

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-027-1 改3
提出年月日	2020年 5月28日

資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

1. 対象設備	1
2. 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容	2
2.1 支持性能	2
2.2 通水性能	2
2.3 貯水性能	3
2.4 屋外重要土木構造物の耐震安全性に関する整理	3
3. 安全係数	6
4. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方	12
4.1 方針	12
4.2 スクリーン室の断面選定の考え方	13
4.3 取水路の断面選定の考え方	17
4.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方	29
4.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方	41
4.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方	46
4.7 常設代替交流電源設備基礎の断面選定の考え方	56
4.8 スクリーン室（6号機設備）の断面選定の考え方	64
4.9 取水路（6号機設備）の断面選定の考え方	68
4.10 軽油タンク基礎（6号機設備）の断面選定の考え方	81
5. 地盤物性のばらつきの考慮方法について	86
5.1 耐震評価における解析ケース	86
5.2 耐震評価における解析ケースの組合せについて	88
5.3 機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位算定のための解析ケース	90
6. 許容限界について	92
6.1 曲げ軸力に対する照査に係る土木学会マニュアルの適用性について	92
6.2 せん断力に対する照査に係る土木学会マニュアルの適用性について	95
7. ジョイント要素のばね設定について	99
8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について	101
9. 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	102
9.1 評価方針	102

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・配管系の間接支持構造物若しくは非常時における海水の通水機能・貯水機能を求められる軽油タンク基礎，燃料移送系配管ダクト，スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路及び海水貯留堰である。

また，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」及び「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基礎，燃料移送系配管ダクト，スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路，海水貯留堰，軽油タンク基礎（6号機設備），スクリーン室（6号機設備），取水路（6号機設備），海水貯留堰（6号機設備）及び常設代替交流電源設備基礎についても記載する。

なお，海水貯留堰及び海水貯留堰（6号機設備）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。

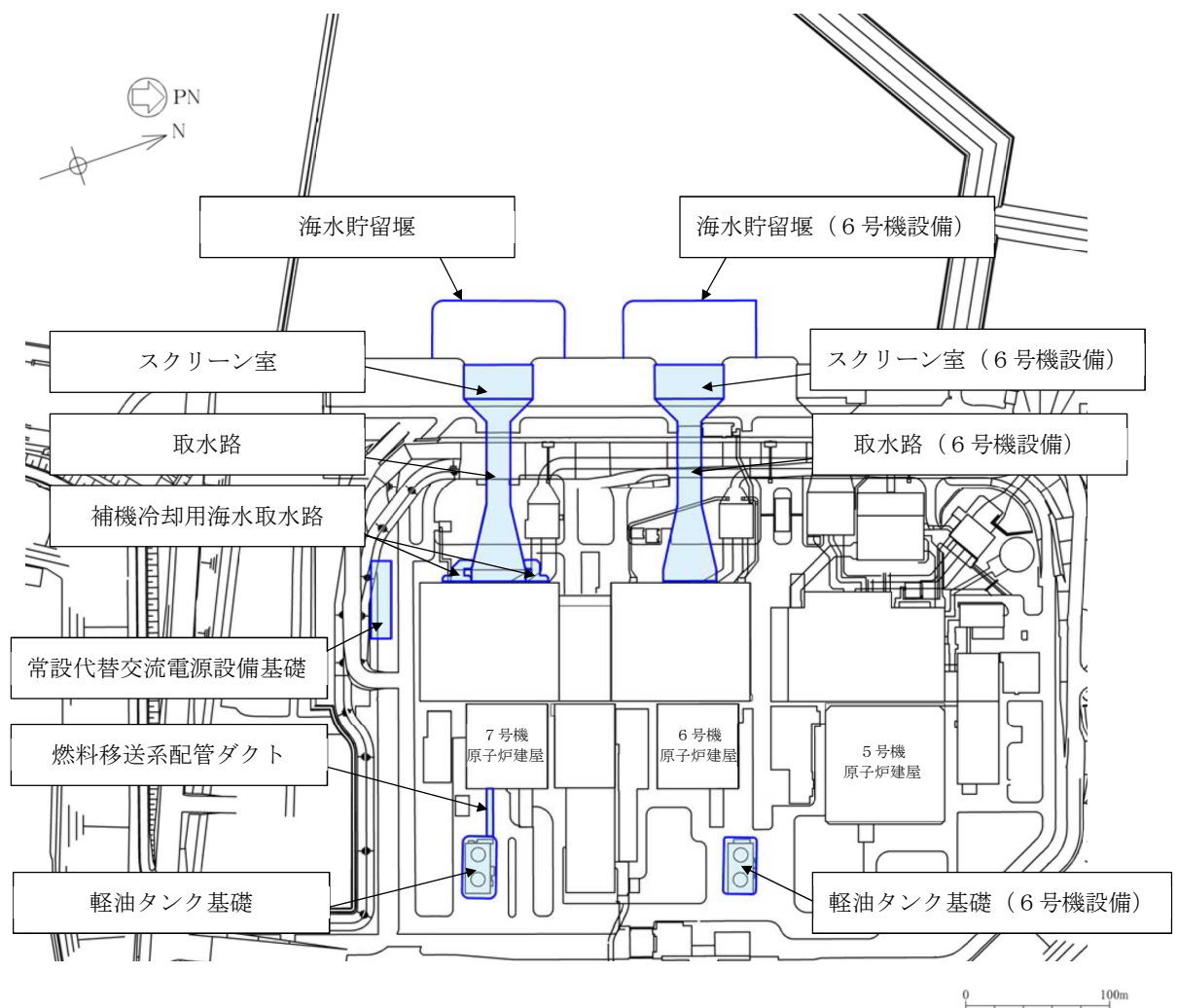


図 1-1 屋外重要土木構造物等位置図

2. 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容

屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管系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、その要求性能については、想定する地震動に対して次のように設定する。

- ① 支持性能：Sクラスの機器・配管系を間接支持する構造物について、機器・配管系の各機能を安全に支持できること。
- ② 通水性能：非常用取水設備のうち、通水断面を有する構造物について、通水機能を保持できること。
- ③ 貯水性能：非常用取水設備について、著しい漏水がなく、所要の海水を貯留できること。

上記性能維持については、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、要求性能毎に条件を整理し、基本となる評価内容及び要求性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の要求性能と要求性能に対する耐震評価は、以下の基本設計方針に基づく。

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

2.1 支持性能

支持性能については、屋外重要土木構造物が間接支持する機器・配管系による耐荷性能を維持できることと同義であることから、構造物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、曲げについては限界層間変形角、限界ひずみ又は終局曲率、せん断についてはせん断耐力又は終局せん断強度（限界層間変形角、限界ひずみ、終局曲率、せん断耐力及び終局せん断強度の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。）を設定する。

ただし、構造物が間接支持する機器・配管系の機能維持のための与条件がある場合は、当該項目について別途検討を行う。

2.2 通水性能

通水性能については、屋外重要土木構造物の構造部材が損傷した場合でも、所定の水量を確保できるだけの通水断面が保持されればよいため、「2.1 支持性能」と同様に、構造物が終局状態に至らないことを目標性能とする。

2.3 貯水性能

貯水性能については、構造部材を貫通するような顕著なひび割れが生じていない状態であれば、構造部材からの漏水は無いと判断できることから、断面が降伏に至らないことを目標性能とする。構造部材のせん断については、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。

2.4 屋外重要土木構造物の耐震安全性に関する整理

支持性能及び通水性能に対する許容限界は、曲げ及びせん断ともに終局限界とする。

また、貯水性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、いずれの要求性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になるが、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。

各要求性能と許容限界の関係を図 2-1 に示す。

表 2-1 に、屋外重要土木構造物の要求性能及び目標性能の整理表を示す。また、表 2-2 に屋外重要土木構造物の要求性能一覧を示す。

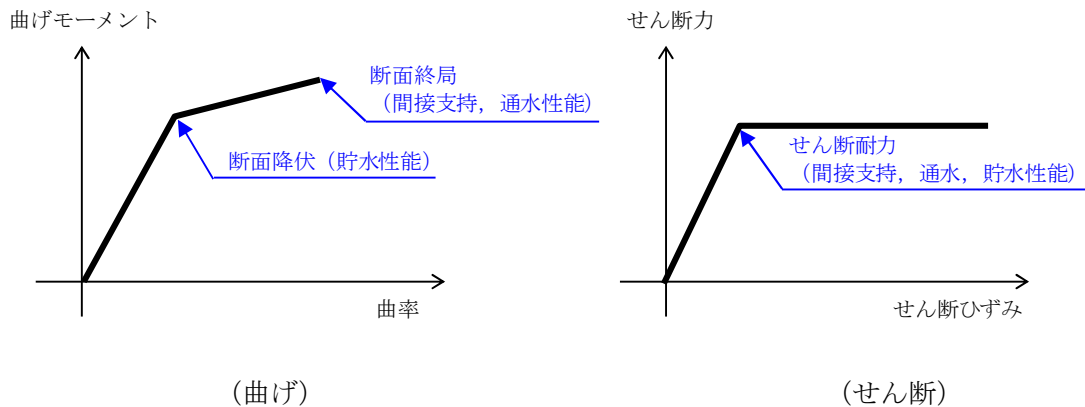


図 2-1 各要求性能と許容限界の関係の概念

表 2-1 屋外重要土木構造物の要求性能及び目標性能の整理表

		屋外重要土木構造物に求められる性能		
		①支持性能	②通水性能	③貯水性能
要求性能		Sクラスの機器・配管系を安全に支持できる	海水の通水断面を閉塞しない	漏水が無く、貯水性を保持できる
目標性能		<鉄筋コンクリート部材及び鋼材> ・構造物が終局状態に至らない ・機器・配管系の制約条件を満足する	<鉄筋コンクリート部材> ・構造物が終局状態に至らない	<鉄筋コンクリート部材> ・鉄筋が降伏しない
設定理由		機器・配管系の支持性能は、耐荷性能を維持することと同義であり、構造物が終局状態に至らないことを目標性能とする。ただし、支持するSクラスの機器・配管系の機能維持のための与条件がある場合は、別途確認を行う。	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と同様に、終局状態に至らないことを目標性能とする。	鉄筋コンクリート部材においては、断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力以下であれば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れは発生しないことから、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力以下であることを目標性能とする。
許容限界		終局耐力	同左	降伏耐力
主な照査結果・許容限界	曲げ	<鉄筋コンクリート部材> 照査用層間変形角<限界層間変形角*1 照査用ひずみ<限界ひずみ*1, *2 <鋼材> 照査用曲率<終局曲率*1	<鉄筋コンクリート部材> 照査用層間変形角<限界層間変形角*1	<鉄筋コンクリート部材> 鉄筋の引張応力<鉄筋の降伏強度
	せん断	<鉄筋コンクリート部材> 照査用せん断力<せん断耐力*1 <鋼材> 照査用せん断力<終局せん断耐力*1	<鉄筋コンクリート部材> 照査用せん断力<せん断耐力*1	同左

注記*1：許容限界として設定する限界層間変形角，限界ひずみ，終局曲率及びせん断耐力は，各種係数を見込むことで安全余裕を考慮する。

*2：鉄筋コンクリート部材の限界ひずみ：圧縮縁コンクリートひずみ1.0%

表 2-2 屋外重要土木構造物の要求性能一覧

構造物名称	要求性能			非常用 取水設備
	① 支持性能	② 通水性能	③ 貯水性能	
軽油タンク基礎	○	—	—	—
燃料移送系配管ダクト	○	—	—	—
スクリーン室	—	○	○	○
取水路	—	○	○	○
補機冷却用海水取水路	—	○	○	○
スクリーン室（6号機設備）	—	○	○	—
取水路（6号機設備）	—	○	○	—
常設代替交流電源設備基礎	○	—	—	—
軽油タンク基礎（6号機設備）	○	—	—	—

3. 安全係数

屋外重要土木構造物の許容限界については、V-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の構造部材のうち、鉄筋コンクリートの曲げ軸力に対しては限界層間変形角又は限界ひずみ、鋼材の曲げ軸力に対しては終局曲率、鉄筋コンクリート及び鋼材のせん断力に対してはせん断耐力を許容限界とする。

なお、限界層間変形角、限界ひずみ、終局曲率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、それぞれの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、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震評価にあたっては、鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査は限界層間変形角又は限界ひずみを、鋼材の曲げ軸力照査は、終局曲率（具体的には、全塑性モーメントに相当する曲率での変形性能照査を実施する。）を許容限界とした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及び鋼材のせん断力照査はせん断耐力を許容限界とした終局状態を想定した評価を実施する。

スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路、スクリーン室（6号機設備）及び取水路（6号機設備）の耐震評価にあたっては、曲げ軸力照査は限界層間変形角を、せん断力照査はせん断耐力を許容限界とした終局状態を想定した評価を実施する。

曲げ軸力照査について限界層間変形角、限界ひずみ及び終局曲率を用いる耐震評価並びに、せん断力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の構造的な特徴を踏まえ、その適用性を判断した上で参考とする規格・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照査及びせん断力照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。また、表3-4に鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力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、表3-3及び表3-4に示すとおり設定する。

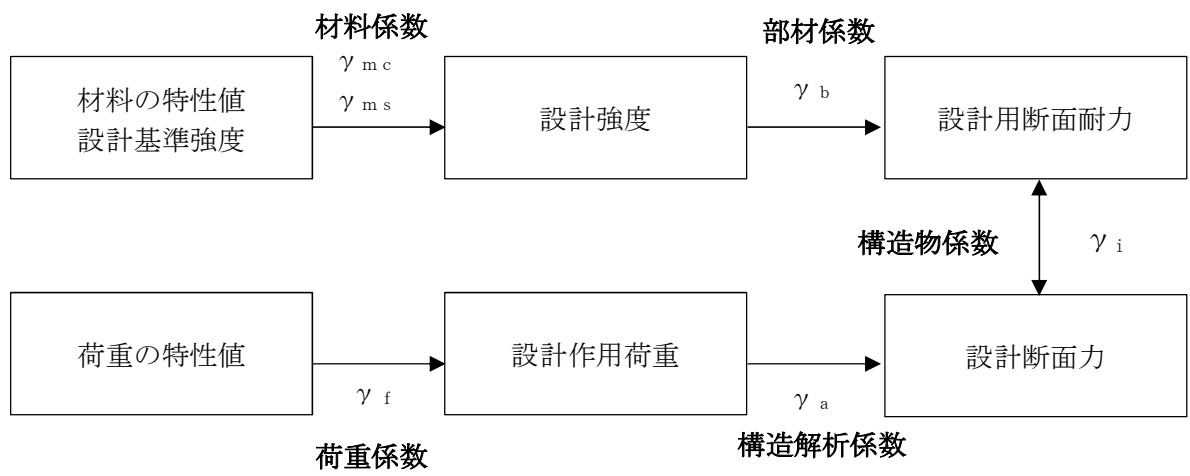


図 3-1 安全係数の考え方

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	部材毎の参照先	
			RC 部材	鋼管杭
①コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (（社）土木学会，2002 年制定) *	一般のコンクリート構造物及びプレストレスコンクリート及び鋼コンクリート合成構造(設計基準強度 80N/mm ² 以下)	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いるとともに、工認実績のある規格・基準であることから適用性は高いと判断。	○	
②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 (（社）土木学会，2005 年)	原子力発電所屋外重要土木構造物 (① Sクラスの機器・配管を間接支持する鉄筋コンクリート構造物又は①と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)	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RC構造)を十分に考慮されたものであることから適用性は高いと判断。	○	
③鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (鉄道総合技術研究所，2012 年)	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	対象とする構造物(例えば開削トンネル(ボックスカルバート等))の構造上の特徴が、屋外重要土木構造物と比較的類似していることから適用性は高いと判断。	○	
④鋼・合成構造標準示方書 [耐震設計編] (（社）土木学会，2008 年制定)	一般の鋼構造物，合成桁，及び合成梁	一般の鋼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いることから、鋼管杭に対して適用性は高いと判断。		○
⑤鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物 (鉄道総合技術研究所，2012 年)	鉄道の橋梁，高架橋，橋台，擁壁，杭基礎等	鉄道の支持構造物として、対象とする鋼部材の要求性能が屋外重要土木構造物と同等か、それ以上であると考え、鋼管杭に対しての適用性は高いと判断。		○

注記* : 耐震設計に係る工認審査ガイド(原子力規制委員会，2013)において適用実績のある耐震設計に関連した規格及び基準

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 (変形による曲げ軸力照査)

安全係数		係数の概要・ 設定に至る背景	考慮の方法	各規格・基準に基づく標準的な値*1			屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値 及び設定の考え方	
				①*2	②*3	③*4		
材料係数	γ_{mc}	<ul style="list-style-type: none"> 耐力評価に用いる材料の設計値の評価 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	1.0	1.3	1.0	地震応答解析による変形量 (限界層間変形角及び限界ひずみ) を許容限界値とすることから, 照査手法に整合する②に基づき設定。
	γ_{ms}		<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	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"> 設計用断面耐力の評価 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"> 曲げに対する限界値を当該値で除する 	1.1	1.0	1.0~1.15	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②に基づき 1.0 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 	1.0~1.2 (偶発荷重は 1.0)	1.0	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。変動荷重は, 設計上見込んでいない。
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 	1.0	1.2	1.0	1.2	保守的に文献②に基づき 1.2 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, 限界状態に達したとき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 	1.0~1.2	1.0	1.0	1.0	構造物の重要度及び限界状態に達したとき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_e 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 と設定。

注記*1 : 規格・基準①, ③における曲げ軸力照査は, 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のに対し, 規格・基準②は変形量による照査手法を標準としている。

*2 : コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年)

*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 ((社) 土木学会, 2005 年)

*4 : 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (鉄道総合技術研究所, 2012 年)

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（せん断力照査）

安全係数		係数の概要・ 設定に至る背景	考慮の方法	各規格・基準に基づく標準的な値*1			屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値 及び設定の考え方	
				①*2	②*3	③*4		
材料係数	γ_{mc}	<ul style="list-style-type: none"> 耐力評価に用いる材料の設計値の評価 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	1.3	1.3	1.3	文献に基づく標準的な値を設定。
	γ_{ms}		<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	文献に基づく標準的な値を設定。
部材係数	γ_{bc}	<ul style="list-style-type: none"> 設計用断面耐力の評価 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	1.3	1.1~1.3	1.3	文献に基づく標準的な値を設定。
	γ_{bs}		<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	文献に基づく標準的な値を設定。
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 	1.0~1.2 (偶発荷重は1.0)	1.0	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。変動荷重は, 設計上見込んでいない。
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 	1.0	1.05~	1.0	1.05	保守的に文献②に基づき1.05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, 限界状態に達したとき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 	1.0~1.2	1.0	1.0	1.0	構造物の重要度及び限界状態に達したとき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として設定。

注記*1 : 規格・基準①, ③における曲げ軸力照査は, 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のに対し, 規格・基準②は変形量による照査手法を標準としている。

*2 : コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002年制定)

*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 ((社) 土木学会, 2005年)

*4 : 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (鉄道総合技術研究所, 2012年)

表 3-4 鋼管杭の耐震評価における安全係数の考え方（曲げ軸力照査及びせん断力照査）

安全係数		係数の概要・ 設定に至る背景	考慮の方法	各規格・基準に基づく 標準的な値		屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値 及び設定の考え方	
				④*1	⑤*2		
材料係数	γ_m	<ul style="list-style-type: none"> 耐力評価に用いる材料の設計値の評価 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"> 鋼材の降伏強度を当該値で除する 	1.0*3	1.05*3	1.0*4	<p>統一的に文献④の安全係数を採用する。</p> <p>材料係数に関しては，文献⑤の方がより保守的な値となっているが，照査値に対する感度は構造解析係数の方が大きく，総合的には文献④の方がより保守的な照査結果となることを確認した上で，上記方針とする。確認結果を（参考資料1）に示す。</p>
部材係数	γ_b	<ul style="list-style-type: none"> 設計用断面耐力の評価 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"> 各種限界値を当該値で除する 	1.1*3	1.0~1.15*3	1.1*4	
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*3	1.0*3	1.0*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を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 発生断面力に当該値を乗じる 	1.05*3	1.0*3	1.05*4	
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，限界状態に達したとき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*3	1.0*3	1.0*4	

注記*1：鋼・合成構造標準示方書（（社）土木学会，2008年制定）

*2：鉄道構造物等設計標準・同解説（鉄道総合研究所，2009年）

*3：④⑤の規格・基準においては，安全係数を曲げ軸力照査及びせん断力照査で区別していない。

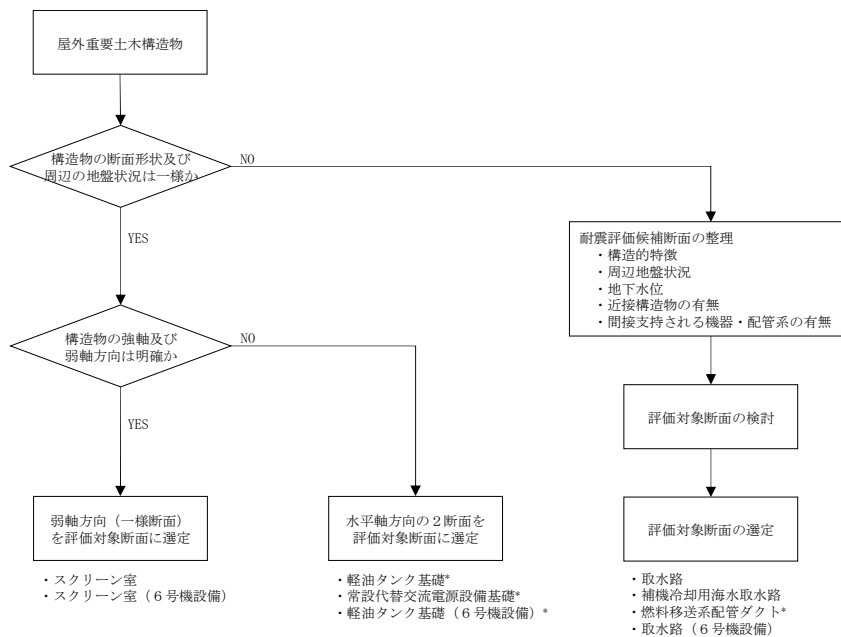
*4：曲げ軸力照査及びせん断力照査共通の安全係数として設定する。

4. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

4.1 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。

評価対象断面の選定の流れについて図 4-1 に示す。



注記* : 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

図 4-1 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、耐震評価候補断面を整理する。

- ・ 構造的特徴（部材厚，内空断面，断面変化部，杭長等）
- ・ 周辺地盤状況（土被り，側方地盤，設置地盤，地盤改良体等）
- ・ 地下水位
- ・ 近接構造物の有無
- ・ 間接支持される機器・配管系の有無

(2) 評価対象断面の選定

(1)にて整理した耐震評価候補断面に対して、構造的特徴，周辺地盤状況，地下水位，近接構造物の有無及び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，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絞込む。

なお，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 スクリーン室の断面選定の考え方

図 4-2、図 4-3 及び図 4-4 にスクリーン室の平面配置図、平面図及び断面図を示す。また、図 4-5 に周辺地質断面図を示す。

スクリーン室は、非常時における海水の通水機能を求められる延長約 23m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に内空寸法が一様で、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在する。また、スクリーン室は、十分な支持性能を有する古安田層に支持されるとともに、側方地盤は、取水方向に対して概ね一様である。

スクリーン室は、取水方向（EW 方向）に内空寸法が一様で、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在するため、取水方向全長で開口を含めた平均的な剛性及び上載荷重を考慮し、耐震評価を実施する。

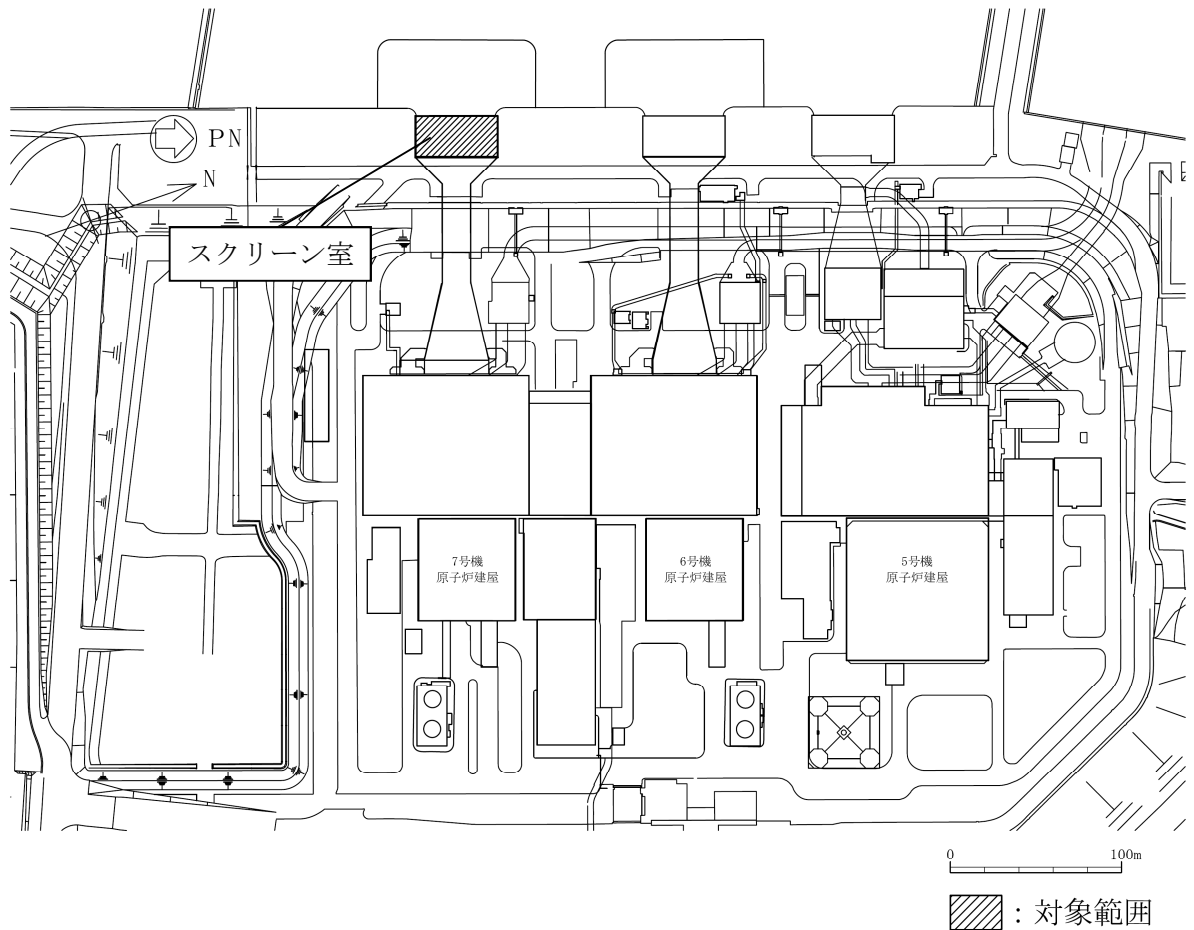
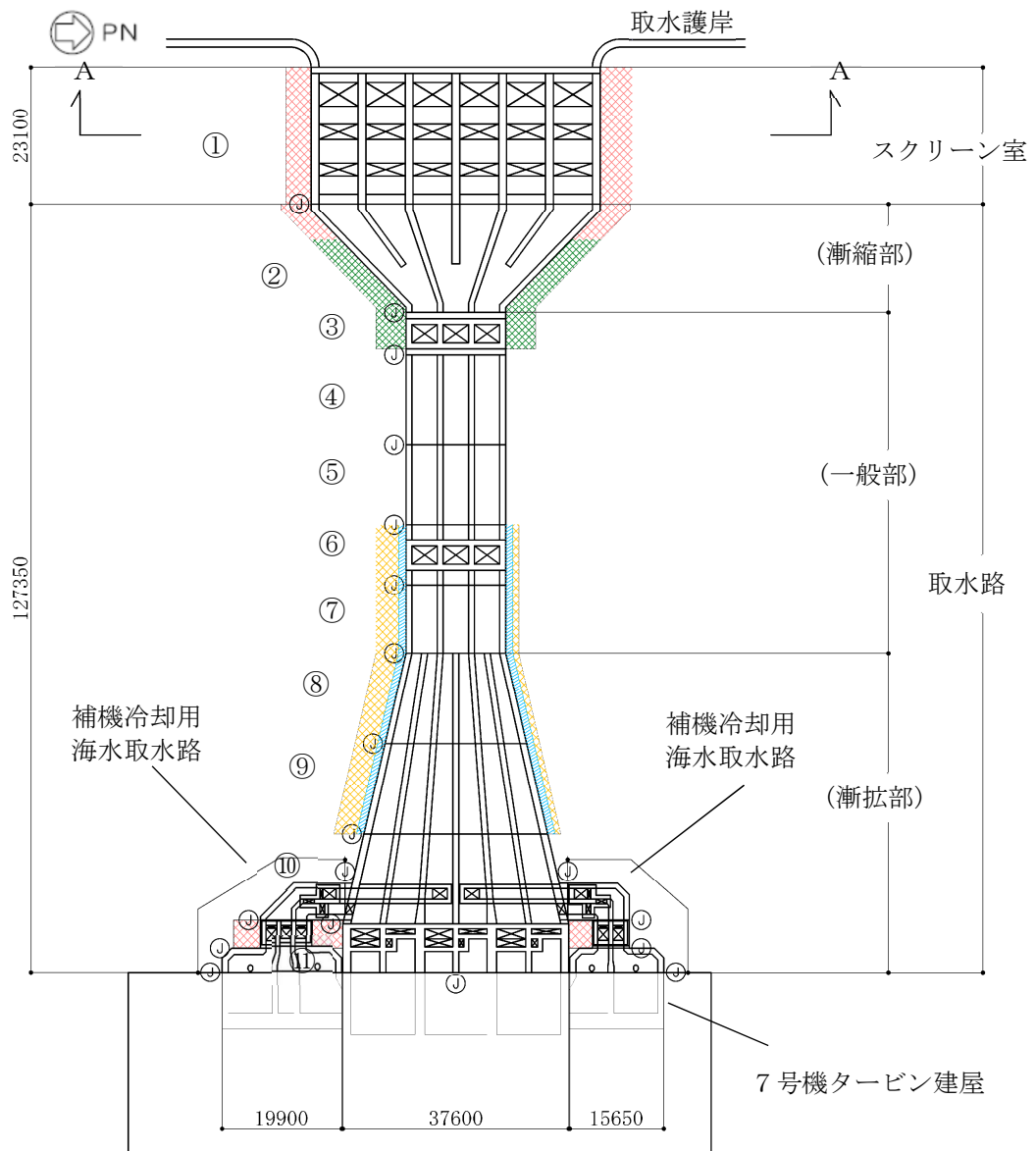


図 4-2 スクリーン室の平面配置図

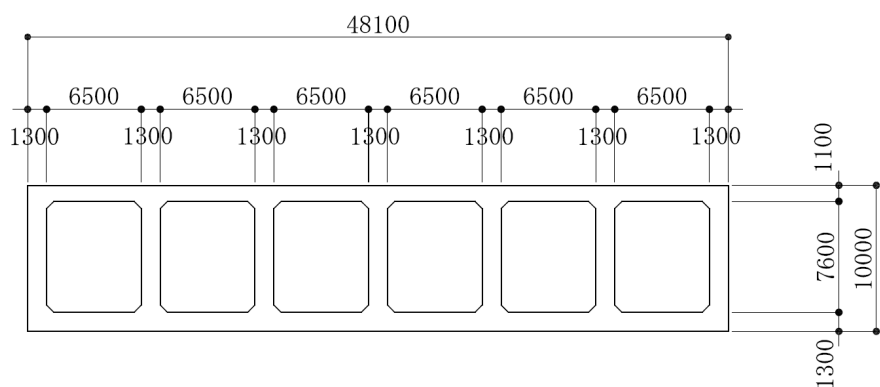
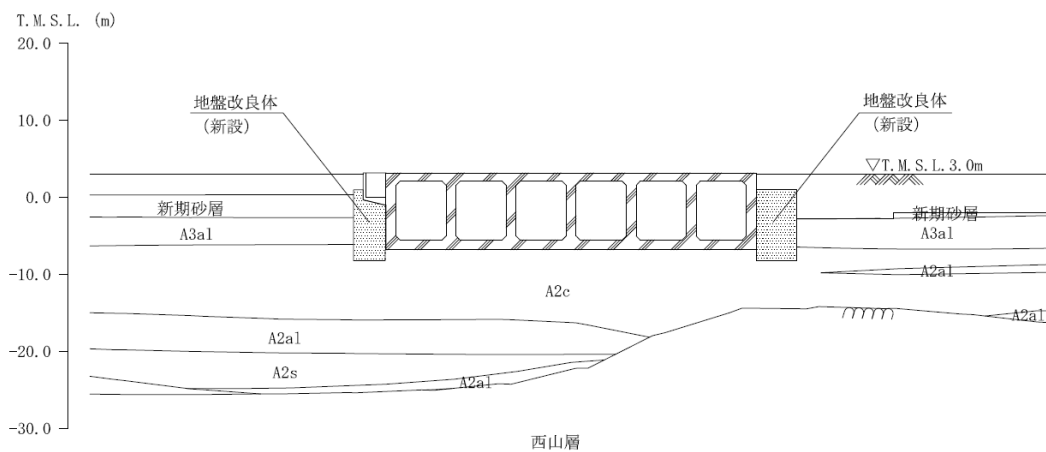


(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法(地中連続壁)，機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

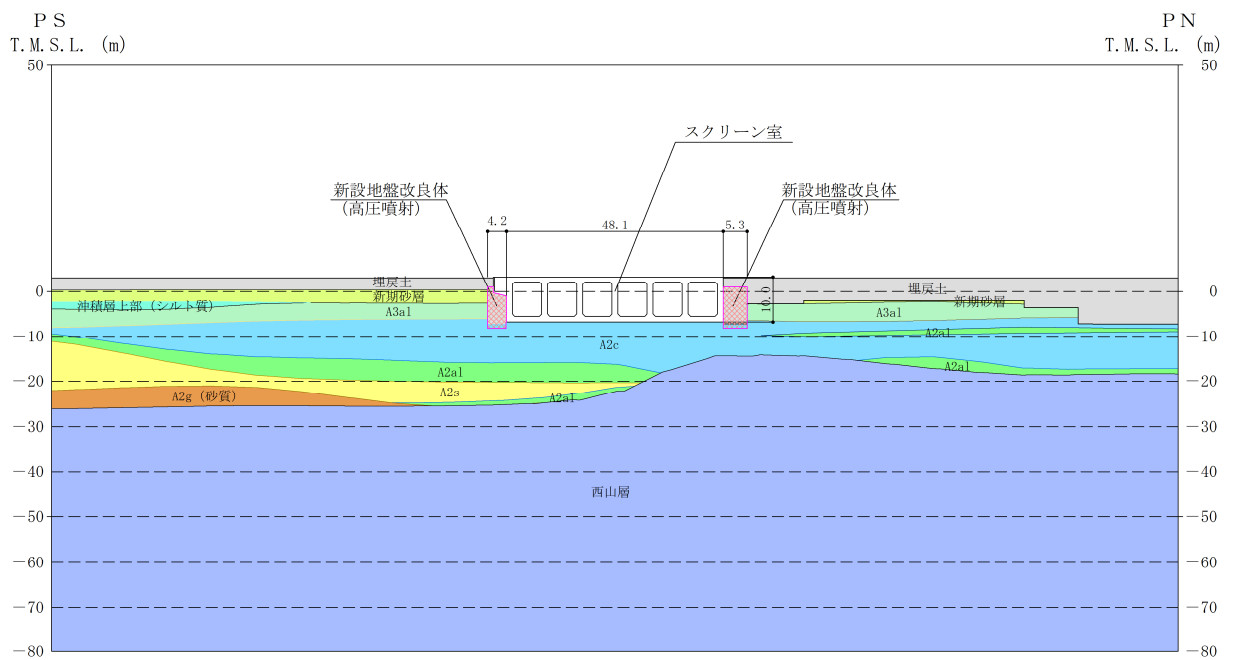
図 4-3 スクリーン室の平面図



(単位：mm)

注：東京湾平均海面（以下、「T.M.S.L.」という。）

図 4-4 スクリーン室の断面図（A-A断面 ブロック①）



(単位：m)

図 4-5 スクリーン室の周辺地質断面図 (A-A断面 ブロック①)

4.3 取水路の断面選定の考え方

図 4-6、図 4-7 及び図 4-8 に取水路の平面配置図、平面図及び断面図を示す。また、図 4-9 に周辺地質断面図を示す。

取水路は、非常時における海水の通水機能を求められる延長約 127m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に複数の断面形状を示し、海側から漸縮部、一般部、漸拡部に分けられる。取水路は、十分な支持性能を有する古安田層、西山層に直接又はマンメイドロックを介して西山層に支持される。

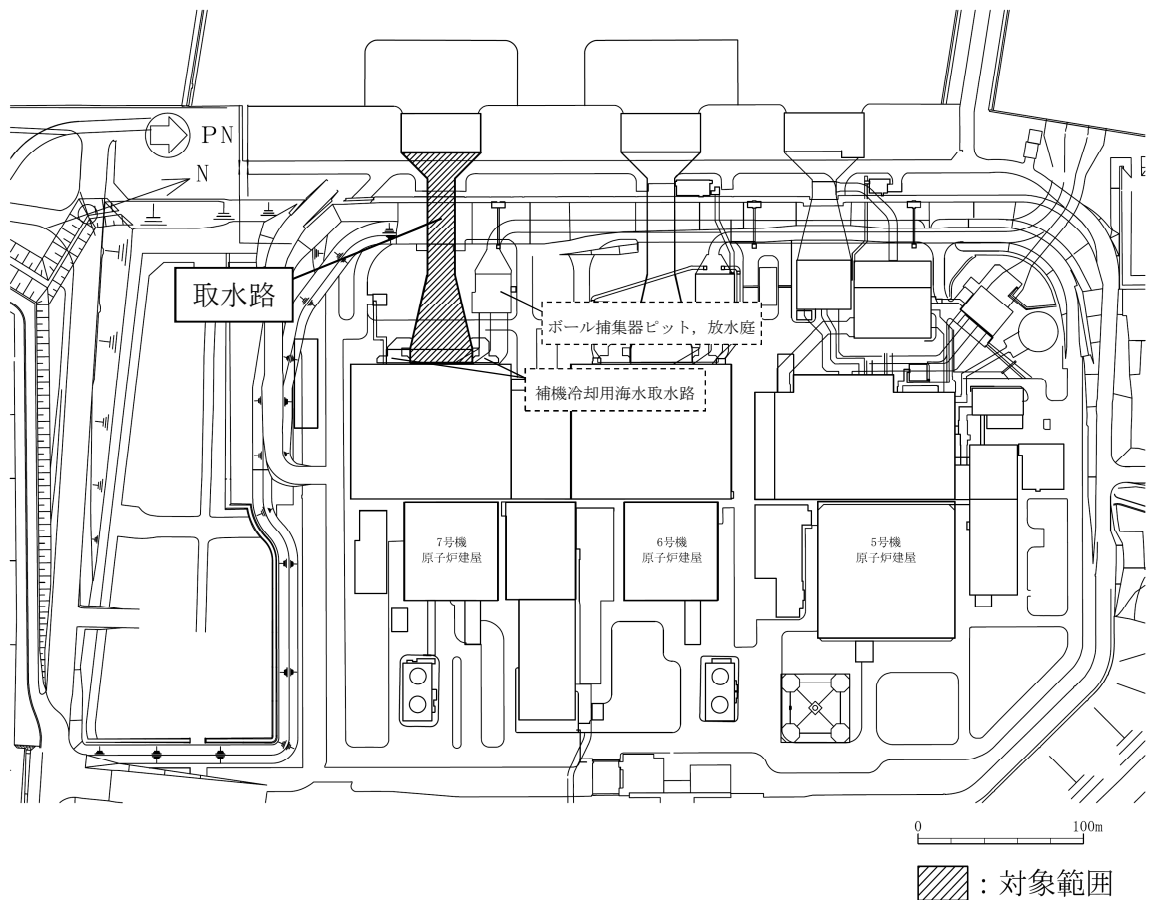
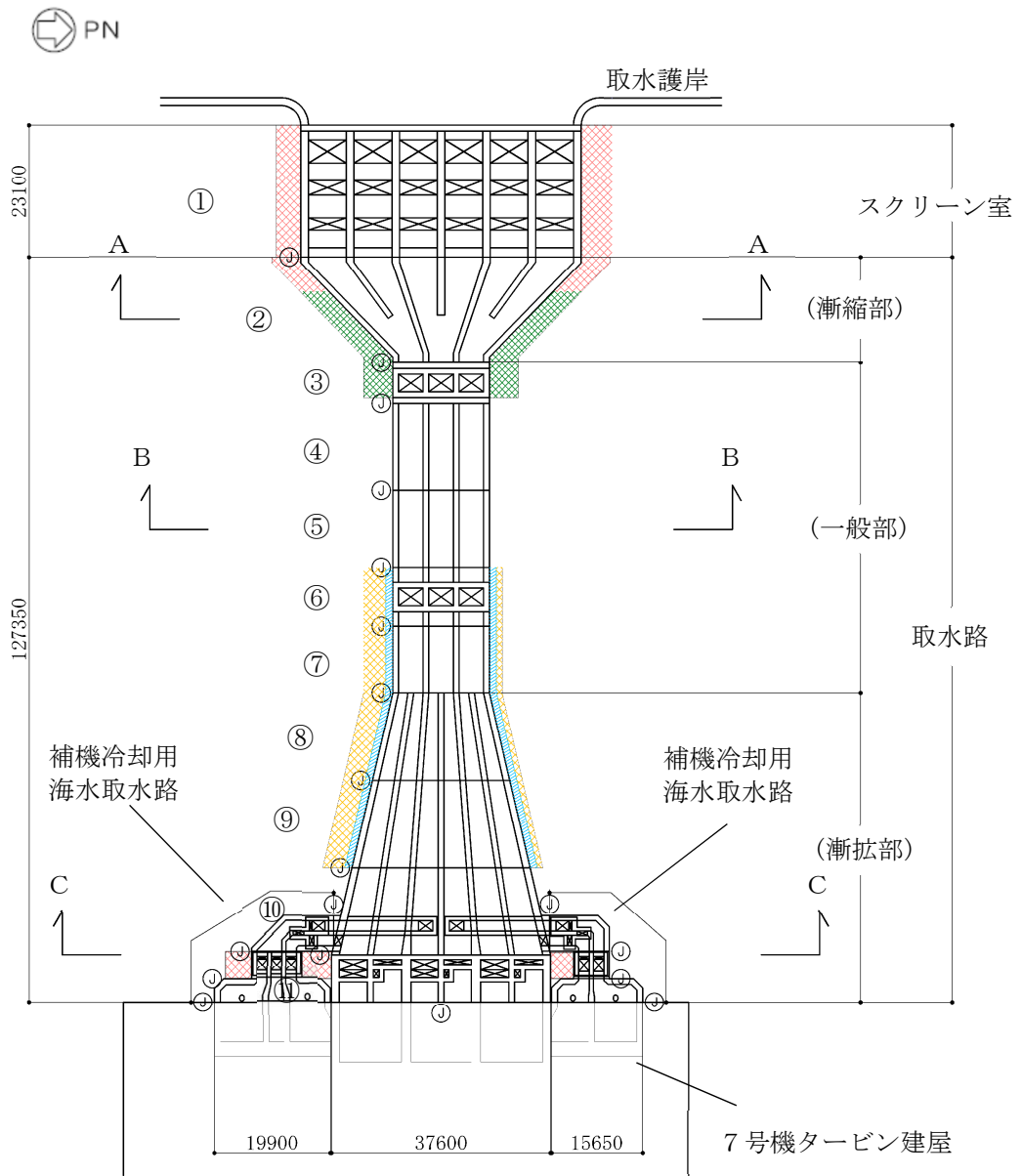


