

本資料のうち、枠囲みの内容は防
護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0610-20_改6
提出年月日	2021年3月24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

資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

1. 対象設備
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
3. 安全係数
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定
 - 4.1 断面選定の方針
 - 4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理
 - 4.3 解析手法選定の方針
 - 4.4 軽油タンク連絡ダクト
 - 4.5 排気筒連絡ダクト
 - 4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト
 - 4.7 取水路（漸拡部）
 - 4.8 軽油タンク室
 - 4.9 軽油タンク室（H）
 - 4.10 海水ポンプ室
 - 4.11 取水口，貯留堰
 - 4.12 取水路（標準部）
 - 4.13 復水貯蔵タンク基礎
 - 4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室
 - 4.15 第3号機海水ポンプ室
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法
6. 許容限界
7. ジョイント要素のばね設定
8. 隣接構造物のモデル化方針
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数
10. 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
11. 等価剛性モデルの設定方針

資料 2 軽油タンク連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震安全性評価

資料 5 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震安全性評価

資料 6 取水路（漸拡部）の耐震安全性評価

資料 7 軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 8 軽油タンク室（H）の耐震安全性評価

資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価

資料 10 取水口，貯留堰の耐震安全性評価

資料 11 取水路（標準部）の耐震安全性評価

資料 12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価

資料 13 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 14 第 3 号機海水ポンプ室の耐震安全性評価



: 本日の説明範囲

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

補足説明資料と添付書類との関連

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

	4.9 軽油タンク室 (H)	VI-2-2-15 軽油タンク室 (H) の地震応答計算書
	4.10 海水ポンプ室	VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書
	4.11 取水口, 貯留堰	VI-2-10-4-3 取水口の耐震性についての計算書
	4.12 取水路 (標準部)	VI-2-10-4-4-2 取水路 (標準部) の耐震性についての計算書
	4.13 復水貯蔵タンク基礎	VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書
	4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室	VI-2-2-17 ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書
	4.15 第3号機海水ポンプ室	VI-2-2-9 第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法		
	5.1 耐震安全性評価における解析ケース	共通事項
	5.2 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケースの組合せ	共通事項
	5.3 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース	共通事項
6. 許容限界		
	6.1 許容応力度法による耐震安全性評価	共通事項
	6.2 限界状態設計法による照査	共通事項
	6.3 土木学会マニュアル2005の適用性	共通事項
7. ジョイント要素のばね設定		
8. 隣接構造物のモデル化方針		
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数		
	9.1 時刻歴応答解析 (全応力解析) で設定する Rayleigh 減衰	共通事項
	9.2 時刻歴応答解析 (有効応力解析) で設定する Rayleigh 減衰	共通事項
10. 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		
	10.1 評価方針	共通事項
11. 等価剛性モデルの設定方針		
	11.1 等価剛性モデルを設定する構造物	共通事項
	11.2 等価剛性モデルの設定手順	共通事項

資料 1 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	5
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断面選定及び解析手法選定	13
4.1 断面選定の方針	13
4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理	16
4.3 解析手法選定の方針	18
4.4 軽油タンク連絡ダクト	20
4.5 排気筒連絡ダクト	28
4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト	44
4.7 取水路（漸拡部）	55
4.8 軽油タンク室	69
4.9 軽油タンク室（H）	77
4.10 海水ポンプ室	84
4.11 取水口，貯留堰	95
4.12 取水路（標準部）	104
4.13 復水貯蔵タンク基礎	122
4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室	129
4.15 第3号機海水ポンプ室	136
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法	146
5.1 耐震安全性評価における解析ケース	146
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	151
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	154
6. 許容限界	158
6.1 許容応力度法による耐震安全性評価	158
6.2 限界状態設計法による照査	160
6.3 土木学会マニュアル 2005 の適用性	170
7. ジョイント要素のばね設定	178
7.1 せん断強度の設定	179
7.2 ばね定数の設定	182
8. 隣接構造物のモデル化方針	184
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数	186

9.1	時刻歴応答解析（全応力解析）で設定する Rayleigh 減衰	186
9.2	時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定する Rayleigh 減衰	192
10.	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	193
10.1	評価方針	193
11.	等価剛性モデルの設定方針	197
11.1	等価剛性モデルを設定する構造物	197
11.2	等価剛性モデルの設定手順	198

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価についての参考資料

参考資料 1 O.P. 14. 8m盤に分布する盛土・旧表土の液状化特性

参考資料 2 地中構造物の耐震性に支配的な要因の検討

参考資料 3 地震応答解析による断面選定の確認

参考資料 4 断層の影響を評価する断面

参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定

参考資料 6 後施工せん断補強工法の適用性

参考資料 7 地中構造物への鉛直地震動の位相が与える影響

参考資料 8 等価剛性モデルにおける鉛直方向床応答への影響

参考資料 9 解析手法の選定 (④全応力解析) の補足確認結果

参考資料 10 追加解析ケースの選定方法の詳細について

: 本日の説明範囲

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軽油タンク連絡ダクト、排気筒連絡ダクト、原子炉機器冷却海水配管ダクト、軽油タンク室及び軽油タンク室(H)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、海水の通水機能・貯水機能を求められる貯留堰及び取水路である。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、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。

同様に耐震評価の対象とする「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」に該当する土木構造物である軽油タンク連絡ダクト、排気筒連絡ダクト、軽油タンク室、軽油タンク室(H)、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及び取水口についても記載する。加えて、「常設重大事故緩和設備」に該当する土木構造物であり、設計基準事故対処設備の一部を流路として使用する、貯留堰、取水口、取水路、海水ポンプ室についても記載する。

なお、貯留堰については、津波防護施設としての耐震評価を別途実施する。

これらの屋外重要土木構造物等の位置図を図1-1に示す。

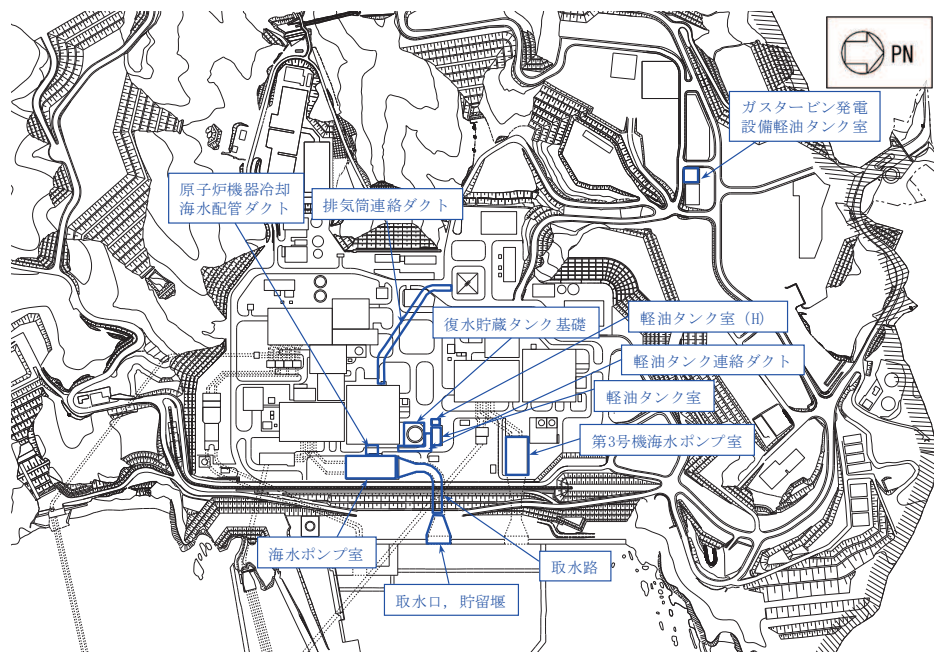


図1-1 屋外重要土木構造物等 位置図

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^{*1}、終局状態に対する限界ひずみ^{*2}、せん断破壊について

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

また，面内変形に対しては，部材の面内せん断ひずみが 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（限界せん断ひずみ）*³に至らないことを確認する。（限界せん断ひずみ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，部材のモデル化方法に応じて，部材降伏に対する限界ひずみ*⁴，又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメント*⁵を下回ることを確認する。（限界ひずみの許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。）

注記*1：層間変形角 1/100

*2：圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ)

*3：限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)

*4：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000 μ

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725 μ

*5：鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

2.2 通水機能

一つの部材が終局状態に至った場合でも，直ちに通水断面の閉塞に繋がる事象には至らないが，保守的に部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。許容限界として，「2.1 支持機能」と同様に，曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については限界層間変形角*⁶，終局状態に対する限界ひずみ*⁷，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，部材の面内せん断ひずみが 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*⁸に至らないことを確認する。

注記*6：層間変形角 1/100

*7：圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ)

*8：限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)

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こと，鉄筋が降伏しないことを目標性能とする。また，せん断破壊については，せん断破壊が脆性的な破壊形態を示すことから，せん断耐力に至るまでは部材を貫通するような顕著なひび割れは発生しないと判断し，終局状態に至らないことを目

標性能とする。

したがって、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については、部材のモデル化方法に応じて、部材降伏に対する限界ひずみ*⁹、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメント*¹⁰を下回ることを確認し、せん断破壊についてはせん断耐力を下回ることを確認する。

また、面内変形に対しては、面内せん断ひずみが 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（ γ_1 ）を下回れば面内せん断ひび割れは発生せず、水密性はあると考えられ、 γ_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*⁹：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000 μ

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725 μ

*¹⁰：鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

2.4 止水機能

断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力を下回れば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れは発生しないことから、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力を下回ることを目標性能とし、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については部材降伏に対する限界ひずみ*¹¹、せん断破壊についてはせん断耐力を下回ることを確認する。そのうえで、顕著なひび割れが発生していないことを解析等により確認又は妥当な裕度を持たせることとする。

また、面内変形に対しては、面内せん断ひずみが 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（ γ_1 ）を下回れば面内せん断ひび割れは発生せず、水密性はあると考えられ、 γ_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*¹¹：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000 μ

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725 μ

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、部材のモデル化方法に応じて、部材降伏に対する限界ひずみ、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることの許容限界を追加する。

貯水機能及び止水機能に対する許容限界として、曲げについては断面降伏を、せん断破壊については終局限界（せん断耐力）を適用する。

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

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

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

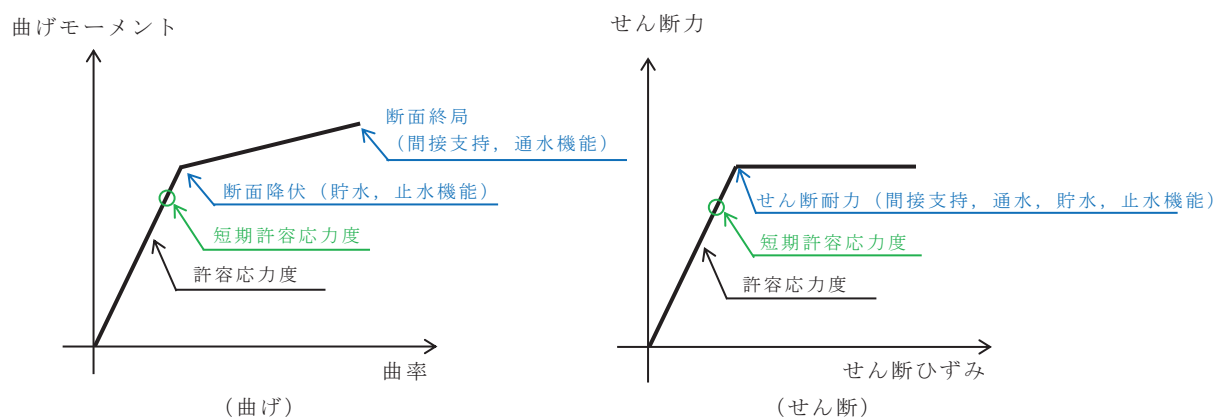


図 2.5-1 各要求機能と許容限界の関係の概念

表 2.5-1 屋外重要土木構造物等の要求機能及び目標性能の整理表

		屋外重要土木構造物等に求められる機能			
		① 支持機能*	② 通水機能	③ 貯水機能*	④ 止水機能*
要求機能		Sクラスの機器及び配管等を安全に支持できる。	海水の通水断面を閉塞しない。	津波の引き波時に必要となる冷却用水を安全に貯留できる。	Sクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないよう止水できる。
目標性能		<ul style="list-style-type: none"> 部材が終局状態に至らない。 アンカー定着部周辺において鉄筋が降伏しない。 	<ul style="list-style-type: none"> 部材が終局状態に至らない。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋が降伏しない。 発生せん断力がせん断耐力を下回る 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋が降伏しない。 発生せん断力がせん断耐力を下回る
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こと、鉄筋が降伏しないこと、及び発生せん断力がせん断耐力を下回ることを目標性能とする。	断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力を下回れば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しないこと、鉄筋が降伏しないこと、及び発生せん断力がせん断耐力を下回ることを目標性能とする。
限界状態		終局耐力を下回る アンカー定着部周辺においては降伏耐力を下回る	終局耐力を下回る	降伏耐力を下回る	降伏耐力を下回る
主な照査指標・許容限界	曲げ	圧縮ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ<降伏強度に対応するひずみ	層間変形角<層間変形角 1/100	圧縮ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ<降伏強度に対応するひずみ	圧縮ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ<降伏強度に対応するひずみ
	せん断	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力
	面内	面内せん断ひずみ<限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)	面内せん断ひずみ<限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)	面内せん断ひずみ<第1折点 (γ_1) 又は漏水量評価	面内せん断ひずみ<第1折点 (γ_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、終局耐力を下回ることを確認する。

表 2.5-2 屋外重要土木構造物等の要求機能一覧

構造物名称	要求機能				非常用 取水設備
	① 支持機能	② 通水機能	③ 貯水機能	④ 止水機能	
軽油タンク連絡 ダクト	○	—	—	—	—
排気筒連絡ダクト	○	—	—	—	—
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	○	—	—	●	—
取水路（漸拡部）	—	○	○	—	○
軽油タンク室	○	—	—	—	—
軽油タンク室（H）	○	—	—	—	—
海水ポンプ室	○	○	○	○	○
取水口	○	○	○	—	○
貯留堰*	—	○	○	—	○
取水路（標準部）	—	○	○	—	○
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、限界ひずみ及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせることとし、それぞれ安全余裕については各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

上記の基本方針に基づき、原子炉機器冷却海水配管ダクト、排気筒連絡ダクト(土砂部)、軽油タンク連絡ダクト、取水路、海水ポンプ室、軽油タンク室、取水口、貯留堰、復水貯蔵タンク基礎(しゃへい壁、バルブ室、連絡ダクト)、第3号機海水ポンプ室の耐震評価においては、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、部材のモデル化方法に応じて、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、部材のモデル化方法に応じて、部材降伏に対する限界ひずみ又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることの許容限界を追加する。

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

曲げ・軸力系の破壊に対する照査について限界層間変形角、限界ひずみを用いる耐震評価及び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。

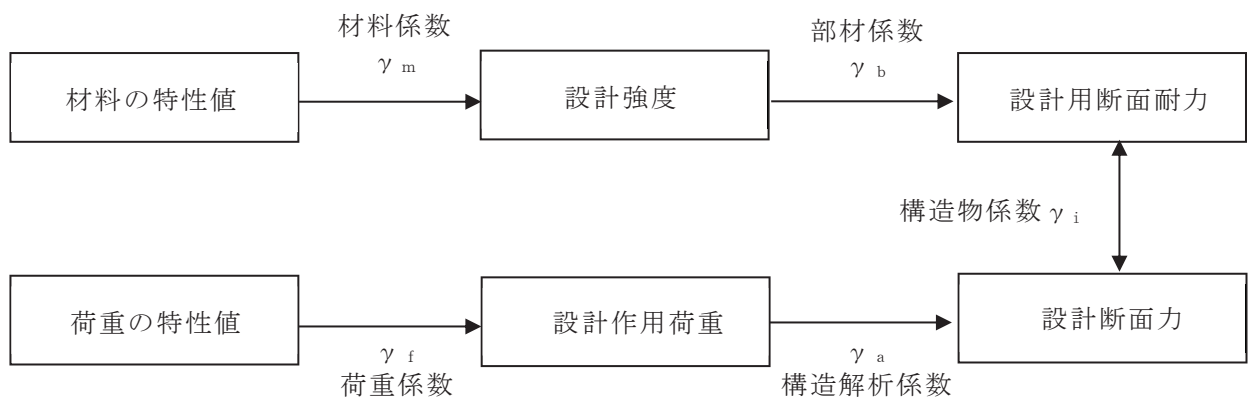


図 3-1 安全係数の考え方

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"> 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。 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。
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"> 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。
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 2 章 部材非線形解析を用いた耐震性能照査」及び「第 3 章 材料非線形解析を用いた耐震性能照査」がある。	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
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 ² 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"> 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。 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。

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*	②*	③*	④*		
材料係数	γ_m	<ul style="list-style-type: none"> 変形評価に用いる材料の設計用値の評価 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 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する。 	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	地震応答解析を基に算定した変形量（層間変形角及びひずみ）により照査を行うことから，照査手法に整合する文献①，③，④に基づき設定。
			<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の降伏強度を当該値で除する。 	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	γ_b	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 変形に対する限界値を当該値で除する。 	1.0	1.0～ 1.15	1.0	1.0	1.0	限界層間変形角及び限界ひずみの設定にあたっては，保守的な配慮が行われていることから，文献①，③，④に基づき設定。
構造解析係数	γ_a	<ul style="list-style-type: none"> 構造解析手法自体の精度や不確実性を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 発生主ひずみに当該値を乗じる。 	1.2	1.0	1.2	1.0～ 1.2	1.2	保守的に文献①，③，④に基づき 1.2 に設定。
荷重係数	γ_f	<ul style="list-style-type: none"> 設計荷重評価 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	1.0	1.0	1.0	1.0～ 1.2 （偶発荷重は 1.0）	1.0	偶発荷重については，文献に基づく標準的な値を設定。永久荷重及び変動荷重については，FEM 解析の適用により評価精度は高いことから，1.0 に設定。
構造物係数	γ_i	<ul style="list-style-type: none"> 構造物の総合的な安全性評価 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 	<ul style="list-style-type: none"> 応答値と限界値の比に当該値を乗じる。 	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。

①，③の曲げ・軸力系の破壊に対する照査は変形量による照査手法を標準としているのに対し，②は材料係数を見込んだ設計強度から設計用断面耐力にて照査する手法である。④は照査手法に整合する，変形による照査を行う場合の手法を参照している。

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	γ_m	<ul style="list-style-type: none"> 断面力評価に用いる材料の設計用値の評価 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 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する。 	1.3*2	1.3	1.3*2	1.3*2	1.3	文献に基づく標準的な値を設定。
			<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の降伏強度を当該値で除する。 	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	γ_b *3	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートが分担するせん断耐力を当該値で除する。 	1.3	1.1~1.3	1.3	1.3	1.3	せん断耐力評価式による評価においては，文献に基づく標準的な値を設定。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。
			<ul style="list-style-type: none"> せん断補強筋が分担するせん断耐力を当該値で除する。 	1.1		1.1	1.1	1.1*4	
構造解析係数	γ_a	<ul style="list-style-type: none"> 断面力の評価 断面力算定時の構造解析の不確実性等を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 発生断面力に当該値を乗じる。 	1.05	1.0	1.05	1.0	1.05	保守的に文献①，③に基づき 1.05 に設定。
荷重係数	γ_f	<ul style="list-style-type: none"> 設計荷重評価 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	1.0	1.0	1.0	1.0~1.2（偶発荷重は 1.0）	1.0	偶発荷重については，文献に基づく標準的な値を設定。永久荷重及び変動荷重については，FEM 解析の適用により評価精度は高いことから，1.0 に設定。
構造物係数	γ_i	<ul style="list-style-type: none"> 構造物の総合的な安全性評価 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 	<ul style="list-style-type: none"> 発生断面力に当該値を乗じる。 	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：応答値算定用の材料係数は 1.0 を設定。

*3： $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$ 表中の値は γ_{b1} の値であり， γ_{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。

*4：後施工せん断補強筋 (CCb) についても，建設技術審査証明報告書（後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー (CCb)」）に基づき，部材係数 1.1 を考慮する。

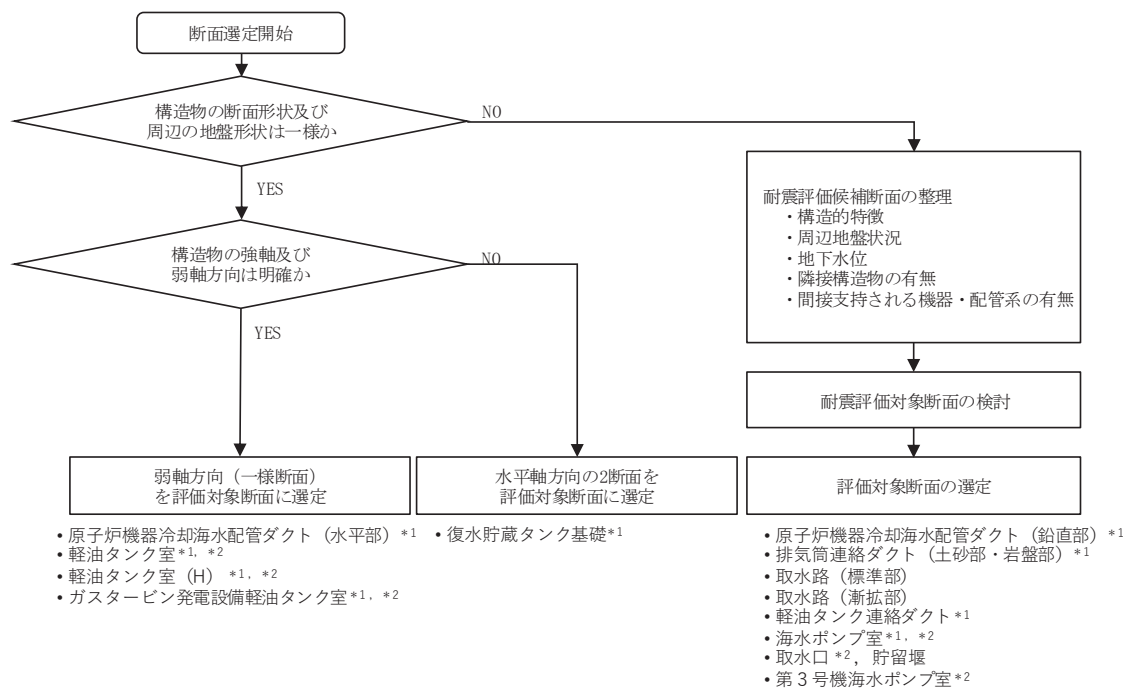
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定

4.1 断面選定の方針

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の形状、配置、周辺地盤状況、地下水位、近接構造物の有無及び荷重条件等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

本節では断面選定の方針として、断面選定の流れ及び考慮する観点について説明し、具体的な断面選定及び結果については、4.4節以降に構造物毎に説明する。

評価対象断面の選定の流れについて、図4.1-1に示す。



注記*1：必要に応じ機器・配管系への応答加速度及び応答変位の観点から評価対象断面を選定
 *2：三次元構造解析で耐震評価するため、強軸方向荷重算定用の断面選定も実施

図4.1-1 評価対象断面の選定フロー

(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（以下「候補断面」という。）を整理する。

- ・ 構造的特徴（部材厚，内空断面，配筋，断面急変部，構造物間の連結部等）
- ・ 周辺地盤状況*¹（上載荷重，土被り厚，側方地盤，設置地盤，地盤改良体，地震波の伝播特性，断層交差部）
- ・ 地下水位*²
- ・ 隣接構造物の有無
- ・ 間接支持される機器・配管系の有無

注記*1：岩盤コンター図を図 4.1-2 に示す。

*2：地下水位低下設備を考慮した浸透流解析を実施し，その結果に基づき地下水位を設定する。地下水位の設定方法については，「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「5. 耐震評価における地下水位設定方針」に記載する。地下水位コンター図を図 4.1-3 に示す。

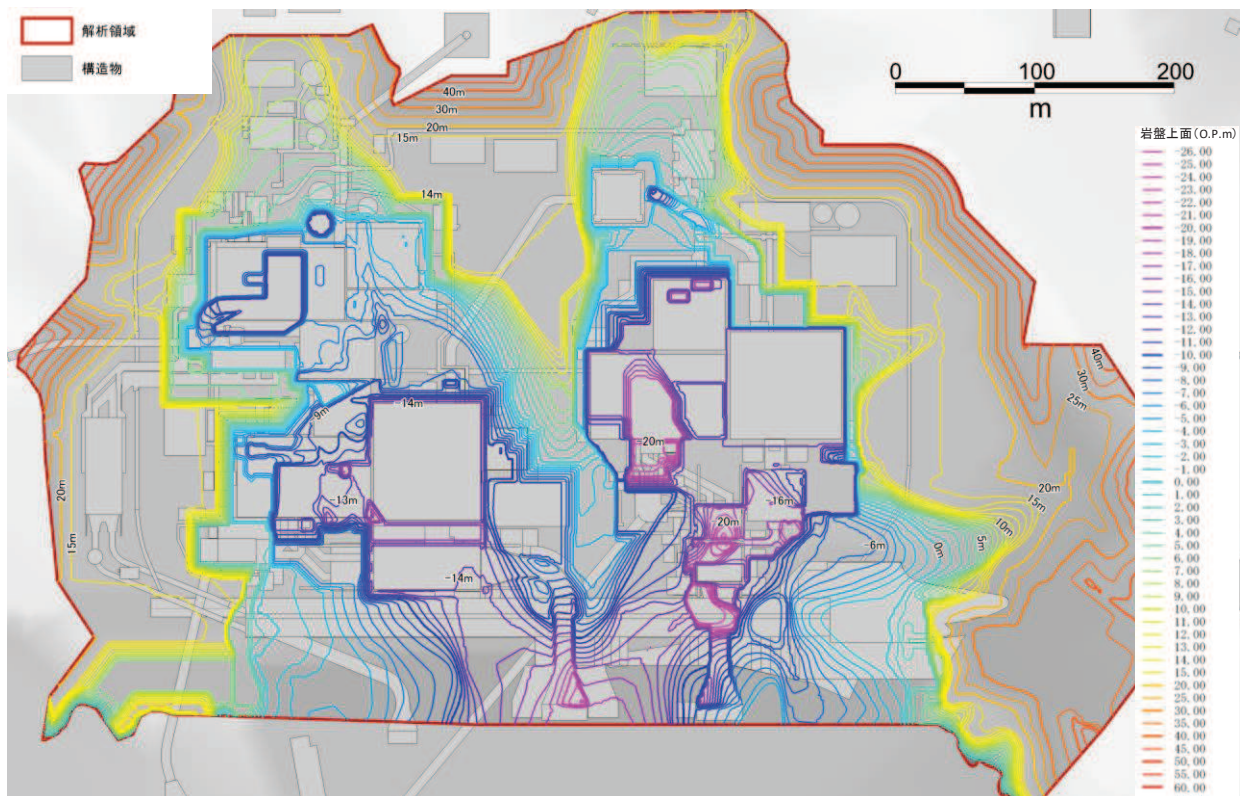


図 4.1-2 岩盤上面コンター図

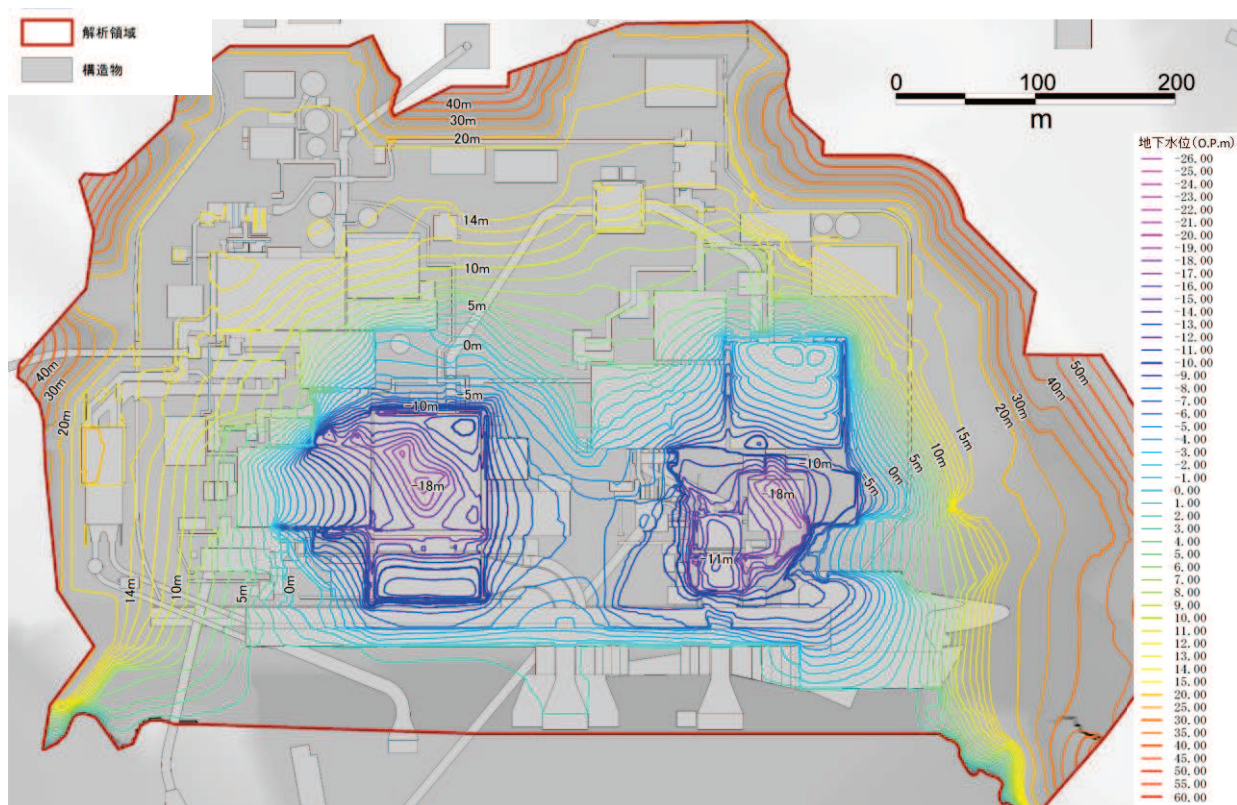


図 4.1-3 地下水位コンター図

(2) 評価対象断面の選定

構造的特徴，周辺地盤状況，地下水位，隣接構造物の有無，間接支持される機器・配管系の有無が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から，(1)にて整理した候補断面に対して，耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として選定する。

また，機器・配管系の応答加速度及び応答変位の観点から，評価対象以外の断面について地震応答解析を実施する場合がある。

4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理

女川原子力発電所の屋外重要土木構造物等は、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。）と、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。）に大別される。

線状構造物は、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、横断方向の断面から評価対象断面を選定する。

箱形構造物は、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。三次元モデルに作用させる荷重は、等価な剛性をもつ二次元モデルを用いた二次元地震応答解析を実施し、荷重を適切に評価する。したがって、断面選定においては、直交する 2 方向から評価対象断面として選定する。

各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理

		名称	弱軸方向（一様断面）を評価対象断面に選定	水平軸方向の2断面を評価対象断面に選定	耐震評価対象断面の検討を行った上で、評価対象断面を選定
線状構造物	横断方向が明確に弱軸となることから、横断方向の二次元地震応答解析により耐震評価を行う線状構造物 ⇒構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置から横断方向の断面を評価対象断面として選定する。	軽油タンク連絡ダクト			○
		排気筒連絡ダクト			○
		原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）	○		
		原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）			○
		取水路（漸拡部）			○
		取水路（標準部）*1			○
箱形構造物	加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮し、三次元モデルを用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮して耐震評価を行う箱形構造物 ⇒三次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定する。	軽油タンク室	○		
		軽油タンク室（H）	○		
		海水ポンプ室			○
		取水口、貯留堰*2			○
		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			○

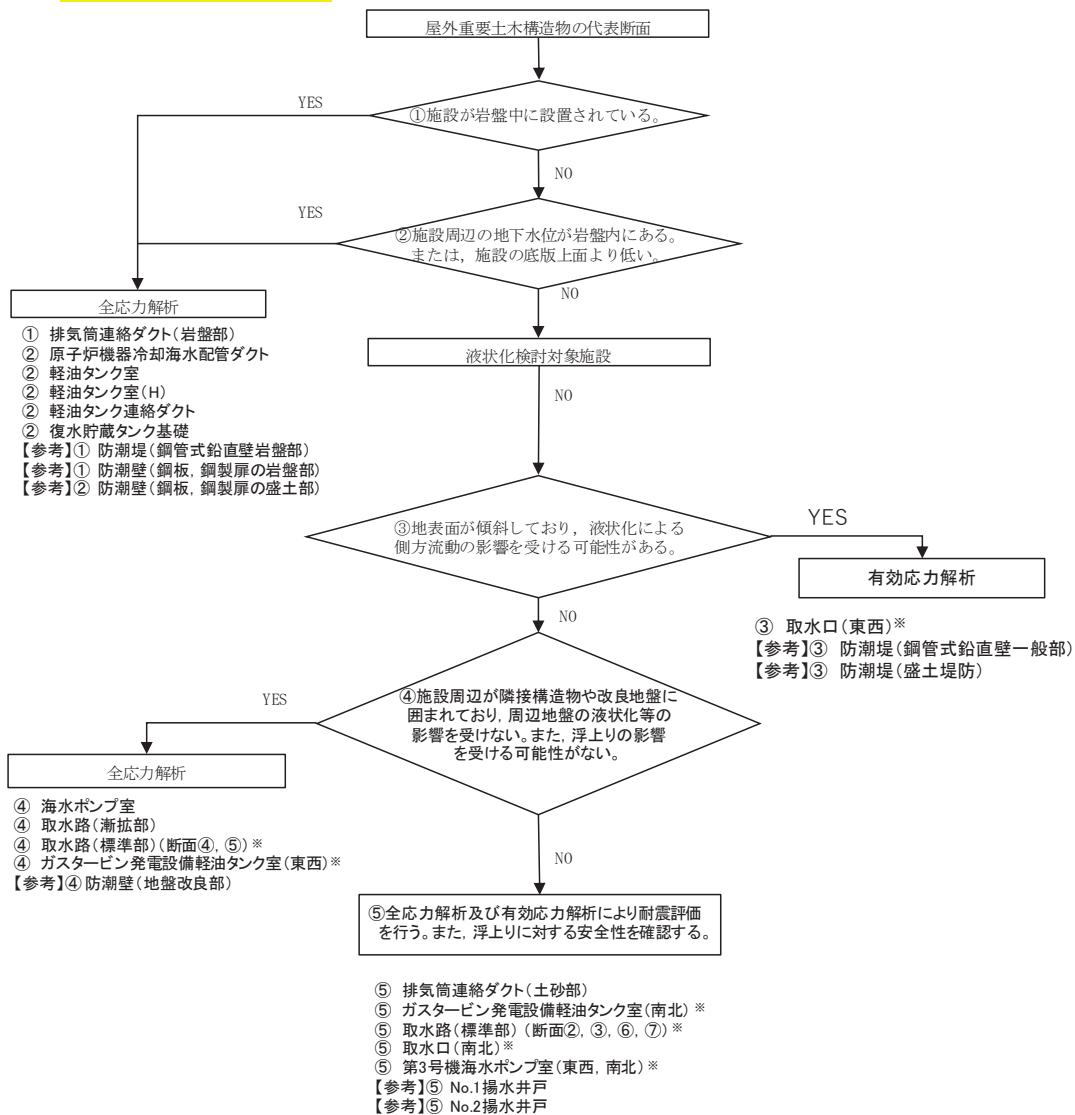
注記*1：構造物の断面が延長方向で一様であるが、延長方向に大きな曲線部や周辺地盤の剛性が急変する箇所が存在し、躯体のねじれや躯体への集中的な応力発生の影響が懸念されることから、三次元モデルを用いて耐震評価を行う線状構造物。

*2：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を含む。

4.3 解析手法選定の方針

敷地に分布する液状化検討対象層（盛土，旧表土）の液状化特性は，「参考資料 1 0. P. 14. 8m 盤に分布する盛土・旧表土の液状化特性」に示す通り，液状化（過剰間隙水圧比 95%以上）が発生すると，粘り強くひずみが増大する繰返し軟化現象を示す。基準地震動 S_s が作用した場合に液状化が発生する範囲は，盛土については地表面付近（深さ数メートル）であり，旧表土については深度に関わらない。

本節では盛土及び旧表土の液状化特性を踏まえて，全応力解析と有効応力解析から保守的に解析手法を選定する。解析手法選定の流れについて，図 4.3-1 に示す。また，解析手法選定の流れにより選定された①～⑤の位置付けと，実施する解析ケースを表 4.3-1 に示す。なお，④に分類された施設周辺に局所的に分布する盛土・旧表土の液状化の影響の確認結果については，「参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果」に示す。



※:三次元構造解析に複数断面の荷重を作用させる場合、断面によって解析手法が異なる場合でも保守的に荷重の大きい組合せを採用する。

図 4.3-1 解析手法の選定フロー

表 4.3-1 解析手法の選定結果に基づく解析ケース

解析手法選定フロー	構造物	位置付け	解析ケース
①全応力解析	<ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(岩盤部) 	施設が岩盤中に設置されており、液状化の影響を受けない。	全応力解析 (基本ケース, ばらつきケース)
②全応力解析	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉機器冷却海水配管ダクト 軽油タンク室 軽油タンク室(H) 軽油タンク連絡ダクト 復水貯蔵タンク基礎 	施設周辺の地下水位が岩盤内にある。または施設の底版上面より低く、液状化の影響を受けない。	全応力解析 (基本ケース, ばらつきケース)
③有効応力解析	<ul style="list-style-type: none"> 取水口(東西) 	地表面が傾斜している等、液状化による側方流動の影響を受ける可能性がある。	有効応力解析 取水口(東西)の対象は、水平2方向検討ケース
④全応力解析	<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室 取水路(漸拡部) 取水路(標準部)(断面④, ⑤) ガスタービン発電設備軽油タンク室(東西) 	施設周辺が隣接構造物や改良地盤に囲われており、周辺地盤の液状化等の影響を受けない。また、浮上りの影響を受ける可能性がない。	全応力解析 (基本ケース, ばらつきケース) 躯体周囲に地下水以下の盛土が分布する場合は、液状化の影響や浮上りの可能性について確認する。(参考資料9参照)
⑤全・有効応力解析	<ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(土砂部) ガスタービン発電設備軽油タンク室(南北) 取水路(標準部)(断面②, ③, ⑥, ⑦) 取水口(南北) 第3号機海水ポンプ室 	液状化の影響を否定できないため、全応力解析及び有効応力解析により耐震評価を行う。また、浮上りに対する安全性を確認する。	全応力解析 (基本ケース, ばらつきケース) 有効応力解析 (基本ケース, ばらつきケース)

4.4 軽油タンク連絡ダクト

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の配置図を図 4.4-1 に、平面図を図 4.4-2 及び図 4.4-3 に、断面図を図 4.4-4 及び図 4.4-5 に、縦断面図を図 4.4-6 に示す。

軽油タンク連絡ダクトは、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（東西方向）×2.25m（南北方向）、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 間隔で構造目地を介して分割され、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、延長方向に断面の変化が少ない線状構造物である。

標準部は、軽油タンク室と復水貯蔵タンク基礎に挟まれ、東西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南北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。

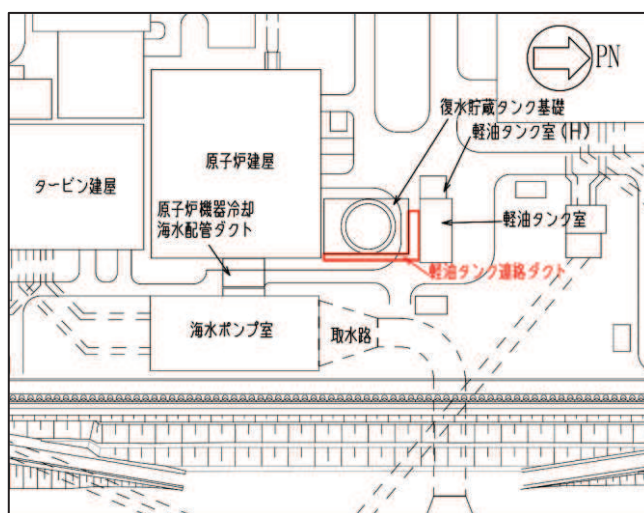


図 4.4-1 軽油タンク連絡ダクト配置図

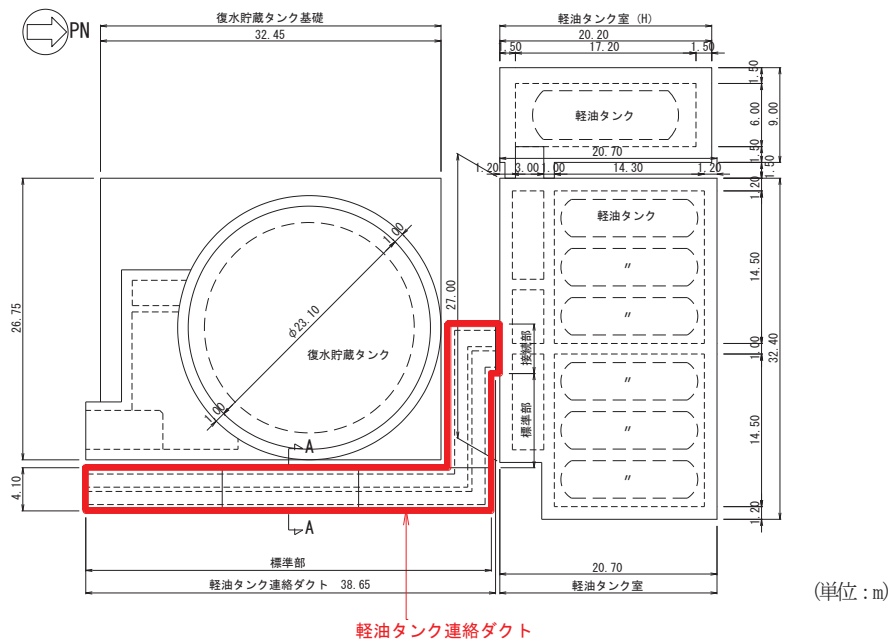


図 4.4-2 軽油タンク連絡ダクト平面図

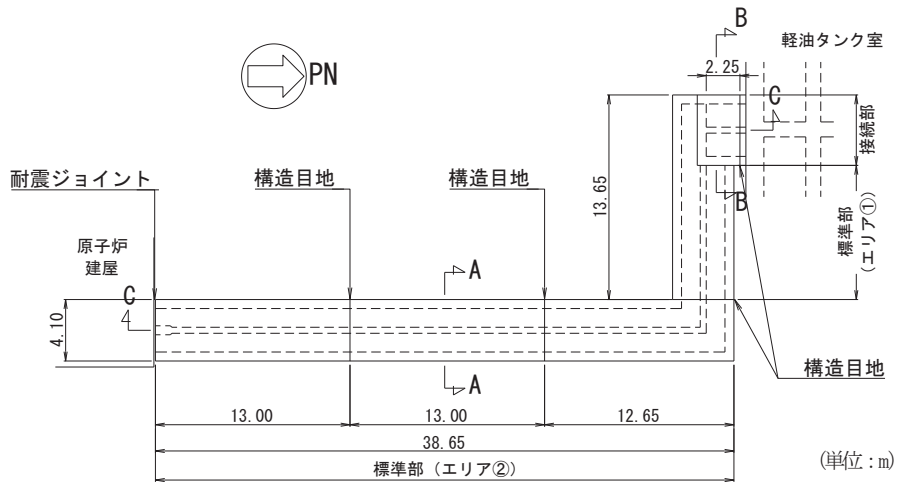


図 4.4-3 軽油タンク連絡ダクト平面図 (詳細)

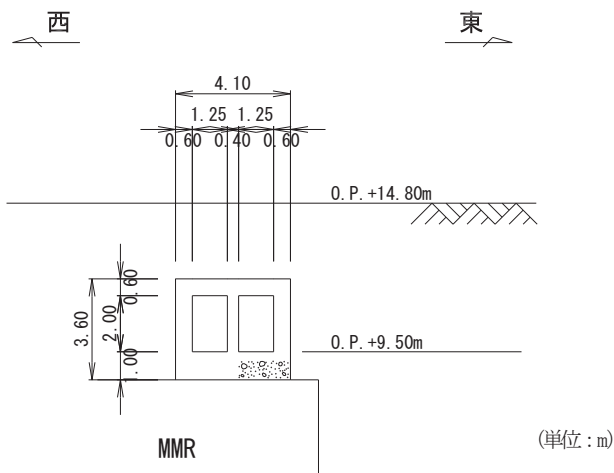


図 4.4-4 軽油タンク連絡ダクト断面図 (標準部, A-A)

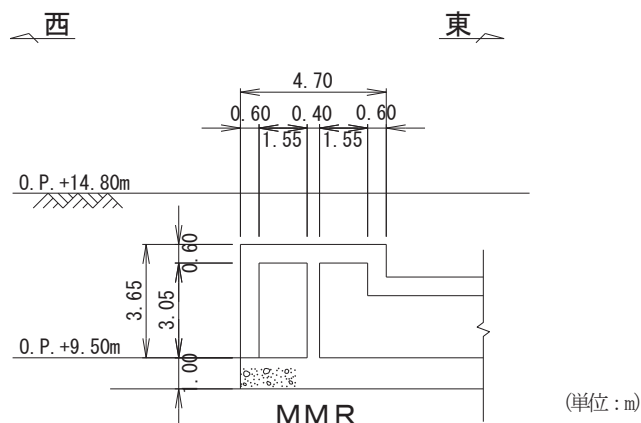


図 4.4-5 軽油タンク連絡ダクト断面図（接続部，B-B）

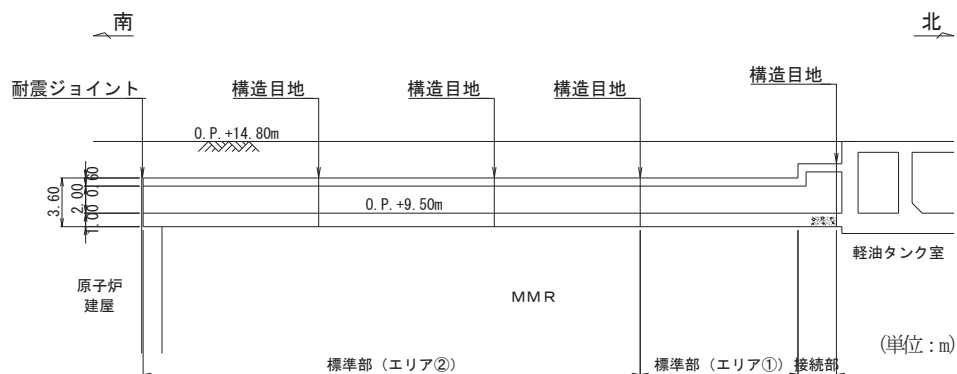


図 4.4-6 軽油タンク連絡ダクト縦断面図（C-C）

4.4.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

軽油タンク連絡ダクトは、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。

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。

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、南北方向の側壁及び隔壁が耐震要素として機能し、東西方向と比較して、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、南北方向が強軸方向となり、東西方向が弱軸方向となるため、接続部は東西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。

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。

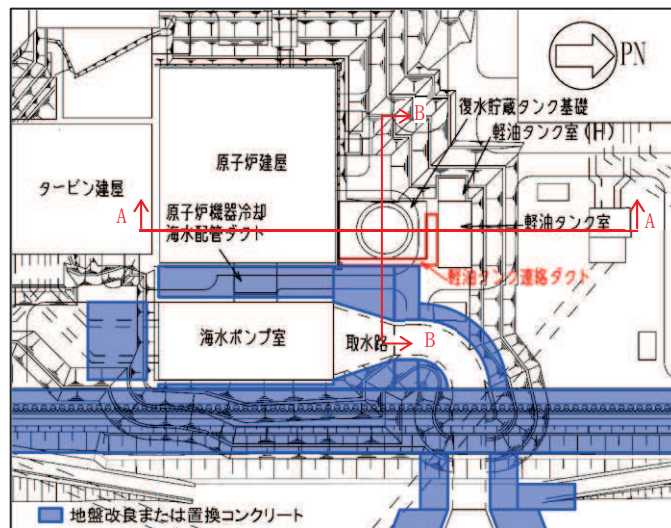


図 4.4-7 軽油タンク連絡ダクト掘削図

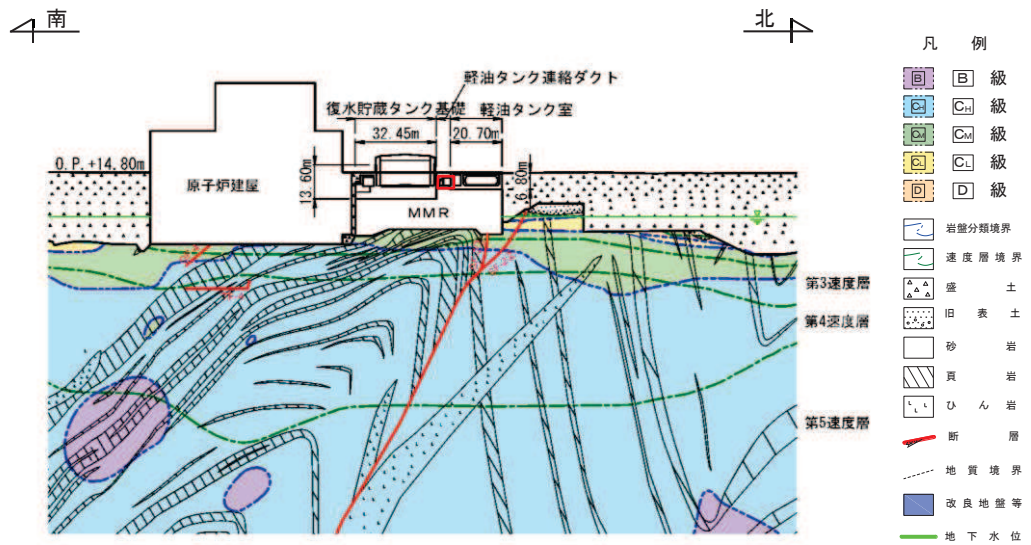


図 4.4-8 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (A-A)

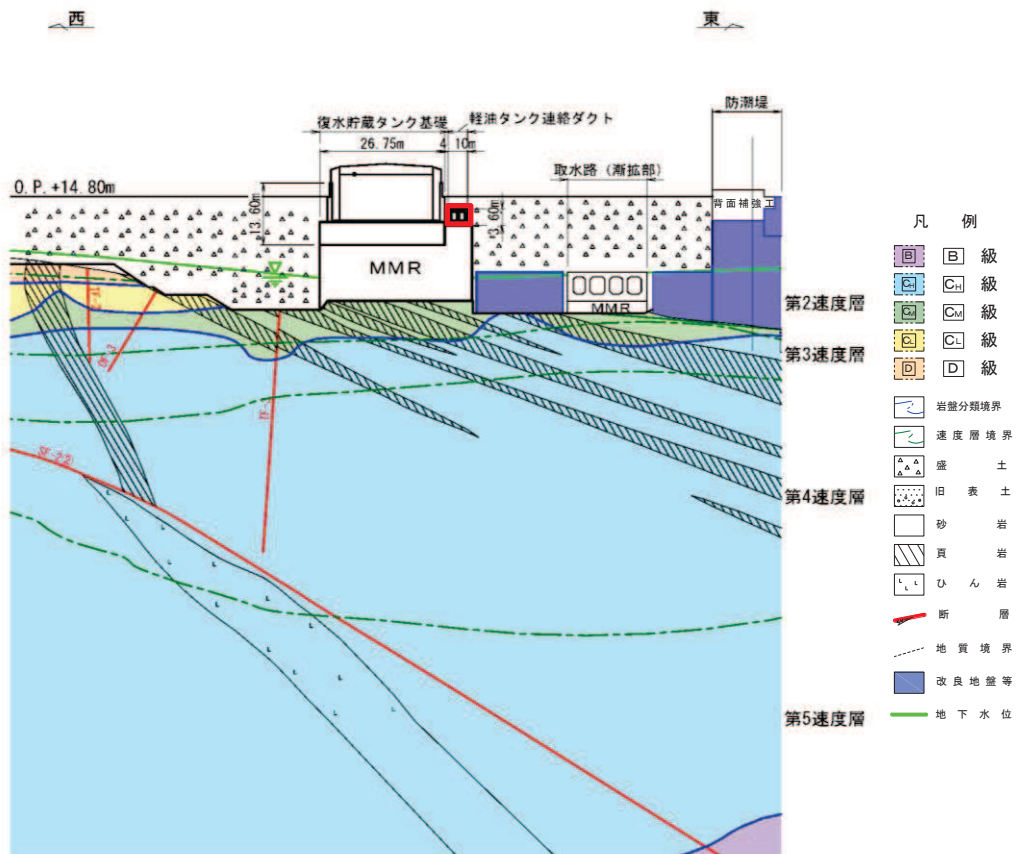


図 4.4-9 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (B-B)

(2) 評価対象断面の選定

標準部は、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。地下水位は延長方向にほぼ一様で差異がないことから、復水貯蔵タンクを中心を通る横断方向の断面を代表として、評価対象断面とする。

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、東西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。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 軽油タンク連絡ダクト 評価対象断面の選定結果

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	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"> 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 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に設置されている。 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。 	燃料移送系配管	—	<ul style="list-style-type: none"> 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、弱軸方向である南北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。
	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"> MMR を介して岩盤に設置されている。 西側には復水貯蔵タンク基礎が隣接し、MMR を共有する。 東側は、一様に盛土が分布するが、地下水位が十分に低い。 	同上	○	<ul style="list-style-type: none"> 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、復水貯蔵タンクの中心を通る横断方向の断面を、評価対象断面とする。
接続部		同上	<ul style="list-style-type: none"> 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 南北方向は、東西方向と比較し、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、東西方向が弱軸方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に設置されている。 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。 地下水位が十分に低い。 	同上	—	<ul style="list-style-type: none"> 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、東西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。

4.4.2 解析手法の選定

軽油タンク連絡ダクトの地下水位は構造物底版より十分低いことから、液状化の影響はない。従って、軽油タンク連絡ダクトの解析手法は、全応力解析を選定する。

4.5 排気筒連絡ダクト

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、地質断面図を図 4.5-5、図 4.5-6 に示す。

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トンネル構造物であり、幌形の土砂部と円形の岩盤部にて構成され、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おり、岩盤部は岩盤に囲まれている。

排気筒連絡ダクトは、延長方向に 3.0m~9.0m 間隔で構造目地を介して分割され、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。

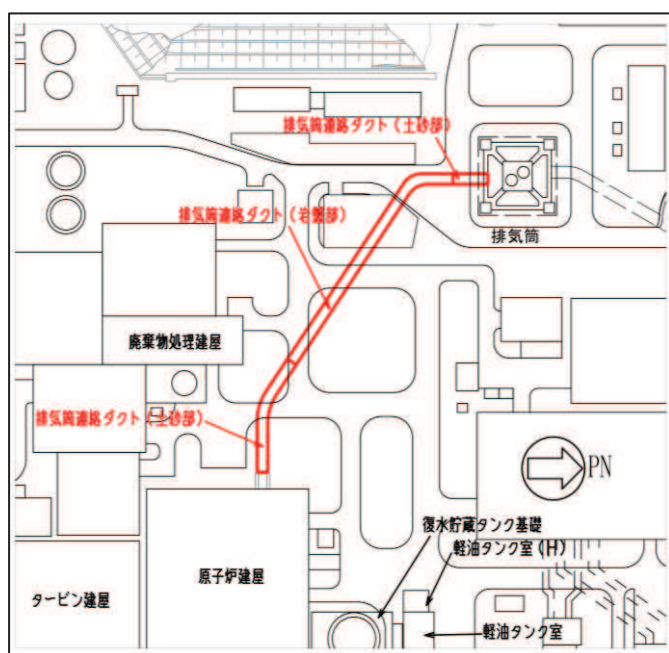


図 4.5-1 排気筒連絡ダクト配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

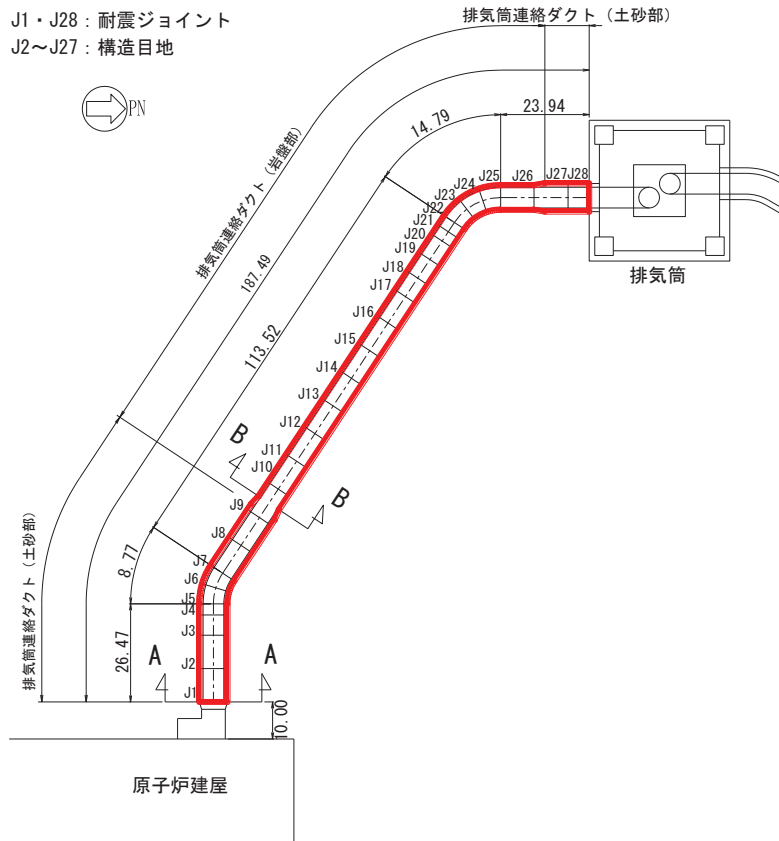


図 4.5-2 排気筒連絡ダクト平面図

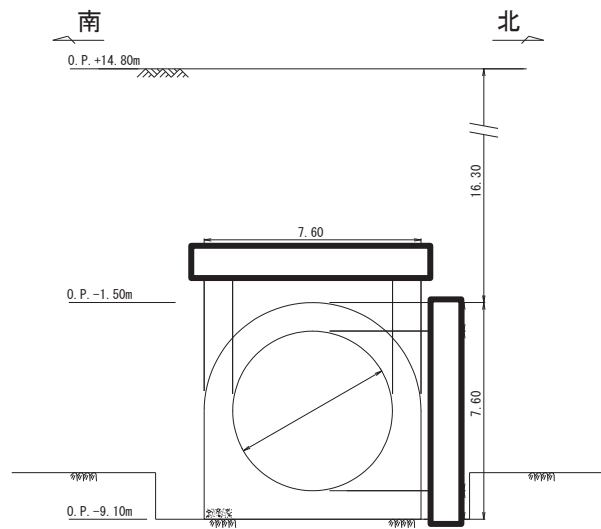


図 4.5-3 排気筒連絡ダクト断面図（土砂部，A-A）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

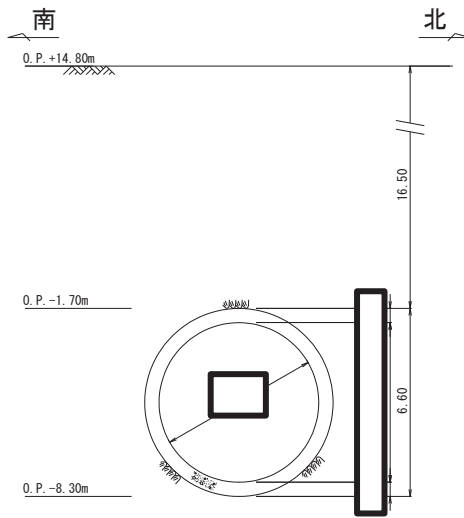


図 4.5-4 排気筒連絡ダクト断面図（岩盤部，B-B）

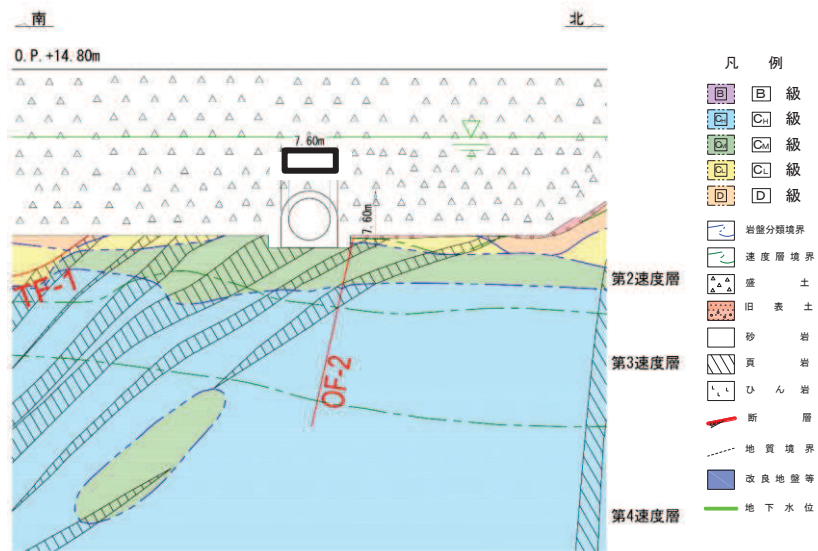


図 4.5-5 排気筒連絡ダクト（土砂部）地質断面図（A-A 断面）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

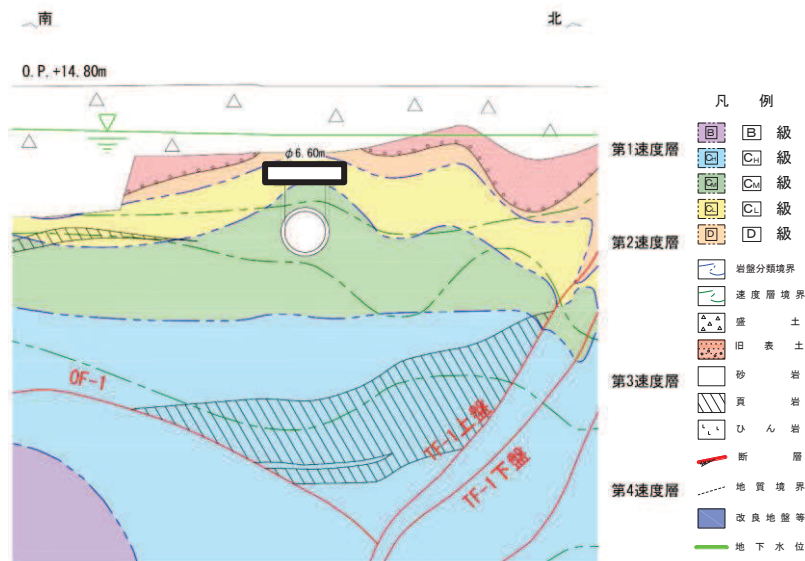


図 4.5-6 排気筒連絡ダクト（岩盤部）地質断面図（B-B 断面）

4.5.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

排気筒連絡ダクトは、構造的特徴及び周辺状況から、土砂部と岩盤部の2つに大別される。このことから、候補断面は、土砂部と岩盤部から選定する。

排気筒連絡ダクトの縦断面図及び候補断面の位置を図 4.5-7 に示す。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）が最も浅くなっており、縦断面勾配は、土砂部で 0.5%、岩盤部で 7.3%である。

排気筒連絡ダクトは、横断方向に構造部材がない線状構造物であり、横断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、横断方向の断面を候補断面とする。

周辺地盤について、土砂部は原子炉建屋側と排気筒側に分かれており、原子炉建屋側には盛土及び旧表土が、排気筒側には盛土が分布している。

土砂部の施工は、原子炉建屋近傍及び排気筒近傍は設置レベルの岩盤面まで掘削したうえで、躯体を構築し、盛土で埋め戻している。断面③過ぎから岩盤部までの区間は、原地形である旧表土を残したまま、側部の土留めと、頂部の薬液注入により地山崩壊防止を施工したうえで山岳トンネル工法によりトンネルを掘削したうえで、躯体を構築している。したがって、土砂部の躯体には、常時荷重として土被り厚に応じた土圧が作用することとなり、原子炉建屋に近い方が土圧は大きい。

岩盤部は、原子炉建屋側と排気筒側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、NATMによる山岳トンネル工法でトンネルを掘削したうえで、躯体を建設している。したがって、岩盤部の躯体には、常時荷重として土圧は作用せず、躯体の設置レベルによる荷重の変化はない。

排気筒連絡ダクトは、土砂部と岩盤部のそれぞれの区間において、断面形状及び配筋が延長方向に一様であるため、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。

設計用地下水位は、土砂部と岩盤部に分けて、それぞれ設定しており、更に、土砂部は原子炉建屋側と排気筒側でそれぞれ設定している。浸透流解析の結果、原子炉建屋側の土砂部の水位は、岩盤部との境界が最も高くなっており、設計用地下水位は保守的に、この地点で躯体に作用する水頭が同区間で一律作用するとして、躯体頂部との離隔を一定として設定しており、同区間内で地下水による差異はない。

排気筒側の土砂部は、浸透流解析の結果を基に、設計用地下水位は全区間地表面としている。躯体の延長は短く、設置レベルの勾配も小さいため、排気筒側の土砂部区間で地下水位による差異は小さい。

岩盤部の浸透流解析の結果は、原子炉建屋側から排気筒側に高く分布しており、排気筒側の一定区間はほぼ地表面となっている。設計用地下水位は、地表面に分布する区間を除き、躯体に作用する水頭が最大となる地点の水頭が、区間に一律作用するものとして保守的に設定している。以上の設計用地下水位の設定の結果、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。

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、円型内空の底版の同一位置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。

原子炉建屋側の土砂部にはTF-1断層が、排気筒側の土砂部にはSF-2②断層が幌型トンネル底面で接しており、岩盤部ではOF-1断層及びSF-2①断層が、円形トンネルと接している。断層と構造物の位置関係について、断層の影響を確認する断面としては、土砂部はTF-1断層の方が、岩盤部はOF-1断層の方が断層の規模は大きく、断層の変形による構造物への影響は大きいと考えられることから、土砂部はTF-1断層と接する断面②を、岩盤部はOF-1断層と接する断面⑦を候補断面とする。なお、断層の影響を確認するための断面選定の詳細については、「参考資料4 断層の影響を評価する断面」に示す。

排気筒連絡ダクトの候補断面の特徴について、土砂部を表4.5-1に、岩盤部を表4.5-2に示す。

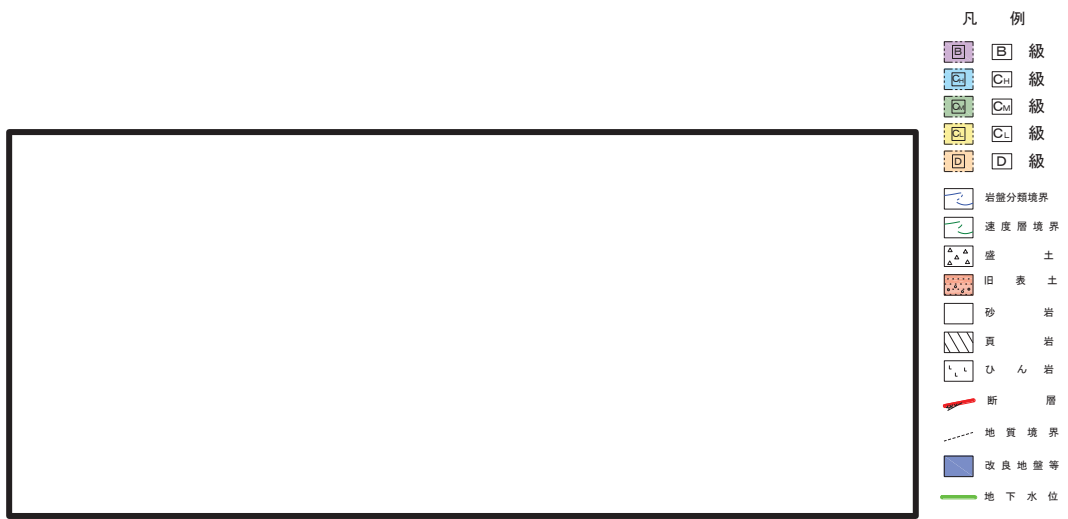


図 4.5-7 排気筒連絡ダクト縦断面図及び候補断面位置

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 4.5-1 排気筒連絡ダクト（土砂部） 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	液状化検討対象層となる盛土及び旧表土が広く分布し、旧表土の厚さが全区間で最も厚い。
断面④	同上	同上	岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。
断面⑪	同上	同上	岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。
断面⑫	同上	同上	全区間で土被りが最も薄い。

表 4.5-2 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	岩盤に囲まれている状況で接する断層のうち、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。

(2) 評価対象断面の選定

a. 土砂部

土砂部は、周辺に盛土・旧表土が分布し、断面形状、配筋及び地下水位が延長方向に一様な幌型のトンネル構造であり、全線において隣接構造物は存在しないことから、周辺地盤条件に着目し評価対象断面を選定する。

断面①、断面③、断面④、断面⑪、断面⑫を比較すると、断面①は土被りが最も大きいため、耐震性に支配的な要因である地盤から構造物に作用する荷重（土圧）も大きく、耐震裕度が小さくなると想定されることから、断面①を評価対象断面として選定する。なお、断面選定の詳細について、「参考資料3 地震応答解

析による断面選定の確認」に示す。

b. 岩盤部

岩盤部は、周囲が岩盤に囲まれ、断面形状、配筋及び地下水位が延長方向に一様な円型のトンネル構造であることから、周辺地盤条件に着目し評価対象断面を選定する。

断面⑤、断面⑥、断面⑧、断面⑨、断面⑩を比較すると、断面⑤は最も土被りが大きく、地盤の剛性が低い速度層に分布しており、浅部が盛土のため、耐震性に支配的な要因である岩盤の変形が盛土により増幅され、岩盤の変形が大きくなると考えられる。このため耐震裕度は小さくなると想定されることから、断面⑤を評価対象断面として選定する。なお、断面選定の詳細について、「参考資料 3 地震応答解析による断面選定の確認」に示す。

c. 床応答算出断面

排気筒連絡ダクトの機器・配管は延長方向に一様に設置されていることから、候補断面として選定した断面①、断面③、断面④、断面⑤、断面⑥、断面⑧、断面⑨、断面⑩、断面⑪、断面⑫に対し、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断面に、評価対象断面を選定する。

一次元地震応答解析結果を表 4.5-3 に示す。候補断面として選定した断面について、一次元全応力解析及び一次元有効応力解析（土砂部）による比較を行った結果、全応力解析及び有効応力解析ともに、盛土に加え旧表土が広く分布し、旧表土の厚さが最も厚い断面③における最大加速度が最大となった。

このことから、機器・配管系の床応答算出断面については、旧表土が広く分布し全区間で旧表土が最も厚く、配管が設置される構造物下端の深度の応答加速度が最も大きい断面③を評価対象断面として選定し、構造物を変形させる外力が大きい断面を選定した断面①、断面⑤に加えて床応答を算出する。

表4.5-3 一次元地震応答解析結果（床応答）

候補 断面	最大加速度 (cm/s ²)	
	全応力解析	有効応力解析
断面①	833 (S _s -D 2)	726 (S _s -F 3)
断面③	967 (S _s -D 2)	844 (S _s -D 3)
断面④	940 (S _s -D 2)	781 (S _s -F 3)
断面⑤	717 (S _s -F 3)	—
断面⑥	687 (S _s -F 3)	—
断面⑧	673 (S _s -F 2)	—
断面⑨	661 (S _s -D 1)	—
断面⑩	749 (S _s -D 2)	—
断面⑪	937 (S _s -D 2)	748 (S _s -F 3)
断面⑫	797 (S _s -F 3)	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：全応力解析，有効応力解析それぞれにおいて，
 最大加速度の最大値

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4.5-4 及び表 4.5-5 に示す。また、断層の影響を確認するための評価対象断面として、土砂部の断面②（TF-1 断層）及び岩盤部の断面⑦（OF-1 断層）を選定する。

評価対象断面図を図 4.5-8～図 4.5-12 に示す。

表 4.5-4 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面の選定結果

候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	評価対象断面			選定結果
					耐震評価	床応答算出	断層影響	
断面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において、土被りが最も大きく、耐震性の支配的要因である地盤から構造物に作用する荷重（土圧）も大きく、耐震裕度が小さくなると想定されることから、評価対象断面として選定する。
断面②*1	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の評価対象断面として選定する。
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	—	○	—	・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。
断面④	同上	同上	・岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。	同上	—	—	—	・耐震評価の観点から断面①を、床応答の観点から断面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。
断面⑪	同上	同上	・岩盤の埋込み深さが構造物の中心位置。	同上	—	—	—	同上
断面⑫	同上	同上	・全区間で土被りが最も薄い。	同上	—	—	—	同上

注記*1：詳細は、「参考資料4 断層の影響を評価する断面」に示す。

表 4.5-5 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面の選定結果

候補断面	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	評価対象断面			選定結果
					耐震評価	床応答算出	断層影響	
断面⑤	支持機能	円形トンネル	・岩盤部において、トンネル底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、構造物上部に盛土が分布し、低速度層区分の岩盤内に構築されており、盛土の変位増幅が岩盤の挙動に影響を及ぼすと考えられる。このため、岩盤トンネルの耐震性に支配的な要因である岩盤の変形は最も大きく、耐震裕度は小さくなると想定されることから、評価対象断面として選定する。
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	—	—	—	・耐震評価の観点から断面⑤を、床応答の観点から断面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。
断面⑦*1	同上	同上	・構造物周辺が岩盤で囲まれている状況で接する断層のうち、規模の大きい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況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の評価対象断面として選定する。
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。	同上	—	—	—	・耐震評価の観点から断面⑤を、床応答の観点から断面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。
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	—	—	—	同上
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	—	—	—	同上

注記*1：詳細は、「参考資料4 断層の影響を評価する断面」に示す。

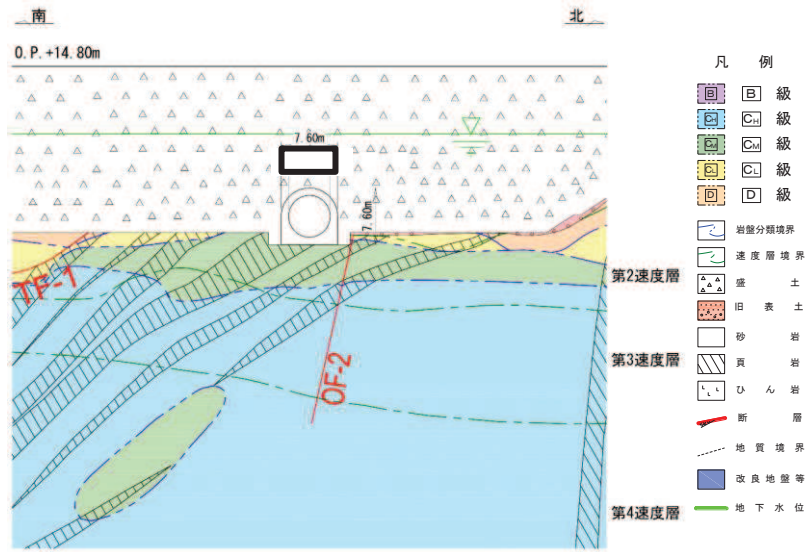


図 4.5-8 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面①）

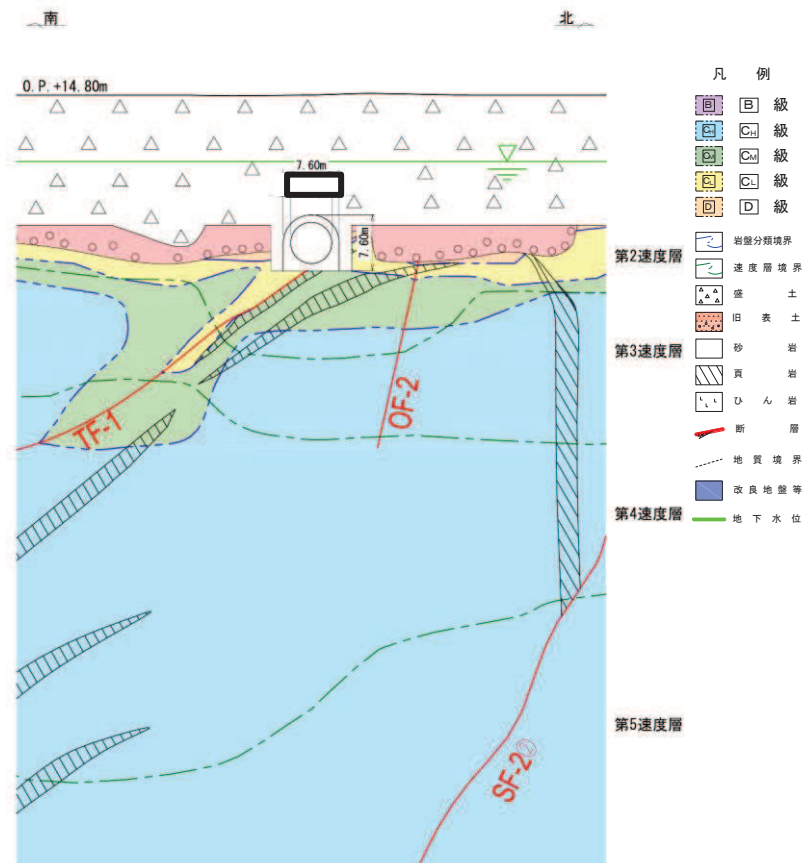


図 4.5-9 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面②）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

