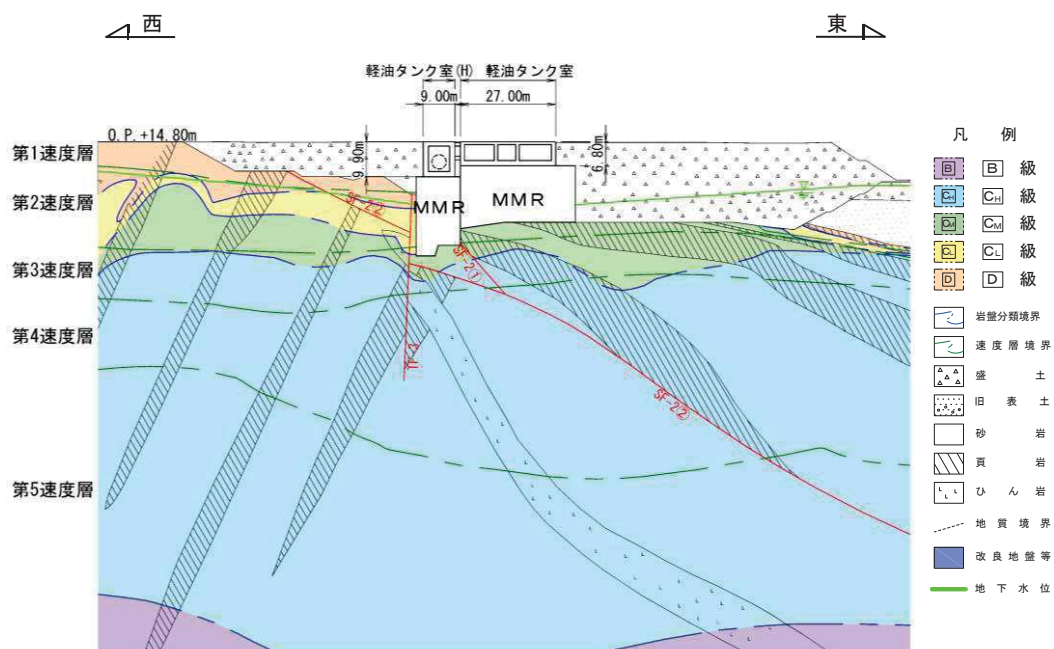


図 4.7-9(3) 軽油タンク室 地震時荷重算出断面図（縦断方向：ポンプ室）あ

#### 4.8 軽油タンク室 (H)

軽油タンク室 (H) の配置図を図 4.8-1 に、平面図を図 4.8-2 に、断面図を図 4.8-3、図 4.8-4 に示す。

軽油タンク室 (H) は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である軽油タンク等を間接支持しており、支持機能が要求される。

軽油タンク室 (H) は、幅 9.00m (EW 方向) × 20.20m (NS 方向)、高さ 9.90m の鉄筋コンクリート造の地中構造物で、比較的単純な一連のボックスカルバート構造であり、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。

軽油タンク室 (H) は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を有する箱形構造物であり、三次元モデルにて耐震評価を実施することから、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。耐震評価に用いる三次元モデル図を図 4.8-5 に示す。

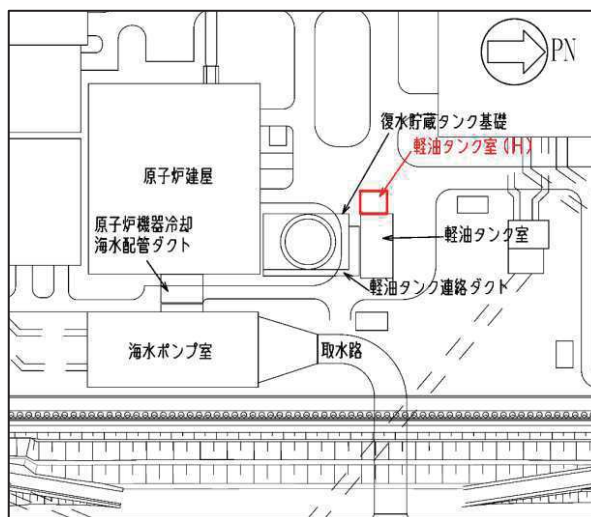


図 4.8-1 軽油タンク室 (H) 配置図

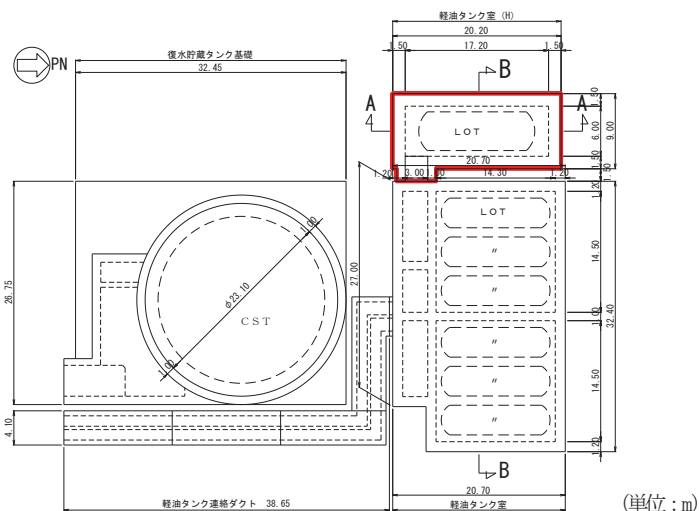


図 4.8-2 軽油タンク室 (H) 平面図

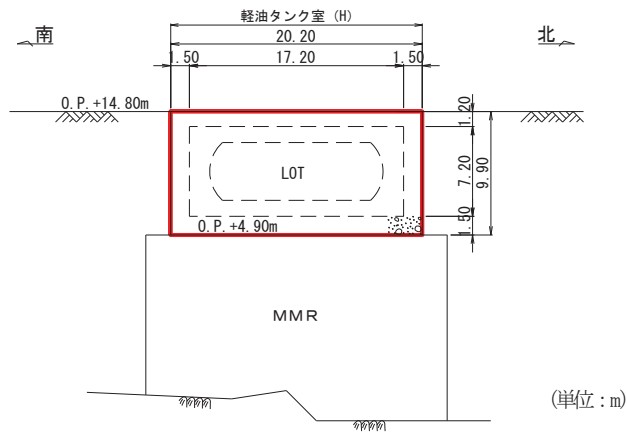


図 4.8-3 軽油タンク室 (H) 断面図 (A-A)

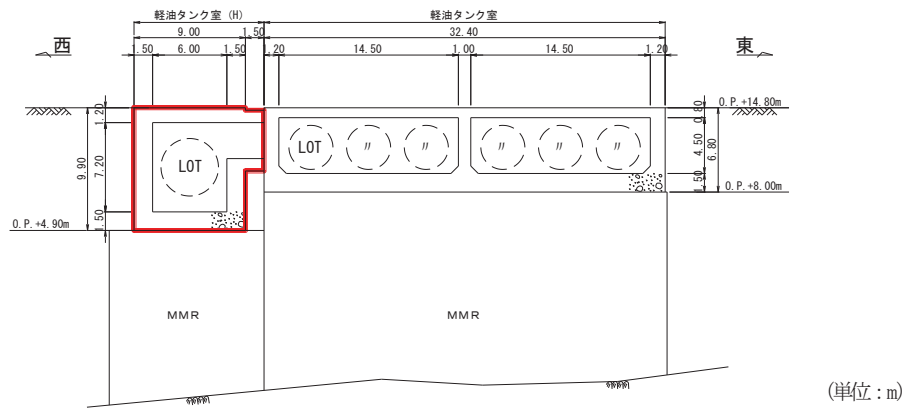


図 4.8-4 軽油タンク室 (H) 断面図 (B-B)

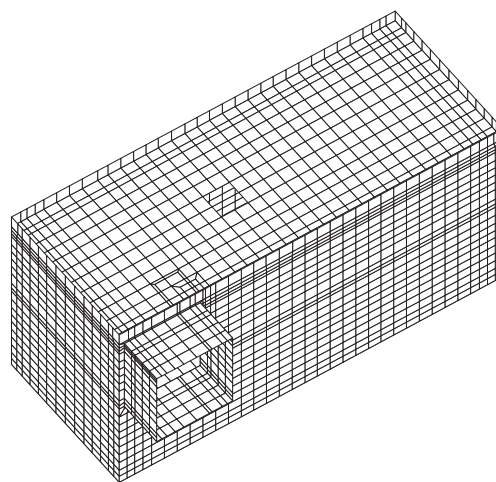


図 4.8-5 軽油タンク室 (H) 三次元モデル図

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

軽油タンク室(H)は、縦断方向(タンク軸方向)に一樣な断面の比較的単純なボックスカルバート状の箱形構造物であり、縦断方向(タンク軸方向)は、長辺となる側壁が耐震要素として機能し、横断方向(タンクの軸方向に対し直交する方向)と比較して、側壁の離隔が小さく、加振方向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、縦断方向(タンク軸方向)が強軸方向となる。一方、横断方向(タンクの軸方向に対し直交する方向)は、短辺となる側壁の離隔が大きく、耐震上見込むことができる面部材が相対的に少ないことから弱軸方向となる。このため、軽油タンク室(H)は横断方向(タンクの軸方向に対し直交する方向)の断面を候補断面とする。

また、軽油タンク室(H)は、加振方向に平行に配置される妻壁の面部材を耐震部材として考慮する箱形構造物であり、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ことから、縦断方向(タンク軸方向)の断面も候補断面とする。

軽油タンク室(H)には、軽油タンク等を間接支持する支持機能が要求されるが、1基のタンクが一連のボックスカルバート内に配置されているため、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。

軽油タンク室(H)の周辺状況として、横断方向(タンクの軸方向に対し直交する方向)は、東側に軽油タンク室が隣接し、その外側には一樣に盛土が分布する。西側には盛土が一樣に分布する。縦断方向(タンク軸方向)は、北側及び南側に一樣に盛土が分布する。周辺の地下水位は、構造物底版より十分に低くほぼ一樣に分布していることから、横断方向・縦断方向ともに、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、軽油タンク室(H)は、直下のMMRを介してSF-2①断層及びSF-2②断層と接していることから、断層の変形の影響を確認するための候補断面とする。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。

さらに、床応答の観点からは、横断方向(タンクの軸方向に対し直交する方向)と縦断方向(タンク軸方向)では剛性の差があり床応答も異なることから、横断方向(タンクの軸方向に対し直交する方向)と縦断方向(タンク軸方向)の両断面を候補断面とする。

軽油タンク室(H)の掘削図を図4.8-6に、軽油タンク室(H)の地質断面図を図4.8-7、図4.8-8に示す。

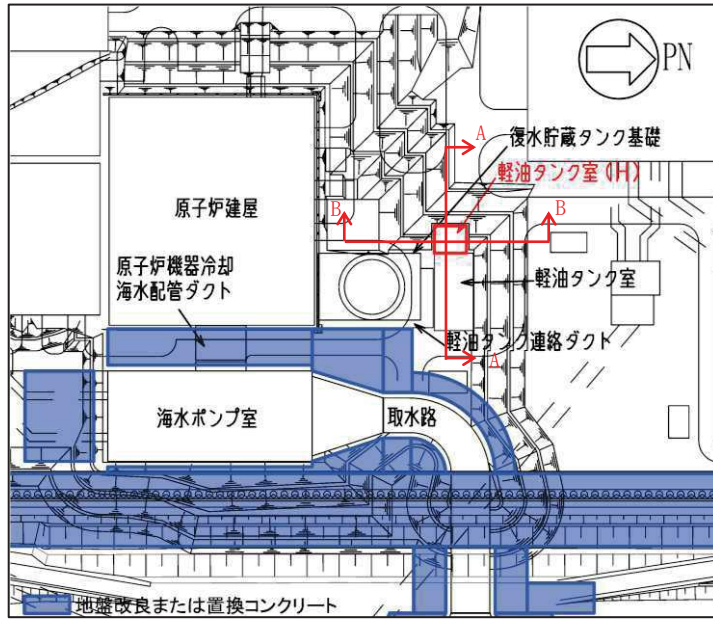


図 4.8-6 軽油タンク室 (H) 掘削図

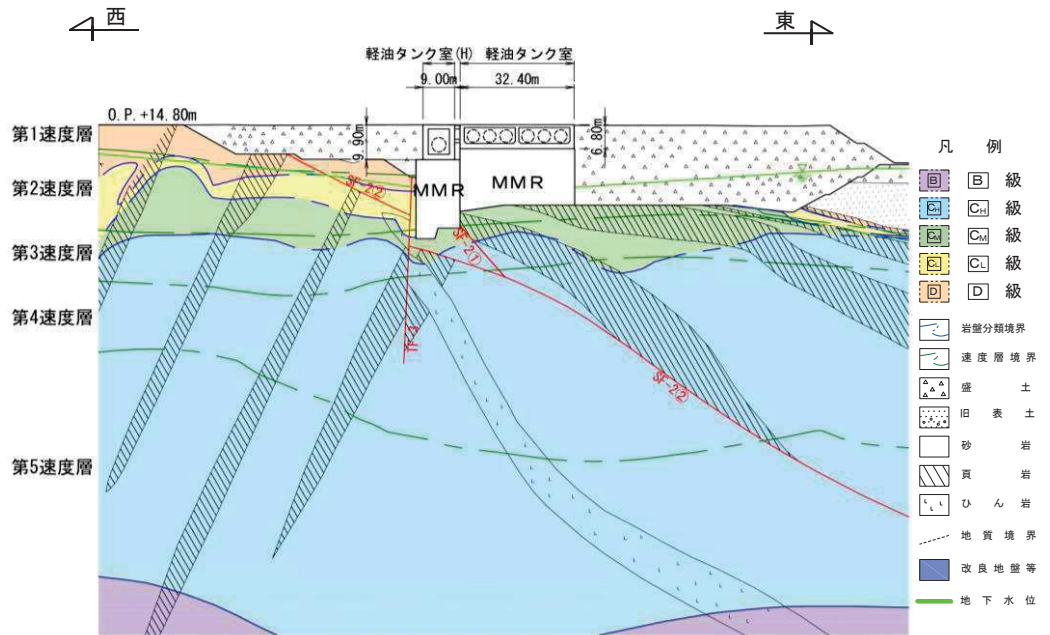


図 4.8-7 軽油タンク室 (H) 地質断面図 (A-A)



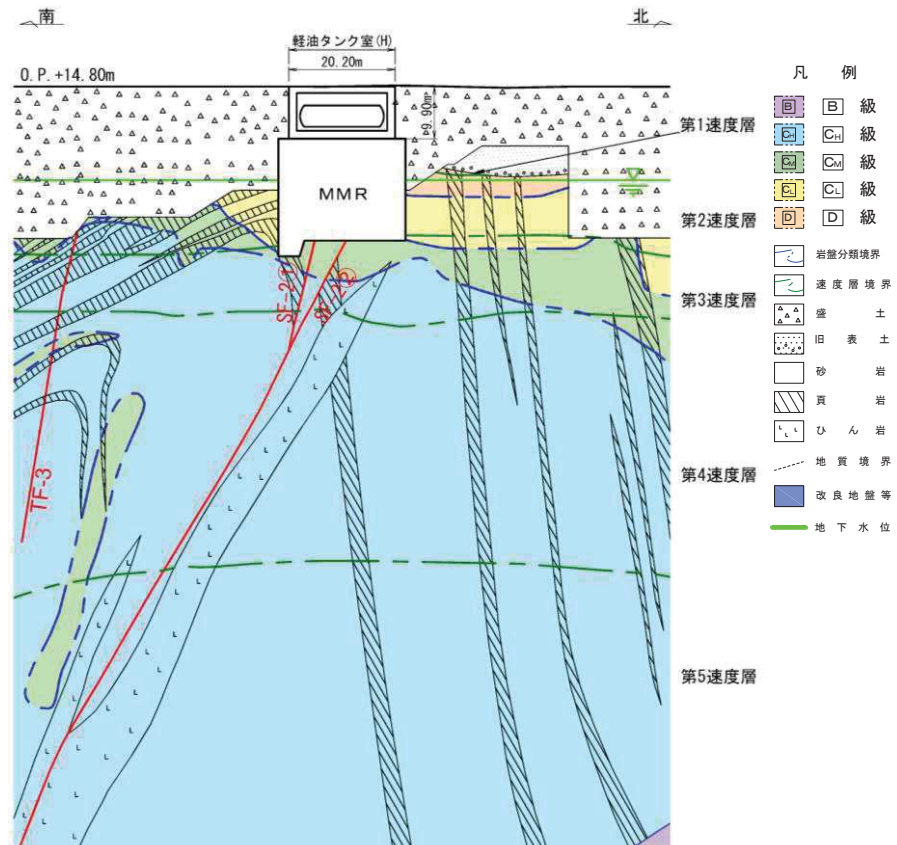


図 4.8-8 軽油タンク室 (H) 地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

軽油タンク室 (H) は、構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して地震応答解析に反映するが、縦断方向 (タンク軸方向) に周辺状況の差異がないことから、横断方向 (タンクの軸方向に対し直交する方向) については構造物の中心を通る横断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

縦断方向 (タンク軸方向) については、軸心を中心とする対称性を有し、周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

解析手法については、横断方向 (タンクの軸方向に対し直交する方向) の東側には軽油タンク室が隣接し、西側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いことから、液状化の影響はない。縦断方向 (タンク軸方向) の北側及び南側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いことから、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し、三次元モデルに作用させる荷重及び応答加速度等の床応答を算出する。

また、断層の変形の影響を確認するため、SF-2①断層およびSF-2②断層をモデル化した地震応答解析を行うこととし、解析手法は全応力解析を選定する。なお、断層の変形がMMRを介して構造物へ与える影響(断面力等)を適切に評価するために、

断層の影響を確認するのに適していると考えられる SF-2①断層及び SF-2②断層に対して概ね直交し、また両断層が MMR に接している縦断方向（タンク軸方向）の断面を、断層の影響を評価する断面とする。また、軽油タンク室（H）と並行して設置されている軽油タンク室においても、軽油タンク室（H）と同様な形で SF-2①断層が MMR に接しているが、SF-2①断層及び SF-2②断層のうち SF-2①断層のみが MMR に接していることに加え、軽油タンク室（H）の方が MMR の規模が小さく、断層の変形の影響（構造物に発生する断面力等）が大きいと考えられることから、軽油タンク室（H）を代表として評価を行う（参考資料 2 参照）。

軽油タンク室(H)の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.8-1 に、地震時荷重算出断面図を図 4.8-9 に示す。

表 4.8-1 軽油タンク室 (H) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向	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
横断方向 (タンクの軸方向に 対し直交する方向)	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>一様な断面を有する鉄筋コンクリート造の一連ボックスカルバート構造</li> <li>側壁の離隔が大きく、耐震要素として機能する面部材が相対的に少ないことから弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>東側は軽油タンク室が隣接し、西側は盛土が分布する。</li> <li>地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。</li> <li>軽油タンク室(H) 直下の MMR を介して SF-2①断層及び SF-2②断層と接している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク</li> <li>高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送系配管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る横断方向の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>
縦断方向 (タンク軸方向)	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>一様な断面を有する鉄筋コンクリート造の一連ボックスカルバート構造</li> <li>側壁の離隔が小さく、耐震要素として機能する面部材が相対的に多いことから強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>北側及び南側は、盛土が分布する。</li> <li>地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。</li> <li>軽油タンク室(H) 直下の MMR を介して SF-2①断層及び SF-2②断層と接している。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸心を中心とする対象性を有し、また周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。</li> <li>SF-2①断層及び SF-2②断層に対して概ね直交し、両断層が MMR に接していることから、縦断方向の断面を、断層の影響を評価する断面とする。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>

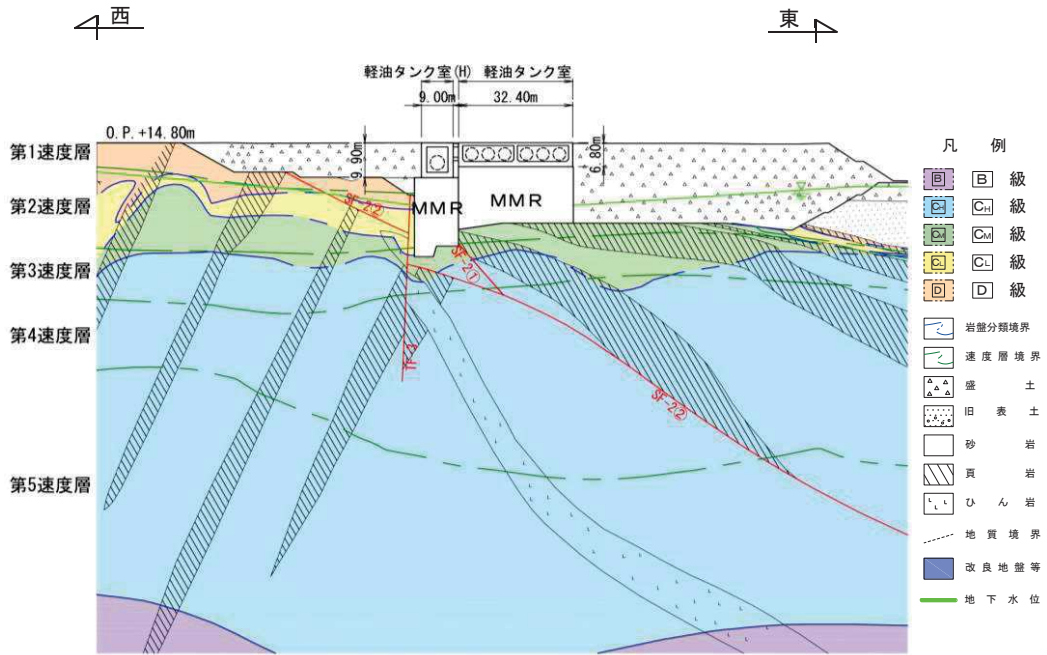


図 4.8-9(1) 軽油タンク室 (H) 地震時荷重算出断面図 (横断方向)

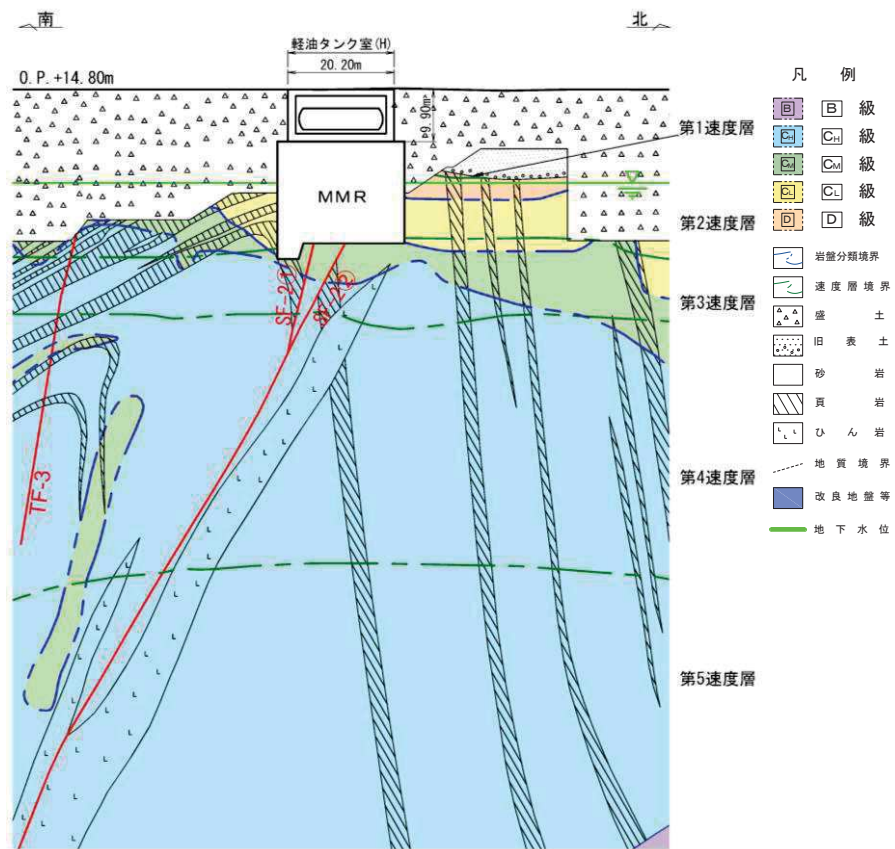


図 4.8-9(2) 軽油タンク室 (H) 地震時荷重算出断面図 (縦断方向)

#### 4.9 取水口，貯留堰

取水口及び貯留堰\*の配置図を図 4.9-1 に，平面図を図 4.9-2 に，縦断図を図 4.9-3 に，断面図を図 4.9-4～図 4.9-6 に示す。

取水口は，非常用取水設備の一つの設備であり，耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である貯留堰を間接支持する支持機能，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。また，貯留堰は非常用取水設備及び津波防護施設であり，通水機能及び貯水機能が要求される。

取水口は鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，延長 11.50m，内空幅 [ ]，内空高さ [ ] の六連のボックスカルバートの標準部と，延長 28.30m，内空幅 [ ]，内空高さ [ ] の六連のボックスカルバートから内空幅 [ ]，内空高さ [ ] の二連のボックスカルバートに断面が縮小する漸縮部より構成される。構造物の断面は延長方向で異なり，加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を有する箱形構造物であり，三次元モデルにて耐震評価を実施することから，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。耐震評価に用いる三次元モデル図を図 4.9-7 に示す。

注記\*：貯留堰は，取水口と一体構造となっていることから，断面選定の観点においては，取水口を含むものとして扱う。

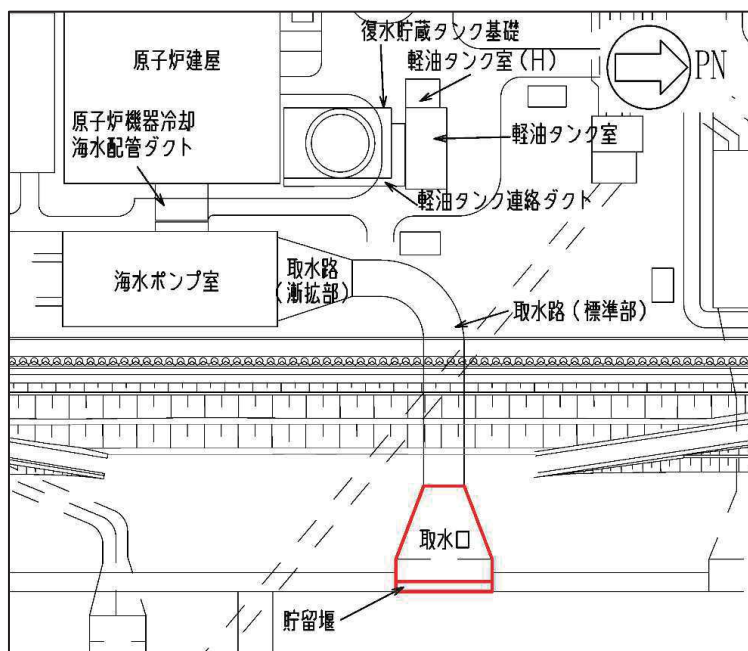


図 4.9-1 取水口，貯留堰配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

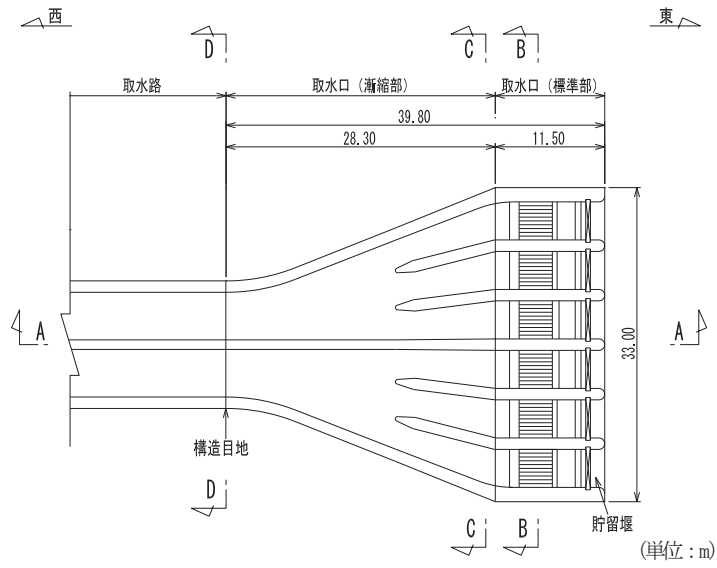


図 4.9-2 取水口，貯留堰平面図

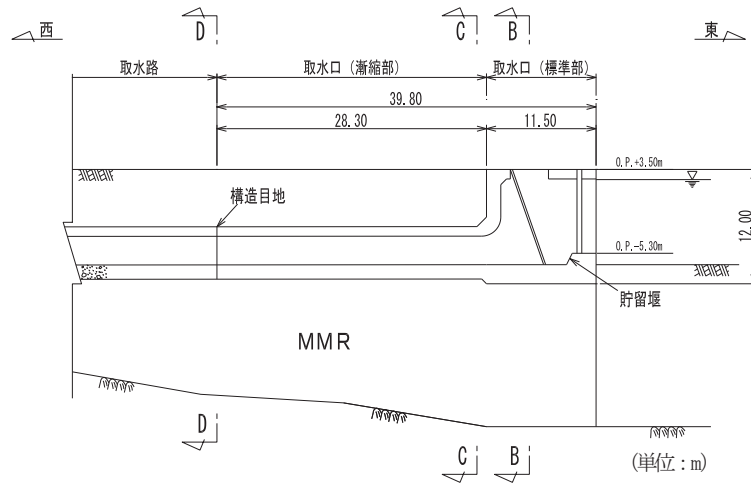


図 4.9-3 取水口，貯留堰縦断図 (A-A)

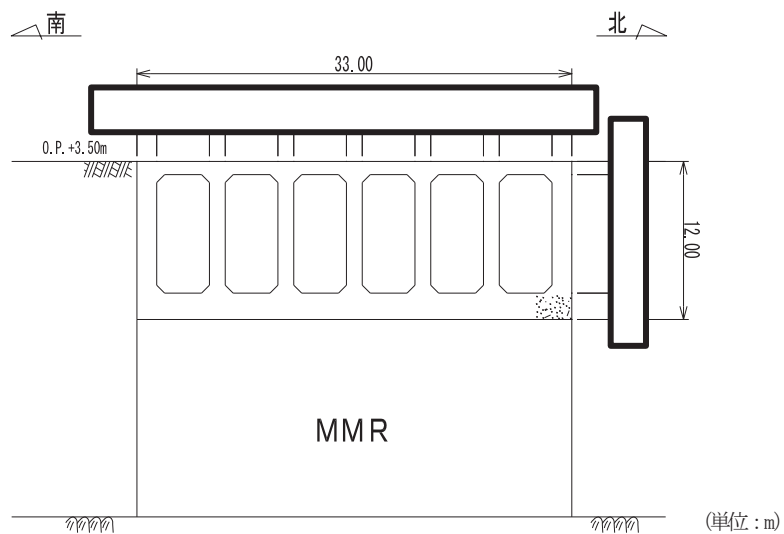


図 4.9-4 取水口断面図 (標準部，B-B)

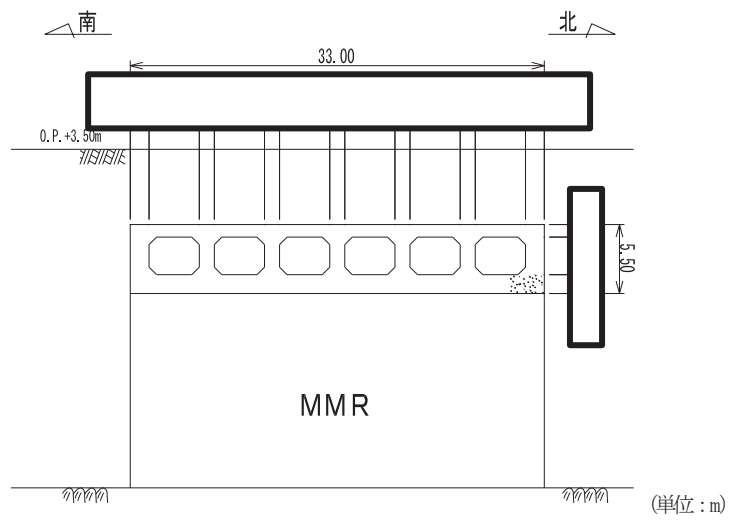


図 4.9-5 取水口断面図（漸縮部，C-C）

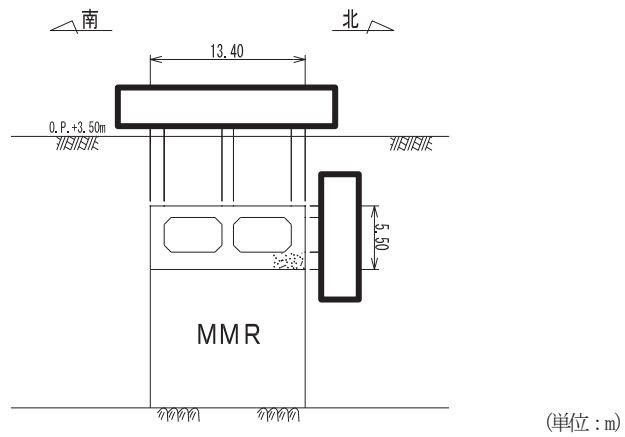


図 4.9-6 取水口断面図（漸縮部，D-D）

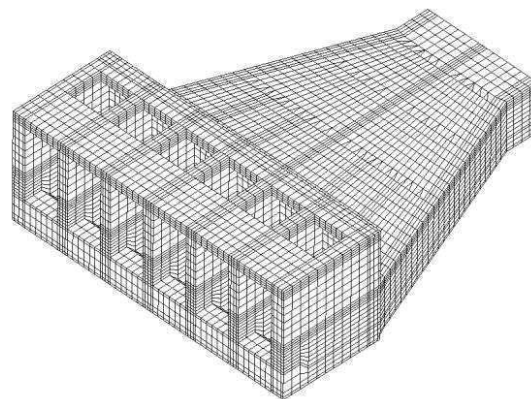


図 4.9-7 取水口，貯留堰 三次元モデル図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

取水口は、六連のボックスカルバート構造の標準部と六連のボックスカルバート構造から二連のボックスカルバート構造に断面が縮小する漸縮部により構成され、標準部と漸縮部の境界部には水路直角方向に妻壁を有する箱形構造物である。

構造的特徴の観点から、取水口は、加振方向に平行に配置される面部材は耐震要素として機能し、縦断方向（EW 方向）に対しては、側壁に加え、水路部の隔壁が耐震要素として機能することから、縦断方向（EW 方向）が強軸方向となる。一方、横断方向（NS 方向）加振に対しては、耐震要素として機能する面部材は標準部と漸縮部の境界に配置される妻壁のみであり、耐震上見込むことができる面部材が縦断方向（EW 方向）に比べて少ないことから横断方向（NS 方向）が弱軸方向となる。

横断方向（NS 方向）については、標準部、漸縮部のそれぞれで剛性の差があり、各エリアでの剛性の違いが地震時荷重に影響を及ぼすことから、地震時荷重を算出するための二次元地震応答解析は、各エリアで構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して実施することとし、標準部及び漸縮部のそれぞれの横断方向（NS 方向）の断面を候補断面とする。また、取水口は加振方向に平行に配置される妻壁を耐震部材として考慮する箱形構造物であり、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ことから、縦断方向（EW 方向）の断面も候補断面とする。

また、取水口に要求される機能は、標準部には貯留堰を間接支持する支持機能、海水の通水機能及び貯水機能が要求され、漸縮部には海水の通水機能及び貯水機能が要求される。

取水口の周辺状況として、縦断方向（EW 方向）の西側は取水路と接続し、横断方向（NS 方向）には周辺構造物は存在しない。また、取水口の周辺は盛土が一様な厚さで分布し、各エリアで延長方向に一様な幅で地盤改良がなされている。さらに、取水口周辺の地下水位は、延長方向に一様であることから、断面選定の観点として標準部と漸縮部のそれぞれにおいて周辺状況の影響を考慮する必要はない。

取水口、貯留堰の掘削図を図 4.9-8 に、地質断面図を図 4.9-9～図 4.9-11 に示す。



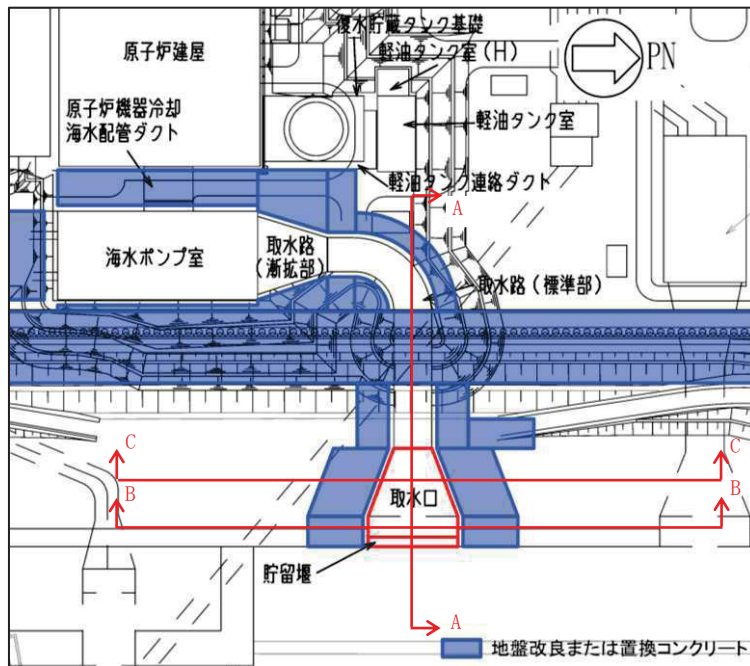


図 4.9-8 取水口，貯留堰掘削図

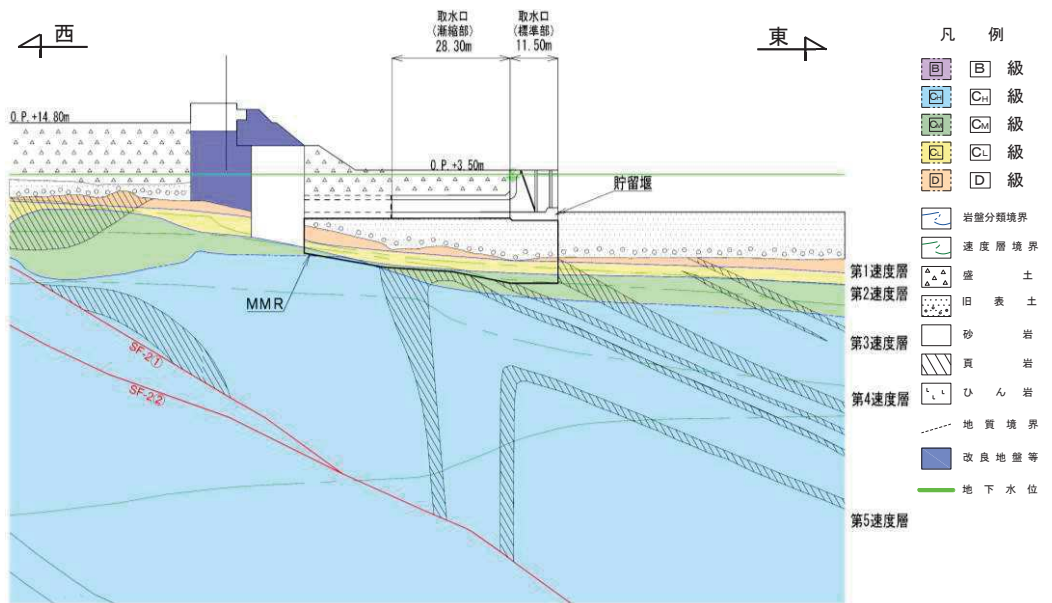


図 4.9-9 取水口，貯留堰地質断面図 (A-A)

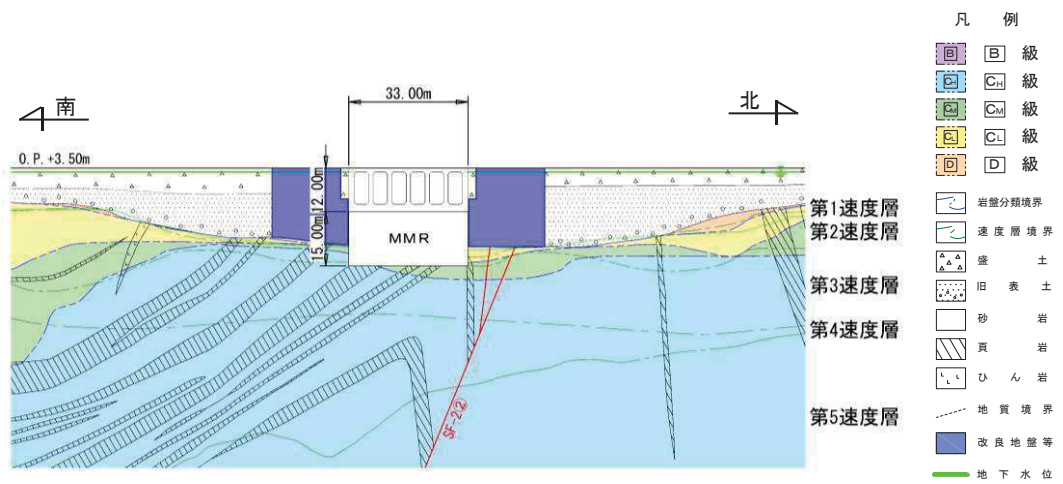


图 4.9-10 取水口地質断面图 (B-B)

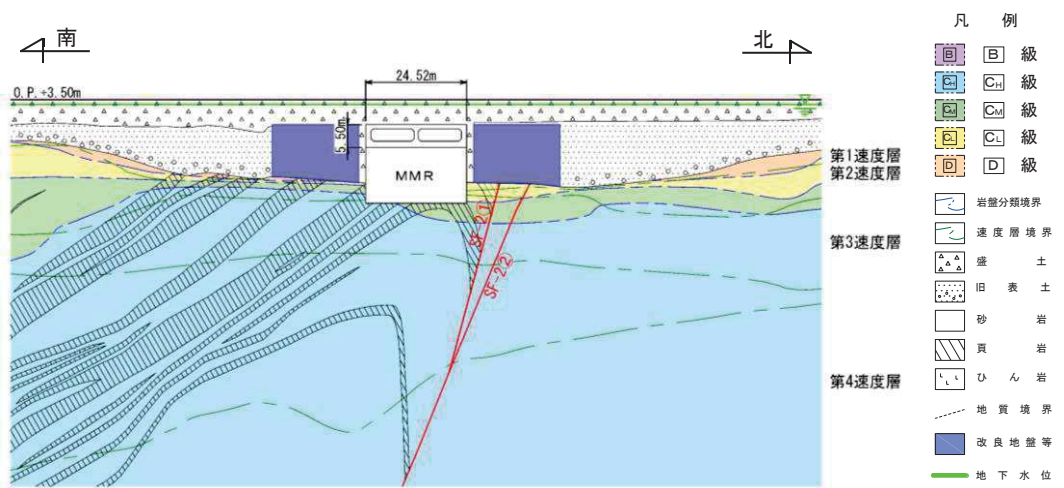


图 4.9-11 取水口地質断面图 (C-C)

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

横断方向については、標準部、漸縮部のそれぞれで、構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して地震応答解析に反映するが、延長方向に周辺状況の差異がないことから、標準部及び漸縮部のそれぞれの中心を通る横断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

縦断方向については、軸心を中心とする対称性を有し、また、周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。なお、周辺状況として、取水口の西側に取水路が存在するが、保守的な設定として、取水路は盛土として耐震評価を行う。

また、取水口の周辺は地盤改良がなされており、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が、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、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。

また、土圧は、改良地盤を介して構造物に作用することから、一次元地震応答解析の地盤モデルは改良地盤の脇の地盤を想定する。

取水口の標準部、漸縮部の一次元地震応答解析のモデル図を図4.9-12に、一次元地震応答解析結果を表4.9-1に、地震時荷重算出断面におけるせん断応力分布（全時刻最大）を図4.9-13に示す。