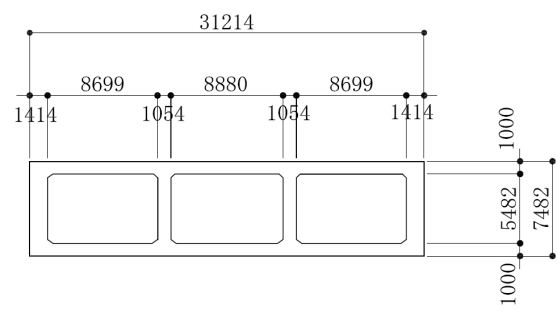
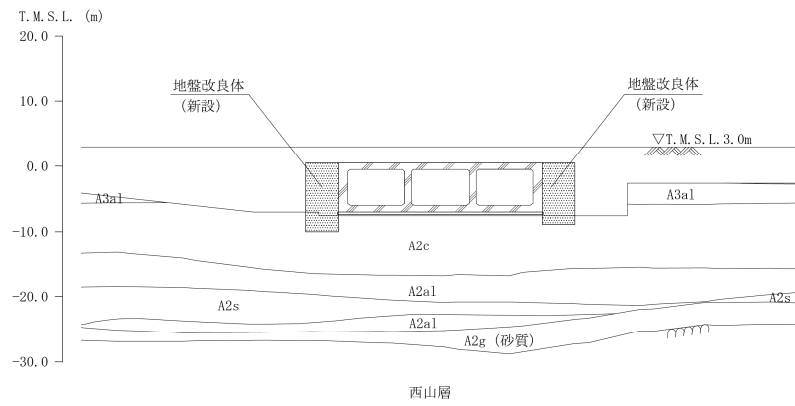
図 4-6 取水路の平面配置図



(単位：mm)

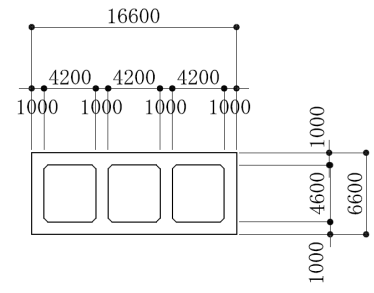
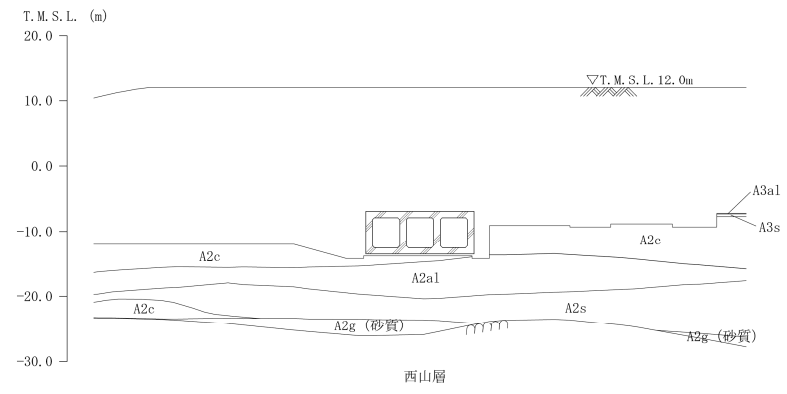
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 4-7 取水路の平面図



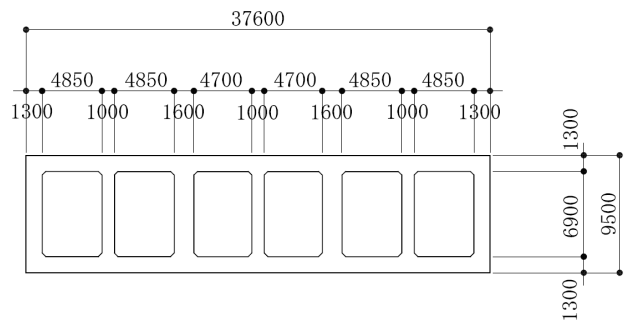
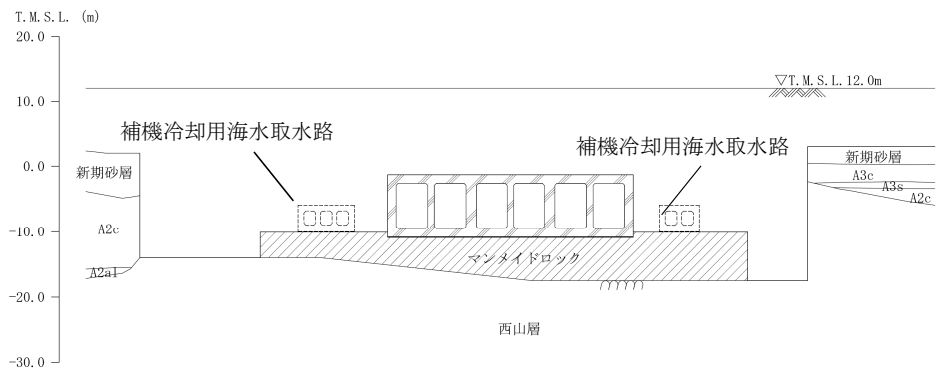
(単位：mm)

図 4-8 (1) 取水路の断面図 (漸縮部 A-A断面 ブロック②)



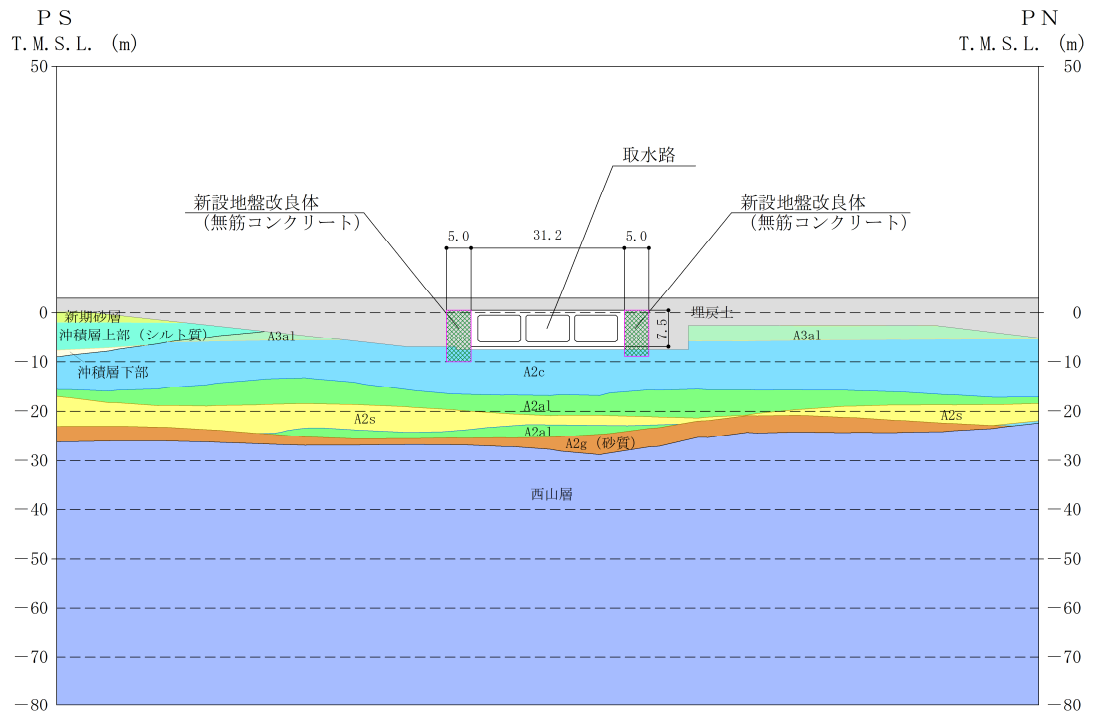
(単位：mm)

図 4-8 (2) 取水路の断面図 (一般部 B-B断面 ブロック⑤)



(単位：mm)

図 4-8 (3) 取水路の断面図 (漸拡部 C-C 断面 ブロック⑩)



(単位：m)

図 4-9 (1) 取水路の周辺地質断面図 (A-A断面 ブロック②)

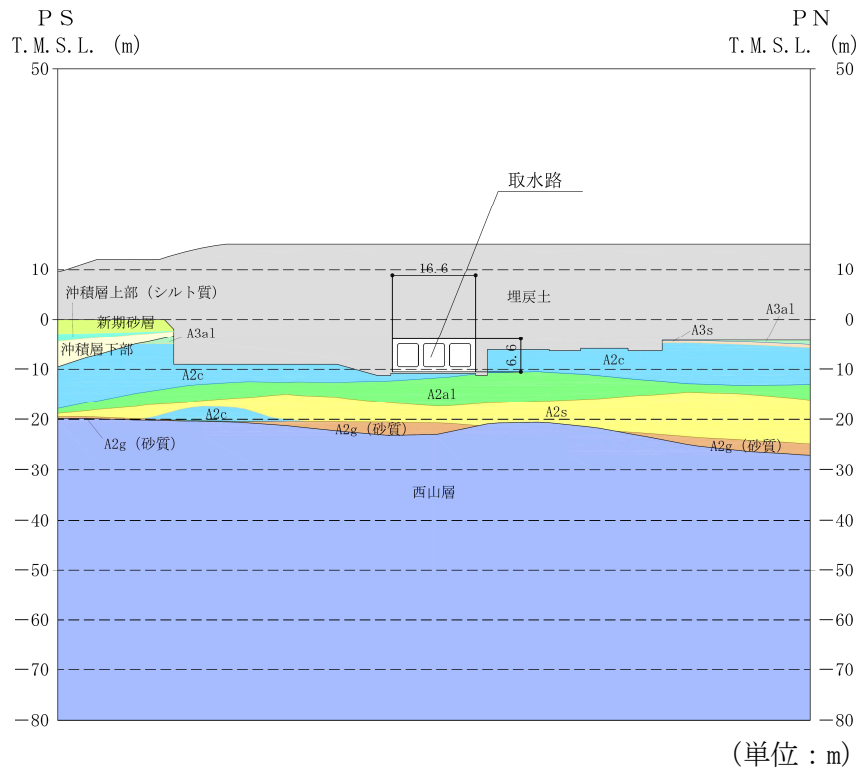


図 4-9 (2) 取水路の周辺地質断面図 (B-B断面 ブロック⑤)

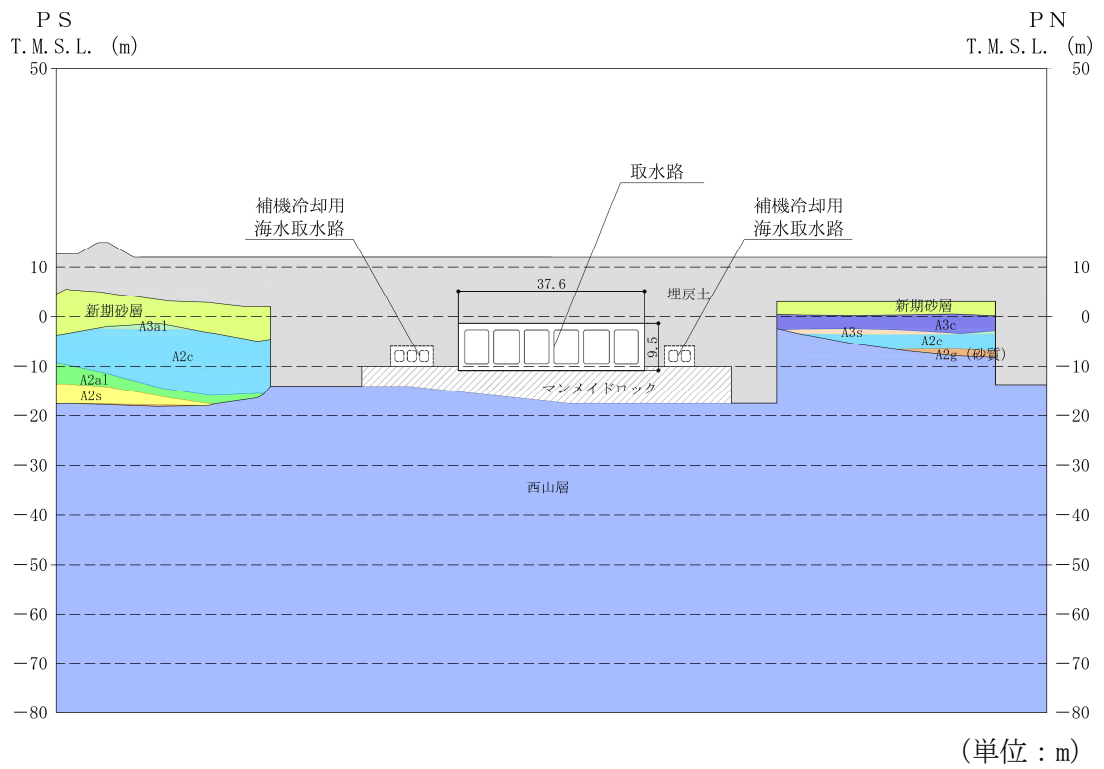
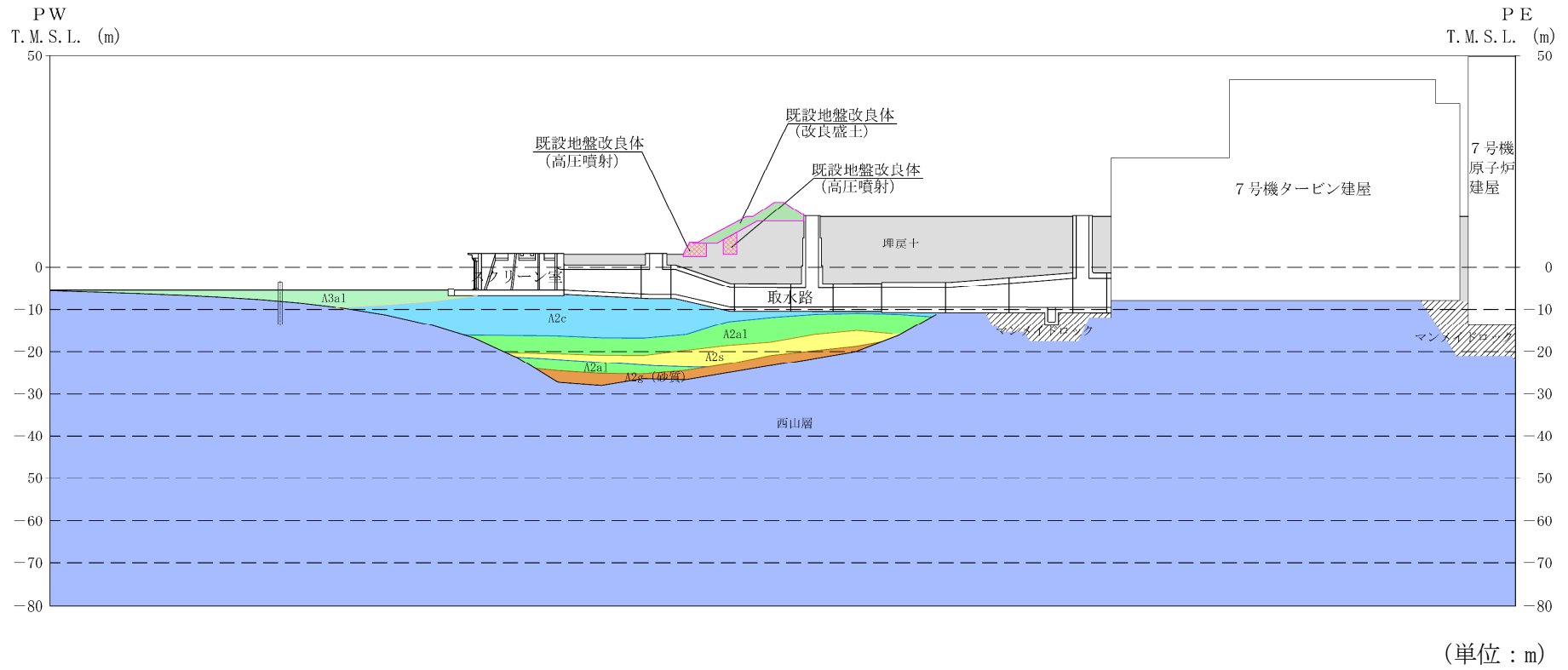


図 4-9(3) 取水路の周辺地質断面図 (C-C断面 ブロック⑩)



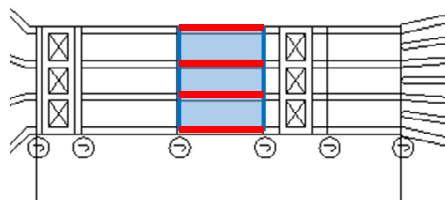
既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		高圧噴射
		改良盛土

図 4-9 (4) 取水路縦断方向の周辺地質断面図

(1) 耐震評価候補断面の整理

「4.1 方針 (1)耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。また、各耐震評価候補断面の特徴を表 4-2 に示す。なお、表 4-2 に示す壁面積率は、構造物の内空維持の観点から鉛直部材に着目し、横断方向断面のせん断変形が鉛直部材の壁厚に依存することを考慮して、構造物の各ブロックの全体平面積に対する鉛直部材の平面積の比と定義する。壁面積率の概念図を図 4-10 に示す。

取水路の鉛直部材の鉄筋比を表 4-1 に示す。鉄筋比は、構造細目として最小鉄筋量（主鉄筋比 0.2%以上，せん断補強筋比 0.15%以上）を満足するように配置しており，主鉄筋比は 0.3～1.1%の範囲，せん断補強筋比は 0.2～0.7%の範囲となっている。漸拡部は，スパンが広い⑩ブロックで大きめの主鉄筋比となっているが，せん断補強筋も多く配置されていることから，他のブロックと同等の変形性能を有していると想定される。よって，評価対象断面の選定においては，構造的特徴として壁面積率に着目して選定を行う。



注：ここで壁面積率とは，横断面のせん断変形が鉛直部材の壁厚に依存することを考慮して，構造物各ブロックの全体平面積（青色部分）に対する鉛直部材の平面積（赤色部分）と定義する。

図 4-10 壁面積率の概念図

表 4-1 各ブロックの鉛直部材の鉄筋比

区分	ブロック	構造	主鉄筋比 (%)	せん断補強筋比 (%)
漸縮部	②	カルバート	0.40～1.06	0.22～0.32
一般部	③	立坑	—	—
	④	カルバート	0.33～0.59	0.22～0.32
	⑤	カルバート	0.33～0.59	0.22～0.32
	⑥	立坑	—	—
	⑦	カルバート	0.33～0.59	0.22～0.32
漸拡部	⑧	カルバート	0.32～0.75	0.22～0.44
	⑨	カルバート	0.32～0.75	0.22～0.44
	⑩	カルバート	0.52～1.04	0.22～0.64
	⑪	立坑	—	—

表 4-2 取水路の耐震評価候補断面の特徴

方向	区分	ブロック	要求性能	構造		周辺地盤			設計 地下水位 T. M. S. L. (m)	近接構造物
				特徴	壁 面積率	土被り (m)	側方地盤	設置地盤		
NS	漸縮部	②	通水貯水	・取水方向に幅が減少するとともに、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状変わる構造	0.20	2.5	地盤改良体	古安田層	3.0	無し
	一般部	③		・3連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	—	—	地盤改良体	古安田層		3.0~5.0
		④		・3連のボックスカルバート	0.24	2.5~13.8	埋戻土	古安田層	無し	
		⑤		・3連のボックスカルバート	0.24	13.8~19.2	埋戻土	古安田層		
		⑥		・3連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	—	—	地盤改良体	古安田層	5.0	無し
		⑦		・3連のボックスカルバート	0.24	15.8	地盤改良体	古安田層		無し
	漸拡部	⑧		・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.37	15.6	地盤改良体	古安田層	5.0~8.0	ボール捕集器ピット, 放水庭
		⑨		・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.28	15.6~14.5	地盤改良体	西山層及びマンメイドロック		ボール捕集器ピット, 放水庭
		⑩		・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.22	14.5~13.3	埋戻土	マンメイドロック		補機冷却用海水取水路
		⑪		・6連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	—	—	地盤改良体	マンメイドロック		補機冷却用海水取水路

注記* : 立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施。

取水路漸縮部の②ブロックは、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状に変わる構造である。取水路側方には地盤改良を実施している。設計地下水位はT.M.S.L. 3.0mである。構造物側方に近接構造物は無い。

取水路一般部の③ブロック～⑦ブロックは、取水方向に幅が一樣な3連のボックスカルバートであり、③ブロック及び⑥ブロックの取水路上部には立坑が存在する。③ブロック、⑥ブロック及び⑦ブロックの取水路側方には地盤改良を実施している。設計地下水位は、③ブロックでT.M.S.L. 3.0m、④ブロック及び⑤ブロックでT.M.S.L. 3.0m～5.0m、⑥ブロック及び⑦ブロックでT.M.S.L. 5.0mである。構造物側方に近接構造物は無い。

取水路漸拡部の⑧ブロック～⑪ブロックは、取水方向に幅が漸拡する6連のボックスカルバートであり、⑪ブロックの取水路上部には立坑が存在する。また、⑧ブロック、⑨ブロック及び⑪ブロックの取水路側方には地盤改良を実施している。設計地下水位は、T.M.S.L. 5.0m～8.0mである。⑧ブロック及び⑨ブロックの北側にボール捕集器ピットが設置されている。また、⑩ブロック及び⑪ブロックの北側及び南側に補機冷却用海水取水路が設置されている。

(2) 評価対象断面の選定

取水路漸縮部の②ブロックは、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状に変わる構造であり、取水路の中で壁面積率が最も小さいブロックであるため耐震裕度が小さくなると想定されることから、②ブロックのうち構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少ないA-A断面を評価対象断面として選定する。

取水路一般部の③ブロック～⑦ブロックは、取水方向に幅が一樣な3連のボックスカルバートであり、全てのブロックで近接構造物は無いことから、周辺地盤条件及び設計地下水位に着目し評価対象断面を選定する。③ブロック、⑥ブロック及び⑦ブロックの取水路側方には地盤改良を実施しており、地震時における変形抑制効果が期待できるため耐震裕度は大きいと想定される。地盤改良を実施していない④ブロックと⑤ブロックを比較すると、⑤ブロックの方が土被りが大きく、設計地下水位も高いため、耐震裕度が小さくなると想定されることから、⑤ブロックのB-B断面を評価対象断面として選定する。

取水路漸拡部の⑧ブロック～⑪ブロックは、何れの断面も土被りはほぼ同等であることから、構造的な特徴、側方地盤条件、設計地下水位及び近接構造物に着目し評価対象断面を選定する。⑩ブロックは、漸拡部の中で壁面積率が最も小さく、側方の地盤改良を実施していない。また、⑧ブロック及び⑨ブロック北側には取水路よりも断面形状の大きいボール捕集器ピット・放水庭が設置されるため、変形抑制効果が期待される。一方、⑩ブロックの南北両側には補機冷却用海水取水路が設置されるが、取水路に対し断面形状が小さいため、ボール捕集器ピット・放水庭と比較し変形抑制効果は小さいと考えられる。また、⑩ブロックは⑧ブロック及び⑨ブロックよりも設計地下水位が高い。以上のことから、耐

震裕度が小さくなると想定される⑩ブロックのうち構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少ないC-C断面を評価対象断面として選定する。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4-3 に示す。取水路の耐震評価は、A-A断面、B-B断面及びC-C断面にて実施する。また、取水路立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施する。

表 4-3 取水路 評価対象断面の選定結果

方向	区分	ブロック	要求性能	構造		周辺地盤			設計地下水位 T.M.S.L. (m)	近接 構造物	既 工認	今回 工認	選定理由		
				特徴	壁面 積率	土被り (m)	側方地盤	設置地盤							
NS	漸縮部	②	通水貯水	・取水方向に幅が減少するとともに、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状変わる構造	0.20	2.5	地盤改良体	古安田層	3.0	無し	-	○	②ブロックの中で構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少ないA-A断面を評価対象断面に選定する。		
	一般部	③		・3連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	-	-	地盤改良体	古安田層		無し	-	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。	
		④		・3連のボックスカルバート	0.24	2.5 ~ 13.8	埋戻土	古安田層	3.0~5.0	無し	-	-	⑤ブロックと比較し土被りが小さい		
		⑤		・3連のボックスカルバート	0.24	13.8 ~ 19.2	埋戻土	古安田層		無し	○	○	④ブロックと比較し土被りが大きく、設計地下水位も高いことから、B-B断面を評価対象断面に選定する。		
		⑥		・3連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	-	-	地盤改良体	古安田層	5.0	無し	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。		
		⑦		・3連のボックスカルバート	0.24	15.8	地盤改良体	古安田層		無し	-	-	-	地盤改良を実施。	
		漸拡部		⑧	・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.37	15.6	地盤改良体	古安田層	5.0~8.0	ボール捕集器ピット、放水庭	-	-	-	地盤改良を実施。
				⑨	・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.28	15.6 ~ 14.5	地盤改良体	西山層及びマンメイドロック		ボール捕集器ピット、放水庭	-	-	-	地盤改良を実施。
				⑩	・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.22	14.5 ~ 13.3	埋戻土	マンメイドロック		補機冷却用海水取水路	○	○	-	漸拡部の中で壁面積率が最も小さく、側方の地盤改良を実施していないことから、⑩ブロックの中で構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく、設計地下水位も高いことからC-C断面を評価対象断面に選定する。
				⑪	・6連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	-	-	地盤改良体	マンメイドロック		補機冷却用海水取水路	-	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。

注記* : 立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施。

4.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方

図 4-11～図 4-16 に補機冷却用海水取水路の平面配置図，平面図，断面図及び立体図を示す。また，図 4-17 に周辺地質断面図を示す。

補機冷却用海水取水路は，非常時における海水の通水機能を求められる鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，取水路漸拡部からそれぞれ北側及び南側に分岐し，取水方向に複数の断面形状を示し，マンメイドロックを介して西山層に支持される。

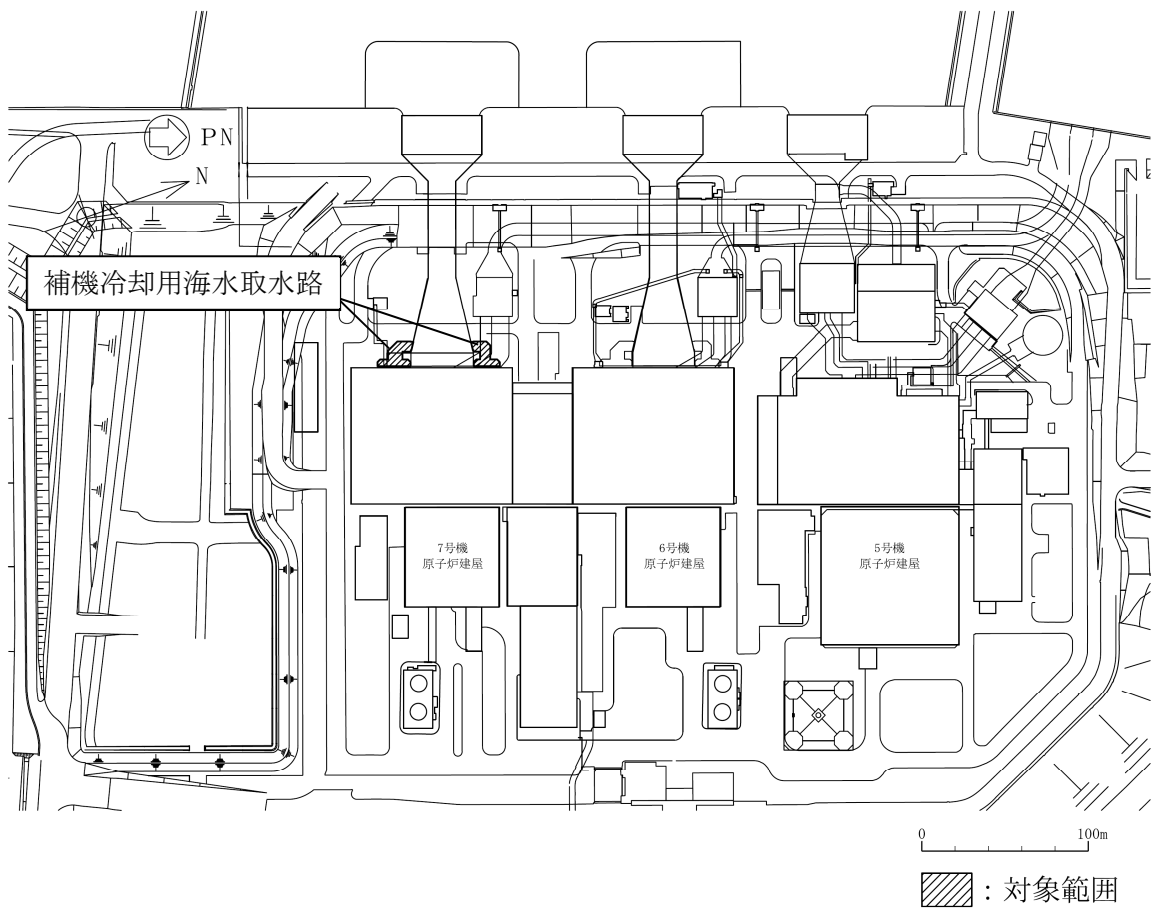
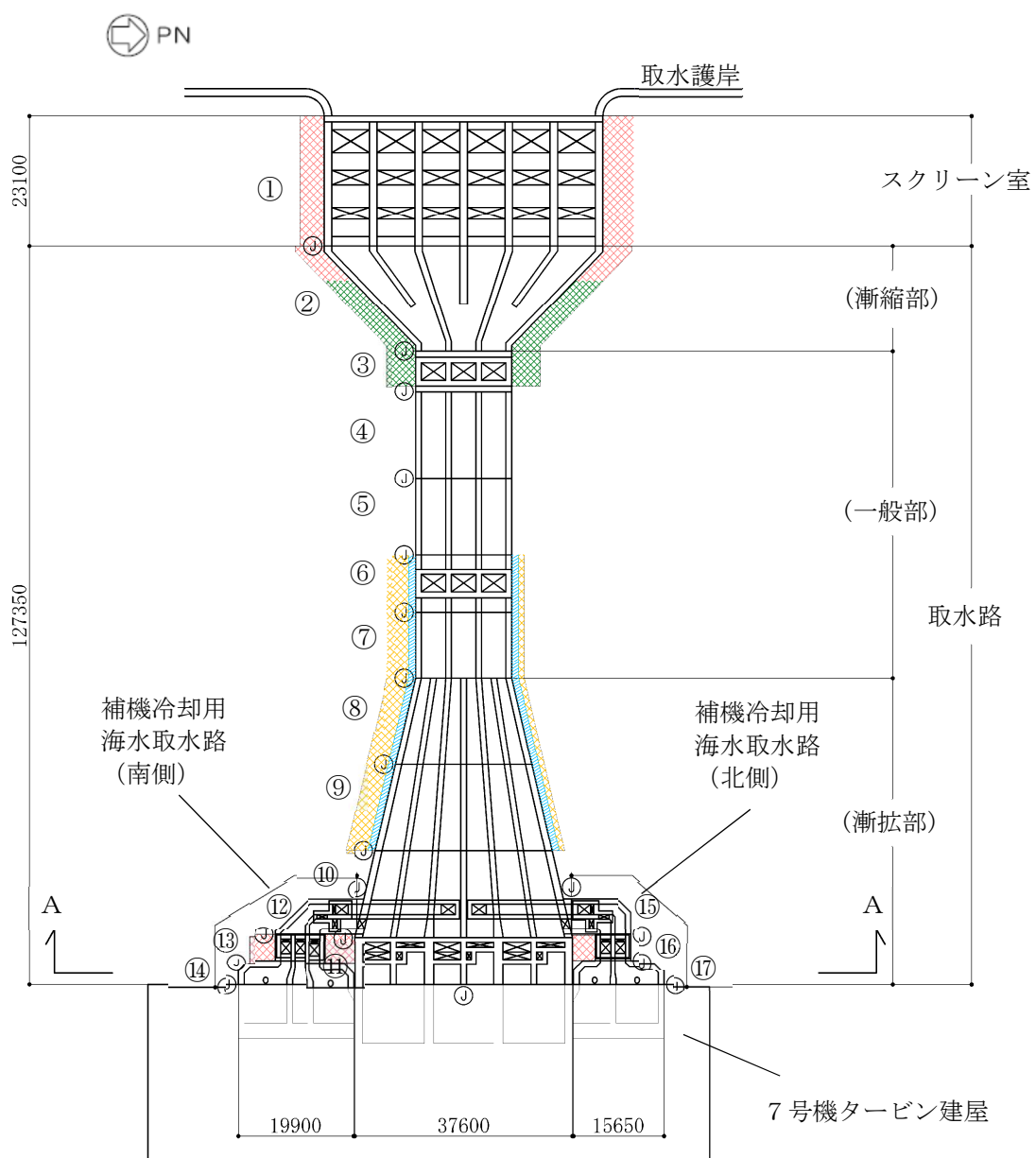


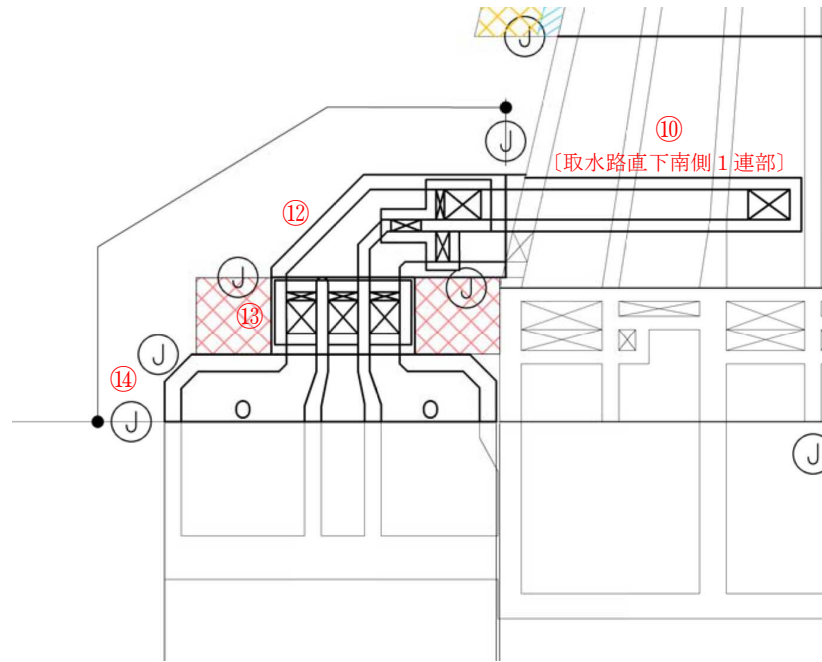
図 4-11 補機冷却用海水取水路の平面配置図



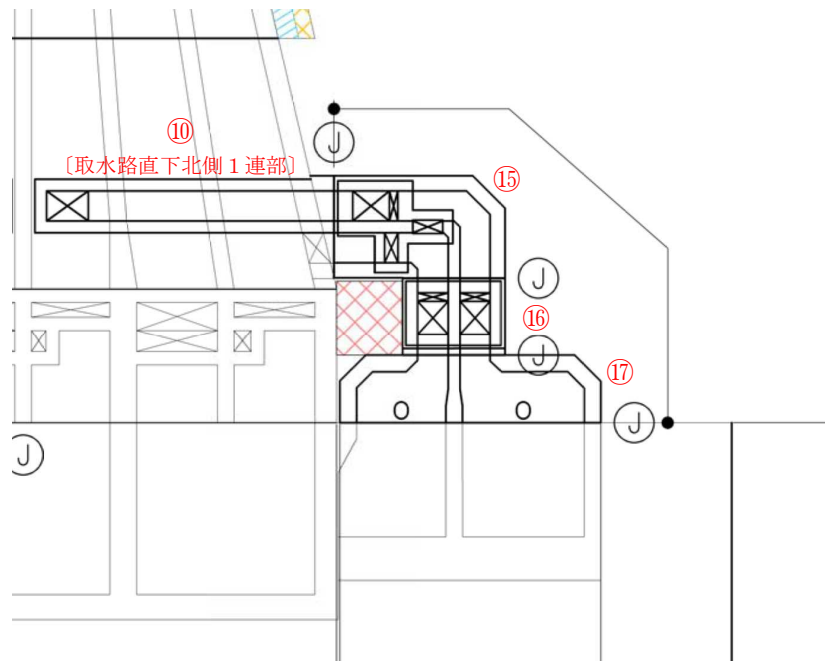
(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 4-12 補機冷却用海水取水路の平面図

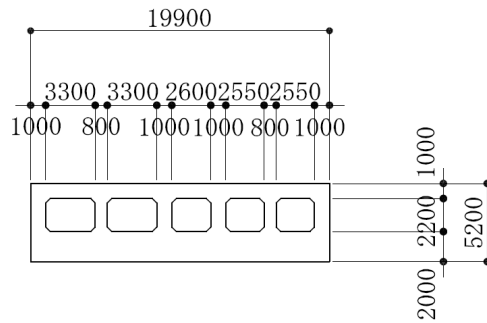
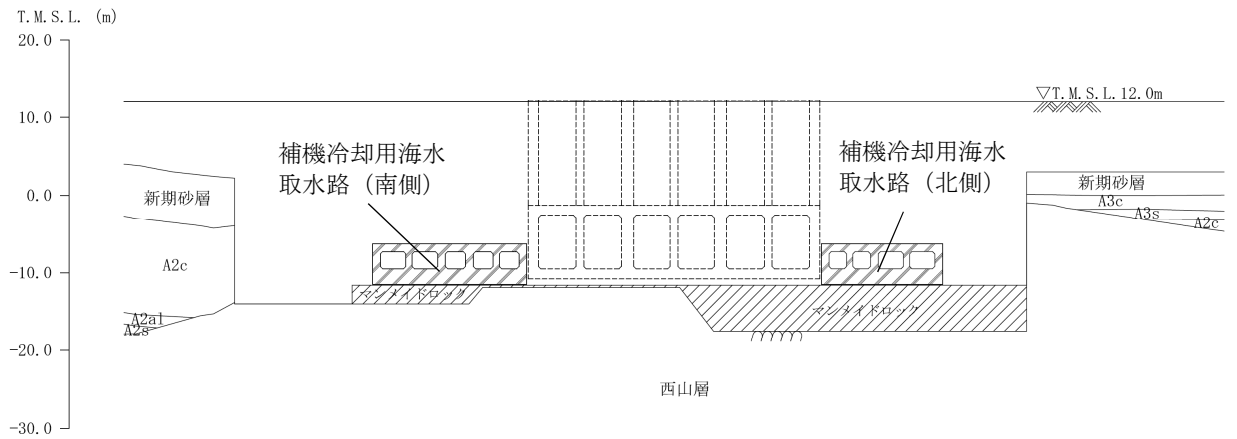