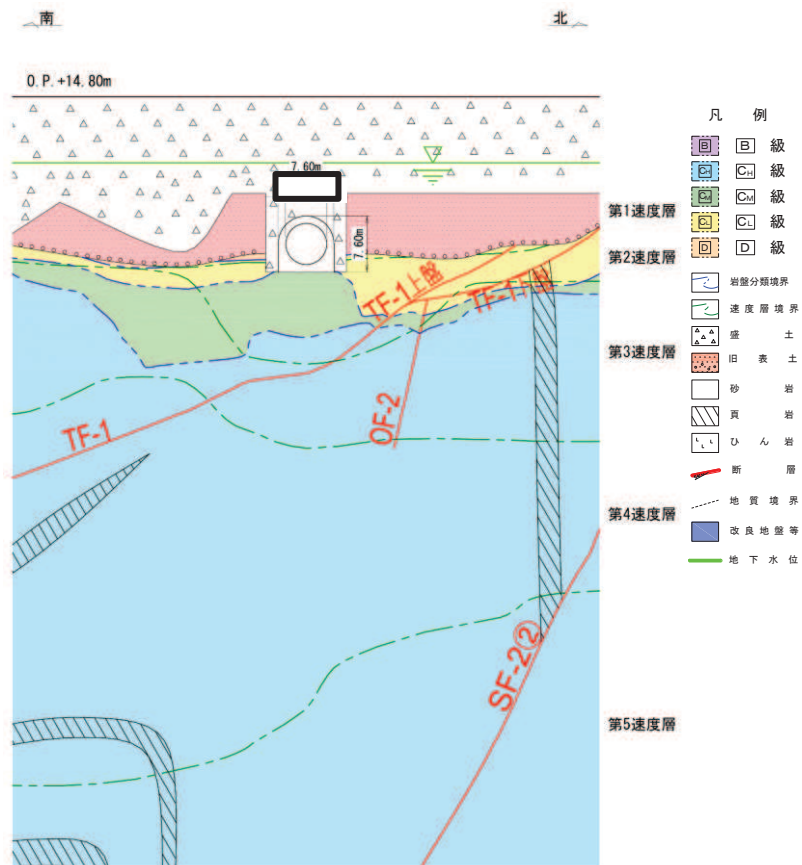


図 4.5-10 排気筒連絡ダクト（土砂部） 評価対象断面図（断面③）

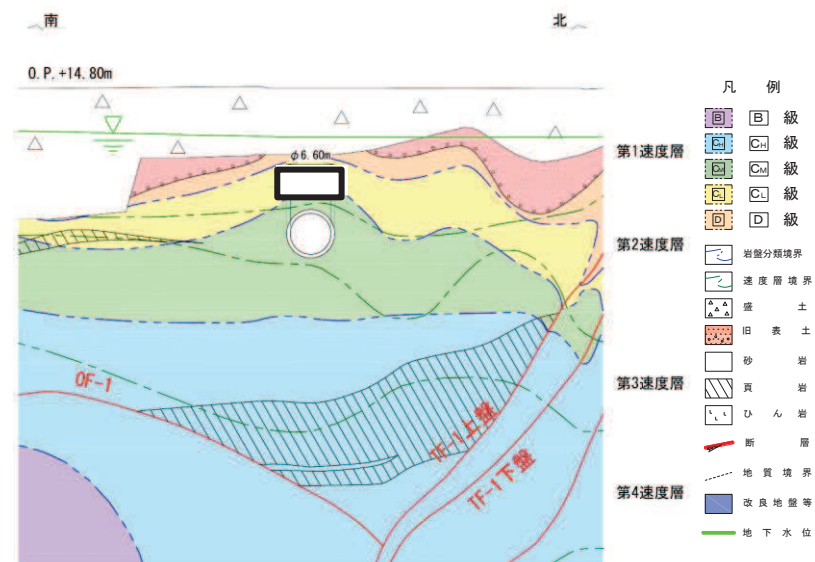


図 4.5-11 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面図（断面⑤）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

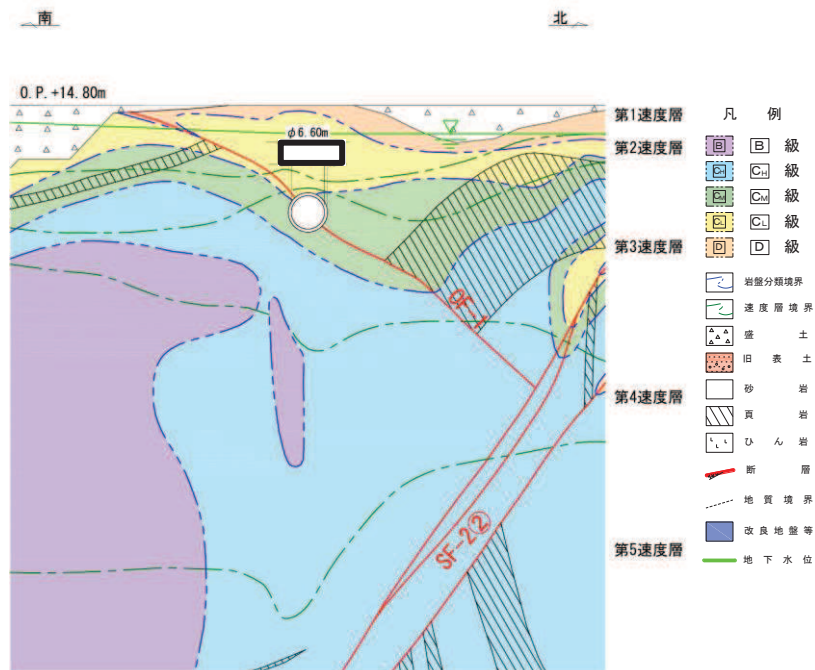


図 4.5-12 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 評価対象断面図（断面⑦）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.5.2 解析手法の選定

(1) 土砂部

断面①は構造物周囲を盛土で埋め戻されており，土被りが16.3mと最も大きく，地下水位は地表面から9.1m低下し構造物より上方に位置する。断面②及び断面③の構造物周囲は盛土で埋め戻されており，側方に旧表土が分布する。また，地下水位は地表面から9.0m低下し構造物より上方に位置する。

土砂部の解析手法は，全応力解析及び有効応力解析により耐震性評価を行う。また，浮上りに対する安全性を検討する。

(2) 岩盤部

岩盤部は，構造物が岩盤中に設置されており，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，全応力解析を選定する。

4.6 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の配置図を図 4.6-1 に、平面図を図 4.6-2 に、断面図を図 4.6-3、図 4.2-4 に示す。

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 の断面の変化がない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 の九連の立坑構造（矩形）の鉛直部（以下「鉛直部」という。）から構成される。また、水平部と鉛直部、及び原子炉建屋の接合部には、それぞれ耐震ジョイントが設置されている。

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、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の側壁と一体構造となっている。

これら構造形態等の違いから、断面選定は水平部と鉛直部に分けて行う。

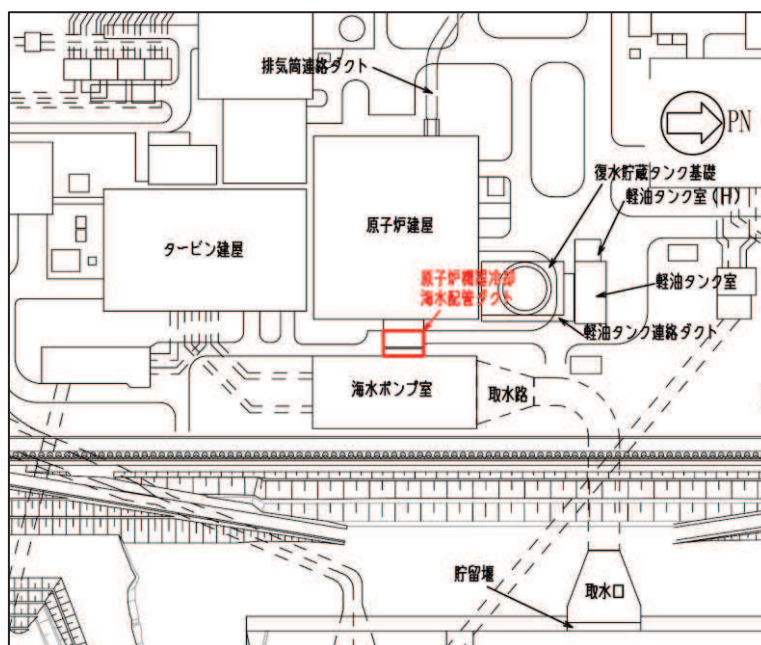


図 4.6-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト配置図

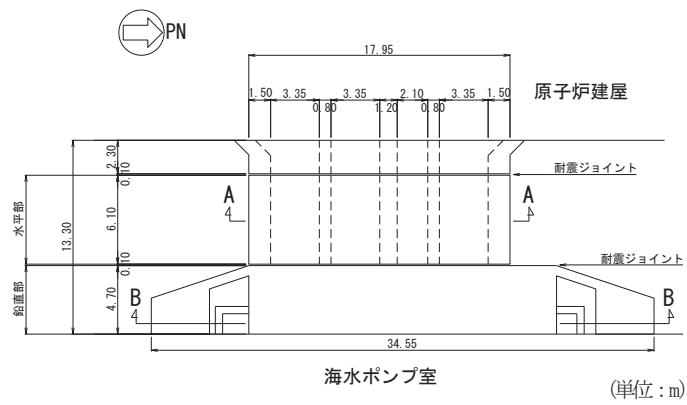


図 4.6-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト平面図

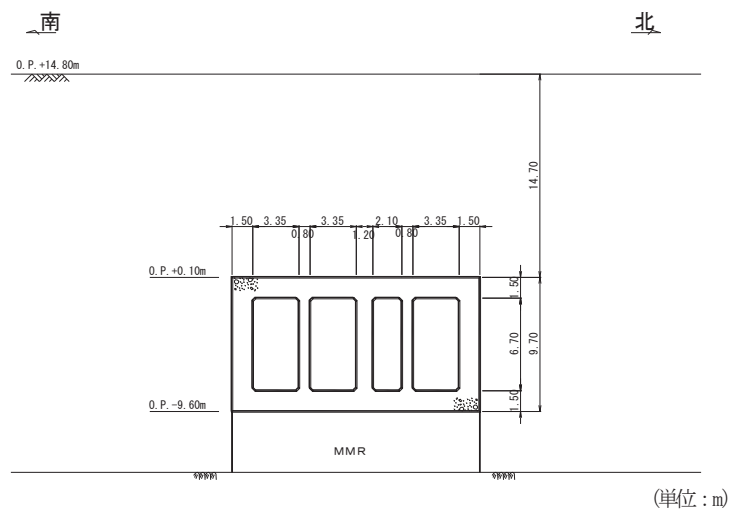


図 4.6-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）断面図（A-A）

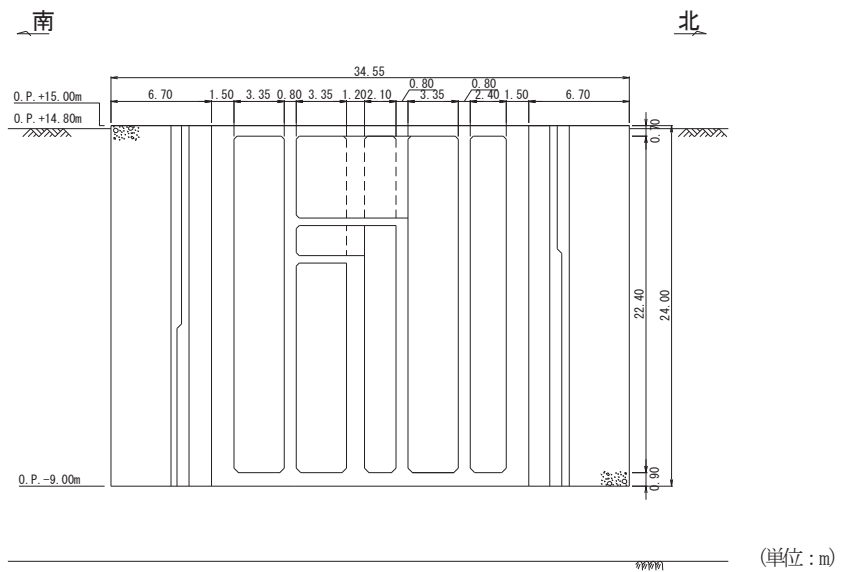


図 4.6-4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）断面図（B-B）

4.6.1 断面選定

(1) 水平部

構造的特徴として、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、延長方向が強軸方向となり、横断方向が弱軸方向となる。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の掘削図を図 4.6-5 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 4.6-6 及び図 4.6-7 に示す。

水平部は、断面形状及び配筋も延長方向に一樣である。また、機器・配管も延長方向に一樣に設置されている。

周辺状況として、横断方向の周囲は、一樣に地盤改良がなされており、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。

以上より、構造物延長方向の中心を通る横断方向の断面を評価対象断面として選定する。

水平部直下の MMR は OF-4 断層と接しているが、設置許可において OF-4 断層は延長が短く、O.P. -20m 以浅で消滅するため、規模が小さく連続性に乏しい断層と評価されていることから、断層影響の評価対象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 4 断層の影響を評価する断面」に示す。

水平部の評価対象断面の選定結果を表 4.6-1 に、評価対象断面図を図 4.6-8 に示す。

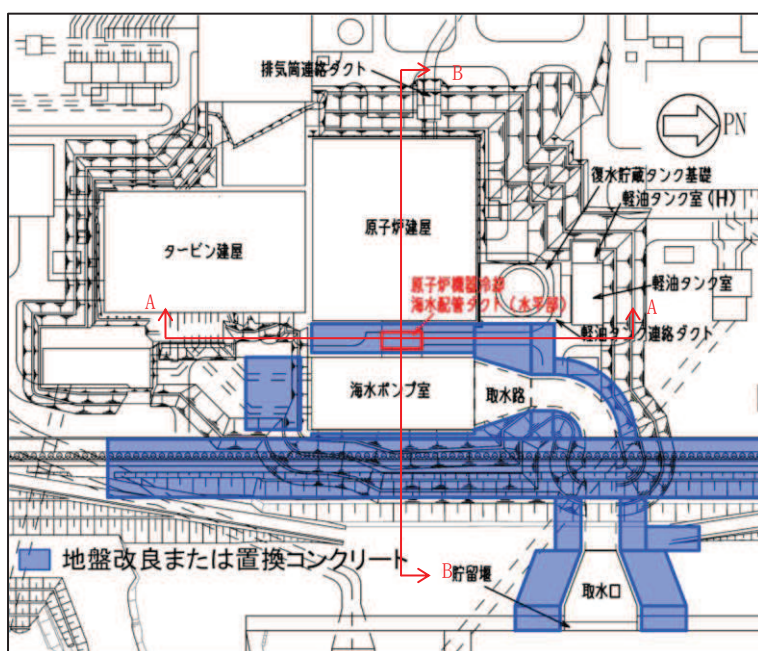


図 4.6-5 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）掘削図

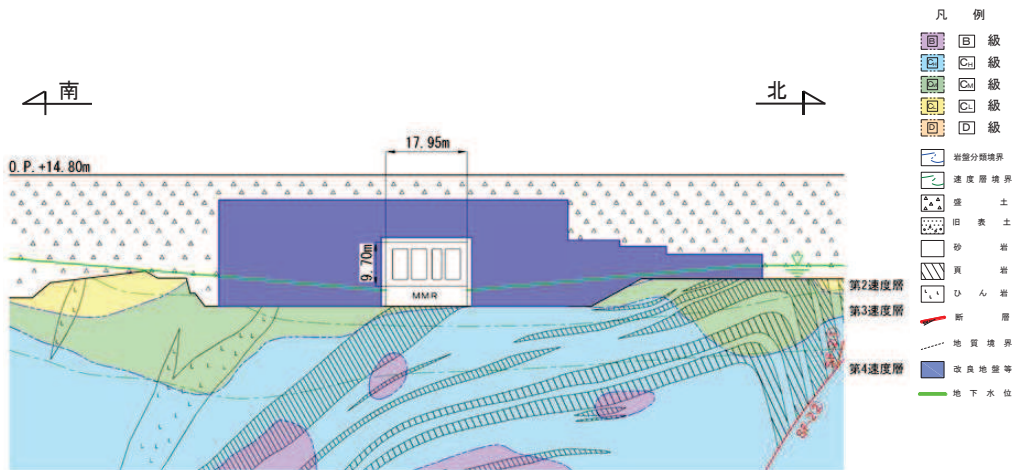


図 4.6-6 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）地質断面図（A-A）

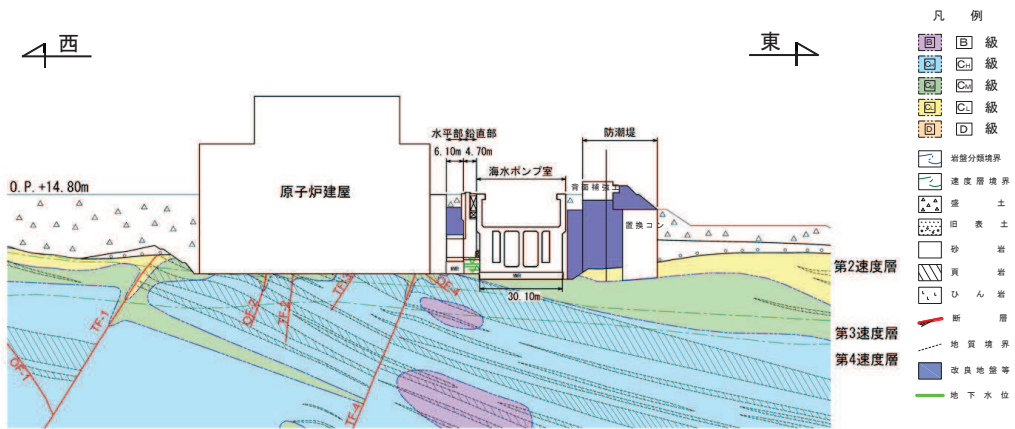


図 4.6-7 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）地質断面図（B-B）

表 4.6-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） 評価対象断面の選定結果

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"> 断面の変化がない四連ボックスカルバート構造 一様な断面を有する線状構造物であり、横断方向が弱軸方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に設置されている。 一様に地盤改良がなされ、地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。 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。 水平部直下の MMR は OF-4 断層と接している。 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 断面の変化がない四連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の断面を評価対象断面とする。

(2) 鉛直部

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の掘削図を図 4.6-9 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 4.6-10、図 4.6-11 に示す。

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一体構造となっている。縦断方向（鉛直方向）には 8 つの隔壁が存在するが、高さによって隔壁の位置に変化があり、内空断面が変わる。機器・配管は内空毎に同一の配管が支持されており、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。

周辺状況として、構造物の周辺は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一様である。

鉛直部は、南北方向・東西方向ともに、小さな局所的な構造物であり、周辺状況は隣接する水平部と海水ポンプ室とも同様であることから、構造物のほぼ中心を通る南北・東西断面を評価対象断面とし、地盤モデルは、南北は水平部、東西は海水ポンプ室と同一とする。

鉛直部の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.6-2 に、地震時荷重算出断面図を図 4.6-12、図 4.6-13 に示す。

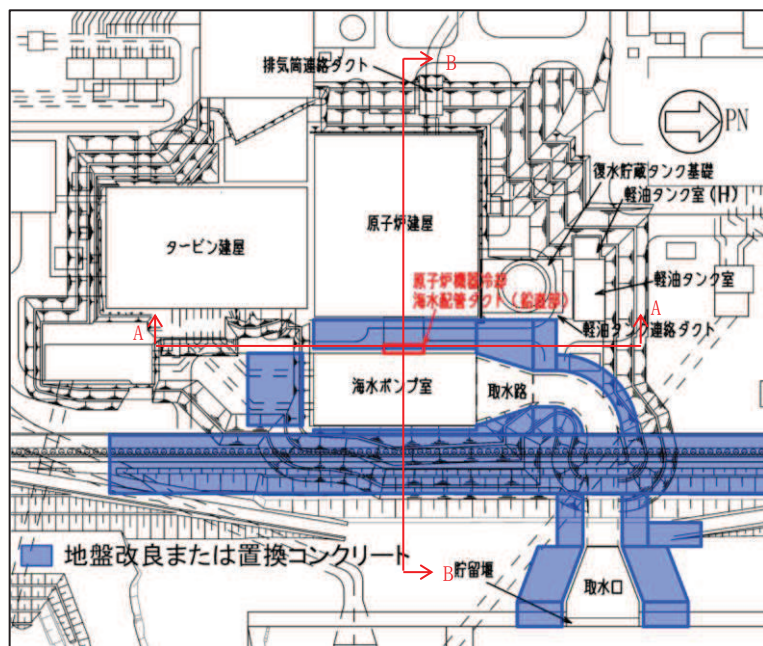


図 4.6-9 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）掘削図

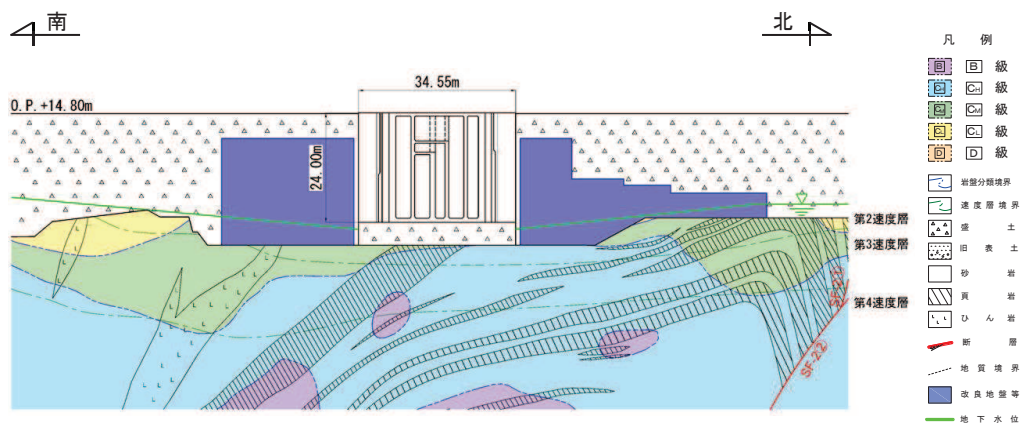


図 4.6-10 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）地質断面図（A-A）

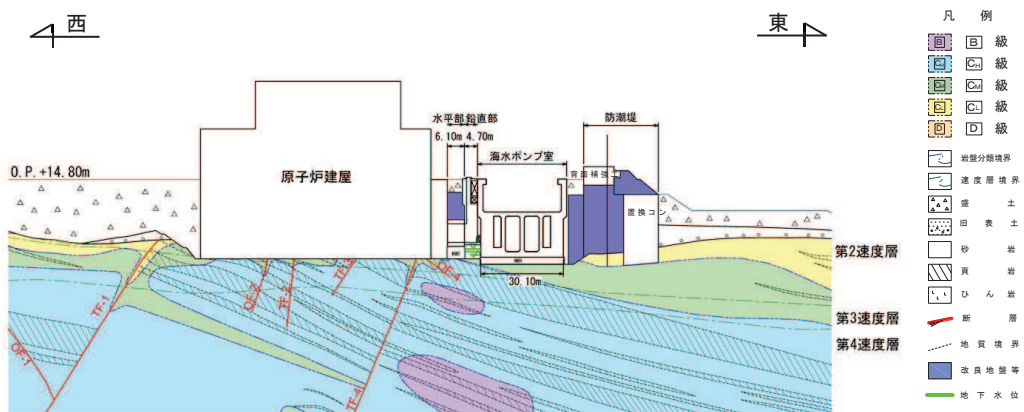


図 4.6-11 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）地質断面図（B-B）

表 4.6-2 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
鉛直部	東西方向	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室と一体構造となっており、縦断方向（鉛直方向）に8つの隔壁により仕切られた立坑構造 縦断方向（鉛直方向）の断面形状に大きな違いはない。 	<ul style="list-style-type: none"> 規模・重量が十分に大きい海水ポンプ室の側壁と一体構造となっている。 周辺は地盤改良がなされており、地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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 浸水防止蓋 防潮壁 	<ul style="list-style-type: none"> 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、海水ポンプ室で選定した地質断面を地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。
	南北方向	同上	同上	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルは鉛直部（南北方向）の剛性を考慮する。

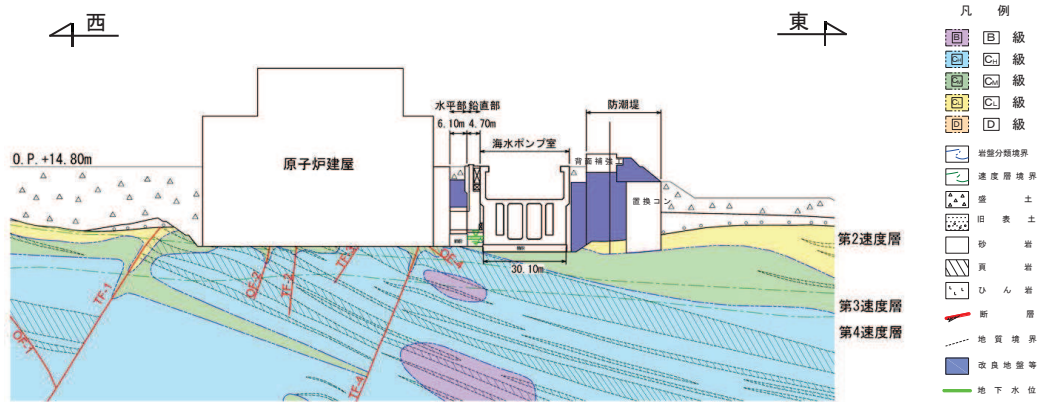


図 4.6-12 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）
地震時荷重算出断面図（東西方向）

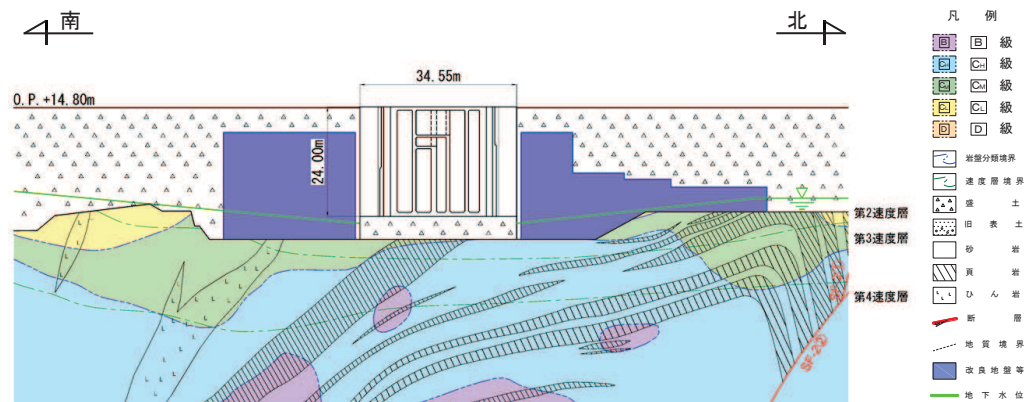


図 4.6-13 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）
地震時荷重算出断面図（南北方向）

4.6.2 解析手法の選定

(1) 水平部

水平部の周囲は、一様に地盤改良されており、地下水位はほぼ一様で、構造物底板より十分に低いことから液状化の影響はない。従って、水平部の解析手法は、全応力解析を選定する。

(2) 鉛直部

鉛直部の周囲は、一様に地盤改良されており、地下水位はほぼ一様で、構造物底板より十分に低いことから液状化の影響はない。かつ、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液状化の影響はない。従って、鉛直部の解析手法は、全応力解析を選定する。

4.7 取水路（漸拡部）

取水路（漸拡部）は非常用取水設備であり，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（漸拡部）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。

取水路（漸拡部）は，取水路（標準部）との接続部である内空幅 ，内空高さ の二連ボックスカルバート構造から，海水ポンプ室との接続部である内空幅 ，内空高さ 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）に断面が拡幅する地中構造物であり，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。

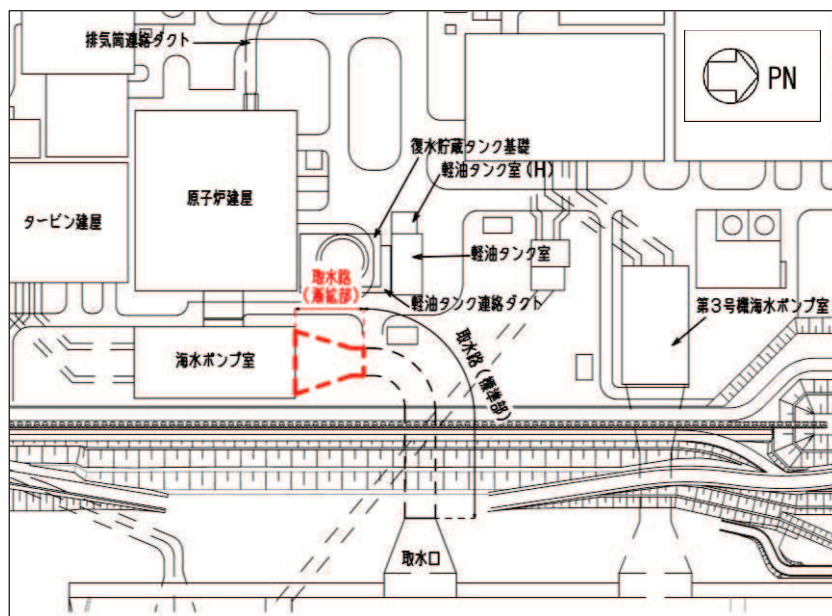


図 4.7-1 取水路（漸拡部）配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

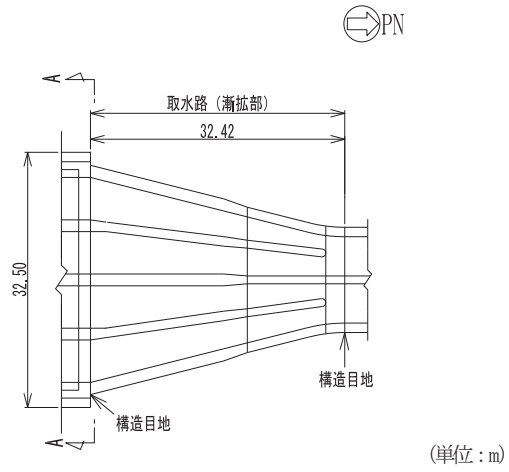


図 4.7-2 取水路（漸拡部）平面図

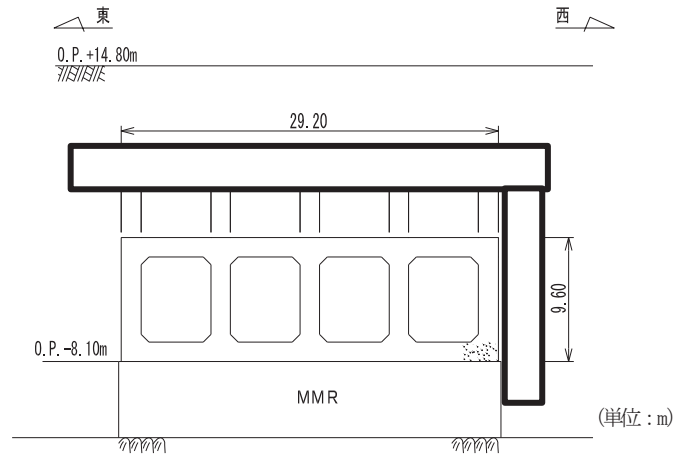


図 4.7-4 取水路（漸拡部）断面図（A-A）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.7.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

取水路（漸拡部）は、横断方向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。

地下水位は、底版位置から一様（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。四連ボックスカルバート部の配筋はすべて同一配筋であることから、候補断面の整理の観点には含めない。

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 4.7-5 に、縦断図及び候補断面の位置を図 4.7-6 に、断面図を図 4.7-7～図 4.7-9 に、地質断面図を図 4.7-10 及び図 4.7-11 に示す。

断面①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②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①～断面②）では内空断面が幅・高さともに、最大である。

断面③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 4.7-1 に示す。

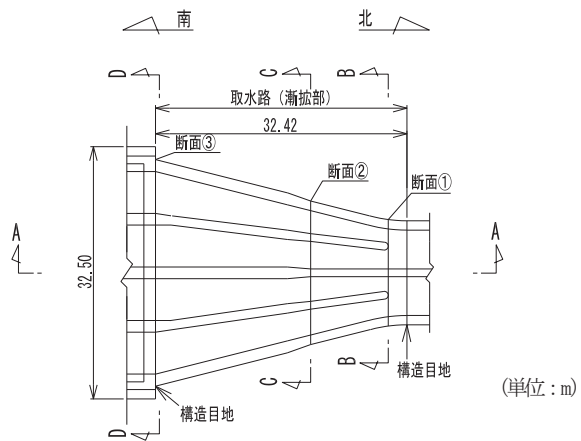


図 4.7-5 取水路 (漸拡部) 平面図及び候補断面位置

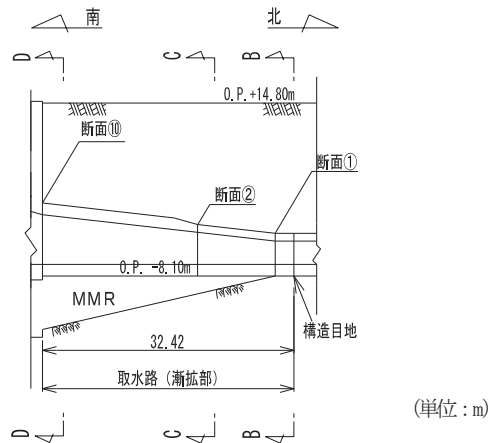


図 4.7-6 取水路 (漸拡部) 縦断図 (A-A) 及び候補断面位置

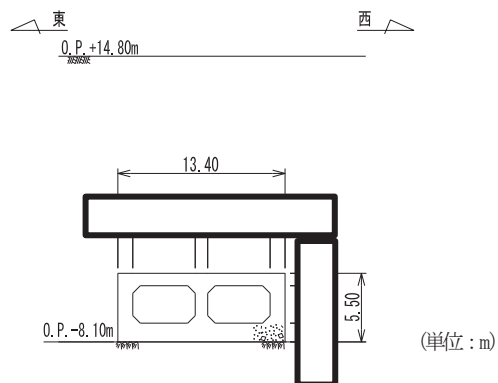


図 4.7-7 取水路 (漸拡部) 断面図 (B-B 断面: 断面①)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

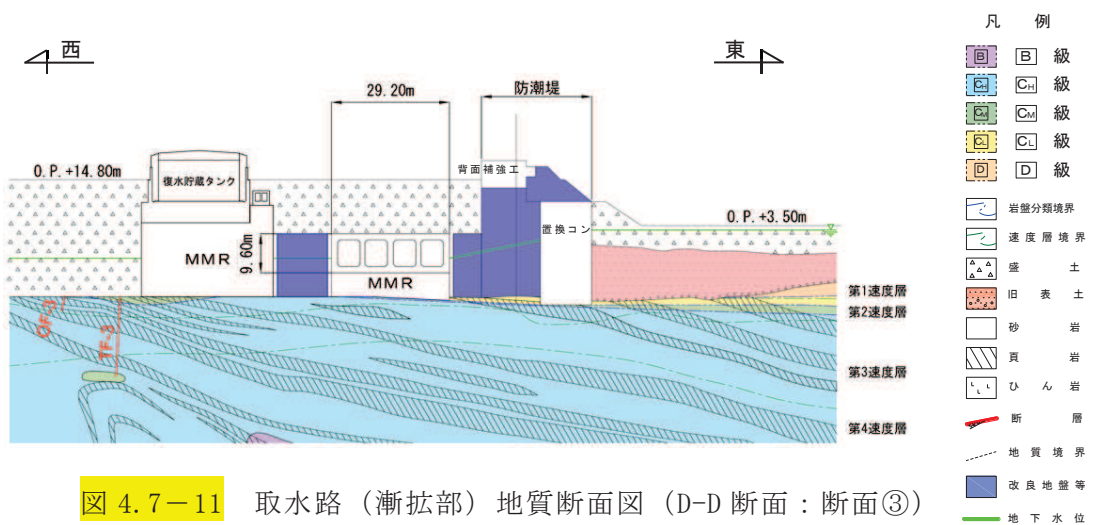


図 4.7-11 取水路（漸拡部）地質断面図（D-D 断面：断面③）

表 4.7-1 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①	通水機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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②	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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①～断面②）では内空断面が幅・高さともに、最大である。 	同上
断面③	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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) 評価対象断面の選定

断面①は、取水路（標準部）と幅及び高さが同様であることから、取水路（標準部）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②及び断面③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②の方が厚く、部材厚及び内空断面（幅、高さ）は断面③の方が大きい。断面②及び断面③の寸法一覧を表 4.7-2 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②に比べて断面③の方が大きく、作用する荷重が大きくなり、発生せん断力は、断面③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③は、せん断耐力も大きくなることから、断面②と断面③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。

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 4.7-12** に示す。

表 4.7-2 断面②及び断面③の寸法一覧 (単位：m)

断面	土被り h	部材厚 d			内空断面 1	
		頂版	側壁	中壁	幅	高さ
断面②	16.2					
断面③	13.3					

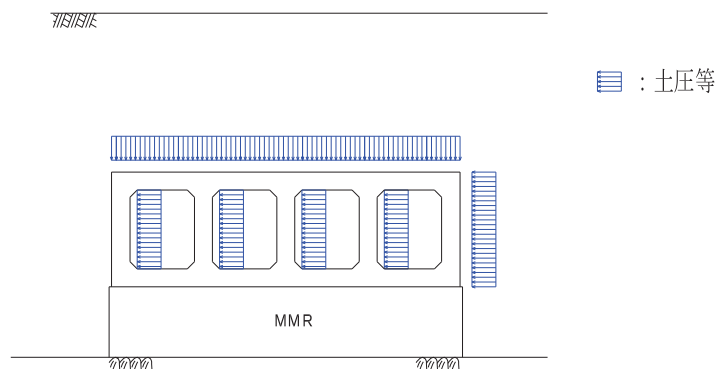


図 4.7-12 荷重イメージ図

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 σ_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②の値を1.0とした場合の断面③の値）を表4.7-3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②と断面③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4.7-3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②に比べて断面③の方が大きいことから、断面③の方が、構造上厳しい断面であると考えられる。

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

$$M = w l^2 / 8 \quad (2)$$

σ_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②と断面③で同一と仮定）

l : スパン長

γ_s : 盛土の単位体積重量

表 4.7-3 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②と断面③の比較)

曲げ・軸力系の破壊			
鉄筋の引張応力度 σ_s の比率			
$\sigma_s = M / (A_s \cdot j \cdot d) \quad (1)$ $M = w l^2 / 8 \quad (2)$ 上記, 式(1), (2)及び $A_s = \text{一定}$ 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②	1.0	1.0	1.0
断面③	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②の値を 1.0 とした場合の断面③の値) を表 4.7-4 の(A)に示す。

$$V = w l / 2 \quad (3)$$

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②と断面③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②の値を 1.0 とした場合の断面③の値) を表 4.7-4 の(B)に示す。なお, f_{vcd} , b_w , γ_{bc} は断面②及び断面③で同等であり, β_n は同値と仮定し算出した。

また, 配筋は断面②と断面③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

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c} \quad (5)$$

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

$$f_{v c d} = 0.72 [\text{N/mm}^2]$$

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

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

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

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

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

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$: 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

$\gamma_{b c}$: 部材係数

表 4.7-4 のとおり、発生せん断力 V とせん断耐力 $V_{c d}$ (コンクリート負担分) は、ともに断面②より断面③の方が大きいですが、せん断耐力 $V_{c d}$ 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③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②に比べて断面③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③を評価対象断面として選定する。なお、せん断耐力 $V_{y d}$ に鉄筋負担分 $V_{s d}$ を考慮した場合は、鉄筋負担分 $V_{s d}$ の耐力は断面②と断面③で同値であるため、断面②に対する断面③のせん断耐力 $V_{y d}$ の増加割合は、コンクリート負担分 $V_{c d}$ のみの増加割合より小さくなり、断面③を選定することは安全側の評価となる。

(3) 断面選定結果

取水路（漸拡部）の評価対象断面の選定結果を表 4.7-5 に示す。

表 4.7-4 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②と断面③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)		
		$V = w l / 2$ (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 $V_{cd} = (1/d)^{1/4} \cdot (1/d)^{1/3} \cdot (100 \cdot A_s / b_w)^{1/3} \cdot (0.75 + 1.4 d/a) \cdot d$ $A_s = \text{一定}, b_w = \text{一定より}$ $V_{cd10} / V_{cd9} = (d_9 / d_{10})^{(-5/12)} \cdot (0.75 + 1.4 d_{10} / a_{10}) / (0.75 + 1.4 d_9 / a_9)$			— — —	
	頂版	側壁	中壁	頂版	側壁	中壁	頂版	側壁	中壁
	(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②	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
断面③	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②と断面③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②に対する断面③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③を選定することは安全側の評価となる。

表 4.7-5 取水路（漸拡部） 評価対象断面の選定結果

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①	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①は取水路（標準部と幅及び高さが同様であることから、取水路（標準部）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②	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①～断面②）では内空断面が幅・高さともに、最大である。	同上	—	・断面③と比較し、断面②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③	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②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②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。

4.7.2 解析手法の選定

取水路（漸拡部）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液状化の影響はない。従って、取水路（漸拡部）の解析手法は、全応力解析を選定する。

なお、躯体と改良地盤の間に局所的に分布する地下水以深の盛土の液状化の可能性、及び O.P. +3.5m 盤の盛土・旧表土の液状化による取水路（漸拡部）への影響についての確認結果を「参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果」に示す。

4.8 軽油タンク室

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 4.8-5 に示す。

軽油タンク室は、幅 32.40m（東西方向）×20.70m（南北方向）、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、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 4.8-6 に示す。

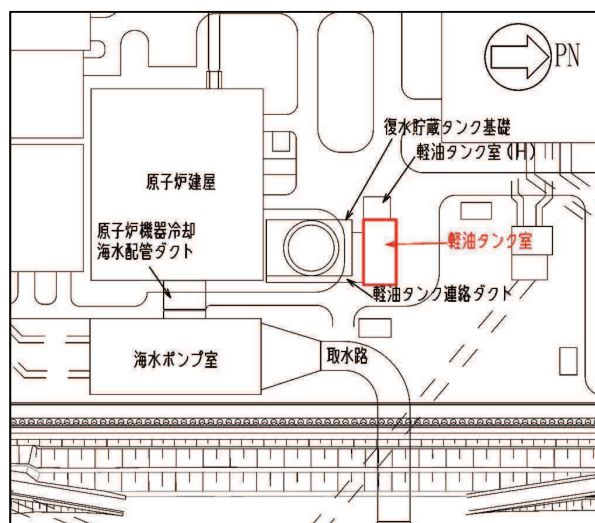


図 4.8-1 軽油タンク室配置図

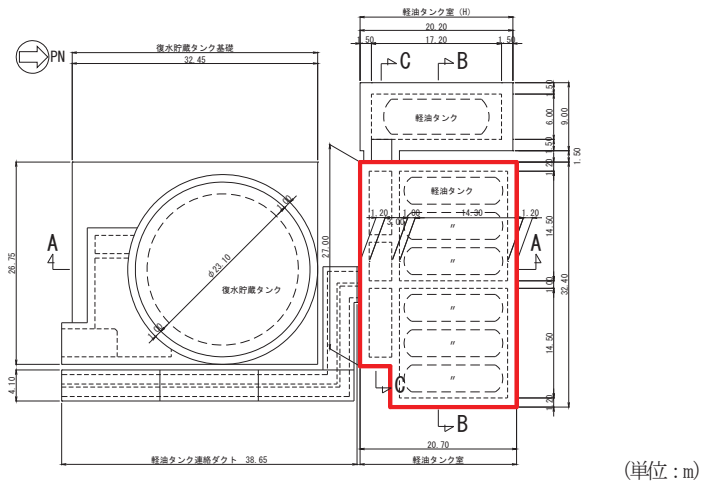


図 4.8-2 軽油タンク室平面図

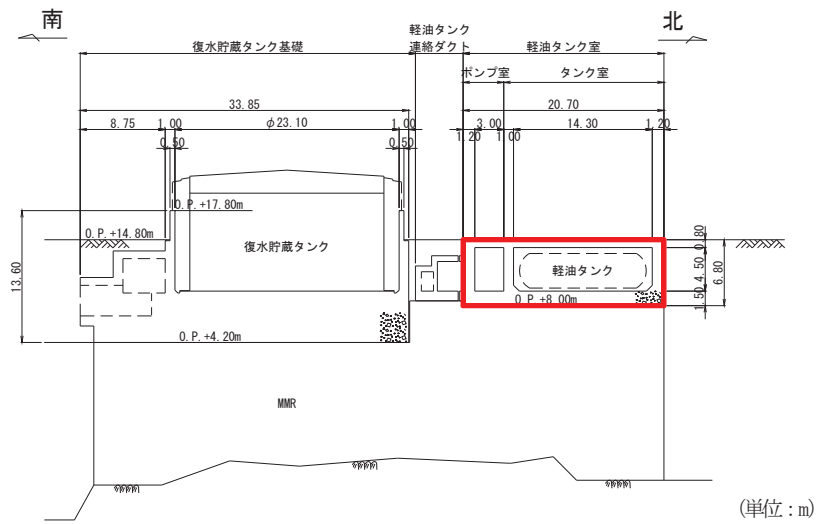


図 4.8-3 軽油タンク室断面図 (A-A)

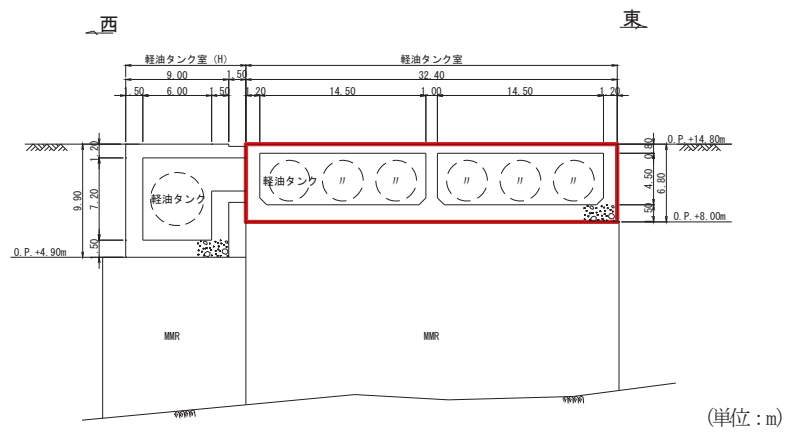


図 4.8-4 軽油タンク室断面図 (B-B, タンク室)

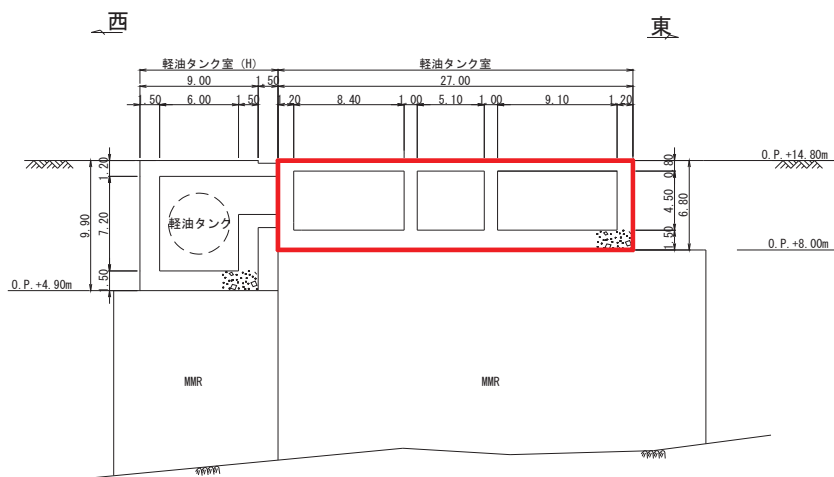


図 4.8-5 軽油タンク室断面図 (C-C, ポンプ室)

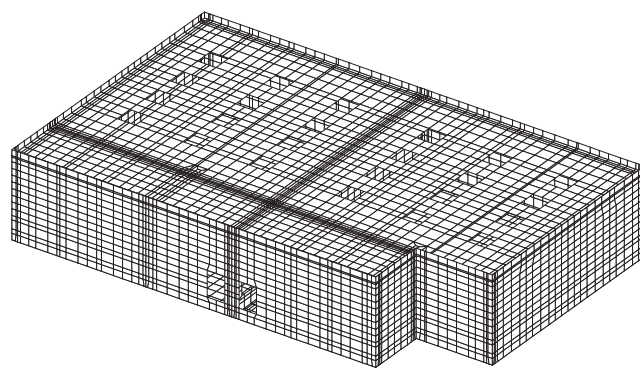


図 4.8-6 軽油タンク室 三次元モデル図

4.8.1 断面選定

軽油タンク室は、東西加振に対してはタンク室・ポンプ室の東西方向の側壁、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、南北加振と比較して、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、東西方向が強軸方向となり、南北方向が弱軸方向となる。

軽油タンク室の掘削図を図 4.8-7 に、軽油タンク室の地質断面図を図 4.8-8～図 4.8-10 に示す。

軽油タンク室の各タンク室には、同形状のタンクが均等に配置され、各ポンプ室にも一様に設置されている。

軽油タンク室のタンク室とポンプ室のそれぞれの東西断面では、妻壁や隔壁の配置が異なり、両断面で剛性に差異がある。

軽油タンク室の周辺状況として、南側は、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、その外側には原子炉建屋が位置する。北側は一様に盛土が分布している。西側は、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。軽油タンク室直下の MMR は SF-2①断層と接している。

床応答の観点から、東西方向と南北方向は剛性の差があり床応答も異なることから、両方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

以上より、南北方向は、構造物が軸心を中心としてほぼ対称性を有し、周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。東西方向は、構造物はタンク室及びポンプ室で剛性が異なるが、周辺状況の差異がないことから、構造モデルはタンク室とポンプ室の 2 モデルとし、地盤モデルは軽油タンク室の中心を通る地質断面を代表として、地震時荷重算出断面とする。

断層の変形が MMR を介して構造物へ与える影響（断面力等）を評価するために、SF-2①断層に対して構造物が交差する南北方向の断面を選定する。なお、断層の影響の断面選定の詳細については、「参考資料 4 断層の影響を評価する断面」に示す。

軽油タンク室の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.8-1 に示す。

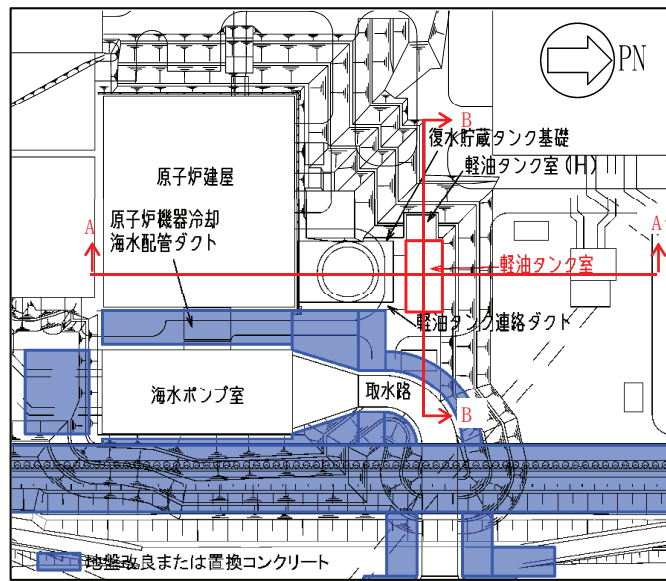


図 4.8-7 軽油タンク室掘削図

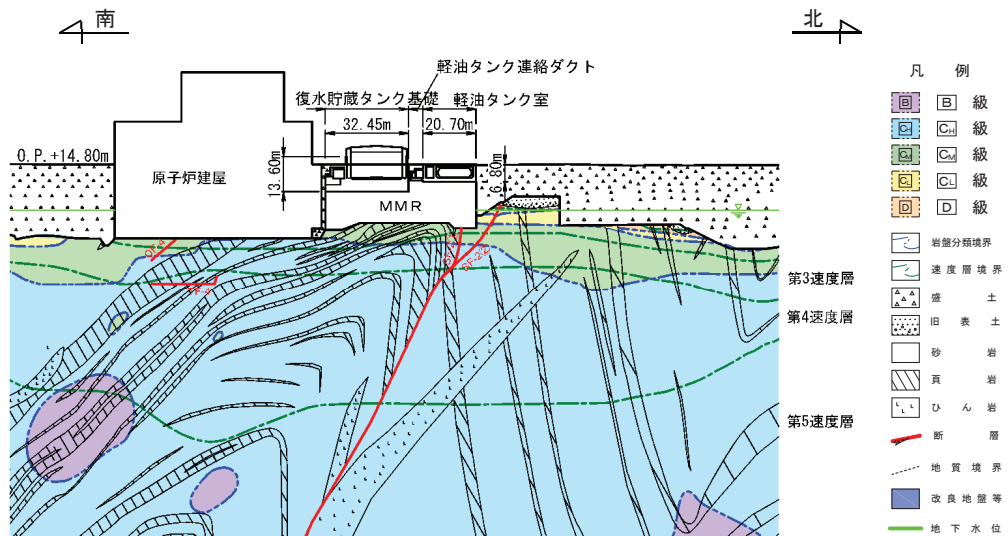


図 4.8-8 軽油タンク室地質断面図 (A-A)

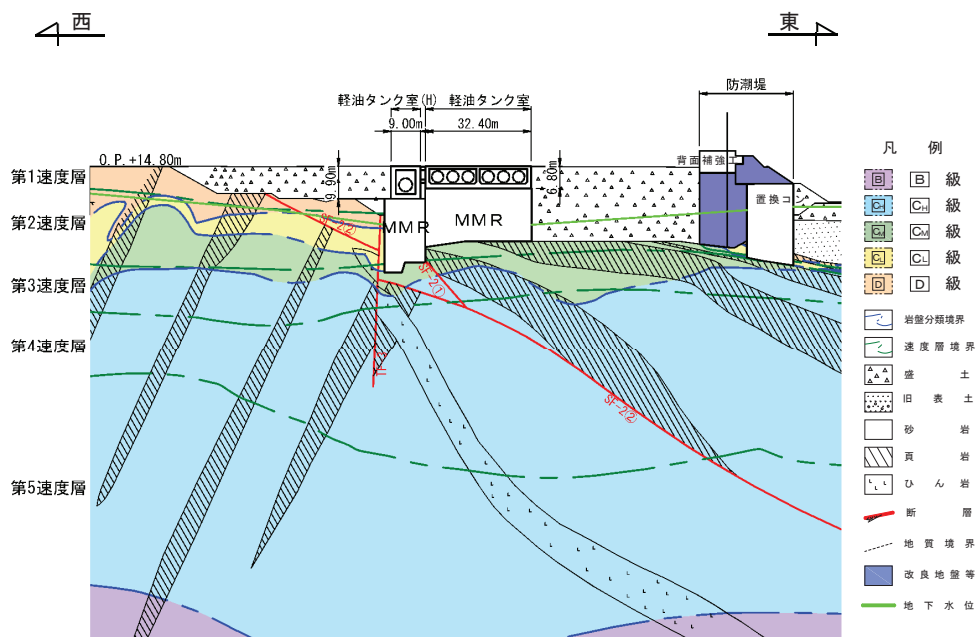


図 4.8-9 軽油タンク室地質断面図 (B-B, タンク室)

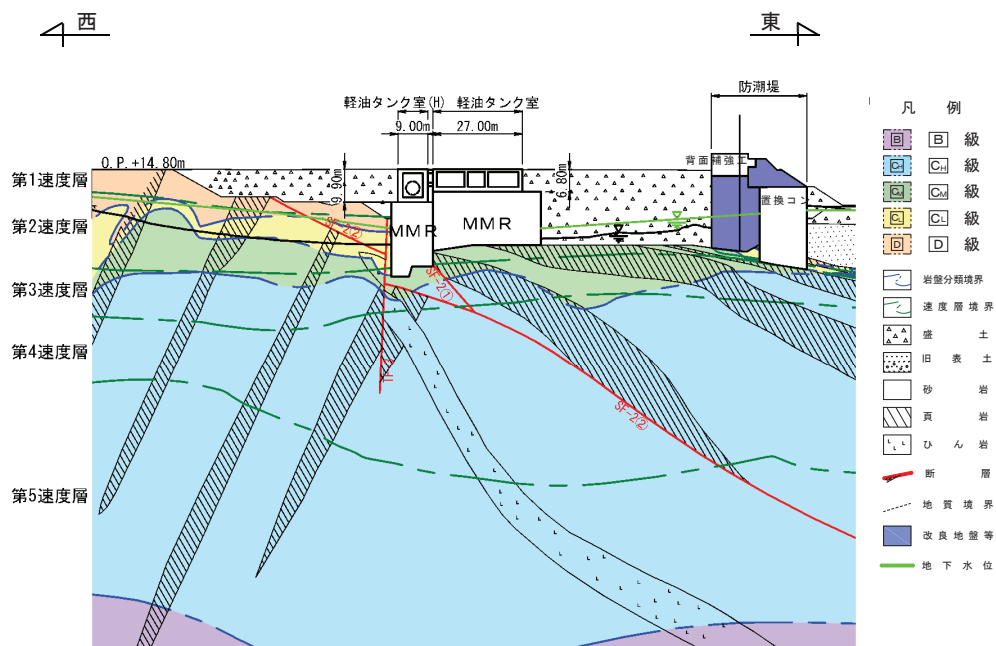


図 4.8-10 軽油タンク室地質断面図 (B-B, ポンプ室)

表 4.8-1 軽油タンク室 地震時荷重算出断面の選定結果

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
南北方向	タンク室 ポンプ室	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造であり、北側にタンク室、南側にポンプ室が配置される。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 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。 地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。 軽油タンク室直下の MMR を介して SF-2①断層と接している。 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油タンク 燃料移送ポンプ 燃料移送系配管 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。 SF-2①断層に対して概ね直交することから、断層の影響を評価する断面とする。
東西方向	タンク室	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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。 耐震要素として機能する面部材が多く強軸方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 東側は盛土により埋戻されている。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。 地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。 軽油タンク室直下の MMR を介して SF-2①断層と接している。 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油タンク 燃料移送系配管 	<ul style="list-style-type: none"> 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地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルはタンク室の剛性を考慮する。
	ポンプ室	同上	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造の3室構造であり、北側にタンク室が配置される。 耐震要素として機能する面部材が多く強軸方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 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。 地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。 軽油タンク室直下の MMR を介して SF-2①断層と接している。 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料移送ポンプ 燃料移送系配管 	<ul style="list-style-type: none"> 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地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルはポンプ室の剛性を考慮する。

4.8.2 解析手法の選定

軽油タンク室の地下水位は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。従って、軽油タンク室の解析手法は、全応力解析を選定する。

4.9 軽油タンク室 (H)

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) の配置図を図 4.9-1 に、平面図を図 4.9-2 に、断面図を図 4.9-3、図 4.9-4 に示す。

軽油タンク室 (H) は、幅 9.00m (東西方向) × 20.20m (南北方向)、高さ 9.90m の鉄筋コンクリート造の地中構造物で、1 室の箱形構造であり、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 4.9-5 に示す。

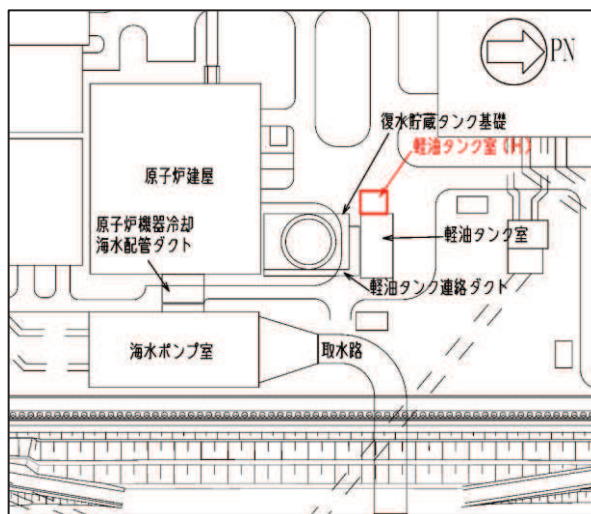


図 4.9-1 軽油タンク室 (H) 配置図

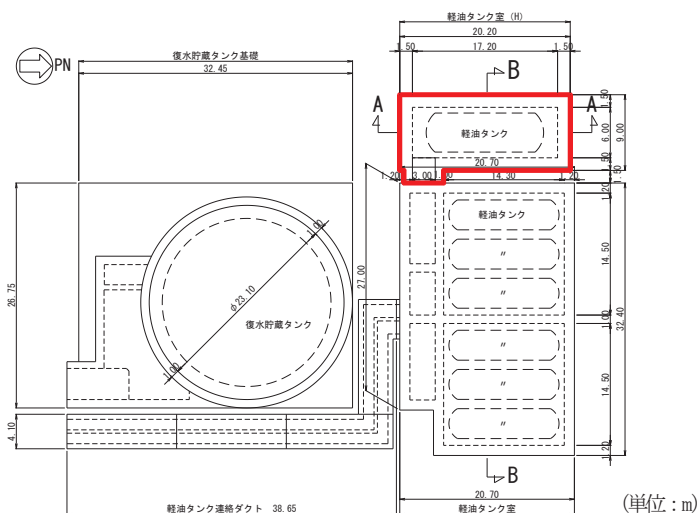


図 4.9-2 軽油タンク室 (H) 平面図

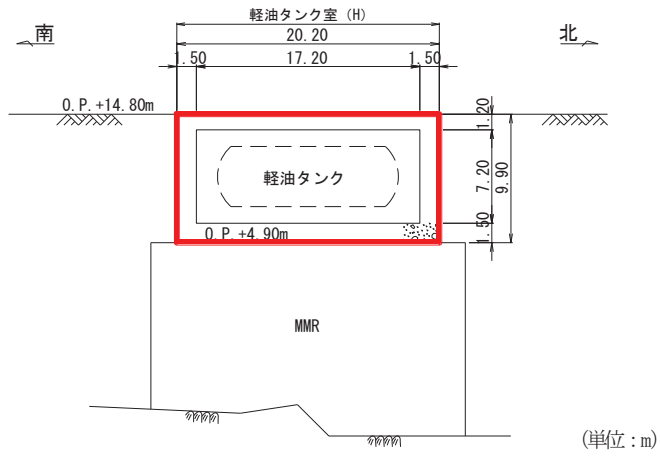


図 4.9-3 軽油タンク室 (H) 断面図 (A-A)

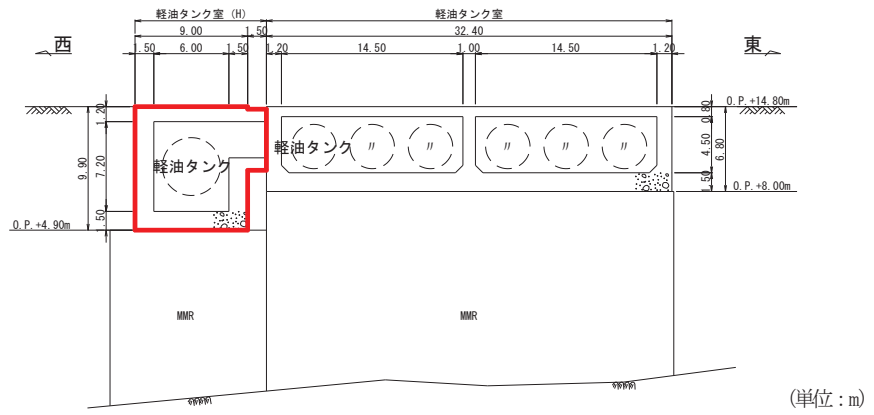


図 4.9-4 軽油タンク室 (H) 断面図 (B-B)

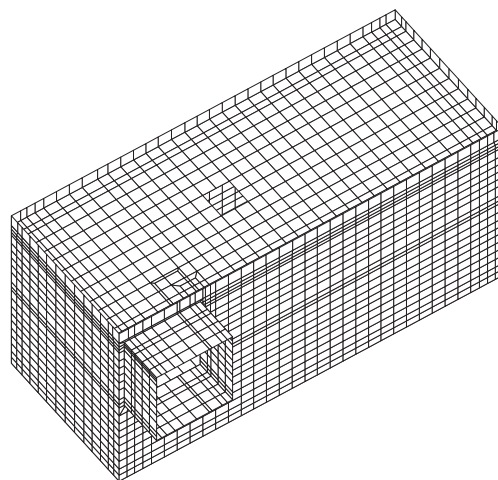


図 4.9-5 軽油タンク室 (H) 三次元モデル図

4.9.1 断面選定

軽油タンク室（H）は1室の箱形構造であり、南北方向が長辺方向となることから、南北方向が強軸方向となり、東西方向が弱軸方向となる。

軽油タンク室（H）の掘削図を図4.9-6に、軽油タンク室（H）の地質断面図を図4.9-7、図4.9-8に示す。

軽油タンク室（H）には、1基のタンクが1室の中央に配置されている。

軽油タンク室（H）の周辺状況として、東側は、軽油タンク室が隣接し、その外側には一様に盛土が分布する。西側は盛土が一様に分布する。北側及び南側は一様に盛土が分布する。周辺の地下水位は、構造物底版より十分に低くほぼ一様に分布している。また、軽油タンク室（H）直下のMMRはSF-2①断層及びSF-2②断層と接している。

床応答の観点からは、東西方向と南北方向では剛性の差があり床応答も異なることから、両方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

以上より、南北方向は、周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。東西方向は、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断面を地震時荷重算出断面とする。

また、断層の変形がMMRを介して構造物へ与える影響（断面力等）を評価する断面として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に接している南北方向の断面とする。なお、断層の影響の断面選定の詳細については、「参考資料4 断層の影響を評価する断面」に示す。

軽油タンク室（H）の地震時荷重算出断面の選定結果を表4.9-1に示す。

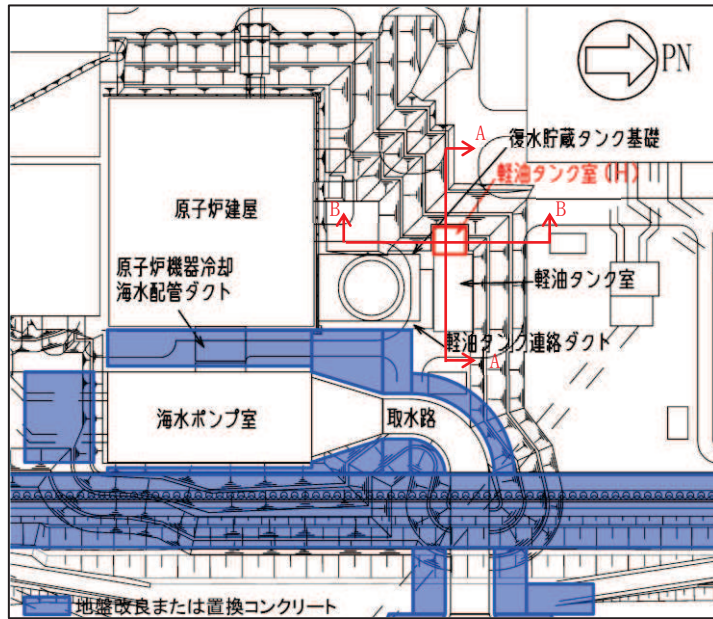


図 4.9-6 軽油タンク室 (H) 掘削図

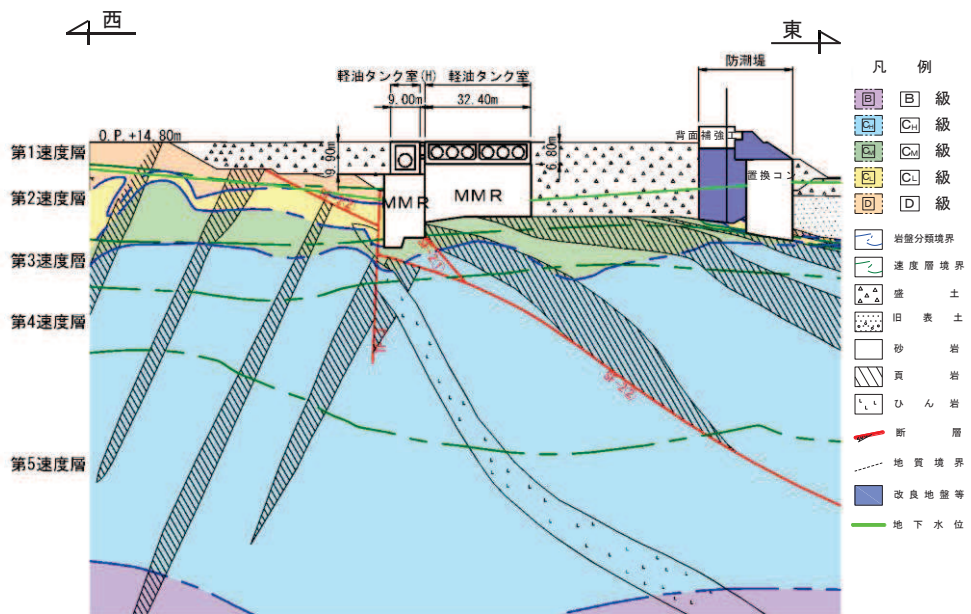


図 4.9-7 軽油タンク室 (H) 地質断面図 (A-A)

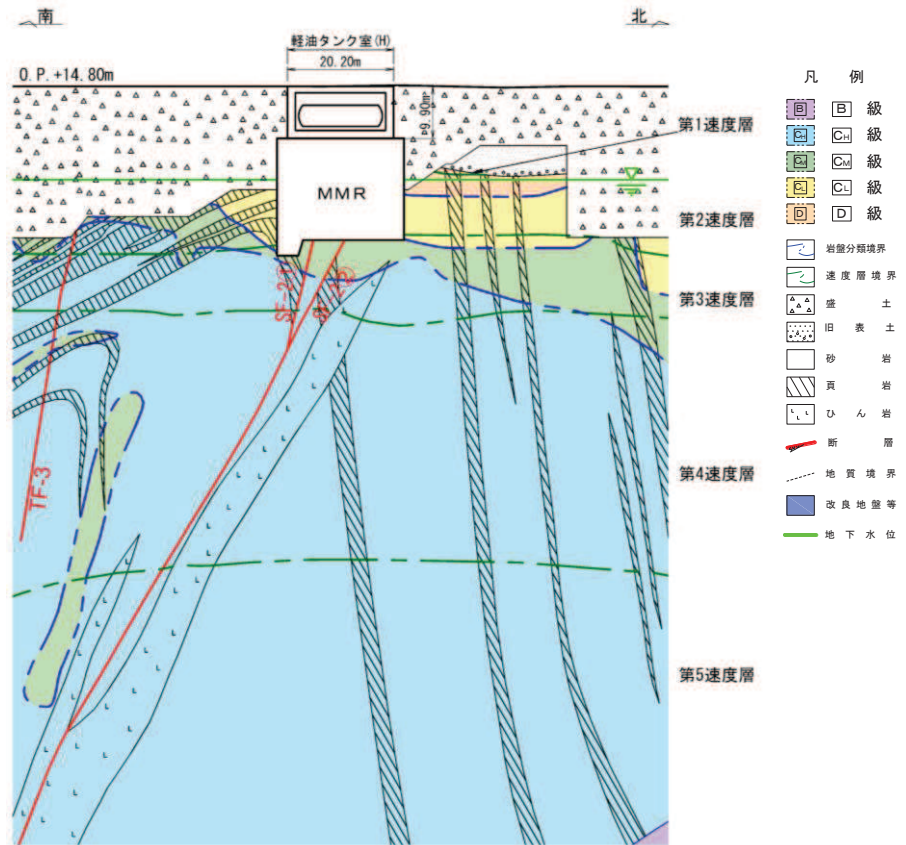


図 4.9-8 軽油タンク室 (H) 地質断面図 (B-B)

表 4.9-1 軽油タンク室 (H) 地震時荷重算出断面の選定結果

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
東西方向	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造の箱形構造 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 東側は軽油タンク室が隣接し、西側は盛土が分布する。 地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク 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 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。
南北方向	同上	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造の箱形構造 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 北側及び南側は、盛土が分布する。 地下水位はほぼ一様で構造物底版より十分に低い。 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。 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 軸心を中心とする対象性を有し、周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算定断面とする。 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、断層の影響を評価する断面とする。

4.9.2 解析手法の選定

軽油タンク室（H）の地下水位は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。従って、軽油タンク室（H）の解析手法は、全応力解析を選定する。

4.10 海水ポンプ室

海水ポンプ室は非常用取水設備であり，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。

海水ポンプ室の配置図を図 4.10-1 に，海水ポンプ室の平面図を図 4.10-2 に，縦断面図を図 4.10-3 に，断面図を図 4.10-4～図 4.10-6 に示す。

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，上部は上流側より，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，地下 2 階構造となっており，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。