横断方向の標準部及び漸縮部について、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、標準部・漸縮部ともに、全応力解析の方が大きな値となった。また、縦断方向については、地下水位、周辺地質等の周辺状況は横断方向（地盤改良の外側）と同様であることから、横断方向の一次元全応力解析及び一次元有効応力解析の結果で代表することとし、解析手法は全応力解析を選定し、三次元モデルに作用させる荷重を算出する。

取水口、貯留堰の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表4.9-2に、地震時荷重算出断面図を図4.9-14に示す。

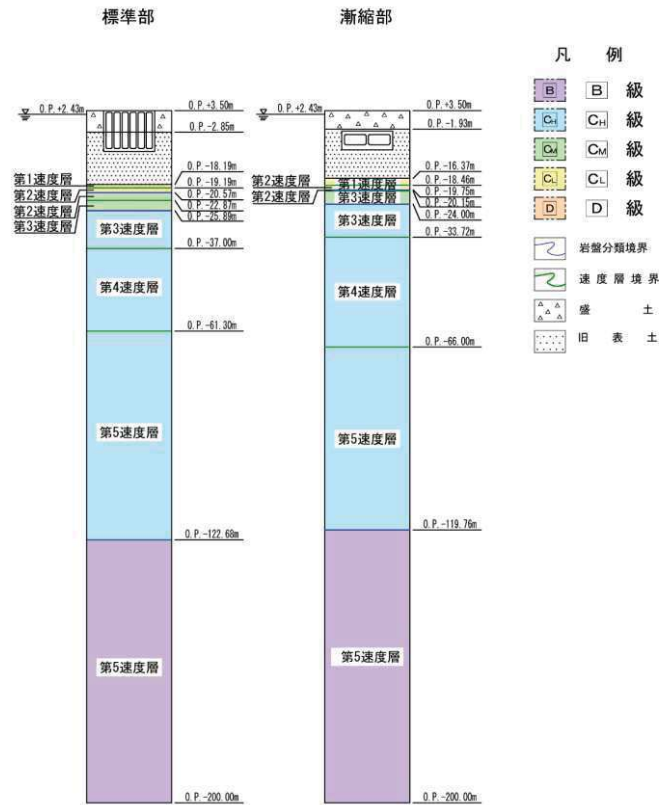


図 4.9-12 一次元地震応答解析モデル図（標準部及び漸縮部）

表 4.9-1 一次元地震応答解析結果

位置	全応力解析	有効応力解析
	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )	
取水口（標準部）	59 (S s - N 1)	28 (S s - N 1)
取水口（漸縮部）	58 (S s - N 1)	26 (S s - N 1)

上段：最大応答値，下段：最大応答値を示す地震動

網掛：全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値

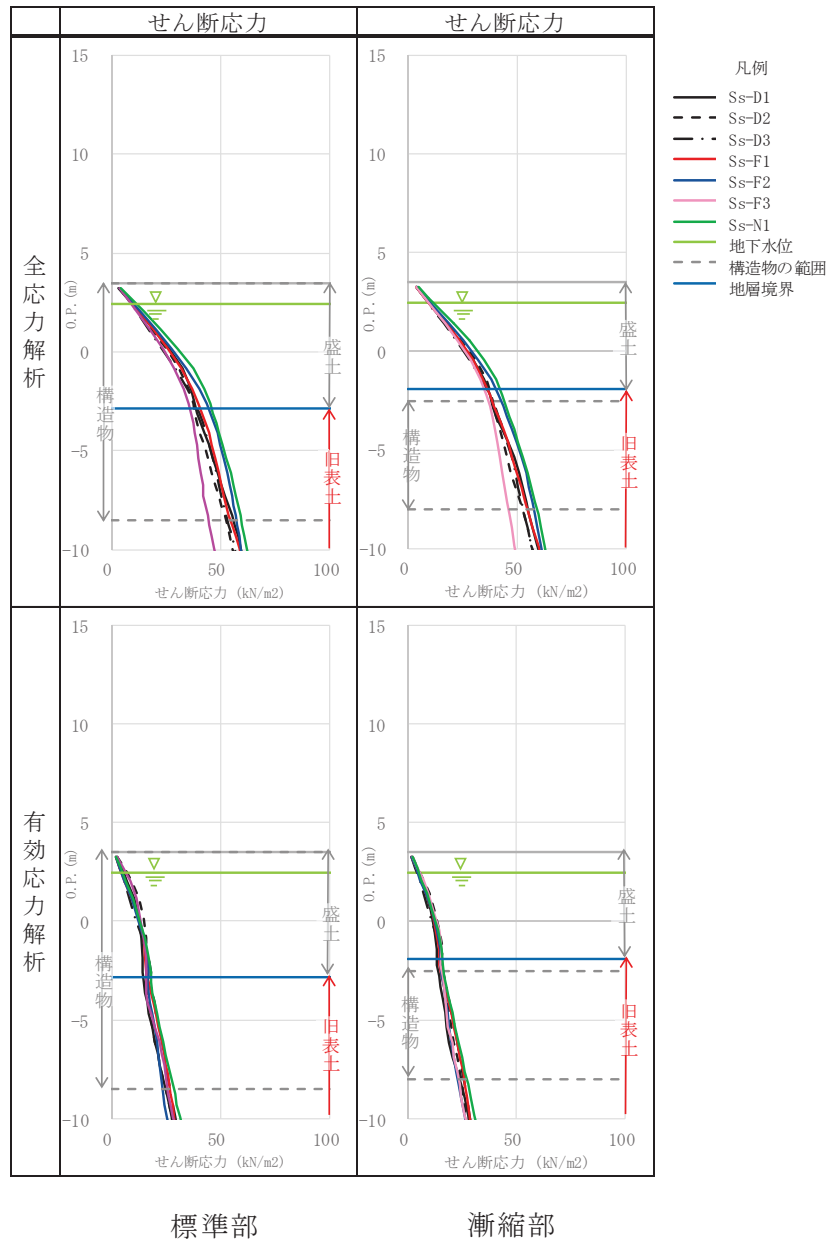


図 4.9-13 せん断応力分布 (全時刻最大)

表 4.9-2 取水口，貯留堰 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向		要求機能	構造的特徴	周辺状況	選定結果
横断方向 (NS 方向)	標準部	支持機能* 通水機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の六連のボックスカルバート構造であり，頂版は開口部を有する。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>周辺は盛土が一様な厚さで分布し，延長方向に一様な幅で地盤改良がなされている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準部の延長方向に周辺状況の差異がないことから，標準部の中心を通る横断方向の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>
	漸縮部	通水機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の六連のボックスカルバート構造から，断面幅を縮小しながら二連のボックスカルバート構造に変化する。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>周辺は盛土が一様な厚さで分布し，延長方向に一様な幅で地盤改良がなされている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>漸縮部の延長方向に周辺状況の差異がないことから，漸縮部の中心を通る横断方向の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>
縦断方向 (EW)		支持機能* 通水機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造で六連のボックスカルバートの標準部と，六連のボックスカルバート構造から二連のボックスカルバート構造に変化する漸縮部からなる。</li> <li>側壁，隔壁が耐震要素として機能し強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>地下水位，周辺地質等の周辺状況は横断方向（地盤改良の外側）と同様に一様である。また，西側は取水路と接続している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸心を中心とする対称性を有し，また周辺状況の差異もないことから，構造物中心を通る縦断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>

注記\*：取水口（標準部）には，貯留堰を間接支持する支持機能が要求される。

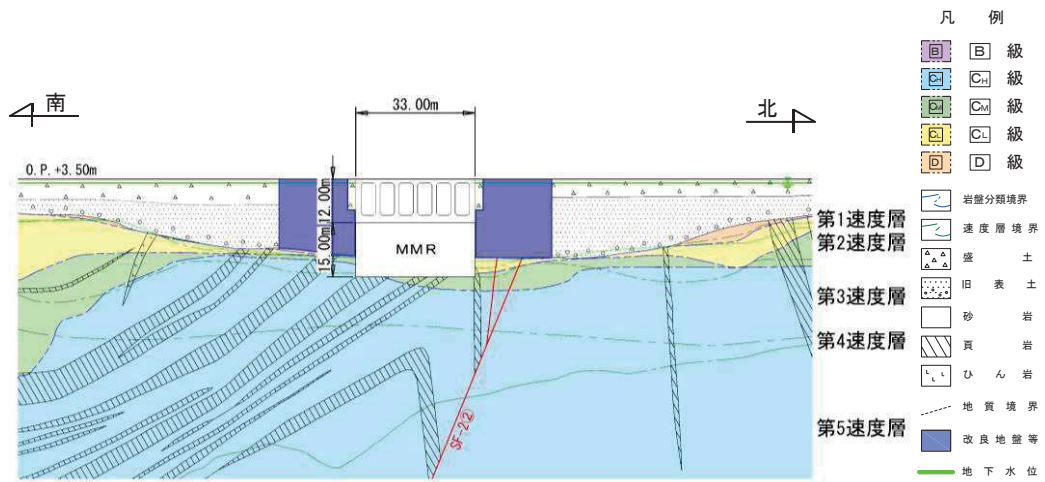


图 4.9-14(1) 取水口，貯留堰 地震時荷重算出断面图（横断方向：標準部）

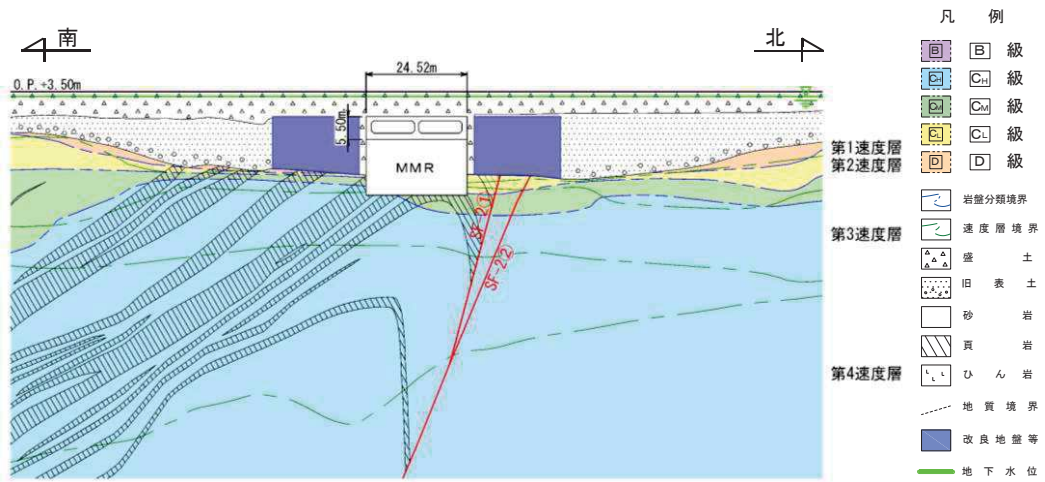


图 4.9-14(2) 取水口，貯留堰 地震時荷重算出断面图（横断方向：漸縮部）

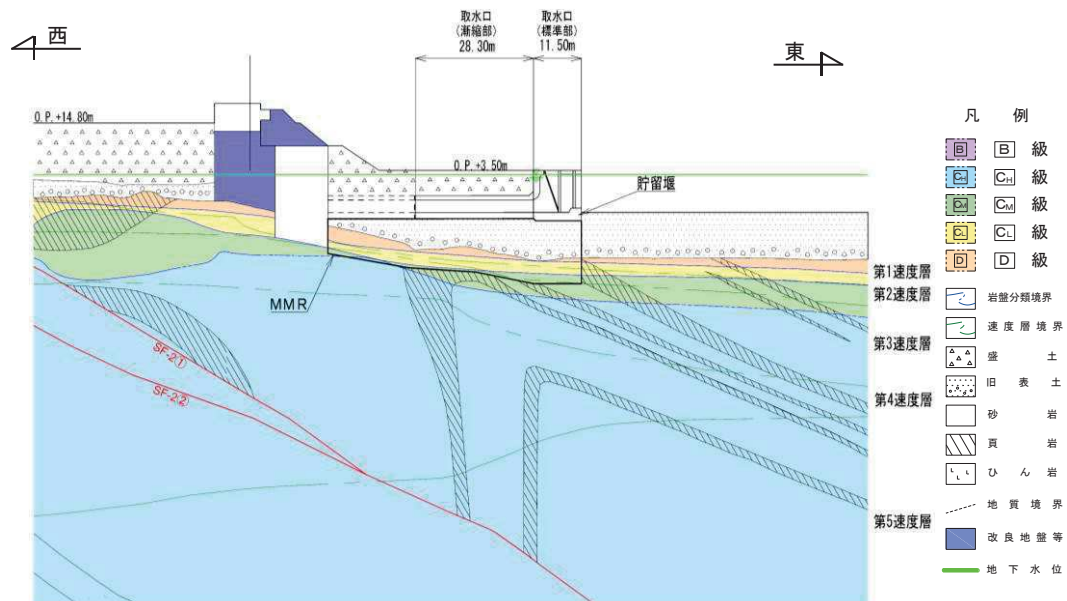


图 4.9-14(3) 取水口，貯留堰 地震時荷重算出断面图（縦断方向）

#### 4.10 復水貯蔵タンク基礎

復水貯蔵タンク基礎の配置図を図 4.10-1 に、平面図を図 4.10-2 に、断面図を図 4.10-3、図 4.10-4 に示す。

復水貯蔵タンク基礎は、常設重大事故等対処設備である復水貯蔵タンク等を間接支持しており、支持機能が要求される。

復水貯蔵タンク基礎は、復水貯蔵タンク等を間接支持する基礎版と円筒形の遮蔽壁等から構成される。基礎版は幅 26.75m (EW 方向) × 32.45m (NS 方向)、厚さ 5.00m、遮蔽壁は内径 23.10m、壁厚 1.00m (地上部は 0.50m) の鉄筋コンクリート造の地中構造物で、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。

復水貯蔵タンク基礎は、加振方向に平行に配置される妻壁や遮蔽壁等の面部材を有する箱形構造物であり、三次元モデルにて耐震評価を実施することから、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。耐震評価に用いる三次元モデル図を図 4.10-5 に示す。

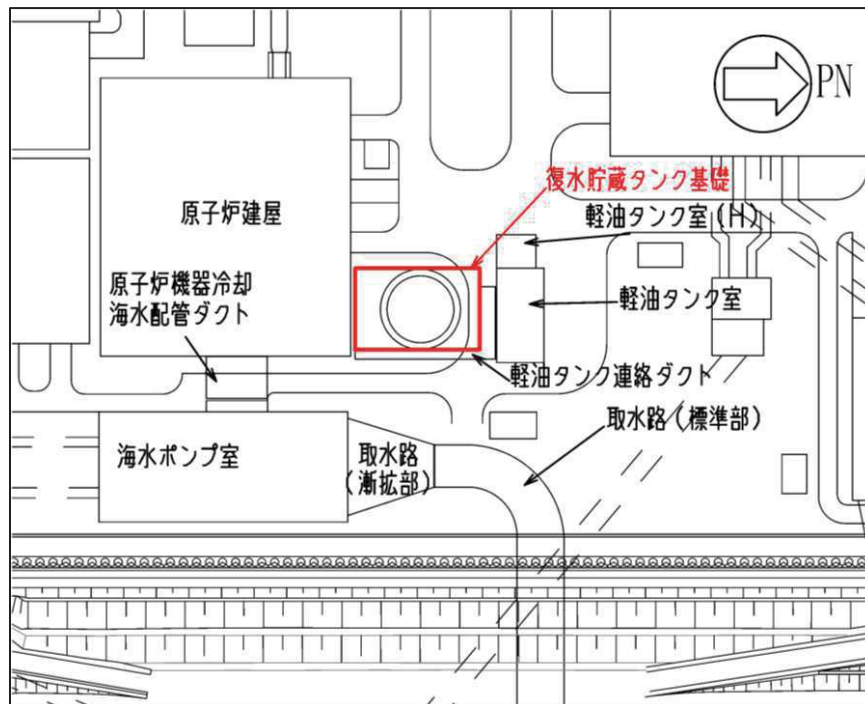


図 4.10-1 復水貯蔵タンク基礎配置図



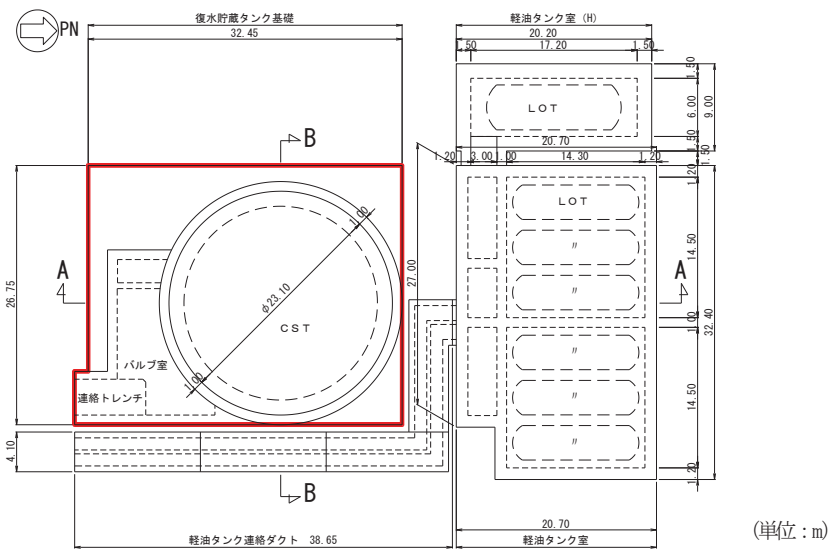


図 4.10-2 復水貯蔵タンク基礎平面図

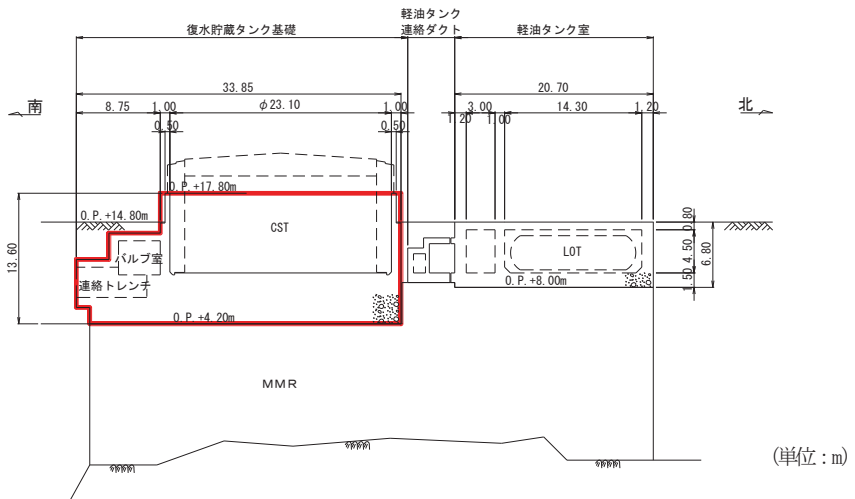


図 4.10-3 復水貯蔵タンク基礎断面図 (A-A)

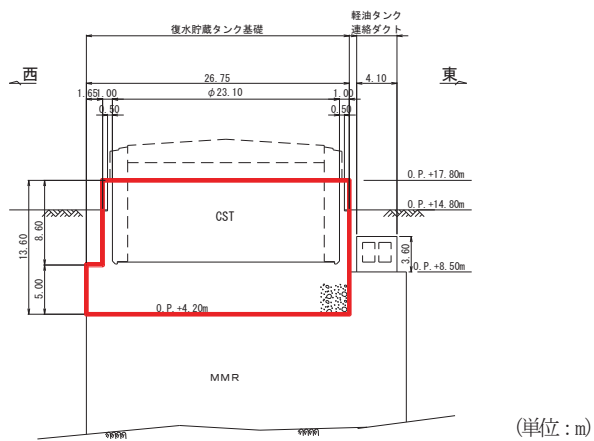


図 4.10-4 復水貯蔵タンク基礎断面図 (B-B)

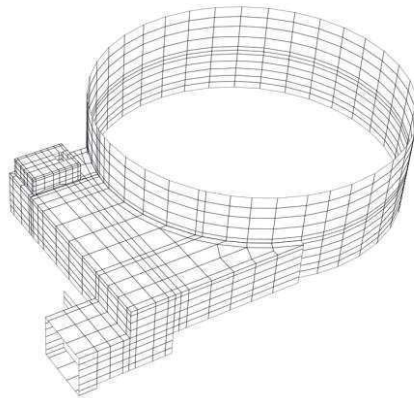


図 4.10-5 復水貯蔵タンク基礎 三次元モデル図

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

復水貯蔵タンク基礎は、復水貯蔵タンク等を支持する基礎版、基礎版上に固定された円筒形の遮蔽壁、基礎内部の南側に位置するカルバート状のバルブ室及び連絡トレンチから構成される複雑な形状であり、遮蔽壁（内径 23.10m）は基礎版上の幅（26.75m×32.45m）の大半を占める。また、バルブ室は遮蔽壁の南側に配置され、連絡トレンチはバルブ室の東側から原子炉建屋に向かい、基礎長辺方向（NS 方向）に沿って配置されている。

基礎版は、短辺方向（EW 方向：幅 26.75m）と長辺方向（NS 方向：幅 32.45m）の長さに大きな違いはなく、また遮蔽壁は円筒形であることから、強軸方向と弱軸方向が明確ではない。さらに、復水貯蔵タンク基礎は、加振方向に平行に配置される妻壁や遮蔽壁等の面部材を有し、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の影響を考慮して耐震評価を行う構造物であることから、復水貯蔵タンク基礎は、基礎短辺方向（EW 方向）の断面及び基礎長辺方向（NS 方向）の断面を候補断面とする。

また、復水貯蔵タンク基礎には、復水貯蔵タンクや復水移送系配管等を間接支持する支持機能が要求される。基礎版に間接支持される復水貯蔵タンクは円筒形であり、連絡トレンチに間接支持される復水移送系配管は、トレンチ延長方向（NS 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・配置の設置位置による影響を考慮する必要はない。

復水貯蔵タンク基礎の周辺状況として、基礎短辺方向（EW 方向）は、東側に MMR を共有する軽油タンク連絡ダクトが隣接し、その外側には盛土が一樣に分布し MMR と取水路（漸拡部）の間は地盤改良されている。西側には盛土が一樣に分布している。基礎長辺方向（NS 方向）は、北側は MMR を共有する軽油タンク連絡ダクト、軽油タンク室が隣接し、その外側は盛土が一樣に分布している。南側には原子炉建屋

が隣接し、復水貯蔵タンク基礎との間は、盛土により埋め戻されている。また、復水貯蔵タンク基礎周辺の地下水位は、基礎底版より十分低く、ほぼ一様に分布していることから、基礎短辺方向（EW方向）・基礎長辺方向（NS方向）ともに、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、床応答の観点からは、基礎短辺方向（EW方向）と基礎長辺方向（NS方向）で剛性の差があり床応答も異なることから、基礎短辺方向（EW方向）と基礎長辺方向（NS方向）の両断面を候補断面とする。

復水貯蔵タンク基礎の掘削図を図 4.10-6 に、地質断面図を図 4.10-7、図 4.10-8 に示す。

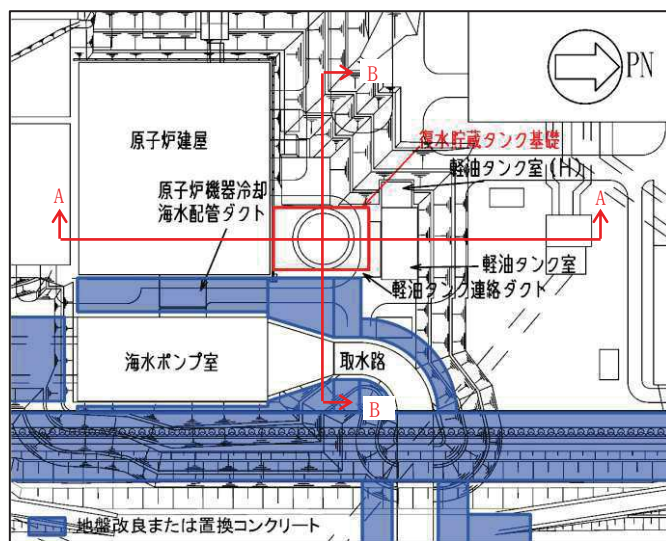


図 4.10-6 復水貯蔵タンク基礎掘削図

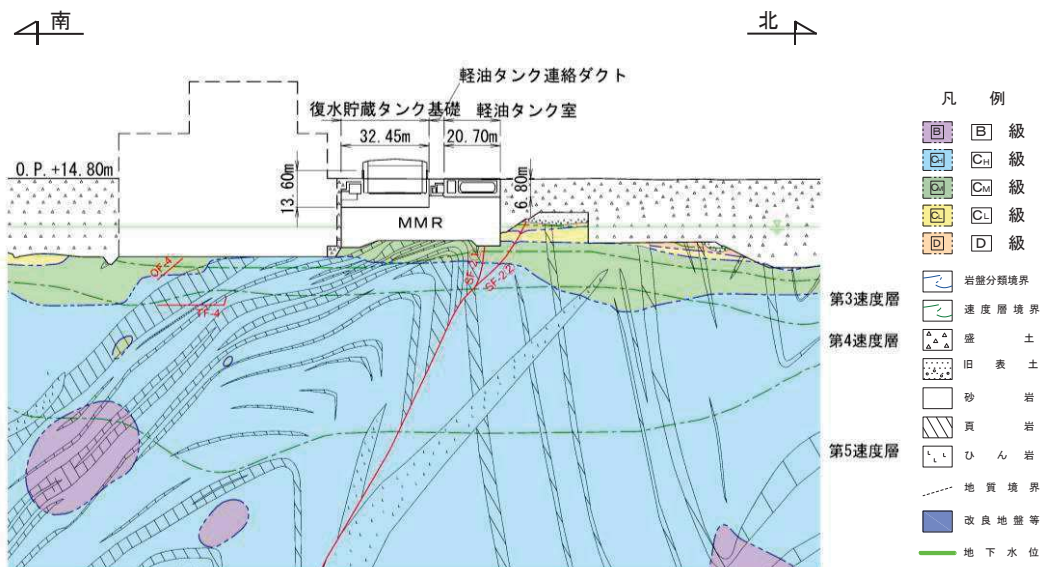


図 4.10-7 復水貯蔵タンク基礎地質断面図 (A-A)

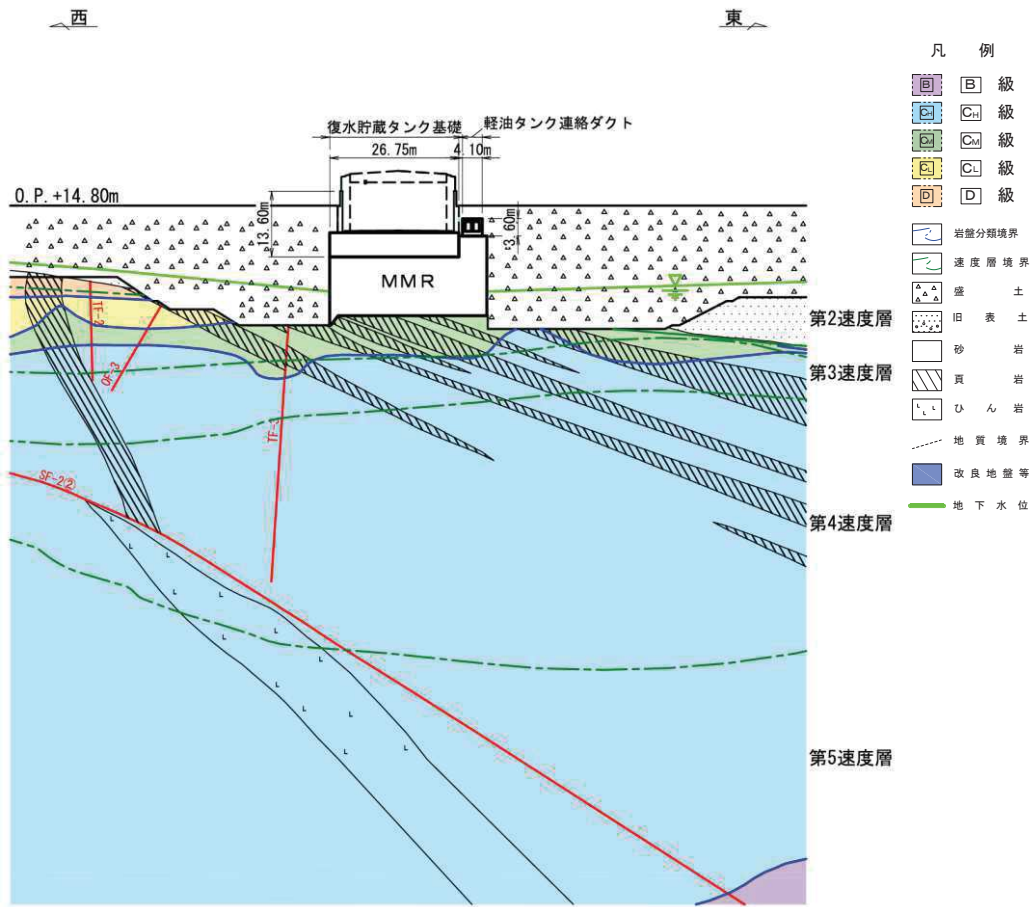


図 4.10-8 復水貯蔵タンク基礎地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

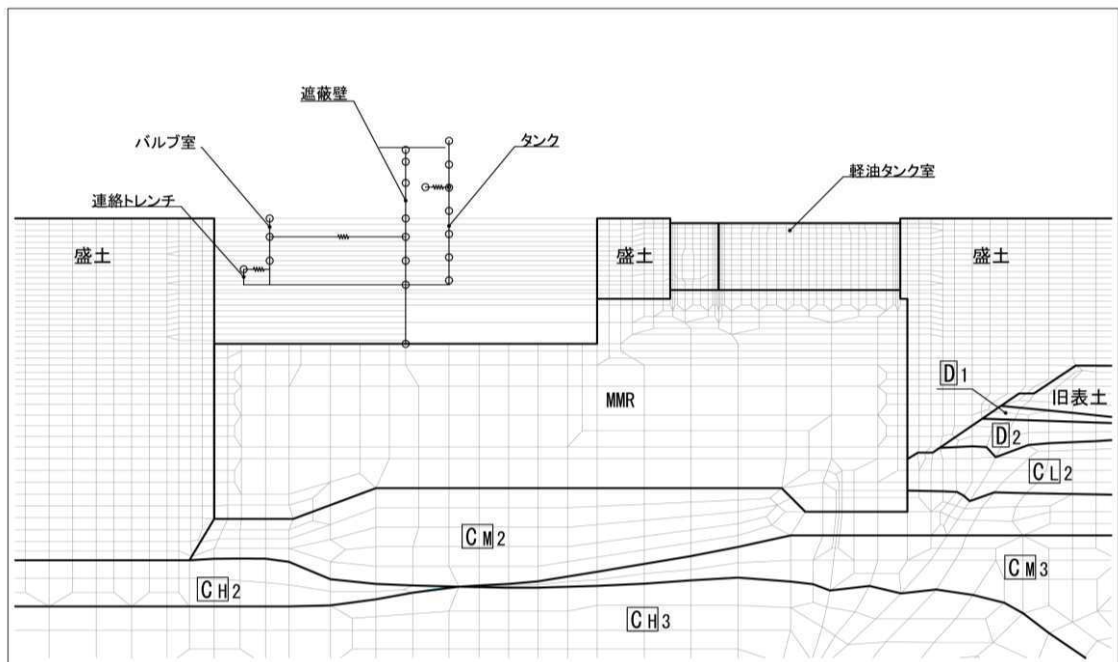
復水貯蔵タンク基礎は、加振方向に平行に配置される妻壁や遮蔽壁等の面部材を有する箱形構造物であり、基礎版上の遮蔽壁、復水貯蔵タンク、連絡トレンチ等の構造部材と等価な剛性を有する質点系の線形はり要素の構造梁にモデル化し(参考図 4.10-1 参照)、二次元地震応答解析により地震時荷重及び床応答を算出すること、また周辺状況の差異もないことから、基礎版上の構成部位のうち荷重の大きい遮蔽壁及び復水貯蔵タンクの中心を通る基礎短辺方向 (EW 方向) 及び基礎長辺方向 (NS 方向) の両断面を地震時荷重算出断面とする。

なお、復水貯蔵タンク基礎の南側には原子炉建屋が、東側には改良地盤が存在するが、保守的な設定として、これらは盛土として耐震評価を行う。

解析手法については、復水貯蔵タンク基礎の南側には原子炉建屋が隣接しており、北側には軽油タンク連絡ダクト、軽油タンク室が隣接し、その外側には盛土が分布する。また、東側・西側にも盛土が分布するものの、地下水位は基礎底板より十分低いことから、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し、三次元モデルに作用させる荷重及び応答加速度等の床応答を算出する。

復水貯蔵タンク基礎の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.10-1

に、地震時荷重算出断面図を図 4.10-9 に示す。



参考図 4.10-1 復水貯蔵タンク基礎 二次元地震応答解析モデル図

表 4.10-1 復水貯蔵タンク基礎 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向	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
基礎短辺 方向 (EW 方向)	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎版上に円筒形の遮蔽壁が設置されており、強軸方向・弱軸方向が明確ではない。</li> <li>基礎の南側に位置する連絡トレンチの横断方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>東側には、軽油タンク連絡ダクトが隣接し、その外側には盛土が一樣に分布している。</li> <li>西側には盛土が一樣に分布している。</li> <li>地下水位は、基礎底版より十分低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>復水貯蔵タンク</li> <li>復水貯蔵タンク水位計</li> <li>高圧炉心スプレイ系配管</li> <li>復水移送系配管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造部材と等価な剛性を有する質点系の線形はり要素の構造梁にモデル化し、二次元地震応答解析により地震時荷重及び床応答を算出すること、また周辺状況の差異もないことから、基礎版上の構成部位のうち荷重の大きい遮蔽壁及び復水貯蔵タンクを中心を通る基礎短辺方向 (EW 方向) の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>
基礎長辺 方向 (NS 方向)	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎版上に円筒形の遮蔽壁が設置されており、強軸方向・弱軸方向が明確ではない。</li> <li>基礎の南側に位置する連絡トレンチの延長方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>北側は軽油タンク連絡ダクト、軽油タンク室が隣接し、その外側は盛土が一樣に分布している。</li> <li>南側には原子炉建屋が隣接している。</li> <li>地下水位は基礎底版より十分低い。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造部材と等価な剛性を有する質点系の線形はり要素の構造梁にモデル化し、二次元地震応答解析により地震時荷重及び床応答を算出すること、また周辺状況の差異もないことから、基礎版上の構成部位のうち荷重の大きい遮蔽壁及び復水貯蔵タンクを中心を通る基礎長辺方向 (NS 方向) の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>

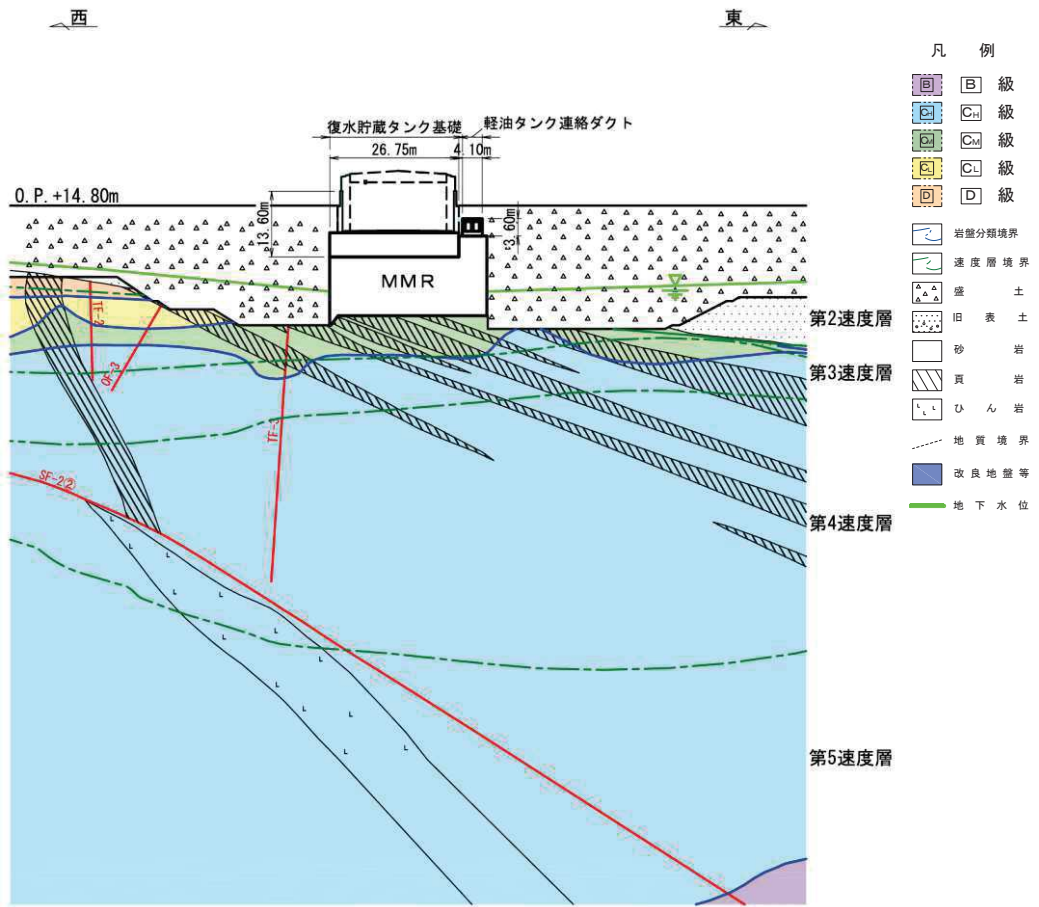


図 4.10-9(1) 復水貯蔵タンク基礎 地震時荷重算出断面図  
(基礎短辺方向 (EW 方向))

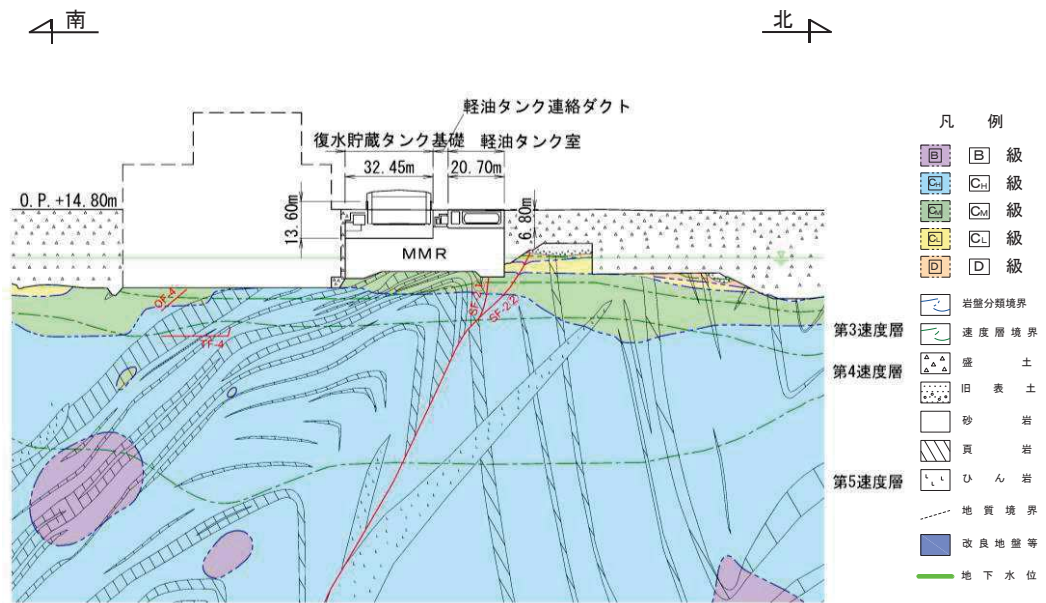


図 4.10-9(2) 復水貯蔵タンク基礎 地震時荷重算出断面図  
(基礎長辺方向 (NS 方向))

#### 4.11 ガスタービン発電設備軽油タンク室

ガスタービン発電設備軽油タンク室の配置図を図 4.11-1 に、平面図を図 4.11-2 に、断面図を図 4.11-3、図 4.11-4 に示す。

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電設備軽油タンク等を間接支持しており、支持機能が要求される。

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、幅 20.30m (EW 方向) × 22.00m (NS 方向)、高さ 7.10m の鉄筋コンクリート造の地中構造物で、三連のボックスカルバート構造であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置する。

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、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箱形構造物であり、三次元モデルにて耐震評価を実施することから、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。耐震評価に用いる三次元モデル図を図 4.11-5 に示す。

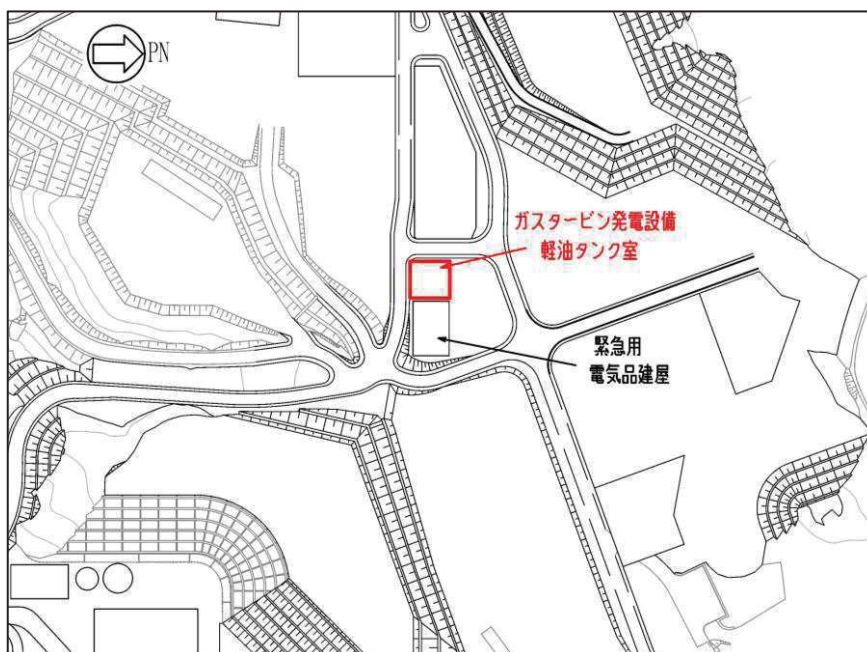


図 4.11-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室配置図



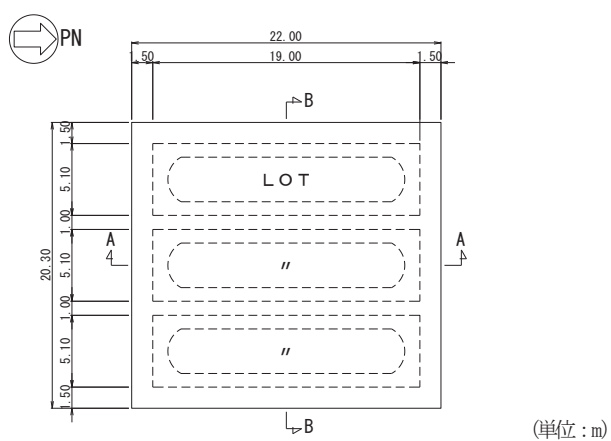


図 4.11-2 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

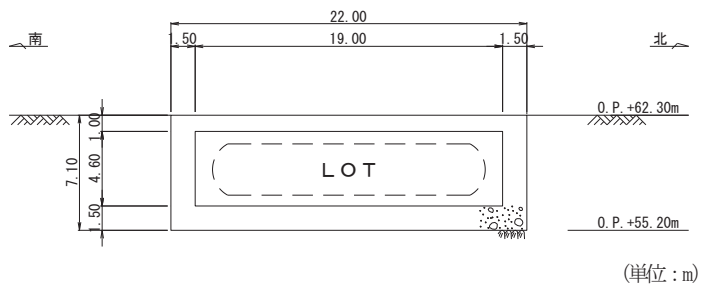


図 4.11-3 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (A-A)

