

島根原子力発電所 2号炉 審査資料	
資料番号	EP-066 改 44
提出年月日	令和 2年 9月 24日

島根原子力発電所 2号炉

津波による損傷の防止

令和 2年 9月
中国電力株式会社

第5条：津波による損傷の防止

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置, 構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等 (手順等含む)
2. 津波による損傷の防止
(別添資料1)
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計方針について
3. 運用, 手順説明
(別添資料2)
津波による損傷の防止
4. 現場確認を要するプロセス
(別添資料3)
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計における現場確認を要するプロセスについて

下線は, 今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉 耐津波設計方針について

目 次

I. はじめに

II. 耐津波設計方針

1. 基本事項

- 1.1 津波防護対象の選定
- 1.2 敷地及び敷地周辺における地形及び施設の配置等
- 1.3 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域
- 1.4 入力津波の設定
- 1.5 水位変動，地殻変動の考慮
- 1.6 設計または評価に用いる入力津波

2. 設計基準対象施設の津波防護方針

- 2.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 2.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 2.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護2）
- 2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止
- 2.6 津波監視

3. 重大事故等対処施設の津波防護方針

- 3.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 3.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 3.3 漏水による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止（外郭防護2）
- 3.4 重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 3.5 水位変動に伴う取水性低下による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止
- 3.6 津波監視

4. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件

- 4.1 津波防護施設の設計
- 4.2 浸水防止設備の設計
- 4.3 津波監視設備の設計
- 4.4 施設・設備等の設計・評価に係る検討事項

(添付資料)

1. 基準津波に対して機能を維持すべき設備とその配置
2. 津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについて
3. 地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について
4. 日本海東縁部に想定される地震による発電所敷地への影響について
5. 港湾内の局所的な海面の励起について
6. 管路計算の詳細について
7. 入力津波に用いる潮位条件について
8. 入力津波に対する水位分布について
9. 津波防護対策の設備の位置付けについて
10. 内郭防護において考慮する溢水の浸水範囲、浸水量について
11. 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策の設置位置、実施範囲及び施工例
12. 基準津波に伴う砂移動評価について
13. 島根原子力発電所周辺海域における底質土砂の分析結果について
14. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
15. 津波漂流物の調査要領について
16. 燃料等輸送船の係留索の耐力について
17. 燃料等輸送船の喫水高さと津波高さとの関係について
18. 漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について
19. 津波監視設備の監視に関する考え方
20. 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
21. 基準類における衝突荷重算定式及び衝突荷重について
22. 耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて
23. 水密扉の運用管理について
24. 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）
25. 防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について
26. 防波壁及び防波扉における津波荷重の設定方針について
27. 津波流入防止対策について
28. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリアに設置する耐震Sクラスの設備に対する浸水影響について
29. 1号炉取水槽流路縮小工について
30. 取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽除じん機エリア水密扉の設計方針及び構造成立性の見通しについて
31. 施設護岸の漂流物評価における遡上域の範囲及び流速について
32. 海水ポンプの実機性能試験について
33. 海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回る範囲について
34. 水位変動・流向ベクトルについて
35. 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価について
36. 津波の流況を踏まえた漂流物の津波防護施設等及び取水口への到達可能性

評価について

37. 津波発生時の運用対応について

38. 地震後の荷揚場の津波による影響評価について

39. 防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉の設計及び運用対応について

(参考資料)

- － 1 島根原子力発電所における津波評価について
- － 2 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1第9章)
- － 3 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1第10章)
- － 4 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1補足説明資料30)
- － 5 津波防護上の地山範囲における地質調査 柱状図及びコア写真集(第762回審査会合 机上配布資料, 第802回審査会合 机上配布資料, 第841回審査会合 机上配布資料)

下線は, 今回の提出資料を示す。

(2.5については, 2.5.1, 2.5.2(1), (2)を抜粋)

2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）

2.4.1 浸水防護重点化範囲の設定

【規制基準における要求事項等】

重要な安全機能を有する設備等を内包する建屋及び区画については、浸水防護重点化範囲として明確化すること。

【検討方針】

設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建物及び区画については、浸水防護重点化範囲として明確化する。

【検討結果】

設計基準対象施設の津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。以下、2.4において同じ。）を内包する建物及び区画としては、原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物、取水槽海水ポンプエリア、取水槽循環水ポンプエリア及び屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物、タービン建物～排気筒、タービン建物～放水槽）並びに非常用ディーゼル燃料設備及び排気筒を敷設するエリアがある。また、タービン建物については、復水器を設置するエリアから耐震Sクラスの設備を設置するエリアへの浸水対策として、復水器エリア防水壁等を設置し、タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）とタービン建物（復水器を設置するエリア）に区画する。各建物内の設計基準対象施設の津波防護対象設備の配置は添付資料1に示すとおりである。

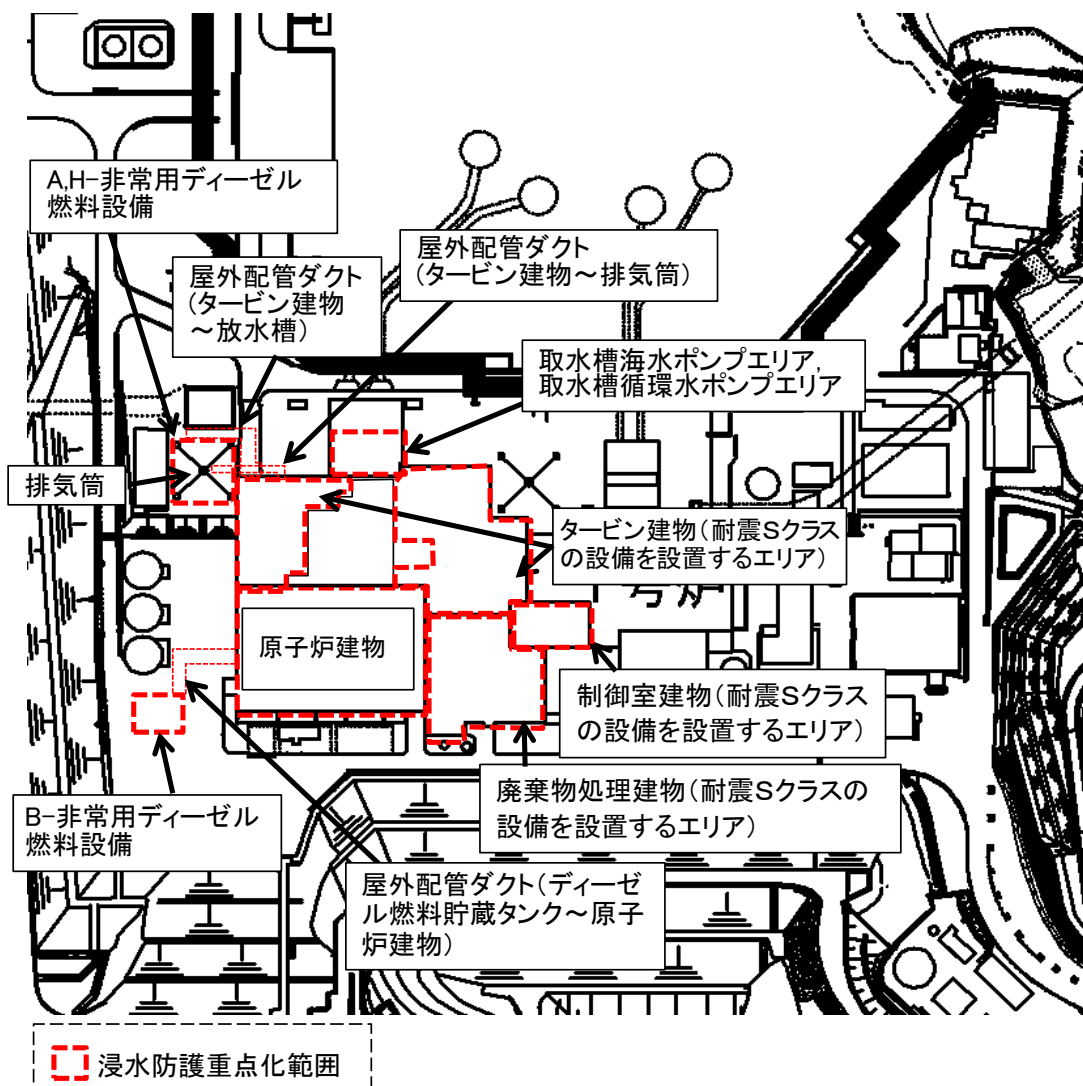
このうち、耐震Sクラスの設備を内包する建物及び区画は、原子炉建物、タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）、廃棄物処理建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）、制御室建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）、取水槽海水ポンプエリア、取水槽循環水ポンプエリア及び屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物、タービン建物～排気筒、タービン建物～放水槽）並びに非常用ディーゼル燃料設備及び排気筒を敷設するエリアであるため、これらを浸水防護重点化範囲として設定する。

第2.4-1表、第2.4-1図、第2.4-2図に浸水防護重点化範囲を示す。また、タービン建物地下1階の復水器エリア防水壁と耐震Sクラスの設備の位置関係を第2.4-3図に示す。

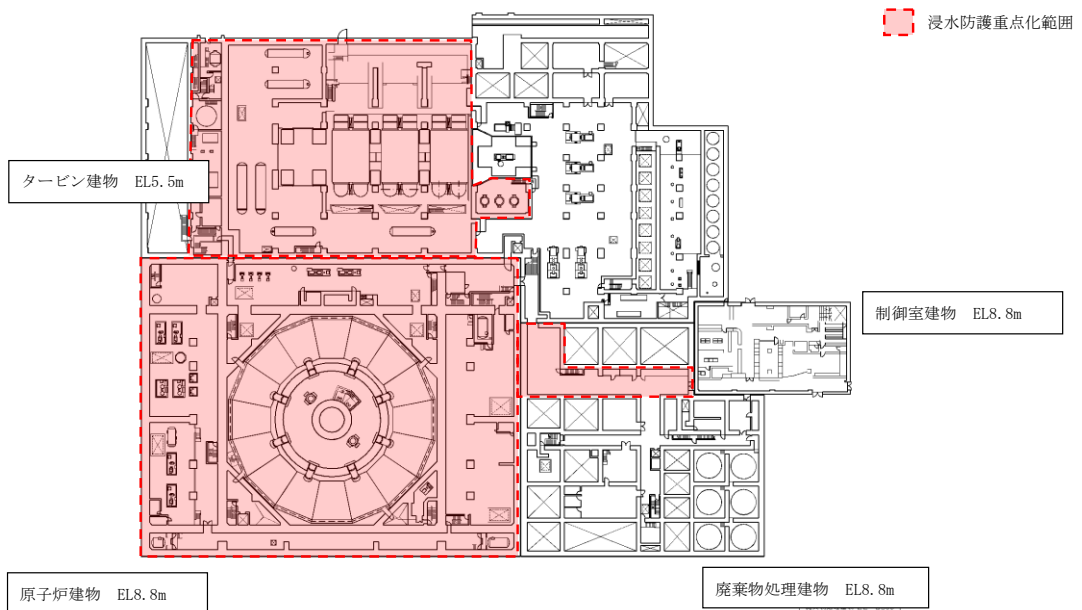
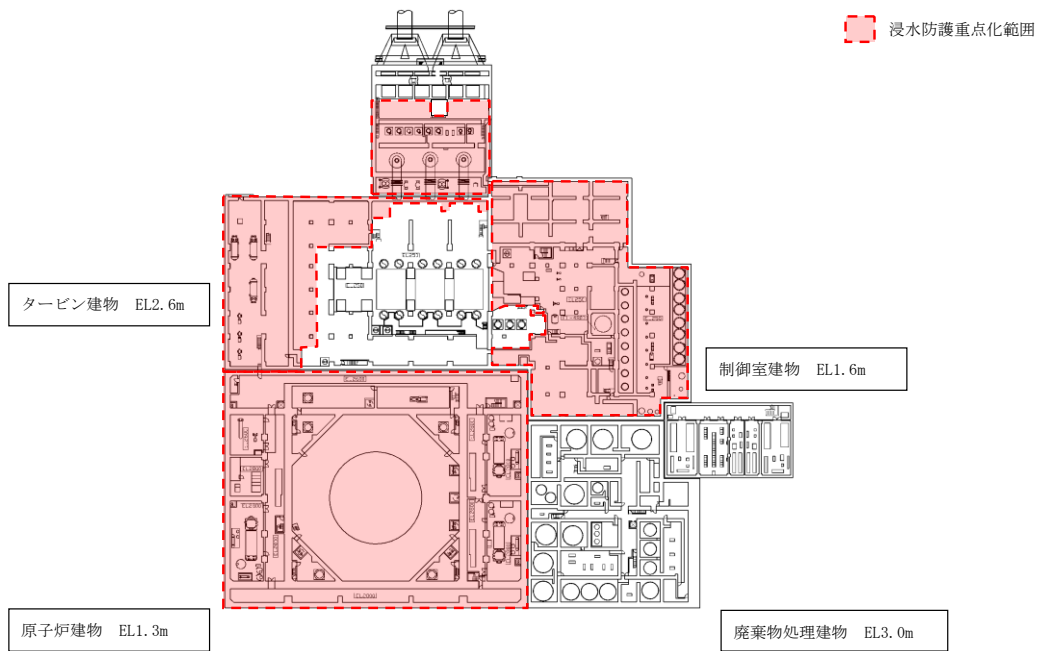
なお、位置が確定していない設備等に対しては、詳細設計段階で浸水防護重点化範囲を再設定する方針である。

第 2.4-1 表 浸水防護重点化範囲

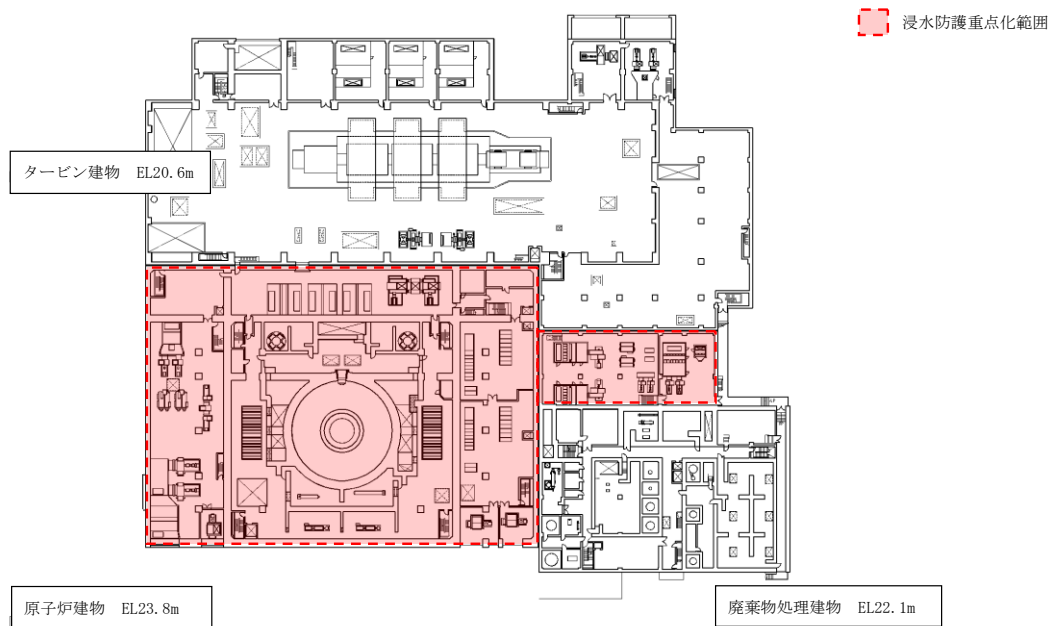
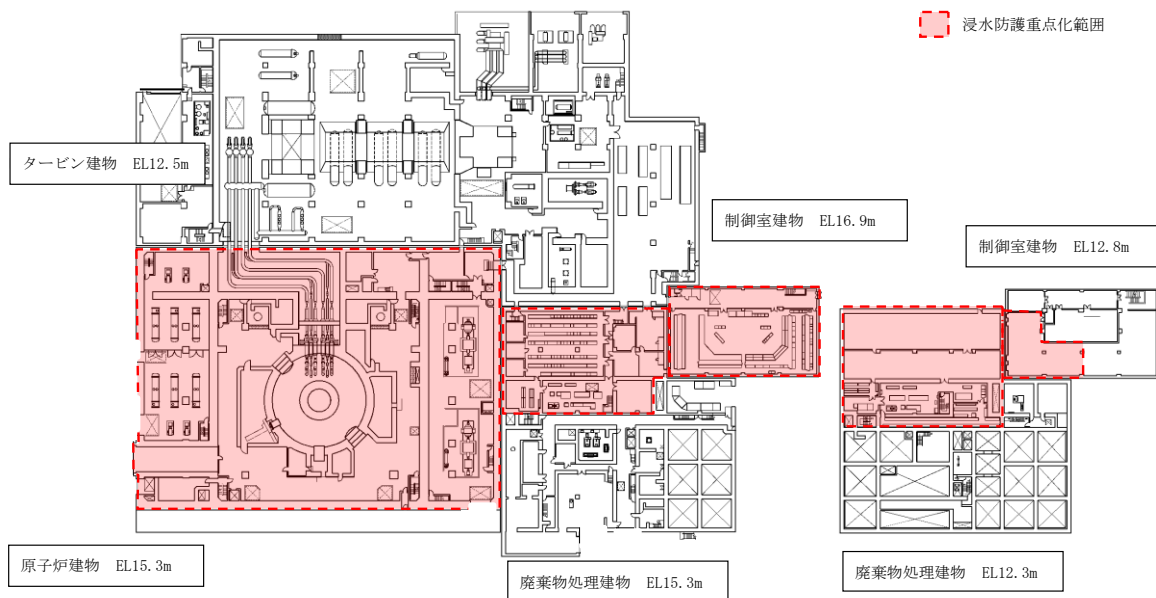
耐震Sクラスの設備を内包する建物及び区画	周辺敷地高さ
<ul style="list-style-type: none"> ・タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア） ・取水槽海水ポンプエリア ・取水槽循環水ポンプエリア ・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） ・屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） ・A、H-非常用ディーゼル燃料設備及び排気筒を敷設するエリア 	EL8.5m
<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建物 ・制御室建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア） ・廃棄物処理建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア） ・屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物） ・B-非常用ディーゼル燃料設備を敷設するエリア 	EL15.0m



第 2.4-1 図 浸水防護重点化範囲概略図

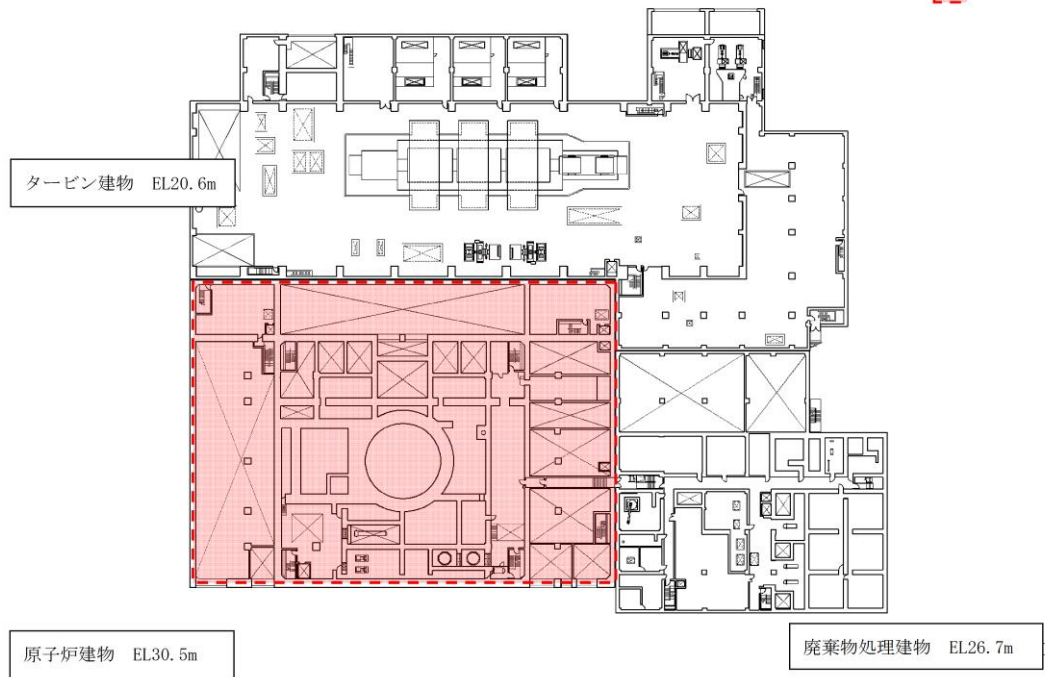


第 2.4-2-1 図 浸水防護重点化範囲（平面図）（1 / 4）

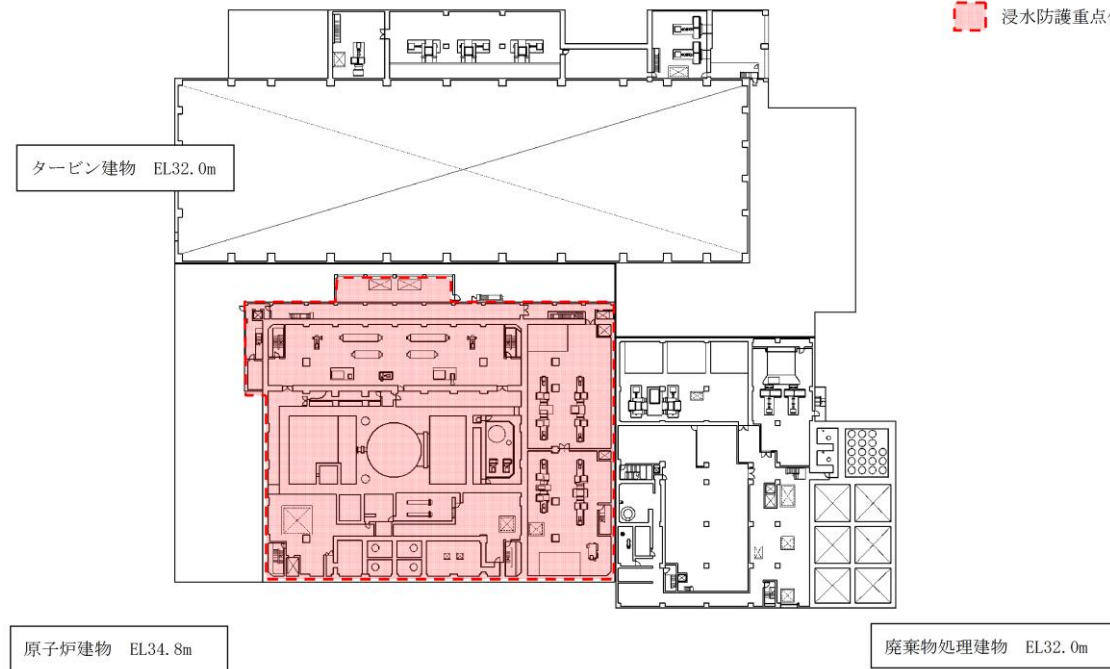


第 2.4-2-1 図 浸水防護重点化範囲（平面図）（2 / 4）

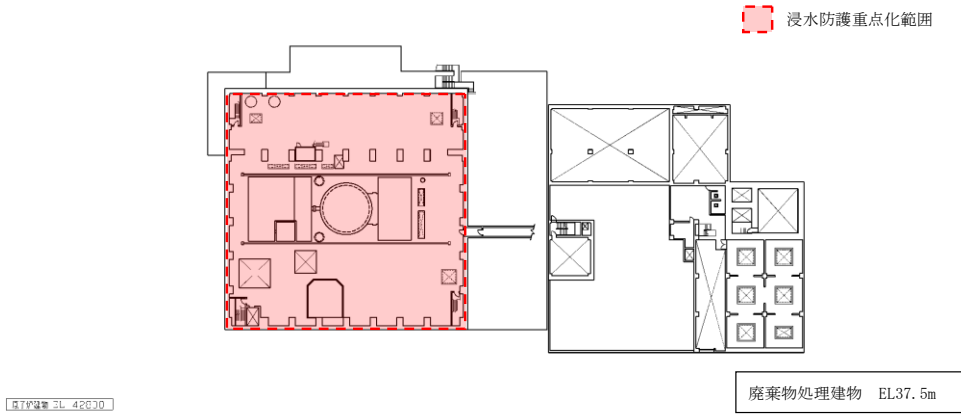
浸水防護重点化範囲



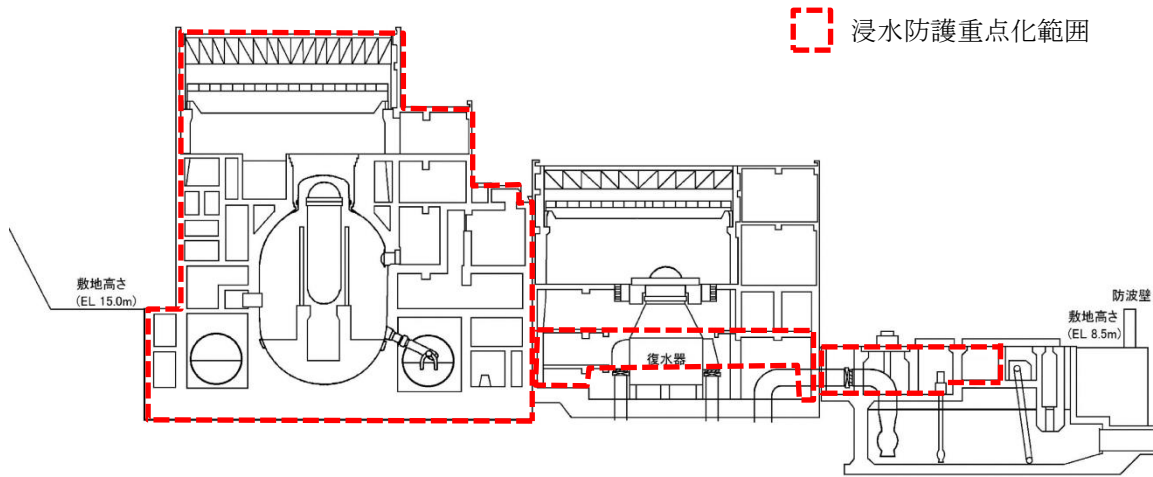
浸水防護重点化範囲



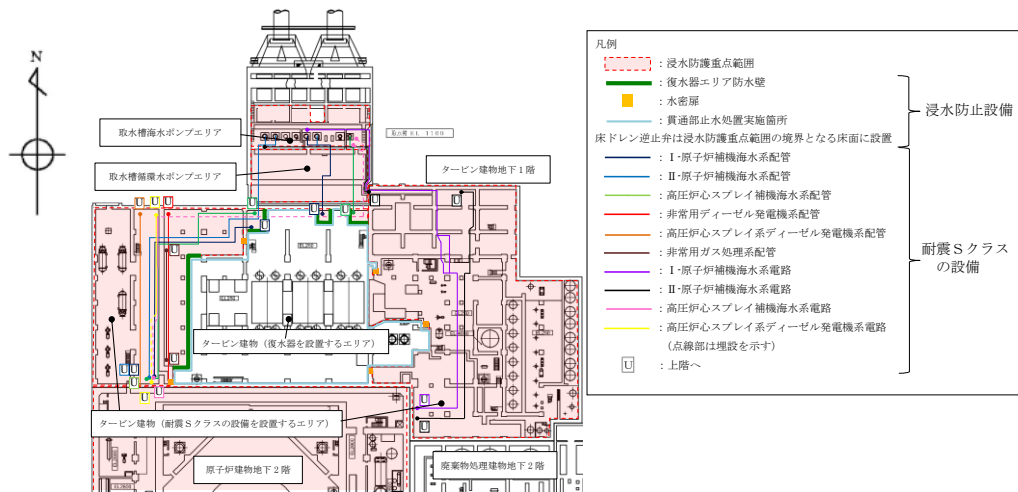
第 2.4-2-1 図 浸水防護重点化範囲（平面図）（3 / 4）



第 2.4-2-1 図 浸水防護重点化範囲（平面図）（4 / 4）



第 2.4-2-2 図 浸水防護重点化範囲（断面図）



第 2.4-3 図 タービン建物地下1階の復水器エリア防水壁等の浸水防止設備と耐震Sクラスの設備の位置

2.4.2 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策

【規制基準における要求事項等】

津波による溢水を考慮した浸水範囲，浸水量を安全側に想定すること。

浸水範囲，浸水量の安全側の想定に基づき，浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路，浸水口（扉，開口部，貫通口等）を特定し，それらに対して浸水対策を施すこと。

【検討方針】

津波による溢水を考慮した浸水範囲，浸水量を安全側に想定する。浸水範囲，浸水量の安全側の想定に基づき，浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路，浸水口（扉，開口部，貫通口等）を特定し，それらに対して浸水対策を実施する。

津波による溢水を考慮した浸水範囲，浸水量については，地震による溢水の影響も含めて，以下の方針により安全側の想定を実施する。

- ・地震・津波による建物内の循環水系等の機器・配管の損傷による建物内への津波及び系統設備保有水の溢水，下位クラス建物における地震時の地下水排水ポンプの停止による地下水の流入等の事象を考慮する。
- ・地震・津波による屋外循環水配管や敷地内のタンク等の損傷による敷地内への津波及び系統保有水の溢水等の事象を考慮する。
- ・循環水系機器・配管等の損傷による津波浸水量については，入力津波の時刻歴波形に基づき，津波の繰り返し襲来を考慮する。また，サイフォン効果も考慮する。
- ・機器・配管等の損傷による溢水量については，内部溢水における溢水事象想定を考慮して算定する。
- ・地下水については，地震時の地下水の流入が浸水防護重点化範囲へ与える影響について評価する。
- ・施設・設備施工上生じ得る隙間部等がある場合には，当該部からの溢水も考慮する。

【検討結果】

前項までに述べたとおり，設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建物及び区画が設置された敷地への津波の地上部からの到達・流入に対する外郭防護及び取水路，放水路等の経路からの流入に対する外郭防護は，津波防護施設，浸水防止設備を設置することにより実現している。これより，津波単独事象に対しては，浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路は存在しない。

一方，【検討方針】に示される「地震による溢水の影響」について，2号炉に対して「地震による溢水」を具体化すると次の各事象が挙げられる。これらの概念図を第2.4-4-1図に示す。

(1) 地震による溢水の影響を含めた浸水防護重点化範囲への影響について

a. タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水

地震に起因するタービン建物（復水器を設置するエリア）に敷設する循環水配管伸縮継手の破損及び低耐震クラス（浸水防止機能を除く）の機器及び配管の損傷により、保有水が溢水するとともに、津波が取水槽及び放水槽から循環水配管等に流れ込み^{※1}、その損傷箇所を介して、タービン建物（復水器を設置するエリア）に流入することが考えられる。

このため、タービン建物（復水器を設置するエリア）に流入した津波により、隣接する浸水防護重点化範囲（原子炉建物、タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリア）への影響を評価する。

b. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）における溢水

地震に起因するタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）に敷設するタービン補機海水系配管を含む低耐震クラスの機器及び配管の損傷により、保有水が溢水するとともに、津波が取水槽及び放水槽からタービン補機海水系配管に流れ込み^{※1}、その損傷箇所を介して、タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）に流入することが考えられる。

このため、浸水防護重点化範囲（タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア））への影響を評価する。

c. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水

地震に起因する取水槽循環水ポンプエリアに敷設する循環水配管伸縮継手の破損及び低耐震クラスの機器及び配管の損傷により、保有水が溢水するとともに、津波が取水槽及び放水槽から循環水配管等に流れ込み^{※1}、その損傷箇所を介して、取水槽循環水ポンプエリアに流入することが考えられる。

このため、浸水防護重点化範囲（取水槽循環水ポンプエリア）への影響を評価する。

d. 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水

地震に起因する取水槽海水ポンプエリアに敷設するタービン補機海水系配管等を含む低耐震クラスの機器及び配管の損傷により、保有水が溢水するとともに、津波が取水槽海水ポンプエリアに流入することが考えられる。

このため、浸水防護重点化範囲（取水槽海水ポンプエリア）への影響を評価する。

※1：取水路と放水路は配管及び復水器を介してつながっており、2号炉の取水槽及び放水槽の水位が高い方から、循環水配管等の損傷箇所との水頭差により海水が流入する。（第2.4-4-2図）

e. 屋外タンク等による屋外における溢水

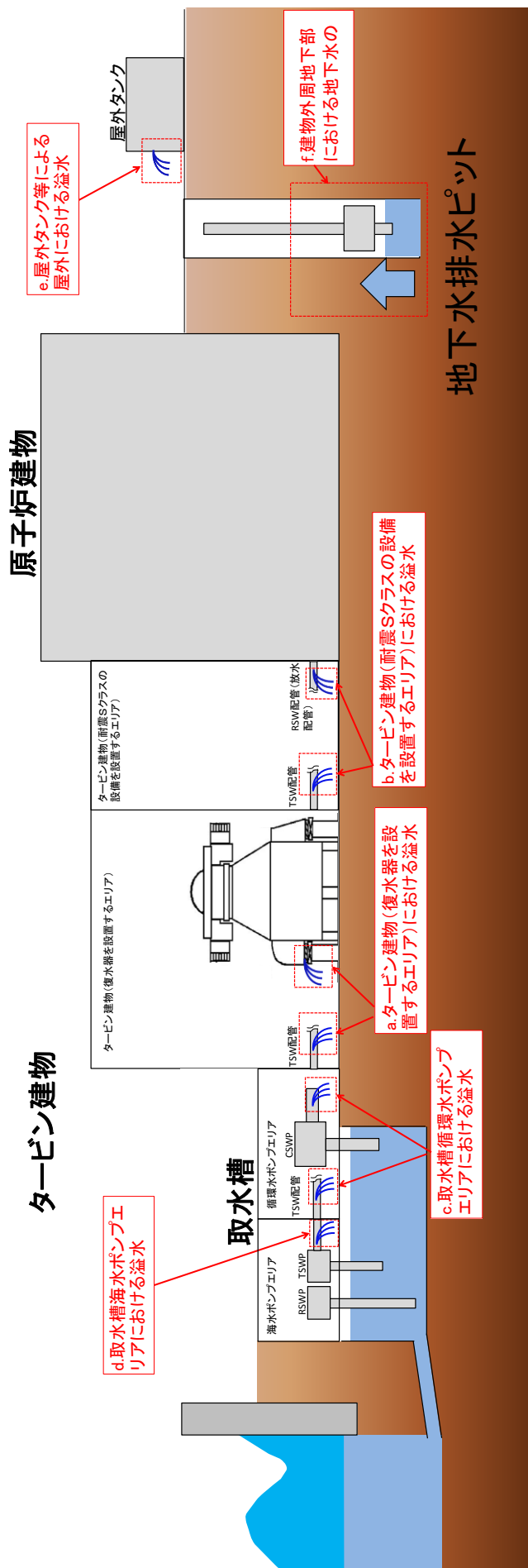
地震により敷地内にある低耐震クラスの機器である屋外タンク等が損傷し、保有水が敷地内に流出する。

このため、浸水防護重点化範囲への影響を評価する。

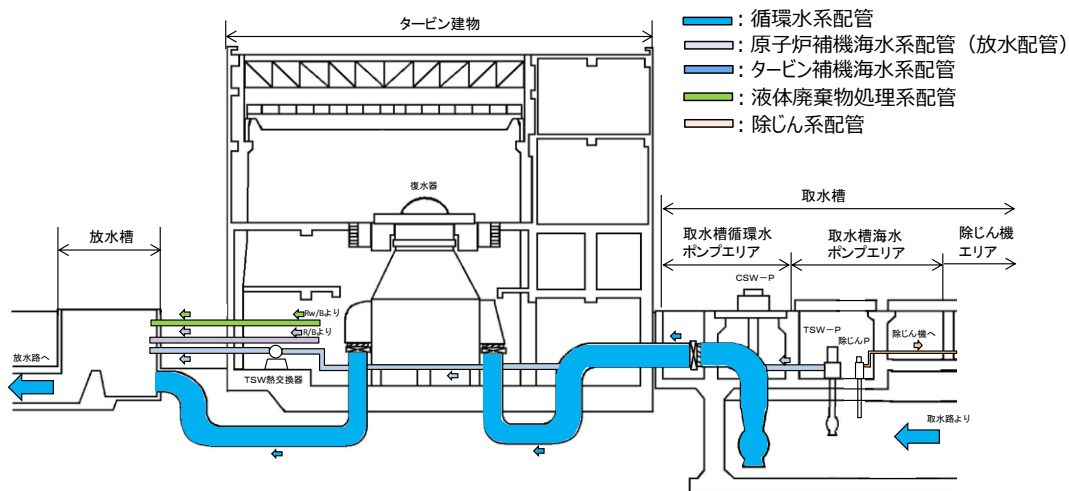
f. 建物外周地下部における地下水位の上昇

地震により地下水を排出するための排水設備(地下水排水ポンプ)が停止し、建物周辺の地下水位が上昇することが考えられる。

このため、浸水防護重点化範囲への影響を評価する。



第 2.4-4-1 図 地震による溢水の概念図 (低耐震クラスの機器及び配管の損傷)



第 2.4-4-2 図 地震による溢水の概念図
(海域に接続する低耐震クラスの機器及び配管の経路概要)

以上の各事象の中で、「津波による溢水」に該当する事象（津波襲来下において海水が流入する事象）、あるいは「津波による溢水」への影響が考えられる事象（津波による溢水の浸水範囲内で、同時に起こり得る溢水事象）としては、a., b., c., d. が挙げられることから、これらの各事象について、浸水防護重点化範囲への影響を評価した。

上記の「地震による溢水」のうち e., f. については、これらによる影響に対して「設置許可基準規則第 9 条（溢水による損傷の防止等）」への適合のために評価及び対策を行うこととしており、その結果、「津波による溢水」には影響しない地震単独事象となっている。

本内容については、同条に対する適合性（参考資料 2 第 9 章，参考資料 3 第 10 章，参考資料 4 補足説明資料 30）において説明しており、以下ではその概要も合わせて示す。

また、「b. タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）における溢水」，「c. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水」，d. 「取水槽海水ポンプエリアにおける溢水」は、それらの区画が耐震 S クラスの設備を設置する浸水防護重点化範囲であることから、「津波による溢水」に該当する事象（津波襲来下において海水が流入する事象）を生じさせない対策（低耐震クラスの機器及び配管への津波流入防止対策（添付資料 27 参照））を踏まえ、浸水防護重点化範囲への影響を評価する。

(2) 浸水量評価

a. タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水

本事象による浸水量評価については、「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（参考資料2第9章9.1）において「復水機エリアにおける溢水」として説明している。評価条件、評価結果等の具体的な内容を添付資料10に抜粋して示す。

添付資料10に示すとおり、本事象による浸水量は第2.4-5図のとおりとなる（「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（第9章9.1）表9-12より転載）。また、浸水イメージは第2.4-6図のとおりとなる。

(2) 地震起因による没水影響評価結果

地震起因による溢水量(5,989m³)は、復水器エリアの貯留可能容積(6,680m³)より小さいことから（溢水水位 EL4.8m）、復水器エリアに貯留可能で、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表9-12に示す。

$$\begin{array}{ccc} 5,989\text{m}^3 & < & 6,680\text{m}^3 \\ \text{(地震起因による溢水量)} & & \text{(復水器エリアの貯留可能容積)} \end{array}$$