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 4.10-7 に示す。

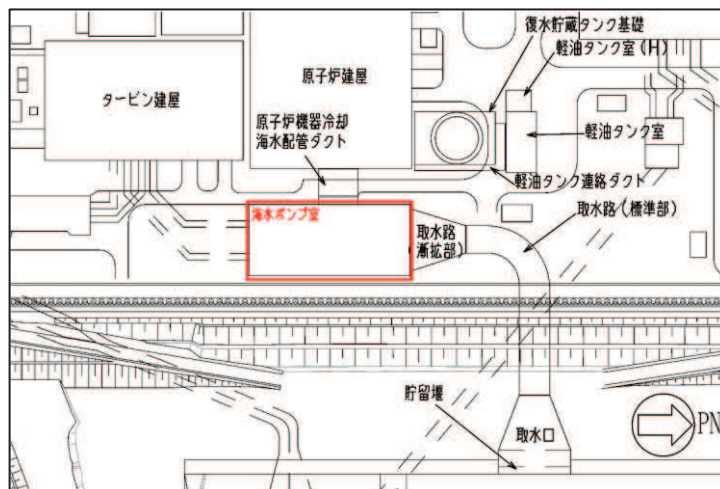


図 4.10-1 海水ポンプ室配置図

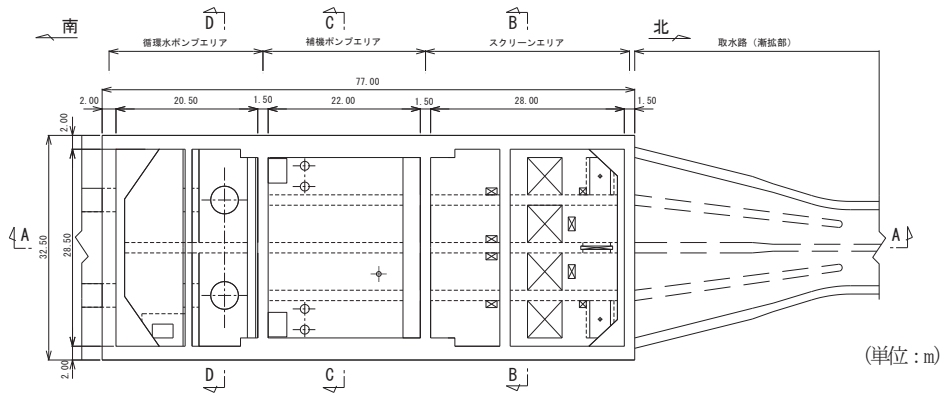


図 4.10-2 海水ポンプ室平面図

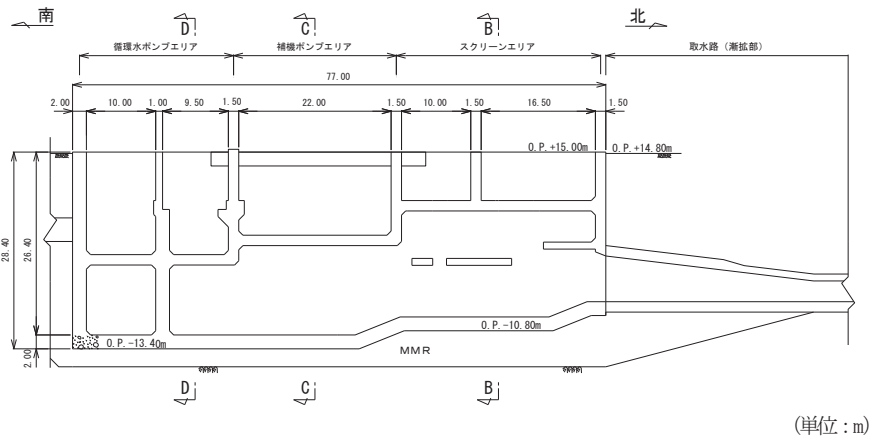


図 4.10-3 海水ポンプ室縦断図 (A-A)

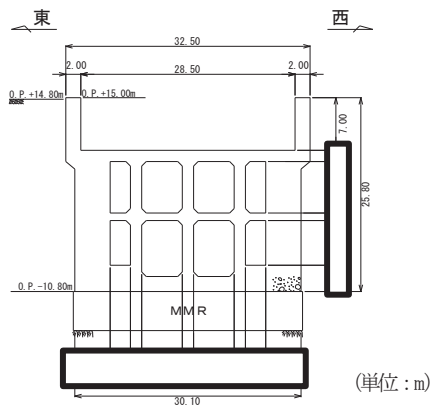


図 4.10-4 海水ポンプ室断面図 (B-B)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

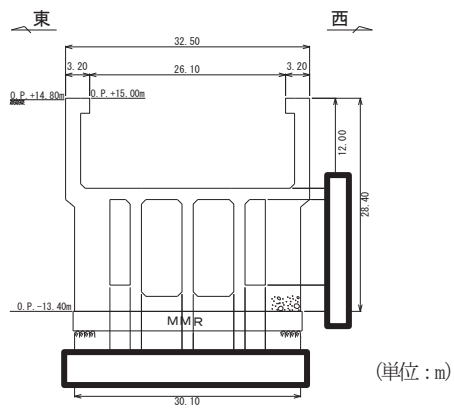


図 4.10-5 海水ポンプ室断面図 (C-C)

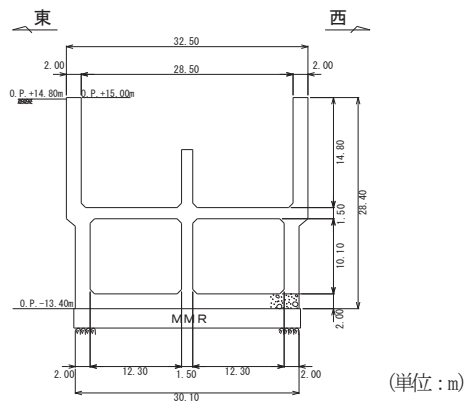


図 4.10-6 海水ポンプ室断面図 (D-D)

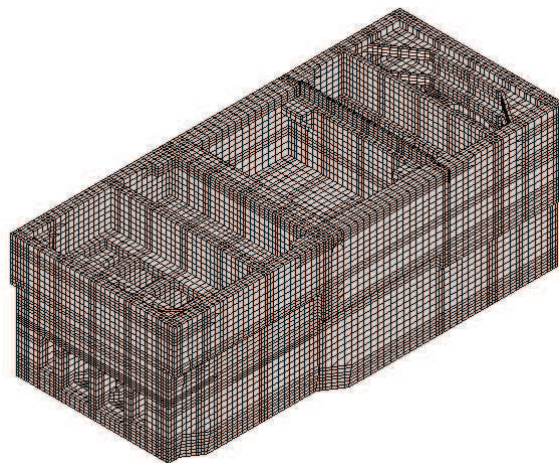


図 4.10-7 海水ポンプ室 三次元モデル図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.10.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

海水ポンプ室は、南北加振に対して、南北方向の側壁及び水路部の隔壁が耐震要素として機能し、東西加振と比較して、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、南北方向が強軸方向となり、東西方向が弱軸方向となる。

東西方向については、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、各エリアの東西方向の断面を候補断面とする。

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、西側は原子炉建屋が、東側は防潮堤が隣接し、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。また、地質縦断面図(図 4.10-9 海水ポンプ室地質断面図(A-A))に示すように、岩盤の速度層構造は概ね水平成層となっており、海水ポンプ室の南北位置によって地震動に差異はない。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。

海水ポンプ室の直下の MMR は OF-4 断層と接しているが、設置許可において OF-4 断層は、水平方向の連続性は、試掘杭調査及びボーリング調査結果から 55m 以下であり、深さ方向の連続性は、ボーリング調査の結果から O.P.-20m より深部に連続しないと考えられ、規模が小さく、延長が短い断層と評価されていることから、断層影響の評価対象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 4 断層の影響を評価する断面」に示す。

床応答の観点から、東西方向と南北方向は剛性の差があり床応答も異なることから、両方向の断面を候補断面とする。

海水ポンプ室の掘削図を図 4.10-8 に、海水ポンプ室地質断面図を図 4.10-9、図 4.10-10 に示す。

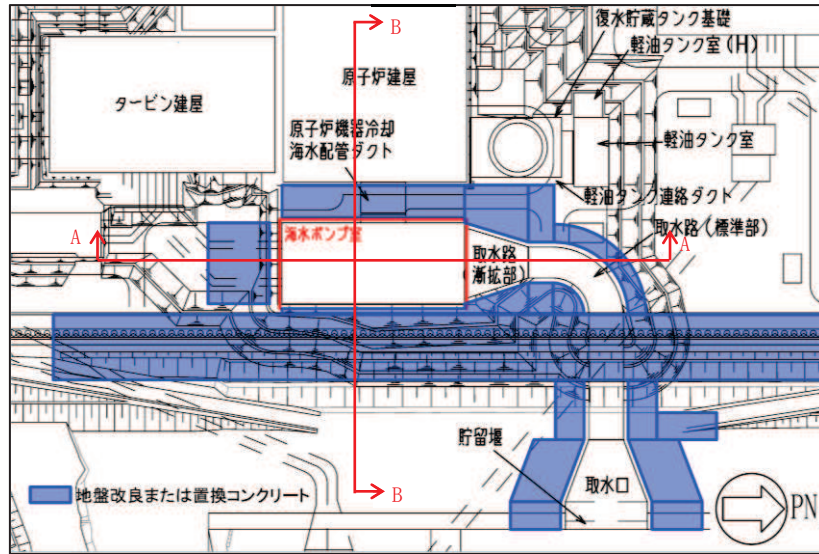


図 4.10-8 海水ポンプ室掘削図

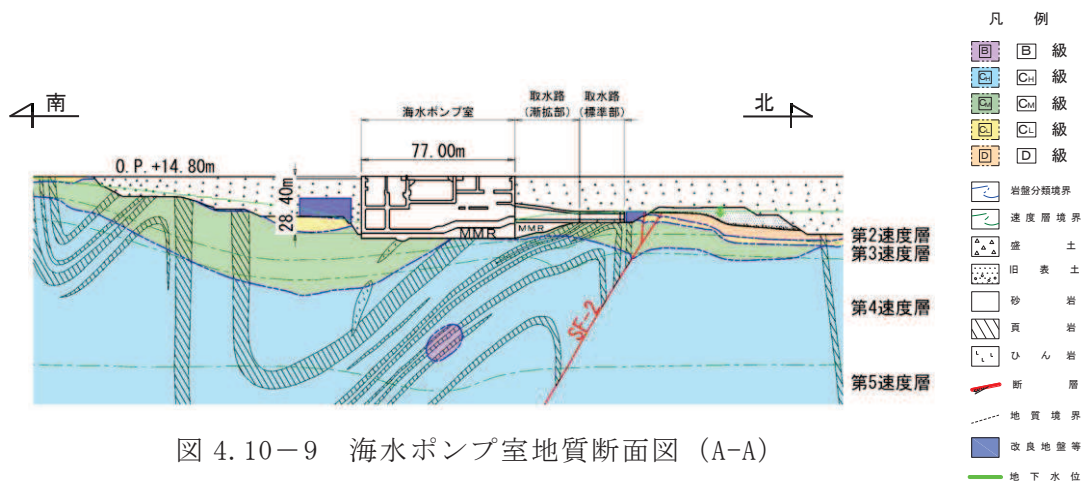


図 4.10-9 海水ポンプ室地質断面図 (A-A)

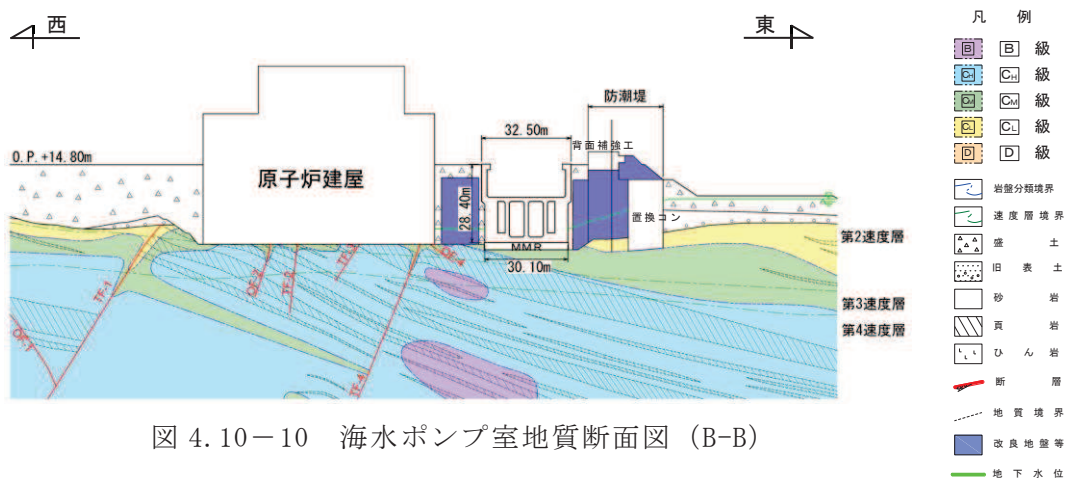


図 4.10-10 海水ポンプ室地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面の選定

東西方向は、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、構造物モデルを作成して地震応答解析に反映するが、周辺状況は各エリアで差異がないことから補機ポンプエリアの中心を通る地質断面を地盤モデルとして、地震時荷重算出断面とする。

南北方向は、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断面を地震時荷重算出断面とする。

(3) 断面選定結果

海水ポンプ室の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.10-1 に示す。、地震時荷重算出断面図を図 4.10-11 に示す。

表 4.10-1(1) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面の選定結果

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	
東西方向	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"> 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 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。 海水ポンプ室直下のMMR を介して OF-4 断層と接している。 	<ul style="list-style-type: none"> 防潮壁 	<ul style="list-style-type: none"> 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地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルはスクリーンエリアの剛性を考慮する。
	補機ポンプ エリア	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 浸水防止壁 防潮壁 	<ul style="list-style-type: none"> 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質断面を地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルは補機ポンプエリアの剛性を考慮する。
	循環水ポンプ エリア	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 浸水防止壁 	<ul style="list-style-type: none"> 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地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルは循環水ポンプエリアの剛性を考慮する。

表 4.10-1(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
南北方向	支持機能 通水機能 貯水機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> 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。 側壁、隔壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 北側は取水路と接続し、南側は地盤改良がなされている。 海水ポンプ室直下のMMR を介して OF-4 断層と接している。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 浸水防止壁 防潮壁 	<ul style="list-style-type: none"> 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断面を地震時荷重算出断面とする。

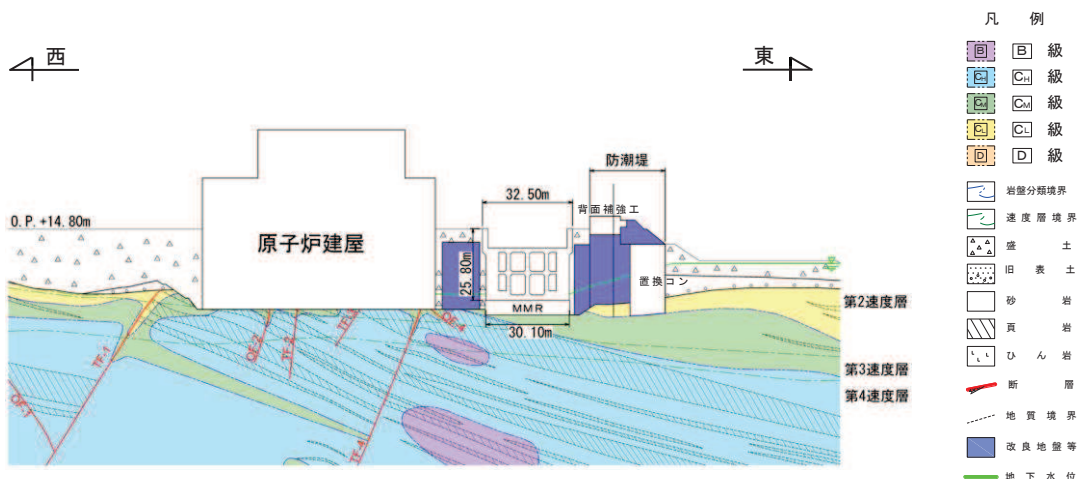


図 4.10-11(1) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図 (東西方向：スクリーンエリア)

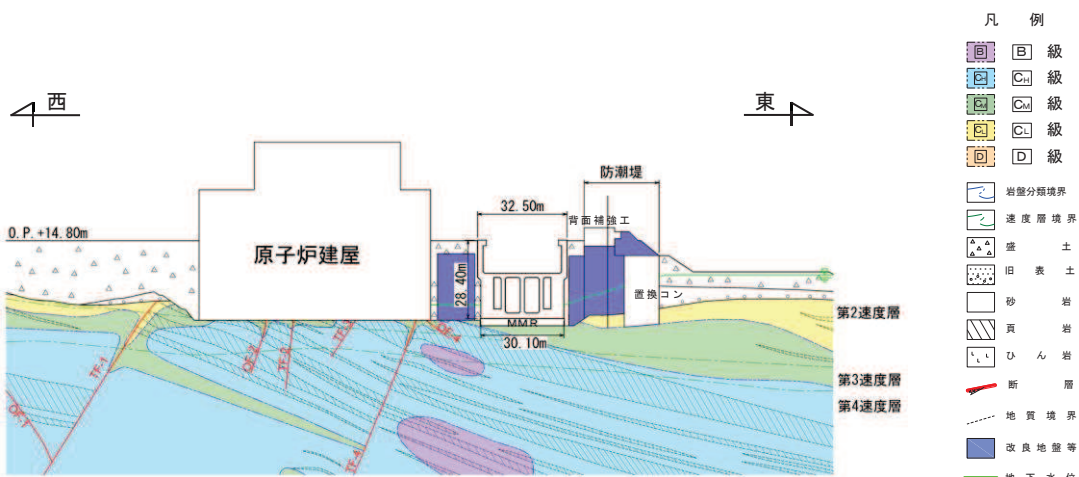


図 4.10-11(2) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図 (東西方向：補機ポンプエリア)

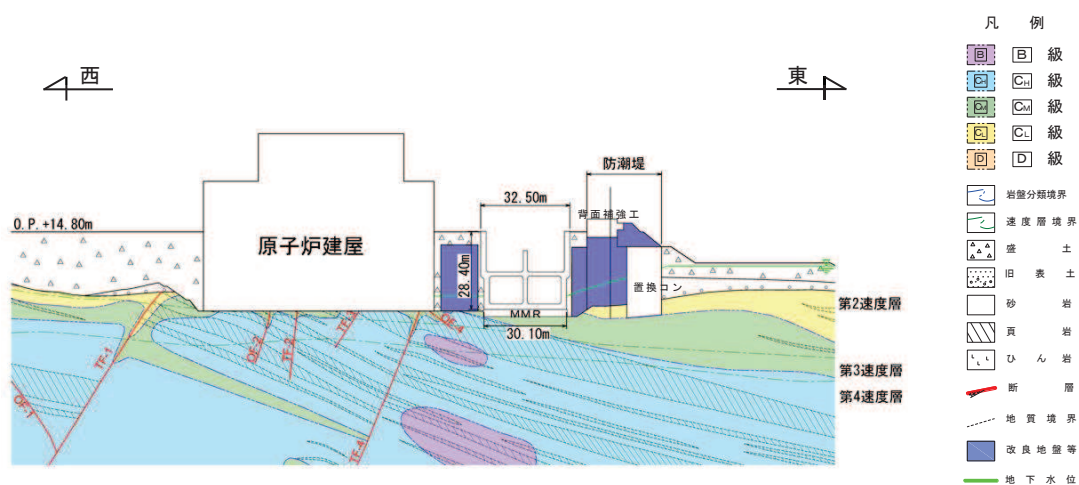


図 4.10-11(3) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図 (東西方向：循環水ポンプエリア)

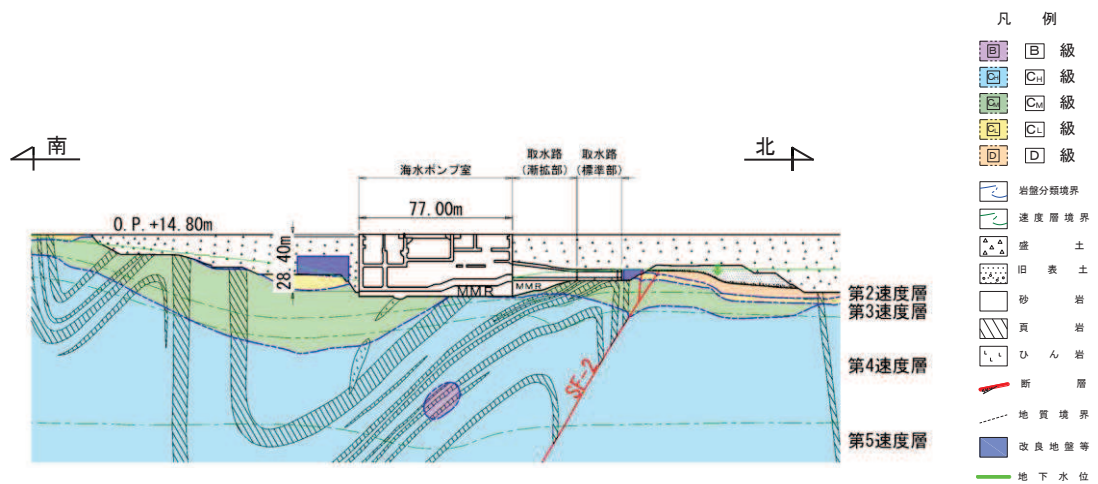


図 4.10-11(4) 海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図 (南北方向)

4.10.2 解析手法の選定

海水ポンプ室の東西方向は、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液状化の影響はない。

南北方向は、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いことから、液状化の影響はない。

従って、海水ポンプ室の解析手法は、東西方向、南北方向共に全応力解析を選定する。

なお、躯体と改良地盤の間に局所的に分布する地下水以深の盛土の液状化の可能性、及び O.P. +3.5m 盤の盛土・旧表土の液状化による海水ポンプ室への影響についての確認結果を「参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果」に示す。

4.11 取水口，貯留堰

取水口は，設計基準対象施設においては，非常用取水設備及びSクラス施設の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に分類され，重大事故等対処施設においては，常設重大事故緩和設備及び常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類され，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。

取水口及び貯留堰*の配置図を図4.11-1に，平面図を図4.11-2に，縦断図を図4.11-3に，断面図を図4.11-4～図4.11-6に示す。

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，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。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4.11-7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。

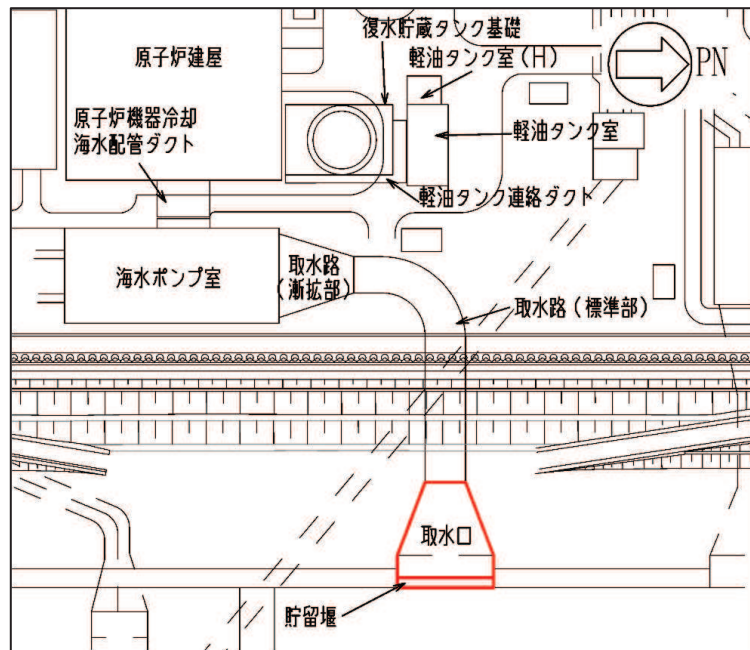


図4.11-1 取水口，貯留堰配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

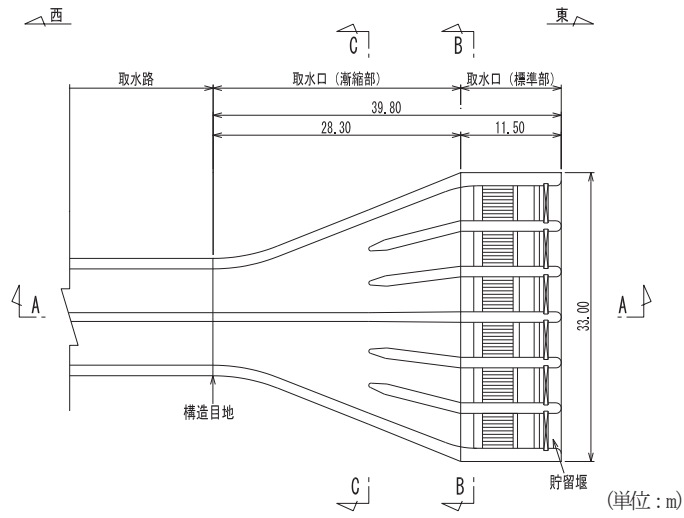


図 4.11-2 取水口，貯留堰平面図

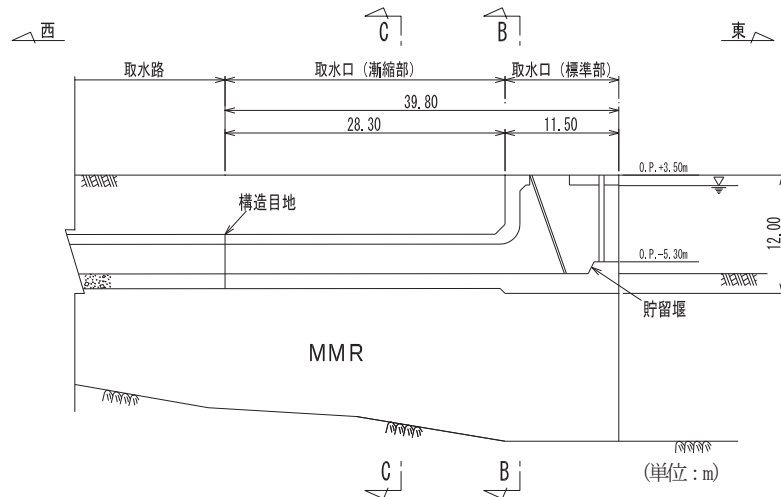


図 4.11-3 取水口，貯留堰縦断図 (A-A)

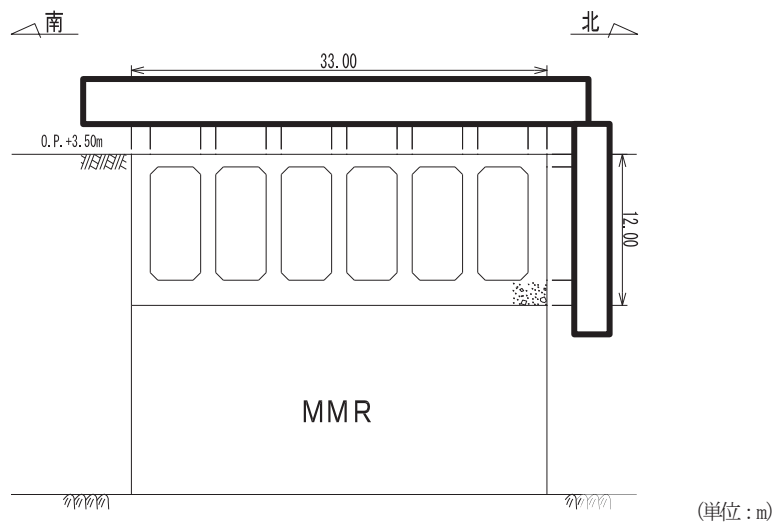


図 4.11-4 取水口断面図 (標準部, B-B)

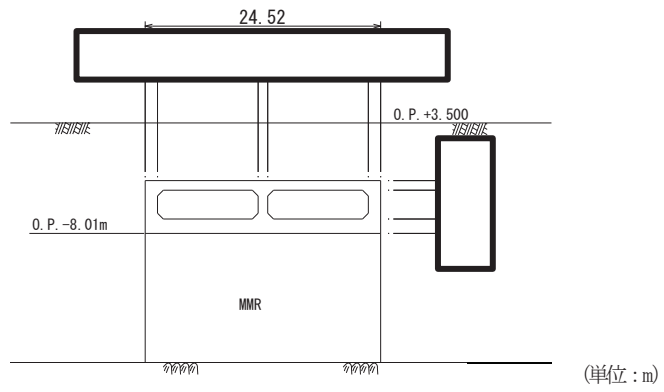


図 4.11-5 取水口断面図（漸縮部，C-C）

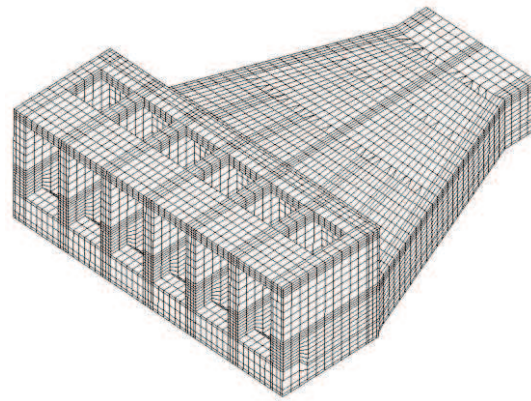


図 4.11-7 取水口，貯留堰 三次元モデル図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.11.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

取水口は、東西加振に対して、側壁及び水路部の隔壁が耐震要素として機能し、南北加振と比較して、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、東西方向が強軸方向となり、南北方向が弱軸方向となる。

南北方向については、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、それぞれの南北方向の断面を候補断面とする。

取水口には、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、漸縮部には海水の通水機能及び貯水機能が要求され、各エリアで要求機能に差異はない。

取水口の周辺状況として、東西方向は、漸縮部の頂版上には盛土が一様に分布し、その西側には防潮堤が存在する。また、西側は取水路と接続し、東側は海水が面している。南北方向には、各エリアで延長方向に一様な幅で地盤改良が施工されている。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 4.11-8 に、地質断面図を図 4.11-9～図 4.11-11 に示す。

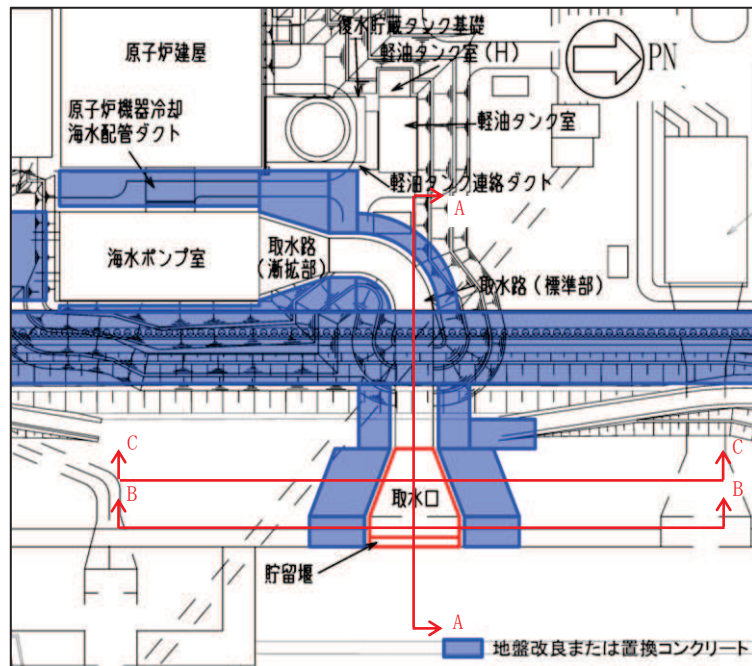


図 4.11-8 取水口，貯留堰掘削図

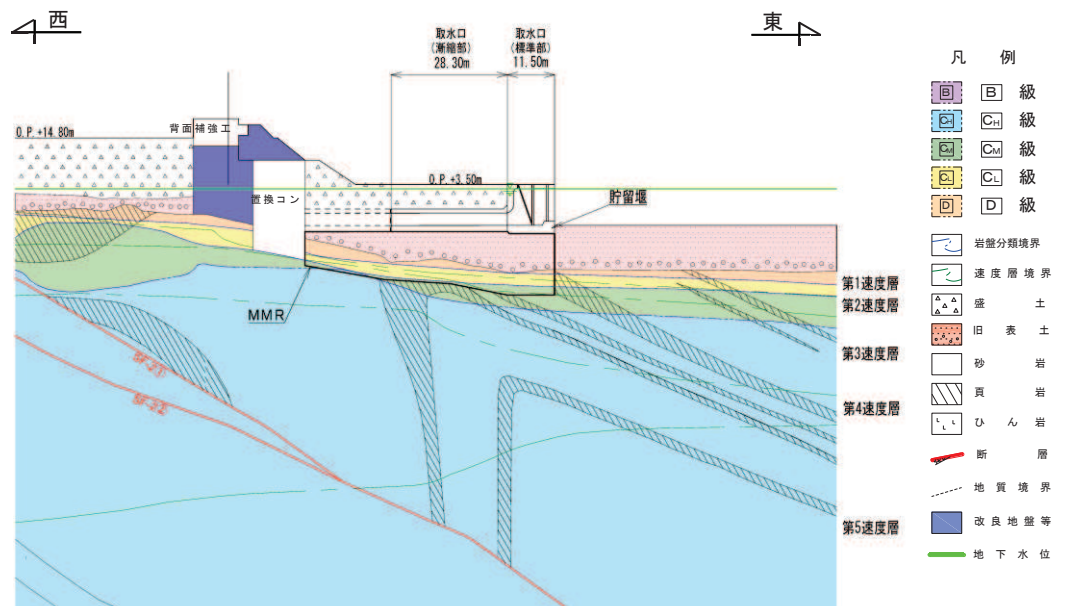


図 4.11-9 取水口，貯留堰地質断面図（縦断，A-A）

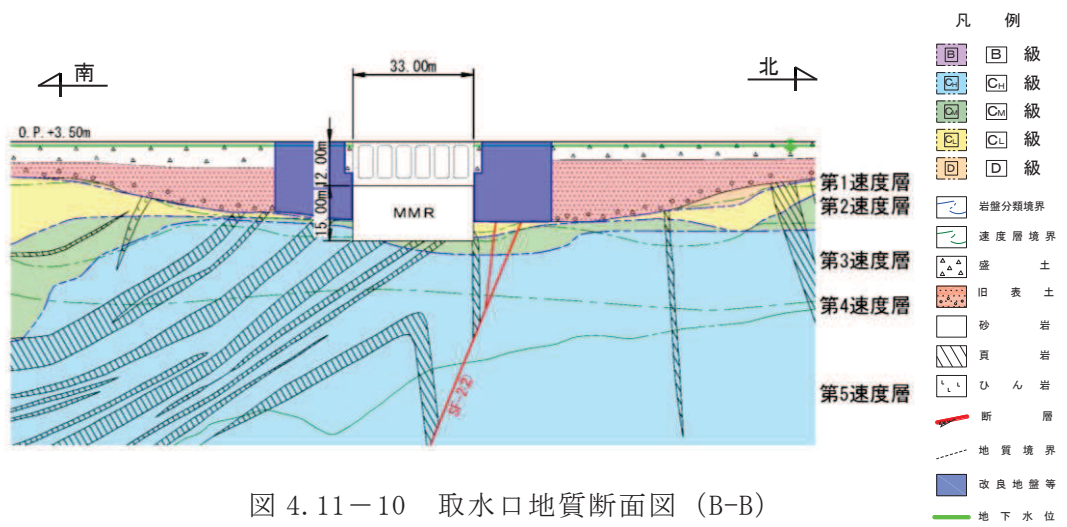


图 4.11-10 取水口地質断面图 (B-B)

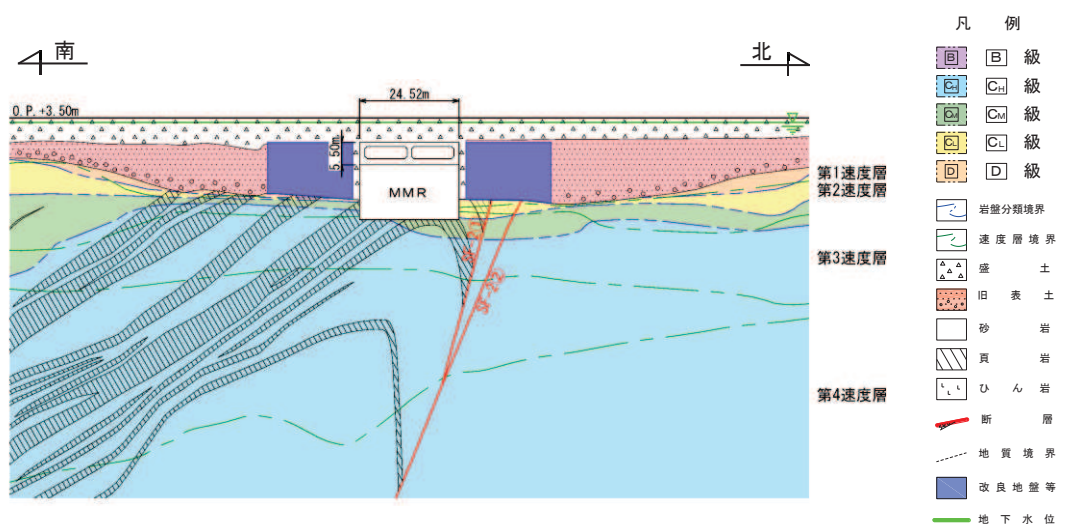


图 4.11-11 取水口地質断面图 (C-C)

(2) 地震時荷重算出断面の選定

南北方向については、標準部、漸縮部のそれぞれで、周辺状況の差異がない。また、構造的特徴として、標準部は延長方向に大きな差異はないが、漸縮部は内空スパンに変化がある。このことから、標準部は構造物の中心を通る B-B 断面を、漸縮部は内空スパンが最大となる C-C 断面を地震時荷重算出断面とする。

東西方向については、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 A-A 断面を地震時荷重算出断面とする。

(3) 断面選定結果

取水口、貯留堰の地震時荷重算出断面選定結果を表 4.11-2 に示す。

表 4.11-2 取水口，貯留堰 地震時荷重算出断面の選定結果

方向		要求機能	構造的特徴	周辺状況	選定結果
南北方向	標準部	支持機能* 通水機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 周辺は盛土・旧表土が一様に分布し，延長方向に一様な幅で地盤改良がなされている。 	<ul style="list-style-type: none"> 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 B-B 断面を地震時荷重算出断面とする。
	漸縮部	通水機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> 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。 漸縮しており，断面により内空スパンが変化する。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 周辺は盛土・旧表土が一様に分布し，延長方向に一様な幅で地盤改良がなされている。 	<ul style="list-style-type: none"> 漸縮部の延長方向に周辺状況の差異はなく，内空スパンに変化を有することから，内空スパンが最大となる C-C 断面を地震時荷重算出断面とする。
東西方向		支持機能* 通水機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> 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。 側壁，隔壁が耐震要素として機能し強軸方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 漸縮部の頂版には盛土が一様に分布し，その西側には防潮堤が存在する。また，取水路と接続している。 	<ul style="list-style-type: none"> 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 A-A 断面を地震時荷重算出断面とする。

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。

4.11.2 解析手法の選定

南北方向は、構造物の両脇を一様な幅で地盤改良がなされており、外側に地下水以下の旧表土が分布していることから、全応力解析と有効応力解析により耐震評価を行う。また、浮上りに対する安全性を検討する。

東西方向において、取水口（漸縮部）の頂版上には、盛土が分布する。また O.P. 14.8m 盤との法面が、O.P. 3.5m 盤に分布する盛土・旧表土の液状化の影響で流動し、標準部へ作用する土圧が増大する可能性が否定できないことから、東西方向の解析手法は、有効応力解析を選定する。

4.12 取水路（標準部）

取水路（標準部）は非常用取水設備であり、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（標準部）の配置図を図 4.12-1 に、平面図を図 4.12-2 に、断面図を図 4.12-3、図 4.12-4 に示す。

取水路（標準部）は、取水口と取水路（漸拡部）を結ぶ延長 87.48m、内空幅 、内空高さ の下り勾配の二連ボックスカルバート構造で、縦断方向（延長方向）に断面が一樣な鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

取水路（標準部）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。

取水路（標準部）は線状構造物であり、横断方向（延長方向に直交する方向）が弱軸方向となる。また、取水路（標準部）は防潮堤の改良地盤や置換コンクリートの内部を横断し周辺地盤の剛性が急変する箇所が存在すること、防潮堤の西側に曲線箇所を有し躯体のねじれ等の影響を評価する必要があることから、三次元モデルを用いて耐震評価を行う。このことから、取水路（標準部）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。

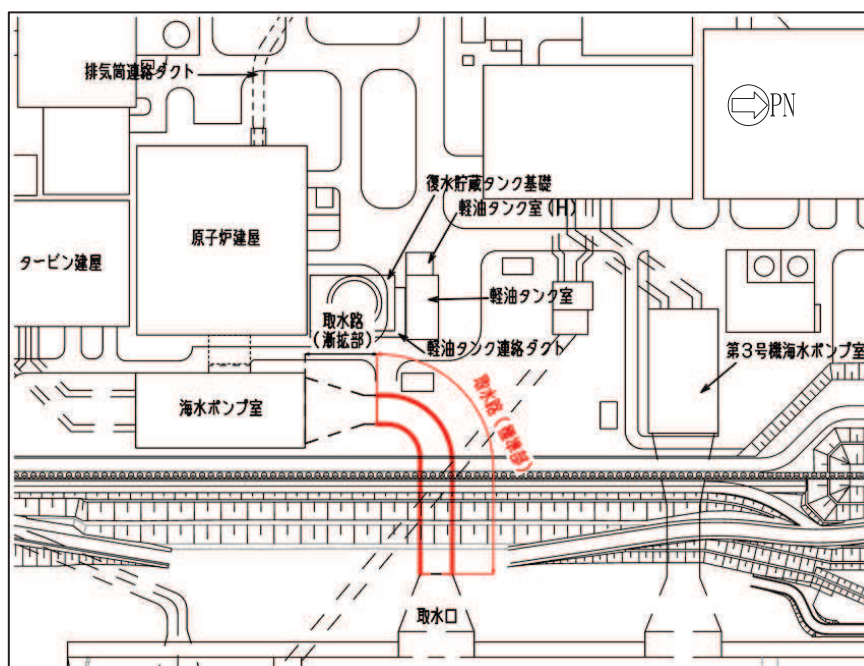


図 4.12-1 取水路（標準部）配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

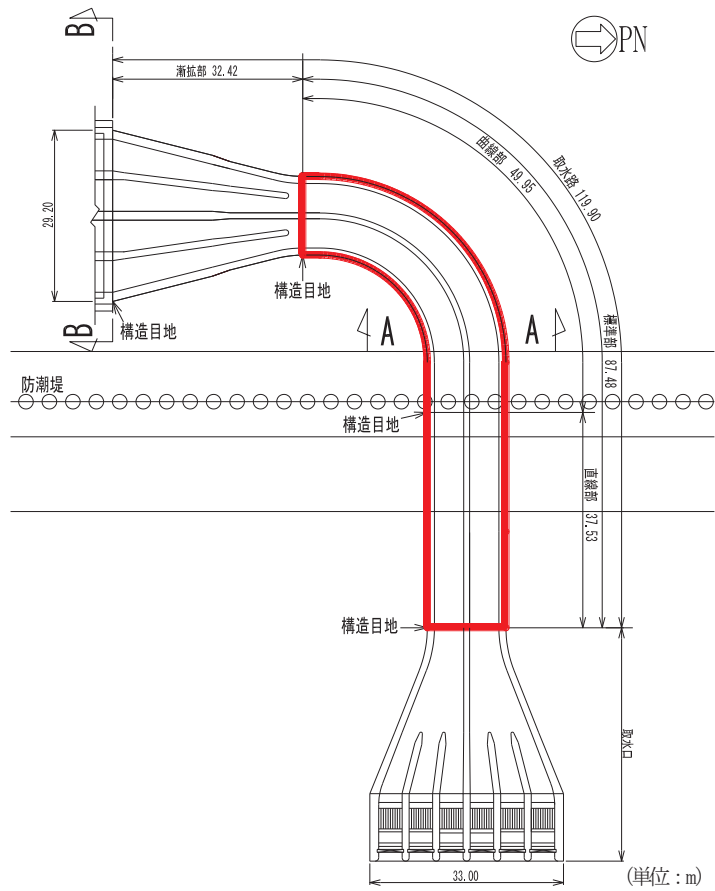


図 4.12-2 取水路（標準部）平面図

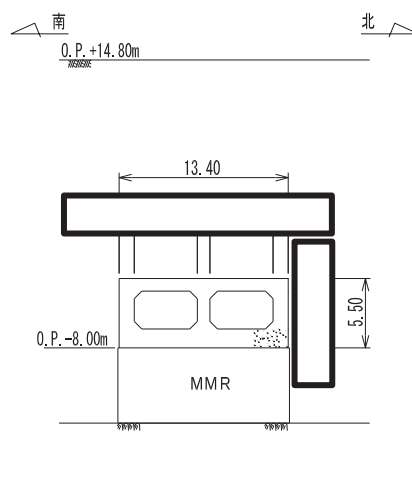


図 4.12-3 取水路（標準部）断面図（A-A）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.12.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

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

取水路（標準部）は、横断方向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の断面を候補断面とする。

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

周辺状況について、取水路（標準部）は、直線部において防潮堤の置換コンクリート及び改良地盤を横断し、また曲線部においては防潮堤の改良地盤を横断する。また、直線部及び曲線部は図 4.12-5 に示すとおり周囲を地盤改良されており、縦断方向（延長方向）に対し周辺状況が変化することから、断面選定の観点として考慮する。また、地下水位は、全線において取水路の底版位置からほぼ一様（取水路縦断勾配と平行）とすることから、候補断面の整理の観点には含めない。

直線部の断面は区間 a～区間 d から、曲線部の断面は区間 d～区間 e から、それぞれ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 4.12-4 に、平面図を図 4.12-5 に、掘削図を図 4.12-6 に、直線部及び曲線部の地質断面図を図 4.12-7～図 4.12-12 にそれぞれ示す。

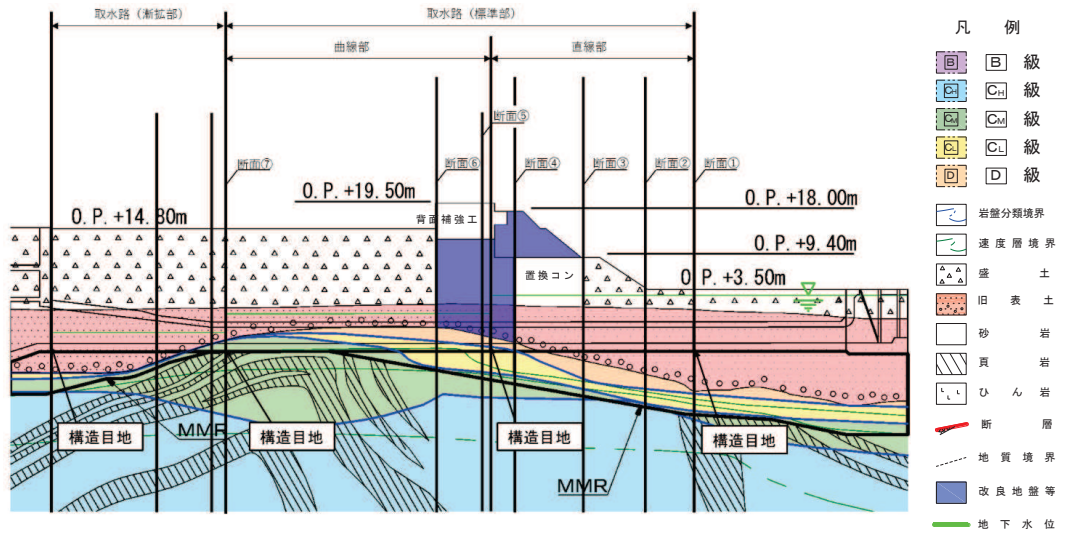


図 4.12-4 取水路縦断図及び候補断面位置

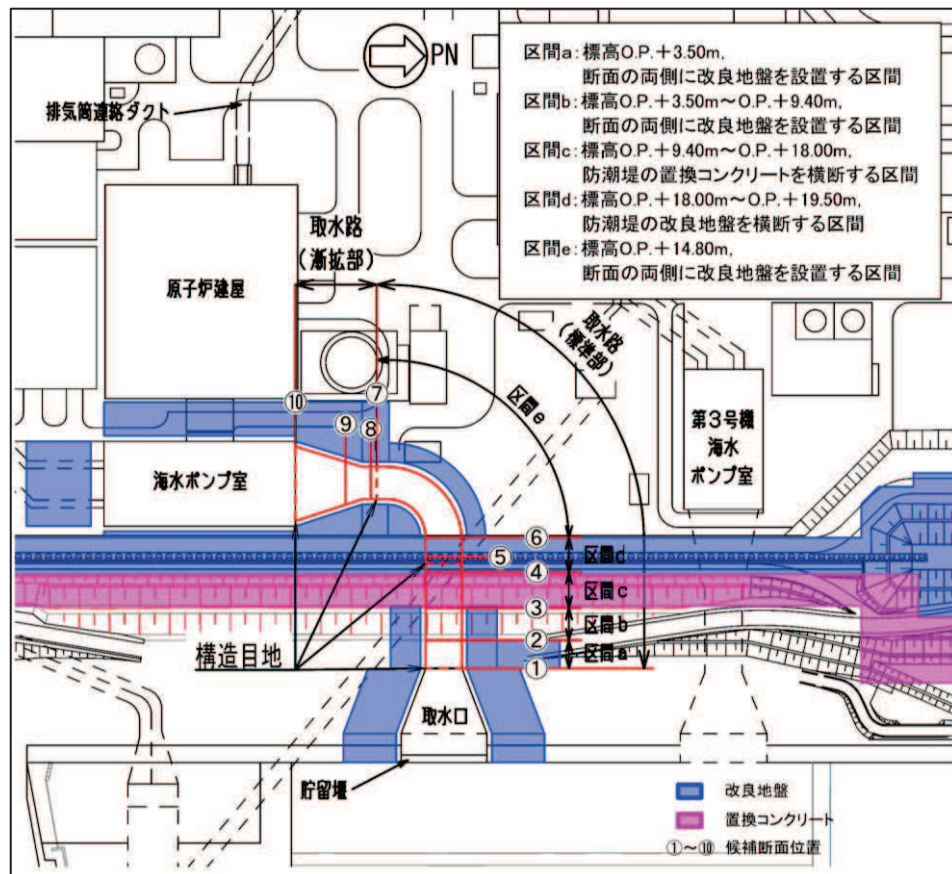


図 4.12-5 取水路平面図（区間及び候補断面位置）

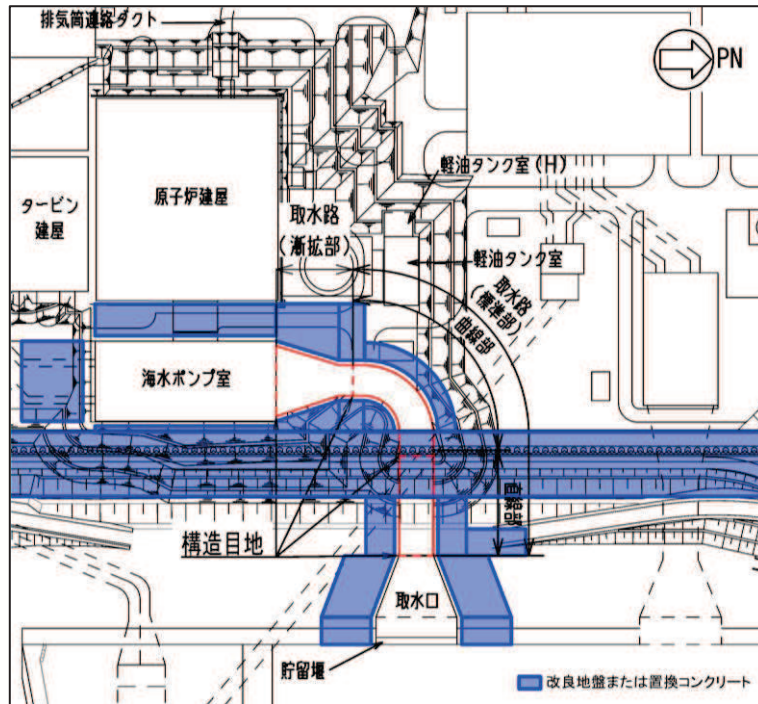


図 4.12-6 取水路掘削図

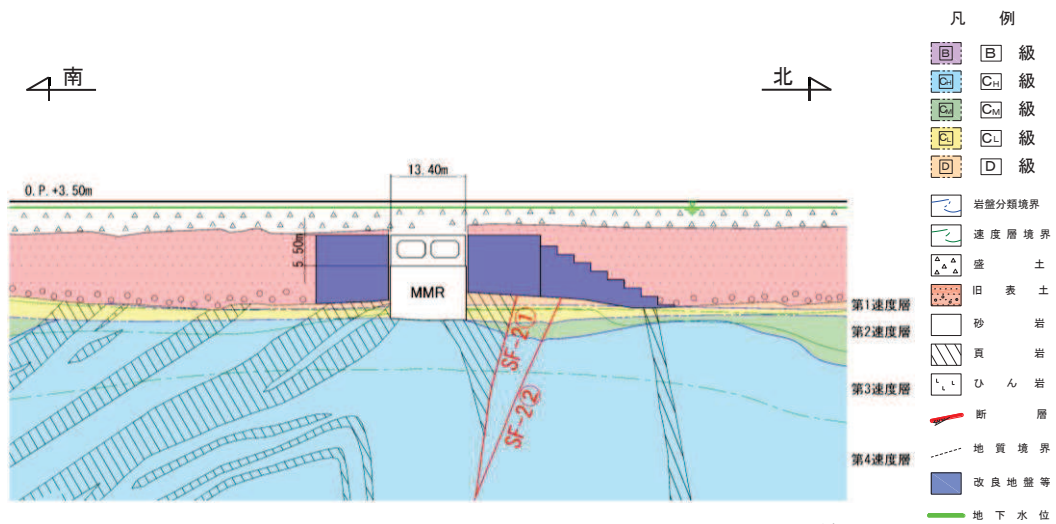


図 4.12-7 取水路 (標準部) 地質断面図 (断面②: 直線部)

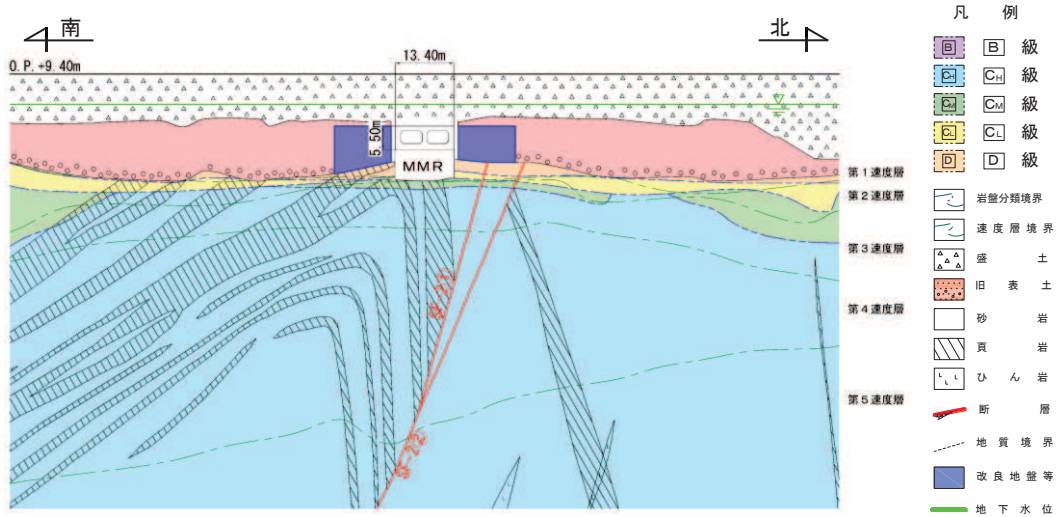


図 4.12-8 取水路（標準部）地質断面図（断面③）：直線部

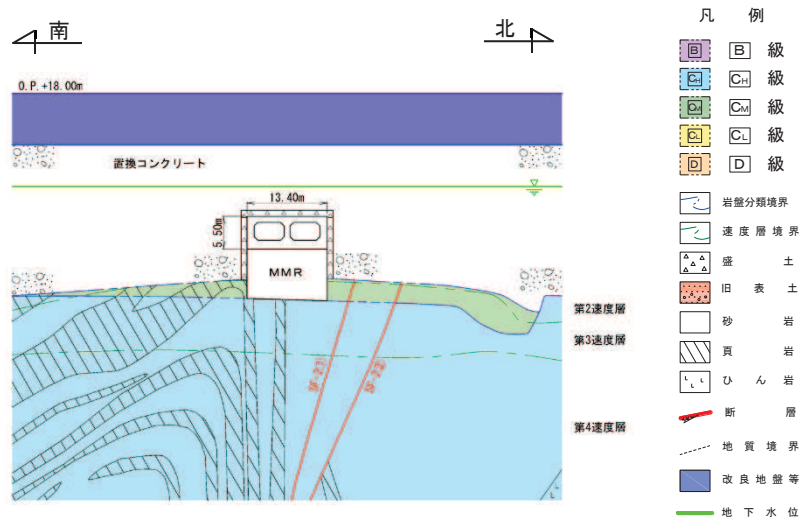


図 4.12-9 取水路（標準部）地質断面図（断面④）：直線部

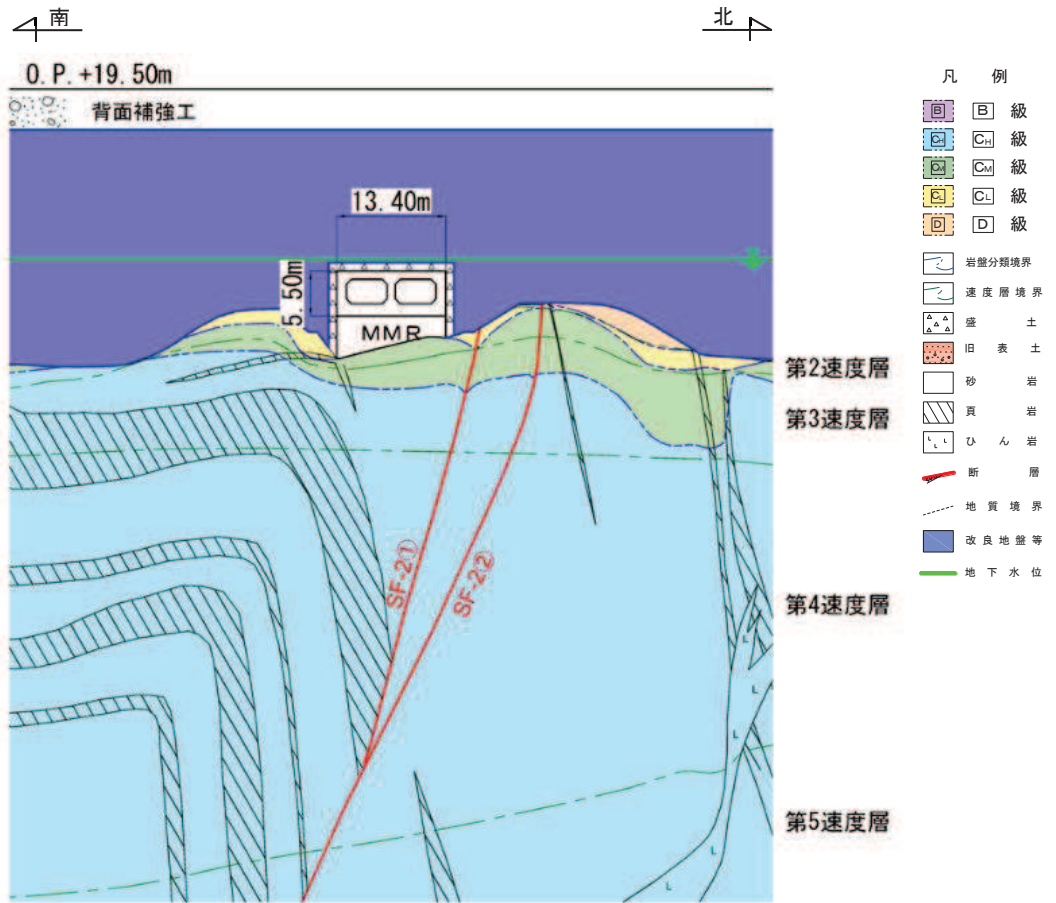


图 4.12-10 取水路（標準部）地質断面図（断面⑤：曲線部）

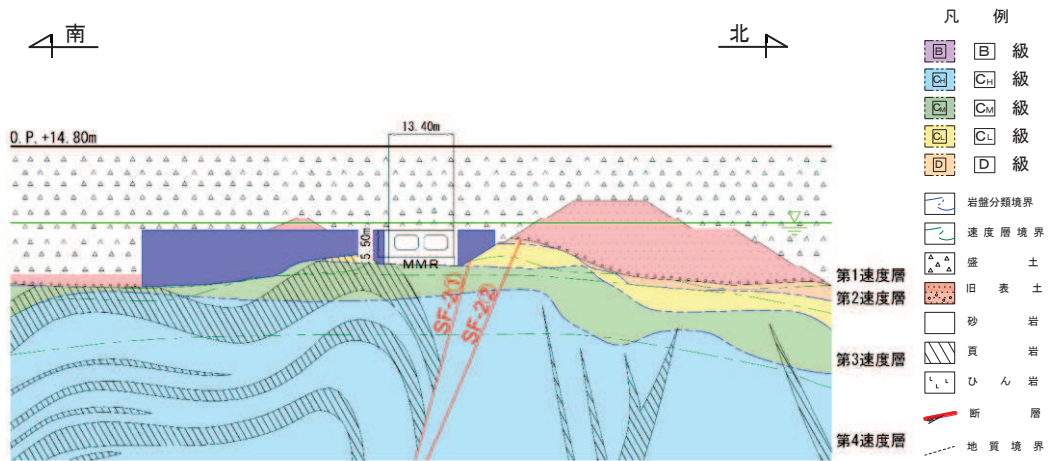


图 4.12-11 取水路（標準部）地質断面図（断面⑥：曲線部）

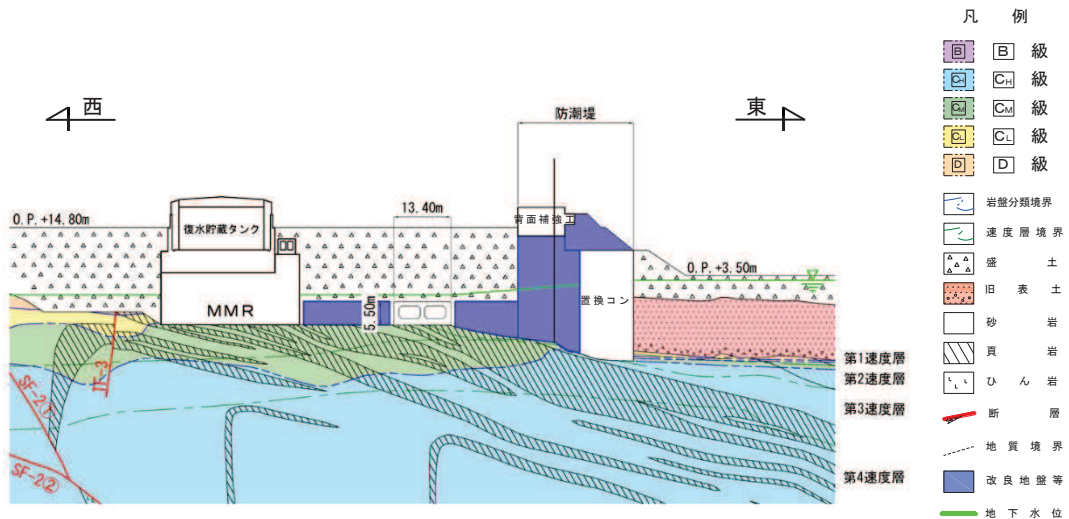


図 4.12-12 取水路（標準部）地質断面図（断面⑦：曲線部）

a. 取水路（標準部）のうち直線部

取水路（標準部）のうち直線部は、図 4.12-5 に示すとおり横断方向（延長方向に直交する方向）の断面の両側に改良地盤を設置する区間 a 及び区間 b と、防潮堤の置換コンクリートを横断する区間 c 及び防潮堤の改良地盤を横断する区間 d に区分される。区間 a～区間 d の周辺状況図（イメージ図）を図 4.12-13 に示す。

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

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

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

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

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

取水路（標準部）のうち直線部の候補断面の特徴を表 4.12-1 に示す。

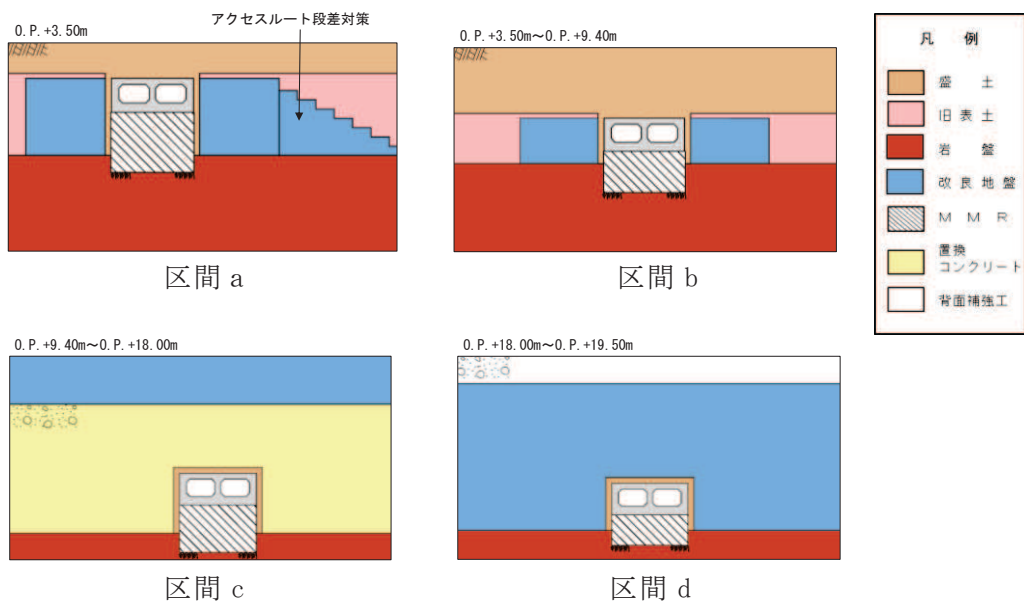


図 4.12-13 区間 a ~ 区間 d の周辺状況図 (イメージ図)

表 4.12-1 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"> 区間 a 内で土被りが最も薄く, 旧表土の厚さが最も厚い。 構造物の両側に改良地盤が設置されている。
	断面②	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> 区間 a 内で土被りが最も厚い。 構造物の両側に改良地盤が設置されている。
	断面③	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> 区間 b 内で土被りが最も厚い。 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。 構造物の両側に改良地盤が設置されている。
	断面④	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> 周辺が防潮堤の置換コンクリートに囲まれている。 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⑤	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> 周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれている。 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)

b. 取水路（標準部）のうち曲線部

取水路（標準部）のうち曲線部は、図 4.12-5 に示すとおり防潮堤の改良地盤を横断する区間 d と、横断方向（延長方向に直交する方向）の断面の両側に改良地盤を設置する区間 e に区分される。

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

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

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

取水路（標準部）のうち曲線部の候補断面の特徴を表 4.12-2 に示す。

表 4.12-2 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"> ・周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれている。 ・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）
	断面⑥	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・構造物の両側に改良地盤が設置されている。 ・断面⑦と直交する断面である。
	断面⑦	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・断面⑥と直交する断面である。 ・区間 e 内で土被りが最も厚い。 ・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。

(2) 地震時荷重算出断面の選定

a. 取水路（標準部）のうち直線部

(a) 区間 a

区間 a は、延長方向に断面形状・配筋の差異はなく、構造物周辺は延長方向に一様に地盤改良がなされている。このため、断面①に比べて土被りが厚い断面②の方が、地盤から構造物に作用する荷重（土圧）は大きく、耐震裕度が小さくなると想定されることから、断面②を区間 a の地震時荷重算出断面として選定する。

(b) 区間 b

区間 b は、延長方向に断面形状・配筋の差異はなく、構造物周辺は延長方向に一様に地盤改良がなされている。このため、土被りが最も厚い断面③が地盤から構造物に作用する荷重（土圧）は大きく、耐震裕度が小さくなると想定されることから、断面③を区間 b の地震時荷重算出断面として選定する。

(c) 区間 c

区間 c は、延長方向に断面形状・配筋の差異はなく、構造物周辺は延長方向に一様に防潮堤の置換コンクリートに囲まれている。このため、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④が地盤から構造物に作用する荷重（土圧）は大きく、耐震裕度が小さくなると想定されることから、断面④を区間 c の地震時荷重算出断面として選定する。

(d) 区間 d

区間 d は、延長方向に断面形状・配筋の差異はなく、構造物周辺は延長方向に一様に防潮堤の改良地盤に囲まれている。このため、防潮堤の鋼管杭（杭芯）の位置で上載荷重が最も大きい断面⑤が構造物に最も厳しい断面であり、耐震裕度が小さくなると想定されることから、断面⑤を区間 d の地震時荷重算出断面として選定する。

b. 取水路（標準部）のうち曲線部

(a) 区間 d

曲線部についても、直線部同様に断面⑤を区間 d の地震時荷重算出断面として選定する。

(b) 区間 e

区間 e は、曲線構造となる区間であり、断面形状・配筋の差異はないものの、延長方向に周辺地盤状況が異なる。このことから、断面⑥及び断面⑦を区間 e の地震時荷重断面として選定する。

(3) 断面選定結果

取水路（標準部）の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.12-3 に示す。また、取水路（標準部）の地震時荷重算出断面図を図 4.12-14 に示す。

表 4.12-3 (1) 取水路 (標準部) 地震時荷重算出断面の選定結果 (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"> ・区間 a 内で土被りが最も薄く、旧表土の厚さが最も厚い。 ・構造物の両側に改良地盤が設置されている。 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・区間 a 内の断面②に比べて土被りが薄く、断面②に比べて、地震時の土圧は小さいと考えられることから、地震時荷重算出断面として選定しない。
	断面②	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・区間 a 内で土被りが最も厚い。 ・構造物の両側に改良地盤が設置されている。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・区間 a 内で土被りが最も厚く、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。
	断面③	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・区間 b 内で土被りが最も厚い。 ・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。 ・構造物の両側に改良地盤が設置されている。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・区間 b 内で土被りが最も厚く、地震時の土圧が最大になると考えられる。 ・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。
	断面④	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺が防潮堤の置換コンクリートに囲まれている。 ・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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
	断面⑤	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれている。 ・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) 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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、直線部の区間 d の地震時荷重算出断面として選定する。

表 4.12-3 (2) 取水路 (標準部) 地震時荷重算出断面の選定結果 (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"> ・周辺が防潮堤の改良地盤に囲まれている。 ・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) 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
	断面⑥	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・構造物の両側に改良地盤が設置されている。 ・断面⑦と直交する断面である。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
	断面⑦	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・断面⑥と直交する断面である。 ・区間 e 内で土被りが最も厚い。 ・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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

