

資料 1

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-027-1 改0
提出年月日	2023年10月20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

2023年10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	6
4.1 方針	6
4.2 スクリーン室の断面選定の考え方	6
4.3 取水路の断面選定の考え方	6
4.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方	7
4.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方	19
4.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方	19
4.7 常設代替交流電源設備基礎の断面選定の考え方	20
4.8 スクリーン室（7号機設備）の断面選定の考え方	20
4.9 取水路（7号機設備）の断面選定の考え方	20
4.10 軽油タンク基礎（7号機設備）の断面選定の考え方	20
5. 地盤物性のばらつきの考慮方法について	21
6. 許容限界について	21
7. ジョイント要素のばね設定について	21
8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について	21
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	21
10. 屋外重要土木構造物の鉛直固有周期について	22
10.1 概要	22
10.2 鉛直方向固有周期の算出結果	22

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 1-1 |
| (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 2-1 |
| (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 3-1 |
| (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 4-1 |
| (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 5-1 |
| (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 (7 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 | 参考 6-1 |
| (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 | 参考 7-1 |
| (参考資料 8) 屋外重要土木構造物の設備分類及び評価項目の 7 号機申請からの変更点 | 参考 8-1 |

1. 対象設備

耐震評価の対象とする屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管系の間接支持機能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（7号機設備）、スクリーン室（7号機設備）、取水路（7号機設備）、海水貯留堰（7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（7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。なお、本資料では、図1-1に示す対象施設を屋外重要土木構造物として扱い、以下に耐震評価の詳細を示す。

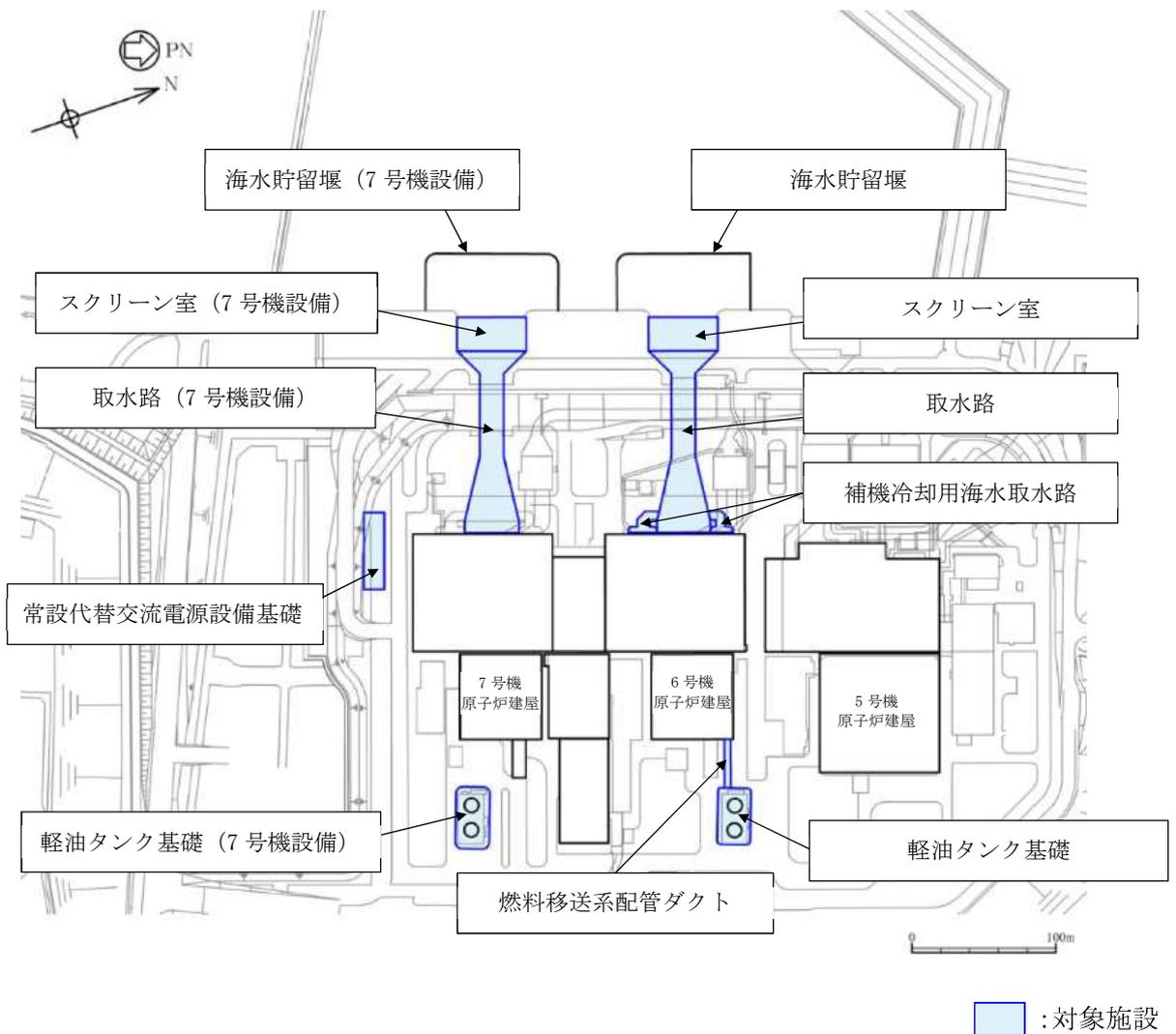


図 1-1 屋外重要土木構造物等位置図

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、以下の基本方針に基づく。

- ・ VI-2-1-1 「耐震設計の基本方針」
- ・ VI-2-1-3 「地盤の支持性能に係る基本方針」
- ・ VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」
- ・ VI-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、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画の説明資料（以下「7号工認資料」という。）「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「2.1 支持性能」による。

2.2 通水性能

通水性能については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「2.2 通水性能」による。

2.3 貯水性能

貯水性能については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「2.3 貯水性能」による。

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の概念を図 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。