表9-12 地震起因による溢水水位算出結果

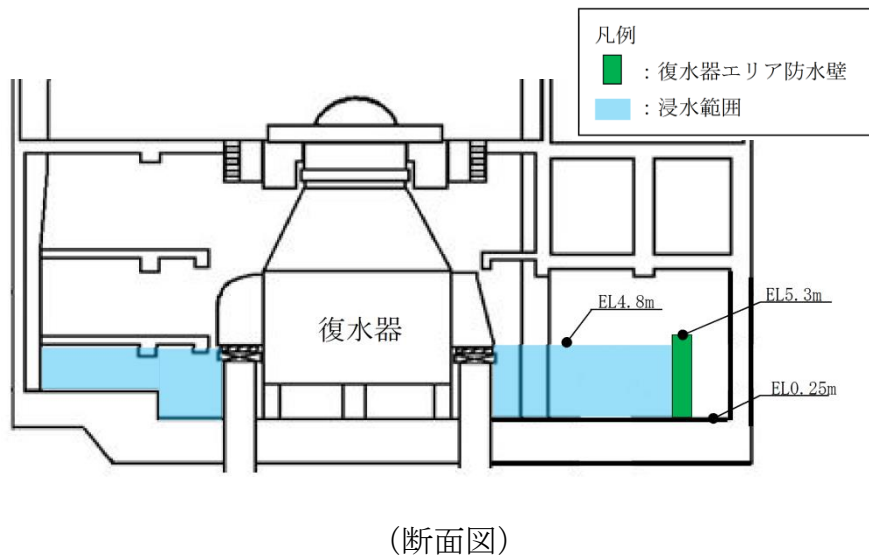
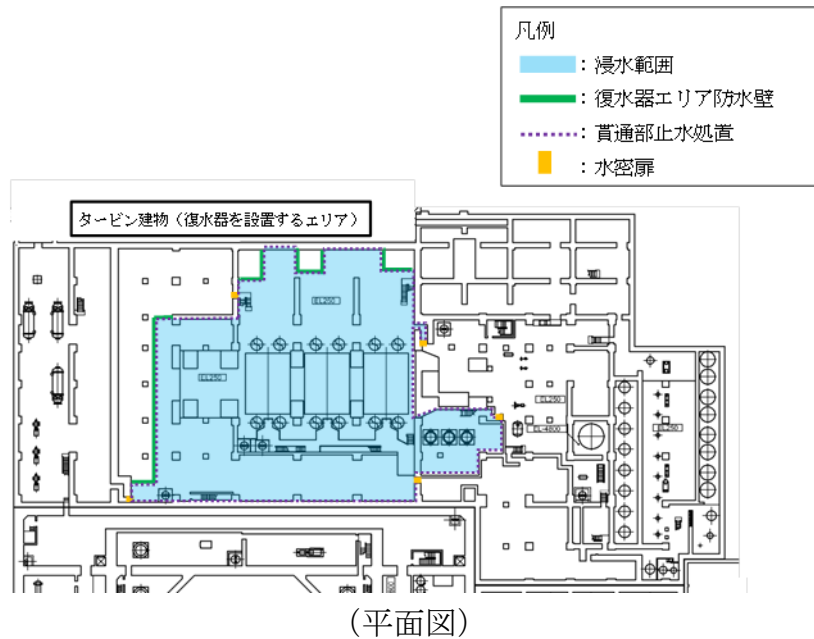
諸元	値
①EL2.0mより上部に滞留する溢水量 ^{※1}	4,162[m ³]
②EL2.0mにおける復水器エリアの滞留面積	1,546[m ²]
③水上高さ	0.075[m]
④EL2.0mより上部に滞留する溢水水位 ^{※2}	2.8[m] (EL4.8m)

※1 地震による溢水量(5,989m³)から表9-9におけるEL2.0m以下の空間容積(1,827m³)を差し引いた値

※2 以下の式より算出

$$\text{④} = \text{①} / \text{②} + \text{③}$$

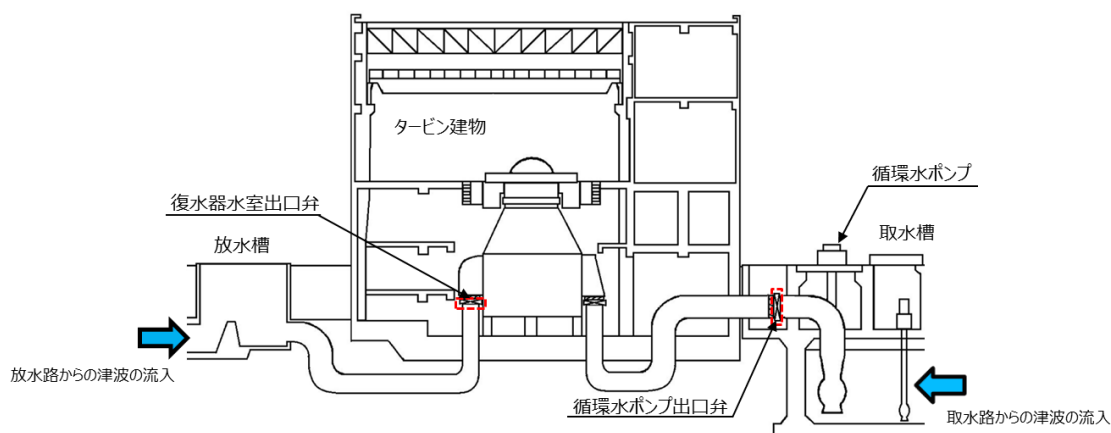
第2.4-5図 タービン建物（復水器を設置するエリア）における地震起因による溢水評価



第 2.4-6 図 タービン建物（復水器を設置するエリア）における浸水イメージ

また、津波による溢水に対しては、「設置許可基準規則第 9 条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（第 9 章 9.1）における「復水器エリアにおける溢水」の結果から、循環水系に追加設置するインターロック（地震大及びタービン建物の漏えい信号で作動）により、津波襲来前に循環水ポンプの出口弁及び復水器水室出口弁の全閉により自動隔離することから、津波はタービン建物（復水器を設置するエリア）に浸水しない。また、当該弁は津波襲来前に閉止しているため、津波による荷重が作用することから、津波時にも閉止状態を保持できる設計とし、評価方法等については、詳細設計段階で説明する。当該設備の設置位置概要を第 2.4-7 図に示す。

これにより、隣接する浸水防護重点化範囲（原子炉建物，タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリア）へ津波は浸水しない。



第 2.4-7 図 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の設置位置概要

b. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）における溢水

地震に起因し，タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）の低耐震クラスの配管であるタービン補機海水系配管，原子炉補機海水系配管（放水配管），高圧炉心スプレイ補機海水系配管（放水配管），液体廃棄物処理系配管の破損により，津波が損傷箇所を介してタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）に流入することを防止するため，以下の対策を実施する。対策の詳細は添付資料 27 に示す。

- ・原子炉補機海水系配管（放水配管），高圧炉心スプレイ補機海水系配管（放水配管）の基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能保持
- ・タービン補機海水系配管，液体廃棄物処理系配管への逆止弁設置

上記対策により，同区画は「津波による溢水」に該当する事象（津波襲来下において海水が流入する事象）は生じない。

また，タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）に設置する耐震Sクラスの設備に対する浸水影響について，添付資料 28 に示す。

c. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水

地震に起因し、取水槽循環水ポンプエリアに敷設する循環水配管伸縮継手の破損及び低耐震クラスの機器及び配管の損傷により、津波がその損傷箇所を介して、取水槽循環水ポンプエリア内に流入することを防止するため、以下の対策を実施する。対策の詳細は添付資料 27 に示す。

- ・循環水系の機器及び配管の基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能保持
- ・タービン補機海水ポンプ出口弁（インターロック動作）

上記対策により、同区画は「津波による溢水」（津波襲来下において海水が流入する事象）に該当する事象は生じない。

また、取水槽循環水ポンプエリアに設置する耐震 S クラスの設備に対する浸水影響について、添付資料 28 に示す。

d. 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水

地震に起因し、取水槽海水ポンプエリアに敷設するタービン補機海水系配管を含む低耐震クラスの機器及び配管の損傷により、津波が取水槽海水ポンプエリアに流入することを防止するため、以下の対策を実施する。対策の詳細は添付資料 27 に示す。

- ・タービン補機海水系、除じん系の機器及び配管の基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能保持

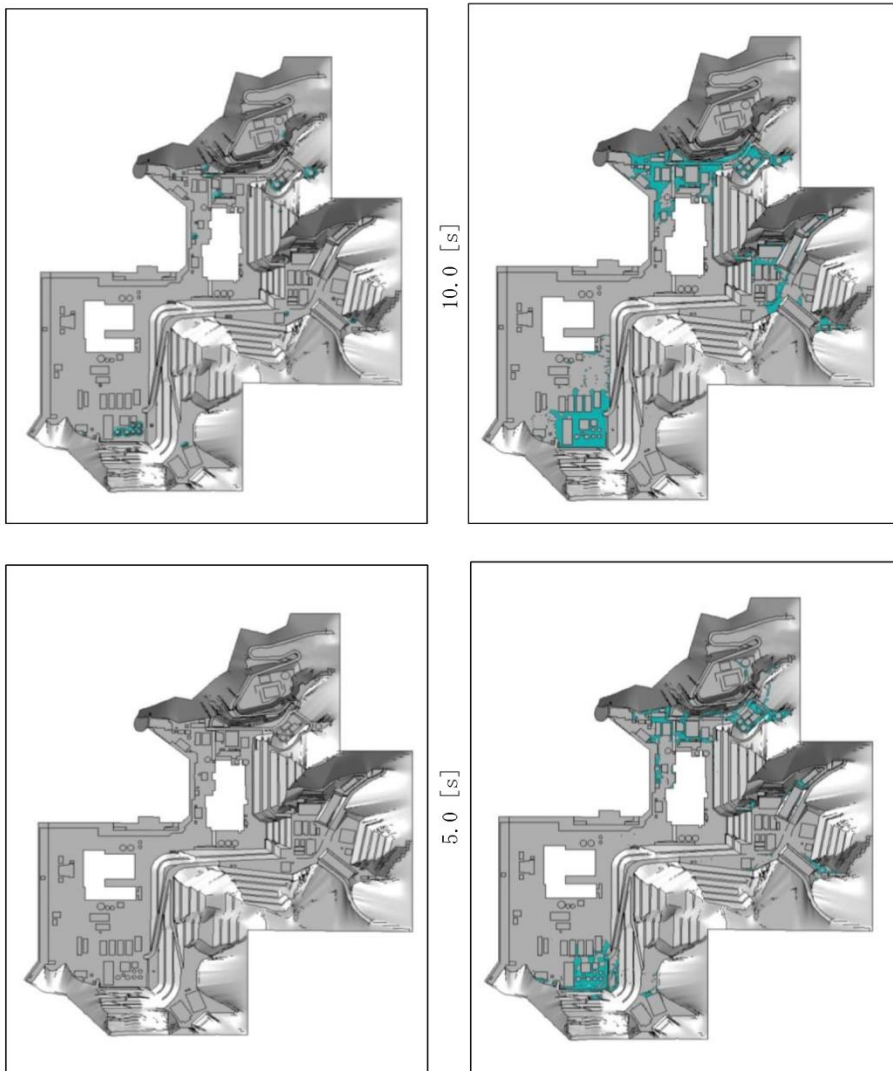
上記対策により、同区画は「津波による溢水」（津波襲来下において海水が流入する事象）に該当する事象は生じない。

e. 屋外タンク等による屋外における溢水

本事象による浸水量評価については、「設置許可基準規則第 9 条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（参考資料 3 第 10.1）において「屋外タンクの溢水による影響」として説明している。評価条件、評価結果等の具体的な内容を添付資料 10 に抜粋して示す。

添付資料 10 に示されるとおり、本事象による溢水については、溢水源として屋外に設置されたタンク等を挙げた上で、溢水防護区画への影響評価を実施した結果、原子炉建物や廃棄物処理建物の各扉付近の開口部の下端高さが溢水水位より高い位置にあること等により、浸水防護重点化範囲に影響を与えることはないと評価している。

屋外タンクの溢水伝播挙動を第 2.4-8 図に示す。



5.0 [s] 10.0 [s] 20.0 [s] 60.0 [s]
 図 10-3-2 屋外タンクの溢水伝播挙動 (1/2)

9条-別添1-10-7

第 2.4-8-1 図 屋外タンクの溢水伝播挙動

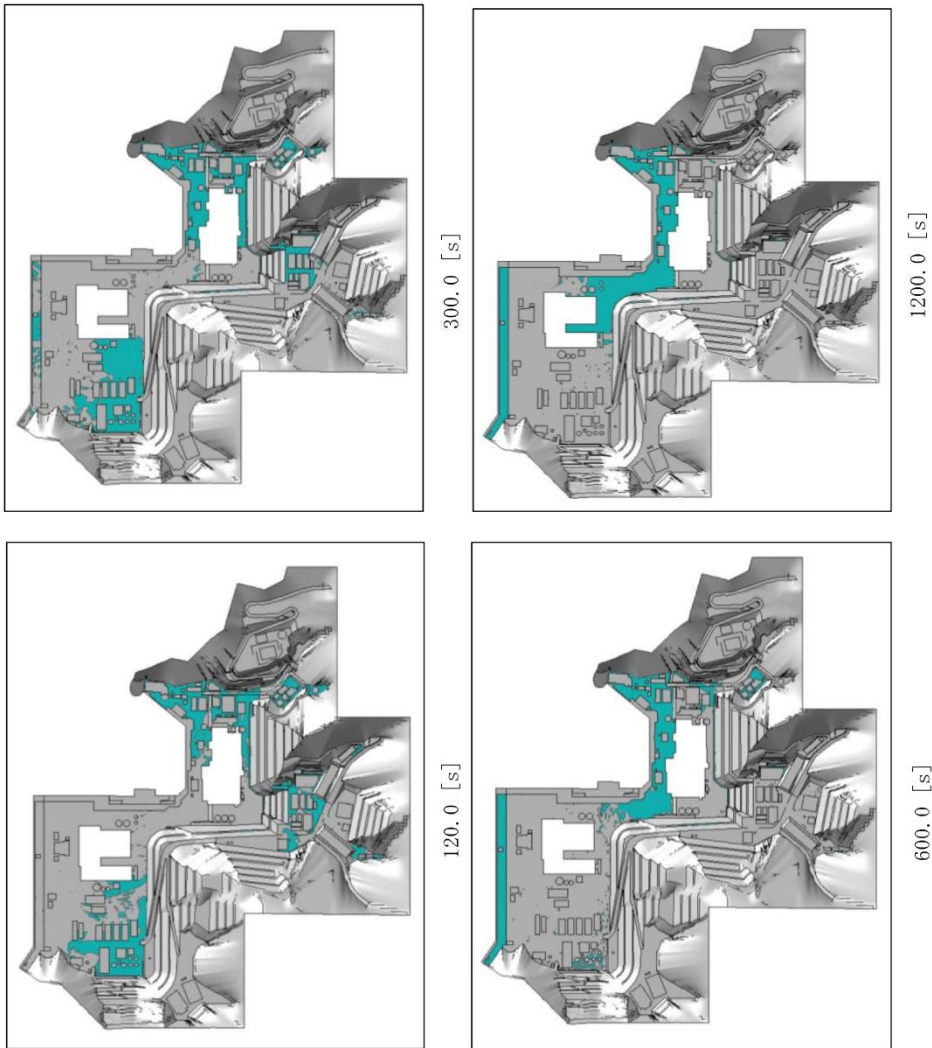


図 10-3-2 屋外タンクの溢水伝播挙動 (2/2)

9条-別添1-10-8

第 2.4-8-2 図 屋外タンクの溢水伝播挙動

f. 建物外周地下部における地下水位の上昇

本事象による浸水量評価については、「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷防止等）」に対する適合性（参考資料3第10章10.2）において「地下水の溢水による影響」として説明している。評価条件、評価結果等の具体的な内容を添付資料10に抜粋して示す。

添付資料10に示されるとおり、本事象による浸水水位（建物周囲の地下水位）については、基準地震動 S_s による地震力に対して機能維持する地下水位低下設備を設置することから、建物まで地下水位が上昇することはなく、地下水が溢水防護区画に影響を与えることはないと評価している。

その上で、安全側に地下水位をタービン建物の地表面（EL8.5m）と想定し、地震による建物外周部からの流入について、地震による残留ひび割れを考慮した評価を実施し、ひび割れの程度に応じた浸水量を仮定する。

第2.4-2表 影響評価一覧表

溢水事象	事象概要	起回事象	想定事象	対策	確認条文
a	タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・内部溢水 ・津波による溢水 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターロックによる循環水系の自動隔離※ 	設置許可基準規則第5条 第9条
b	タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）における溢水	地震		<ul style="list-style-type: none"> ・インターロックによるタービン補機海水系の自動隔離※ ・タービン補機海水系の放水配管等への逆止弁設置※ 	
c	取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水	地震		<ul style="list-style-type: none"> ・低耐震クラスの機器及び配管の耐震性評価 	
d	取水槽海水ポンプエリアにおける溢水	地震			
e	屋外タンク等による屋外における溢水	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・内部溢水 	<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽海水ポンプエリアへの防水壁の設置 	設置許可基準規則第9条
f	建物外周地下部における地下水位の上昇	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・内部溢水 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水位低下設備の設置※ 	設置許可基準規則第9条

※ 隔離範囲については、基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能等を保持する設計とする。

(3) 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策

「(2) 浸水量評価」で示した各事象により想定される浸水範囲、浸水量に対し、浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路、浸水口（扉、開口部、貫通口等）を特定し、それらに対して浸水対策を実施した。なお、浸水の可能性のある経路、浸水口の特定にあたっては、施設・設備施工上生じうる隙間部等として、貫通口における貫通物と貫通口（スリーブ、壁等）との間に生じる隙間部や建物間接合部に生じる隙間部についても考慮した。

浸水対策の実施範囲を第 2.4-9 図に、浸水経路・浸水口に応じた浸水対策の種類を第 2.4-3 表に示す。

各浸水対策の仕様については「4.2 浸水防止設備の設計」、その設置位置、施工範囲については添付資料 11 に示す。

なお、浸水防護重点化範囲のうち、その境界部に安全側に想定した浸水が及ばず、結果として浸水対策が不要であった範囲を建物の階層単位で整理して示すと第 2.4-4 表となる。各津波防護対象設備において、浸水が生じ得る箇所に設置されるものであるか否か（浸水対策が求められる浸水防護重点化範囲内に設置されているか否か）は、同表及び添付資料 1「基準津波に対して機能を維持すべき設備とその配置」により確認される。

a. タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水

「浸水量評価」に示すとおり本事象による津波の浸水はない。

地震に起因する溢水によるタービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水水位は、EL 約 4.8m となるため、没水水位との関係を考慮した浸水防護重点化範囲の境界に以下における浸水対策を行うことから、浸水防護重点化範囲（原子炉建物、タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリア）へ及ぼす影響はない。

＜タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）に対する対策＞

- ・復水器エリア防水壁，水密扉，床ドレン逆止弁，貫通部止水処置

＜原子炉建物及び取水槽循環水ポンプエリアに対する対策＞

- ・貫通部止水処置

b. タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）における溢水

タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）における溢水については、浸水防護重点化範囲の境界に以下の浸水対策を行うことにより、浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）に津波の浸水はない。詳細は添付資料 27 に示す。

＜タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）に対する対策＞

- ・原子炉補機海水系配管（放水配管），高圧炉心スプレイ補機海水系配管（放水配管）の基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能保持
- ・タービン補機海水系配管，液体廃棄物処理系排水配管への逆止弁設置

c. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水

取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水については、浸水防護重点化範囲の境界に以下の浸水対策を行うことにより、浸水防護重点化範囲である取水槽循環水ポンプエリアに津波の浸水はない。なお、タービン補機海水ポンプ出口弁に設置するインターロックについては、浸水防護重点化範囲（耐震Sクラスの設備を内包する建物）への津波の流入を防止する重要な設備であり、津波襲来前に確実に閉止するため、多重化・多様化を図る。詳細は添付資料 27 に示す。

＜取水槽循環水ポンプエリアに対する対策＞

- ・循環水ポンプ及び配管の基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能保持
- ・タービン補機海水ポンプ出口弁（インターロック動作）

d. 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水

取水槽海水ポンプエリアにおける溢水については、浸水防護重点化範囲の境界に以下の浸水対策を行うことにより、浸水防護重点化範囲である取水槽海水ポンプエリアに津波の浸水はない。詳細は添付資料 27 に示す。

＜取水槽海水ポンプエリアに対する対策＞

- ・タービン補機海水ポンプ及び配管，除じんポンプ及び配管の基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能保持

e. 屋外タンク等における溢水

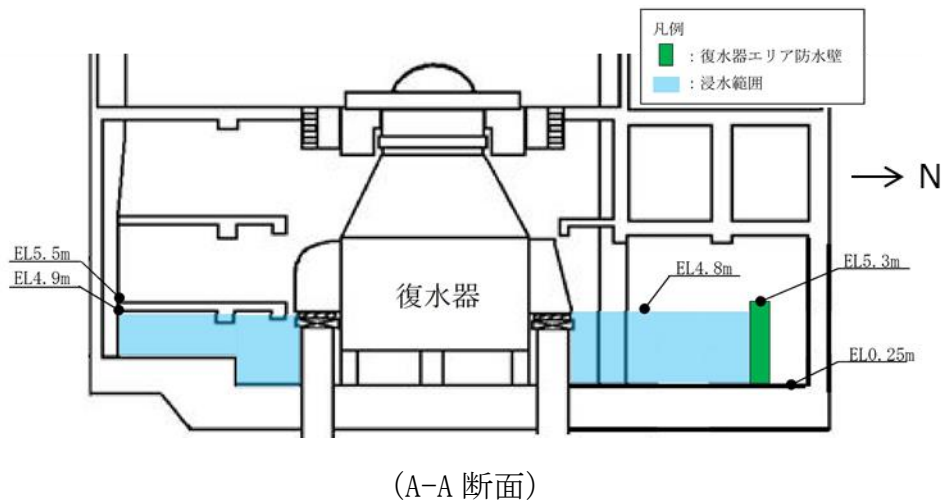
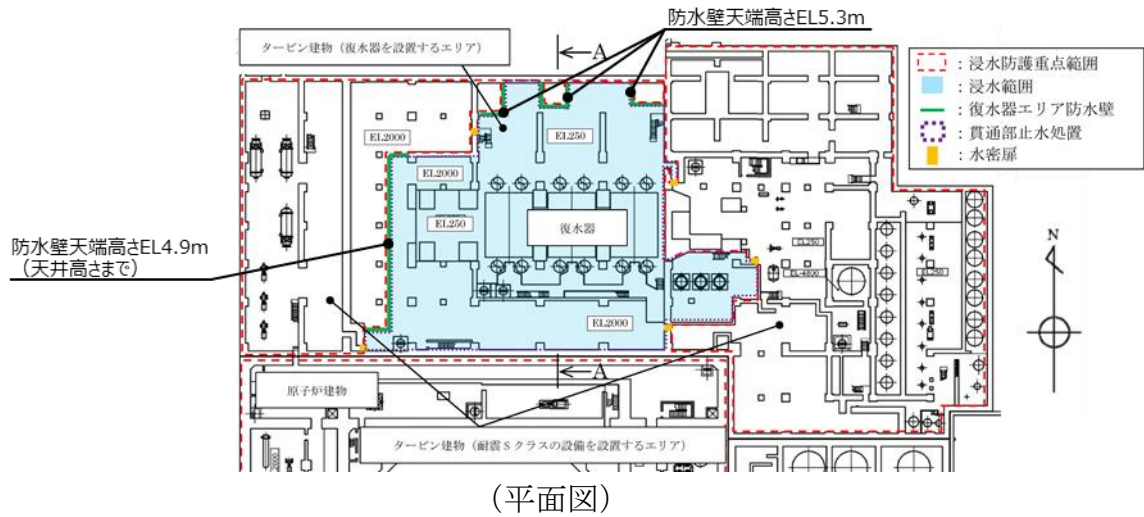
地震時の屋外タンク等による影響評価は、原子炉建物や廃棄物処理建物の各扉付近の開口部の下端高さが溢水水位より高い位置にあること等により、浸水防護重点化範囲に影響を与えることはないと評価している。

f. 建物外周地下部における地下水位の上昇

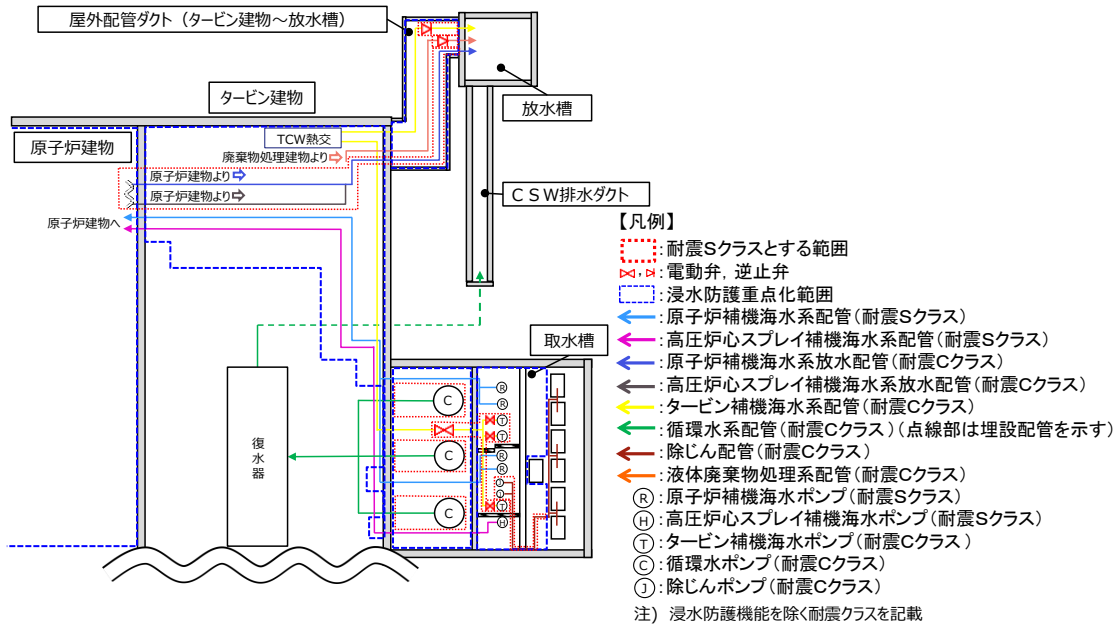
建物外周地下部における地下水位の上昇については、基準地震動 S_s による地震力に対して機能維持する地下水位低下設備を設置することによって、地震時及び地震後においても地下水を地上の雨水排水系統へ排水することが可能である。また、地下水位低下設備の電源は、非常用電源系統より供給することから、外部電源喪失時にも排水が可能となっており、水位が上昇し続けることはない（「島根原子力発電所 2 号炉 地震による損傷の防止 別紙-17 地下水位低下設備について」参照）。安全側に地下水位をタービン建物の地表面 (EL8.5m) と想定し、地震による建物外周部からの流入について、地震による残留ひび割れを考慮した評価を実施し、ひび割れの程度に応じた浸水量を仮定した場合においても、浸水防護重点化範囲に影響を与えないように浸水対策を実施する。

なお、島根 2 号炉の浸水防護重点化範囲であるタービン建物，制御室建物，廃棄物処理建物（それぞれ耐震 S クラスの設備を設置するエリア）は島根 1 号炉タ

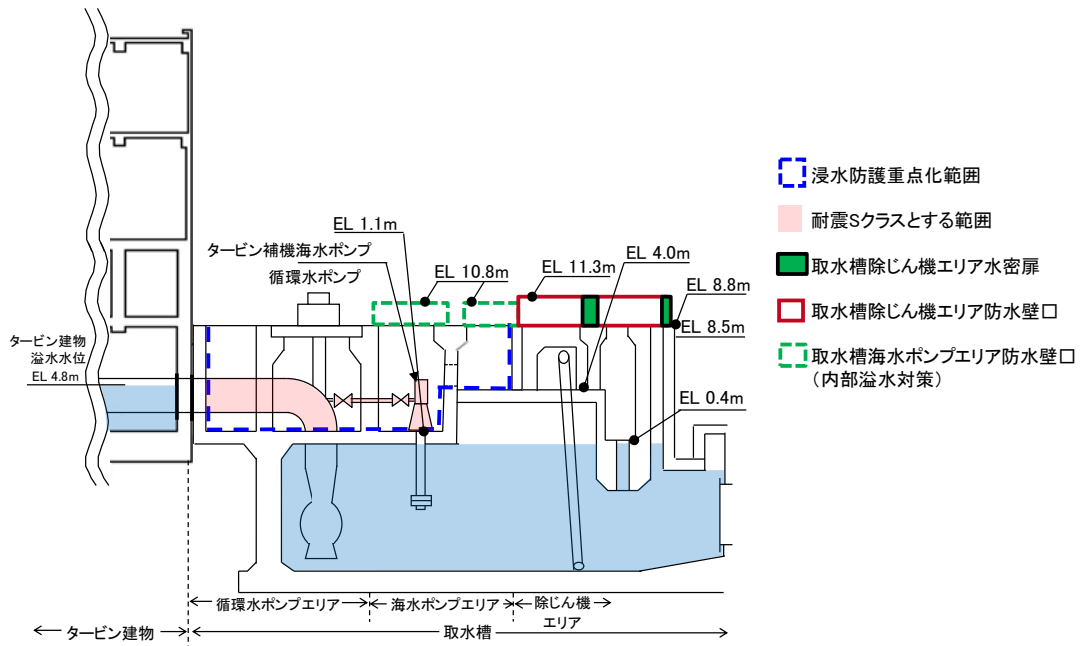
ービン建物等と隣接しているため、島根1号炉にて発生した溢水による島根2号炉の浸水防護重点化範囲への浸水が考えられるが、島根2号炉と島根1号炉の建物境界に対しては、溢水防護の観点から止水対策を実施することから、島根2号炉へ浸水することはない。



第 2.4-9-1 図 浸水対策概要図 (EL5.3m まで)



(平面図)



(断面図)

第 2.4-9-2 図 浸水防護重点化範囲内に設置する海域と接続する低耐震クラスの機器及び配管への対策概要図

第 2.4-3 表 浸水経路・浸水口に応じた浸水対策の種類

浸水経路・浸水口		浸水対策	(参考) 対象とする 溢水事象
通路・扉部		・「水密扉」を設置	a
区画		・「防水壁」を設置	a
貫 通 部	配管	・「貫通部止水処置」を実施	a
	電線管		a
	ケーブルトレイ		a
	予備スリーブ		a
	床ドレン	・「逆止弁」を設置	a
低耐震クラスの機器及び配管		・基準地震動 Ss による地震力に対するバ ウンダリ機能保持 ・「電動弁」, 「逆止弁」を設置	b, c, d
建物間接合部		・エキスパンションジョイント	e, f

第 2.4-4 表 浸水防護重点化範囲境界の浸水有無（浸水対策要求有無）

建物	タービン建物（復水器を設置するエリア）における階層 ^{※1}		
	地下1階 (EL2.0m) 浸水あり	地上1階 (EL5.5m) 浸水なし	地上2階 (EL12.5m)以上 浸水なし
原子炉建物	対策要求あり	対策要求なし	対策要求なし
制御室建物	対策要求なし ^{※2}	対策要求なし	
廃棄物処理建物			
タービン建物（耐震 Sクラスの設備を 設置するエリア）	対策要求あり	対策要求なし	対策要求なし
取水槽循環水ポン プエリア	対策要求あり	対策要求なし	対策要求なし

※1 建物によりエレベーションは異なり，ここでは代表でタービン建物のエレベーションを表記

※2 制御室建物及び廃棄物処理建物の浸水防護重点化範囲はそれぞれ EL12.8m, EL8.8m 以上であるため，対策要求はない。(第 2.4-2-1 図(1/4, 2/4) 参照。)

2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止

2.5.1 非常用海水冷却系の取水性

【規制基準における要求事項等】

非常用海水冷却系の取水性については、次に示す方針を満足すること。

- ・基準津波による水位の低下に対して海水ポンプが機能保持できる設計であること。
- ・基準津波による水位の低下に対して冷却に必要な海水が確保できる設計であること。

【検討方針】

基準津波による水位の低下に対して、非常用海水冷却系の海水ポンプである原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプが機能保持できる設計であることを確認する。

また、基準津波による水位の低下に対して、非常用海水冷却系による冷却に必要な海水が確保できる設計であることを確認する。

具体的には、以下のとおり実施する。

- ・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ位置の評価水位の算定を適切に行うため、取水路の特性に応じた手法を用いる。また、取水路の管路の形状や材質、表面の状況に応じた摩擦損失を設定する。
- ・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位が下降側評価水位を下回る等、水位低下に対して同ポンプが機能保持できる設計となっていることを確認する。
- ・引き波時に水位が取水可能水位を下回る場合には、下回っている時間において、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの継続運転が可能な貯水量を十分確保できる設計となっていることを確認する。

なお、取水路または取水槽が循環水系と非常用海水冷却系で併用される場合においては、循環水系運転継続等による取水量の喪失を防止できる措置が施される方針であることを確認する。

【検討結果】

引き波による水位の低下に対して、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプが機能保持でき、かつ、同系による冷却に必要な海水が確保できる設計とする。

具体的には、引き波による水位低下時においても、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位を下回らないことを確認する。

ここで、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの位置における津波高さの算出にあたっては、基準津波による水位の低下に伴う取水路の

特性を考慮した原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ位置の評価水位（取水槽内の津波高さ）を適切に算定するため、開水路及び管路において非定常管路流の連続式及び運動方程式を用いて管路解析を実施する。また、その際、取水口から取水槽に至る系をモデル化し、管路の形状、材質及び表面の状況に応じた摩擦損失を考慮し、計算結果に潮位のばらつきの加算や安全側に評価した値を用いる（「1.4 入力津波の設定」参照）。

以上のことから、管路解析により得られた基準津波による取水槽内の水位下降側の入力津波高さは第 2.5-1-1 図に示すとおり、基準津波 6（循環水ポンプ運転時：EL-8.4m (EL-8.31m)）となる。これに対して、長尺化を実施した原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位は各々 EL-8.32m, EL-8.85m^{*}であり、水位低下に対して裕度がない。そのため、大津波警報が発令された場合は、プラントを停止し、復水器により崩壊熱を除去するが、気象庁より発表される第一波の到達予想時刻の 5 分前までに運転員による手動操作で循環水ポンプを停止し、サブプレッションチェンバを使用した崩壊熱除去に切り替える。循環水ポンプの停止操作については、手順の整備と運転員への教育訓練により確実に実施し、原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレイ補機海水系に必要な海水の喪失を防止する。なお、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）は、敷地までの津波の到達時間が短いことから、循環水ポンプ運転条件も考慮する。

以上の結果、基準津波による取水槽内の水位下降側の入力津波高さは第 2.5-1-2 図に示すとおり、基準津波 4（循環水ポンプ運転時：EL-6.5m）となり、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位は、取水槽内の水位下降側の入力津波高さに対し、約 1.8m の余裕がある。なお、実機海水ポンプを用いた試験により、海水ポンプのベルマウス下端(EL-9.3m)付近まで取水が可能であることを確認しており、その内容を参考として添付資料 32 に示す。

また、ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端と取水槽下端のクリアランスについては、日本機械学会基準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」(JSME S 004-1984) に示されるベルマウス径(750mm)の 1/2 以上のクリアランス(375mm 以上)を満足するよう、500mm としている。なお、長尺化前のクリアランスは 400mm であり、ポンプの取水性に関わる不具合は確認されておらず、また、砂の堆積によるクリアランスへの影響については、「2.5.2 津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能保持確認」に示すとおり、ベルマウス下端近傍に到達する砂はポンプに吸込まれることから、ベルマウス下端近傍に砂の堆積はなく、クリアランスに影響はない。

ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端への耐震サポート設置による影響については、実機性能試験等によりポンプ性能に影響を及ぼさないことを確認している（添付資料 32）。

※ 原子炉補機海水ポンプ， 高圧炉心スプレィ補機海水ポンプの取水可能水位
 原子炉補機海水ポンプ， 高圧炉心スプレィ補機海水ポンプの取水可能水位
 は， 日本機械学会基準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」(JSME S 004-1984)
 に基づき， 以下の数式によって算出している (参考図参照)。

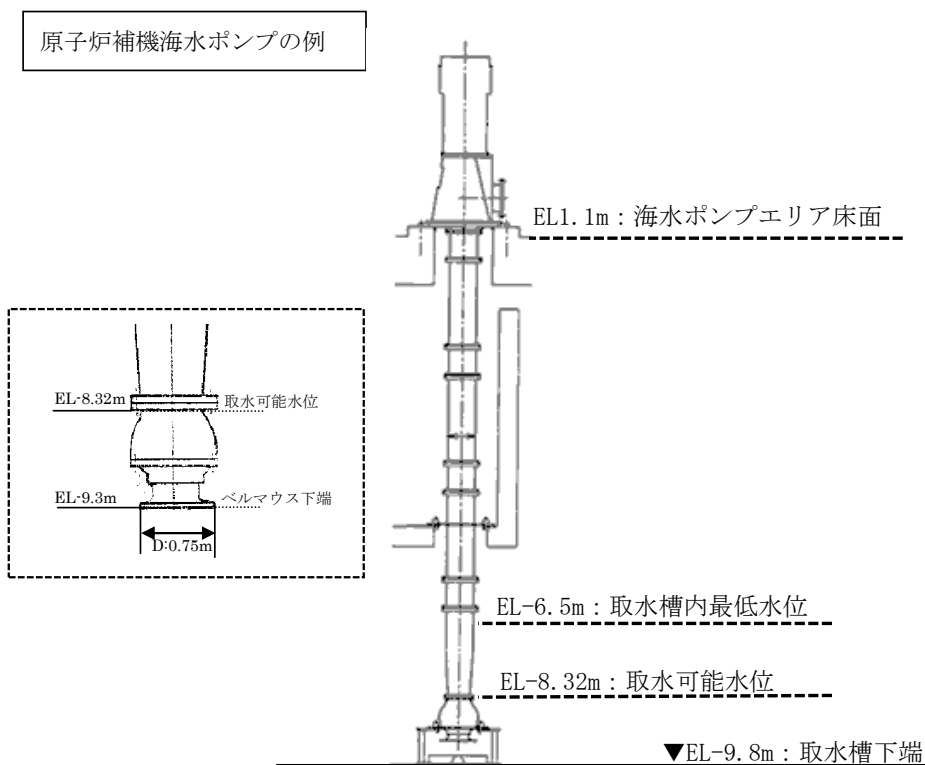
$$H = H_0 + 1.3 \times D_0$$

H : 取水可能水位

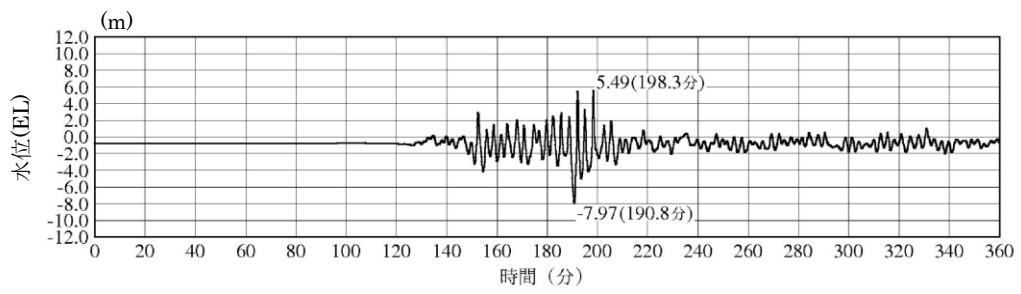
H₀ : ベルマウス下端高さ

D₀ : ポンプ吸込口径 (ベルマウス径)