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）

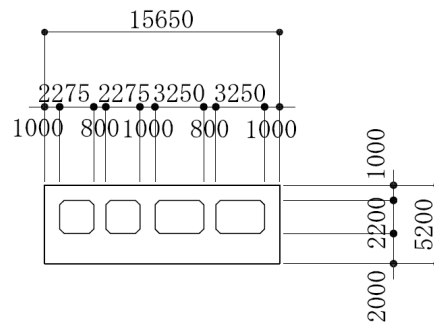


(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 4-13 補機冷却用海水取水路の詳細平面図



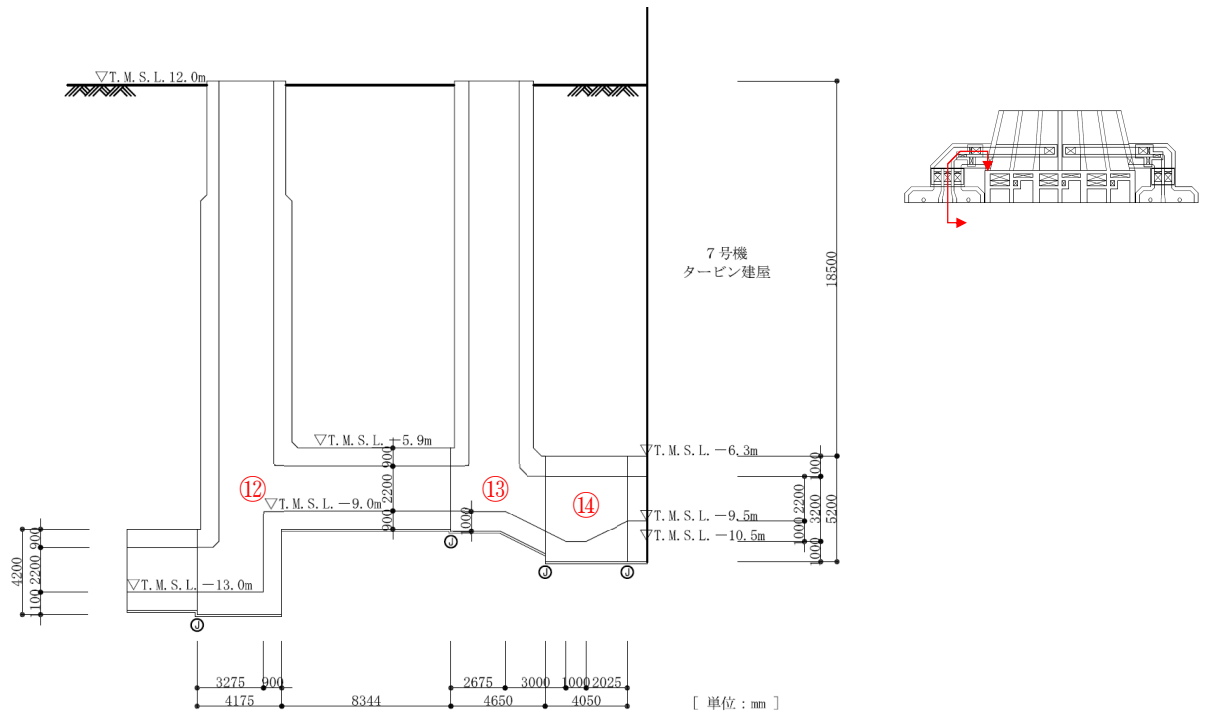
(a) 補機冷却用海水取水路 (南側)



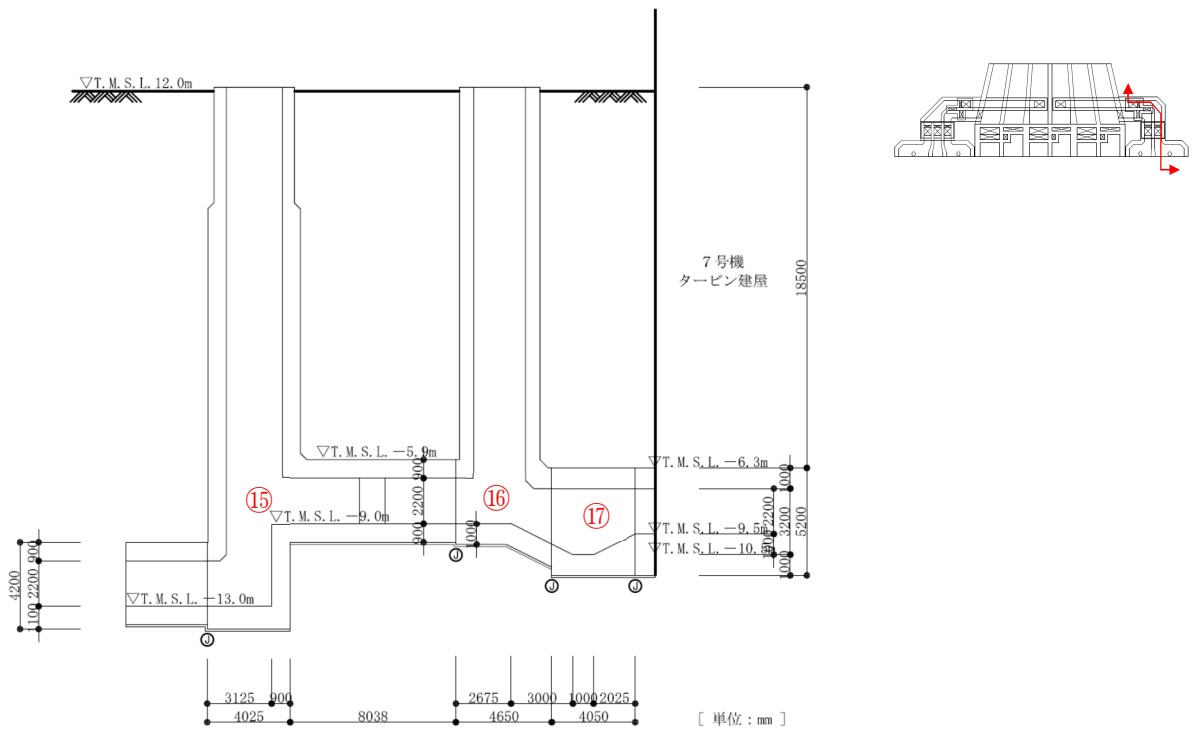
(b) 補機冷却用海水取水路 (北側)

(単位 : mm)

図 4-14 補機冷却用海水取水路の断面図 (A-A断面)

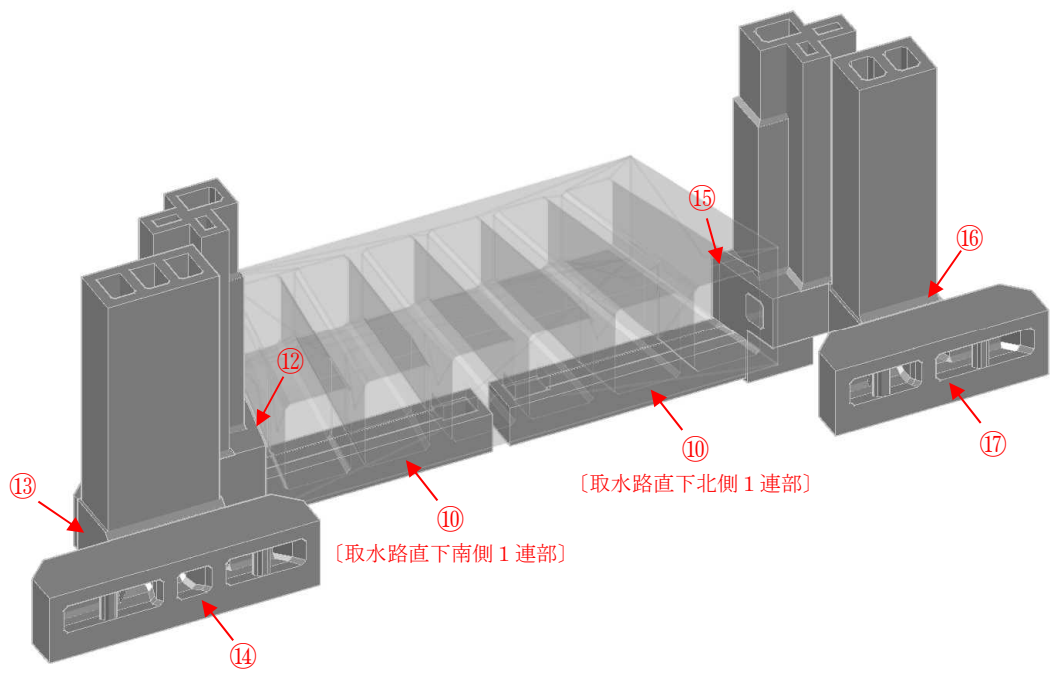


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）

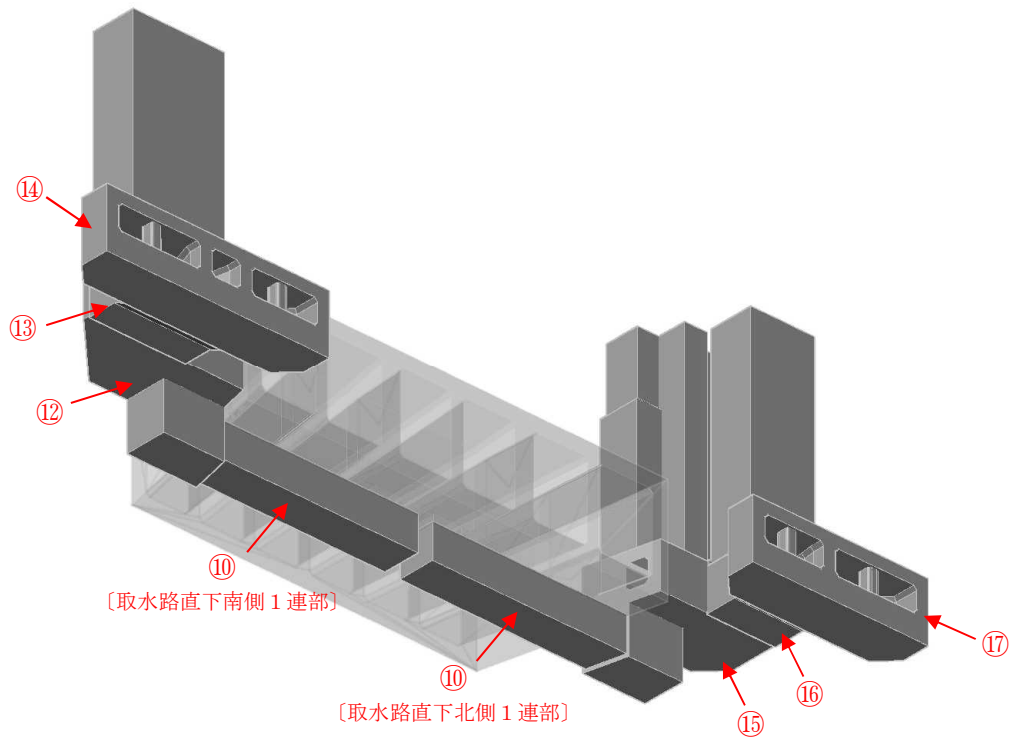


(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 4-15 補機冷却用海水取水路の縦断面図



(a) 上方から



(b) 下方から

図 4-16 補機冷却用海水取水路の立体図

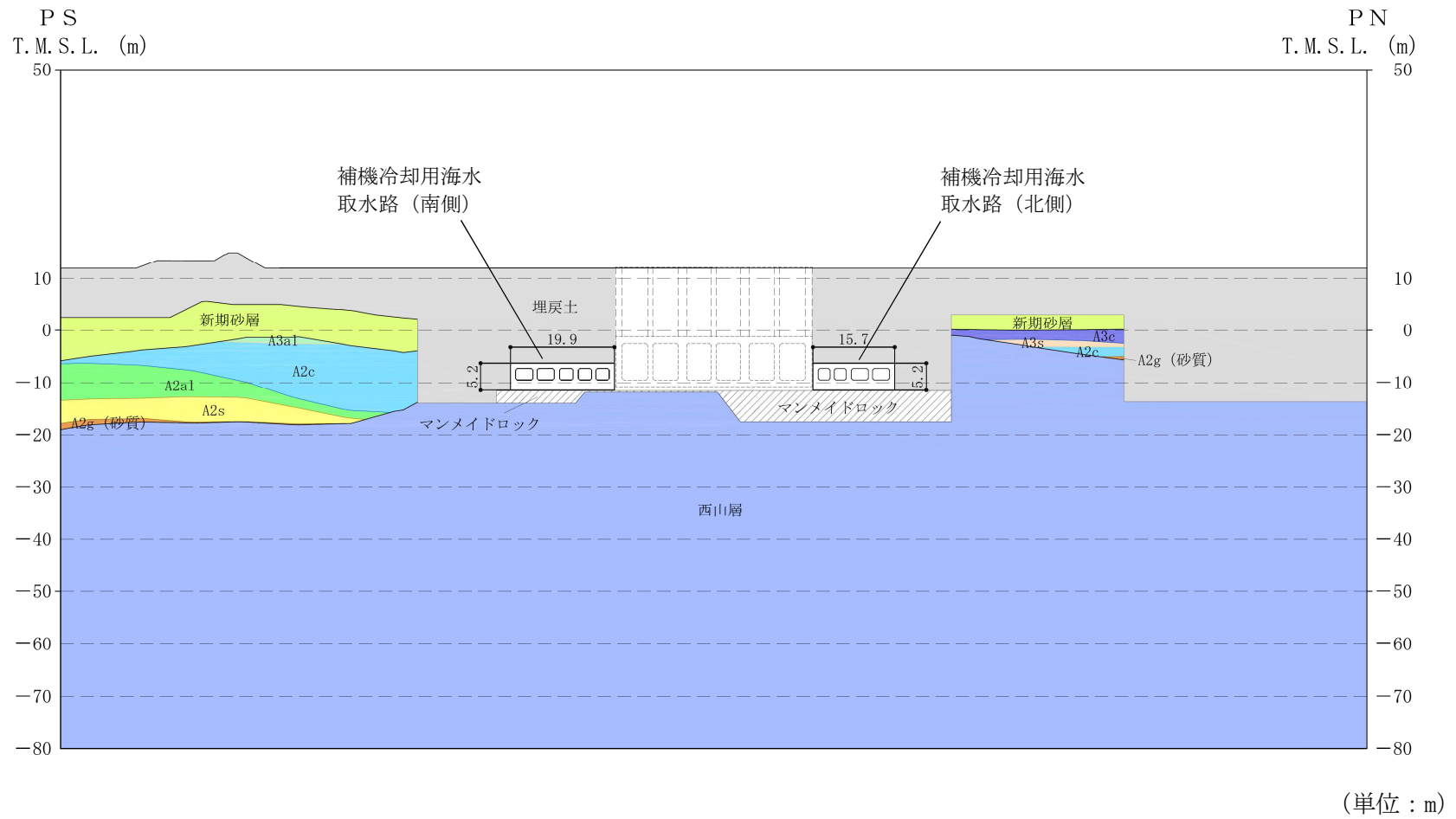


図 4-17 補機冷却用海水取水路の周辺地質断面図 (A-A断面)

(1) 耐震評価候補断面の整理

「4.1 方針 (1)耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。また、各耐震評価候補断面の特徴を表 4-5 に示す。

補機冷却用海水取水路の鉛直部材の鉄筋比を表 4-4 に示す。鉄筋比は、構造細目として最小鉄筋量（主鉄筋比 0.2%以上、せん断補強筋比 0.15%以上）を満足するように配置しており、主鉄筋比は 0.2~0.6%の範囲、せん断補強筋比は 0.2~0.4%の範囲となっている。そのため、鉄筋量に大きな差は無いことから、評価対象断面の選定においては、構造的特徴として壁面積率に着目して選定を行う。

補機冷却用海水取水路（南側）の⑩ブロック〔取水路直下南側 1 連部〕は、取水路漸拡部の底版から分岐した、取水路漸拡部と一体構造の 1 連のボックスカルバートである。設計地下水位は T. M. S. L. 8.0m である。図 4-9 (4) に示すとおり、頂版は、取水路漸拡部と一体化されており、側壁及び底版を囲むように、マンメイドロックが設置されている。

補機冷却用海水取水路（南側）の⑭ブロックは、取水路漸拡部から 2 連のボックスカルバート形状で分岐し、2 連から 5 連（柱部 2 本）のボックスカルバート形状になるとともに、タービン建屋近傍で幅が大きくなるとともに妻壁を有する構造である。設計地下水位は T. M. S. L. 8.0m である。構造物側方に取水路が設置されている。

補機冷却用海水取水路（北側）の⑯ブロック〔取水路直下北側 1 連部〕は、取水路漸拡部の底版から分岐した、取水路漸拡部と一体構造の 1 連のボックスカルバートである。設計地下水位は T. M. S. L. 8.0m である。図 4-9 (4) に示すとおり、頂版は、取水路漸拡部と一体化されており、側壁及び底版を囲むように、マンメイドロックが設置されている。

補機冷却用海水取水路（北側）の⑰ブロックは、取水路漸拡部から 2 連のボックスカルバート形状で分岐し、2 連から 4 連（柱部 2 本）のボックスカルバート形状になるとともに、タービン建屋近傍で幅が大きくなるとともに妻壁を有する構造である。設計地下水位は T. M. S. L. 8.0m である。構造物側方に取水路が設置されている。

表 4-4 補機冷却用海水取水路の各ブロックの鉛直部材の鉄筋比

区分	ブロック	構造	主鉄筋比 (%)	せん断補強筋比 (%)
南側	⑩ 取水路直下南側 1 連部	カルバート	0.27	0.22
	⑫	立坑	—	—
	⑬	立坑	—	—
	⑭	カルバート	0.29~0.53	0.22~0.32
北側	⑩ 取水路直下北側 1 連部	カルバート	0.27	0.22
	⑮	立坑	—	—
	⑯	立坑	—	—
	⑰	カルバート	0.25~0.48	0.22

表 4-5 補機冷却用海水取水路の耐震評価候補断面の特徴

区分	ブロック	要求性能	構造		周辺地盤			設計地下水位 T. M. S. L. (m)	近接構造物	
			特徴	壁面積率	土被り(m)	側方地盤	設置地盤			
南側	⑩ 取水路直下 南側1連部	通水 貯水	・取水路（漸拡部）との一体構造 ・1連のボックスカルバート	0.43	14.5 ～ 13.3* ²	マンメイドロ ック	マンメイドロック	8.0	無し	
	⑫		・2連のボックスカルバート（取水路 上部に立坑が存在* ¹ ）	—	—	地盤改良体	マンメイドロック		取水路	
	⑬		・3連のボックスカルバート（取水路 上部に立坑が存在* ¹ ）	—	—	地盤改良体	マンメイドロック		取水路	
	⑭		・妻壁を有する5連（柱部2本）の ボックスカルバート	0.31	18.5	埋戻土	マンメイドロック		取水路	
北側	⑩ 取水路直下 北側1連部		・取水路（漸拡部）との一体構造 ・1連のボックスカルバート	0.43	14.5 ～ 13.3* ²	マンメイドロ ック	マンメイドロック		8.0	無し
	⑮		・2連のボックスカルバート（取水路 上部に立坑が存在* ¹ ）	—	—	地盤改良体	マンメイドロック			取水路
	⑯		・2連のボックスカルバート（取水路 上部に立坑が存在* ¹ ）	—	—	地盤改良体	マンメイドロック			取水路
	⑰		・妻壁を有する4連（柱部2本）の ボックスカルバート	0.33	18.5	埋戻土	マンメイドロック			取水路

注記*1：立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施。

*2：一体構造となる取水路（漸拡部）の土被りを示す。

(2) 評価対象断面の選定

耐震評価候補断面のうち⑩ブロック〔取水路直下南側1連部〕及び⑪ブロック〔取水路直下北側1連部〕については、補機冷却用海水取水路（南側）の⑭ブロック及び補機冷却用海水取水路（北側）の⑰ブロックと比較し、壁面積率が大きく、頂版は、取水路漸拡部と一体化されており、側壁及び底版を囲むように、マンメイドロックが設置されていることから、耐震裕度が大きくなると考えられる。

一方、補機冷却用海水取水路（南側）の⑭ブロック及び補機冷却用海水取水路（北側）の⑰ブロックは、壁面積率が小さく、ブロック内で形状が複雑に変化し、かつ妻壁を有する構造であることから、⑭ブロック及び⑰ブロックともに評価対象断面として選定する。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4-6 に示す。補機冷却用海水取水路の耐震評価は、⑭ブロック及び⑰ブロックにて実施する。また、取水路立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施する。

表 4-6 補機冷却用海水取水路 評価対象断面の選定結果

区分	ブロック	要求性能	構造		周辺地盤		設計 地下水位 T. M. S. L. (m)	近接 構造物	既 工認	今回 工認	選定理由	
			特徴	壁 面積率	土被り (m)	側方地盤						設置地盤
南側	⑩ 取水路直下 南側1連部	通水 貯水	・取水路（漸拡部）との一体構造 ・1連のボックスカルバート	0.43	14.5 ~ 13.3* ₂	マンメイ ドロック	マンメイ ドロック	8.0	無し	-	-	⑭ブロックと比較し、壁面積率が大きく、周囲にマンメイドロックが設置される。
	⑫		・2連のボックスカルバート (取水路上部に立坑が存在* ¹)	-	-	地盤改良 体	マンメイ ドロック		取水路	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。
	⑬		・3連のボックスカルバート (取水路上部に立坑が存在* ¹)	-	-	地盤改良 体	マンメイ ドロック		取水路	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。
	⑭		・妻壁を有する5連(柱部2本) のボックスカルバート	0.31	18.5	埋戻土	マンメイ ドロック		取水路	○	○	ブロック内で形状が複雑に変化し、かつ妻壁を有する構造であることから評価対象断面に選定する。
北側	⑩ 取水路直下 北側1連部		・取水路（漸拡部）との一体構造 ・1連のボックスカルバート	0.43	14.5 ~ 13.3* ₂	マンメイ ドロック	マンメイ ドロック		無し	-	-	⑰ブロックと比較し、壁面積率が大きく、周囲にマンメイドロックが設置される。
	⑮		・2連のボックスカルバート (取水路上部に立坑が存在* ¹)	-	-	地盤改良 体	マンメイ ドロック		取水路	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。
	⑯		・2連のボックスカルバート (取水路上部に立坑が存在* ¹)	-	-	地盤改良 体	マンメイ ドロック		取水路	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。
	⑰		・妻壁を有する4連(柱部2本) のボックスカルバート	0.33	18.5	埋戻土	マンメイ ドロック		取水路	○	○	ブロック内で形状が複雑に変化し、かつ妻壁を有する構造であることから評価対象断面に選定する。

注記*1 : 立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施。

*2 : 一体構造となる取水路（漸拡部）の土被りを示す。

4.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方

図 4-18, 図 4-19 及び図 4-20 に軽油タンク基礎の平面配置図, 平面図及び断面図を示す。また, 図 4-21 に周辺地質断面図を示す。

軽油タンク基礎は, 軽油タンクを間接支持する幅約 18m (NS 方向) × 約 35m (EW 方向), 高さ約 1.4m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。

軽油タンク基礎は, 鉄筋コンクリート造の基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物である。また, 基礎版及び杭の周辺には地盤改良を実施しており, 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無いと考えられるため, 構造物の中心を通る断面を評価対象断面とする。

以上のことから, 軽油タンク基礎の耐震評価においては, 基礎版の短軸方向となる NS 断面 (A-A 断面) と長軸方向となる EW 断面 (B-B 断面) の 2 断面を耐震評価断面とする。

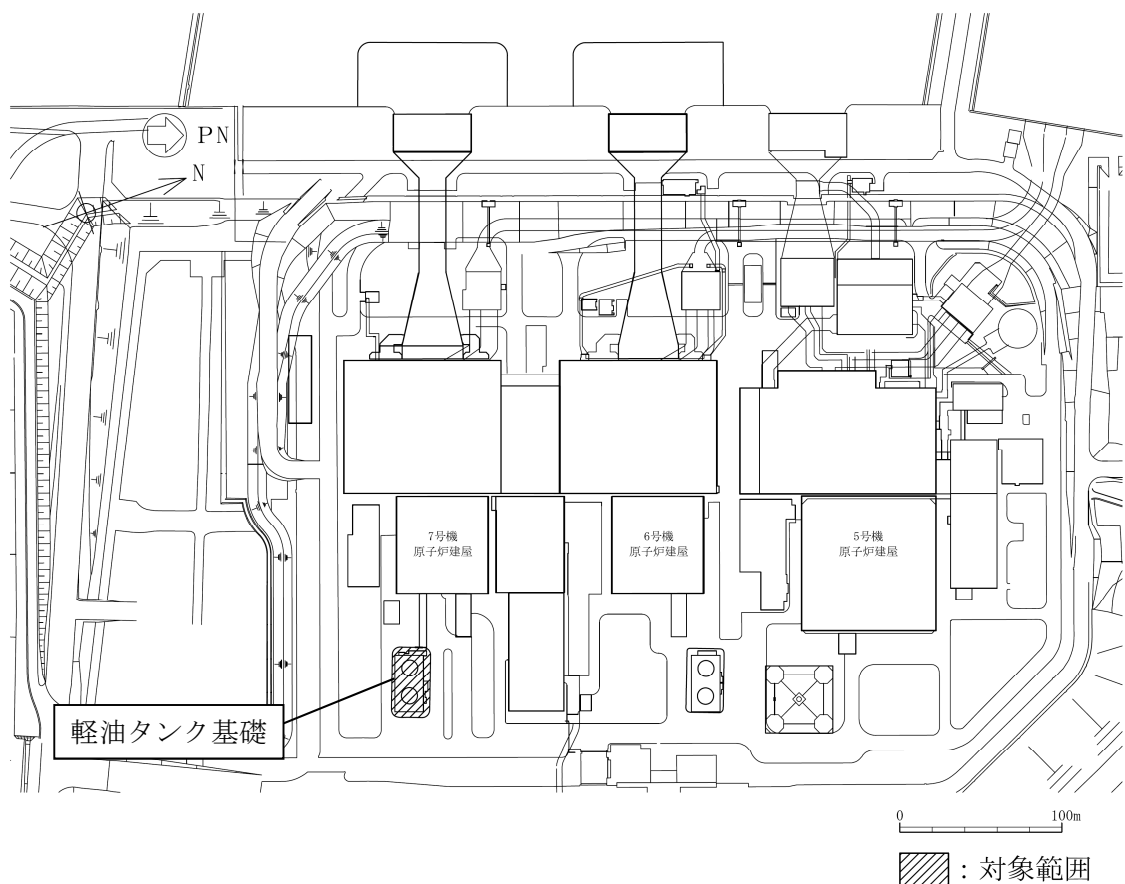
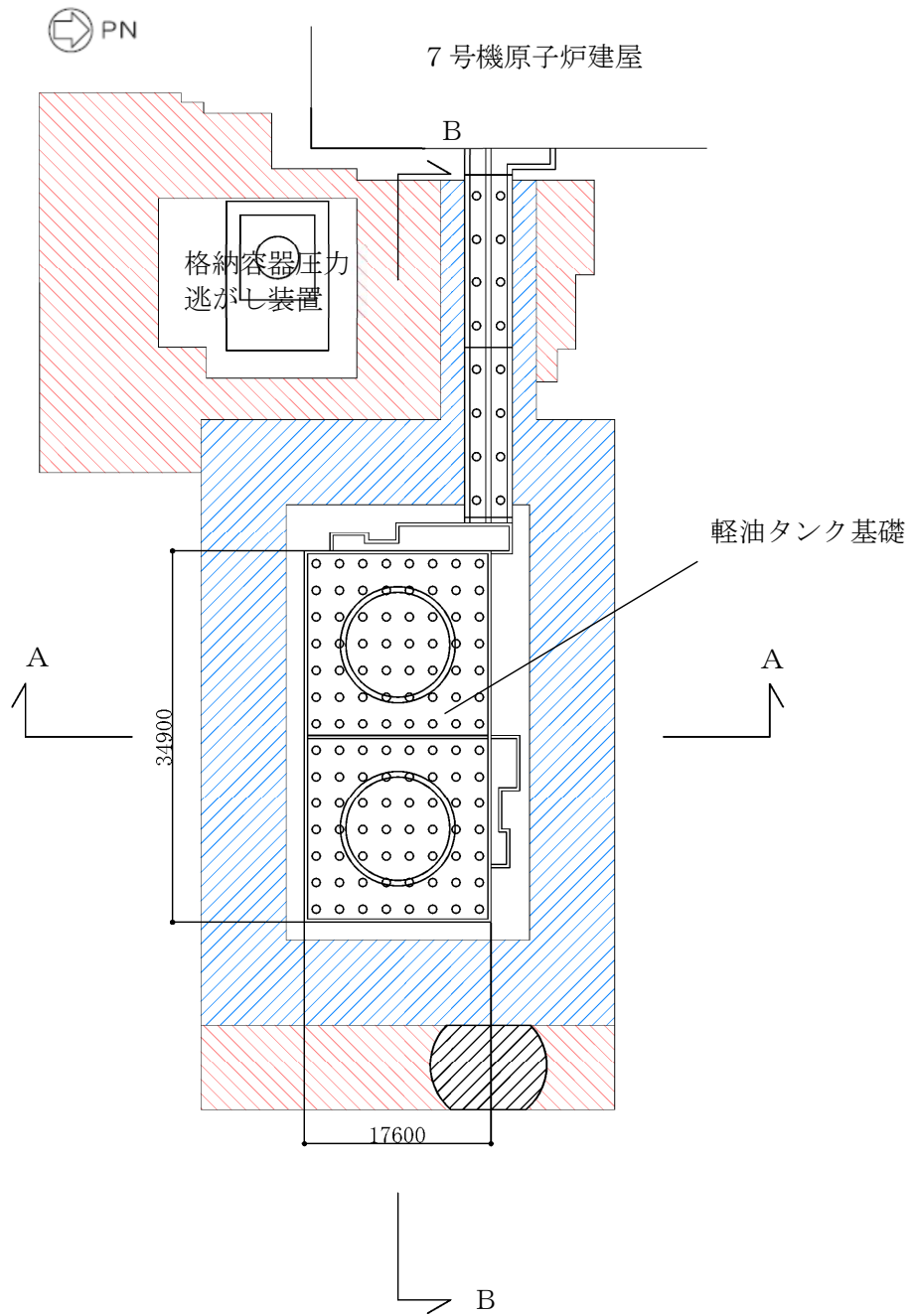


図 4-18 軽油タンク基礎の平面配置図



(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換(CD掘削)
新設地盤改良体		置換(CD掘削)

注：置換工法(CD掘削)の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射または置換（開削）を適用

図 4-19 軽油タンク基礎の平面図

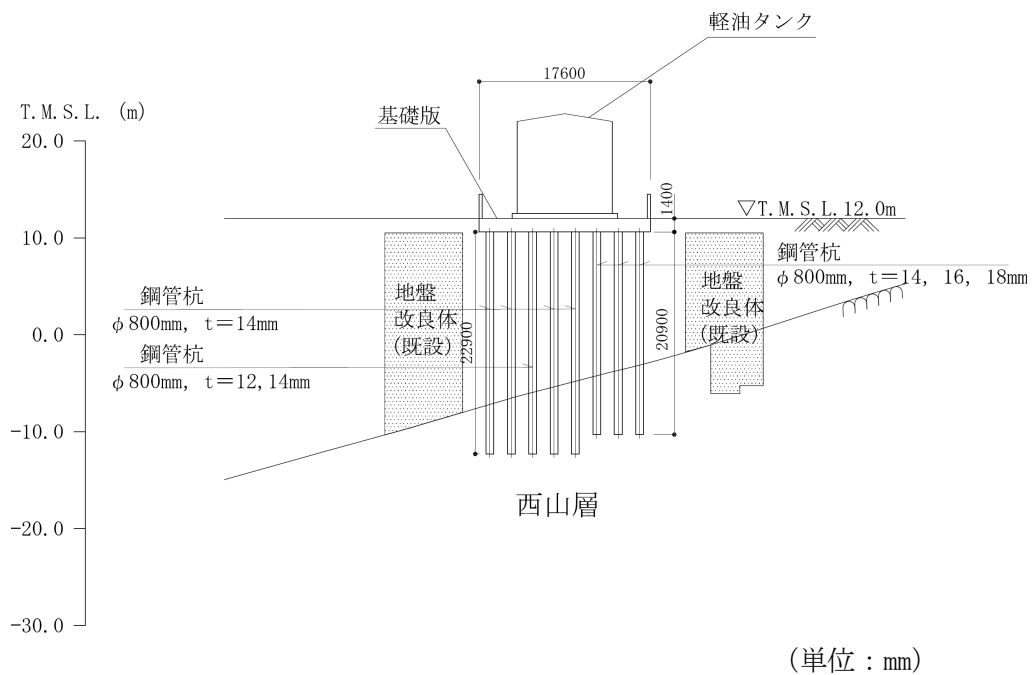


図 4-20 (1) 軽油タンク基礎の断面図 (A-A断面)

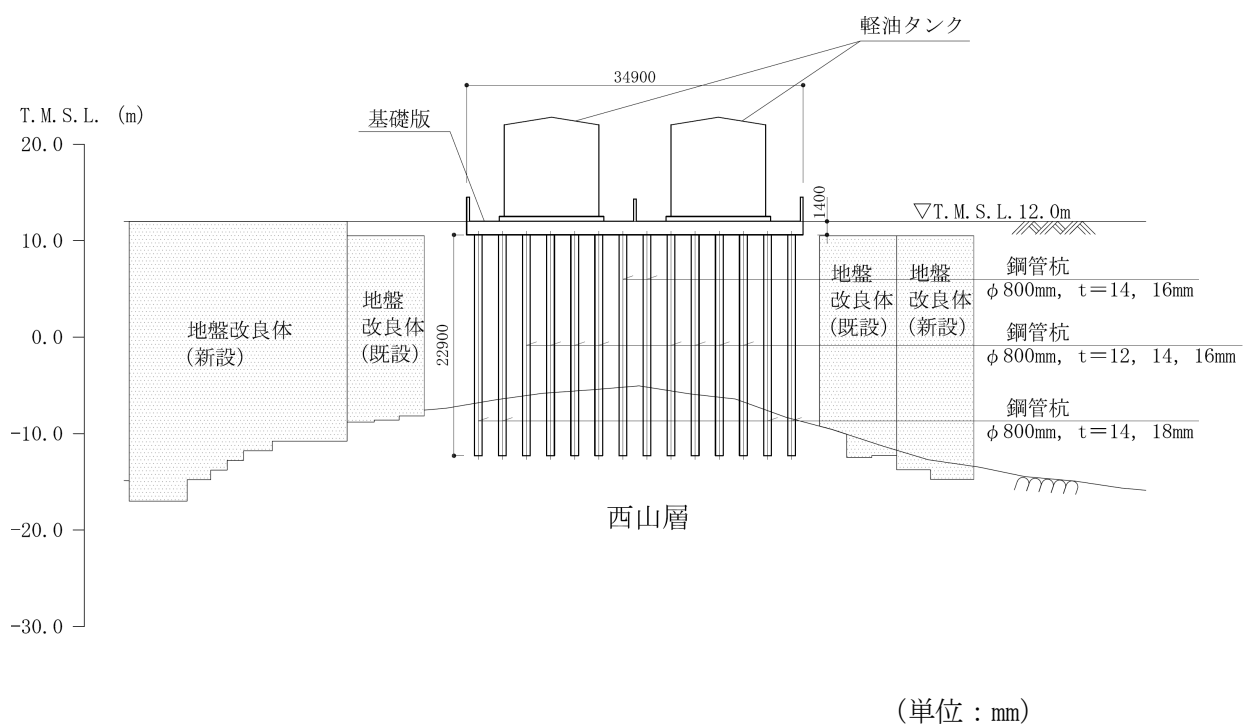
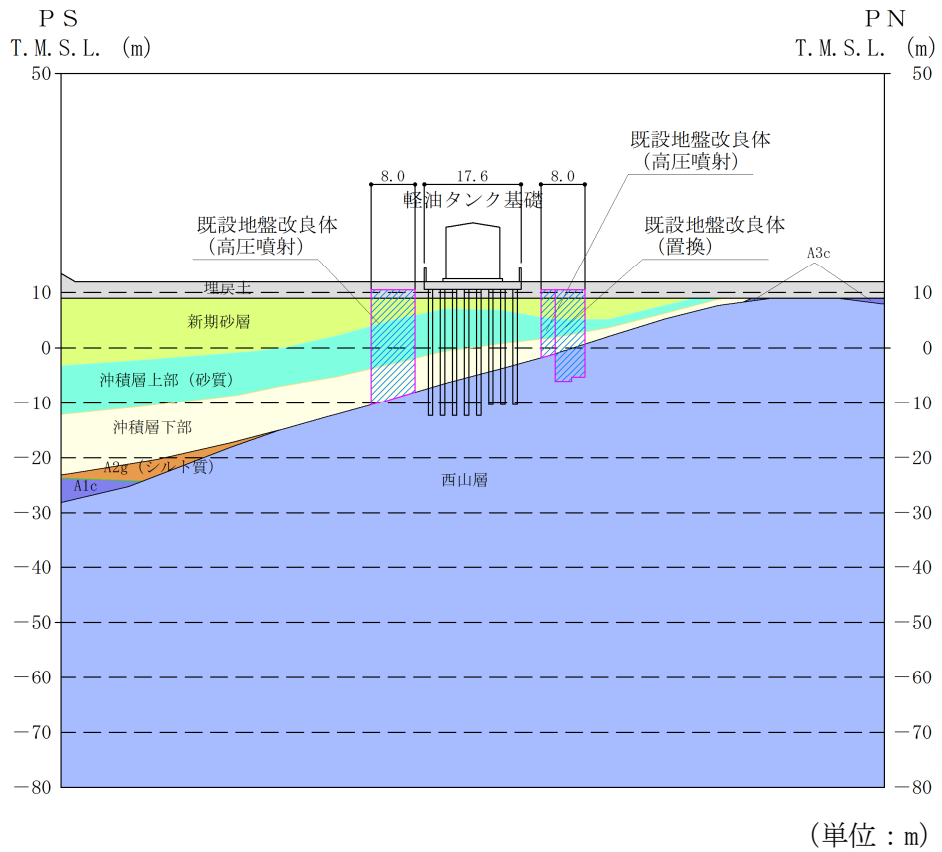


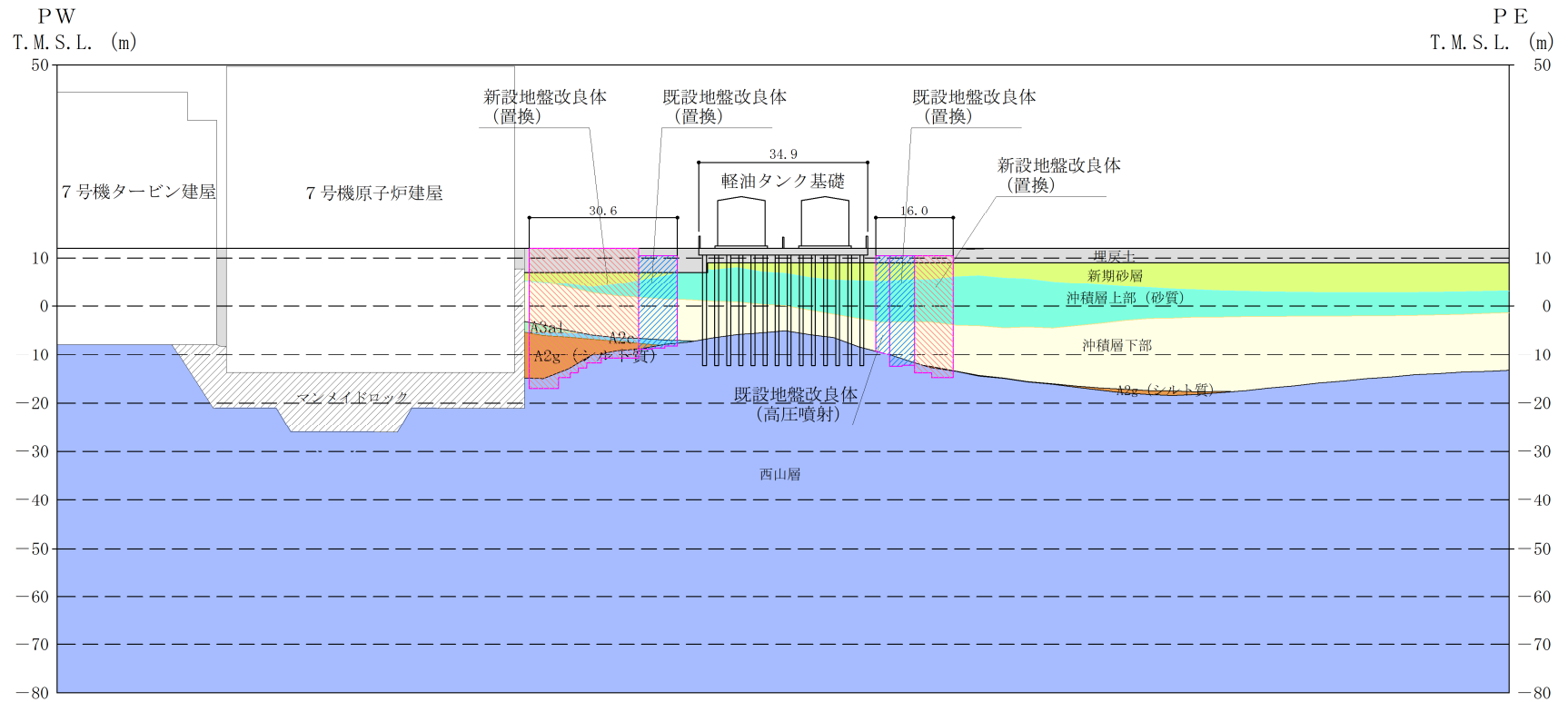
図 4-20 (2) 軽油タンク基礎の断面図 (B-B断面)



既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 4-21 (1) 軽油タンク基礎の周辺地質断面図 (A-A断面)



(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換(CD掘削)
新設地盤改良体		置換(CD掘削)

注：置換工法(CD掘削)の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換(開削)を適用

図 4-21 (2) 軽油タンク基礎の周辺地質断面図 (B-B断面)

4.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方

図 4-22, 図 4-23, 図 4-24 及び図 4-25 に燃料移送系配管ダクトの平面配置図, 平面図, 断面図及び縦断面図を示す。また, 図 4-26 に周辺地質断面図を示す。

燃料移送系配管ダクトは, 非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管を間接支持する延長約 38m, 幅 4.5m, 高さ 3.3m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。