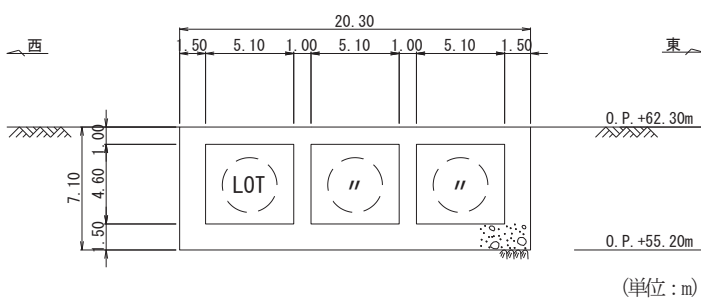


図 4.11-4 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (B-B)

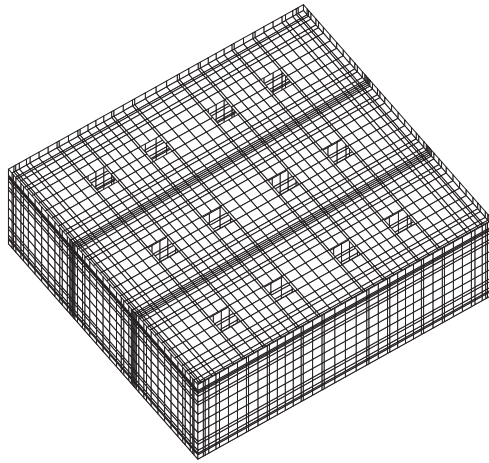


図 4.11-5 ガスタービン発電設備軽油タンク室 三次元モデル図

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、縦断方向（タンク軸方向）に一様な断面の比較的単純な三連のボックスカルバート状の断面であり、縦断方向（タンク軸方向）は、側壁及び隔壁が耐震要素として機能し、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）と比較して、加振方向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、縦断方向（タンク軸方向）が強軸方向となる。一方、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、隔壁間にタンクを格納するため、加振方向に平行に配置され耐震上見込むことができる面部材が縦断方向（タンク軸方向）に比べて少ないことから、横断方向が弱軸方向となる。このため、ガスタービン発電設備軽油タンク室は、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）の断面を候補断面とする。また、ガスタービン発電設備軽油タンク室は、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箱形構造物であり、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ことから、縦断方向（タンク軸方向）の断面も候補断面とする。

また、ガスタービン発電設備軽油タンク室には、ガスタービン発電設備軽油タンク等を間接支持する支持機能が要求されるが、三連のボックスカルバート内に同形状のタンクが均等に配置されているため、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。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の周辺状況として、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、東側に緊急用電気品建屋が隣接し、ガスタービン発電設備軽油タンク室との間は、一様に盛土で埋め戻されている。西側は掘削範囲が一様にセメント改良土で埋め戻され、その外側は地表面まで岩盤が分布している。縦

断方向（タンク軸方向）は，北側は西側と同様であり，南側については，セメント改良土で埋め戻され，その外側には盛土が一様に分布し，岩盤面は下り勾配で傾斜している。また，地下水位は地表面に一様に設定していることから，横断方向・縦断方向ともに，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，床応答の観点からは，横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）と縦断方向（タンク軸方向）は剛性の差があり床応答も異なることから，横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）と縦断方向（タンク軸方向）の両断面を候補断面とする。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の掘削図を図 4.11-6 に，地質断面図を図 4.11-7，図 4.11-8 に示す。

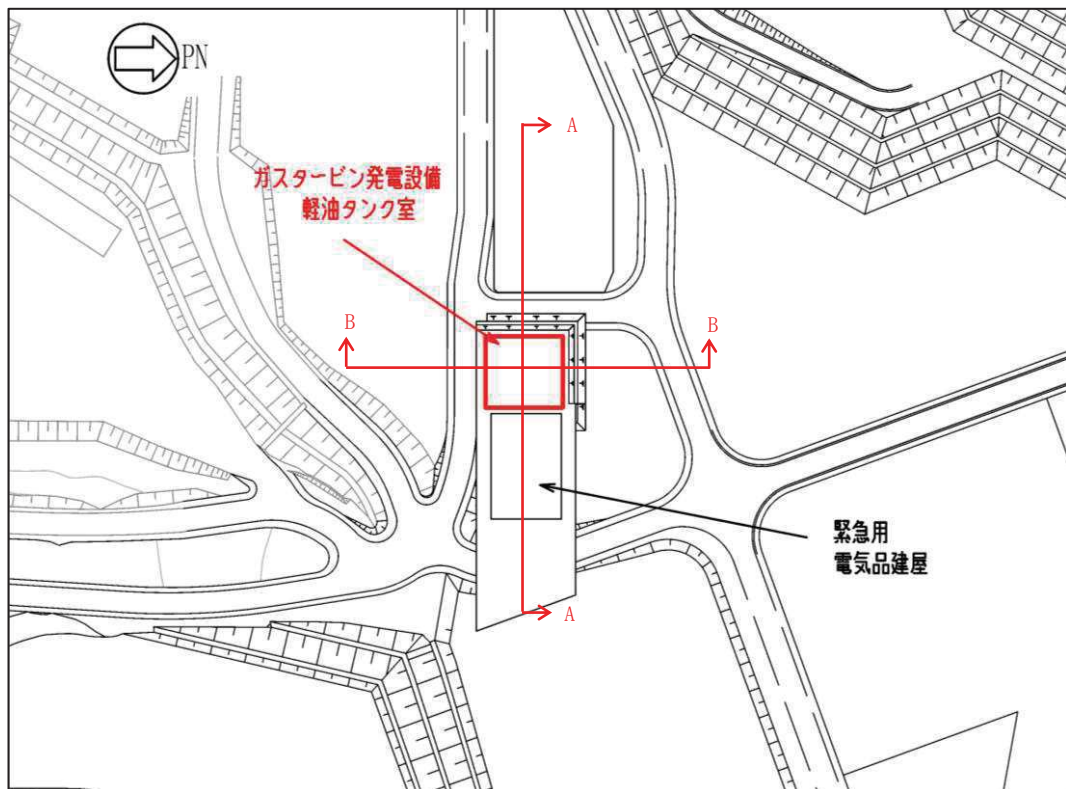


図 4.11-6 ガスタービン発電設備軽油タンク室掘削図

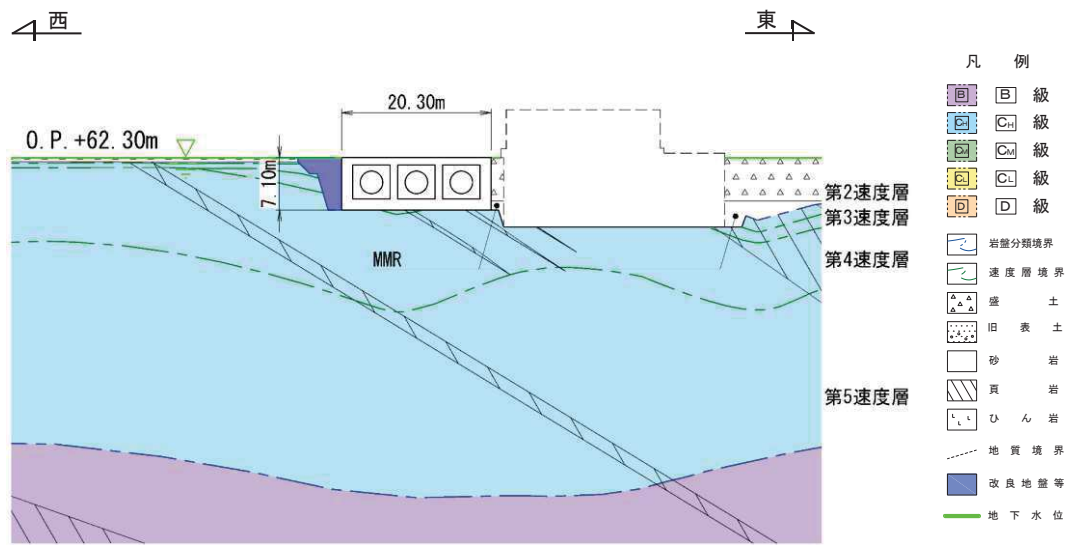


図 4.11-7 ガスタービン発電設備軽油タンク室地質断面図 (A-A)

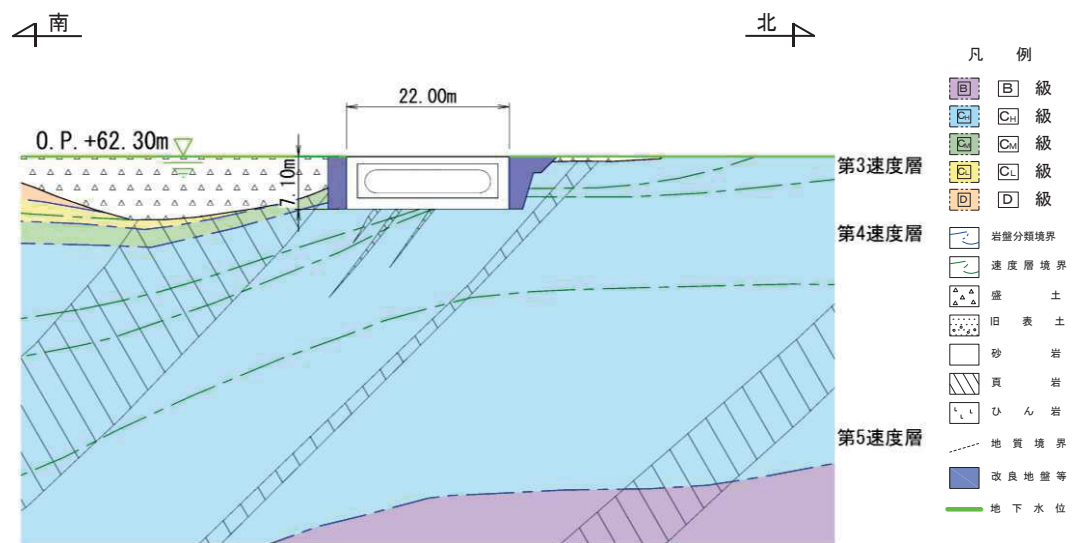


図 4.11-8 ガスタービン発電設備軽油タンク室地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して地震応答解析に反映するが、縦断方向（タンク軸方向）に周辺状況の差異がないことから、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）については、構造物の中心を通る横断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

縦断方向（タンク軸方向）については、軸心を中心とする対称性を有し、周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

なお、ガスタービン発電設備軽油タンク室の東側には緊急用電気品建屋が存在するが、保守的な設定として、緊急用電気品建屋は盛土として耐震評価を行う。

解析手法については、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）の西側は改良地盤とその外側の岩盤に囲まれ、東側は緊急用電気品建屋が隣接していることから、液状化の影響はない。また、縦断方向（タンク軸方向）の北側は改良地盤とその外側の岩盤に囲まれていることから、液状化の影響はない。また、南側は改良地盤に囲まれ、その外側には盛土が分布するものの、さらに南方に向かって岩盤面が下り勾配で傾斜しており、有効応力解析を実施した場合、地盤は南方に変形が残留し、構造物に作用する土圧の影響は小さく評価され危険側の評価となる。このことから、解析手法は安全側への配慮として全応力解析を選定し、三次元モデルに作用させる荷重及び応答加速度等の床応答を算出する。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.11-1 に、地震時荷重算出断面図を図 4.11-9 に示す。

表 4.11-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向	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
横断方向 (タンクの軸方向に 対し直交する方向)	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>一様な断面を有する三連のボックスカルバート構造</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少ないことから弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤に直接設置されている。</li> <li>東側に緊急用電気品建屋が隣接し、その間は盛土により埋戻し がなされている。</li> <li>西側の掘削範囲は、セメント改良土で埋戻しがなされており、 その外側は地表面まで岩盤が分布している。</li> <li>地下水位は地表面に一様に設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガスタービン発電設備 軽油タンク</li> <li>ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ</li> <li>ガスタービン発電設備 燃料移送系配管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺状況の差異がないことから、 構造物の中心を通る横断方向の 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>
縦断方向 (タンク軸方向)	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>一様な断面を有する一連のボックスカルバート構造</li> <li>耐震要素として機能する面部材が多いことから強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤に直接設置されている。</li> <li>北側の掘削範囲は、セメント改良土で埋戻しがなされており、 その外側は地表面まで岩盤が分布している。</li> <li>南側の掘削範囲は、セメント改良土で埋め戻されており、その 外側は盛土が一様に分布し、岩盤面は下り勾配で傾斜している。</li> <li>地下水位は地表面に一様に設定している。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸心を中心とする対称性を有し、 また周辺状況の差異もないことから、 構造物の中心を通る縦断方向の 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>

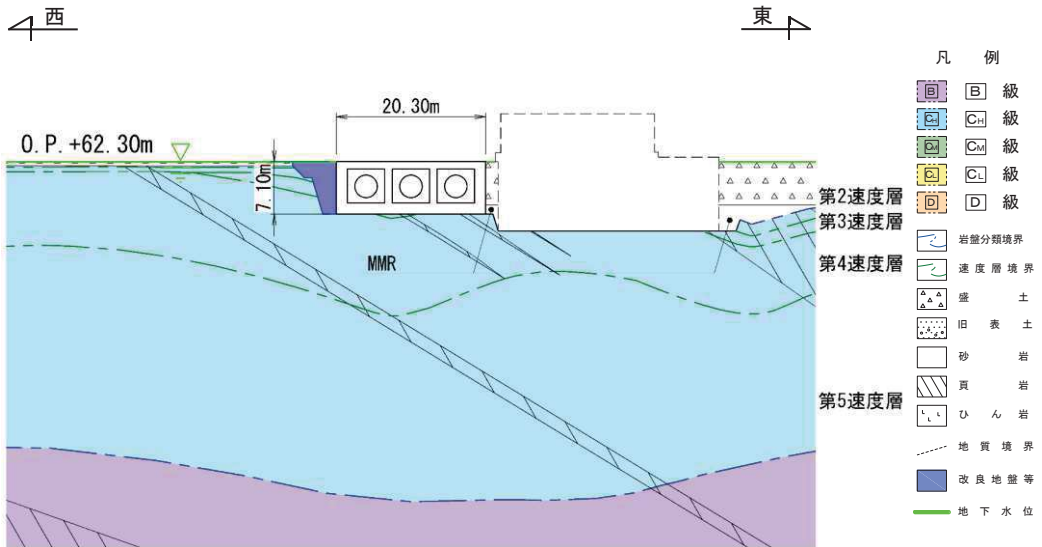


図 4.11-9(1) ガスタービン発電設備軽油タンク室 地震時荷重算出断面図  
(タンクの軸方向に対し直交する方向)

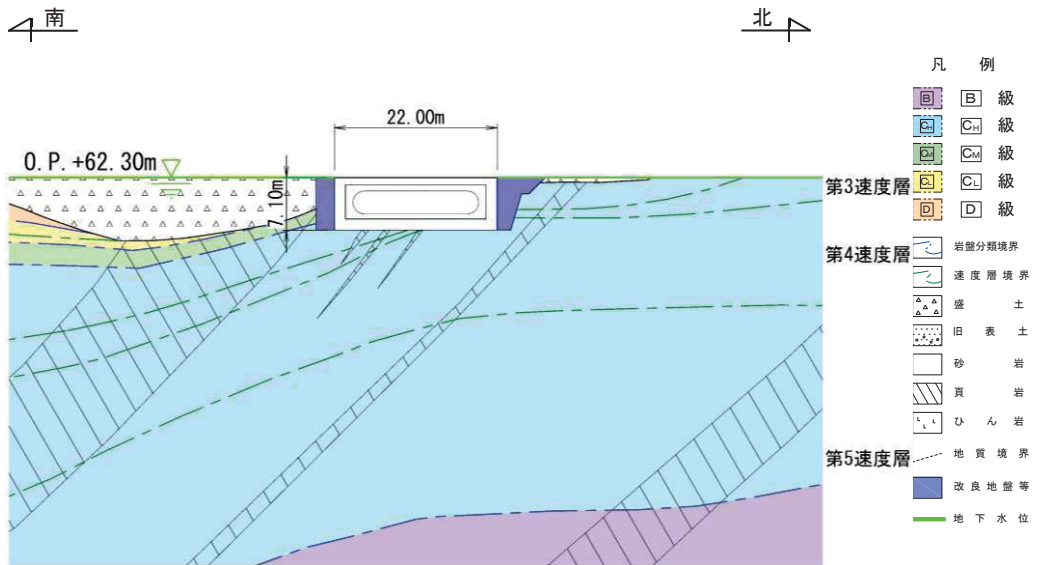


図 4.11-9(2) ガスタービン発電設備軽油タンク室 地震時荷重算出断面図  
(タンク軸方向)

#### 4.12 第3号機海水ポンプ室

第3号機海水ポンプ室の配置図を図4.12-1に、平面図を図4.12-2に、縦断面図を図4.12-3に、断面図を図4.12-4、図4.12-5に示す。

第3号機海水ポンプ室は、耐震重要施設である防潮壁（第3号機海水ポンプ室）等を間接支持する支持機能、及び浸水防止のための止水機能が要求される。

第3号機海水ポンプ室は、延長55.00m、幅32.10m、高さ29.00mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、上流側より、スクリーンエリア、循環水ポンプエリアの2つのエリアにて構成され、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。

第3号機海水ポンプ室は、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箱形構造物であり、三次元モデルにて耐震評価を実施することから、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。耐震評価に用いる三次元モデル図を図4.12-6に示す。



図4.12-1 第3号機海水ポンプ室配置図



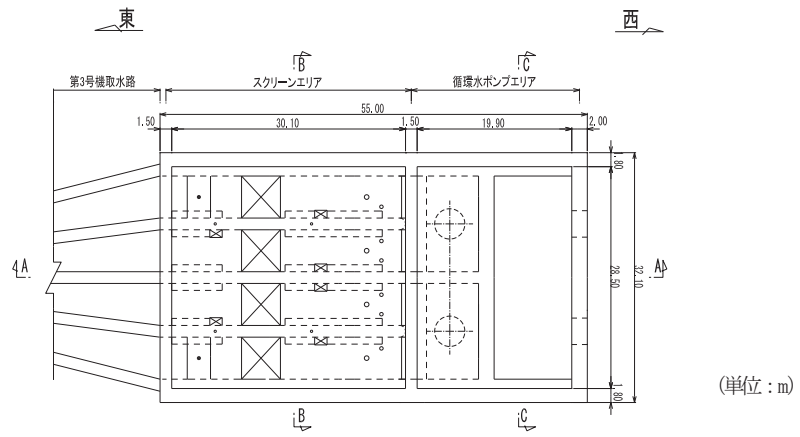


図 4.12-2 第 3 号機海水ポンプ室平面図

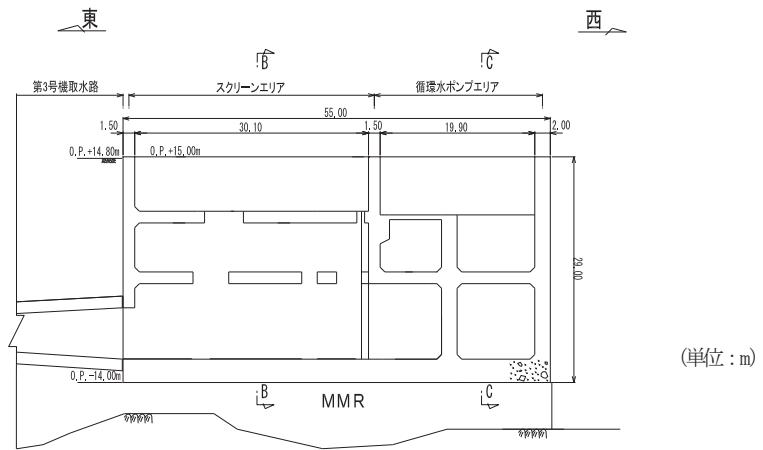


図 4.12-3 第 3 号機海水ポンプ室縦断図 (A-A)

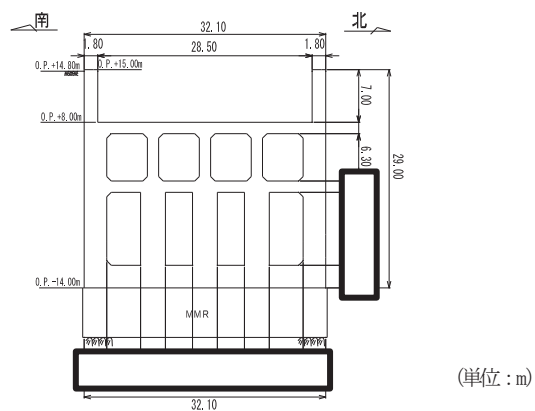


図 4.12-4 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (B-B)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

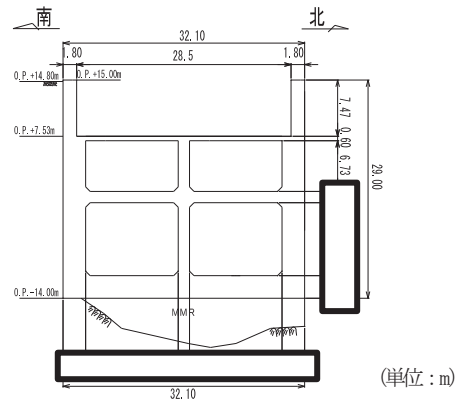


図 4.12-5 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (C-C)

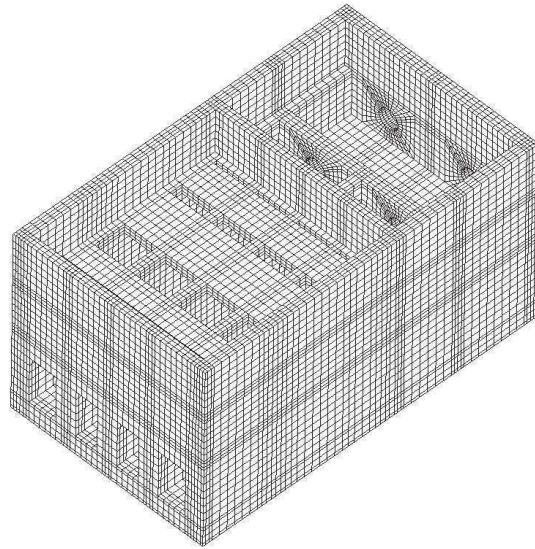


図 4.12-6 第 3 号機海水ポンプ室 三次元モデル図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(1) 候補断面の整理

「4.1 方針」に従い、候補断面を整理する。

第3号機海水ポンプ室は、地下2階または地下3階構造となっており、上部はスクリーンエリア及び循環水ポンプエリアの2エリアに分かれている。下部は水路となっており、スクリーンエリアの下部は四連のボックスカルバート構造、補機ポンプエリアの下部は二連のボックスカルバート構造となっている。また、上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置レベルが異なる等、複雑な構造となっている。

構造的特徴の観点から、第3号機海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される面部材は耐震要素として機能するため、第3号機海水ポンプ室の延長方向加振に対しては、側壁に加え、水路部の隔壁が耐震要素として機能し、縦断方向（EW方向）が強軸方向となる。一方、横断方向加振に対しては、耐震要素として機能する面部材は妻壁と上部の隔壁のみであり、耐震上見込むことができる面部材が縦断方向（EW方向）に比べて少ないことから、横断方向（NS方向）が弱軸方向となる。

横断方向（NS方向）については、スクリーンエリア、循環水ポンプエリアのそれぞれで剛性の差があり、各エリアでの剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすことから、地震時荷重及び床応答を算出するための二次元地震応答解析は、各エリアで構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して実施することとし、各エリアの横断方向（NS方向）の断面を候補断面とする。また、第3号機海水ポンプ室は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箱形構造物であり、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ことから、縦断方向（EW方向）の断面も候補断面とする。

第3号機海水ポンプ室に要求される機能は、スクリーンエリアと循環水ポンプエリアとの隔壁に防潮壁を間接支持する等の支持機能と止水機能が要求され、循環水ポンプエリアの中床版には止水機能が要求される。

第3号機海水ポンプ室の周辺状況として、東側は第3号機取水路と接続し、その外側には防潮堤が設置されている。また、西側には第3号機原子炉建屋及び第3号機タービン建屋が、北側には第3号機海水熱交換器建屋が設置されており、第3号機海水ポンプ室とこれらの周辺構造物との間は一様に盛土で埋め戻されている。地下水位は、第3号機海水ポンプ室の延長方向にほぼ一様であるものの、第3号機海水ポンプ室周辺の掘削形状は延長方向に異なり、掘削幅は西側が東側より広がっており、構造物に接する盛土の幅の差異があることから、断面選定の観点として周辺状況の影響を考慮する。

さらに、床応答の観点から、横断方向（NS方向）と縦断方向（EW方向）は剛性の差があり床応答も異なることから、横断方向（NS方向）と縦断方向（EW方向）の

両断面を候補断面とする。

第3号機海水ポンプ室の掘削図を図4.12-7に、第3号機海水ポンプ室の地質断面図を図4.12-8、図4.12-9に示す。

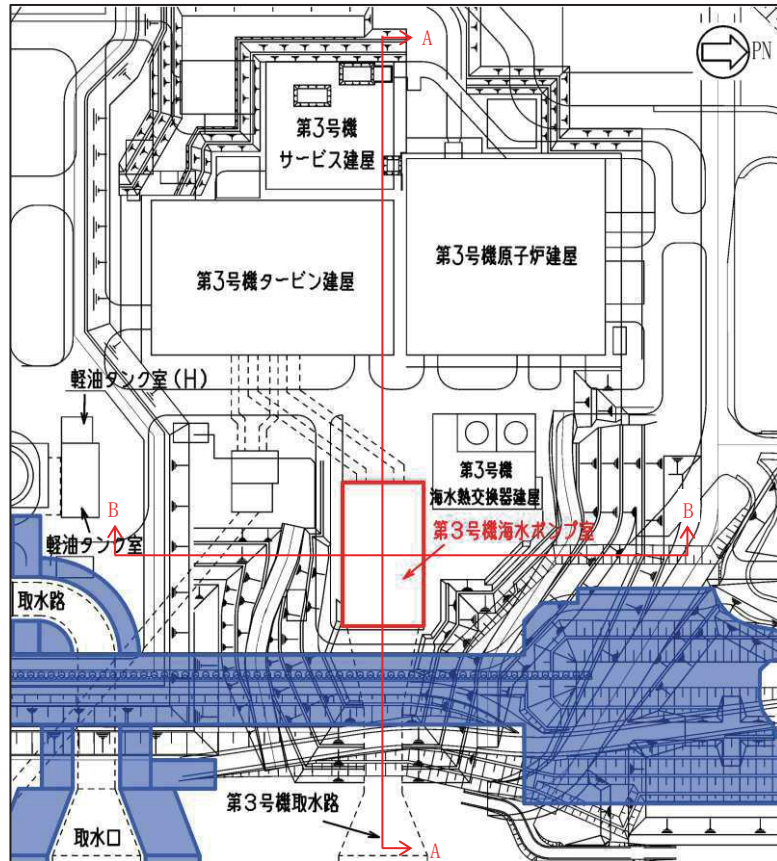


図4.12-7 第3号機海水ポンプ室掘削図

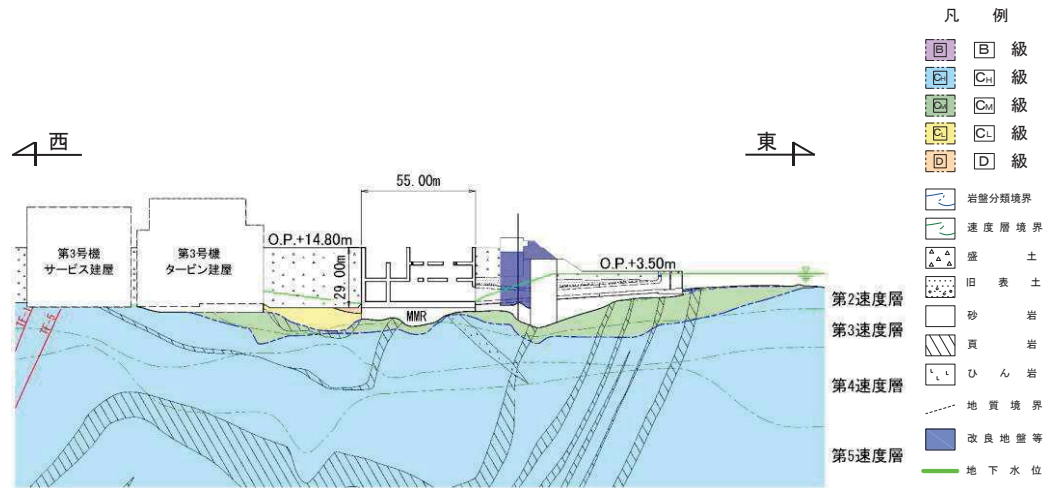


図 4.12-8 第 3 号機海水ポンプ室地質断面図 (A-A)

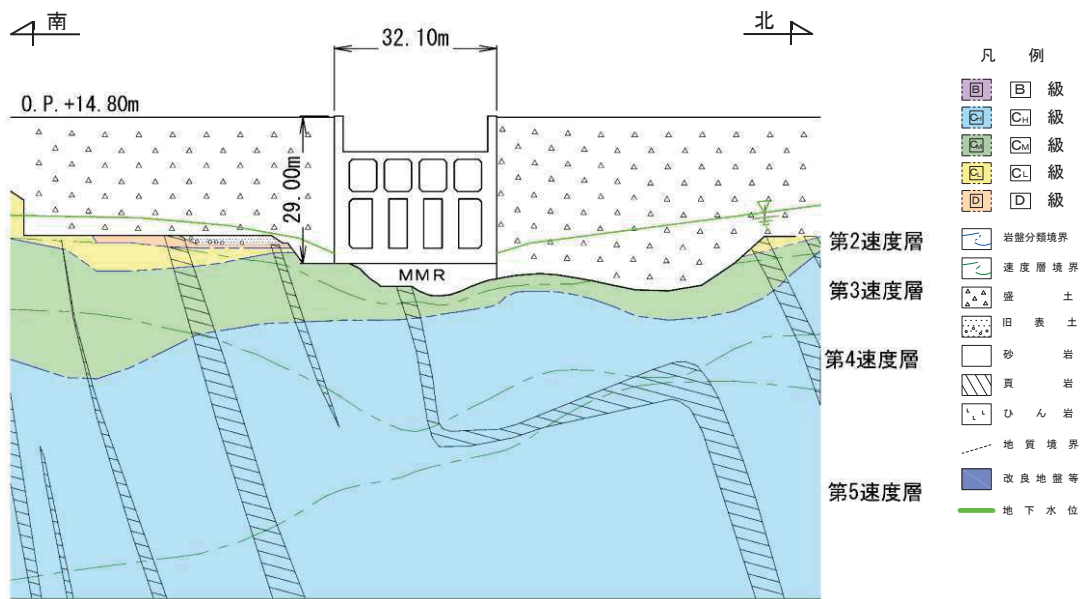


図 4.12-9 第 3 号機海水ポンプ室地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

横断方向については、三次元モデルに作用させる地震時荷重及び床応答の算出において、構造物は各エリアで二次元等価剛性モデルを作成して地震応答解析に反映する。地盤モデルについては、第3号機海水ポンプ室周辺の掘削形状は延長方向に異なり、西側が東側より広く掘削され盛土で埋め戻されており、地震時の土圧も大きいことが想定されることから、構造物の西側に位置する循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を各エリアの代表として、地震時荷重算出断面とする。

縦断方向については、軸心を中心とする対称性を有し、また周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

なお、第3号機海水ポンプ室の東側には、第3号機取水路及び防潮堤が存在するが、保守的な設定として、これらは盛土として耐震評価を行う。

解析手法については、第3号機海水ポンプ室周辺は液状化検討対象層が分布するものの、地下水位は延長方向にほぼ一様であるとともに、横断方向及び縦断方向の西側は、構造物底版と同程度に地表面から十分深い位置にある。また、縦断方向の東側の地下水位は比較的高いものの、第3号機海水ポンプ室の東側には第3号機取水路が設置され、その外側には防潮堤が設置されていることから、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し、三次元モデルに作用させる荷重及び応答加速度等の床応答を算出する。

第3号機海水ポンプ室の地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果を表 4.12-1 に、地震時荷重算出断面図を図 4.12-10 に示す。

表 4.12-1 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定結果

方向		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
横断方向 (NS 方向)	スクリーン エリア	支持機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下3階構造で、下部は四連のカルバート構造、上部は開口部を有する中床版が設置されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>周辺は盛土で埋め戻されており、盛土で埋め戻されている範囲が循環水ポンプエリアより狭い。</li> <li>地下水位は延長方向にほぼ一様であり、構造物底版と同程度に地表面から十分深い位置にある。</li> </ul>	・防潮壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>盛土により埋め戻されている範囲が広い循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を、横断方向の代表断面とし、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スクリーンエリアの剛性を考慮する。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>
	循環水ポンプ エリア	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、下部は二連のカルバート構造、上部は中床版が設置されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>周辺は盛土で埋め戻されており、盛土で埋め戻されている範囲がスクリーンエリアより広い。</li> <li>地下水位は延長方向にほぼ一様であり、構造物底版と同程度に地表面から十分深い位置にある。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>盛土により埋め戻されている範囲が広い循環水ポンプエリアの中心を通る横断方向の断面を、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循環水ポンプエリアの剛性を考慮する。 (解析手法：全応力解析)</li> </ul>
縦断方向 (EW 方向)		同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下2階または地下3階の構造で、上部は、上記の2エリアに分かれており、下部は水路となっている。</li> <li>側壁、隔壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMR を介して岩盤に支持されている。</li> <li>東側には第3号機取水路及び防潮堤が設置されている。</li> <li>地下水位は構造物底版と同程度に地表面から十分深い位置にある。また、東側の地下水位は比較的高い。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸心を中心とする対称性を有し、また周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る縦断方向の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>

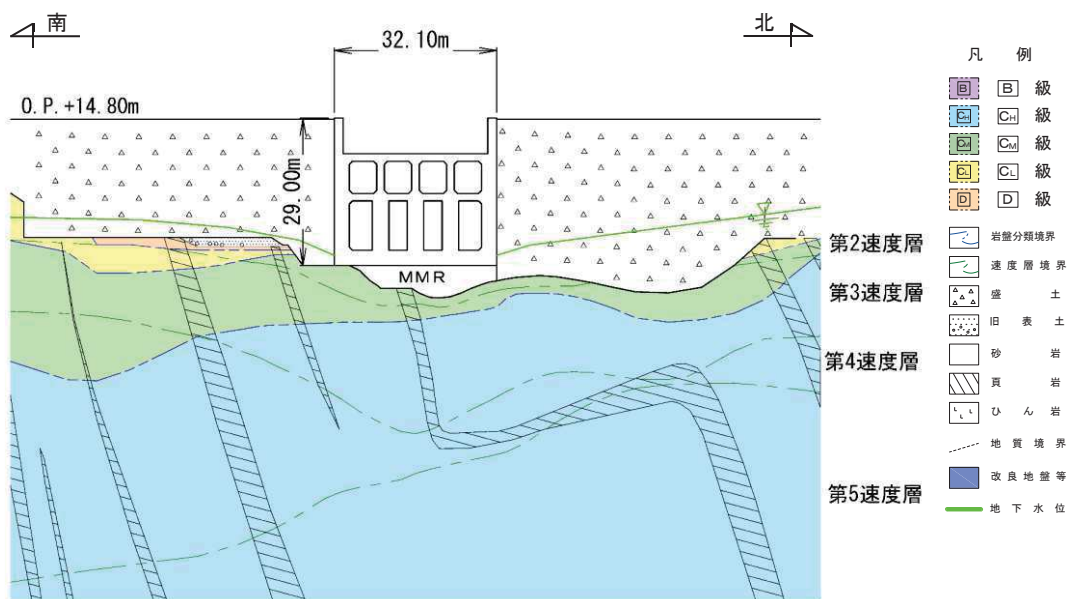


図 4.12-10(1) 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図  
(横断方向：スクリーンエリア)

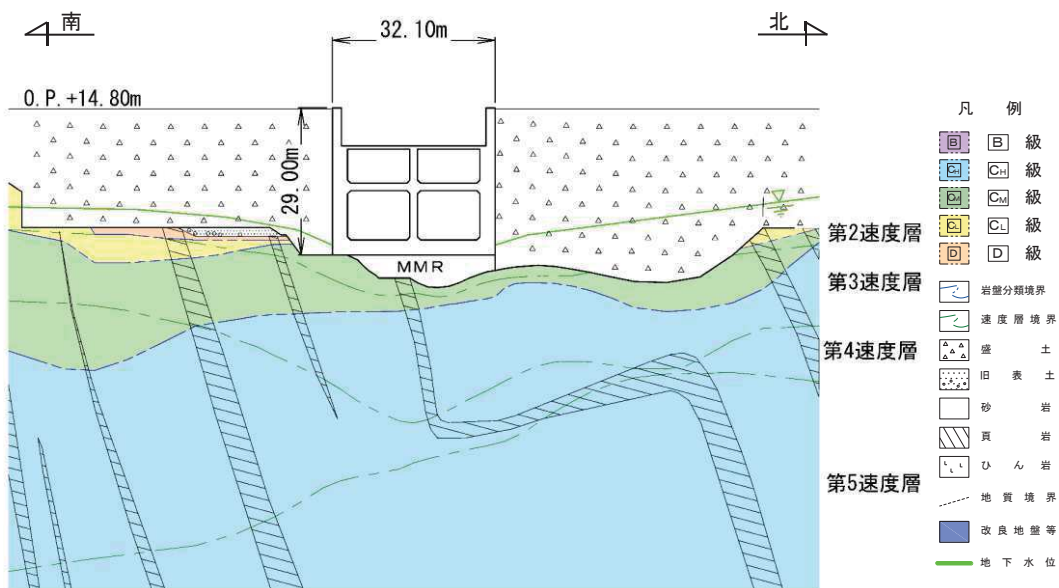


図 4.12-10(2) 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図  
(横断方向：循環水ポンプエリア)



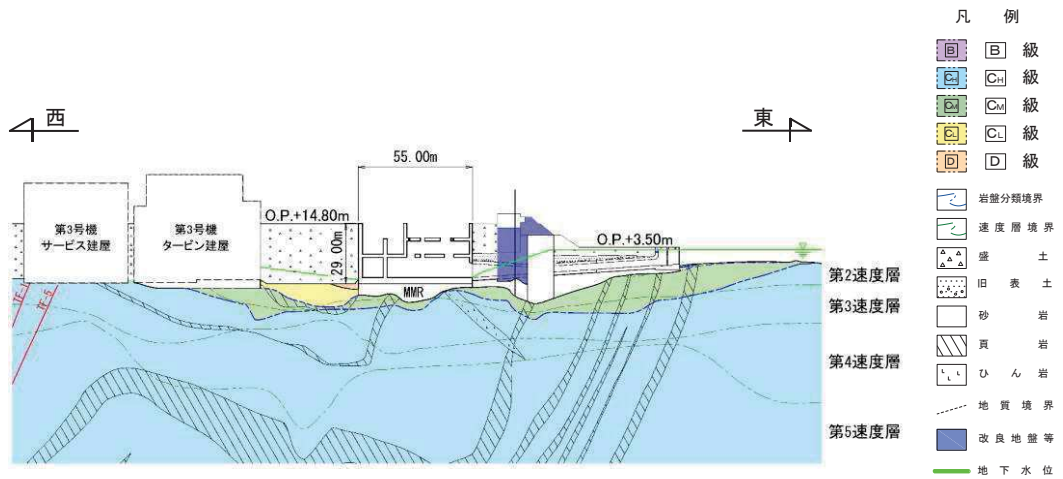


図 4.12-10(3) 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図 (縦断方向)

## 5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法

屋外重要土木構造物，常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備のうち土木構造物，常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）のうち土木構造物（以上の何れかに該当するか，又は兼ねる構造物を「屋外重要土木構造物等」という。）の耐震安全性評価においては，地盤物性及び材料物性のばらつきを適切に考慮する必要がある。

本章では，屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法について記載する。

なお，液状化強度特性については下限値を設定しており，最も液状化の影響が大きい物性を採用していること，さらには，「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」において，全応力解析と有効応力解析の比較を行い，保守的な評価となる手法を選択する過程を経ることにより，非液状化の場合の検討を事前に行っていることから，液状化強度特性のばらつきは考慮しない。

### 5.1 耐震安全性評価における解析ケース

屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮は，評価対象構造物の周辺の地盤状況に応じて 2 パターンに分類し，表 5.1-1 及び表 5.1-2 に示す解析ケースにて行う。

#### (1) 評価対象構造物の周辺の地盤状況に応じた解析ケース（パターン 1，2）

屋外重要土木構造物等の地震時の応答は，構造物と周辺地盤の相互作用によることから，地盤物性のばらつきの影響を評価するに当たっては，解析モデルに分布する地盤のうち，主に構造物の応答に支配的となる地盤を選定することとし，構造物周辺の地盤状況に応じて，以下に示す 2 パターンとする。各パターンの参考例を図 5.1-1 及び図 5.1-2 に示す。

- ・パターン 1：評価対象構造物周辺に主として旧表土，盛土，**D**級岩盤，セメント改良土及び改良地盤といった，動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布し，これらの地盤が地震時に構造物への応答に大きく影響を与えると判断される場合は，これらの物性のばらつきについて影響を確認する。

（例：開削工法により構築し，上記地盤によって埋め戻された線状構造物又は箱形構造物）

- ・パターン 2：評価対象構造物周辺に主として，**C<sub>I</sub>**級岩盤，**C<sub>M</sub>**級岩盤，**C<sub>H</sub>**級岩盤及び **B**級岩盤が分布し，これらの地盤が地震時に構造物への応答に大きく影響を与えると判断される場合は，これらの物性のばらつきについて影響を確認する。

（例：トンネル工法により構築された岩盤トンネル）

- (2) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（表 5.1-1 及び表 5.1-2 に示すケース②, ③）

屋外重要土木構造物等は、主に地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物であり、構造物の耐震性に支配的な損傷モードは地盤のせん断変形を伴う構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊となる。そのため、ばらつきを考慮する物性値は、(1) で示した 2 パターンのとおり、構造物周辺の地盤状況に応じて対象とする地盤について、地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし、平均値を基本ケース（表 5.1-1 及び表 5.1-2 に示すケース①）とした場合に加えて、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差( $\sigma$ )のケースについて確認を行う。

ばらつきの設定方法の詳細は、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示す。

- (3) 材料物性のばらつきを考慮した解析ケース（表 5.1-1 及び表 5.1-2 に示すケース④, ⑤）

材料物性のばらつきについては、剛性を定義するコンクリートのヤング係数が、コンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、コンクリートの設計基準強度を基本ケースとし、ヤング係数をコンクリートの実強度に対応して定めたケースについて確認を行う（表 5.1-1 及び表 5.1-2 に示すケース④）。

また、建物・構築物で考慮しているコンクリートの初期剛性低下を考慮したケースを行い、機器・配管系の耐震評価において影響を確認する（表 5.1-1 及び表 5.1-2 に示すケース⑤）。屋外重要土木構造物等の耐震評価については、主たる荷重である土圧は構造物の剛性が小さい程小さく評価され、危険側の評価となることから、初期剛性低下の影響は考慮しない。

なお、新設の構造物については許容応力度法による設計を行うなど、裕度を確保した設計とすることから、材料物性のばらつきを考慮した構造解析は実施しないが、機器・配管系の耐震評価においては、文献を参照し推定した圧縮強度\*に対応して定めたヤング係数を用いて地震応答解析を行い評価する。

注記\*：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所における鉄筋コンクリート工事（日本建築学会，2013）又は日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準（日本原子力学会，2015）より推定した圧縮強度（詳細は、「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」に示す。）

表 5.1-1 耐震安全性評価における解析ケース

(パターン 1：構造物周辺に旧表土，盛土，**D**級岩盤等が分布する場合)

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ ：ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土，盛土， <b>D</b> 級岩盤， セメント改良土，改良地盤 ( $G_0$ ：初期せん断弾性係数)	<b>C<sub>L</sub></b> 級岩盤， <b>C<sub>M</sub></b> 級岩盤， <b>C<sub>H</sub></b> 級岩盤， <b>B</b> 級岩盤 ( $G_d$ ：動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	初期剛性低下考慮	平均値	平均値

注記\*1：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

\*2：機器・配管系の耐震安全性評価に適用する。

表 5.1-2 耐震安全性評価における解析ケース

(パターン 2：構造物周辺に**C<sub>L</sub>**級岩盤～**B**級岩盤が分布する場合)