	ベルマウス 下端高さ H ₀	ポンプ吸込口径 (ベルマウス径) D ₀	取水可能水位 H
原子炉補機海水 ポンプ	EL-9.3m	0.75m	EL-8.32m
高圧炉心スプレィ 補機海水ポンプ	EL-9.3m	0.34m	EL-8.85m

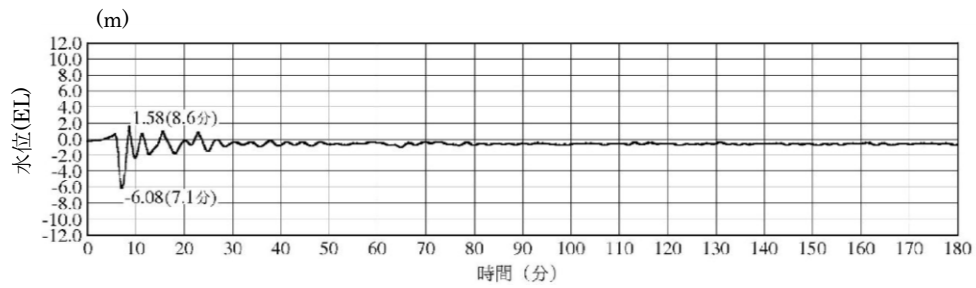


参考図 非常用海水冷却系の海水ポンプの取水可能水位



※最大水位下降量-7.97m-地殻変動量 0.34m \div EL-8.4m
 2号炉取水槽（入力津波6，防波堤無し，循環水ポンプ運転）

第2.5-1-1図 取水槽内の水位変動



※最大水位下降量-6.08m-地盤変動量 0.34m \div EL-6.5m
 2号炉取水槽（入力津波4，防波堤無し，循環水ポンプ運転）

第2.5-1-2図 取水槽内の水位変動

2.5.2 津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能保持確認

【規制基準における要求事項等】

基準津波に伴う取水口付近の砂の移動・堆積が適切に評価されていること。

基準津波に伴う取水口付近の漂流物が適切に評価されていること。

非常用海水冷却系については、次に示す方針を満足すること。

- ・基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動・堆積，陸上斜面崩壊による土砂移動・堆積及び漂流物に対して取水口及び取水路の通水性が確保できる設計であること。
- ・基準津波による水位変動に伴う浮遊砂等の混入に対して海水ポンプが機能保持できる設計であること。

【検討方針】

基準津波に伴う2号炉の取水口付近の砂の移動・堆積や漂流物を適切に評価する。その上で、非常用海水冷却系について、基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動・堆積，陸上斜面崩壊による土砂移動・堆積及び漂流物に対して2号炉の取水口及び取水路の通水性が確保できる設計であること，浮遊砂等の混入に対して非常用海水冷却系の海水ポンプである原子炉補機海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機海水ポンプが機能保持できる設計であることを確認する。

具体的には、以下のとおり確認する。

- ・遡上解析結果における取水口付近の砂の堆積状況に基づき、砂の堆積高さが取水口下端に到達しないことを確認する。取水口下端に到達する場合は、取水口及び取水路が閉塞する可能性を安全側に検討し、閉塞しないことを確認する。
- ・混入した浮遊砂は、スクリーン等で除去することが困難なため、原子炉補機海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機海水ポンプそのものが運転時の砂の混入に対して軸固着しにくい仕様であることを確認する。
- ・基準津波に伴う取水口付近の漂流物については、遡上解析結果における取水口付近を含む敷地前面及び遡上域の寄せ波及び引き波の方向，速度の変化を分析した上で、漂流物の可能性を検討し、漂流物により取水口が閉塞しないことを確認する。また、スクリーン自体が漂流物となる可能性が無いか確認する。

【検討結果】

(1) 砂の移動・堆積に対する通水性確保

2号炉の取水口呑口下端はEL-12.5mであり、海底面(EL-18.0m)より5.5m高い位置にある(第2.5-2図)。これに対し、数値シミュレーションにより得られた基準津波による砂移動に伴う取水口付近の砂の堆積高さは、最大で約0.02m(基準津波1(防波堤有り))であることから、砂の堆積高さは取水口呑口下端に到達しない(第2.5-1表)。

また、非常用海水冷却系の海水ポンプ下端は、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプともに EL-9.3m であり、2号炉の取水槽底面

(EL-9.8m) より 0.5m 高い位置にある (P.5 条-別添 1-II-2-70 参考図)。これに対し、数値シミュレーションにより得られた基準津波による砂移動に伴う取水槽底面における砂の堆積厚さは、大津波警報発令時の循環水ポンプ停止運用を考慮すると最大で 0.001m 未満 (基準津波 1 (防波堤有り, 循環水ポンプ停止)) である (第 2.5-1 表) ことから、砂の堆積厚さは海水ポンプ下端に到達しない。なお、通常運転中の砂移動等により除じん機エリアの一部に堆積物が確認されているが、取水槽下部 (海水ポンプ吸込エリア床面 EL-9.80m) は貯留構造となっており、津波が流入する取水管の下端高さ (EL-7.30m) より 2.5m 深いため、津波の流入による取水槽下部の流速への影響は十分に小さく、除じん機エリアの堆積物が海水ポンプ吸込エリアに移動することはない (第 2.5-3 図)。

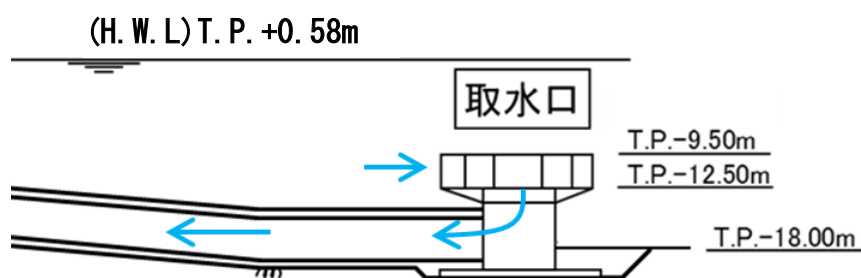
また、ポンプ長尺化に伴う砂の移動・堆積については、以下に示すとおり有意な影響はない。

- ・島根 2 号炉の取水口が設置される輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されており、砂の分布はほとんどない (添付資料 13 参照)。
- ・島根 2 号炉の取水口は、取水口呑口が海底面より 5.5m 高い位置にあるため、海底面の砂が取水口に到達しにくい構造である。
- ・非常用海水冷却系の海水ポンプ長尺化に伴う取水口からの取水量に変化はなく、取水口への砂の流入量に変化はない。
- ・取水槽点検において、除じん機上流側及び近傍の一部に堆積物が確認されているが、海水ポンプ吸込みエリア底面には、砂等の堆積物は確認されていない (第 2.5-3 図)。
- ・循環水ポンプの定格流量 (約 3370 m^3/min) に対して、長尺化を実施する非常用海水冷却系の海水ポンプの定格流量 (原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ合計: 約 150 m^3/min) は 5% 未満であることから、循環水ポンプの影響が支配的であり、非常用海水冷却系の海水ポンプ長尺化による除じん機エリアの流況の変化は十分小さい。
- ・非常用海水冷却系の海水ポンプ長尺化に伴う除じん機エリアの流況の変化は十分に小さいことから、除じん機エリアで確認された堆積物が当該エリアに流入することはない。
- ・ポンプ長尺化以降は、ポンプ点検にあわせて、周辺部の堆積物の状況を確認し、必要により清掃を行う。
- ・ベルマウス下端近傍の取水槽床面では海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回っており、ベルマウス下端近傍に到達する砂はポンプに吸込まれることから、ベルマウス下端近傍に砂の堆積はない (添付資料 33 参照)。なお、ベルマウス下端近傍に砂の堆積がないことから、ベルマウス下端と取水槽下端のクリアランスへの影響はなく、砂の吸込みによる海水ポンプへの影響については、「(2) 混入した浮遊砂に対する機能保持」に示すとおり、基準津波

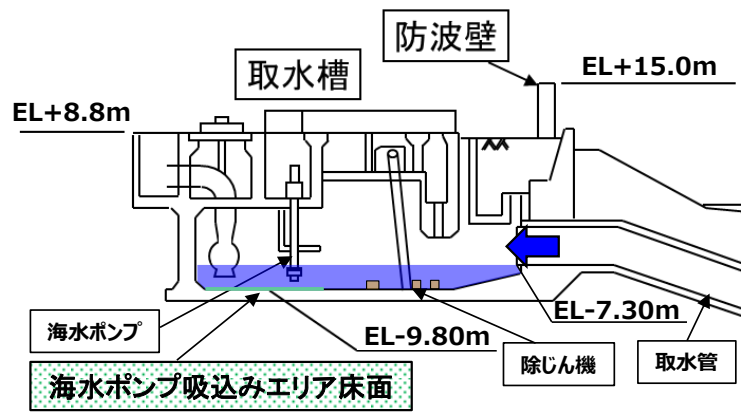
襲来時の砂濃度を上回る濃度において、実機海水ポンプを用いた試験により海水ポンプが機能を保持することを確認している。

以上より、基準津波による砂移動・堆積により取水口及び取水路が閉塞する可能性はないと考えられ、これより、基準津波による砂移動・堆積に対して非常用海水冷却系（原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレイ補機海水系）に必要な取水口及び取水路の通水性は確保できるものと評価する。

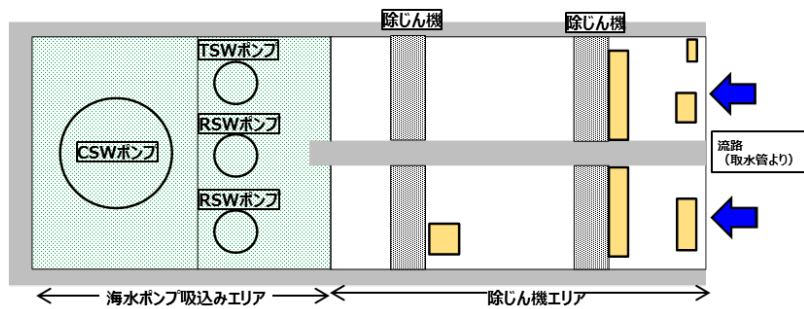
なお、基準津波による砂の移動・堆積の数値シミュレーションによる評価は「島根原子力発電所における津波評価」（参考資料1）及び添付資料12において説明する。



第 2.5-2 図 取水口断面図



(断面図)



(平面図)

- : 第17回定期検査（平成24年1月～）において確認された堆積状況
- : 津波流入経路
- : 貯留構造部

第 2.5-3 図 取水槽点検（C水路）における堆積状況確認結果

(2) 混入した浮遊砂に対する機能保持

基準津波による浮遊砂については、スクリーン等で除去することが困難なため、海水ポンプそのものが運転時の砂の混入に対して軸固着等を行うことがなく機能保持できる設計であることを、以下のとおり確認した。

発電所周辺海域での底質土砂を分析した結果、発電所沿岸域のほとんどが岩、礫及び砂礫で構成されており、沖合域の海底地質は砂が分布している。砂の粒径については、各調査地点の50%透過質量百分率粒径のうち、最も細かい粒径となる0.3mmを評価に用いる砂の粒径とする（添付資料13）。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプで取水した浮遊砂を含む多くの海水は、揚水管内側流路を通過するが、一部の海水はポンプ軸受の潤滑水として軸受摺動面に流入する構造である（第2.5-4図）。

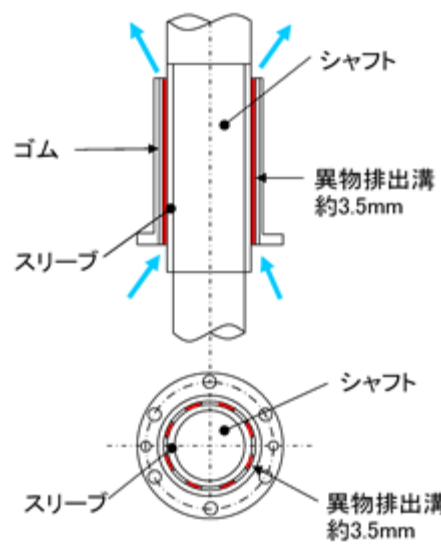
主軸外径と軸受内径の差である摺動面隙間（原子炉補機海水ポンプ：約1.58mm（許容最大）、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ：約1.41mm（許容最大））に対し、これより粒径の小さい砂分が混入した場合は海水とともに摺動面を通過するか、または主軸の回転によって異物逃がし溝（原子炉補機海水ポンプ：約3.5mm、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ：約3.5mm）に導かれ連続排出される（第2.5-4図）。

一方、摺動面隙間より粒径が大きい2.0mm以上の礫分は浮遊し難いものであることに加え、砂移動に伴う取水槽の砂の最大堆積厚さは、0.001m未満であったことから、摺動面の隙間から混入することは考えにくい。万が一、摺動面に混入したとしても回転軸の微小なずれから発生する主軸振れ回り（歳差運動）により、粉碎もしくは排砂機能により摺動面を伝って異物逃がし溝に導かれ排出されることから、軸受摺動面や異物逃がし溝が閉塞することによるポンプ軸固着への影響はない。

また、基準津波襲来時を想定した取水路における砂移動解析を実施した結果、取水槽地点における浮遊砂濃度は 0.25×10^{-3} wt%（基準津波1（防波堤有り、循環水ポンプ停止））であった。

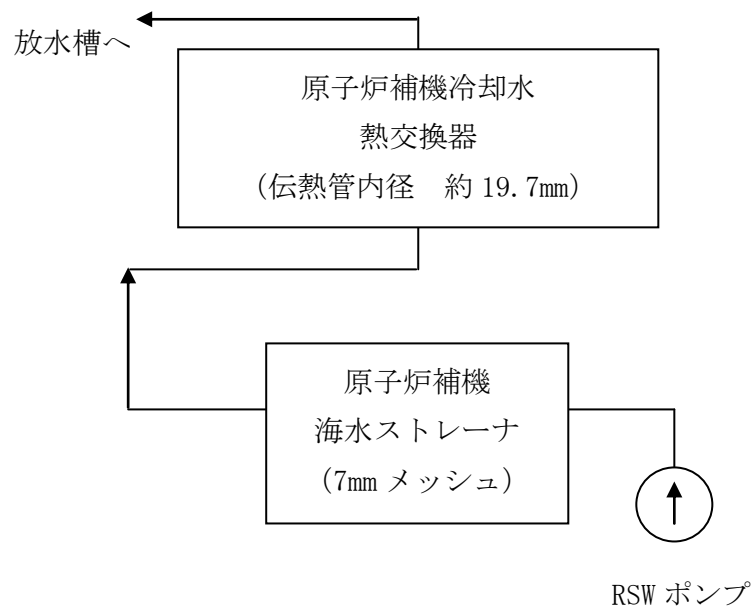
基準津波襲来時の浮遊砂による軸受摩耗への影響については、取水槽位置の砂濃度を包絡する砂濃度において海水ポンプを用いた試験を実施し、基準津波襲来時の浮遊砂による軸受摩耗への影響がないことを確認した（添付資料14）。

以上により、基準津波の襲来に伴う浮遊砂による海水ポンプ軸受への影響はなく、海水ポンプの取水機能は保持できるものと評価する。



第 2.5-4 図 海水ポンプ軸受構造図

また、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの揚水管内側流路を通過し、原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレイ補機海水系の系統に混入した微小な浮遊砂は、海水系ストレーナを通過し熱交換器を経て放水槽へ排出されるが、ストレーナ通過後の最小流路幅（各熱交換器の伝熱管内径）は原子炉補機海水系で約 19.7mm，高圧炉心スプレイ補機海水系で約 16.5mm であり，砂の粒径約 0.3mm に対し十分に大きいことから閉塞の可能性はないと考えられ，原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレイ補機海水系の取水機能は維持可能である（第 2.5-5 図）。



第 2.5-5 図 系統概略図（原子炉補機海水系の例）

4.2 浸水防止設備の設計

【規制基準における要求事項等】

浸水防止設備については、浸水想定範囲における浸水時及び冠水後の波圧等に対する耐性等を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう設計すること。

【検討方針】

浸水防止設備（屋外排水路逆止弁，防水壁，水密扉，床ドレン逆止弁，隔離弁，ポンプ・配管及び貫通部止水処置）については、基準地震動 S_s による地震力に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう設計する。また、浸水時の波圧等に対する耐性等を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう設計する。

【検討結果】

浸水防止設備としては、「2.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）」及び「2.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護2）」に示したとおり、設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建物及び区画に津波を地上部から到達、流入させないよう、また、取水槽，放水槽等の経路から津波が流入及び漏水することがないように、屋外排水路逆止弁，防水壁，水密扉及び床ドレン逆止弁を設置し、貫通部止水処置を実施する。

また、「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示したとおり安全側に想定した浸水範囲に対して、浸水防護重点化範囲内が浸水することがないように、浸水防護重点化範囲の境界にある扉，開口部，貫通口等に、防水壁，水密扉，床ドレン逆止弁及び隔離弁を設置し、貫通部止水処置を実施する。さらに、浸水防護重点化範囲内に設置する海域に接続する低耐震クラスのポンプ・配管のうち、破損した場合に津波の流入経路となるポンプ・配管については、基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能を保持する設計とする。

浸水防止設備の種類と設置位置を整理し、第4.2-1表に示す。各浸水防止設備の設計方針を以下に示す。

第4.2-1表 浸水防止設備の種類と設置位置

種類		設置位置	箇所数 (参考)	
外郭防護に係る浸水防止設備	屋外排水路逆止弁	屋外排水路	一式	
	防水壁	取水槽除じん機エリア	1	
	水密扉	取水槽除じん機エリア	3	
	貫通部止水処置	取水槽除じん機エリア	一式	
	床ドレン逆止弁	取水槽	一式	
内郭防護に係る浸水防止設備	防水壁	タービン建物（復水器を設置するエリア）とタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）との境界	1	
	水密扉		5	
	床ドレン逆止弁		一式	
	隔離弁	電動弁	取水路とタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）との境界	4
		逆止弁	放水路とタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）との境界	2
	ポンプ・配管		取水槽海水ポンプエリア，取水槽循環水ポンプエリア及びタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）	一式
	貫通部止水処置		タービン建物（復水器を設置するエリア）と原子炉建物，タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリアとの境界	一式

4.2.1 土木・建築構造物

(1) 屋外排水路逆止弁

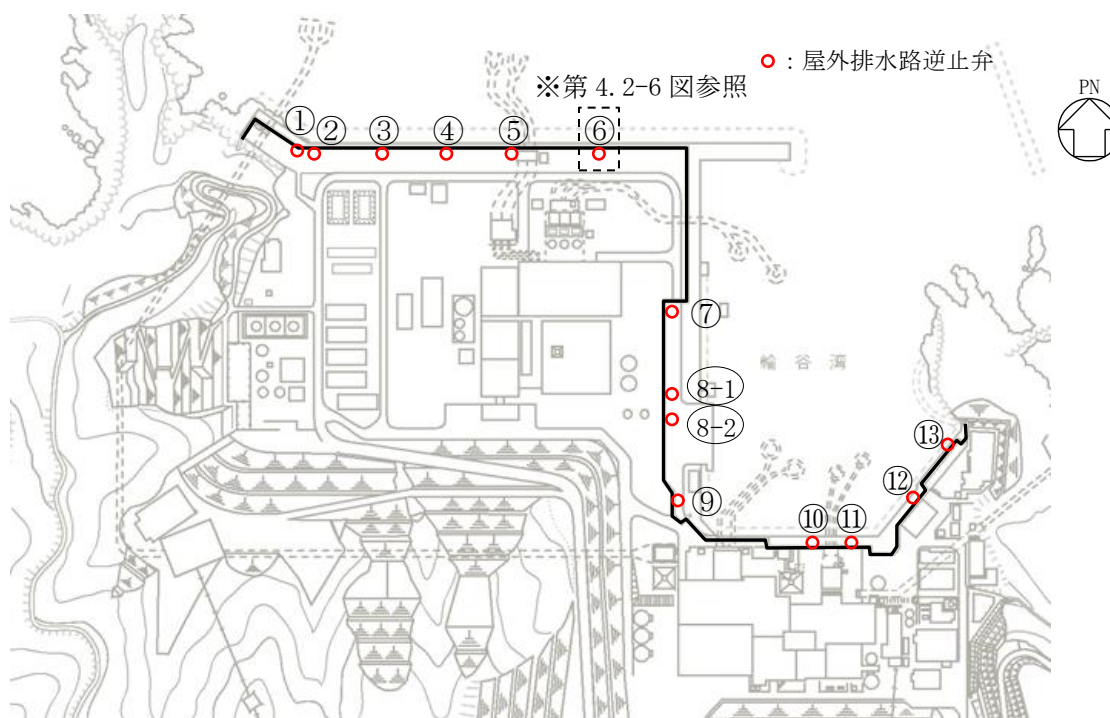
施設護岸における入力津波高さに対して、屋外排水路出口からの敷地への津波の到達、流入を防止するため、屋外排水路出口の排水柵に屋外排水路逆止弁を設置する。

屋外排水路逆止弁は津波荷重や地震荷重等に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう以下の方針により設計する。

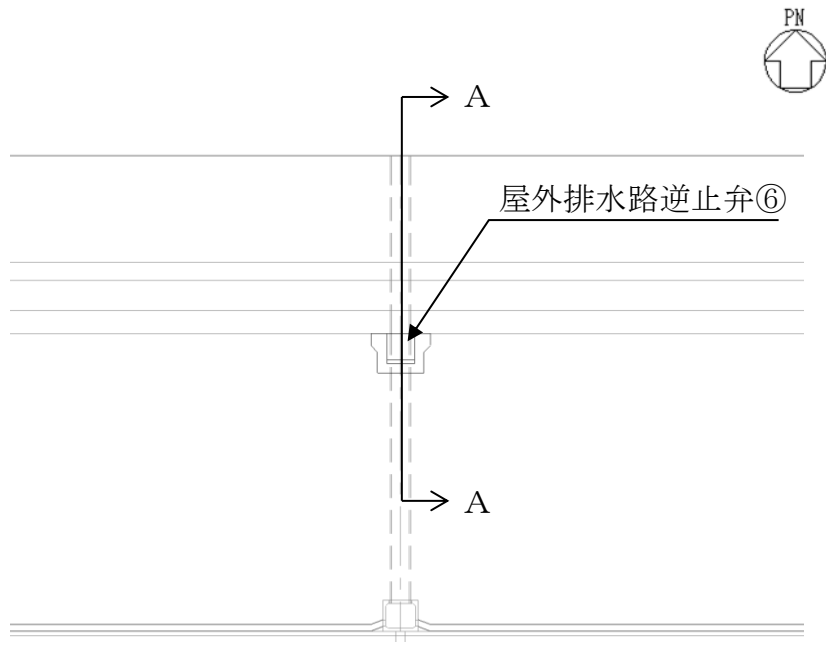
a. 構造

屋外排水路逆止弁は、板材、補強材等の鋼製部材により構成し、排水柵に固定する。

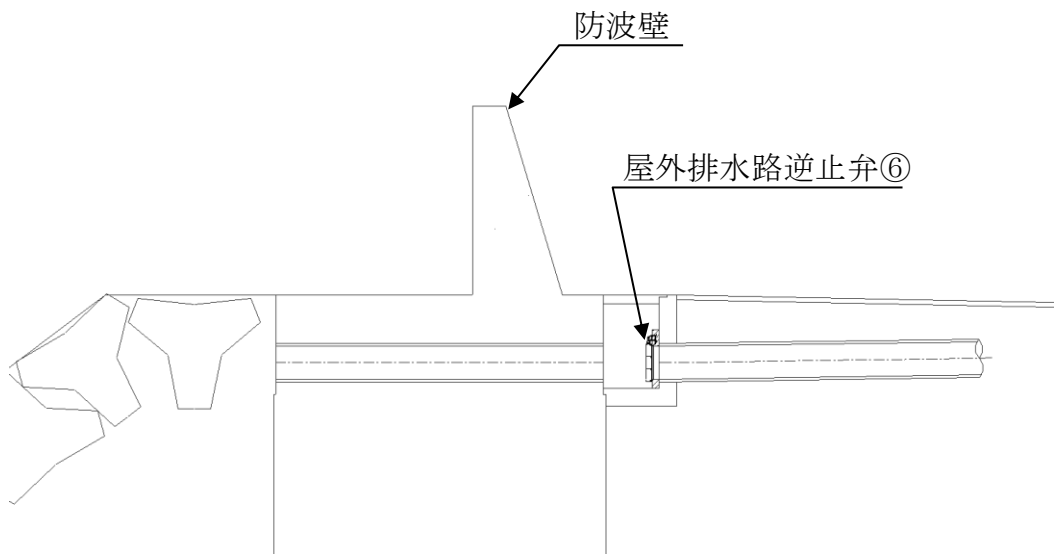
屋外排水路逆止弁の位置図を第4.2-1図に、配置図を第4.2-2図に、構造例を第4.2-3図に示す。



第4.2-1図 屋外排水路逆止弁位置図

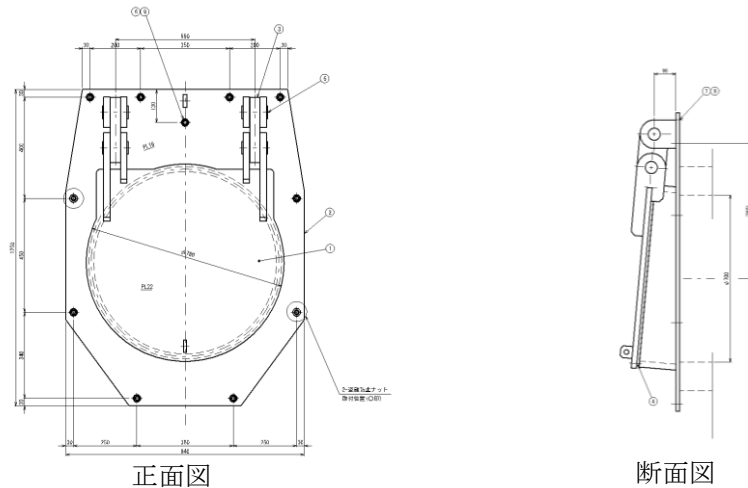


平面图



断面图 (A-A断面)

第4.2-2图 屋外排水路逆止弁⑥配置图



第4.2-3図 屋外排水路逆止弁構造例

b. 荷重組合せ

屋外排水路逆止弁の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重及び津波荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

c. 荷重の設定

屋外排水路逆止弁の設計において考慮する荷重は、以下のように設定する。

(a) 常時荷重

自重等を考慮する。

(b) 地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

(c) 津波荷重

設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

(d) 余震荷重

余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用に当たっての考え方を添付資料22に示す。

d. 許容限界

浸水防止機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が弾性域内に収まることを確認する。

なお、止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。

(2) 防水壁

a. 除じん機エリア防水壁

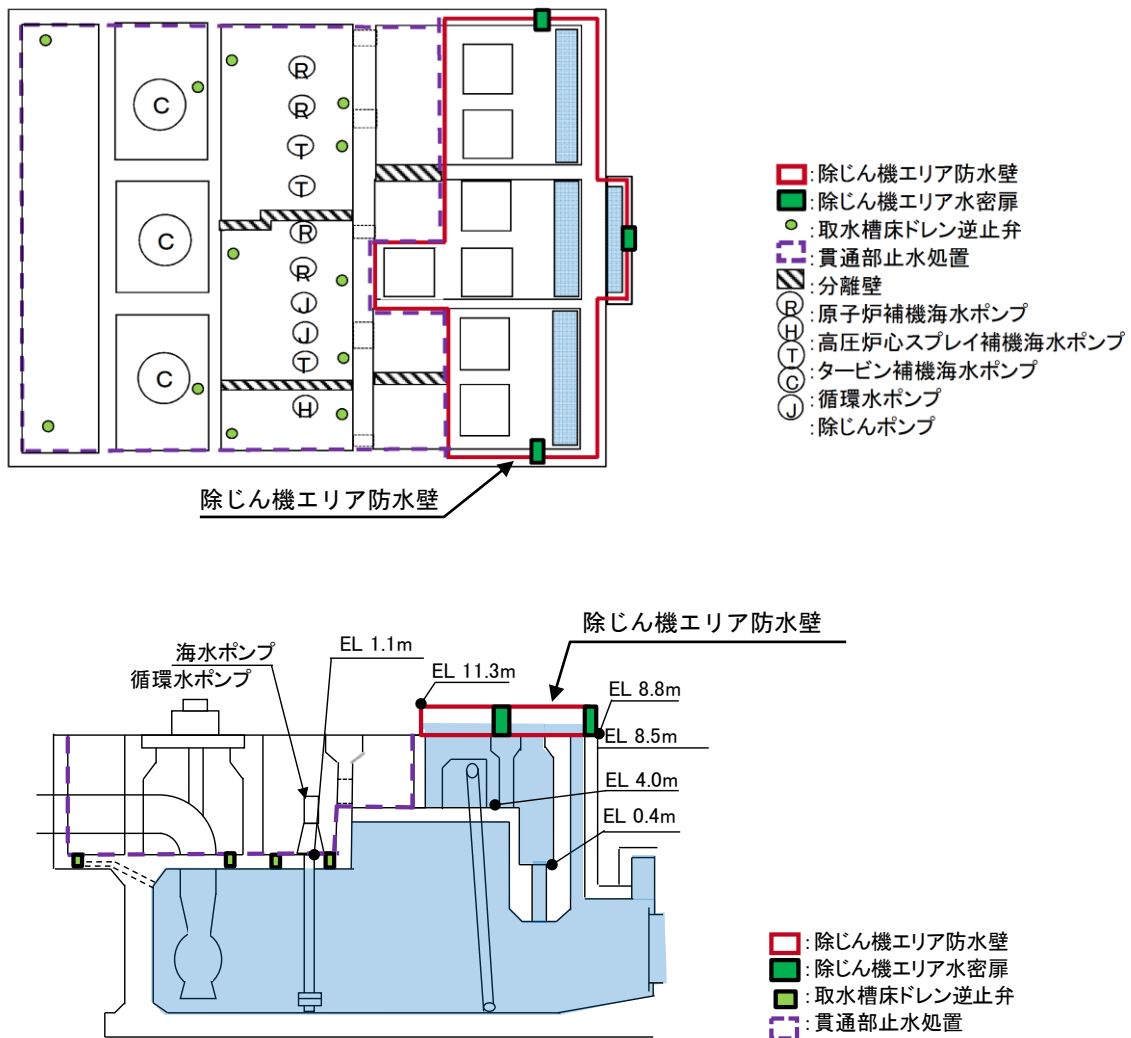
除じん機エリアに設置する防水壁は、2号炉取水槽での入力津波高さに対して、取水路から敷地への津波の到達、流入を防止し、津波防護対象設備が機能喪失しないようにするために2号炉取水槽に設置するものであり、入力津波高さに対して十分な高さを確保している。

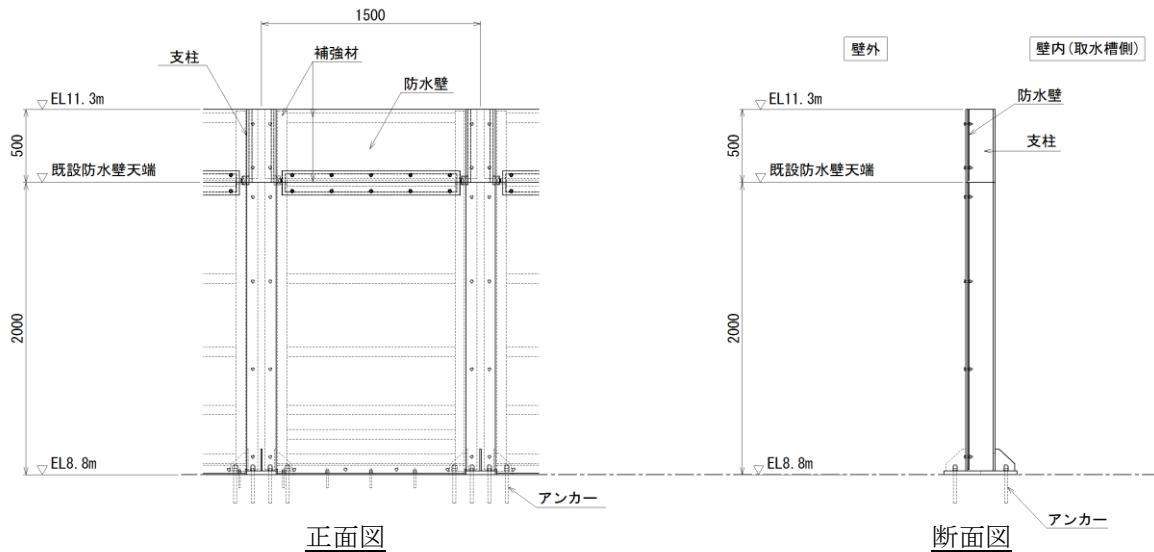
除じん機エリア防水壁は津波荷重や地震荷重に対して津波防護機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。(詳細な設計方針及び構造成立性の見通しについては、添付資料30参照)

(a) 構造

除じん機エリア防水壁は鋼製壁で構成し、基礎ボルトにより取水槽躯体に固定する。

除じん機エリア防水壁の配置図を第4.2-4図に、構造図を第4.2-5図に示す。





第4.2-5図 除じん機エリア防水壁構造図

(b) 荷重組合せ

除じん機エリア防水壁は防波壁内側の敷地にある2号炉取水槽の天端に設置するものであることから、設計においてはその設置状況を考慮し、以下に示す常時荷重、地震荷重、津波荷重の組合せを考慮する。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

(c) 荷重の設定

除じん機エリア防水壁の設計において考慮する荷重は、以下のように設定する。

- i 常時荷重
自重等を考慮する。
- ii 地震荷重
基準地震動 S_s を考慮する。
- iii 津波荷重
設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。
- iv 余震荷重
海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないため、余震荷重を考慮しない。

(d). 許容限界

津波防護機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が弾性域内に収まることを基本として、津波防護機能を保持していることを確認する。

b. 復水器エリア防水壁

「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示す津波による溢水を考慮した浸水範囲、浸水量を安全側に想定した際に、浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）への浸水を防止するため、タービン建物（復水器を設置するエリア）とタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）の境界に復水器エリア防水壁を設置する。

復水器エリア防水壁の設置位置を第4.2-6図に示す。

復水器エリア防水壁は津波荷重や地震荷重に対して浸水防止機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。

(a) 構造

復水器エリア防水壁は鋼製壁で構成し、アンカーボルトによりタービン建物躯体に固定する。

(b) 荷重組合せ

復水器エリア防水壁の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

なお、復水器エリア防水壁は、建物内に設置することから、その他自然現象の影響が及ばないため、その他自然現象による荷重との組合せは考慮しない。

（添付資料20参照）。

(c) 荷重の設定

復水器エリア防水壁の設計において考慮する荷重は、以下のよう設定する。

i 常時荷重

自重等を考慮する。

ii 地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

iii 津波荷重

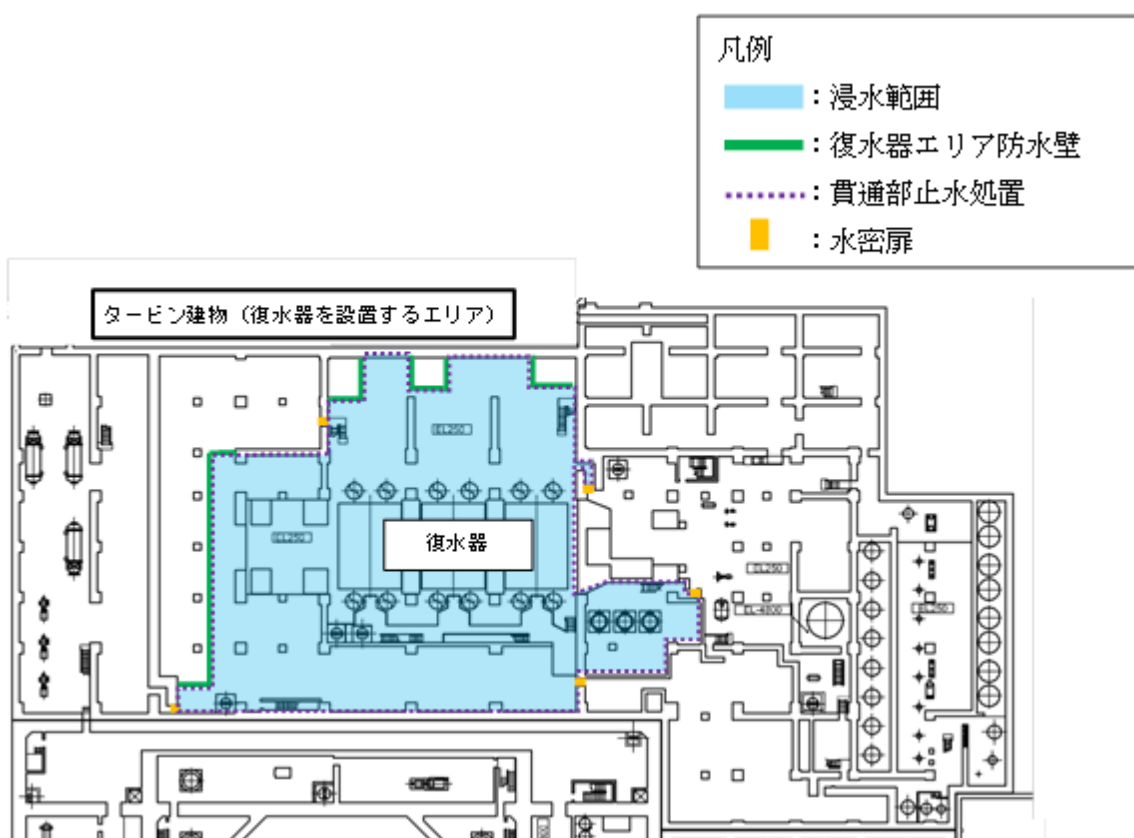
設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

iv 余震荷重

余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には、余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用にあたっての考え方を添付資料22に示す。

(d) 許容限界

浸水防止機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が弾性域内に収まることを基本として、浸水防止機能を保持していることを確認する。なお、止水性能については、耐圧・漏水試験で確認する。



第4.2-6図 復水器エリア防水壁 設置位置

(3) 水密扉

a. 除じん機エリア水密扉

除じん機エリア水密扉は、2号炉取水槽での入力津波高さに対して、敷地への津波の到達、流入を防止するため、2号炉取水槽に設置するものであり、入力津波高さに対して十分な高さを確保している。