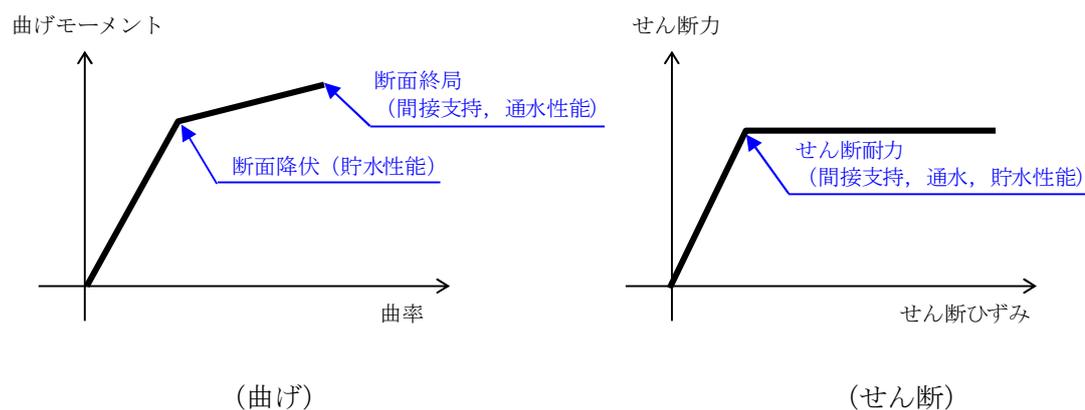


図 2-1 各要求性能と許容限界の関係の概念

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<終局せん断強度*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，せん断耐力及び終局せん断強度は，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 (7号機設備)	—	○	○	○
取水路 (7号機設備)	—	○	○	○
常設代替交流電源設備基礎	○	—	—	—
軽油タンク基礎 (7号機設備)	○	—	—	—

3. 安全係数

安全係数については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「3. 安全係数」による。

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

方針については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.1 方針」による。

4.2 スクリーン室の断面選定の考え方

スクリーン室の断面選定の考え方は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.8 スクリーン室（6号機設備）の断面選定の考え方」による。

4.3 取水路の断面選定の考え方

取水路の断面選定の考え方は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.9 取水路（6号機設備）の断面選定の考え方」による。

4.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方

図 4-1～図 4-6 に補機冷却用海水取水路の平面配置図，平面図，詳細平面図，断面図，縦断面図及び立体図を示す。また，図 4-7 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埋設構造物であり，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。

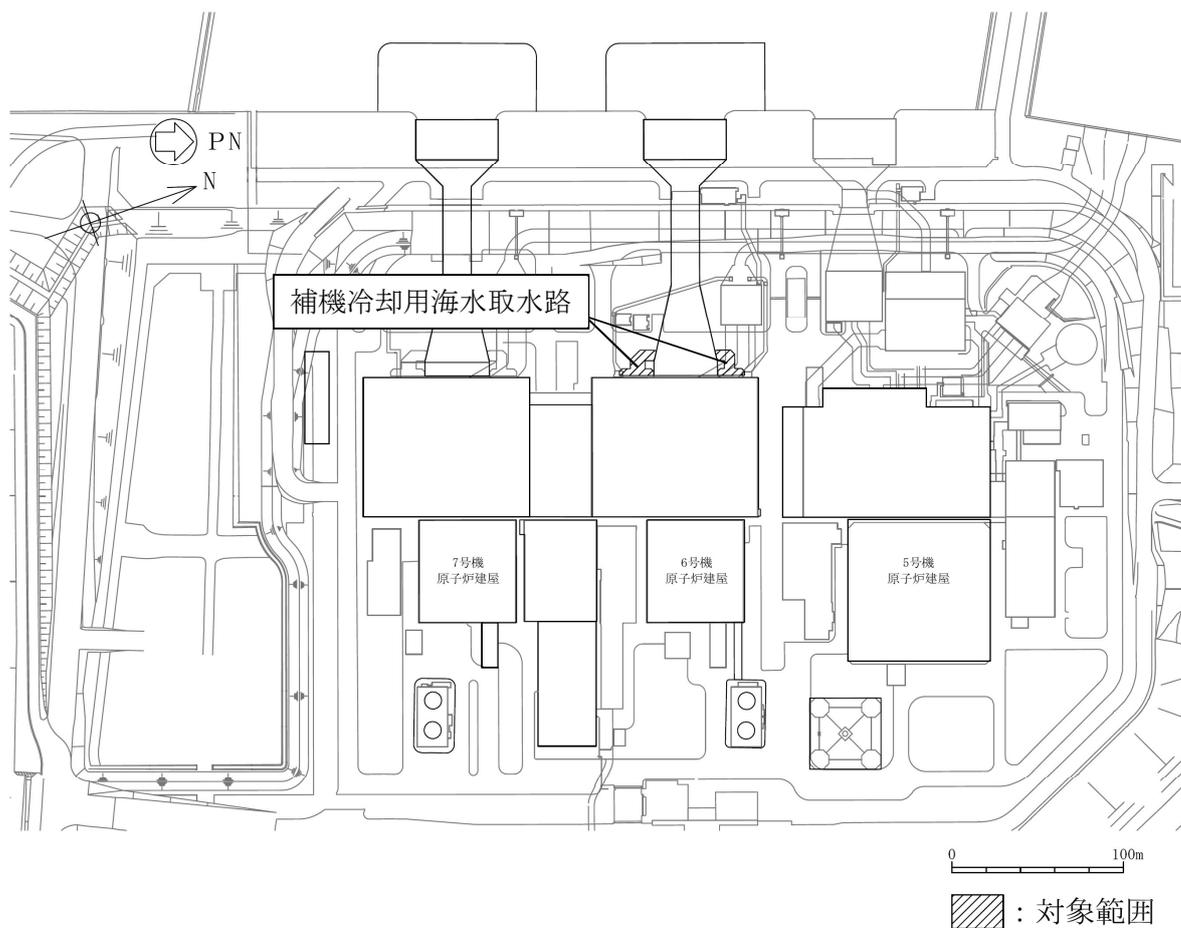
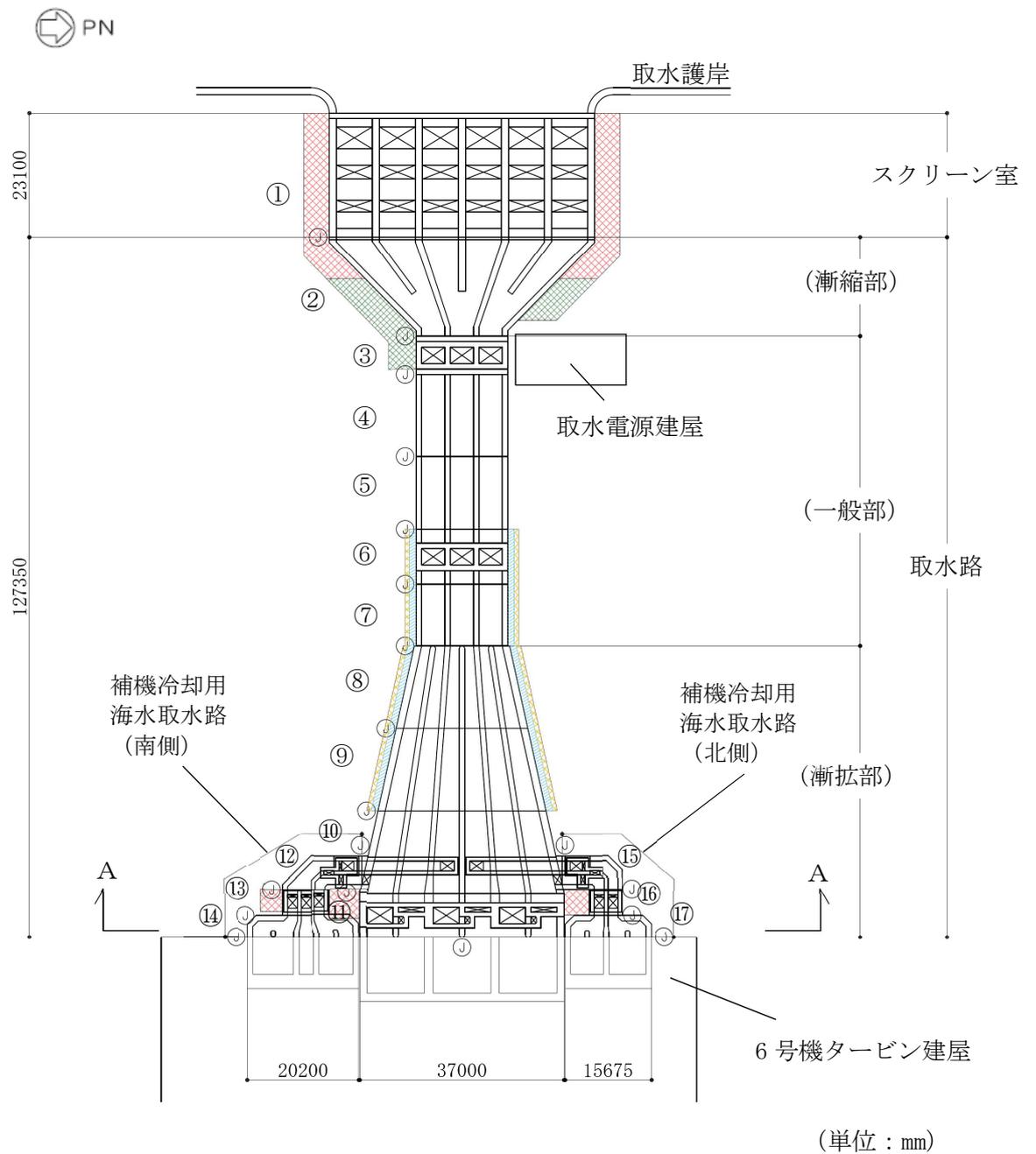