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ ：ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土，盛土， <b>D</b> 級岩盤， セメント改良土，改良地盤 ( $G_0$ ：初期せん断弾性係数)	<b>C<sub>L</sub></b> 級岩盤， <b>C<sub>M</sub></b> 級岩盤， <b>C<sub>H</sub></b> 級岩盤， <b>B</b> 級岩盤 ( $G_d$ ：動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値	平均値 + 1 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値	平均値 - 1 $\sigma$
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	初期剛性低下考慮	平均値	平均値

注記\*1：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

\*2：機器・配管系の耐震安全性評価に適用する。

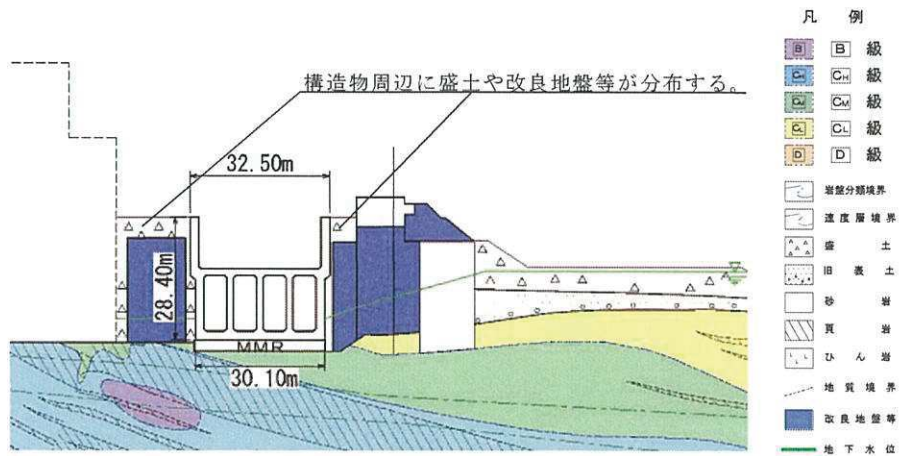


図 5.1-1 (参考例) パターン 1: 海水ポンプ室の例

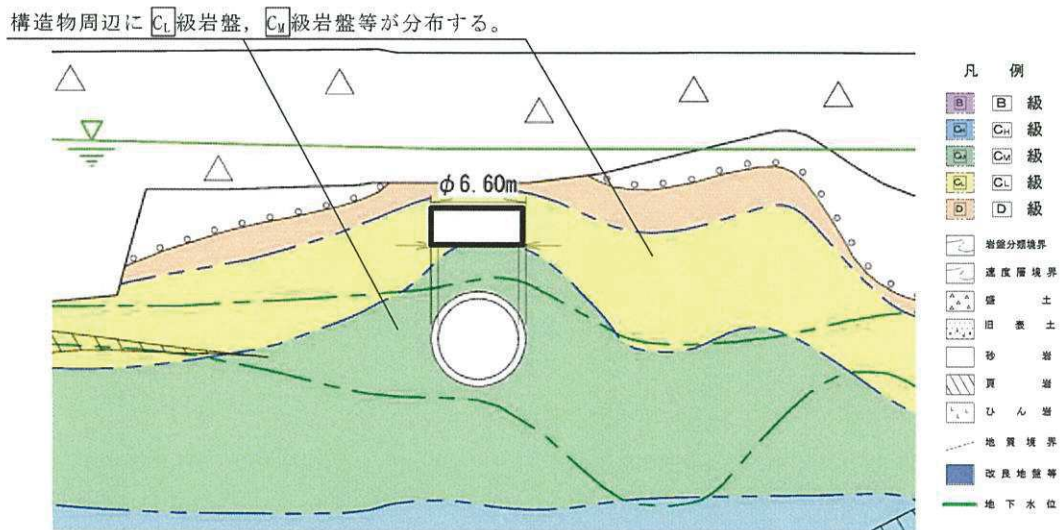


図 5.1-2 (参考例) パターン 2: 排気筒連絡ダクト (岩盤部) の例

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 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

屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価においては、基準地震動  $S_s$  (7波) 及びこれらに水平動の位相反転を考慮した地震動 (7波) を加えた全 14 波を用いてケース① (基本ケース) を実施する。

上記のケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動\*を用いて、図 5.2-1 に示すケース②～④を実施する。

耐震安全性評価に対する解析ケースの組合せを図 5.2-1 及び表 5.2-1 に示す。

注記\*：各要求機能 (支持機能, 通水機能, 貯水機能, 止水機能) により許容限界は異なるが、各照査項目に対して、許容限界に対する余裕が最も小さくなる地震動を選定する。

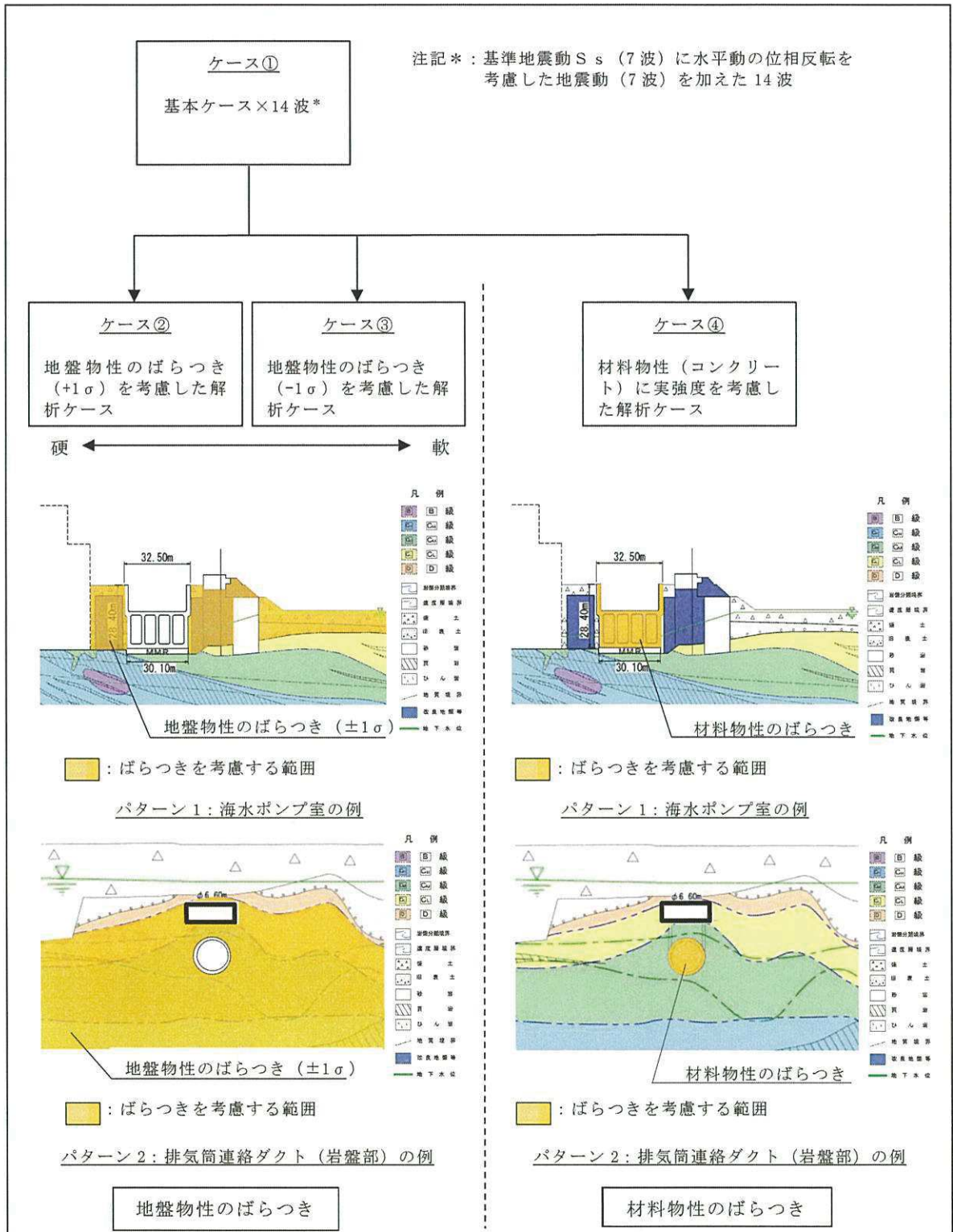


図 5.2-1 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケース

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 5.2-1 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

解析ケース		ケース②*2		ケース③*2		ケース④*2	
		地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース		材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値+1σ		平均値-1σ		平均値	
材料物性		設計基準強度		設計基準強度		実強度に基づく圧縮強度	
地震動 (位相) *1	S <sub>s</sub> -D1	++	1	1	1	1	
		-+	1	1	1	1	
	S <sub>s</sub> -D2	++	1	1	1	1	
		-+	1	1	1	1	
	S <sub>s</sub> -D3	++	1	1	1	1	
		-+	1	1	1	1	
	S <sub>s</sub> -F1	++	1	1	1	1	
		-+	1	1	1	1	
	S <sub>s</sub> -F2	++	1	1	1	1	
		-+	1	1	1	1	
	S <sub>s</sub> -F3	++	1	1	1	1	
		-+	1	1	1	1	
	S <sub>s</sub> -N1	++	1	1	1	1	
		-+	1	1	1	1	

注記\*1：地震動の位相について（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

\*2：基準地震動 S<sub>s</sub>（7波）及び水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全 14 波により照査を行ったケース①（基本ケース）の結果から，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して，最も厳しい地震動を用いてケース②～④を実施する。



### 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

屋外重要土木構造物等に支持される機器・配管系の耐震安全性評価に適用する，床応答への保守的な配慮として，基準地震動  $S_s$ （7波）を用いて図 5.3-1 に示すケース②～⑤の解析を実施する。

機器・配管系の耐震安全性評価に適用するケースの組合せを図 5.3-1 及び表 5.3-1 に示す。

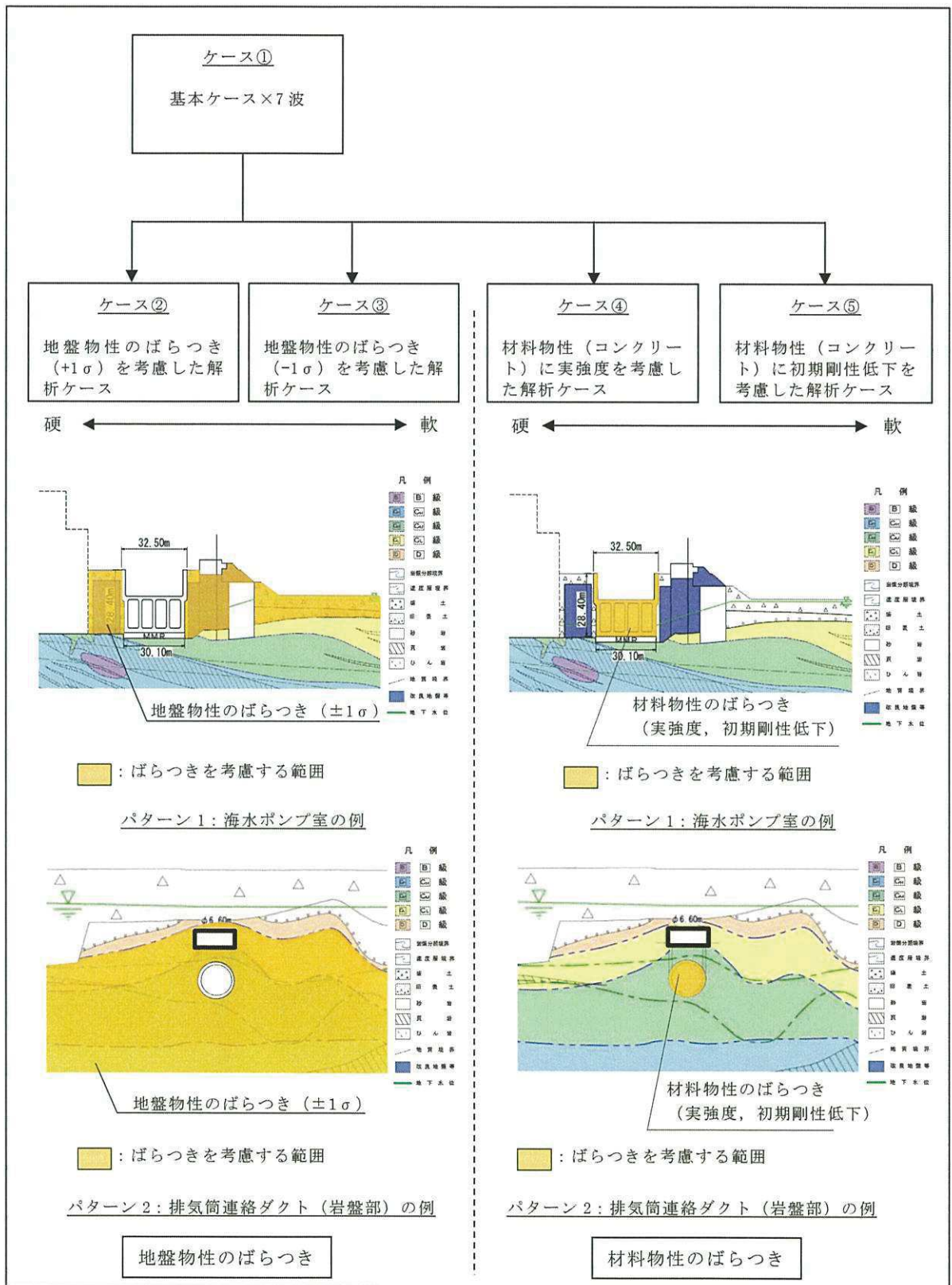


図 5.3-1 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 5.3-1 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース

解析ケース			ケース②	ケース③	ケース④*	ケース⑤
			地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) に初期剛性低下を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値 + 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$	平均値	平均値
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度	初期剛性低下考慮
地震動 (位相)	S s - D 1	++	1	1	1	1
	S s - D 2	++	1	1	1	1
	S s - D 3	++	1	1	1	1
	S s - F 1	++	1	1	1	1
	S s - F 2	++	1	1	1	1
	S s - F 3	++	1	1	1	1
	S s - N 1	++	1	1	1	1

注記\*：新設の構造物については，文献を参照し推定した圧縮強度とする。

## 6. 許容限界について

屋外重要土木構造物，常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備のうち土木構造物，常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）のうち土木構造物（以上の何れかに該当するか，又は兼ねる構造物を「屋外重要土木構造物等」という。）の耐震安全性評価は，「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」に示すとおり，各構造物の要求機能と要求機能に応じた許容限界を設定し照査を行う。

耐震安全性評価は，許容応力度法又は限界状態設計法を用いることとし，各構造物の解析手法に応じて使い分ける。

### 6.1 許容応力度法による耐震安全性評価について

許容応力度法を用いて耐震安全性評価を行う場合，短期許容応力度を許容限界とし，発生応力度が許容限界以下であることを確認する。その場合，構造物を構成する各部材はおおむね弾性状態にあり，限界状態又は終局状態に至らないことは自明であるため，各要求機能の全てを満足することとなり，個別の要求機能に応じた許容限界の設定は不要である。

なお，許容応力度法を用いた曲げ・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，「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）」（以下「コンクリート標準示方書 2002」という。）に基づき，各部材（材料）に許容応力度及び短期許容応力度を設定して行う。屋外重要土木構造物等に適用する各部材（材料）の許容応力度，割増し係数及び短期許容応力度を表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 屋外重要土木構造物等に適用する各部材（材料）の許容応力度，割増し係数及び短期許容応力度

部材 (材料)	規格	項目	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	割増し係数*1	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	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
コンクリート	設計基準強度*2 f'ck=20.5N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ 圧縮応力度	7.8	1.5	11.7	○	-	○	-
		許容せん断応力度	0.42	1.5	0.630				
	設計基準強度 f'ck=24N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ 圧縮応力度	9.0	1.5	13.5	-	○	-	○
		許容せん断応力度	0.45	1.5	0.675				
鉄筋	SD345	許容引張応力度	196	1.5	294	○	○	○	○
		許容引張応力度 (せん断補強筋)	196	1.5	294				

注記\*1：設計に用いる許容応力度は地震の影響を考慮した荷重の組合せに対して割増し係数を乗じた値とすることが規格，基準類に記載されている。

\*2：設計基準強度 f'ck=20.5 N/mm<sup>2</sup> に対する許容応力度は，コンクリート標準示方書 2002 に示される許容応力度を内挿して定める。

## 6.2 限界状態設計法による照査

限界状態設計法を用いて耐震安全性評価を行う屋外重要土木構造物等においては、各部材に適用する要求機能に応じて許容限界が異なることから、要求機能に応じた許容限界を設定する。

なお、各許容限界は、既工認実績のある「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）」（以下「土木学会マニュアル2005」という。），J E A G 4 6 0 1 -1987 及びコンクリート標準示方書 2002 等を参照のうえ設定しており、このうち耐震設計に係る工認審査ガイドに記載のない土木学会マニュアル 2005 の適用性は、「6.3 土木学会マニュアル 2005 の適用性について」に示す。

### 6.2.1 支持機能

支持機能は、部材が終局状態に至らない状態を想定する。また、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、断面降伏以下の部材状態を想定する。

部材状態に応じた許容限界として、終局状態に対する許容限界に加え、主筋のひずみが降伏強度に対応するひずみ以下等の許容限界を追加する（表 6.2.1-1 参照）。

表 6.2.1-1 支持機能の許容限界

破壊モード	許容限界		備考
	指標	許容値	
曲げ・軸力系の破壊	コンクリートの圧縮ひずみ	2000 $\mu$	おおむね弾性範囲となる許容限界であり、コンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されている。
	主筋ひずみ	1725 $\mu$ (SD345)	
せん断破壊	層間変形角 (面内)	2/1000	J E A G 4 6 0 1 -1987 において、耐震壁の支持機能に対する許容限界として規定されている。
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されている。

曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 2000  $\mu$  と、鉄筋の降伏強度に対応するひずみ 1725  $\mu$  とすることにより、部材が断面降伏に至らないことを確認する。

許容限界として設定した値をコンクリートの応力-ひずみ曲線、鉄筋及び構造用鋼材の応力-ひずみ曲線で示すと図 6.2.1-1 及び図 6.2.1-2 のとおりとなる。

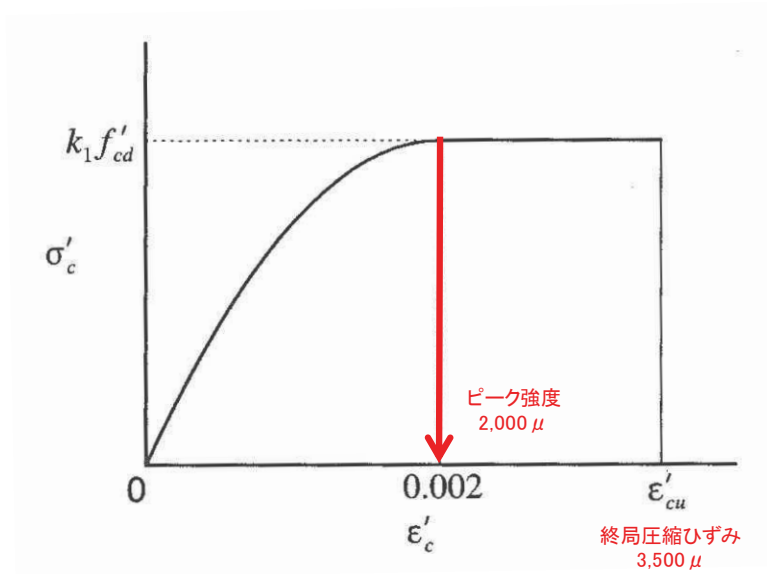


図 6.2.1-1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

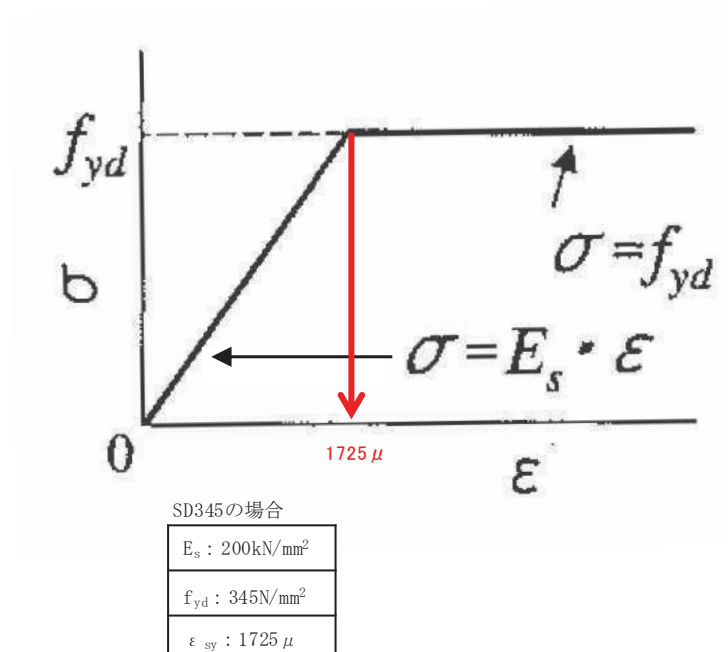


図 6.2.1-2 鉄筋及び構造用鋼材の応力-ひずみ曲線



### 6.2.2 通水機能

通水機能は、部材が破壊し通水断面を閉塞しないことにより満足され、終局状態に至らない部材状態を想定する。

部材状態に応じた許容限界として、曲げ・軸力系の破壊は、層間変形角  $1/100$  と圧縮縁コンクリートひずみ  $1.0\%$  ( $10000\mu$ )、せん断破壊については、面内せん断に対しては層間変形角  $2/1000$ 、面外せん断に対してはせん断耐力とする（表 6.2.2-1 参照）。

表 6.2.2-1 通水機能の許容限界

破壊モード	許容限界		備考
	指標	許容値	
曲げ・軸力系の破壊	層間変形角（面外）	$1/100$	土木学会マニュアル 2005 に規定されている。
	圧縮縁コンクリートひずみ	$1.0\%$ ( $10000\mu$ )	
せん断破壊	層間変形角（面内）	$2/1000$	J E A G 4 6 0 1 - 1987 において、耐震壁の終局耐力に相当する層間変形角 $4/1000$ に余裕を見込んだ許容限界として規定されている。
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されている。

層間変形角  $1/100$  と圧縮縁コンクリートひずみ  $1.0\%$  ( $10000\mu$ ) に至る状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。これらの状態を限界値とすることで構造物全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を図 6.2.2-1 に示す。

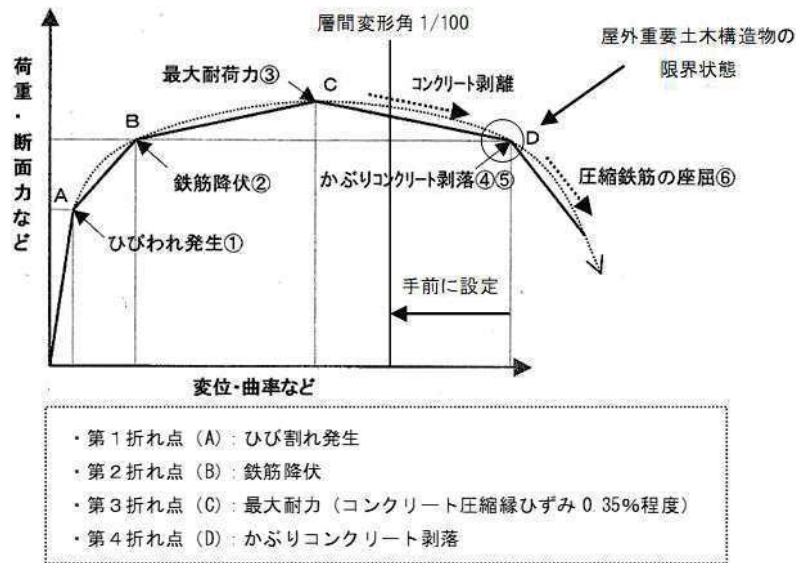


図 6.2.2-1 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図（土木学会マニュアル 2005 に加筆）

壁部材の面内せん断に対する許容限界については、J E A G 4 6 0 1 - 1987 において、図 6.2.2-2 に示すとおり、耐震壁の終局時の変形として層間変形角  $4/1000$  と規定されており、終局状態の層間変形角  $4/1000$  に安全率 2 を有するように層間変形角  $2/1000$  を設定する。

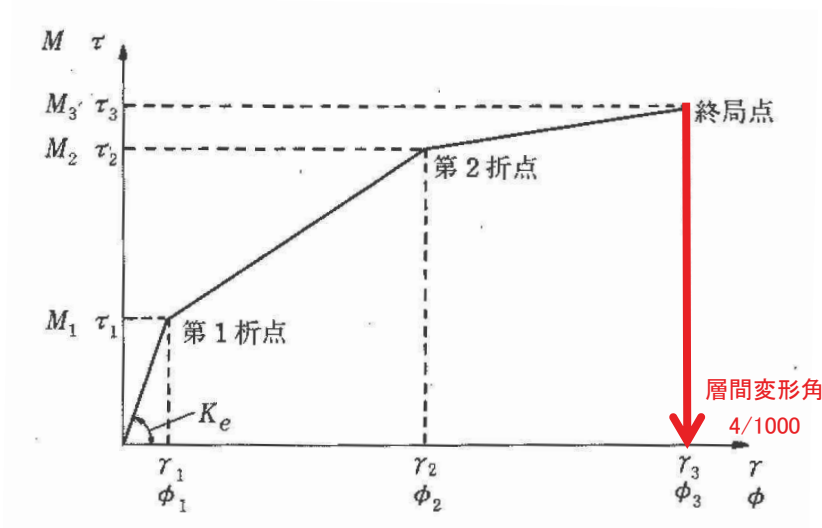


図 6.2.2-2 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau$ - $\gamma$  関係）

面外せん断に対する照査は、照査用せん断力がせん断耐力を下回るにより確認する。

なお、せん断耐力式には、複数の安全係数を見込むことにより、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ設計とする。

### 6.2.3 貯水機能

貯水機能は、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ことが要求される機能である。

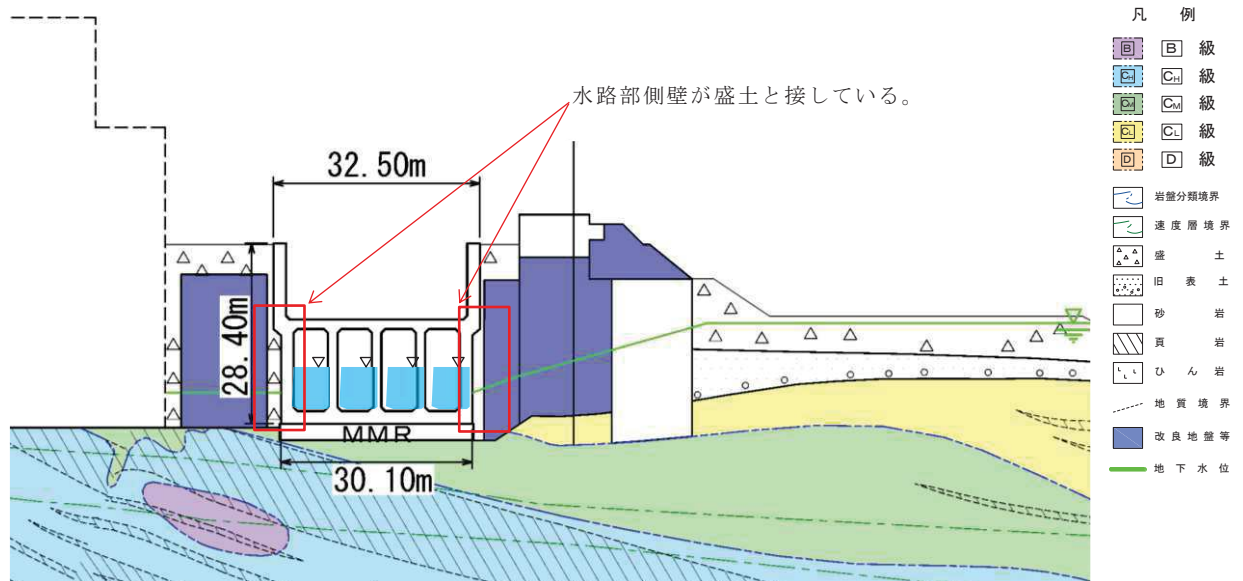
貯水機能が求められる構造物の周辺は、構造物底面は MMR と、側面は透水性の小さい盛土と接しており、部材を貫通するようなひび割れが生じても、ひび割れからの漏えい量は少なく、貯水機能は満足されることを確認している（図 6.2.3-1 参照）。

しかし、盛土の止水性にすべてを期待し、ひび割れに伴う漏水を許容したうえで貯水機能を適切に評価することは困難であることから、保守的に部材を貫通するようなひび割れが発生しない状態を想定し、許容限界を断面降伏及びせん断耐力とする（表 6.2.3-1 参照）。この許容限界は、表 6.2.3-2 に示すとおり、「水道施設耐震工法指針・解説 2009」に規定されている照査基準と同じレベルの許容値である。

面内変形に対しては、層間変形角が図 6.2.3-2 に示す J E A G 4 6 0 1 - 1987 に規定されているスケルトンカーブの第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) 以下であることを許容限界と設定する。

第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) の評価式は、壁板の面内せん断実験における中央斜めひび割れ発生時の平均せん断応力度に対応するよう定められていることから、せん断変形が第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) 以下の場合、水密性に影響のあるせん断ひび割れは生じないと考えられる。

なお、第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を超過する場合においては、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。



有効貯留容量* <sup>1</sup> (A)	必要とする容量* <sup>2</sup> (B)	余裕容量 (C)=(A)-(B)	海水ポンプ室の側壁からの盛土への漏水量
約 4300m <sup>3</sup>	2971m <sup>3</sup>	約 1329m <sup>3</sup>	約 31m <sup>3</sup>

注記\*1：非常用取水設備（貯留堰，取水口，取水路及び海水ポンプ室）内に貯留される水量\*<sup>3</sup>

\*2：非常用海水ポンプが全数運転を継続した場合においても必要な水量\*<sup>3</sup>

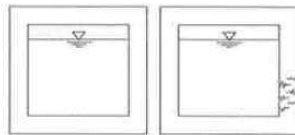
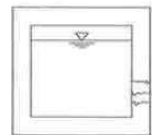
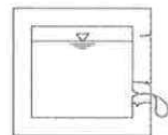
\*3：詳細は、「VI-1-1-4-8-5-1-1 設定根拠に関する説明書（貯留堰（No.1），（No.2），（No.3），（No.4），（No.5），（No.6））」に示す。

図 6.2.3-1 構造物の周辺状況を考慮した漏水量の確認（海水ポンプ室の例）

表 6.2.3-1 貯水機能の許容限界

破壊モード	許容限界		備考
	指標	許容値	
曲げ・軸力系の破壊	コンクリートの圧縮ひずみ	2000 $\mu$	おおむね弾性範囲となる許容限界であり、コンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されている。
	主筋ひずみ	1725 $\mu$ (SD345)	
せん断破壊	層間変形角 (面内)	第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) 以下 ただし、第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を超過する場合は、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。	J E A G 4 6 0 1 - 1987 に規定されている。
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されている。

表 6.2.3-2 池状構造物（RC 構造物）の耐震性能と照査基準

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

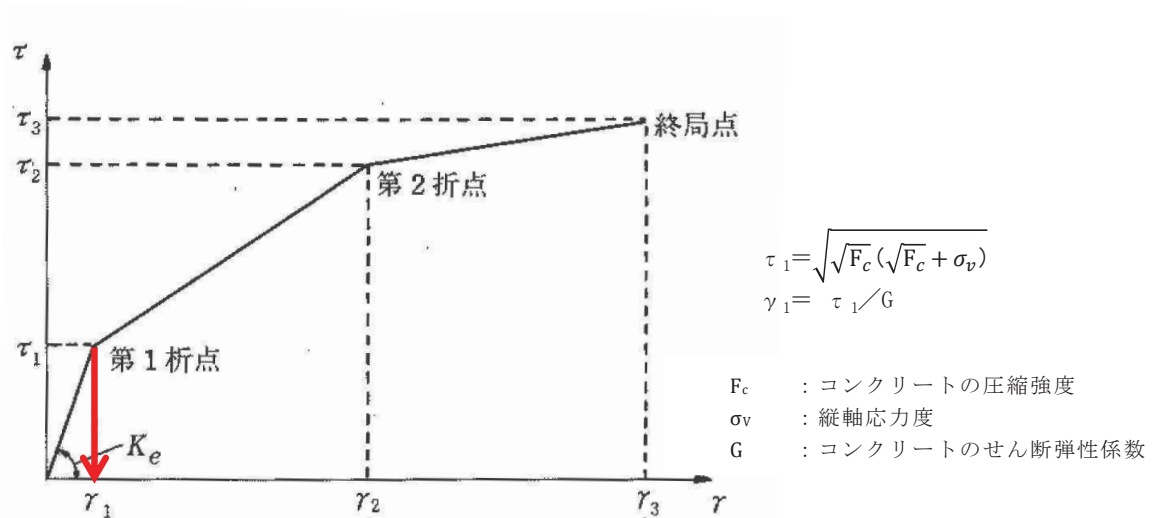


図 6.2.3-2 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau$ - $\gamma$ 関係）と評価式

#### 6.2.4 止水機能

止水機能は、以下に示す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が要求される機能であり、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状態を想定する。

- (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) 循環水管単一破損時における内部溢水

部材状態に応じた許容限界として、断面降伏及びせん断耐力とし、そのうえで、地震終了後の除荷時において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（表 6.2.4-1 参照）。

面内変形に対しては、貯水機能と同様に層間変形角がスケルトンカーブの第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) 以下であることを許容限界と設定し、第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を超過する場合には、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。

表 6.2.4-1 止水機能の許容限界

破壊モード	許容限界		備考
	指標	許容値	
曲げ・軸力系の破壊	コンクリートの圧縮ひずみ	2000 $\mu$	おおむね弾性範囲となる許容限界であり、コンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されている。
	主筋ひずみ	1725 $\mu$ (SD345)	
せん断破壊	層間変形角 (面内)	第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) 以下 ただし、第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を超過する場合は、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。	J E A G 4 6 0 1 - 1987 に規定されている。
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されている。

### 6.3 土木学会マニュアル 2005 の適用性について

限界状態設計法のうち、構造部材の層間変形角（面外変形）による曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断耐力評価式によるせん断破壊に対する照査に係る土木学会マニュアル 2005 の適用性について検討を行う。

#### 6.3.1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査に係る土木学会マニュアル 2005 の適用性について

曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、土木学会マニュアル 2005 に基づき、照査用層間変形角が層間変形角 1/100 以下であることを確認する。

コンクリート標準示方書 2002 では、構造部材の終局変位は、部材の荷重－変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めている。コンクリート標準示方書 2002 による構造部材の終局変位の考え方を図 6.3.1-1 に示す。

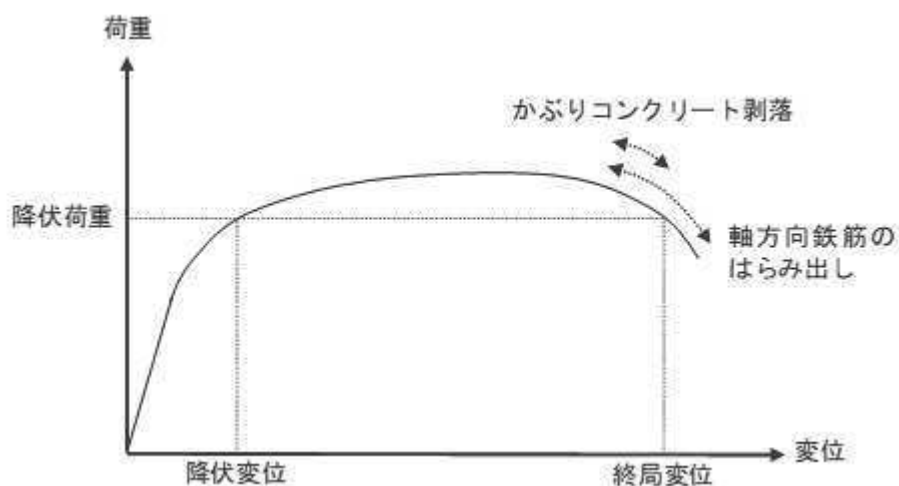


図 6.3.1-1 コンクリート標準示方書 2002 による構造部材の終局変位の考え方

一方、土木学会マニュアル 2005 では、以下の考えに基づいている。

実験や材料非線形解析の観点から、かぶりコンクリートの剥落時点は、全体系の荷重－変形関係との対応を見ると、終局限界より前の段階（変形が小さい範囲）であることが確認されている。土木学会マニュアル 2005 における鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を図 6.3.1-2 に示す。



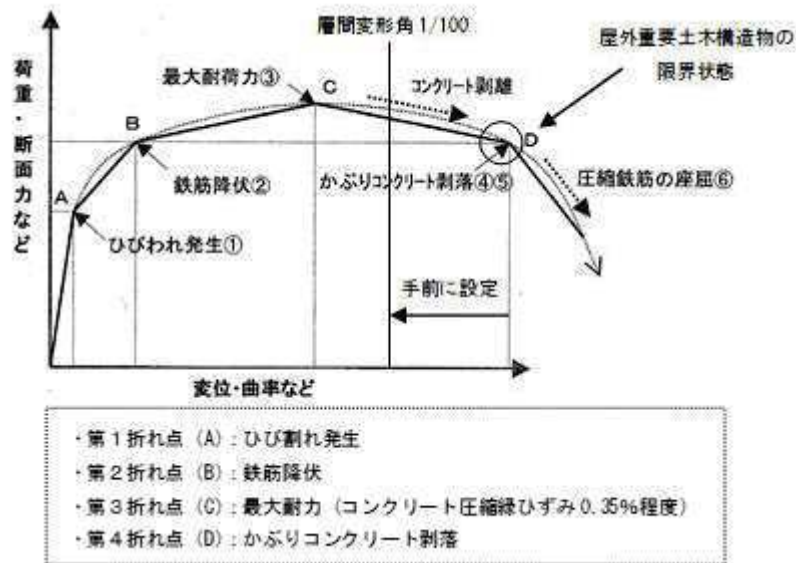


図 6.3.1-2 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図（土木学会マニュアル 2005 に加筆）

かぶりコンクリート剥落の必要条件は、「コンクリートの応力が零に近い」である。コンクリートの圧縮ひずみが 1.0% (10000  $\mu$ ) 時のコンクリートの圧縮応力は、圧縮強度のレベルにもよるが、概ね 2~7N/mm<sup>2</sup> 程度残留している状態であり（図 6.3.1-3 参照）、これはかぶりコンクリートの剥落に対して若干の裕度を含んだ妥当な設定であると判断できる。

以上より、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000  $\mu$ ) に至る状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であり、荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで、構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。

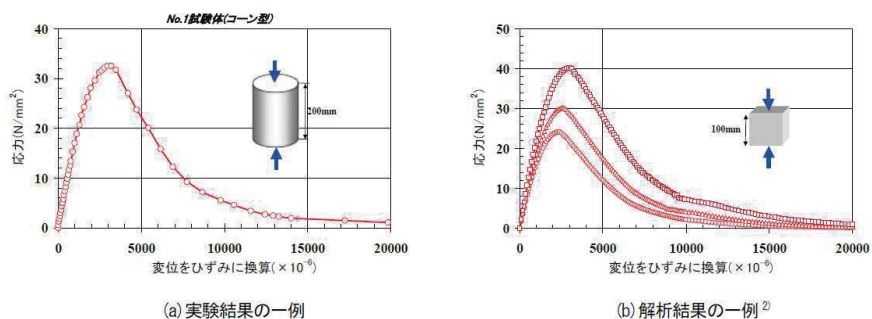


図 6.3.1-3 コンクリートの圧縮ひずみが 1.0% (10000  $\mu$ ) 時点における残留応力（土木学会マニュアル 2005 より引用）

したがって、土木学会マニュアル 2005 による曲げ・軸力系の破壊に対する照査手法は、コンクリート標準示方書 2002 による照査よりも安全側の評価を与えるた

め、適用性を有している。参考に、建築学会における曲げ降伏先行型の部材について、復元力特性と限界状態の関係の概念図を図 6.3.1-4 に示す。建築学会(図 6.3.1-4) と土木学会マニュアル 2005 (図 6.3.1-2) は概ね対応が取れており、いずれにおいても圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 $\mu$ ) は第 4 折れ点よりも手前にあり、限界状態に至っていないと考えられる。よって、土木学会マニュアル 2005 の各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。

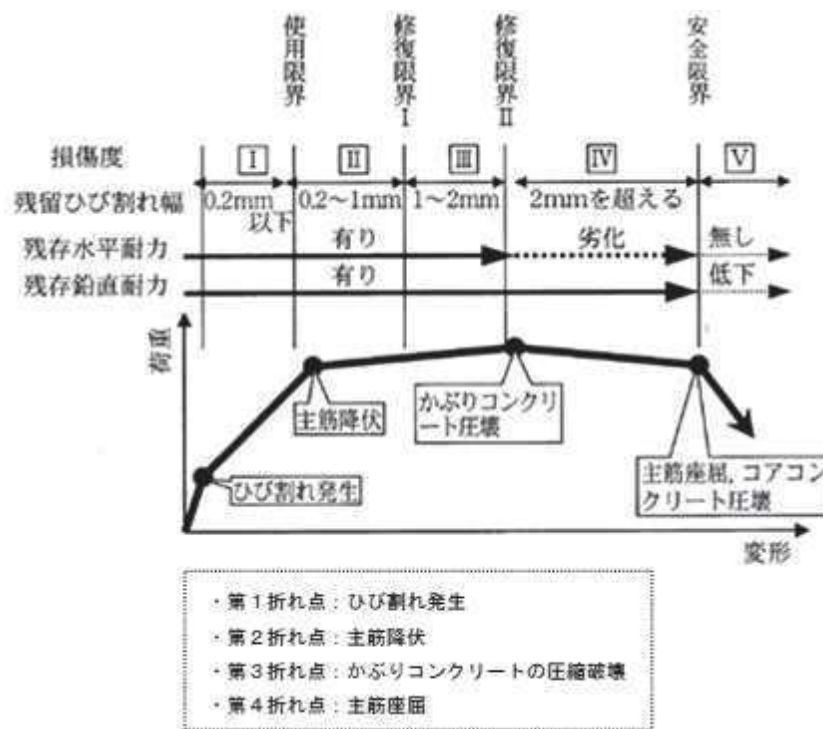


図 6.3.1-4 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態の関係の概念図 (建築学会に加筆)

曲げ・軸力系の破壊に対する照査において考慮している安全係数は、表 6.3.1-1 に示すとおり、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がある。これらの安全係数は土木学会マニュアル 2005 において以下の考えにより定められている。

#### (1) 材料係数

コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が 5.0%以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格 (J I S) の規格範囲の下限値を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は 1.0 としている。

(2) 部材係数

安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は 1.0 としている。

(3) 荷重係数

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

(4) 構造解析係数

地盤特性－構造物連成系の応答解析手法の妥当性は、大型振動台実験を行い、その実験結果に基づいて検証されているが、限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響などを考え併せて、構造解析係数は 1.2 以上を標準としている。

(5) 構造物係数

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

表 6.3.1-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査において考慮している安全係数

安全係数		曲げ・軸力系の破壊に対する照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.0
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数		—	1.0
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.2	—
構造物係数		1.0	

以上のことから、土木学会マニュアル 2005 による曲げ・軸力系の破壊に対する照査手法は、コンクリート標準示方書 2002 による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断した。

6.3.2 せん断破壊に対する照査に係る土木学会マニュアル 2005 の適用性について

せん断破壊に対する照査は、土木学会マニュアル 2005 に基づき、照査用せん断力が、せん断耐力以下であることを確認する。コンクリート標準示方書 2002 では、

棒部材及びディープビームについて表 6.3.2-1 に示すとおり，せん断耐力式を定義している。このうち，ディープビームについては，コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 において同様の評価式となっている。