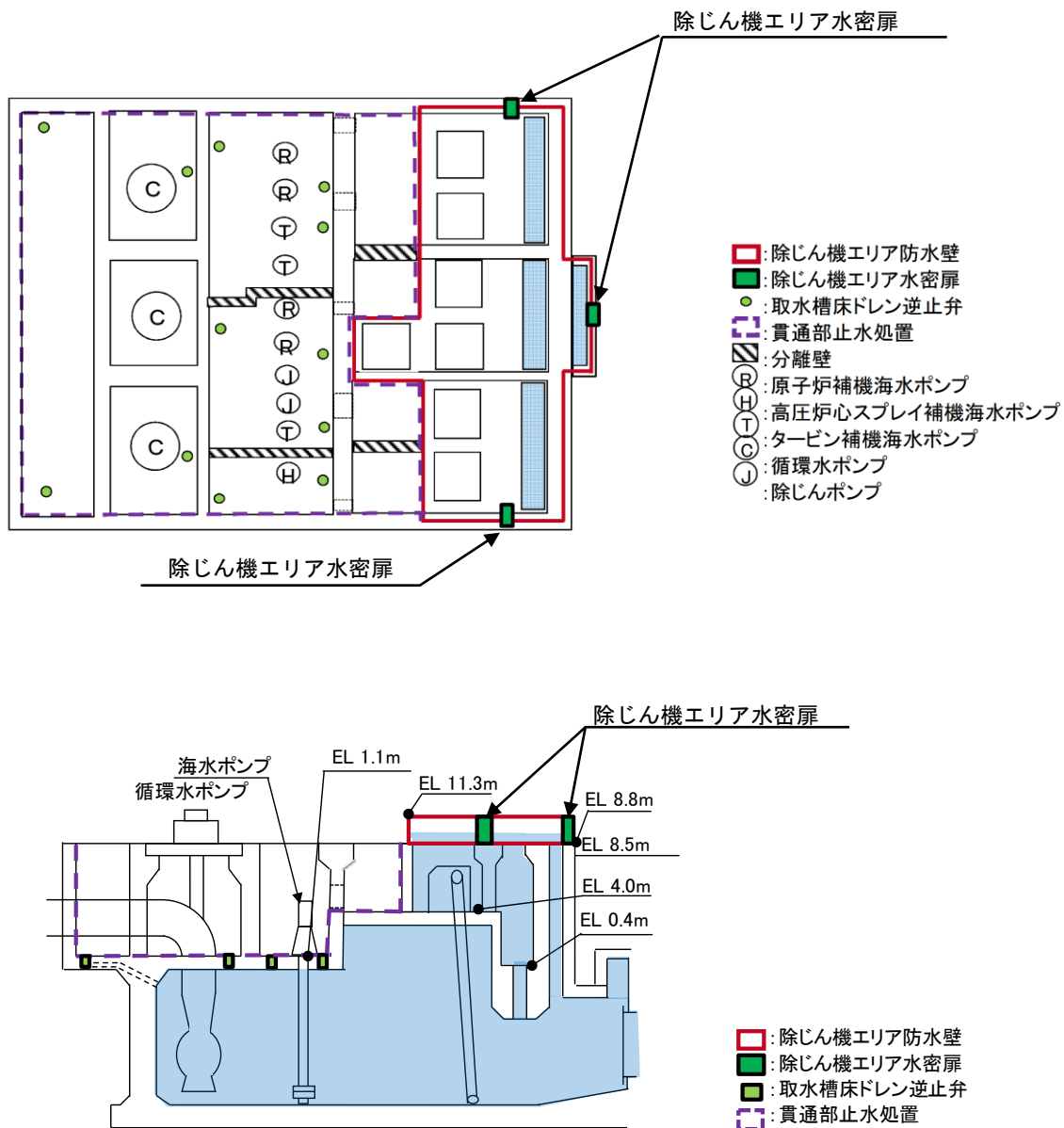
除じん機エリア水密扉は津波荷重や地震荷重等に対して浸水防止機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。（詳細な設計方針及び構造成立性の見通しについては、添付資料30参照）

なお、水密扉の運用管理については添付資料23に示す。

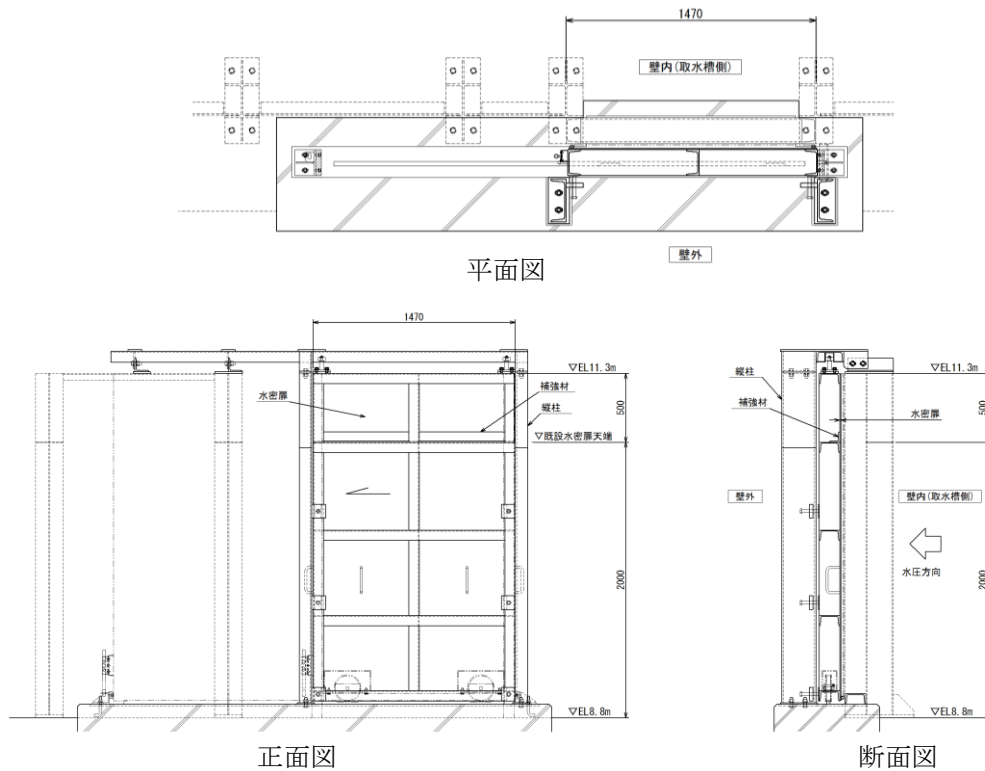
(a) 構造

除じん機エリア水密扉は鋼製部材により構成し、扉枠は基礎ボルトにより取水槽躯体に固定する。また、扉体又は扉枠に止水ゴム等を取り付けることで浸水を防止する構造とする。

除じん機エリア水密扉の配置図を第4.2-7図に、構造例を第4.2-8図に示す。



第4.2-7図 除じん機エリア水密扉配置図



第4.2-8図 除じん機エリア水密扉構造例

(b) 荷重組合せ

除じん機エリア水密扉の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重及び津波荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する(添付資料20参照)。

(c) 荷重の設定

除じん機エリア水密扉の設計において考慮する荷重は、以下のように設定する。

- i 常時荷重
 - 自重等を考慮する。
- ii 地震荷重
 - 基準地震動 S_s を考慮する。
- iii 津波荷重
 - 設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。
- iv 余震荷重
 - 海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないため、余震荷重を考慮しない。

(d) 許容限界

浸水防止機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が弾性域内に収まることを確認する。

なお、止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。

b. 復水器エリア水密扉

「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示す津波による溢水を考慮した浸水範囲、浸水量を安全側に想定した際に、浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）への浸水を防止するため、タービン建物（復水器を設置するエリア）とタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）の境界に復水器エリア水密扉を設置する。

復水器エリア水密扉の設置位置を第4.2-9図に示す。

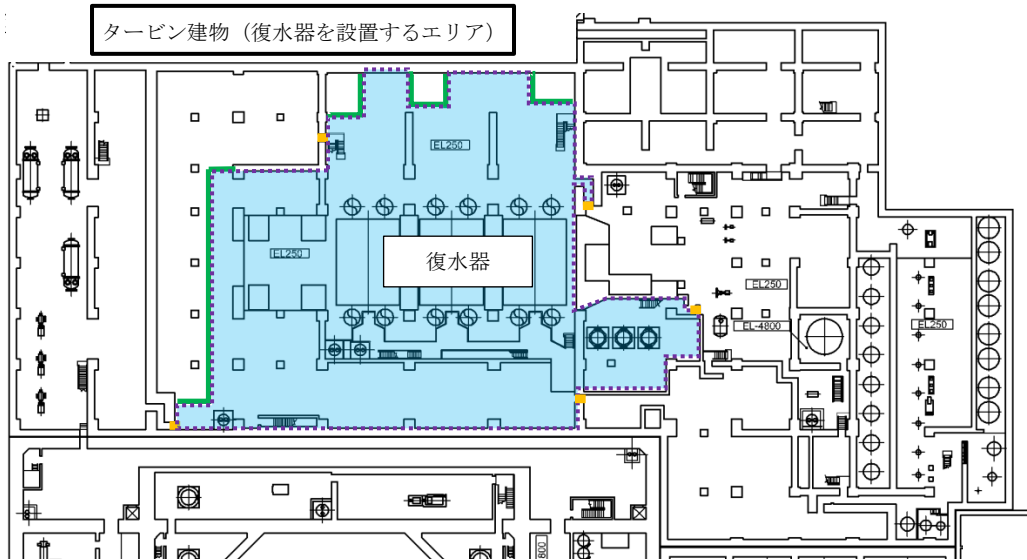
復水器エリア水密扉は津波荷重や地震荷重に対して浸水防止機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。なお、水密扉の運用管理については、添付資料23に示す。

(a) 構造

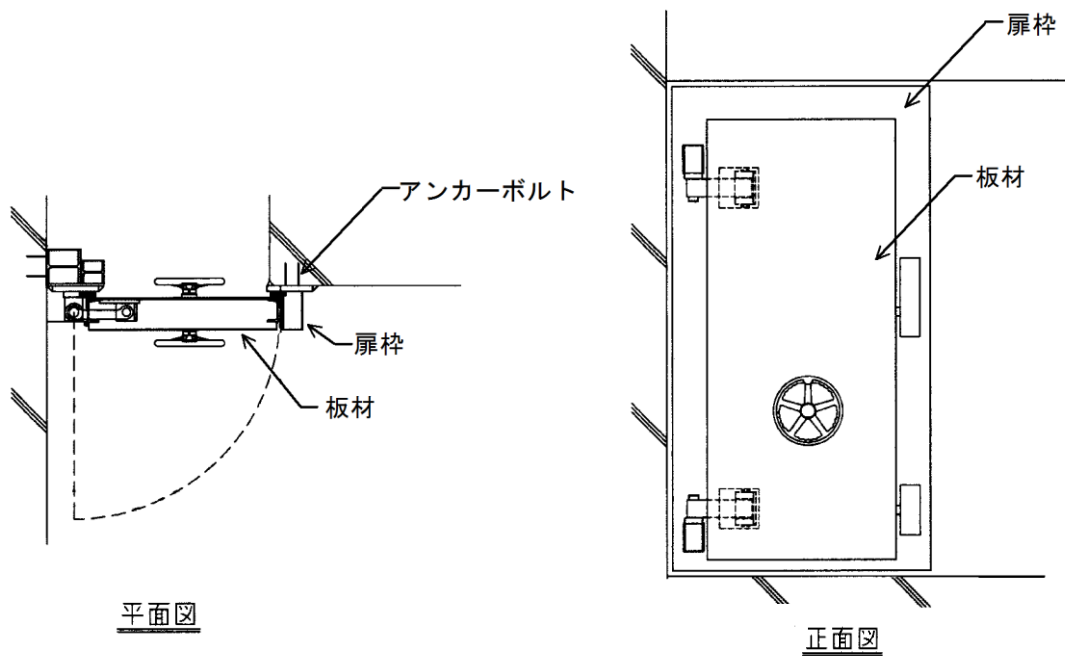
復水器エリア水密扉は板材、補強材、扉枠等の鋼製部材により構成し、扉枠はアンカーボルトにより建物躯体等に固定する。また、扉枠にパッキンを取りつけることで浸水を防止する構造とする。水密扉の構造例を第4.2-10図に示す。

凡例

- : 浸水範囲
- : 復水器エリア防水壁
- : 貫通部止水処置
- : 水密扉



第4.2-9図 復水器エリア水密扉 設置位置



第4.2-10図 水密扉の構造例

(b) 荷重組合せ

復水器エリア水密扉の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

なお、復水器エリア水密扉は、建物内に設置することから、その他自然現象の影響が及ばないため、その他自然現象による荷重との組合せは考慮しない。
(添付資料20参照)。

(c) 荷重の設定

復水器エリア水密扉の設計において考慮する荷重は、以下のよう設定する。

- i 常時荷重
自重等を考慮する。
- ii 地震荷重
基準地震動 S_s を考慮する。
- iii 津波荷重
設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。
- iv 余震荷重
余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には、余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用にあたっての考え方を添付資料22に示す。

(d) 許容限界

浸水防止機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が弾性域内に収まることを基本として、浸水防止機能を保持していることを確認する。なお、止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。

(4) 床ドレン逆止弁

津波防護対象設備を設置する区画である取水槽の床面高さEL1.1mに対し、取水槽の入力津波高さがEL10.5mであることから、取水槽海水ポンプエリア及び循環水ポンプエリアへの津波の流入を防止するため、浸水防止設備として逆止弁を設置する。

また、「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示す津波による溢水を考慮した浸水範囲、浸水量を安全側に想定した際に、浸水防

護重点化範囲であるタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）への浸水を防止するため、浸水防護重点化範囲への浸水経路、浸水口となり得る床ドレンライン部に対して、浸水防止設備として逆止弁を設置する。

床ドレン逆止弁の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・常時荷重＋地震荷重
- ・常時荷重＋津波荷重
- ・常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計にあたっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

床ドレン逆止弁の設計において考慮する荷重は、以下のよう設定する。

i 常時荷重

自重等を考慮する。

ii 地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

iii 津波荷重

設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

iv 余震荷重

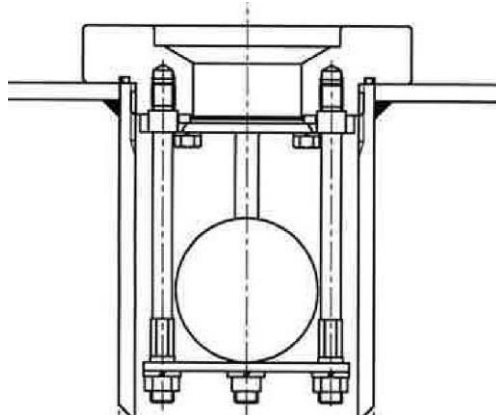
余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には、余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用にあたっての考え方を添付資料22に示す。

また、上記荷重の組合せに対して、床ドレン逆止弁の浸水防止機能が十分に保持できるよう、それぞれ以下の方針により設計する。

a. 構造

床ドレン逆止弁は、鋼製の構造物であり、フロートが水の浮力により上昇し、開口部を閉鎖することで津波の流入を防止する構造とする。

構造例を第4.2-11図に示す。

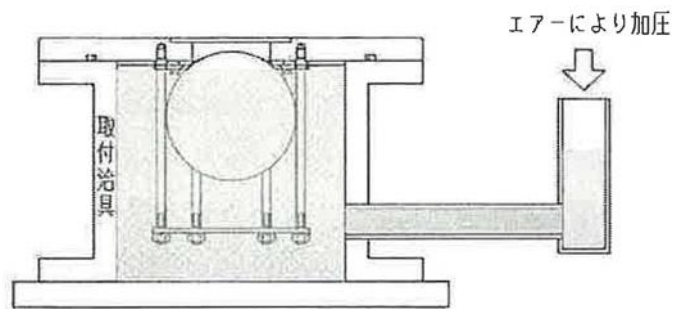


第4.2-11図 床ドレン逆止弁の構造の例

b. 耐圧性及び水密性

床ドレン逆止弁は、床面下部からの流入に対してフロートが押し上げられ、弁座に密着することで漏水を防止する。

また、溢水時には溢水を当該エリア外へ排出する。逆止弁が十分な水密性をもっていることを試験で確認する。試験概要を第4.2-12図に示す。



第4.2-12図 逆止弁の試験概要

c. 耐震性

基準地震動 S_s に対して、浸水防止機能が保持できることを評価または加振試験により確認する。

加振試験の例を第4.2-13図に示す。



■加振試験条件

- ・水平方向振動周波数：20Hz
- ・水平方向加速度：6.0G
- ・鉛直方向振動周波数：20Hz
- ・鉛直方向加速度：6.0G
- ・加振時間：5分間

第 4. 2-13 図 加振試験例（逆止弁）

4.2.2 機器・配管等の設備

(1) 隔離弁

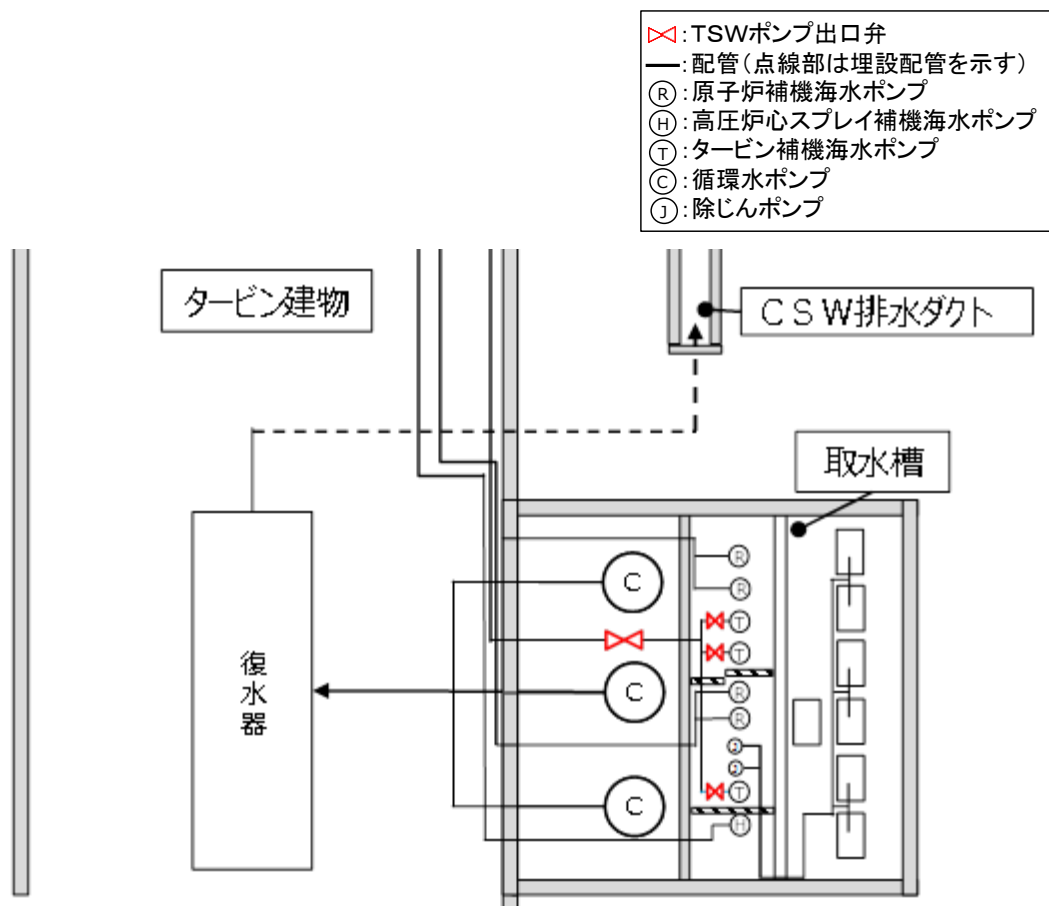
a. 電動弁

「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示す地震による配管損傷後に、浸水防護重点化範囲への浸水経路となり得るタービン補機海水ポンプ出口に電動弁（以下「タービン補機海水ポンプ出口弁」という。）を設置する。電動弁は、インターロックの動作による自動閉とし、インターロックに係る設備は、浸水防護重点化範囲（耐震Sクラスの設備を内包する建物）への津波の流入を防止する重要な設備であり、津波襲来前に確実に閉止するため、多重化・多様化を図る。

タービン補機海水ポンプ出口弁は津波荷重や地震荷重に対して浸水防止機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。

(a) 構造

タービン補機海水ポンプ出口弁は、当該配管損傷後、取水路から浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）に津波が浸水することを防止するため、タービン補機海水ポンプ出口に設置する。設置位置を第4.2-14図に示す。



第4.2-14図 タービン補機海水ポンプ出口弁 設置位置

(b) 荷重組合せ

タービン補機海水ポンプ出口弁の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

(c) 荷重の設定

タービン補機海水ポンプ出口弁の設計において考慮する荷重は、以下のとおり設定する。

i 常時荷重

自重等を考慮する。

ii 地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

iii 津波荷重

設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

iv 余震荷重

余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用に当たっての考え方を添付資料22に示す。

(d) 許容限界

地震荷重に対しては、浸水防止機能に対する機能保持限界として、地震後の使用性を考慮し、当該設備全体の変形能力に対して十分な裕度を有するよう、塑性ひずみが生じる場合であってもその量が小さなレベルにとどまることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。

津波荷重（余震荷重含む）に対しては、浸水防止機能に対する機能保持限界として、津波後の使用性や、津波の繰返し作用を想定し、止水性の面も踏まえることにより、当該設備全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、各施設・設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。なお、止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。

b. 逆止弁

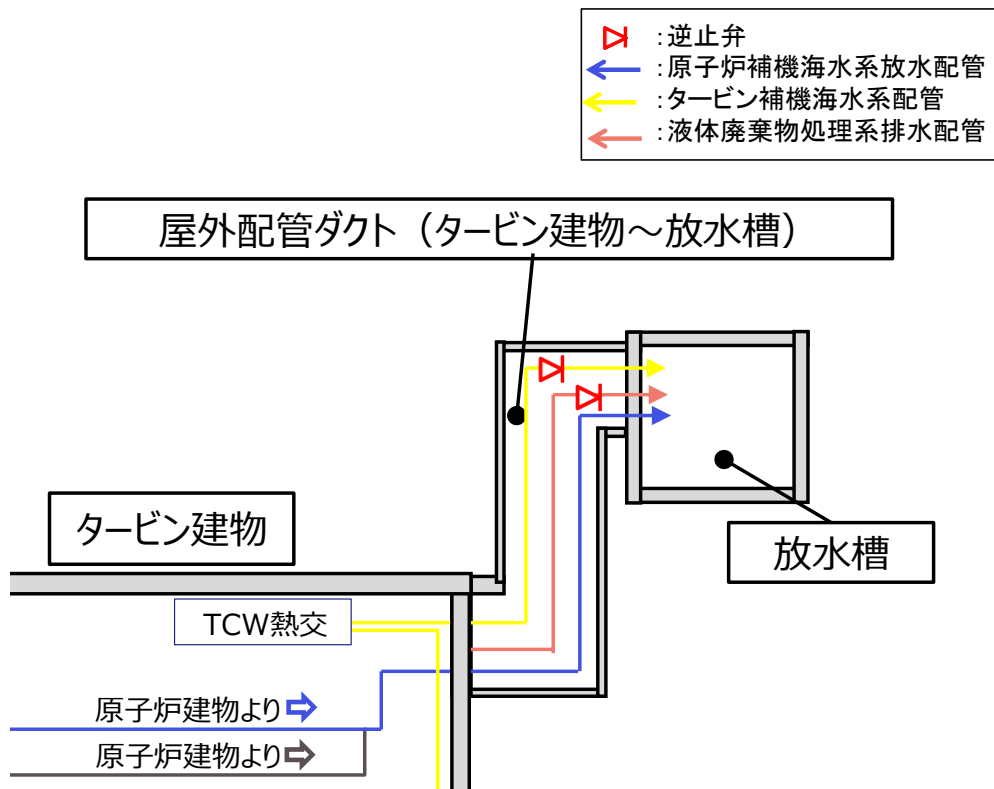
「2.4 重量な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示す地震による配管損傷後に、浸水防護重点化範囲への浸水経路となり得るタービン補機

系放水配管及び液体廃棄物処理系配管に浸水防止設備として逆止弁を設置する。

タービン補機系放水配管及び液体廃棄物処理系配管逆止弁は津波荷重や地震荷重に対して浸水防止機能が十分に保持できるように以下の方針により設計する。

(a) 構造

タービン補機系放水配管及び液体廃棄物処理系配管逆止弁は、当該配管損傷後、放水路から浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）に津波が浸水することを防止するため、タービン補機海水系放水配管及び液体廃棄物処理系配管に設置する。設置位置を第4.2-15図に示す。



第4.2-15図 タービン補機海水系放水配管逆止弁及び液体廃棄物処理系配管逆止弁 設置位置

(b) 荷重組合せ

タービン補機海水系放水配管及び液体廃棄物処理系配管逆止弁の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重
- ・ 常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料20参照）。

(c) 荷重の設定

タービン補機海水系放水配管及び液体廃棄物処理系配管逆止弁の設計において考慮する荷重は、以下のとおり設定する。

i 常時荷重

自重等を考慮する。

ii 地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

iii 津波荷重

設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

iv 余震荷重

余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用に当たっての考え方を添付資料22に示す。

(d) 許容限界

地震荷重に対しては、浸水防止機能に対する機能保持限界として、地震後の使用性を考慮し、塑性ひずみが生じる場合であってもその量が小さなレベルにとどまることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。

津波荷重（余震荷重含む）に対しては、浸水防止機能に対する機能保持限界として、津波後の使用性や、津波の繰返し作用を想定し、止水性の面も踏まえることにより、当該設備全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、各施設・設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。なお、止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。

(2) ポンプ・配管

「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示す地震による配管損傷後に、浸水防護重点化範囲への浸水経路となり得る循環水ポンプ及び配管、タービン補機海水ポンプ及び配管、除じんポンプ及び配管、原子炉補機海水配管（放水配管）及び高圧炉心スプレイ補機海水配管（放水配管）につい

て、基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能を保持する設計とする。

(a) 荷重組合せ

ポンプ・配管においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・常時荷重＋地震荷重
- ・常時荷重＋津波荷重
- ・常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する(添付資料20参照)。

(b) 荷重の設定

ポンプ・配管の設計において考慮する荷重は、以下のとおり設定する。

i 常時荷重

自重等を考慮する。

ii 地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

iii 津波荷重

設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

iv 余震荷重

余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用に当たっての考え方を添付資料22に示す。

(c) 許容限界

地震荷重に対しては、浸水防止機能に対する機能保持限界として、地震後の使用性を考慮し、塑性ひずみが生じる場合であってもその量が小さなレベルにとどまることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。

津波荷重(余震荷重含む)に対しては、浸水防止機能に対する機能保持限界として、津波後の使用性や、津波の繰返し作用を想定し、止水性の面も踏まえることにより、当該設備全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、各施設・設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。なお、止水性能については耐圧・漏水試験で確認する。

(3) 貫通部止水処置

2号炉取水槽での入力津波高さに対して、敷地への津波の到達、流入を防止するため、津波防護対象設備を設置する区画への浸水経路、浸水口となり得る貫通口部等に対して、浸水防止設備として貫通部止水処置を実施する。

また、「2.4重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」に示す浸水防護重点化範囲への浸水経路、浸水口となり得る貫通口部等に対して、浸水防止設備として貫通部止水処置を実施する。貫通部止水処置の実施範囲及び実施例は添付資料11に示す。

貫通部止水処置は、第4.2-2表に示す充てん構造（シリコン）、ブーツ構造（ラバーブーツ）、及び充てん構造（モルタル）に分類でき、貫通部の形状等に応じて適切な止水構造を選択し実施する。

これらの止水処置の設計においては、以下に示すとおり、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ・常時荷重＋地震荷重
- ・常時荷重＋津波荷重
- ・常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また、設計に当たっては、その他自然現象との組合せを適切に考慮する。
(添付資料20参照)

ここで、貫通部止水処置の設計において考慮する荷重は、以下のよう設定する。

(a) 常時荷重

自重等を考慮する。

(b) 地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

(c) 津波荷重

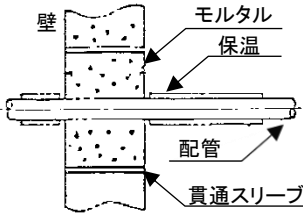
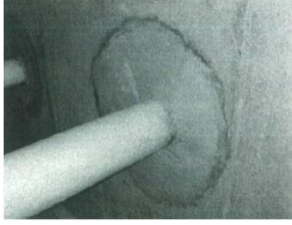
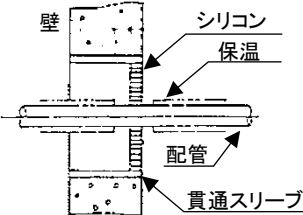

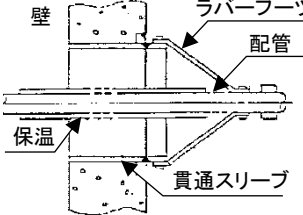

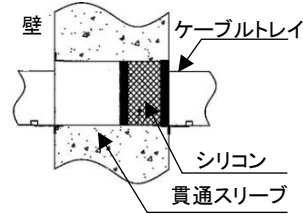

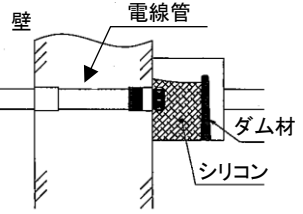

設置位置における、入力津波高さに基づき算定される水圧を考慮する。

(d) 余震荷重

余震による地震動について検討し、余震荷重を設定する。具体的には余震による地震動として弾性設計用地震動 S_d を適用し、これによる荷重を余震荷重として設定する。適用に当たっての考え方を添付資料22に示す。

また、上記荷重の組合せに対して、各止水構造の浸水防止機能が十分に保持できるよう、それぞれ以下の方針により設計する。

第 4.2-2 表 止水構造

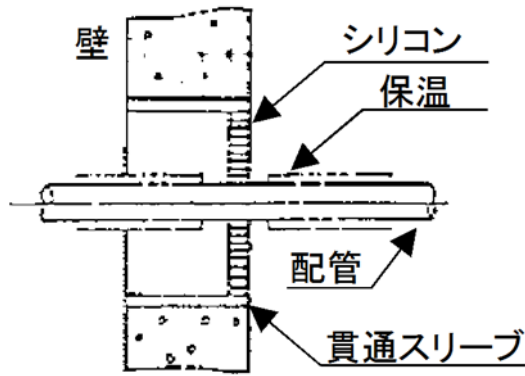
貫通物	止水処理	施工内容		説明
		断面図	写真	
低温配管	モルタル			貫通スリーブと配管の間にモルタルを充填する
	シリコン			貫通スリーブと配管の間にシリコンを充填する
高温配管	ラバーブーツ			貫通スリーブと配管にラバーブーツの端部を固定する
ケーブルトレイ	シリコン			貫通スリーブとケーブルトレイの間、ケーブルトレイ内にシリコンを充填する
電線管				電線管が接続するプルボックス内にシリコンを充填する

a. 充てん構造 (シリコン)

(a) 構造

充てん構造 (シリコン) は貫通口と貫通物の間の隙間に、鋼板による補強板を設けた上でシリコンを充てんすることにより止水する構造である。

本構造の概要を第4.2-16図に示す。

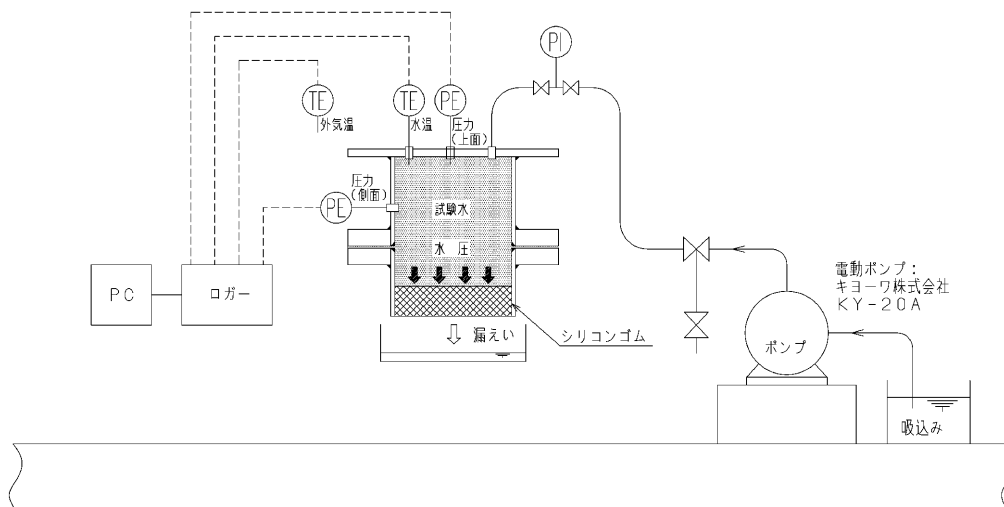


第4.2-16図 充てん構造（シリコン）の概要

(b) 水密性

耐圧性は補強板及びシリコンが担い、シリコンにより水密性を確保することを基本としており、設置箇所想定される浸水に対して、浸水防止機能が保持できることを、実機を模擬した耐圧・漏水試験により確認する。

実機模擬試験の例を第4.2-17図に示す。



【試験体寸法】

スリーブ径 [A] 50, 150, 250

施工幅[mm] 40, 150

【試験体数】

各組合せ6体

【試験方法】

試験装置に注水後、水により加圧

試験圧力 (0.11MPa) , 保持時間15分

第 4.2-17 図 実機模擬試験例

(c) 耐震性

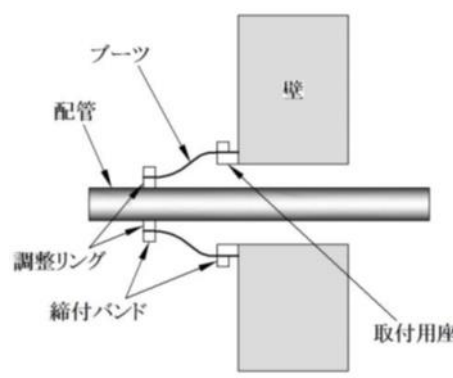
シリコンは伸縮性に優れたシール材であり、配管の貫通部に適用するシール材の耐震性を満足させるために、貫通部近傍に支持構造物を設置することとしており、配管等の変位追従性に優れた構造となっていることから、地震によりシリコンの健全性が損なわれることはない。

b. ブーツ構造（ラバーブーツ）

(a) 構造

ブーツ構造（ラバーブーツ）はブーツと締付バンドにて構成され、高温配管等の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い、壁面に溶接した取付用座と配管に締付バンドにて締結する。

本構造の概要を第4.2-18図に示す。

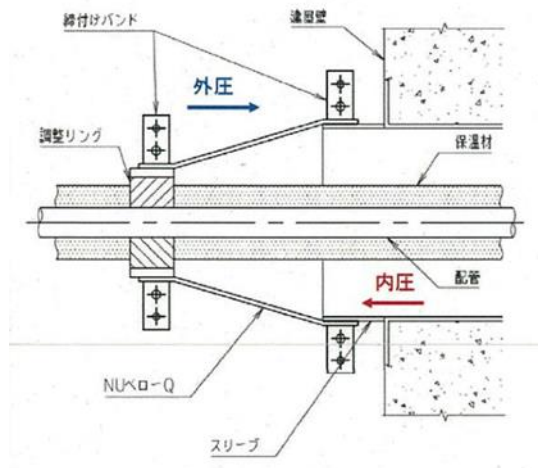


第4.2-18図 ブーツ構造の概要

(b) 水密性

伸縮性のあるシールカバーを貫通口と貫通物の隙間に設置することで、耐圧性及び水密性を確保することを基本としており、設置箇所想定される浸水に対して、浸水防止機能が保持できることを、第4.2-19図に示す実機を模擬した耐圧・漏水試験により確認する。

実機模擬試験の例を第4.2-3表、第4.2-4表に示す。



【試験方法】

ラバーブーツ内側・外側から水により加圧

第4.2-19図 実機模擬試験例

第4.2-3表 実機模擬試験（型式1）

No.	呼び寸法		水圧 [MPa]	
	配管径 [A]	スリーブ径 [A]	内圧	外圧
1	400	550	0.04	0.03
2	80	250	0.03	0.02

第4.2-4表 実機模擬試験（型式2）

No.	呼び寸法		水圧 [MPa]	
	配管径 [A]	スリーブ径 [A]	内圧	外圧
1	25	200	0.20	0.20
2	350	650	0.20	0.20
3	750	1000	0.20	-

(c) 耐震性

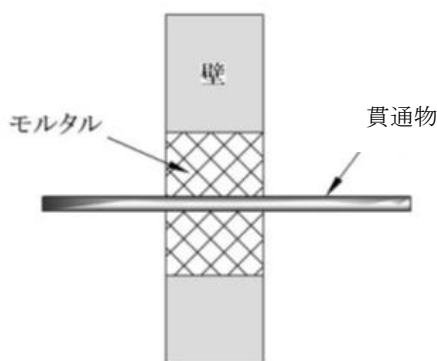
ラバーブーツについては、伸縮性ゴムを使用しており、配管等の変位追従性に優れた構造となっていることから、地震によりラバーブーツの健全性が損なわれることはない。

c. 充てん構造（モルタル）

(a) 構造

モルタルは、貫通口と貫通物の間の隙間にモルタルを充てんすることにより止水する構造とし、充てん硬化後は、貫通部内面、配管等の外面と一定の付着力によって結合される。

本構造の概要を第4.2-20図に示す。



第4.2-20図 充てん構造（モルタル）の概要

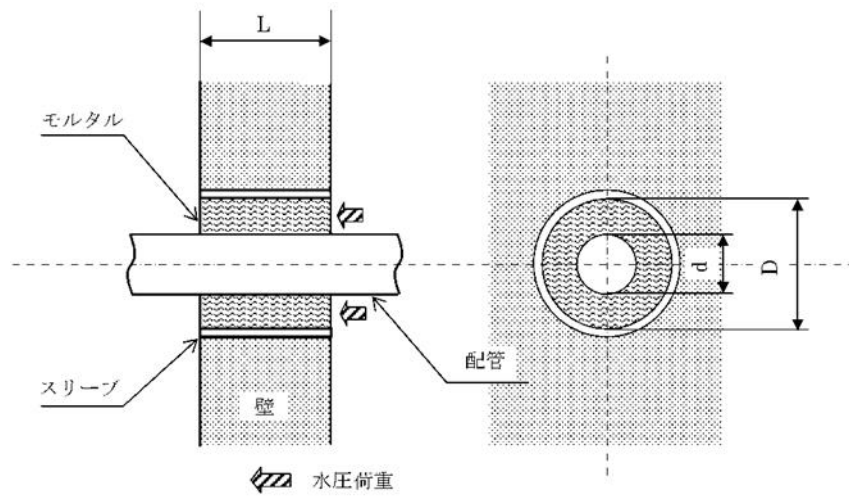
(b) 水密性

貫通部の止水処置として使用するモルタルについて、性能試験等により、止水性能を確認した。

貫通部の止水処置に用いるモルタルについては、以下のとおり静水圧に対し十分な耐性を有していることを確認している。モルタルの評価概要を第4.2-21図に示す。

【検討条件】

- ・スリーブ径：D [mm]
 - ・モルタルの充填深さ：L [mm]
 - ・配管径：d [mm]
 - ・モルタル許容付着強度[※]：2.0 [N/mm²]
 - ・静水圧：0.2 [N/mm²]（保守的に20m相当の静水圧を想定）
- ※「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説2010」による。



第 4.2-21 図 モルタル評価概要図

○評価方法

① モルタル部分に作用する水圧荷重 (P1)