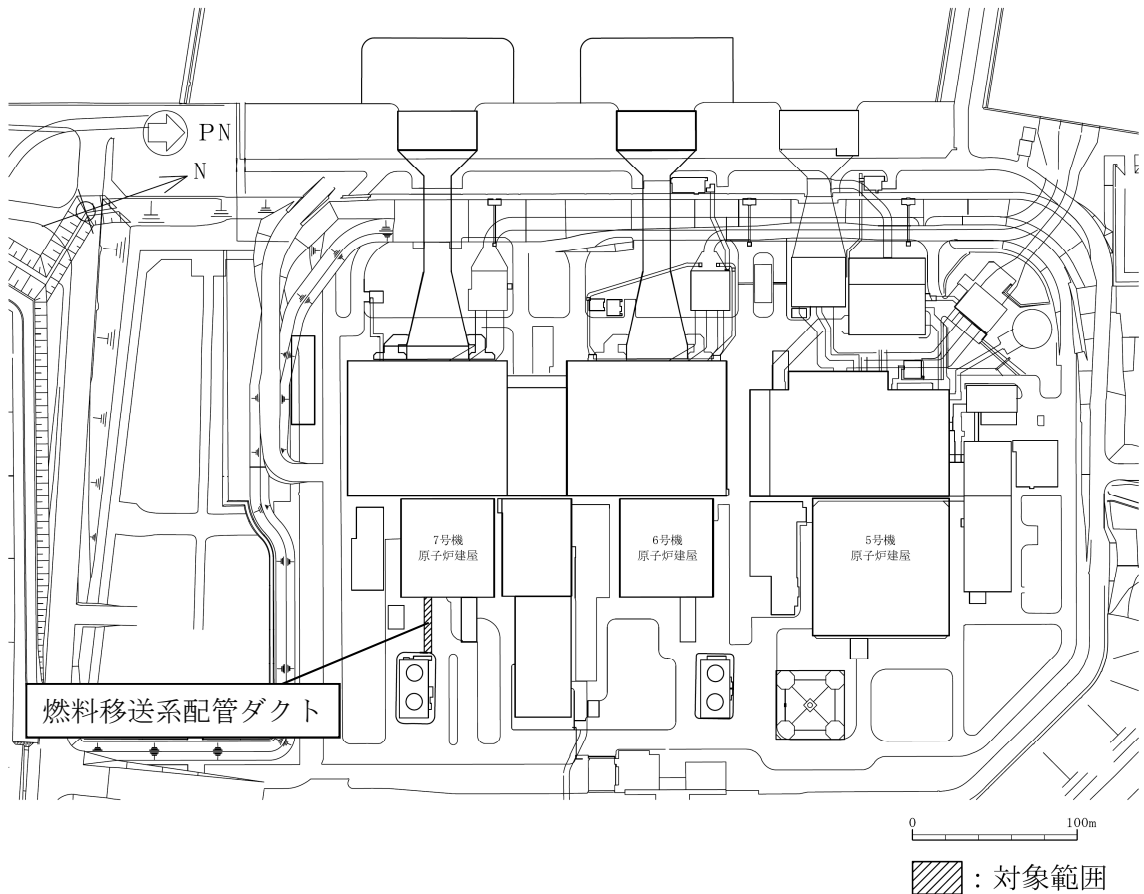
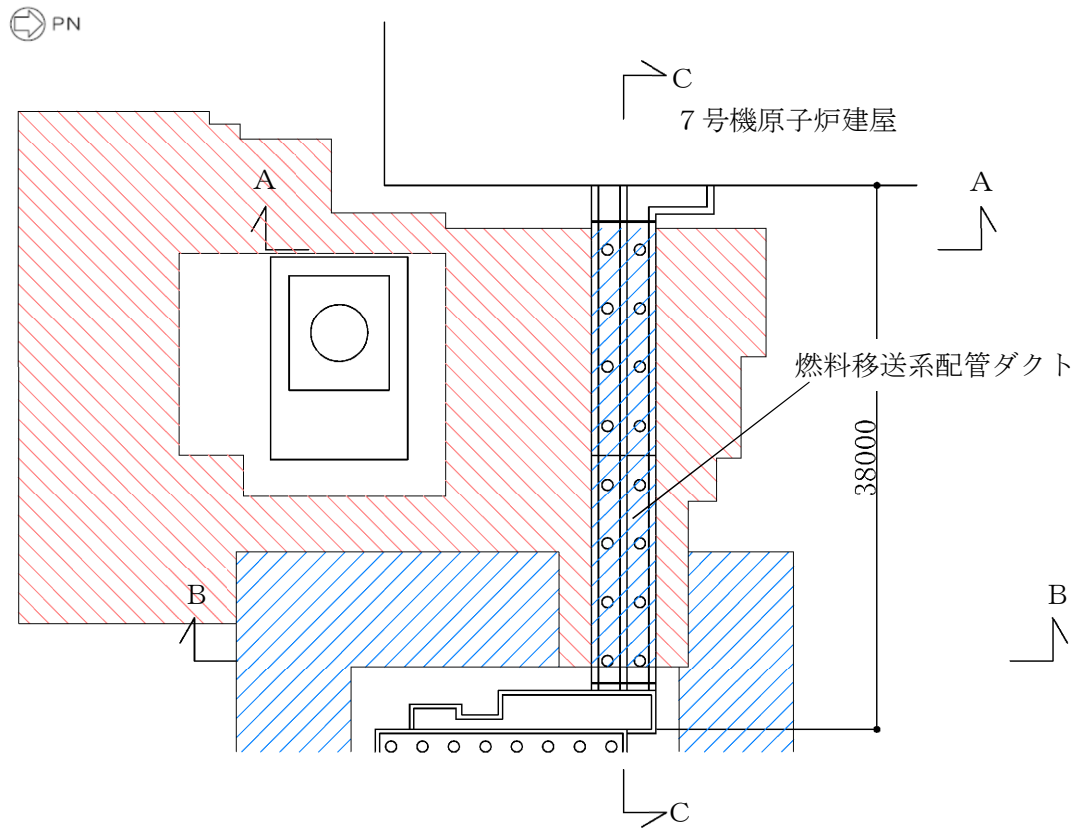


図 4-22 燃料移送系配管ダクトの平面配置図

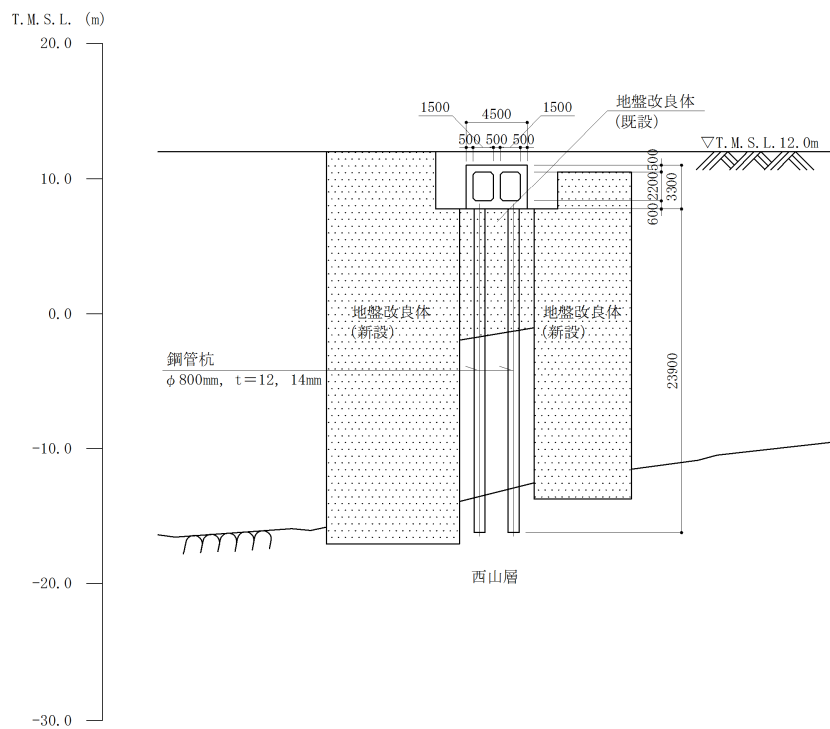


(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

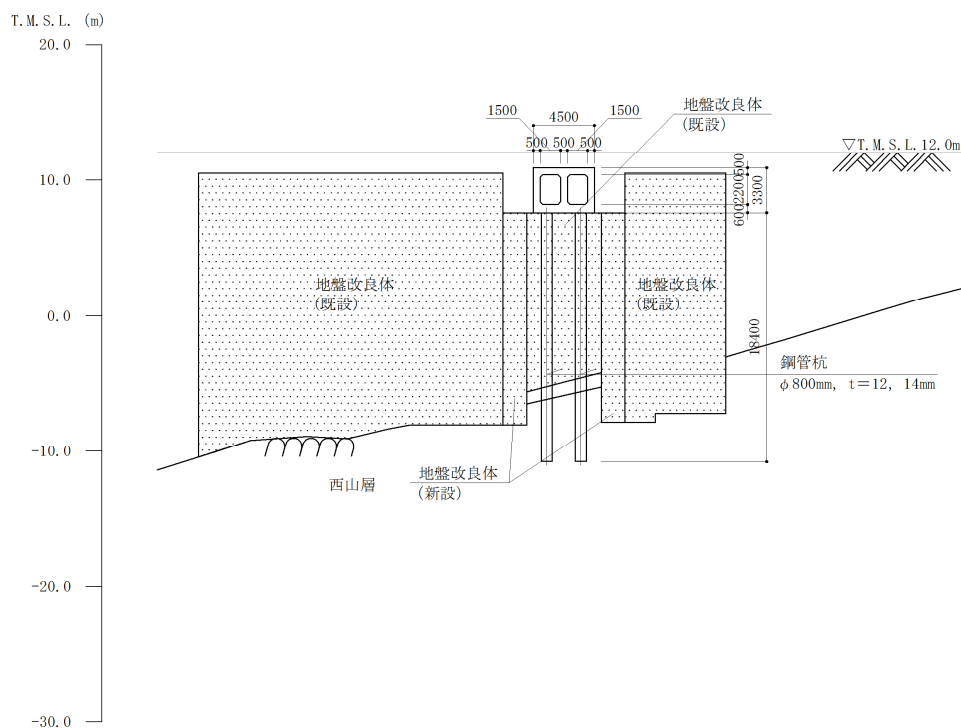
注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 4-23 燃料移送系配管ダクトの平面図



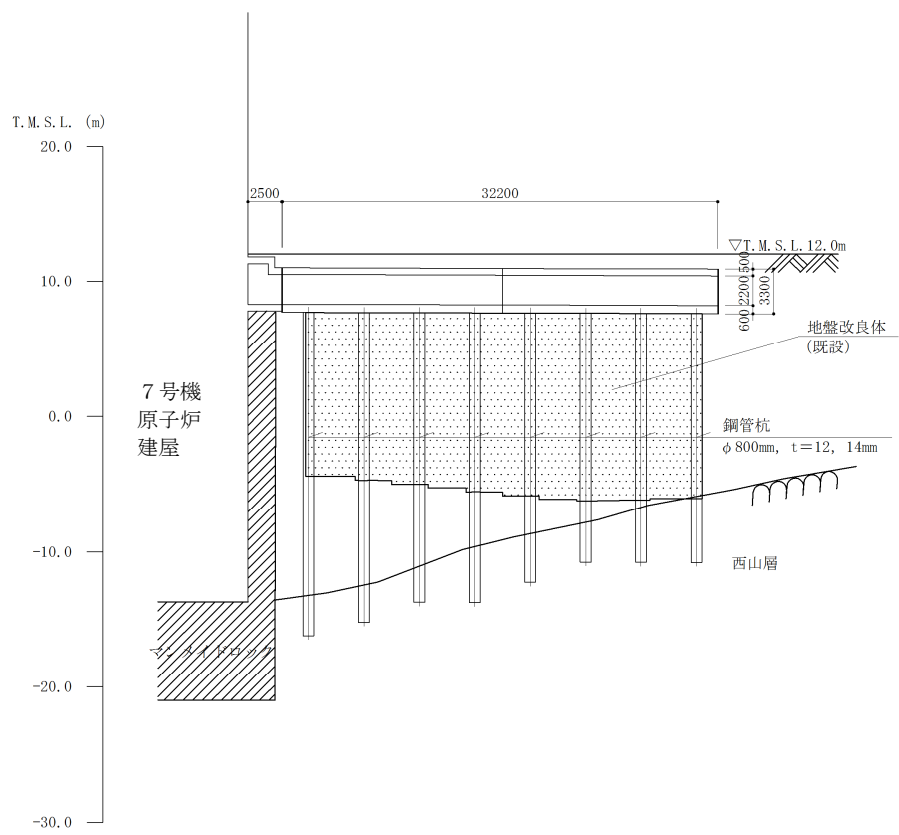
(単位：mm)

図 4-24 (1) 燃料移送系配管ダクトの断面図 (A-A断面)



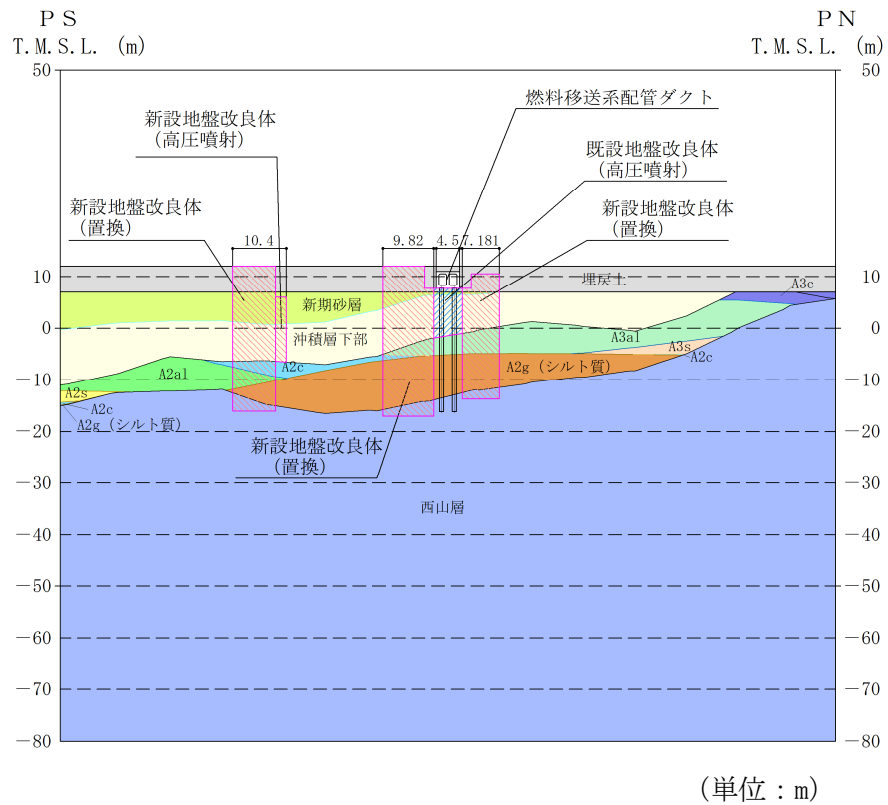
(単位：mm)

図 4-24 (2) 燃料移送系配管ダクトの断面図 (B-B断面)



(単位：mm)

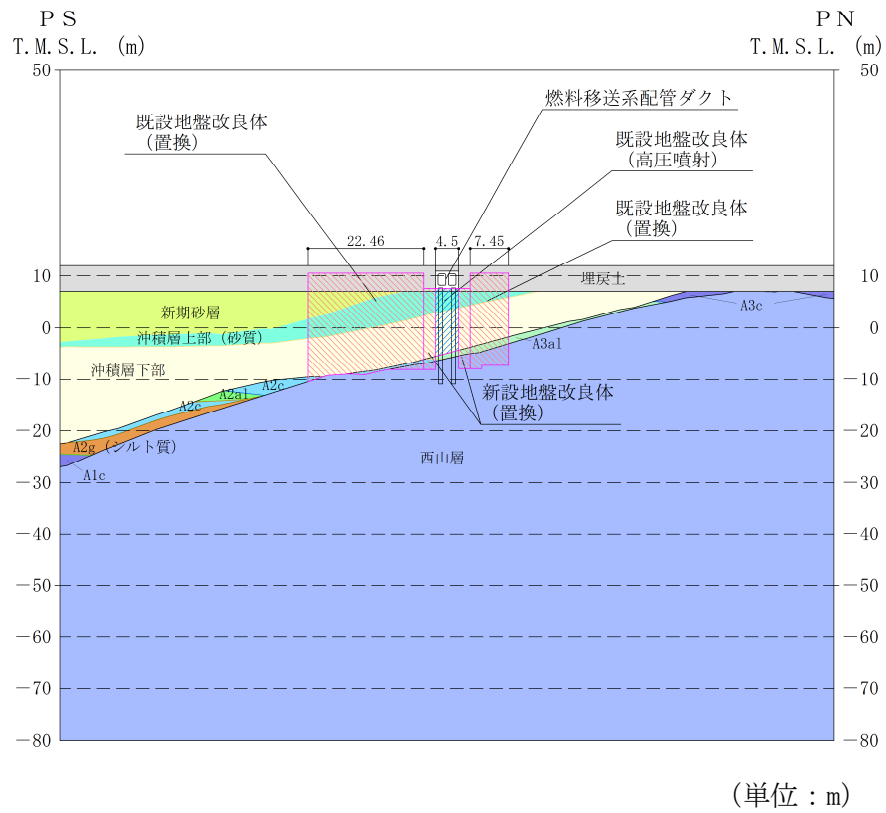
図 4-25 燃料移送系配管ダクトの縦断面図



既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注 : 置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

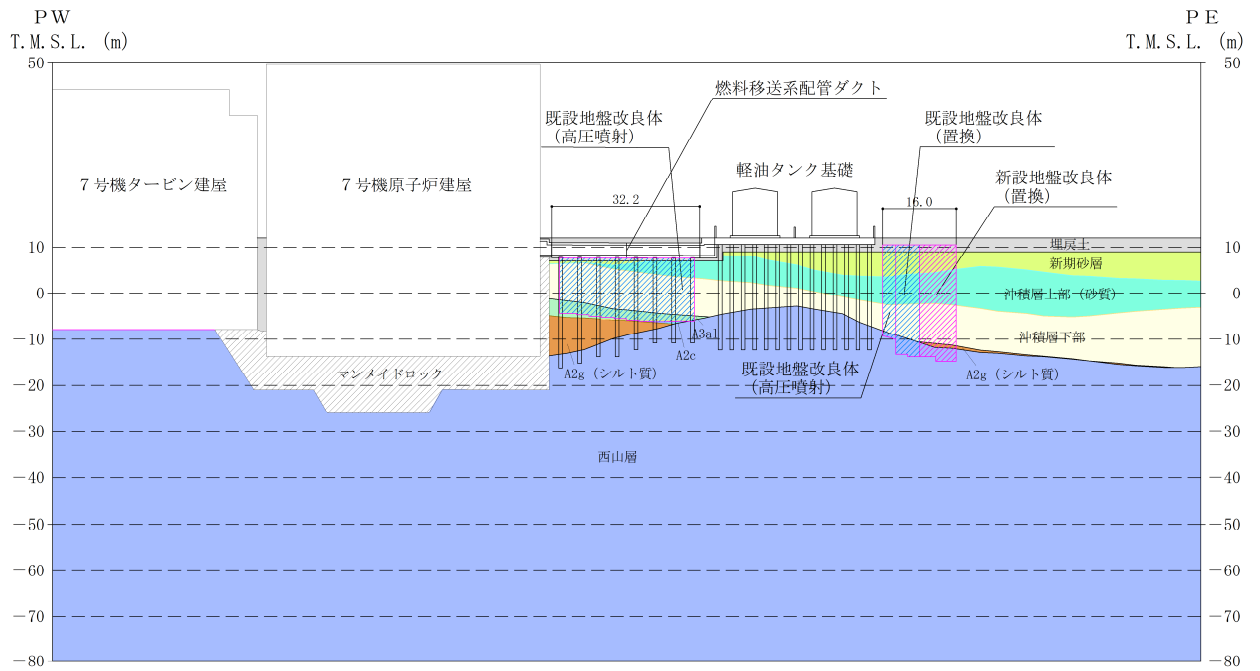
図 4-26 (1) 燃料移送系配管ダクトの周辺地質断面図 (A-A断面)



既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注 : 置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 4-26 (2) 燃料移送系配管ダクトの周辺地質断面図 (B-B断面)



(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 4-26 (3) 燃料移送系配管ダクトの周辺地質断面図 (C-C断面)

(1) 耐震評価候補断面の整理

「4.1 方針 (1)耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。耐震評価断面の特徴を表 4-7 に示す。

表 4-7 燃料移送系配管ダクトの耐震評価候補断面の特徴

方向	断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備
NS	A-A	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> ・弱軸断面方向 ・杭長が最も長い 	<ul style="list-style-type: none"> ・西山層上面標高が最も低い ・鉄筋コンクリート直下の地盤改良範囲は最も浅い ・構造物側方は地盤改良を実施 	非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管
	B-B		<ul style="list-style-type: none"> ・弱軸断面方向 ・杭長が最も短い 	<ul style="list-style-type: none"> ・西山層上面標高が最も高い ・構造物側方は地盤改良を実施 	
EW	C-C		<ul style="list-style-type: none"> ・強軸断面方向 ・耐震評価上、側壁及び隔壁の効果が見込める 	<ul style="list-style-type: none"> ・西山層上面が傾斜 ・鉄筋コンクリート直下に地盤改良を実施 	

燃料移送系配管ダクトはEW方向(縦断方向)にはほぼ一様な鉄筋コンクリート造の杭支持構造物であり、構造物周囲に地盤改良を実施している。A-A断面及びB-B断面は横断方向の断面であり、弱軸断面方向となる。一方、C-C断面は縦断方向の断面であり、耐震評価上、側壁及び隔壁の効果が見込めるため、強軸断面方向になる。

A-A断面は西山層上面の標高が最も低く、杭長が最も長い。鉄筋コンクリート直下の地盤改良範囲はB-B断面よりも浅い。

B-B断面は西山層上面の標高が最も高く、杭長が最も短い。

C-C断面は西山層上面が傾斜している。

(2) 評価対象断面の選定

A-A断面は、西山層上面の標高が最も低く、杭長が最も長い。また、鉄筋コンクリート直下の地盤改良範囲が最も浅いことから、杭の曲げ変形がより大きくなると考えられるため、A-A断面を評価対象断面として選定する。

また、A-A断面とB-B断面は、鉄筋コンクリート部の構造は同じであるが、B-B断面は西山層上面の標高が最も高く、杭長が最も短い。また、鉄筋コンクリート直下の地盤改良範囲が最も深いことから、鉄筋コンクリート部及び機器・配管系への応答加速度がより大きくなると考えられるため、B-B断面を評価対象断面として選定する。

C-C断面は強軸断面方向のため、機器・配管系への応答加速度及び応答変位の観点から地震応答解析を実施する。

(3) 断面選定結果

a. 燃料移送系配管ダクトの耐震評価対象断面

評価対象断面の選定結果を表 4-8 に示す。燃料移送系配管ダクトの耐震評価はA-A断面及びB-B断面にて実施する。

b. 機器・配管系への応答加速度及び応答変位評価対象断面

機器・配管系への応答加速度及び応答変位を算定するため、「a. 燃料移送系配管ダクトの耐震評価対象断面」に加え、縦断方向断面であるC-C断面の地震応答解析を実施する。

表 4-8 燃料移送系配管ダクト 耐震評価対象断面の選定結果

方向	断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備	既工認評価断面	今回工認評価断面	選定理由
NS	A-A	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 杭長が最も長い 	<ul style="list-style-type: none"> 西山層上面標高が最も低い 鉄筋コンクリート直下の地盤改良範囲は最も浅い 構造物側方は地盤改良を実施 	非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管	-	○	西山層上面の標高が最も低く、杭長が最も長い。また、鉄筋コンクリート直下の地盤改良範囲が最も浅いことから、杭の曲げ変形がより大きくなると考えられるため、評価対象断面として選定する。
	B-B	同上	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 杭長が最も短い 	<ul style="list-style-type: none"> 西山層上面標高が最も高い 構造物側方は地盤改良を実施 		-	○	西山層上面の標高が最も高く、杭長が最も短い。また、鉄筋コンクリート直下の地盤改良範囲が最も深いことから、鉄筋コンクリート部及び機器・配管系への応答加速度がより大きくなると考えられるため、評価対象断面として選定する。
	C-C	同上	<ul style="list-style-type: none"> 強軸断面方向 耐震評価上、側壁及び隔壁の効果が見込める 	<ul style="list-style-type: none"> 西山層上面が傾斜 鉄筋コンクリート直下に地盤改良を実施 		-	○	機器・配管系への応答加速度の観点より、地震応答解析の実施対象断面として採用する。

4.7 常設代替交流電源設備基礎の断面選定の考え方

図 4-27, 図 4-28 及び図 4-29 に常設代替交流電源設備基礎の平面配置図, 平面図及び断面図を示す。また, 図 4-30 に周辺地質断面図を示す。

常設代替交流電源設備基礎は, 第一ガスタービン発電機基礎と第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎で構成される。

第一ガスタービン発電機基礎は, 幅約 14m (NS 方向) × 約 36m (EW 方向), 高さ約 3.6m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は, 幅約 12m (NS 方向) × 約 15m (EW 方向), 高さ約 8.3m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。

常設代替交流電源設備基礎は, 鉄筋コンクリート造の基礎版及びピットを等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物である。また, 構造物周辺には地盤改良を実施しており, 周辺の地盤が構造物に与える影響ほどの断面も大きな差は無いと考えられるため, 構造物の中心を通る断面を評価対象断面とする。

以上のことから, 常設代替交流電源設備基礎の耐震評価においては, 第一ガスタービン発電機基礎の短軸方向となる NS 断面 (A-A 断面), 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の短軸方向となる NS 断面 (B-B 断面) 及び両構造物の長軸方向となる EW 断面 (C-C 断面) の 3 断面を耐震評価断面とする。

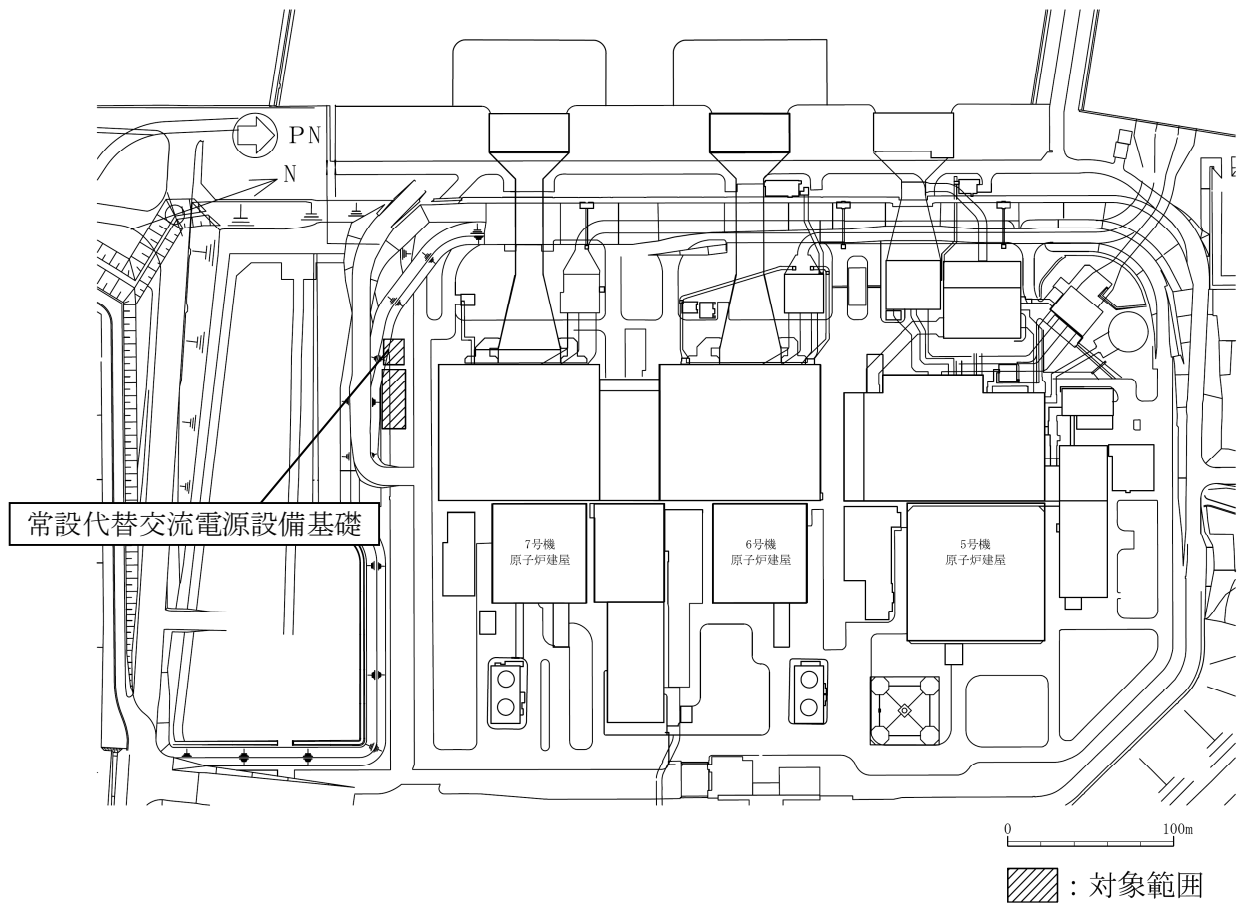
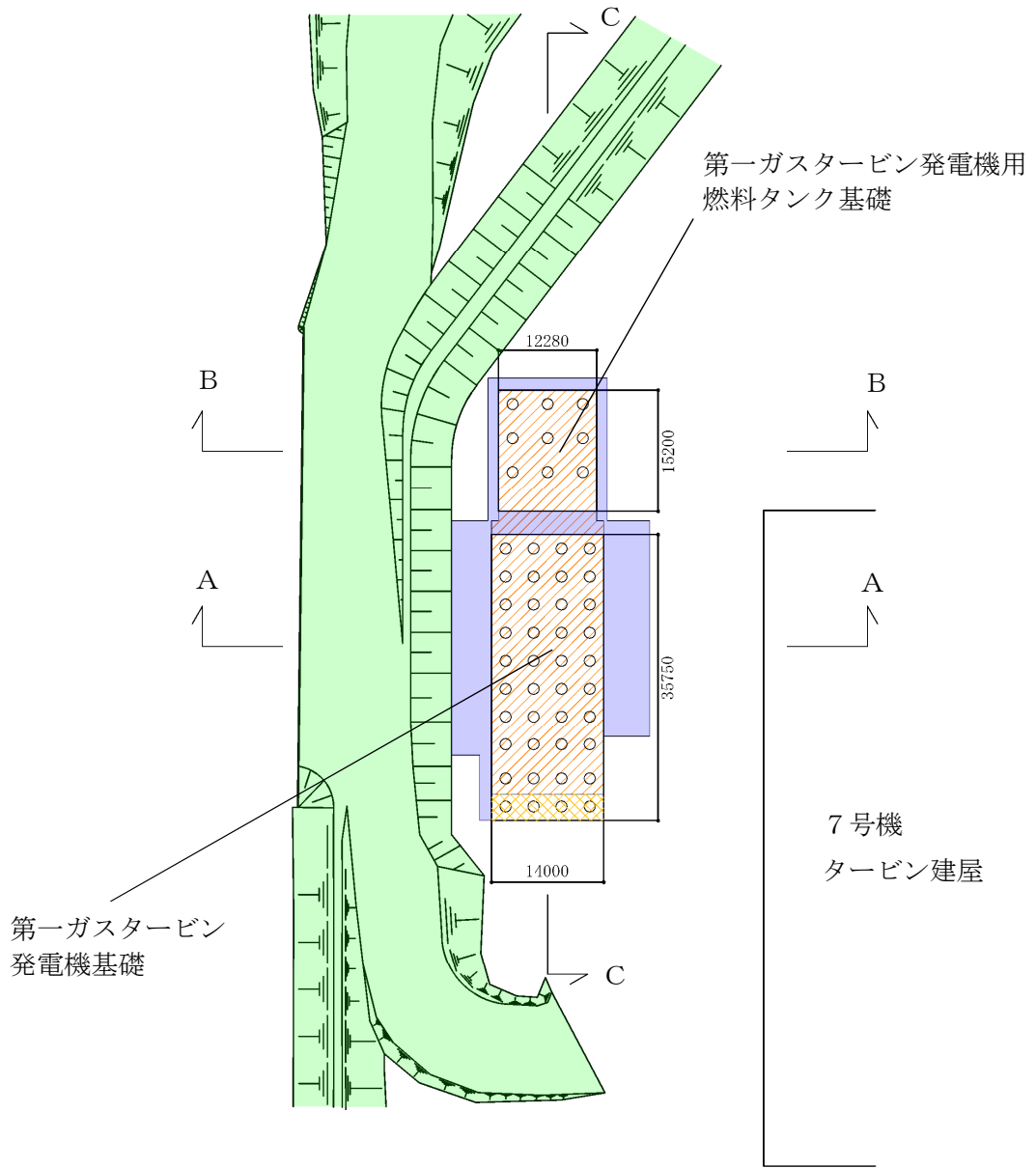


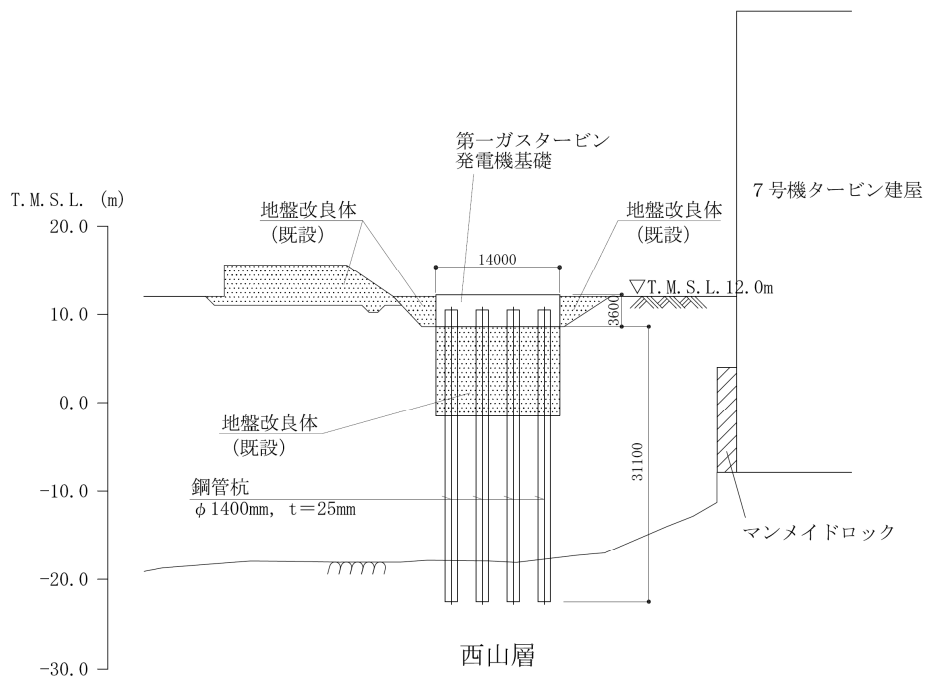
図 4-27 常設代替交流電源設備基礎の平面配置図



(単位：mm)

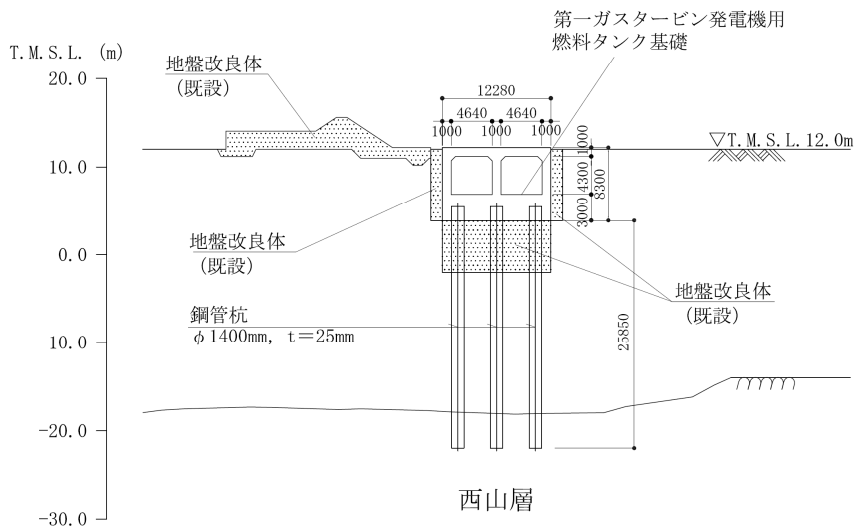
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		機械攪拌
		土質安定処理土
新設地盤改良体		改良盛土
		機械攪拌

図 4-28 常設代替交流電源設備基礎の平面図



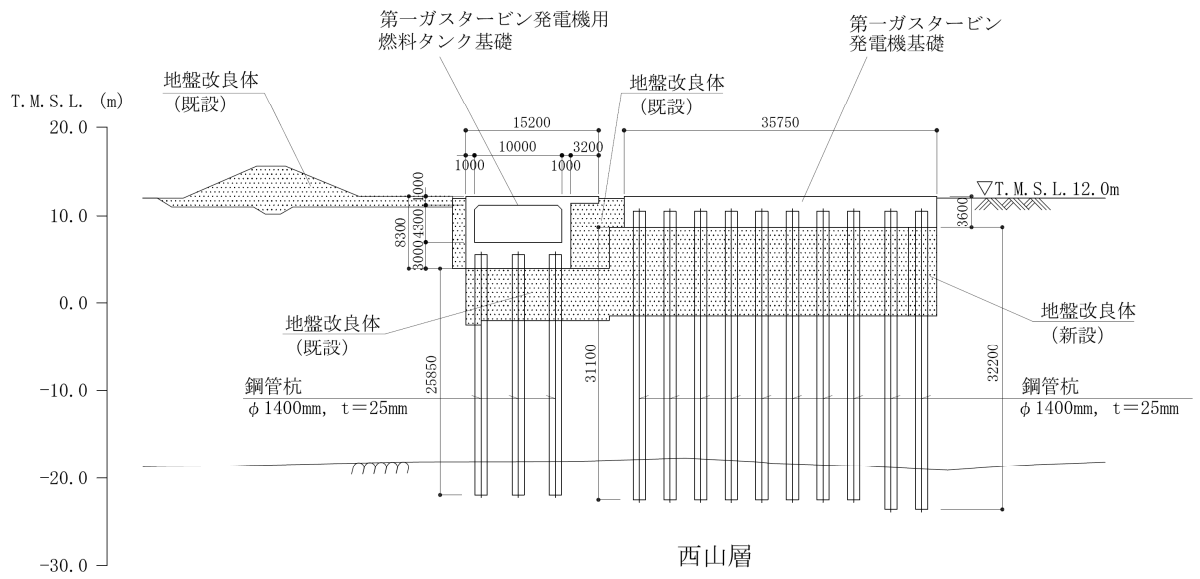
(単位：mm)

図 4-29 (1) 常設代替交流電源設備基礎断面図 (A-A 断面)



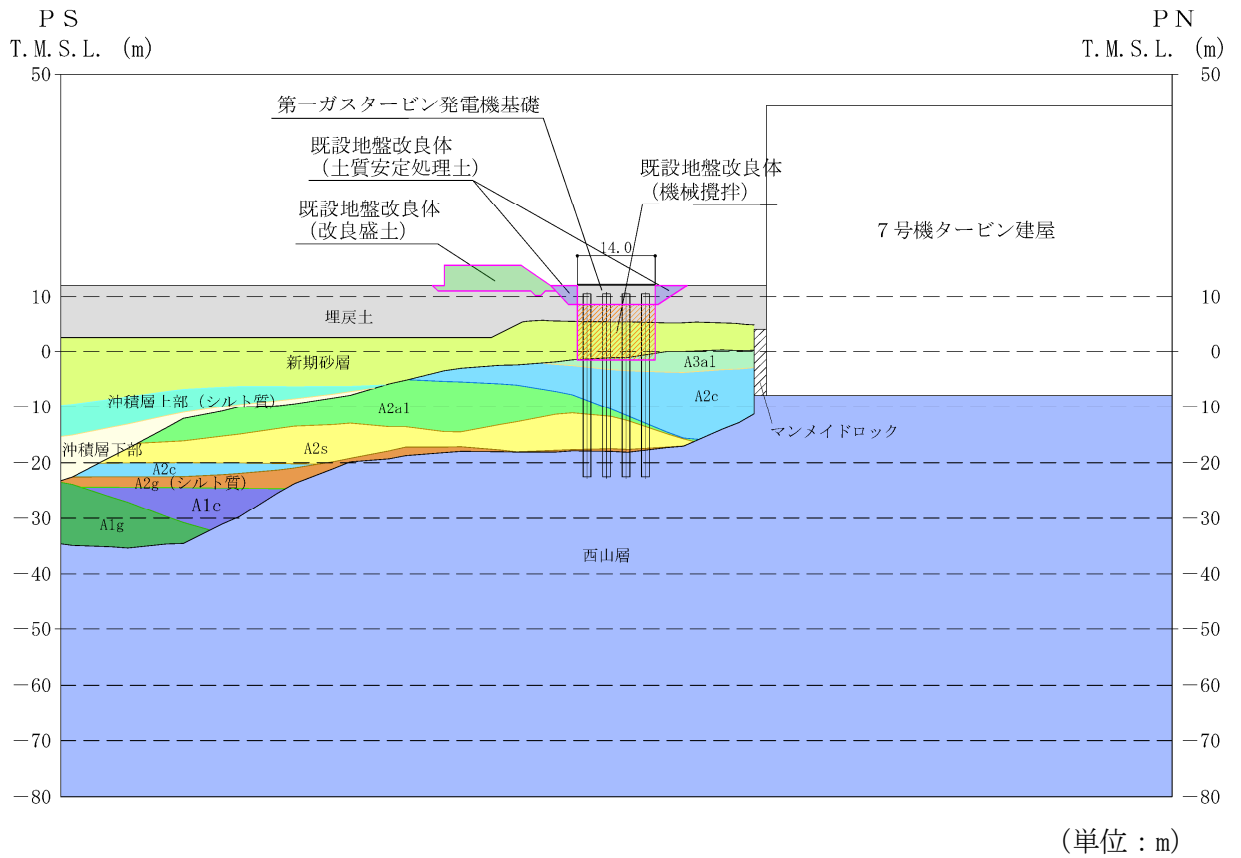
(単位：mm)

図 4-29 (2) 常設代替交流電源設備基礎断面図 (B-B 断面)



(単位：mm)