図 4-1 補機冷却用海水取水路の平面配置図

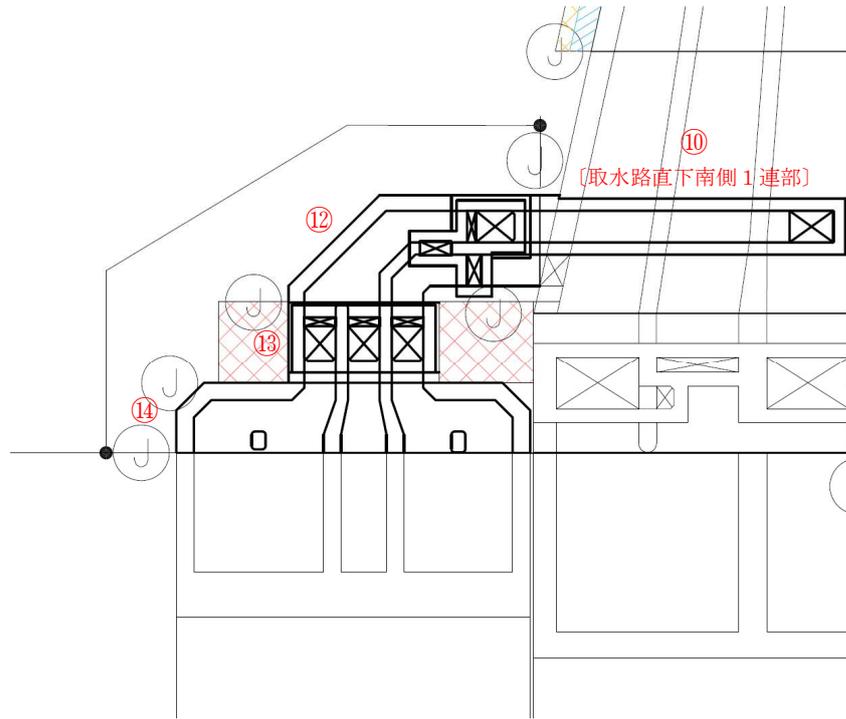


(単位：mm)

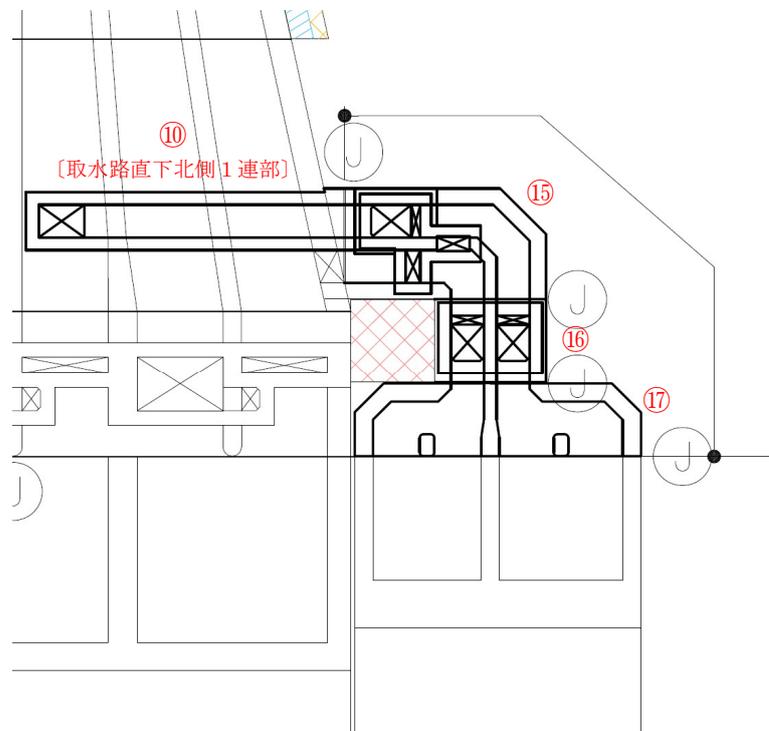
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