静水圧がモルタル部分に作用したときに生じる荷重は以下のとおり。

$$P1 [N] = 0.2 [N/mm^2] \times (\pi \times (D^2 - d^2) / 4) [mm^2]$$

② モルタルの許容付着荷重 (P2)

静水圧がモルタル部分に作用したときに、モルタルが耐える限界の付着荷重は以下のとおり。

$$P2 [N] = 2.0 [N/mm^2] \times (\pi \times (D+d) \times L) [mm^2]$$

モルタルの付着強度は、付着面積及び充填深さに比例するため、ここでは、保守的に貫通部に配管がない状態 (d=0) を想定し評価を行った。

静水圧に対して止水性能を確保するためには、 $P1 \leq P2$ であるため、以下のように整理できる。

$$0.03 \times D [mm] \leq L [mm]$$

上式より、モルタル施工個所が止水性能を発揮するためには、貫通スリーブ径の3%以上の充填深さが必要である。

例えば400mmの貫通スリーブに対して、約12mm以上の充填深さが必要であるが、実機における対象貫通部の最小厚さ200mmに対し、モルタルは壁厚さと同程度の厚さで充填されていることを踏まえると、止水性能は十分に確保できる。

(c) 耐震性

貫通口内に貫通部が存在する構造では、基準地震動 S_s によりモルタル充てん部に発生する配管反力がモルタルの許容圧縮強度及び許容付着強度以下であることを確認する。

内郭防護において考慮する溢水の浸水範囲，浸水量について

1. はじめに

「2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）」では，規制基準における要求事項「津波による溢水を考慮した浸水範囲，浸水量を安全側に想定すること」に関し，審査ガイドに従い，2号炉で考慮すべき具体的な溢水事象として以下の6事象を挙げている。（図1）

- a. タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水
- b. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）における溢水
- c. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水
- d. 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水
- e. 屋外タンク等による屋外における溢水
- f. 建物外周地下部における地下水位の上昇

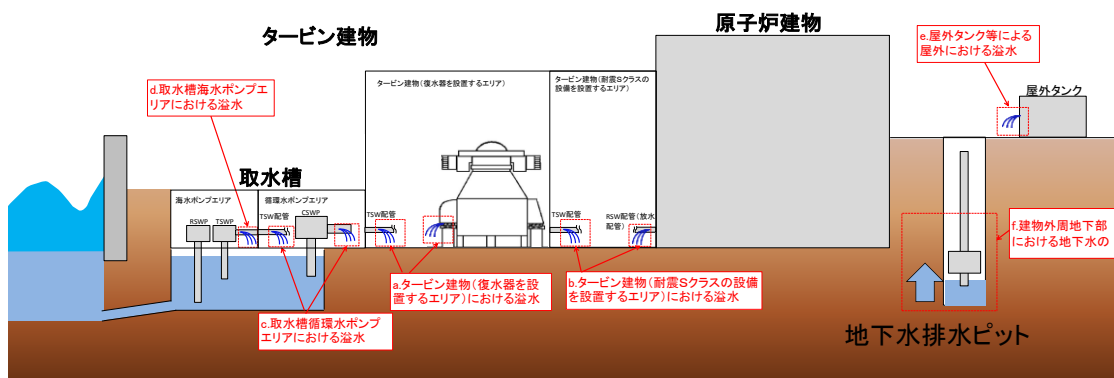


図1 地震による溢水の概念図

これらの各事象による浸水範囲，浸水量については，「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性において説明されており，本書ではその該当箇所を抜粋する形で，その評価条件，評価結果等の具体的な内容を示す。

2. タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水（事象 a.）

9.1 復水器エリアにおける溢水

復水器エリアにおける溢水については、想定破損による溢水では循環水系配管の伸縮継手部の全円周状の破損を想定し、地震起因による溢水では循環水系配管の伸縮継手部の全円周状の破損及びその他の耐震 B, C クラス機器の破損を想定する。また、消火水の放水による溢水を想定する。

9.1.1 評価条件

(1) 評価条件

- ・伸縮継手部からの溢水は、破損から循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの時間を考慮する。
- ・循環水系配管の破損箇所での溢水の流出圧力は、循環水ポンプ運転時の系統圧力とする。なお、配管の圧損については保守的に考慮しない。
- ・循環水系配管の破損箇所は海水面より高いためサイフォン効果による流入はない。
- ・地震起因による溢水では、破損を想定する耐震 B, C クラス機器の保有水を考慮する。
- ・地震起因による溢水では、地震に伴い津波が襲来するものとし、循環水系配管を含む耐震 B, C クラス機器の破損箇所からの津波の流入を考慮する。
- ・消火水の放水による溢水では、屋内消火栓からの放水流量を考慮する。

(2) 循環水ポンプ停止及び循環水系弁閉止インターロックについて

a. 概要

地震時に復水器エリア内の伸縮継手部が破損し、循環水系から大量の海水が流入した場合、溢水防護区画へ海水が伝播し、溢水防護対象設備が機能喪失に至るおそれがある。このため、図 9-3 に示すような地震時に循環水ポンプ停止、循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁を閉止するインターロックを設置し、復水器エリア内への海水の流入を低減する。

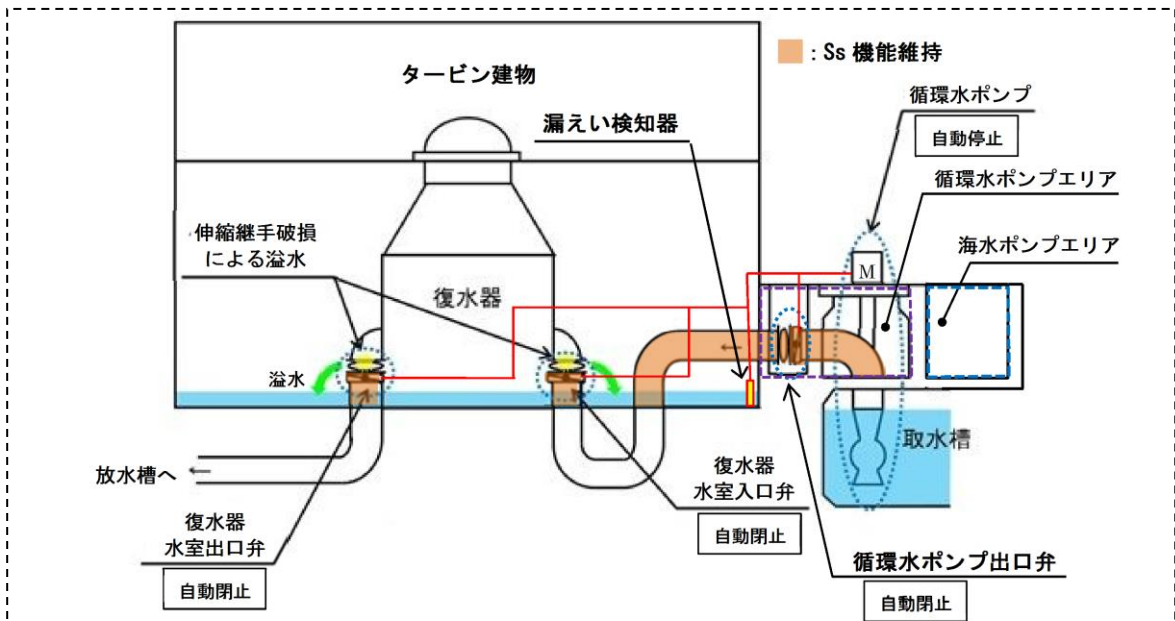


図 9-3 循環水ポンプ停止及び循環水系弁閉止インターロック設置概要図

b. インターロック動作条件

地震時には、確実に漏えいしたことを検出した上でインターロックを動作させるよう、図 9-4 に示すように地震大信号と漏えい検知器動作の AND 条件とする。インターロック回路、循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁は、基準地震動 S_s に対して機能を維持する設計とし、非常用電源へ接続する。漏えい検知は床上 100mm にて検知する設計とする。漏えい検知器の作動原理は、溢水が電極式レベル計の検知レベルに達すると、電極間が導通し、漏えいを検知するものである。漏えい検知器の設置箇所を図 9-5 に、構造及び外観を図 9-6 に示す。

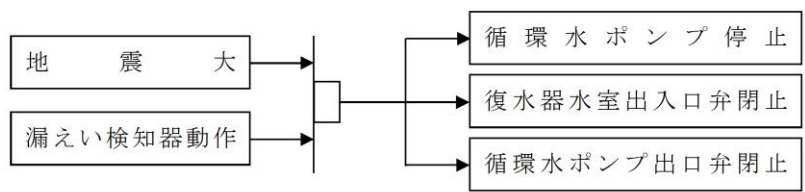


図 9-4 循環水ポンプ停止及び循環水系弁閉止インターロック

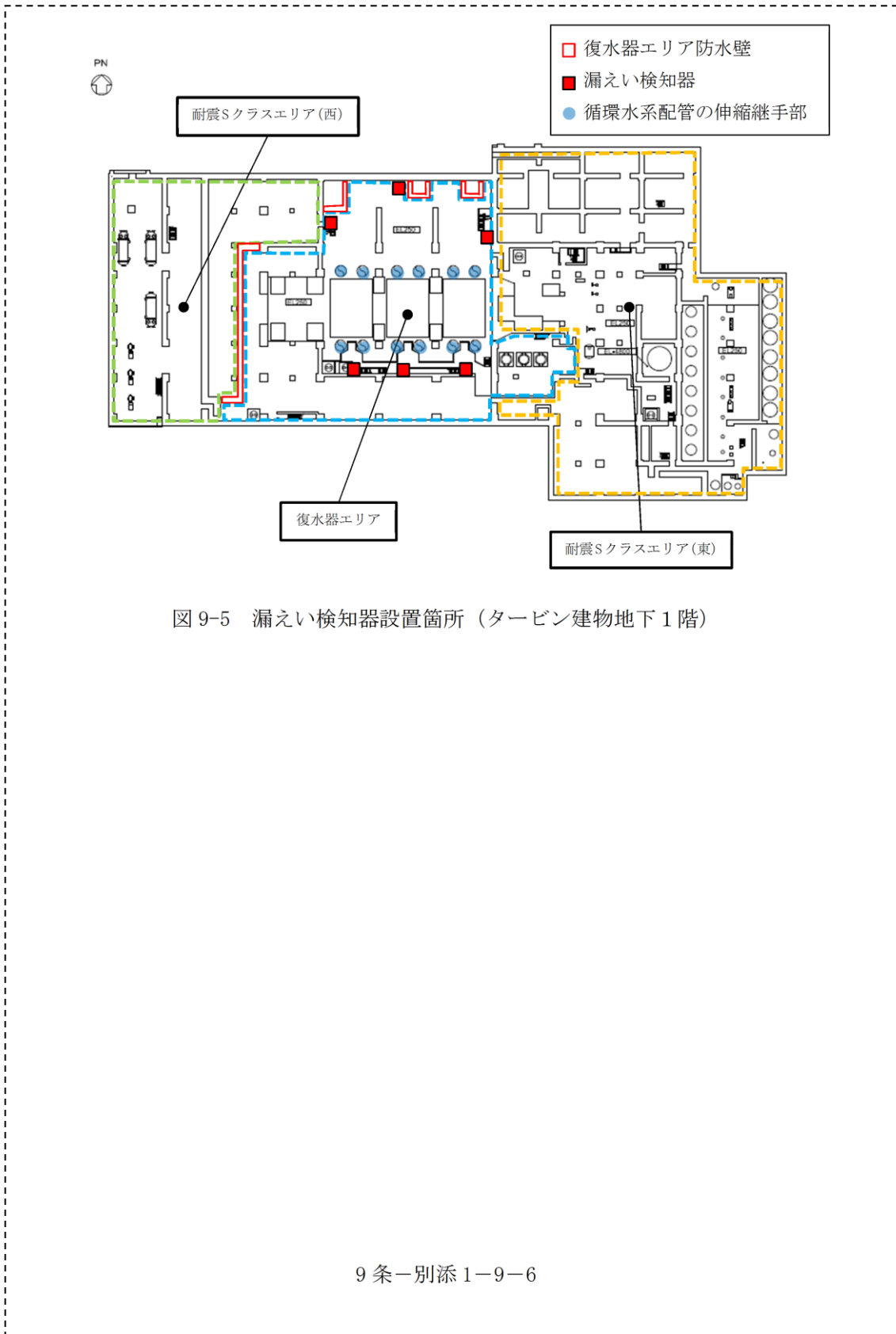


図 9-5 漏えい検知器設置箇所（タービン建物地下1階）

9 条-別添 1-9-6

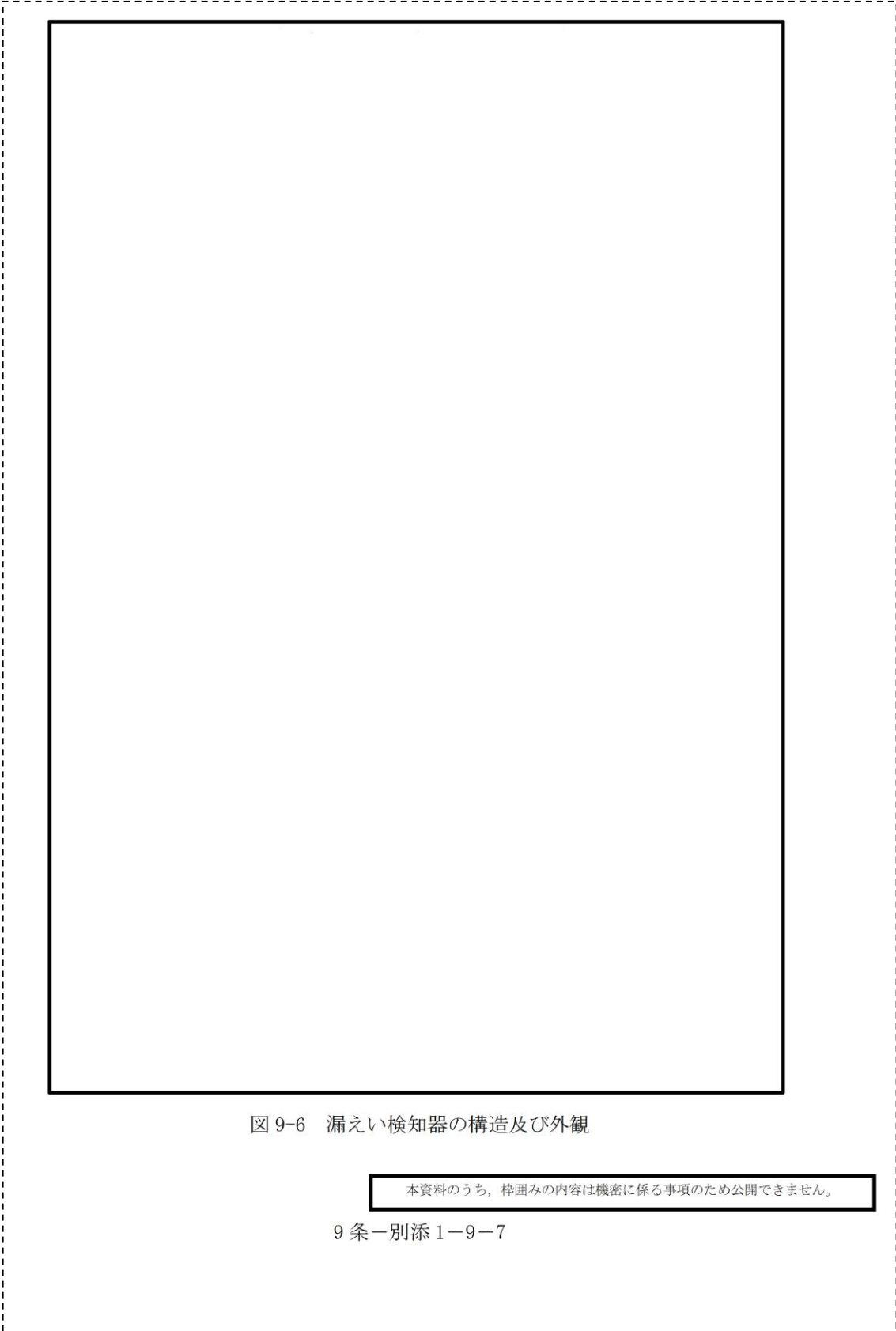


図 9-6 漏えい検知器の構造及び外観

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

9 条-別添 1-9-7

c. インターロック設置の必要性

地震起因による溢水量は、インターロック非設置の場合はタービン建物の貯留可能容積を大きく上回ることから、タービン建物内から原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出が考えられる。

原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物への溢水の流出防止のためインターロックは必要である。

9.1.2 溢水量

(1) 想定破損による溢水量

循環水系配管の伸縮継手部からの溢水量は、溢水流量、隔離時間及び循環水系の保有水量から算出した。隔離時間は、破損から運転員による循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの時間とした。算出した溢水流量、隔離時間及び溢水量をそれぞれ表 9-2～4 に示す。また、実際に漏えい検知に要する時間は、循環水配管の溢水流量、漏えい検知器動作に必要な溢水量を考慮した結果、表 9-5 に示すとおり 10 秒未満であり、評価に用いた検知時間 5 分は十分に保守的である。

表 9-2 伸縮継手部からの溢水流量

部位	内径[mm]	破損幅[mm]	溢水流量[m ³ /h]
復水器水室出入口部	2,200	50	13,173

表 9-3 伸縮継手部の破損から隔離までの時間

項目	時間[min]
漏えい検知器による漏えい検知までの時間	5
現場への移動時間	20
漏えい箇所特定に要する時間	30
循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止時間	10
合計	65

表 9-4 想定破損による溢水量

項目	溢水量[m ³]
破損から循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの溢水量	14,271
循環水系の保有水量	181
合計	14,452

表 9-5 伸縮継手部の破損から漏えい検知までの時間評価

循環水系配管の伸縮継手部からの溢水流量	13,173[m ³ /h]
復水器エリア EL0.25m～EL2.0m の空間容積	1,827[m ³]
漏えい検知方法	漏えい検知器
漏えい検知器設定値	床面+20[mm]
漏えい検知器動作に必要な溢水量	20.9[m ³]
漏えい検知器動作までの時間	5.8[s]

(2) 地震起因による溢水量

循環水系配管の伸縮継手部からの溢水量に加え、タービン建物内の耐震 B, C クラス機器の保有水量から算出した。隔離時間は、地震発生から復水器エリアの漏えい検知インターロックによる循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの時間とした。算出した溢水流量、隔離時間及び溢水量をそれぞれ表 9-6～8 に示す。

表 9-6 伸縮継手部からの溢水流量

部位	部位数	内径[mm]	破損幅[mm]	溢水流量[m ³ /h]
復水器水室出入口部	12	2,200	50	233,534
復水器水室連絡管部	6	2,100	50	

表 9-7 伸縮継手部の破損から隔離までの時間及び漏えい検知方法

項目	時間[min]
地震発生から漏えい検知インターロックによる循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの時間	1 [※]
漏えい検知方法	漏えい検知器
漏えい検知器設定値	床面+100[mm]

※ 漏えい検知時間 3.1[sec]+弁閉止時間 55[sec]を切り上げた値

表 9-8 地震起因による溢水量

項目		溢水量[m ³]
循環水系配管の伸縮継手部	地震発生から漏えい検知インターロックによる循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの溢水量	2,047 [※]
	循環水系の保有水量	1,083
耐震 B, C クラス機器の保有水量		2,859
合計		5,989

※ $233,534[m^3/h] \times 3.1[sec] + 233,534[m^3/h] \times (60 - 3.1)[sec] \div 2 \approx 2,047[m^3]$

(3) 消火水の放水による溢水量

「6.1 溢水量の算定」に基づき、消火水の放水による溢水量の算出に用いる放水流量を130[l/min]とし、この値を2倍して溢水流量とした。放水時間と溢水流量から評価に用いる消火水の放水による溢水量を以下のとおりとした。

$$\cdot 130[l/min/個] \times 2 \text{倍} \times 3.0[h] = 46.8[m^3]$$

9.1.3 復水器エリアにおける溢水影響評価結果

復水器エリアの溢水事象により浸水する範囲について、溢水防護対象設備が設置されている原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物との境界貫通部に対して止水処置を施すことにより、溢水防護対象設備への影響がないことを確認した。各溢水事象における評価結果を以下に示す。

(1) 想定破損による没水影響評価結果

復水器エリアの溢水を貯留できる EL5.3m（復水器エリア防水壁高さ）以下の空間容積を表 9-9 に示す。

循環水系配管の伸縮継手部からの溢水量（14,452m³）は、復水器エリアの貯留可能容積（6,680m³）より大きいことから、タービン建物1階（EL5.5m）を溢水経路として、耐震Sクラスエリア（東）に流出する。溢水の浸水する範囲を図 9-7 に、タービン建物全体（耐震Sクラスエリア（西）を除く）の溢水を貯留できる EL8.8m（タービン建物から原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物への流出高さ）以下の空間容積を表 9-10 に示す。空間容積の算出にあたっては、タービン建物床面積から機器等の設置面積相当分を差し引き、上階の床スラブ厚を差し引いた高さを乗じて算出した。

循環水系配管の伸縮継手部からの溢水量（14,452m³）は、タービン建物全体（耐震Sクラスエリア（西）を除く）の貯留可能容積（24,816m³）より小さいことから（溢水水位 EL5.9m）、タービン建物内に貯留可能で、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表 9-11 に示す。

14,452m ³	>	6,680m ³
(循環水系配管の伸縮 継手部からの溢水量)		(復水器エリアの貯留可能容積)

14,452m ³	<	24,816m ³
(循環水系配管の伸縮 継手部からの溢水量)		(タービン建物全体（耐震Sクラス エリア（西）を除く）の貯留可能容積)

9条-別添1-9-10

表 9-9 復水器エリアの溢水を貯留できる空間容積

範囲	空間容積[m ³]
EL0.25~EL2.0m	1,827
EL2.0 ~EL5.3m	4,853
合計	6,680

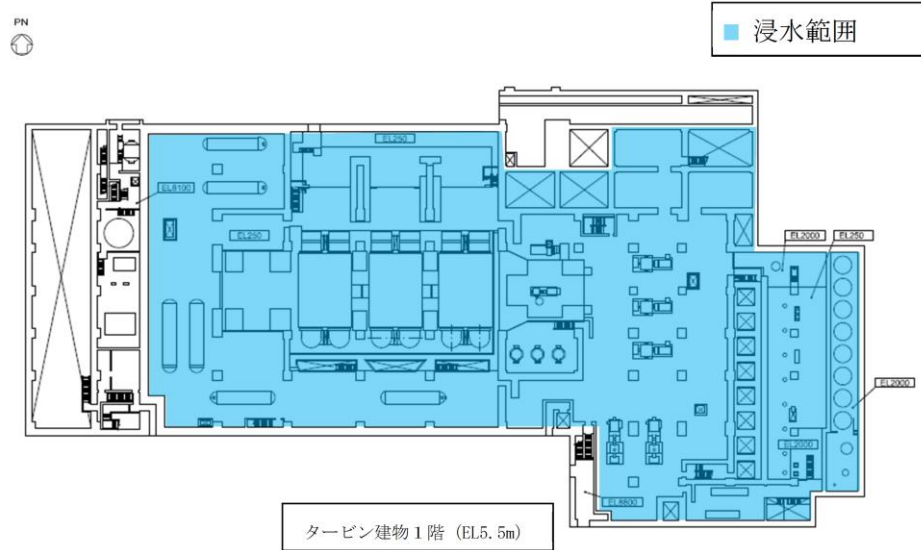
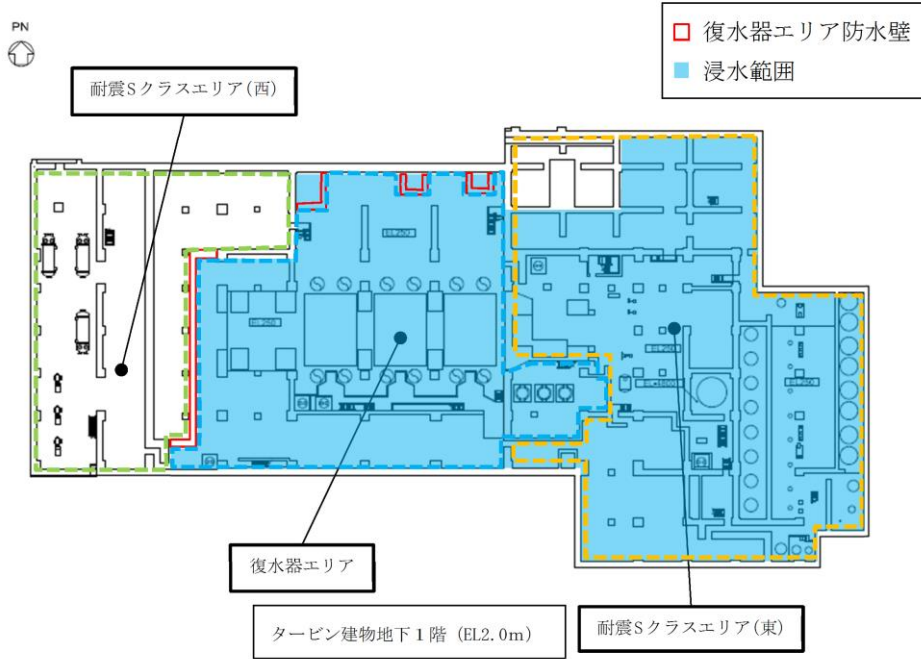


図 9-7 循環水配管の想定破損により溢水の浸水する範囲

9条-別添1-9-11

表 9-10 タービン建物全体（耐震 S クラスエリア（西）を除く）の溢水を貯留できる空間容積

範囲	空間容積[m ³]
EL-4.8~EL0.25m	176
EL0.25~EL2.0m	3,236
EL2.0~EL5.5m	10,052
EL5.5~EL8.8m	11,352
合計	24,816

表 9-11 想定破損による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL5.5m より上部に滞留する溢水量 ^{※1}	988[m ³]
②EL5.5m における溢水の浸水する範囲の滞留面積	3,440[m ²]
③水上高さ	0.075[m]
④EL5.5m より上部に滞留する溢水水位 ^{※2}	0.4[m] (EL5.9m)

※1 循環水系配管の伸縮継手部からの溢水量（14,452m³）から表 9-10 における EL5.5m 以下の空間容積（13,464m³）を差し引いた値

※2 以下の式より算出

$$④ = ① / ② + ③$$

(2) 地震起因による没水影響評価結果

地震起因による溢水量(5,989m³)は、復水器エリアの貯留可能容積(6,680m³)より小さいことから(溢水水位 EL4.8m)、復水器エリアに貯留可能で、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表 9-12 に示す。

$$5,989\text{m}^3 < 6,680\text{m}^3$$

(地震起因による溢水量) (復水器エリアの貯留可能容積)

表 9-12 地震起因による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL2.0m より上部に滞留する溢水量 ^{※1}	4,162[m ³]
②EL2.0m における復水器エリアの滞留面積	1,546[m ²]
③水上高さ	0.075[m]
④EL2.0m より上部に滞留する溢水水位 ^{※2}	2.8[m] (EL4.8m)

※1 地震による溢水量（5,989m³）から表 9-9 における EL2.0m 以下の空間容積（1,827m³）を差し引いた値

※2 以下の式より算出

$$④ = ① / ② + ③$$

9 条-別添 1-9-12

(3) 消火水の放水による没水影響評価結果

消火水の放水による溢水量(46.8m³)は想定破損による溢水量(14,452m³)より小さいことから、想定破損による溢水評価に包含され、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。

9条-別添1-9-13

3. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）における溢水（事象 b.）

9.2 耐震Sクラスエリアにおける溢水

耐震Sクラスエリア（東）及び（西）における溢水について、想定破損による溢水ではエリア内で最も溢水量の大きい復水給水系配管の破損を想定し、地震起因による溢水では耐震B,Cクラス機器の破損を想定する。また、消火水の放水による溢水を想定する。

9.2.1 評価条件

- ・ 想定破損による溢水では、エリア内で最も溢水量の大きい復水給水系配管の破損を考慮する。
- ・ 地震起因による溢水では、破損を想定する耐震B,Cクラス機器の保有水を考慮する。
- ・ 地震起因による溢水では、地震に伴い津波が襲来するものとし、タービン補機海水系配管を含む耐震B,Cクラス機器の破損箇所からの津波の流入を考慮する。
- ・ 消火水の放水による溢水では、屋内消火栓からの放水流量を考慮する。

9.2.2 溢水量

(1) 想定破損による溢水量

エリア内で想定する溢水のうち、最も溢水量の大きい復水給水系(1,646m³)とした。

(2) 地震起因による溢水量

エリア内に設置される耐震B,Cクラス機器の保有水量から算出した。各エリアの溢水量を表9-13に示す。

表 9-13 地震起因による溢水量

エリア	溢水量[m ³]
耐震Sクラスエリア（東）	2,730
耐震Sクラスエリア（西）	1,332

(3) 消火水の放水による溢水量

9.1.2 (2)と同様に、46.8m³とした。

9.2.3 耐震Sクラスエリア（東）及び（西）における溢水影響評価結果

耐震Sクラスエリア（東）及び（西）の溢水事象により浸水する範囲について、溢水防護対象設備が設置されている原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物との境界貫通部に対して止水処置を施すことにより、溢水防護対象設備への影響がないことを確認した。各溢水事象における評価結果を以下に示す。

9条-別添1-9-14

(1) 耐震Sクラスエリア（東）

a. 想定破損による没水影響評価結果

想定破損による溢水量（1,646m³）は、地震起因による溢水量（2,730m³）より小さいことから、地震起因による溢水評価に包含され、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。地震起因の没水影響評価結果をb.項に示す。

b. 地震起因による没水影響評価結果

耐震Sクラスエリア（東）の溢水を貯留できるEL4.9m（天井高さ）以下の空間容積を表9-14に示す。

地震起因による溢水量（2,730m³）は、耐震Sクラスエリア（東）の貯留可能容積（6,598m³）より小さいことから（溢水水位 EL2.8m）、エリア内に貯留可能で、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表9-15に示す。

$$\begin{array}{ccc} 2,730\text{m}^3 & < & 6,598\text{m}^3 \\ \text{(地震起因による溢水量)} & & \text{(耐震Sクラスエリア（東）の貯留可能容積)} \end{array}$$

表9-14 耐震Sクラスエリア（東）の溢水を貯留できる空間容積

範囲	空間容積[m ³]
EL-4.8～EL0.25m	176
EL0.25～EL2.0m	1,409
EL2.0～EL4.9m	5,013
合計	6,598

表9-15 地震起因による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL2.0mより上部に滞留する溢水量 ^{※1}	1,145[m ³]
②EL2.0mにおける耐震Sクラスエリア（東）の滞留面積	1,731[m ²]
③水上高さ	0.075[m]
④EL2.0mより上部に滞留する溢水水位 ^{※2}	0.8[m] (EL2.8m)

※1 地震による溢水量（2,730m³）から表9-14におけるEL2.0m以下の空間容積（1,585m³）を差し引いた値

※2 以下の式より算出

$$\text{④} = \text{①} / \text{②} + \text{③}$$

c. 消火水の放水による没水影響評価結果

消火水の放水による溢水量 (46.8m³) は地震起因による溢水量(2,730m³) より小さいことから、地震起因による溢水評価に包含され、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。

(2) 耐震Sクラスエリア (西)

a. 想定破損による没水影響評価結果

耐震Sクラスエリア (西) の溢水を貯留できる EL4.9m (天井高さ) 以下の空間容積を表 9-16 に示す。

想定破損による溢水量 (1,646m³) は、耐震Sクラスエリア (西) の貯留可能容積 (3,131m³) より小さいことから (溢水水位 EL3.6m), エリア内に貯留可能で、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表 9-17 に示す。

$$1,646\text{m}^3 < 3,131\text{m}^3$$

(想定破損による溢水量) (耐震Sクラスエリア (西) の貯留可能容積)

表 9-16 耐震Sクラスエリア (西) の溢水を貯留できる空間容積

範囲	空間容積[m ³]
EL2.0 ~EL4.9m	3,131

表 9-17 想定破損による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL2.0m より上部に滞留する溢水量	1,646 [m ³]
②EL2.0m における耐震Sクラスエリア (西) の滞留面積	1,080 [m ²]
③水上高さ	0.075 [m]
④EL2.0m より上部に滞留する溢水水位 ^{※1}	1.6 [m] (EL3.6m)

※1 以下の式より算出

$$\text{④} = \text{①} / \text{②} + \text{③}$$

b. 地震起因による没水影響評価結果

地震起因による溢水量 (1,332m³) (溢水水位 EL3.4m) は、想定破損による溢水量(1,646m³) より小さいことから、想定破損による溢水評価に包含され、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表 9-18 に示す。

表 9-18 地震起因による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL2.0m より上部に滞留する溢水量	1,332[m ³]
②EL2.0m における耐震Sクラスエリア（西）の滞留面積	1,080[m ²]
③水上高さ	0.075[m]
④EL2.0m より上部に滞留する溢水水位 ^{※1}	1.4[m] (EL3.4m)

※1 以下の式より算出

$$\text{④} = \text{①} / \text{②} + \text{③}$$

c. 消火水の放水による没水影響評価結果

消火水の放水による溢水量(46.8m³)は想定破損による溢水量(1,646m³)より小さいことから、想定破損による溢水評価に包含され、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。

9.3 海域活断層及び日本海東縁部に想定される地震による津波について

海域活断層及び日本海東縁部に想定される地震による津波については、図9-8、9-9に示す通り、海域と接続のある耐震B、Cクラス機器のうち、循環水系に加え、タービン補機海水系についてもインターロックによる弁閉止及び出口側配管の逆止弁により津波の流入を防止することから、循環水系配管を含む耐震B、Cクラス機器の破損箇所からタービン建物へ津波の流入はない。タービン補機海水系の対策概要図を図9-10-1、2に示す。

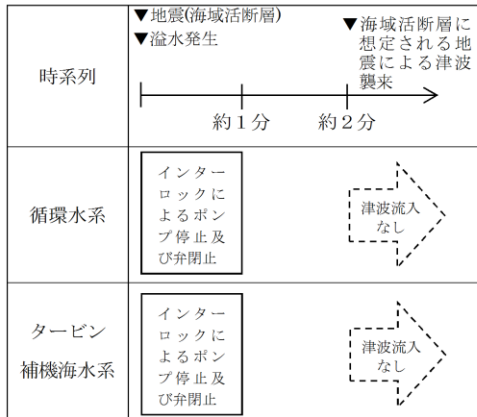


図9-8 海域活断層に想定される地震による津波襲来に係る時系列

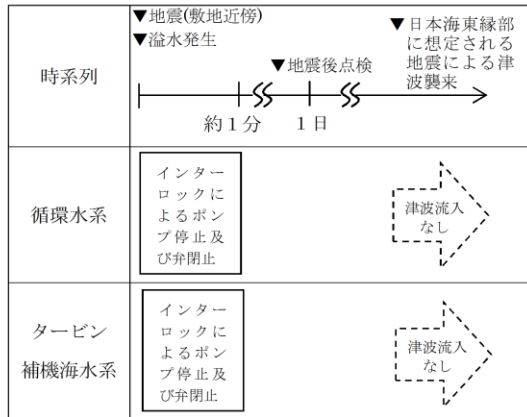


図9-9 日本海東縁部に想定される地震による津波襲来に係る時系列

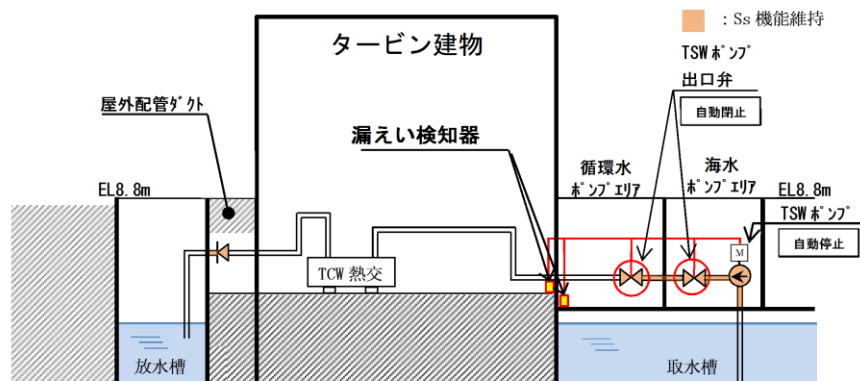


図9-10-1 タービン補機海水系の対策概要 (断面図)

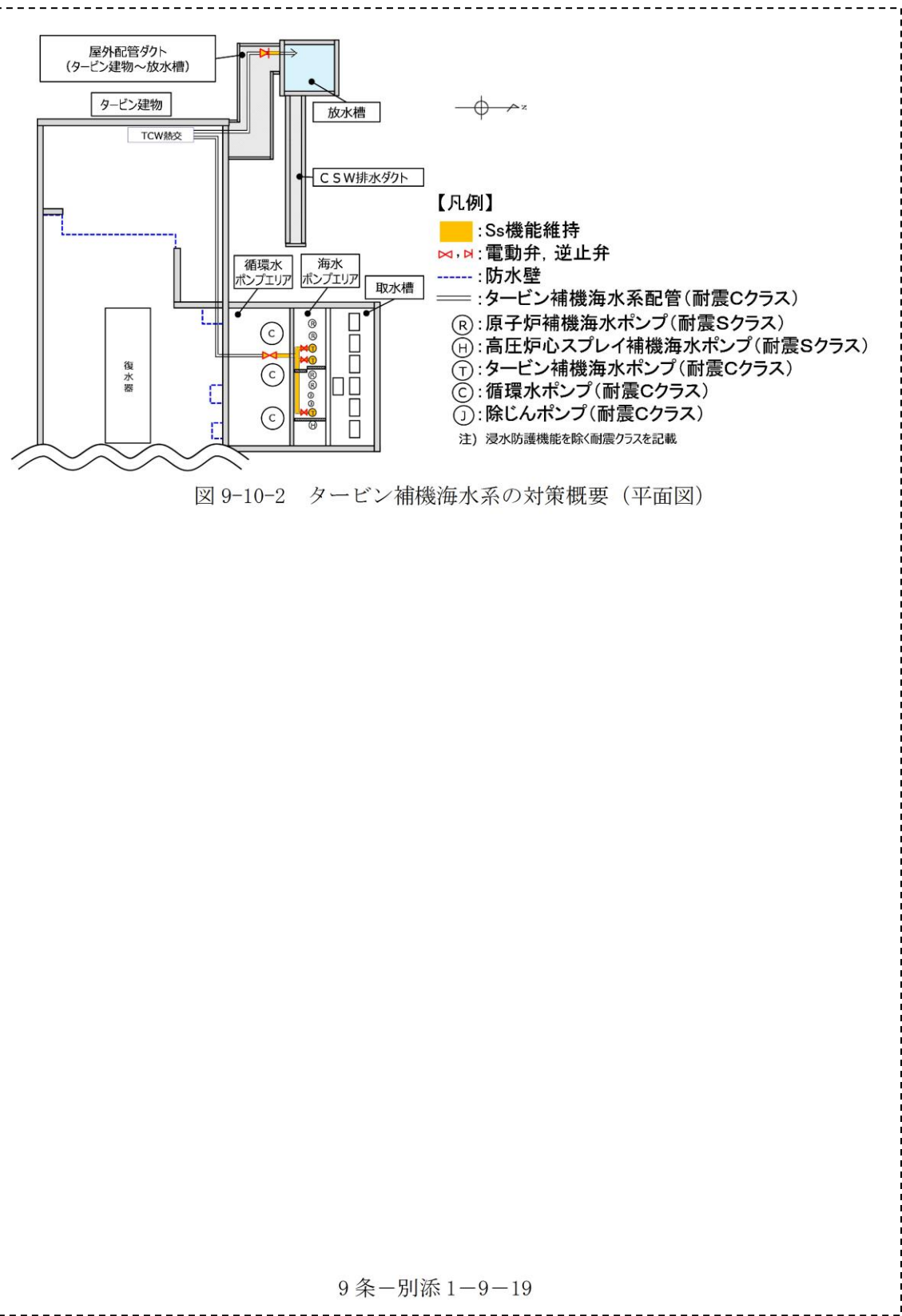


図 9-10-2 タービン補機海水系の対策概要 (平面図)