表 6.3.2-1 せん断耐力式の比較表

	コンクリート標準示方書 2002	土木学会マニュアル 2005
棒部材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd} : \text{せん断耐力}$ $V_{cd} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sd} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p : \text{構造寸法や鉄筋量で決まる係数}$ $\beta_n : \text{発生曲げモーメントで決まる係数}$ $f_{vcd} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$ $b_w : \text{腹部の幅}$ $d : \text{有効高さ}$ $\gamma_b : \text{安全係数}$	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd} : \text{せん断耐力}$ $V_{cd} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sd} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p : \text{構造寸法や鉄筋量で決まる係数}$ $\beta_n : \text{発生曲げモーメントで決まる係数}$ $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ $a : \text{せん断スパン長}$ $f_{vcd} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$ $b_w : \text{腹部の幅}$ $d : \text{有効高さ}$ $\gamma_b : \text{安全係数}$
	土木学会マニュアル 2005 は，せん断スパンより設定される係数を考慮し，コンクリート標準示方書 2002 のせん断耐力式を精緻化	
ディープビーム	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ $V_{yda} : \text{せん断耐力}$ $V_{cda} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sda} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ $a_v : \text{荷重作用点から支承前面までの距離}$ $f_{da} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ $V_{yda} : \text{せん断耐力}$ $V_{cda} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sda} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ $a_v : \text{荷重作用点から支承前面までの距離}$ $f_{da} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$
	コンクリート標準示方書 2002 と土木学会マニュアル 2005 は同様の評価式	

土木学会マニュアル 2005 では、コンクリート標準示方書 2002 におけるせん断耐力式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数  $\beta_a$  を考慮している。これは、屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることにより分布荷重が卓越し、スパン内に反曲点が存在する等の载荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書 2002 のせん断耐力式を精緻化したものである。当該せん断耐力式は、図 6.3.2-1 に示すとおり、屋外重要土木構造物を模した破壊試験より得られるせん断耐力と整合的であり、合理的な評価が可能であることが確認されている（参考文献 (1)、(2) 参照）。

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

せん断破壊に対する照査において考慮している安全係数は表 6.3.2-2 に示すとおり、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がある。これらの安全係数は土木学会マニュアル 2005 において以下の考えにより定められている。

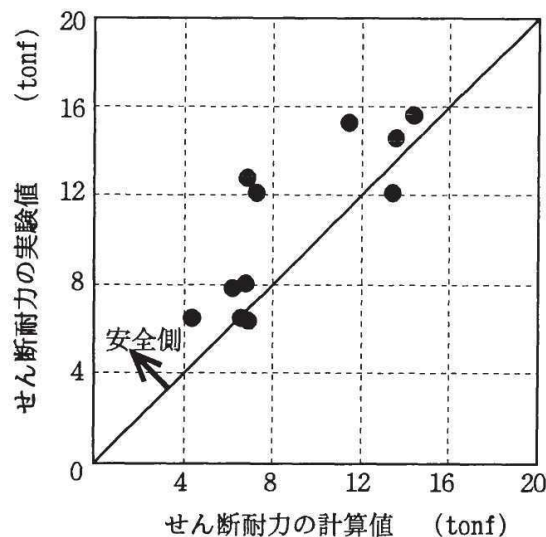


図 6.3.2-1 せん断耐力算定法の妥当性の検証  
(参考文献 (1) より引用)

(1) 材料係数

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

注記\*：材料係数は 1.3 を標準とするが、既設構造物において、強度等の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実測値により確認した場合は 1.0～1.3 の間で低減する。

(2) 部材係数

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

(3) 荷重係数

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

(4) 構造解析係数

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

(5) 構造物係数

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

表 6.3.2-2 せん断破壊に対する照査において考慮している安全係数

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

注記\*：材料係数は 1.3 を標準とするが、既設構造物において、強度等の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実測値により確認した場合は 1.0～1.3 の間で低減する。

以上のことから、土木学会マニュアル 2005 によるせん断破壊に対する照査手法は、屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため、技術的妥当性及び適用性を有すると判断した。

【参考文献】

- (1) 原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木構造物への限界状態設計法の適用・安全性照査マニュアルの提案，土木学会論文集 No. 442/V-16，1992
- (2) 遠藤ら：鉄筋コンクリート製地中構造物の限界状態に用いるせん断耐力評価法，電力中央研究所報告，1992

## 7. ジョイント要素のばね設定について

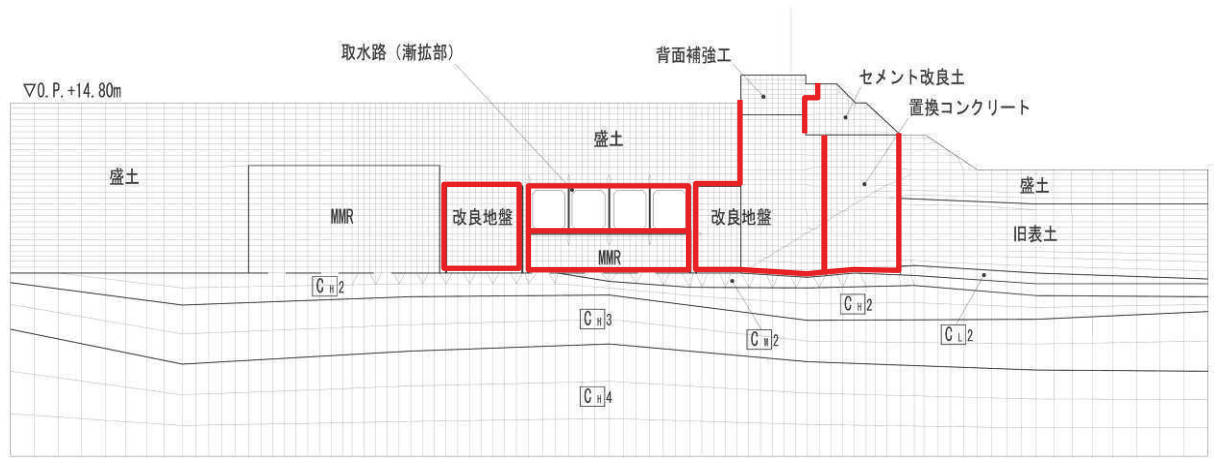
地盤と構造物の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると、地盤は構造体から剥離する特徴がある。また、地盤と構造物の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え、せん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。

時刻歴応答解析では、地震時の地盤と構造物の接合面におけるこれらの力学特性を適切に評価するため、地盤と構造物の接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の地盤と構造物の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造物の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向は、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、ジョイント要素の剛性及び応力をゼロとし剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造物の接合面において、地盤のせん断強度を超えるせん断応力が生じた場合、ジョイント要素のせん断剛性をゼロ、せん断応力をせん断強度で一定としすべりを考慮する。なお、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は、隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち、小さい値を採用する。

ジョイント要素の考え方を図 7-1 に示す。





— : ジョイント要素

取水路 (漸拡部) (例)

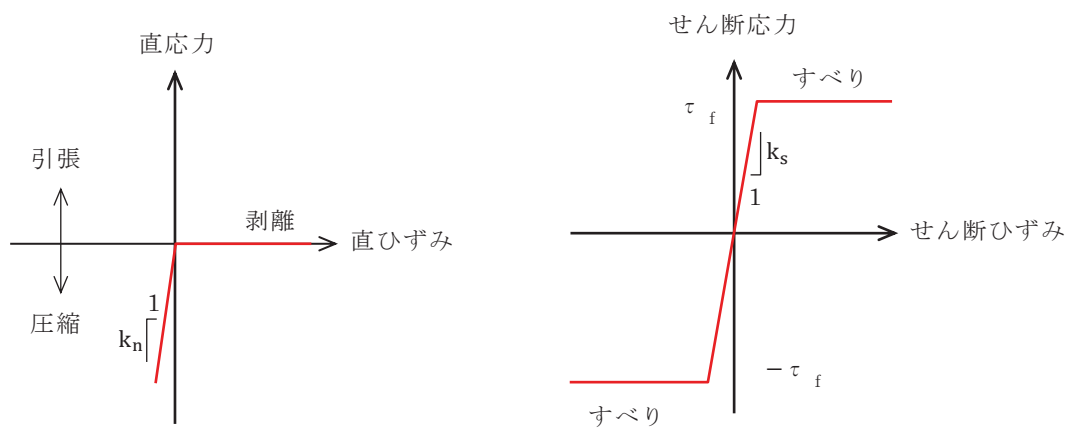


図 7-1 ジョイント要素の考え方

せん断強度  $\tau_f$  は式(1)の Mohr-Coulomb 式により規定される。c (粘着力),  $\phi$  (内部摩擦角) は, 周辺地盤及び MMR の c,  $\phi$  とし, 「補足-600-1 地盤の支持性能について」に基づき設定する。なお, 防潮堤の置換コンクリートのせん断強度は,  $c=0.2f'ck$ ,  $\phi=0^\circ$  とし設定しているが, MMR のジョイント要素の設定における c,  $\phi$  については, ACI レポート (1970) (参考文献(1)参照) において, コンクリートのせん断特性として, 三軸試験の結果から得られる線形関数で関係付けられる圧縮強度, せん断強度及び内部摩擦角 ( $\tan \phi$ ) が示されており, この関係を参照し置換コンクリートのせん断強度の考え方を下回らないように  $c=0.199f'ck$ ,  $\phi=40^\circ$  と設定する (図 7-2 参照)。MMR のジョイント要素のせん断強度の設定において, ACI レポート (1970) を参照した c,  $\phi$  とし, 「補足-600-1 地盤の支持性能について」に基づき設定するせん断強度よりも, 大きなせん断強度とすることで, 地震時における構造物のせん断変形を抑制せず, 保守的な耐震安全性評価を行うことができる。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここに,  $\tau_f$ : せん断強度

c: 粘着力

$\phi$ : 内部摩擦角

表-3.8.1 コンクリート\*のせん断特性

ダム名	材令 (日)	W/C	圧縮強度	せん断強	$\tan \phi$	S/C
			(C) kg/cm <sup>2</sup>	度 (S) kg/cm <sup>2</sup>		
Grand Coulee	28	0.52	369.08	82.25	0.90	0.223
	28	0.58	318.46	71.71	0.89	0.225
	28	0.64	267.84	58.35	0.92	0.218
	90	0.58	333.93	71.00	0.97	0.212
	112	0.58	345.88	68.89	1.05	0.199
Hungry Horse	365	0.58	597.55	132.16	0.91	0.221
	104	0.55†	158.18	35.15	0.90	0.222
	140	0.55†	213.71	47.80	0.89	0.224
Monticello	622	0.60†	123.02	28.12	0.86	0.229
	28	0.62†	196.84	42.88	0.93	0.218
Shasta	40	0.62†	289.64	66.78	0.85	0.231
	28	0.50	403.52	80.14	1.05	0.199
	28	0.60	345.88	74.52	0.95	0.215
	90	0.50	383.14	76.63	1.05	0.200
	90	0.50	463.28	95.61	1.01	0.206
	90	0.60	351.50	73.11	1.00	0.208
	245	0.50	430.24	86.47	1.04	0.201

粘着力  $c=0.199f'ck$

・ せん断強度 (S)/圧縮強度 (C) の最小値 0.199 より,  $S=0.199C$  と設定

内部摩擦角  $\phi=40^\circ$

・  $\tan \phi$  の最小値 0.85 より,  $\phi=40.36 \cong 40^\circ$  と設定

注) \*  $\phi 15 \times h 30$  cm の供試体で骨材最大寸法は 40 mm

†  $W/C+P$

図 7-2 MMR の c,  $\phi$  の設定 (参考文献(1)参照)

ジョイント要素のばね定数は, 数値計算上, 不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値とし, 松本らの方法 (参考文献(2)参照) に従い設定する。

半無限弾性地盤上の基礎構造物に作用させる地盤ばねは、以下のように表すことができる。ばね定数算定のための形状係数を図 7-3 に示す。

$$K_z = \frac{G}{1-\nu} \beta_z \sqrt{BL}$$

$$K_x = 2(1+\nu)G\beta_x \sqrt{BL}$$

$K_z$  : 鉛直方向の地盤ばね  
 $K_x$  : 水平方向の地盤ばね  
 $G$  : 地盤のせん断弾性係数  
 $\nu$  : 地盤のポアソン比  
 $B$  : 基礎幅  
 $L$  : 基礎長さ  
 $\beta_z, \beta_x$  : 形状係数

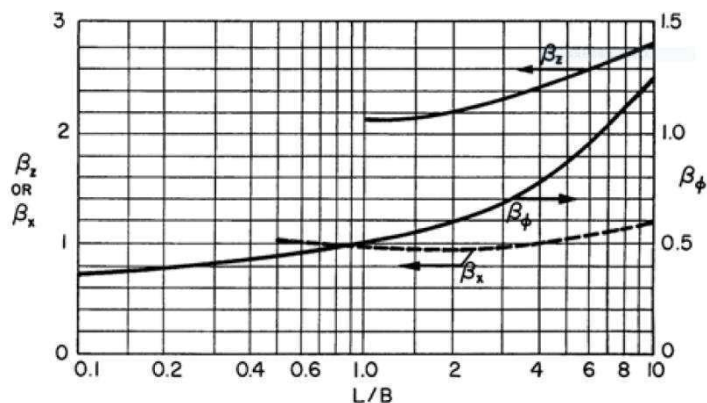


図 7-3 ばね定数算定のための形状係数

ジョイント要素の剛性は、単位面積当たりのばね定数として表現されるため、上記のばね定数を構造物の底面積で除する。既往の知見を踏まえ、この値を 5~10 倍したのち、整然とした数値に丸めることで設定した。表 7-1 に設定したジョイント要素のばね定数を示す。

表 7-1 ジョイント要素のばね定数

地盤	設定位置	せん断剛性 $k_s$ ( $\text{kN/m}^3$ )	圧縮剛性 $k_n$ ( $\text{kN/m}^3$ )
盛土, 旧表土	側方及び底面	$1.0 \times 10^6$	$1.0 \times 10^6$
岩盤, セメント改良土, 改良地盤, MMR	側方及び底面	$1.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$

なお、表 7-1 に示すジョイント要素のばね定数の設定が妥当であることを確認するために、ジョイント要素の影響が大きいと考えられる代表構造物を選定し、ジョイント要素の剛性が与える影響として、断面力や土圧・加速度等の応答に有意な差がないこと等を確認する。

【参考文献】

- (1) 大友：ダム及び他の大型構造物に用いるマスコンクリート(その2)，コンクリートジャーナル Vol.9, No.3 March pp73-84, 1971
- (2) 松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp1061-1070, 2009

## 8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について

時刻歴応答解析（全応力解析及び有効応力解析）における構造物の減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮している。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

履歴減衰による減衰は、構造部材の部材非線形性（曲げモーメントー曲率関係又はコンクリート、鉄筋の応力ーひずみ関係）における非線形の程度に応じた値となる。

なお、構造部材のモデル化方法（線形又は非線形）によらず、係数  $\alpha$ 、 $\beta$  の設定方法は同一としており、構造物を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみを設定する。

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

[C]：減衰係数マトリックス，[M]：質量マトリックス，

[K]：剛性マトリックス

$\alpha$ ， $\beta$ ：係数

### 8.1 時刻歴応答解析（全応力解析）で設定する Rayleigh 減衰

全応力による時刻歴応答解析では、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」に準拠し、質量比例型減衰と剛性比例型減衰の組み合わせ（ $\alpha$ ， $\beta > 0$ ）による Rayleigh 減衰を設定する。Rayleigh 減衰の設定フローを図 8.1-1 に示す。

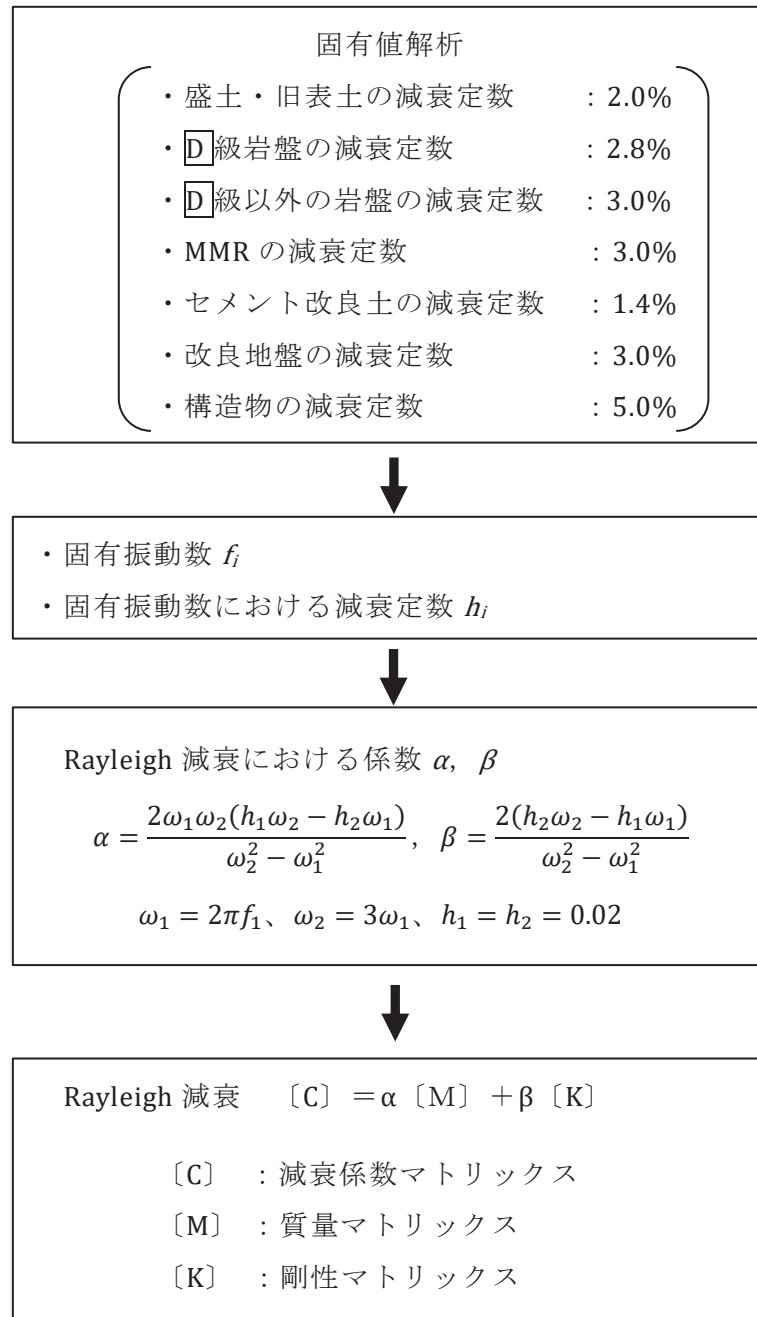


図 8.1-1 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$  ,  $\beta$  の設定にあたっては、低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して、1 次及び 2 次モードの固有振動数に基づき定めることとする。

1 次モードの固有円振動数 ( $\omega_1$ ) は、地震応答解析の解析モデルの固有値解析結果から有効質量比や刺激係数に着目して得られる 1 次モードの固有振動数 ( $f_1$ ) に  $2\pi$  を乗じて算定する。なお、2 次モードの固有円振動数 ( $\omega_2$ ) は、水平成層地盤の 2 次固有振動数が 1 次固有振動数の 3 倍であることから、1 次モードの固有円振動数 ( $\omega_1$ ) の 3 倍とする。

減衰定数 ( $h_1, h_2$ ) については、地中構造物を対象としているため地震応答解析の解析モデルに占める割合の大きい盛土及び旧表土の挙動が支配的となることから、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示す盛土及び旧表土の繰返し三軸試験結果に基づき 0.02 を採用している。なお、減衰定数 0.02 は、盛土及び旧表土の微小ひずみ領域における減衰定数であるため、地震時の履歴減衰と比較して十分に小さい値である。

## 8.2 時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定する Rayleigh 減衰

有効応力による時刻歴応答解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う 1 次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1 次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように係数  $\alpha$  を 0 として設定し、低振動数帯で減衰  $\alpha$  [M] の影響がない剛性比例型減衰としている。

係数  $\beta$  の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に、 $\beta = 0.002$  と設定している。

## 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

屋外重要土木構造物，常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備のうち土木構造物，常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）のうち土木構造物（以上の何れかに該当するか，又は兼ねる構造物を「屋外重要土木構造物等」という。）の耐震安全性評価においては，地盤物性及び材料物性に平均値及び設計基準強度を用いた基本ケースに加え，地盤物性及び材料物性のばらつきを考慮した解析を追加で行う。

本章では，屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における追加解析ケースの選定方法について記載する。

### 9.1 評価方針

屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価においては，「5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法」に示すとおり，評価対象構造物の周辺の地盤状況に応じた解析ケース（パターン1，2）<sup>\*1</sup>に対し，基準地震動  $S_s$ （7波）及びこれらに水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全14波を用いてケース①（基本ケース）を実施する。

上記のケース①において，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が0.5以上となる全ての照査項目に対して，最も厳しい地震動<sup>\*2</sup>を用いて，図9.1-2，表9.1-1，表9.1-2に示すケース②～④の追加解析を実施する。

追加解析を実施する地震動の選定フローを図9.1-1に，耐震安全性評価における解析ケースを図9.1-2，表9.1-1及び表9.1-2に示す（図9.1-2，表9.1-1及び表9.1-2は，それぞれ「5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法」に示す，図5.2-1，表5.1-1及び表5.1-2の再掲）。

注記\*1：

- ・パターン1：評価対象構造物周辺に主として，旧表土，盛土，**D**級岩盤，セメント改良土及び改良地盤といった，動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布する場合
- ・パターン2：評価対象構造物周辺に主として，**C<sub>L</sub>**級岩盤，**C<sub>M</sub>**級岩盤，**C<sub>H</sub>**級岩盤及び**B**級岩盤が分布する場合

\*2：各要求機能（支持機能，通水機能，貯水機能，止水機能）により許容限界は異なるが，各照査項目に対して，許容限界に対する余裕が最も小さくなる地震動を選定する。



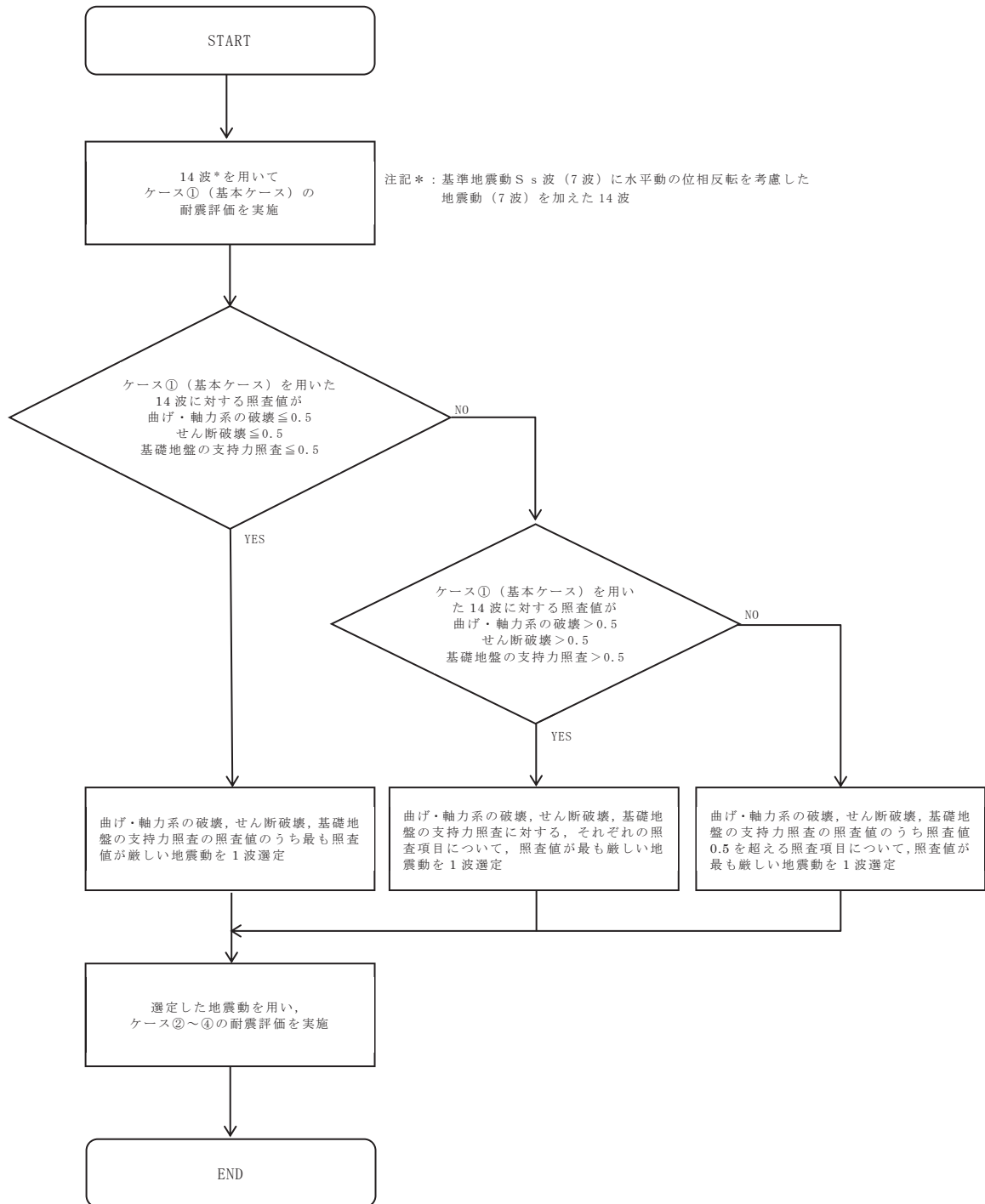


図 9.1-1 追加解析を実施する地震動の選定フロー

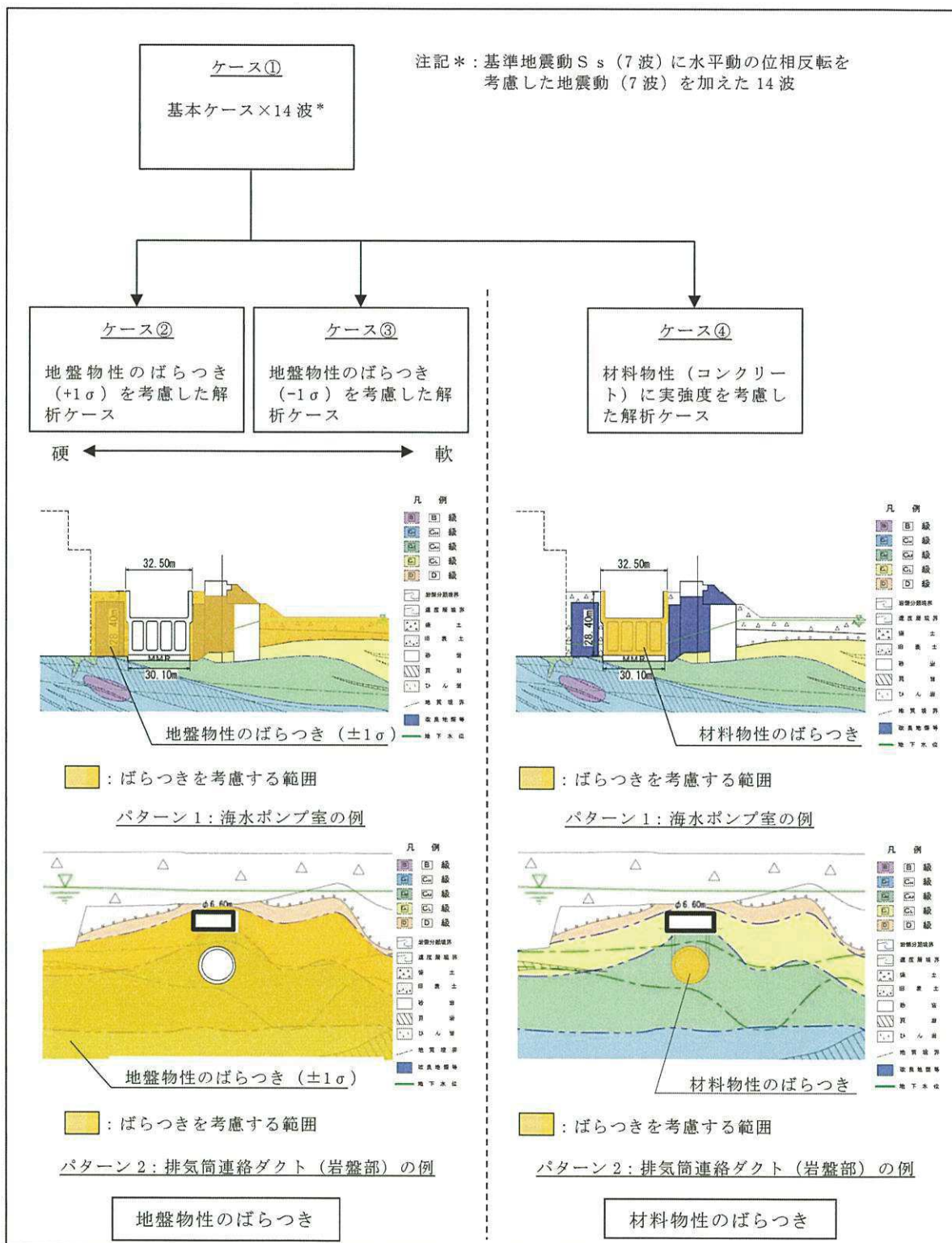


図 9.1-2 耐震安全性評価における解析ケース（図 5.2-1 の再掲）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表9.1-1 耐震安全性評価における解析ケース（表5.1-1の再掲）  
 （パターン1：構造物周辺に旧表土，盛土，D級岩盤等が分布する場合）

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土，盛土，D級岩盤， セメント改良土，改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	C <sub>L</sub> 級岩盤，C <sub>M</sub> 級岩盤， C <sub>H</sub> 級岩盤，B級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	初期剛性低下考慮	平均値	平均値

注記\*1：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

\*2：機器・配管系の耐震安全性評価に適用する。

表9.1-2 耐震安全性評価における解析ケース（表5.1-2の再掲）  
 （パターン2：構造物周辺にC<sub>L</sub>級岩盤～B級岩盤が分布する場合）

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土，盛土，D級岩盤， セメント改良土，改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	C <sub>L</sub> 級岩盤，C <sub>M</sub> 級岩盤， C <sub>H</sub> 級岩盤，B級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値	平均値 + 1 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値	平均値 - 1 $\sigma$
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	初期剛性低下考慮	平均値	平均値

注記\*1：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

\*2：機器・配管系の耐震安全性評価に適用する。

## 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

構造物周辺に液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布する場合、評価対象断面・地震時荷重算出断面及び解析手法の選定は、一次元全応力解析及び一次元有効応力解析による応答値の比較を行ったうえで評価する。

一次元地震応答解析では、耐震評価上、屋外重要土木構造物等については躯体に作用する土圧が構造物に対して支配的な荷重になるとの観点から、地盤のせん断応力に着目し、評価対象断面・地震時荷重算出断面及び解析手法の選定を行った。

ここでは、その解析手法選定の妥当性を確認するため、全応力解析及び有効応力解析による二次元地震応答解析を実施し、構造物の耐震安全性評価を行った。

具体的には、一次元地震応答解析の結果と二次元地震応答解析から算定される曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査値を比較し、一次元地震応答解析による解析手法選定の妥当性を確認した。

構造物周辺に液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布し、一次元全応力解析と一次元有効応力解析の比較により、評価対象断面・地震時荷重算出断面及び解析手法を選定する屋外重要土木構造物等は、排気筒連絡ダクト（土砂部）、取水口、取水路であり、周辺状況として、構造物周辺に液状化検討対象層が分布し構造物周辺に地盤改良がなされていない構造物と、構造物周辺が地盤改良されており液状化検討対象層がその外側に分布する構造物に大別される。

構造物周辺に液状化検討対象層が分布し、構造物周辺に地盤改良がなされていない構造物は、排気筒連絡ダクト（土砂部）及び取水口（縦断方向：西側\*）である。検討に当たっては、このうち、比較的単純な線状構造物の二次元モデルであり、作用荷重と応答値との関連が明確と考えられる排気筒連絡ダクト（土砂部）を代表とした。検討断面については、構造物に対して地下水位が比較的高く、液状化強度比が小さい旧表土が最も厚い断面③を検討対象とした。

また、構造物周辺が地盤改良されており、液状化検討対象層がその外側に分布する構造物は、取水路、取水口（横断方向：北側及び南側）である。このうち、上記、排気筒連絡ダクト（土砂部）と同様に、比較的単純な線状構造物である取水路を代表とした。検討断面については、構造物に対して地下水位が高く、他の断面と比較して地盤改良幅が狭いため液状化の影響が相対的に大きいと考えられ、また土被りが厚く構造物に厳しい断面と考えられる断面③（O.P. +9.40m）を検討対象とした。

注記\*：取水口の西側には取水路（標準部）が位置しているが、作用土圧を保守的に評価するため、盛土としてモデル化する。

1. 排気筒連絡ダクト（土砂部）

(1) 一次元地震応答解析

排気筒連絡ダクト（土砂部）は幌型トンネル構造の地中構造物であり、周辺には、液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布している。排気筒連絡ダクト縦断面図を図 1-1 に、断面図（評価対象断面：断面①，断面②，断面③）を図 1-2～図 1-4 に、一次元地震応答解析のモデル図を図 1-5 に、一次元地震応答解析結果（全応力解析及び有効応力解析の各指標の最大値）の一覧を表 1-1 に示す。また、一次元地震応答解析結果について、構造物上端と下端の深度の相対変位が最大となる時刻における相対変位、せん断歪の深度分布図、及び全時刻で最大となるせん断応力の深度分布図を図 1-6 に示す。

また、構造物の耐震性は、躯体に作用する液状化検討対象層（盛土・旧表土）からの土圧が支配的な荷重となることから、構造物範囲（深度）の液状化検討対象層（盛土・旧表土）の値に着目した。

表 1-1、図 1-6 から、有効応力解析の方が相対変位及びせん断歪は大きい値となり、せん断応力については全応力解析が大きい値となることがわかる。地盤の液状化の影響を考慮できる有効応力解析では、地盤の剛性が異なる岩盤と液状化検討対象層（旧表土）の境界付近で変位・せん断歪の急激な変化が発生するが、せん断応力は全深度にわたり、全応力解析に比べて小さな値となっている。

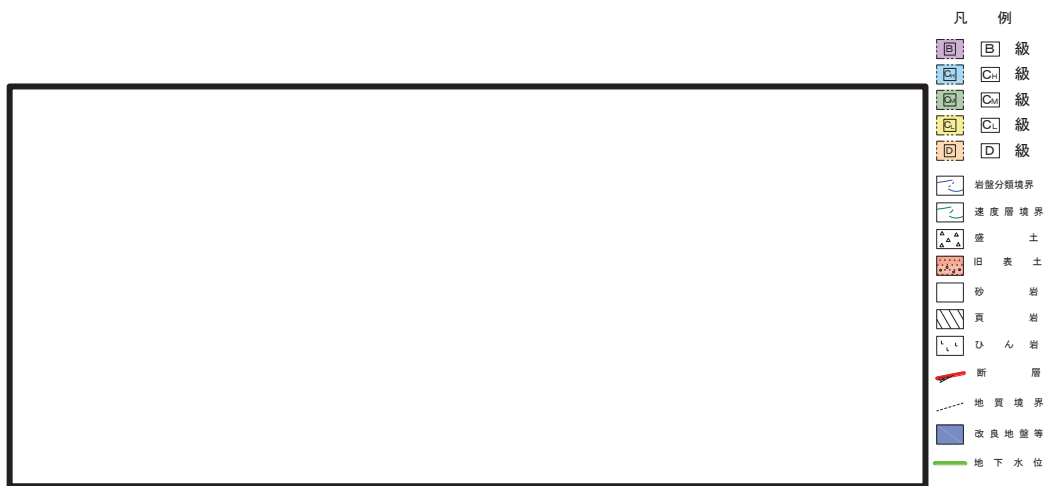


図 1-1 排気筒連絡ダクト縦断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

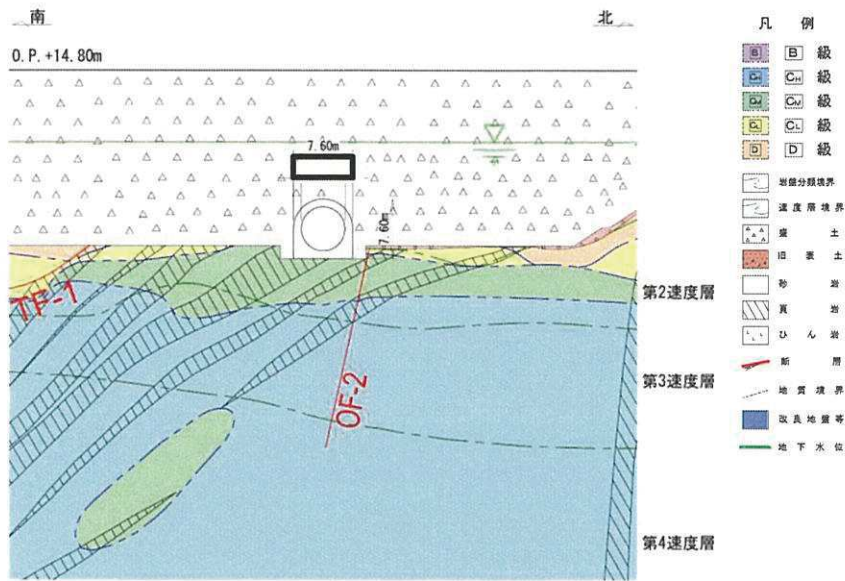


図 1-2 排気筒連絡ダクト断面図 (断面①)

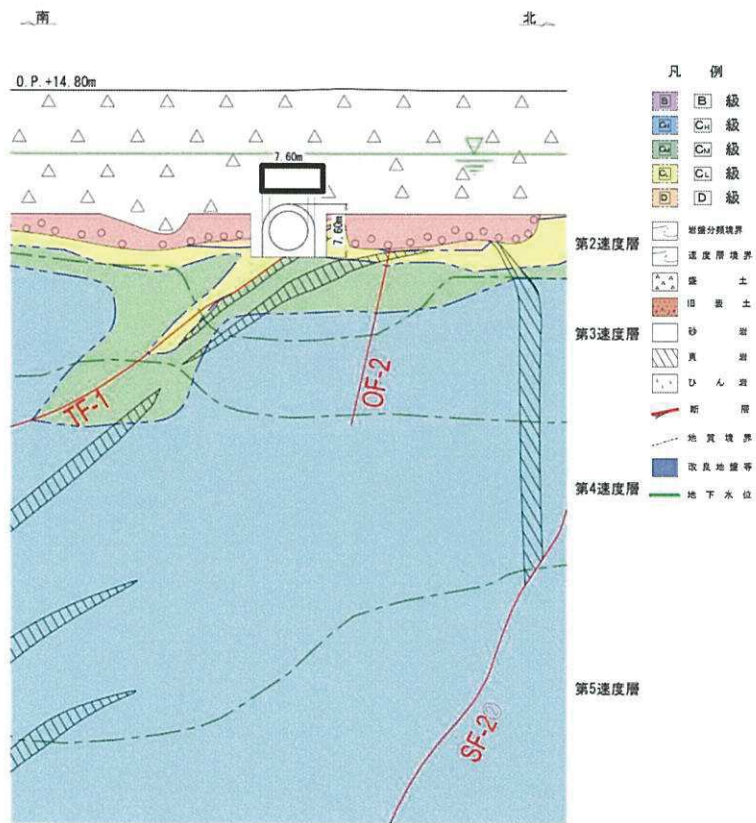


図 1-3 排気筒連絡ダクト断面図 (断面②)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

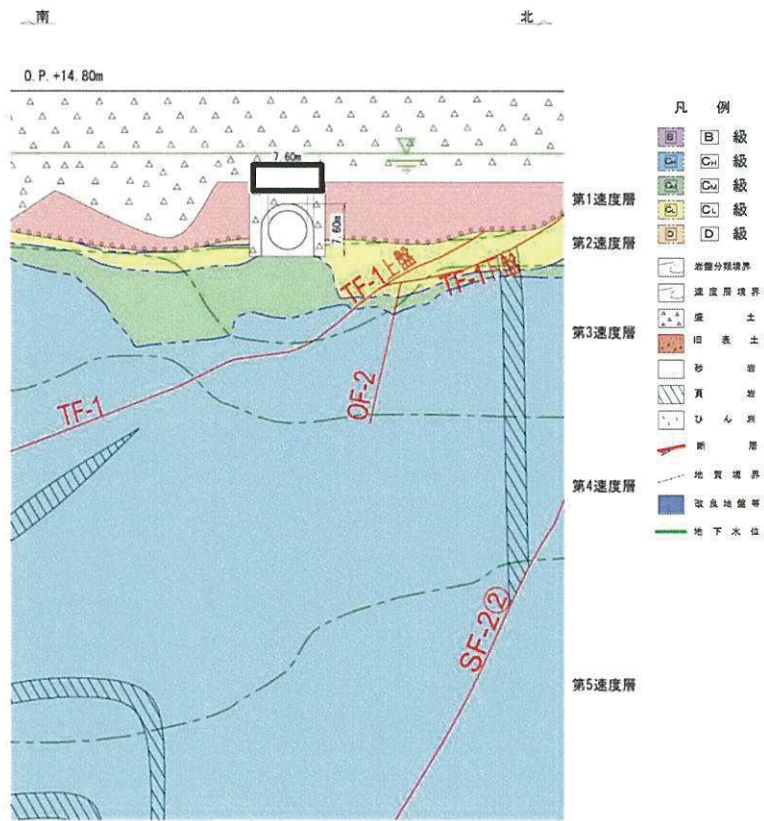


図 1-4 排気筒連絡ダクト断面図 (断面③)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



図 1-5 一次元地震応答解析モデル図（断面③）

表 1-1 一次元地震応答解析結果（各指標の最大値）  
（排気筒連絡ダクト：断面③）

一次元全応力解析			一次元有効応力解析		
相対変位 (m)	せん断歪	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )	相対変位 (m)	せん断歪	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )
0.046 (S s - N 1)	0.012 (S s - F 2)	85 (S s - F 2)	0.257 (S s - D 3)	0.097 (S s - D 1)	62 (S s - N 1)

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（相対変位，せん断歪，せん断応力）において，全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値



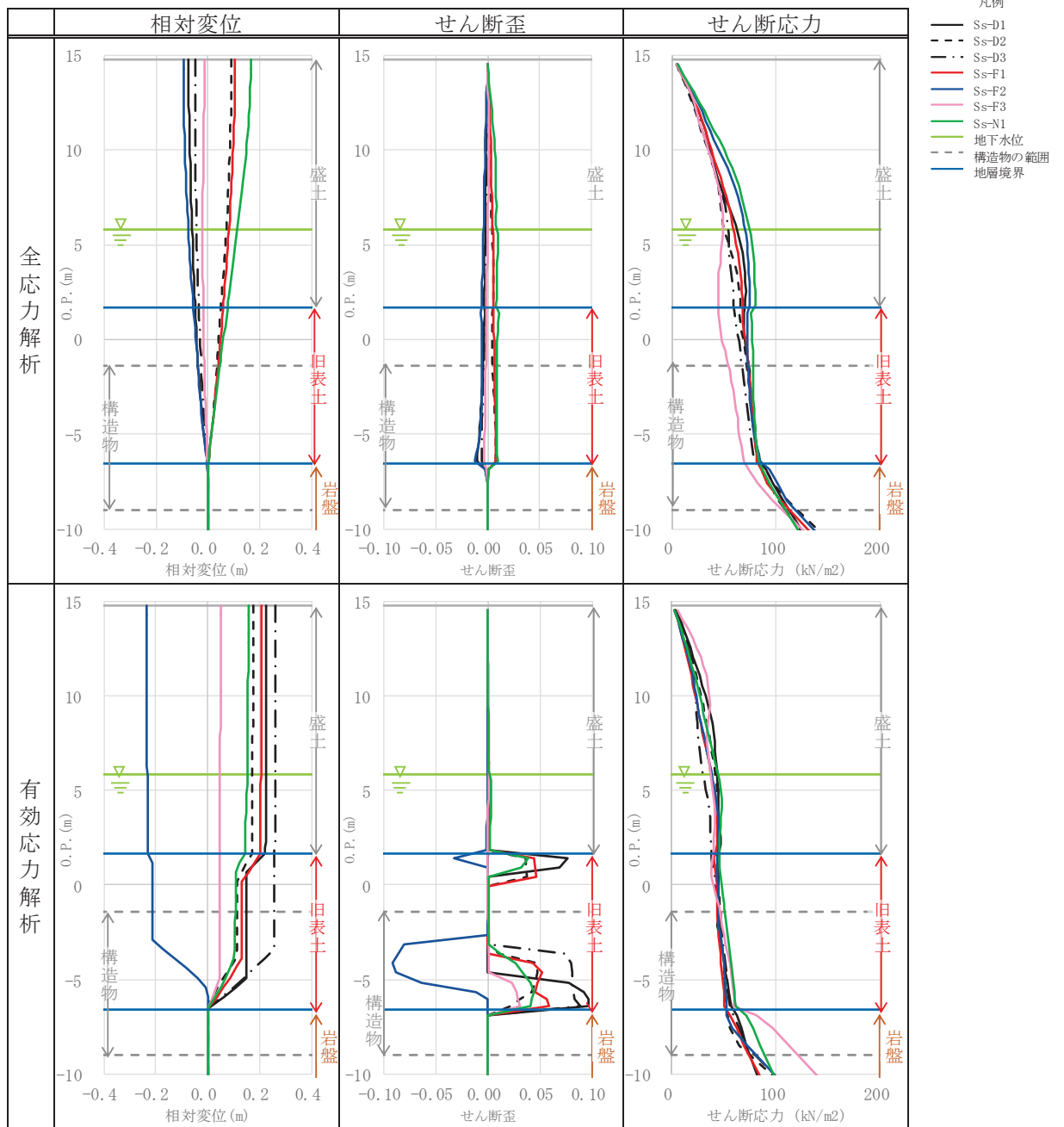


図 1-6 深度分布図 (排気筒連絡ダクト：断面③)