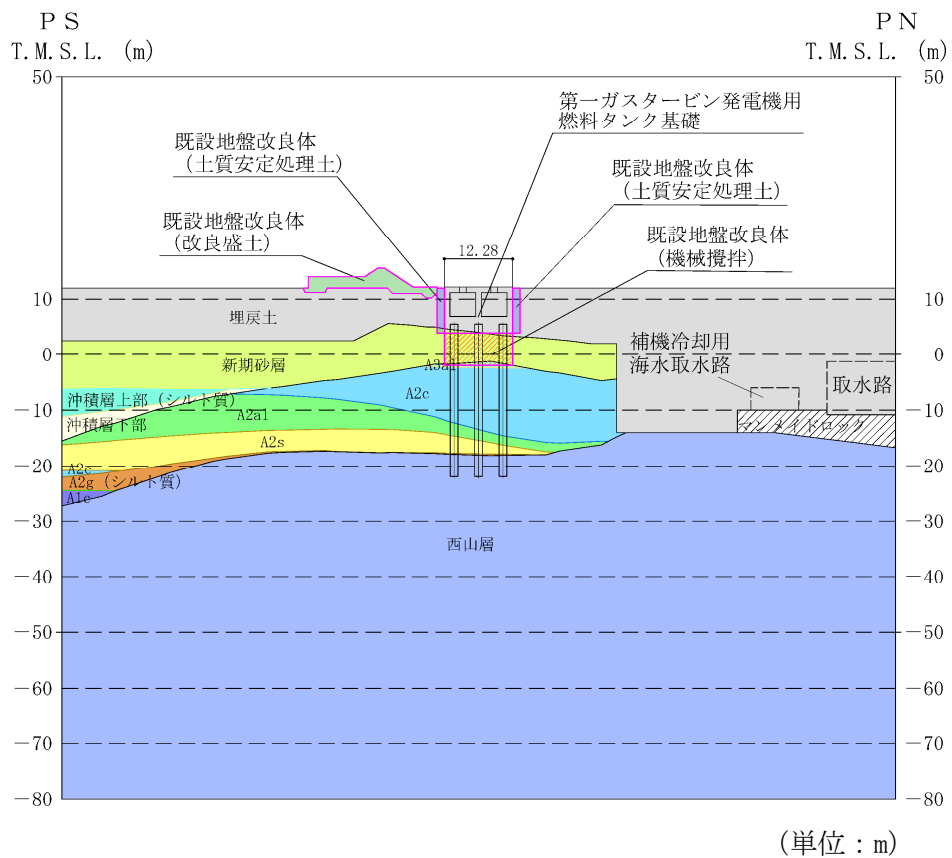
図 4-29 (3) 常設代替交流電源設備基礎断面図 (C-C 断面)



(単位：m)

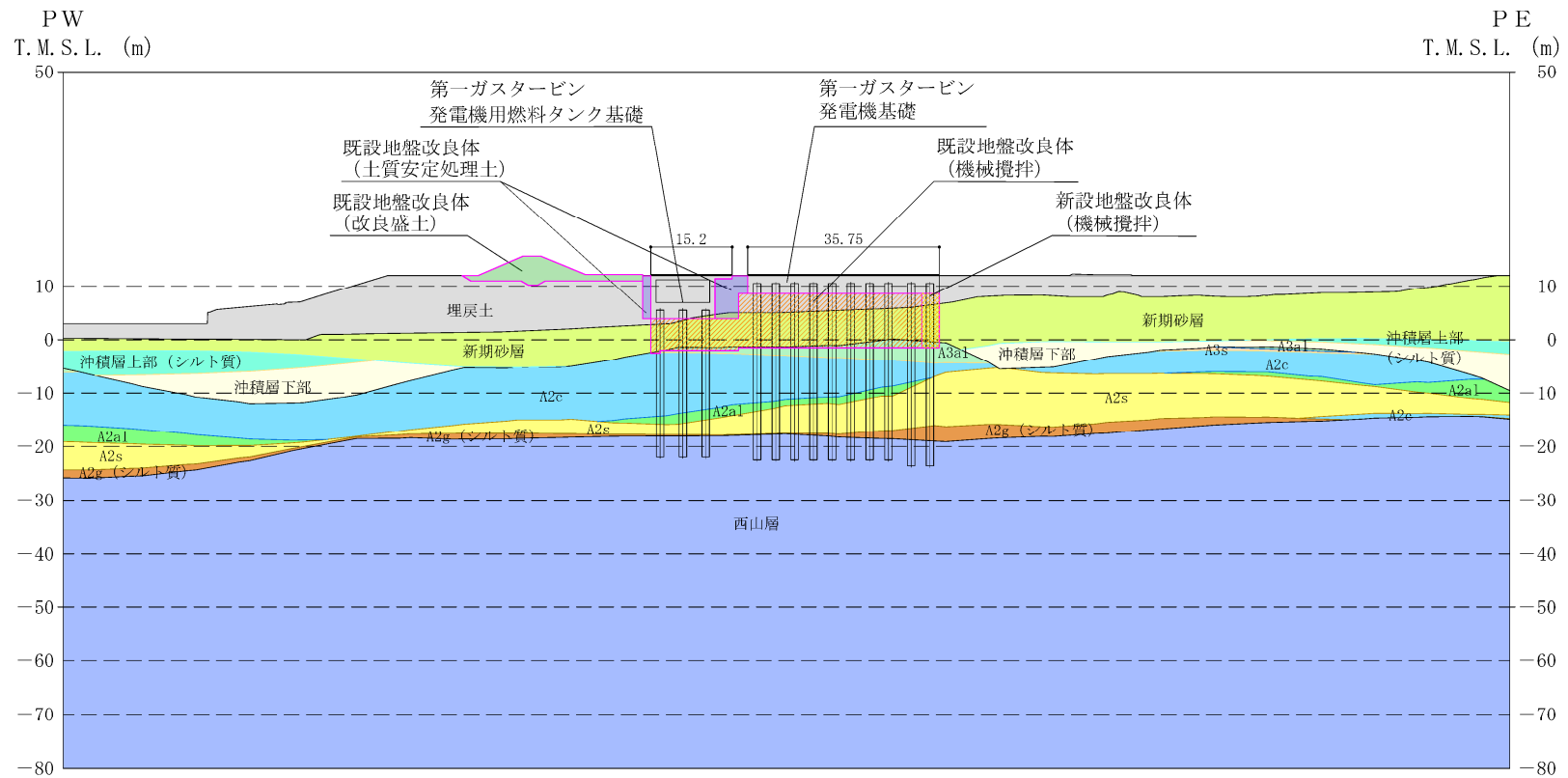
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		機械攪拌
		土質安定処理土
新設地盤改良体		改良盛土
		機械攪拌

図 4-30 (1) 常設代替交流電源設備基礎の周辺地質断面図 (A-A断面)



既設/新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		機械攪拌
		土質安定処理土
新設地盤改良体		改良盛土
		機械攪拌

図 4-30 (2) 常設代替交流電源設備基礎の周辺地質断面図 (B-B 断面)



(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		機械攪拌
新設地盤改良体		土質安定処理土
新設地盤改良体		改良盛土
新設地盤改良体		機械攪拌

図 4-30 (3) 常設代替交流電源設備基礎の周辺地質断面図 (C-C断面)

4.8 スクリーン室（6号機設備）の断面選定の考え方

図 4-31、図 4-32 及び図 4-33 にスクリーン室（6号機設備）の平面配置図、平面図及び断面図を示す。また、図 4-34 に周辺地質断面図を示す。

スクリーン室（6号機設備）は、非常時における海水の通水機能を求められる延長約 23m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に内空寸法が一樣で、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在する。また、スクリーン室（6号機設備）は、十分な支持性能を有する古安田層に支持されるとともに、側方地盤は、取水方向に対して概ね一様である。

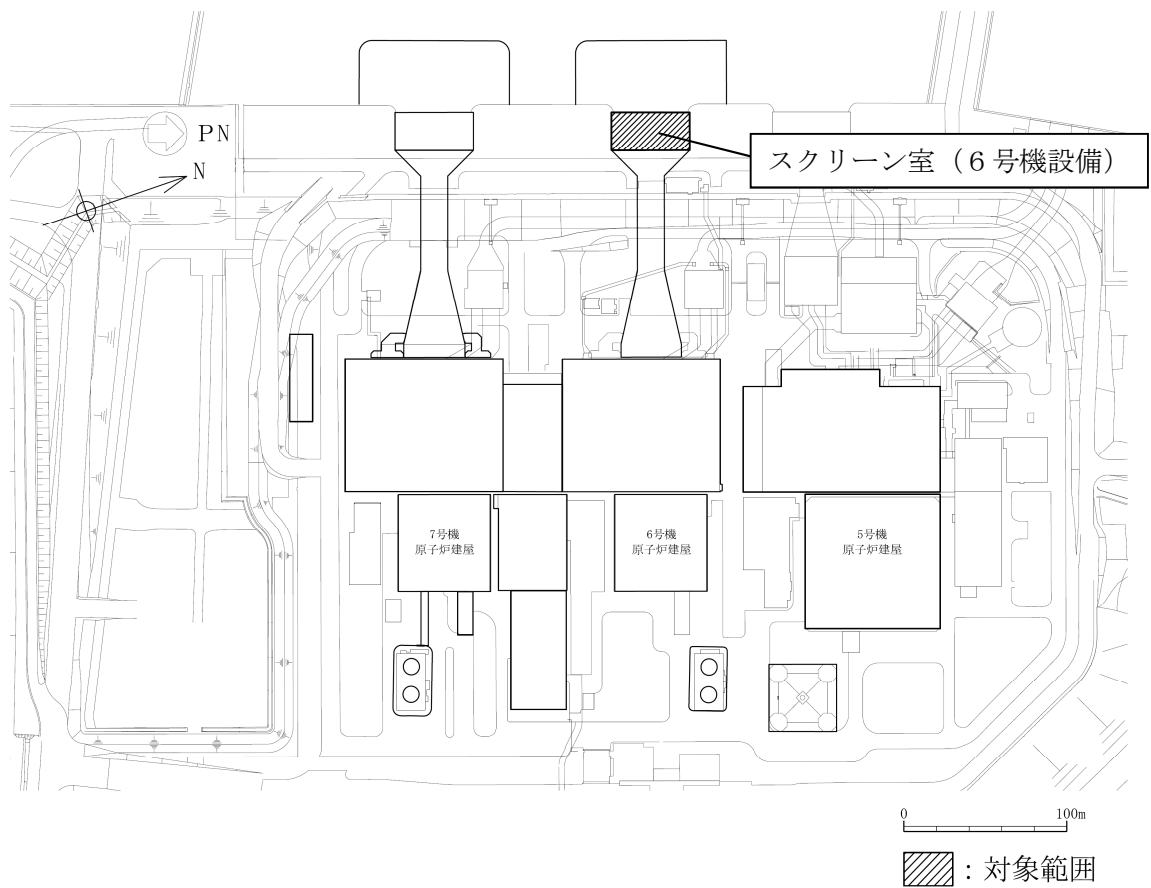
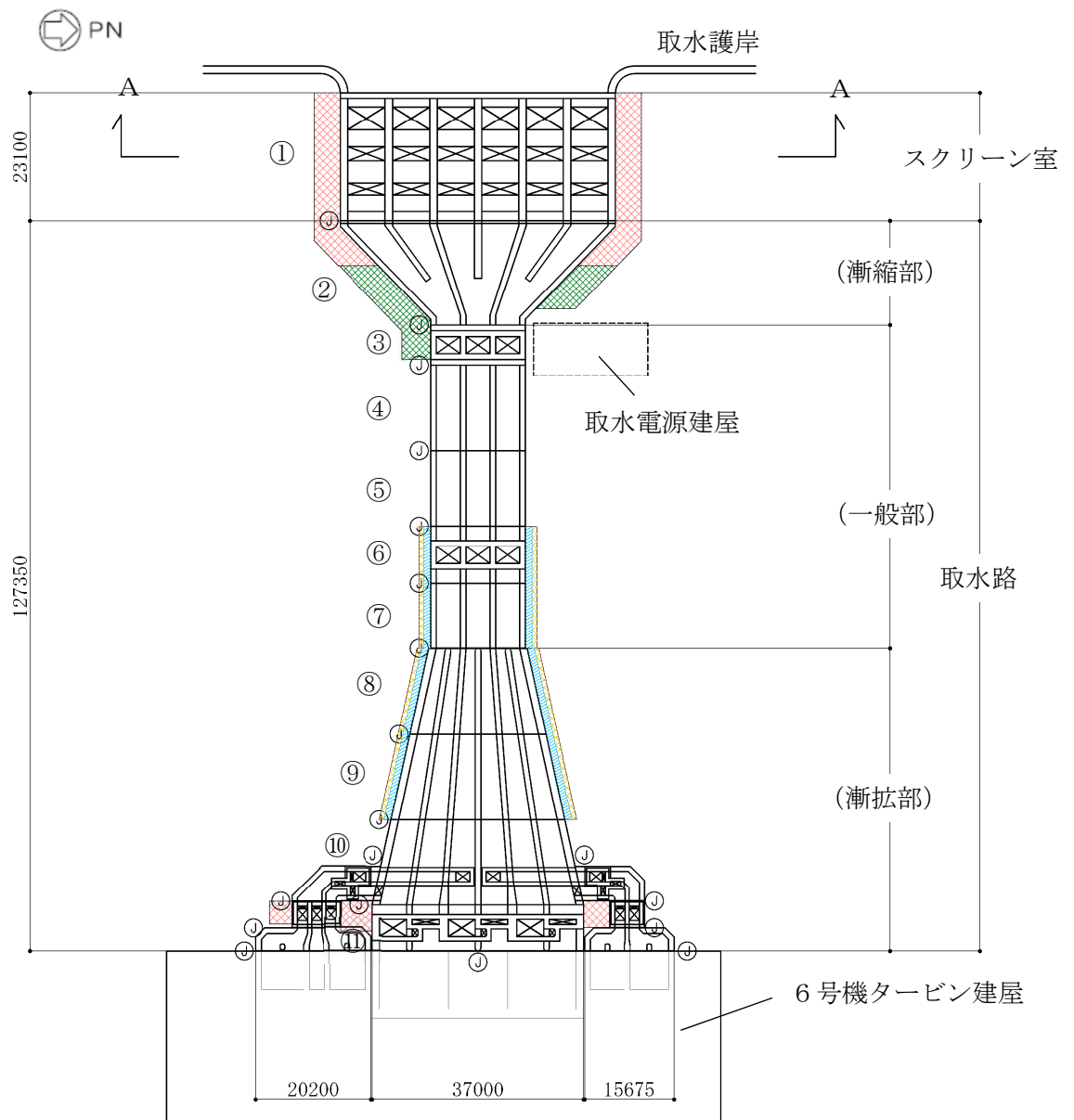


図 4-31 スクリーン室（6号機設備）の平面配置図

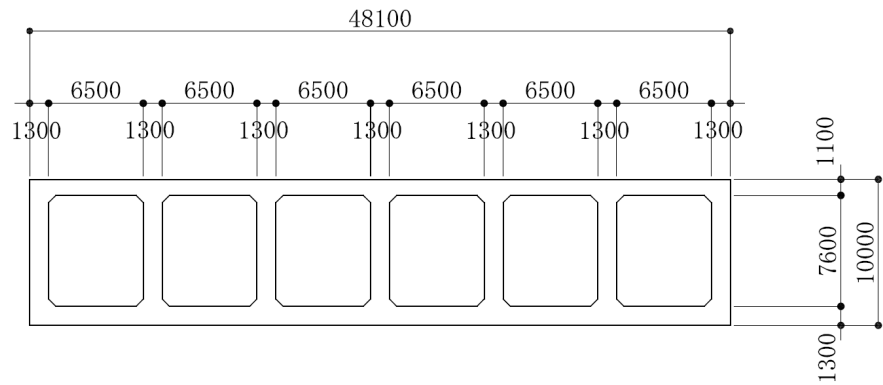
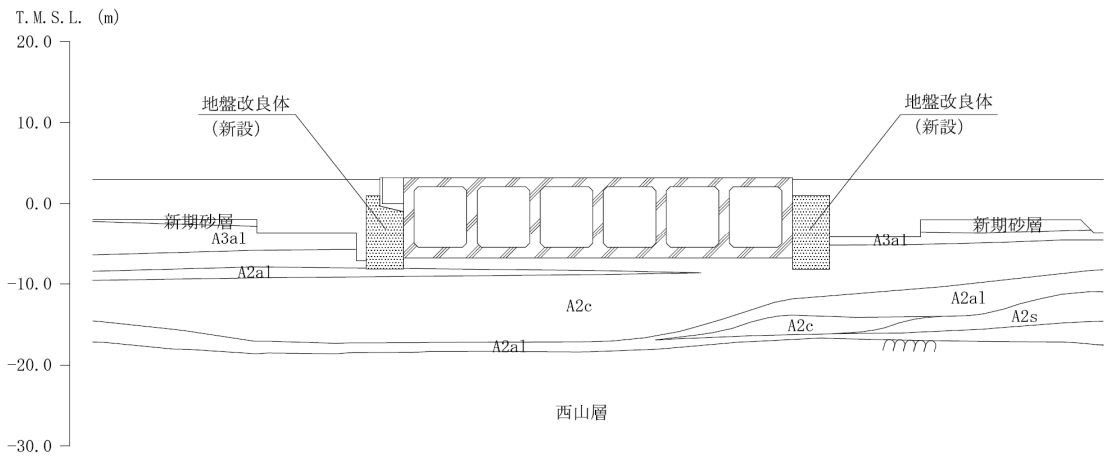


(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高压喷射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法(地中連続壁), 機械攪拌工法の施工範囲の内, 地上構造物及び埋設構造物がある箇所では, 高压喷射または置換(開削)を適用

図 4-32 スクリーン室(6号機設備)の平面図



(単位：mm)

図 4-33 スクリーン室 (6号機設備) の断面図 (A-A断面 ①ブロック)

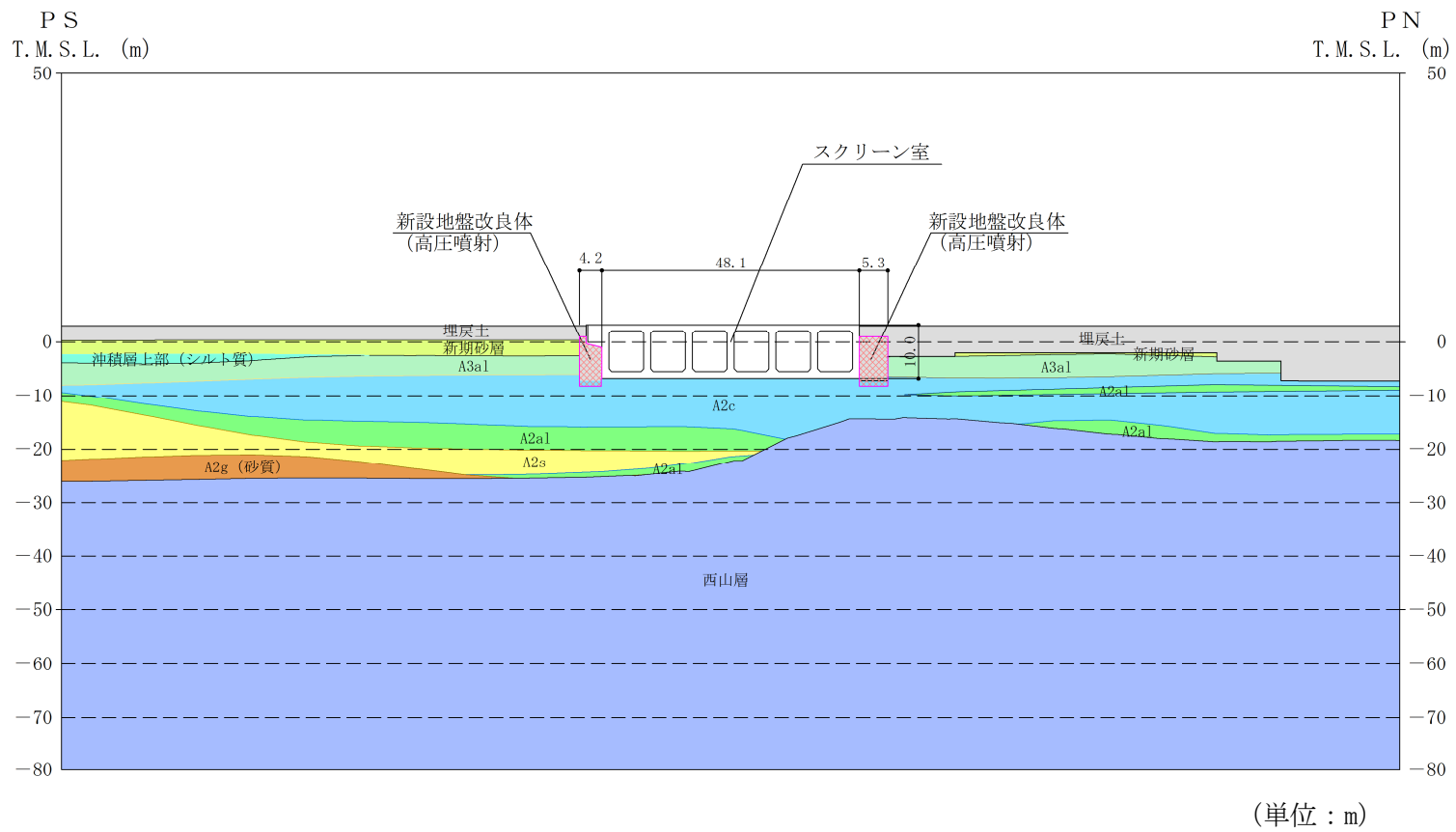


図 4-34 スクリーン室 (6号機設備) の周辺地質断面図 (A-A断面 ①ブロック)

4.9 取水路（6号機設備）の断面選定の考え方

図 4-35、図 4-36 及び図 4-37 に取水路（6号機設備）の平面配置図、平面図及び断面図を示す。また、図 4-38 に周辺地質断面図を示す。

取水路（6号機設備）は、非常時における海水の通水機能を求められる延長約 127m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に複数の断面形状を示し、海側から漸縮部、一般部、漸拡部に分けられる。取水路（6号機設備）は、十分な支持性能を有する古安田層もしくはマンメイドロックを介して西山層に支持される。

スクリーン室（6号機設備）は、取水方向（EW 方向）に内空寸法が一様で、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在するため、取水方向全長で開口を含めた平均的な剛性及び上載荷重を考慮し耐震評価を実施する。

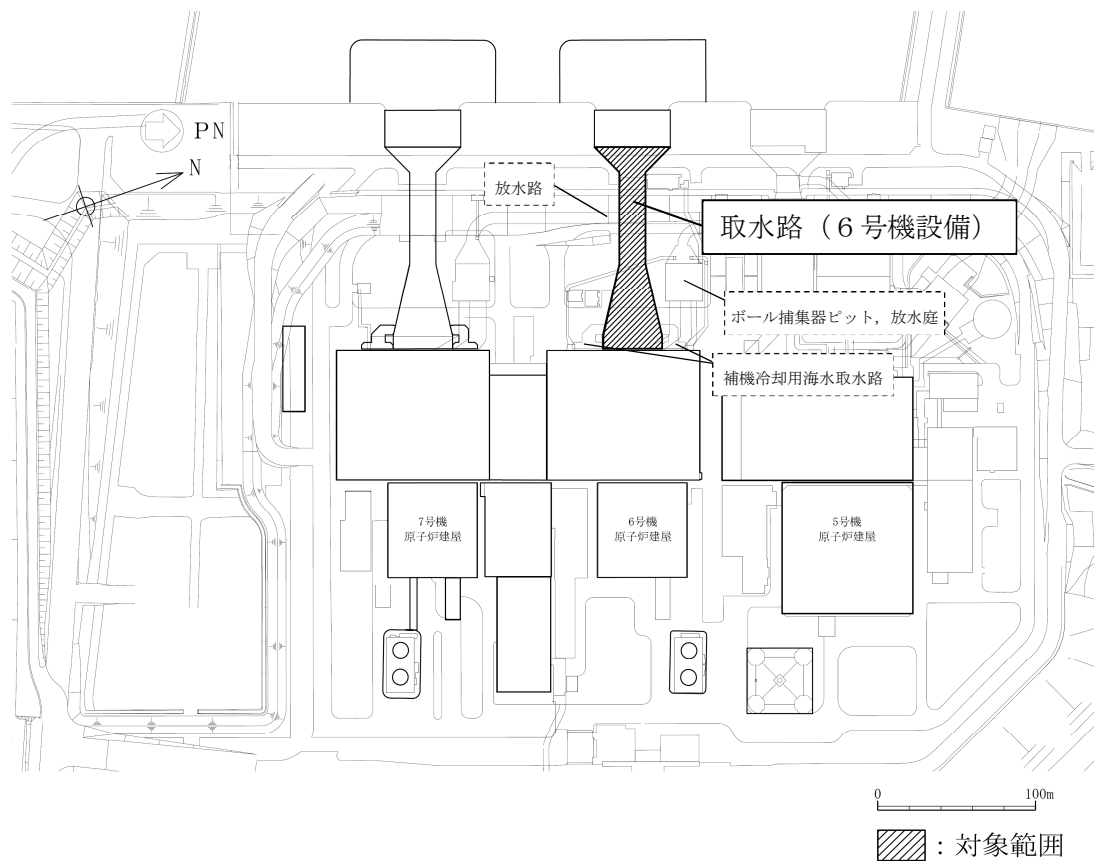
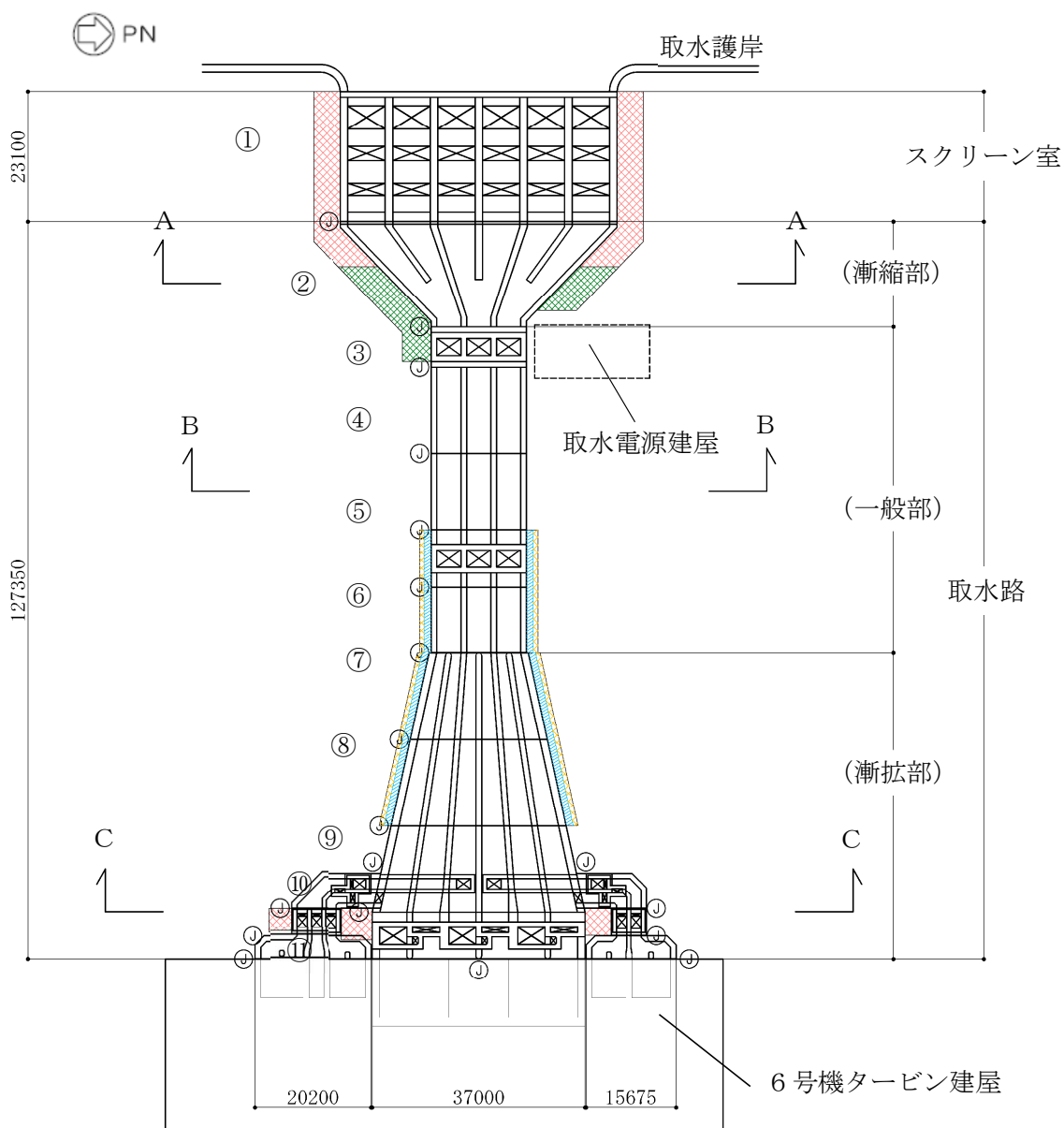


図 4-35 取水路（6号機設備）の平面配置図



(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
		高圧噴射
新設地盤改良体		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法(地中連続壁), 機械攪拌工法の施工範囲の内, 地上構造物及び埋設構造物がある箇所では, 高圧噴射または置換(開削)を適用

図 4-36 取水路(6号機設備)の平面図

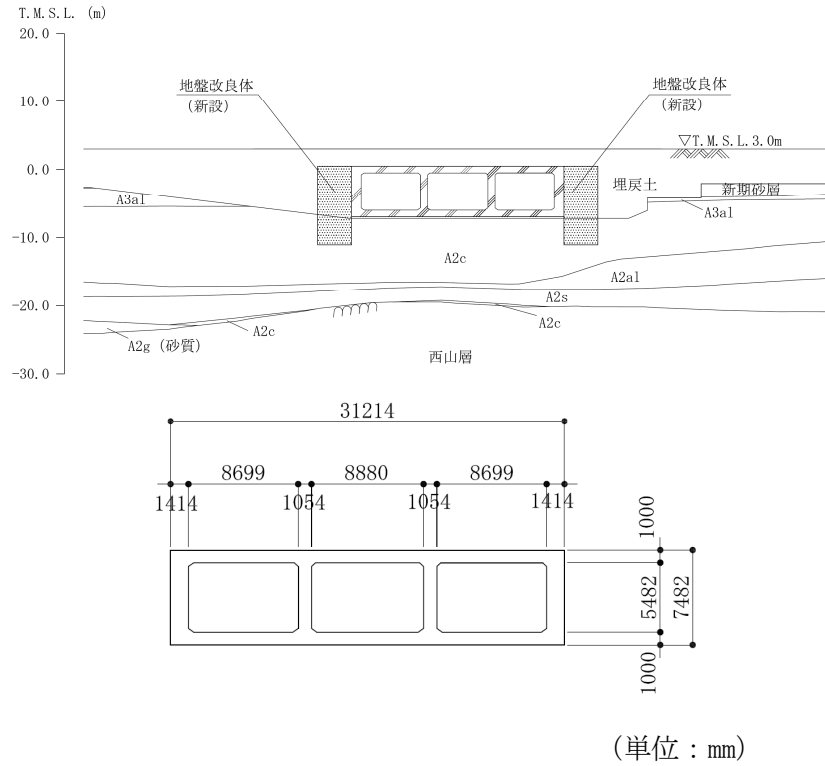


図 4-37 (1) 取水路 (6号機設備) の断面図 (漸縮部 A-A断面 ②ブロック)

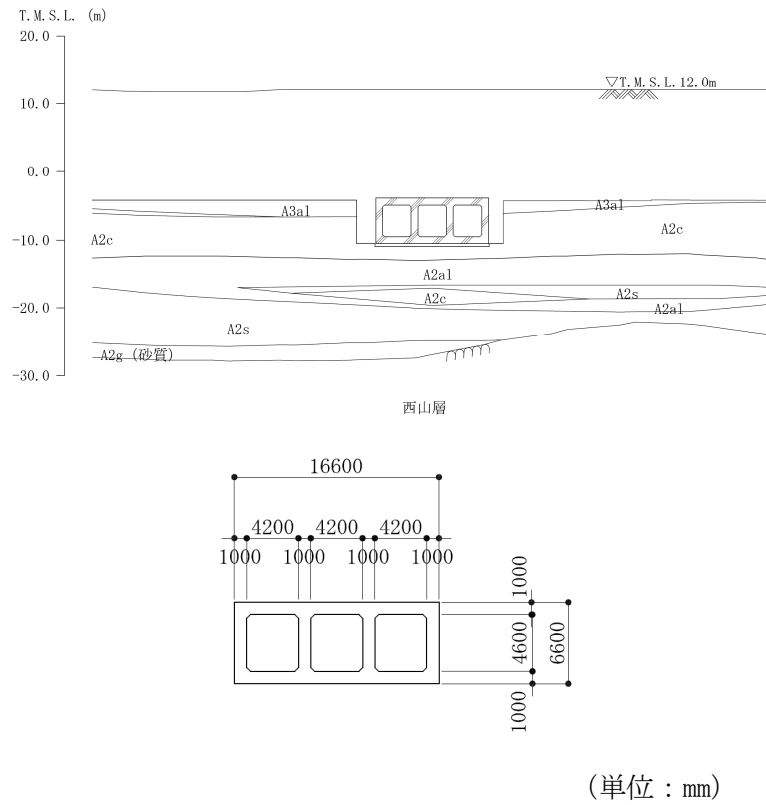
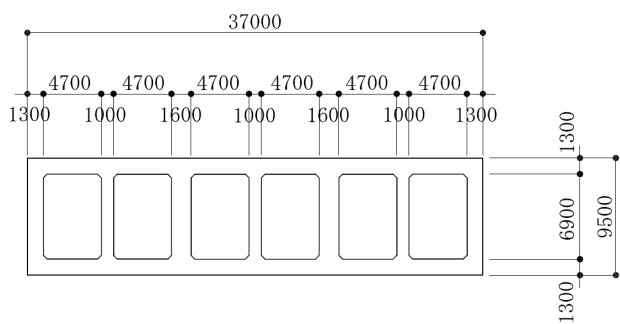
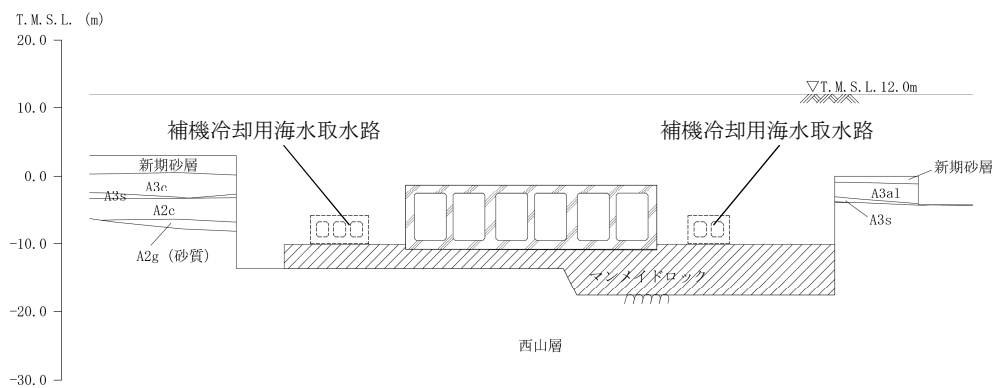
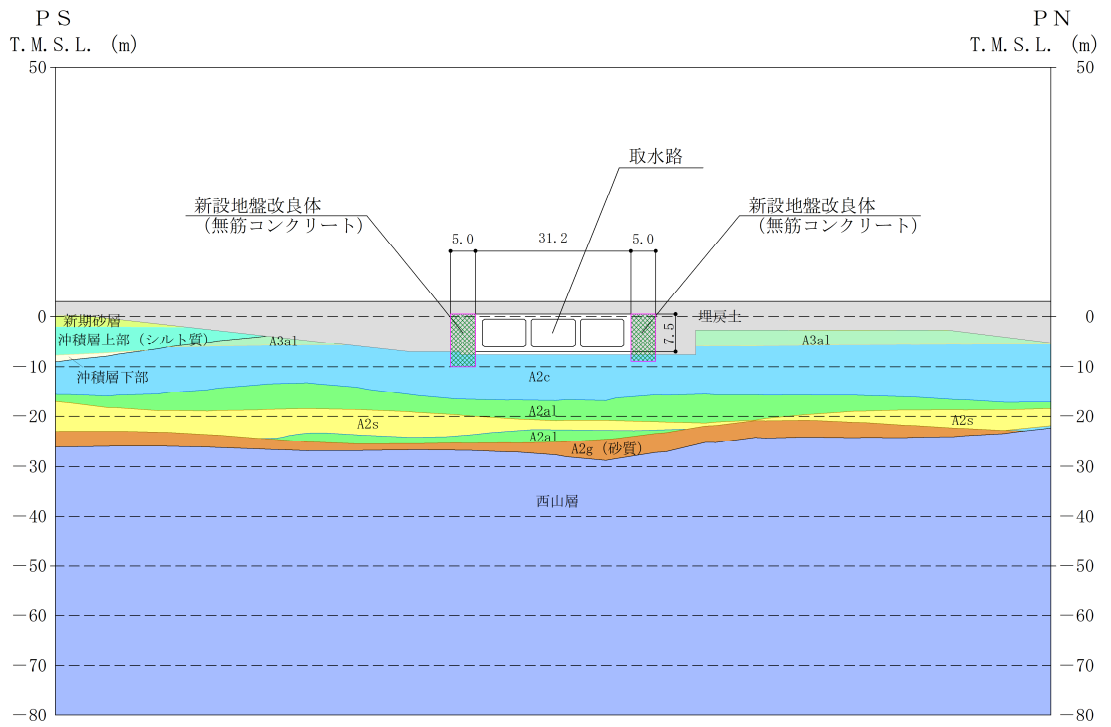


図 4-37 (2) 取水路 (6号機設備) の断面図 (一般部 B-B断面 ⑤ブロック)



(単位：mm)

図 4-37 (3) 取水路 (6号機設備) の断面図 (漸拡部 C-C断面 ⑩ブロック)



(単位：m)

図 4-38 (1) 取水路 (6号機設備) の周辺地質断面図 (A-A断面 ②ブロック)

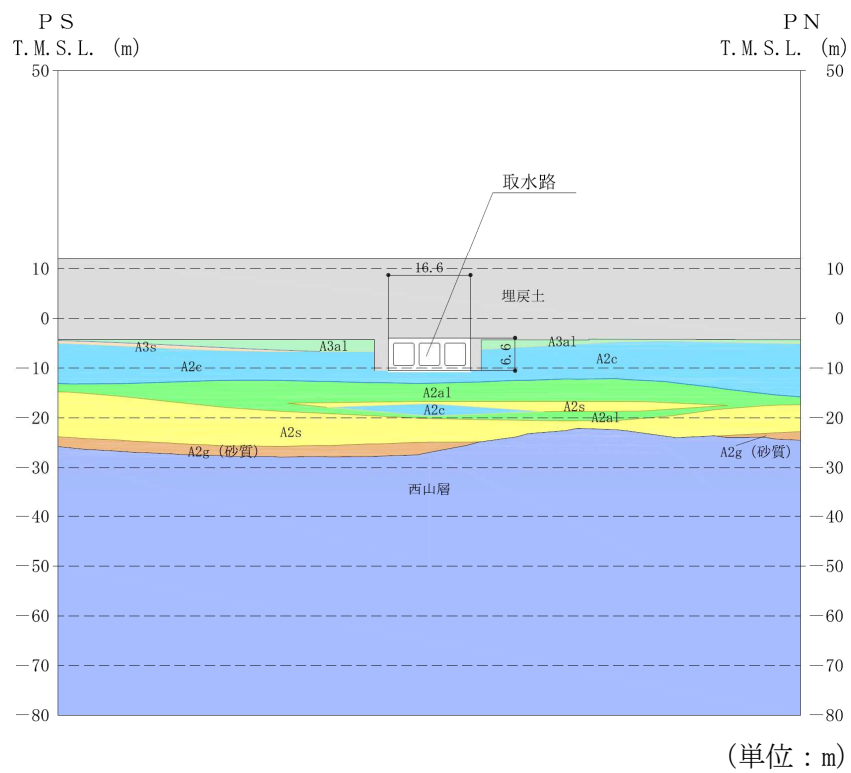
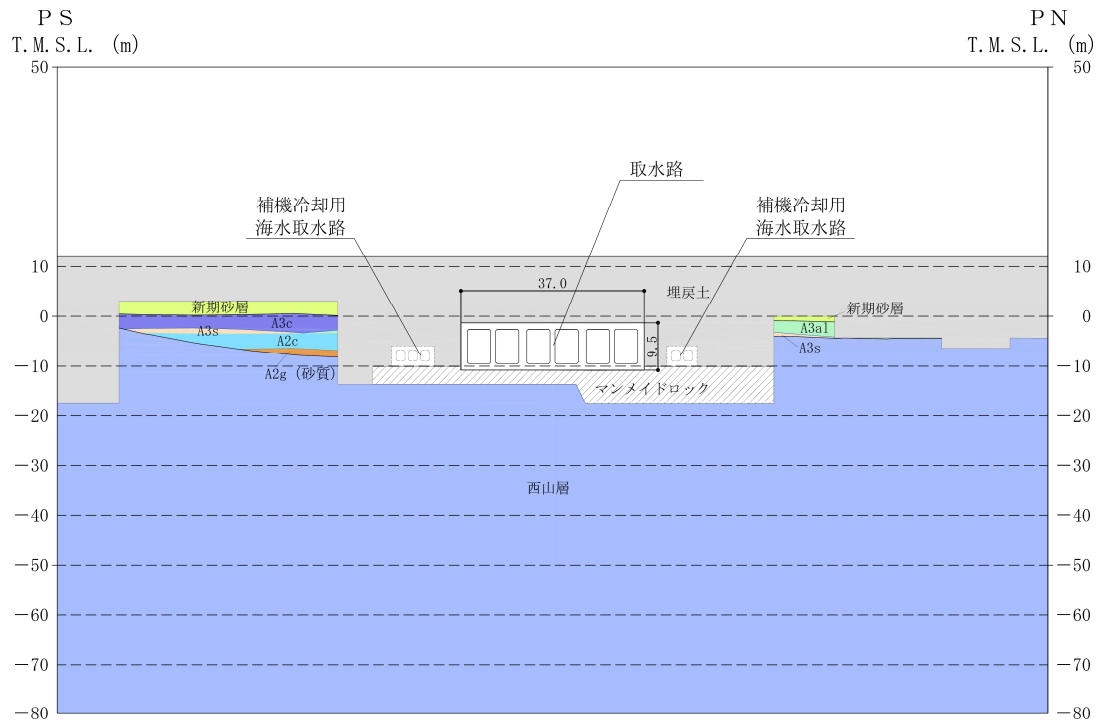
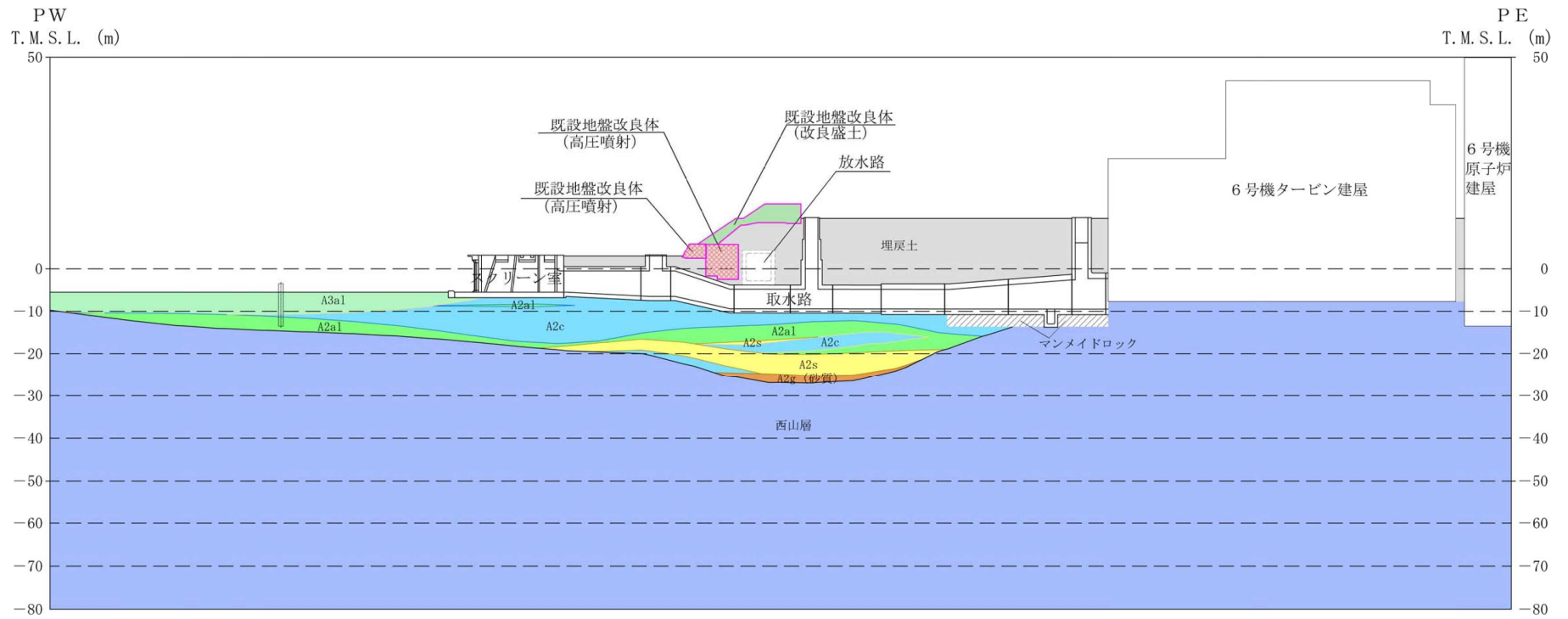