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 4-2 補機冷却用海水取水路の平面図

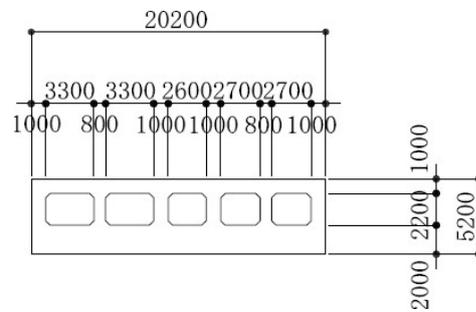
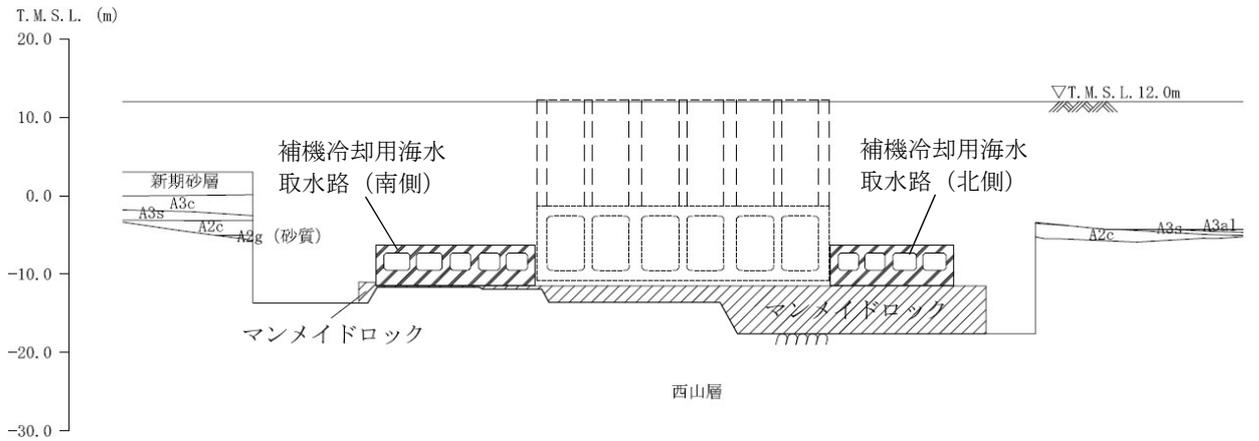


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）

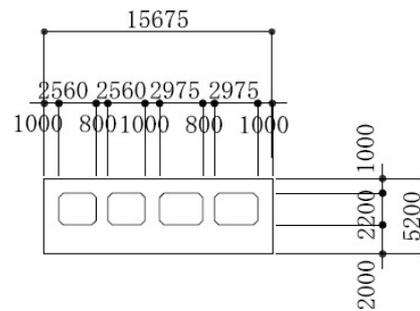


(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 4-3 補機冷却用海水取水路の詳細平面図



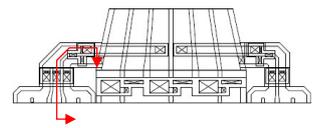
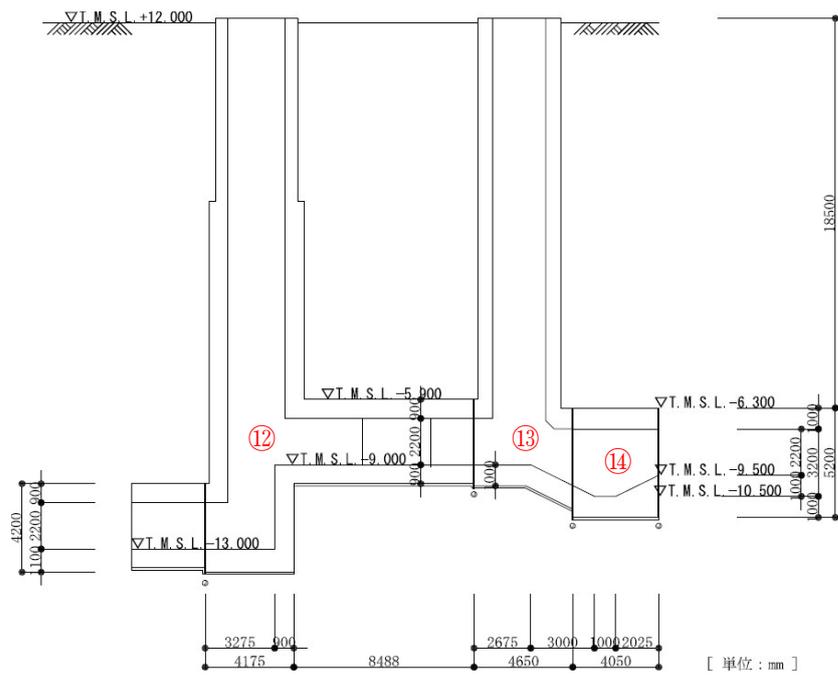
(a) 補機冷却用海水取水路 (南側)



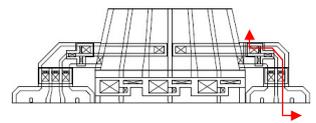
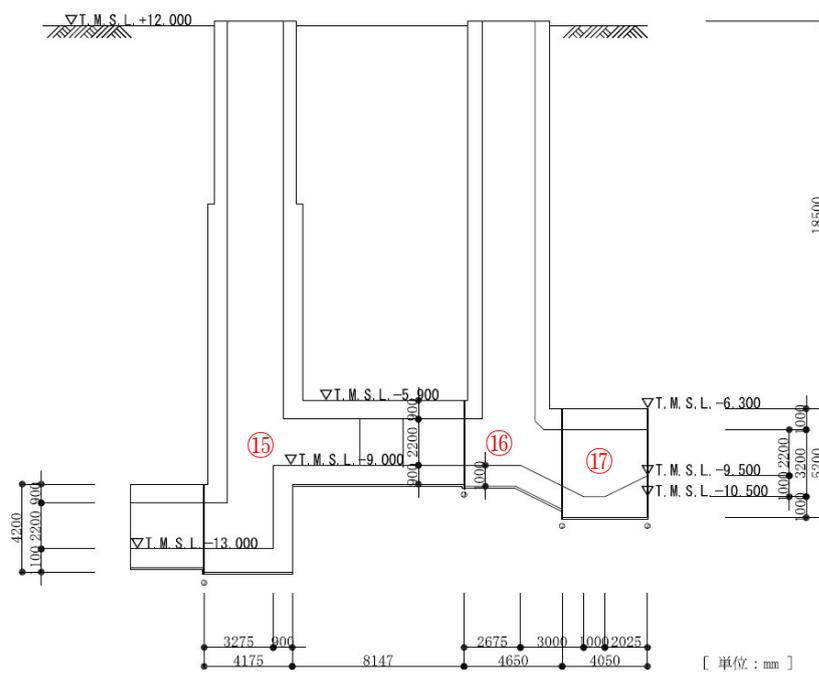
(b) 補機冷却用海水取水路 (北側)