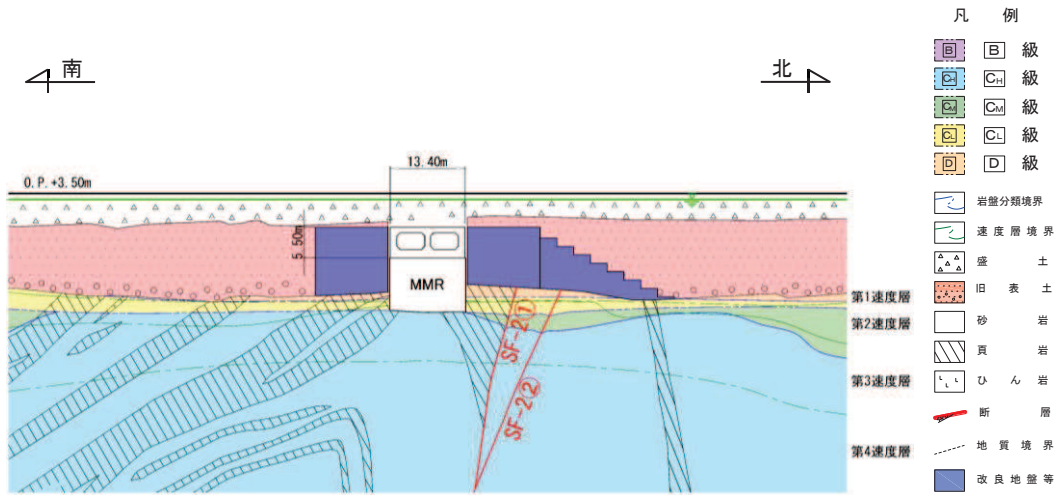


図 4.12-14(1) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面②：直線部）

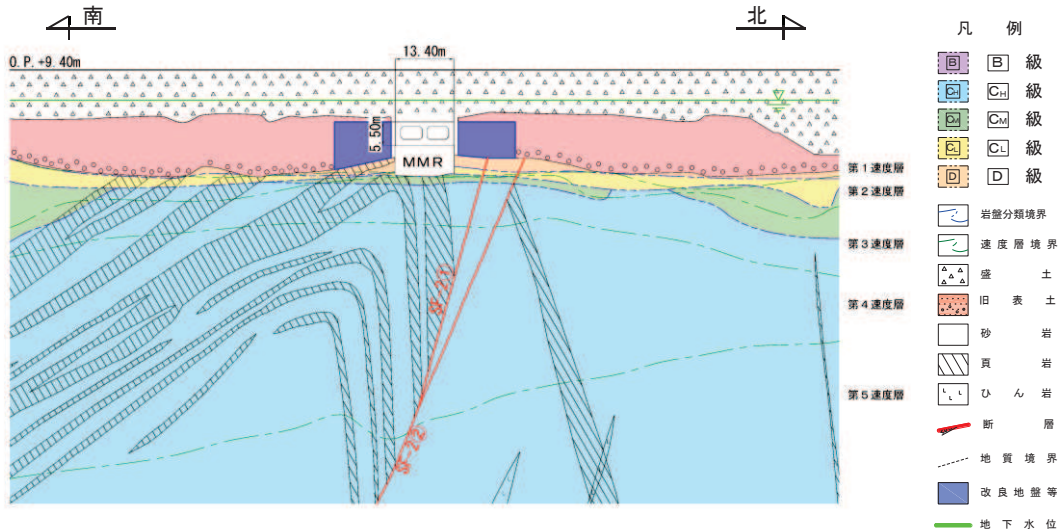


図 4.12-14(2) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面③：直線部）

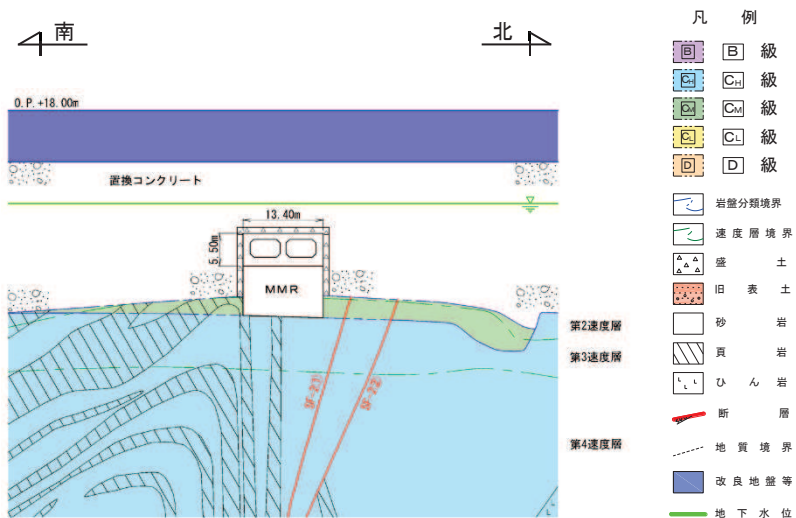


図 4.12-14(3) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面④：直線部）

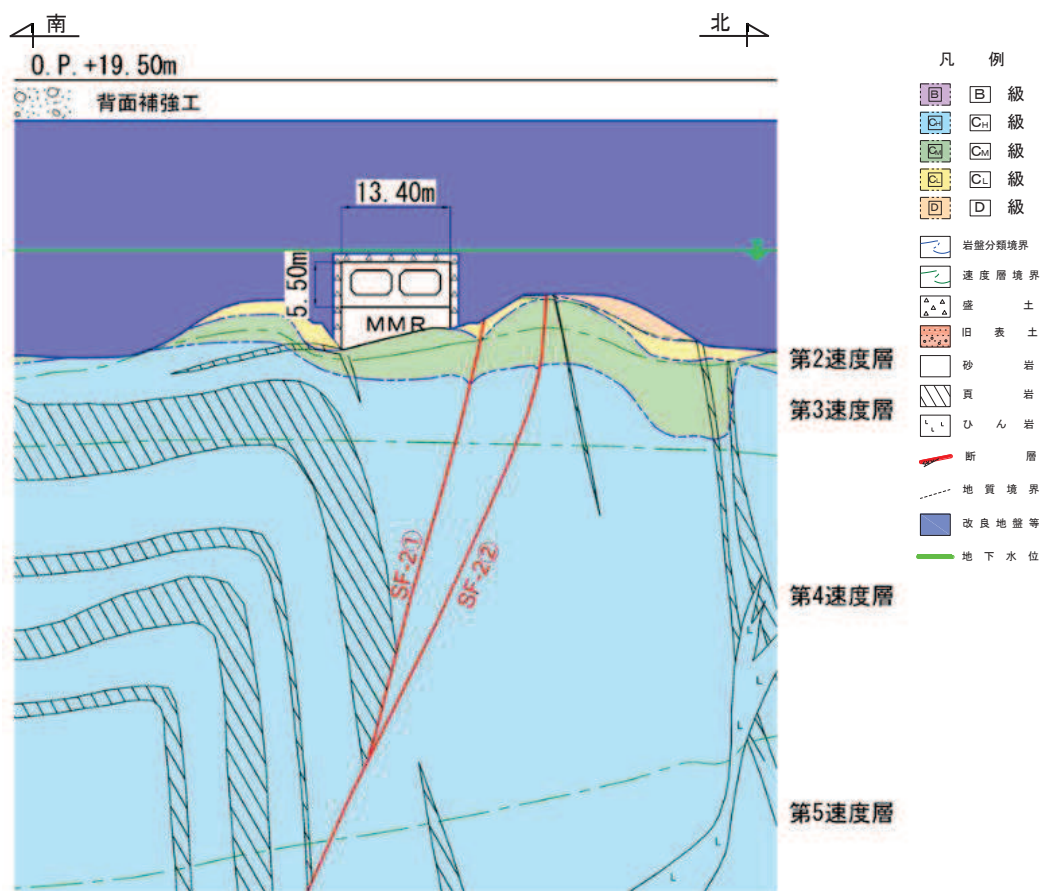


图 4.12-14(4) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面⑤：直線部及び曲線部）

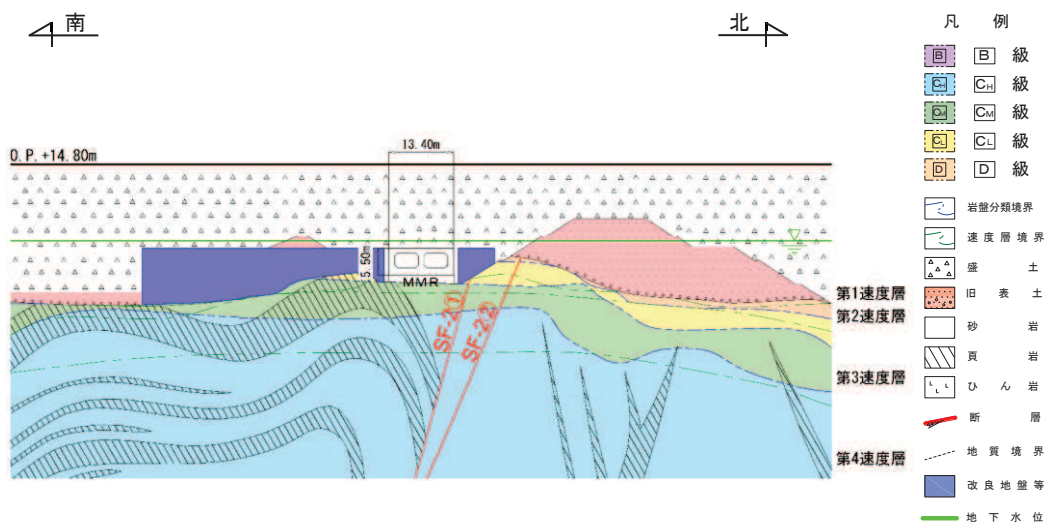


图 4.12-14(5) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面⑥：曲線部）

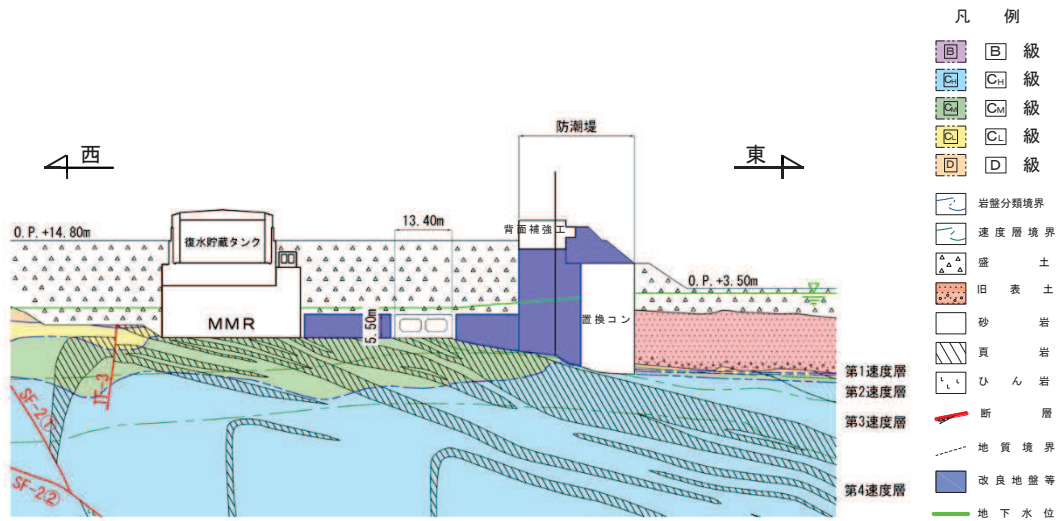


図 4.12-14(6) 取水路（標準部）地震時荷重算出断面図（断面⑦：曲線部）

4.12.2 解析手法の選定

(1) 断面②及び断面③

断面②及び断面③は、構造物の両側面に地盤改良がなされており、その外側には地下水以下の盛土・旧表土が分布することから、全応力解析及び有効応力解析により耐震性評価を行う。また、浮上りに対する安全性を検討する。

(2) 断面④

断面④は、周辺が防潮堤の置換コンクリートに囲まれ、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。

なお、躯体と改良地盤の間に局所的に分布する地下水以深の盛土の液状化の可能性についての確認結果を「参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果」に示す。

(3) 断面⑤

断面⑤は、周辺が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。

なお、躯体と改良地盤の間に局所的に分布する地下水以深の盛土の液状化の可能性についての確認結果を「参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果」に示す。

(4) 断面⑥及び断面⑦

断面⑥及び断面⑦は、周囲は地盤改良されおり、その外側に地下水以下の盛土・旧表土が分布することから、全応力解析及び有効応力解析により耐震性評価を行う。また、浮上りに対する安全性を検討する。

4.13 復水貯蔵タンク基礎

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の配置図を図 4.13-1 に、平面図を図 4.13-2 に、断面図を図 4.13-3、図 4.13-4 に示す。

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しゃへい壁等から構成される。基礎版は幅 26.75m（東西方向）×32.45m（南北方向）、厚さ 5.00m、しゃへい壁は内径 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、妻壁やしゃへい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 4.13-5 に示す。

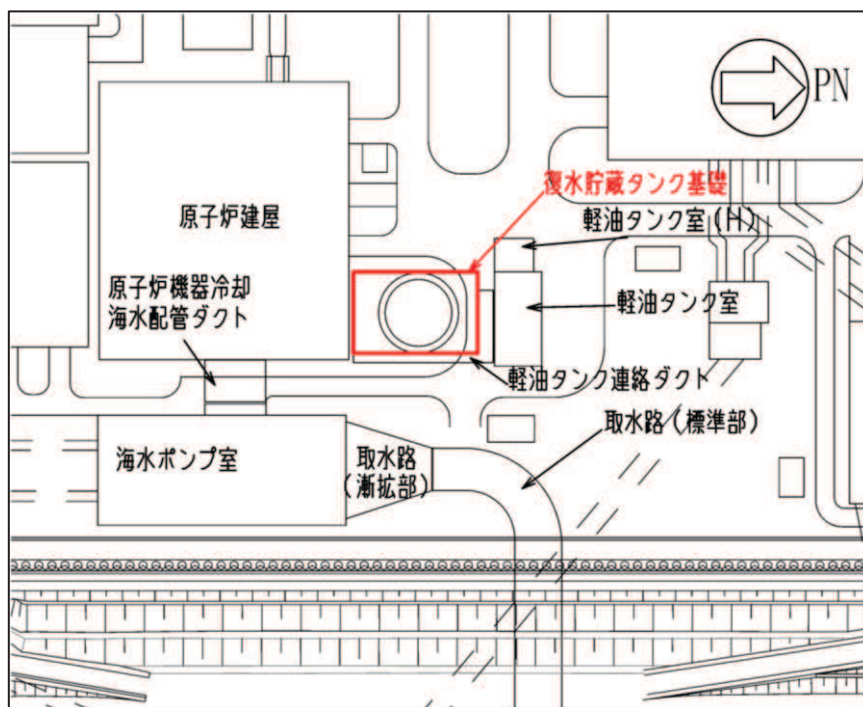


図 4.13-1 復水貯蔵タンク基礎配置図

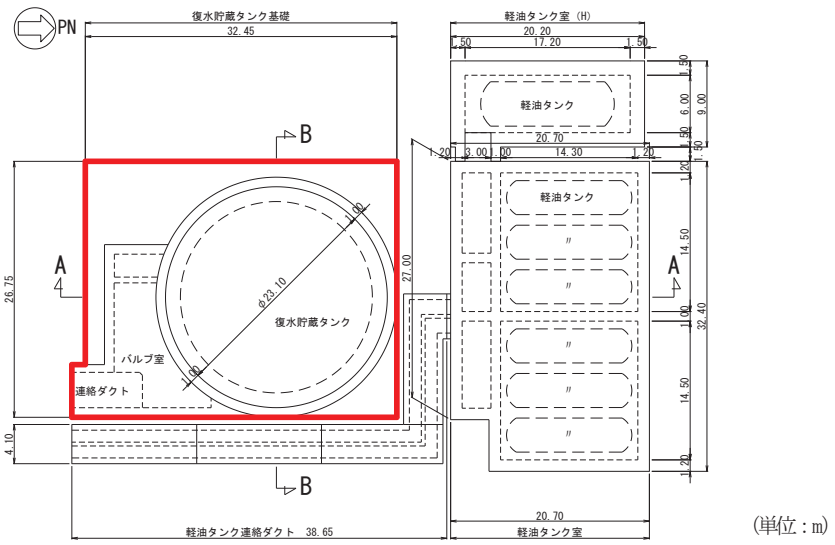


図 4.13-2 復水貯蔵タンク基礎平面図

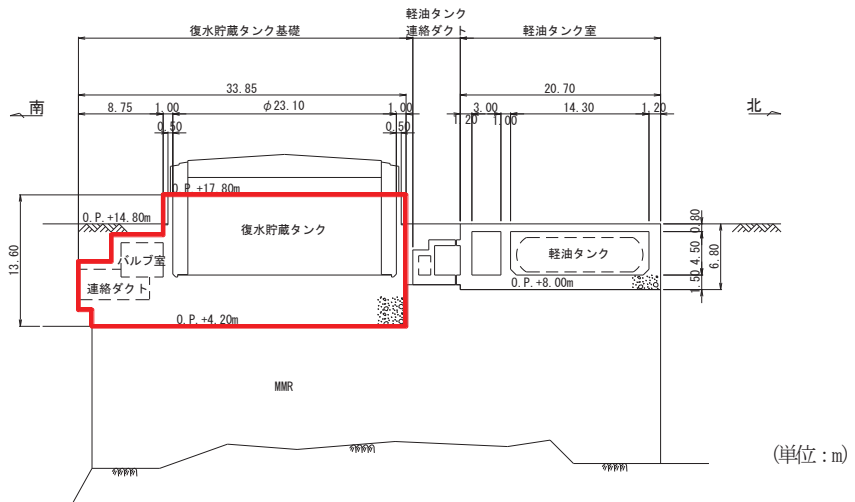


図 4.13-3 復水貯蔵タンク基礎断面図 (A-A)

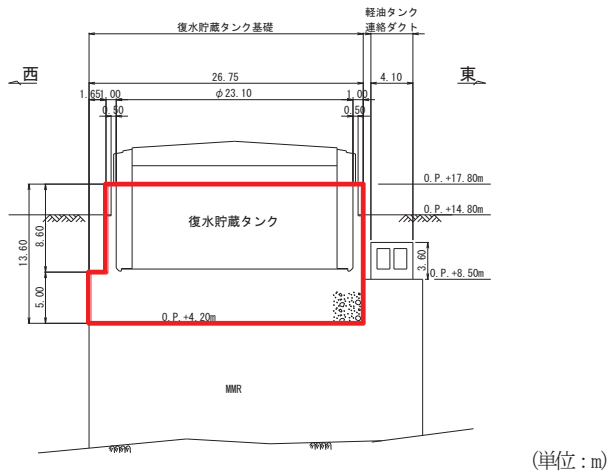


図 4.13-4 復水貯蔵タンク基礎断面図 (B-B)

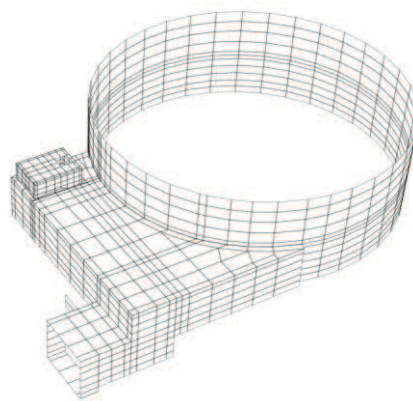


図 4.13-5 復水貯蔵タンク基礎 三次元モデル図

4.13.1 断面選定

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しゃへい壁、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ダクトから構成される複雑な形状であり、しゃへい壁（内径 23.10m）は基礎版上の幅（26.75m×32.45m）の大半を占める。また、バルブ室はしゃへい壁の南側に配置され、連絡ダクトはバルブ室の東側から原子炉建屋に向かい、南北方向に沿って配置されている。

基礎版は、東西方向（幅 26.75m）と南北方向（幅 32.45m）の長さに大きな違いはなく、またしゃへい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。

復水貯蔵タンク基礎の掘削図を図 4.13-6 に、地質断面図を図 4.13-7、図 4.13-8 に示す。

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、連絡ダクトに間接支持される復水移送系配管は、南北方向に一樣に設置されている。

復水貯蔵タンク基礎の周辺状況として、東西方向は、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。南北方向は、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、ほぼ一樣に分布している。

床応答の観点から、東西方向と南北方向は剛性の差があり床応答も異なることから、両方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

以上から、周辺の地盤が構造物に与える影響は、どの断面も大きな差はないと考えられるため、基礎版上の構成部位のうち荷重の大きいしゃへい壁及び復水貯蔵タンクの中心を通る東西方向及び南北方向の両断面を地震時荷重算出断面とする。

復水貯蔵タンク基礎の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.13-1 に示す。

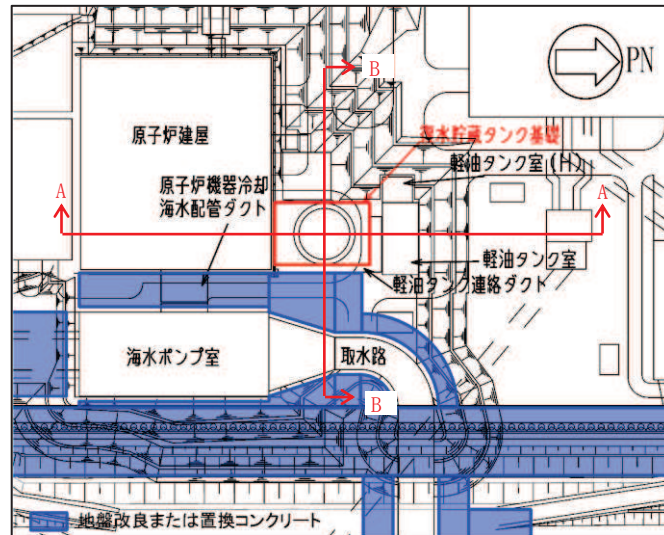


図 4.13-6 復水貯蔵タンク基礎掘削図

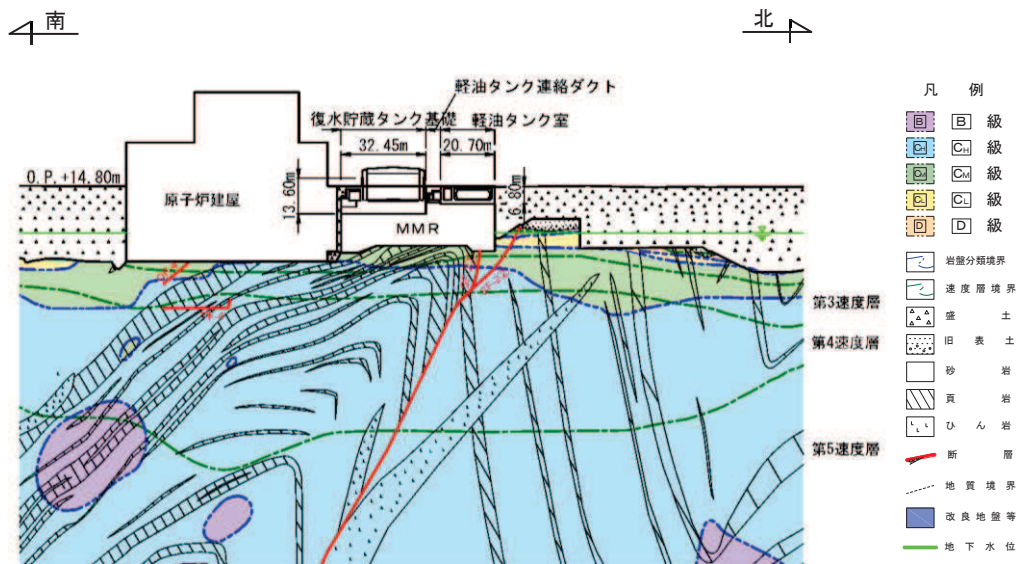


図 4.13-7 復水貯蔵タンク基礎地質断面図 (A-A)

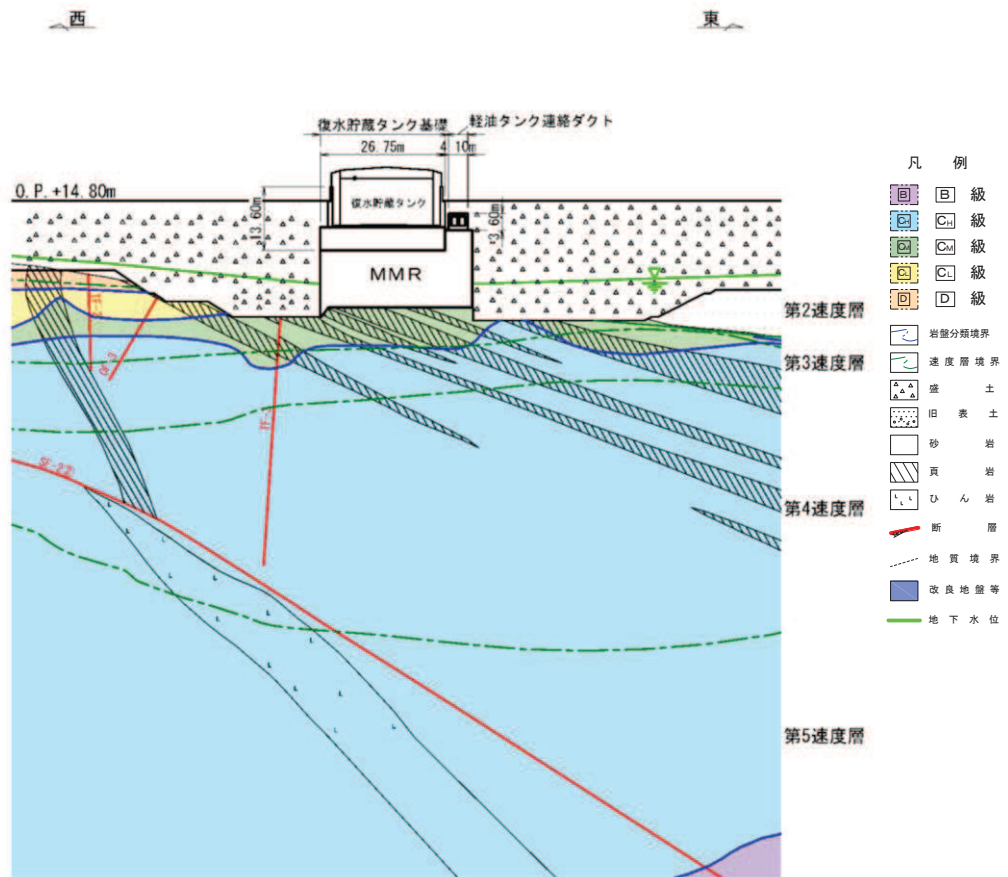


図 4.13-8 復水貯蔵タンク基礎地質断面図 (B-B)

表 4.13-1 復水貯蔵タンク基礎 地震時荷重算出断面の選定結果

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
東西方向	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> 基礎版上に円筒形のしゃへい壁が設置されており、強軸方向・弱軸方向が明確ではない。 基礎の南側に位置する連絡ダクトの横断方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 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様に分布している。 西側には盛土が一様に分布している。 地下水位は、基礎底版より十分低い。 	<ul style="list-style-type: none"> 復水貯蔵タンク 復水貯蔵タンク水位計 高圧炉心スプレイ系配管 復水移送系配管 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺状況の差異がなく、周辺の地盤が構造物に与える影響は、どの断面も大きな差はないと考えられるため、基礎版上の構成部位のうち荷重の大きいしゃへい壁及び復水貯蔵タンクの中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。
南北方向	同上	<ul style="list-style-type: none"> 基礎版上に円筒形のしゃへい壁が設置されており、強軸方向・弱軸方向が明確ではない。 基礎の南側に位置する連絡ダクトの延長方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 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様に分布している。 南側には原子炉建屋が隣接している。 地下水位は基礎底版より十分低い。 	同上	同上

4.13.2 解析手法の選定

復水貯蔵タンク基礎周囲の地下水位は基礎底版より十分低いことから、液状化の影響はない。従って、復水貯蔵タンク基礎の解析手法は、全応力解析を選定する。

4.14 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の配置図を図 4.14-1 に、平面図を図 4.14-2 に、断面図を図 4.14-3、図 4.14-4 に示す。

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、幅 20.30m(東西方向)×22.00m(南北方向)、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 4.14-5 に示す。

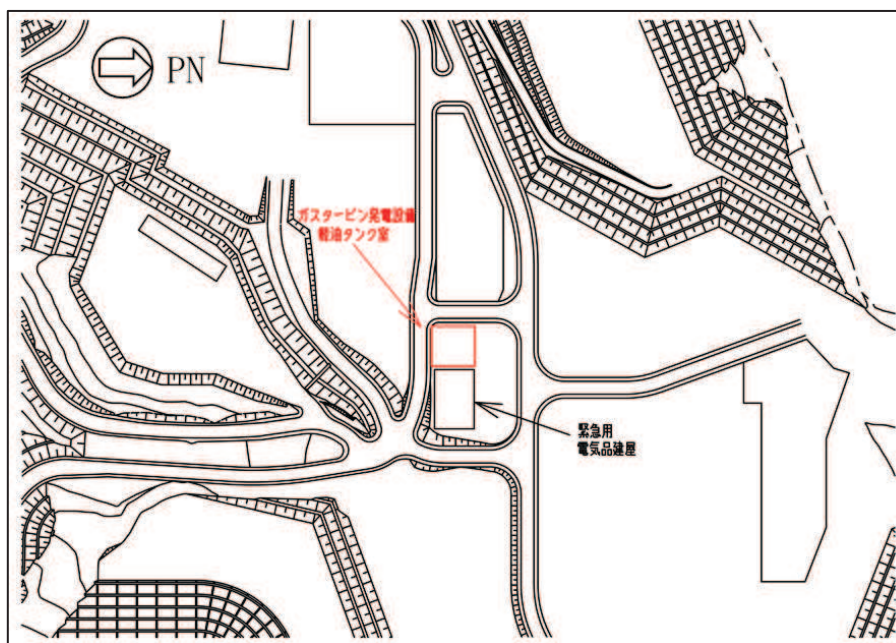


図 4.14-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室配置図

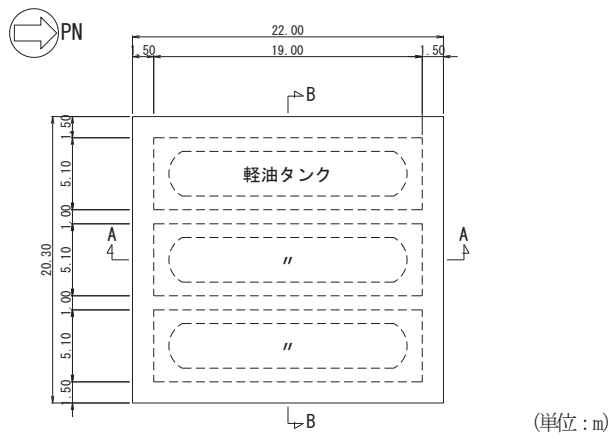


図 4.14-2 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

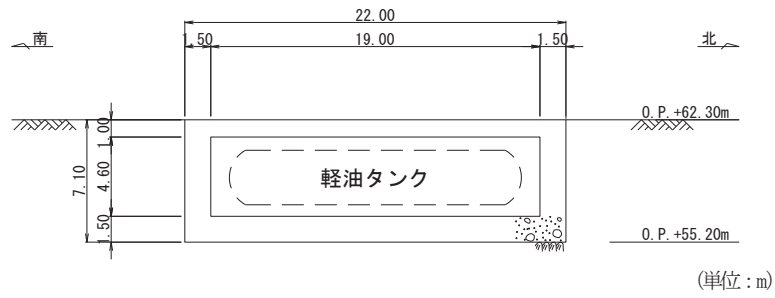


図 4.14-3 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (A-A)

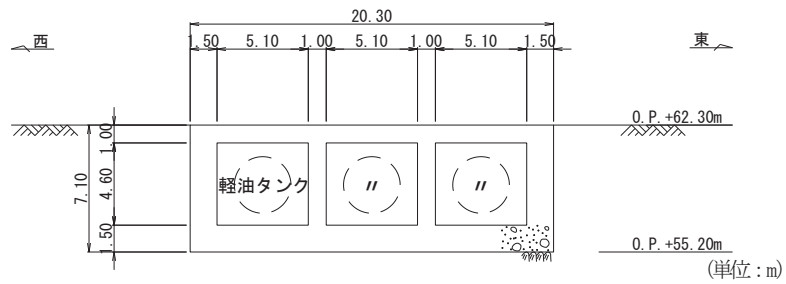


図 4.14-4 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (B-B)

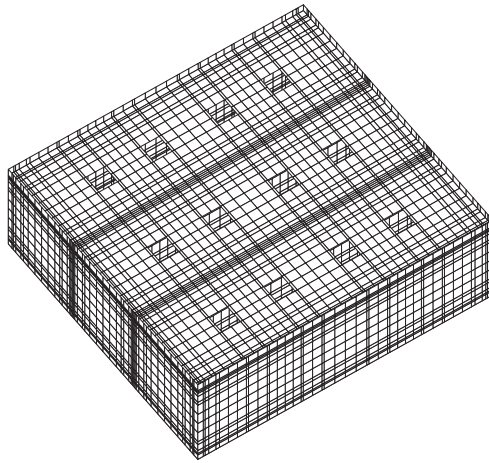


図 4.14-5 ガスタービン発電設備軽油タンク室 三次元モデル図

4.14.1 断面選定

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、南北加振に対して、側壁及び隔壁が耐震要素として機能し、東西加振と比較して、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、南北方向が強軸方向となり、東西方向が弱軸方向となる。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の掘削図を図 4.14-6 に、地質断面図を図 4.14-7、図 4.14-8 に示す。

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。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の周辺状況として、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。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。

床応答の観点からは、東西方向と南北方向では剛性の差があり床応答も異なることから、両方向の断面を地震時荷重算出断面とする。

以上より、東西方向は、周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。南北方向は、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断面を地震時荷重算出断面とする。

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の選定結果を表 4.14-1 に示す。

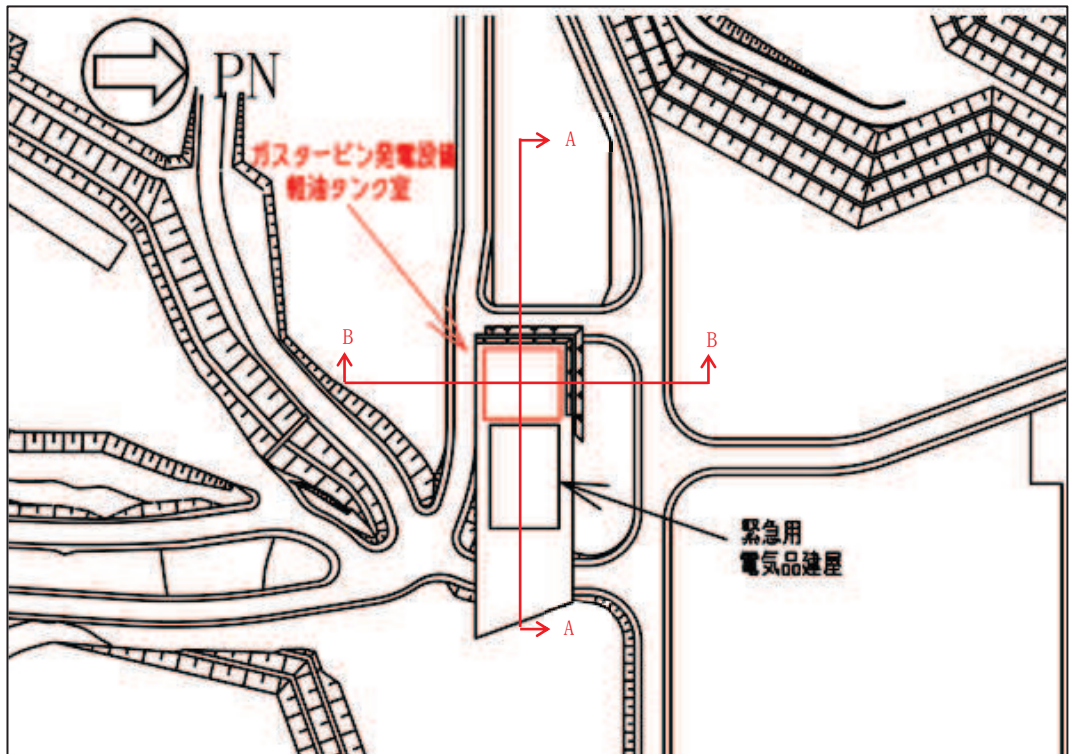


図 4.14-6 ガスタービン発電設備軽油タンク室掘削図

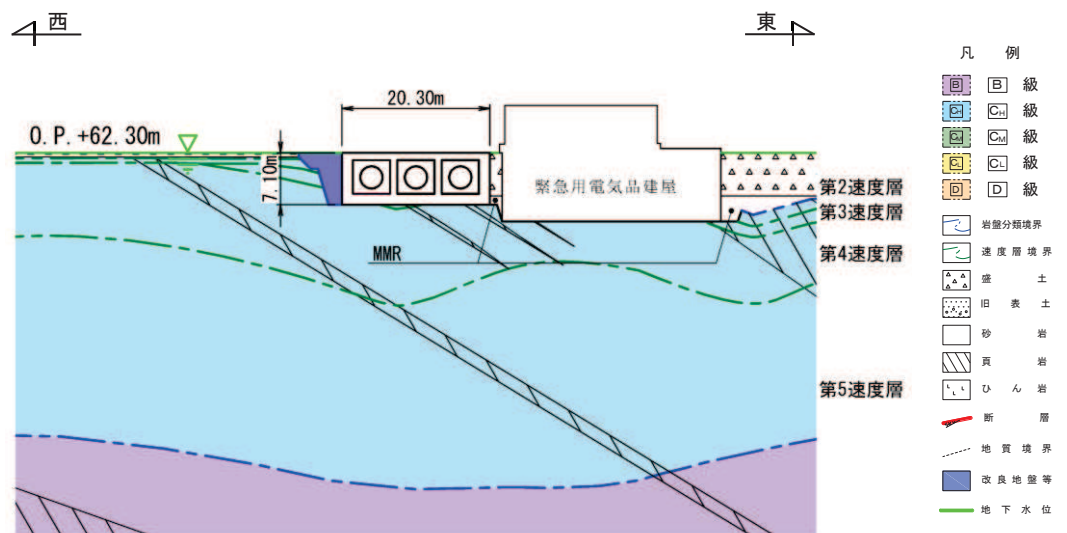


図 4.14-7 ガスタービン発電設備軽油タンク室地質断面図 (A-A)

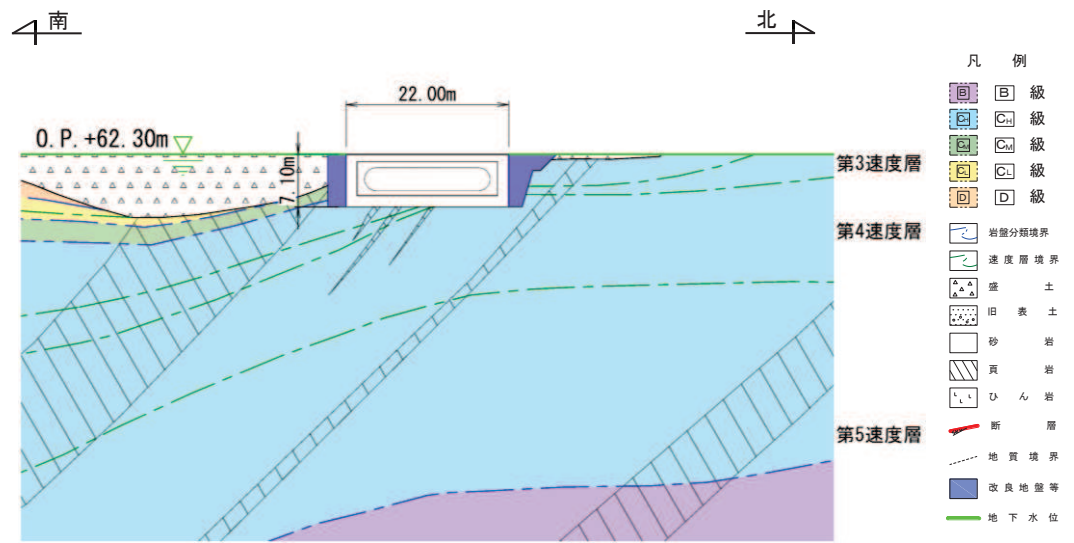


図 4.14-8 ガスタービン発電設備軽油タンク室地質断面図 (B-B)

表 4.14-1 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
東西方向	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> 一様な断面を有する三連のボックスカルバート構造 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤に直接設置されている。 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行なわれている。 西側の掘削範囲は、セメント改良土で埋戻しが行なわれており、その外側は地表面まで岩盤が分布している。 地下水位は地表面に一様に設定している。 	<ul style="list-style-type: none"> ガスタービン発電設備 軽油タンク ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ ガスタービン発電設備 燃料移送系配管 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺状況の差異がないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。
南北方向	同上	<ul style="list-style-type: none"> 一様な断面を有する一連のボックスカルバート構造 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤に直接設置されている。 北側の掘削範囲は、セメント改良土で埋戻しが行なわれており、その外側は地表面まで岩盤が分布している。 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。 地下水位は地表面に一様に設定している。 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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断面を地震時荷重算出断面とする。

4.14.2 解析手法の選定

ガスタービン発電設備軽油タンク室の東西断面について、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ことから、全応力解析により評価する。なお、緊急用電気品建屋との間に局所的に分布する地下水以下の盛土の液状化の可能性についての確認結果を「参考資料9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果」に示す。

南北断面について、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。南側は改良地盤に囲まれ、その外側には盛土が分布し、南方に向かって岩盤面が下り勾配で傾斜していることから、全応力解析及び有効応力解析により耐震評価を行う。

4.15 第3号機海水ポンプ室

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号機海水ポンプ室の配置図を図4.15-1に、平面図を図4.15-2に、縦断図を図4.15-3に、断面図を図4.15-4、図4.15-5に示す。

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、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、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。

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4.15-6に示す。

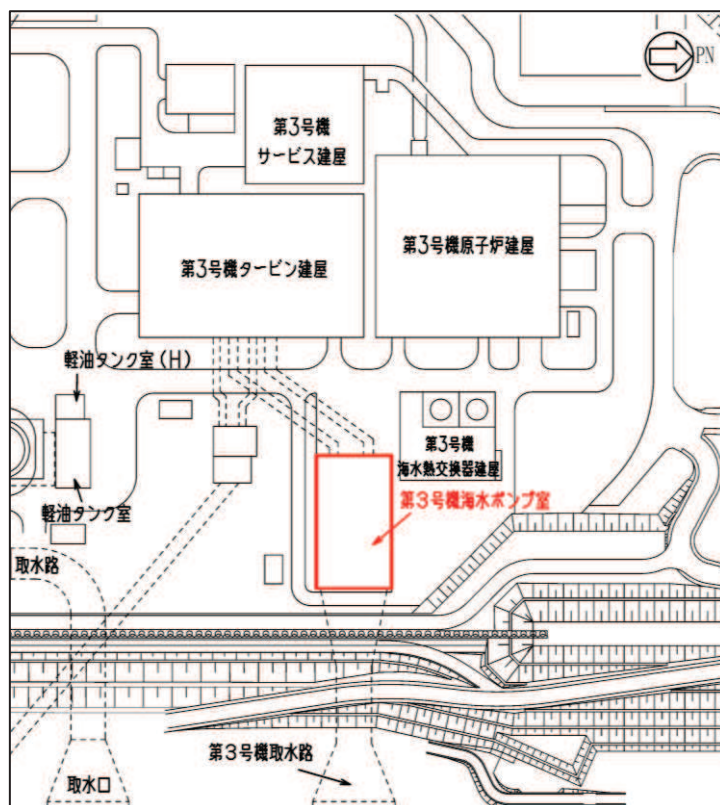


図4.15-1 第3号機海水ポンプ室配置図

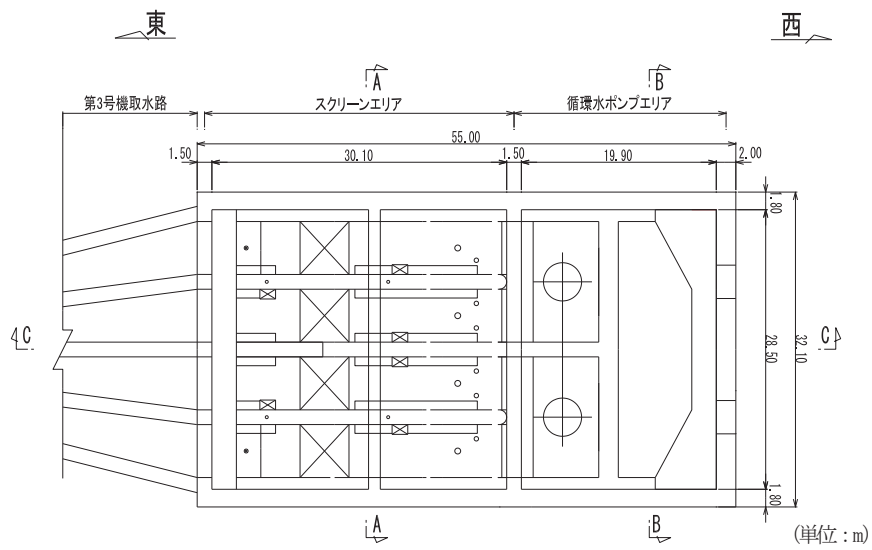


図 4.15-2 第 3 号機海水ポンプ室平面図

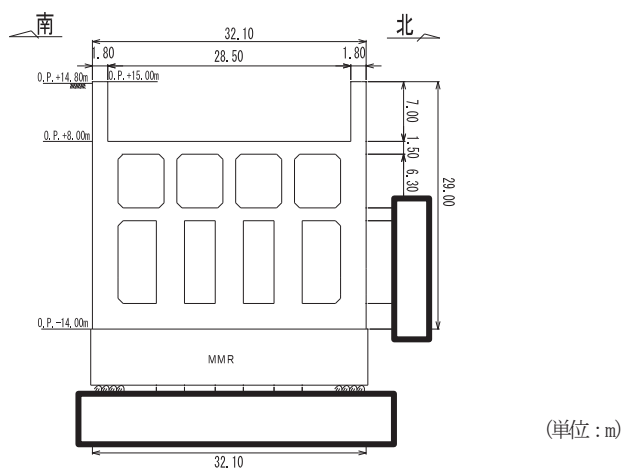


図 4.15-3 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (A-A)

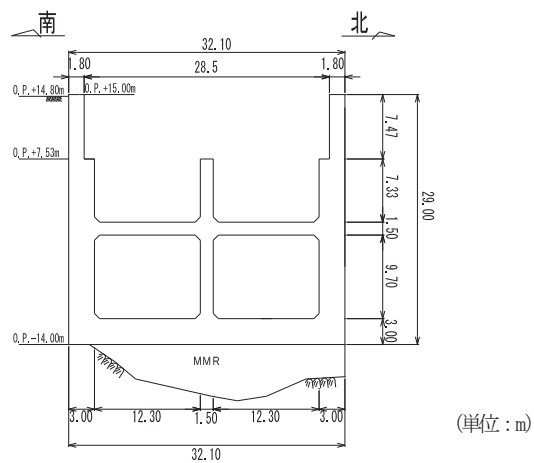


図 4.15-4 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (B-B)

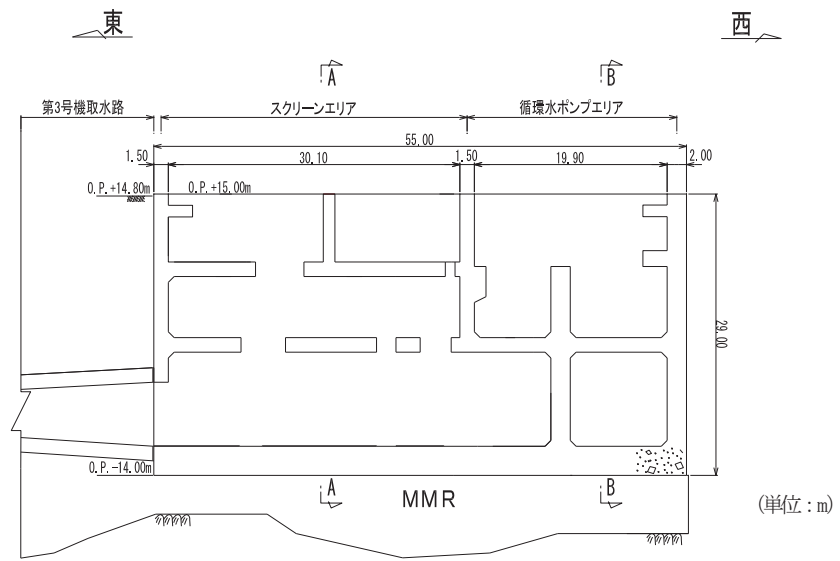


図 4.15-5 第3号機海水ポンプ室縦断図 (C-C)

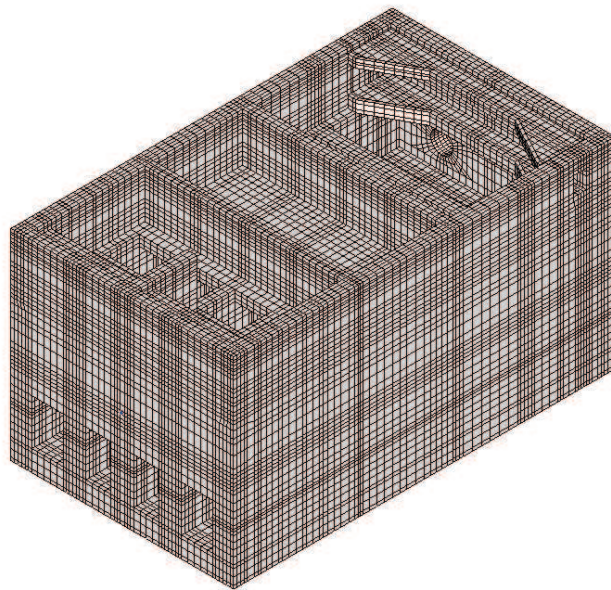


図 4.15-6 第3号機海水ポンプ室 三次元モデル図

4.15.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

第3号機海水ポンプ室は、東西加振に対して、東西方向の側壁及び水路部の隔壁が耐震要素として機能し、南北加振と比較して、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、東西方向が強軸方向となり、南北方向が弱軸方向となる。

南北方向については、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、各エリアの南北方向の断面を候補断面とする。

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。

周辺状況として、盛土により埋め戻されているものの、北側及び南側の地下水位以下は地盤改良がなされている。循環水ポンプエリアの北側は、第3号機海水熱交換器建屋が設置されている。また、東側は第3号機取水路と接続し、西側は一樣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同様であり、底版上面よりも深く、地表面から十分深い位置にある。

床応答の観点から、南北方向と東西方向は剛性の差があり床応答も異なることから、両方向の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4.15-7に、第3号機海水ポンプ室の地質断面図を図4.15-8、図4.15-9に示す。

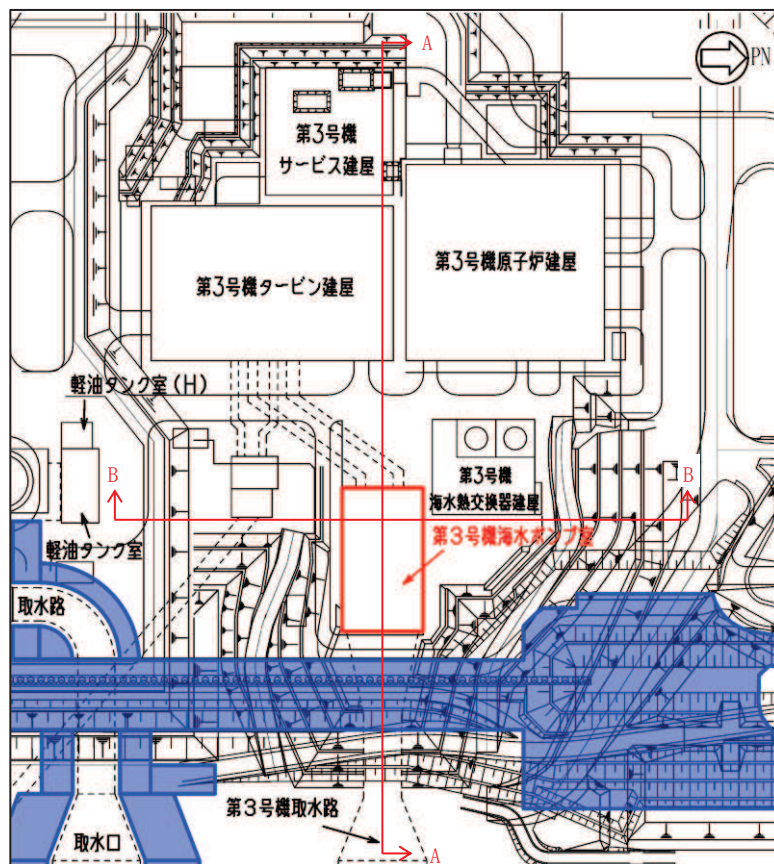


図 4.15-7 第3号機海水ポンプ室掘削図

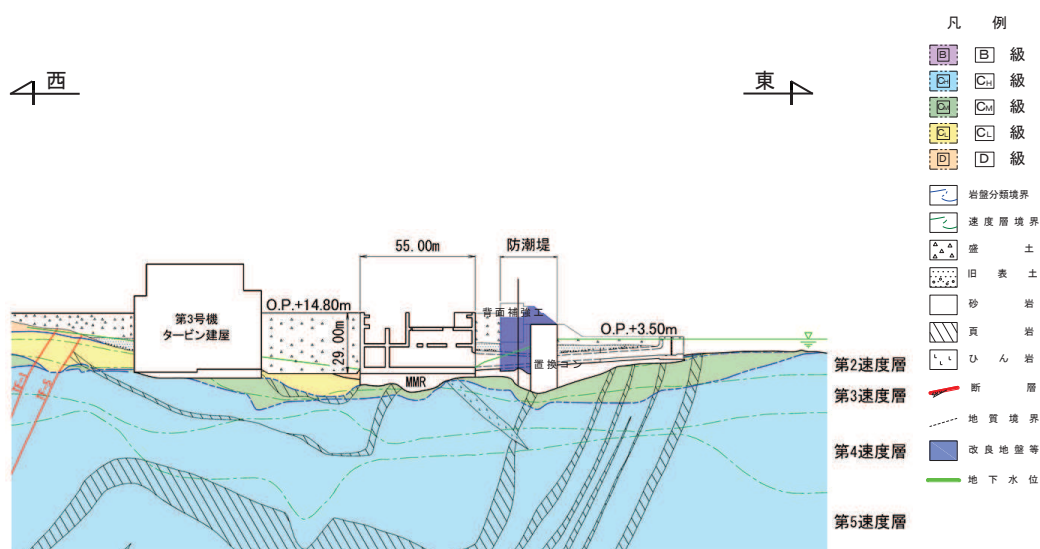


図 4.15-8 第3号機海水ポンプ室地質断面図 (A-A)

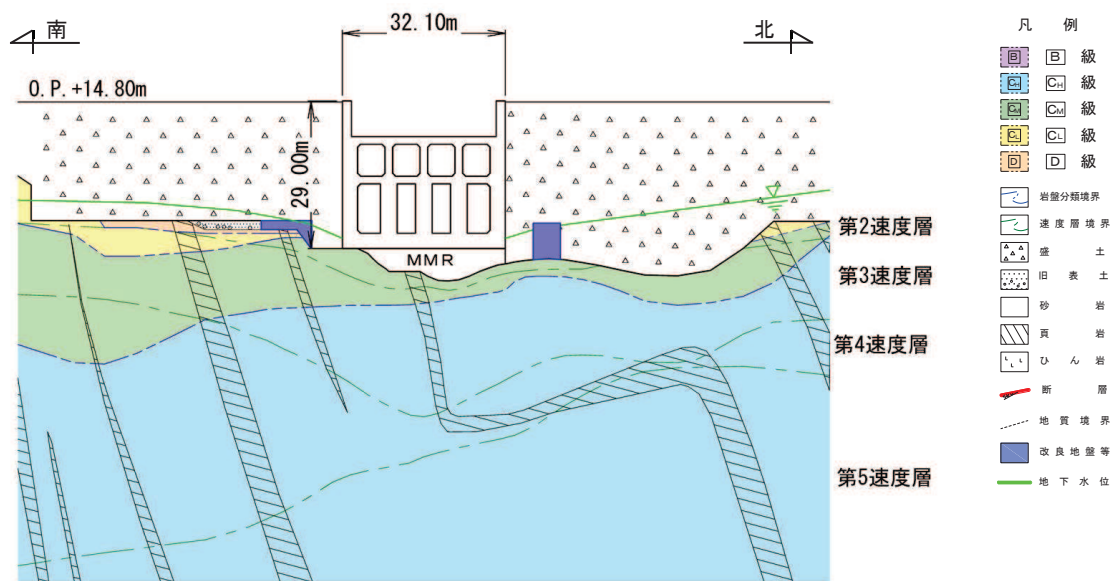


図 4.15-9 第 3 号機海水ポンプ室地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面の選定

南北方向は、スクリーンエリア、循環水ポンプエリアの各エリアにおいて、構造物モデルを作成して地震応答解析に反映するが、第 3 号機海水ポンプ室の周辺状況は異なり、スクリーンエリアの両側は地盤改良がなされていることから、循環水ポンプエリアの方が地震時の土圧は大きいものと想定される。また、循環水ポンプエリアは、周辺状況に差異はないことから、循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を地盤モデルとして、地震時荷重算出断面とする。

東西方向は、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断面を地震時荷重算出断面とする。

(3) 断面選定結果

第 3 号機海水ポンプ室の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.15-1 に、地震時荷重算出断面図を図 4.15-10 に示す。

表 4.15-1 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面の選定結果

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
南北方向	スクリーン エリア	支持機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 両側に地盤改良がなされている。 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。 	・防潮壁	<ul style="list-style-type: none"> スクリーンエリアの両側は地盤改良がなされており、循環水ポンプエリアに比べ、地震時の土圧は小さいものと想定されることから、循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルはスクリーンエリアの剛性を考慮する。
	循環水ポンプ エリア	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 南側は盛土と接しその外側は地盤改良がなされている。北側は第3号機海水熱交換器建屋が設置されている。 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。 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 循環水ポンプエリアは、周辺状況に差異はないことから、循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を地震時荷重算出断面とする。 構造モデルは循環水ポンプエリアの剛性を考慮する。
東西方向		同上	<ul style="list-style-type: none"> 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。 側壁、隔壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 東側には第3号機取水路が設置され、西側は一樣に盛土で埋め戻されている。 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。 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 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断面を地震時荷重算出断面とする。

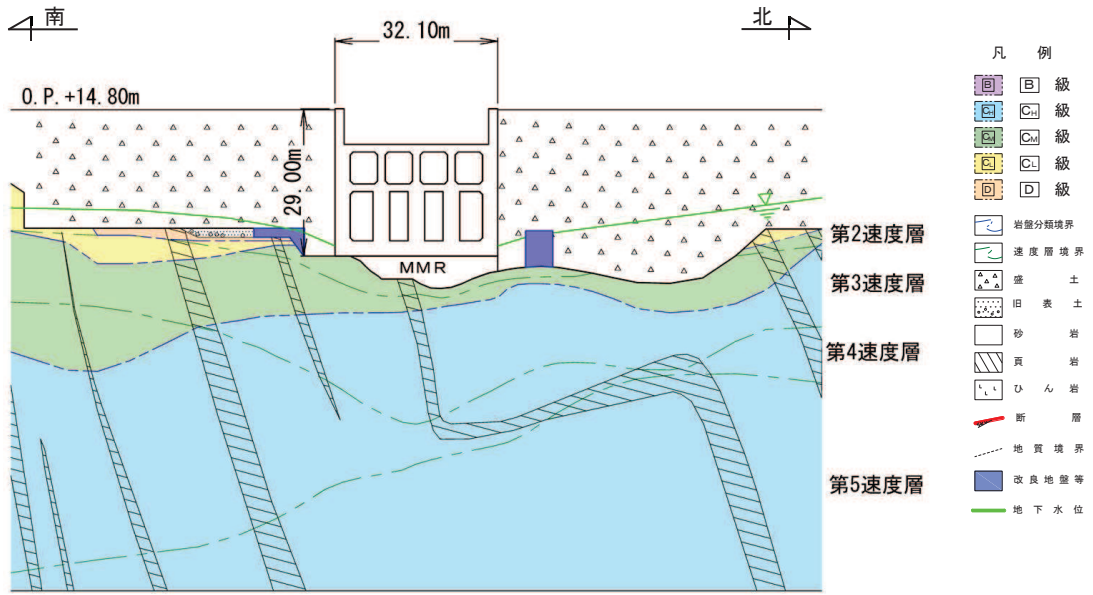


図 4.15-10(1) 第 3 号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図
(南北方向：スクリーンエリア)

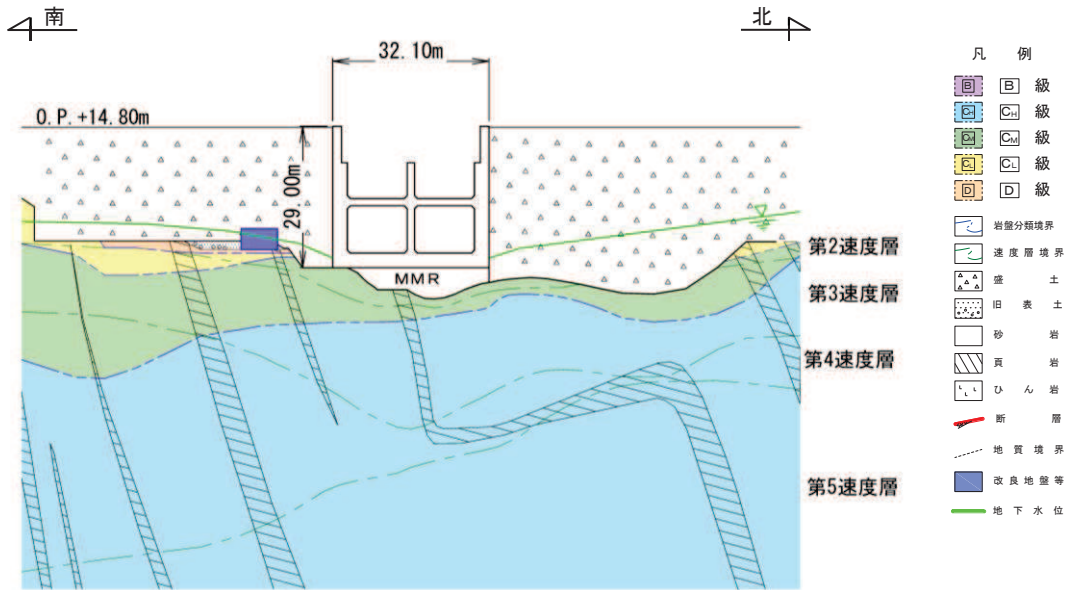


図 4.15-10(2) 第 3 号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図
(南北方向：循環水ポンプエリア)

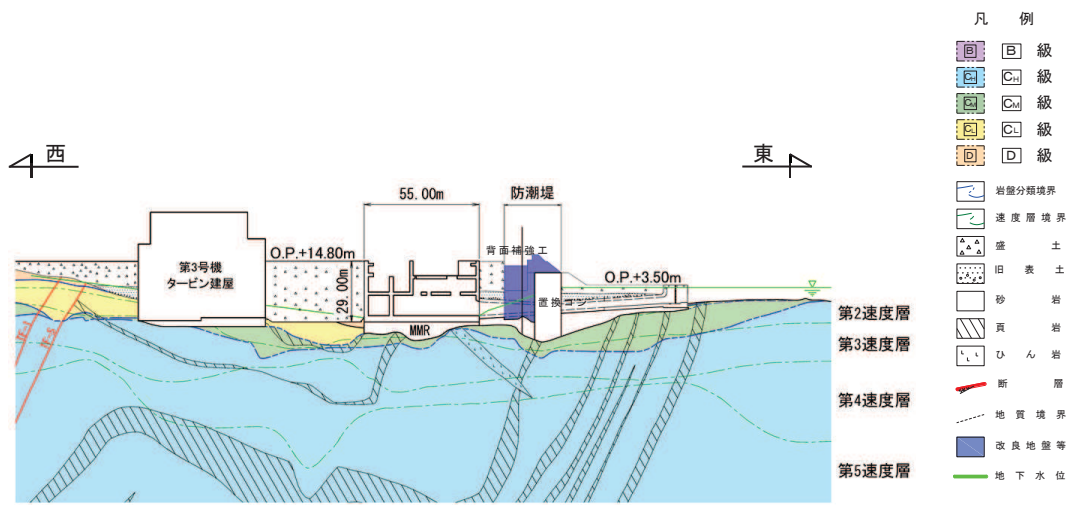


図 4.15-10(3) 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図 (東西方向)

4.15.2 解析手法の選定

第3号機海水ポンプ室の周辺の地下水位は構造物底版上面より低いものの、構造物から遠ざかるにつれ地下水位は上昇することから、全応力解析及び有効応力解析により耐震評価を行う。また、浮上りに対する安全性を確認する。

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を適切に考慮する必要がある。本章では、「4.3 解析手法選定の方針」に基づき選定された解析手法（基本ケース）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) 地盤物性のばらつきを考慮する地盤（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_L 級岩盤、 C_M 級岩盤、 C_H 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) 選定された解析手法と基本ケース（ケース①, ケース⑥）

「4.3 解析手法選定の方針」に基づき周辺地盤の液状化や浮上りの影響を考慮し、基本ケースとする解析手法は、a)全応力解析の場合、b)有効応力解析の場合、c)全応力解析及び有効応力解析の場合に分けられる。

表 5.1-1 耐震安全性評価における基本ケース

解析手法の選定フロー	基本ケース
①全応力解析	ケース①
②全応力解析	ケース①
③有効応力解析	ケース⑥
④全応力解析	ケース①
⑤全応力解析及び有効応力解析	ケース①及びケース⑥

- (3) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（表 5.1-2 及び表 5.1-3 に示すケース②-③及びケース⑦-⑧）

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 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差(σ)のケースについて確認を行う。

具体的には、全応力解析を基本ケース（ケース①）とする場合は、ケース②及びケース③を実施する。有効応力解析を基本ケース（ケース⑥）とする場合は、ケース⑦及びケース⑧を実施する。全応力解析及び有効応力解析を基本ケース（ケース①及びケース⑥）とする場合は、ケース②及びケース③とケース⑦及びケース⑧を実施する。

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。

- (4) 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）。

屋外重要土木構造物等の耐震性に支配的な要因である土圧は、構造物と周囲の地盤の剛性差により生じることから、構造物の剛性が低下し、地盤との剛性差が小さくなることは、耐震裕度が向上することとなる。したがって、屋外重要土木構造物等のコンクリートは設計基準強度に対応する剛性を基本とし、ばらつきの考慮としては、土圧が大きく評価されるようコンクリートの実強度に対応する剛性について確認を行う。なお、屋外重要土木構造物等は、屋外かつ湿潤した地盤に接して地中に埋設されていることから、建物と異なり乾燥する環境にはなく、点検においても温度応力に伴う外的拘束によるひび割れはあるものの、乾燥収縮による有害なひび

割れは確認されておらず、コンクリートの剛性低下は顕在化していない。

一方、機器・配管系の耐震評価においては、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につ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）。

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、JASS 5N の方法により推定される圧縮強度又は日本原子力学会標準の方法により推定される圧縮強度（設計基準強度の 1.4 倍）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し、対応するヤング係数を用いて地震応答解析を行い評価する。

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。

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

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

ここに F : コンクリートの調合強度 (N/mm^2)

F_m : コンクリートの調合管理強度 (N/mm^2)

σ : 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 (N/mm^2)

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）（以下「JASS 5N」という。）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）（以下「日本原子力学会標準」という。）より推定した圧縮強度（詳細は、「参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定」に示す。）

表 5.1-2 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	解析手法	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 _L 級岩盤，C _M 級岩盤， C _H 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)	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	全応力解析	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	全応力解析	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	全応力解析	初期剛性低下考慮	平均値	平均値
ケース⑥ (基本ケース)	有効応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース⑦	有効応力解析	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース⑧	有効応力解析	設計基準強度	平均値 - 1 σ	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。なお，新設構造物については，文献を参照し推定した圧縮強度とする。

*2：機器・配管系の耐震安全性評価で影響を確認する。

表 5.1-3 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_L級岩盤～B級岩盤が分布する場合)

解析ケース	解析手法*3	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 _L 級岩盤，C _M 級岩盤， C _H 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)	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値 + 1 σ
ケース③	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値 - 1 σ
ケース④	全応力解析	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	全応力解析	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で影響を確認する。

*3：パターン 2 は，解析手法選定フローにて全応力解析を実施する排気筒連絡ダクト（岩盤部）のみに適用されているため，パターン 2 による有効応力解析は実施しない。

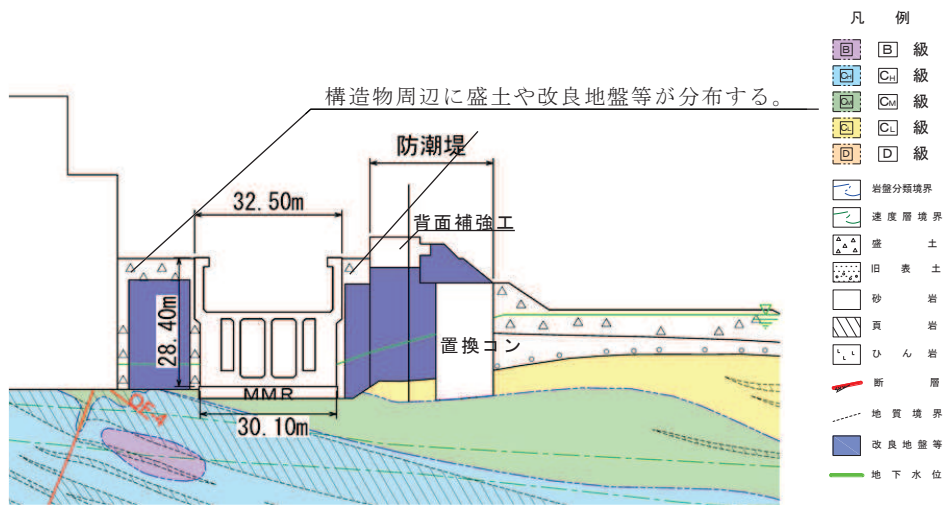


図 5.1-1 (参考例) パターン 1: 海水ポンプ室の例

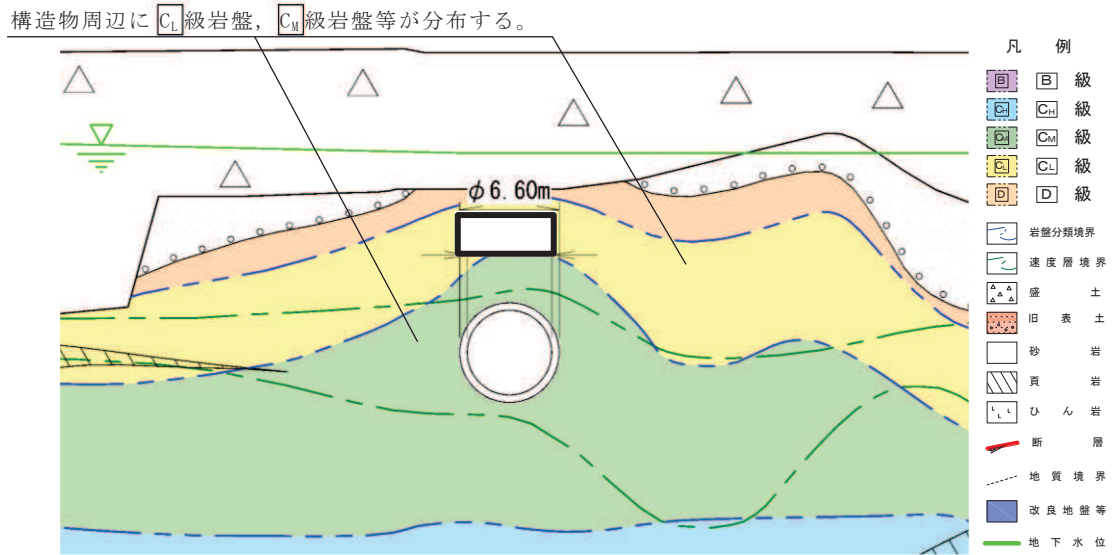


図 5.1-2 (参考例) パターン 2: 排気筒連絡ダクト (岩盤部) の例

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 (14波) に対し、解析手法の選定結果に基づく基本ケースを実施する。具体的には、全応力解析の場合はケース①、有効応力解析の場合はケース⑥、全応力解析及び有効応力解析の場合はケース①及びケース⑥を実施する。

上記のケース①及びケース⑥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の各照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動*を用いて、図 5.2-1 に示すケース②～④又はケース⑦及び⑧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。

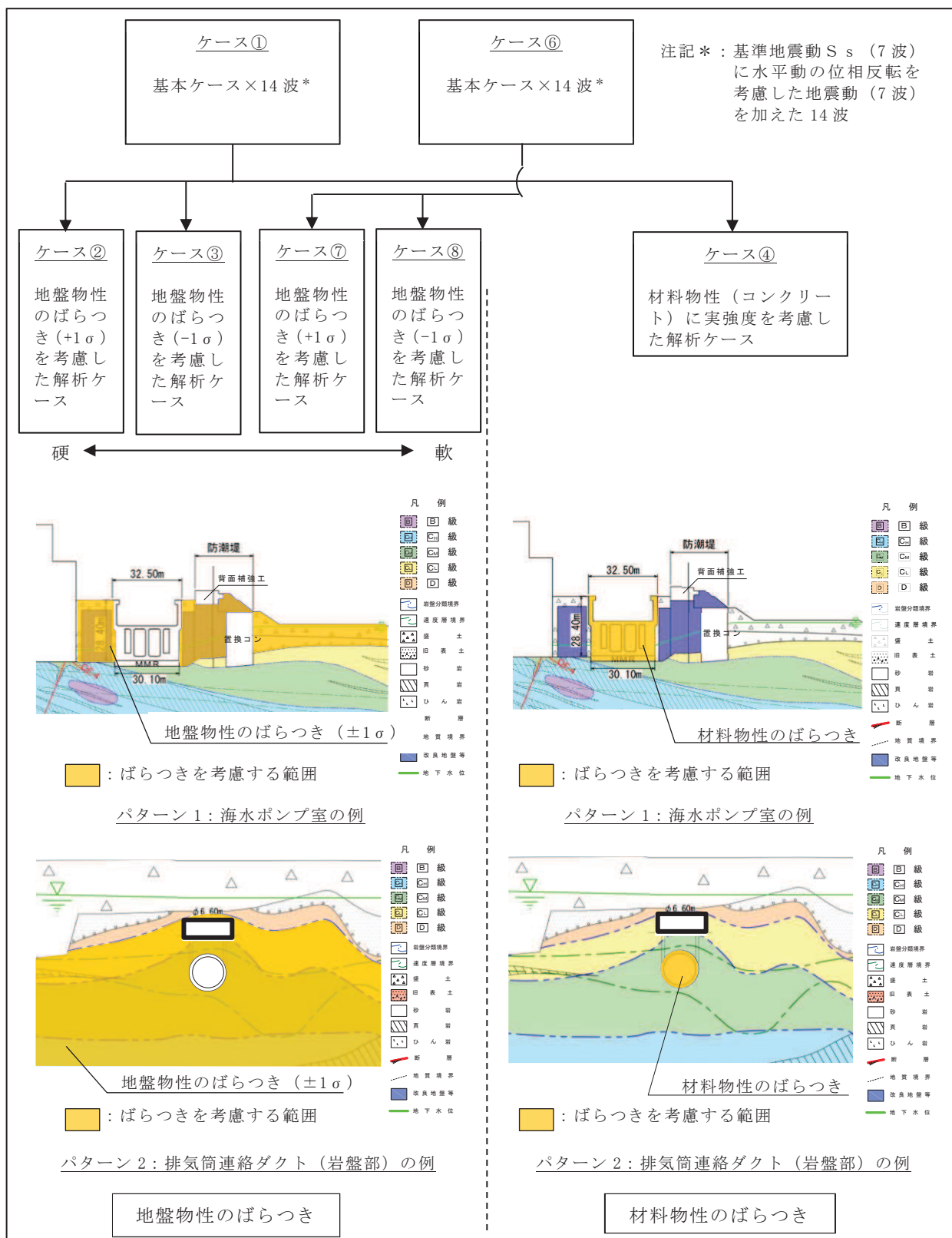


図 5.2-1 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケース

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*3			全応力解析				有効応力解析		
			ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑥	ケース⑦	ケース⑧
			基本ケース	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	基本ケース	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
地盤物性			平均値	平均値+1σ	平均値-1σ	平均値	平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地震動 (位相)	S _s -D1	++*1	○	<p>【追加解析ケースについて】</p> <p>基準地震動 S_s (7波) 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 波に対し、全応力解析及び有効応力解析を実施し、照査を行ったケース①及びケース⑥の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊、基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②～④又はケース⑦及び⑧を実施する。</p> <p>すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④又はケース⑦及び⑧を実施する。</p> <p>また、上記解析ケースの結果を踏まえ、更に照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析ケースを実施する。</p>			○	左記の【追加解析ケースについて】による	
		-+*1	○				○		
	S _s -D2	++*1	○				○		
		-+*1	○				○		
	S _s -D3	++*1	○				○		
		-+*1	○				○		
	S _s -F1	++*1	○				○		
		-+*1	○				○		
	S _s -F2	++*1	○				○		
		-+*1	○				○		
	S _s -F3	++*1	○				○		
		-+*1	○				○		
	S _s -N1	++*1	○				○		
		-+*1	○				○		

注記*1: 耐震評価にあたっては、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 原子力土木委員会, 2005年6月) (以下「土木学会マニュアル」という。) に従い、水平方向の位相反転を考慮する。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: 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。なお、新設構造物については、文献を参照し推定した圧縮強度とする。

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）及び弾性設計用地震動 S_d （7波）を用いて、ケース①に加え、図 5.3-1 に示すケース②～④の解析を実施する。

なお、基準地震動 S_s （7波）についてはケース⑤の影響を確認する。

また、女川原子力発電所の基礎地盤の速度構造はおおむね水平成層であることから、設計用床応答曲線を用いる機器・配管系の評価においては、水平動の位相反転を考慮した地震動の影響は少ないと考えるが、水平動の位相反転を考慮したケースについても影響を確認する。

有効応力解析における床応答は、地盤物性のばらつき（ -1σ ）を考慮した解析ケース（ケース⑧）により影響を確認する。

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。

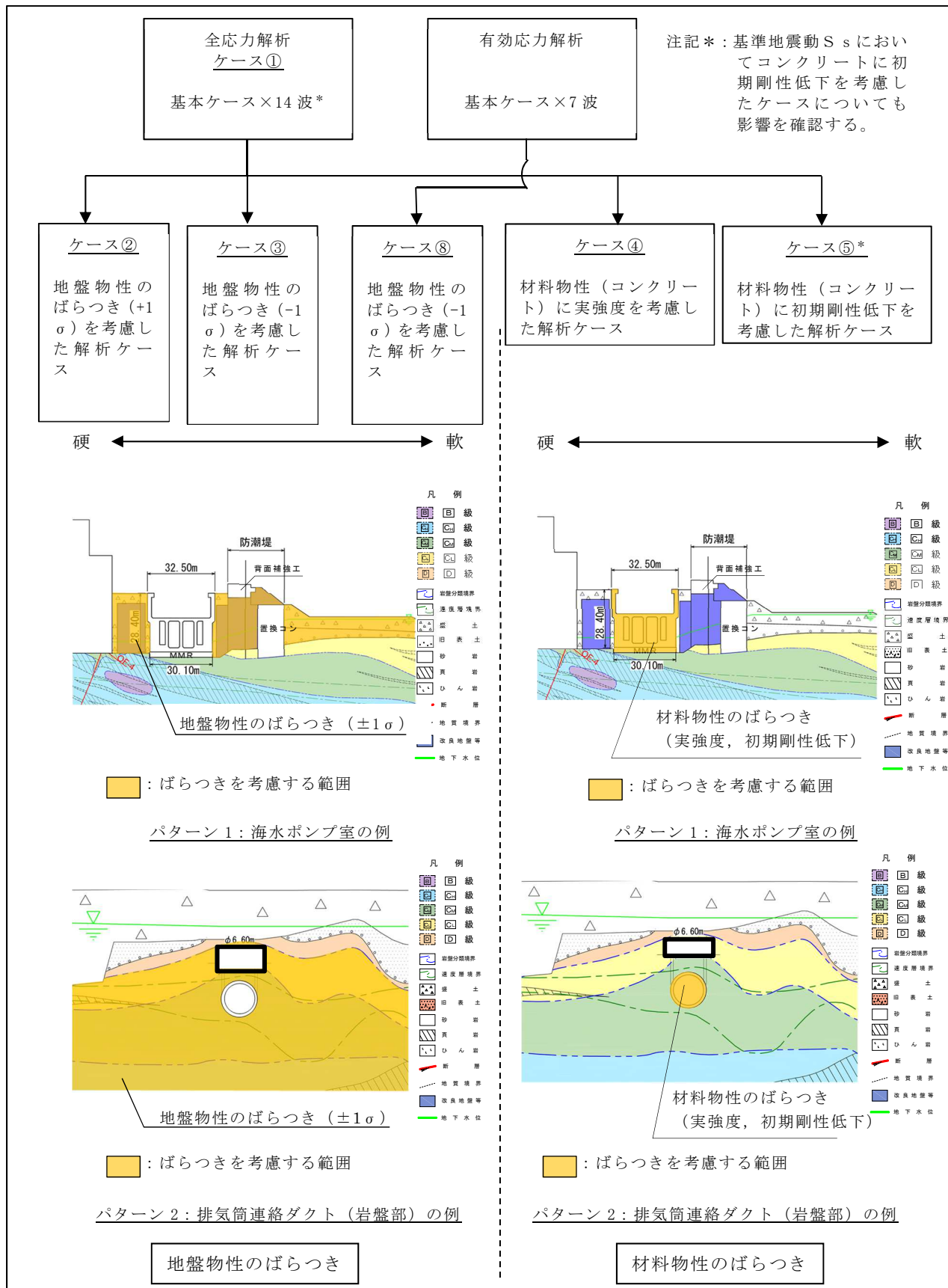


図 5.3-1 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース

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 (1)