図 4-38(2) 取水路 (6号機設備) の周辺地質断面図 (B-B断面 ⑤ブロック)



(単位：m)

図 4-38(3) 取水路（6号機設備）の周辺地質断面図（C-C断面 ⑩ブロック）



(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		高压喷射
		改良盛土

図 4-38(4) 取水路 (6号機設備) 縦断方向の周辺地質断面図

(1) 断面選定結果耐震評価候補断面の整理

「4.1 方針 (1)耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。耐震評価断面の特徴を表 4-10 に示す。

取水路（6号機設備）の鉛直部材の鉄筋比を表 4-9 に示す。鉄筋比は、構造細目として最小鉄筋量（主鉄筋比 0.2%以上、せん断補強筋比 0.15%以上）を満足するように配置しており、主鉄筋比は 0.3～1.2%の範囲、せん断補強筋比は 0.2～0.7%の範囲となっている。漸拡部は、スパンが広い⑩ブロックで大きめの主鉄筋比となっているが、せん断補強筋も多く配置されていることから、他のブロックと同等の変形性能を有していると想定される。よって、評価対象断面の選定においては、構造的特徴として壁面積率に着目して選定を行う。

表 4-9 取水路（6号機設備）の各ブロックの鉛直部材の鉄筋比

区分	ブロック	構造	主鉄筋比 (%)	せん断補強筋比 (%)
漸縮部	②	カルバート	0.40～1.17	0.22～0.32
一般部	③	立坑	—	—
	④	カルバート	0.59～1.18	0.22～0.44
	⑤	カルバート	0.38～0.75	0.22～0.32
	⑥	立坑	—	—
	⑦	カルバート	0.36～0.59	0.22～0.32
漸拡部	⑧	カルバート	0.36～0.75	0.22～0.44
	⑨	カルバート	0.36～0.75	0.22～0.44
	⑩	カルバート	0.40～1.02	0.22～0.64
	⑪	立坑	—	—

表 4-10 取水路（6号機設備）の耐震評価候補断面の特徴

方向	区分	ブロック	要求性能	構造		周辺地盤			設計地下水位 T. M. S. L. (m)	近接構造物
				特徴	壁面積率	土被り (m)	側方地盤	設置地盤		
NS	漸縮部	②	通水貯水	・取水方向に幅が減少するとともに、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状変わる構造	0.20	2.5	地盤改良体	古安田層	3.0	無し
		③		・3連のボックスカルバート（取水路上部に立坑が存在*）	—	—	地盤改良体	古安田層		無し
	一般部	④		・3連のボックスカルバート	0.24	2.5～ 14.7	埋戻土	古安田層	3.0～5.0	無し
		⑤		・3連のボックスカルバート	0.24	14.7～ 19.2	埋戻土	古安田層		放水路
		⑥		・3連のボックスカルバート（取水路上部に立坑が存在*）	—	—	地盤改良体	古安田層	5.0	無し
		⑦		・3連のボックスカルバート	0.24	15.8	地盤改良体	古安田層		無し
		漸拡部		⑧	・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.37	15.6	地盤改良体	古安田層	5.0～8.0
	⑨			・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.28	15.6～ 14.5	地盤改良体	古安田層及び マンメイドロック	ボール捕集器 ピット，放水庭	
	⑩			・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.23	14.5～ 13.3	埋戻土	マンメイドロック	補機冷却用 海水取水路	
	⑪			・6連のボックスカルバート（取水路上部に立坑が存在*）	—	—	地盤改良体	マンメイドロック	補機冷却用 海水取水路	

注記* : 立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施。

取水路（6号機設備）漸縮部の②ブロックは、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状に変わる構造である。また、取水路側方には地盤改良を実施している。設計地下水位はT.M.S.L. 3.0mである。構造物側方に近接構造物は無い。

取水路（6号機設備）一般部の③ブロック～⑦ブロックは、取水方向に幅が一様な3連のボックスカルバートであり、③ブロック及び⑥ブロックの取水路上部には立坑が存在する。また、③ブロック、⑥ブロック及び⑦ブロックの取水路側方には地盤改良を実施している。設計地下水位は、③ブロックでT.M.S.L. 3.0m、④ブロック及び⑤ブロックでT.M.S.L. 3.0m～5.0m、⑥ブロック及び⑦ブロックでT.M.S.L. 5.0mである。構造物側方に近接構造物は無いが、⑤ブロック上部には放水路が設置されている。

取水路（6号機設備）漸拡部の⑧ブロック～⑪ブロックは、取水方向に幅が漸拡する6連のボックスカルバートであり、⑪ブロックの取水路上部には立坑が存在する。また、⑧ブロック、⑨ブロック及び⑪ブロックの取水路側方には地盤改良を実施している。設計地下水位は、T.M.S.L. 5.0m～8.0mである。⑧ブロック及び⑨ブロックの北側にボール捕集器ピットが設置されている。また、⑩ブロック及び⑪ブロックの北側及び南側に補機冷却用海水取水路が設置されている。

(2) 評価対象断面の選定

取水路（6号機設備）漸縮部の②ブロックは、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状に変わる構造であり、取水路（6号機設備）の中で壁面積率が最も小さいブロックであるため耐震裕度が小さくなると想定されることから、②ブロックのうち構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少ないA-A断面を評価対象断面として選定する。

取水路（6号機設備）一般部の③ブロック～⑦ブロックは、取水方向に幅が一様な3連のボックスカルバートであることから、周辺地盤条件、設計地下水位及び近接構造物に着目し評価対象断面を選定する。③ブロック、⑥ブロック及び⑦ブロックの取水路側方には地盤改良を実施しており、地震時における変形抑制効果が期待できるため耐震裕度は大きいと想定される。地盤改良を実施していない④ブロック及び⑤ブロックともに構造物側方には、近接構造物は存在しない。また、④ブロックと⑤ブロックを比較すると、⑤ブロックの方が土被りが大きく耐震裕度が小さくなると想定される。

取水路（6号機設備）漸拡部の⑧ブロック～⑪ブロックは、何れの断面も土被りはほぼ同等であることから、構造的特徴、側方地盤条件、設計地下水位及び近接構造物に着目し評価対象断面を選定する。⑩ブロックは、漸拡部の中で壁面積率が最も小さく、側方の地盤改良を実施していない。また、⑧ブロック及び⑨ブロック北側には取水路よりも断面形状の大きいボール捕集器ピット・放水庭が設置されるため、変形抑制効果が期待される。

一方、⑩ブロックの南北両側には補機冷却用海水取水路が設置されるが、取水路に対し断面形状が小さいため、ボール捕集器ピット・放水庭と比較し変形抑制効果は小さいと考えられる。また、⑩ブロックは⑧ブロック及び⑨ブロックよりも設計地下水位が高い。以上のことから、耐震裕度が小さくなると想定される⑩ブロックのうち構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少ないC-C断面を評価対象断面として選定する。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4-11 に示す。取水路（6号機設備）の耐震評価は、A-A断面、B-B断面及びC-C断面にて実施する。また、取水路（6号機設備）立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施する。

表 4-11 取水路（6号機設備） 評価対象断面の選定結果

方向	区分	ブロック	要求性能	構造		周辺地盤			設計地下水位 T. M. S. L. (m)	近接 構造物	既 工認	今回 工認	選定理由	
				特徴	壁面積 率	土被り (m)	側方地盤	設置地盤						
NS	漸縮部	②	通水 貯水	・取水方向に幅が減少するとともに、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状変わる構造	0.20	2.5	地盤改良体	古安田層	3.0	無し	-	○	②ブロックの中で構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少ないA-A断面を評価対象断面に選定する。	
		③		・3連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	-	-	地盤改良体	古安田層		無し	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。	
	一般部	④		・3連のボックスカルバート	0.24	2.5~ 14.7	埋戻土	古安田層	3.0~5.0	無し	-	-	⑤ブロックと比較し土被りが小さい	
		⑤		・3連のボックスカルバート	0.24	14.7~ 19.2	埋戻土	古安田層		放水路	○	○	④ブロックと比較し土被りが大きく、設計地下水位も高いことから、B-B断面を評価対象断面に選定する。	
		⑥		・3連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	-	-	地盤改良体	古安田層		5.0	無し	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。
		⑦		・3連のボックスカルバート	0.24	15.8	地盤改良体	古安田層	無し		-	-	地盤改良を実施。	
		漸拡部		⑧	・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.37	15.6	地盤改良体	古安田層	5.0~8.0	ボール捕集器ビット、放水庭	-	-	-
	⑨			・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.28	15.6~ 14.5	地盤改良体	古安田層及びマンメイドロック	ボール捕集器ビット、放水庭		-	-	-	地盤改良を実施。
	⑩			・取水方向に幅が漸拡する、6連のボックスカルバート	0.23	14.5~ 13.3	埋戻土	マンメイドロック	補機冷却用海水取水路		○	○	漸拡部の中で壁面積率が最も小さく、側方の地盤改良を実施していないことから、⑩ブロックの中で構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく、設計地下水位も高いことから、C-C断面を評価対象断面に選定する。	
	⑪			・6連のボックスカルバート(取水路上部に立坑が存在*)	-	-	地盤改良体	マンメイドロック	補機冷却用海水取水路		-	-	-	水平2方向評価で別途検討を実施。

注記* : 立坑部については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する構造物として別途耐震評価を実施。

4.10 軽油タンク基礎（6号機設備）の断面選定の考え方

図 4-39, 図 4-40 及び図 4-41 に軽油タンク基礎（6号機設備）の平面配置図, 平面図及び断面図を示す。また, 図 4-42 に周辺地質断面図を示す。

軽油タンク基礎（6号機設備）は, 軽油タンクを間接支持する幅約 18m (NS 方向) × 約 35m (EW 方向), 高さ約 1.4m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。

軽油タンク基礎（6号機設備）は, 鉄筋コンクリート造の基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物である。また, 基礎版及び杭の周辺には地盤改良を実施しており, 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無いと考えられるため, 構造物の中心を通る断面を評価対象断面とする。

以上のことから, 軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震評価においては, 基礎版の短軸方向となる NS 断面（A-A 断面）と長軸方向となる EW 断面（B-B 断面）の 2 断面を耐震評価断面とする。

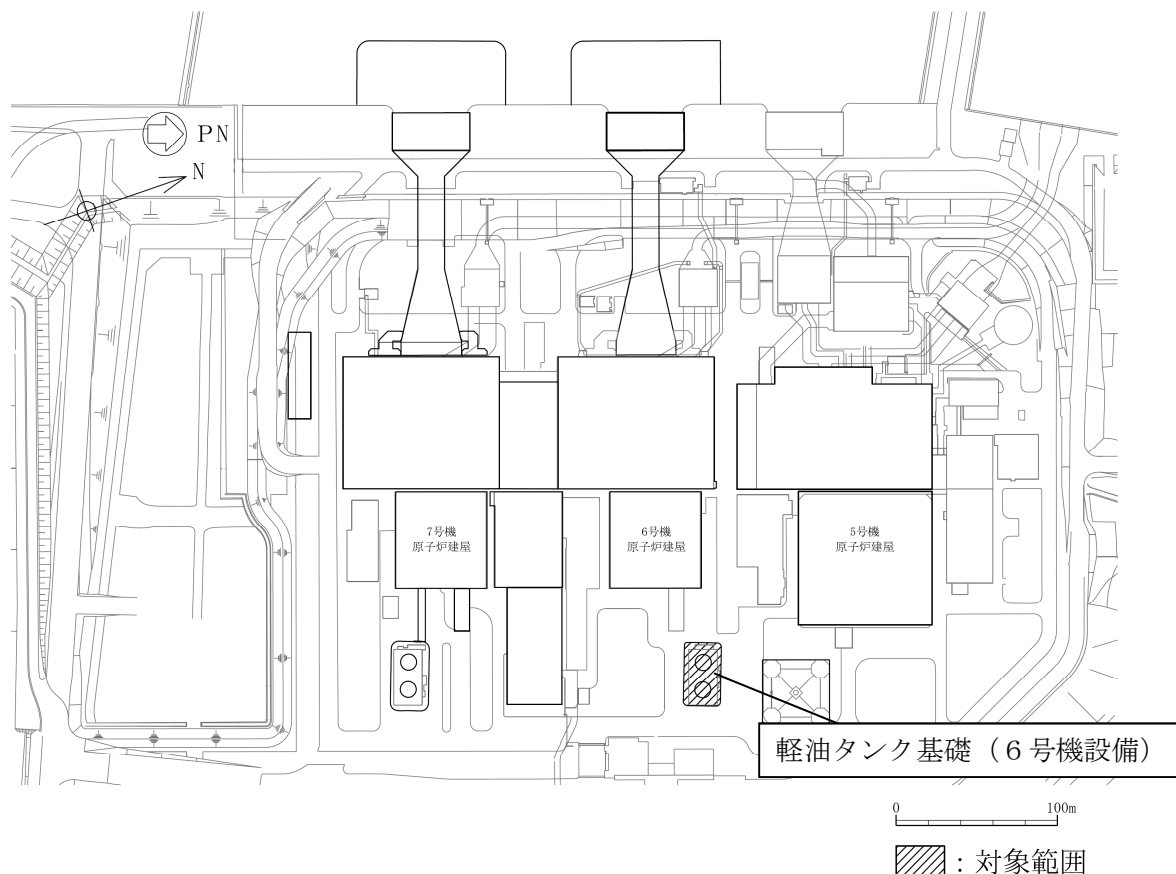
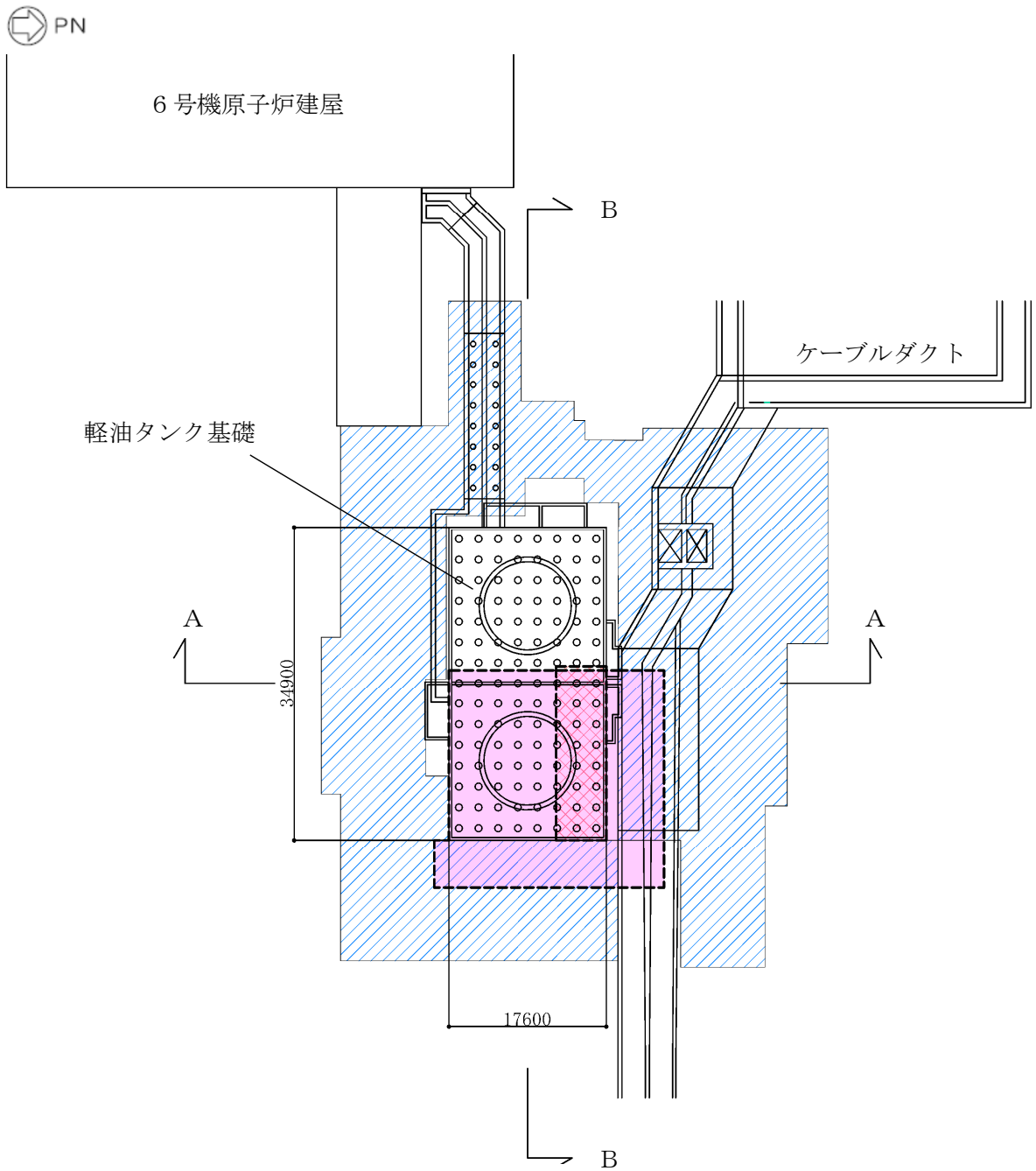


図 4-39 軽油タンク基礎（6号機設備）の平面配置図



(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (開削)
		高圧噴射

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 4-40 軽油タンク基礎 (6号機設備) の平面図

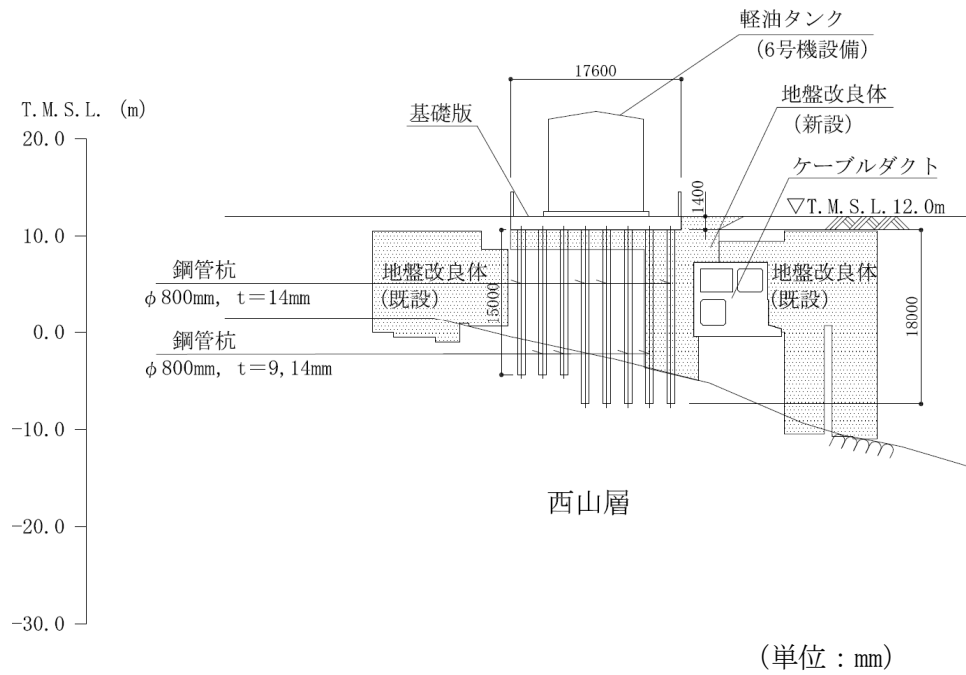


図 4-41 (1) 軽油タンク基礎 (6号機設備) の断面図 (A-A断面)

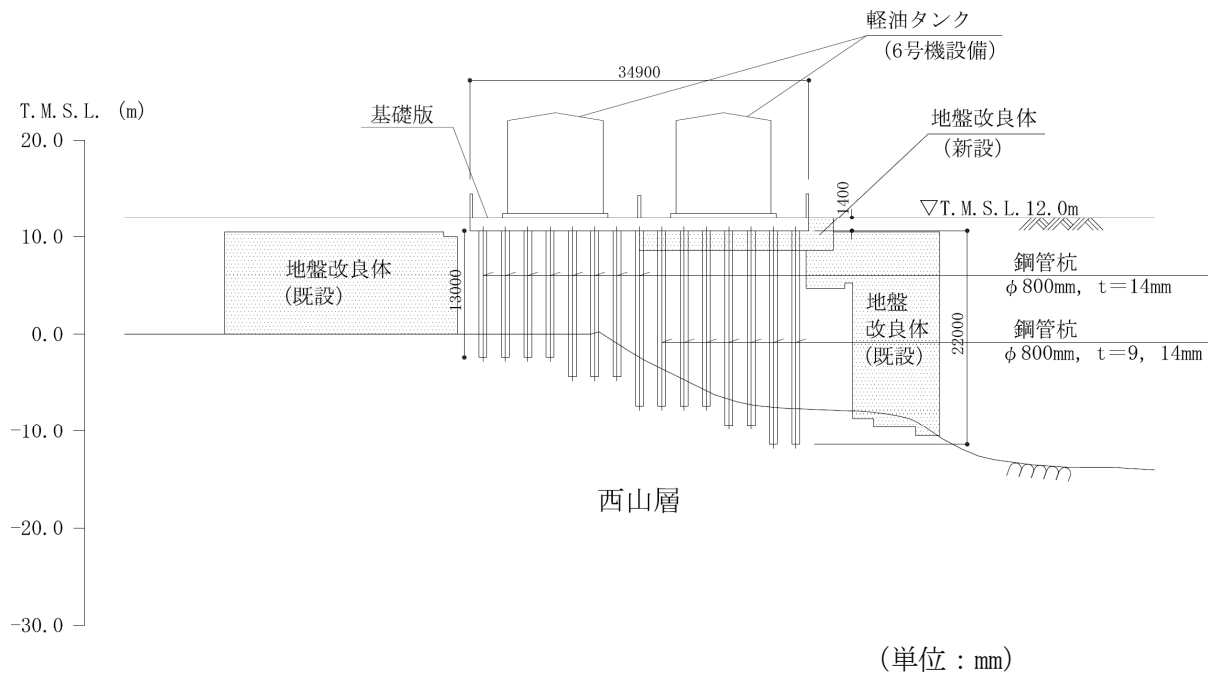
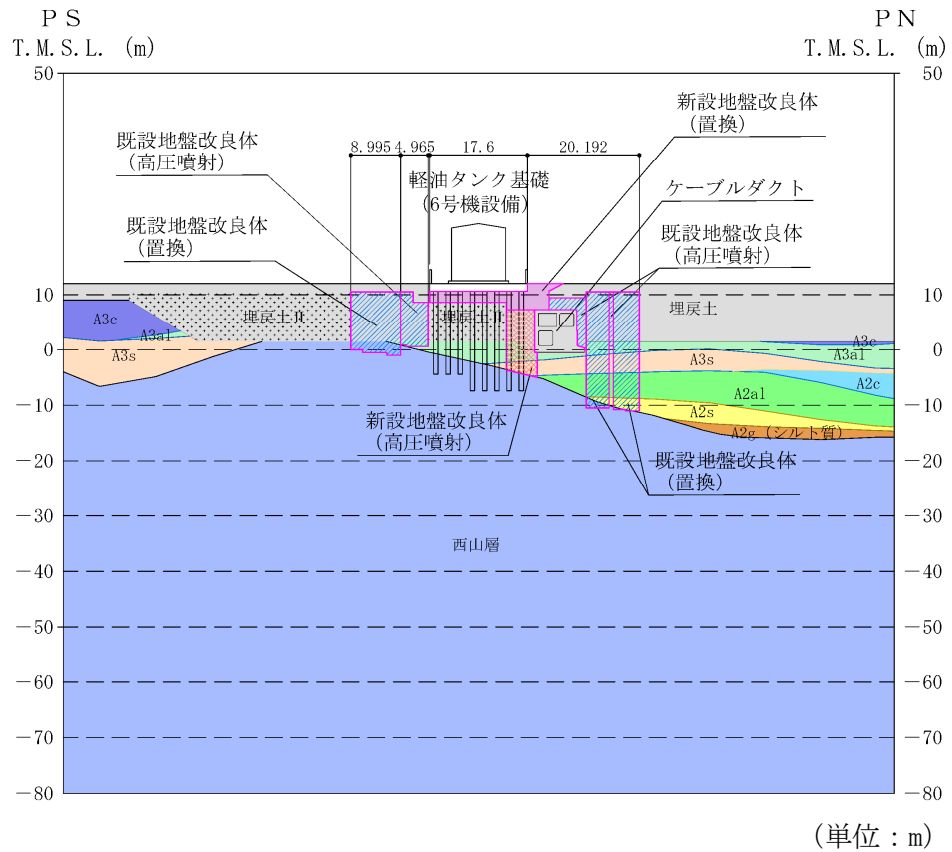


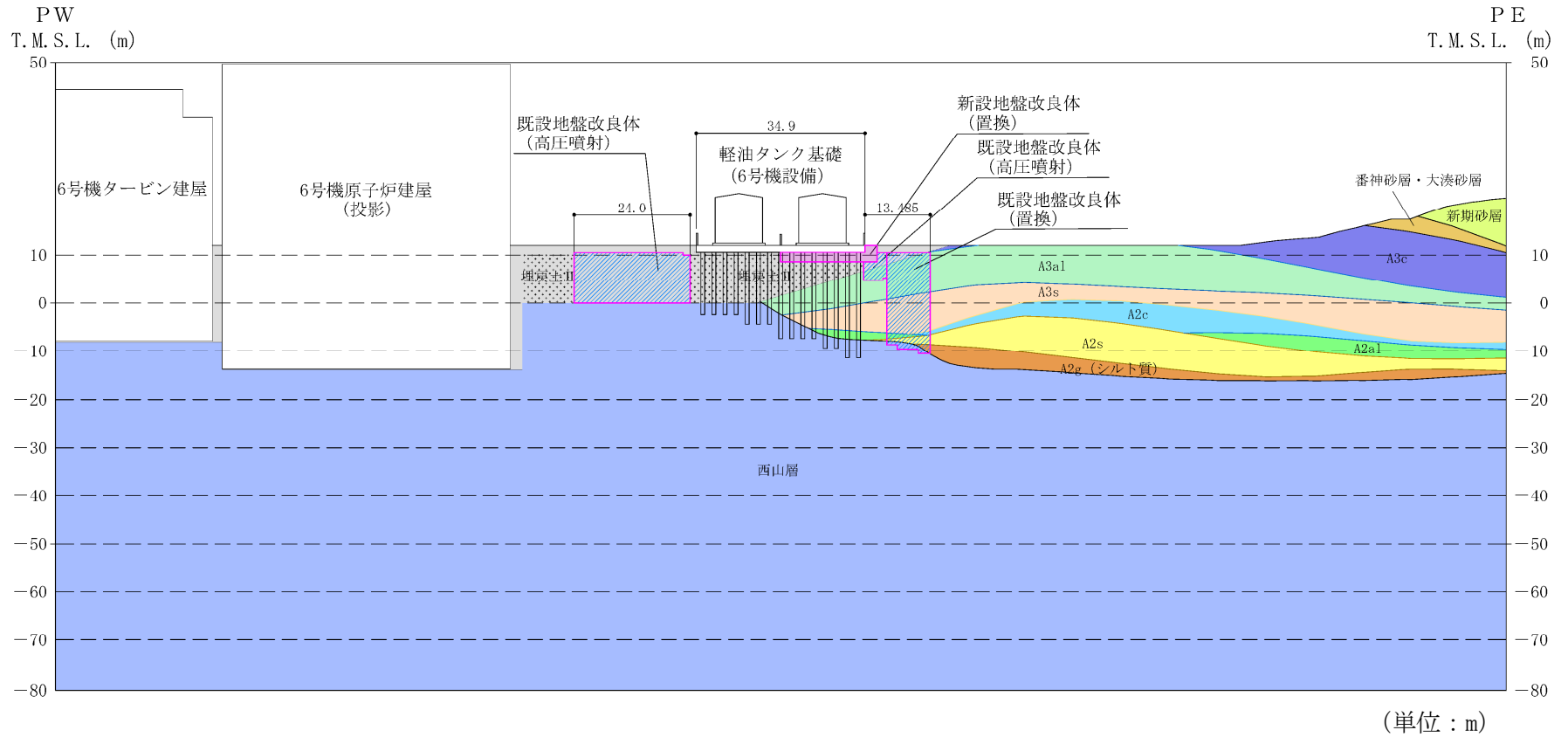
図 4-41 (2) 軽油タンク基礎 (6号機設備) の断面図 (B-B断面)



既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (開削)
		高圧噴射

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 4-42 (1) 軽油タンク基礎 (6号機設備) の周辺地質断面図 (A-A断面)



既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (開削)
		高圧噴射

注：置換工法(CD掘削)の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 4-42 (2) 軽油タンク基礎 (6号機設備) の周辺地質断面図 (B-B断面)

5. 地盤物性のばらつきの考慮方法について

柏崎刈羽原子力発電所7号機の屋外重要土木構造物（津波防護施設を含む）の耐震評価においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

屋外重要土木構造物は地中埋設構造物であるため、地震時の応答は地盤の応答に大きく影響される。また、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から地盤構造物間の摩擦を介して作用する頂版せん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、屋外重要土木構造物の耐震評価においてばらつきを考慮する物性値は、地盤の初期せん断弾性係数 G_0 とする。

本章では、屋外重要土木構造物の耐震評価における地盤物性のばらつきの考慮方法について記載する。

5.1 耐震評価における解析ケース

屋外重要土木構造物の耐震評価における解析ケースを表5-1に示す。

表 5-1 耐震評価における解析ケース

解析ケース	①	②	③	④	⑤
	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	非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1 σ)	地盤剛性(-1 σ)	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1 σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性(-1 σ)	液状化強度特性(-1 σ)	液状化強度特性(-1 σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

(4) 地盤の液状化強度特性を用いた解析ケース (①, ②, ③)

有効応力解析に用いる地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を(-1 σ)にて設定する。

液状化強度特性の詳細は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す。

また、地盤の液状化強度特性を用いた解析ケースに加えて、地盤剛性のばらつきの影響を考慮したケースについても実施する。ばらつきの設定方法の詳細は、KK7 補足-042「工事計画に係る説明資料（地盤の支持性能について）」に示す。

(5) 地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケース (④, ⑤)

解析条件として液状化強度が小さく設定された場合は、地盤の変位が大きく算定されることになるため、特に屋外重要土木構造物の下部構造に対して保守的な解析条件となるが、地表面応答加速度はやや小さめに評価される場合がある。一方、液状化強度が大きく設定された場合は、地盤の変位が小さく算定されることになるが、地表面応答加速度が大きく評価されることになるため、特に屋外重要土木構造物の上部構造及び上載される機器・配管系に対して保守的な解析条件となる。

よって、上部土木構造物及び機器・配管系への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する。非液状化の条件の仮定は、有効応力解析にて液状化パラメータを非適用とすることにより設定する。これは、地盤の液状化強度が最も大きい場合に相当する。

また、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースに加えて、地盤剛性のばらつきの影響を考慮したケースについても実施する。ばらつきの設定方法の詳細は、KK7 補足-024-1「工事計画に係る説明資料（地盤の支持性能について）」に示す。

5.2 耐震評価における解析ケースの組合せについて

屋外重要土木建造物の耐震評価における解析ケースの組合せを図 5-1 に示す。

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（8波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全15波を用いて解析ケース①（基本ケース）を実施する。

上記の解析ケース①において、曲げ軸力、せん断力及び支持性能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。

また、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。

5.3 機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位算定のための解析ケース

屋外重要土木構造物に上載される機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位の算定では、上載される機器・配管系への応答加速度に対する保守的な配慮として、基準地震動 S_s 全波（8波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全15波を用いて解析ケース③、④、⑤を実施し、応答加速度及び応答変位を算定する。また、設計基準対象施設の間接支持構造物については、基準地震動 S_s に加え、弾性設計用地震動 S_d 全15波を用いて解析ケース③、④、⑤を実施する。

機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位算定のための解析ケースを図5-2及び表5-2に示す。

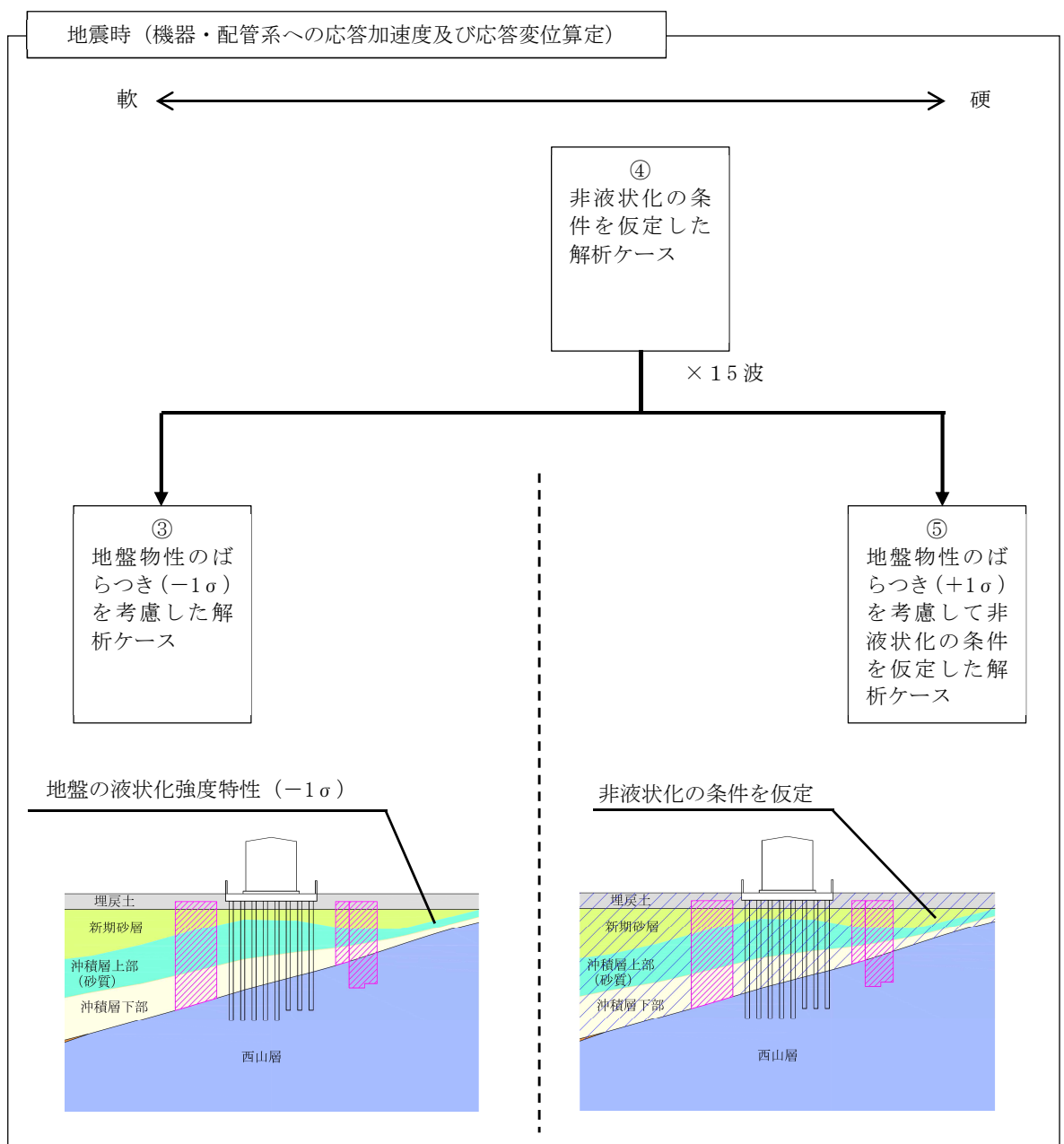


図5-2 機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位算定のための解析ケース

表 5-2 屋外重要土木構造物に上載される機器・配管系に対する
応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケース

解析ケース		③		④		⑤	
		地盤物性のばらつき (-1σ)を考慮した 解析ケース		非液状化の条件を 仮定した解析ケース		地盤物性のばらつき ($+1\sigma$)を考慮して非液 状化の条件を仮定した 解析ケース	
地盤剛性の 設定		地盤剛性 (-1σ)		地盤剛性 (平均値)		地盤剛性 ($+1\sigma$)	
液状化強度特性 の設定		液状化強度 特性 (-1σ)		液状化パラメータを 非適用		液状化パラメータを 非適用	
地震波 (位相)	Ss-1	++	1	1	1	1	1
		+ -	1	1	1	1	1
		- +	1	1	1	1	1
		--	1	1	1	1	1
	Ss-2		1	1	1	1	1
	Ss-3	++	1	1	1	1	1
		+ -	1	1	1	1	1
		- +	1	1	1	1	1
		--	1	1	1	1	1
	Ss-4		1	1	1	1	1
	Ss-5		1	1	1	1	1
	Ss-6		1	1	1	1	1
	Ss-7		1	1	1	1	1
	Ss-8	++	1	1	1	1	1
		- +	1	1	1	1	1
計			15	15	15	15	

注：設計基準対象施設の間接支持構造物については、基準地震動 S_s に加え、弾性設計用地震動 S_d 全 15 波を用いて解析ケース③、④、⑤を実施する。

6. 許容限界について

6.1 曲げ軸力に対する照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

今回の工認申請における曲げ軸力に対する照査は、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年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、照査用層間変形角及び照査用ひずみが限界層間変形角（層間変形角 1/100）及び限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%）以下であることを確認する。

コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）（以下「コンクリート標準示方書」という。）では、構造部材の終局変位は、部材の荷重-変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書による構造部材の終局変位の考え方を図 6-1 に示す。