(単位 : mm)

図 4-4 補機冷却用海水取水路の断面図 (A-A断面)

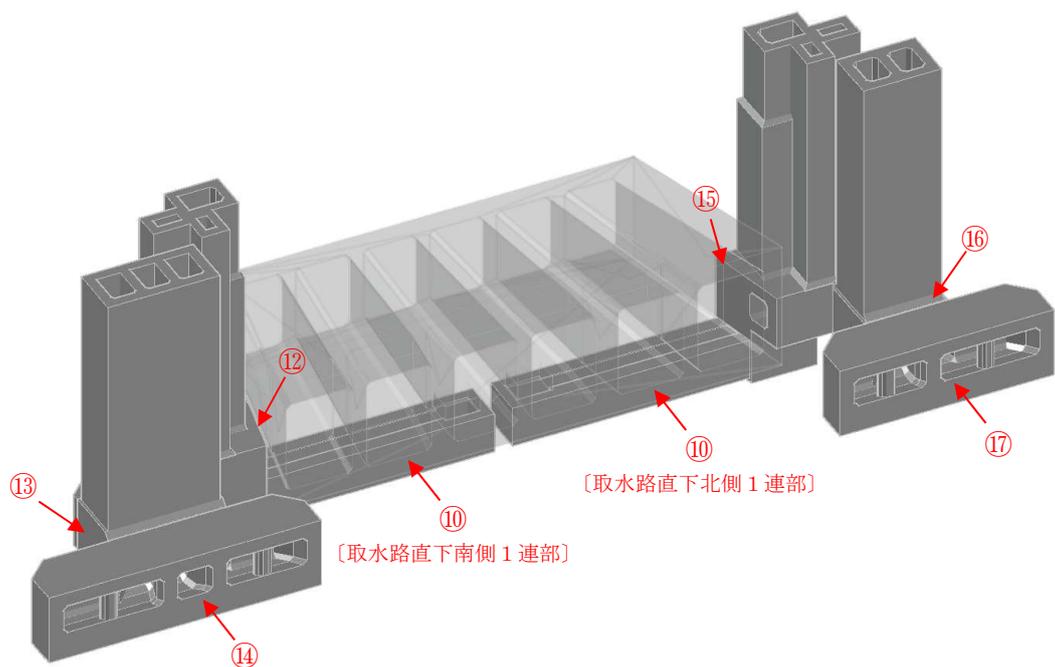


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）

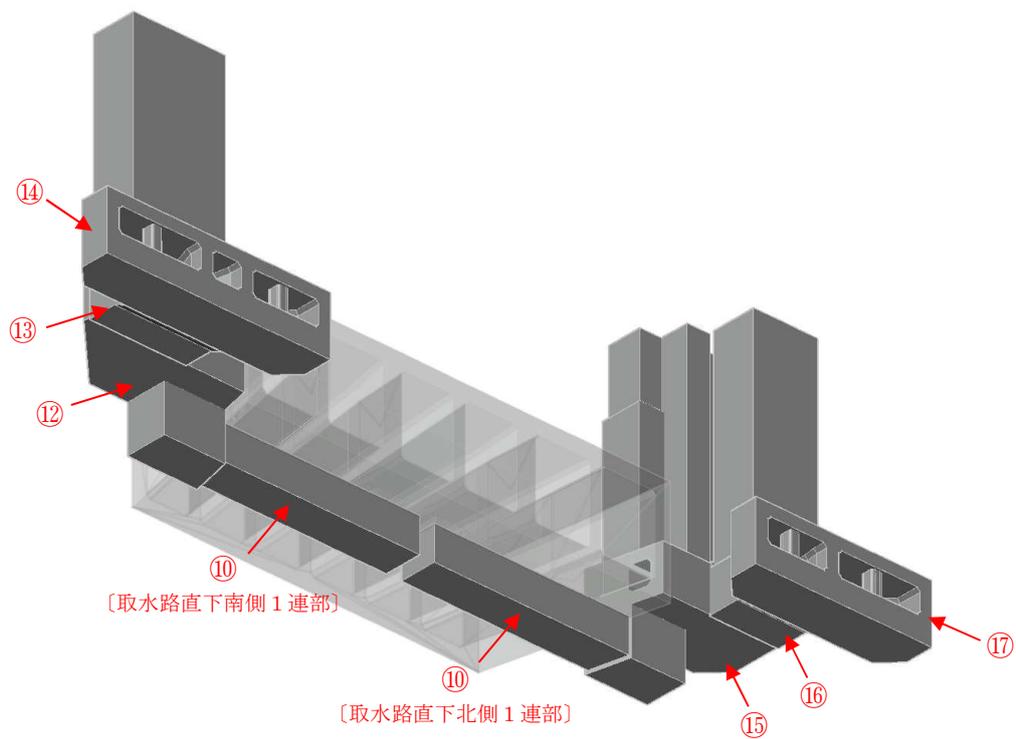


(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 4-5 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 4-6 補機冷却用海水取水路の立体図