機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース (基準地震動 S_s)

解析ケース*3		全応力解析					有効応力解析	
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑧	
		基本ケース*2	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) 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) に剛性低下を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値	平均値	平均値-1 σ	
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2	剛性低下に基づく圧縮強度*4	設計基準強度	
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*1	○	○	○	○	△	△
		-+*1	△	—	—	—	—	—
	$S_s - D 2$	++*1	○	○	○	○	△	△
		-+*1	△	—	—	—	—	—
	$S_s - D 3$	++*1	○	○	○	○	△	△
		-+*1	△	—	—	—	—	—
	$S_s - F 1$	++*1	○	○	○	○	△	△
		-+*1	△	—	—	—	—	—
	$S_s - F 2$	++*1	○	○	○	○	△	△
		-+*1	△	—	—	—	—	—
	$S_s - F 3$	++*1	○	○	○	○	△	△
		-+*1	△	—	—	—	—	—
	$S_s - N 1$	++*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: 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。なお, 新設構造物については, 文献を参照し推定した圧縮強度とする。

*3: ○は設計に用いる解析ケースを示し, △は影響検討ケースを示す。

表 5.3-1 (2) 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース
(弾性設計用地震動 S d)

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本 ケース	地盤物性の ばらつき (+1 σ)を 考慮した解 析ケース	地盤物性のば らつき (- 1 σ)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	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準 強度	設計基準 強度	設計基準 強度	実強度に 基づく圧縮強 度 ^{*2}
地震動 (位相)	S d-D 1	++ ^{*1}	○	○	○
	S d-D 2	++ ^{*1}	○	○	○
	S d-D 3	++ ^{*1}	○	○	○
	S d-F 1	++ ^{*1}	○	○	○
	S d-F 2	++ ^{*1}	○	○	○
	S d-F 3	++ ^{*1}	○	○	○
	S d-N 1	++ ^{*1}	○	○	○

注記*1：地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表す。

*2：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。なお，新設構造物については，文献を参照し推定した圧縮強度とする。

6. 許容限界

屋外重要土木構造物等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、許容応力度を許容限界とし、発生応力度が許容限界を下回ることを確認する。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、各要求機能のすべ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 ²)	割増し係数* ¹	短期許容 応力度 (N/mm ²)	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' c k=20.5N/mm ²	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' c k=24N/mm ²	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' c k = 20.5 N/mm² 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、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を下回る等の、部材降伏に対する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 μ	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 μ (SD345)	
せん断破壊	面内せん断ひずみ	2/1000 (2000 μ)	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、部材コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 2000 μ と、鉄筋の降伏強度に対応するひずみ 1725 μ 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。

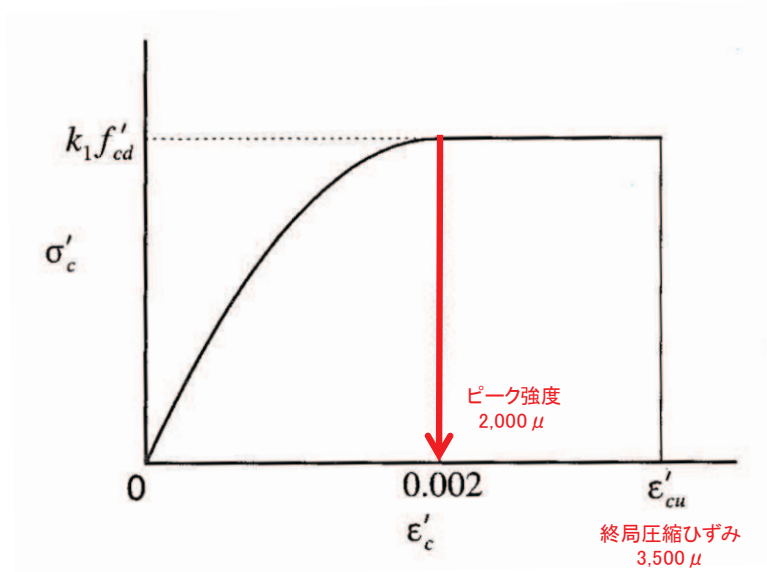


図 6.2.1-1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

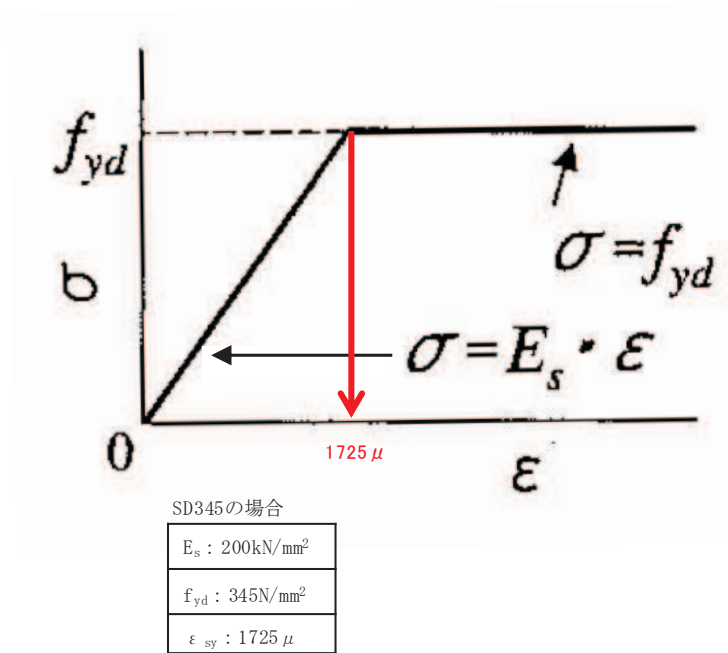


図 6.2.1-2 鉄筋及び構造用鋼材の応力-ひずみ曲線

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% (10000μ)、せん断破壊については、面内せん断に対しては面内せん断ひずみ $2/1000$ (2000μ)、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% (10000μ)	
せん断破壊	面内せん断ひずみ	$2/1000$ (2000μ)	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面内せん断ひずみ $4/1000$ (4000μ) 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% (10000μ) 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。

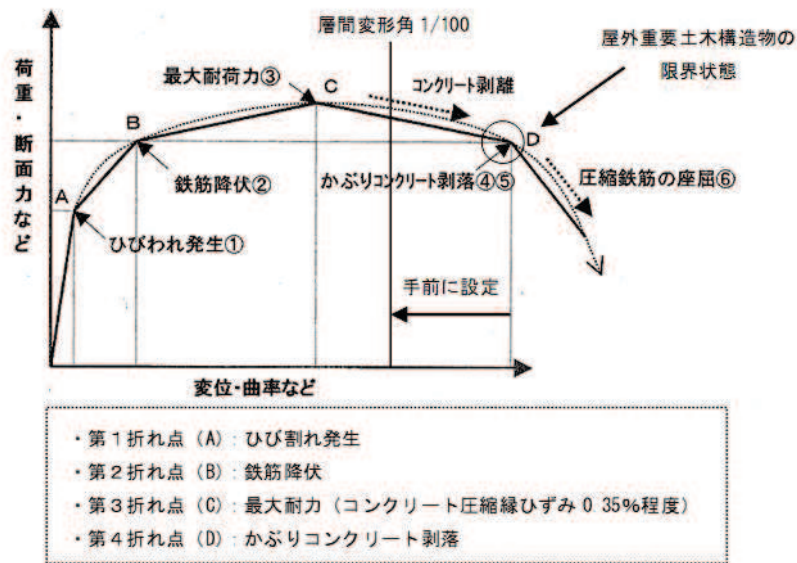


図 6.2.2-1 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図 (土木学会マニュアル 2005 に加筆)

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面内せん断ひずみ $4/1000$ と規定されており、終局状態の面内せん断ひずみ $4/1000$ に安全率 2 を有するように面内せん断ひずみ $2/1000$ を設定する。

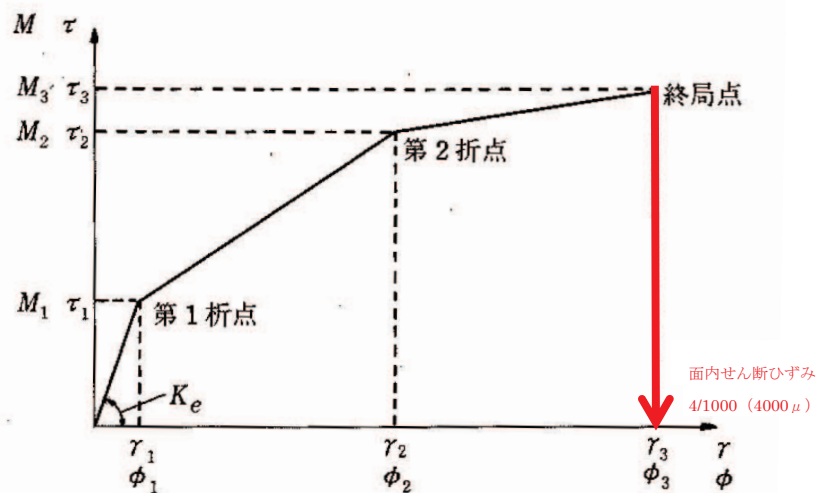


図 6.2.2-2 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ (τ - γ 関係)

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ことにより確認する。

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。

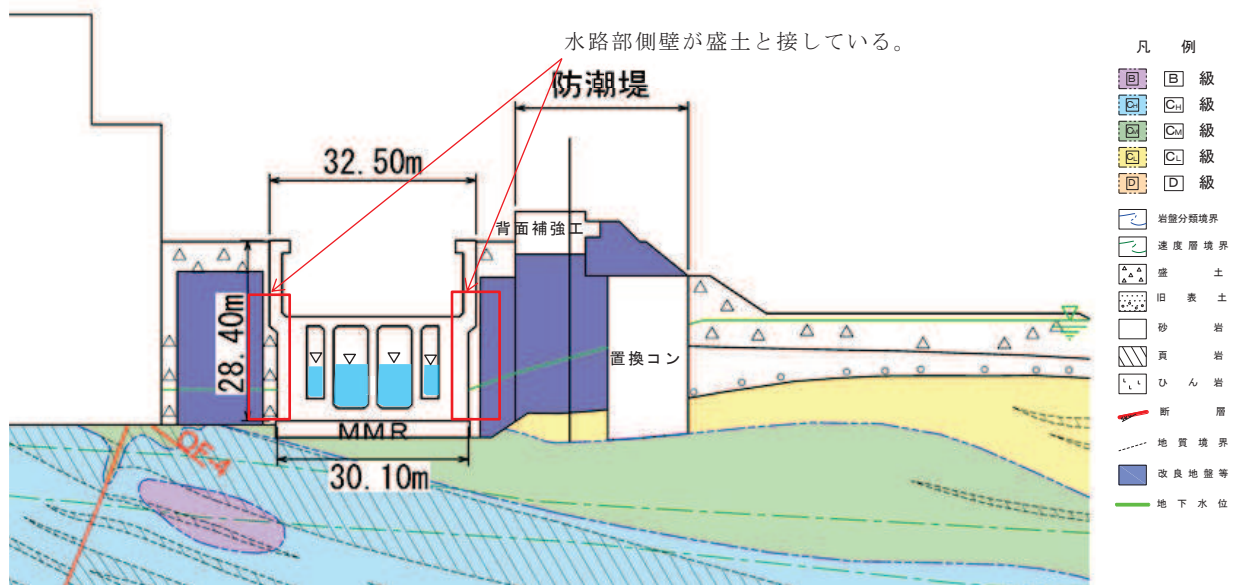
貯水機能が求められる構造物の周辺は、構造物底面は MMR と、側面は透水性の小さい盛土と接しており、部材を貫通するようなひび割れが生じても、ひび割れからの漏えい量は少なく、貯水機能は満足されることを確認している（図 6.2.3-1 参照）。

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、面内せん断ひずみが図 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 (γ_1) を下回ることを許容限界と設定する。

第 1 折点 (γ_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 (γ_1) を下回る場合、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 (γ_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* ¹ (A)	必要とする容量* ² (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 ³	2971m ³	約 1329m ³	約 31m ³

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*³

*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*³




*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 μ	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 μ (SD345)	
せん断破壊	面内せん断ひずみ	第1折点 (γ_1) を下回ること。 ただし、第1折点 (γ_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 ^{※1}	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 ^{※2}	断面力（曲げ、せん断）、応 力度	断面力（曲げ、せん断）、塑 性率	変位量、曲率、断面力（せん 断）
照査用 限界値例 ^{※3}	断面力（曲げ） \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

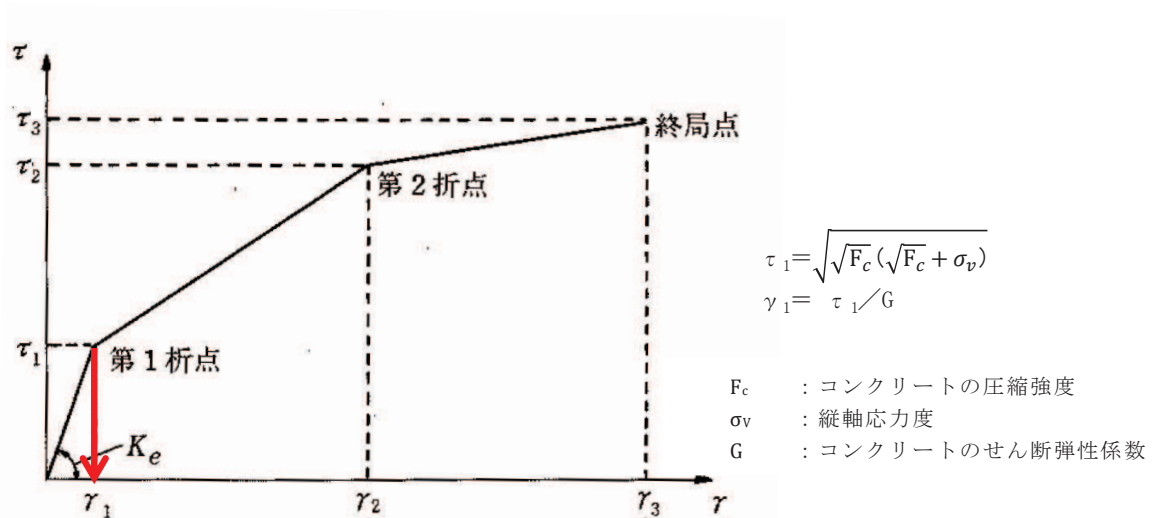


図 6.2.3-2 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ τ - γ 関係）と評価式

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、貯水機能と同様に面内せん断ひずみがスケルトンカーブの第1折点（ γ_1 ）を下回ることを許容限界と設定し、第1折点（ γ_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。

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 μ	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 μ (SD345)	
せん断破壊	面内せん断ひずみ	第1折点（ γ_1 ）を下回ること。 ただし、第1折点（ γ_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 を下回ることを確認する。

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。

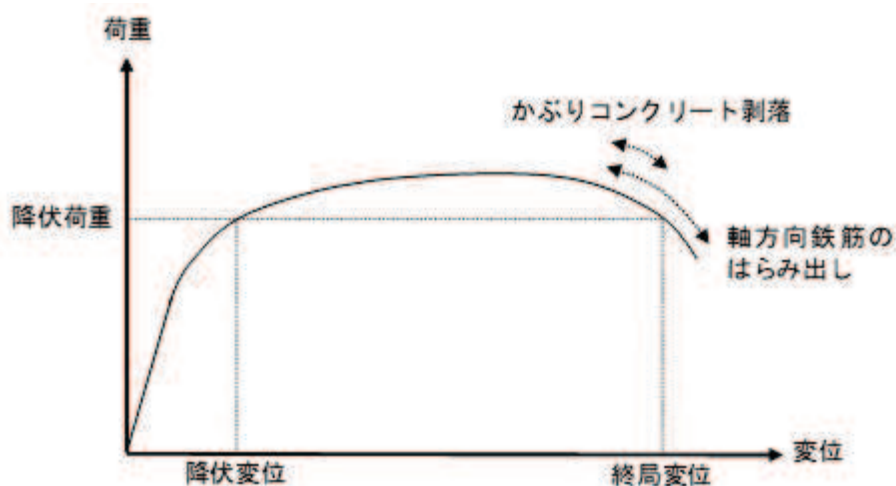


図 6.3.1-1 コンクリート標準示方書 2002 による構造部材の終局変位の考え方

一方，土木学会マニュアル 2005 では，以下の考え方に基づいている。

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。

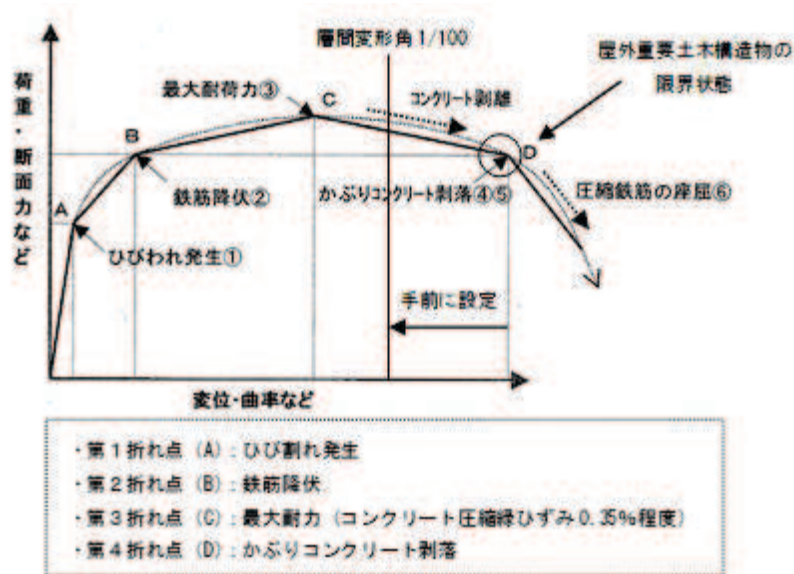


図 6.3.1-2 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図（土木学会マニュアル 2005 に加筆）

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 μ) 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/mm² 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 μ) 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。

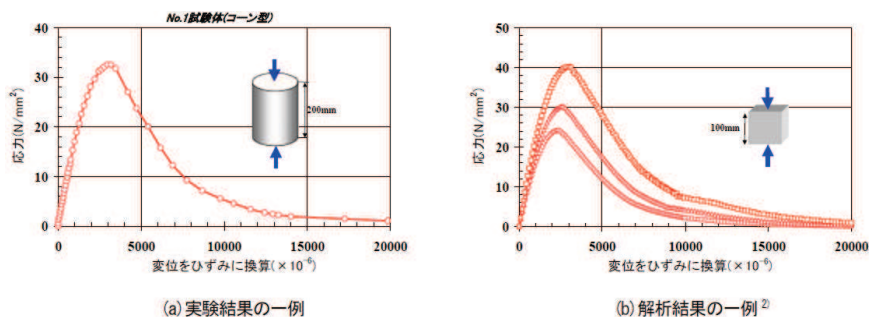


図 6.3.1-3 コンクリートの圧縮ひずみが 1.0% (10000 μ) 時点における残留応力（土木学会マニュアル 2005 より引用）

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 μ) 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。

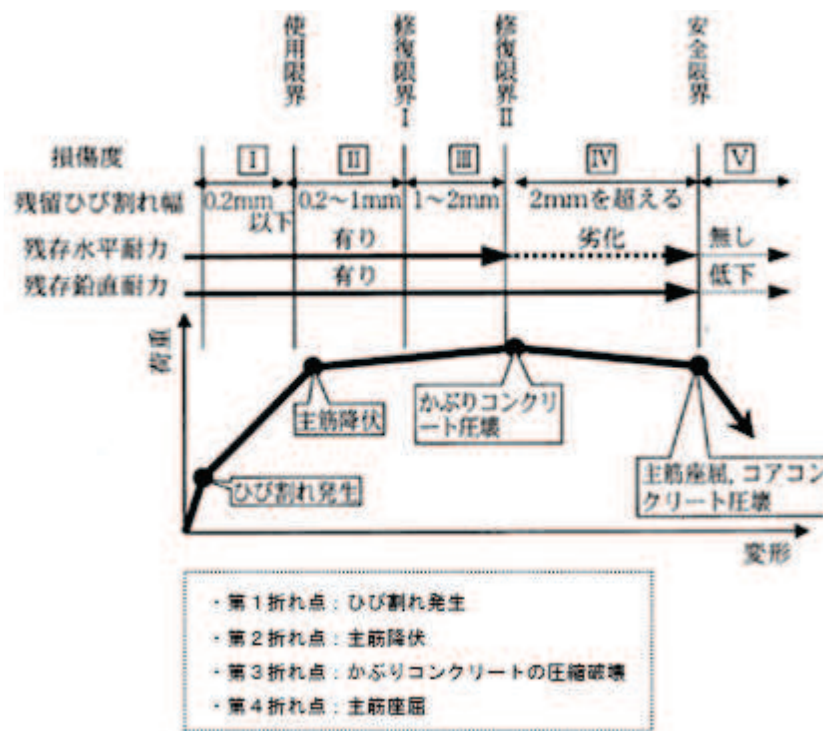


図 6.3.1-4 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態の関係の概念図 (建築学会に加筆)

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、せん断耐力を下回ることを確認する。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	$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$ $V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$	$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$ $V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a / d}$
	$\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v / d)^2}$	$\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v / d)^2}$
ディープビーム	$V_{y d d} = V_{c d d} + V_{s d d}$ $V_{c d d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{d d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$	$V_{y d d} = V_{c d d} + V_{s d d}$ $V_{c d d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{d d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
	$\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v / d)^2}$	$\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v / d)^2}$
	<p>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</p>	<p>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</p>

土木学会マニュアル 2005 では、コンクリート標準示方書 2002 におけるせん断耐方式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数 β_a を考慮している。これは、屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることによ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 のせん断耐方式を精緻化したものである。当該せん断耐方式は、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。

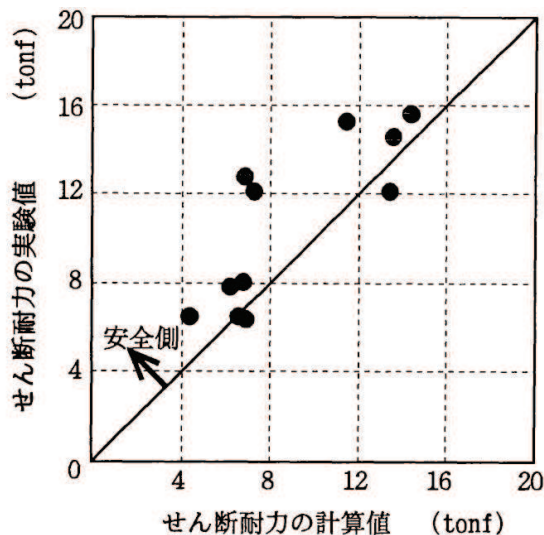


図 6.3.2-1 せん断耐力算定法の妥当性の検証
(参考文献 (1) より引用)

(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。

(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	

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

「地盤と構造物（MMR 含む）」、「地盤と改良地盤」及び「構造物と MMR」（以下「地盤と構造物等」という。）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、地盤又は MMR は構造物及び改良地盤から剥離する特徴がある。また、「地盤と構造物等」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、構造物（MMR 含む）及び改良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、地震時における実挙動を正確に把握するために、「地盤と構造物等」の接合面にジョイント要素を設定し、地震時の「地盤と構造物等」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、「地盤と構造物等」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、「地盤と構造物等」の接合面において、地盤、構造物（MMR 含む）及び改良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。図 7-1 にジョイント要素の力学特性、図 7-2 にジョイント要素の配置図（取水路（漸拡部）の例）を示す。

図 7-2 の取水路（漸拡部）の例に示すとおり、屋外重要土木構造物の解析断面で確認される「地盤と構造物（MMR 含む）」、「地盤と改良地盤」及び「構造物と MMR」の接合面にジョイント要素を設定する。なお、防潮堤のように背面補強工（コンクリート）と改良地盤の水平境界及びセメント改良土とコンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいことから、ジョイント要素を設定しない。

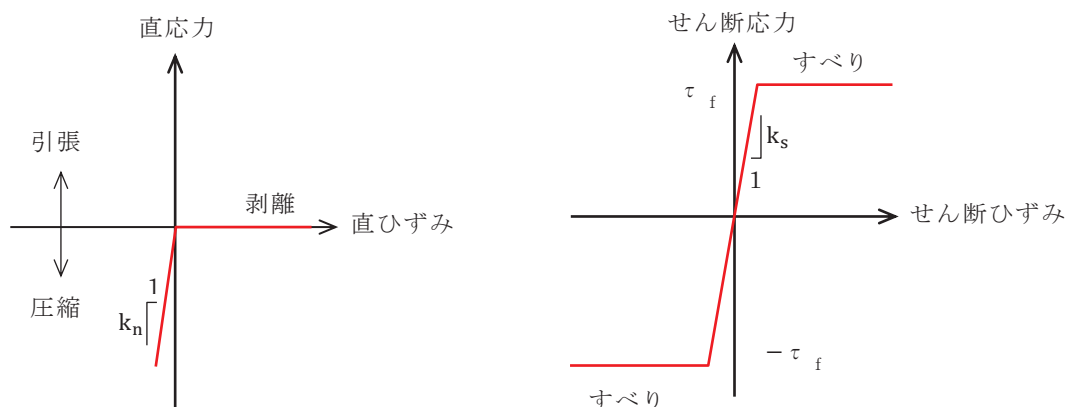


図 7-1 ジョイント要素の力学特性

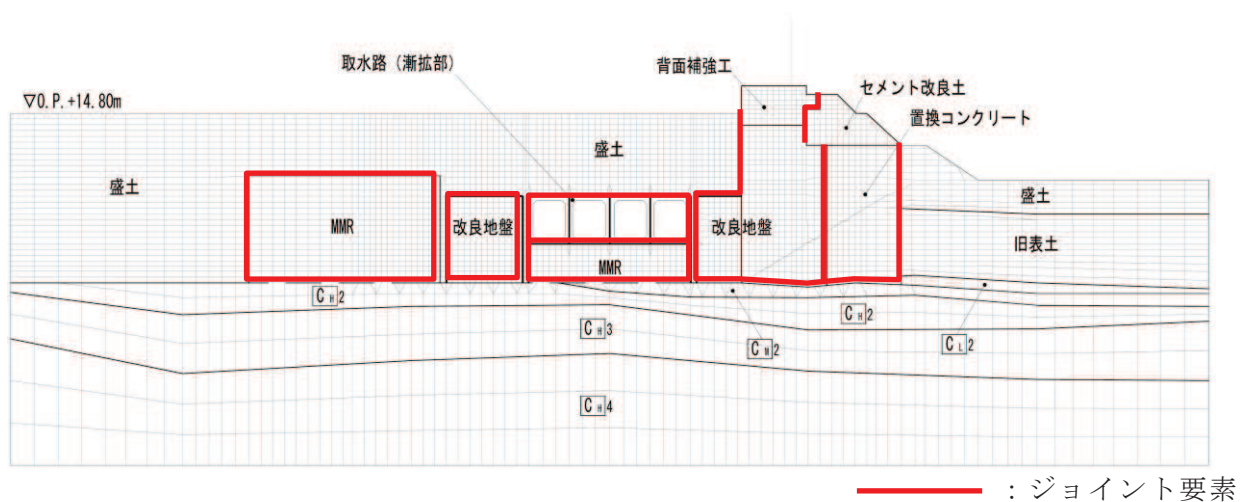


図 7-2 ジョイント要素の配置図 (取水路 (漸拡部) の例)

7.1 せん断強度の設定

せん断強度 τ_f は式 (1) の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ は、周辺地盤の c 、 ϕ とし、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に基づき表 7-1 ~ 表 7-2 のとおりとする。また、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、改良地盤又は構造物 (MMR 含む) の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ を表 7-3 のとおり設定する。

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

ここに、 τ_f : せん断強度

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角

屋外重要土木構造物等は、主に地表面以下に設置された地中構造物であり、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、ジョイント要素のせん断強度を大きく設定することで、すべりの発生を抑え、地震時における構造物のせん断変形を抑制しない保守的な耐震評価を行うことができる。

ジョイント要素のせん断強度の設定における保守性として、防潮堤の置換コンクリートのせん断強度は、 $c = 0.2 f' c k$ 、 $\phi = 0^\circ$ としているが、MMR のジョイント要素の設定における c 、 ϕ 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 $c = 0.199 f' c k$ 、 $\phi = 40^\circ$ 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を ACI レポート (1970) を

参照した c , ϕ とすることで、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に基づくせん断強度よりも大きなせん断強度となる。

表 7-1 (1) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (狐崎部層)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
C _M 級*	0.49	47.0
C _H 級*	1.72	43.0

注記* : 砂岩

表 7-1 (2) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (牧の浜部層)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
C _M 級*	0.78	50.0
C _H 級*	1.29	54.0

注記* : 砂岩

表 7-2 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (共通)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
盛土* ¹	0.10	33.9
盛土* ²	0.06	30.0
旧表土* ¹	0.00	38.7
旧表土* ²	0.08	26.2
セメント改良土	0.65	44.3
改良地盤	1.39	22.1
D級	0.10	24.0
C _L 級	0.46	44.0
MMR	$c=0.199f'_{ck}$ * ³	40.0

注記*1 : 地下水位以浅

*2 : 地下水位以深

*3 : 設計基準強度

表 7-3 要素間の粘着力と内部摩擦角

条件	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
盛土・旧表土－改良地盤	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
盛土・旧表土－MMR	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
盛土・旧表土－構造物	盛土・旧表土 c	盛土・旧表土の ϕ
改良地盤－岩盤 (D級, C _L 級, C _M 級)	岩盤の c	岩盤の ϕ
改良地盤－岩盤 (C _H 級)	改良地盤の c	改良地盤の ϕ
改良地盤－セメント改良土	セメント改良土の c	セメント改良土の ϕ
岩盤－構造物	岩盤の c	岩盤の ϕ
岩盤－MMR	岩盤の c	岩盤の ϕ
構造物－MMR	MMR の c	MMR の ϕ
背面補強工－盛土・旧表土	盛土・旧表土 c	盛土・旧表土 ϕ
背面補強工－セメント改良土	セメント改良土の c	セメント改良土の ϕ
置換コンクリート－盛土・旧表土	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
置換コンクリート－岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート－改良地盤	改良地盤の c	改良地盤の ϕ

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 (C)	せん断強 度 (S)	$\tan \phi$	S/C
			kg/cm ²	kg/cm ²		
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

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

粘着力 $c = 0.199 f'_{ck}$

・ 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, $\phi = 40.36 \div 40^\circ$ と設定

図 7-2 MMR の c , ϕ の設定 (参考文献(1)参照)

7.2 ばね定数の設定

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
 ν : 地盤のポアソン比
 B : 基礎幅
 L : 基礎長さ
 β_z, β_x : 形状係数

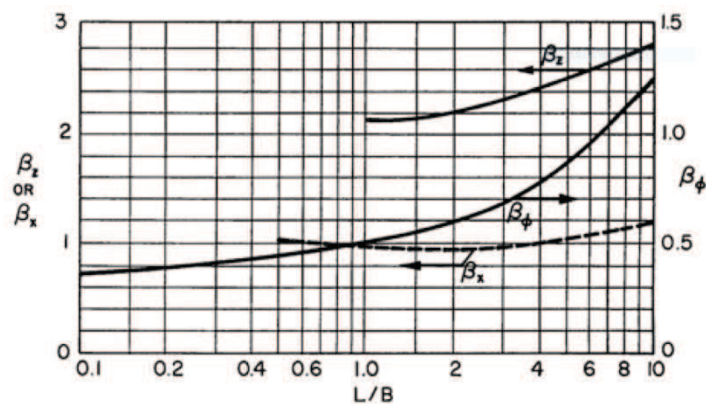


図 7-3 ばね定数算定のための形状係数

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 7-4 に設定したジョイント要素のばね定数を示す。

表 7-4 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 (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
盛土, 旧表土	側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤, セメント改良土, 改良地盤, MMR	側方及び底面	1.0×10^7	1.0×10^7

なお、表 7-4 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. 隣接構造物のモデル化方針

隣接構造物のモデル化は、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て設定する。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 8-1 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

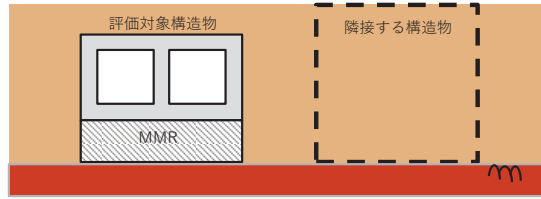
地中構造物の耐震評価においては、盛土よりも剛性の大きい隣接構造物をモデル化することにより、周辺地盤の変形が抑制されると考えられる。よって、評価対象構造物に作用する土圧を保守的に評価するため、隣接構造物の設置範囲を盛土としてモデル化する。

(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

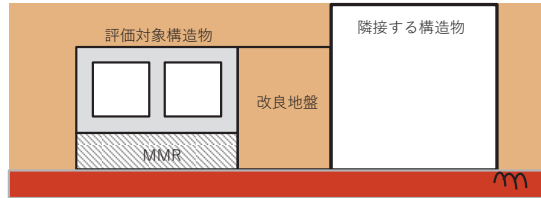
評価対象構造物と隣接構造物の間に剛性の大きい改良地盤が存在する場合には、隣接構造物の地震時応答が剛性の大きい改良地盤を介して評価対象構造物に伝達することが考えられる。よって、隣接構造物が改良地盤を介して評価対象構造物に与える影響を考慮するため隣接構造物をモデル化する。

(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

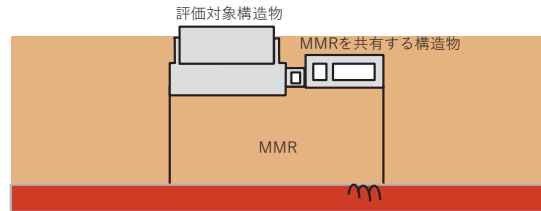
評価対象構造物が隣接構造物とマンメイドロック（以下「MMR」という。）を共有して設置されている場合には、共有する MMR とともに互いに影響を受けながら振動するため、隣接構造物をモデル化する。



(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 8-1 評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例

9. 地震応答解析における減衰定数

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

履歴減衰は、応力－ひずみ関係の非線形性に起因する減衰であり、履歴曲線が面積を持つとき、その分だけ力学的なエネルギーが失われ、振動が小さくなる現象として現れる。構造物の履歴減衰は構造部材の非線形性（曲げモーメント－曲率関係又はコンクリート、鉄筋の応力－ひずみ関係）の程度に応じた値、地盤の履歴減衰は地盤の非線形性（せん断剛性－せん断ひずみ関係）の程度に応じた値となる。

粘性減衰は、時刻歴数値解析において急変時等に対して計算を安定させるために用いられる数値粘性の一種で、解析モデルに減衰を付加するものであり、実現象に影響を与えない程度に小さな減衰として与えることが推奨される。今回採用する Rayleigh 減衰は、実務的によく用いられる粘性減衰であり、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で式 (9.1) のとおり表される。

女川の屋外重要土木構造物の耐震計算では、Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与えており、固有値解析にて求められる解析モデル全体の固有周期と各材料の減衰比に基づき設定している。

なお、構造物及び地盤のモデル化方法（線形又は非線形）によらず、係数 α 、 β の設定方法は同一としており、構造物及び地盤を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみを設定する。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k] \quad \dots \dots \dots \text{式 (9.1)}$$

[c]：減衰係数マトリックス，[m]：質量マトリックス，

[k]：剛性マトリックス

α ， β ：係数

9.1 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（ α ， $\beta > 0$ ）による Rayleigh 減衰を設定する。Rayleigh 減衰の設定フローを図 9.1-1 に示す。

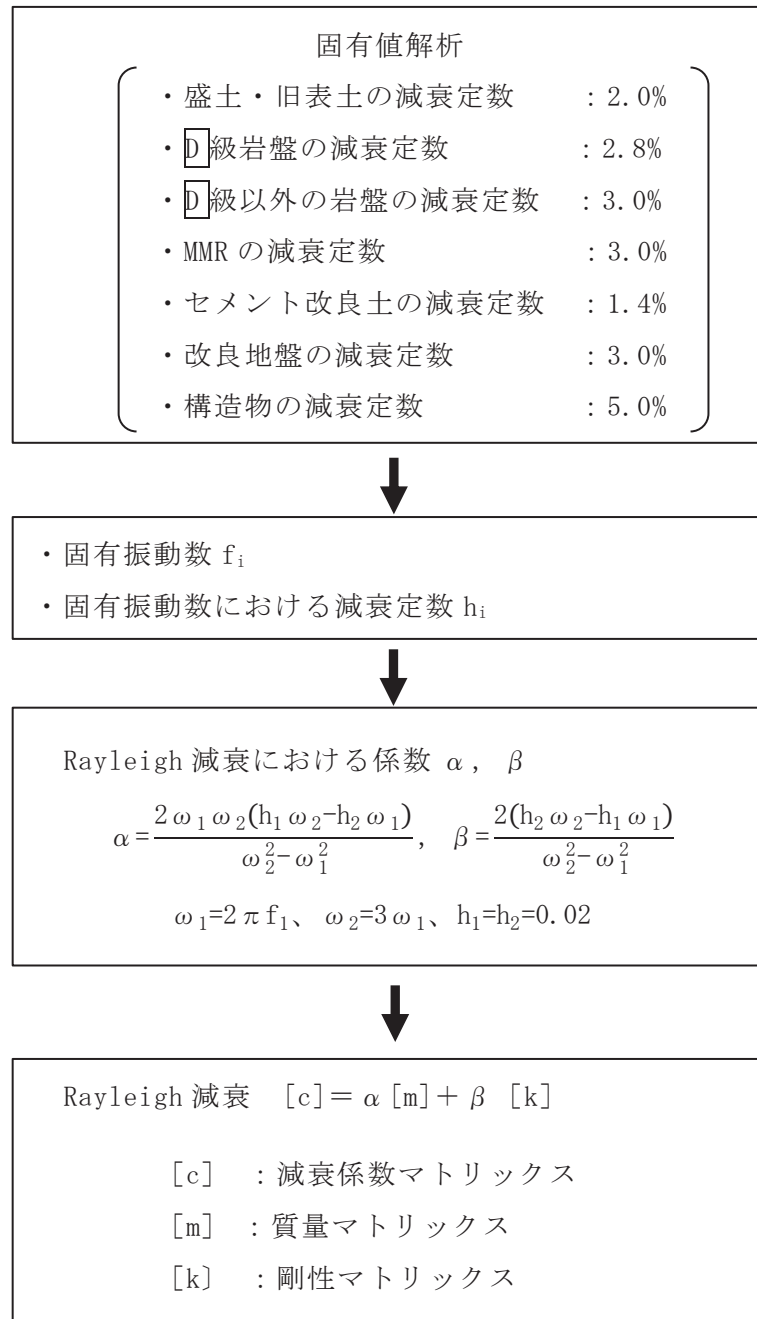


図 9.1-1 Rayleigh 減衰の設定フロー

減衰定数 (h_1 , h_2) については、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。

Rayleigh 減衰における係数 α , β 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おいて、過大な減衰とならないよう定めている。

1 次固有振動数 (f_1) は、地震応答解析の解析モデルの固有値解析結果から算定する。2 次固有振動数 (f_2) は、図 9.1-2 に示すとおり、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、固有値解析から算定した 1 次固有振動数の 3 倍とする。

2 次固有振動数を 1 次固有振動数の 3 倍として設定することの保守性を確認するために、2 次固有振動数を 1 次固有振動数と同様に地震応答解析モデルの固有値解析結果から算定し設定した Rayleigh 減衰との比較を行う。対象構造物は、構造物の周囲に盛土が多く分布しおおむね水平成層地盤となっている軽油タンク室（南北方向）、構造物の周囲に改良地盤が幅広に分布している取水路（標準部（断面⑥））、構造物の周囲に改良地盤や MMR 及び隣接構造物として防潮堤をモデル化している取水路（漸拡部）とする。それぞれの地震応答解析モデル図と設定した Rayleigh 減衰を図 9.1-3、図 9.1-4 及び図 9.1-5 に示す。

図 9.1-3、図 9.1-4 及び図 9.1-5 に示すように、構造物周囲の地質状況に係わらず 2 次固有振動数を 1 次固有振動数の 3 倍とした方が、各振動数における減衰が小さくなり保守的な設定であることが確認できる。

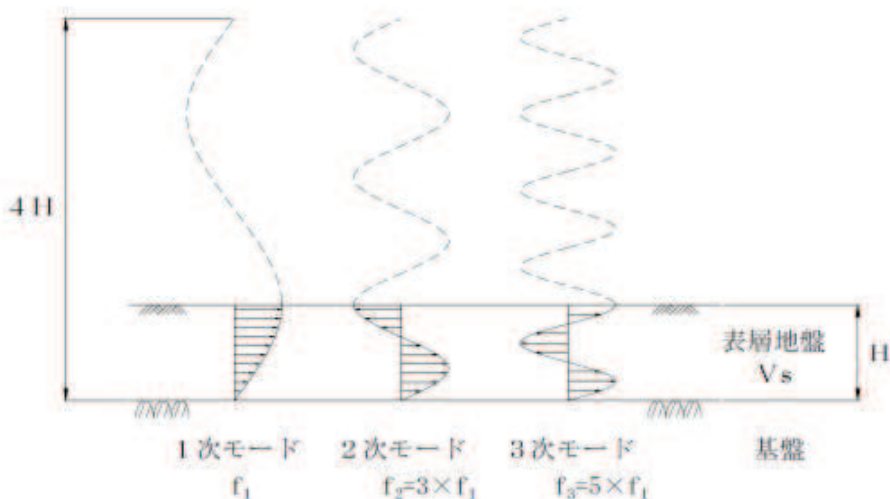
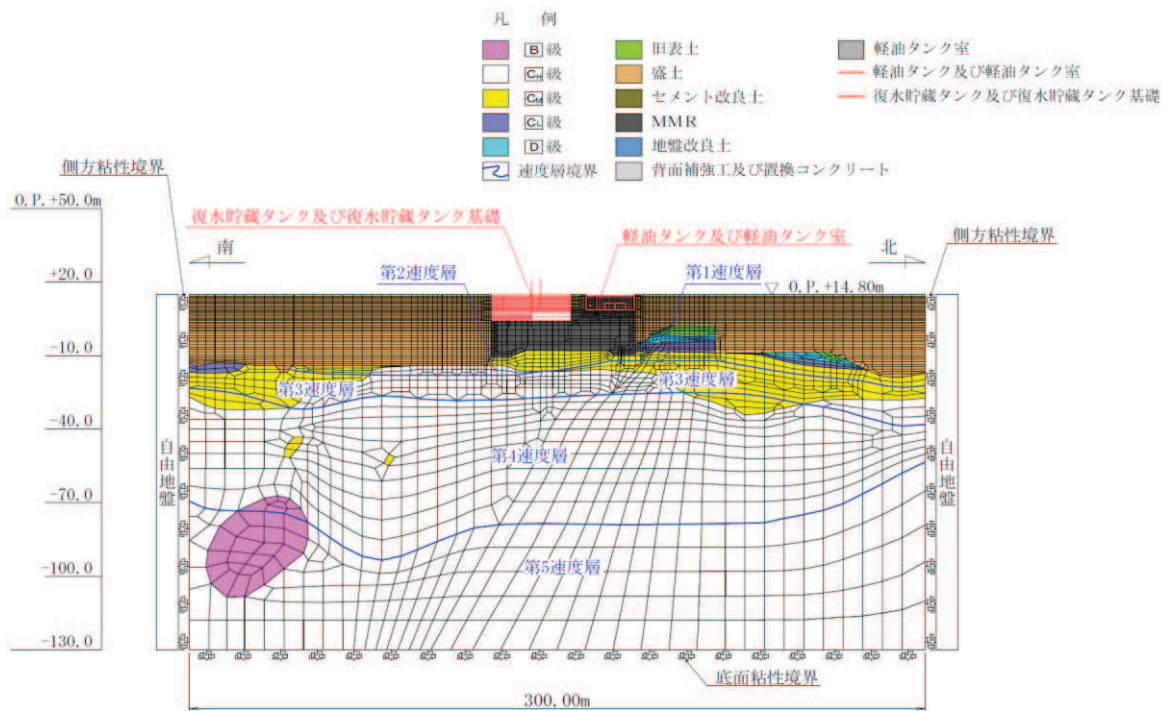
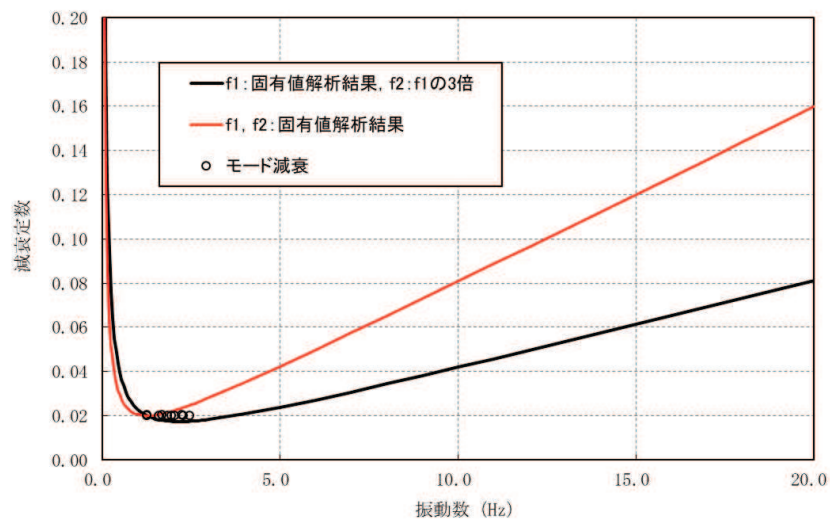


図 9.1-2 セン断振動の固有振動モード
(実務に役立つ耐震設計入門（土木学会，2011））

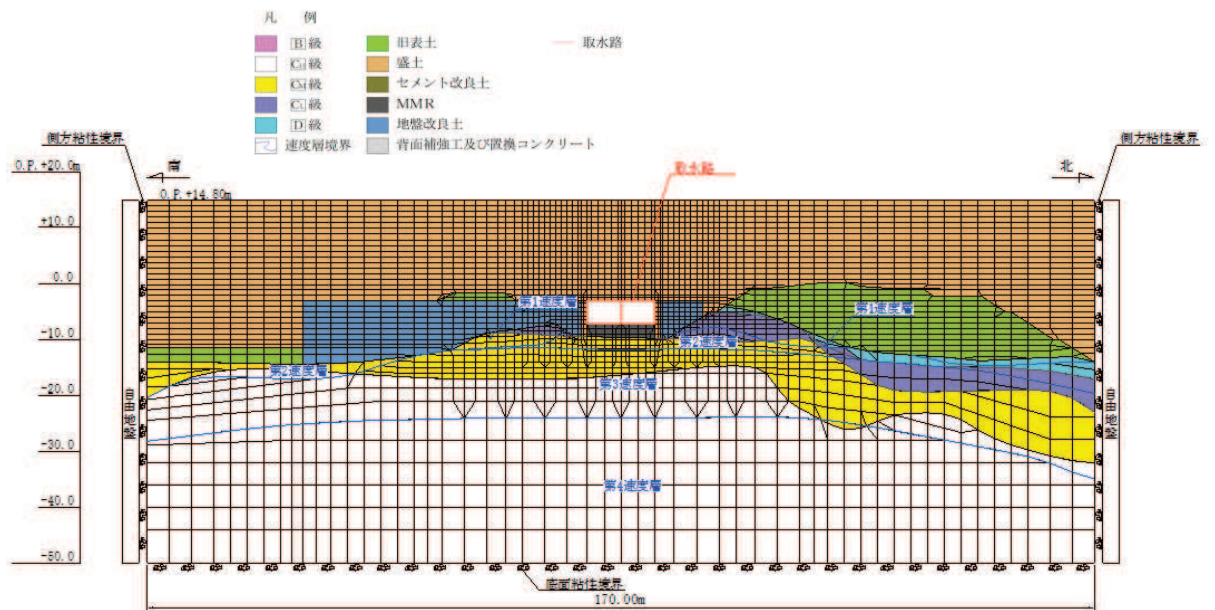


地震応答解析モデル

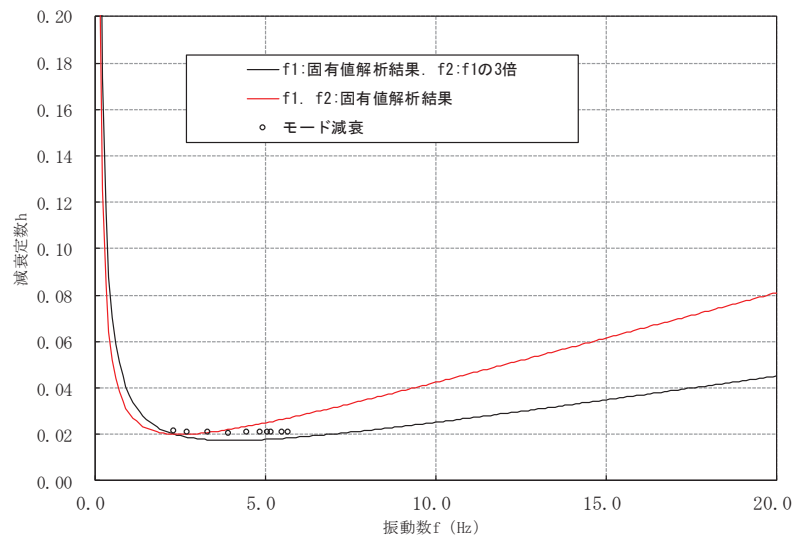


Rayleigh 減衰

図 9.1-3 Rayleigh 減衰の比較 (軽油タンク室 (南北方向))

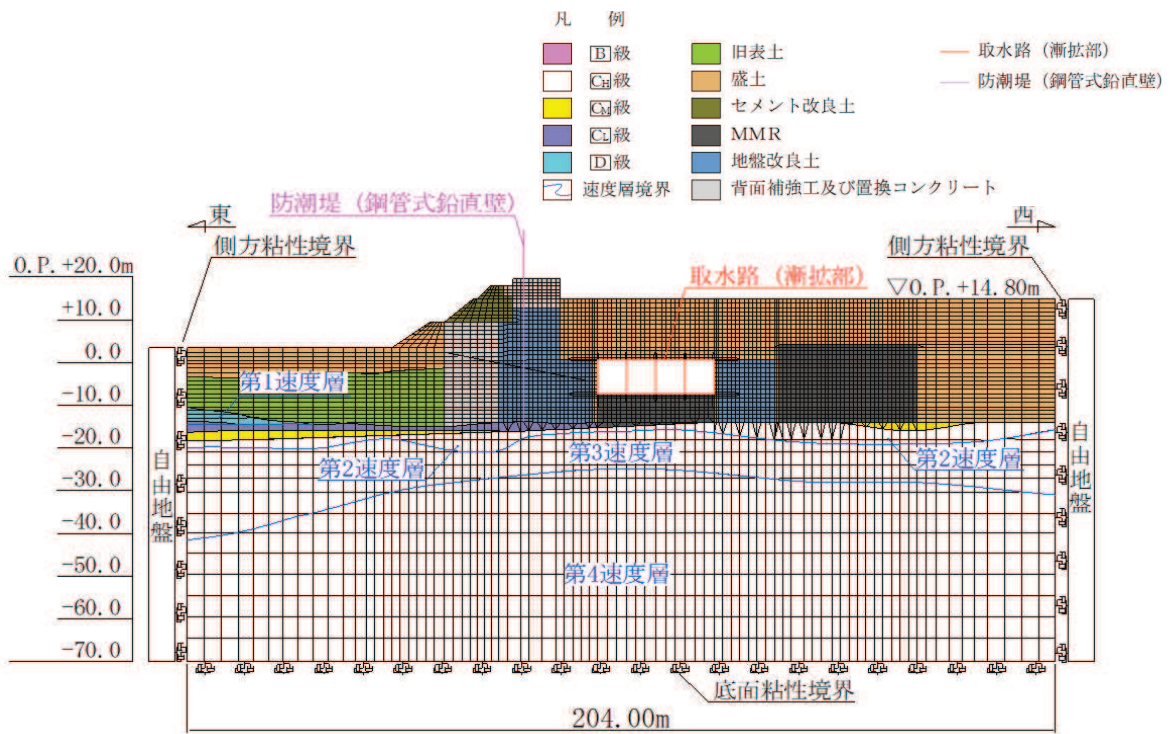


地震応答解析モデル

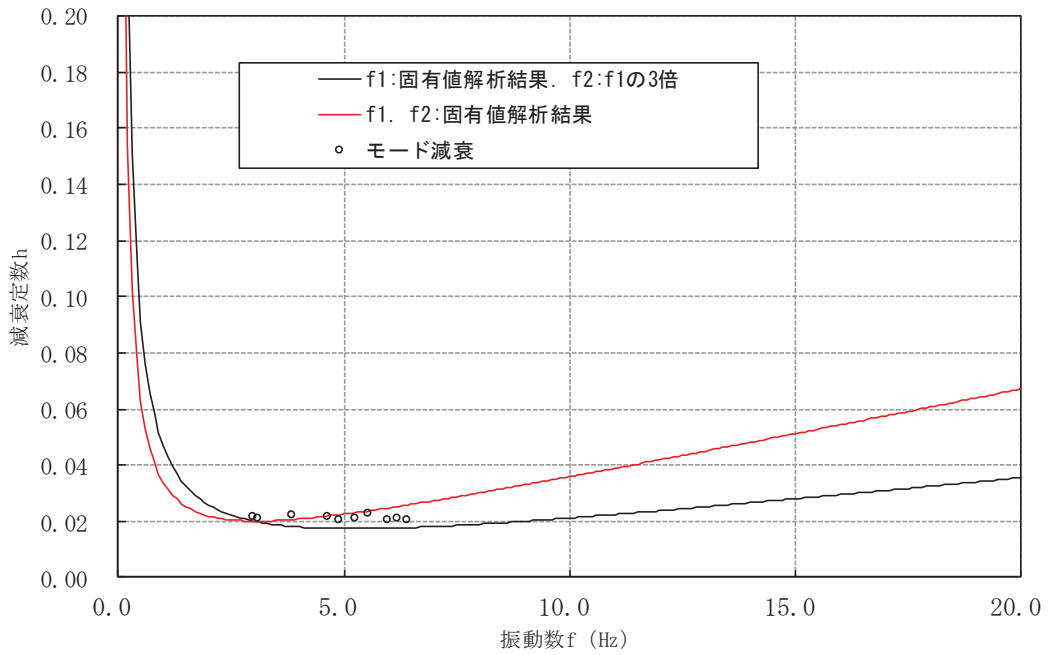


Rayleigh 減衰

図 9.1-4 Rayleigh 減衰の比較 (取水路 (標準部 (断面⑥)))



地震応答解析モデル



Rayleigh 減衰

図 9.1-5 Rayleigh 減衰の比較 (取水路 (漸拡部))

9.2 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，地盤応答の保守的な評価が行えるように係数 α を 0 として設定し，低振動数帯で減衰 α [m] の影響がない剛性比例型減衰としている。

係数 β 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。

10. 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

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。

10.1 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）^{*1}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波に対し、解析手法の選定結果に基づく基本ケースとして、全応力解析の場合はケース①、有効応力解析の場合はケース⑥、全応力解析及び有効応力解析の場合はケース①及びケース⑥を実施する。

上記のケース①及びケース⑥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以上となるすべての照査項目に対して、最も厳しい地震動^{*2}を用いて、図10.1-2、表10.1-1、表10.1-2に示すケース②～④の追加解析を実施する。また、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合の追加解析ケースの選定方法を「参考資料10 追加解析ケースの選定方法の詳細について」に示す。

追加解析を実施する地震動の選定フローを図10.1-1に、耐震安全性評価における解析ケースを図10.1-2、表10.1-1及び表10.1-2に示す（図10.1-2、表10.1-1及び表10.1-2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_L 級岩盤、 C_M 級岩盤、 C_H 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。

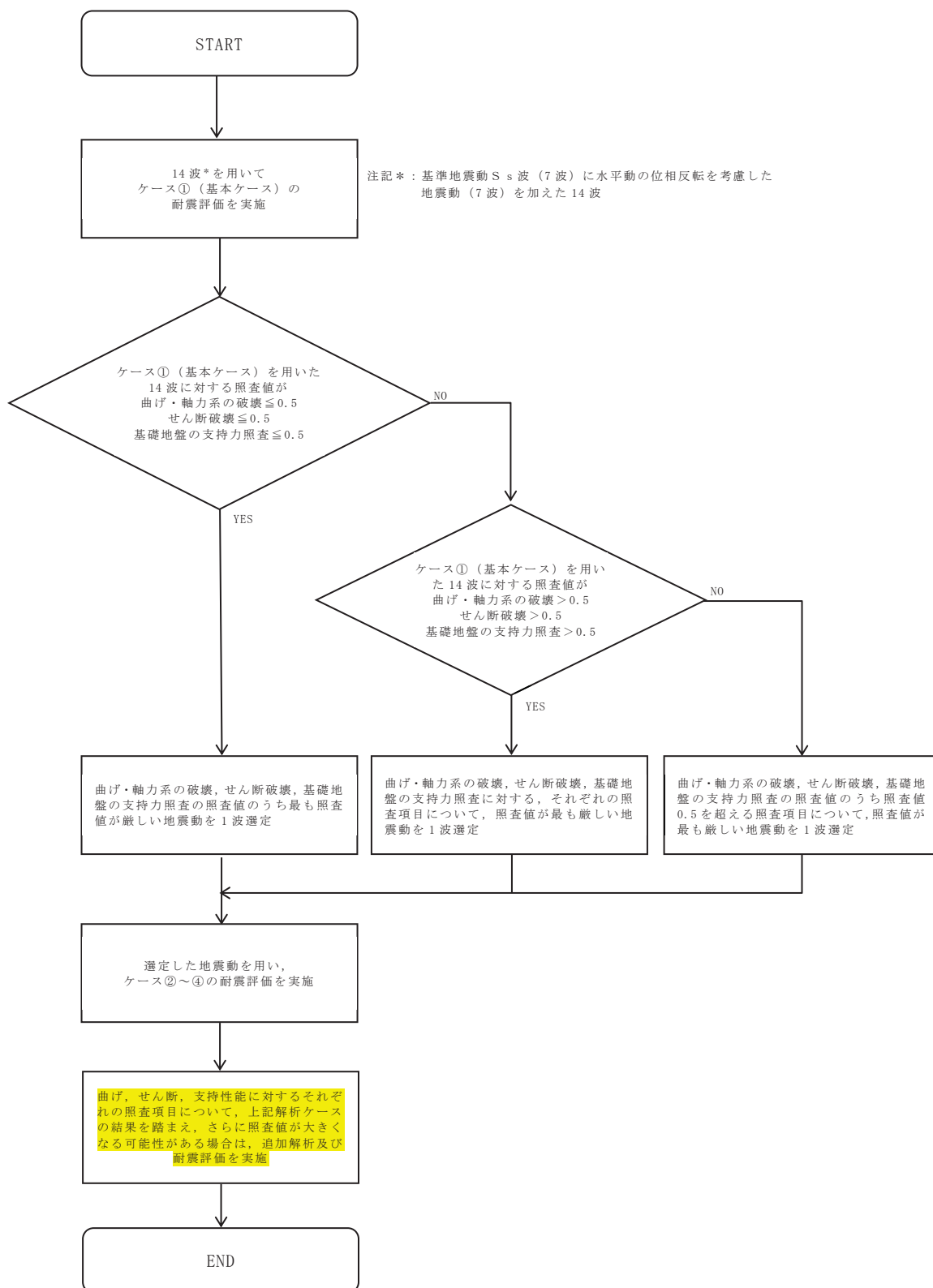


図 10.1-1 追加解析を実施する地震動の選定フロー

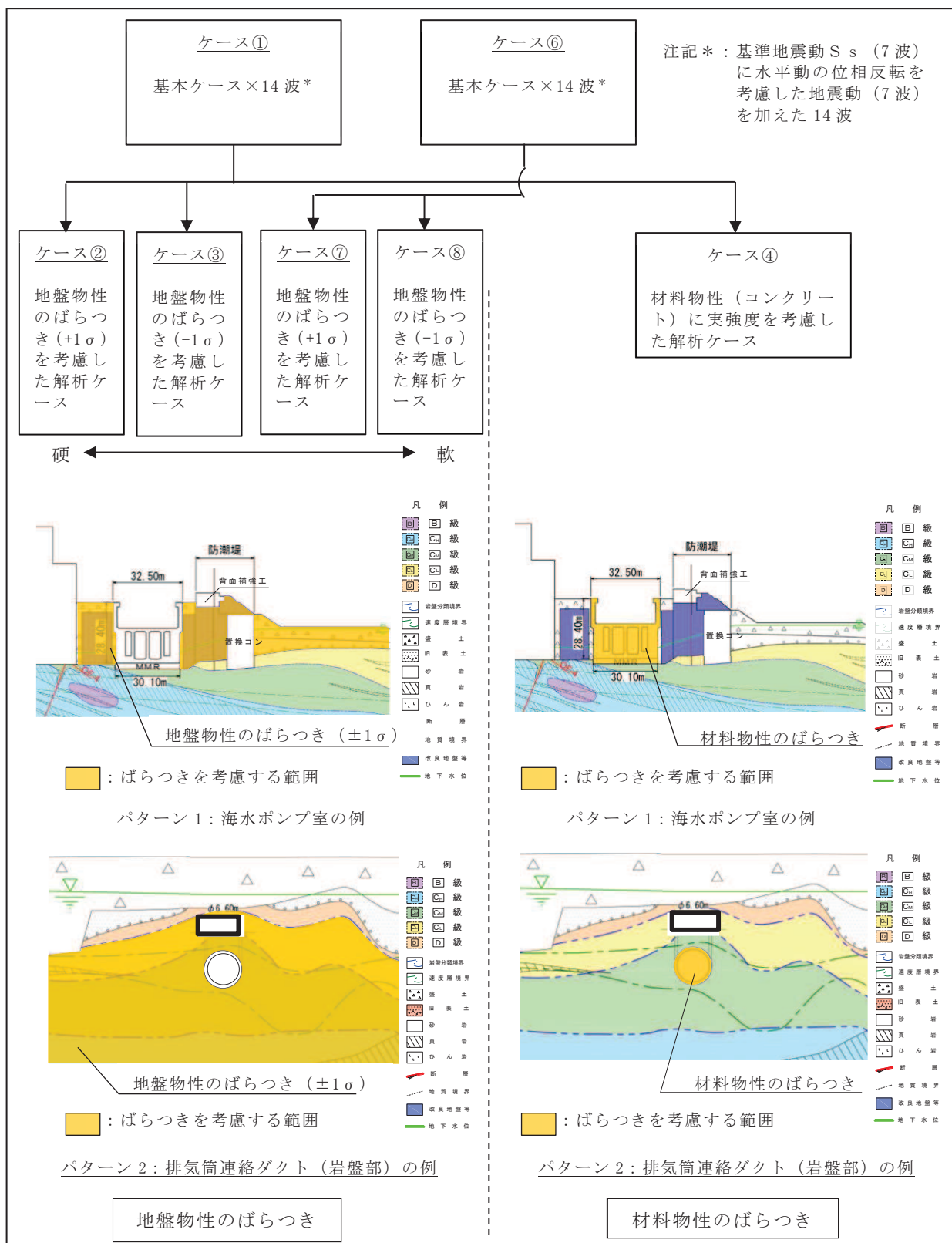


図 10.1-2 耐震安全性評価における解析ケース

(表 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10.1-1 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	解析手法	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 _L 級岩盤，C _M 級岩盤， C _H 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)	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	全応力解析	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	全応力解析	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	全応力解析	初期剛性低下考慮	平均値	平均値
ケース⑥ (基本ケース)	有効応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース⑦	有効応力解析	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース⑧	有効応力解析	設計基準強度	平均値 - 1 σ	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。なお，新設構造物については，文献を参照し推定した圧縮強度とする。

*2：機器・配管系の耐震安全性評価に適用する。

表10.1-2 耐震安全性評価における解析ケース（表5.1-3の再掲）
 （パターン2：構造物周辺にC_L級岩盤～B級岩盤が分布する場合）

解析ケース	解析手法*3	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 _L 級岩盤，C _M 級岩盤， C _H 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)	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値 + 1 σ
ケース③	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値 - 1 σ
ケース④	全応力解析	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	全応力解析	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で影響を確認する。

*3：パターン2は，解析手法選定フローにて全応力解析を実施する排気筒連絡ダクト（岩盤部）のみに適用されているため，パターン2による有効応力解析は実施しない。

11. 等価剛性モデルの設定方針

屋外重要土木構造物等のうち妻壁や隔壁等の面部材を有する箱形構造物は、二次元地震応答解析により地震時荷重を算定し、その荷重を三次元構造解析モデルに作用させて耐震安全性評価を行っている。

地震時荷重算定時の二次元地震応答解析における構造物モデルは、構造物と地盤の相互作用により生じる土圧及び慣性力を適切に評価するため、妻壁や隔壁の剛性を考慮し、三次元モデルと等価な剛性を持つ二次元等価剛性モデル（以下「等価剛性モデル」という。）とする。本資料では、等価剛性モデルの設定方針について示す。

11.1 等価剛性モデルを設定する構造物

二次元地震応答解析の構造物のモデル化に等価剛性モデルを適用する構造物及び等価剛性モデルの設定方法を表11.1-1に示す。等価剛性モデルは表11.1-1に示すとおり、対象構造物の構造的特徴を踏まえ「設定方法1：構造物全体で1断面設定する方法」と「設定方法2：構造が変化する範囲毎に設定（エリア毎に設定）する方法」の2通りの方法に分類される。

「設定方法2」に該当する海水ポンプ室、取水口、貯留堰、第3号機海水ポンプ室の弱軸方向については、構造物の奥行方向で部材の配置が異なり、構造が変化する各範囲（エリア）で剛性が異なることから、構造の相違に起因する地震時荷重を適切に算定するために範囲毎に等価剛性モデルを作成し評価を行う。

また、軽油タンク室については、弱軸方向は「設定方法1」で設定するものの、強軸方向は構造が変化することから「設定方法2」で設定する。

なお、各構造物の詳細な等価剛性モデルの設定については、表11.1-1の該当資料欄に記載のとおり、各構造物の補足説明資料で示す。

表11.1-1 等価剛性モデルを設定する対象構造物

等価剛性モデルの設定方法	構造的特徴	対象構造物	該当資料
設定方法1 構造物全体で1断面設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物の断面奥行方向で部材の配置がおおむね同一である。 ・ 断面奥行方向で剛性の差異がない。 	軽油タンク室*	資料7
		軽油タンク室（H）	資料8
		ガスタービン発電設備 軽油タンク室	資料13
設定方法2 構造が変化する範囲毎に設定 （エリア毎に設定）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物の断面奥行方向で部材の配置が異なる。 ・ 断面奥行方向で剛性の差異がある。 	海水ポンプ室	資料9
		取水口、貯留堰	資料10
		第3号機海水ポンプ室	資料14

注記*：軽油タンク室の強軸方向（東西方向）は「設定方法2」の方法で設定する。

11.2 等価剛性モデルの設定手順

断面奥行方向で部材の配置が同一で、単純な構造であるガスタービン発電設備軽油タンク室を代表例として、設定方法1による等価剛性モデルの設定手順を示す（図11.2-1～図11.2-3参照）。また、断面奥行方向で躯体の外形が異なる取水口の漸縮部における等価剛性モデルの設定手順を示す。

11.2.1 ガスタービン発電設備軽油タンク室

等価剛性モデルの構造部材は図11.2-4に示すとおり、側壁、隔壁、底版及び頂版のように加振に対して面外変形で抵抗する部材は、はり要素でモデル化し、妻壁のように加振に対して面内変形で抵抗する部材は平面応力要素にてモデル化することとし、地震時荷重を保守的に評価するために、はり要素及び平面応力要素は線形モデルとする。以下に各部材の剛性設定手順を示す。

各部材の剛性は、以下の式に基づき設定する。

$$E = E_c \times \alpha \times \beta$$

ここに、

E ：等価剛性モデルの弾性係数

E_c ：コンクリートの弾性係数

α ：構造物の奥行長さに対する各部材の奥行長さの比率（ L_e/L ）

L_e ：部材の奥行き長さ

L ：構造物の奥行長さ

β ：変位を合わせるための弾性係数の補正係数

補正係数 α 、 β については以下の手順1、手順2により、それぞれ設定する

手順1：構造物の奥行長さに対する、各部材の奥行長さの比率から補正係数 α を線形はり要素及び平面応力要素それぞれに設定する。

手順2：線形の三次元モデルに水平荷重として単位荷重（約100kN/m²）を作用させ、構造物の奥行方向の平均的な水平変位を算定する。さらに、補正係数 α を設定した二次元モデルに同じ単位荷重を作用させ変位を算定し、三次元モデルの水平変位と等しくなるように補正係数 β を算定する。コンクリートの弾性係数 E_c に補正係数 α 、 β を乗じ、等価剛性モデルの弾性係数（剛性）を設定する。また、補正係数 β は平面応力要素に対してのみ設定する。なお、単位荷重を載荷させる三次元モデル及び二次元モデルの底面の境界条件は、構造物の変位に着目するため固定境界としている。（図11.2-5参照）

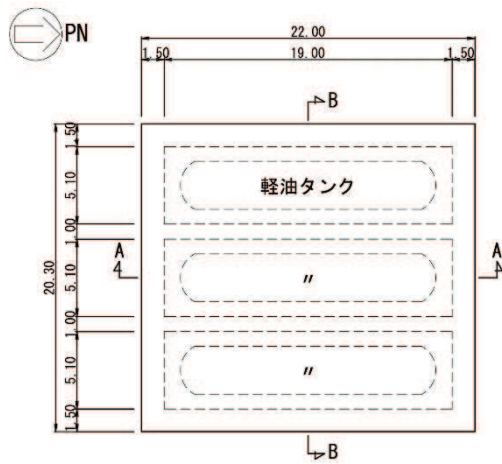


図11.2-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

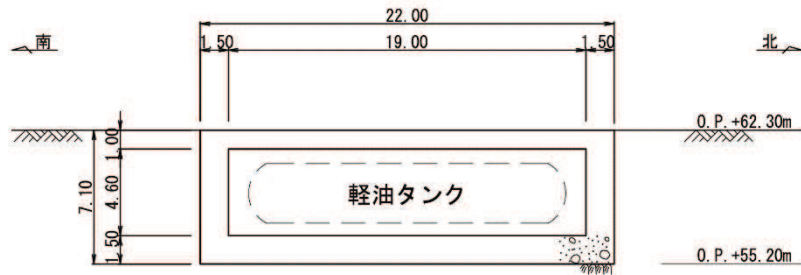


図11.2-2 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図（A-A断面）

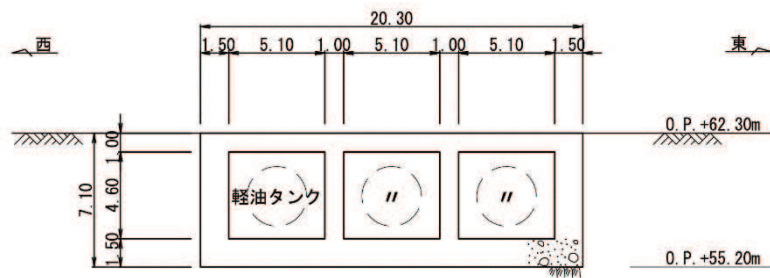


図11.2-3 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図（B-B断面）

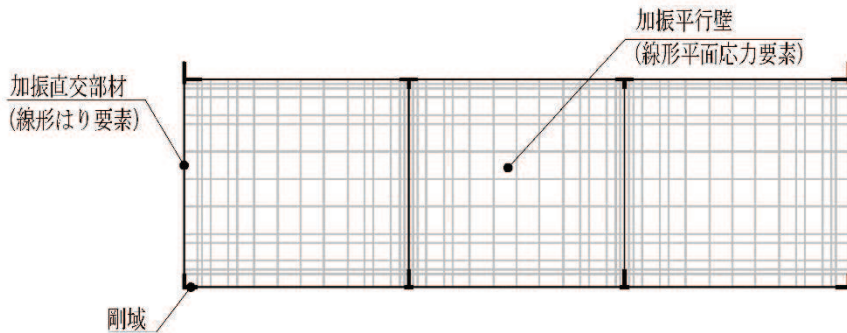
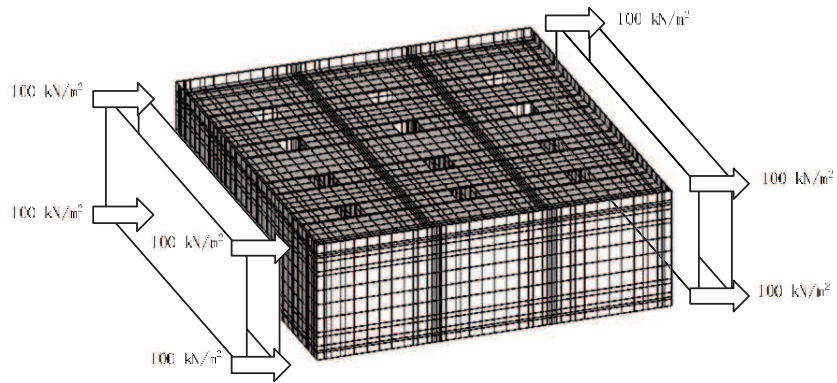
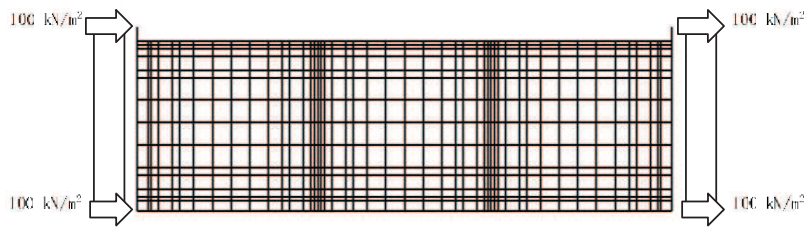