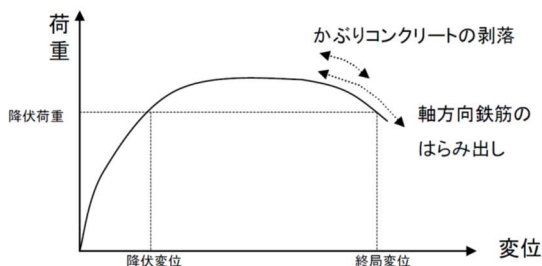


図 6-1 コンクリート標準示方書による構造部材の終局変位の考え方

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 6-2 に示す。

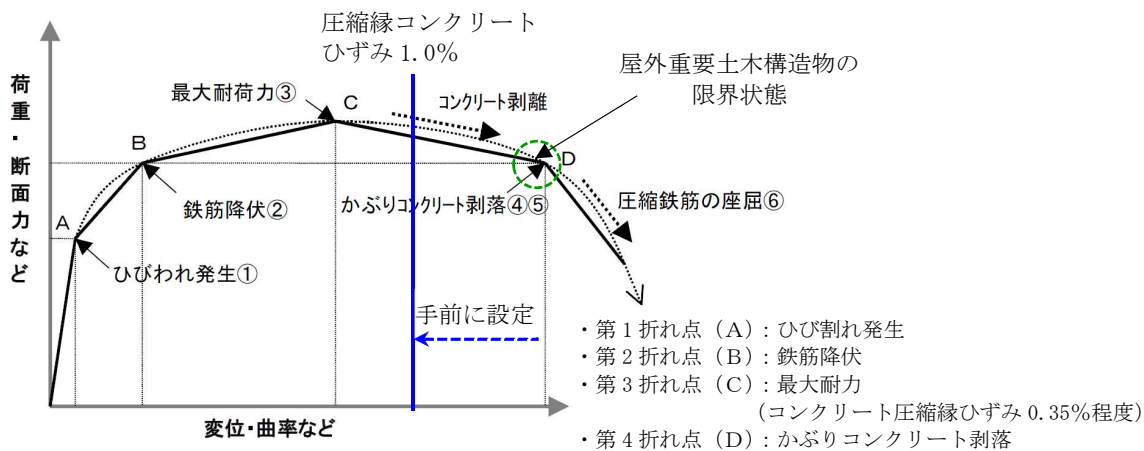


図 6-2 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図

(土木学会マニュアルに一部加筆)

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%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 $2\sim 7\text{N/mm}^2$ 程度残留している状態であり（図 6-3 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%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。

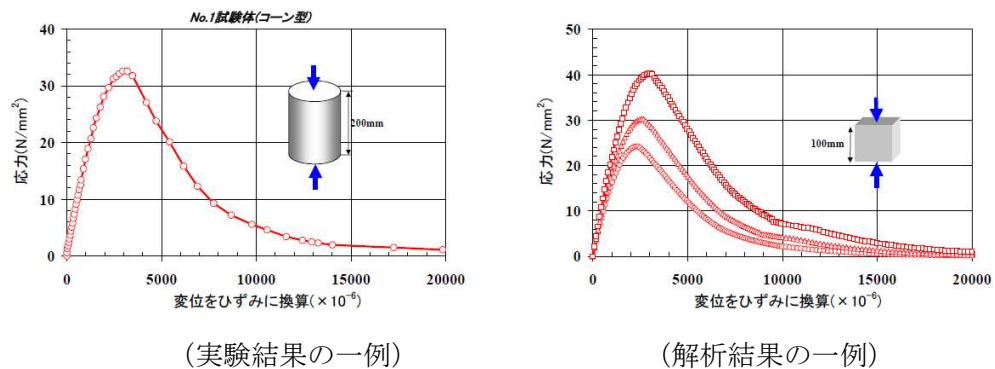


図 6-3 コンクリートの圧縮ひずみが 1.0%時点における残留応力
(土木学会マニュアルより引用)

したがって、土木学会マニュアルによる曲げ軸力照査手法は、コンクリート標準示方書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 6-4 に示す。建築学会（図 6-4）と土木学会マニュアル（図 6-2）において概ね対応が取れており、土木学会マニュアルの各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。

図 6-2 において、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%は第 4 折れ点よりも手前にあり、屋外重要土木構造物の限界状態に至っていないと考えられる。

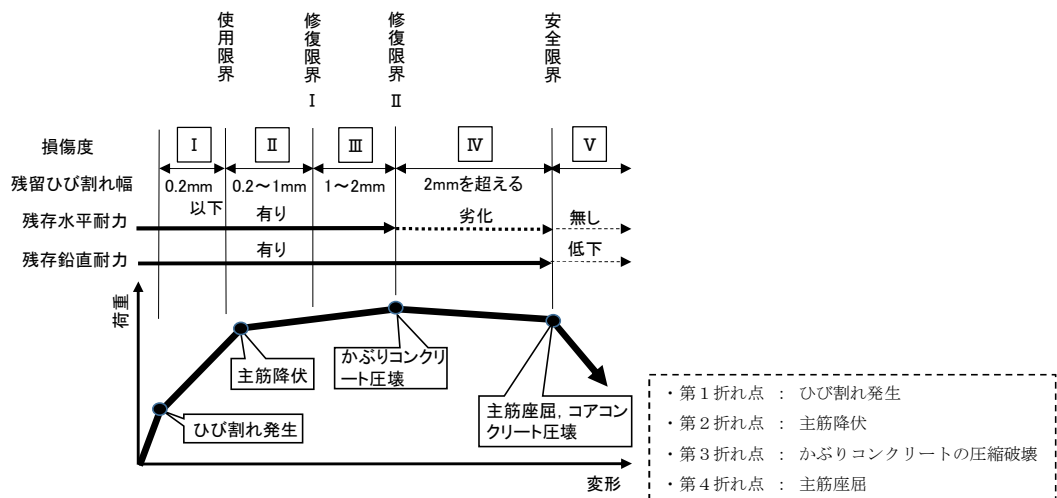


図 6-4 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態の関係の概念図（建築学会）

曲げ軸力に対する照査において考慮している安全係数は、表 6-1 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において以下の考えにより定められている。

(1) 材料係数

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

(2) 部材係数

安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は 1.0 としている。

(3) 荷重係数

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

(4) 構造解析係数

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

(5) 構造物係数

屋外重要土木構造物は、重要度ごとに適切な地震動が設定される。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係数は 1.0 としている。

表 6-1 曲げ軸力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による曲げ軸力に対する照査手法は、コンクリート標準示方書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。

6.2 せん断力に対する照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

今回の工認申請におけるせん断力に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、照査用せん断力が、せん断耐力以下であることを確認する。コンクリート標準示方書では、棒部材及びディープビームについて表 6-2 に示すとおり of の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及び土木学会マニュアルにおいて同様の評価式となっている。

表 6-2 セン断耐力式の比較表

	コンクリート標準示方書	土木学会マニュアル
棒部材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd} : \text{せん断耐力}$ $V_{cd} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sd} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p : \text{構造寸法や鉄筋量で決まる係数}$ $\beta_n : \text{発生曲げモーメントで決まる係数}$ $f_{vcd} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$ $b_w : \text{腹部の幅}$ $d : \text{有効高さ}$ $\gamma_b : \text{安全係数}$	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd} : \text{せん断耐力}$ $V_{cd} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sd} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p : \text{構造寸法や鉄筋量で決まる係数}$ $\beta_n : \text{発生曲げモーメントで決まる係数}$ $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ $a : \text{せん断スパン長}$ $f_{vcd} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$ $b_w : \text{腹部の幅}$ $d : \text{有効高さ}$ $\gamma_b : \text{安全係数}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> 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のせん断耐力式を精緻化 </div>
デュープビーム	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ $V_{yda} : \text{せん断耐力}$ $V_{cda} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sda} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1+(a_v/d)^2}$ $a_v : \text{荷重作用点から支承前面までの距離}$ $f_{da} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ $V_{yda} : \text{せん断耐力}$ $V_{cda} : \text{コンクリート負担}$ $V_{sda} : \text{せん断補強筋負担}$ $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1+(a_v/d)^2}$ $a_v : \text{荷重作用点から支承前面までの距離}$ $f_{da} : \text{設計基準強度, 安全係数等で決まる}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> コンクリート標準示方書と土木学会マニュアルにおいて同一の評価式となっている </div>

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

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

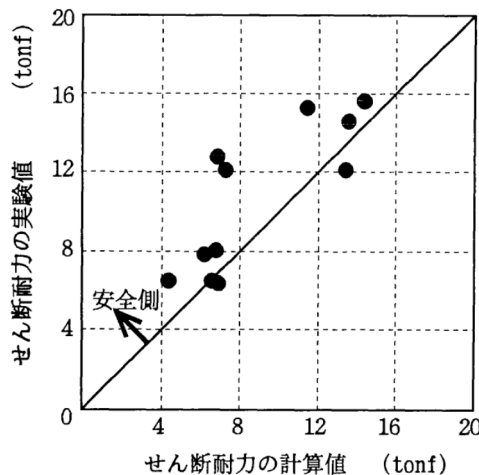


図 6-5 せん断耐力算定法の妥当性の検証

(参考文献 1)より引用)

【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
- 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

せん断力に対する照査において考慮している安全係数は表 6-3 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において以下の考えにより定められている。

(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 せん断力に対する照査において考慮している安全係数

安全係数		せん断力に対する照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3
	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によるせん断力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。

7. ジョイント要素のばね設定について

一般に、地盤と構造物の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると、地盤は構造体から剥離する特徴がある。また、地盤と構造物の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え、せん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。さらに、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

有効応力解析では、地震時の地盤と構造物の接合面におけるこれらの力学特性の特徴を適切に構成則としてモデル化するため、地盤と構造物の接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の地盤と構造物の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

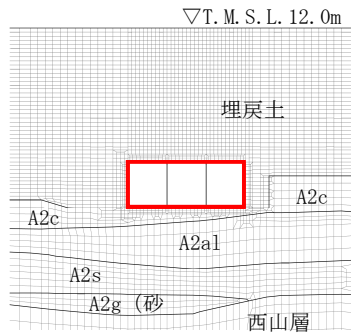
ジョイント要素は、地盤と構造物の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造物の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 7-1 にジョイント要素の考え方を示す。

なお、せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とする。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

τ_f	: せん断強度
c	: 粘着力
ϕ	: 内部摩擦角



— : ジョイント要素

取水路 (B-B断面) (例)

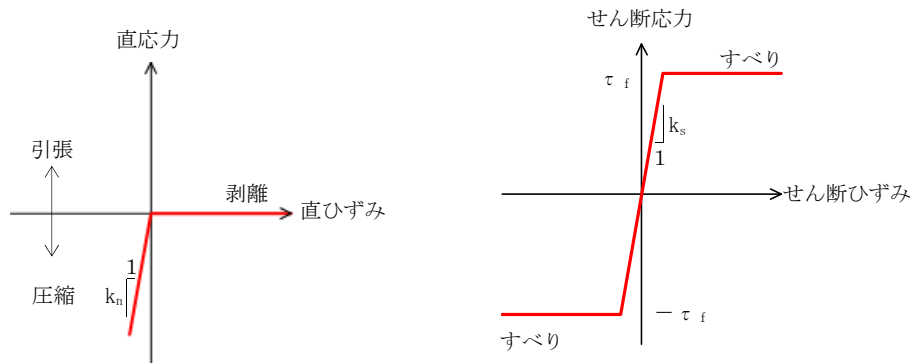


図 7-1 ジョイント要素の考え方

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大きい値として、港湾構造物設計事例集 (上巻) (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月) に従い、表 7-1 の通り設定する。なお、ジョイント要素のばね定数の妥当性確認結果を (参考資料 2) に示す。

表 7-1 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6

8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について

屋外重要土木構造物は地中埋設構造物であることから、地震応答解析における減衰の影響は、地盤の減衰に支配され、構造物の減衰定数による影響は小さいと考えられる。そのため、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の屋外重要土木構造物の工事計画認可申請における構造物の Rayleigh 減衰の設定は、KK7 補足-024-1「工事計画に係る説明資料（地盤の支持性能について）」に示す新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析の結果から、地盤と同様に Rayleigh 減衰として $\alpha=0$ 、 $\beta=0.005$ を適用する。

地震応答解析における構造物の減衰定数設定の妥当性確認結果を（参考資料 3）に示す。

9. 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

9.1 評価方針

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。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。

追加解析を実施する地震動の選定フローを

図 9-1 に、耐震評価における解析ケースを表 9-1 に示す。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の詳細を(参考資料 4)に示す。

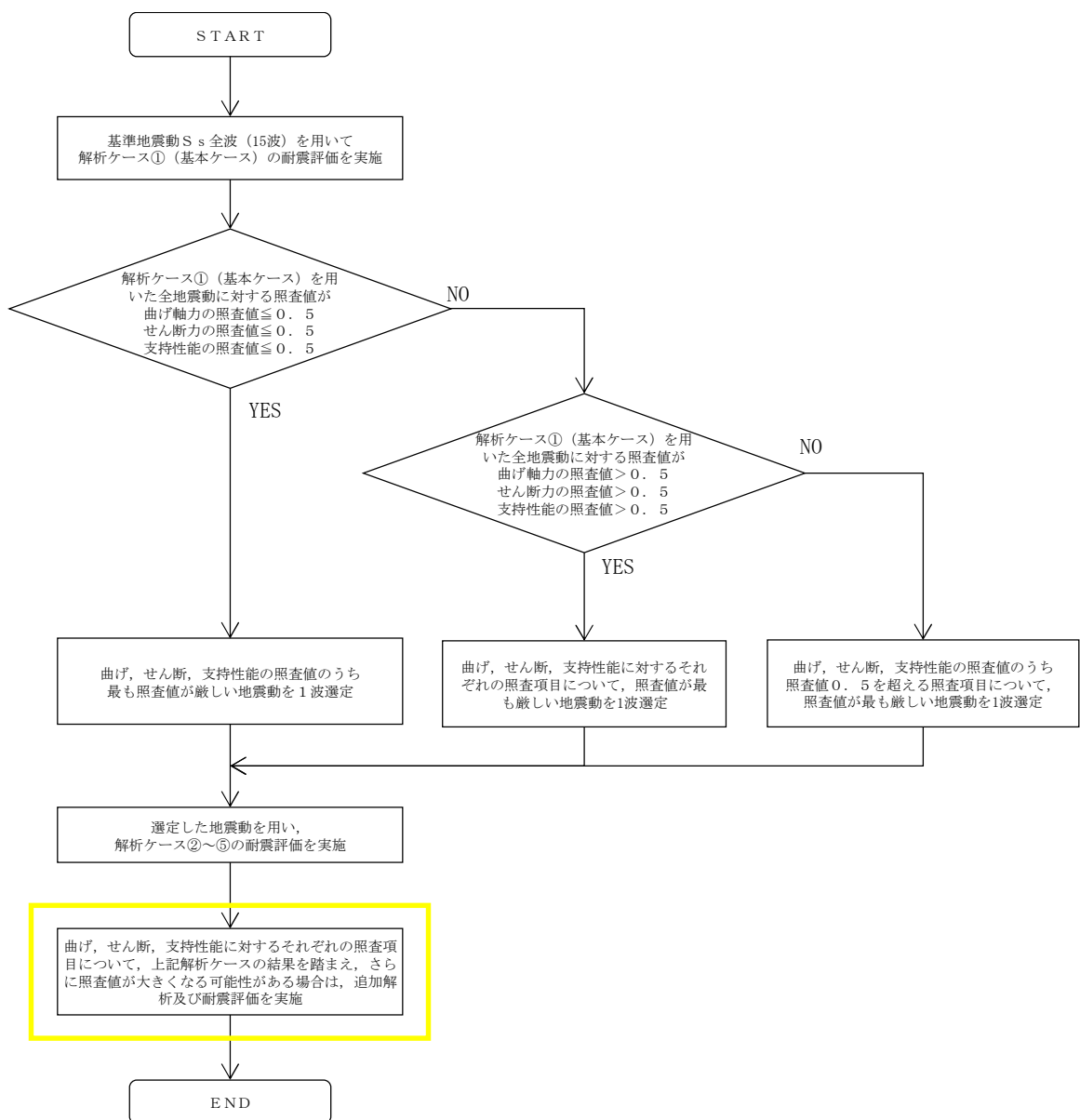


図 9-1 屋外重要土木構造物の耐震評価における解析ケース

表 9-1 耐震評価における解析ケース

	①	②	③	④	⑤
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	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1σ)	地盤剛性(-1σ)	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性(-1σ)	液状化強度特性(-1σ)	液状化強度特性(-1σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

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) 鋼管杭の照査（安全係数）に係る鋼・合成構造標準示方書の適用性について
- (参考資料2) ジョイント要素のばね定数の妥当性確認結果について
- (参考資料3) 地震応答解析における構造物の減衰定数について
- (参考資料4) 追加解析ケースの選定方法の詳細について
- (参考資料5) 鋼管杭の照査に係るキャスク指針の適用性について
- (参考資料6) 軽油タンク基礎，常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）に関する土木学会マニュアルの適用性について
- (参考資料7) せん断力照査の手順について

(参考資料1) 鋼管杭の照査(安全係数)に係る鋼・合成構造標準示方書の適用性について

軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎(6号機設備)(以下「各杭基礎構造物」という。)の鋼管杭においては、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規定J E A C 4 6 1 6 - 2009(日本電気協会)(以下「キャスク指針」という。)により設定した許容限界(終局曲率, せん断耐力)に対する耐震評価を実施している。キャスク指針では、許容限界に対し妥当な安全余裕を考慮するための安全係数は設定されていないが、ここでは各杭基礎構造物に対する保守的な配慮として、鋼・合成構造標準示方書[耐震設計編](社)土木学会, 2008年制定)に基づく安全係数を適用した耐震評価を実施している。

本項では、鋼・合成構造標準示方書の各杭基礎構造物の鋼管杭への適用性を確認するとともに、鋼・合成構造標準示方書に基づき適用した安全係数の妥当性について確認する。

1. 各規格・基準の適用性の確認

表1-1に鋼構造物に関する各規格・基準における適用範囲・対象構造物及び安全係数設定の有無の整理結果を示す。今回工認における各杭基礎構造物の鋼管杭は、表1-1に示す鋼・合成構造標準示方書[耐震設計編](社)土木学会, 2008年制定)における「一般の鋼構造物」「電力施設」、鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物(鉄道総合技術研究所, 2012年)における「杭基礎」及び道路橋示方書(I共通編・IV下部構造編)・同解説(日本道路協会, 平成14年3月)における「杭基礎」に該当するため、これらの規格・基準のいずれについても適用性は高いと判断できる。

また、鋼・合成構造標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説では、限界状態設計法による耐震性能照査を原則とし、照査においては各安全係数を用いることとされる。一方、道路橋示方書では、限界状態設計法による耐震性能照査における安全係数の設定はなされていない。以上のことから、「2. 鋼・合成構造標準示方書に基づき設定した安全係数の妥当性の確認」において、鋼・合成構造標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説の安全係数を比較することで、鋼・合成構造標準示方書による安全係数を適用することの妥当性を確認する。

表 1-1 鋼構造物に関する規格・基準の整理

規格・基準	規格・基準の適用範囲・対象構造物	安全係数の設定
鋼・合成構造標準示方書 [耐震設計編] (社)土木学会, 2008年制定)	一般の鋼構造物, 合成桁, 及び合成柱について適用する。なお, 港湾構造物, 河川構造物, 電力施設なども対象に含まれる。	設定あり
鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物 (鉄道総合技術研究所, 2012年)	鉄道の橋梁, 高架橋, 橋台, 擁壁, 杭基礎等を対象とする。	設定あり
道路橋示方書(I共通編・IV下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月)	橋げた及びその下部構造(橋台, 橋脚, 直接基礎, ケーソン基礎, 杭基礎, 鋼管矢板基礎, 地中連続壁基礎)に適用する。	設定なし

2. 鋼・合成構造標準示方書に基づき設定した安全係数の妥当性の確認

鋼・合成構造標準示方書により設定した安全係数を、鉄道構造物等設計標準・同解説の安全係数と比較することで、その妥当性について確認する。

表 2-1 設定した安全係数の妥当性確認結果

鋼・合成構造標準示方書により設定した安全係数			鉄道構造物等設計標準・同解説による安全係数	安全係数の妥当性確認結果
材料係数	γ_m	1.0	1.05	比較対象とした文献による安全係数の方がわずかに大きい。
部材係数	γ_b	1.1	1.0~1.15	比較対象とした文献による安全係数は幅をもった設定となっているが、平均的にはおおむね同様の数値である。
荷重係数	γ_f	1.0	1.0	同様の安全係数である。
構造解析係数	γ_a	1.05	1.0	鋼・合成構造標準示方書による安全係数の方がわずかに大きい。
構造物係数	γ_i	1.0	1.0	同様の安全係数である。

表 2-1 に示すとおり、2つの規格・基準を比較した結果、材料係数 γ_m と構造解析係数 γ_a について明確な大小関係を確認したことから、これによる鋼管杭の照査への影響を確認した。

具体的には、鋼管杭のせん断照査では、材料係数 γ_m で1.05を考慮しても構造解析係数 γ_a で1.05を考慮しても照査値は同じになることから、曲げ軸力照査を対象とし、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）のうち、キャスク指針により設定した許容限界である終局曲率に対する曲げ軸力照査値が最も厳しい常設代替交流電源設備基礎に対し、鉄道構造物等設計標準・同解説による安全係数（材料係数 γ_m :1.05、構造解析係数 γ_a :1.0）を適用した照査を実施し、その大小関係を表 2-2 に比較した。

表 2-2 鋼管杭の照査の影響確認結果

解析断面	今回の工事計画認可申請における曲げ軸力最大照査値* (鋼・合成構造標準示方書)	鉄道構造物等設計標準・同解説による安全係数を用いた照査値
常設代替交流電源設備基礎 (EW断面)	0.85	0.81

注記* : キャスク指針により設定した許容限界である終局曲率に対する曲げ軸力照査の最大値

鋼・合成構造標準示方書と鉄道構造物等設計標準・同解説による安全係数のうち、材料係数 γ_m と構造解析係数 γ_a による照査値への影響を確認した結果、鋼・合成構造標準示方書の安全係数を適用した場合が保守的な評価結果となった。

以上の検討により、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の鋼管杭の照査に対し、鋼・合成構造標準示方書による安全係数を用いる事は妥当であると判断した。

なお、鋼・合成構造標準示方書については、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の取水構造物の耐震評価において適用実績のある規格・基準である。

(参考資料2) ジョイント要素のばね定数の妥当性確認結果について

1. 概要

「7. ジョイント要素のばね設定について」に示すとおり、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大きい値として、港湾構造物設計事例集（上巻）（沿岸技術研究センター，平成19年3月）に従い，表1-1の通り設定する。

本項では，表1-1の通り設定しているジョイント要素のばね定数が，数値計算上不安定な挙動を起こさず，かつ，地盤から構造物への圧縮荷重，せん断荷重が確実に伝達され得る適切な設定値であることを確認する。

表1-1 ジョイント要素のばね定数

せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
1.0×10^6	1.0×10^6

2. 評価方法

表1-1の通り設定している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ず，かつ，地盤から構造物への圧縮荷重，せん断荷重が確実に伝達され得る適切な設定値であるかを確認するため，ジョイント要素のばね定数について影響評価を実施する。具体的には，今回の工事計画認可申請にて，港湾構造物設計事例集（上巻）（沿岸技術研究センター，平成19年3月）に従い設定しているジョイント要素のばね定数に対して，ばね定数の値を1/100倍，1/10倍，1倍，10倍，100倍とした場合の解析を実施し，構造物の照査値，地盤と構造物の接合面における剥離・すべり量及び構造物位置での応答加速度の比較を行う。

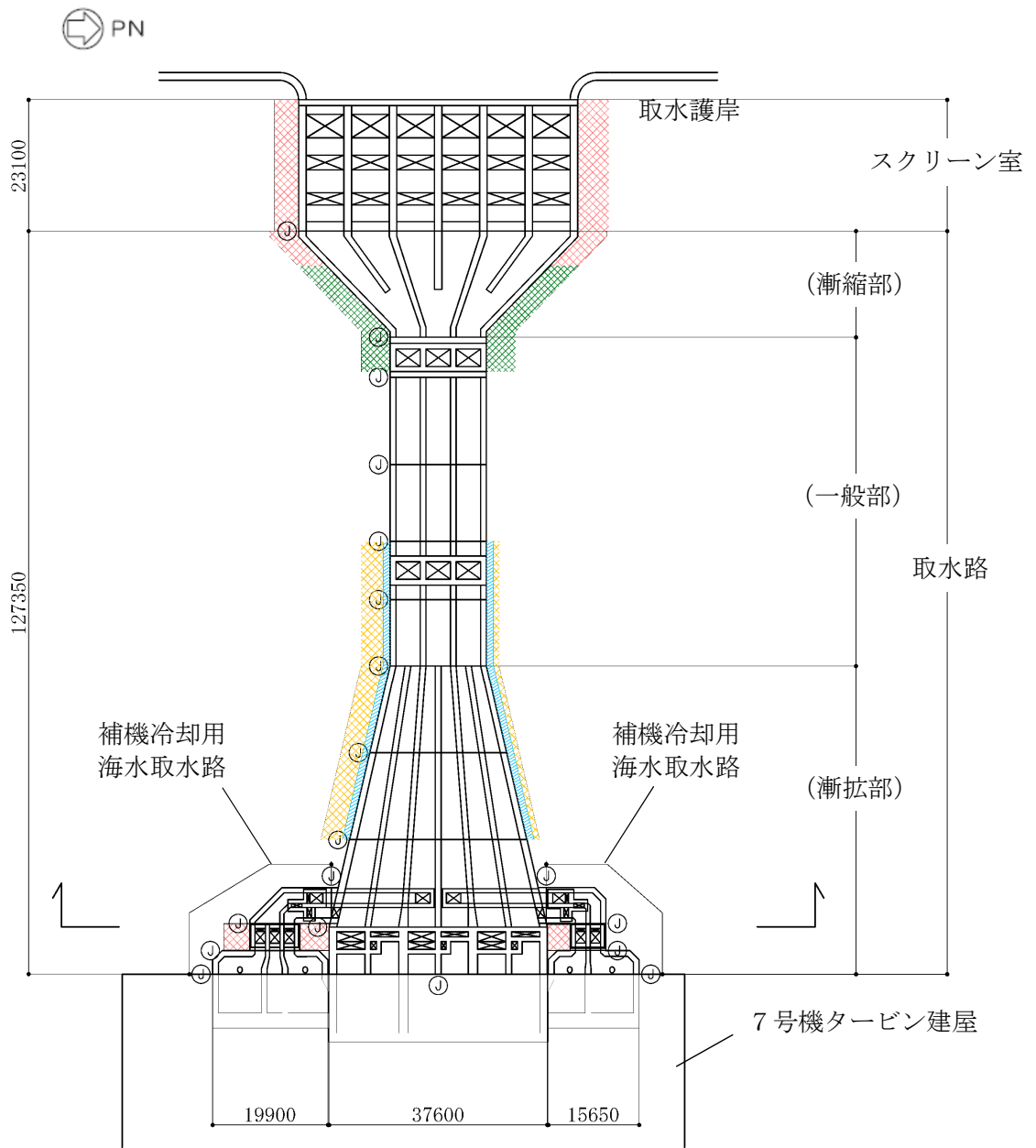
評価対象とする構造物は，屋外重要土木構造物において躯体の断面形状が比較的大きく，地盤と構造物の接合面で多数のジョイント要素を設けており，ジョイント要素のばね定数の設定値による影響を生じやすいと考えられる取水路（漸拡部）とする。解析ケースは基本ケース①とし，地震動は，全周期帯で加速度応答スペクトルが大きいSs-1++を用いる。

表2-1にジョイント要素のばね定数に係る影響評価の検討ケース，図2-1に取水路（漸拡部）の平面図，図2-2に断面図，図2-3にジョイント要素の配置図をそれぞれ示す。

表2-1 検討ケース

検討ケース	ジョイント要素のばね定数 (kN/m ³)
1	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^4$
2	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^5$
3	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^6$
4	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^7$
5	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^8$

注： k_s ：せん断剛性， k_n ：圧縮剛性

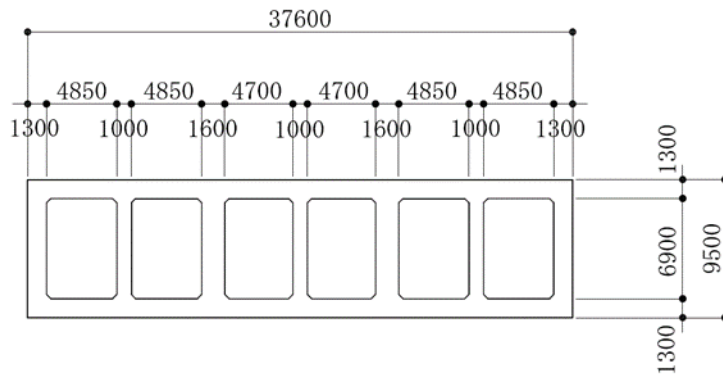
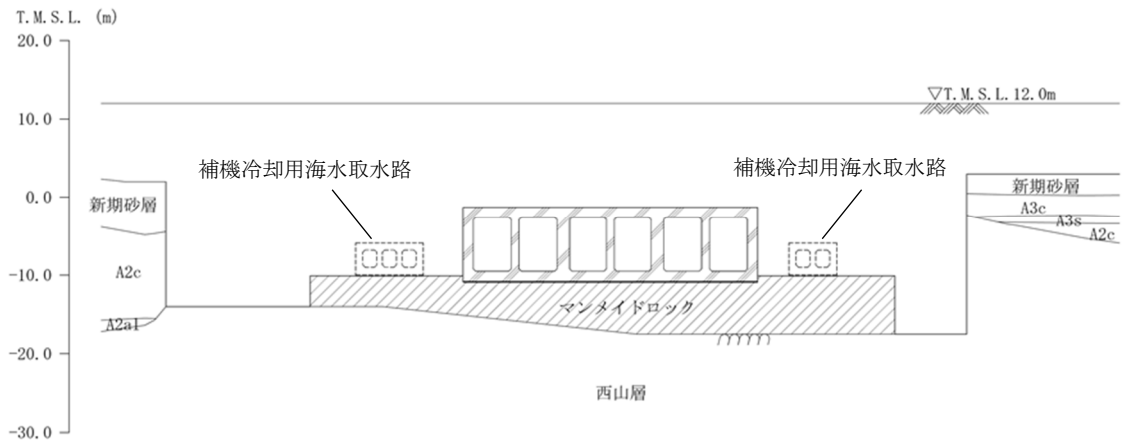


(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 2-1 取水路（漸拡部）の平面図



(単位：mm)

図 2-2 取水路（漸拡部）の断面図

— : ジョイント要素

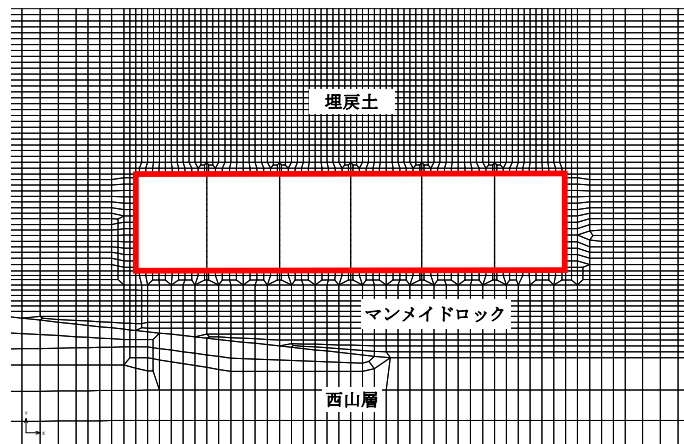


図 2-3 ジョイント要素の配置図

3. 評価結果

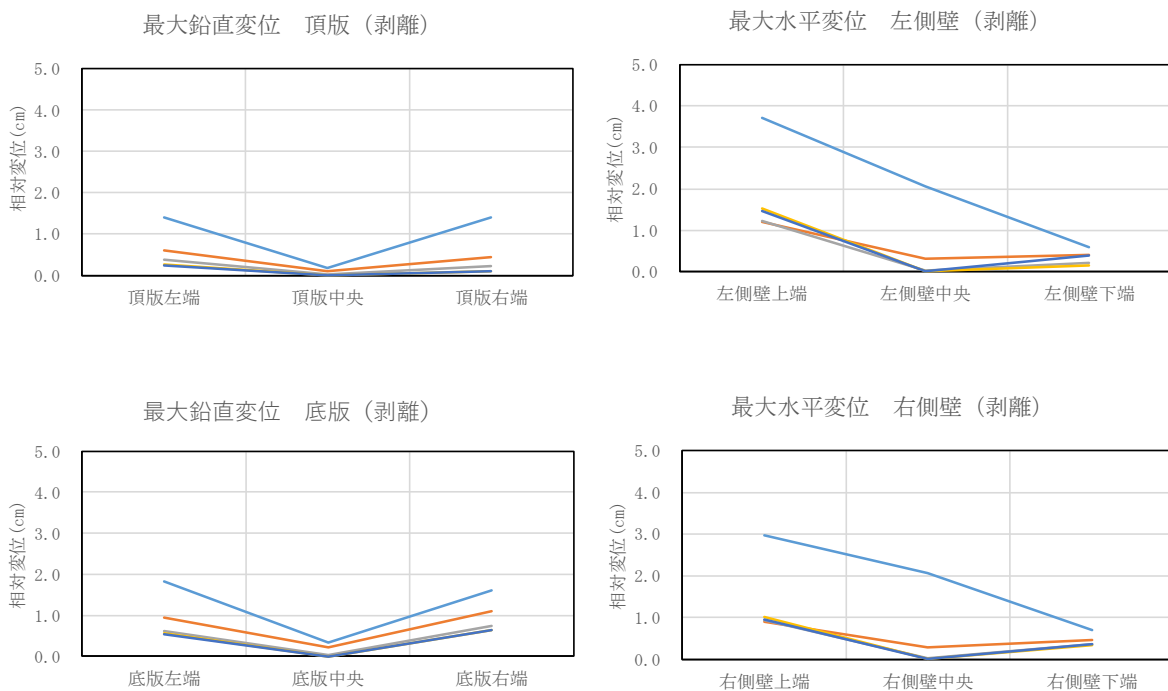
ジョイント要素のばね定数の設定値と、各設定値に対する取水路（漸拡部）の構造物の照査値（曲げ軸力照査値及びせん断力照査値）の比較結果を表3-1に、地盤と構造物の接合面における剥離・すべり量の比較結果を図3-1に、構造物位置における加速度応答スペクトルの比較結果を図3-2に示す。

表3-1に示すとおり、曲げ軸力及びせん断力照査ともに、ジョイント要素のばね定数 $1.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^8$ (kN/m³) の設定の範囲において、大きな差は無くほぼ一定の照査値に収束している。図3-1に示すとおり、ばね定数 1.0×10^5 (kN/m³) 以上の設定において、剥離・すべり量に大きな差は無い。図3-2に示すとおり、ばね定数 1.0×10^6 (kN/m³) 以上の設定において、加速度応答スペクトルに大きな差は無い。以上の結果から、港湾構造物設計事例集（上巻）（沿岸技術研究センター，平成19年3月）に従い表1-1の通り設定している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大きい値となっており、地盤から構造物への圧縮荷重、せん断荷重が確実に伝達され得る適切な設定値であることを確認した。

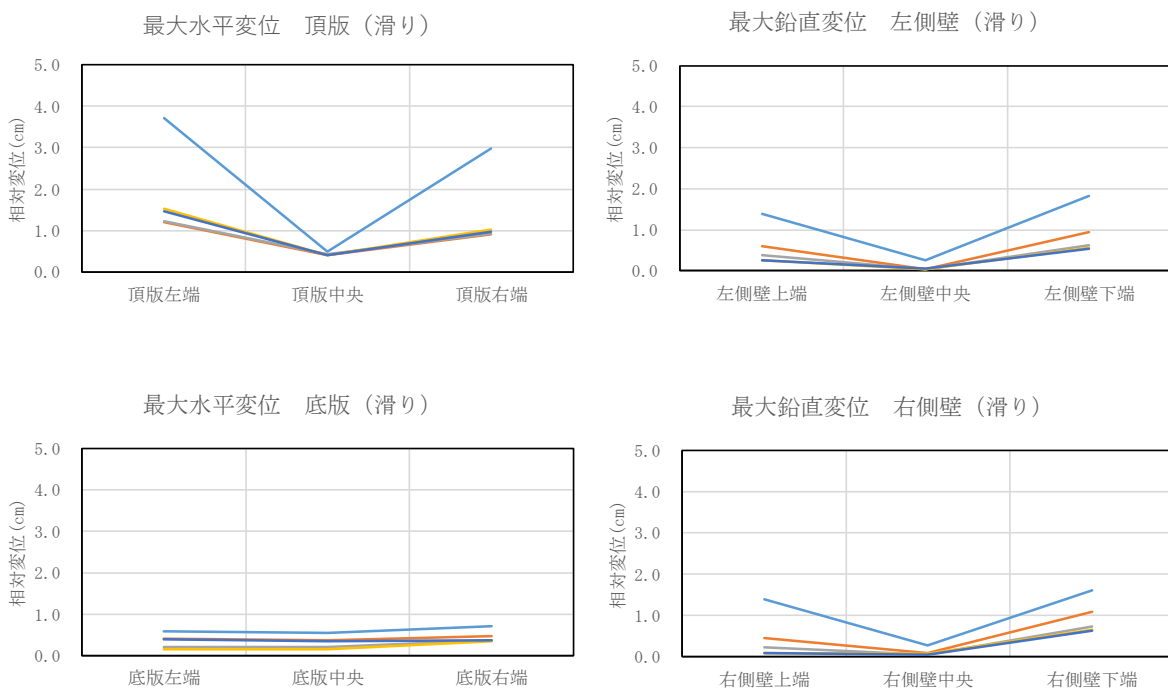
表3-1 構造物の照査値の比較結果（基本ケース①，Ss-1++）

検討ケース	ジョイント要素のばね定数 (kN/m ³)	曲げ軸力照査値	せん断力照査値*
1	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^4$	0.51	1.16
2	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^5$	0.52	1.15
3	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^6$	0.50	1.14
4	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^7$	0.48	1.13
5	$k_s = k_n = 1.0 \times 10^8$	0.48	1.13

注記* : 部材非線形解析の結果を示す。



(a) 剥離量



(b) すべり量

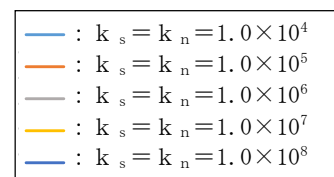
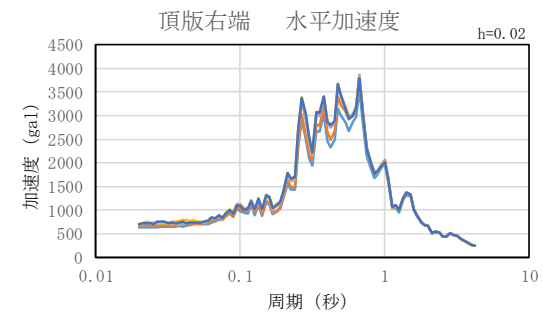
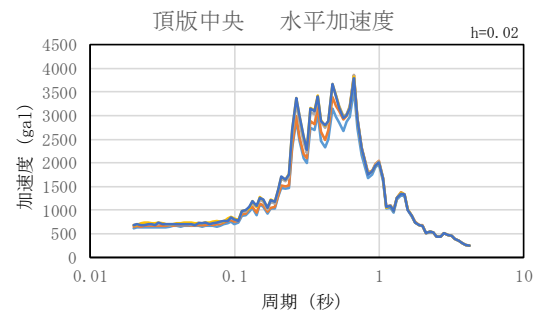
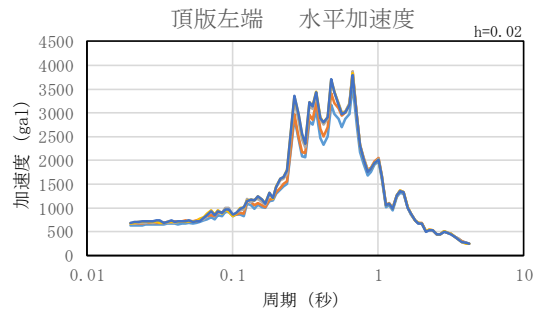
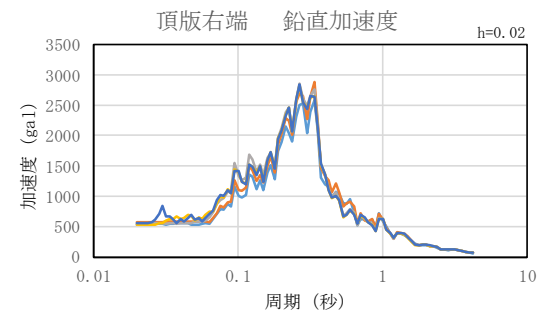
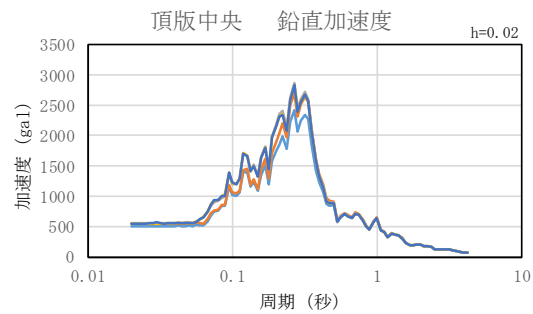
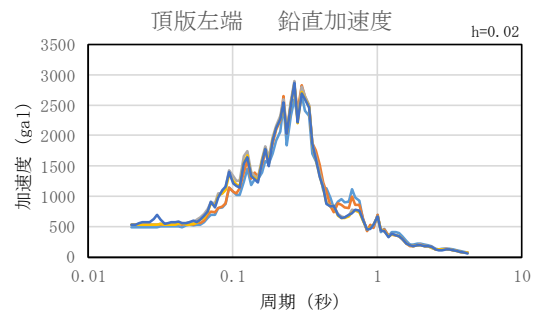


図 3-1 地盤と構造物の接合面における剥離・すべり量の比較



(a) 水平



(b) 鉛直

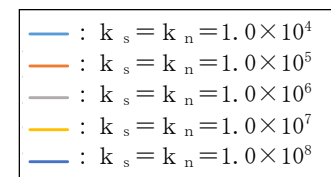


図 3-2 構造物位置における加速度応答スペクトルの比較

(参考資料3) 地震応答解析における構造物の減衰定数について

1. 概要

地震応答解析における構造物の減衰については、履歴減衰と粘性減衰を考慮している。履歴減衰による減衰は、構造物の非線形性の程度に応じた値となる。

一方、粘性減衰による減衰は、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される Rayleigh 減衰にて与える。Rayleigh 減衰の減衰マトリックス ($[C]$) は、質量マトリックス ($[M]$) 及び剛性マトリックス ($[K]$) の線形結合で表される。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] \quad (\text{式1})$$