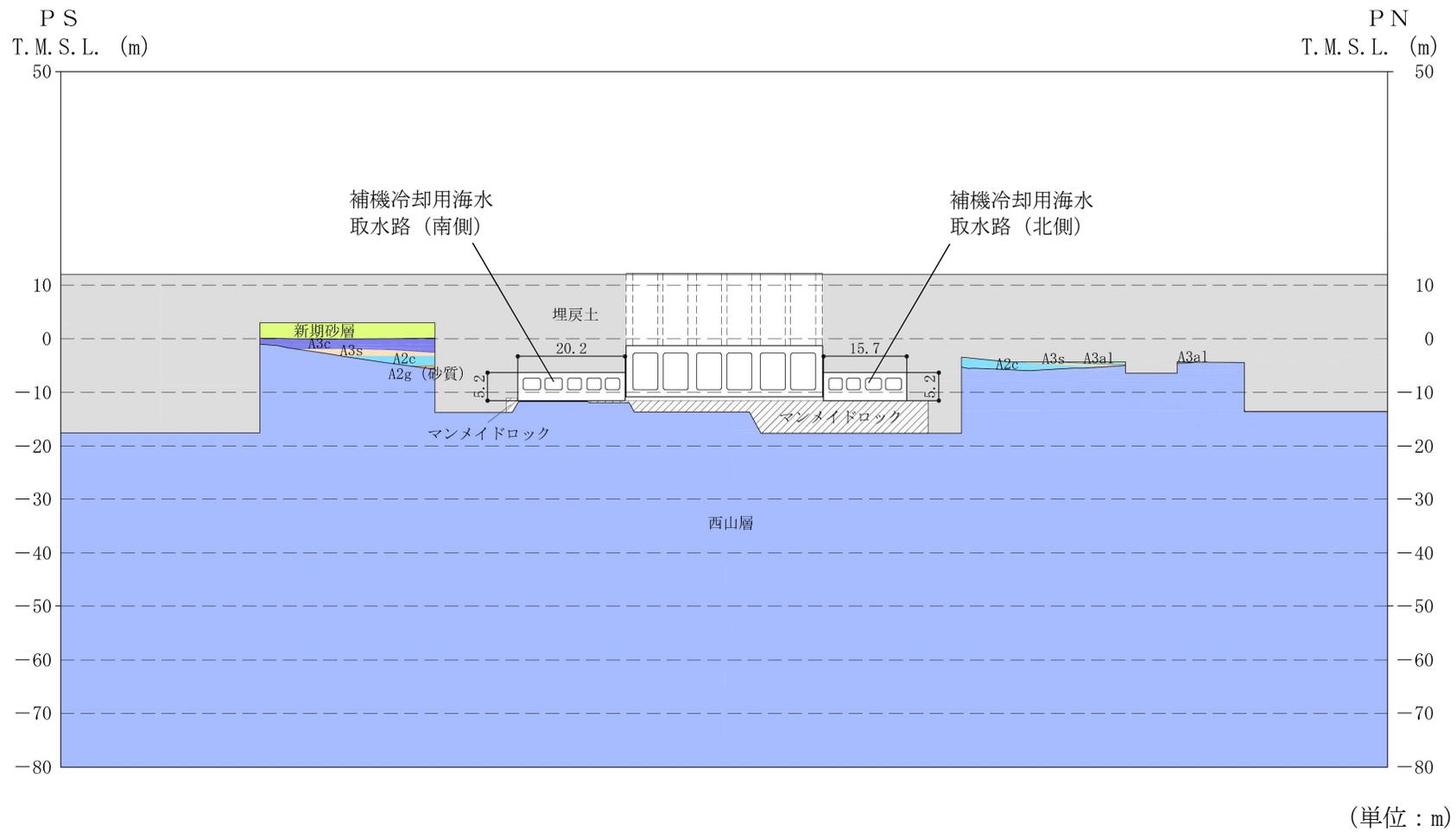


図 4-7 補機冷却用海水取水路の周辺地質断面図 (A-A断面)

(1) 耐震評価候補断面の整理

「4.1 方針」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 4-8 に示す。

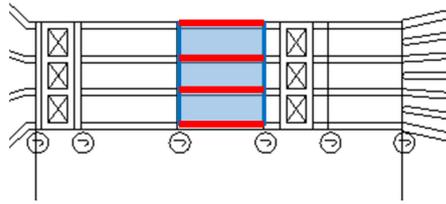
補機冷却用海水取水路の鉛直部材の鉄筋比を表 4-1 に示す。鉄筋比は、構造細目として最小鉄筋量（主鉄筋比 0.2%以上、せん断補強筋比 0.15%以上）を満足するように配置しており、主鉄筋比は 0.2~1.6%の範囲、せん断補強筋比は各ブロック共に 0.22%となっている。主鉄筋比の最大値は、南側は⑭ブロックで 1.51%、北側は⑰ブロックで 0.76%となっているが、これらはすべて柱部材の主鉄筋比であり、構造の大部分を占める側壁及び隔壁の主鉄筋比では 0.2~0.5%の範囲となる。そのため、各ブロックの鉄筋量に大きな差は無いと判断し、評価対象断面の選定においては、構造的特徴として壁面積率に着目して選定を行う。

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 4-6 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⑫ブロック~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変わるとともに、タービン建屋近傍で幅が大きくなる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⑩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 4-6 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⑮ブロック~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変わるとともに、タービン建屋近傍で幅が大きくなる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。



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 4-8 壁面積率の概念図

表 4-1 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	0.29~1.51 (0.29~0.50) *	0.22
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	0.25~0.76 (0.25~0.37) *	0.22

注記*： 側壁及び隔壁の主鉄筋比

表 4-2 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	0.44	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	0.33	18.3	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	0.44	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	0.34	18.3	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、KK6 補足-027「資料5 スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価」にて別途評価対象断面を選定。

*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 4-3 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、KK6 補足-027「資料5 スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価」にて別途評価対象断面を選定する。

表 4-3 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*3	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	0.44	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	—	—	⑩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	—	—	KK6 補足-027 にて別途評価対象断面を選定。
	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	—	—	KK6 補足-027 にて別途評価対象断面を選定。
	⑭		・妻壁を有する5連(柱部2本) のボックスカルバート	0.33	18.3	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	0.44	14.5 ~ 13.3*2	マンメイ ドロック	マンメイ ドロック		無し	—	—	⑩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	—	—	KK6 補足-027 にて別途評価対象断面を選定。
	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	—	—	KK6 補足-027 にて別途評価対象断面を選定。
	⑰		・妻壁を有する4連(柱部2本) のボックスカルバート	0.34	18.3	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、KK6 補足-027「資料5 スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価」にて別途評価対象断面を選定。

*2 : 一体構造となる取水路（漸拡部）の土被りを示す。

*3 : 平成4年10月13日付け4資庁第8735号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第6号機の工事計画

4.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方

軽油タンク基礎の断面選定の考え方は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.10 軽油タンク基礎（6号機設備）の断面選定の考え方」による。

4.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方

追而

4.7 常設代替交流電源設備基礎の断面選定の考え方

常設代替交流電源設備基礎の断面選定の考え方は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.7 常設代替交流電源設備基礎の断面選定の考え方」による。

4.8 スクリーン室（7号機設備）の断面選定の考え方

スクリーン室（7号機設備）の断面選定の考え方は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.2 スクリーン室の断面選定の考え方」による。

4.9 取水路（7号機設備）の断面選定の考え方

取水路（7号機設備）の断面選定の考え方は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.3 取水路の断面選定の考え方」による。

4.10 軽油タンク基礎（7号機設備）の断面選定の考え方

軽油タンク基礎（7号機設備）の断面選定の考え方は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方」による。