9 条-別添 1-9-19

4. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水（事象 c.）

9.5 循環水ポンプエリアにおける溢水

海水ポンプエリアに隣接する循環水ポンプエリアの循環水系配管の伸縮継手部の全円周状の破損を想定し、海水ポンプエリアへの溢水影響を評価した。算出した溢水流量を表 9-21 に、溢水影響評価結果を表 9-22 に示す。越流水深の算出にあたっては、Govinda Rao の式（補足説明資料 30 参照）を使用した。

海水ポンプエリアに設置している海水ポンプエリア防水壁（EL10.8m）は、循環水ポンプエリア天端（EL8.8m）より 2.0m 高く設計しており、隣接する循環水ポンプエリアでの想定破損により溢水が発生した場合においても、循環水ポンプエリア天端の越流水深は 0.24m であることから、海水ポンプエリア防水壁を越流して隣接する海水ポンプエリアに流入することはない。循環水系配管破損時の平面図を図 9-12 に、断面図を図 9-13 に示す。

表 9-21 循環水系配管の伸縮継手部の溢水流量

部位	内径[mm]	破損幅[mm]	溢水流量[m ³ /h]
循環水ポンプ出口配管伸縮継手部	2,600	50	15,590

表 9-22 循環水ポンプエリアの溢水影響評価結果

W	循環水ポンプエリア壁の高さ[m]	7.7
B	排出を期待する開口長さ[m]	23.6
L	循環水ポンプエリア壁の幅[m]	1.0
Q	エリア内の溢水流量[m ³ /h]	15,590
h	越流水深[m]	0.24
H	許容越流水深[m]	2.0
評価結果(判定基準：H≥h)		○

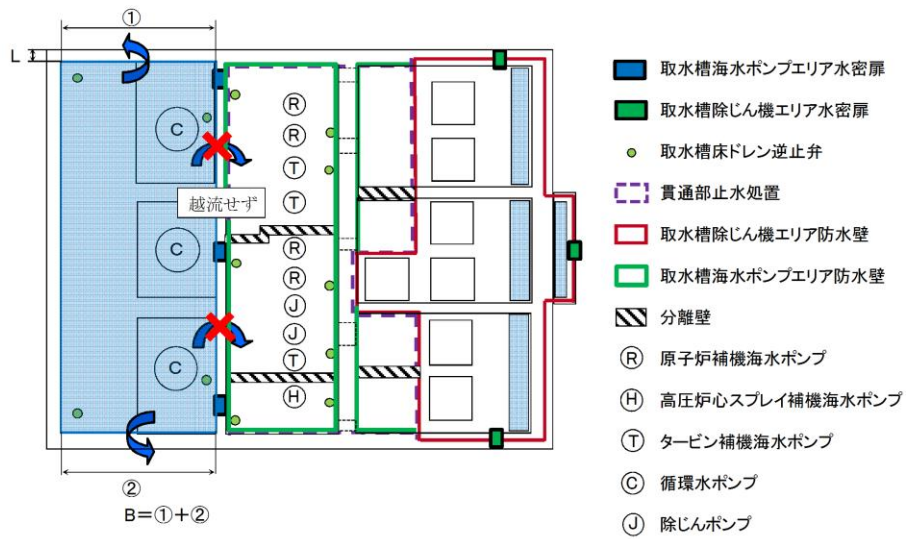


図 9-12 取水槽海水ポンプエリア平面図 (循環水系配管破損時)

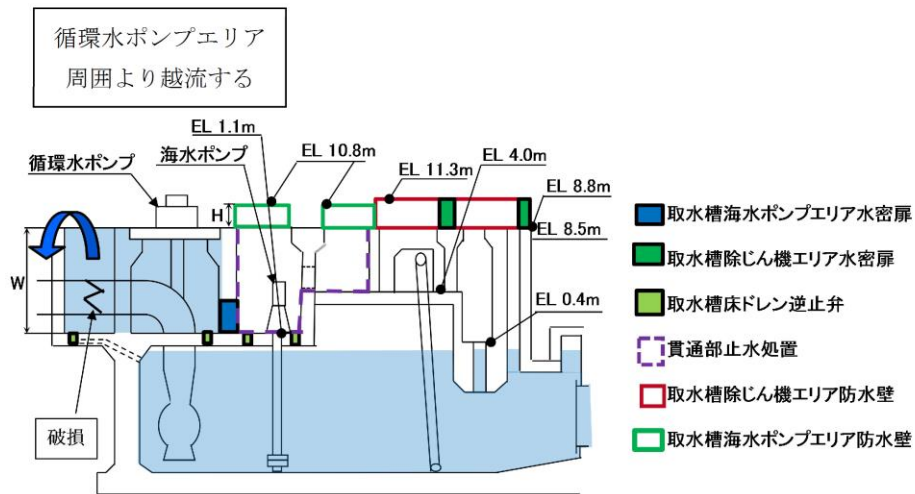


図 9-13 取水槽海水ポンプエリア断面図 (循環水系配管破損時)

9 条—別添 1—9—23

5. 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水（事象 d.）

補足説明資料 30

海水ポンプエリアの防護について

1. はじめに

溢水防護対象設備のうち海水ポンプは、取水槽に設置されている。

海水ポンプエリアは、エリア外からの浸水を防止する対策として、水密扉及び逆止弁の設置、貫通部止水処置を実施するとともに、海水ポンプエリア上部には防水壁を、海水ポンプエリア内には分離壁を設置している。

ここでは、海水ポンプエリアについて、想定破損、消火水の放水及び地震起因による溢水を評価した。海水ポンプエリアの平面図を図 1-1 に、断面図を図 1-2 に示す。

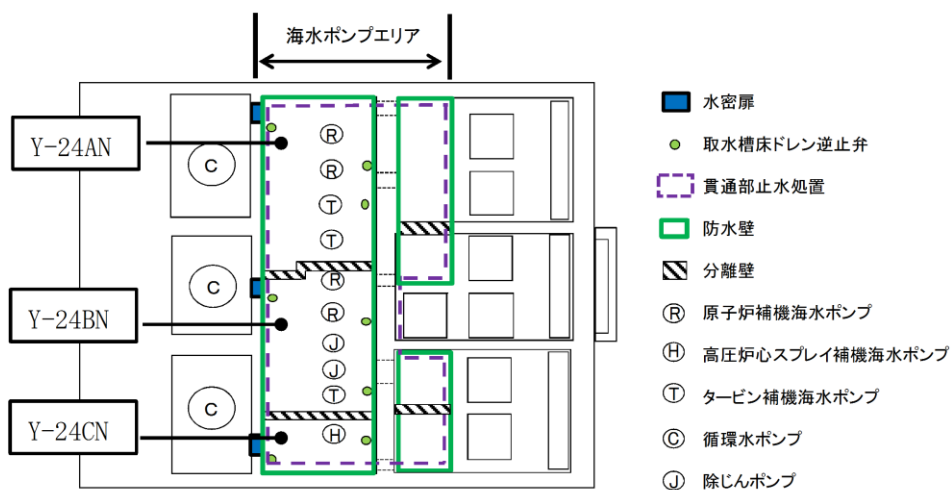


図 1-1 海水ポンプエリア平面図

9 条-別添 1-補足 30-1

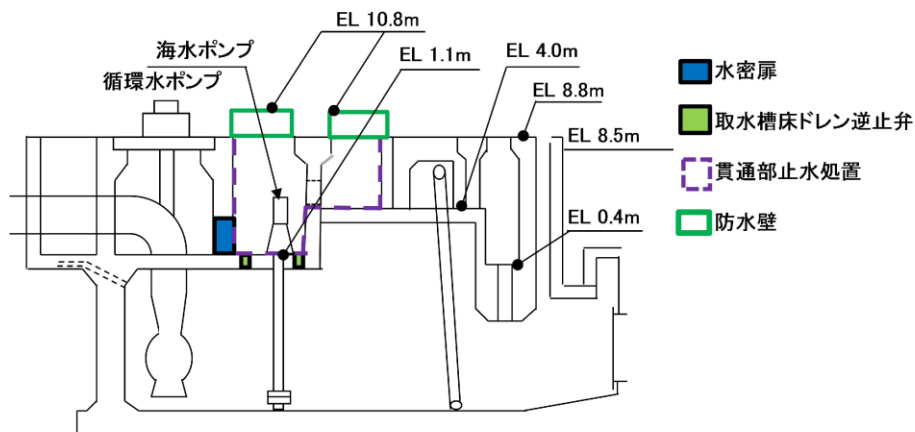


図 1-2 海水ポンプエリア断面

2. 想定破損による溢水影響評価

図 2-2 に示す通り、海水ポンプエリアに設置している分離壁(高さ 9.9m)は、防水壁(高さ 9.7m)より 0.2m 高く設計されており、隣接する海水ポンプエリアでの想定破損により溢水が発生した場合においても、分離壁を越流して溢水が隣接する海水ポンプエリアに流入することはなく、多重化された系統が同時に機能喪失することはない。評価結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 想定破損による溢水影響評価結果

評価区画		Y-24AN	Y-24BN	Y-24CN
W	防水壁の高さ[m]	9.7	9.7	9.7
B	排出を期待する開口長さ[m]	33	23	17
L	防水壁の幅[m]	0.074	0.074	0.074
Q	区画内の最大溢水流量[m ³ /h]	216	216	121
h	越流水深[m]	0.02	0.02	0.02
H	許容越流水深[m]	0.2	0.2	0.2
評価結果 (判定基準: $H \geq h$)		○	○	○

また、評価結果の例を以下に示す。

【区画 Y-24AN での想定破損による溢水影響評価】

区画 Y-24AN での想定破損による溢水が隣接する区画 Y-24BN に流出しないことを確認する。溢水源となる系統及び溢水流量を表 2-2 に示す。

溢水源となる系統のうち、溢水量が最大となるのはⅡ-RSWである。防水壁を越えて外部に排出する際の水位（越流水深）を算出するため、以下の式を使用した。

Govinda Rao の式（参考文献：土木学会 水理公式集（平成 11 年度版））

(a) 越流水深による表示

$$Q = CBh^{3/2} \dots\dots\dots(3-1.5)$$

$$0 < h/L \leq 0.1 ; C = 1.642(h/L)^{0.022} \dots\dots\dots(3-1.5.a)$$

$$0.1 < h/L \leq 0.4 ; C = 1.552 + 0.083(h/L) \dots\dots\dots(3-1.5.b)$$

$$0.4 \leq h/L \leq (1.5 \sim 1.9) ; C = 1.444 + 0.352(h/L) \dots\dots(3-1.5.c)$$

$$(1.5 \sim 1.9) \leq h/L ; C = 1.785 + 0.237(h/W) \dots\dots(3-1.5.d)$$

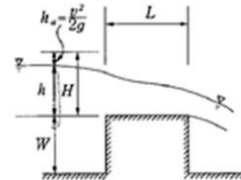


図 3-1.11 長方形せきの諸元

- Q：越流流量[m³/s]
- B：排出を期待する開口長さ[m]
- h：越流水深[m]
- C：流量係数[-]
- L：海水ポンプエリア防水壁の幅[m]
- W：海水ポンプエリア防水壁の高さ[m]

想定破損による溢水が防水壁を越えて外部に排出する際の水位（越流水深）を表に示す。なお、排出を期待する開口長さは区画（Y-24AN）に接する防水壁の長さとし、概略図を図 2-1、図 2-2 に示す。

表 2-3 に示すように溢水の越流水深は防水壁と分離壁の高低差（0.2m）を下回るため、分離壁を越流して溢水が隣接する海水ポンプエリアに流入することはない。多重化された系統が同時に機能を喪失することはない。

表 2-2 溢水源となる系統及び溢水流量（Y-24AN）

系統	溢水流量[m ³ /h]
原子炉補機海水系（Ⅱ-RSW）	216
タービン補機海水系（TSW）	172
補給水系（MUW）	2
消火系（FP）	36

表 2-3 越流水深計算結果

評価対象区画		Y-24AN
W	防水壁の高さ[m]	9.7
B	排出を期待する開口長さ[m]	33
L	海水ポンプエリア防水壁の幅[m]	0.074
Q	越流流量 (II-RSW) [m ³ /h]	216
h	越流水深[m]	0.02

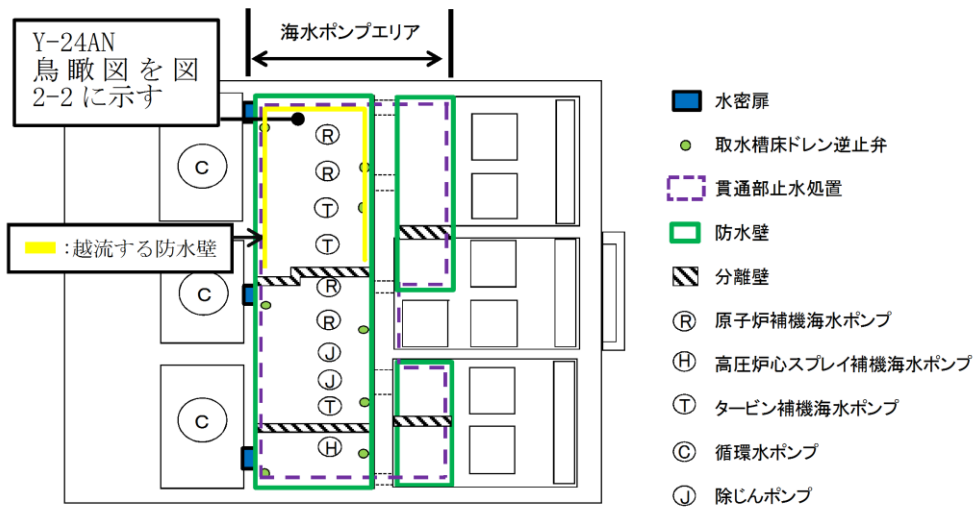


図 2-1 海水ポンプエリア防水壁概略図

9 条-別添 1-補足 30-4

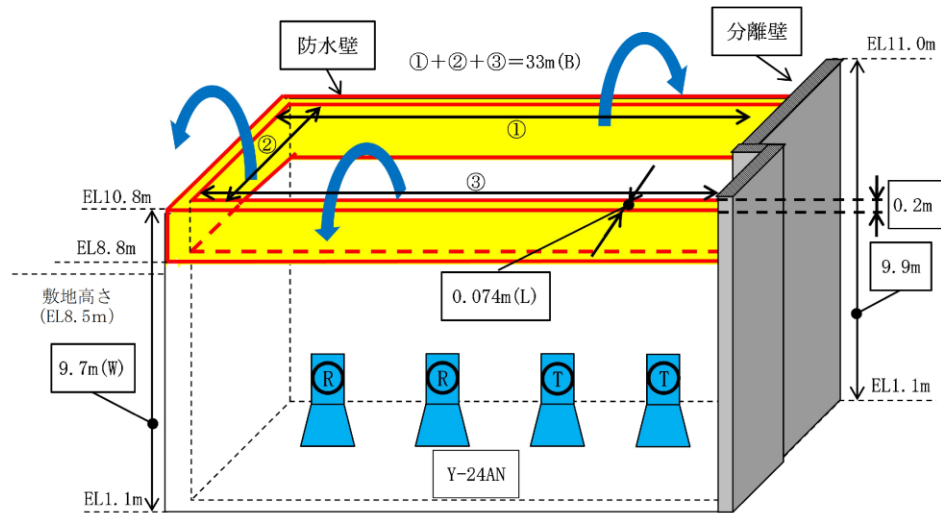


図 2-2 排出を期待する防水壁鳥瞰図 (Y-24AN)

3. 消火水の放水による溢水

海水ポンプエリアの消火活動に使用される設備に屋外の消火栓がある。消火栓からの溢水流量を $350 \text{ l/min} \times 2 \text{ 倍}$ ($42\text{m}^3/\text{h}$) とし、消火活動による放水に伴う溢水流量とする。この溢水流量は、表 3-1 に示す通り想定破損の評価で想定する溢水流量より小さく、消火水の放水による溢水評価は想定破損の評価に含まれるため、多重化された系統が同時に機能喪失することはない。

表 3-1 想定破損及び消火放水による溢水流量の比較

	想定破損		消火放水
	系統	溢水流量 [m^3/h]	溢水流量 [m^3/h]
Y-24AN	原子炉補機海水系 (II-RSW)	216	42
Y-24BN	原子炉補機海水系 (I-RSW)	216	42
Y-24CN	取水槽設備系 (OTC)	121	42

4. 地震起因による溢水

溢水源となりうる機器のうち、基準地震動 S_s による地震力によって破損が生じるおそれのある機器を溢水源として想定した。添付資料 3 に示すとおり、海水ポンプエリアの機器・配管は基準地震動 S_s に対する耐震性を有している

9 条—別添 1—補足 30—5

ことから、重要度の特に高い安全機能、燃料プール冷却機能及び燃料プールへの給水機能が喪失することはない。評価結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 地震起因による溢水影響評価結果

評価区画	Y-24AN	Y-24BN	Y-24CN
溢水量[m ³]	0	0	0
滞留面積[m ²]	54	38	22
溢水水位[m]	0	0	0
機能喪失床上高さ[m]	1.68	1.68	1.25
評価結果	○	○	○

9 条-別添 1-補足 30-6

6. 屋外タンク等による屋外における溢水（事象 e.）

10. 建物外からの溢水影響評価

島根原子力発電所2号炉における溢水防護対象設備を内包する建物の外部にある溢水源としては、海水を除き、屋外タンク及び貯水槽等（以下「屋外タンク等」という。）の保有水並びに地下水が挙げられる。ここでは、これらの溢水が溢水防護対象設備に与える影響を評価する。

なお、海水の溢水に関しては「9. 溢水防護対象設備が設置されているエリア外からの溢水影響評価」及び設置許可基準規則 第五条（津波による損傷の防止）に対する適合性において説明する。また、屋外タンク等は全て大気開放構造であり、最高使用圧力が静水頭圧であるため、想定破損による溢水源として考慮しない。

10.1 屋外タンク等の溢水による影響

(1) 地震起因による屋外タンク等からの溢水影響

屋外タンク等の溢水として、地震による損傷が否定できない屋外タンク等の破損による溢水を考慮する必要がある。

島根原子力発電所の敷地内に設置されている屋外タンク等のうち溢水源とする屋外タンク等を溢水源とする屋外タンク等の選定フロー（図 10-1）により抽出した（詳細を補足説明資料 27 に示す）。結果を表 10-1 に、また抽出された屋外タンク等の配置を図 10-2 に示す。

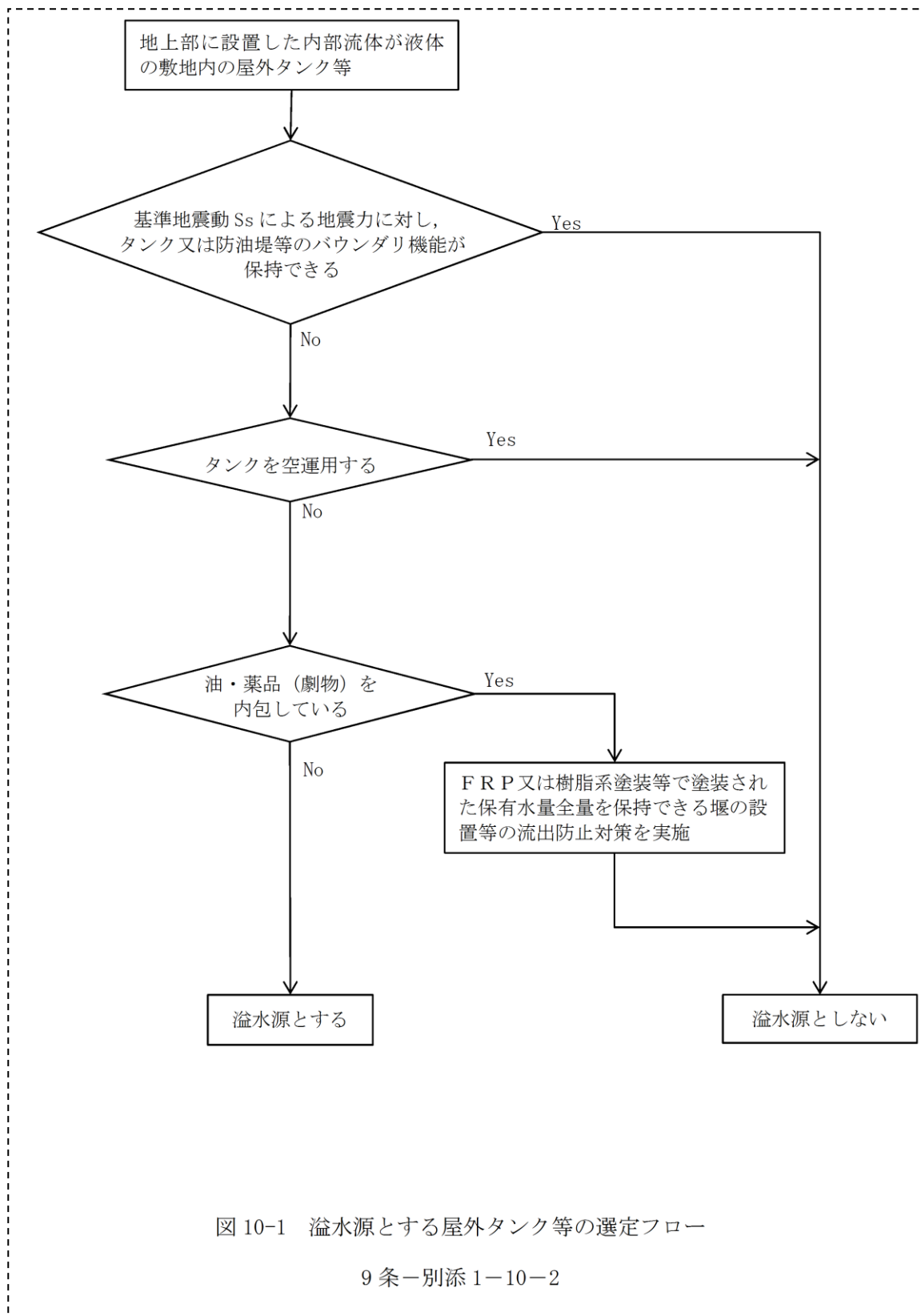


表 10-1 溢水源とする屋外タンク等

No	名称	保有水量 [m ³]	溢水伝播 挙動評価 に用いる 溢水量 [m ³] ^{※3}	配置 No	保有水量20m ³ 以上(山間部 除く)の屋外 タンク等	エリア No	合計 保有水量 [m ³]	溢水伝播 挙動評価 に用いる 合計溢水量 [m ³] ^{※2}
1	雑用水タンク	33	49	25	○	エリア ①	2,832	3,366 (2,994)
2	宇中系統中継水槽(西山水槽)	30	45	26	○			
3	硝子水洗タンク	146	161	22	○			
4	ガス・ヒン発電機用軽油タンク用消火タンク	49	73	23	○			
5	A-44m盤廻り消火設備タンク(南側)	155	171	30	○			
6	B-44m盤廻り消火設備タンク(南側)	155	171	30	○			
7	輪谷貯水槽(東側)沈砂池	260	286	20	○			
8	原水80t水槽	80	120	24	○			
9	仮設水槽-1(2号西側法面付近)	20	30	39	○			
10	仮設水槽-2(2号西側法面付近)	20	30	40	○			
11	仮設水槽-3(2号西側法面付近)	20	30	45	○			
12	輪谷貯水槽(東側)	1,864 ^{※1}	2,200	19	○			
13	消火薬剤貯蔵槽(ガス・ヒン発電機用軽油タンク)	1	—	n-43	—	エリア ②	7,681	8,602 (7,712)
14	山林用防火水槽(スカイライン)	50	—	n-52	—			
15	山林用防火水槽(スカイライン)	50	—	n-52	—			
16	仮設水槽(2号西側法面付近)	2	—	n-59	—			
17	防火水槽	20	—	n-74	—			
18	防火水槽	20	—	n-73	—			
19	鉄イオン溶解タンク(2号)	19	—	n-9	—			
20	純水タンク(A)	600	660	10	○			
21	純水タンク(B)	600	660	10	○			
22	2号ろ過水タンク	3,000	3,300	11	○			
23	1号除だく槽	87	131	12	○			
24	1号ろ過器	62	93	13	○			
25	2号除だく槽	102	113	14	○			
26	2号ろ過器	36	54	15	○			
27	2号濃縮槽	30	45	16	○			
28	1号ろ過水タンク	3,000	3,300	17	○			
29	74m盤受水槽(2槽)	60	90	27	○			
30	純水装置廃液処理設備	42	63	31	○			
31	22m盤受水槽	30	45	37	○			
32	59m盤トイレ用貯槽	32	48	44	○			
33	補助ボイラーロータンク	1	—	n-24	—			
34	補助ボイラー冷却水冷却塔	1	—	n-24	—			
35	C-真空脱気塔	3	—	n-28	—			
36	D-真空脱気塔	3	—	n-28	—			
37	C/D用冷却水回収槽	2	—	n-28	—			
38	A-真空脱気塔	2	—	n-38	—			
39	B-真空脱気塔	2	—	n-38	—			
40	冷却水回収槽	2	—	n-38	—			
41	1号除だく槽排水槽	7	—	n-41	—			
42	トイレ用ろ過水貯槽	8	—	n-41	—			
43	変圧器消火水槽	306	336	4	○			
44	電解液受槽(1号)	22	33	5	○			
45	A-SB廻り消火設備タンク	46	69	18	○			
46	B-SB廻り消火設備タンク	46	69	18	○			
47	管理事務所4号館用消火タンク	21	32	36	○			
48	電解液受槽(2号)	10	—	n-8	—			
49	1号海水電解装置電解槽(循環7号 8槽)	2	—	n-8	—			
50	2号海水電解装置電解槽(非循環7号 12槽)	2	—	n-8	—			
51	3号ろ過水タンク(A)	1,000	1,100	1	○			
52	3号純水タンク(A)	1,000	1,100	2	○			
53	消火用水タンク(A)	1,200	1,320	3	○			
54	消火用水タンク(B)	1,200	1,320	3	○			
55	3号仮設海水淡水化装置(海水受水槽)	25	38	29	○			
56	仮設合併処理槽	31	46	34	○			
57	3号純水タンク(B)	1,000	1,100	32	○			
58	3号ろ過水タンク(B)	1,000	1,100	33	○			
59	A-44m盤廻り消火設備タンク(北側)	155	171	38	○			
60	B-44m盤廻り消火設備タンク(北側)	155	171	38	○			
61	宇中受水槽	24	36	46	○			
62	宇中合併浄化槽(1)	63	94	42	○			
63	宇中合併浄化槽(2)	126	139	43	○			
64	海水電解装置脱気槽	12	—	n-13	—			
65	補助ボイラー排水処理装置 排水pH中和槽	3	—	n-14	—			
66	重油タンク用泡原液差圧調整槽	2	—	n-15	—			
67	補助ボイラー補機冷却水薬液注入貯槽	1	—	n-14	—			
68	ブロータンク	1	—	n-14	—			
69	排水放流槽	1	—	n-14	—			
70	訓練用模擬水槽	4	—	n-58	—			
71	3号仮設海水淡水化装置(R0処理水槽)	15	—	n-76	—			
72	3号仮設海水淡水化装置(仮設純水槽)	5	—	n-77	—			
73	管理事務所1号館東側調整池	1,520	1,672	9	○			
74	A-50m盤廻り消火設備タンク	155	171	28	○			
75	B-50m盤廻り消火設備タンク	155	171	28	○			
76	濁水処理装置	10	—	n-71	—			
合計							20,024	22,256

- ※1 輪谷貯水槽のスロッシング解析値(1,694m³)と実験値の差を踏まえて1.1倍し、切上げた値。
- ※2 ()内はエリア内の溢水源とする屋外タンク等の保有水量の合計を示す。
- ※3 評価に用いる溢水量は保有水量を以下の通り割り増した。
 20m³以上100m³以下の屋外タンク等：1.5倍
 100m³を超える屋外タンク等：1.1倍
 輪谷貯水槽(東側)：1,864m³を上回る2,200m³とした。

9条-別添1-10-3

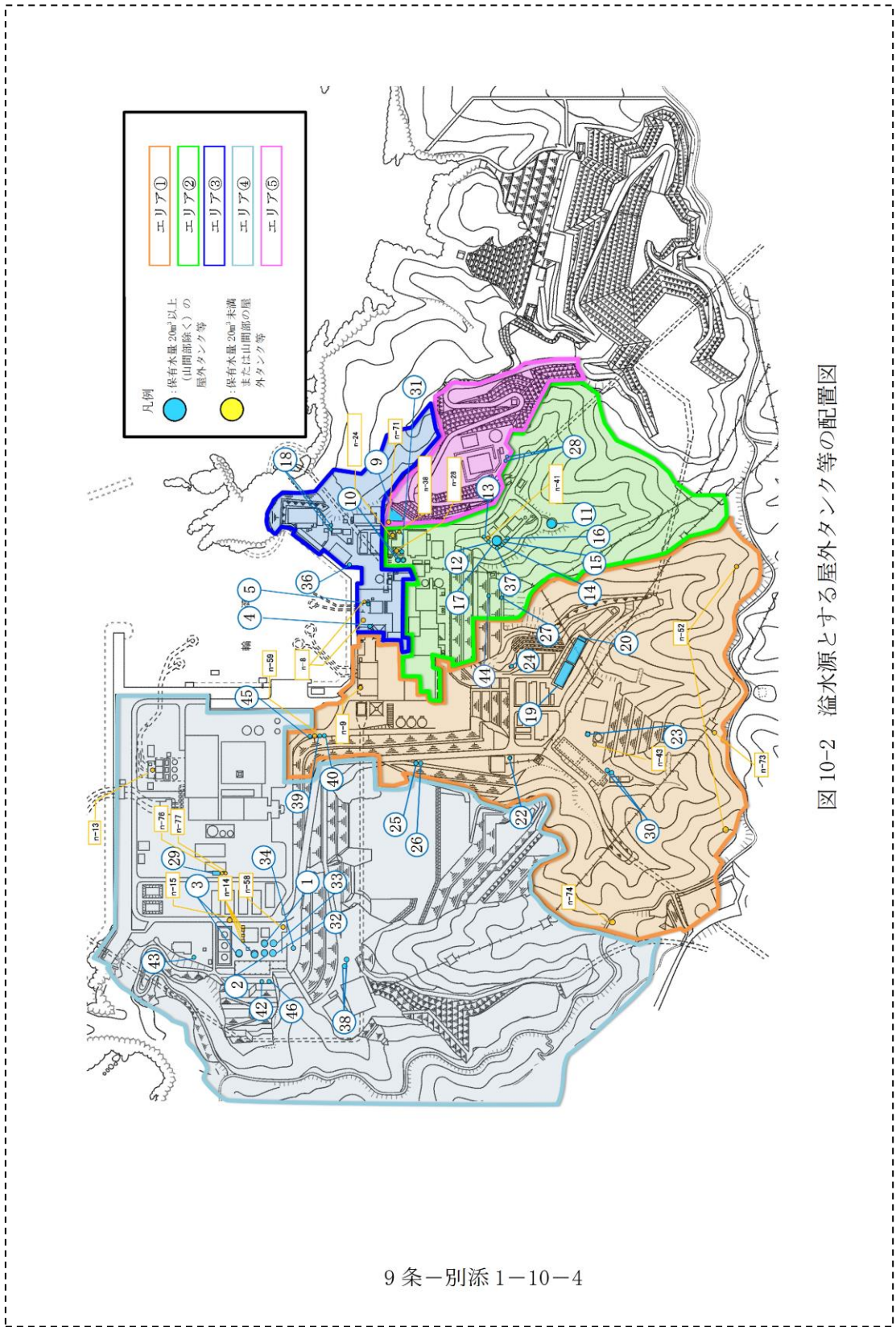


図 10-2 溢水源とする屋外タンク等の配置図

a. 屋外タンク等の溢水伝播挙動評価

屋外タンク等の地震による損傷形態としてはタンクの側板基礎部や側板上部の座屈、また接続配管の破断等が考えられる。このため、地震によりタンクに大開口が生じ短時間で大量の水が流出するようなことはないと考えられるが、屋外タンク等の損傷形態及び流出水の伝播に係る条件について、以下に示す保守的な設定を行った上で、溢水伝播挙動評価を行う。

溢水伝播挙動評価は汎用熱流体解析コードFluentを用いて、以下に示す評価モデルにより敷地の水位を算出する。

なお、輪谷貯水槽（東側）は、溢水防護対象設備の設置されている建物より高所に設置しており、溢水防護対象設備の設置されている建物・区画へ流下することが考えられるため、基準地震動 S_s によって生じるスロッシング量を考慮する。

■溢水伝播挙動評価条件

- 溢水源となる屋外タンク等を表現し、地震による損傷をタンク側板が瞬時に消失するとして模擬する。
- 構内排水路による排水機能及び敷地外への排出は期待しない。
- 輪谷貯水槽（東側）は基準地震動 S_s によって生じるスロッシングによる溢水量（時刻歴）を模擬する。

■評価モデル

島根原子力発電所の敷地形状を三次元モデルで模擬する。評価モデルを図 10-3-1 に示す。

溢水源のモデル化にあたっては、敷地形状（尾根、谷、敷地高さ）を踏まえた発電所構内に流入する降水の集水範囲から、屋外タンク等の設置エリアを5箇所エリアに区分する。エリアを区分するうえで考慮した敷地形状を表 10-2 に示す。

表 10-1 に示す保有水量 20m^3 以上（山間部除く）の屋外タンク等はその設置位置でモデル化する。また、分散している溢水源を集中させることで水位が高くなることから、保有水量 20m^3 未満または山間部の屋外タンク等は、その設置位置でモデル化せず、各エリアでモデル化する屋外タンク等の保有水量を割り増すことで考慮する。

区分した各エリアと屋外タンク等の配置を図 10-2 に、各エリア内の屋外タンク等の合計保有水量と溢水伝播挙動評価に用いる溢水量を表 10-1 に示す。

表 10-2 エリア区分で考慮した敷地形状

設置エリア	考慮した主な敷地形状
エリア①/②	尾根
エリア①/③	敷地高さ
エリア①/④	尾根
エリア②/③	敷地高さ
エリア②/⑤	敷地高さ
エリア③/⑤	谷

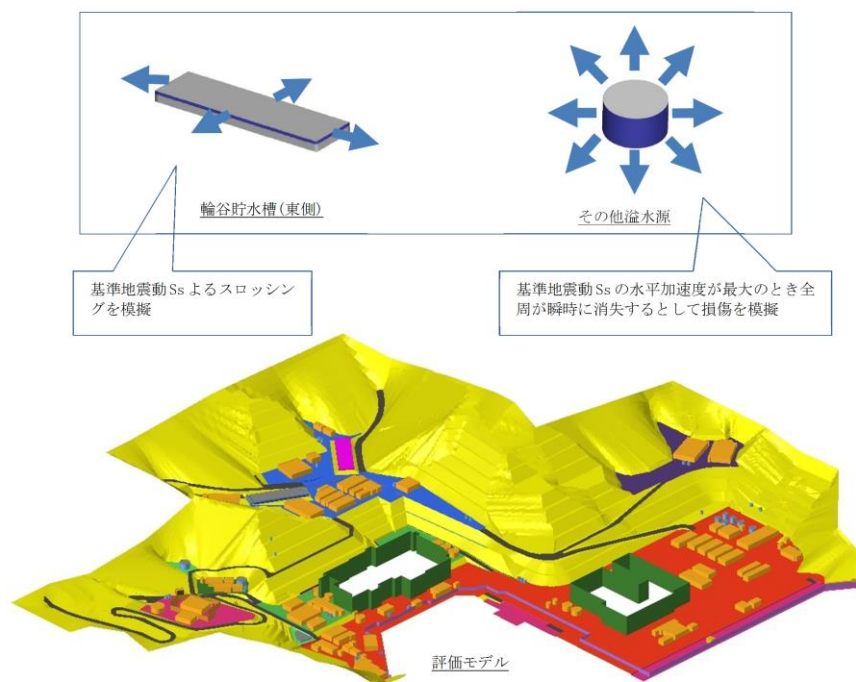
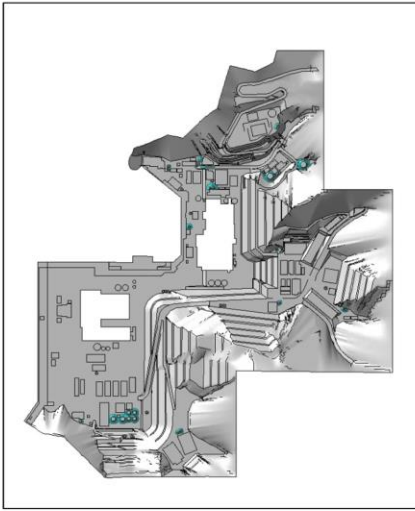


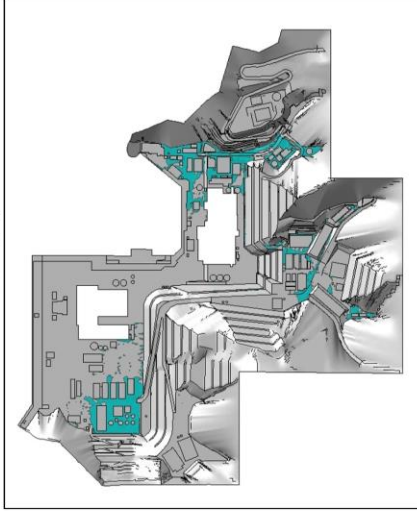
図 10-3-1 溢水伝播挙動の評価モデル

b. 評価結果

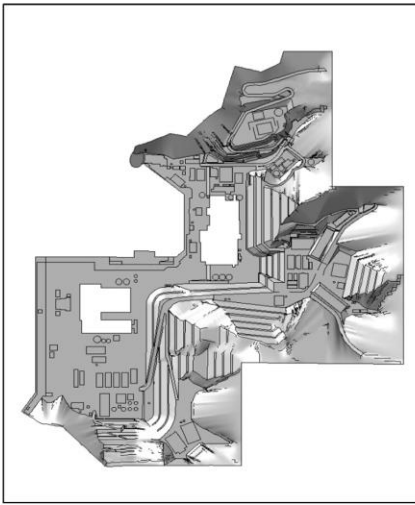
評価の結果として得られた溢水伝播挙動を図 10-3-2 に、代表箇所における浸水深の時刻歴を図 10-3-3 に、最大浸水深を表 10-3 に示す。