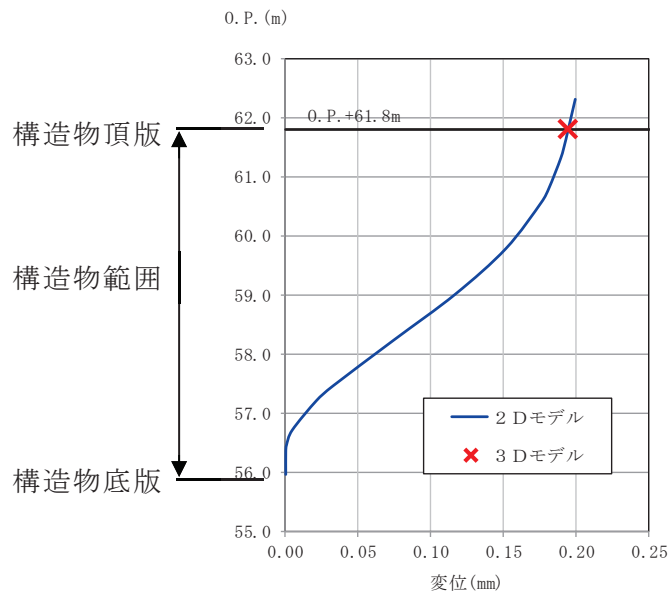
図11.2-4 構造部材のモデル化（B-B断面の例）



(a) 三次元モデルへ単位荷重載荷



(b) 二次元モデルへ単位荷重載荷



(c) 補正係数 β の算定 (三次元モデルと二次元モデルの変位調整)

図11.2-5 補正係数 β の算定方法 (ガスタービン発電設備軽油タンク室)

11.2.2 取水口の漸縮部

取水口の構造図を図11.2-6～図11.2-8に示す。取水口は標準部と漸縮部により構成され、エリアごとで剛性に差異があることから、標準部及び漸縮部それぞれで等価剛性モデルを作成する。漸縮部は、東西方向（縦断方向）で水路幅が減少（漸縮）すること及び水路が、6連ボックスカルバートから2連ボックスカルバートへ変化することから、本節では、漸縮部における等価剛性モデルのモデル化の考え方について示す。

漸縮部の等価剛性モデルは、東西方向で断面形状が変化するが、等価剛性モデルは躯体に作用する土圧及び慣性力を評価するために作成する目的のため、平均的な躯体形状の断面位置であるB-B断面でモデルを作成し、算出された土圧及び慣性力を三次元モデルの漸縮部の延長方向に一様に作用させる。

等価剛性モデルは、B-B断面の幅が一様に分布すると仮定し、図11.2-9のイメージ図に示すとおり設定する。B-B断面を代表として設定した等価剛性モデルを図11.2-10に示す。漸縮部は、妻壁のように加振に対して面内変形で抵抗する部材は存在しないことから、平面応力要素は用いない。

漸縮部において、奥行長さに対する各部材の奥行長さの比率 α の算定で考慮する部材の長さは、図11.2-11に示すとおり縦断方向からみた投影長さとして算定する。

上記のとおり設定した等価剛性モデルについて11.2.1の手順2に基づき、線形の三次元モデルに水平荷重として単位荷重（約100kN/m²）を作用させ、水平変位を算定する。漸縮部は、延長方向で断面形状が異なるが、等価剛性モデルは、全断面の平均的な躯体形状の断面位置をモデル化していることから、三次元モデルから算出する漸縮部の変位は、側壁の南北方向（横断方向）の水平変位を漸縮部の延長方向で平均した値とする。さらに、補正係数 α を設定した二次元モデルに同じ単位荷重を作用させ変位を算定し、三次元モデルの水平変位と等しくなるように補正係数 β を算定する。コンクリートの弾性係数 E_c に補正係数 α 、 β を乗じ、等価剛性モデルの弾性係数（剛性）を設定する。なお、漸縮部の等価剛性モデルには平面応力要素が無いことから、補正係数 β は、線形はり要素にて設定する。なお、単位荷重を載荷させる三次元モデル及び二次元モデルの底面の境界条件は、構造物の変位に着目するため固定境界としている。（図11.2-12参照）

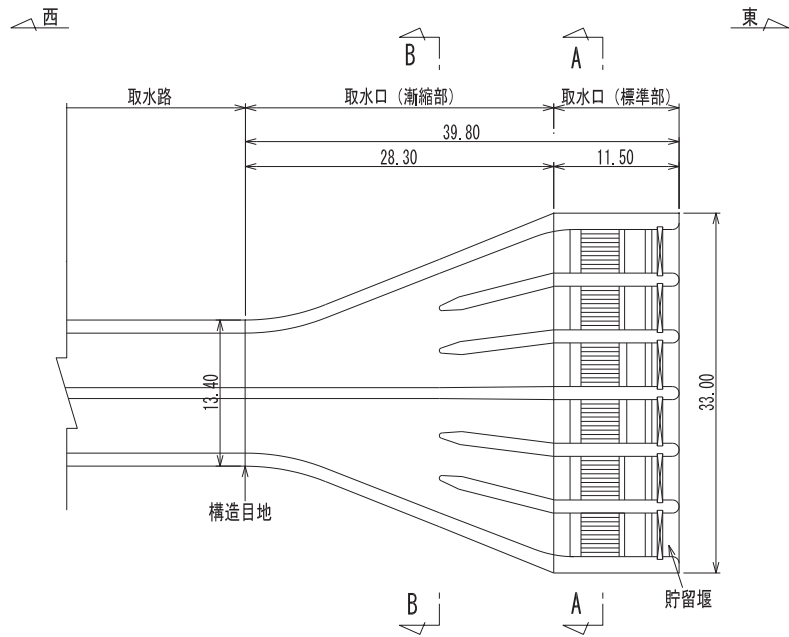


図11.2-6 取水口平面図

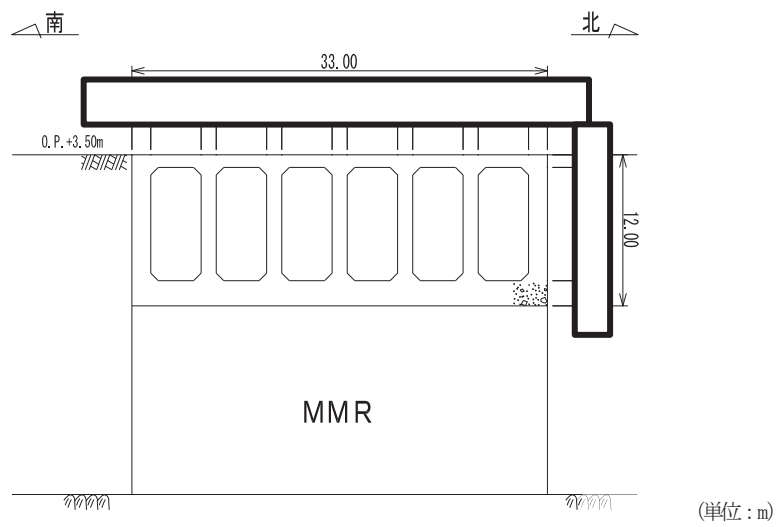


図11.2-7 取水口断面図 (A-A断面図, 標準部)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

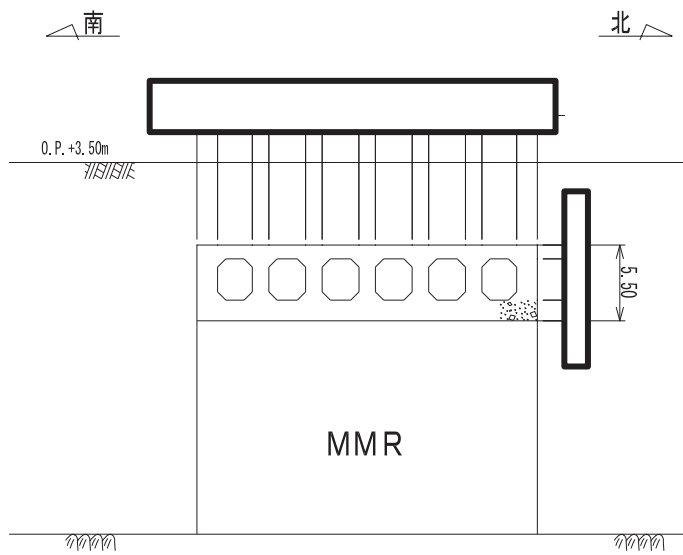


図11.2-8 取水口断面図 (B-B断面図, 漸縮部)

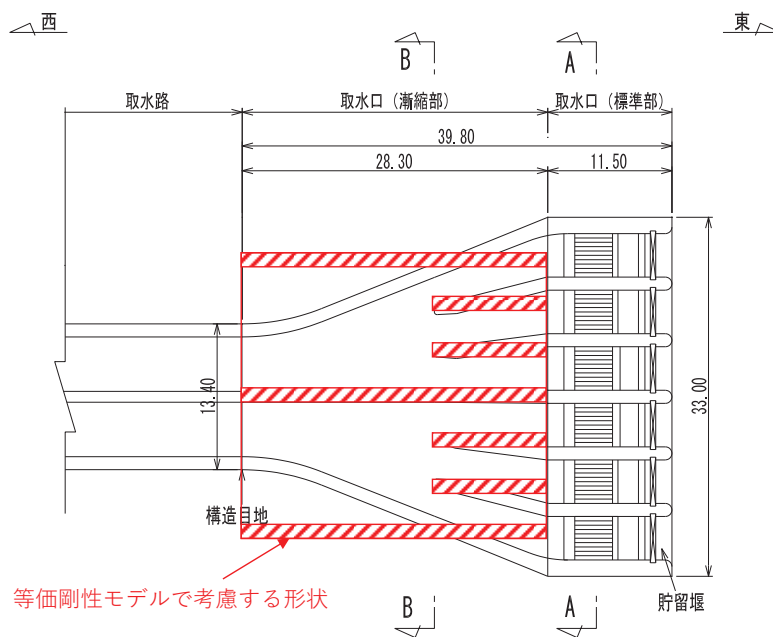
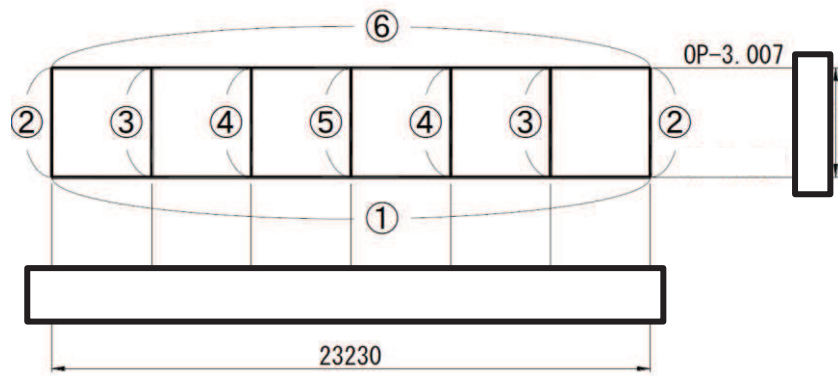


図11.2-9 等価剛性モデル範囲のイメージ図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



○：はり要素

図11.2-10 等価剛性設定用モデル（取水口（漸縮部））

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

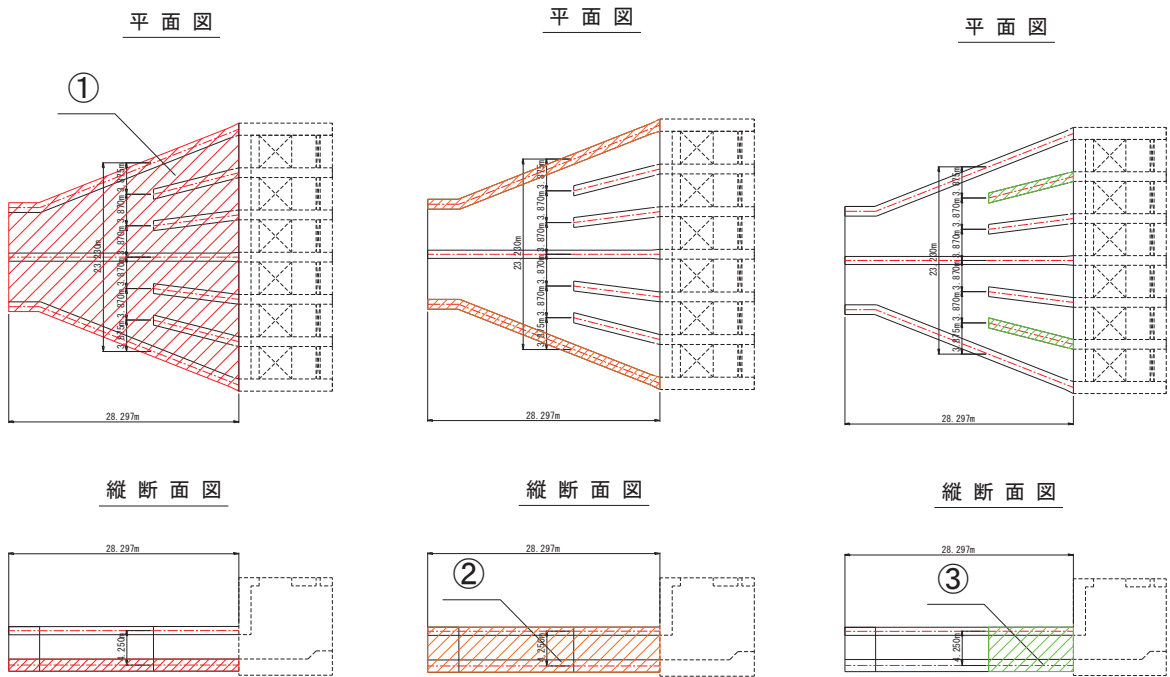


図11.2-11(1) 梁要素の剛性評価部材 (はり部材番号①, ②, ③)

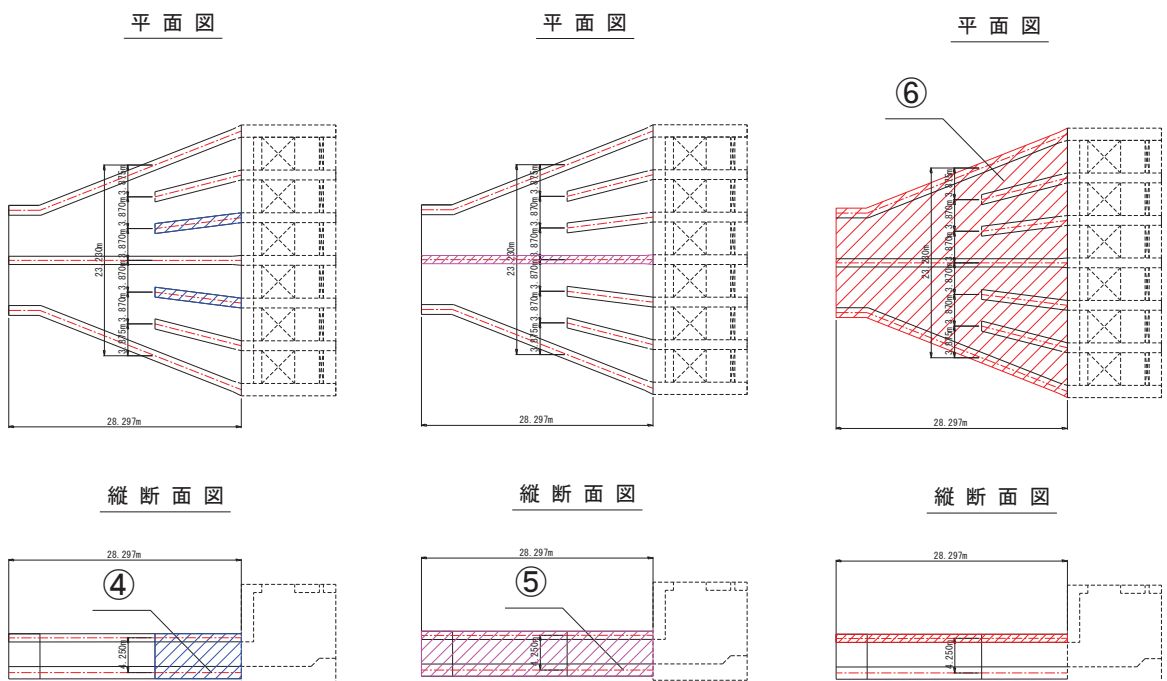
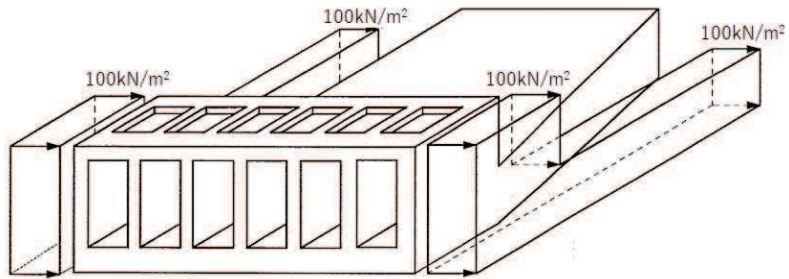
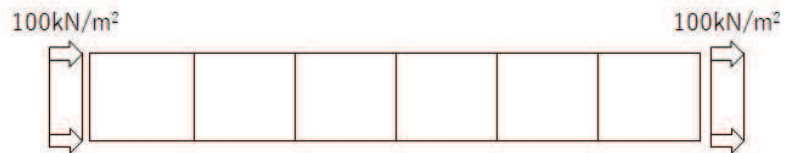


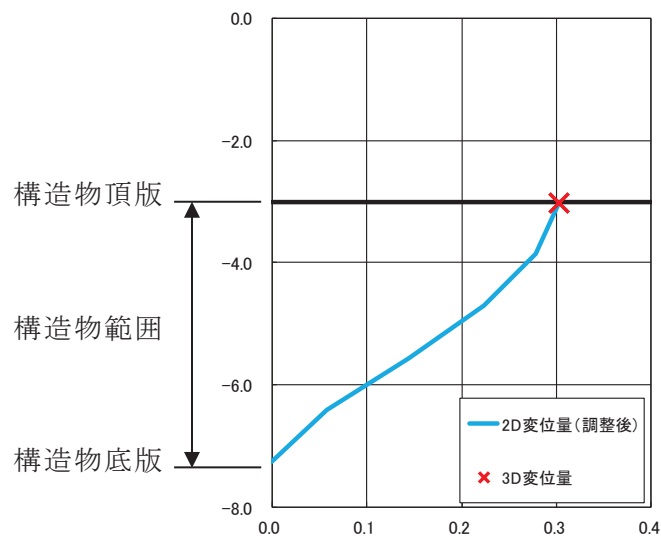
図11.2-11(2) 梁要素の剛性評価部材 (はり部材番号④, ⑤, ⑥)



(a) 三次元モデルへ単位荷重載荷



(b) 二次元モデルへ単位荷重載荷



(c) 補正係数 β の算定 (三次元モデルと二次元モデルの変位調整)

図11.2-12 補正係数 β の算定方法 (取水口 (漸縮部))

参考資料 1 O. P. 14. 8m 盤に分布する盛土・旧表土の液状化特性

O. P. 14. 8m 盤に分布する盛土及び旧表土の基準地震動 S_s に対する液状化特性について、液状化強度試験の結果や有効応力解析の結果を基に考察を行った。液状化強度試験の結果、盛土、旧表土共に、過剰間隙水圧が蓄積しても、粒子がばらばらとなり支持力を喪失する現象は発生せず、粘り強くひずみが増大していく現象となった。このことから、女川の盛土及び旧表土が液状化（過剰間隙水圧比 95%以上）した状態を「繰返し軟化」と呼ぶ。O. P. 14. 8m 盤の盛土は、基準地震動 S_s が作用すると、地表面付近（深さ数メートル）では液状化が発生する可能性がある。一方、屋外重要土木構造物等の周囲には分布しないものの、旧表土は、設計上は深さ（拘束圧）によらず敏感に液状化が発生する。

以下に詳細を記載する。

1. 土被り厚の影響

土被りが厚く、拘束圧が大きいほど地盤の液状化抵抗は強いとされており、道路橋示方書では、20m 以浅の範囲を液状化の影響検討の対象としている。

女川原子力発電所の津波対策の特徴の一つとして、敷地高さを盛土により O. P. 14. 8m と高くしている。一方、屋外重要土木構造物等は、岩盤に直接あるいは MMR を介して設置されており、図 1-1 に示す第 2 号機建設時の掘削状況のとおり、原子炉建屋の設置面である O. P. -14. 1m 程度の岩盤まで掘削し、構造物を建設している。従って、原子炉建屋周辺の盛土の層厚は 29m 程度と厚くなっている。また、岩盤が比較的浅い排気筒連絡ダクトの排気筒周辺においても、盛土の層厚は約 15m となる。以上のことから、構造物周囲の盛土は比較的土被りが厚く、液状化抵抗は強いと言える。さらに、盛土は粒度調整された土質材料を用い、締め固め管理しており、密な構造となっていることから、液状化抵抗は強いと言える。

旧表土は、建設前に地表面に分布していた表土であり、掘削されずに残った土が分布しており、発電所の敷地造成により上部を盛土で覆われている。排気筒連絡ダクトのトンネルを除く屋外重要土木構造物等は開削により建設しており、旧表土は建設の過程で掘削除去されているため、構造物周囲に旧表土は分布しない。

土被りの大きい旧表土は海水ポンプ室の南側に分布しており、旧表土上面に厚さ約 26m の盛土が覆っている。一方、土被りの小さい旧表土は、2 号機と 3 号機の間の防潮堤周辺の旧表土であり、旧表土上面に対する盛土の土被りは約 11m あり、約 16m の層厚で旧表土が分布している。以上のことから、構造物周囲に旧表土は分布しないものの、敷地の旧表土は盛土に覆われて土被りが厚く、液状化抵抗は強いと言える。

以上のことから、O. P. 14. 8m 盤の構造物周囲の盛土は地表面下約 15m～29m の厚さで分布し、旧表土上の土被り厚（盛土層厚）は地表面下約 11m～29m である。また、液状化検討対象施設のうち、周辺地盤の液状化等の影響が考えられる施設は排気筒連絡ダクトである

が、構造物の土被り厚が最も薄い断面⑪及び断面⑫であっても構造物に対する土被り厚が約7mある。

盛土・旧表土とも構造物周辺では土被り厚が大きく、液状化抵抗は大きい分布状況と言える。

本資料で示す盛土、旧表土の分布が特徴的な断面位置をまとめて図1-2に示す。図1-3に岩盤上面に対する土被りが大きい復水貯蔵タンク基礎（A-A断面、南北）、図1-4に比較的岩盤上面に対する盛土の土被りの小さい排気筒連絡ダクト（縦断図、断面⑪）及び図1-5に比較的旧表土上面に対する盛土の土被りが厚い箇所と薄い箇所がある取水路（断面⑥：曲線部）の地質断面図を示す。

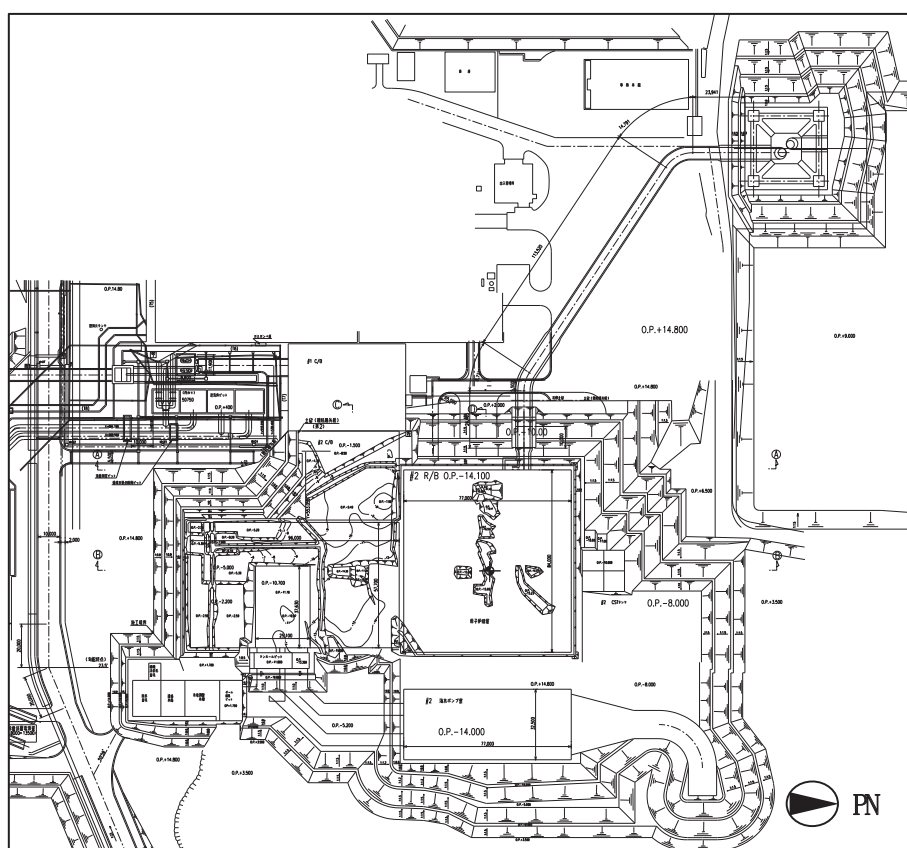


図1-1 第2号機建設時の掘削状況

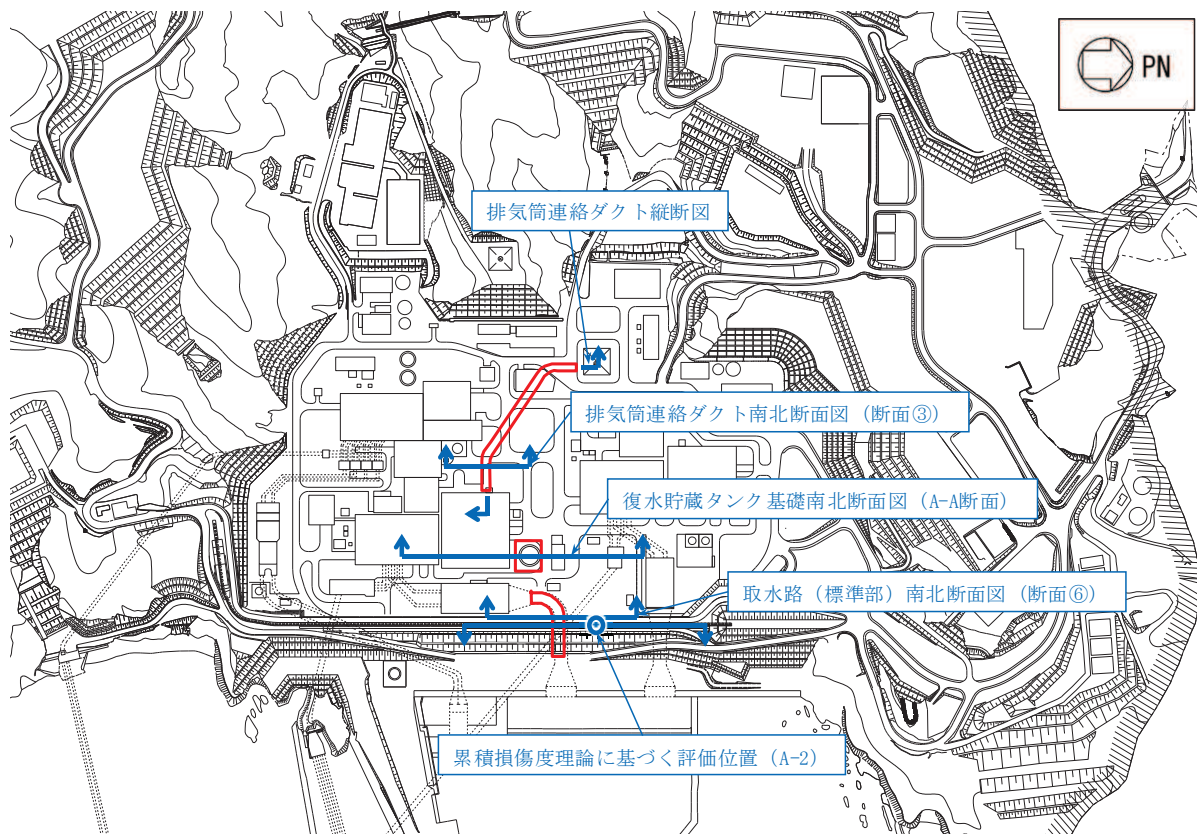


図 1-2 断面位置図

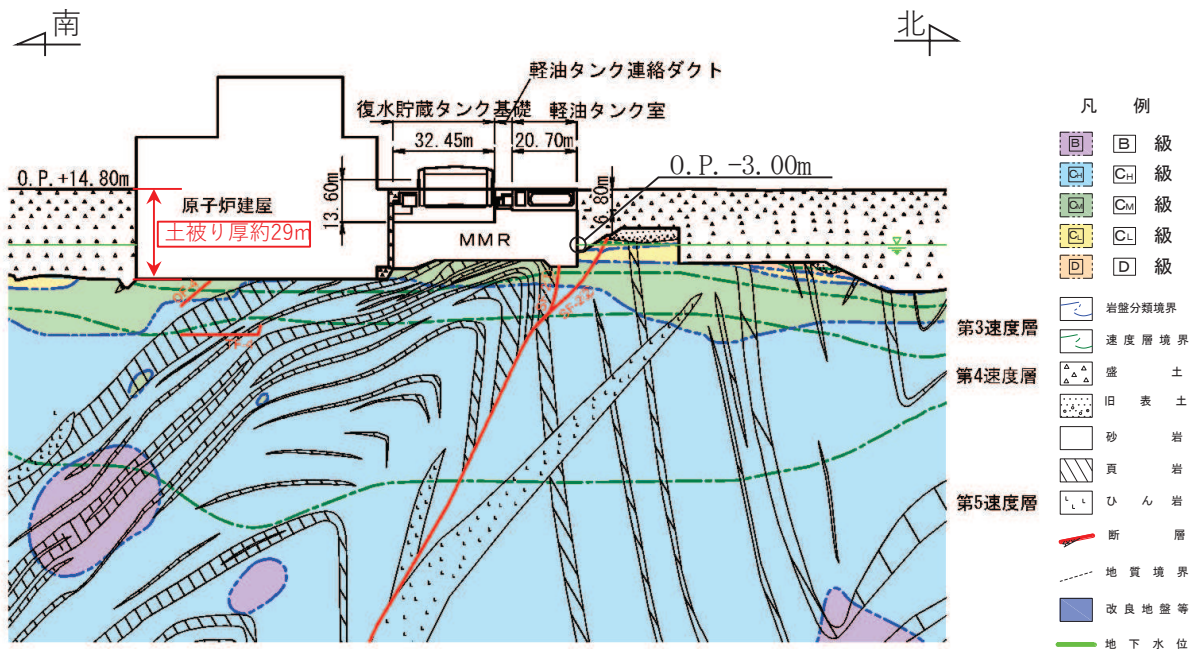


図 1-3 復水貯蔵タンク基礎 地質断面図 (A-A 断面, 南北)



図 1-4 排気筒連絡ダクト 地質断面図 (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。

3. 液状化強度試験

液状化強度試験は、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示されるとおり、敷地で採取した盛土 48 ケース（最小圧密応力 50kN/m^2 ：深度約 2.4m）、旧表土 50 ケース（最小圧密応力 78.5kN/m^2 ：深度約 4.1m）に対して実施したが、有効応力がゼロとなり液体状となる現象は確認されず、繰返し载荷に伴い、過剰間隙水圧比が 95%を超えた場合でも、ひずみが徐々に大きくなるものの、急には増大することはない現象（「繰返し軟化」という。）が確認された。つまり、液状化強度試験の結果、盛土及び旧表土が液状化した場合には、繰返し軟化が発生する。

また、O.P. 14.8m 盤で採取した試料に対する試験結果と、基準地震動 S_s により敷地に発生すると想定されるせん断応力を累積損傷度理論に基づき比較すると、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示されるとおり、基準地震動 S_s により盛土で発生するせん断応力比は、0.33 以下であり、試験結果（A シリーズ）に基づく液状化強度曲線（平均値）を下回り、液状化は発生しない結果となっている。一方、旧表土については、液状化の発生を否定できない結果となっている。

O.P. 14.8m 盤の検討結果の一部を図 3-1 に、累積損傷度理論の検討に用いた一次元地震応答解析の実施位置を図 3-2 に示す。

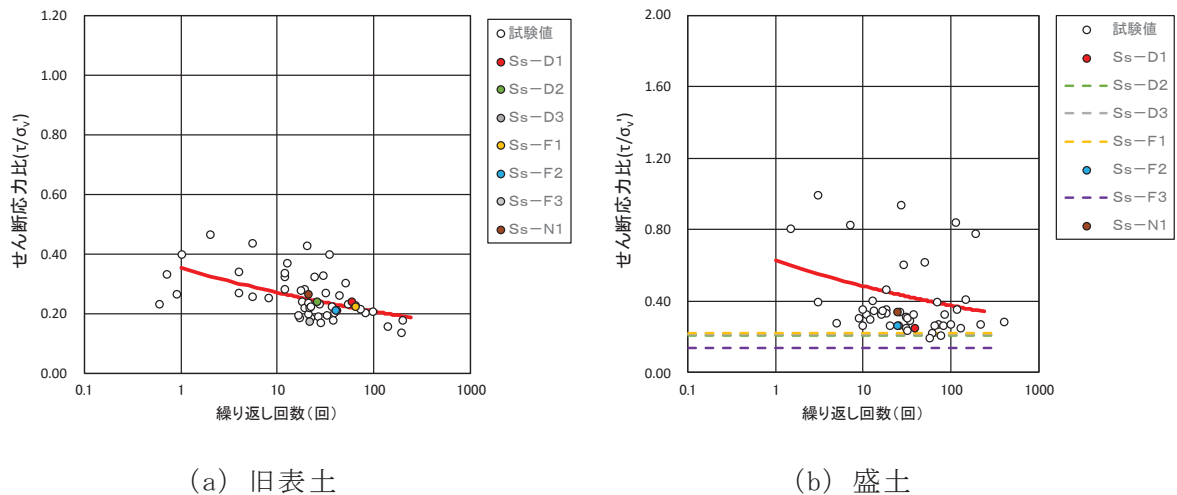


図 3-1 累積損傷度理論に基づく評価結果（A-2）

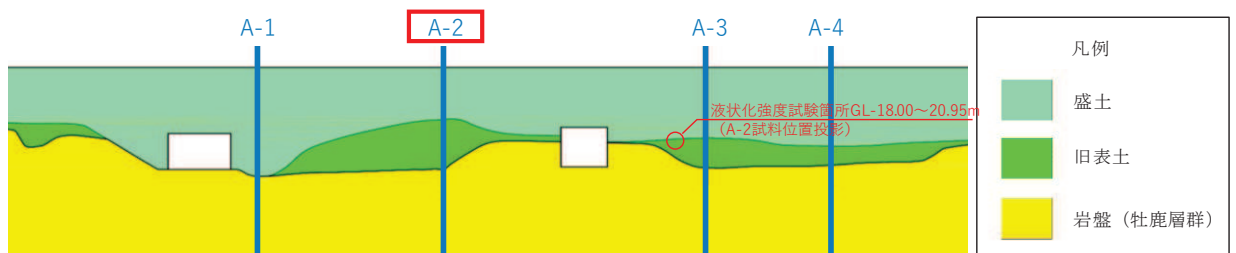


図 3-2 一次元地震応答解析実施位置（A-2）

4. 一次元有効応力解析による試解析

排気筒連絡ダクトにおいて実施した一次元有効応力解析のモデル図を図 4-1 に、過剰間隙水圧比分布図（全時刻最大）を図 4-2 に示す。

盛土及び旧表土の液状化特性は、O.P. 3.5m 盤の試験結果を含めた敷地全体の液状化強度試験の最低値を基に、保守的に設定した解析用物性値（液状化パラメータ）を用いた解析の結果、盛土は、地下水位が地表面となる排気筒連絡ダクト断面⑫の地表面下約 1m 程度の範囲のみ液状化（過剰間隙水圧比が 95%を超過）が発生している。また、深部方向に、上載荷重（盛土）が増加することで、深部になるほど過剰間隙水圧比が低下することも確認された。排気筒連絡ダクトの設置深度においては、液状化は発生しない結果となっている。一方、旧表土は、断面③や断面④の土被り約 12～13m でも過剰間隙水圧比が 100%近くに達し、液状化している。

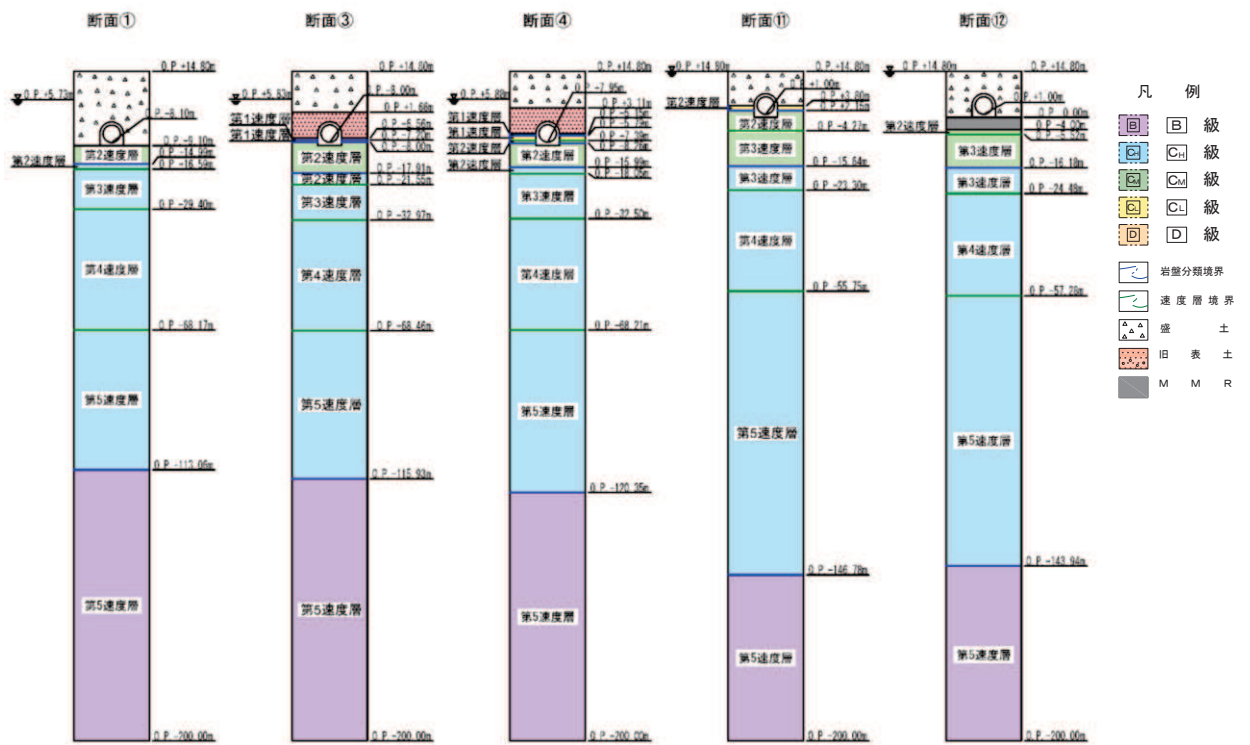


図 4-1 一次元地震応答解析モデル図 (排気筒連絡ダクト (土砂部))

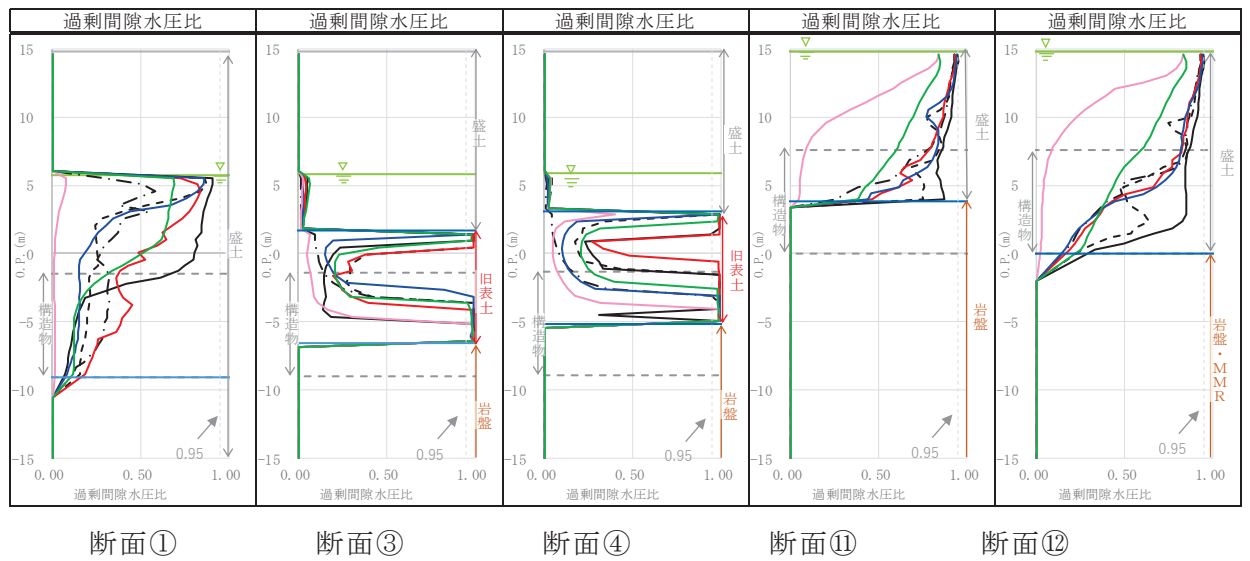


図 4-2 過剰間隙水圧比分布図

5. 二次元有効応力解析

液状化抵抗の比較的小さい旧表土が構造物周囲に接するの盛土の外側に分布する排気筒連絡ダクト（断面③）の地質断面図を図 5-1 に示す。有効応力解析の結果のうち、盛土の過剰間隙水圧比が最も大きい $S_s - D1$ の過剰間隙水圧比分布を図 5-2 に示す。「4. 一次元有効応力解析による試解析」の試解析と同様に、盛土及び旧表土の液状化特性は、敷地全体の液状化試験結果の最低値を基に設定した保守的な解析条件としている。解析条件等は、「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」のうち「資料 3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価」に示す。

排気筒連絡ダクト（断面③）は、盛土層厚（旧表土に対する土被り厚）が約 13m で、地下水面は地表面下 9.0m に位置するが、試解析の結果、盛土の過剰間隙水圧比は 95%未満であり、液状化は発生していない。これは、地下水面下の盛土は土被り厚が大きいため、一次元有効応力解析による試解析と同様に土被り厚（拘束圧）が大きく、液状化抵抗が増加したものだと考える。一方、旧表土はほぼ全面に渡り過剰間隙水圧比が 95%を超過しており、液状化が発生している。

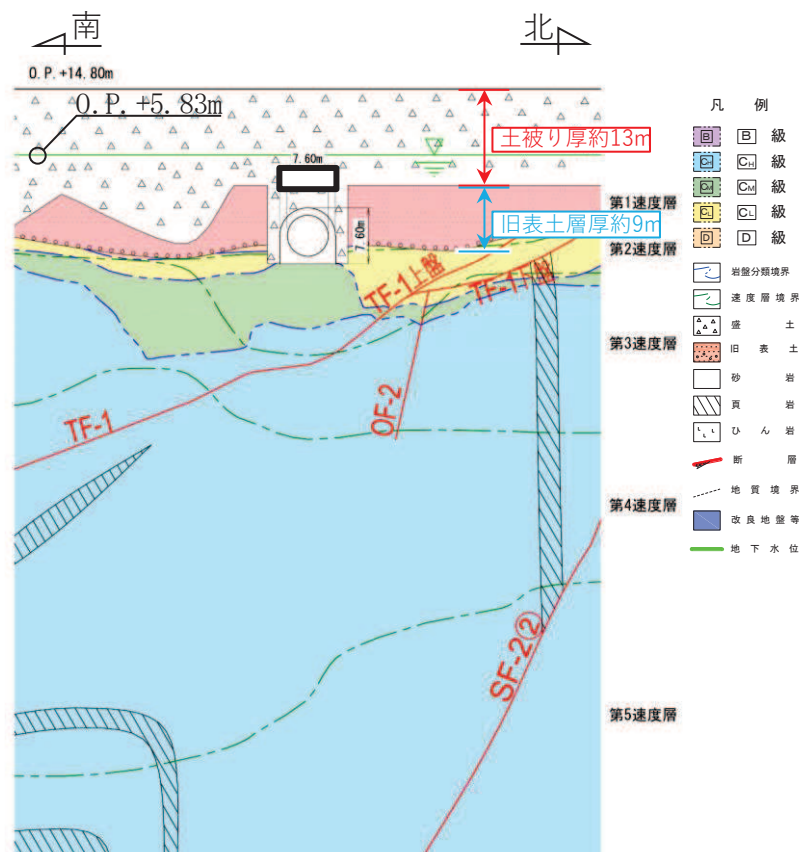
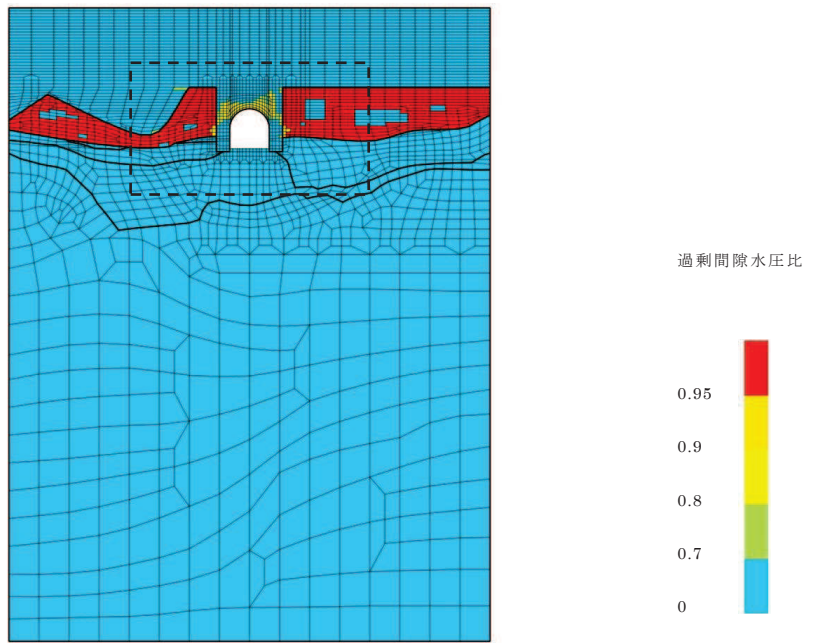
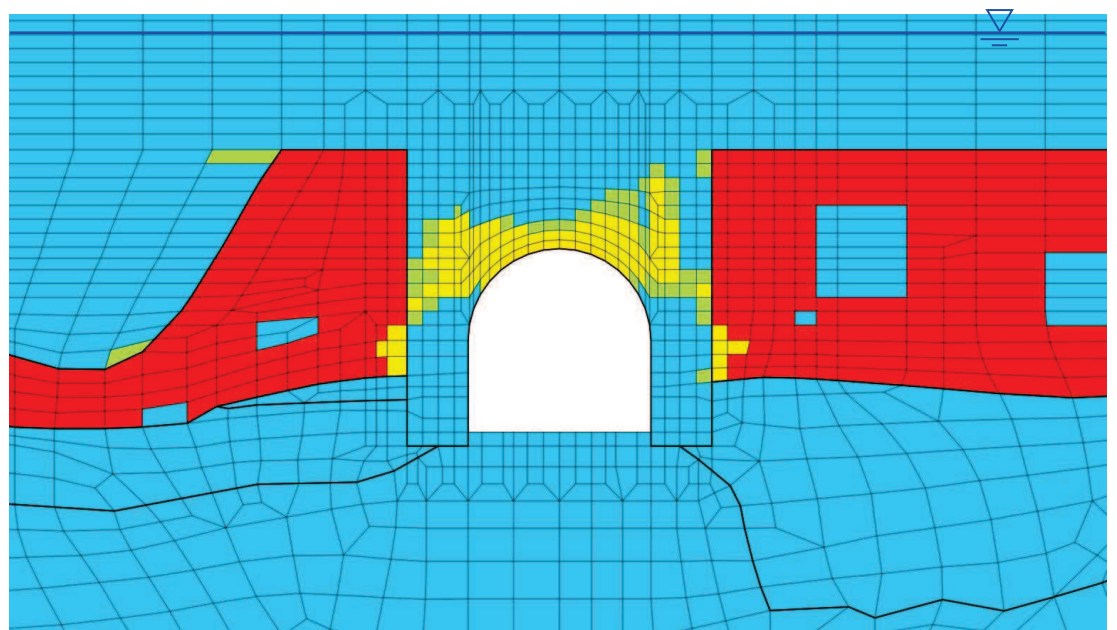


図 5-1 排気筒連絡ダクト 地質断面図（断面③）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-2 排気筒連絡ダクト（断面③）過剰間隙水圧比分布図（ $S_s - D1$ ）（全時刻最大）

6. まとめ

O. P. 14. 8m 盤に分布する盛土及び旧表土の基準地震動 S_s に対する液状化特性について、液状化強度試験の結果や有効応力解析の結果を以下にまとめた。

液状化強度試験の結果、盛土及び旧表土共に、液状化（過剰間隙水圧比 95%以上）は発生するが、支持力を失うような現象は発生せず、粘り強くひずみが増大する繰返し軟化現象である。

盛土は液状化抵抗が大きく、基準地震動 S_s に対して、地下水以下の盛土に対し土被りが数メートルあれば液状化は発生しないものの、土被りの小さい地表面付近では液状化が発生する可能性がある。

旧表土は液状化抵抗が小さく、基準地震動 S_s に対して拘束圧（深さ）にかかわらず、液状化が発生する。ただし、屋外重要土木構造物等の周囲には分布しない。

参考資料 2 地中構造物の耐震性に支配的な要因の検討

女川原子力発電所の屋外重要土木構造物等の断面選定は、「4.1 断面選定の方針」に示したフローチャートに基づき、耐震上厳しい断面を定性的に選定している。ただし、定性的な評価では判断しづらい断面については、「参考資料 3 地震応答解析による断面選定の確認」において、一次元地震応答解析を実施し、構造物深さにおけるせん断応力を指標として、フローチャートによる断面選定との整合を確認している。

本資料では、排気筒連絡ダクト（断面③）に対する二次元地震応答解析結果を基に、耐震性に支配的な要因は周囲の盛土から作用する土圧であり、土圧に相関があるせん断応力を指標とすることが適切であることを確認した。

1. 検討対象

本検討は、構造物の周囲が地盤改良されておらず、かつ、周囲に盛土と旧表土が分布する排気筒連絡ダクト（断面③）の試解析結果を対象として、耐震性に支配的な要因を検討する。排気筒連絡ダクト（断面③）の地質断面図及び地震応答解析モデル図を図 1-1、図 1-2 にそれぞれ示す。

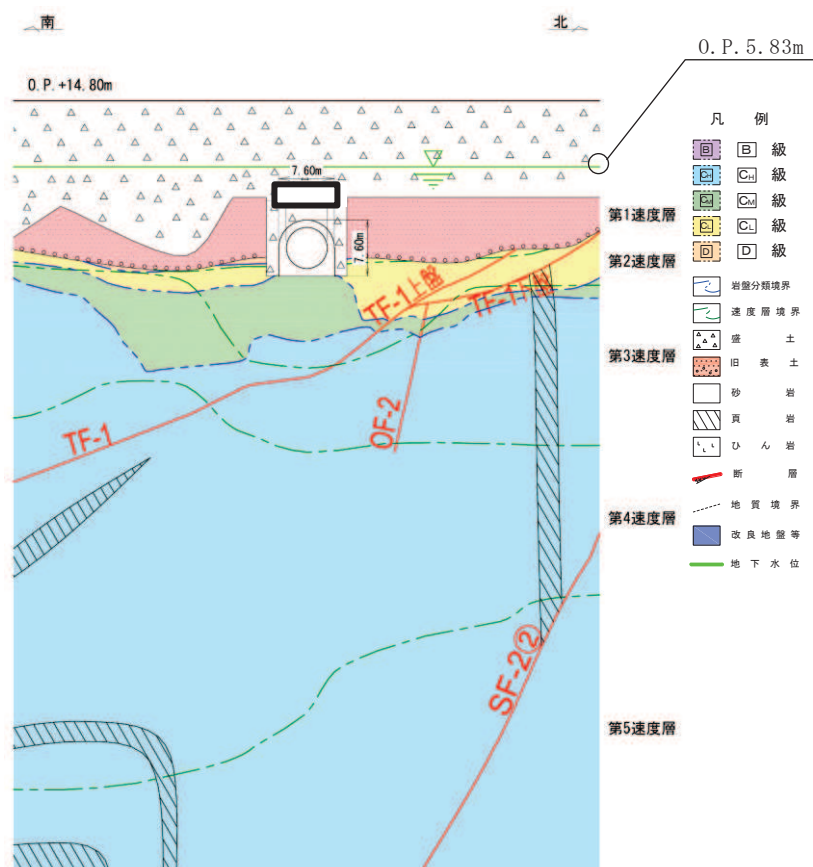


図 1-1 排気筒連絡ダクト（土砂部）の地質断面図（断面③）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

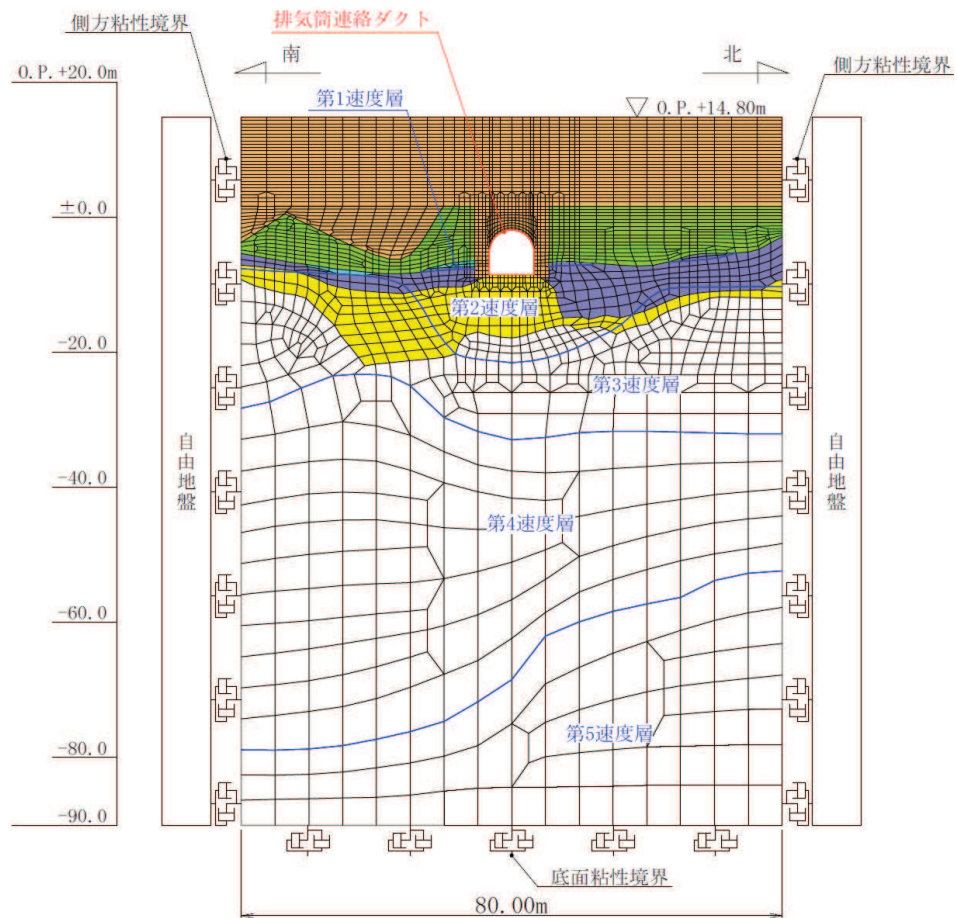


図 1-2 排気筒連絡ダクト（土砂部）の地震応答解析モデル図（断面③）

2. 検討方針

排気筒連絡ダクト（断面③）に対して基準地震動 S_s7 波で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、曲げ・軸力系の破壊に比べて耐震裕度が小さいせん断破壊に対する照査を行い、躯体に作用する地震時荷重（土圧，慣性力）の比率を整理することにより，耐震性に支配的な荷重を検討する。

3. 耐震評価に支配的な要因

基準地震動 S_s7 波に対する側壁のせん断力最大時刻における地震時荷重（土圧及び慣性力）について，全応力解析の結果を表 3-1 及び図 3-1 に，有効応力解析結果を表 3-2 及び図 3-2 に示す。

地震応答解析の結果，構造物に作用する荷重に着目すると，慣性力に対する土圧の比率は全応力解析では約 22 倍以上，有効応力では約 19 倍以上であり，排気筒連絡ダクトの耐震性に支配的な要因は，土圧であると推察される。

また、全応力解析と有効応力解析を比較すると、全ての基準地震動 S_s で全応力解析の土圧が大きい結果となった。

土圧の大きさは側面地盤のせん断応力に関連しており、構造物により地盤のせん断変形が抑制された分、相応するせん断応力が土圧として構造物へ作用する。

表 3-1 慣性力に対する土圧の比率（全応力解析）

基準地震動	土圧(kN)	慣性力(kN)	土圧の比率
$S_s - D 1$	3060	25	122
$S_s - D 2$	3015	138	22
$S_s - D 3$	2821	28	101
$S_s - F 1$	2705	84	32
$S_s - F 2$	2709	116	23
$S_s - F 3$	2672	107	25
$S_s - N 1$	3289	133	25

表 3-2 慣性力に対する土圧の比率（有効応力解析）

基準地震動	土圧(kN)	慣性力(kN)	土圧の比率
$S_s - D 1$	2493	131	19
$S_s - D 2$	2484	93	27
$S_s - D 3$	2487	22	113
$S_s - F 1$	2356	37	64
$S_s - F 2$	2570	62	41
$S_s - F 3$	2081	76	27
$S_s - N 1$	2318	3	773

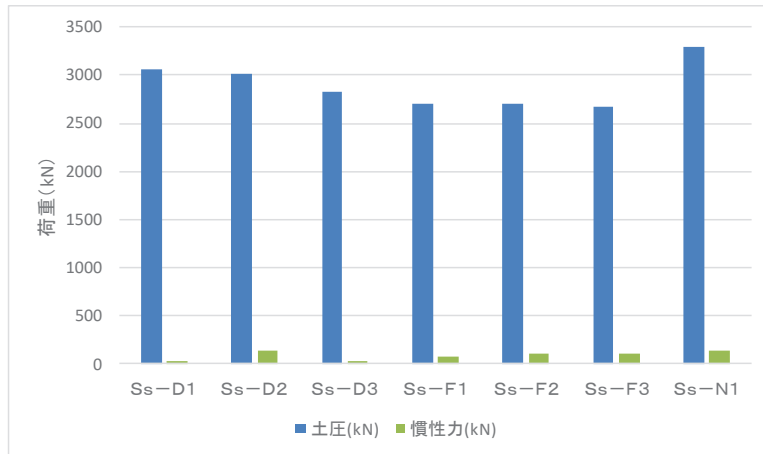


図 3-1 地震時荷重における土圧と慣性力の関係 (全応力解析)

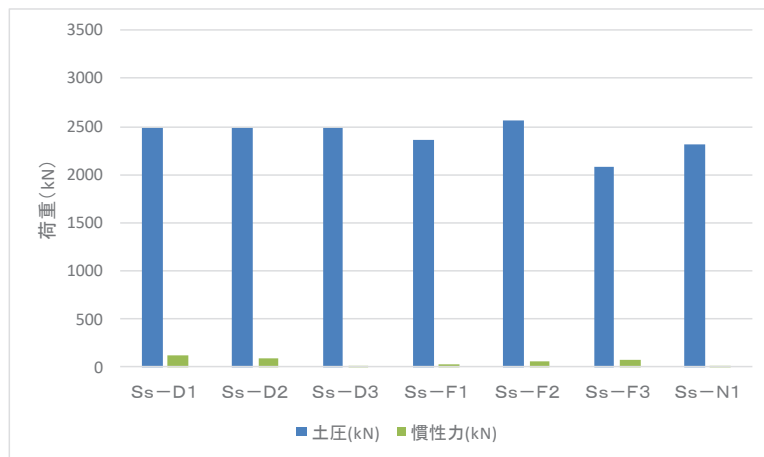


図 3-2 地震時荷重における土圧と慣性力の関係 (有効応力解析)

4. まとめ

地中に埋設された屋外重要土木構造物の耐震性に支配的要因について、排気筒連絡ダクト (断面③) の二次元地震応答解析結果を基に考察した。考察の結果、屋外重要土木構造物の耐震性は、曲げ・軸力系の破壊に比べて耐震裕度が小さいせん断破壊に対して支配的な地震時荷重は、構造物に作用する土圧であり、地中構造物の耐震性について、一次元地震応答解析により断面選定する場合には、土圧の大きさに関連する地盤のせん断応力指標とすることが適切であることを確認した。

参考資料 3 地震応答解析による断面選定の確認

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、**図 4.1-1** に示したフローチャートに基づき、耐震評価上最も厳しくなる断面を定性的に選定してしている。ここでは、一次元地震応答解析に基づく断面選定を行い、フローチャートに基づく断面選定との整合性について確認する。断面選定の確認対象は、延長の長い線状構造物である排気筒連絡ダクト（土砂部）と排気筒連絡ダクト（岩盤部）とする。**「4.5 排気筒連絡ダクト」においてフローチャートに基づき選定された、土砂部の断面①、岩盤部の断面⑤について確認を行う。**

土砂部、岩盤部それぞれの候補断面に対して、基準地震動 S_s （7波）を用いた一次元地震応答解析により耐震評価上厳しくなる断面を選定した結果、フローチャートに基づき選定した断面と整合的な結果を得た。

1. 排気筒連絡ダクト（土砂部）の断面選定

排気筒連絡ダクト（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、一次元の全応力解析に加え有効応力解析による地震応答解析を実施した。

「4.5 排気筒連絡ダクト」において候補断面として選定した断面①、断面③、断面④、断面⑪、断面⑫の一次元地震応答解析のモデル図を図 1-1 に示す。

排気筒連絡ダクト（土砂部）の耐震性に支配的な要因は、「参考資料 2 地中構造物の耐震性に支配的な要因の検討」に示すとおり、構造物に作用する土圧である。従って、一次元地震応答解析における構造物範囲（深度）の盛土及び旧表土のせん断応力に着目して候補断面の比較を行った。

排気筒連絡ダクト（土砂部）の一次元地震応答解析結果を表 1-1 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 1-2 に示す。

比較の結果、全応力解析及び有効応力解析ともに、岩盤上面の標高が最も低く、土被りが最も厚い断面①が最大となり、断面選定結果と整合的であることが確認できた。

なお、排気筒連絡ダクト（土砂部）における液状化の発生の有無を確認するため、有効応力解析における過剰間隙水圧比分布を各断面において比較した。その結果、旧表土については、土被りが大きくても液状化の発生が示唆されるが、盛土については、土被りが小さい範囲においても 95%を超過する液状化は発生していない解析結果となっている。各断面の過剰間隙水圧比分布を図 1-3 に示す。

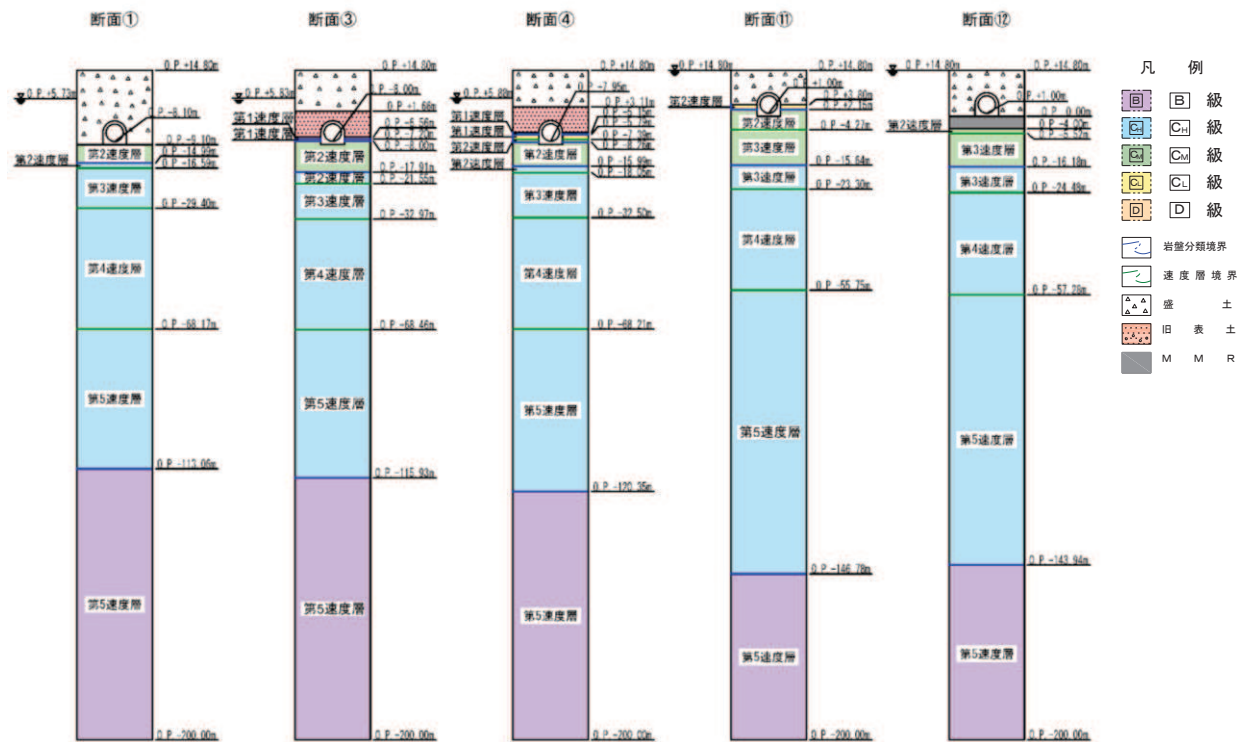


図 1-1 一次元地震応答解析モデル図（排気筒連絡ダクト（土砂部））

表 1-1 一次元地震応答解析結果（排気筒連絡ダクト（土砂部））

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

注記*：構造物深度のうち盛土及び旧表土における最大値
 上段：最大応答値，下段：最大応答値を示す地震動
 網掛：全応力解析，有効応力解析それぞれにおいて，せん断応力の最大値

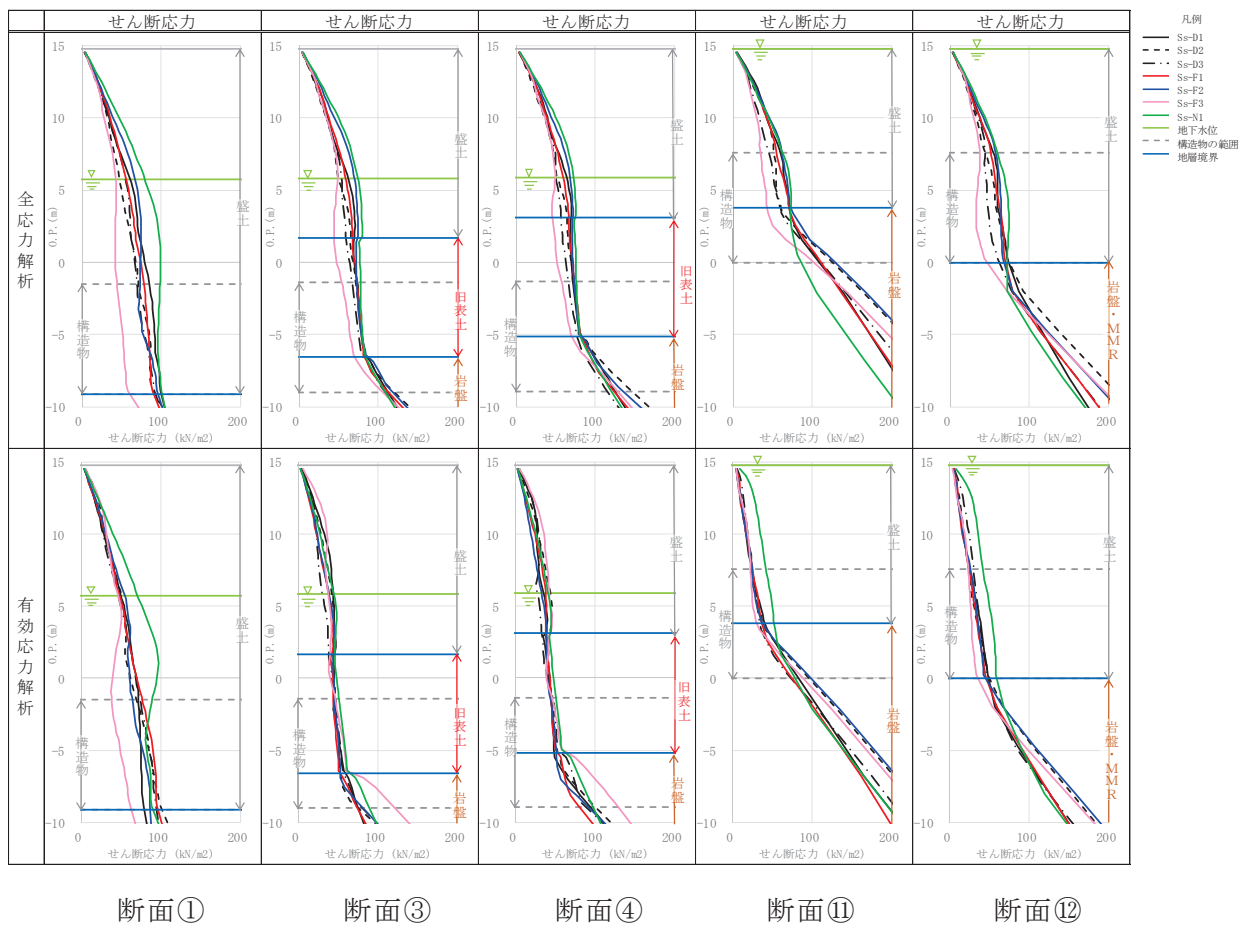


図 1-2 せん断応力分布 (全時刻最大)

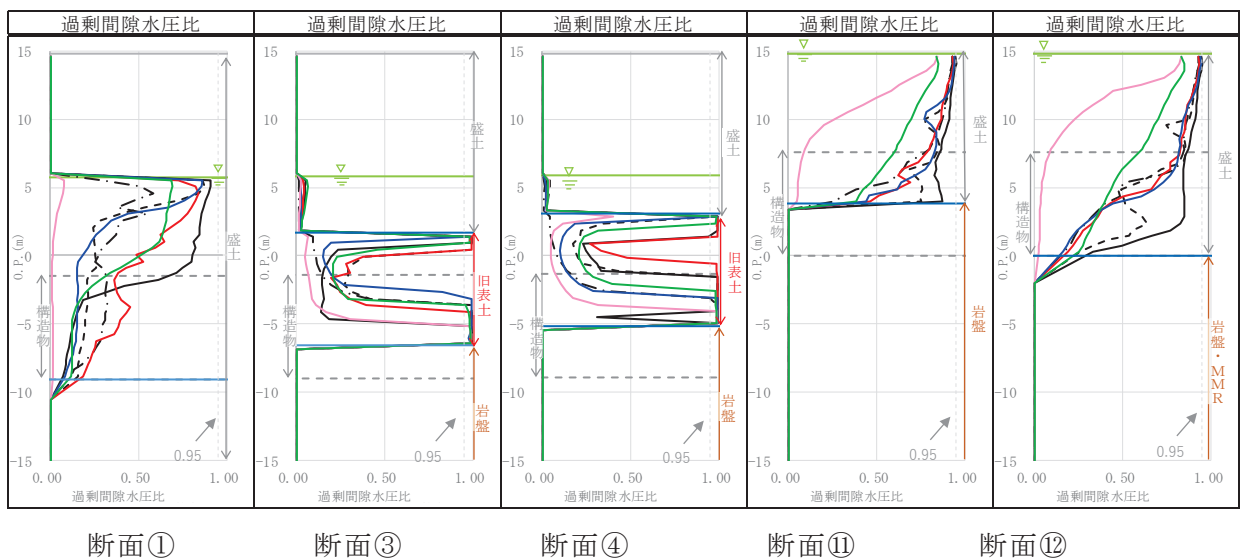


図 1-3 過剰間水圧比分布

表2-1 一次元応答解析結果（排気筒連絡ダクト（岩盤部））

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

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

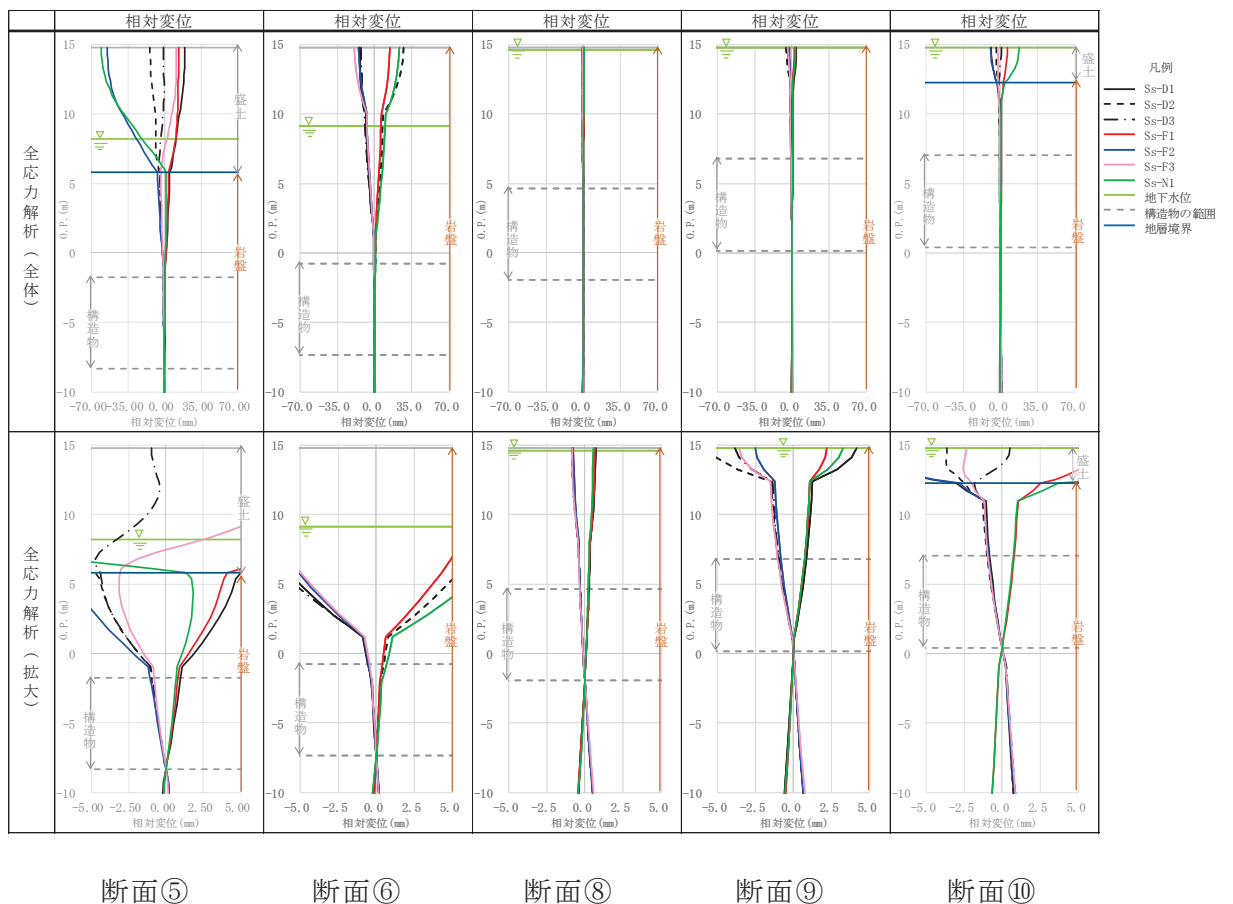


図2-2 相対変位分布（最大相対変位発生時刻）

3. まとめ

排気筒連絡ダクト（土砂部）の候補断面5断面に対して、一次元地震応答解析によるせん断応力を指標に断面選定した結果、最も土被りが厚い断面①が選定された。また、排気筒連絡ダクト（岩盤部）の候補断面5断面に対して、一次元地震応答解析による相対変位を指標に断面選定した結果、浅部に盛土が分布し、最も土被りが厚い断面⑤が選定された。