5. 地盤物性のばらつきの考慮方法について
地盤物性のばらつきの考慮方法については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「5. 地盤物性のばらつきの考慮方法について」による。
6. 許容限界について
許容限界については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「6. 許容限界について」による。
7. ジョイント要素のばね設定について
ジョイント要素のばね設定については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「7. ジョイント要素のばね設定について」による。
8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について
地震応答解析における構造物の減衰定数については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「8. 地震応答解析における構造物の減衰定数について」による。
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
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は、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「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」による。

10. 屋外重要土木構造物の鉛直固有周期について

10.1 概要

大湊側の基準地震動の策定においては耐震設計等に基準地震動を用いる施設等について周期 1.7 秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有しない設計とすることを前提条件として、標準応答スペクトルに基づく地震動を基準地震動として設定していない。そのため、屋外重要土木構造物の鉛直方向の固有周期について確認を行った。

鉛直方向固有周期は各構造物の地震応答解析モデルにて地盤剛性平均値による固有値解析を行い、刺激係数比が最大となる周期を算出した。また、モード図にて鉛直方向の振動モードの傾向を確認した。

10.2 鉛直方向固有周期の算出結果

屋外重要土木構造物の鉛直方向固有周期一覧を表 10-1 に、各構造物の評価対象断面のうち最も鉛直方向固有周期が長い断面での振動モード図を図 10-1 に示す。これらより、屋外重要土木構造物が周期 1.7 秒以上の固有周期を有しないことを確認した。

表 10-1 屋外重要土木構造物の鉛直方向固有周期

土木構造物	断面	鉛直方向固有周期 (s)
スクリーン室	A-A	0.188
取水路	A-A (漸縮部)	0.191
	B-B (一般部)	0.215
	C-C (漸拡部)	0.211
補機冷却用海水取水路	A-A	0.212
	B-B	0.213
	C-C	0.212
軽油タンク基礎	A-A	0.209
	B-B	0.210
燃料移送系配管ダクト	追而	
常設代替交流電源設備基礎	A-A (第一ガスタービン発電機基礎)	0.212
	B-B (第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)	0.212
	C-C (第一ガスタービン発電機／発電機用燃料タンク基礎)	0.210
スクリーン室 (7号機設備)	A-A	0.189
取水路 (7号機設備)	A-A (漸縮部)	0.191
	B-B (一般部)	0.214
	C-C (漸拡部)	0.211
軽油タンク基礎 (7号機設備)	A-A	0.211
	B-B	0.214

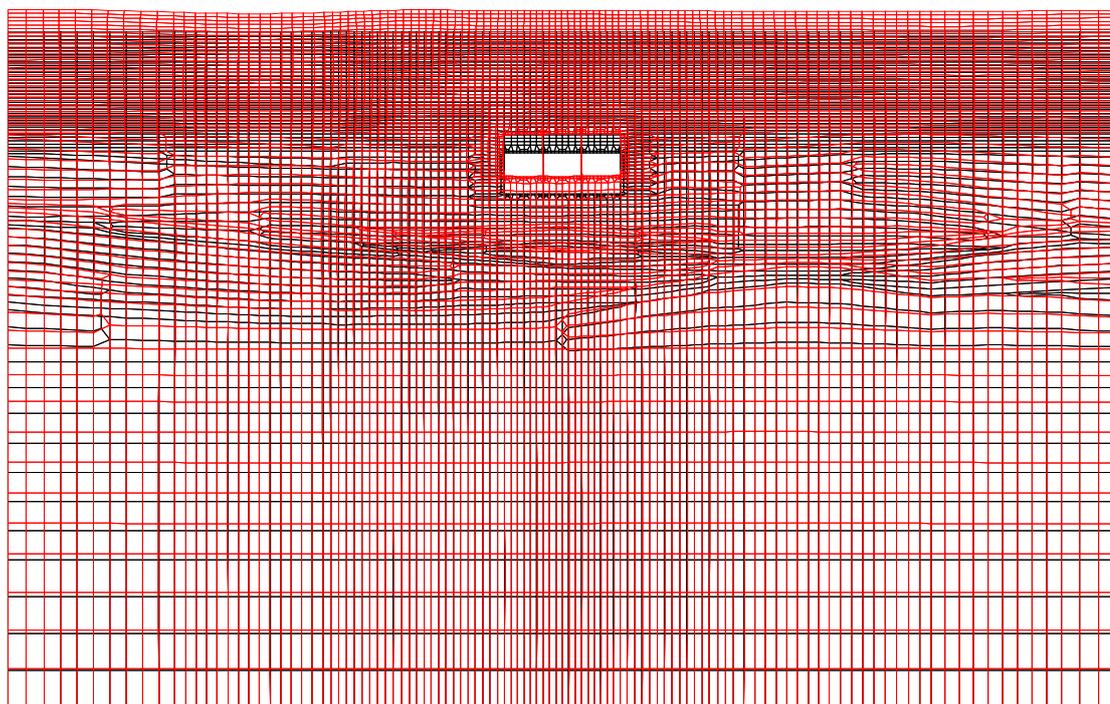


図 10-1 固有振動モード 鉛直方向（取水路（B-B断面））

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(7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
- (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
- (参考資料8) 屋外重要土木構造物の設備分類及び評価項目の7号機申請からの変更点

(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

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は、7工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書(KK7補足-027) 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「(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」による。

(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

ジョイント要素のばね定数の妥当性確認結果については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書(KK7 補足-027) 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「(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」による。

(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、KK6 補足-024-1「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		-	

(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）より引用（一部加筆）)

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

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%

(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）より引用（一部加筆）)

図 3-2 鉄筋コンクリート（線形）の減衰定数

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 $\beta=0.005$ 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、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	1.367	0.005	—	—
取水路 (漸縮部)	1.324	0.005	—	—
取水路 (一般部)	1.114	0.006	—	—
取水路 (漸拡部)	1.269	0.005	—	—
軽油タンク基礎 (NS)	1.309	—	0.012	0.002
軽油タンク基礎 (EW)	1.285	—	0.012	0.002
燃料移送系配管ダクト (NS : 原子炉建屋側)		追而		
燃料移送系配管ダクト (NS : 軽油タンク基礎側)				
燃料移送系配管ダクト (EW)				
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
7号機軽油タンク基礎 (NS)	1.281	—	0.012	0.002
7号機軽油タンク基礎 (EW)	1.299	—	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
 : 7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

鋼管杭（非線形）の係数 β に関する感度解析については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書（KK7 補足-027） 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「(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」のうち「3.3 鋼管杭（非線形）の係数 β に関する感度解析」にて、解析断面上で鋼管杭の本数が最も多い軽油タンク基礎（7号機設備）のEW断面を対象に実施し、係数 β の設定が耐震評価に与える影響は軽微であることを確認している。