(2) 二次元地震応答解析

排気筒連絡ダクト（断面③）の解析モデル図を図 1-7 に示す。

二次元地震応答解析は，基準地震動  $S_s$ （7 波）に対して実施した。

曲げ・軸力系の破壊に対しては，層間変形角に着目し照査を行った。また，せん断破壊に対しては，各部材（アーチ・左側壁・右側壁・底版）の最大せん断力が発生する時刻における照査を行った。

図 1-8～図 1-14 に断面力図（曲げモーメント，せん断力，軸力）を示す。なお，断面力図は，せん断破壊に対して部材ごとに照査時刻が異なることから，せん断破壊に対する照査値が全部材で最も厳しくなった時刻を示した。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査については，全応力解析で最大照査値を示し，概ね有効応力解析と同程度であるが，いずれの手法でも十分な裕度がある結果となった。せん断破壊に対する照査については，有効応力解析と比較して全応力解析の方が厳しい結果となった。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 1-2 に，せん断破壊に対する照査結果を表 1-3 に示す。

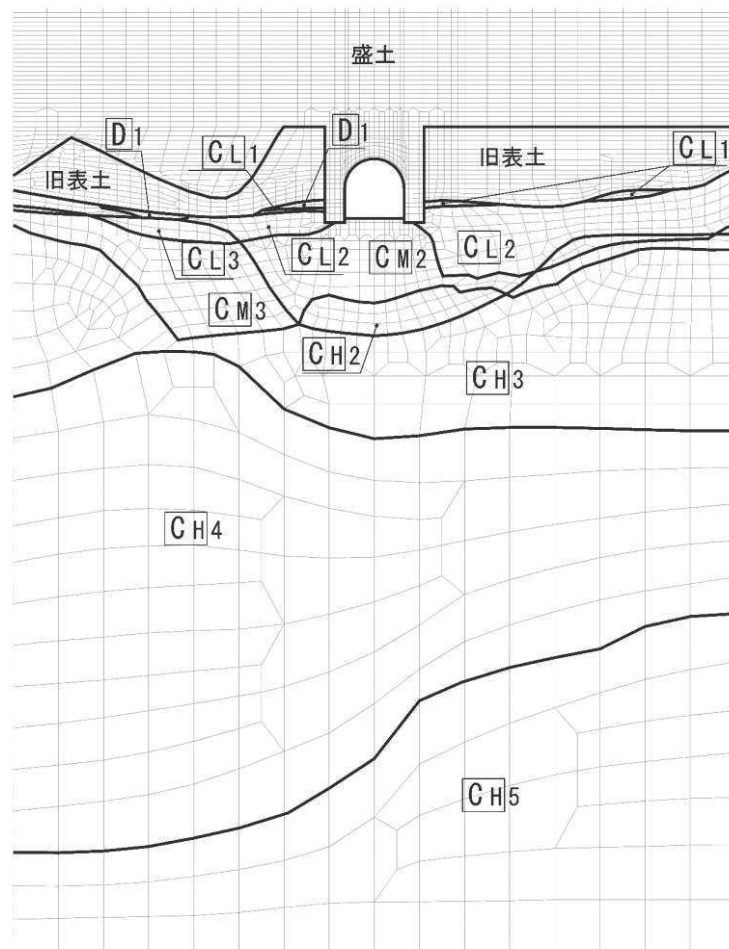


図 1-7 排気筒連絡ダクト（断面③）解析モデル図

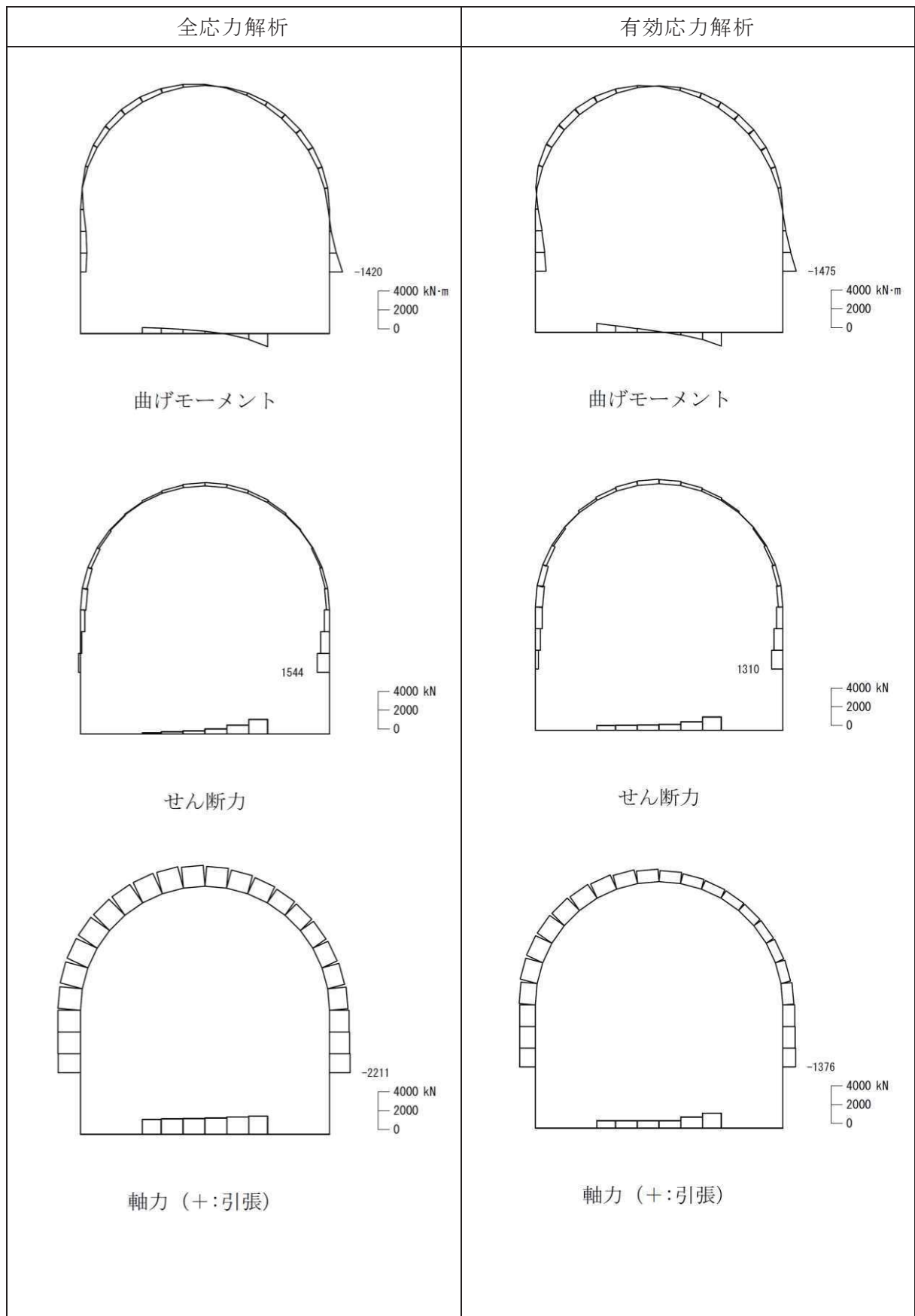


図 1-8 断面力図 (S s - D 1)

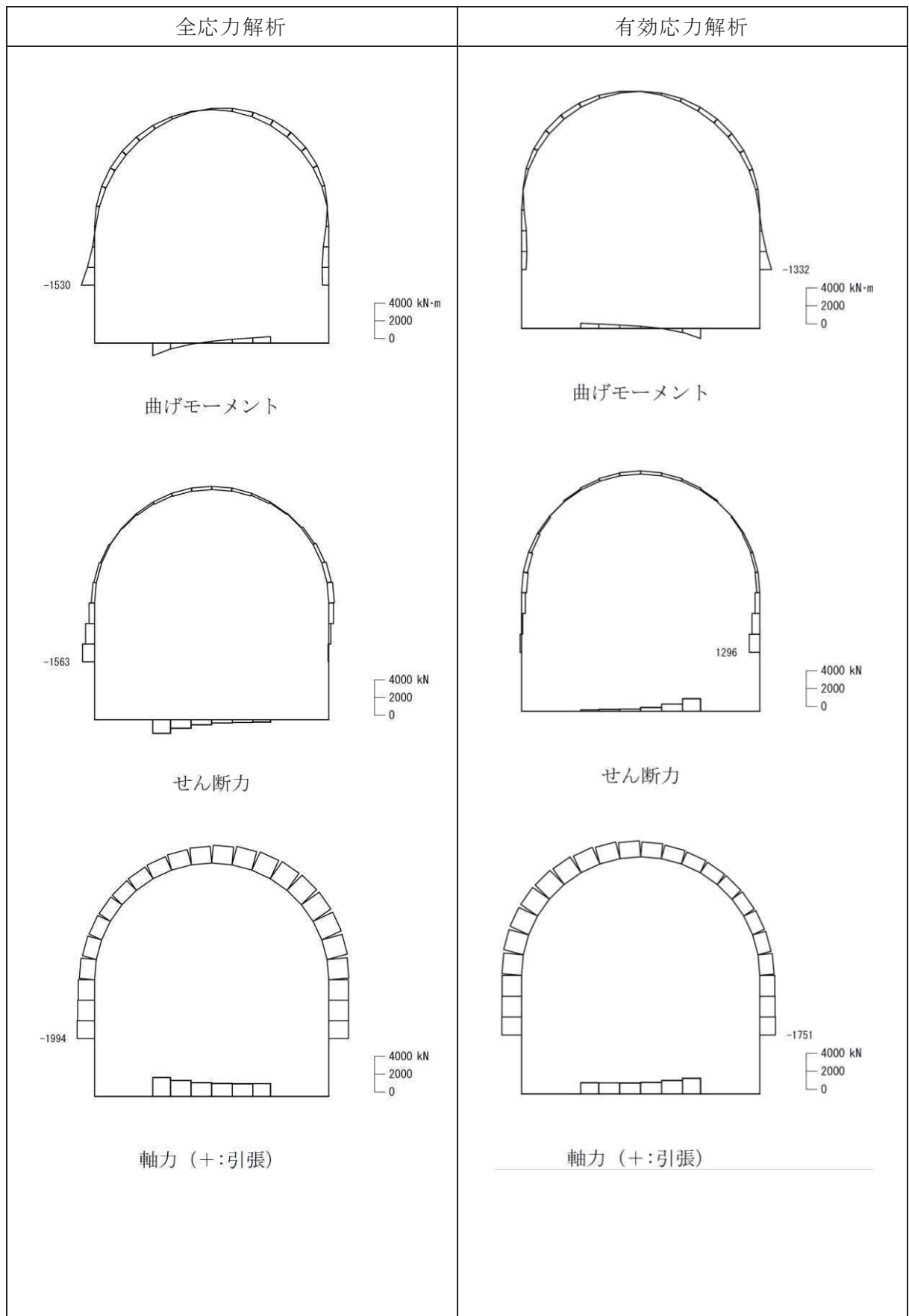


図 1-9 断面力図 (S<sub>s</sub>-D2)

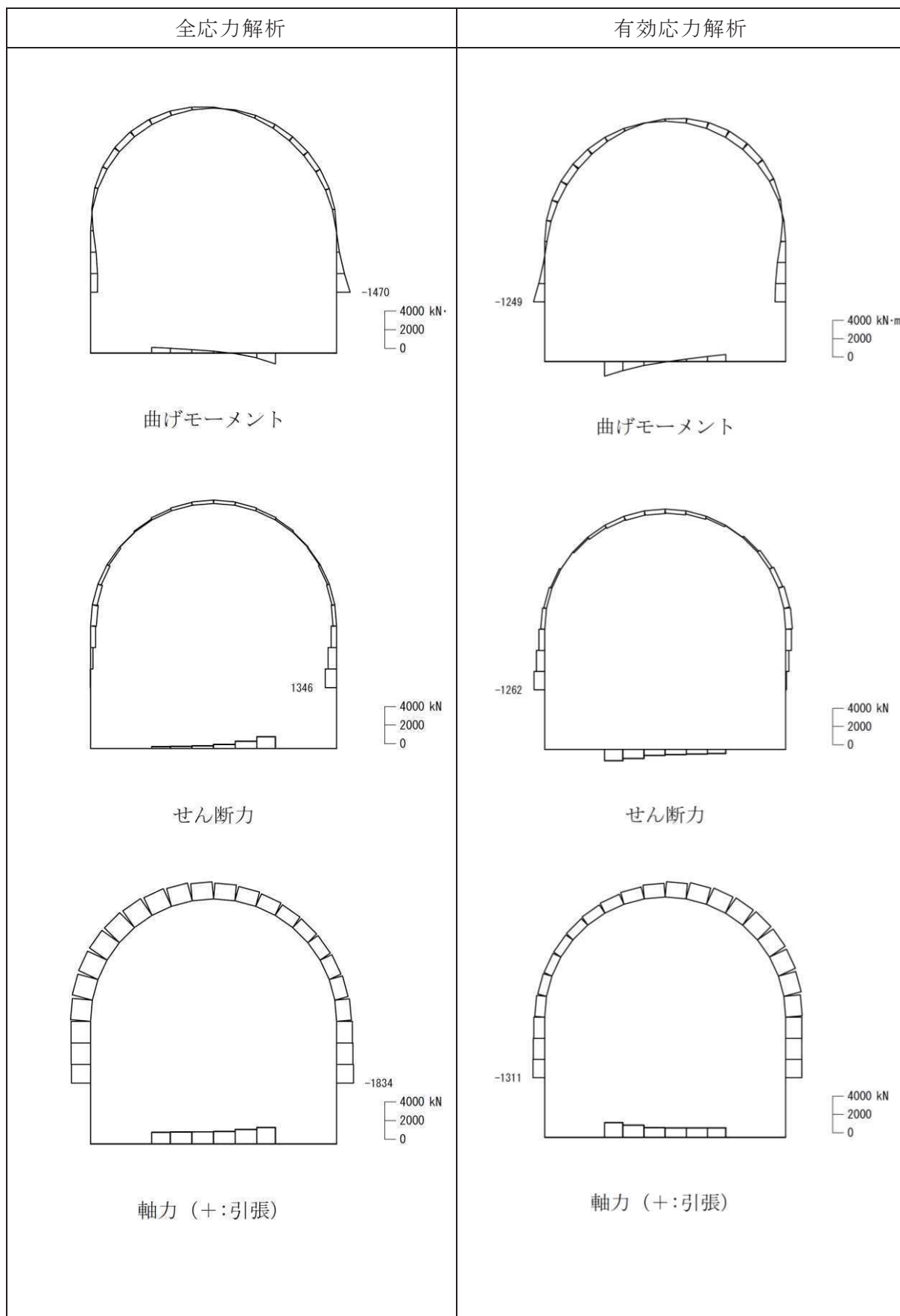


図 1-10 断面力図 (S s - D 3)

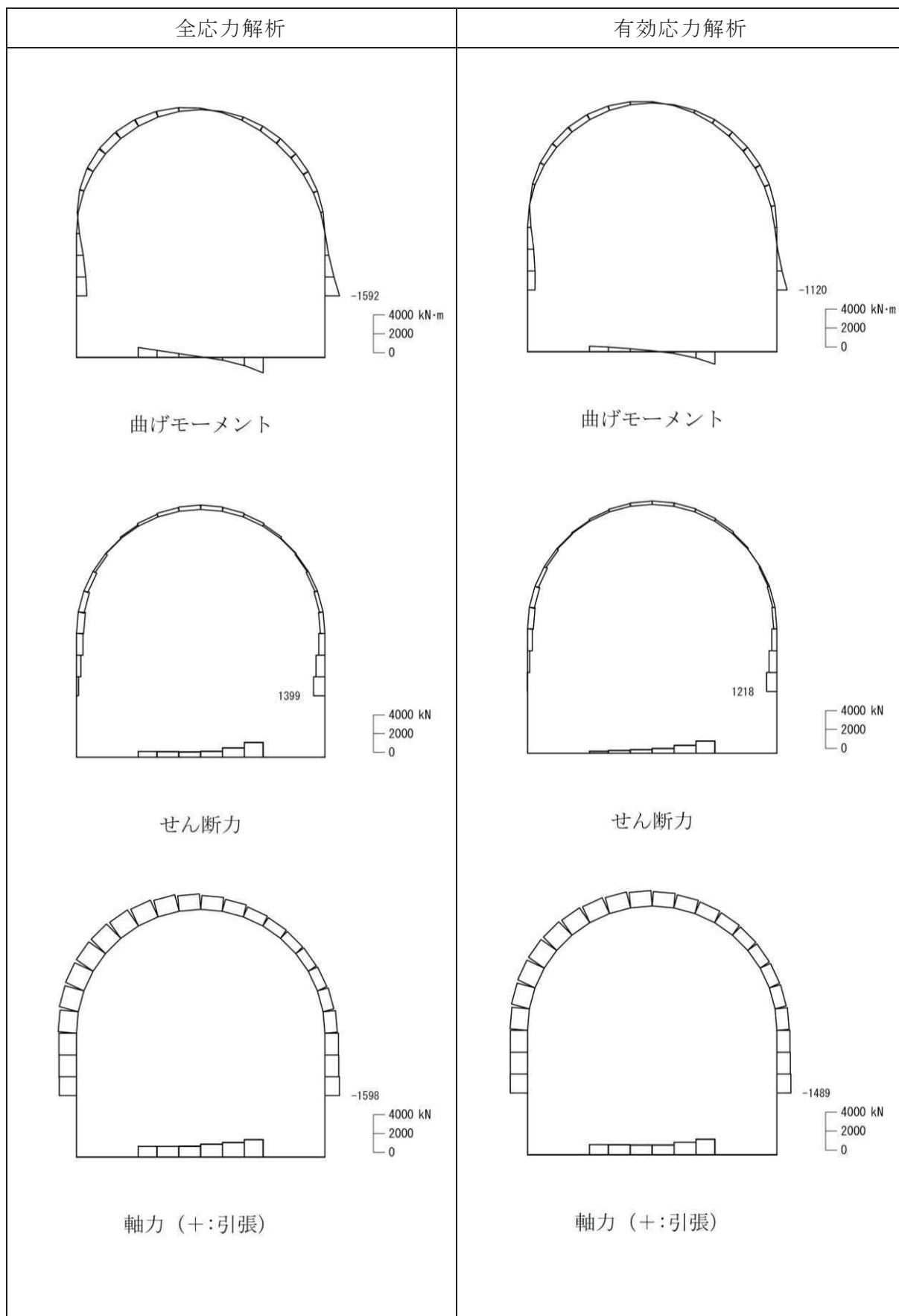


図 1-11 断面力図 (S s - F 1)

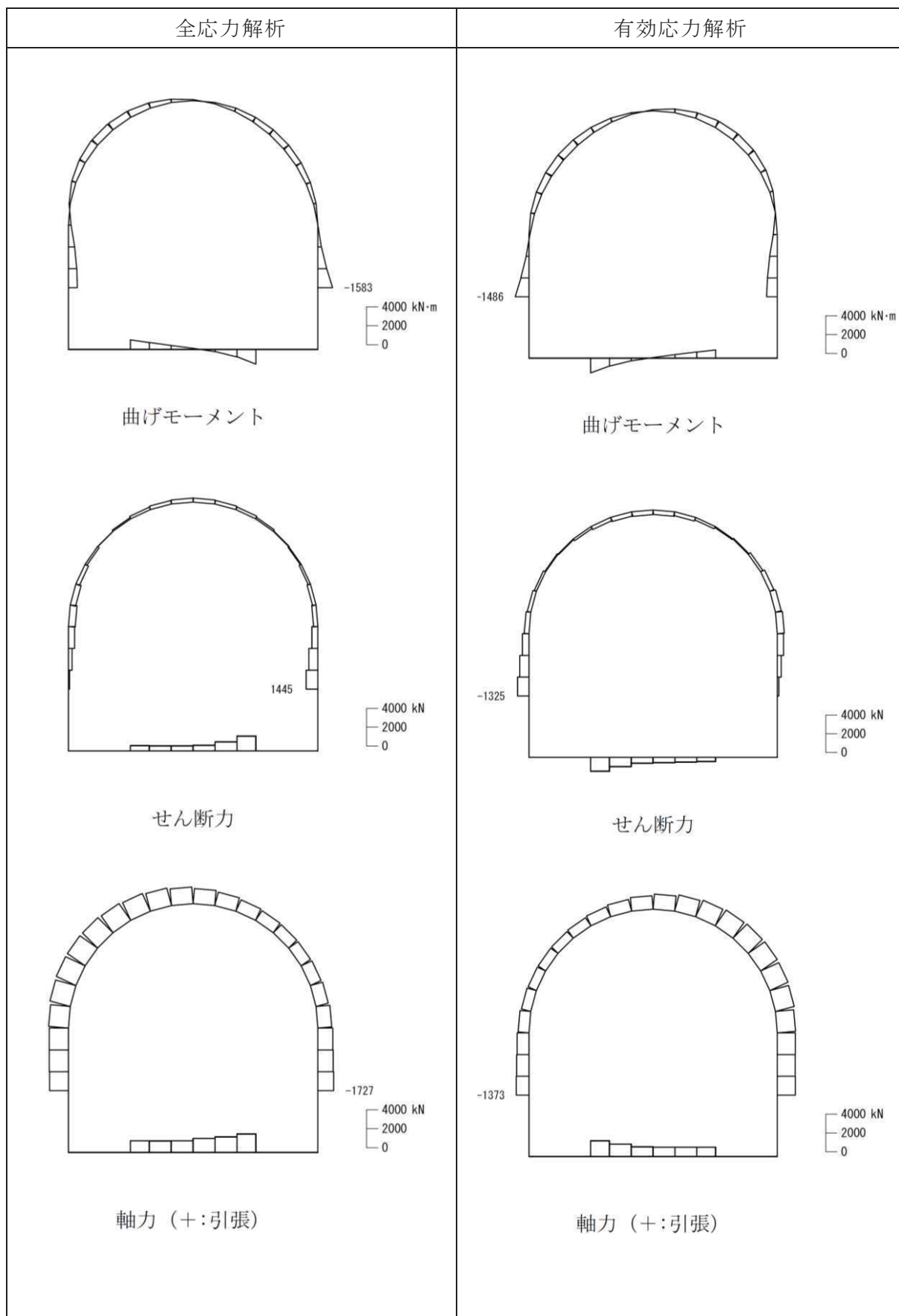


図 1-12 断面力図 (S s - F 2)

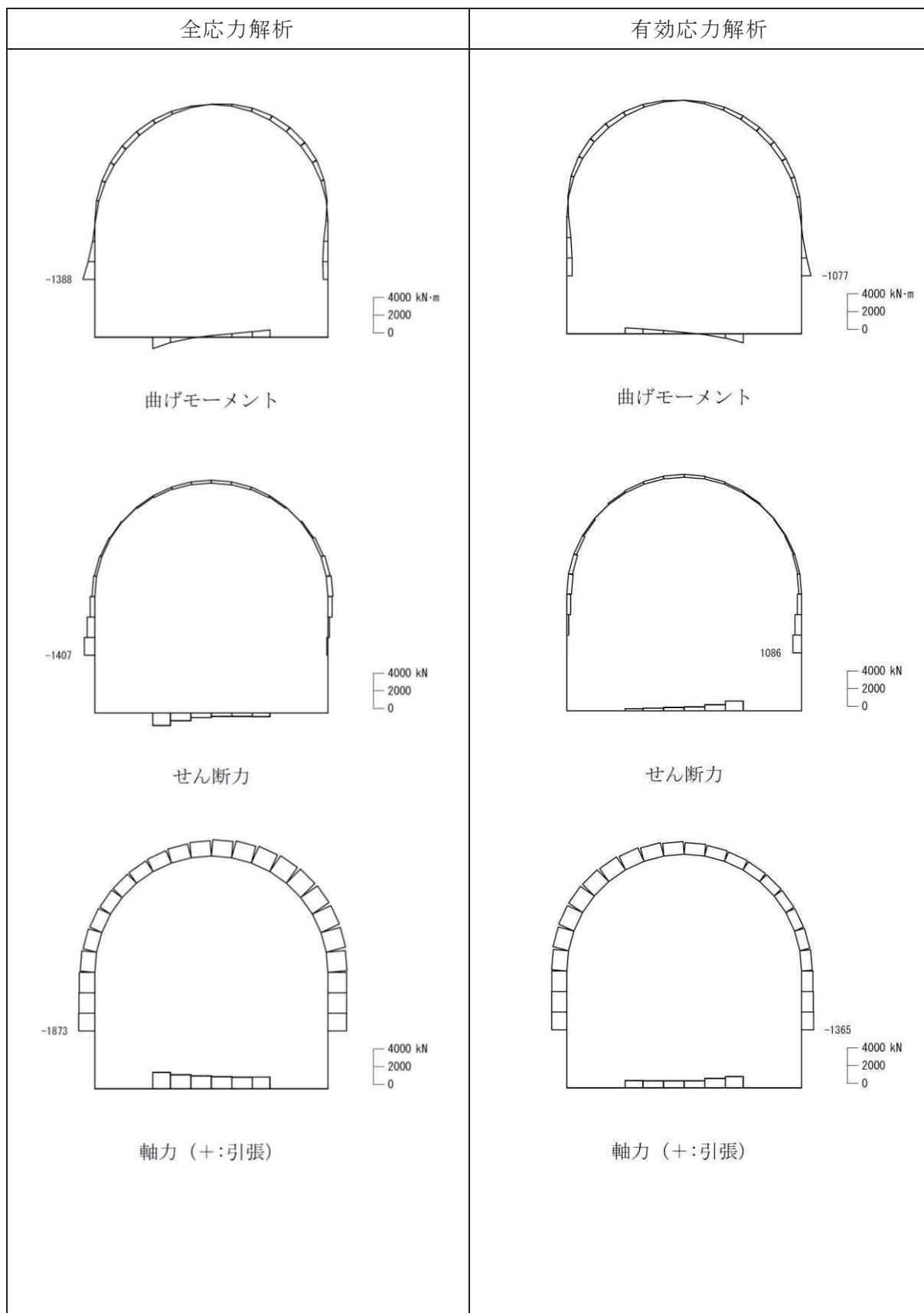


図 1-13 断面力図 (S s - F 3)



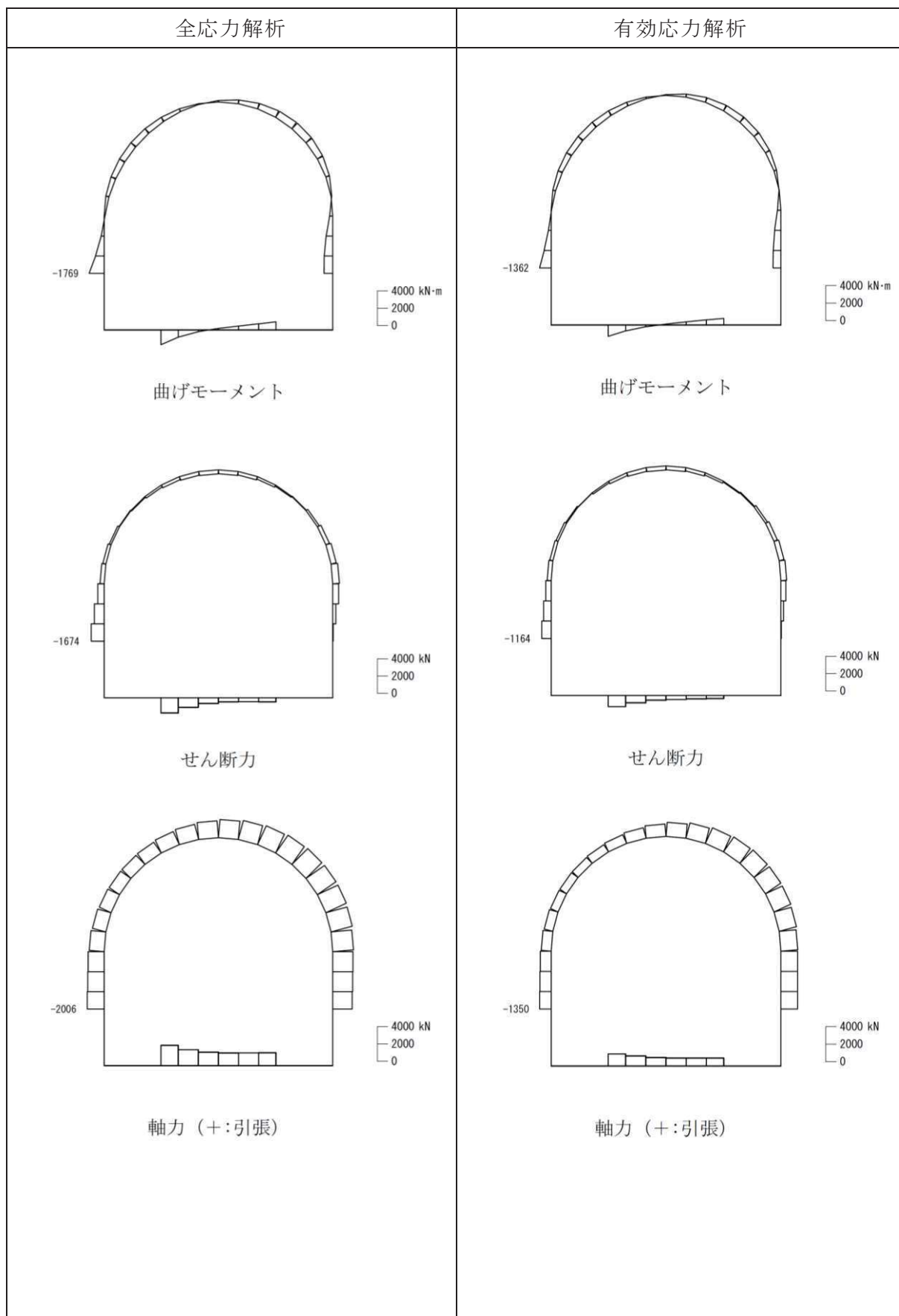


図 1-14 断面力図 (S s - N 1)

表 1-2 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果 (最大値による比較)

全応力解析	有効応力解析
0.13 (6.9 mm) (S <sub>s</sub> -D2)	0.12 (6.5 mm) (S <sub>s</sub> -D1)

網掛：全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値

( ) 内：構造物上端と下端の層間変位

照査値： $\gamma_i \times R_d / R_{ud}$

( $\gamma_i$ ：安全係数 1.0,  $R_d$ ：層間変形角,  $R_{ud}$ ：限界値 0.01)

表 1-2 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果 (基準地震動 S<sub>s</sub> (7 波))

	全応力解析	有効応力解析
S <sub>s</sub> -D1	0.11 (5.6mm)	0.12 (6.5mm)
S <sub>s</sub> -D2	0.13 (6.9mm)	0.09 (4.7mm)
S <sub>s</sub> -D3	0.08 (4.2mm)	0.11 (6.0mm)
S <sub>s</sub> -F1	0.12 (6.1mm)	0.08 (4.3mm)
S <sub>s</sub> -F2	0.11 (5.7mm)	0.12 (6.2mm)
S <sub>s</sub> -F3	0.06 (3.1mm)	0.05 (2.5mm)
S <sub>s</sub> -N1	0.11 (5.8mm)	0.09 (4.9mm)

網掛：全応力解析, 有効応力解析のそれぞれにおける最大値

( ) 内：構造物上端と下端の層間変位

表 1-3 (1) せん断破壊に対する照査結果\* (最大値による比較)

全応力解析				有効応力解析			
アーチ	左側壁	右側壁	底版	アーチ	左側壁	右側壁	底版
0.77 (S <sub>s</sub> -D2)	1.63 (S <sub>s</sub> -N1)	1.47 (S <sub>s</sub> -D1)	1.29 (S <sub>s</sub> -N1)	0.77 (S <sub>s</sub> -D1)	1.31 (S <sub>s</sub> -F2)	1.30 (S <sub>s</sub> -D1)	1.06 (S <sub>s</sub> -D2)

注記\*：「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年)」に基づくせん断耐力式により算定

上段：最大応答値, 下段：最大応答値を示す地震動

網掛：部材ごとに全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値

表 1-3 (2) せん断破壊に対する照査結果\* (基準地震動  $S_s$  (7波))

	全応力解析				有効応力解析			
	アーチ	左側壁	右側壁	底版	アーチ	左側壁	右側壁	底版
$S_s$ -D1	0.73	1.41	<u>1.47</u>	1.21	0.77	1.24	1.30	1.01
$S_s$ -D2	<u>0.77</u>	1.51	1.27	1.14	0.64	1.18	1.25	1.06
$S_s$ -D3	0.60	1.20	1.31	0.99	0.72	1.24	1.10	0.98
$S_s$ -F1	0.73	1.23	1.38	1.10	0.64	1.16	1.18	0.90
$S_s$ -F2	0.69	1.26	1.41	1.13	0.75	1.31	1.19	1.04
$S_s$ -F3	0.54	1.36	1.00	1.03	0.49	0.97	1.05	0.84
$S_s$ -N1	0.74	<u>1.63</u>	1.08	<u>1.29</u>	0.65	1.15	0.95	0.90

注記\* : 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)」に基づくせん断耐力式により算定。1.0を上回る照査値となる部材に対しては今後材料非線形解析による方法等により安全性を確認する。

網掛 : 部材ごとに全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値, また下線は各部材の最大値

## 2. 取水路

### (1) 一次元地震応答解析

取水路は二連ボックスカルバート構造の地中構造物であり、構造物周辺が地盤改良されている。取水路縦断図を図 2-1 に、断面図（地震時荷重算出断面：断面②，断面③）を図 2-2，図 2-3 に、一次元地震応答解析のモデル図を図 2-4 に示す。

構造物に対して支配的な荷重と考えられる液状化検討対象層の土圧は、改良地盤を介して構造物に作用すると考えられることから、一次元地震応答解析の地盤モデルは改良地盤の脇の地盤を想定した。

断面③は、岩盤の速度層がほぼ水平成層であり、改良地盤の外側と構造物中央の断面を比較すると、液状化検討対象層（旧表土）の厚さも横断方向に同等であることから、構造物直下の MMR を原地盤（旧表土）としたうえで、構造物中央位置の断面を代表としてモデル化した。断面③の地質断面図及び一次元地震応答解析の断面位置を図 2-5 に示す。

一次元地震応答解析結果（全応力解析及び有効応力解析の各指標の最大値）の一覧を表 2-1 に示す。また、一次元地震応答解析結果について、構造物頂版と底版の深度の相対変位が最大となる時刻における相対変位，せん断歪の深度分布図，及び全時刻で最大となるせん断応力の深度分布図を図 2-6 に示す。

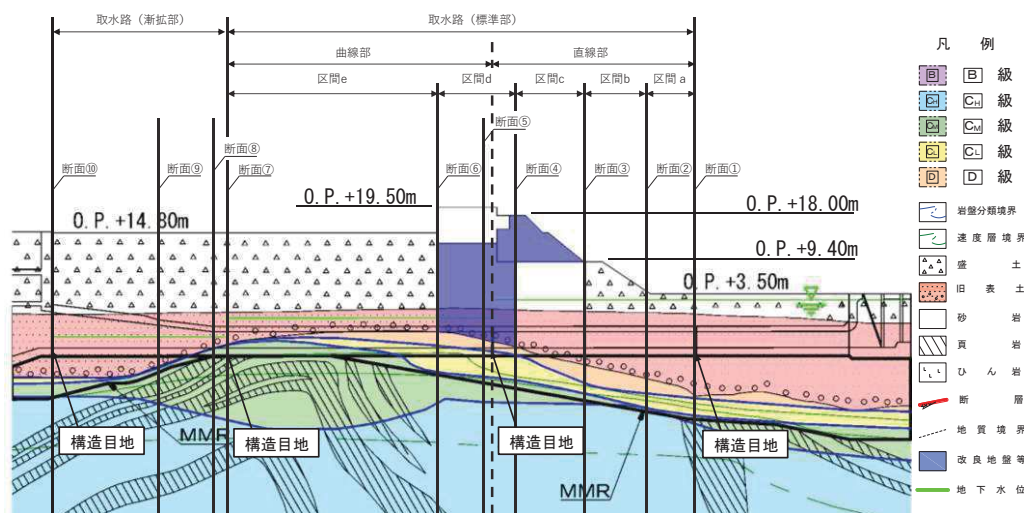


図 2-1 取水路縦断図

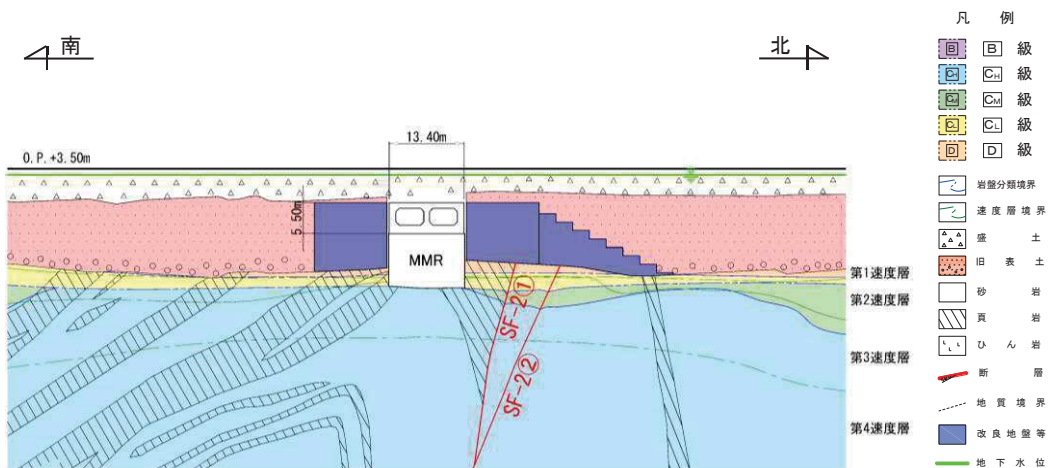


図 2-2 取水路断面図 (断面②)

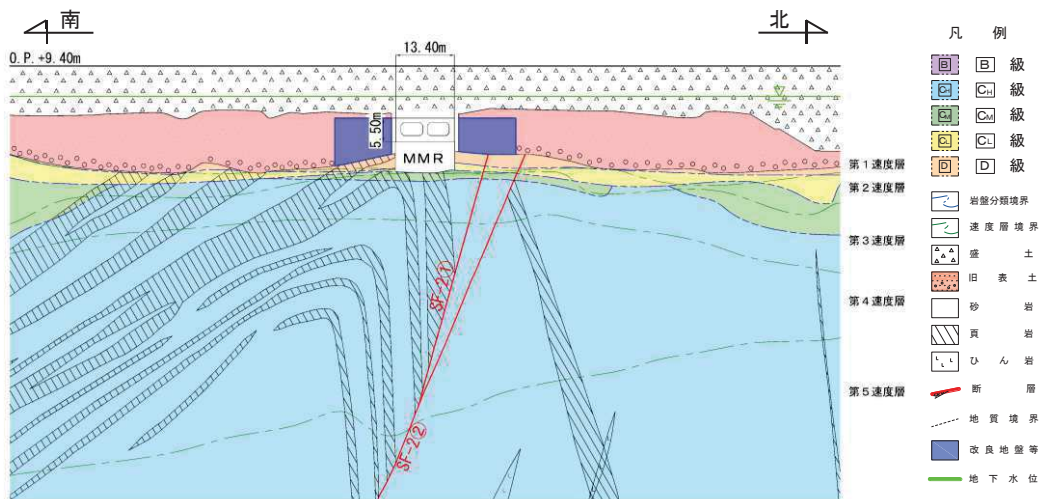


図 2-3 取水路断面図 (断面③)

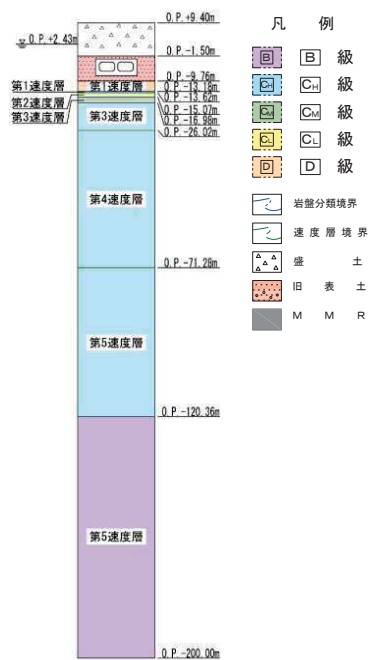


図 2-4 一次元地震応答解析モデル図 (断面③)

地盤モデル断面位置

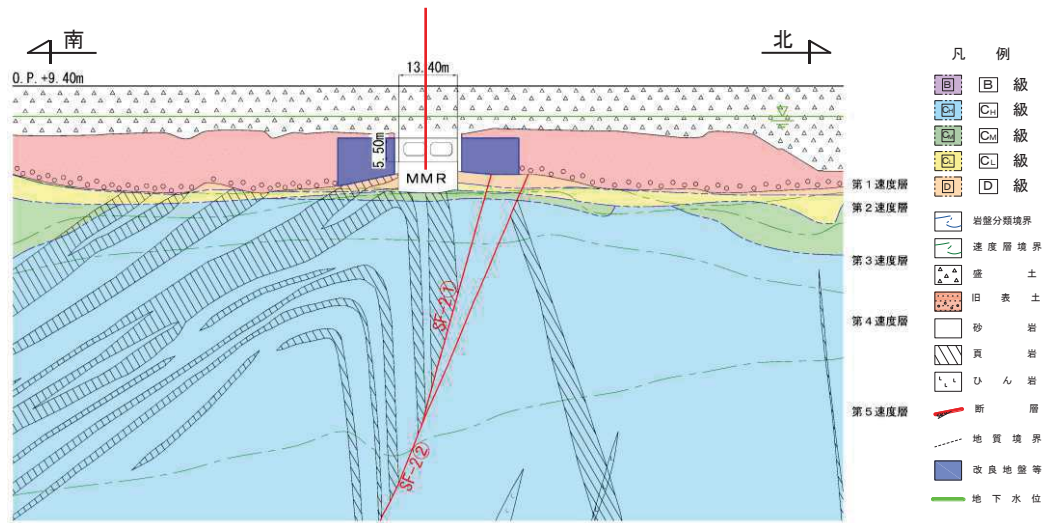


図 2-5 取水路（断面③）地質断面図及び一次元地震応答解析の断面位置

表 2-1 一次元地震応答解析結果（各指標の最大値）  
（取水路：断面③）

一次元全応力解析			一次元有効応力解析		
相対変位 (m)	せん断歪	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )	相対変位 (m)	せん断歪	せん断応力 (kN/m <sup>2</sup> )
0.056* (S s - N 1)	0.008 (S s - N 1)	75 (S s - N 1)	0.257* (S s - D 1)	0.087 (S s - F 2)	50 (S s - N 1)

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（相対変位，せん断歪，せん断応力）において，全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値