土砂部、岩盤部いずれもフローチャートで定性的に選定した断面と同一の断面が選定され、定量的な選定と整合的な結果が得られた。

参考資料 4 断層の影響を評価する断面

敷地内に分布する断層が屋外重要土木構造物等の耐震性に与える影響を検討するため、断層と交差する構造物を整理し、交差する断層の諸元を整理し、影響評価を実施する構造物と断層を選定した。そのうえで、断層影響の評価を実施する評価断面の選定を実施した。その結果、軽油タンク室 (H)、軽油タンク室、排気筒連絡ダクト (土砂部)、排気筒連絡ダクト (岩盤部) について、影響評価を実施する方針とした。

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。

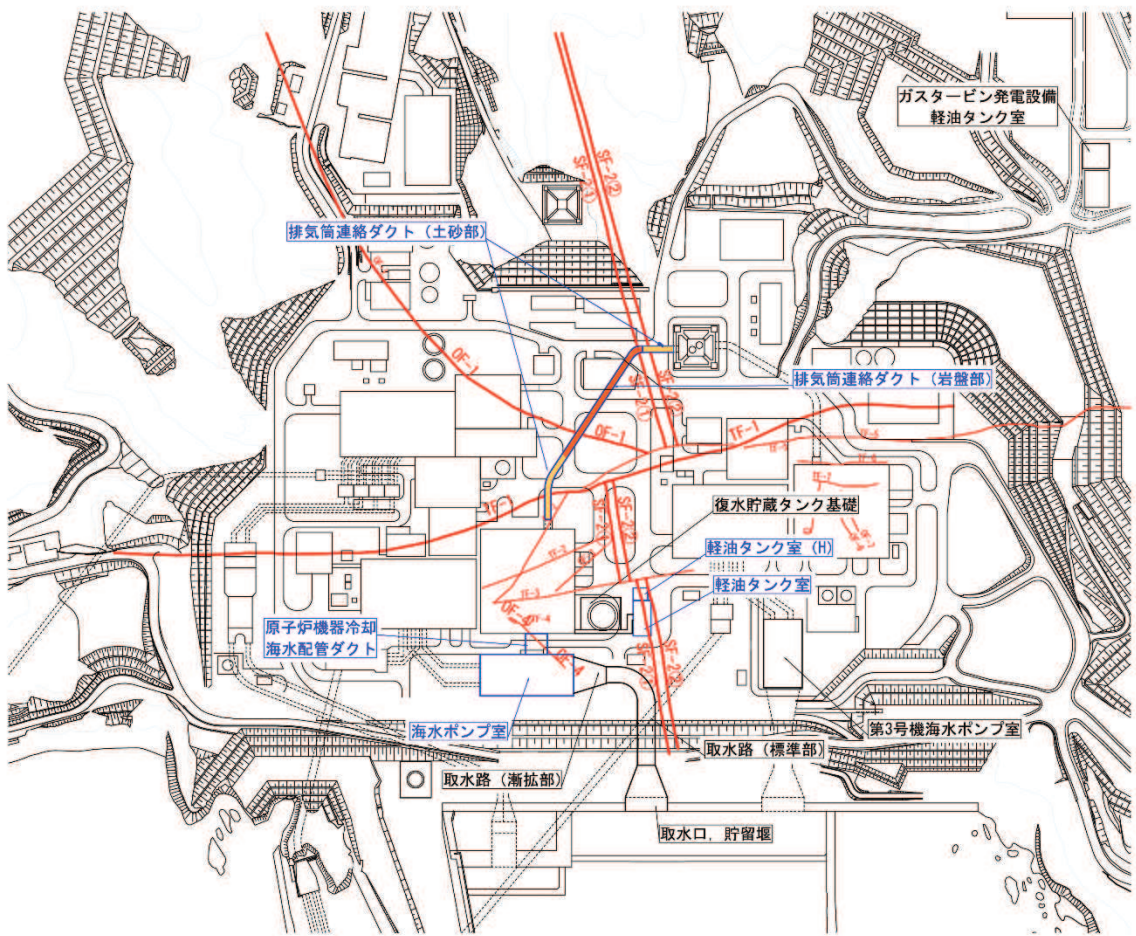


図 1-1 屋外重要土木構造物等の位置と主要断層の分布状況 (O.P. 約-14m)

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。）

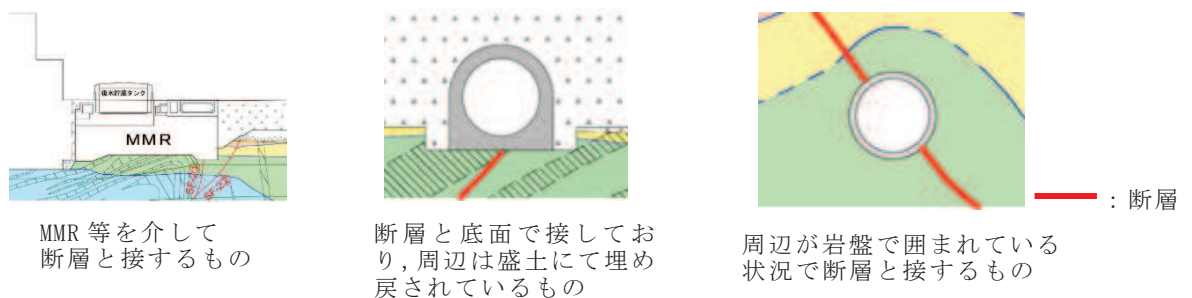


図2-1 構造物と断層の位置関係の例

(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、断層の規模（幅）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。

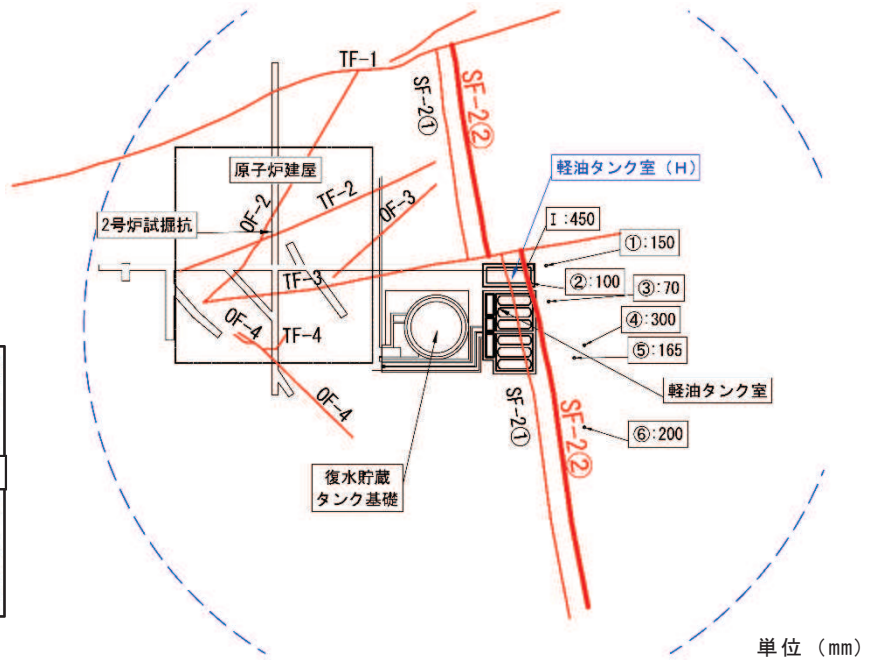
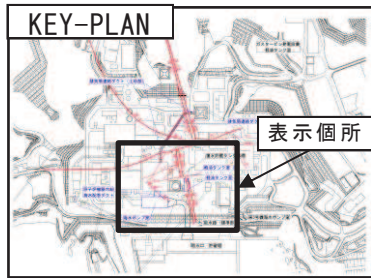
分類 b(盛土)と分類 c(岩盤)については、対象となる構造物が排気筒連絡ダクトのみであることから、分類 b(盛土)に関しては排気筒連絡ダクト(土砂部)を、分類 c(岩盤)に関しては排気筒連絡ダクト(岩盤部)を、それぞれ評価対象構造物として選定する。

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



単位 (mm)

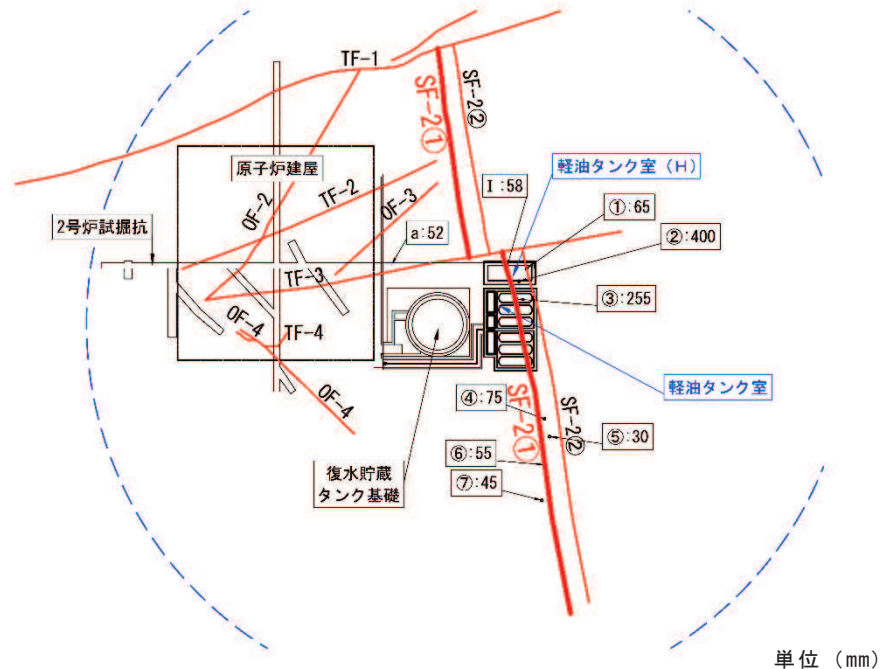
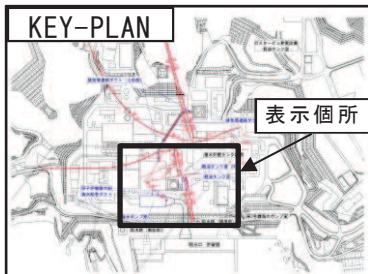
注 1: I は試掘坑調査, ①~⑥は底盤スケッチの結果

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

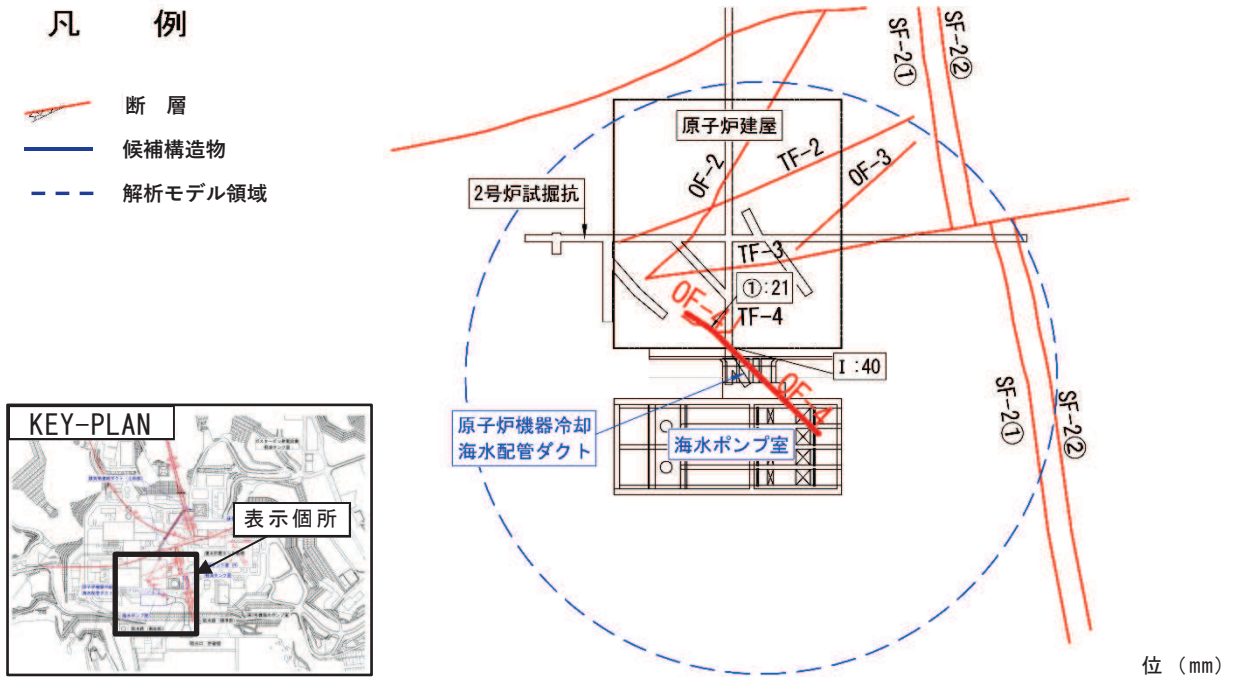


単位 (mm)

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

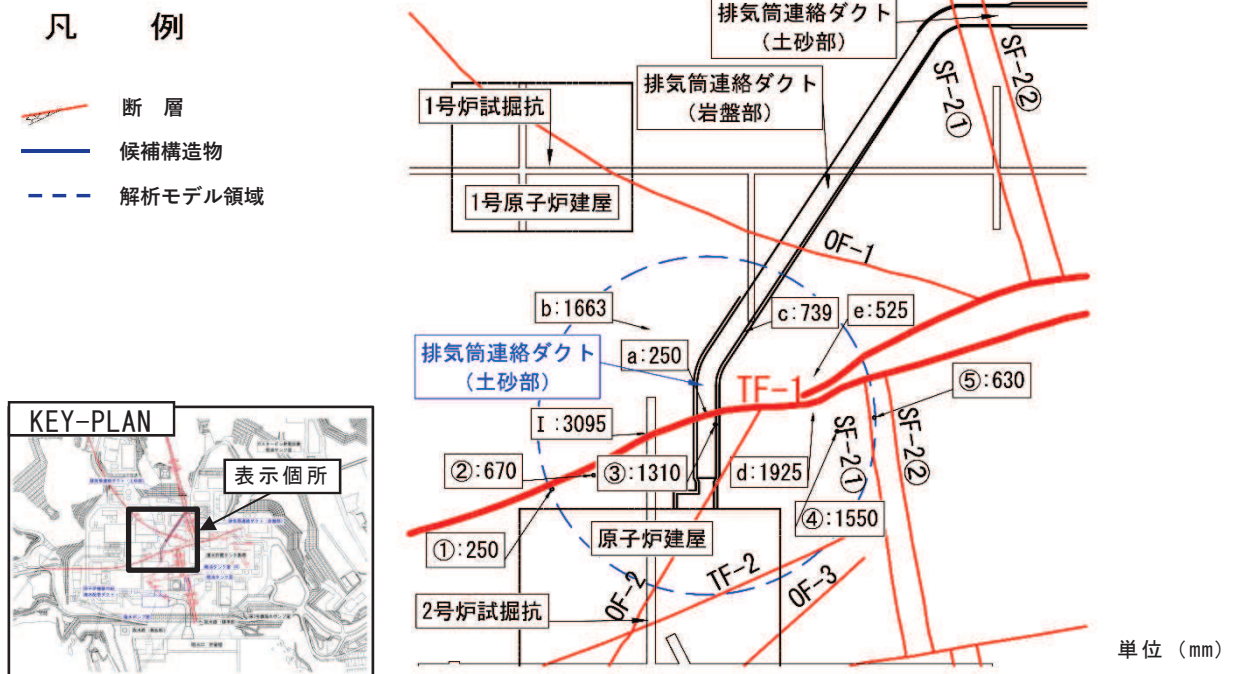
図 2-3 軽油タンク室 (H) 及び軽油タンク室に接する SF-2①断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)



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

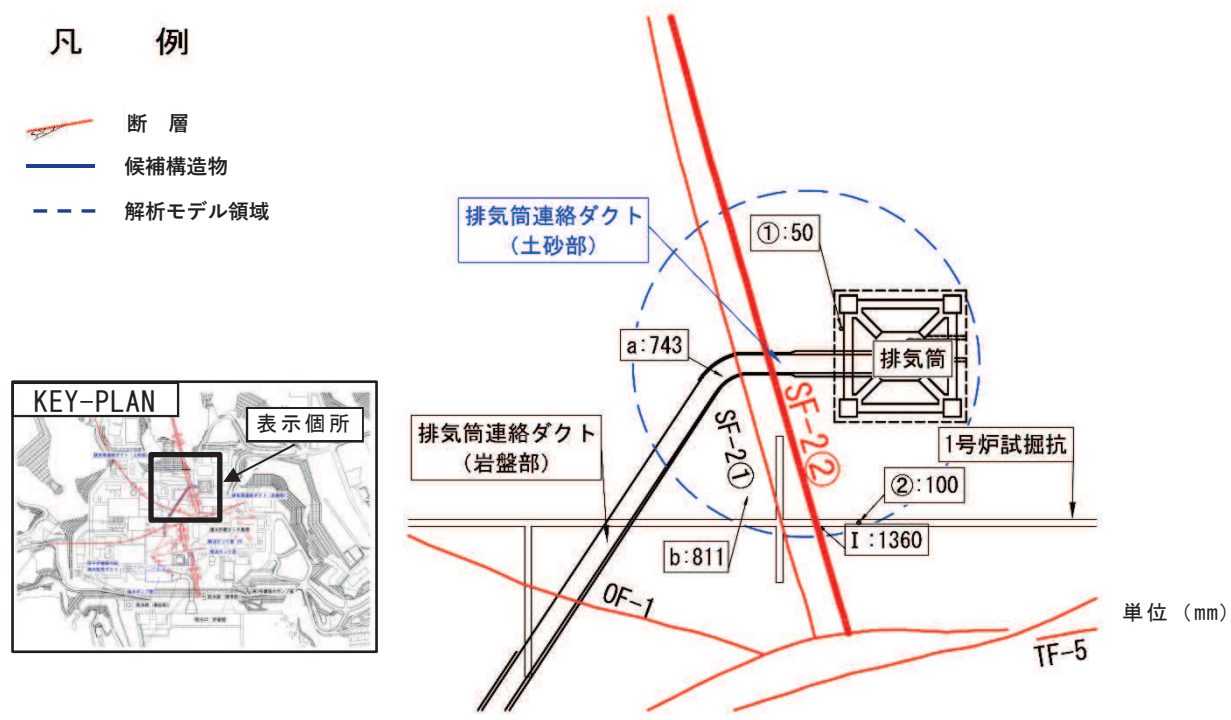
図 2-4 原子炉機器冷却海水配管ダクト及び海水ポンプ室に接する OF-4 断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)



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

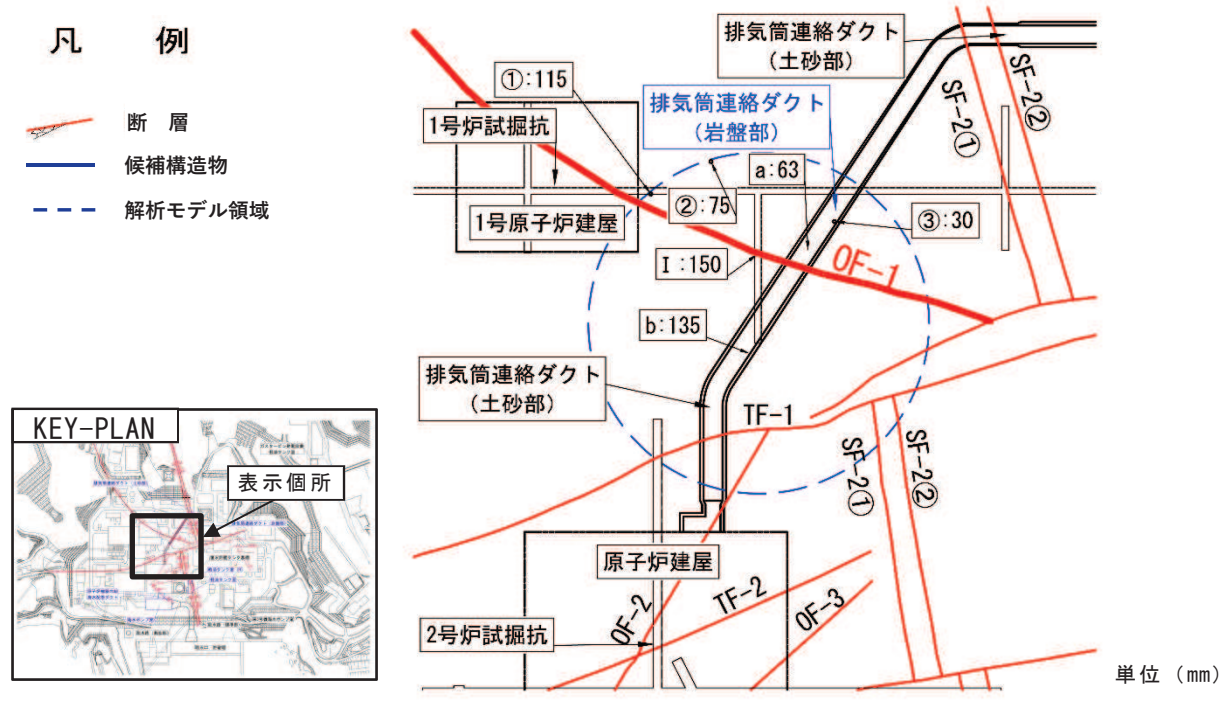
注 2：断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

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)



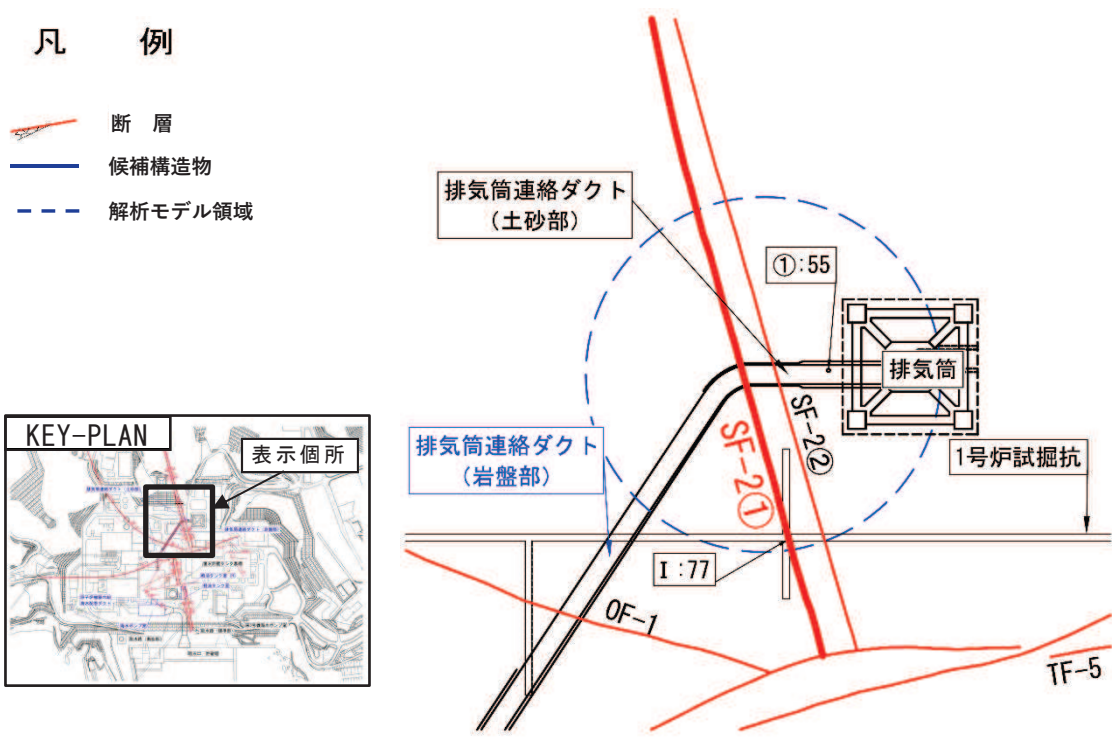
注 1：I は試掘坑調査，①～②は底盤スケッチ，a～b はボーリング調査の結果
 注 2：断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

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)



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 2-8 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			
⑦	10 ~ 80	45					
ボアリング ^a	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	
			ボアリング ^a	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* (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	OF-4 断層	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	OF-4 断層	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* : 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* (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 [△]	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*：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。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は、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、軽油タンク室(H)と MMR の規模が異なることから、評価対象構造物として選定する。なお、原子炉機器冷却海水配管ダクト及び海水ポンプ室と交差している 0F-4 断層について、水平方向の連続性は、試掘杭調査及びボーリング調査結果から 55m 以下であり、深さ方向の連続性は、ボーリング調査の結果から O. P. -20m より深部に連続しないと考えられ、規模が小さく、延長が短い断層と評価されていることから、断層影響の評価対象断面としては選定しない。

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、TF-1 断層が交差する断面と SF-2②断層が交差する断面では、構造物の形状が変わらないため断層の規模(幅)が大きい TF-1 断層を、排気筒連絡ダクト(岩盤部)についても、0F-1 断層が交差する断面と SF-2①断層が交差する断面では、構造物の形状が変わらないため断層の規模(幅)が大きい 0F-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	0F-4 断層	31
			海水ポンプ室
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)	0F-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。軽油タンク室は、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、SF-2①断層に対して構造物が交差する南北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、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。
	軽油タンク室	SF-2①断層	SF-2①断層が MMR に接している南北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。

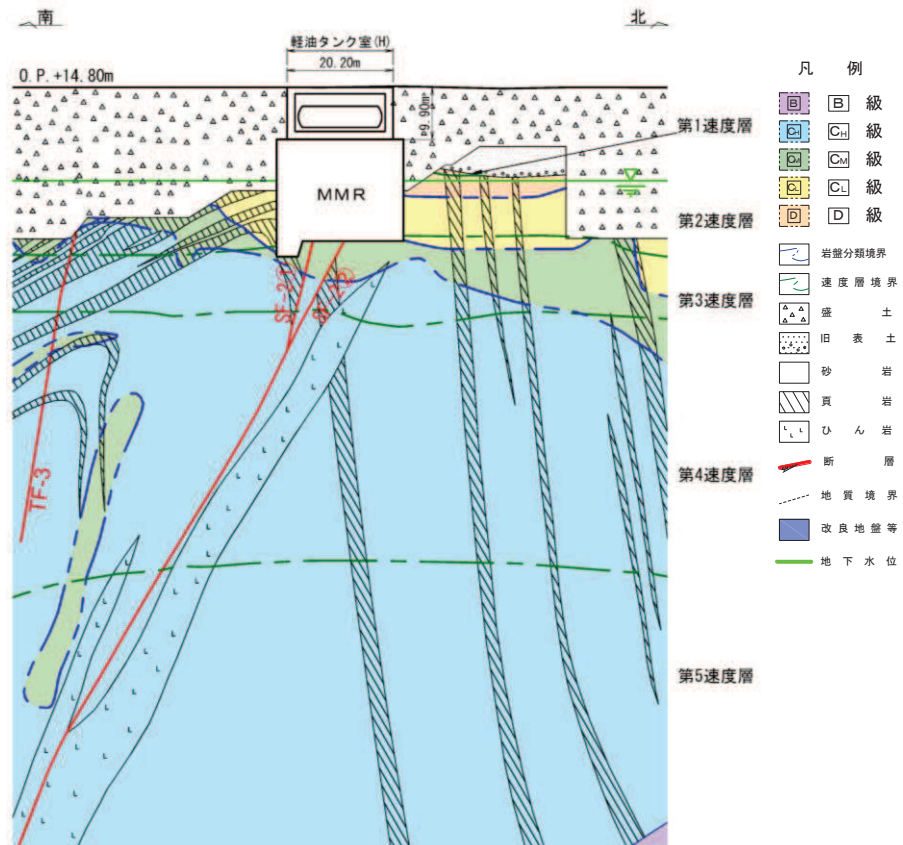


図 4-1 分類 a (MMR) 評価対象断面図 (軽油タンク室 (H) の縦断面)

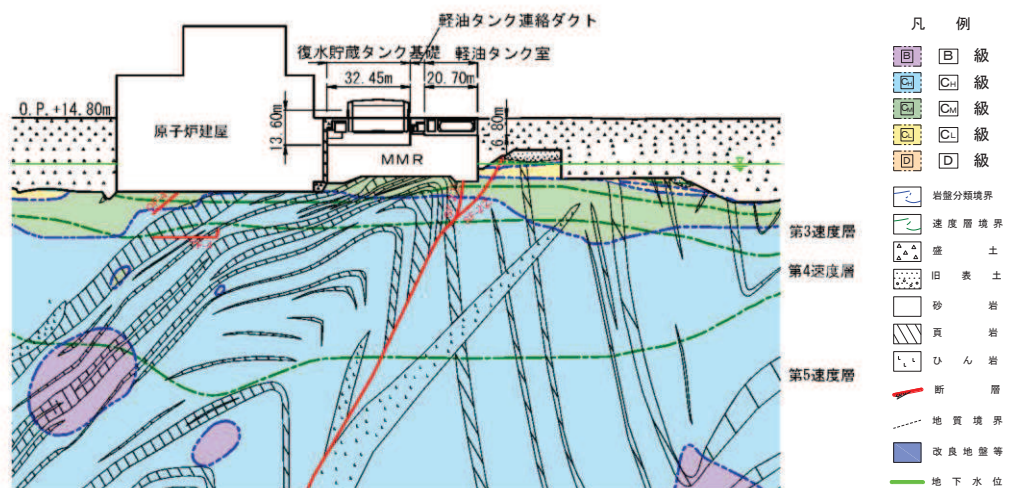


図 4-2 分類 a (MMR) 評価対象断面図 (軽油タンク室の南北断面)

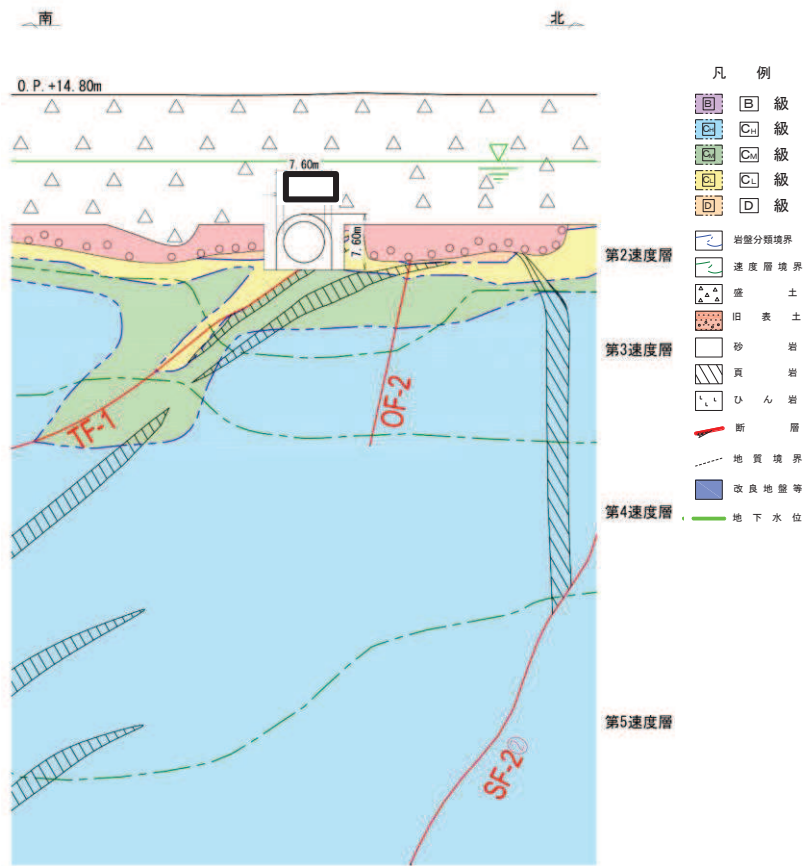


図 4-3 分類 b (盛土) 評価対象断面図
(排気筒連絡ダクト (土砂部) の横断面)

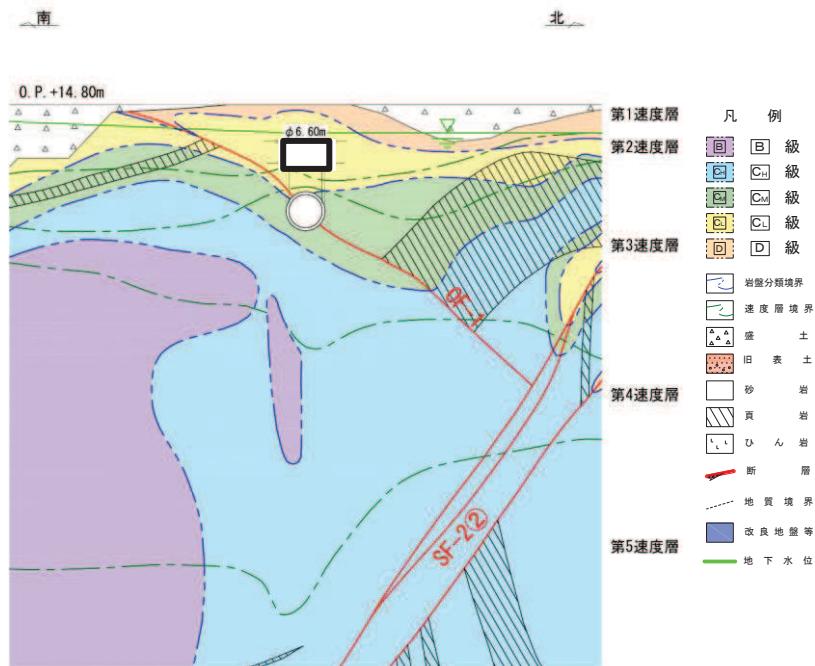


図 4-4 分類 c (岩盤) 評価対象断面図
(排気筒連絡ダクト (岩盤部) の横断面)

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 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定

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 (N/mm^2)

F_m^{*1} : コンクリートの調合管理強度 (N/mm^2)

σ^{*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 (N/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： σ 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. σ 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 σ の値が未知の場合は 3.5N/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 24N/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 (σ)

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 (N/mm^2)	24
材齢 (日)	28
標準偏差 σ (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 24N/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 (N/mm^2)

F_q^{*1} ：コンクリートの品質基準強度 (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 (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 24N/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₂₈S₉₁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 ²)	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、補正值は 6N/mm²とする。

図 1-1 構造体強度補正值の₂₈S₉₁の標準値 (JASS 5N に加筆)

コンクリートの調和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 σ 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 σ 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 ²)	24	24
圧縮強度①(N/mm ²) ^{*1}	<u>36.1</u>	<u>36.1</u>
圧縮強度②(N/mm ²) ^{*2}	33.6	33.6
圧縮強度の採用値(N/mm ²) ^{*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

参考資料 7 地中構造物への鉛直地震動の位相が与える影響

1. 概要

屋外重要土木構造物等は、開削したうえで建設し、その後、盛土により埋戻しを行っている。そのため、海水ポンプ室、第3号機海水ポンプ室及び復水貯蔵タンク基礎の一部が地上に露出しているものの、多くが地表面以下に設置された地中構造物となっている。これらの鉛直地震動位相反転の影響について検討を行う。

鉛直地震動が地中構造物の応答に及ぼす影響については、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針<技術資料>（土木学会，2005）」にて検討が実施されており、以下にその内容について取りまとめる。

2. 検討方法

屋外重要土木構造物のような地中の構造物の応答に対する鉛直地震動の影響の程度を把握するため、複数の地盤条件を対象に、地盤一構造物連成系モデルを用いた時刻歴地震応答解析を実施する。

解析では、水平成層の場合（ケース1）、側方が両側とも傾斜した地盤中に埋設された場合（ケース2）、側方が片側のみ傾斜した地盤中に埋設された場合（ケース3）について検討する。

なお、構造物が設置される基礎地盤は、 $V_s=700\text{m/s}$ の一様岩盤である。

a. 解析モデル

地盤要素は、4 節点平面ひずみ要素を用い、側方及び底面の境界には粘性要素を設ける。構造物要素には、2 節点はり要素を用いる。地盤一構造物間には、ジョイント要素を設け、構造物の剥離、すべりを評価する。図 2-1～図 2-3 に解析モデルを示す。

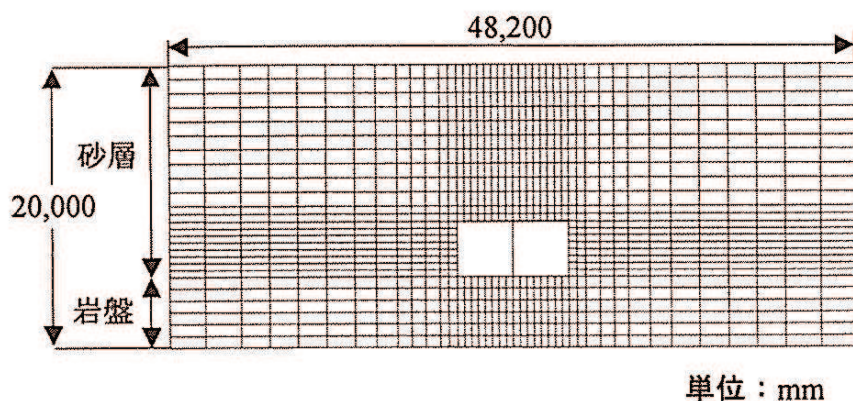


図 2-1 ケース 1 の解析モデル

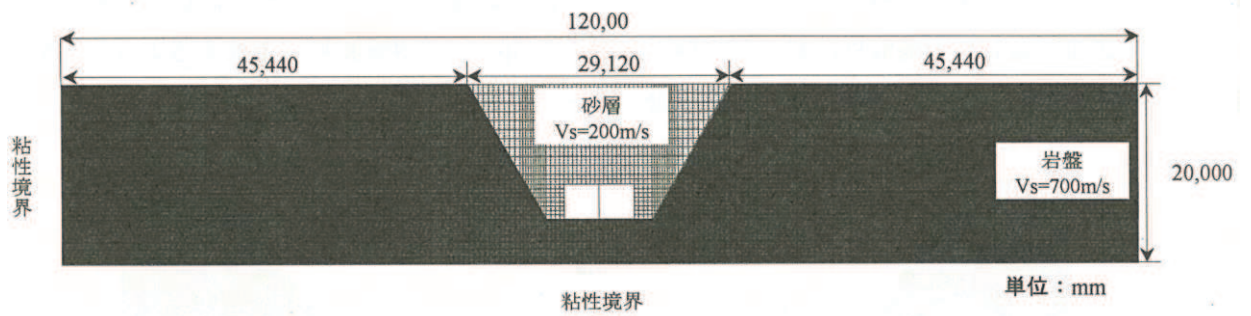


図 2-2 ケース 2 の解析モデル

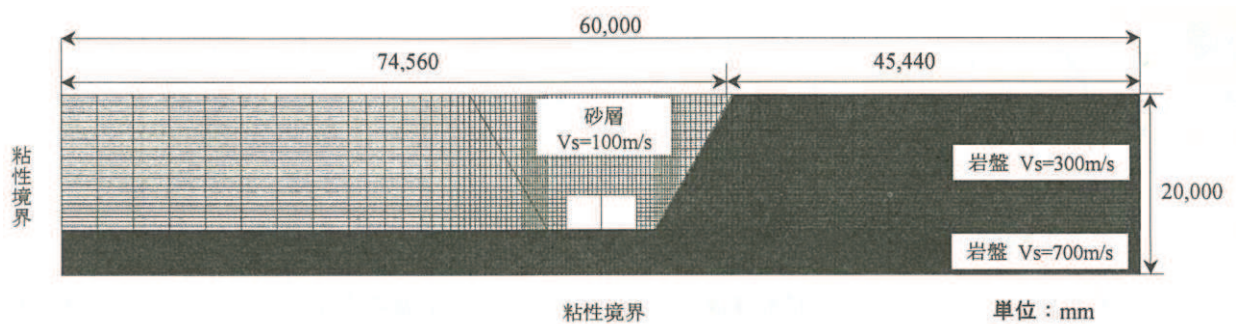


図 2-3 ケース 3 の解析モデル

- b. 地盤のモデル化
R-0 モデルにより，動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性を考慮する。
- c. 構造物のモデル化
軸力変動型トリリニアモデルにより，RC 部材の曲げに関する非線形特性を考慮する。
- d. 入力地震動
水平・鉛直地震動ともに，1995 年兵庫県南部地震における神戸大学での観測記録を用いる。

3. 検討結果

各ケースによる解析結果を表 3-1 に示す。

同表における各断面力図は、横軸に水平地震動のみ加振した場合の断面力を、縦軸に、水平・鉛直同時加振の場合の断面力で整理している。

各ケース、鉛直地震動により、発生軸力に若干の影響が認められるものの、曲げ及びせん断に支配的な断面力である、曲げモーメント、せん断力は、鉛直地震動による影響が小さい。

図 3-1 に、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち、軸力の影響を評する項である β_n についてケース 3 の解析結果を整理したものを示す。

同図より、水平地震動のみの場合と、水平・鉛直同時加振の場合の β_n は、ほぼ整合しており、鉛直地震動の影響は小さいことが示された結果と言える。

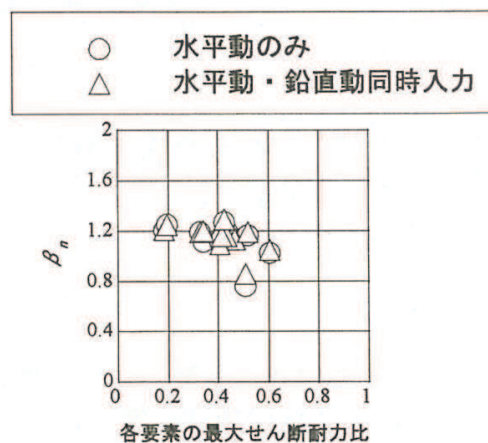


図 3-1 せん断耐力に及ぼす軸力変動の影響

表 3-1 地震応答解析結果一覧表

	断面力		
	曲げモーメント	せん断力	軸力
ケース1			
ケース2			
ケース3			

4. まとめ

鉛直地震動が地中構造物の応答に及ぼす影響について、既往の文献を基に検討を実施した。その結果、基礎地盤の速度構造が一様である場合、屋外重要土木構造物のような、地中に埋設された RC 構造物は、鉛直地震動の影響をほぼ受けないことが確認された。

女川原子力発電所の基礎地盤の速度構造は、おおむね水平成層であることが確認されていることから、屋外重要土木構造物の耐震安全性評価では、鉛直地震動は耐震性に顕著な影響を及ぼさないものと判断されることから、鉛直地震動については、位相の反転を考慮しない。

参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果

1. はじめに

屋外重要土木構造物のうち、海水ポンプ室、取水路（漸拡部）、取水路（標準部、断面④及び⑤）及びガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）は、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について 4.3 解析手法選定の方針」に示す解析手法の選定フローにより、④全応力解析に分類されている。

しかし、各構造物と地盤改良の間や解析断面の周辺領域に地下水位以下の盛土や旧表土が分布していることから、これらの地盤の液状化の可能性等を確認するため有効応力解析を行い、全応力解析による耐震評価で問題無いことと、液状化による浮上りの評価が不要であることを確認した。

以下に構造物毎に検討内容を示す。

2. 海水ポンプ室及び取水路（漸拡部）に対する確認

海水ポンプ室と取水路（漸拡部）は相互に接続して設置されており、周囲の改良地盤や盛土・旧表土の分布等の地質状況も類似しているため、両構造物に対する確認をまとめて行う。

海水ポンプ室及び取水路（漸拡部）の評価対象位置図を図 2-1 に、地質断面図を図 2-2 及び図 2-3 にそれぞれ示す。両構造物とも、躯体と改良地盤の間には地下水位以深の盛土が分布していることから、この盛土の液状化の可能性を確認する。また、両断面とも隣接する防潮堤の東側には、O.P. 3.5m 盤の地下水位以深の盛土・旧表土が分布していることから、盛土・旧表土の液状化による構造物への影響を確認する。

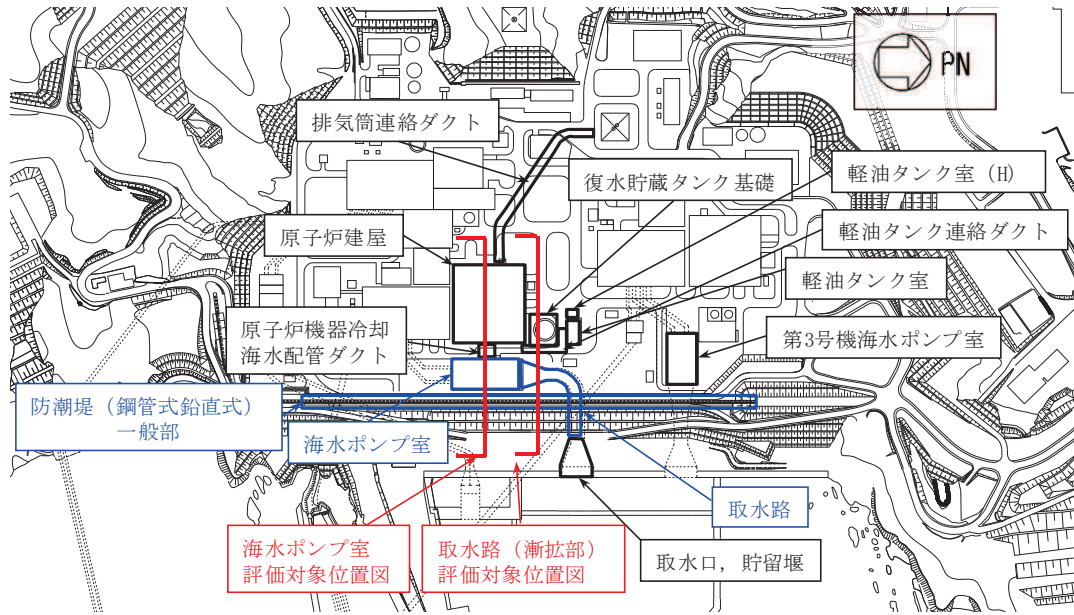


図 2-1 海水ポンプ室及び取水路（漸拡部）評価対象位置図

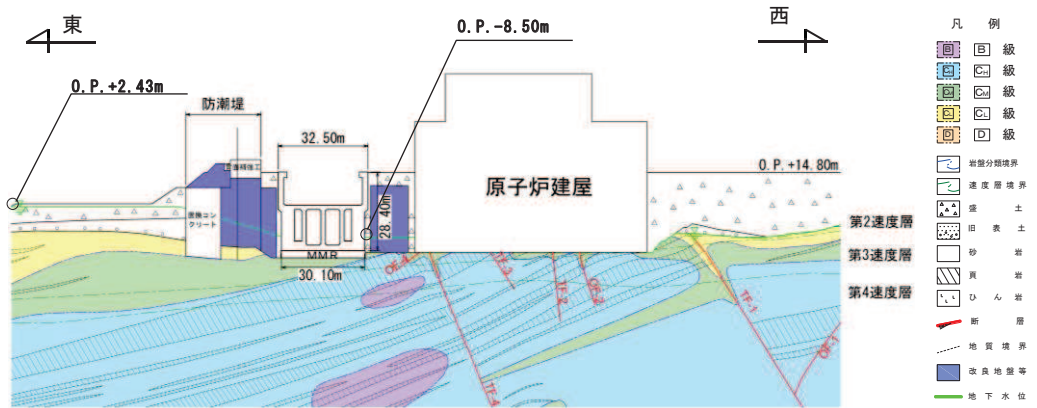


図 2-2 海水ポンプ室地質断面図（東西（補機ポンプエリア））

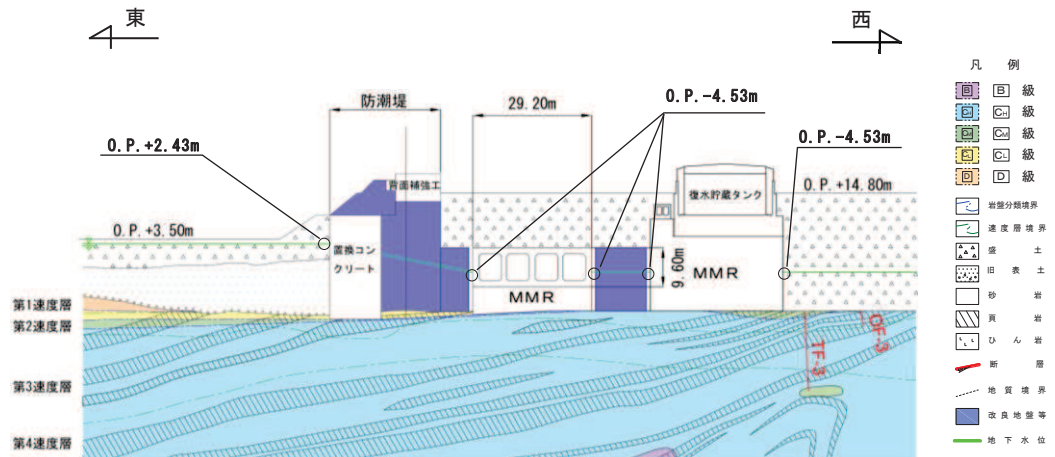


図 2-3 取水路（漸拡部）評価対象地質断面図

2.1 構造物と改良地盤間に分布する盛土の液状化の確認

構造物と改良地盤間に局所的に分布する盛土の液状化の可能性は、防潮堤を対象として実施した有効応力解析による地盤の過剰間隙水圧比により確認する。解析断面は、図 2-1 において海水ポンプ室を含む断面とし、地質断面図は、図 2-2 と同様である。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）に対する隣接構造物の影響検討を目的に実施した有効応力解析結果を引用する。海水ポンプ室及び原子炉建屋は、コンクリート剛性として変位が小さく評価されていることに留意が必要である。一方、地下水位は O.P. 3.5m 盤及び O.P. 14.8m 盤共に、O.P. 2.43m としており、海水ポンプ室周辺では、海水ポンプ室の設計用地下水位（O.P. -8.5m）や取水路（漸拡部）の設計用地下水位（O.P. -4.53m）より高く、保守的な設定となっている。

地震動の継続時間が長く液状化発生の可能性が高くなる $S_s - D 1 (+ +)$ と防潮堤の耐震性に厳しい $S_s - D 2 (+ +)$ に対する最大過剰間隙水圧分布比分布を図 2-4(1) と図 2-4(2) にそれぞれ示す。

解析の結果、液状化が発生しているのは、O.P. 3.5m 盤の旧表土のみであり、拘束圧が小さく地下水が高い O.P. 3.5m 盤の盛土においては液状化していない。また、着目する O.P. 14.8m の盛土は液状化していない。

本解析では、構造物の剛性を高くモデル化して、変形が小さく評価されているが、その影響を受けずに自由に変形できる O.P. 3.5m 盤の盛土でも液状化していないことから、両構造物の付近に局所的に分布する盛土の液状化やそれに起因する浮上りの影響は無いと判断した。

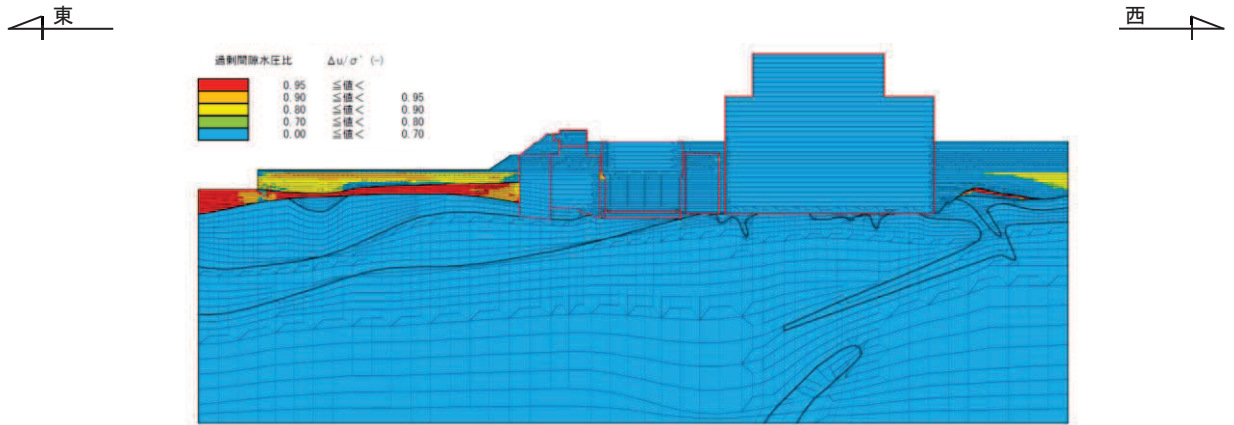


图 2-4(1) 最大过剩间隙水压比分布 (S_s-D1 (++))

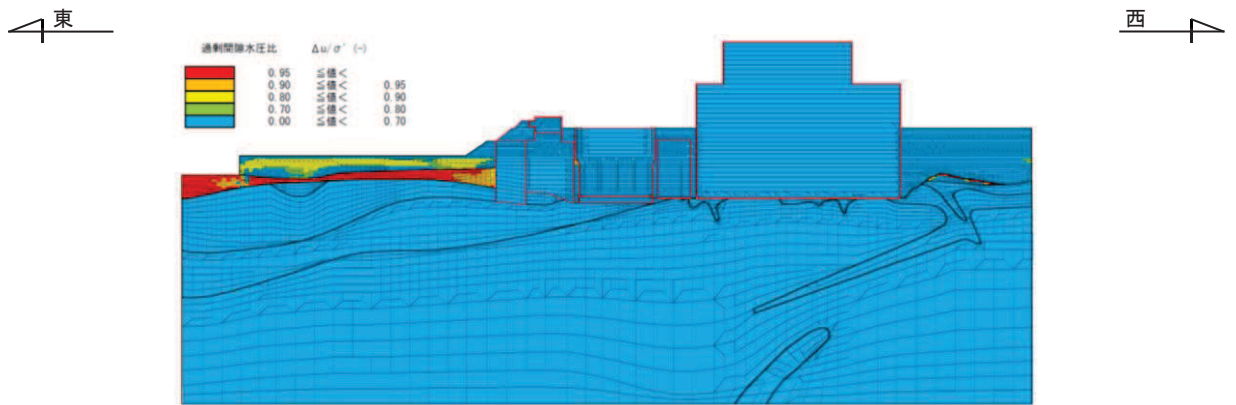


图 2-4(2) 最大过剩间隙水压比分布 (S_s-D2 (++))

2.2 0.P.3.5m 盤の盛土・旧表土による影響の確認

影響の確認は、防潮堤を対象として実施した全応力解析と有効応力解析による地盤のせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比等に着目し比較する。解析断面は、液状化強度比が比較的小さい旧表土が厚く分布する図 2-5 の断面②とする。断面②の解析モデルを図 2-6 に示す。入力地震動は、防潮堤の耐震評価が厳しくなる S_s-D2 (—) とする。

全応力解析及び有効応力解析によるせん断ひずみ分布を、図 2-7(1)と図 2-7(2)に示す。解析の結果、0.P.3.5m 盤の旧表土は液状化しているものの、防潮堤西側（陸側）における両解析のせん断ひずみの分布は類似しており、ひずみレベルも両解析ともに 2% 以下であることから、0.P.3.5m の液状化の影響は、両構造物の分布する 0.P.14.8m 盤の地盤に影響を及ぼさないと判断した。

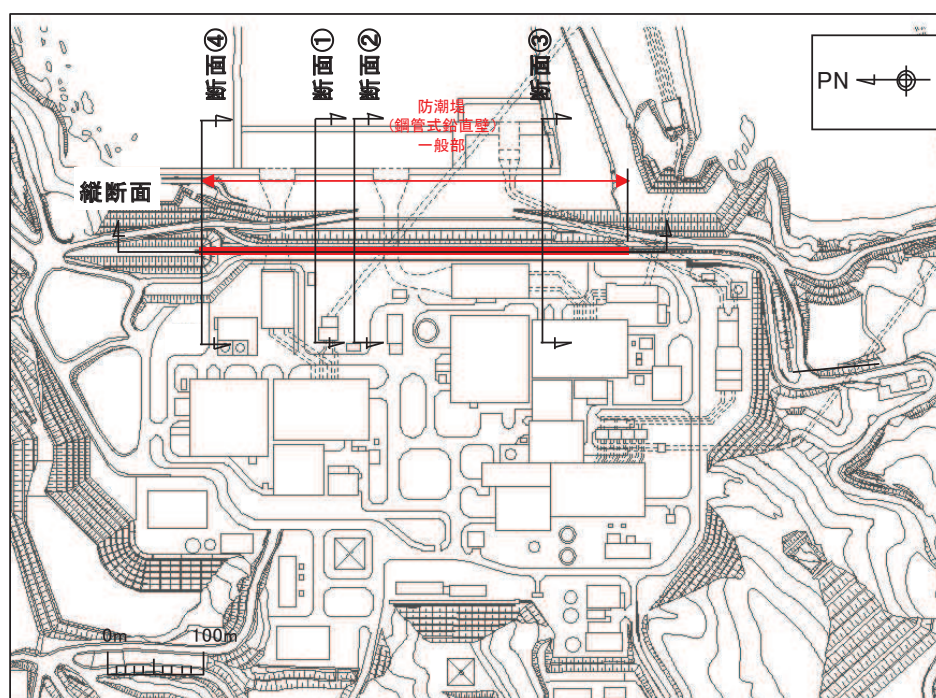


図 2-5 防潮堤の解析断面位置図 (断面②)

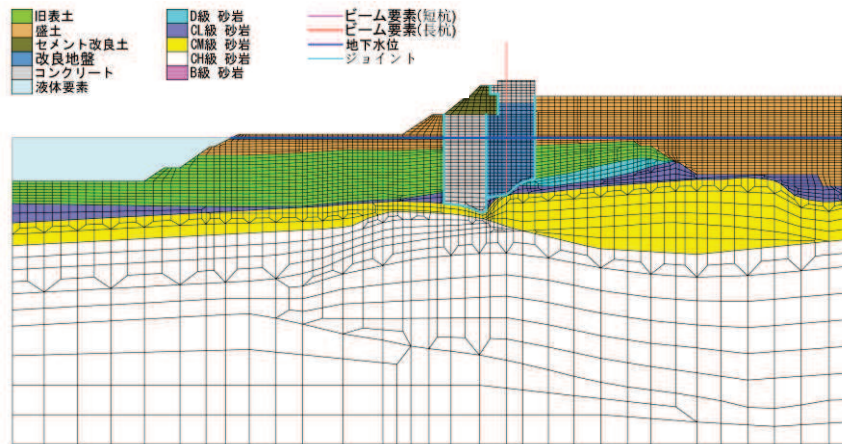
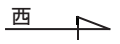
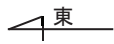


図 2-6 断面②の解析モデル

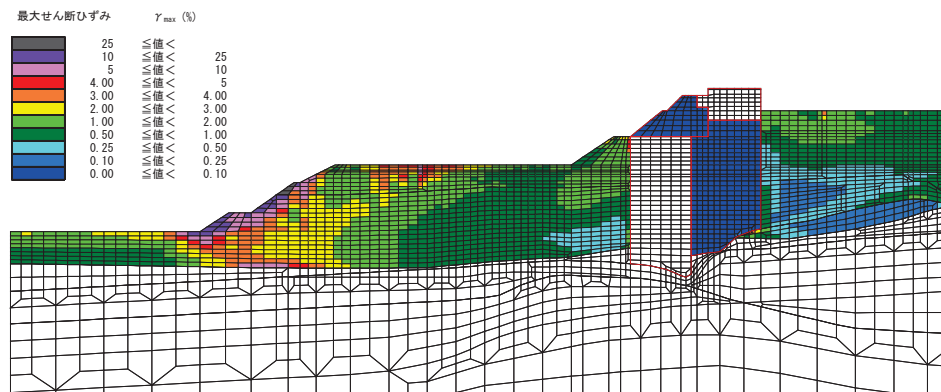


図 2-7(1) 全応力解析 (断面②) の最大せん断ひずみ分布

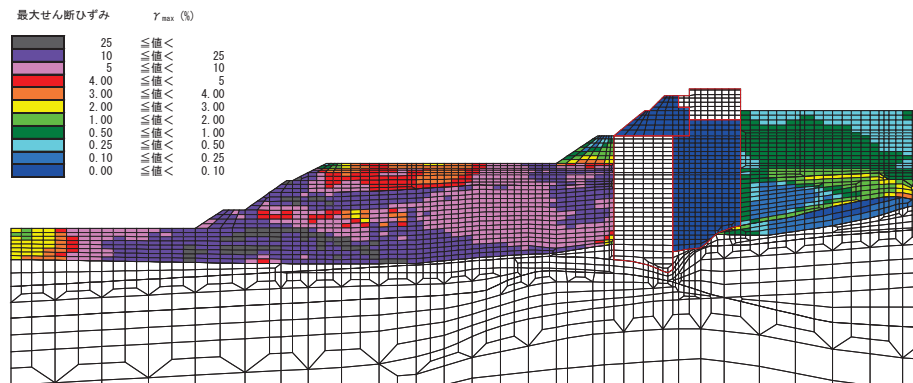
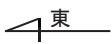


図 2-7(2) 有効応力解析 (断面②) の最大せん断ひずみ分布

3. 取水路（標準部，断面④及び断面⑤）に対する確認

取水路（標準部，断面④及び断面⑤）の平面図を図3-1に，地質断面図を図3-2及び図3-3にそれぞれ示す。両断面とも，躯体の側面及び頂部に地下水位以深の盛土が分布している。この盛土については，断面④では躯体と防潮堤の置換コンクリートに挟まれ，断面⑤では躯体と防潮堤の改良地盤に挟まれ，変形を拘束されていることから，せん断変形を受けて過剰間隙水圧が蓄積する可能性は小さいと考えられる。したがって，両断面とも躯体近傍の盛土の液状化の影響やそれに起因する浮上りの影響は無いと判断した。

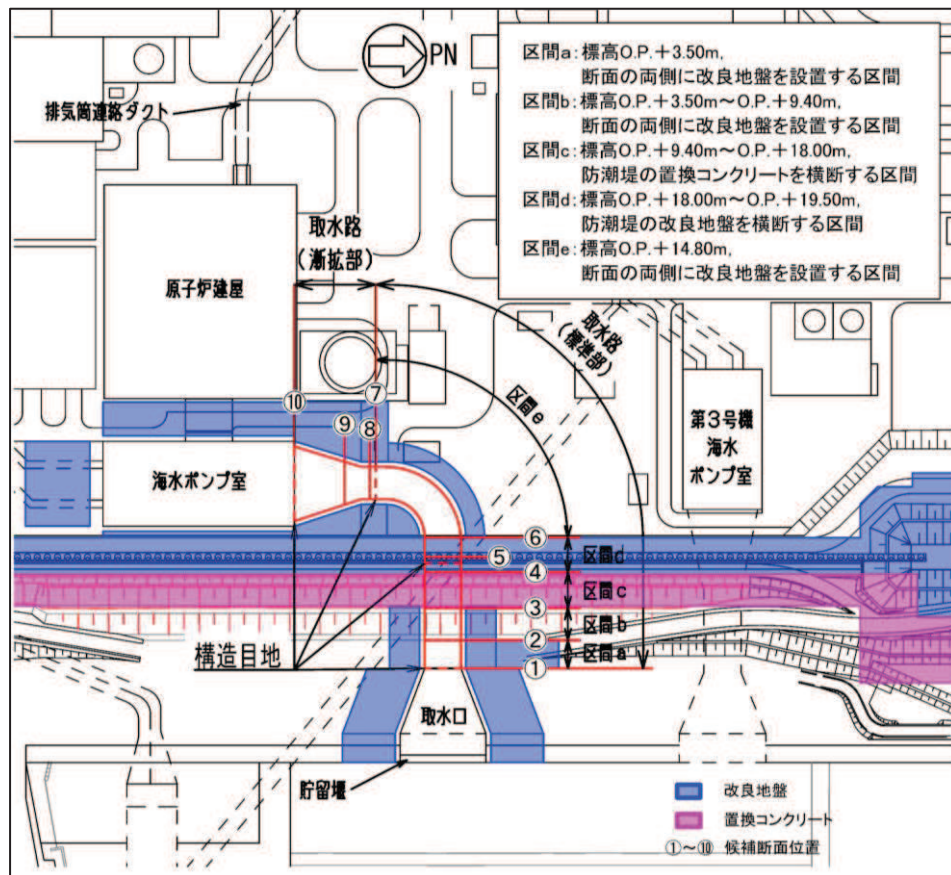


図3-1 取水路（標準部，断面④及び⑤）平面図

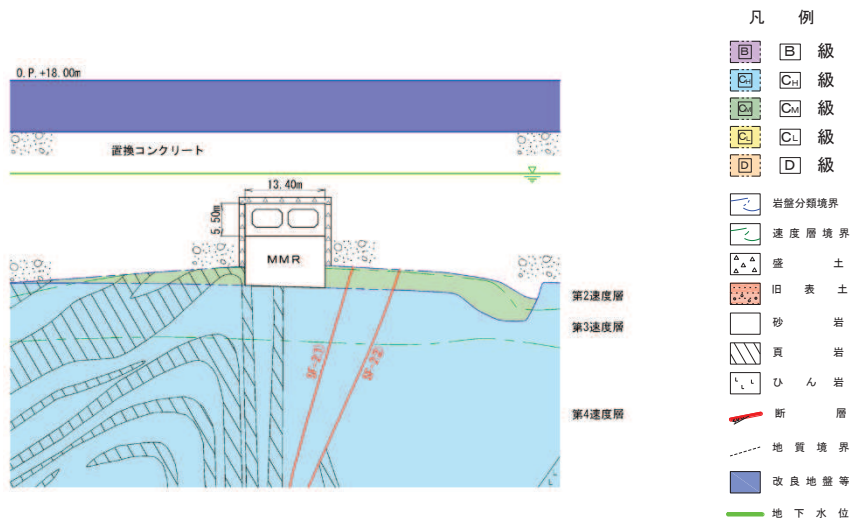


図 3-2 取水路（標準部）地質断面図（断面④：直線部）

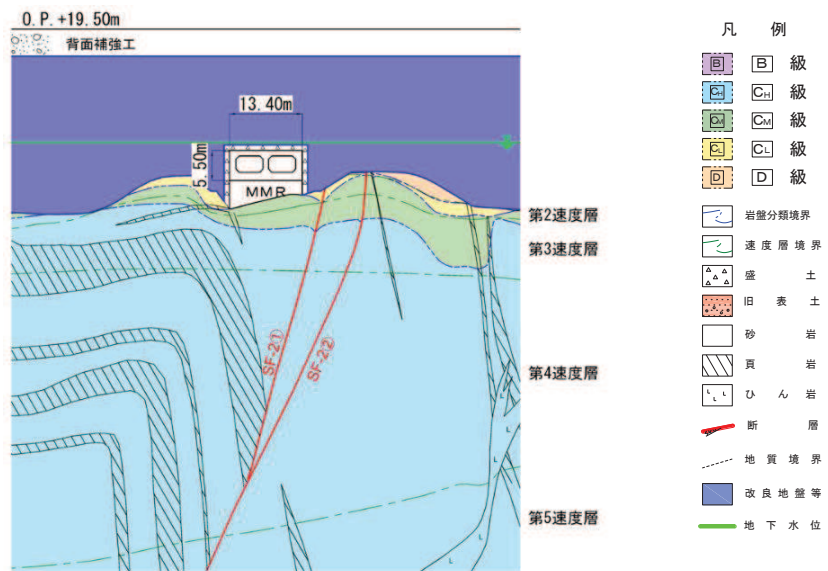


図 3-3 取水路（標準部）地質断面図（断面⑤：曲線部）

4. ガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）に対する確認

ガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）の平面図を図 4-1 に、地質断面図を図 4-2 に示す。躯体の東側には電気品建屋が隣接するが、電気品建屋との間の地盤は、地下水位以深の盛土が分布していることから、この盛土の液状化の可能性を確認する。

確認は、基準地震動 S_s を用いた一次元有効応力解析により盛土の過剰間隙水圧比に着目して実施する。解析ケースは、有効応力解析の基本ケースであるケース⑥に加え、地盤のばらつきを考慮したケース⑦及び⑧とする。地盤のばらつきを考慮した検討の対象とする盛土は、ガスタービン発電設備軽油タンク室と電気品建屋に挟まれ、変形を拘束されているが、一次元有効応力解析により、隣接構造物が無い水平成層地盤を想定することにより保守的に評価を行った。

一次元有効応力解析に用いる土層モデルを図 4-3 に、解析結果として最大過剰間隙水圧比分布を図 4-4 に示す。解析の結果、盛土の過剰間隙水圧比は 0.95 以下となっていることから、液状化の影響及び浮上りの可能性はないと判断した。

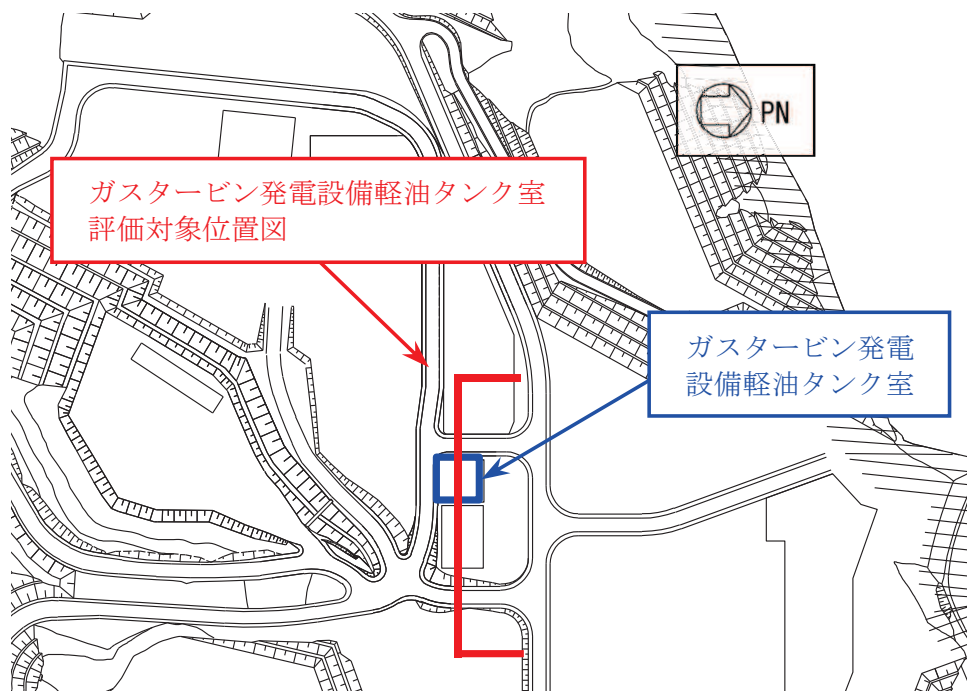


図 4-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

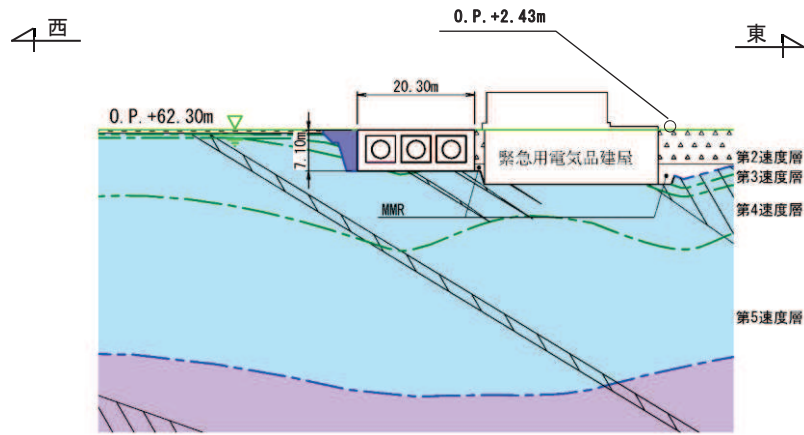


図 4-2 ガスタービン発電設備軽油タンク室評価対象地質断面図（東西方向）

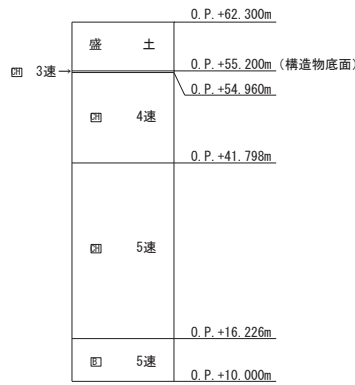


図 4-3 ガスタービン発電設備軽油タンク室 一次元解析モデル

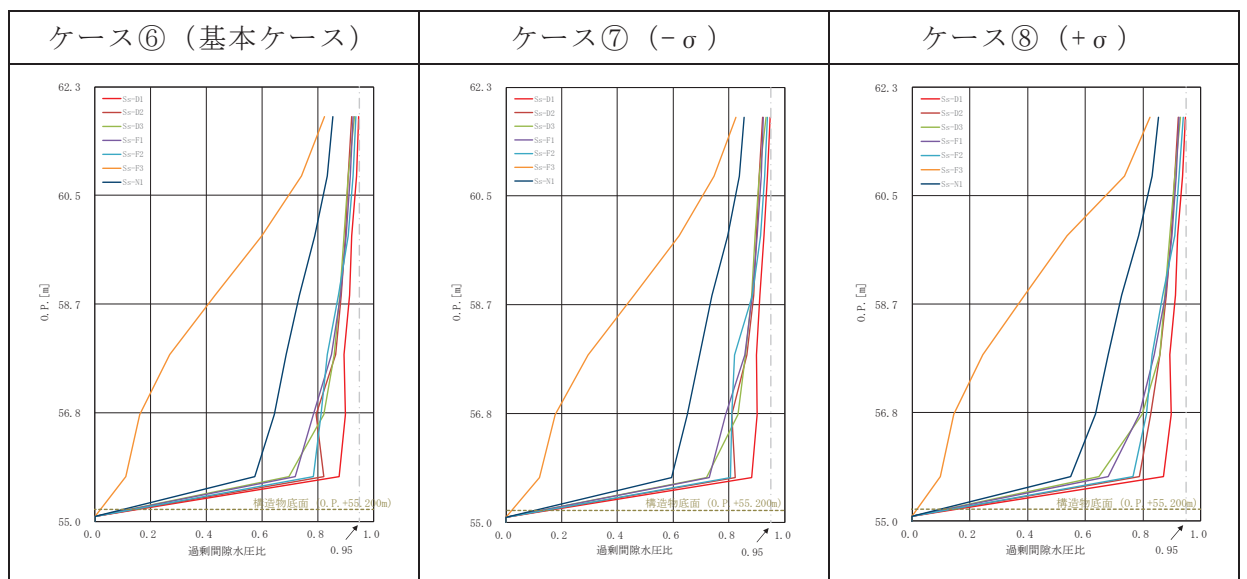


図 4-4 最大過剰間隙水圧比分布

(参考) 9-10

4. まとめ

全応力解析により耐震評価を実施する海水ポンプ室，取水路（漸拡部），取水路（標準部，断面④及び断面⑤），及びガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）について，躯体の近傍に局所的に分布する盛土の液状化可能性について検討し，いずれの構造物の盛土も液状化は発生せず，液状化の影響及びそれに起因する浮上りの影響は無いと判断した。

具体的には，海水ポンプ室及び取水路（漸拡部）については，二次元有効応力解析により盛土の過剰間隙水圧比は 0.95 以下であることを確認した。取水路（標準部，断面④及び断面⑤）については，周囲を置換えコンクリート又は改良地盤で囲われており，盛土の変形が拘束されていることから定性的に液状化の影響及び浮上りの可能性はないと判断した。ガスタービン発電設備軽油タンク（東西方向）については，一次元有効応力解析により盛土の過剰間隙水圧比は 0.95 以下であることを確認した。