以上より、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。

(参考資料4) 追加解析ケースの選定方法の詳細について

追加解析ケースの選定方法の詳細については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書(KK7 補足-027) 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「(参考資料4) 追加解析ケースの選定方法の詳細について」による。

(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

鋼管杭の照査に係るキャスク指針の適用性については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書(KK7 補足-027) 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「(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」による。

(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(7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(7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は，7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書(KK7 補足-027) 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「(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」による。

(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

鉄筋コンクリート部材のせん断力照査の手順については、7号工認資料「屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書(KK7 補足-027) 資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「(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」による。

(参考資料 8) 屋外重要土木構造物の設備分類及び評価項目の 7 号機申請からの変更点

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機の設計及び工事の計画申請（以下「6 号機申請」という。）と、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画（以下「7 号機申請」という。）における屋外重要土木構造物の設備分類及び評価項目を比較し、申請号機の違いによる変更点を整理したものである。

6 号機申請における屋外重要土木構造物の配置を図 1-1 に示す。また、6 号機申請における屋外重要土木構造物の設備分類及び評価項目の変更点（7 号機申請との比較）を表 1-1 に示す。

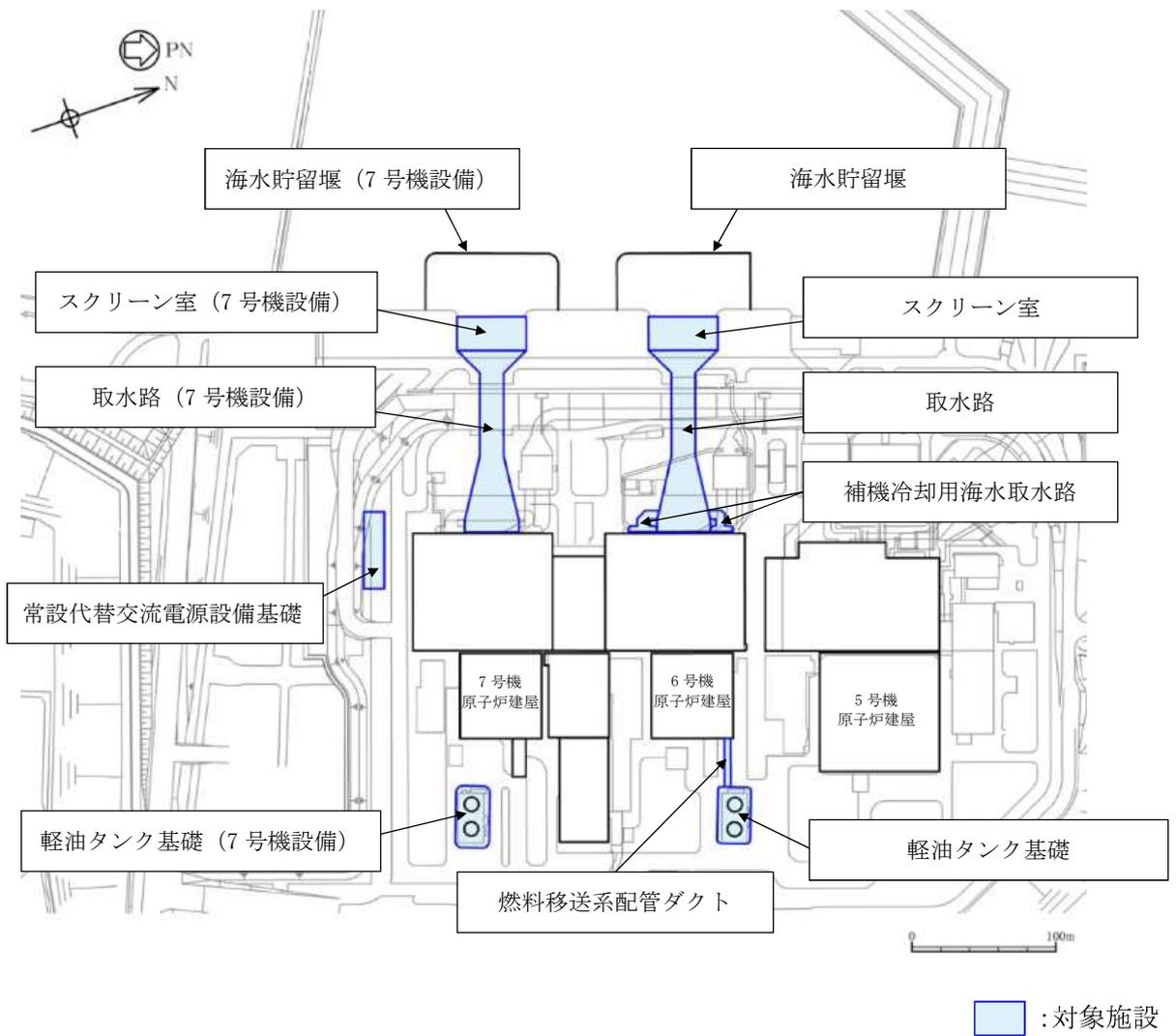


図 1-1 屋外重要土木構造物等位置図

表 1-1 6号機申請における屋外重要土木構造物の設備分類及び評価項目の変更点（7号機申請との比較）

構造物名称	7号機申請における設備分類	6号機申請における設備分類	7号機申請からの設備分類の変更	7号機申請からの評価項目の変更
スクリーン室	SA	DB/SA	あり (DB 追加)	静的地震力に対する評価を追加
取水路	SA	DB/SA	あり (DB 追加)	静的地震力に対する評価を追加
補機冷却用海水取水路	申請対象外	DB/SA	—	新規申請対象設備
軽油タンク基礎	SA	DB/SA	あり (DB 追加)	<ul style="list-style-type: none"> ・弾性設計用地震動 S d に対する地震応答解析を追加 ・静的地震力に対する評価を追加
燃料移送系配管ダクト	申請対象外	DB/SA	—	新規申請対象設備
スクリーン室 (7号機設備)	DB/SA	SA	あり (DB 削除)	静的地震力に対する評価は不要
取水路 (7号機設備)	DB/SA	SA	あり (DB 削除)	静的地震力に対する評価は不要
軽油タンク基礎 (7号機設備)	DB/SA	SA	あり (DB 削除)	<ul style="list-style-type: none"> ・弾性設計用地震動 S d に対する地震応答解析は不要 ・静的地震力に対する評価は不要
常設代替交流電源設備基礎	SA	SA	なし	なし