注記\*：取水路の断面③は MMR を介して岩盤に支持されており，構造物には MMR 下端と取水路頂版の変位差分が土圧として作用すると考えられることから，相対変位は MMR 下端と躯体頂版間の変位差とした。

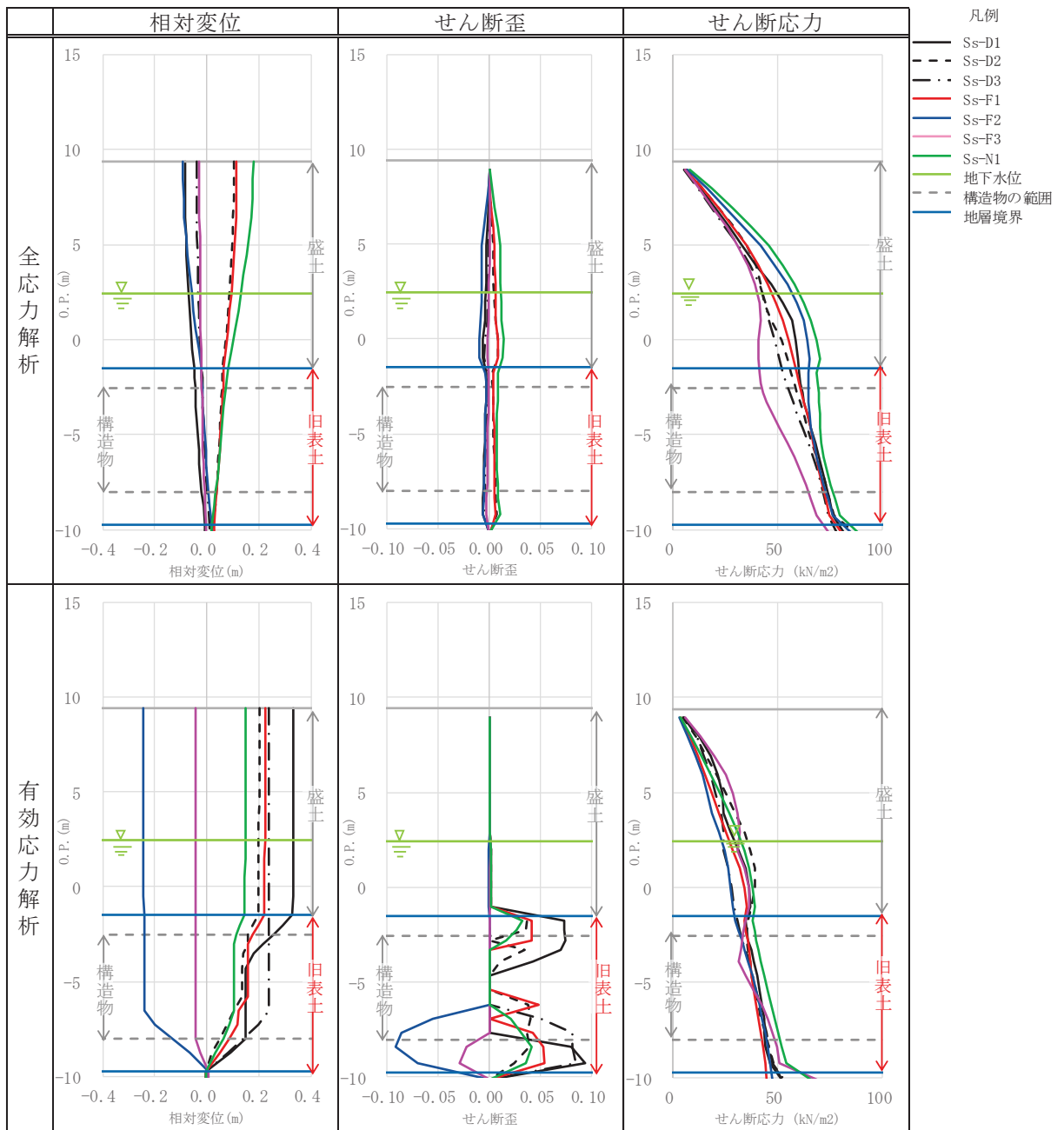


図 2-6 深度分布図（取水路：断面③）

表 2-1, 図 2-6 から, 有効応力解析の方が相対変位及びせん断歪は大きい値となり, せん断応力については全応力解析が大きい値となることがわかる。地盤の液状化の影響を考慮できる有効応力解析では, 地盤の剛性が異なる岩盤と液状化検討対象層（旧表土）の境界付近で変位・せん断歪の急激な変化が発生するが, せん断応力は全深度にわたり, 全応力解析に比べて小さな値となっている。

(2) 二次元地震応答解析

取水路（断面③）の解析モデル図を図 2-7 に示す。

二次元地震応答解析は、基準地震動  $S_s$ （7 波）に対して実施した。

曲げ・軸力系の破壊に対しては、層間変形角に着目し照査を行った。また、せん断破壊に対しては、各部材（頂版・底版・左側壁・隔壁・右側壁）の最大せん断力が発生する時刻における照査を行った。

図 2-8～図 2-14 に断面力図（曲げモーメント，せん断力，軸力）を示す。なお，断面力図は，せん断破壊に対して部材ごとに照査時刻が異なることから，せん断破壊に対する照査値が全部材で最も厳しくなった時刻を示した。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査については，全応力解析で最大照査値を示し，概ね有効応力解析と同程度であるが，いずれの手法でも十分な裕度がある結果となった。せん断破壊に対する照査については，有効応力解析と比較して全応力解析の方が厳しい結果となった。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 2-2 に，せん断破壊に対する照査結果を表 2-3 に示す。

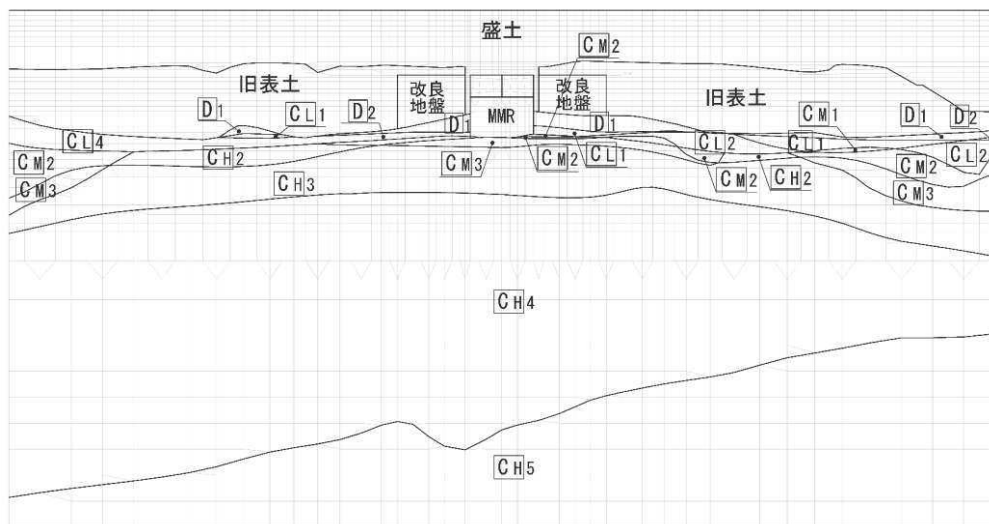


図 2-7 取水路（断面③）解析モデル図



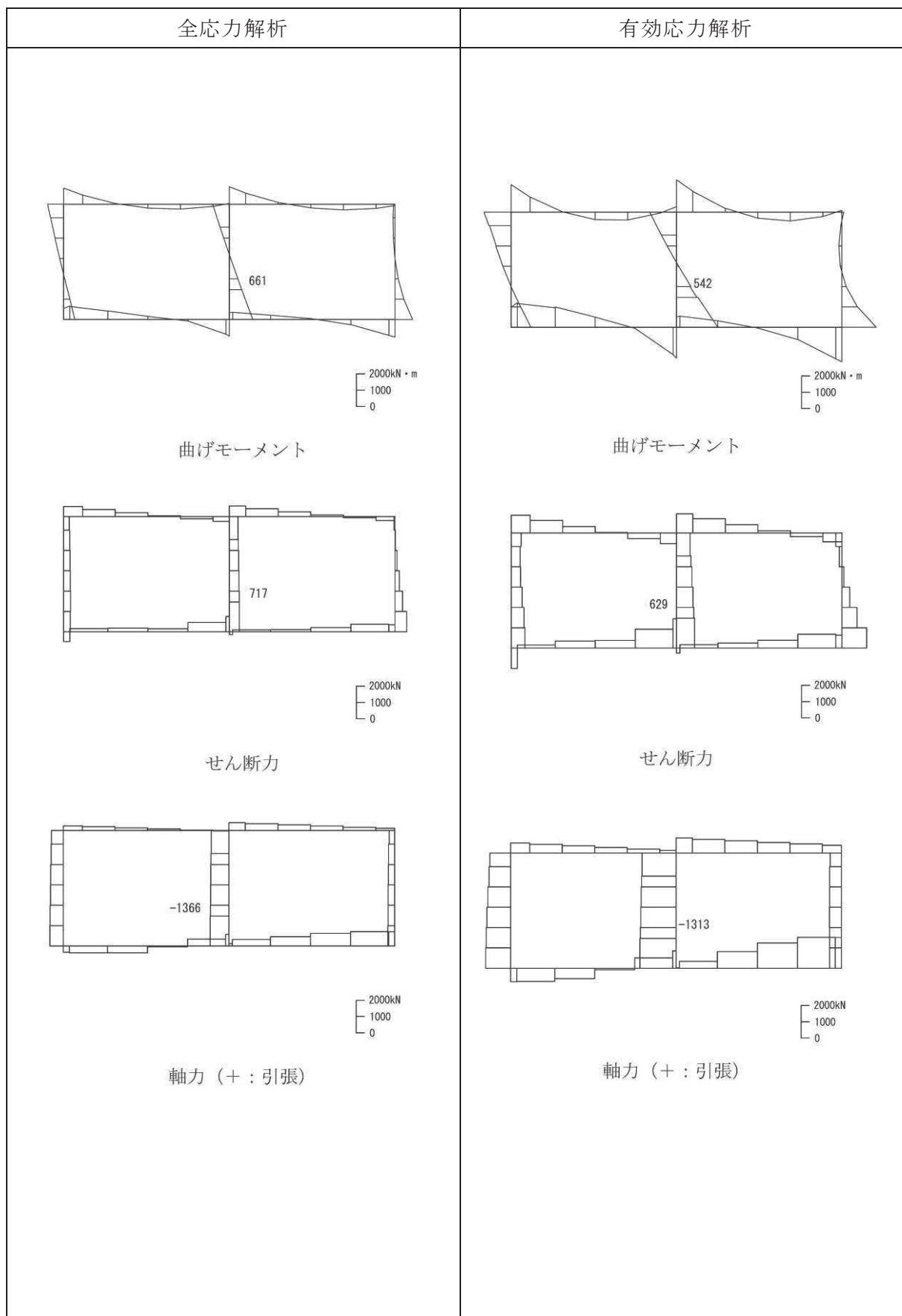


図 2-8 断面力図 (S<sub>s</sub>-D1)

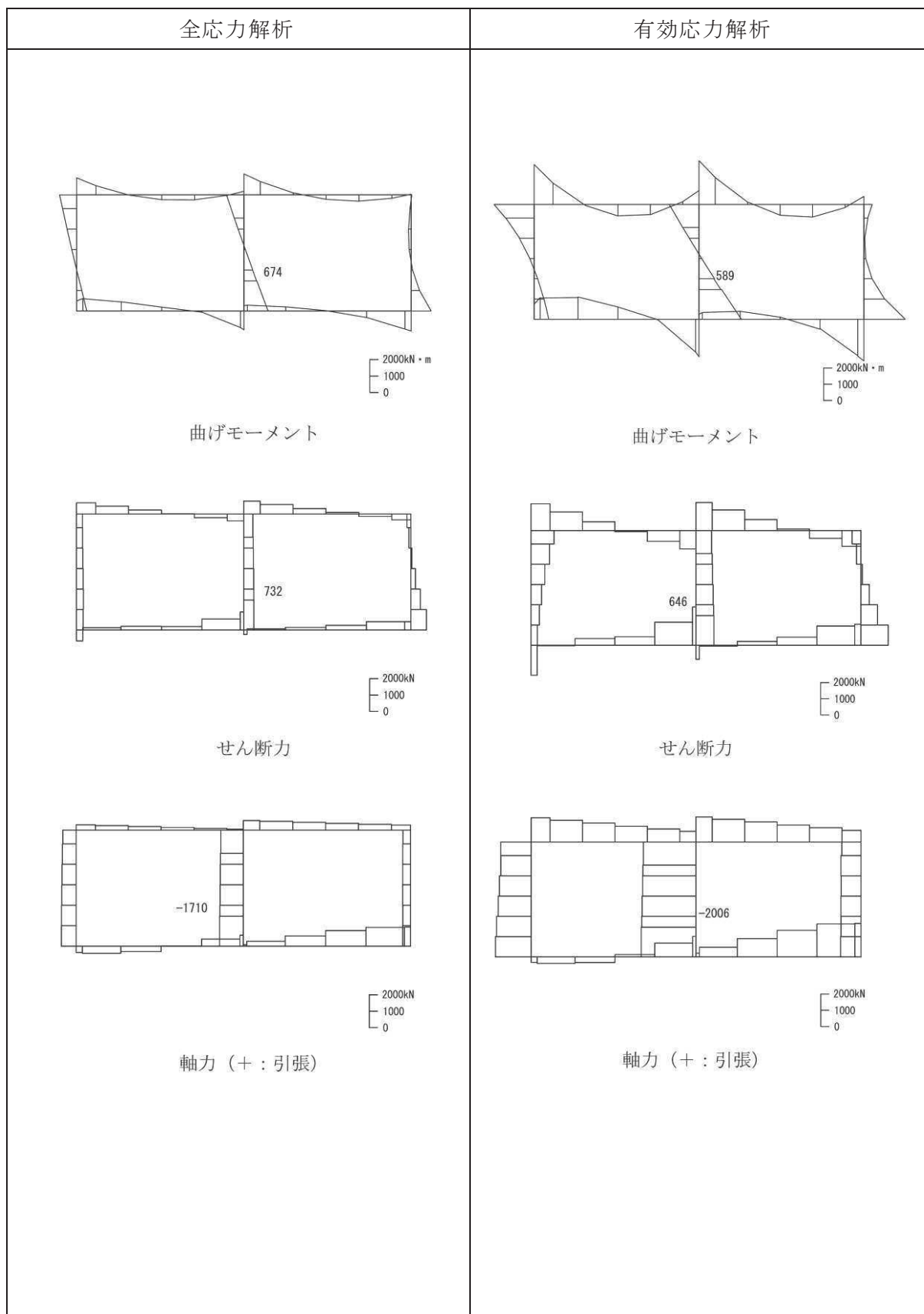


図 2-9 断面力図 (S s - D 2)

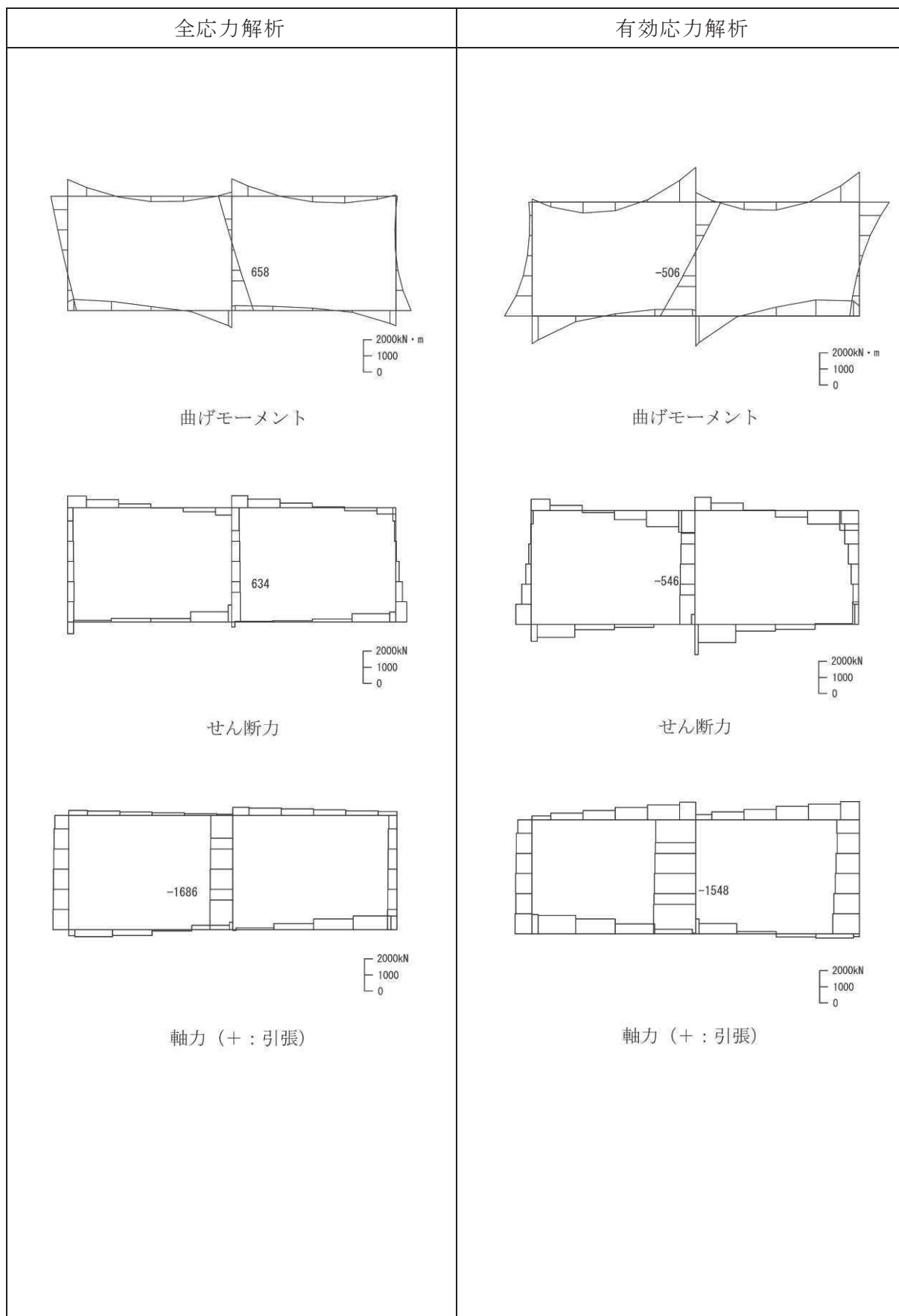


図 2-10 断面力図 (S s - D 3)

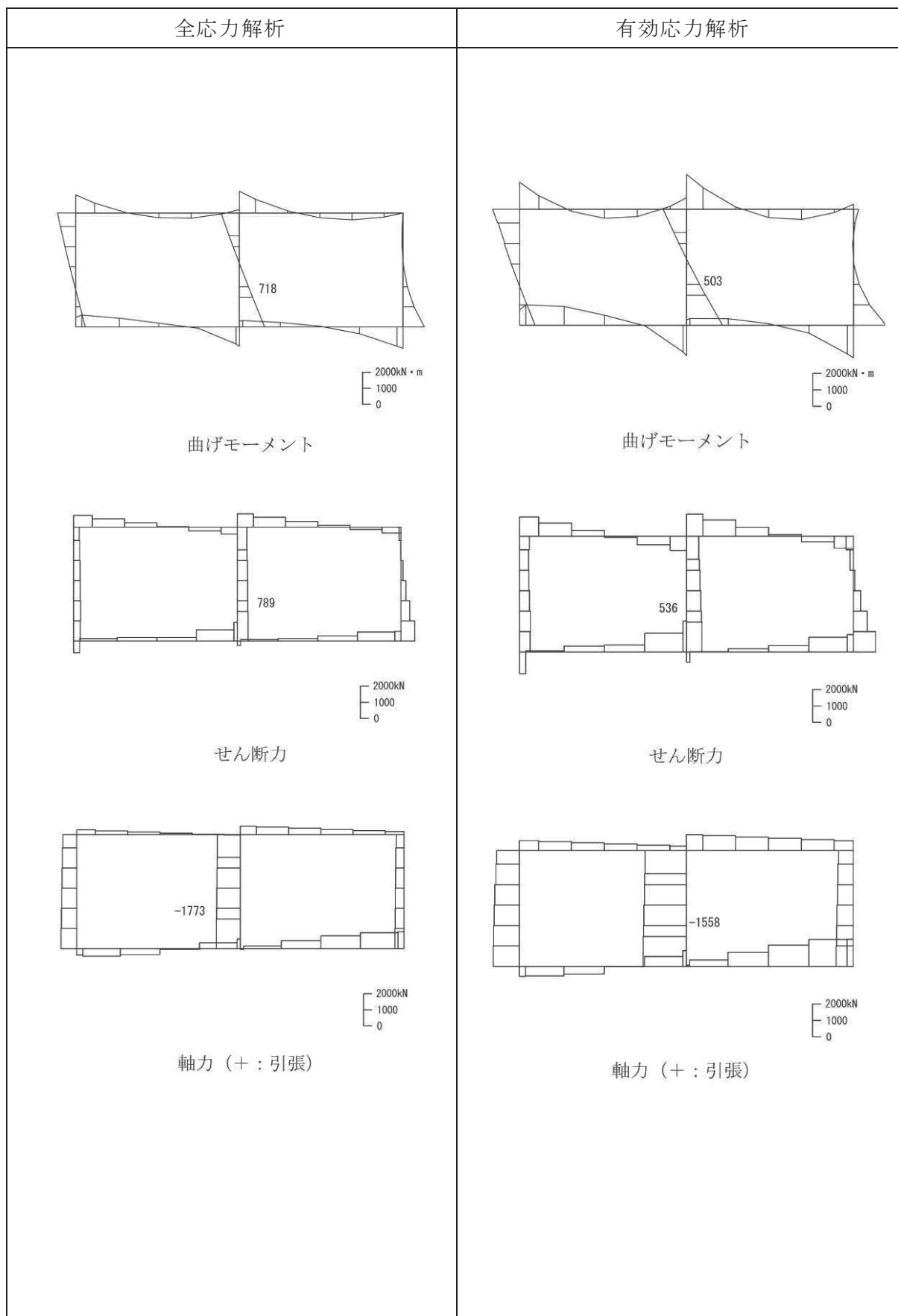


図 2-11 断面力図 (S s - F 1)

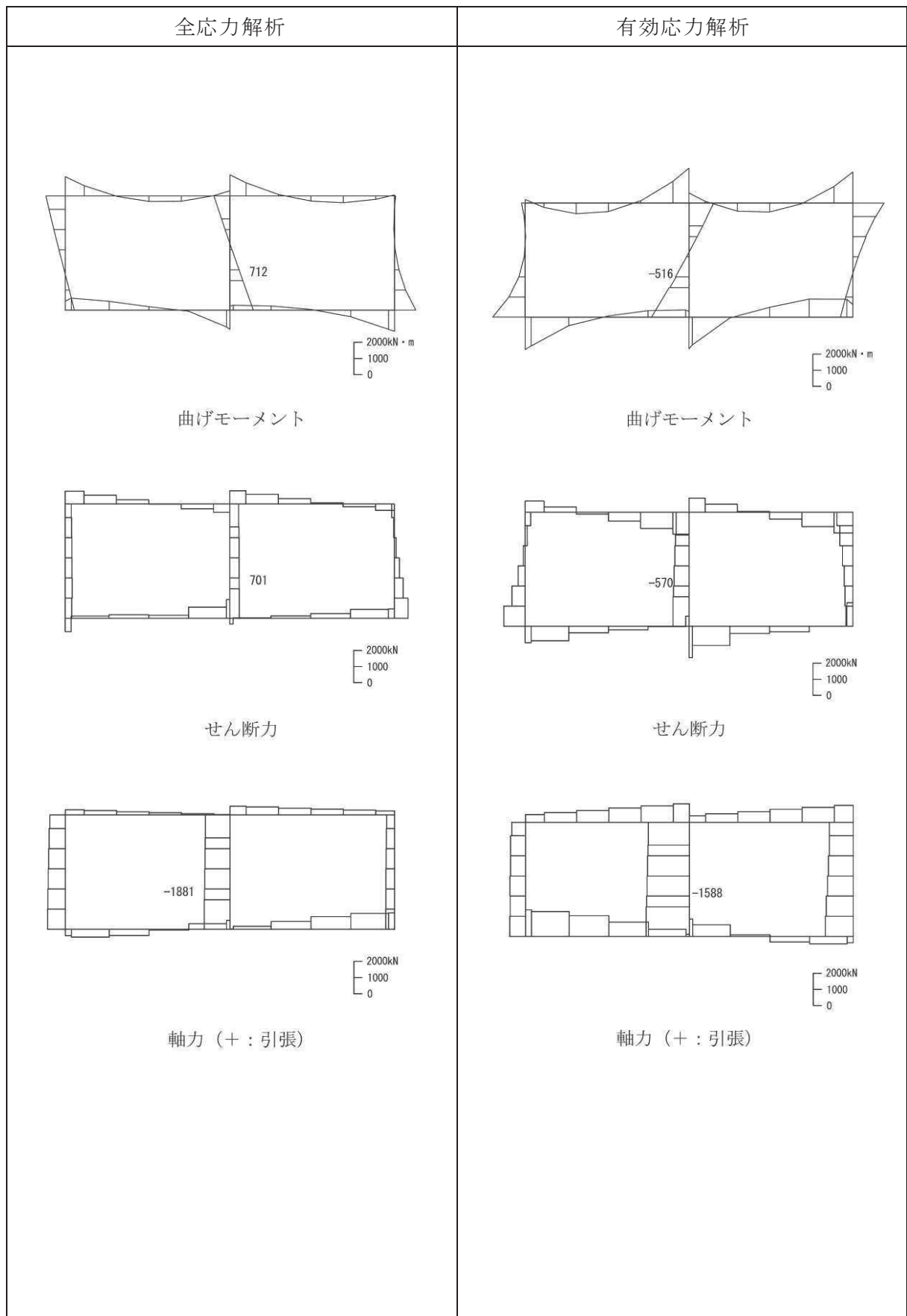


図 2-12 断面力図 (S s - F 2)

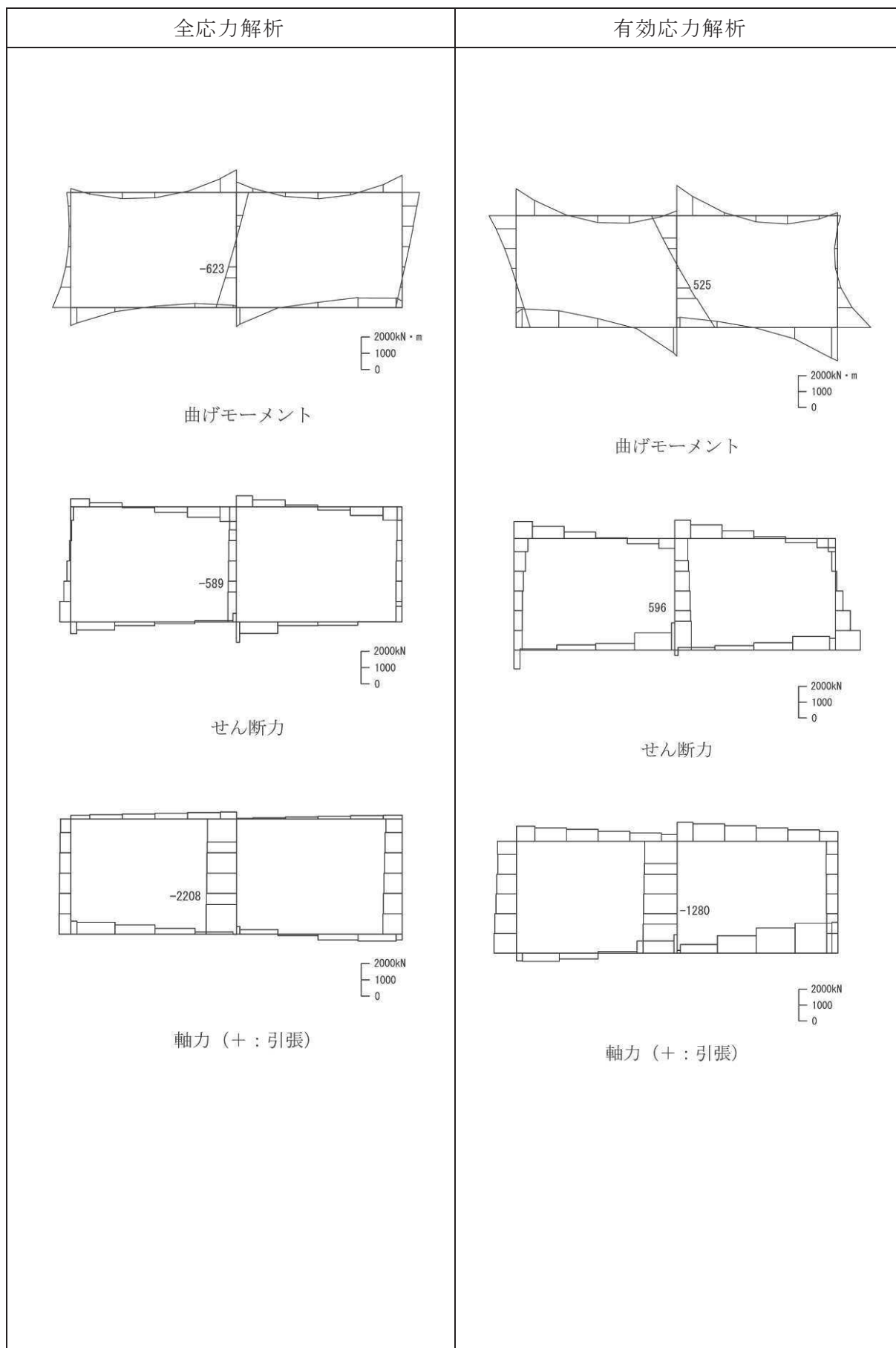


図 2-13 断面力図 (S s - F 3)

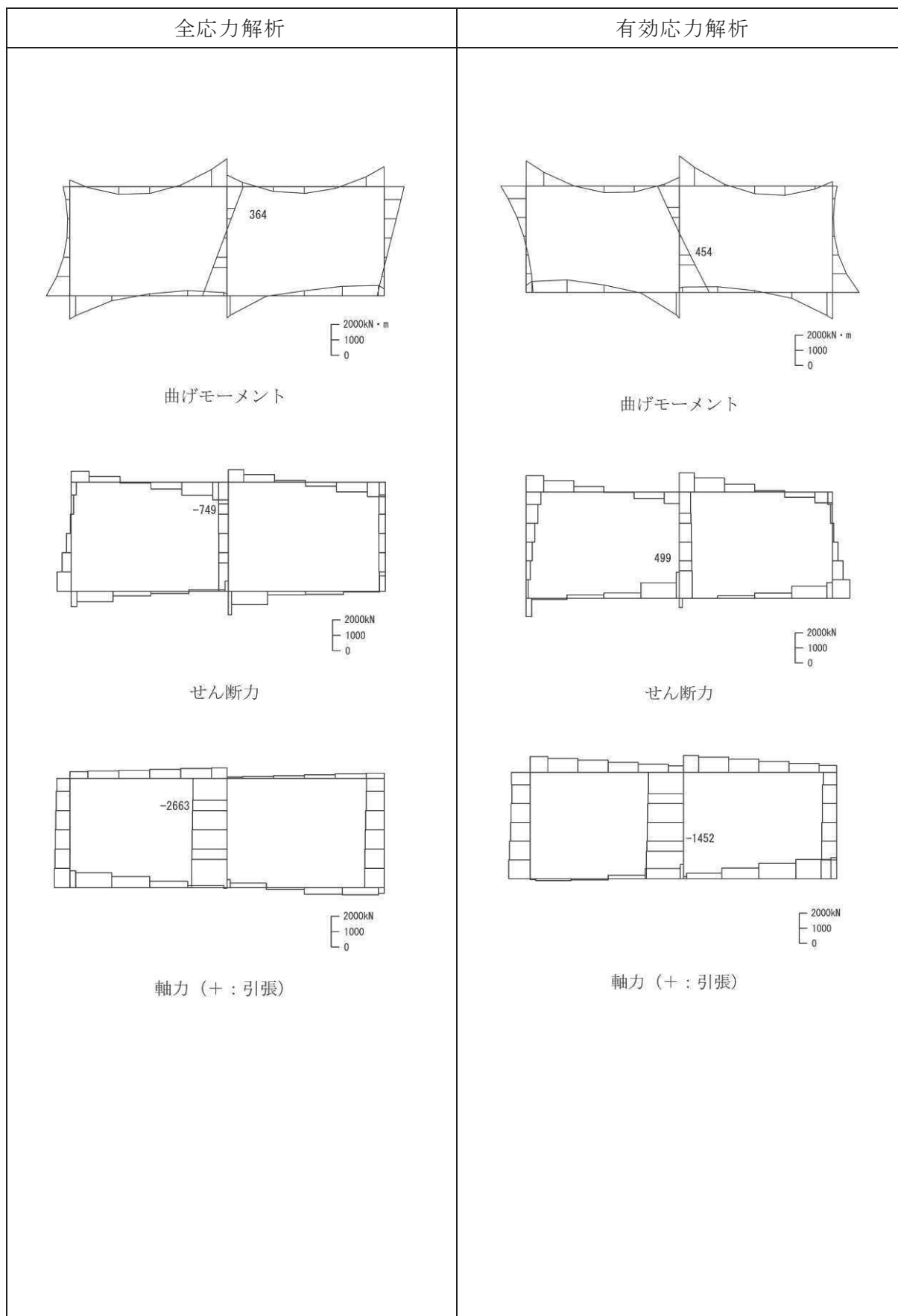


図 2-14 断面力図 (S s - N 1)

表 2-2 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果 (最大値による比較)

全応力解析	有効応力解析
0.06 (1.9 mm) (S <sub>s</sub> -F1)	0.04 (1.2 mm) (S <sub>s</sub> -D2)

網掛：全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値

( ) 内：構造物上端と下端の層間変位

照査値： $\gamma_i \times R_d / R_{ud}$

( $\gamma_i$ ：安全係数 1.0,  $R_d$ ：層間変形角,  $R_{ud}$ ：限界値 0.01)

表 2-2 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果 (基準地震動 S<sub>s</sub> (7 波))

	全応力解析	有効応力解析
S <sub>s</sub> -D1	0.06 (1.8mm)	0.04 (1.1mm)
S <sub>s</sub> -D2	0.05 (1.8mm)	0.04 (1.2mm)
S <sub>s</sub> -D3	0.05 (1.5mm)	0.03 (0.9mm)
S <sub>s</sub> -F1	0.06 (1.9mm)	0.03 (0.8mm)
S <sub>s</sub> -F2	0.05 (1.7mm)	0.03 (0.9mm)
S <sub>s</sub> -F3	0.04 (1.3mm)	0.03 (1.0mm)
S <sub>s</sub> -N1	0.05 (1.5mm)	0.03 (0.8mm)

網掛：全応力解析, 有効応力解析のそれぞれにおける最大値

( ) 内：構造物頂版と底版の層間変位



表 2-3 (1) せん断破壊に対する照査結果\* (最大値による比較)

全応力解析					有効応力解析				
頂版	底版	左側壁	隔壁	右側壁	頂版	底版	左側壁	隔壁	右側壁
0.62 (S <sub>s</sub> -N1)	0.39 (S <sub>s</sub> -N1)	0.41 (S <sub>s</sub> -D1) (S <sub>s</sub> -F1) (S <sub>s</sub> -F2)	0.83 (S <sub>s</sub> -F1)	0.42 (S <sub>s</sub> -N1)	0.49 (S <sub>s</sub> -D2)	0.33 (S <sub>s</sub> -D2)	0.50 (S <sub>s</sub> -D2)	0.66 (S <sub>s</sub> -D1)	0.47 (S <sub>s</sub> -D3)

注記\* : 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)」に基づくせん断耐力式により算定  
 上段 : 最大応答値, 下段 : 最大応答値を示す地震動  
 網掛 : 部材ごとに全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値

表 2-3 (2) せん断破壊に対する照査結果 (基準地震動 S<sub>s</sub> (7 波))

	全応力解析					有効応力解析				
	頂版	底版	左側壁	隔壁	右側壁	頂版	底版	左側壁	隔壁	右側壁
S <sub>s</sub> -D1	0.57	0.33	0.41	0.77	0.41	0.47	0.28	0.40	0.66	0.41
			0.28		0.25			0.25		0.25
S <sub>s</sub> -D2	0.60	0.34	0.38	0.76	0.38	0.49	0.33	<u>0.50</u>	0.64	0.44
			0.27		0.30			0.22		0.27
S <sub>s</sub> -D3	0.55	0.33	0.36	0.66	0.34	0.45	0.27	0.37	0.56	<u>0.47</u>
			0.23		0.23			0.18		0.23
S <sub>s</sub> -F1	0.49	0.31	0.41	<u>0.83</u>	0.34	0.40	0.26	0.36	0.54	0.35
			0.25		0.31			0.21		0.23
S <sub>s</sub> -F2	0.49	0.32	0.41	0.73	0.34	0.45	0.28	0.39	0.58	0.40
			0.25		0.30			0.23		0.22
S <sub>s</sub> -F3	0.48	0.32	0.28	0.58	0.36	0.43	0.26	0.37	0.63	0.36
			0.25		0.22			0.21		0.25
S <sub>s</sub> -N1	<u>0.62</u>	<u>0.39</u>	0.32	0.65	0.42	0.47	0.25	0.37	0.50	0.40
			0.30		0.26			0.18		0.20

照査値：「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）」に基づくせん断耐力式により算定。左側壁及び右側壁は，上側と下側で配筋が異なることから，照査値は上側・下側を記載。

網掛：部材ごとに全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値（同じ値の場合は両方に網掛），また下線は各部材の最大値

### 3. 一次元地震応答解析による解析手法選定の妥当性

一次元地震応答解析による解析手法選定の妥当性を確認するため、構造物周辺に液状化検討対象層（盛土・旧表土）が分布する排気筒連絡ダクト（土砂部）及び取水路を代表として、全応力解析及び有効応力解析による二次元地震応答解析を実施し、照査値の比較を行った。

一次元地震応答解析では、せん断応力については、有効応力解析に比べて全応力解析が大きい値となった。また、相対変位及びせん断歪については、有効応力解析の方が大きい値となった。

二次元地震応答解析では、有効応力解析と比較して全応力解析の方が、耐震評価上、構造物に対して厳しい結果となった。

以上から、一次元地震応答解析の指標として、屋外重要土木構造物等の主たる荷重である土圧を表現するせん断応力を指標とすることの妥当性を確認することができた。

参考資料 2 断層の影響を評価する断面について

1. 断層影響評価候補構造物の抽出

敷地内には SF-1～SF-2 断層，OF-1～OF-7 断層及び TF-1～TF-7 断層の 16 本の主要断層が分布しており，このうち SF-2 断層，OF-1 断層，OF-4 断層，TF-1 断層の 4 本の断層が屋外重要土木構造物等と接している。また SF-2 断層は，SF-2①断層と SF-2②断層に分かれ，それぞれ構造物と接している。

これらの断層と交差する屋外重要土木構造物等は，軽油タンク室 (H)，軽油タンク室，原子炉機器冷却海水配管ダクト，海水ポンプ室及び排気筒連絡ダクトの 5 つの構造物であり，このうち延長が長い線状構造物である排気筒連絡ダクトは，構造形態が異なる土砂部（幌型トンネル）と岩盤部（円形トンネル）の両方で断層と接している。

具体的には，軽油タンク室 (H) には SF-2①断層及び SF-2②断層が，軽油タンク室には SF-2①断層が，原子炉機器冷却海水配管ダクト及び海水ポンプ室には OF-4 断層が接している。また，排気筒連絡ダクトの土砂部には TF-1 断層及び SF-2②断層が，排気筒連絡ダクトの岩盤部には OF-1 断層及び SF-2①断層が接している。

断層の影響を評価するにあたり，これらの各断層が接する上記の構造物を，断層影響評価候補構造物（以下「候補構造物」という。）とし，これらから評価対象とする構造物を選定する。屋外重要土木構造物等の位置と主要断層の分布状況を図 1-1 に示す。

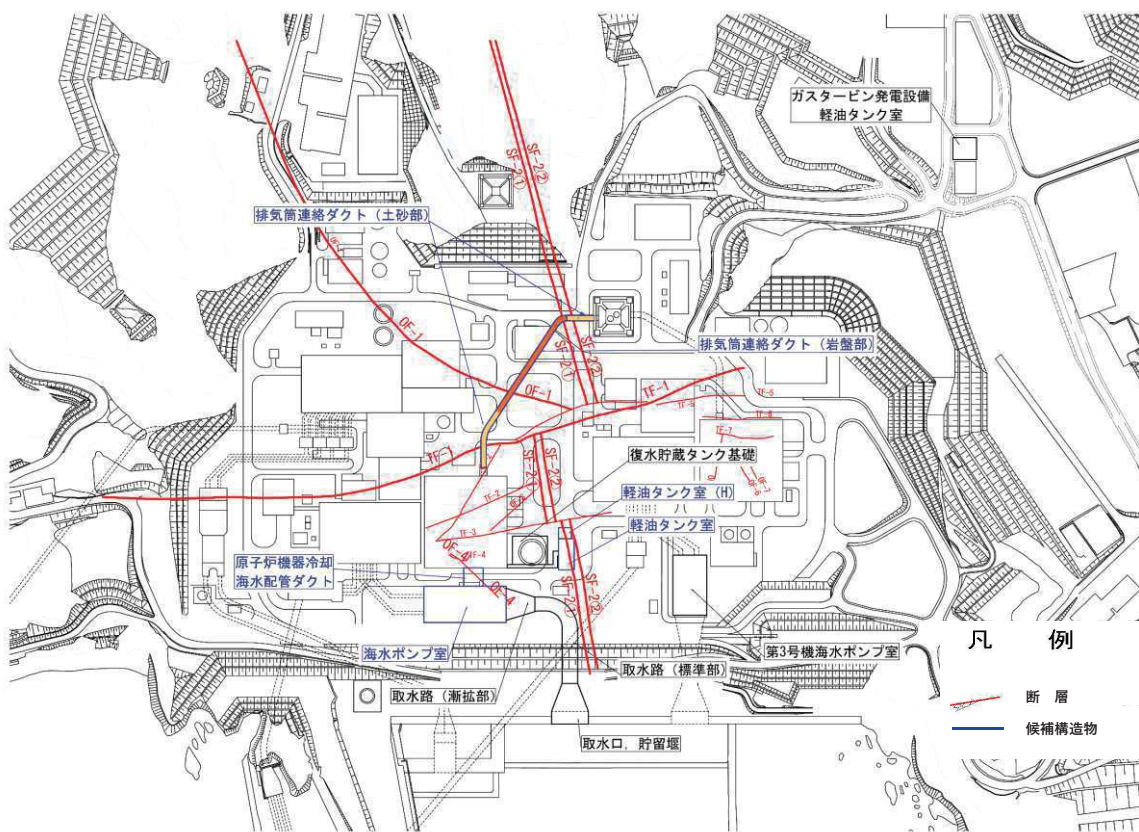


図 1-1 屋外重要土木構造物等の位置と主要断層の分布状況 (O.P. 約-14m)

## 2. 断層影響評価対象構造物の選定

構造物に対する断層の変形の影響は、周辺地質（構造物周辺が盛土にて埋め戻されている、又は岩盤に囲まれている）、支持条件（岩盤に直接設置している、又はMMRを介して岩盤に設置している）及び断層の規模（幅）により異なると考えられるため、周辺地質、構造物と断層との位置関係、断層の規模（幅）を勘案し、以下のとおり整理する。

### (1) 周辺地質及び支持条件による分類

断層の変形による構造物への影響は、構造物と断層の接し方や周辺地質により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する。構造物と断層の位置関係の例について図2-1に示す。

- a. 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（以下「分類a（MMR）」という。）
- b. 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（以下「分類b（盛土）」という。）
- c. 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（以下「分類c（岩盤）」という。）