ここで、
[C]：減衰マトリックス
[M]：質量マトリックス
[K]：剛性マトリックス
 α ， β ：係数

屋外重要土木構造物は地中埋設構造物であることから、地震応答解析における減衰の影響は、地盤の減衰に支配され、構造物の減衰定数による影響は小さいと考えられる。そのため、柏崎刈羽原子力発電所7号機の屋外重要土木構造物の工事計画認可申請における構造物の Rayleigh 減衰の設定は、KK7 補足-024-1「工事計画に係る説明資料（地盤の支持性能について）」に示す新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析の結果から、地盤と同様に Rayleigh 減衰として $\alpha = 0$ ， $\beta = 0.005$ を適用する。

本項では、上記に示す構造物の Rayleigh 減衰の設定の妥当性について確認する。

2. 確認方法

構造物の Rayleigh 減衰設定の妥当性確認は、各規格・基準との比較を基本とし、必要に応じて感度解析により行う。

3. 確認結果

3.1 各規格・基準に示される減衰定数

屋外重要土木構造物の地震応答解析における構造モデルは、鉄筋コンクリート（非線形）、鉄筋コンクリート（線形）及び鋼管杭（非線形）に分けられる。

図 3-1 に示すとおり、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（日本道路協会、平成 24 年 3 月）では、鉄筋コンクリート（非線形）の減衰定数として 2%、鋼管杭（非線形）の減衰定数として 1%とされる。また、図 3-2 に示すとおり、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（日本電気協会）では、鉄筋コンクリート（線形）の減衰定数として 5%とされる。

表-解7.3.1 各構造要素の減衰定数の標準値

構造部材	線形部材としてモデル化する場合		非線形履歴によるエネルギー吸収を別途考慮するモデルを用いる場合	
	鋼構造	コンクリート構造	鋼構造	コンクリート構造
上部構造	0.02 (ケーブル:0.01)	0.03	-	
弾性支承	0.03 (使用する弾性支承の実験より得られた等価減衰定数)		-	
免震支承	有効設計変位に対する等価減衰定数		0	
橋脚	0.03	0.05	0.01: コンクリートを充てんしない場合 0.02: コンクリートを充てんする場合	0.02
基礎	0.1: I種地盤上の基礎及び II種地盤上の直接基礎 0.2: 上記以外の条件の基礎		-	

図 3-1 鉄筋コンクリート（非線形）及び鋼管杭（非線形）の減衰定数
(道路橋示方書に一部加筆)

表 5.2.2-5 減衰定数

構造形式	減衰定数 h (弾性範囲)
鉄筋コンクリート構造物	5%
PCCV	3%
鋼製格納容器	1%
建屋鉄骨構造物	2%
ボルト及びリベット接合構造物	2%

図 3-2 鉄筋コンクリート（線形）の減衰定数
(J E A G 4 6 0 1-1987 に一部加筆)

3.2 各規格・基準から算定した係数 β との比較

各規格・基準から算定した係数 β と屋外重要土木建造物の地震応答解析において設定している係数 $\beta=0.005$ の比較を行う。

(式1)に示す剛性マトリックス[K]の係数 β については、(式2)に示すとおり、各材料の減衰定数と各地震応答解析モデルの固有値解析により求められた一次固有振動数から算定される。

$$\beta = h / \pi f \quad (\text{式2})$$

ここで、 β : 減衰マトリックスにおける剛性マトリックスの係数

h : 各材料の減衰定数

f : 固有値解析により求められた一次固有振動数

表3-1に、「3.1各規格・基準に示される減衰定数」に示した各材料の減衰定数と各地震応答解析モデルの固有値解析により求められた一次固有振動数から算定した係数 β を示す。表3-1に示すとおり、屋外重要土木建造物の地震応答解析において設定している係数 $\beta=0.005$ に対し、鉄筋コンクリート（非線形）及び鉄筋コンクリート（線形）の各規格・基準に示される減衰定数から算定した係数 β は、同等もしくは大きいことから、地震応答解析において係数 $\beta=0.005$ を用いることは妥当である。一方、鋼管杭（非線形）については、各規格・基準に示される減衰定数から算定した係数 β が小さな値となることから、鋼管杭（非線形）の係数 β に関する感度解析を実施する。

表 3-1 各規格・基準に示される減衰定数から算定した係数 β

解析断面	一次固有振動数 f (Hz)	係数 β		
		鉄筋コンクリート (非線形) [h=0.02]	鉄筋コンクリート (線形) [h=0.05]	鋼管杭 (非線形) [h=0.01]
スクリーン室	1.329	0.005	—	—
取水路 (漸縮部)	1.274	0.005	—	—
取水路 (一般部)	1.146	0.006	—	—
取水路 (漸拡部)	1.252	0.005	—	—
軽油タンク基礎 (NS)	1.281	—	0.012	0.002
軽油タンク基礎 (EW)	1.299	—	0.012	0.002
燃料移送系配管ダクト (NS : 原子炉建屋側)	1.272	0.005	—	0.003
燃料移送系配管ダクト (NS : 軽油タンク基礎側)	1.284	0.005	—	0.002
燃料移送系配管ダクト (EW)	1.309	—	0.012	0.002
第一ガスタービン発電機基礎 (NS)	1.235	—	0.013	0.003
第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 (NS)	1.212	—	0.013	0.003
第一ガスタービン発電機/発電機用燃料タンク基礎 (EW)	1.222	—	0.013	0.003
6号機軽油タンク基礎 (NS)	1.309	—	0.012	0.002
6号機軽油タンク基礎 (EW)	1.285	—	0.012	0.002

注： 補機冷却用海水取水路については取水路 (漸拡部) と同等の一次固有振動数と考えられるため省略
 : 6号機取水路については取水路と同等の一次固有振動数と考えられるため省略

3.3 鋼管杭（非線形）の係数 β に関する感度解析

「3.2 各規格・基準から算定した係数 β との比較」に示すとおり、鋼管杭（非線形）については、屋外重要土木構造物の地震応答解析において設定している係数 $\beta=0.005$ に対し、各規格・基準に示される減衰定数から算定した係数 β が小さな値となることから、鋼管杭（非線形）の係数 β に関する感度解析を実施する。

感度解析は、解析断面上で鋼管杭の本数が最も多い軽油タンク基礎のEW断面を対象とする。解析ケースは①（基本ケース）、地震動は屋外重要土木構造物の耐震評価への影響が大きい基準地震動Ss-1とし、鋼管杭（非線形）の係数 β を表3-1に示す各規格・基準に示される減衰定数から算定した係数 $\beta=0.002$ に変更した感度解析結果と、今回の工事計画認可申請で適用している係数 $\beta=0.005$ の解析結果を比較する。

表3-2に鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力照査の感度解析結果を示す。表3-2に示すとおり、各規格・基準に示される減衰定数から算定した係数 $\beta=0.002$ と今回の工事計画認可申請で適用している鋼管杭（非線形）の係数 $\beta=0.005$ を適用した場合で、鋼管杭の曲げ軸力及びせん断力照査結果は変わらないことから、構造物の減衰定数の設定が耐震評価に与える影響は軽微である。

以上のことから、地中埋設構造物である屋外重要土木構造物の地震応答解析において、新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析の結果から、構造物のRayleigh減衰として地盤と同様に係数 $\alpha=0$ 、 $\beta=0.005$ を設定することは妥当である。

表3-2 (1/2) 感度解析結果（鋼管杭の曲げ軸力照査 軽油タンク基礎_EW断面）

検討ケース	係数 β	照査用曲率* ϕ_d (1/m)	終局曲率 ϕ_u (1/m)	照査値 ϕ_d/ϕ_u
	鋼管杭 (非線形)			
感度解析	0.002	2.98×10^{-3}	1.50×10^{-2}	0.20
既往解析	0.005	2.94×10^{-3}	1.50×10^{-2}	0.20

注記* : 照査用曲率 ϕ_d =発生曲率×構造解析係数 γ_a

表3-2 (2/2) 感度解析結果（鋼管杭のせん断力照査 軽油タンク基礎_EW断面）

検討ケース	係数 β	照査用 せん断力* Q_d (kN)	終局 せん断耐力 Q_u (kN)	照査値 Q_d/Q_u
	鋼管杭 (非線形)			
感度解析	0.002	742	1977	0.38
既往解析	0.005	740	1977	0.38

注記* : 照査用せん断力 Q_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

(参考資料 4) 追加解析ケースの選定方法の詳細について

1. 概要

「9. 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。

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。



図 2-2 追加解析ケース選定方法の概念図

(参考資料 5) 鋼管杭の照査に係るキャスク指針の適用性について

屋外重要土木構造物のうち、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の鋼管杭においては、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規定 J E A C 4 6 1 6 -2009（日本電気協会）（以下「キャスク指針」という。）により設定した許容限界（終局曲率，せん断耐力）に対する耐震評価を実施している。

本項では、キャスク指針の軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）（以下「各杭基礎構造物」という。）における鋼管杭への適用性を確認する。

1. キャスク指針の適用性の確認

キャスク指針における「第1編 総則」には、その適用範囲が以下のように記載されている。各記載に対して、杭基礎構造物への適用性を確認する。

(1) 対象とする建屋

本規程は、「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」（原子力安全委員会）（以下、「貯蔵施設安全審査指針」という。）で規定される使用済燃料貯蔵施設における中間貯蔵建屋（以下、「中間貯蔵建屋」という。）の基礎構造の設計に適用する。

【解 説】

また、本規程の技術的な内容は、建物の重量、剛性等の構造特性が同等の他の施設の基礎構造の設計において参考にすることができる。

各杭基礎構造物は、中間貯蔵建屋と同じく基準地震動 S_s に対して設計された鉄筋コンクリート構造物であることから、その基礎構造の設計において、キャスク指針を参考にできると考える。

(2) 対象とする基礎形式

本規程で対象とする基礎形式は、杭基礎、及び直接基礎の2種類とする。何れの基礎形式においても、支持地盤としては、基準地震動 S_s に対して液状化の恐れがなく、中間貯蔵建屋を構造耐力上安全に支持し得る地盤を選定する。

【解 説】

基準地震動 S_s に対して液状化の恐れがなく、中間貯蔵建屋を構造耐力上安全に支持しうる地盤としては、地質時代区分の観点から見ると、第三紀の地盤又は第三紀より古期の地盤・岩体、及び第四紀の地盤（十分な支持力のある更新統）が相当する。

各杭基礎構造物は、新第三系（西山層）を支持地盤とした杭基礎構造であることから、キャスク指針の適用範囲内であると考えられる。

また、「第2編 杭基礎の設計」には、その設計対象となる杭基礎及び上部構造の要求性能が以下のように記載されている。これらの要求性能について各杭基礎構造物との比較を行うことで、本規格、基準の適用性を確認する。各杭基礎構造物の要求性能比較結果を表 1-1 に示す。

表 1-1 各杭基礎構造物の要求性能

各構造 部位	基準地震動 S _s 加振時における要求性能		
	・使用済燃料 乾式貯蔵建屋	・軽油タンク基礎 ・燃料移送系配管ダクト	・常設代替交流電源設備基礎 ・軽油タンク基礎 (6号機設備)
上部 構造	金属キャスクの基本的安全機能に影響を与えない。	S クラス施設の間接支持機能	S A 施設の間接支持機能
杭基礎	S _s 地震時荷重に対する支持機能を保持する。	上部構造の支持機能	上部構造の支持機能

杭基礎の要求性能は、上部構造からの荷重を支持岩盤に伝達する支持機能であるが、上部構造の要求性能を踏まえ、キャスク指針には以下の記載がある。

<p>1.4 設計の基本方針</p> <p>1.4.1 設計の考え方と手順</p> <p>(1) 設計の考え方</p> <p>中間貯蔵建屋の機能に支障を生じさせないため、有害な沈下、傾斜を起こさず、杭基礎の支持機能が保持されるように設計する。</p> <p>【解説】</p> <p>杭基礎は、長期荷重と地震時に作用する荷重などの組合せに対して、中間貯蔵建屋を安全に支持し、金属キャスクの建屋への搬入時、建屋内での移動時、貯蔵時、建屋からの搬出時などにおいて、除熱、遮へい、貯蔵という中間貯蔵建屋の機能に対して、有害な沈下、傾斜などを起こさないように設計する。</p>

一方で、杭基礎構造物における上部構造の要求性能（S クラス施設または S A 施設の間接支持機能）に対しては、上部構造（鉄筋コンクリート部材）の応力状態（損傷程度）による影響が支配的であり、杭基礎の沈下、傾斜が有意な影響を及ぼすとは考えにくい。

以上の考察より、中間貯蔵建屋の杭基礎に求められる要求性能は、各杭基礎構造物に求められる要求性能よりも、より高いものであると判断した。

2. 先行実績の確認

キャスク指針については、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の取水構造物における鋼管杭の耐震評価において適用実績がある。東海第二発電所の取水構造物についても、「(1). キャスク指針の適用性の確認」に示す確認項目を満たし、キャスク指針の適用範囲内であることが確認されている。

以上のことから、各杭基礎構造物における鋼管杭の照査に対し、キャスク指針を適用することは、評価対象施設の要求性能の観点においては、より保守的な扱いであると判断し、これをもって、各杭基礎構造物における鋼管杭の照査に係るキャスク指針の適用性を確認した。

(参考資料6) 軽油タンク基礎，常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）に対する土木学会マニュアルの適用性について

軽油タンク基礎，常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）における鉄筋コンクリート部材の耐震評価では，「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年）」（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき算定した限界ひずみ及びせん断耐力を許容限界としている。

本項では，土木学会マニュアルの軽油タンク基礎，常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の鉄筋コンクリート部材への適用性を確認する。

1. 土木学会マニュアルの適用性の確認

土木学会マニュアルにおける「第1章 総則」には，その適用範囲が以下のように記載されている。

1.1 適用の範囲

(1) 本指針は，地震時における原子力発電所屋外重要土木構造物の性能照査に適用する。

(2) 本指針で取り扱う原子力発電所屋外重要土木構造物とは，

①耐震重要度分類におけるAsクラスの機器・配管を支持する鉄筋コンクリート構造物

②耐震重要度分類におけるAクラスの機器・配管を支持する鉄筋コンクリート構造物

③機器・配管を支持しないが，①と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をいう。

軽油タンク基礎，常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）は，Sクラス施設若しくはSA施設を間接支持する鉄筋コンクリート構造物である。これらの構造物は，昭和56年耐震設計審査指針によるAsクラスを含むAクラスの施設をSクラスの施設と読み替えた場合，上記適用の範囲のうち「①耐震重要度分類におけるAsクラスの機器・配管を支持する鉄筋コンクリート構造物」及び「②耐震重要度分類におけるAクラスの機器・配管を支持する鉄筋コンクリート構造物」に該当するため，土木学会マニュアルの適用範囲内であると考えられる。

2. 先行審査実績の確認

先行審査の中で土木学会マニュアルを適用し耐震評価を行った構造物と、軽油タンク基礎、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の構造を比較し、軽油タンク基礎、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）への土木学会マニュアルの適用性を確認する。

2.1 東海第二発電所 取水構造物（日本原子力発電株式会社）

東海第二発電所の取水構造物は、鉄筋コンクリート造のボックスカルバートが鋼管杭によって支持される構造であり、鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界の設定に、土木学会マニュアルを適用している。

柏崎刈羽原子力発電所の軽油タンク基礎の断面図を図 2-1 に、常設代替交流電源設備基礎の断面図を図 2-2 に、軽油タンク基礎（6号機設備）の断面図を図 2-3 に示す。柏崎刈羽原子力発電所のこれらの構造物は、東海第二発電所の取水構造物と同様に、鉄筋コンクリート造の構造物が鋼管杭によって支持されている。そのため、これらの鉄筋コンクリート部材の耐震評価に土木学会マニュアルを適用することは、東海第二発電所取水構造物の鉄筋コンクリート部材の耐震評価に土木学会マニュアルを適用することと同義である。

以上より、柏崎刈羽原子力発電所の軽油タンク基礎、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の鉄筋コンクリート部材に対して、土木学会マニュアルの適用が可能であると考えられる。

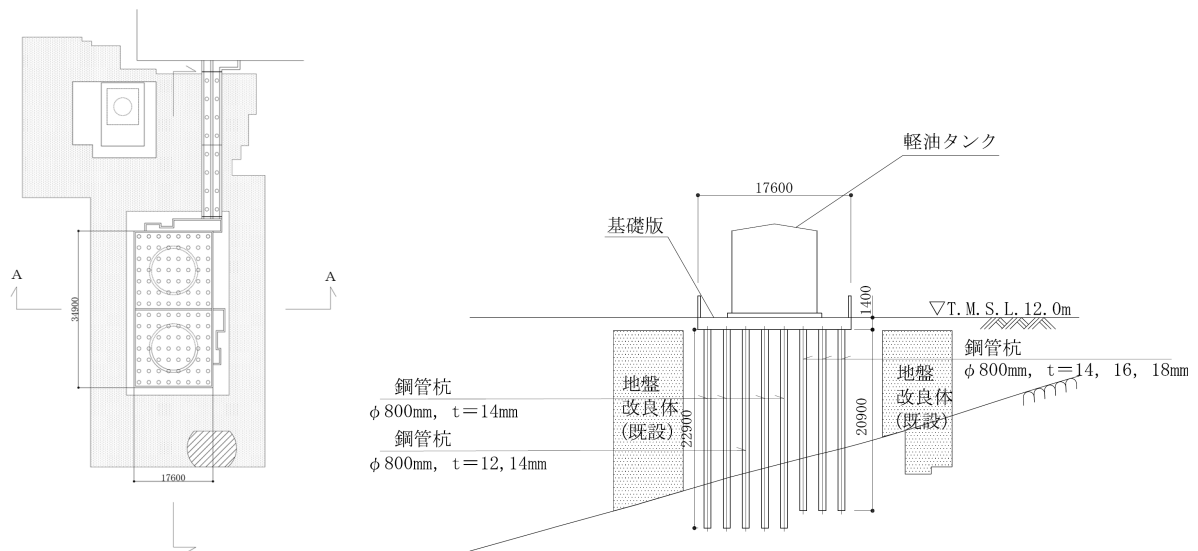


図 2-1 軽油タンク基礎の断面図（A-A断面）

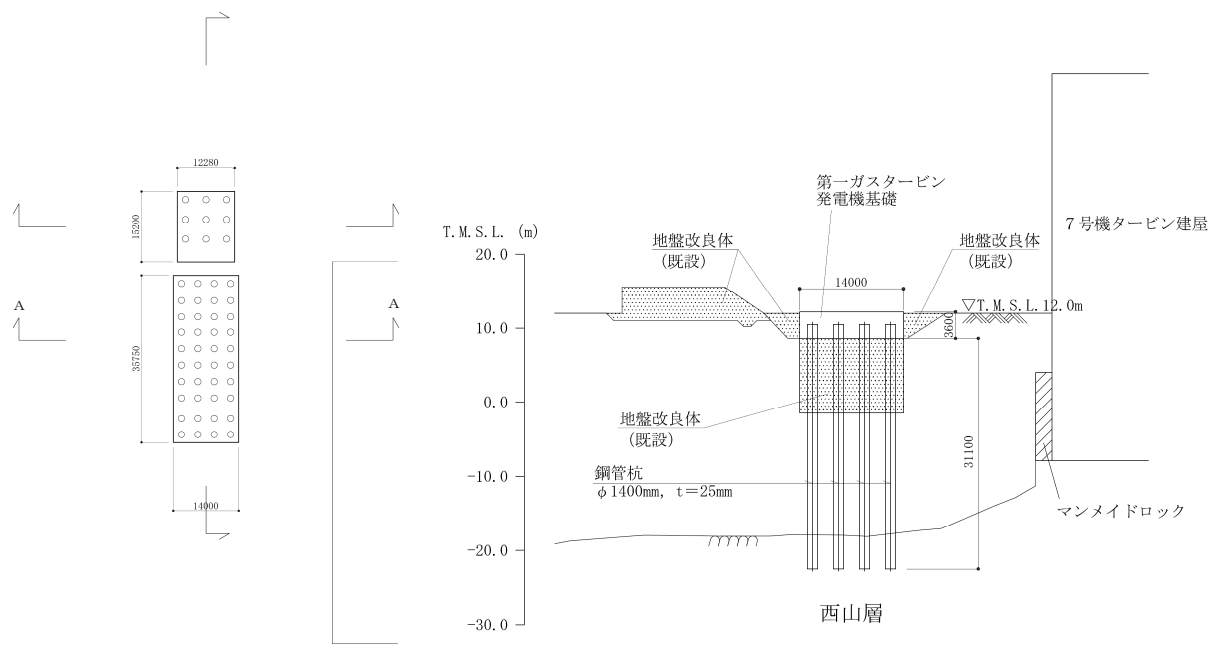


図 2-2 常設代替交流電源設備基礎の断面図 (A-A断面)

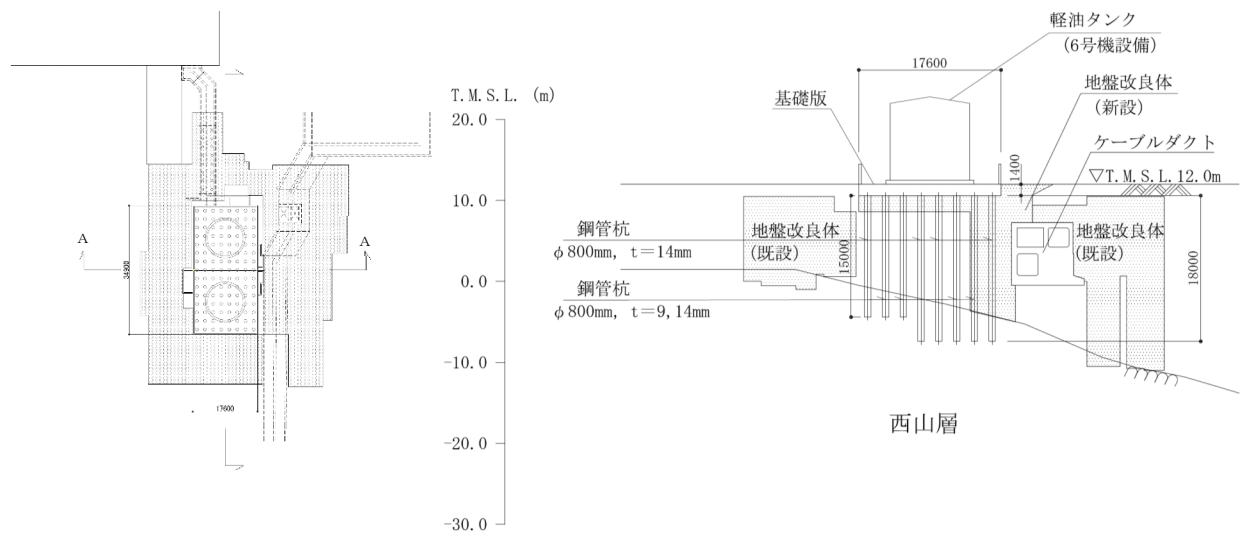


図 2-3 軽油タンク基礎 (6号機設備) の断面図 (A-A断面)

(参考資料7) 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査の手順について

スクリーン室、取水路、燃料移送系配管ダクト、スクリーン室（6号機設備）及び取水路（6号機設備）の鉄筋コンクリート部材のせん断力照査に用いるせん断耐力式には、時々刻々と変化する構造部材に発生する曲げモーメントや軸力の項が含まれていること、及びせん断力照査位置についても変化的ことから、以下の手順にてせん断力照査を実施する。また、せん断力照査に用いるプログラムの概要を別紙「せん断力照査プログラムの概要」に示す。

① 断面力の抽出

対象とする構造物の照査対象部材の全時刻の断面力（曲げモーメント、軸力及びせん断力）を抽出する。

② 全時刻に対する各部材のせん断力照査

①で抽出した全時刻の断面力分布に基づき、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（(社)土木学会、2005年）に基づき等価せん断スパンを考慮したせん断耐力照査を実施する。照査は、解析出力の全時刻について実施する。

③ せん断力照査結果

②で実施した各構造部材のせん断力照査のうち、最も照査値が大きくなる時刻のせん断力照査結果を一覧表として取り纏める。

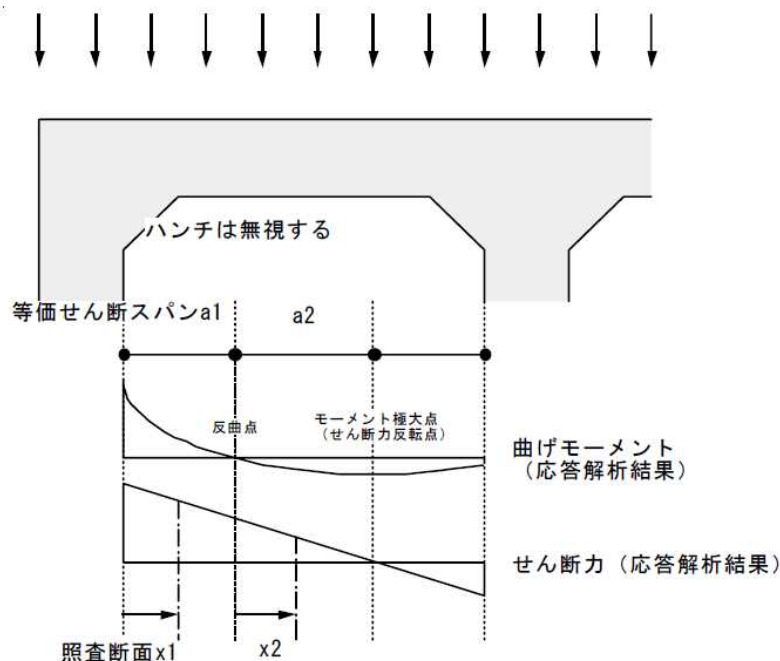


図-1 等価せん断スパンの設定方法

(土木学会マニュアルより引用)

なお、鉄筋コンクリート部材を積層シェル要素でモデル化し、耐震評価を行う補機冷却用海水取水路、軽油タンク基礎、常設代替交流電源設備基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の照査時刻の選定方法については、各構造物の補足説明資料にて説明する。

(参考資料 7 別紙)

せん断力照査プログラムの概要

参考資料 7 別紙 せん断力照査プログラム

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-20	燃料移送系配管ダクトの耐震性についての計算書	Ver. 4
V-2-10-3-1-4	スクリーン室の耐震性についての計算書	Ver. 4
V-2-10-3-1-5	スクリーン室（6号機設備）の耐震性についての計算書	Ver. 4
V-2-10-3-1-6	取水路の耐震性についての計算書	Ver. 4
V-2-10-3-1-7	取水路（6号機設備）の耐震性についての計算書	Ver. 4

2. 解析コードの概要

項目	コード名	せん断力照査プログラム
使用目的		等価せん断スパンを考慮した鉄筋コンクリート部材のせん断耐力算定および時刻歴照査
開発機関		東電設計
開発時期		2014年
使用したバージョン		Ver. 4
コードの概要		<p>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)の「6.3 耐震性能照査 2-せん断破壊に対する照査」, 「6.3.2 せん断耐力評価式」及び「6.3.3 分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法」に則り鉄筋コンクリート部材のせん断耐力を算定し, せん断力照査を行うコードである。主な特徴は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・全解析時刻について, 照査を行う。 ・各時刻の曲げモーメント分布から部材内の等価せん断スパン, 照査位置における断面諸元及び照査用断面力を求め, 全解析時刻の照査を行う。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)		<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによるせん断耐力の算定結果と, 解析コード FLIP を用いた地震応答解析からテキスト出力した断面力及び断面諸元から算定したせん断耐力の算定結果が一致することを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードでの評価結果は, 既工事計画認可申請において適用性が認められている「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(2005)」に基づき算定したせん断耐力と一致することを確認している。

3. 照査フロー及びプログラム概要

照査フローを図 3-1 に示す。同図に示すとおり，せん断力照査プログラムは，2 つのプログラムによって構成されている。

プログラム mnq_hokan は，照査部材を構成する梁要素を選定し，この梁要素の断面力を抽出する機能を有する。

プログラム sendan は，全時刻歴において，部材軸方向の断面力を梁要素の重心座標を用いて線形補間し部材軸方向の断面力分布を求め，これから等価せん断スパンを設定した後，各せん断スパンにおけるせん断力照査位置と同位置における断面力及び照査断面位置における断面諸元（部材厚，有効高，主鉄筋量及びせん断補強筋量）を抽出し，これらを用いて「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査マニュアル・同解説，土木学会原子力土木委員会（2005）」（以下，「土木学会マニュアル」という。）に準拠しせん断耐力を算定するものである。

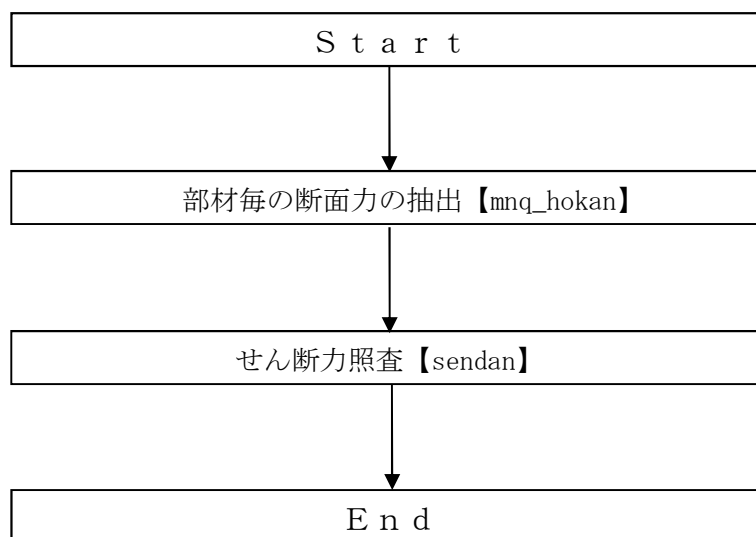


図 3-1 照査フロー

4. 検証 (Verification) と妥当性 (Validation)

4.1 対象断面及び構造部材

検証に用いる断面は取水路（一般部）のB-B断面を代表とし、図 4-1 に示す部材 1（左側壁）及び部材 2（左隔壁）を対象とする。また、解析ケース及び地震波はケース①、Ss-1++とし、選定時刻は任意の時刻とし、本検討では $t=10.0s$ とする。

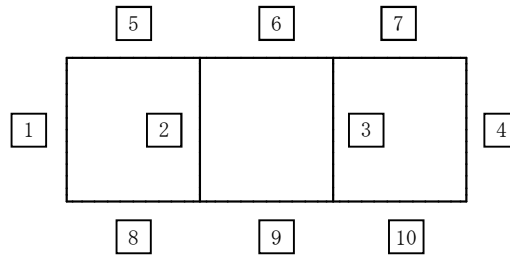


図 4-1 検証の対象部材

4.2 プログラム mnq_hokan の検証

入力解析コード FLIP を用いた地震応答解析から得られる断面力で、出力は部材毎に並べ変えられた断面力となる。検証は、FLIP からテキスト出力された断面力が、部材毎に抽出されているかを確認する。

表 4-1～表 4-3 に FLIP からテキスト出力された断面力と mnq_hokan から出力された断面力の比較結果を示す。同表から mnq_hokan は、正しく動作していることが分かる。

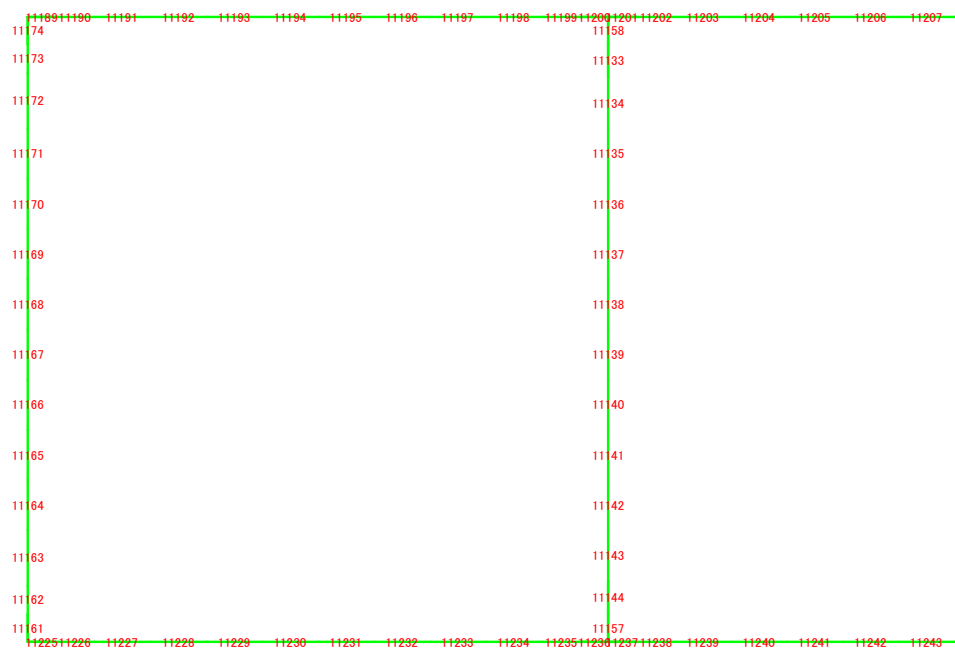


図 4-2 左側壁及び左隔壁の要素番号

表 4-1 FLIP 出力とプログラム mnq_hokan 出力による軸力の比較

部材	要素番号	軸力		
		①mnq_hokan FLIP (kN)	② mnq_hokan (kN)	比率 ①/②
左側壁	11174	-689	-689	1.00
	11173	-694	-694	1.00
	11172	-702	-702	1.00
	11171	-713	-713	1.00
	11170	-724	-724	1.00
	11169	-735	-735	1.00
	11168	-746	-746	1.00
	11167	-757	-757	1.00
	11166	-769	-769	1.00
	11165	-781	-781	1.00
	11164	-794	-794	1.00
	11163	-807	-807	1.00
	11162	-816	-816	1.00
	11161	-822	-822	1.00
左隔壁	11158	-1365	-1365	1.00
	11133	-1371	-1371	1.00
	11134	-1379	-1379	1.00
	11135	-1389	-1389	1.00
	11136	-1399	-1399	1.00
	11137	-1408	-1408	1.00
	11138	-1418	-1418	1.00
	11139	-1428	-1428	1.00
	11140	-1437	-1437	1.00
	11141	-1447	-1447	1.00
	11142	-1457	-1457	1.00
	11143	-1467	-1467	1.00
	11144	-1475	-1475	1.00
11157	-1481	-1481	1.00	

表 4-2 FLIP 出力とプログラム mnq_hokan 出力によるせん断力の比較

部材	要素番号	せん断力		
		①FLIP (kN)	② mnq_hokan (kN)	比率 ①/②
左側壁	11174	682	682	1.00
	11173	605	605	1.00
	11172	502	502	1.00
	11171	380	380	1.00
	11170	264	264	1.00
	11169	146	146	1.00
	11168	26	26	1.00
	11167	-95	-95	1.00
	11166	-217	-217	1.00
	11165	-340	-340	1.00
	11164	-464	-464	1.00
	11163	-595	-596	1.00
	11162	-714	-714	1.00
	11161	-813	-813	1.00
左隔壁	11158	-17	-17	1.00
	11133	-18	-18	1.00
	11134	-18	-18	1.00
	11135	-20	-20	1.00
	11136	-21	-21	1.00
	11137	-22	-22	1.00
	11138	-23	-23	1.00
	11139	-24	-24	1.00
	11140	-25	-25	1.00
	11141	-27	-27	1.00
	11142	-28	-28	1.00
	11143	-29	-29	1.00
	11144	-29	-29	1.00
	11157	-30	-30	1.00

表 4-3 FLIP 出力とプログラム mnq_hokan 出力によるモーメントの比較

部材	要素 番号	i 端モーメント			j 端モーメント		
		①FLIP (kN)	② mnq_hokan (kN)	比率 ①/②	①FLIP (kN)	② mnq_hokan (kN)	比率 ①/②
左側壁	11174	388	388	1.00	-558	-558	1.00
	11173	250	250	1.00	-401	-401	1.00
	11172	-7	-7	1.00	-244	-244	1.00
	11171	-183	-183	1.00	11	11	1.00
	11170	-303	-303	1.00	184	184	1.00
	11169	-370	-370	1.00	305	305	1.00
	11168	-383	-383	1.00	371	372	1.00
	11167	-341	-341	1.00	383	383	1.00
	11166	-243	-243	1.00	340	340	1.00
	11165	-90	-90	1.00	243	243	1.00
	11164	120	120	1.00	89	89	1.00
	11163	416	416	1.00	-119	-119	1.00
	11162	595	595	1.00	-416	-416	1.00
	11161	799	799	1.00	-596	-596	1.00
左隔壁	11158	-39	-39	1.00	43	43	1.00
	11133	-34	-34	1.00	39	39	1.00
	11134	-13	-13	1.00	21	21	1.00
	11135	-9	-9	1.00	18	18	1.00
	11136	-5	-5	1.00	14	14	1.00
	11137	3	3	1.00	7	7	1.00
	11138	13	13	1.00	-3	-3	1.00
	11139	24	24	1.00	-13	-13	1.00
	11140	36	36	1.00	-24	-24	1.00
	11141	45	45	1.00	-33	-33	1.00
	11142	52	52	1.00	-40	-40	1.00
	11143	59	59	1.00	-46	-46	1.00
	11144	82	82	1.00	-73	-73	1.00
11157	89	89	1.00	-82	-82	1.00	

4.3 プログラム sendan の検証

プログラム mnq_hokan の出力を入力とし、着目部材における等価せん断スパン，各せん断スパンにおける照査位置，照査位置における断面力及び断面諸元について，プログラム sendan から算定した結果と土木学会マニュアルに基づき算定した結果を比較することで検証を行う。

4.3.1 等価せん断スパンと照査位置の確認

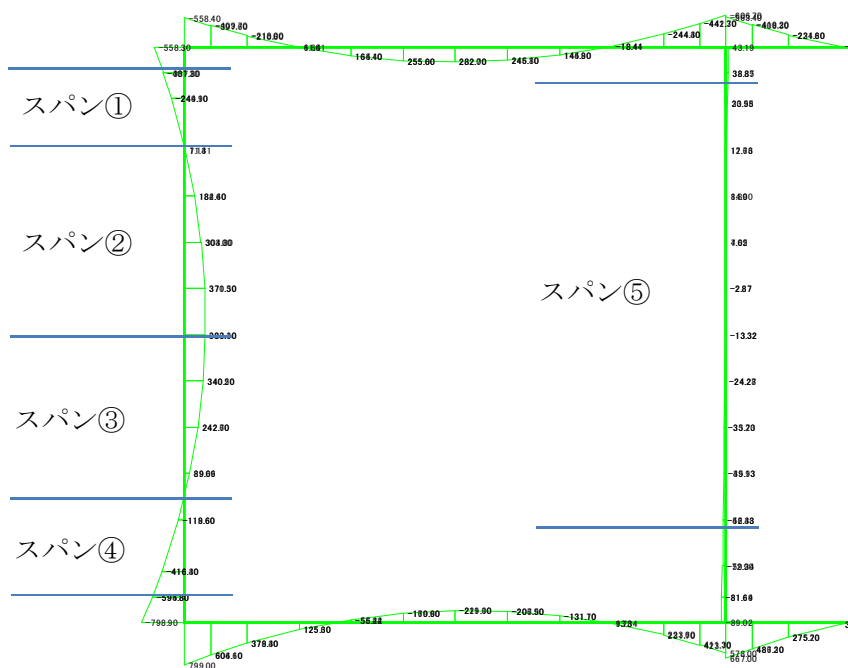


図 4-3 等価せん断スパンの位置

表 4-4 等価せん断スパンと照査位置の比較

位置	Y 座標 (m)				
	スパン長			照査位置	
	①sendan (m)	②マニュアル (m)	比率 ①/②	①mnq_hokan (y 座標)	②マニュアル (y 座標)
スパン①	0.5112	0.5112	1.00	-5.400	-5.400
スパン②	1.7888	1.7888	1.00	-6.306	-6.306
スパン③	1.5372	1.5371	1.00	-7.969	-7.969
スパン④	0.7628	0.7629	1.00	-9.000	-9.000
スパン⑤	4.3000	4.3000	1.00	-9.000	-9.000

4.3.2 照査結果の比較

表 4-5 照査用せん断力の比較

照査位置	①sendan (kN)	②マニュアル (kN)	比率 ①/②
スパン①	438	438	1.00
スパン②	203	203	1.00
スパン③	242	242	1.00
スパン④	526	526	1.00
スパン⑤	28	28	1.00

表 4-6 照査用軸力の比較

照査位置	①sendan (kN)	②マニュアル (kN)	比率 ①/②
スパン①	-708	-708	1.00
スパン②	-729	-729	1.00
スパン③	-772	-772	1.00
スパン④	-800	-800	1.00
スパン⑤	-1462	-1462	1.00

表 4-7 照査用モーメントの比較

照査位置	①sendan (kNm)	②マニュアル (kNm)	比率 ①/②
スパン①	5	5	1.00
スパン②	292	292	1.00
スパン③	265	265	1.00
スパン④	135	135	1.00
スパン⑤	50	50	1.00

表 4-8 せん断耐力の比較

照査位置	棒部材式			ディープビーム式		
	①sendan (kN)	②マニュアル (kN)	比率 ①/②	①sendan (kN)	②マニュアル (kN)	比率 ①/②
スパン①	2654	2654	1.00	2476	2476	1.00
スパン②	1312	1312	1.00	—*	—*	—*
スパン③	1382	1382	1.00	—*	—*	—*
スパン④	2275	2275	1.00	2181	2181	1.00
スパン⑤	1149	1149	1.00	635	635	1.00

注記* : ディープビーム式の適用外

表 4-9 セン断力照査値の比較

照査位置	①sendan	②マニュアル	比率 ①/②
スパン①	0.165	0.165	1.00
スパン②	0.155	0.155	1.00
スパン③	0.175	0.175	1.00
スパン④	0.231	0.231	1.00
スパン⑤	0.024	0.024	1.00

4.4 妥当性の確認

上記において、本解析コードでの評価結果が既工事計画認可申請において適用性が認められている「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（2005）」から求めたせん断耐力と一致することを確認した。以上から、本解析コードの妥当であると判断できる。