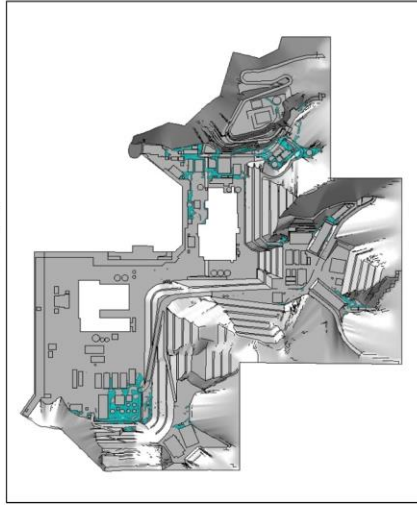
10.0 [s]



60.0 [s]



5.0 [s]



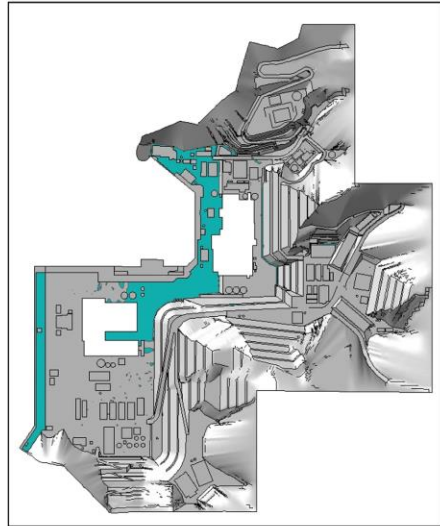
20.0 [s]

図 10-3-2 屋外タンクの溢水伝播挙動 (1/2)

9 条—別添 1—10—7



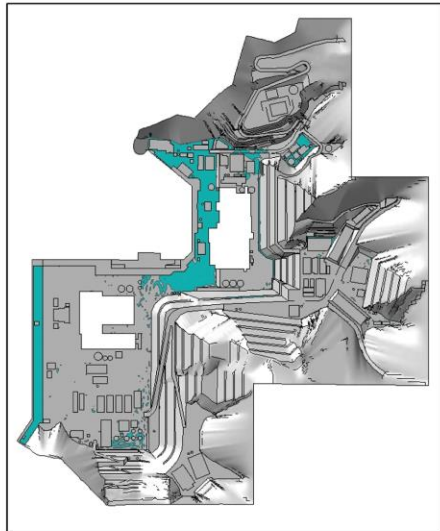
300.0 [s]



1200.0 [s]



120.0 [s]



600.0 [s]

図 10-3-2 屋外タンクの溢水伝播挙動 (2/2)

9 条-別添 1-10-8



図 10-3-3 代表箇所における浸水深時刻歴

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

9 条-別添 1-10-9

表 10-3 代表箇所における最大浸水深

代表箇所		基準高さ EL [m]	最大 浸水深 [m]	建物外周扉等 の設置位置 EL [m]
地点 1	原子炉建物南面	15.0	0.05	15.3
地点 2	原子炉建物西面 1	15.0	0.01	15.3
地点 3	原子炉建物西面 2	15.0	0.03	15.3
地点 4	タービン建物南面 1	8.5	0.23	8.8
地点 5	タービン建物南面 2	8.5	0.72	8.9
地点 6	タービン建物南面 3	8.5	0.22	9.1
地点 7	タービン建物南面 4	8.5	0.21	9.26
地点 8	海水ポンプエリア西面	8.5	0.21	10.8
地点 9	海水ポンプエリア東面	8.5	0.36	10.8
地点 10	廃棄物処理建物南面	15.0	0.33	15.35
地点 11	B-非常用ディーゼル発電機燃料 貯蔵タンク格納槽北面	15.0	0.02	15.35

c. 影響評価

屋内に設置される溢水防護対象設備の建物外からの溢水に対する浸水経路としては表 10-4 に示す経路が挙げられる。なお、制御室建物については直接地表面と接する外壁はなく、屋外タンク等の溢水が直接浸水する経路はない。

また、屋外に設置されている溢水防護対象設備としては以下があるが、これらに対する浸水経路は地表部からの直接伝播となる。

- ・ A、H-非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ
- ・ B-非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ
- ・ 原子炉補機海水ポンプ
- ・ 高圧炉心スプレー補機海水ポンプ

以上の各浸水経路のうち、溢水防護区画への浸水経路①～⑤に対する影響評価の結果は次の通りであり、いずれの経路からも溢水防護区画への浸水はない。

浸水経路①

溢水防護対象設備を設置する原子炉建物及び廃棄物処理建物については、各扉付近の溢水水位より外壁に設置された扉の設置位置（敷地高さ(EL)15.0m から 0.3m 以上）が高いことから溢水防護区画への浸水はない。タービン建物については、外壁にある扉付近の水位が最大で 0.72m であり、扉の設置位置（タービン建物東側開口部下端高さ 0.4m）を超えるが、開口部下端高さを超える水位の継続時間が短く、流入する溢水は約 5 m³ と少量である。タービン建物の

9 条-別添 1-10-10

うち耐震Sクラスエリア（東）内に流入した場合、耐震Sクラスエリア（東）における地震起因による溢水量（約 2,730m³）に含めても、耐震Sクラスエリア（東）の溢水を貯留できる空間容積（約 6,598m³）より小さく貯留可能であることから溢水防護区画への浸水はない。

浸水経路②

溢水伝播挙動評価による建物廻りの水位は最大でも 0.8m 程度である。これに対して、地上 1m 以下の貫通部に対してシリコン等の止水措置を実施していない箇所はないため、本経路から溢水防護区画への浸水はない。

浸水経路③

2号炉建物に隣接する1号炉原子炉建物、タービン建物及び廃棄物処理建物については敷地高さ(EL8.5m及びEL15.0m)から0.3mの高さまで建物扉や貫通部がないことを確認している。屋外タンク等からの溢水が1号炉タービン建物等に流入した場合でも、その水の量は僅かと考えられるが、保守的な想定として1号炉タービン建物近傍に設置する溢水源となるタンク(純水タンク(A)(B))(約1,200m³)が流入したとしても1号炉タービン建物の貯留可能容積は11,170m³であるため、流入水は当該建物内に収容されることから、本経路から溢水防護区画への浸水はない。

浸水経路④

地下ダクト等はEL8.5mの地下部に7箇所、EL15.0mの地下部に4箇所あり、屋外とダクト又はダクトと建物境界部に止水処置を実施するため、本経路から溢水防護区画への浸水はない(詳細評価は補足説明資料9に示す)。

浸水経路⑤

建物間接合部にはエキスパンションジョイント止水板等が設置されているため、本経路から溢水防護区画への浸水はない。

一方、屋外に設置されるA、H-非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプについては、当該設備を設置する区画に止水性を有した高さ2mの竜巻防護対策設備を設置すること、また、B-非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプについては、当該設備近傍の浸水深は低く(表10-3 地点11 最大浸水深:0.02m)、扉の設置位置(敷地高さ(EL15.0m)から0.35m)の方が高いことから溢水防護区画への浸水はない。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプについては、当該設備を設置する取水槽海水ポンプエリアの天端開口部に高さ2mの防水壁を設置することにより、溢水による影響を防止する。

なお、詳細設計の段階において屋外に設置する溢水防護対象設備についても、

本項に示す溢水伝播挙動評価により得られる各設置位置における浸水深に対して対策を講ずることにより、溢水による影響を防止する。

以上より、地震起因による屋外タンク等からの溢水は、溢水防護対象設備に影響を与えることがないものと評価する。

表 10-4 溢水防護区画への浸水経路

NO.	浸水経路
①	建物外壁にある扉
②	建物外壁にある隙間部（配管貫通部）
③	1号建物扉 →1号建物扉と溢水防護対象設備を設置された建物の境界における開口部
④	地下ダクト接続箇所
⑤	建物間の接合部

9条-別添1-10-12

溢水影響のある屋外タンク等の選定について

1. はじめに

溢水防護対象設備が設置されている建物等への溢水影響評価において、溢水影響のある屋外タンク等の選定方法を示す。

2. 屋外タンク等の抽出

島根原子力発電所敷地内において、地上部に設置されており、内部流体が液体である屋外タンク、貯水槽、沈砂池及び調整池等を図面又は現場調査により抽出した。

3. 溢水影響のある屋外タンク等の選定

図面又は現場調査により抽出した屋外タンク等を溢水源の選定フローに基づき溢水源とする屋外タンク等又は溢水源としない屋外タンク等に選定する。溢水源の選定フローを図 1 に、選定結果を表 1 に、配置図を図 2 に示す。

宇中貯水槽及び中和沈殿槽、輪谷貯水槽（西側）沈砂池、輪谷 200 t 貯水槽は敷地を掘り込んだ構造となっており、水面が敷地高さより低いため、溢水源とする屋外タンク等の対象から除外した。また、敷地形状から建物側へ流れないことを確認している屋外タンク等は対象から除外した。

なお、輪谷貯水槽（西側）は基準地震動 S_s による地震力に対し機能維持する密閉式貯水槽を設置するため、スロッシングを含め溢水は生じない。

4. 溢水源としない屋外タンク等の対策

溢水源としない屋外タンク等の対策内容を以下に示す。

(1) 区分 A

基準地震動 S_s による地震力に対し、タンク又は防油堤等のバウンダリ機能を保持させる。

(2) 区分 B

タンクを空運用とすることとし、QMS 文書に反映し管理する。

(3) 区分 C

FRP 又は樹脂系塗装等で塗装された保有水量全量を保持できる堰の設置等の流出防止対策を実施する。

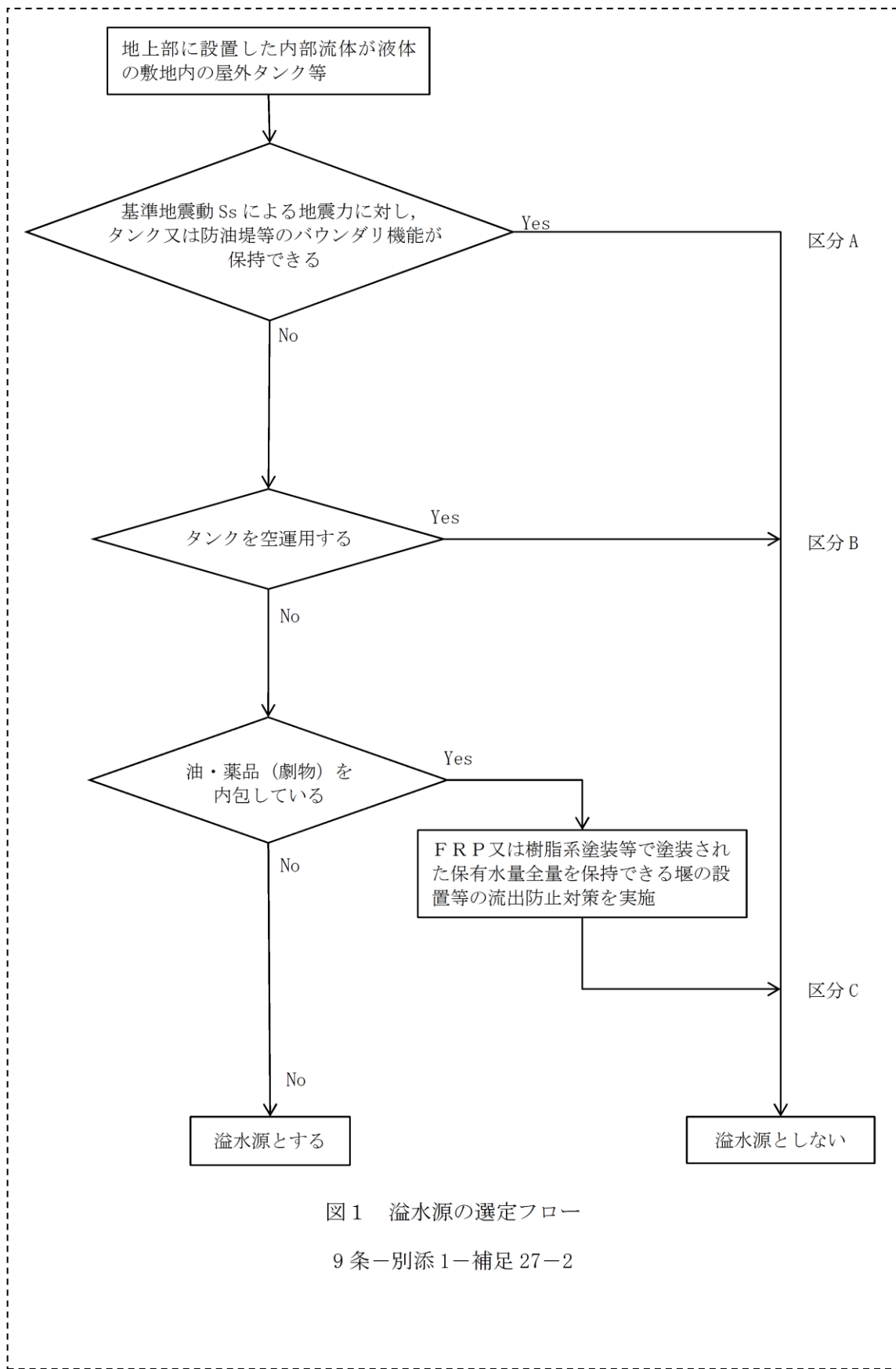


図1 溢水源の選定フロー

9条-別添1-補足27-2

表1 溢水影響のある屋外タンク等の選定結果 (1/2)

No.	名称	内容物	保有水量 [m ³]	選定結果*1	配置図 No	区分
1	タービン油計量タンク	油	47	×	n-3	C
2	No. 3 重油タンク	油	900	×	n-4	A-1
3	No. 2 重油タンク	油	900	×	n-4	A-1
4	No. 1 重油タンク	油	900	×	n-4	A-1
5	地上式淡水タンク(A)	水	560	×	n-7	B
6	地上式淡水タンク(B)	水	560	×	n-7	B
7	電解液受槽 (1号)	薬品 (非劇物)	22	○	5	—
8	電解液受槽 (2号)	薬品 (非劇物)	10	○	n-8	—
9	鉄イオン溶解タンク (2号)	薬品 (非劇物)	19	○	n-9	—
10	硫酸貯蔵タンク	薬品 (劇物)	6	×	n-10-1	C
11	苛性ソーダ貯蔵タンク	薬品 (劇物)	30	×	n-10-1	B
12	1号機主変圧器	油	0	×	n-11	B
13	1号機所内変圧器	油	0	×	n-11	B
14	2号機主変圧器	油	77	×	n-12	C
15	2号機所内変圧器(A)	油	10	×	n-12	C
16	2号機所内変圧器(B)	油	10	×	n-12	C
17	2号機起動変圧器	油	24	×	n-12	C
18	海水電解装置脱気槽	薬品 (非劇物)	12	○	n-13	—
19	補助ボイラー排水処理装置 pH調整用 酸貯槽	薬品 (劇物)	1	×	n-14-1	C
20	補助ボイラー排水処理装置 pH調整用 7#貯槽	薬品 (劇物)	1	×	n-14-1	C
21	補助ボイラー排水処理装置 排水 pH中和槽	水	3	○	n-14	—
22	補助ボイラー補機冷却水薬液注入貯槽	薬品 (非劇物)	1	○	n-14	—
23	重油タンク用洩原液差圧調合槽	薬品 (非劇物)	2	○	n-15	—
24	3号機主変圧器	油	141	×	n-16	C
25	3号機所内変圧器	油	21	×	n-16	C
26	3号機補助変圧器	油	37	×	n-16	C
27	空気分離器	油	2	×	n-17	C
28	500kVケーブル給油装置	油	1	×	n-16	C
29	補助ボイラーサービスタンク	油	2	×	n-14-1	C
30	1号処理水受入タンク	水 (放射性)	2,000	×	n-3	B
31	3号復水貯蔵タンク	水	2,000	×	n-74	A-2
32	3号補助復水貯蔵タンク	水	2,000	×	n-74	A-2
33	代替注水槽	水	2,500	×	n-20	B
34	3号補助消火水槽 (A)	水	200	×	n-75	B
35	3号補助消火水槽 (B)	水	200	×	n-75	B
36	3号ろ過水タンク (A)	水	1,000	○	1	—
37	3号純水タンク (A)	水	1,000	○	2	—
38	消火用水タンク (A)	水	1,200	○	3	—
39	消火用水タンク (B)	水	1,200	○	3	—
40	宇中受水槽	水	24	○	46	—
41	変圧器消火水槽	水	306	○	4	—
42	管理事務所1号館東側調整池	水	1,520	○	9	—
43	3号所内ボイラーサービスタンク	油	2	×	n-24-2	C
44	4号所内ボイラーサービスタンク	油	2	×	n-24-3	C
45	苛性ソーダ貯蔵タンク	薬品 (劇物)	26	×	n-27	C
46	排水中和用塩酸タンク	薬品 (劇物)	1	×	n-27	C
47	排水中和用苛性ソーダタンク	薬品 (劇物)	1	×	n-27	C
48	塩酸貯槽	薬品 (劇物)	3	×	n-28-3	C
49	予備変圧器	油	10	×	n-31	C
50	1号機起動変圧器	油	48	×	n-32	C
51	硫酸貯蔵タンク	薬品 (劇物)	10	×	n-27	C
52	1号復水貯蔵タンク	水 (放射性)	500	×	n-33	A-2
53	1号補助サージタンク	水 (放射性)	500	×	n-34	B
54	純水タンク (A)	水	600	○	10	—
55	純水タンク (B)	水	600	○	10	—
56	2号復水貯蔵タンク	水 (放射性)	2,000	×	n-35	A-2
57	2号補助復水貯蔵タンク	水 (放射性)	2,000	×	n-36	A-2
58	2号トールラス水受入タンク	水 (放射性)	2,000	×	n-37	A-2
59	A-真空脱気塔	水	2	○	n-38	—
60	B-真空脱気塔	水	2	○	n-38-1	—
61	冷却水回収槽	水	2	○	n-38-2	—
62	C-真空脱気塔	水	3	○	n-28	—
63	D-真空脱気塔	水	3	○	n-28-1	—

9条-別添1-補足27-3

表1 溢水影響のある屋外タンク等の選定結果 (2/2)

No.	名称	内容物	保有水量 [m ³]	選定結果※1	配置図 No	区分
64	C/D用冷却水回収槽	水	2	○	n-28-2	—
65	2号ろ過水タンク	水	3,000	○	11	—
66	1号除だく槽	水	87	○	12	—
67	1号ろ過器	水	62	○	13	—
68	2号除だく槽	水	102	○	14	—
69	2号ろ過器	水	36	○	15	—
70	2号濃縮槽	水	30	○	16	—
71	1号除だく槽排水槽	水	7	○	n-41	—
72	22m盤受水槽	水	30	○	37	—
73	1号ろ過水タンク	水	3,000	○	17	—
74	ガスタービン発電機用軽油タンク	油	560	×	n-43-1	A-1
75	泡消火薬剤貯蔵槽 (ガスタービン発電機用軽油タンク)	薬品 (非劇物)	1	○	n-43	—
76	0Fケーブルタンク	油	3	×	n-47	C
77	輪谷貯水槽 (東側)	水	1,864※2	○	19	—
78	輪谷貯水槽 (西側)	水	10,000	×	n-55	A-2
79	輪谷貯水槽 (東側) 沈砂池	水	260	○	20	—
80	砂子水洗タンク	水	146	○	22	—
81	原水80 t 水槽	水	80	○	24	—
82	雑用水タンク	水	33	○	26	—
83	宇中系統中継水槽 (西山水槽)	水	30	○	25	—
84	59m盤トイレ用水貯槽	水	32	○	44	—
85	500kVケーブル給油装置	油	1	×	n-48	C
86	非常用ろ過水タンク	水	2,500	×	n-49	A-2
87	74m盤受水槽 (2槽)	水	60	○	27	—
88	山林用防火水槽 (スカイライン)	水	50	○	n-52	—
89	山林用防火水槽 (スカイライン)	水	50	○	n-52	—
90	A-SB廻り消火設備タンク	水	46	○	18	—
91	B-SB廻り消火設備タンク	水	46	○	18	—
92	A-50m盤廻り消火設備タンク	水	155	○	28	—
93	B-50m盤廻り消火設備タンク	水	155	○	28	—
94	3号仮設海水淡水化装置 (海水受水槽)	水	25	○	29	—
96	3号仮設海水淡水化装置 (RO処理水槽)	水	15	○	n-76	—
97	3号仮設海水淡水化装置 (仮設純水槽)	水	5	○	n-77	—
97	ガスタービン発電機用軽油タンク用消火タンク	水	49	○	23	—
98	仮設合併処理槽	水	31	○	34	—
99	管理事務所4号館用消火タンク	水	21	○	36	—
100	仮設水槽-1 (2号西側法面付近)	水	20	○	39	—
101	仮設水槽-2 (2号西側法面付近)	水	20	○	40	—
103	仮設水槽-3 (2号西側法面付近)	水	20	○	45	—
103	純水装置廃液処理設備	水	42	○	31	—
104	3号純水タンク(B)	水	1,000	○	32	—
105	3号ろ過水タンク(B)	水	1,000	○	33	—
106	A-44m盤廻り消火設備タンク(南側)	水	155	○	30	—
107	B-44m盤廻り消火設備タンク(南側)	水	155	○	30	—
108	A-44m盤廻り消火設備タンク(北側)	水	155	○	38	—
109	B-44m盤廻り消火設備タンク(北側)	水	155	○	38	—
110	宇中合併浄化槽 (1)	水	63	○	42	—
111	宇中合併浄化槽 (2)	水	126	○	43	—
112	ブロータンク	水	1	○	n-14	—
113	排水放流槽	水	1	○	n-14	—
114	訓練用模擬水槽	水	4	○	n-58	—
115	1号海水電解装置電解槽(循環7台 8槽)	薬品 (非劇物)	2	○	n-8	—
116	2号海水電解装置電解槽(非循環7台 12槽)	薬品 (非劇物)	2	○	n-8	—
117	仮設水槽(2号西側法面付近)	水	2	○	n-59	—
118	25MVA緊急用変圧器	油	15	×	n-60	A-1
119	補助ボイラーブロータンク	水	1	○	n-24	—
120	補助ボイラー冷却水冷却塔	水	1	○	n-24-1	—
121	濁水処理装置	水	10	○	n-71	—
122	防火水槽	水	20	○	n-74	—
123	防火水槽	水	20	○	n-73	—
124	トイレ用ろ過水貯槽	水	8	○	n-41	—

※1: 溢水源とする屋外タンク等を「○」、溢水源としない屋外タンク等を「×」とする。

※2: 基準地震動Ssによる地震力に対し耐震性を有しているため、スロッシング量を保有水量とした。
保有水量は、スロッシング解析値 (1,694m³) と実験値の差を踏まえ1.1倍し、切上げた値。

区分A: 基準地震動Ssによる地震力に対し、タンクまたは防油堤等のバウンダリ機能が保持できる。

A-1: SA対応において基準地震動Ssによる地震力に対し、耐震性を確保するもの。

A-2: 溢水影響評価において基準地震動Ssによる地震力に対し、耐震性を確保するもの。

区分B: タンクを空運用する。

区分C: FRP又は樹脂系塗装等で塗装された保有水量全量を保持できる堰を設置し、配管破断等により堰外への流出防止対策を実施する。

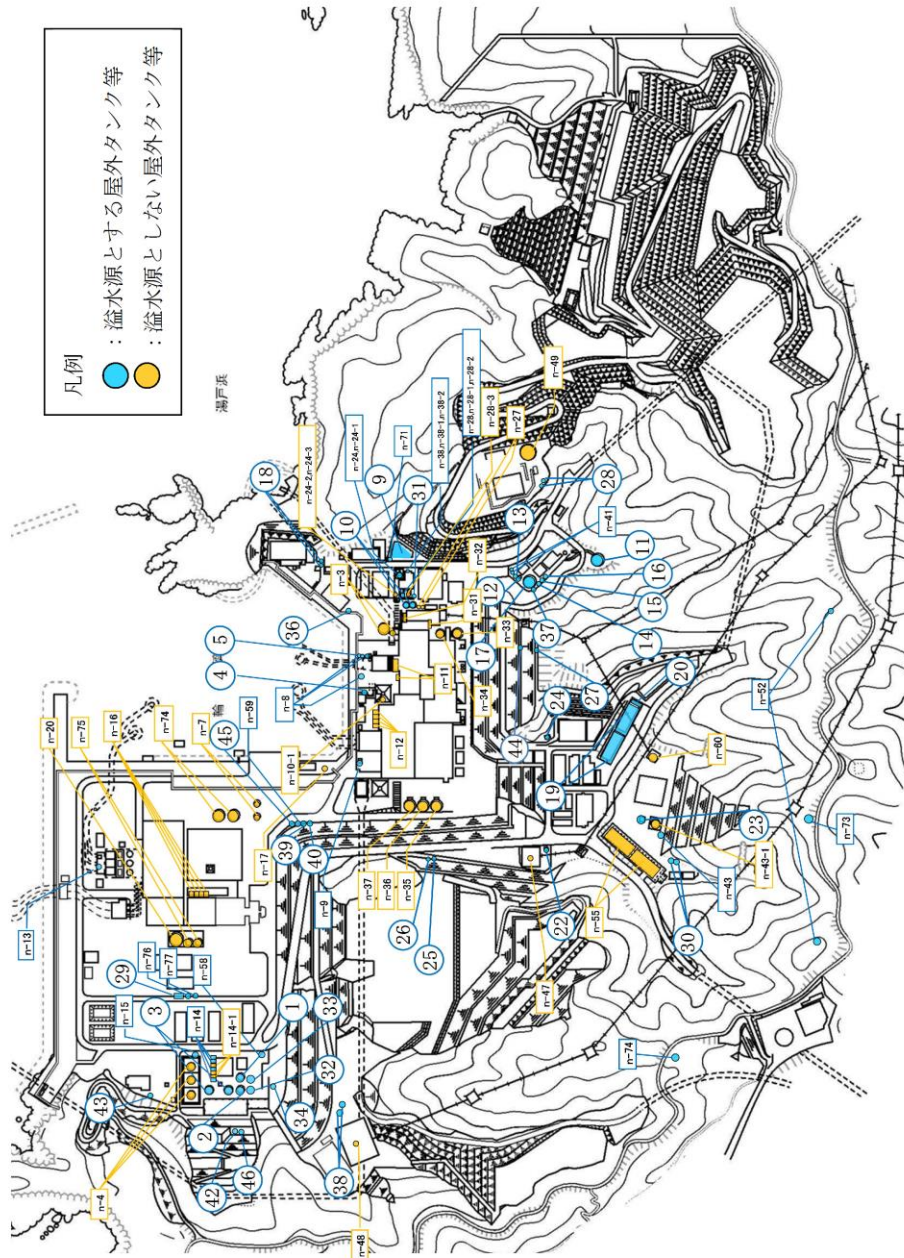


図2 発電所敷地内に地上設置されている屋外タンク等の配置図

9条-別添1-補足27-5

7. 建物外周地下部における地下水位の上昇（事象 f.）

10.2 地下水の溢水による影響

島根原子力発電所2号炉では、溢水防護区画を構成する原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物の周辺地下部に、図10-6に示すように地下水位低下設備を設置することとしており、同設備により各建物周辺に流入する地下水の排出を行う。

10.2.1 各建物の地下水位低下設備の設置について

原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物の周辺地下部に、基準地震動 S_s による地震力に対して機能維持する地下水位低下設備を設置することによって、地震時及び地震後においても地下水を地上の雨水排水系統へ排水することが可能である。また、地下水位低下設備の電源は、非常用電源系統より供給することから、外部電源喪失時にも排水が可能となっており、水位が上昇し続けることはない（「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止 別紙-17 地下水位低下設備について」参照）。

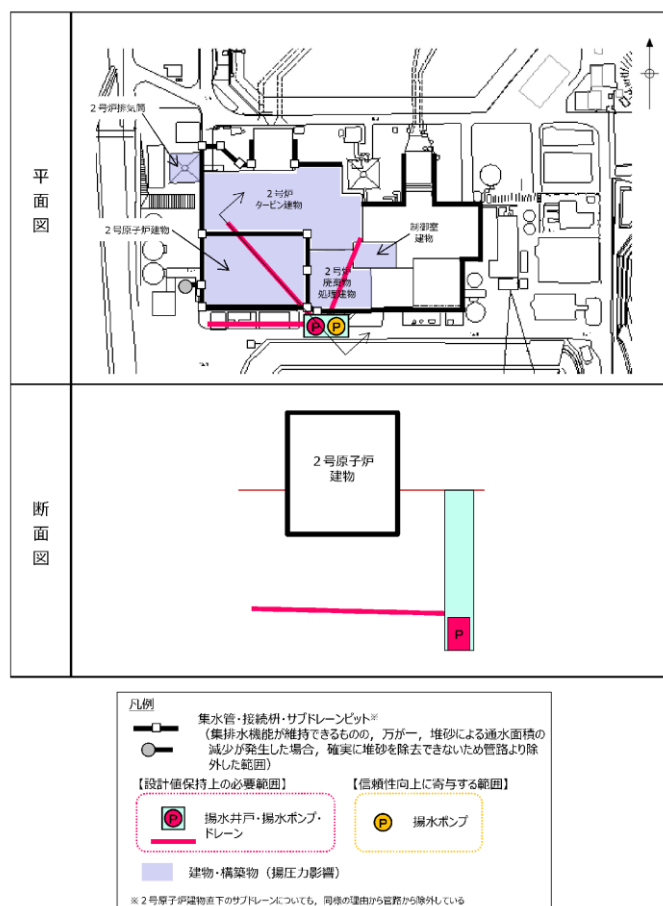


図10-6 地下水位低下設備の構成例

9条-別添1-10-20

10.2.2 影響評価

地下水の溢水防護区画への浸水経路としては地下部における配管等の貫通部の隙間部及び建物間の接合部が考えられるが、基準地震動 S_s による地震力に対して機能維持する地下水位低下設備を設置することから、建物まで地下水位が上昇することはない。地下水が溢水防護区画内に浸水することはない。

なお、地下水位をタービン建物の地表面（EL8.5m）と想定し、溢水防護区画への浸水対策として、地下部における配管貫通部等の隙間部には止水措置を行っており、また建物間の接合部にはエキスパンションジョイント止水板を設置している。

以上より、地下水は、溢水防護対象設備に影響を与えることがないものと評価する。

浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策の設置位置，実施範囲及び施工例

1. はじめに

浸水防護重点化範囲については，浸水を防止するため浸水防止設備を設置している。

浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア），取水槽海水ポンプエリア，取水槽循環水ポンプエリアに浸水対策として実施している浸水防止設備については，内郭防護として整理する。

2. 浸水対策の位置

(1) タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）

タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）に対する浸水対策については，タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）とタービン建物（復水器を設置するエリア）との境界における浸水対策及びタービン建物（復水器を設置するエリア）と海域との境界における対策があることから，以下にそれぞれの内容について示す。

a. タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）とタービン建物（復水器を設置するエリア）との境界における浸水対策

浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）への浸水対策として実施している浸水防止設備の設置位置，浸水防止設備リストを示す（図 1，表 1）。

⑧は床面に設置

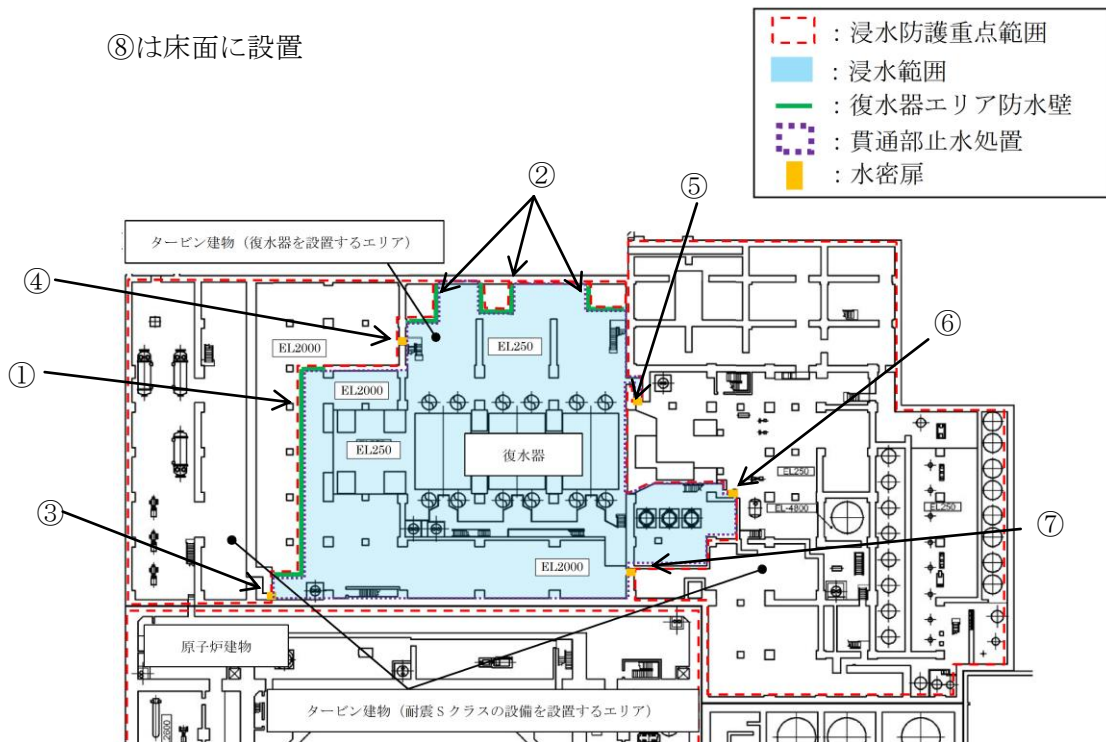


図1 タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）の浸水対策の概要（タービン建物（復水器を設置するエリア）との境界）

表1 タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）の浸水対策設備リスト（タービン建物（復水器を設置するエリア）との境界）

番号	設置高さ	名称	種類	寸法	
				縦	横
①	EL2.0m	復水器エリア防水壁	防水壁	設計中	
②	EL0.25m		防水壁		
③	EL2.0m	復水器エリア水密扉	水密扉		
④	EL2.0m		水密扉		
⑤	EL2.0m		水密扉		
⑥	EL2.0m		水密扉		
⑦	EL2.0m		水密扉		
⑧	EL2.0m	床ドレン逆止弁	逆止弁		

b. タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）と海域との境界における浸水対策

浸水防護重点化範囲であるタービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）への浸水対策として実施している浸水防止設備の設置位置，浸水防止設備リストを示す（図 2，表 2）。

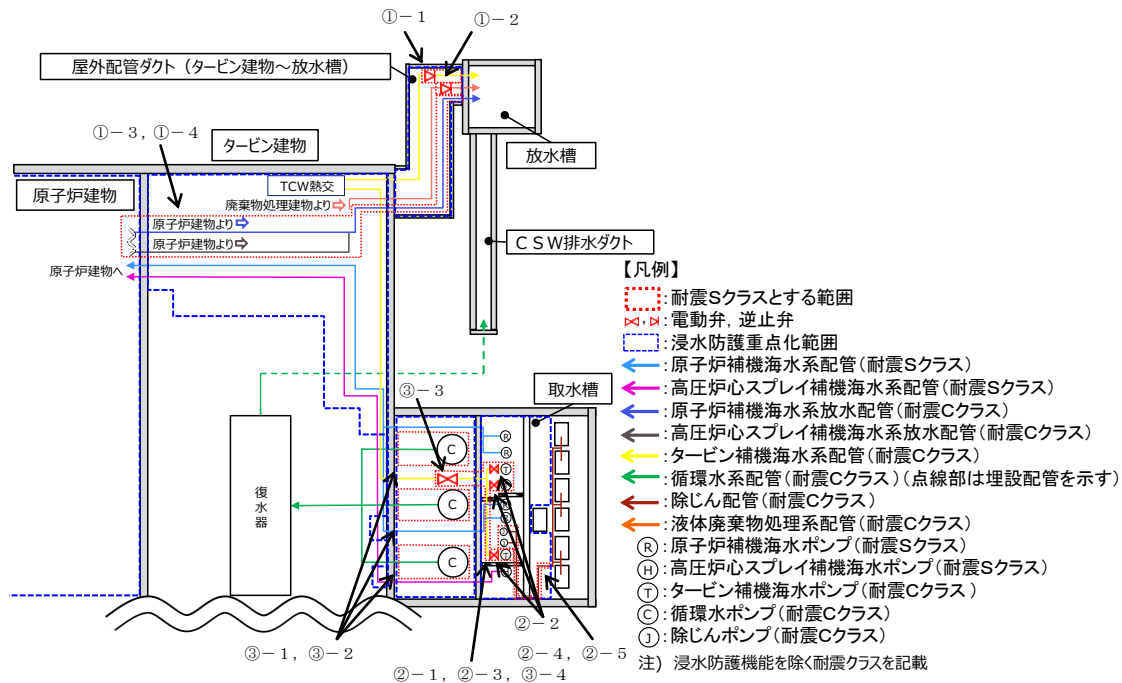


図 2 浸水対策の概要

表 2 タービン建物（耐震 S クラスの設備を設置するエリア）の浸水対策設備リスト（海域との境界）

番号	設置高さ※	名称	種類	寸法	
				縦	横
①-1	EL4. 7m (屋外配管ダクト)	タービン補機海水系配管 逆止弁	逆止弁	φ 750	
①-2	EL2. 7m (屋外配管ダクト)	液体廃棄物処理系配管 逆止弁	逆止弁	φ 80	
①-3	—	原子炉補機海水系配管	配管	—	
①-4	—	高圧炉心スプレィ補機 海水系配管	配管	—	

※ 設置高さが複数にまたがる場合等には「—」を記載する。

(2) 取水槽海水ポンプエリア

浸水防護重点化範囲である取水槽海水ポンプエリアに浸水対策として実施している浸水防止設備の設置位置，浸水防止設備リストを示す（図2，表3）。

表3 取水槽海水ポンプエリアの浸水対策設備リスト

番号	設置高さ※	名称	種類	寸法	
				縦	横
②-1	EL1.1m	タービン補機海水ポンプ	ポンプ	-	
②-2	EL4.1m	タービン補機海水ポンプ 出口弁	電動弁	φ550	
②-3	-	タービン補機海水系配管	配管	-	
②-4	EL4.0m	除じんポンプ	ポンプ	-	
②-5	-	除じん系配管	配管	-	

※ 設置高さが複数にまたがる場合等には「-」を記載する。

(3) 取水槽循環水ポンプエリア

浸水防護重点化範囲である取水槽循環水ポンプエリアに浸水対策として実施している浸水防止設備の設置位置，浸水防止設備リストを示す（図2，表4）。

表4 取水槽海水ポンプエリアの浸水対策設備リスト

番号	設置高さ※	名称	種類	寸法	
				縦	横
③-1	EL1.1m	循環水ポンプ	ポンプ	-	
③-2	-	循環水系配管	配管	-	
③-3	EL4.0m	タービン補機海水系配管 第二出口弁	電動弁	φ750	
③-4	-	タービン補機海水系配管	配管	-	