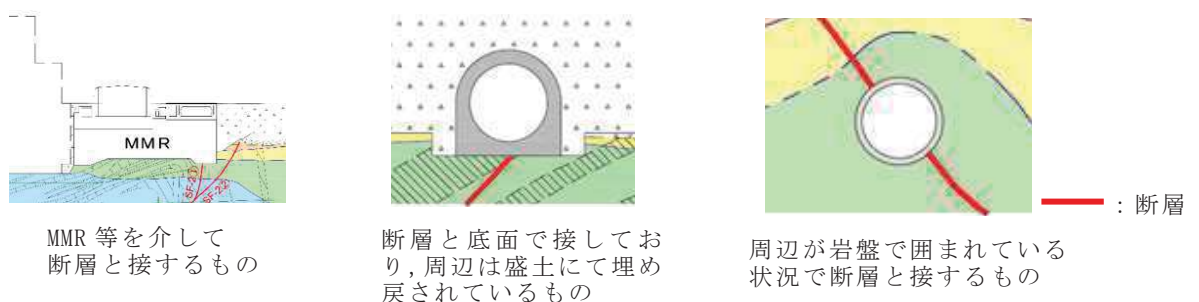


図2-1 構造物と断層の位置関係の例

### (2) 断層の規模（幅）による選定

断層影響評価対象構造物（以下「評価対象構造物」という。）は、上記「(1) 周辺地質及び支持条件による分類」に基づく分類ごとに、断層の幅や連続性を勘案して、耐震評価上、構造物に対する影響が大きいと考えられる構造物を以下の考えで選定する。

- ・ 断層幅については、破碎帯の膨縮や風化によって、各断層で必ずしも一様とはならないことから、評価に用いる断層幅は、解析モデル領域で得られた試掘坑調査、底盤スケッチ、ボーリング調査の結果により得られた値を俯瞰して、平均値により設定することとし、評価対象構造物の選定において考慮する断層幅は、各構造物の解析モデル領域の平均値とする。
- ・ 構造物への断層の影響としては、断層の変形に伴う上盤、下盤間の層間変位が大

きい程、断層の変形による構造物への影響が厳しくなると想定されることから、上記(1)の a.～c. の観点ごとに断層と接する構造物を分類したうえで、解析モデル領域の断層幅（平均値）が最も大きい構造物を評価対象構造物とする。

上記、「(1) 周辺地質及び支持条件による分類」により、候補構造物を分類した場合、軽油タンク室 (H)、軽油タンク室、原子炉機器冷却海水配管ダクト及び海水ポンプ室は分類 a (MMR) に、排気筒連絡ダクト（土砂部）は分類 b（盛土）に、排気筒連絡ダクト（岩盤部）は分類 c（岩盤）に分類される。

分類 a (MMR) に関しては、対象構造物が多いことから、上記、「(2) 断層の規模（幅）による選定」に基づき、評価対象構造物を選定する。

軽油タンク室 (H) に接する SF-2②断層の断層幅の分布を図 2-2 に、軽油タンク室 (H) 及び軽油タンク室に接する SF-2①断層の断層幅の分布を図 2-3 に示す。なお、軽油タンク室 (H) と接する SF-2①断層及び SF-2②断層の断層幅の分布範囲は、軽油タンク室 (H) と軽油タンク室が隣接し、断層の変形による構造物への影響は両構造物で同様と考えられることから、軽油タンク室 (H) の解析モデル領域を包含する軽油タンク室の解析モデル領域とする。

また、原子炉機器冷却海水配管ダクト及び海水ポンプ室に接する OF-4 断層の断層幅の分布を図 2-4 に示す。

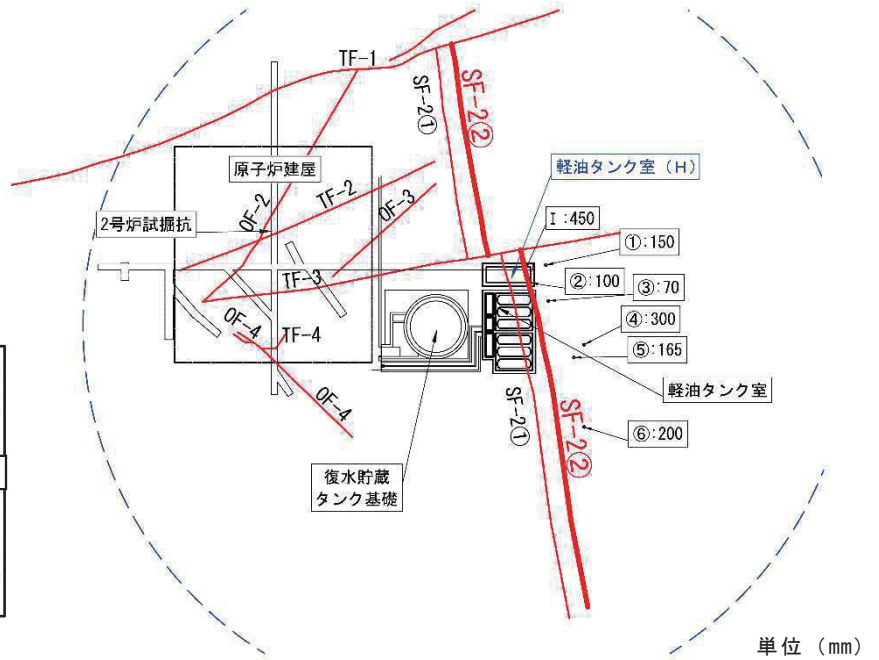
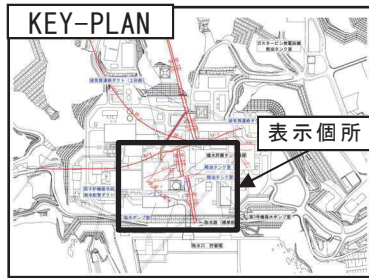
分類 b（盛土）と分類 c（岩盤）については、対象となる構造物が排気筒連絡ダクトのみであることから、分類 b（盛土）に関しては排気筒連絡ダクト（土砂部）を、分類 c（岩盤）に関しては排気筒連絡ダクト（岩盤部）を、それぞれ評価対象構造物として選定する。

排気筒連絡ダクト（土砂部）に接する TF-1 断層及び SF-2②断層の断層幅の分布を図 2-5、図 2-6 に、排気筒連絡ダクト（岩盤部）に接する OF-1 断層及び SF-2①断層の断層幅の分布を図 2-7、図 2-8 に、それぞれ示すとともに各候補構造物の断層幅の調査結果の一覧を表 2-1 に示す。

分類 a (MMR) については、軽油タンク室 (H) に接する SF-2②断層の断層幅が 205mm で最大であった。分類 b（盛土）については、排気筒連絡ダクト（土砂部）に接する TF-1 断層の断層幅が 1146 mm で最大であった。分類 c（岩盤）については、排気筒連絡ダクト（岩盤部）に接する OF-1 断層の断層幅が 95 mm で最大であった。

## 凡 例

-  断 層
-  候補構造物
-  解析モデル領域



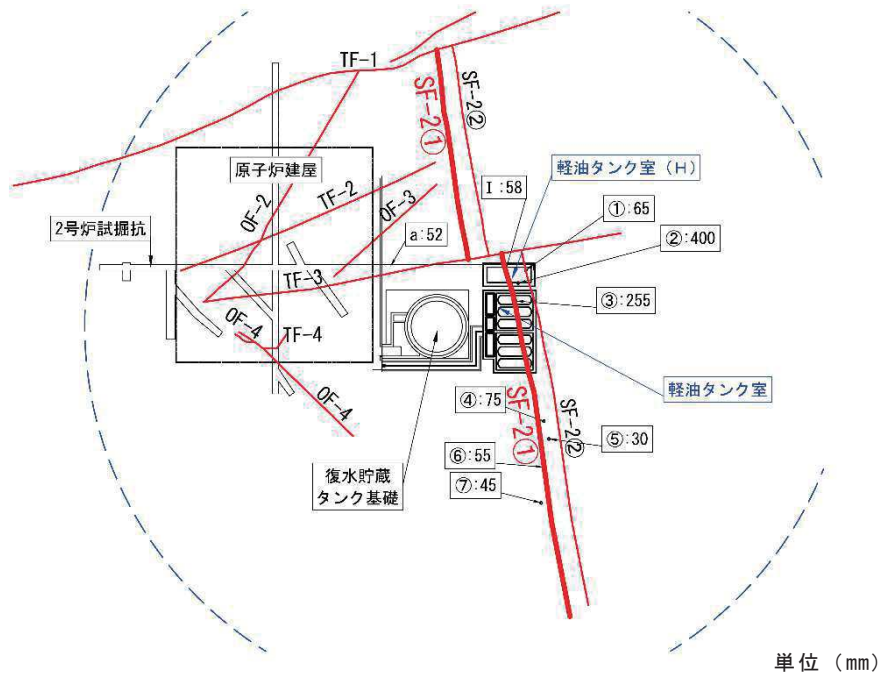
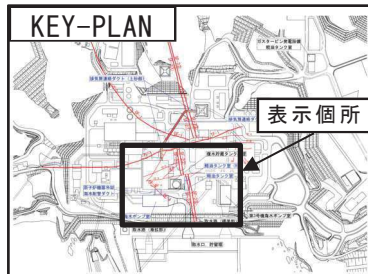
注 1: I は試掘坑調査, ①～⑥は底盤スケッチの結果

注 2: 断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図 2-2 軽油タンク室 (H) に接する SF-2②断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)

## 凡 例

-  断 層
-  候補構造物
-  解析モデル領域



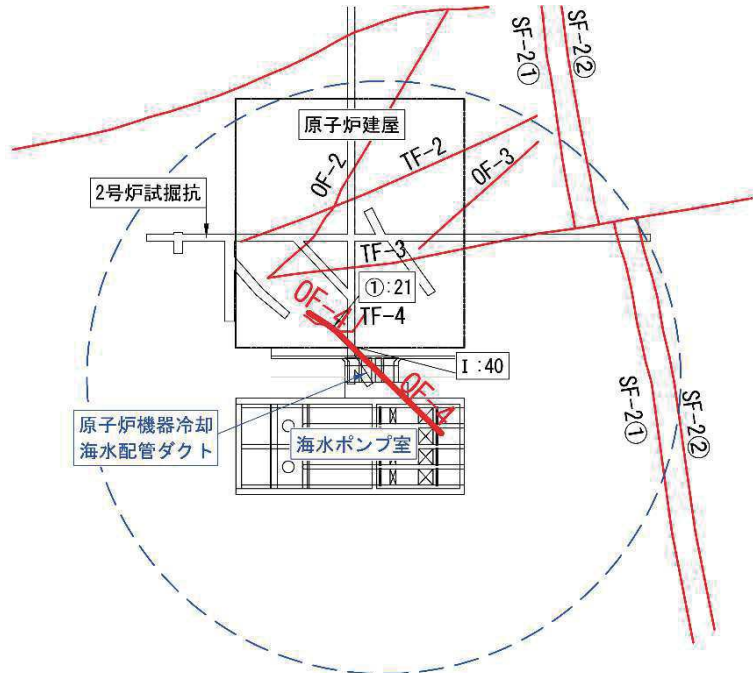
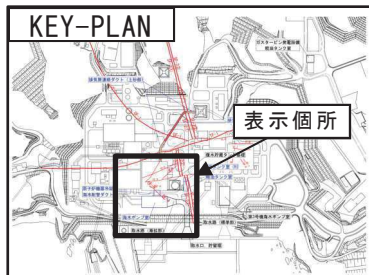
注 1: I は試掘坑調査, ①～⑦は底盤スケッチ, a はボーリング調査の結果

注 2: 断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図 2-3 軽油タンク室 (H) 及び軽油タンク室に接する SF-2①断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)

凡 例

-  断 層
-  候補構造物
-  解析モデル領域



位 (mm)

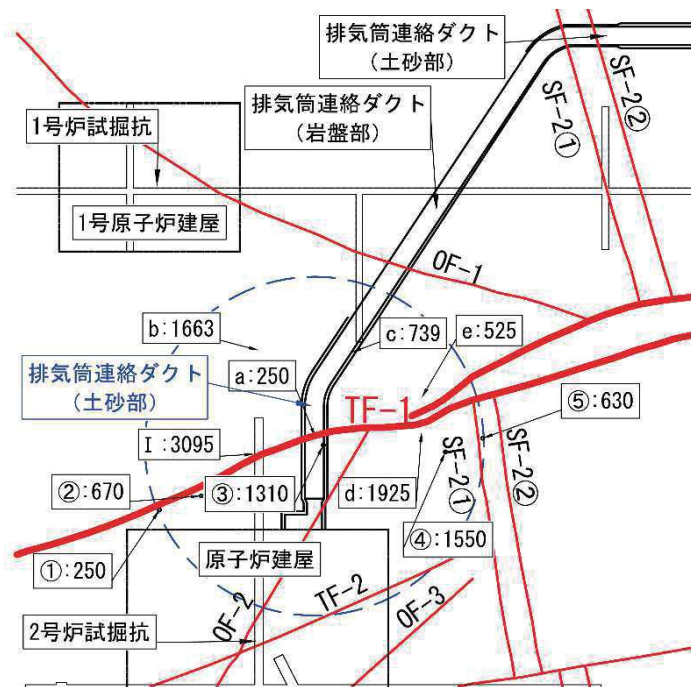
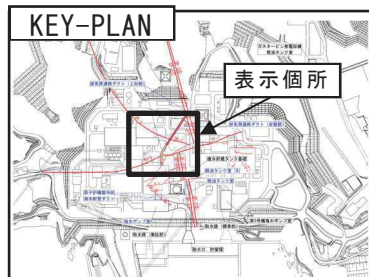
注 1：I は試掘坑調査，①は底盤スケッチの結果

注 2：断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図 2-4 原子炉機器冷却海水配管ダクト及び海水ポンプ室に接する OF-4 断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)

凡 例

-  断 層
-  候補構造物
-  解析モデル領域



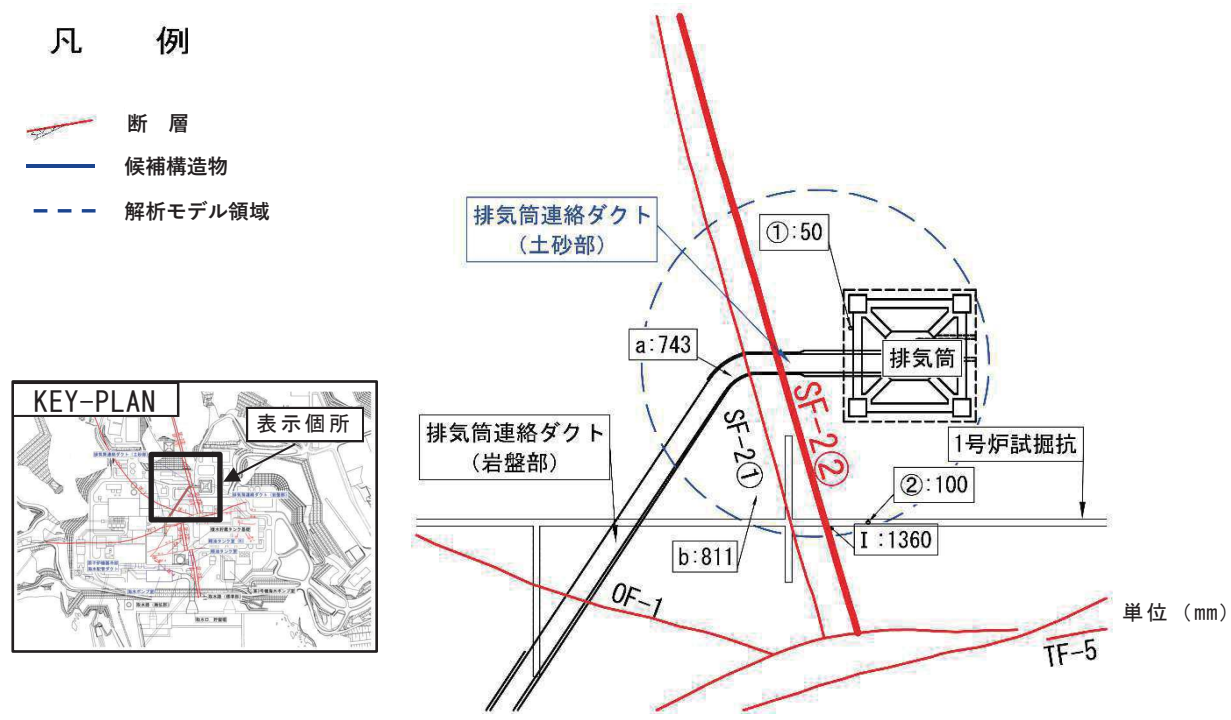
単位 (mm)

注 1：I は試掘坑調査，①～⑤は底盤スケッチ，a～e はボーリング調査の結果

注 2：断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

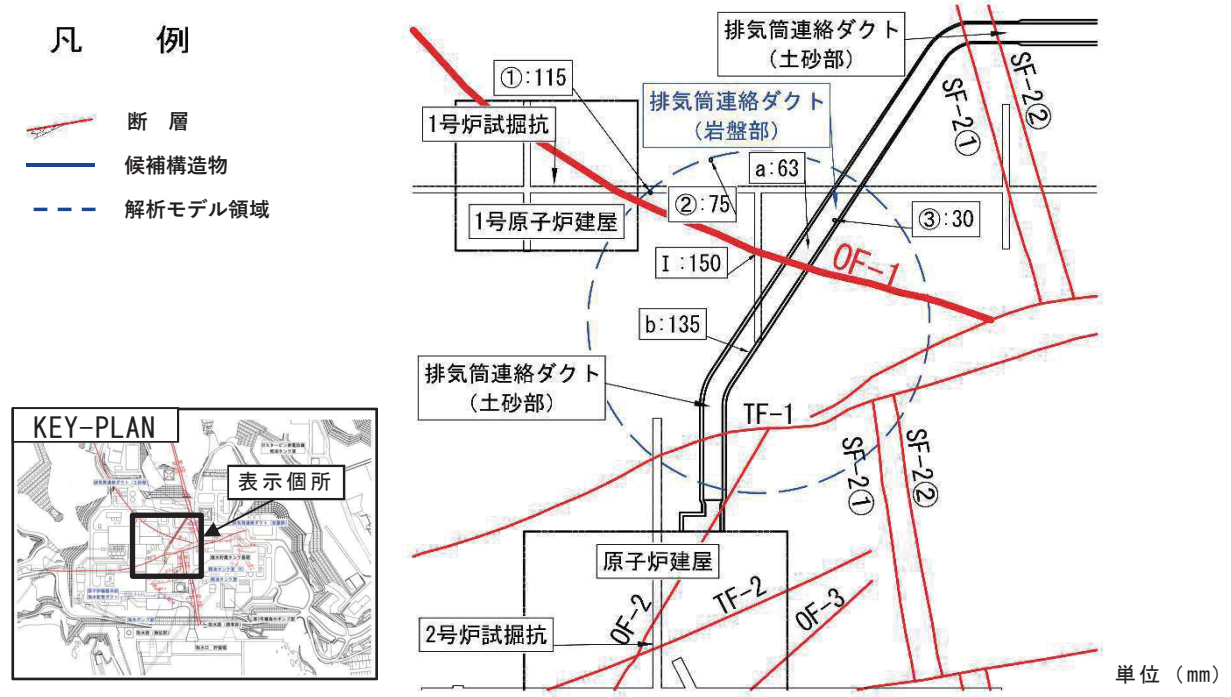
図 2-5 排気筒連絡ダクト (土砂部) に接する TF-1 断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)





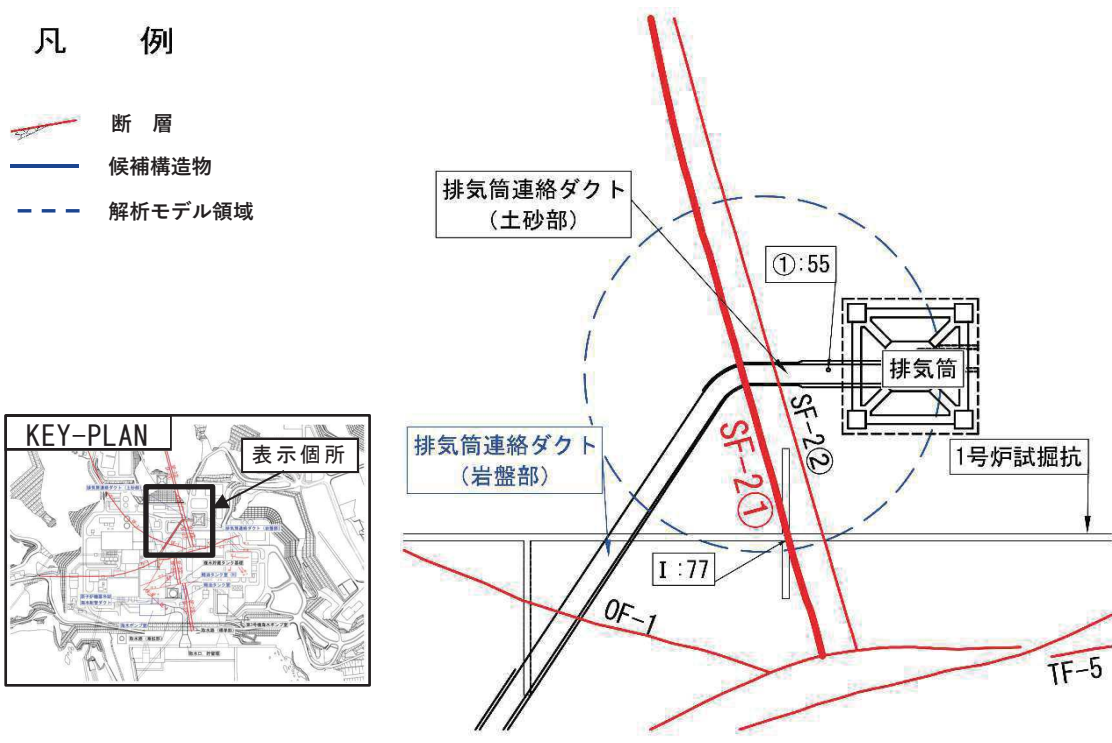
注 1：I は試掘坑調査，①～②は底盤スケッチ，a～b はボーリング調査の結果  
 注 2：断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図 2-6 排気筒連絡ダクト (土砂部) に接する SF-2②断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)



注 1：I は試掘坑調査，①～③は底盤スケッチ，a～b はボーリング調査の結果  
 注 2：断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図 2-7 排気筒連絡ダクト (岩盤部) に接する OF-1断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)



単位 (mm)

注 1: I は試掘坑調査, ①は底盤スケッチの結果

注 2: 断層幅を示した位置「I」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図 2-8 排気筒連絡ダクト (岩盤部) に接する SF-2①断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)

表 2-1(1) 候補構造物の断層幅の調査結果の一覧  
(軽油タンク室(H)・軽油タンク室)

分類	構造物	断層	調査内容	No.	調査断層幅(mm)		断層幅*1 (mm)
					調査値	平均値	
分類 a (MMR)	軽油 タンク室 (H)	SF-2② 断層*2	試掘坑	I	200 ~ 700	450	205
			底版 スケッチ	①	150	150	
				②	50 ~ 150	100	
				③	70	70	
				④	300	300	
				⑤	30 ~ 300	165	
				⑥	200	200	
		SF-2① 断層*2	試掘坑	I	5 ~ 110	58	115
			底版 スケッチ	①	50 ~ 80	65	
				②	400	400	
				③	10 ~ 500	255	
				④	50 ~ 100	75	
				⑤	30	30	
⑥	50 ~ 60			55			
ボーリング*	a	52	52				
分類 a (MMR)	軽油 タンク室	SF-2① 断層	試掘坑	I	5 ~ 110	58	115
			底版 スケッチ	①	50 ~ 80	65	
				②	400	400	
				③	10 ~ 500	255	
				④	50 ~ 100	75	
				⑤	30	30	
				⑥	50 ~ 60	55	
				⑦	10 ~ 80	45	
			ボーリング*	a	52	52	

注記\*1：平均値（各構造物に接する断層ごとの平均値）

\*2：軽油タンク室（H）に接する SF-2①断層及び SF-2②断層の断層幅については、軽油タンク室（H）に隣接し軽油タンク室（H）の解析モデル領域を包絡している、軽油タンク室の解析モデル領域の調査結果に基づき設定する。

表 2-1(2) 候補構造物の断層幅の調査結果の一覧

(原子炉機器冷却海水配管ダクト・海水ポンプ室・排気筒連絡ダクト (土砂部))

分類	構造物	断層	調査内容	No.	調査断層幅(mm)		断層幅*1 (mm)
					調査値	平均値	
分類 a (MMR)	原子炉機器 冷却海水 配管ダクト	0F-4 断層*2	試掘坑	I	20 ~ 60	40	31
			底版 スケッチ	①	1 ~ 40	21	
分類 a (MMR)	海水ポンプ室	0F-4 断層*2	試掘坑	I	20 ~ 60	40	31
			底版 スケッチ	①	1 ~ 40	21	
分類 b (盛土)	排気筒 連絡ダクト (土砂部)	TF-1 断層	試掘坑	I	2870 ~ 3320	3095	1146
			岩盤 スケッチ	①	250	250	
				②	670	670	
				③	1010 ~ 1610	1310	
				④	1550	1550	
				⑤	630	630	
			ホーリング*	a	250	250	
				b	1663	1663	
				c	739	739	
				d	1925	1925	
		e		525	525		
		SF-2② 断層	試掘坑	I	720 ~ 2000	1360	613
			岩盤 スケッチ	①	0 ~ 100	50	
②	50 ~ 150			100			
ホーリング*	a		743	743			
	b		811	811			

注記\*1：平均値（各構造物に接する断層ごとの平均値）

表 2-1(3) 候補構造物の断層幅の調査結果の一覧（排気筒連絡ダクト（岩盤部））

分類	構造物	断層	調査内容	No.	調査断層幅(mm)		断層幅*1 (mm)
					調査値	平均値	
分類 c (岩盤)	排気筒 連絡ダクト (岩盤部)	0F-1 断層	試掘坑	I	120 ~ 180	150	95
			底版 スケッチ	①	100 ~ 130	115	
				②	50 ~ 100	75	
				③	20 ~ 40	30	
			ホーリング <sup>6</sup>	a	63	63	
		b		135	135		
		SF-2① 断層	試掘坑	I	43 ~ 110	77	66
			底版 スケッチ	①	10 ~ 100	55	

注記\*1：平均値（各構造物に接する断層ごとの平均値）

### 3. 評価対象構造物の選定結果

評価対象構造物の選定結果を表 3-1 に示す。

分類 a (MMR)からは、断層幅 (平均値) が最大となる SF-2②断層が交差しており、SF-2①断層も併せて影響評価が可能な、軽油タンク室 (H) を評価対象構造物として選定する。なお、軽油タンク室 (H) と並行して設置されている軽油タンク室においても、軽油タンク室 (H) と同様な形で SF-2①断層が MMR に接しているが、SF-2①断層及び SF-2②断層のうち SF-2①断層のみが MMR に接していることに加え、軽油タンク室 (H) の方が MMR の規模が小さく、断層の変形の影響 (構造物に生じる断面力等) が大きいと考えられることから、軽油タンク室 (H) を代表として評価を行う。

分類 b (盛土) は排気筒連絡ダクト (土砂部) を、分類 c (岩盤) は排気筒連絡ダクト (岩盤部) を評価対象構造物として選定する。また、排気筒連絡ダクト (土砂部) については断層の規模 (幅) が大きい TF-1 断層を、排気筒連絡ダクト (岩盤部) については断層の規模 (幅) が大きい OF-1 断層を評価の代表とする。

表 3-1 評価対象構造物の選定結果

	構造物	断層	断層幅 (mm)
分類 a (MMR)	軽油タンク室 (H)	SF-2②断層	205
		SF-2①断層	115
	軽油タンク室	SF-2①断層	115
	原子炉機器冷却 海水配管ダクト	OF-4 断層	31
		海水ポンプ室	OF-4 断層
分類 b (盛土)	排気筒連絡ダクト (土砂部)	TF-1 断層	1146
		SF-2②断層	613
分類 c (岩盤)	排気筒連絡ダクト (岩盤部)	OF-1 断層	95
		SF-2①断層	66

#### 4. 断層の影響を評価する断面の選定結果

断層の影響を評価する断面（以下「評価対象断面」という。）は、上記「3. 評価対象構造物の選定結果」にて選定された評価対象構造物に対し、断層の変形の影響により耐震評価上、構造物に対して最も影響が大きいと考えられる断面を選定する。

分類 a (MMR)において選定された軽油タンク室(H)は、断層の変形が MMR を介して構造物へ与える影響（断面力等）を適切に評価するために、断層の影響を確認するのに適していると考えられる SF-2①断層及び SF-2②断層に対して概ね直交する方向、及び SF-2①断層と SF-2②断層の両方の断層が MMR に接している、縦断方向（タンク軸方向）の断面を評価対象断面とする。

分類 b (盛土)及び分類 c (岩盤)において選定された排気筒連絡ダクト（土砂部、岩盤部）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、断層の変形が直接、構造物へ与える影響を確認するのに適していると考えられる、横断方向（延長方向に直交する方向）に対し、構造物中心に断層が交差する断面を評価対象断面とする。

軽油タンク室 (H)、排気筒連絡ダクト（土砂部）、排気筒連絡ダクト（岩盤部）のそれぞれについて、評価対象断面の選定結果を表 4-1 に、評価対象断面図を図 4-1～図 4-3 に示す。

表 4-1 評価対象断面の選定結果

	構造物	断層	選定結果
分類 a (MMR)	軽油タンク室 (H)	SF-2②断層 SF-2①断層	SF-2①断層及び SF-2②断層に対して概ね直交し、両方の断層が MMR に接している縦断方向（タンク軸方向）の断面を評価対象断面として選定する。
分類 b (盛土)	排気筒連絡ダクト (土砂部)	TF-1 断層	排気筒連絡ダクト(土砂部)にて、断層の規模（幅）が大きい TF-1 断層に対し、構造物中心に断層が交差する横断方向の断面を評価対象断面として選定する。
分類 c (岩盤)	排気筒連絡ダクト (岩盤部)	OF-1 断層	排気筒連絡ダクト(岩盤部)にて、断層の規模（幅）が大きい OF-1 断層に対し、構造物中心に断層が交差する横断方向の断面を評価対象断面として選定する。

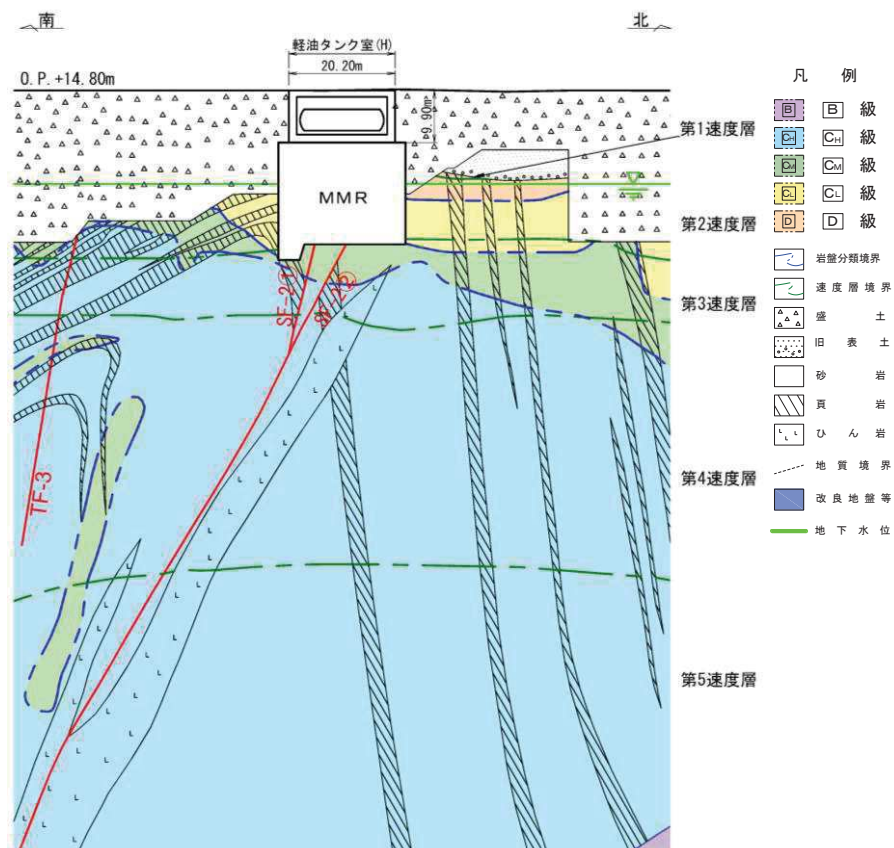


図 4-1 分類 a (MMR) 評価対象断面図 (軽油タンク室 (H) の縦断面)



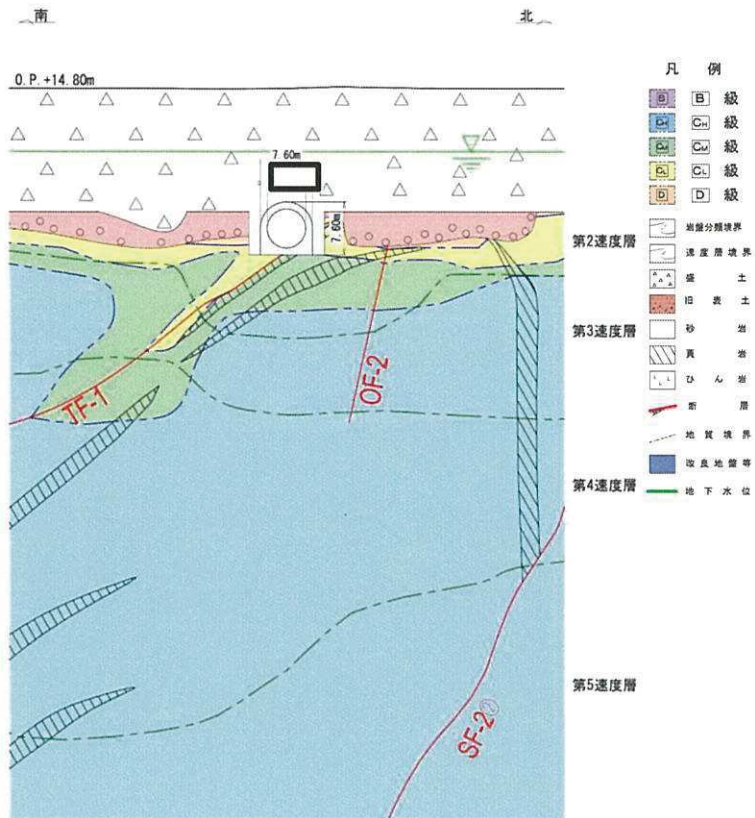


図 4-2 分類 b (盛土) 評価対象断面図  
(排気筒連絡ダクト (土砂部) の横断面)

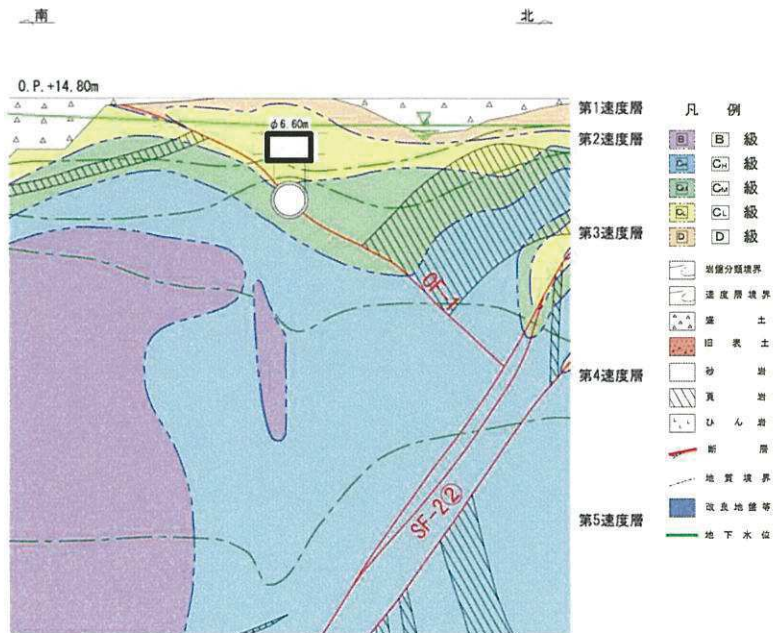


図 4-3 分類 c (岩盤) 評価対象断面図  
(排気筒連絡ダクト (岩盤部) の横断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

### 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

屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価においては、地盤物性及び材料物性のばらつき（コンクリートの剛性のばらつき）を考慮した評価を行う。そのうち、材料物性のばらつきを考慮した解析については、ヤング係数（剛性）がコンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、既設構造物から採取したコアの圧縮強度試験結果より算定したヤング係数（剛性）を用いて解析を行う。

また、新設する屋外重要土木構造物等のコンクリートについては、材齢の経過に伴って強度が上がり剛性も高くなることが予想されるが、許容応力度法による設計を行うなど、裕度を確保した設計とすることから、材料物性のばらつきを考慮した評価は実施しない。ただし、間接支持する機器・配管系の耐震安全性評価においては、推定した圧縮強度より算定したコンクリートの剛性（ヤング係数）の影響を確認する。

ここでは、新設する屋外重要土木構造物等のコンクリートの圧縮強度の設定方法について示す。圧縮強度の設定に当たっては、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所における鉄筋コンクリート工事（日本建築学会，2013）」（以下「JASS 5N」という。）による方法、及び「日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準（日本原子力学会，2015）」（以下「日本原子力学会標準」という。）による方法を比較し、保守的な配慮として圧縮強度が大きい方の値を採用する。

#### 1. JASS 5N による圧縮強度の設定方法

JASS 5N の方法により推定される調合強度は、算定式の違い（以下に示す「式 1- (1)」及び「式 1- (2)」）から 2 つの値が得られるが、圧縮強度の推定値は大きい方の値とする。

JASS 5N による圧縮強度の設定方法の詳細を以下に示す。

##### (1) コンクリートの調合強度の算定

コンクリートの調合強度は、コンクリートの調合管理強度と構造体コンクリートの強度管理用供試体の圧縮強度の標準偏差を用いて算定する。

調合強度は、次の式 1- (1) 及び式 1- (2) を満足するように定める。

$$F \geq F_m + 1.73 \sigma \quad \text{式 1- (1)}$$

$$F \geq 0.85F_m + 3 \sigma \quad \text{式 1- (2)}$$

ここに  $F$  : コンクリートの調合強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$F_m^{*1}$  : コンクリートの調合管理強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$\sigma^{*2}$  : 構造体コンクリートの強度管理用供試体の圧縮強度の標準偏差 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

注記\*1：以下の「(2) コンクリートの調合管理強度の算定」に示す方法により求める。

\*2： $\sigma$  は以下に示す 2 つの方法により定めるが、設計上の配慮として圧縮強度が大きい方の値を採用する。

a.  $\sigma$  の値が工事の実績から類推できる場合はその値とする。表 1-1 に、新設する構造物のうち工事実績のあるガスタービン発電設備軽油タンク室の値を示す。

b. 工事の実績がなく、工事初期で  $\sigma$  の値が未知の場合は  $3.5\text{N/mm}^2$  もしくは  $0.1(F_q + {}_mS_n)^{*3}$  の大きい方の値とする。

\*3： $F_q$  はコンクリートの品質基準強度（設計基準強度もしくは  $24\text{N/mm}^2$  のうち大きい方の値）、 ${}_mS_n$  は標準養生した供試体の材齢  $m$  日における圧縮強度と構造体コンクリートの材齢  $n$  日における圧縮強度との差によるコンクリート強度の補正值を示す。

表 1-1 工事実績より類推する標準偏差 ( $\sigma$ )

構造物名称	ガスタービン発電設備軽油タンク室*
セメントの種類	フライアッシュ B 種
設計基準強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	24
材齢 (日)	28
標準偏差 $\sigma$ ( $\text{N/mm}^2$ )	2.05

注記\*：2015～2016 年の工事実績

## (2) コンクリートの調合管理強度の算定

コンクリートの調合管理強度は、コンクリートの品質基準強度（設計基準強度もしくは  $24\text{N/mm}^2$  のうち大きい方の値）とコンクリート強度の補正值から算定する。

$$F_m \geq F_q + {}_mS_n$$

ここに  $F_m$ ：コンクリートの調合管理強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$F_q^{*1}$ ：コンクリートの品質基準強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

${}_mS_n^{*2}$ ：標準養生した供試体の材齢  $m$  日における圧縮強度と、構造体コンクリートの材齢  $n$  日における圧縮強度との差によるコンクリート強度の補正值を示す ( $\text{N/mm}^2$ )。ただし、 ${}_mS_n$  は 0 以上の値とする。

注記\*1：設計基準強度もしくは  $24\text{N/mm}^2$  のうち大きい方の値を採用する。

\*2： ${}_mS_n$  は図 1-1 を参照して定めるが、圧縮強度が大きくなるよう 6 を採用する。

表 5.1 構造体強度補正值  $_{28}S_{91}$  の標準値

セメントの種類	コンクリートの打込みから材齢 28 日までの予想平均養生温度 (°C)	
	$8 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 8$
普通ポルトランドセメント	$8 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 8$
フライアッシュセメント B 種	$9 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 9$
中庸熱ポルトランドセメント	$11 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 11$
中庸熱フライアッシュセメント	$11 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 11$
低熱ポルトランドセメント	$14 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 14$
構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ (N/mm <sup>2</sup> )	3	6

[注] 普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュセメント B 種においては、暑中コンクリート工事の適用期間中は、補正値は 6N/mm<sup>2</sup> とする。

図 1-1 構造体強度補正値の  $_{28}S_{91}$  の標準値 (JASS 5N に加筆)

コンクリートの調合管理強度及び調合強度の算定を踏まえ、式 1- (1) 及び式 1- (2) から算定される調合強度のうち大きい方の値を JASS 5N により算定される圧縮強度とする。

## 2. 日本原子力学会標準による圧縮強度の設定方法

日本原子力学会標準に示す「コンクリート実強度の標準的なデータベース」に基づき、圧縮強度を設定する。「コンクリート実強度の標準的なデータベース」には、原子力発電所施設を対象に実機の 13 週管理コンクリートの実強度について調査・検討した結果が図 2-1 のとおり整理されている。

図 2-1 に示すとおり、コンクリートの打設から 1 年後の実強度は、設計基準強度の 1.40 倍（平均値）であることに基づき、設計基準強度の 1.40 倍を日本原子力学会標準により算定される圧縮強度として設定する。

表 BZ.2 コンクリート実強度の統計値

	統計値	
	平均値	変動係数
13週シリンダー強度/設計基準強度 (13週管理)	1.35	0.07
1年シリンダー強度/13週シリンダー強度	1.1	-
実強度(1年)/1年シリンダー強度	0.95	0.11
実強度(1年)/設計基準強度(13週管理)	1.40	0.13

図 2-1 コンクリート実強度の統計値 (日本原子力学会標準に加筆)

3. 新設する構造物に設定する圧縮強度について

新設する構造物のコンクリートの圧縮強度は、JASS 5Nにより算定される圧縮強度と日本原子力学会標準により算定される圧縮強度のうち大きい方の値を採用する。

ガスタービン発電設備軽油タンク室及び軽油タンク室(H)で設定する圧縮強度を表3-1に示す。

なお、ガスタービン発電設備軽油タンク室は施工済であることから、「1. (1) コンクリートの調合強度の算定(注記\*2)」の「a.」及び「b.」に示す方法のうち大きい方の値を標準偏差 $\sigma$ として定め、圧縮強度を推定した。また、軽油タンク室(H)については、未施工であるため「b.」に示す方法により標準偏差 $\sigma$ を定め、圧縮強度を推定した。

表3-1 新設する構造物に設定する圧縮強度

	ガスタービン発電設備 軽油タンク室	軽油タンク室(H)
セメントの種類	フライアッシュB種	フライアッシュB種
設計基準強度(N/mm <sup>2</sup> )	24	24
圧縮強度①(N/mm <sup>2</sup> ) *1	<u>36.1</u>	<u>36.1</u>
圧縮強度②(N/mm <sup>2</sup> ) *2	33.6	33.6
圧縮強度の採用値(N/mm <sup>2</sup> ) *3	<u>36.1</u>	<u>36.1</u>

注記\*1：JASS 5Nにより推定される圧縮強度

\*2：日本原子力学会標準により推定される圧縮強度

\*3、下線：圧縮強度①と圧縮強度②を比較して大きい方の値