海水ポンプ室及び取水路（漸拡部）については，隣接する防潮堤の東側に分布する盛土・旧表土の液状化による影響の確認として，防潮堤の陸側に発生する地盤のせん断ひずみについて，二次元全応力解析と二次元有効応力解析による比較を行い，両者が同等であり，ひずみレベルも 2%以下と小さいことから全応力解析を選定することの妥当性を確認した。

以上の確認により，解析手法の選定で④全応力解析と選定された断面には，盛土や旧表土が分布するものの全応力解析を選定することの妥当性が確認された。

参考資料 10 追加解析ケースの選定方法の詳細について

1. 概要

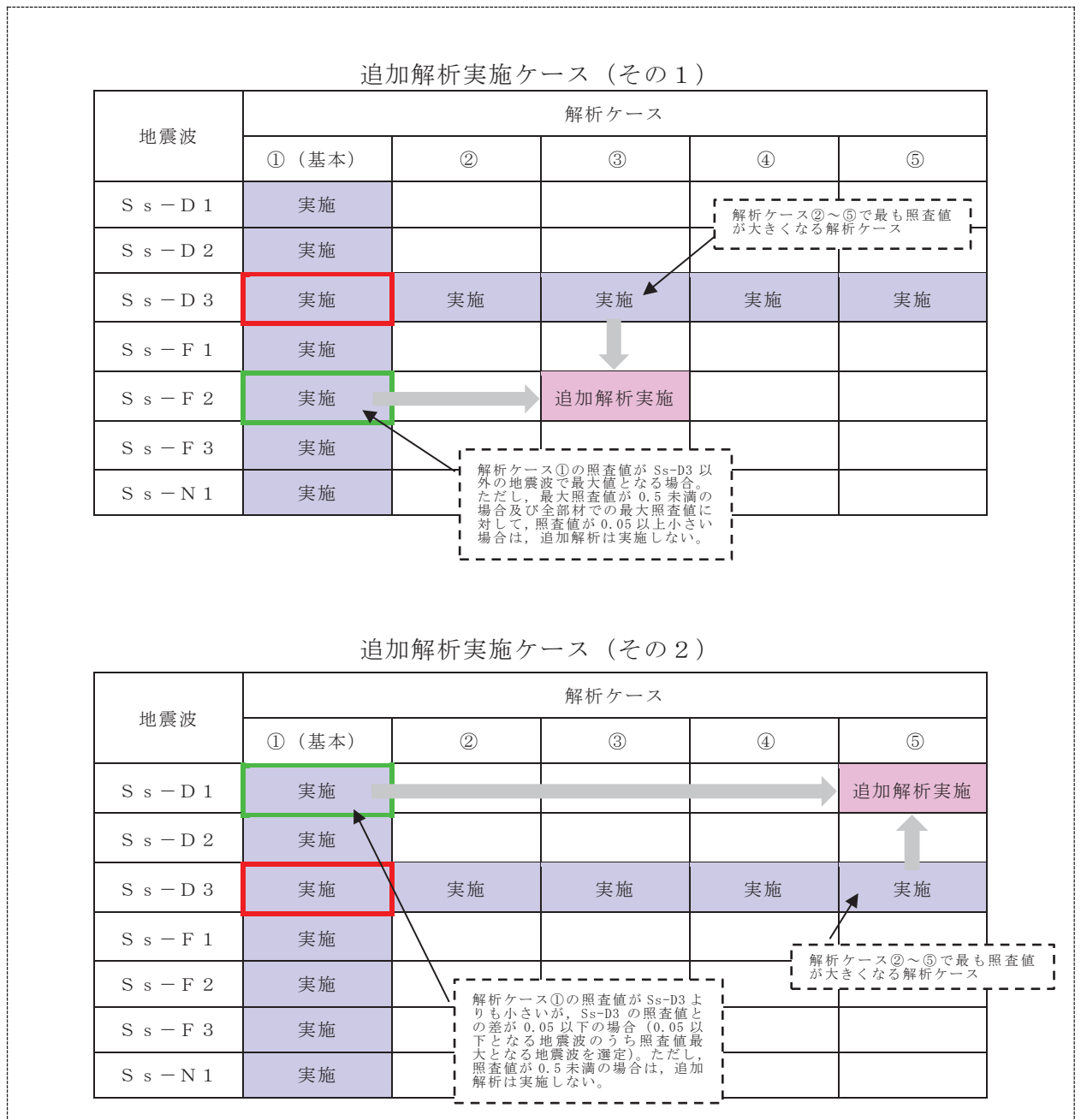
「10. 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定について」に示すとおり、曲げ軸力、せん断力及び支持力の照査において、照査地が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

本項では、追加解析ケースの選定方法の詳細を示す。

2. 選定方法

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①（基本ケース）において、曲げ軸力、せん断力及び支持力の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（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、解析ケース②～⑤の追加解析を実施する。

曲げ軸力、せん断力及び支持力の全ての照査について、図 2-1 の概念図に示すとおり、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。



資料3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価

目 次

1. 評価方法
2. 評価条件
 - 2.1 評価対象断面の選定
 - 2.2 使用材料及び材料の物性値
 - 2.3 地盤物性値
 - 2.4 評価構造物諸元
 - 2.5 地下水位
 - 2.6 耐震評価フロー
 - 2.7 適用規格
3. 地震応答解析
 - 3.1 地震応答解析手法
 - 3.2 地震応答解析モデルの設定
 - 3.3 地震応答解析の解析ケース
4. 評価内容
 - 4.1 入力地震動の設定
 - 4.2 許容限界の設定
5. 評価結果
 - 5.1 地震応答解析結果
 - 5.2 解析ケースと照査値
 - 5.3 層間変形角時刻歴波形（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）
 - 5.4 断面力分布（せん断破壊に対する照査）
 - 5.5 最大せん断ひずみ分布
 - 5.6 構造部材の健全性に対する評価結果
 - 5.7 基礎地盤の支持性能に対する評価結果
 - 5.8 機器・配管系への鉄筋コンクリート部材の初期剛性低下の影響（ケース⑤）
6. まとめ

参考資料 1 解析手法の選定

参考資料 1 解析手法の選定

1. はじめに

排気筒連絡ダクト（土砂部）は、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.3 解析手法の選定」における解析手法の選定フローに基づき、二次元の全応力解析及び有効応力解析の比較検討を行い、保守的な解析手法を選定する構造物となる。

本資料では土砂部を対象に比較検討を行い、全応力解析が保守的手法として選定した結果を説明するものである。比較検討の結果、構造物の耐震性にとってクリティカルとなるせん断照査値は、全応力解析の方が厳しくなったことから、全応力解析を保守的な解析手法として選定した。

2. 解析手法選定の方針

解析手法の選定では、断面選定による候補断面から代表断面を選定し、基準地震動 S_s 7 波に対する全応力解析と有効応力解析を行い、断面力及び照査値を比較する。候補断面の位置を図 2-1 に示す。

候補断面として断面①、断面②及び断面③をそれぞれ図 2-2、図 2-3 及び図 2-4 に示す。解析手法の選定に用いる代表断面は、候補断面のうち液状化の影響が大きい断面を代表とする。女川原子力発電所の盛土・旧表土の液状化特性について、盛土に比べ、旧表土の方が液状化抵抗が小さい。また、液状化検討対象への土被りが大きいほど、液状化の影響が少なくなる（「参考資料 1 0. P. 14. 8m 盤に分布する盛土・旧表土の液状化特性」参照）ことを考慮し、解析手法の選定に用いる断面は、周辺に旧表土が分布しており、旧表土への土被りが小さい、断面③を代表とする。

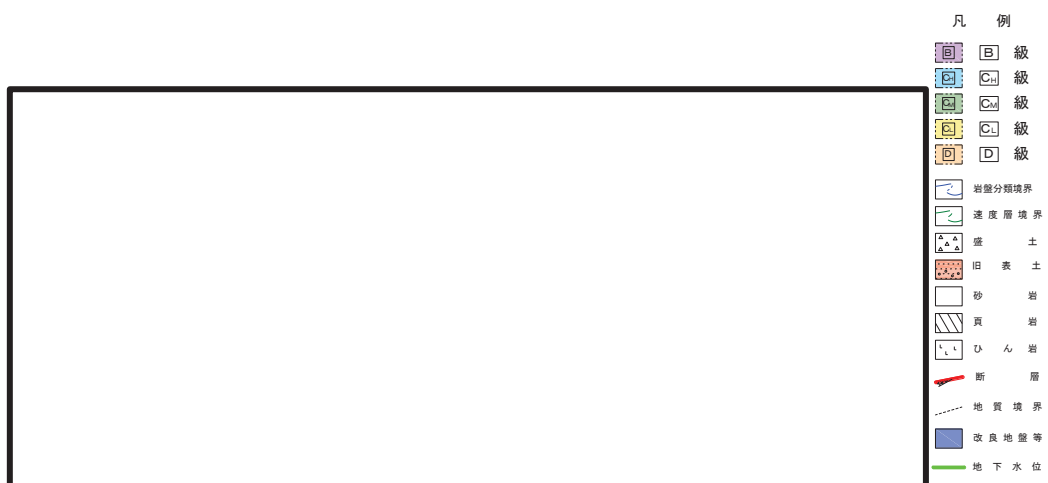


図 2-1 排気筒連絡ダクト縦断図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

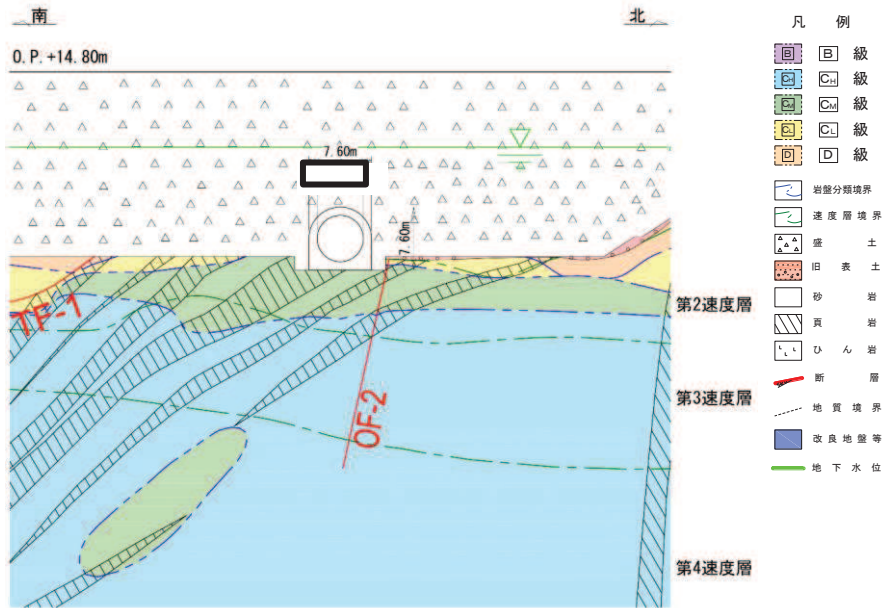


図 2-2 排気筒連絡ダクト断面図 (断面①)

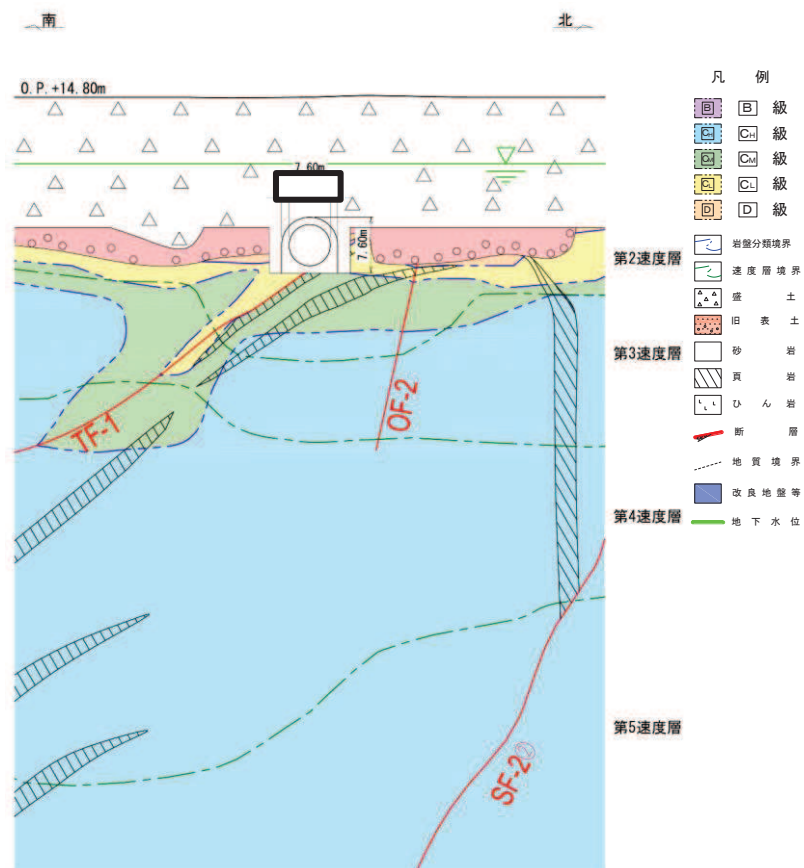


図 2-3 排気筒連絡ダクト断面図 (断面②)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

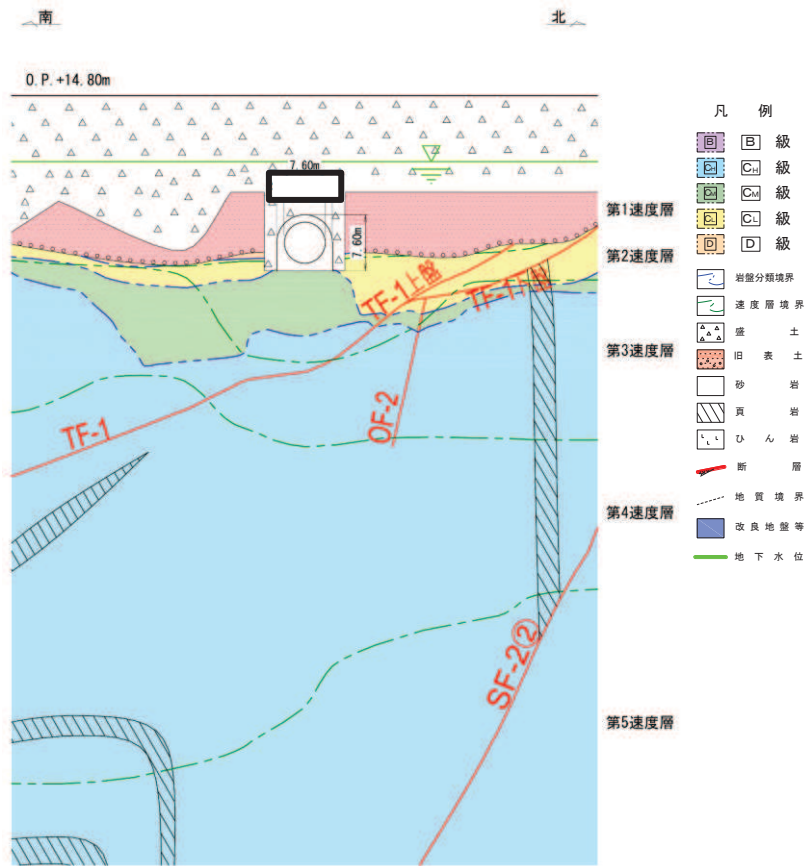


図 2-4 排気筒連絡ダクト断面図 (断面③)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

3. 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3-1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。

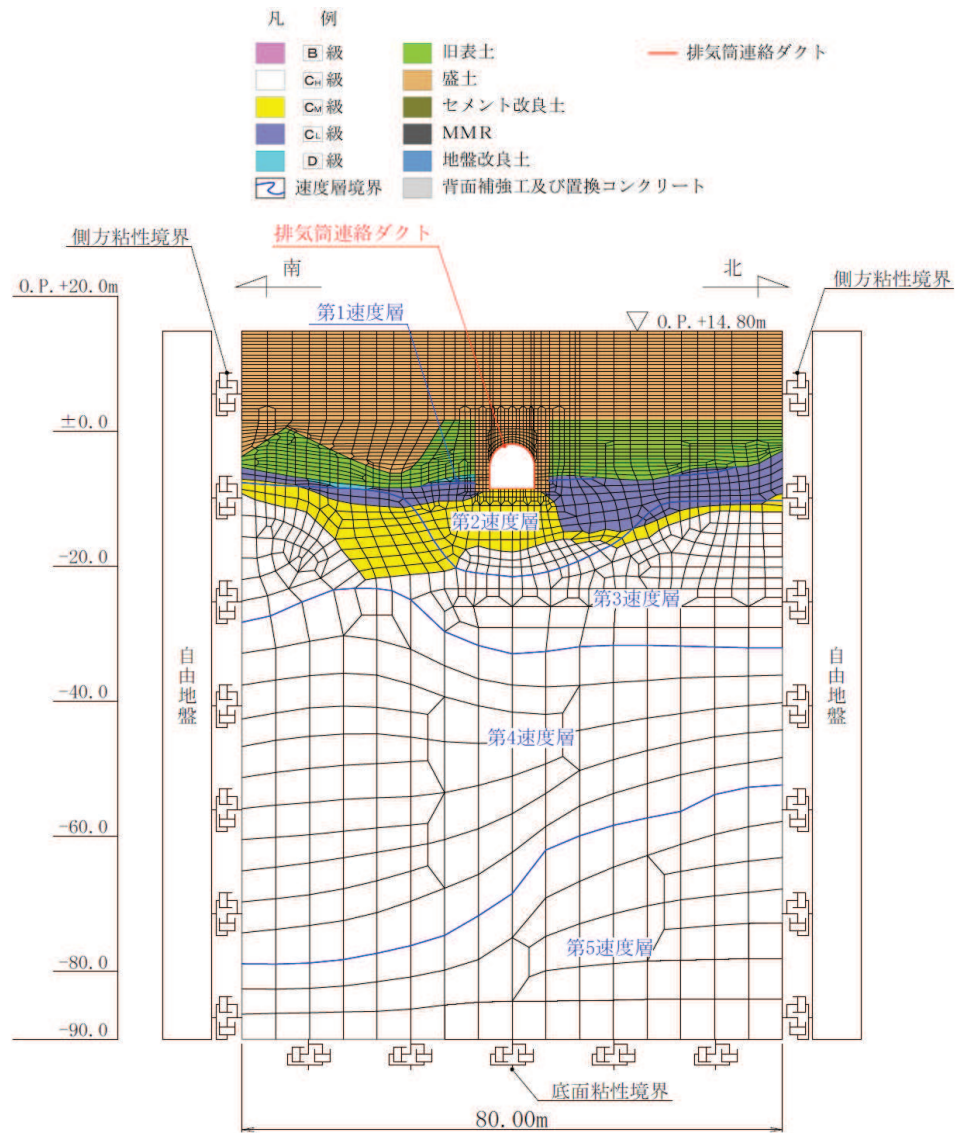


図3-1 排気筒連絡ダクト（断面③）解析モデル図

3.1 断面力の比較

図 3.1-1～図 3.1-7 に基準地震動 S_s 毎の断面力図（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，せん断力が全部材で最も厳しくなった時刻を示した。

基準地震動 S_s 毎に断面力を比較すると， S_s-D1 に対する曲げモーメントを除く，曲げモーメント，せん断力及び軸力の全てで全応力解析が大きい値を示す結果となっている。

また，耐震評価に支配的な要因である土圧（「参考資料 2 地中構造物の耐震性に支配的な要因の検討」参照）について，基準地震動 S_s 毎に表 3.1-1 に示す。表 3.1-1 に示す通り，基準地震動 S_s （7 波）全てにおいて全応力解析が大きいことにより，部材に発生する断面力も同様の傾向を示していると考えられる。

参考までに，各断面における基準地震動 S_s 毎の過剰間隙水圧比分布を図 3.1-8～図 3.1-14 に示す。

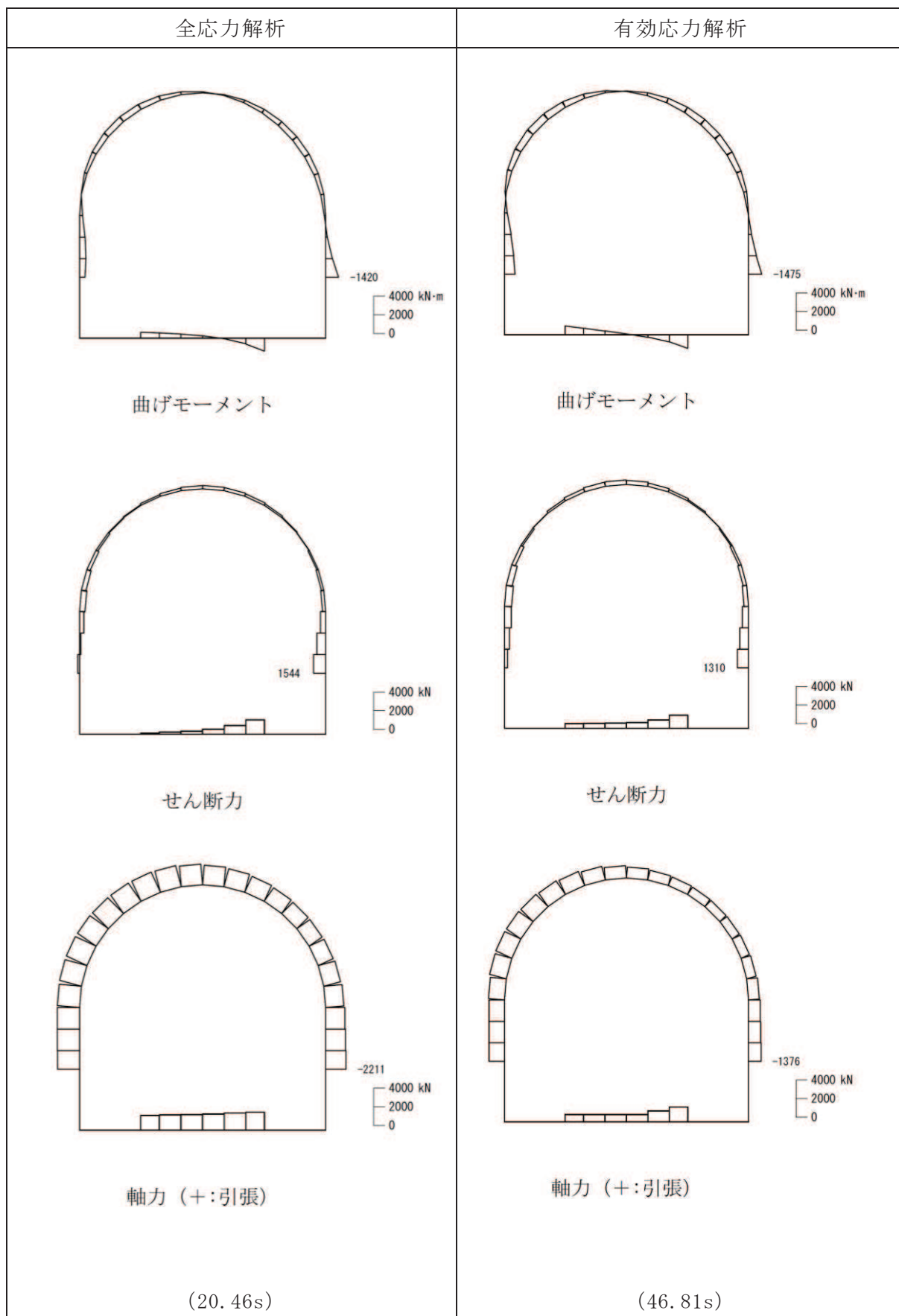


図 3.1-1 断面力図 (S s - D 1)

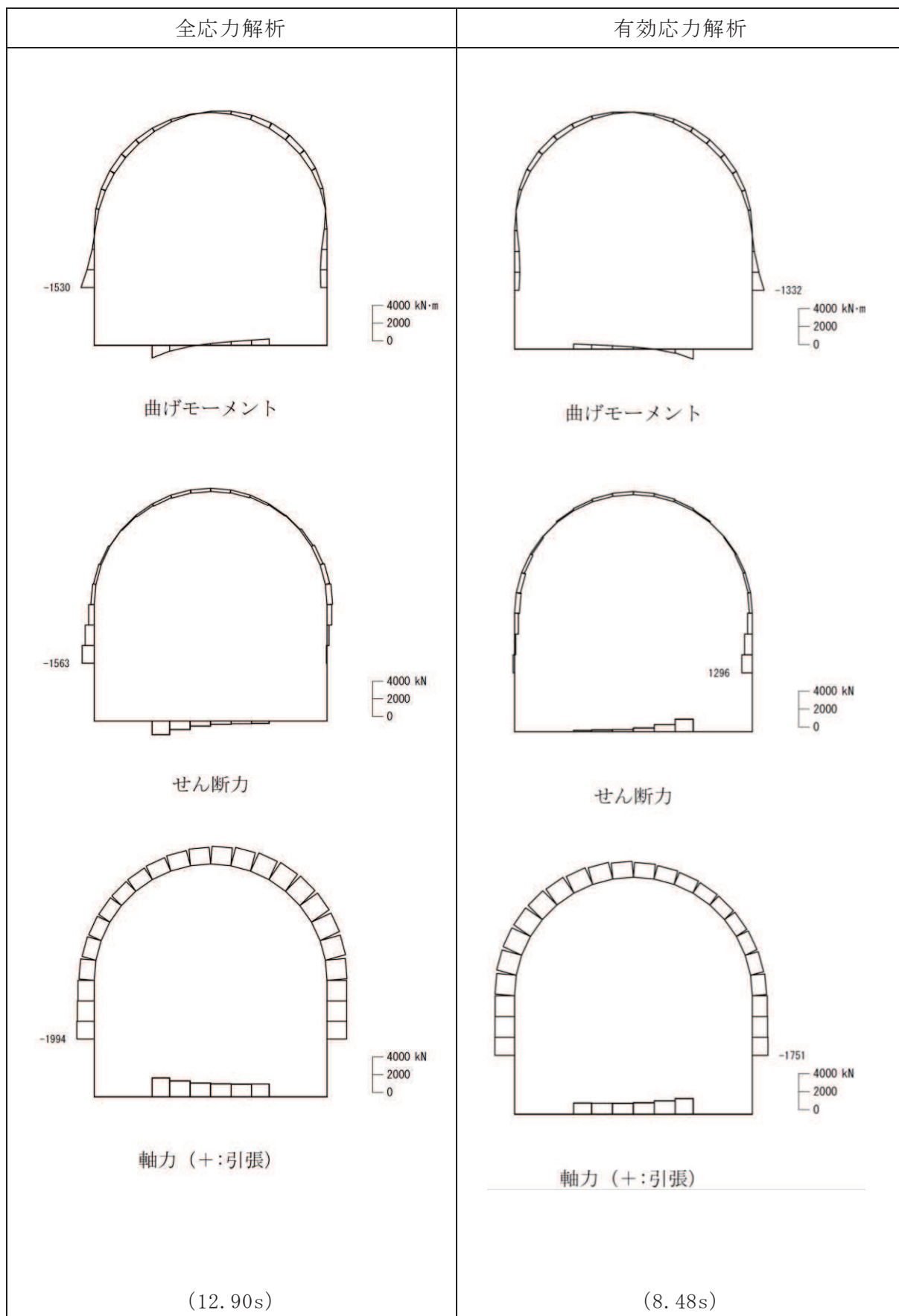


図 3.1-2 断面力図 (S_s-D2)

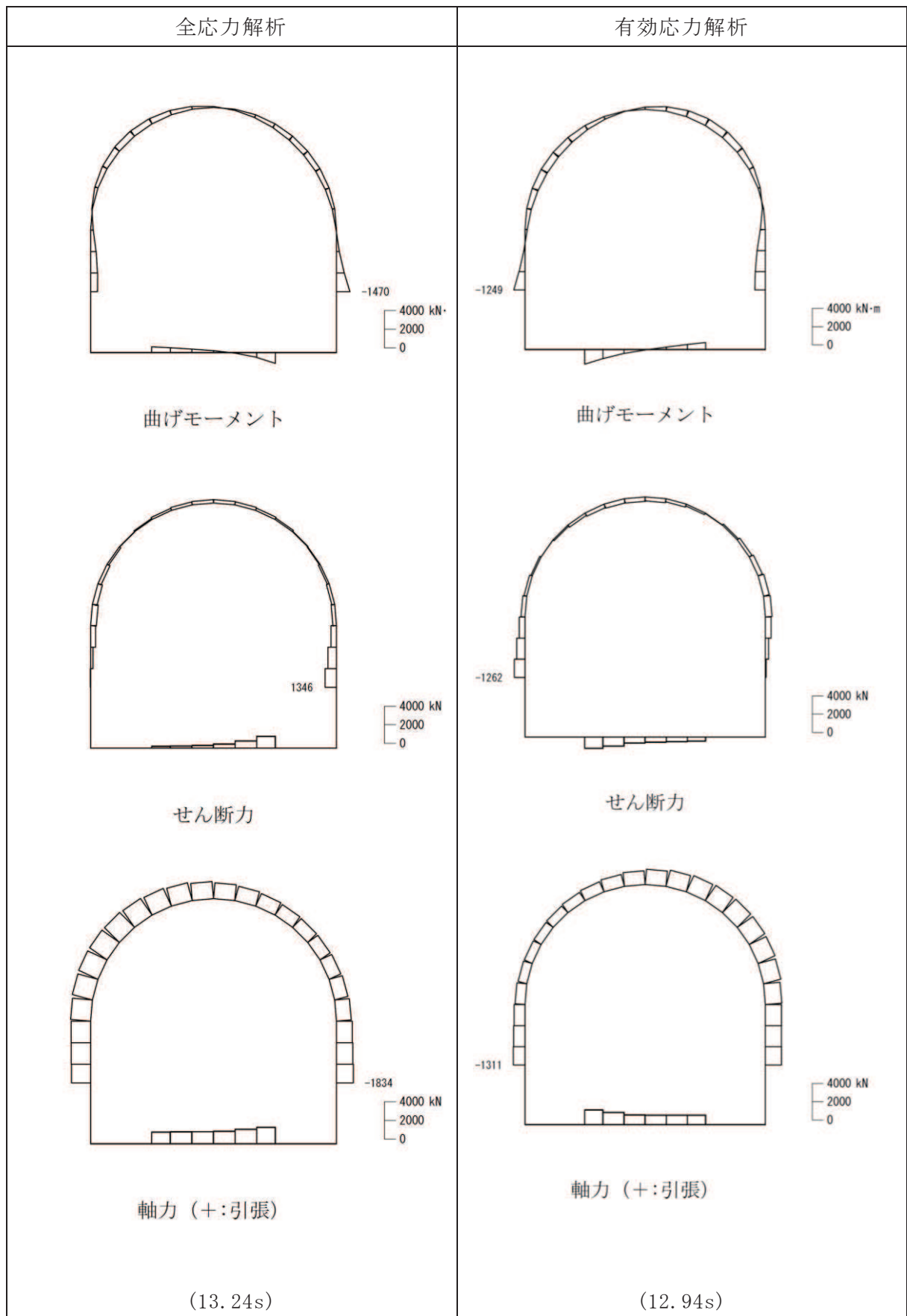


図 3.1-3 断面力図 (S s - D 3)

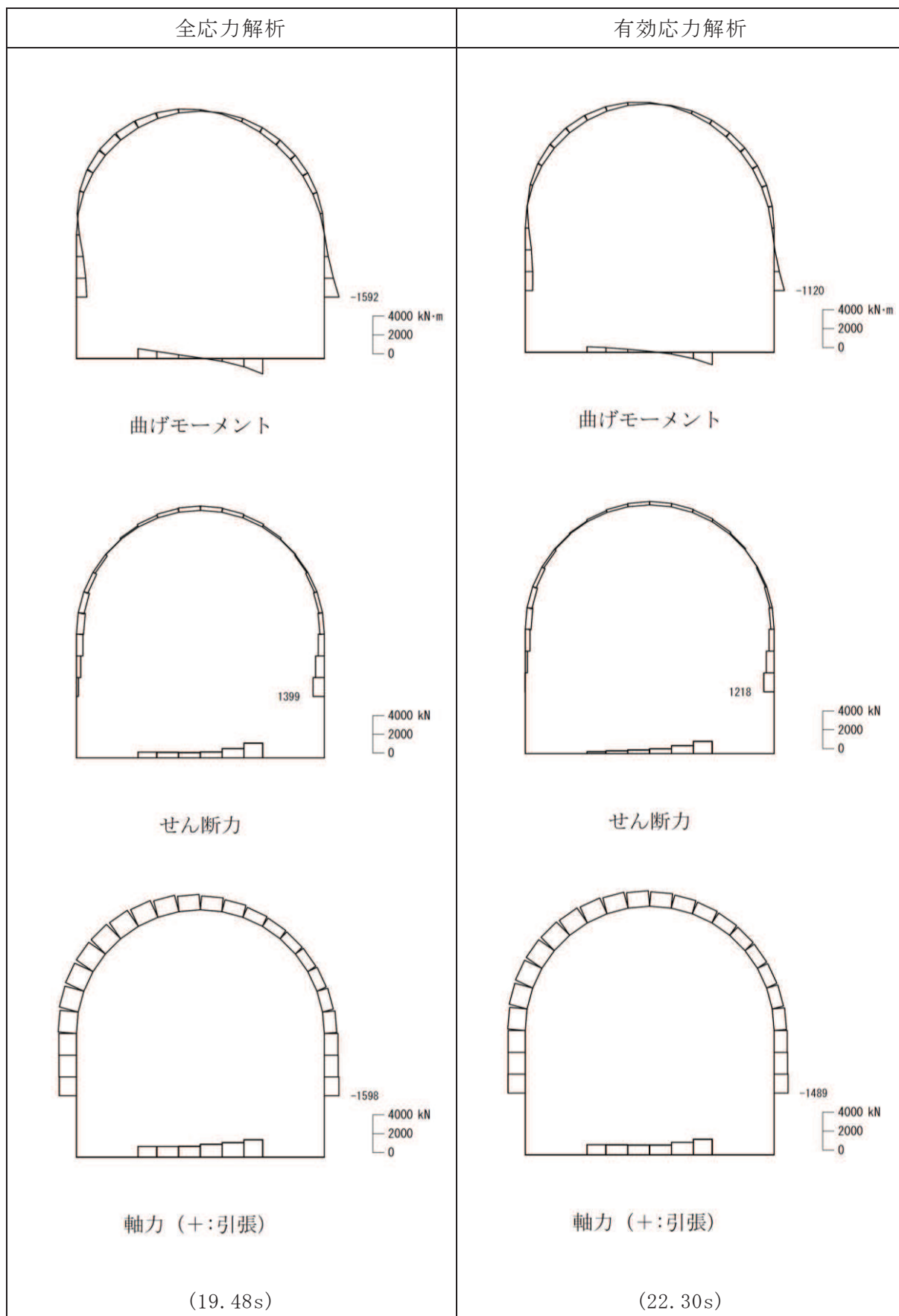


図 3.1-4 断面力図 (S_s - F₁)

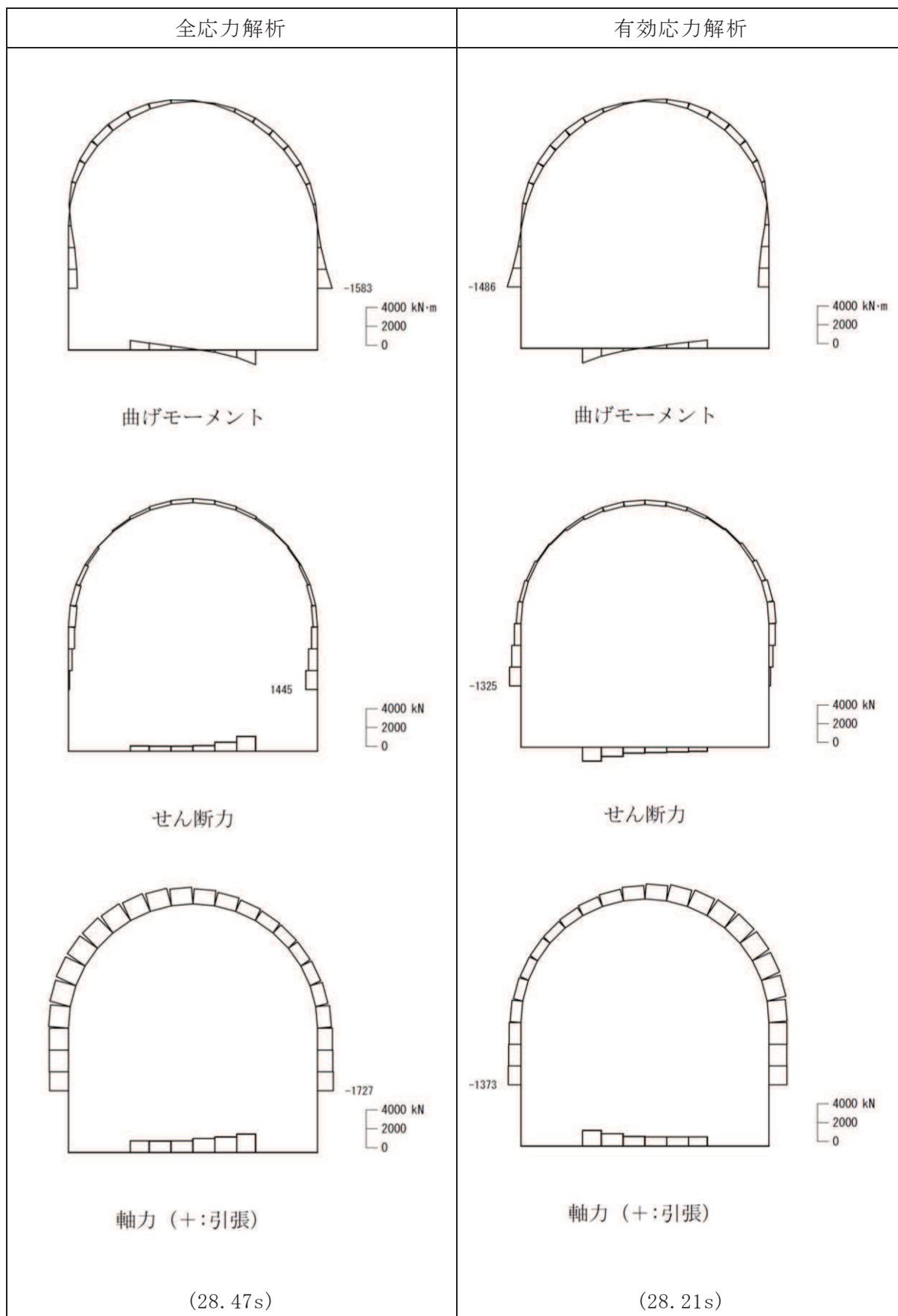


図 3.1-5 断面力図 (S s - F 2)

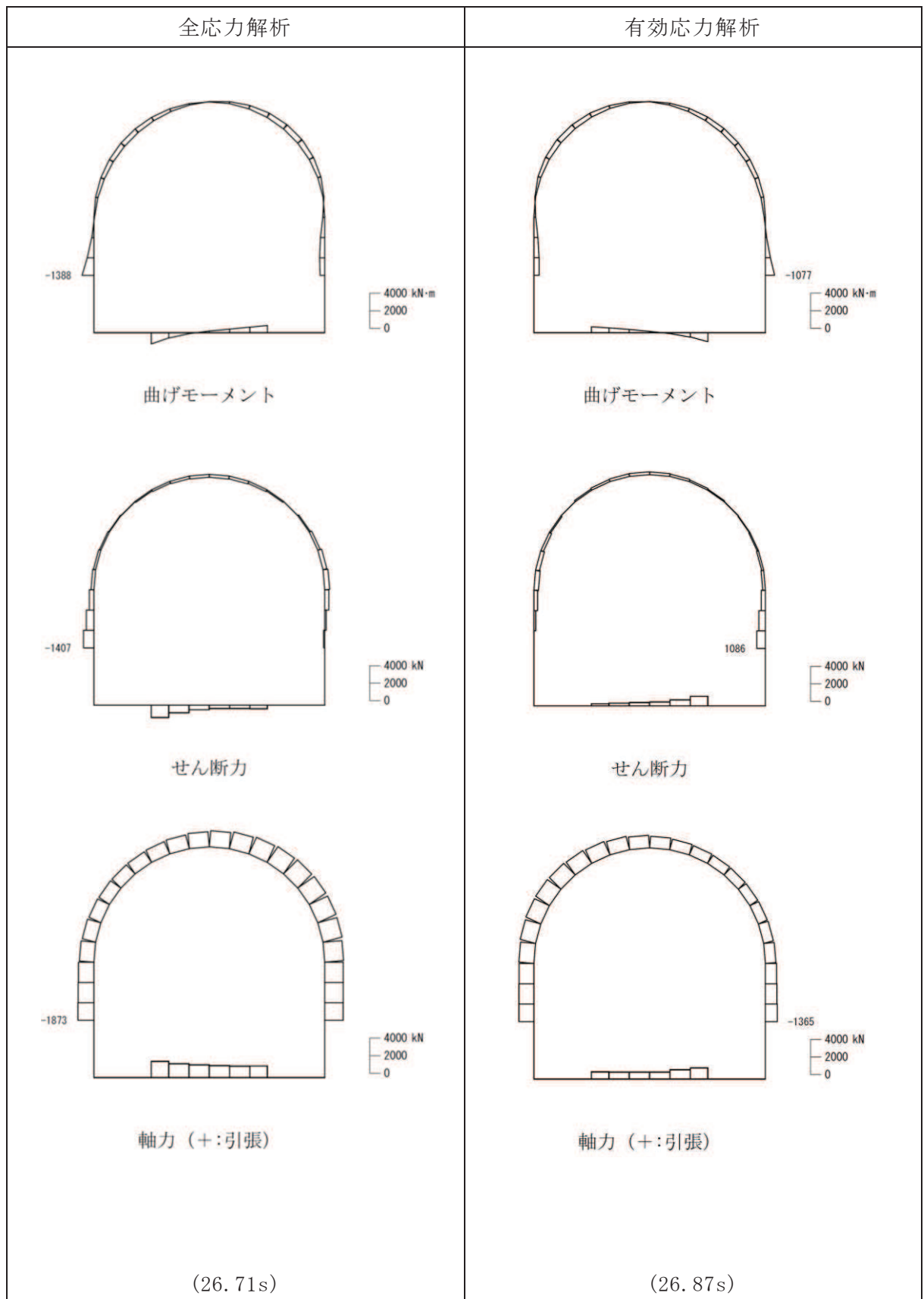


図 3.1-6 断面力図 (S s - F 3)

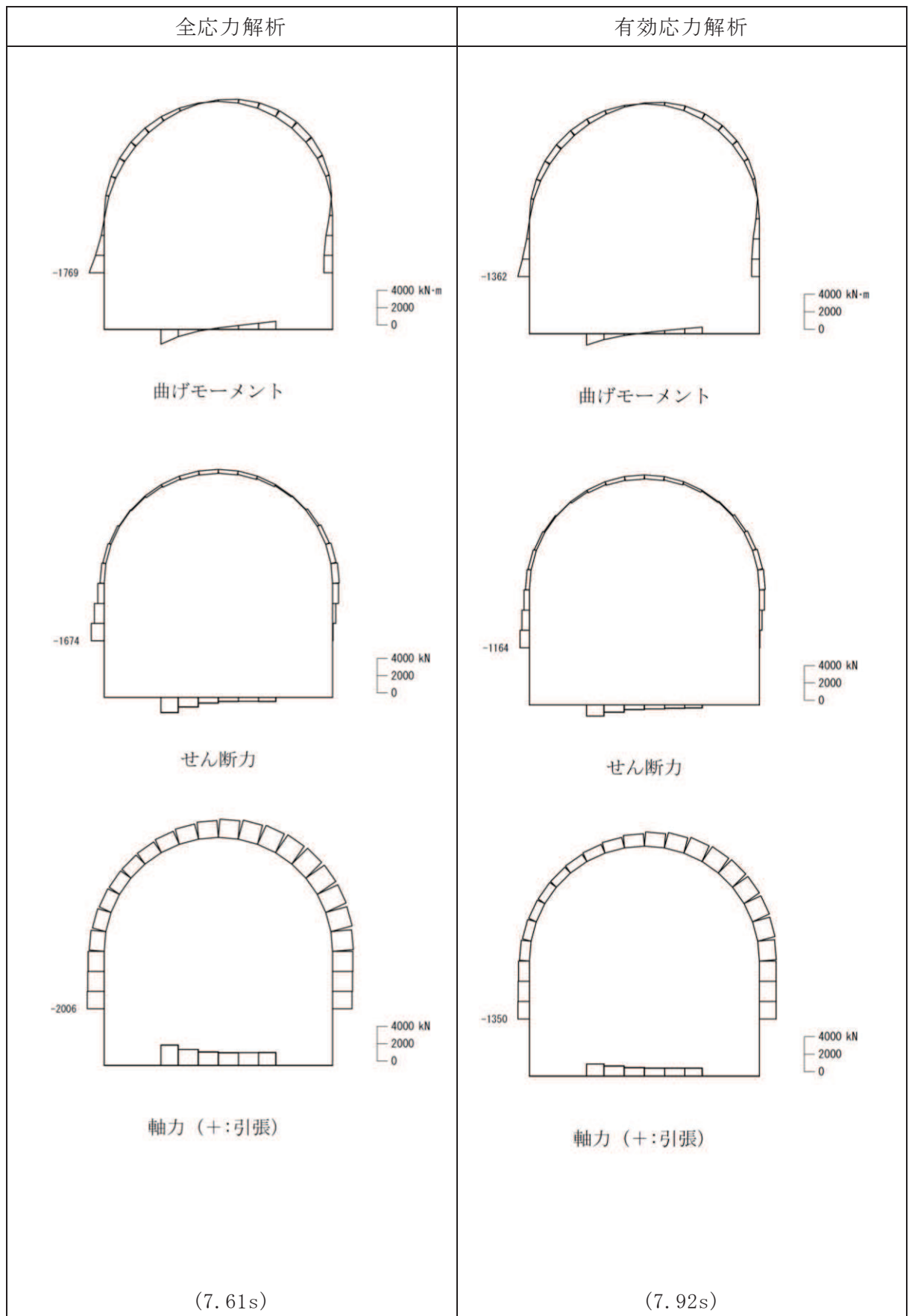
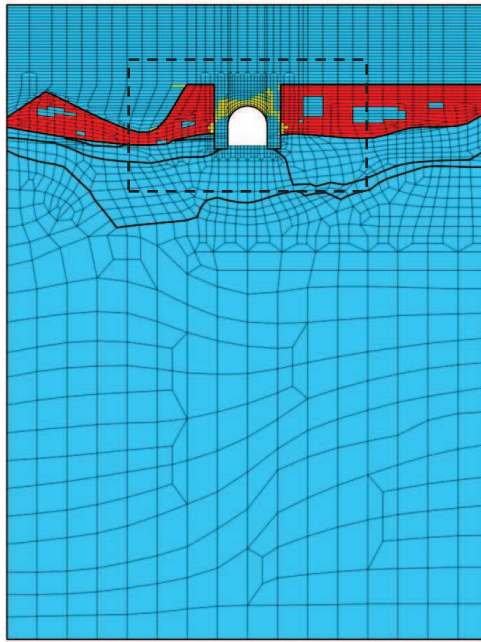


図 3.1-7 断面力図 (S s - N 1)

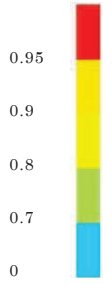
表 3.1-1 構造物に作用する土圧（基準地震動 S_s（7 波））

基準地震動	土圧 (kN)	
	全応力解析	有効応力解析
S _s -D 1	3060	2493
S _s -D 2	3015	2484
S _s -D 3	2821	2487
S _s -F 1	2705	2356
S _s -F 2	2709	2570
S _s -F 3	2672	2081
S _s -N 1	<u>3289</u>	2318

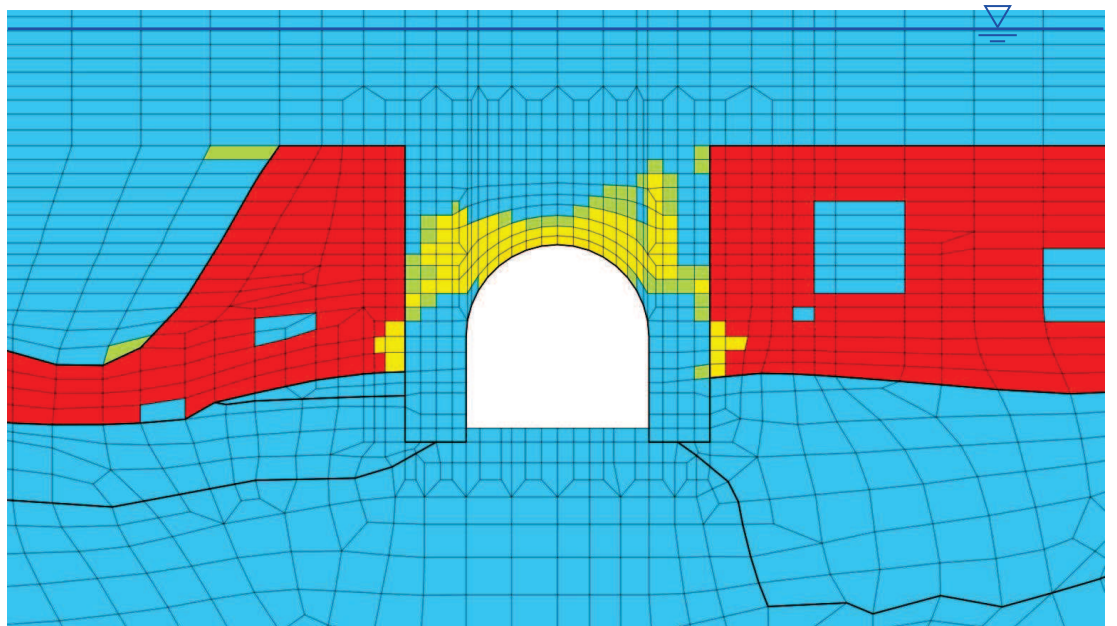
網掛：全応力解析と有効応力解析を比較して大きい方の値，また下線は土圧の最大値



過剩間隙水圧比

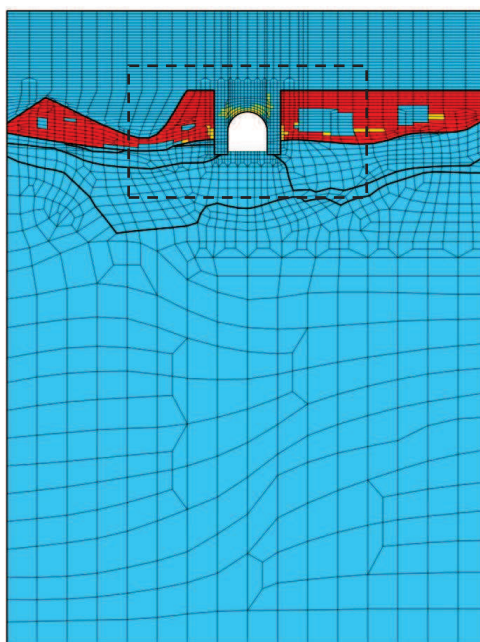


(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

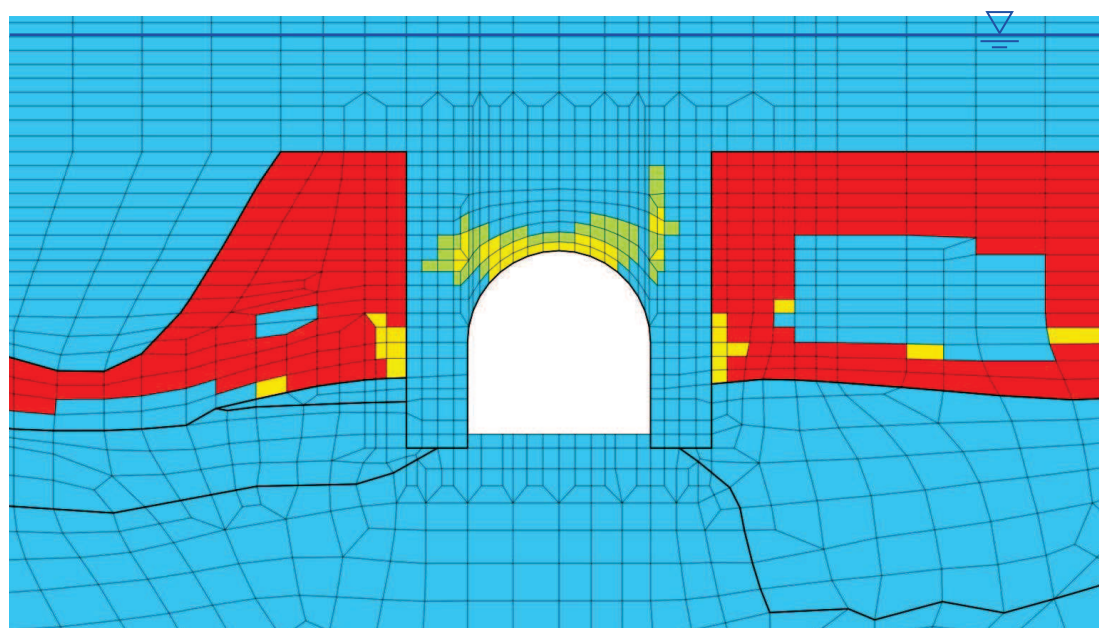
図 3.1-8 過剩間隙水圧比分布 (S s - D 1)



過剩間隙水圧比

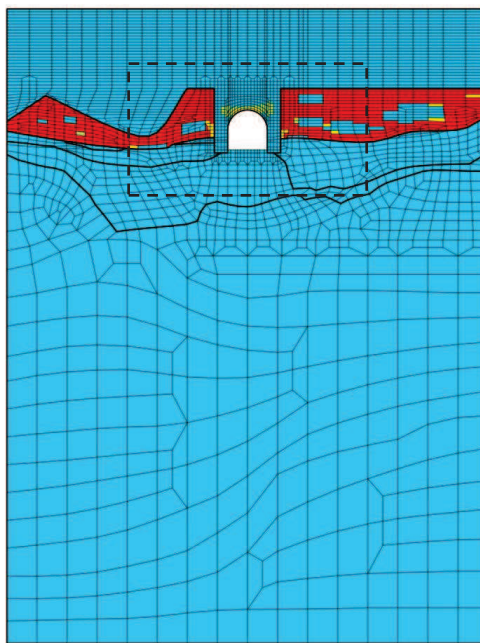


(a) 全体図

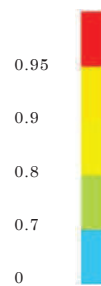


(b) 構造物周辺拡大図

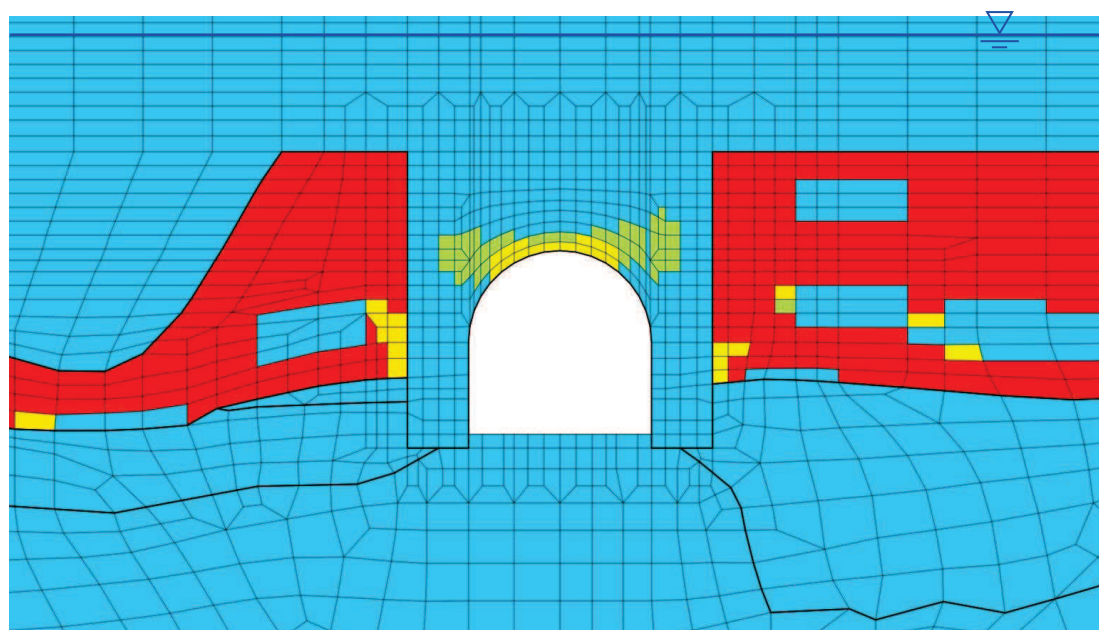
図 3.1-9 過剩間隙水圧比分布 (S s - D 2)



過剩間隙水圧比

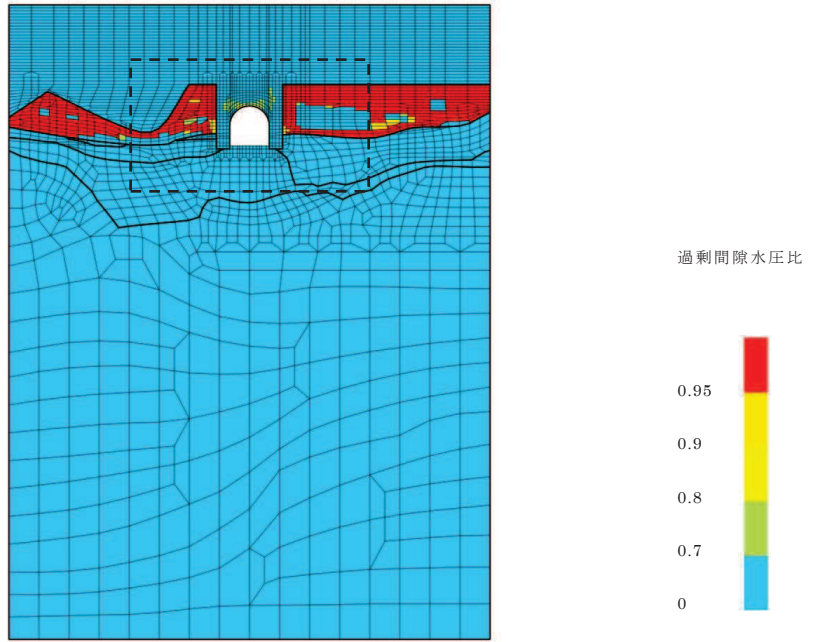


(a) 全体図

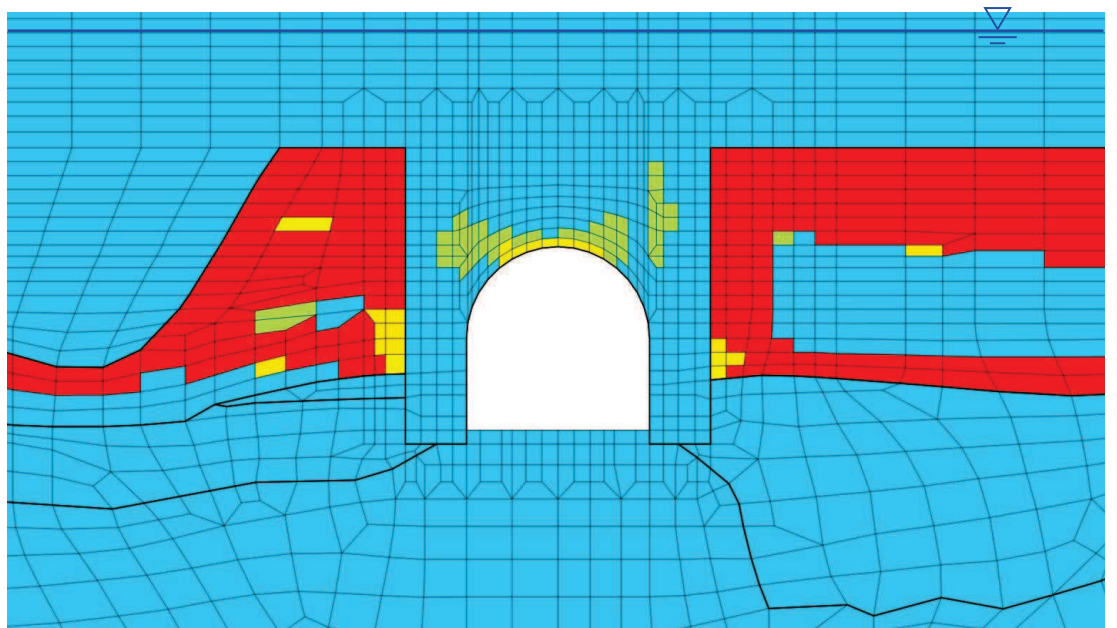


(b) 構造物周辺拡大図

図 3.1-10 過剩間隙水圧比分布 (S_s-D3)

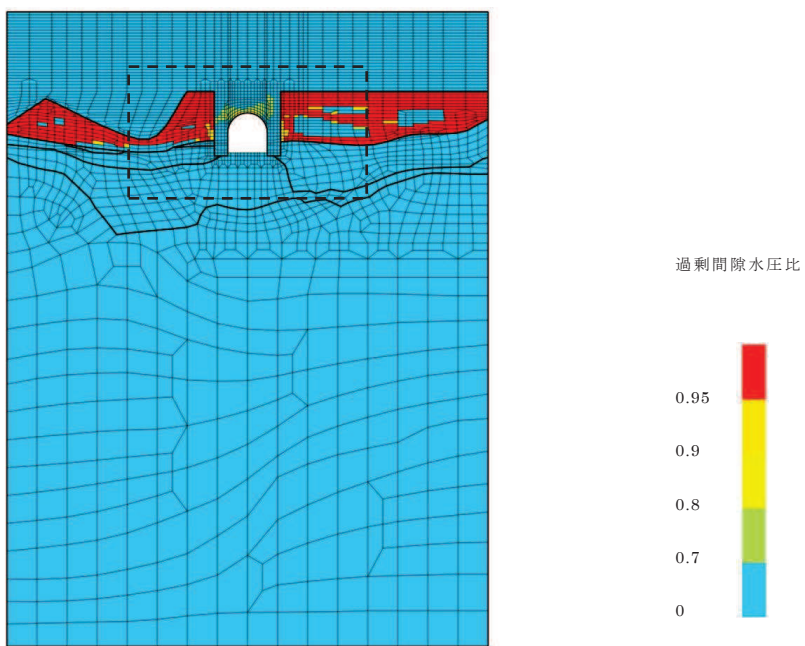


(a) 全体図

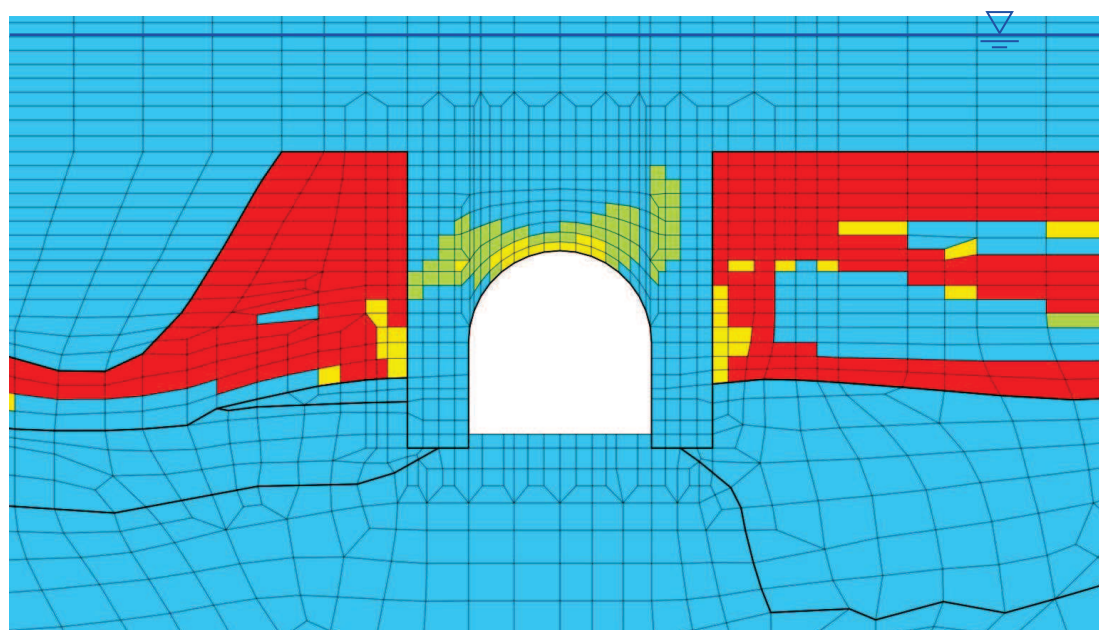


(b) 構造物周辺拡大図

図 3.1-11 過剩間隙水圧比分布 (S_s - F 1)

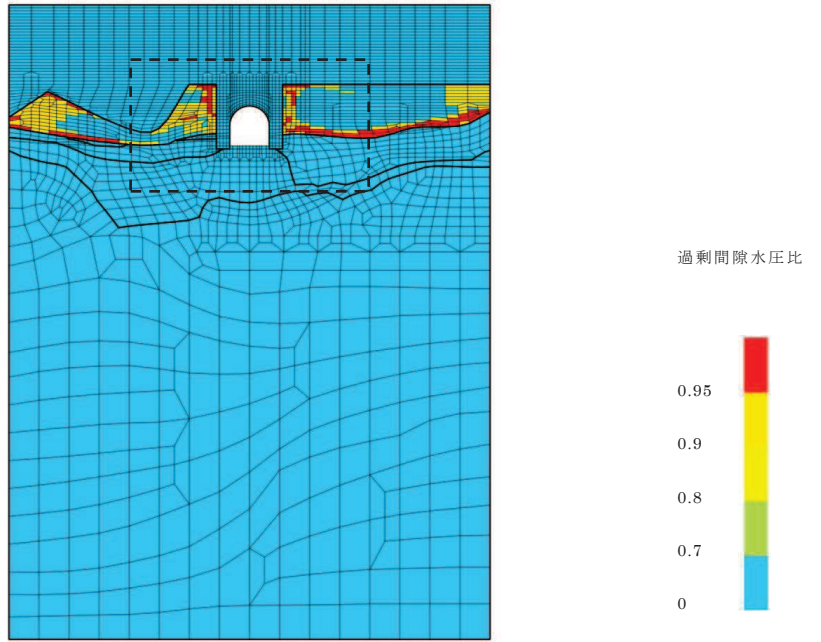


(a) 全体図

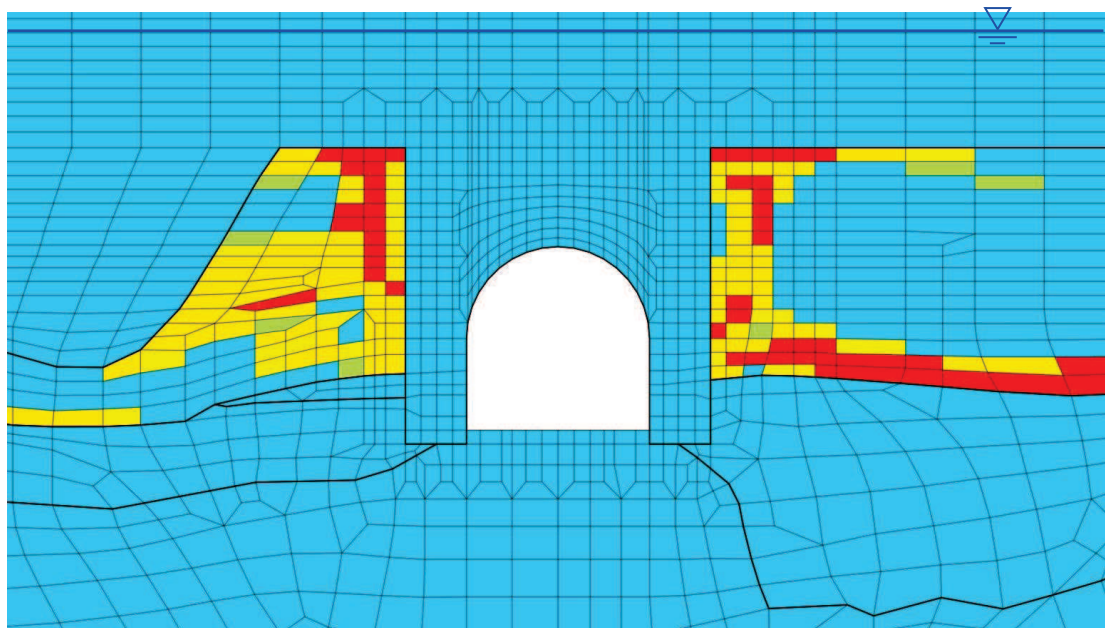


(b) 構造物周辺拡大図

図 3.1-12 過剩間隙水圧比分布 (S_s - F 2)

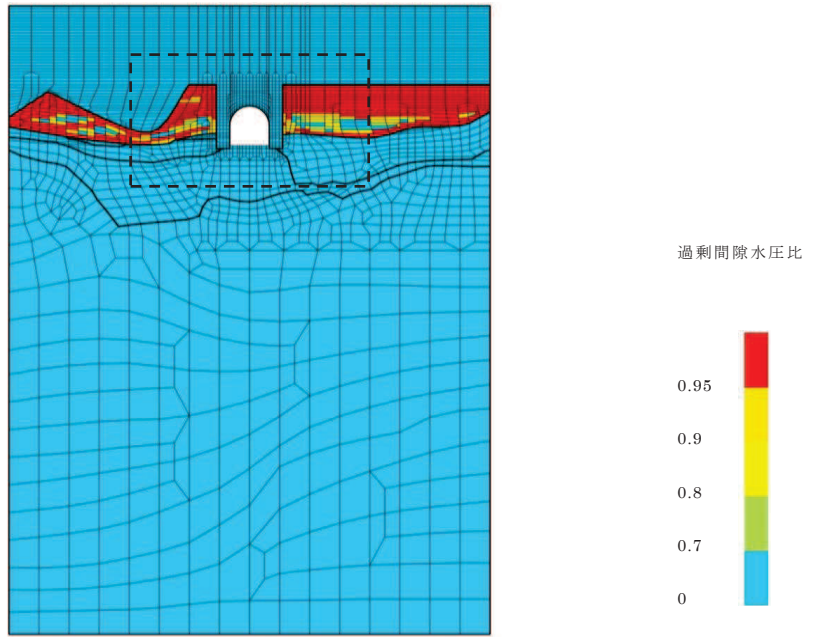


(a) 全体図

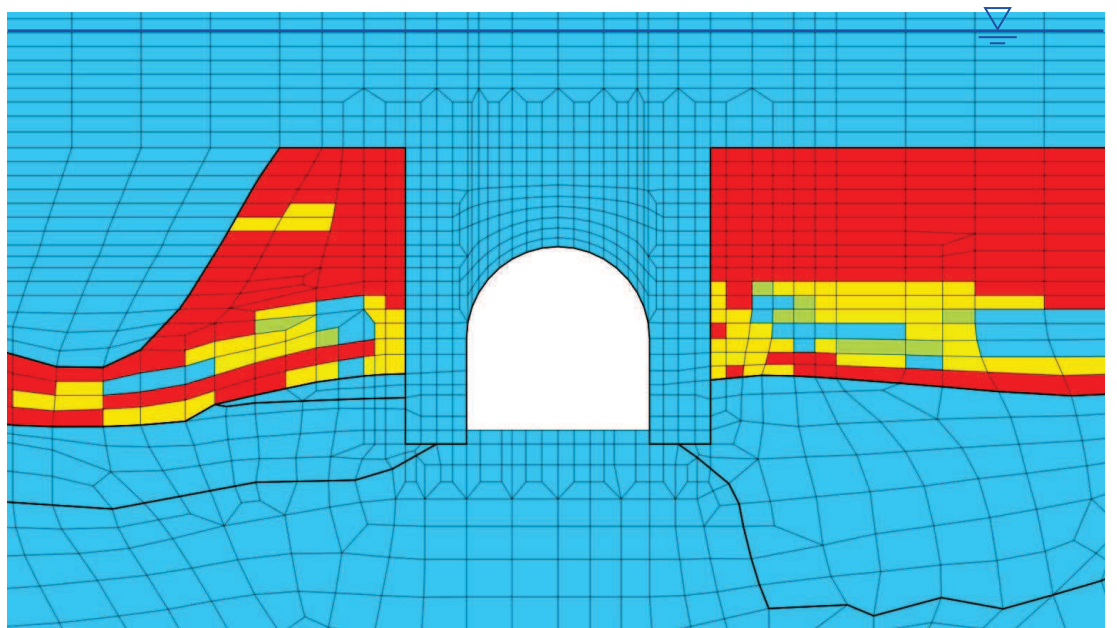


(b) 構造物周辺拡大図

図 3.1-13 過剩間隙水圧比分布 (S_s-F3)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 3.1-14 過剩間隙水圧比分布 (S_s-N1)

3.2 照査値の比較

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・軸力系の破壊に対しては、層間変形角に着目した照査結果を表 3.2-1 に、せん断破壊に対しては、最大せん断力が発生する時刻における照査結果を表 3.2-2 に示す。せん断破壊に対する照査はせん断耐力式による算定としており、1.0 を超える照査値となっている。

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。

このことは、3.1 で示した、有効応力解析と比較して全応力解析の方が部材に発生する断面力が多いことと整合的である。

表 3.2-1 (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 _s -D2)	0.12 (6.5 mm) (S _s -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

$$\text{照査値} : \gamma_i \times R_d / R_{ud}$$

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

表 3.2-1 (2) 曲げ・軸力系の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
S _s -D1	0.11 (5.6mm)	0.12 (6.5mm)
S _s -D2	0.13 (6.9mm)	0.09 (4.7mm)
S _s -D3	0.08 (4.2mm)	0.11 (6.0mm)
S _s -F1	0.12 (6.1mm)	0.08 (4.3mm)
S _s -F2	0.11 (5.7mm)	0.12 (6.2mm)
S _s -F3	0.06 (3.1mm)	0.05 (2.5mm)
S _s -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 3.2-2 (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
0.76 ^s	1.63	1.47	1.29	0.76 ^s	1.31	1.30	1.06
(S _s -D 2)	(S _s -N 1)	(S _s -D 1)	(S _s -N 1)	(S _s -D 1)	(S _s -F 2)	(S _s -D 1)	(S _s -D 2)

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 3.2-2 (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 -D 1	0.73	1.41	<u>1.47</u>	1.21	0.76 ^s	1.24	1.30	1.01
S _s -D 2	<u>0.76^s</u>	1.51	1.27	1.14	0.64	1.18	1.25	1.06
S _s -D 3	0.60	1.20	1.31	0.99	0.72	1.24	1.10	0.98
S _s -F 1	0.73	1.23	1.38	1.10	0.64	1.16	1.18	0.90
S _s -F 2	0.69	1.26	1.41	1.13	0.75	1.31	1.19	1.04
S _s -F 3	0.54	1.36	1.00	1.03	0.49	0.97	1.05	0.84
S _s -N 1	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

4. まとめ

全応力解析と有効応力解析を比較した結果，屋外重要土木構造物の耐震評価に支配的な要因である土圧，構造物に発生する断面力及び照査結果のいずれも全応力解析が大きい，または，厳しい値となった。女川 2 号の屋外重要土木構造物の耐震性は曲げ・軸力系の破壊に対しては大きな裕度を有している反面，せん断に対しては耐力式で求めるせん断耐力を上回り，材料非線形解析で詳細な評価が必要となることから，保守的な解析手法としてはせん断照査に厳しくなる全応力解析を選定する。以上より，断面①，断面②及び断面③においては全応力解析を用いて評価する。