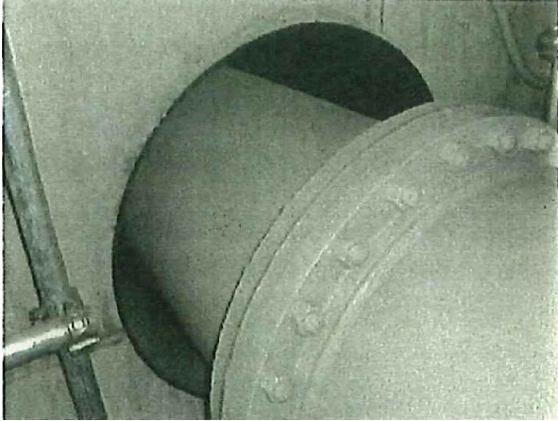
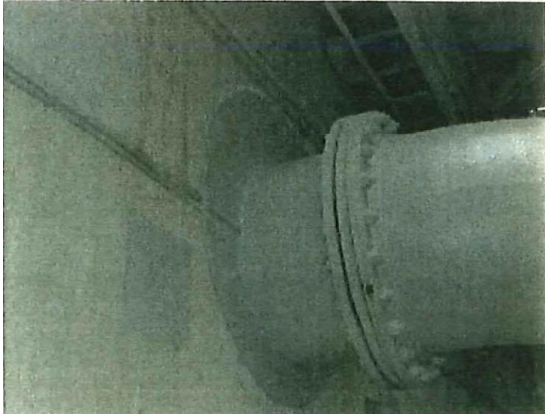
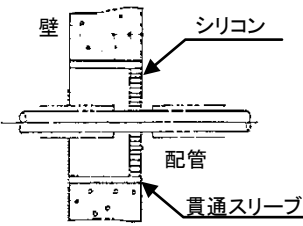
※ 設置高さが複数にまたがる場合等には「-」を記載する。

3. 貫通部止水処置の施工例

浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策として実施する貫通部止水処置の施工例を以下に示す。

施工例①

シリコンシール

施工前	
施工後	
施工状況	
	

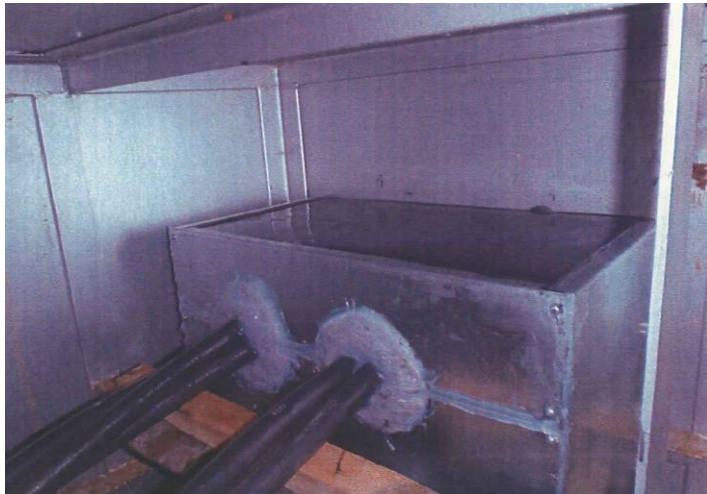
施工例②

シリコンシール

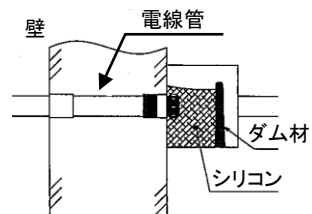
施工前



施工後



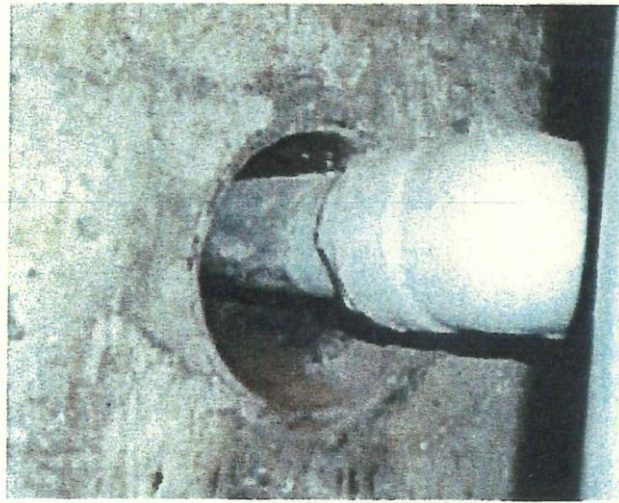
施工状況



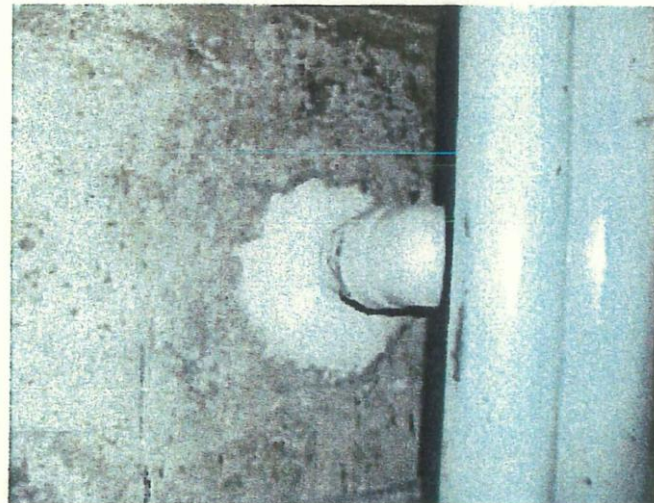
施工例③

モルタル

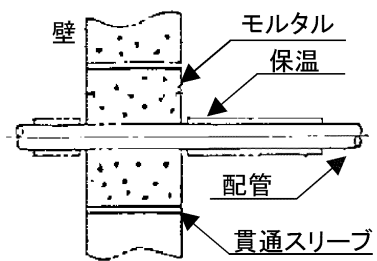
施工前



施工後



施工状況



海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について

1. はじめに

海水ポンプは、取水時に浮遊砂の一部が軸受潤滑水とともにポンプ軸受に混入したとしても、図1に示すとおり、軸受に設けられた異物排出溝(溝深さ約3.5mm)から連続排出される構造となっているため、取水機能は維持できる設計となっている。これまでの運転実績においても、浮遊砂混入による軸受損傷は発生していないが、ここでは、発電所周辺の細かな砂(粒径0.3mm程度)が軸受に混入した場合の軸受の耐性について評価する。

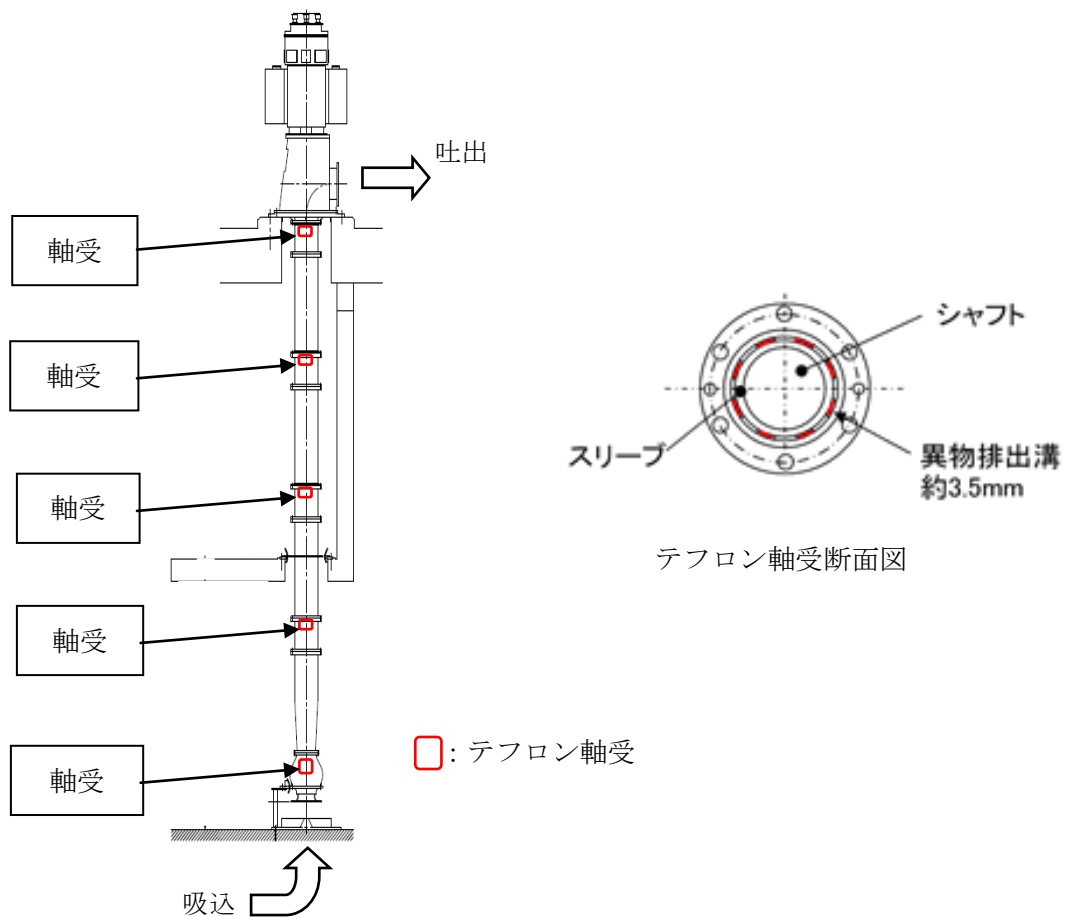


図1 海水ポンプ軸受構造図

2. 軸受摩耗試験

(1) 試験方法

試験ピット内に粒径 0.3mm 程度の砂を入れ、実機海水ポンプを用い軸受の摩耗量を測定した。試験における砂濃度は、島根 2 号炉の取水槽位置における砂濃度を包絡し、また、濃度の違いによる摩耗の傾向を把握するため 2 点設定した。試験条件を表 1 に、海水ポンプ軸受摩耗試験装置の概要を図 2 に示す。

表 1 試験条件

項目	試験条件		備考
砂濃度	1 回目	0.016wt%	島根 2 号炉取水槽位置における砂濃度を包絡し、傾向把握のため 2 点設定。
	2 回目	0.100wt%	
吐出量	2040m ³ /h		ポンプの定格流量。
砂仕様	宇部珪砂 (6 号)		発電所周辺の細かな砂 (粒径 0.3mm 程度) が多く含まれる砂を採用。
試験時間	1 回目	2 時間	試験時間 : 2 時間 2 分 (122 分)
	2 回目	2 時間	試験時間 : 2 時間 22 分 (142 分)

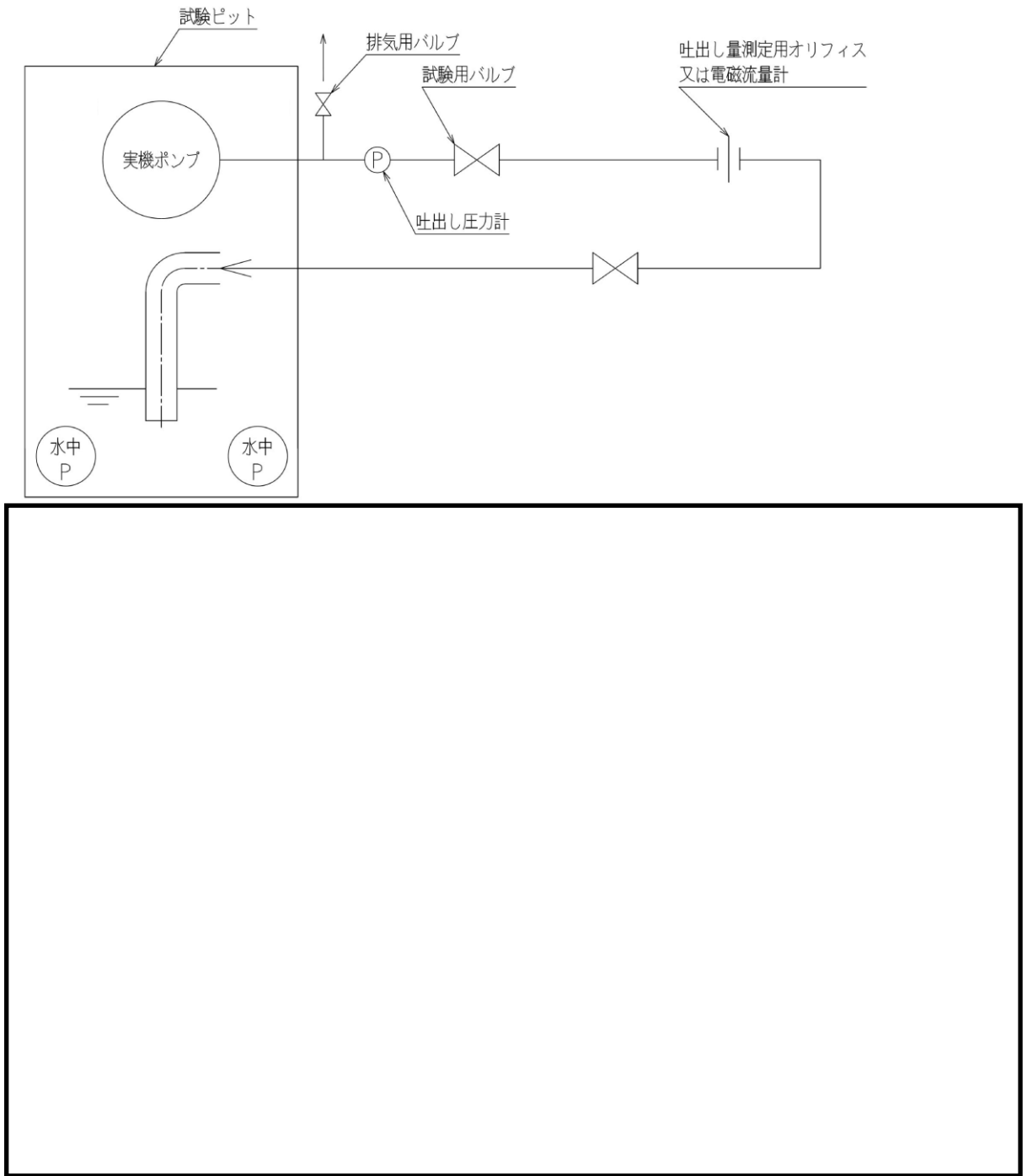


図2 海水ポンプ軸受摩耗試験装置概要

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(2) 試験結果

砂濃度 0.016wt%及び 0.1wt%における実機海水ポンプの軸受摩耗結果から 1 時間あたりの摩耗量を算出した。試験結果より確認された軸受の 1 時間あたりの摩耗量を表 2 に、濃度と摩耗量の関係を図 3 に示す。

表 2 試験における軸受の摩耗量

--

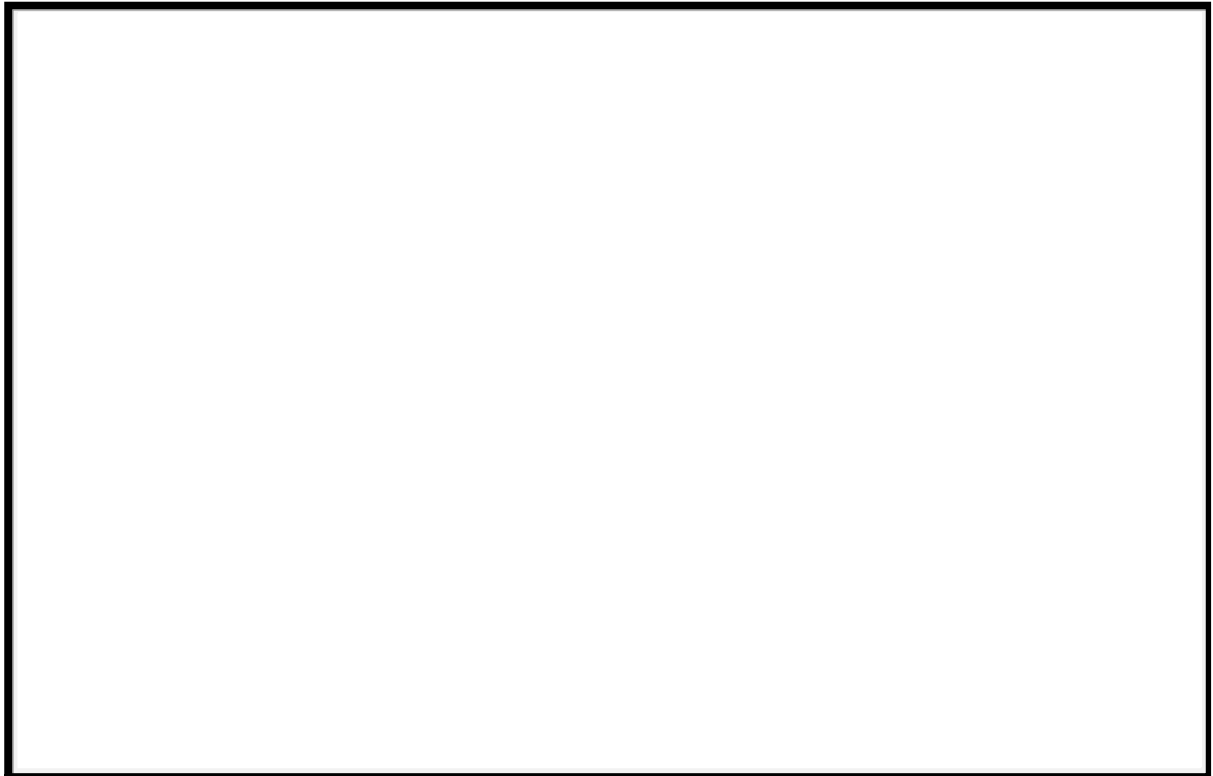


図 3 試験における濃度(wt%)と摩耗量(mm)の関係

3. 砂濃度評価

島根 2 号炉の取水槽位置の砂濃度は表 3 に示す条件にて解析を実施し算出している。取水槽位置での砂濃度は図 4 に示すとおりであり、取水槽で砂濃度の変化が見られる 12000 秒から砂濃度が下降傾向を示す 19800 秒間の平均砂濃度 0.25×10^{-3} wt% を評価に用いることとする。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

表3 基準津波による砂移動の解析条件

波源	鳥取県（2012）が日本海東縁部に想定した地震による津波		
砂移動モデル	高橋ほか（1999）の手法による検討結果		
算出点	取水槽位置	浮遊砂体積濃度上限値	1%

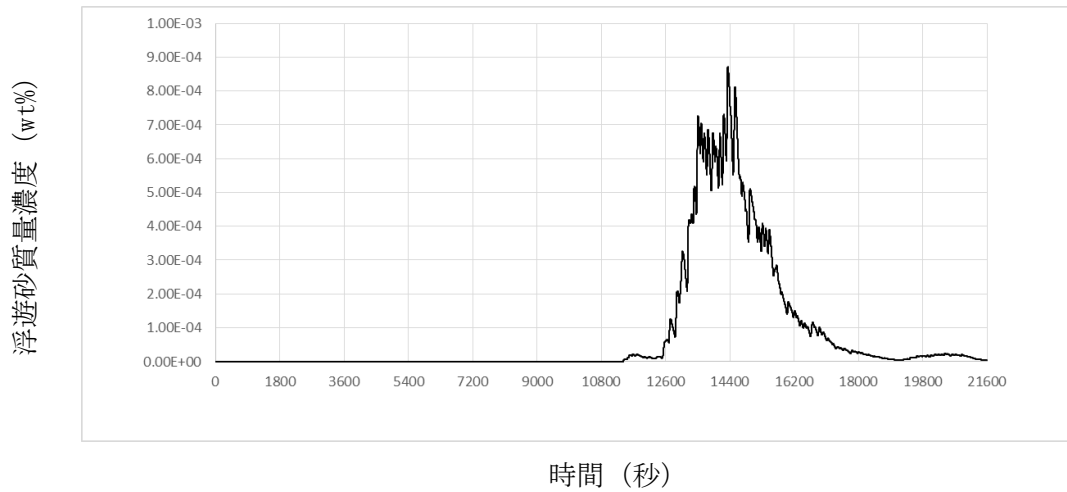


図4 基準津波1（防波堤有り, 循環水ポンプ停止）による砂濃度の評価結果

4. 軸受耐性評価結果

(1) 軸受評価方法

軸受評価の方法については、砂濃度 0.016wt%及び 0.1wt%の試験で求められた濃度と摩耗量の関係から、砂濃度が低いときに摩耗量は低くなる傾向にある。島根 2 号炉の取水槽位置の砂濃度は、 0.25×10^{-3} wt%であるため、砂濃度 0.016wt%の試験で確認された摩耗量より低くなると考えられるが、ここでは保守的に、試験結果から得られた 0.016wt%の砂濃度における摩耗量 を用いることとする。評価に用いる摩耗量を図 5 に示す。

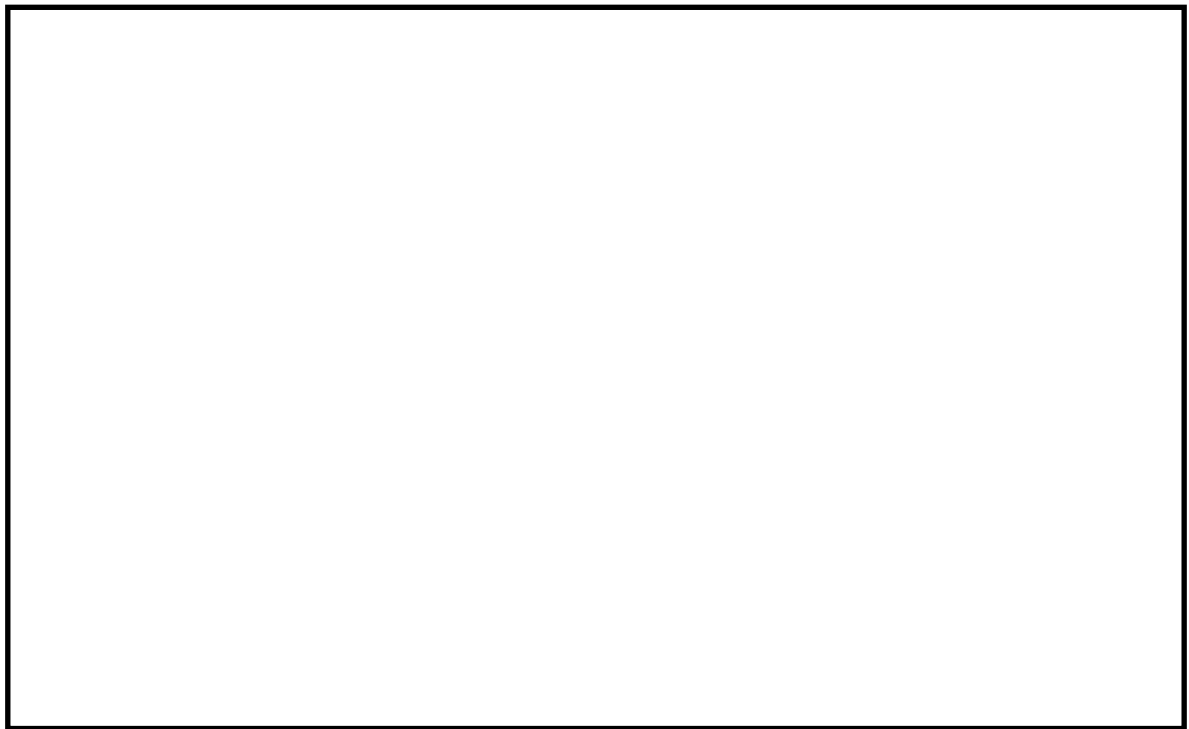


図 5 評価に用いる摩耗量

(2) 軸受評価結果

隙間管理値に達するまでの許容寸法 に対し、1 時間あたりの摩耗量を とすると、運転可能時間は約 82 時間と評価される。

5. まとめ

津波襲来による浮遊砂濃度が上昇する時間は長くても 3 時間程度であり、津波襲来時に海水ポンプ軸受部に浮遊砂が混入したとしても海水ポンプ軸受耐性は十分にあり、取水性に問題はない。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

燃料等輸送船の係留索の耐力について

1. 概要

燃料等輸送船（以下、「輸送船」という。）は、津波襲来までに時間的余裕がある津波の場合は、緊急退避するが、津波襲来までに時間的余裕がない津波の場合は、荷揚場に係留することとなる。そのため、ここでは、係留索の耐力について評価を実施する。また、耐津波設計における係留索を固定する係船柱及び係船環の必要性及び評価方針について別紙に示す。

係留索については、船舶の大きさから一定の算式によって計算される数値（艀装数）に応じた仕様（強度、本数）を有するものを備えることが、日本海事協会（NK）の鋼船規則において定められている。

本書では、輸送船が備えている係留索の係留力、及び津波による流圧力を石油会社国際海事評議会 OCIMF (Oil Companies International Maritime Forum) 刊行 “Mooring Equipment Guidelines” の手法を用いて算出し、耐力評価を行う。なお、同書は船舶の係留方法・係留設備に関わる要求事項を規定するものであり、流圧力の評価については大型タンカーを主たる適用対象とするものであるが、輸送船は大型タンカーと同じ 1 軸船であり、水線下の形状が類似しているため、同評価を輸送船に適用することは可能と考える。

なお、荷揚場については、岩着構造であり、基準地震動 S_s に対して損傷することはなく、本係留索の耐力評価に影響を及ぼさない（添付資料 38 参照）。

2. 評価

(1) 輸送船、係留索、係船柱及び係船環の仕様

輸送船、係留索、係船柱及び係船環の仕様を表 1 に、輸送船の配置例及び係船柱、係船環の位置を図 1 に示す。係留に当たっては、輸送船の位置及び係留索の水平角を固定するため、船首側及び船尾側に各 2 本ずつ（計 4 本）で係留索を使用する。なお、上記に伴い、係船柱を 2 本追設するが、追設する係船柱は設計中であり、位置や構造については、詳細設計段階で説明する。

表1 輸送船，係留索，係船柱及び係船環の仕様

項目		仕様
輸送船	総トン数	約 5,000 トン
	載貨重量トン	約 3,000t
	喫水	約 5m
	全長	100.0m (垂線間長：94.4m)
	型幅	16.5m
	形状	(図1参照)
係留索	直径	60mm (ノミナル値)
	素材種別	Polyethylene Rope Grade 1
	破断荷重	279kN (キロニュートン) =28.5tonf
	係船機ブレーキ力	28.5tonf×0.7≒20.0tonf
係船柱※ 及び 係船環	形状	(図1参照)
	ビット数，位置	(図1参照)
	係留状態	(図1参照)
	強度	25t

※ 追設する係船柱については設計中であり，位置・強度については変更となる可能性がある。

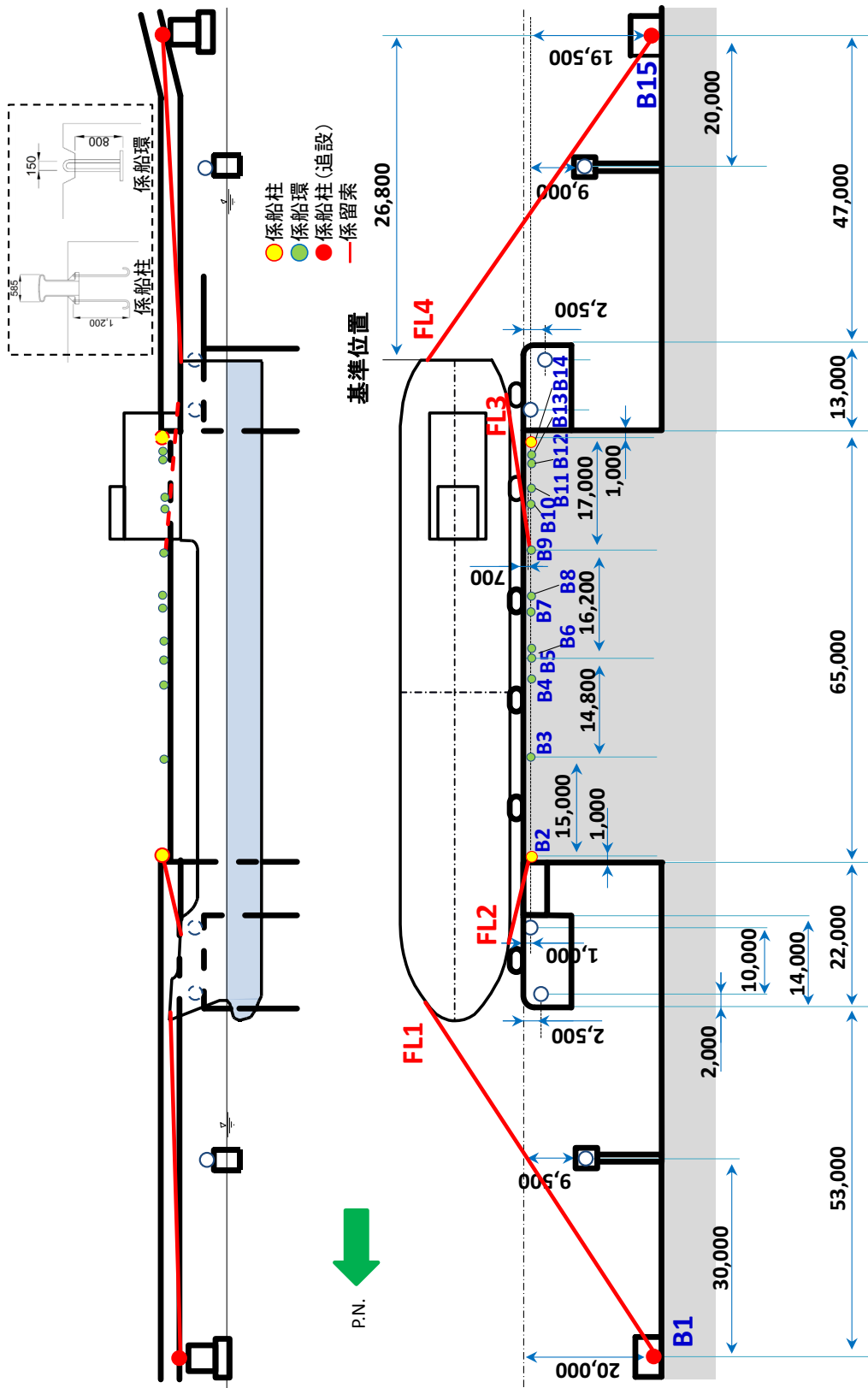


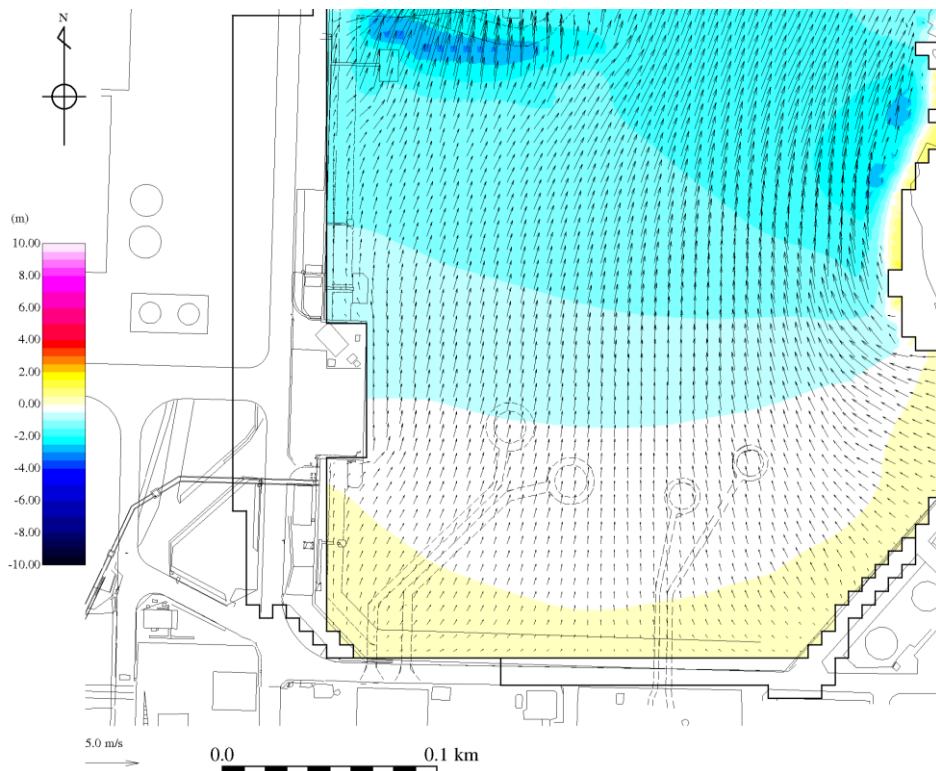
図1 輸送船、係留索、係船柱及び係船環の配置

※ 追設する係船柱(B1,B15)は設計中であり、位置・構造については変更する可能性がある

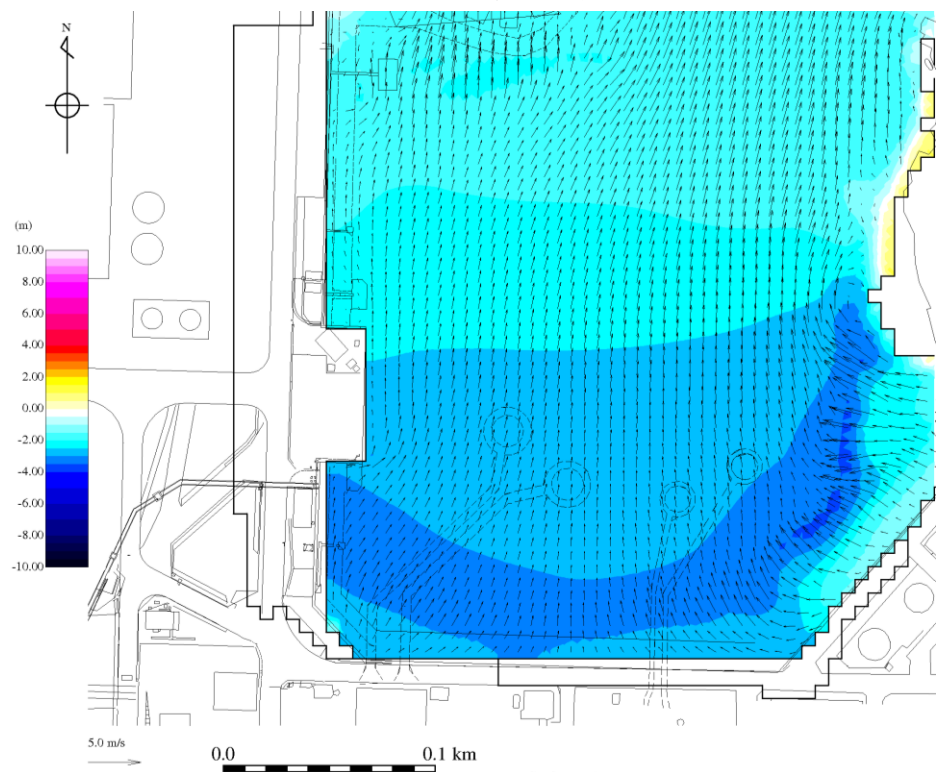
(2) 津波条件（流向，水位，流速）

襲来までに時間的余裕がなく，輸送船を離岸できない海域活断層から想定される地震による津波を評価条件とする。

海域活断層から想定される地震による津波による荷揚場近傍の流向は，図2に例示するとおり，荷揚場に対する接線方向の成分が支配的となる。これに対し，輸送船は荷揚場と平行して接岸されることから，評価は輸送船の船首及び船尾方向の流圧力に対する係留索の耐力について実施する。

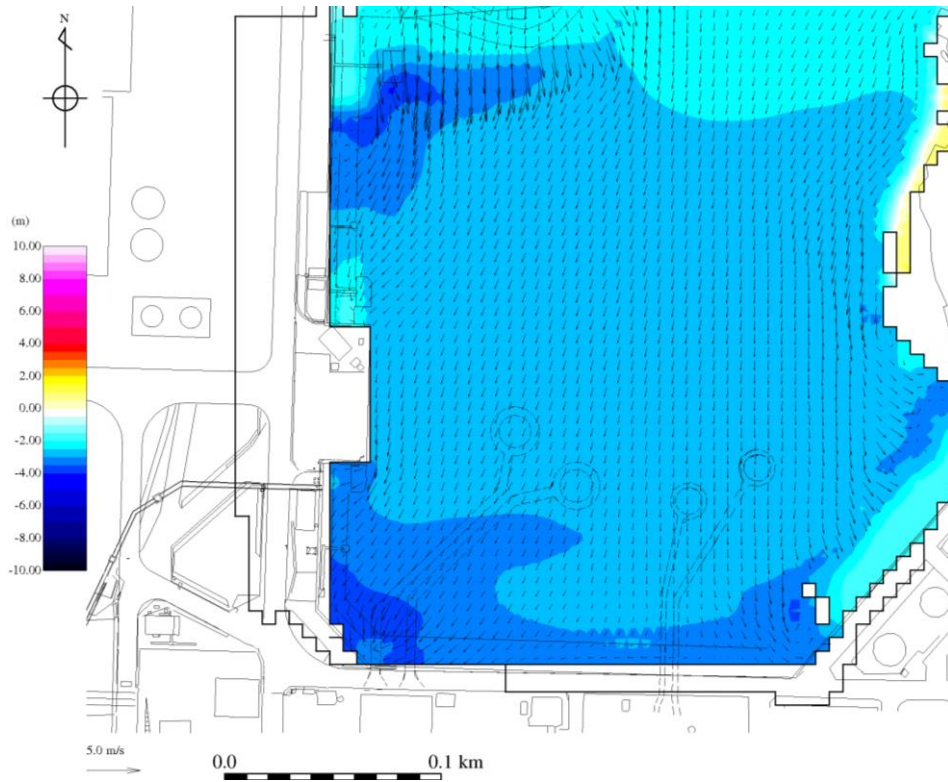


(地震発生後 5 分 50 秒後)



(地震発生後 6 分 10 秒後)

図 2 - 1 基準津波 4 の流向



(地震発生後 6 分 50 秒後)

図 2 - 2 基準津波 4 の流向

一方、海域活断層から想定される地震による津波の荷揚場位置における水位及び接線方向成分の流速は、図3-1のとおりとなる。

図3-1に示すとおり、地震発生後、押し波が5分程度継続した後、引き波に転じ約6分で第一波の最低点に達し、流速は第1波の最低点と同時刻に最大の2.3m/sに達する。

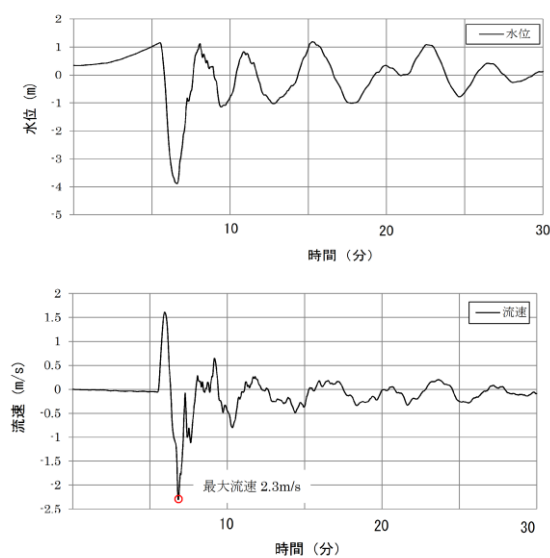


図3-1 基準津波4の流速（荷揚場近傍）

なお、図3-1に示した津波の流速は、防波堤の損傷を想定した場合における流速であり、防波堤の損傷を想定しない場合（防波堤健全の条件）でも、接線方向成分の流速は、図3-2に示すとおり、流速条件は防波堤損傷状態における流速と同程度である。

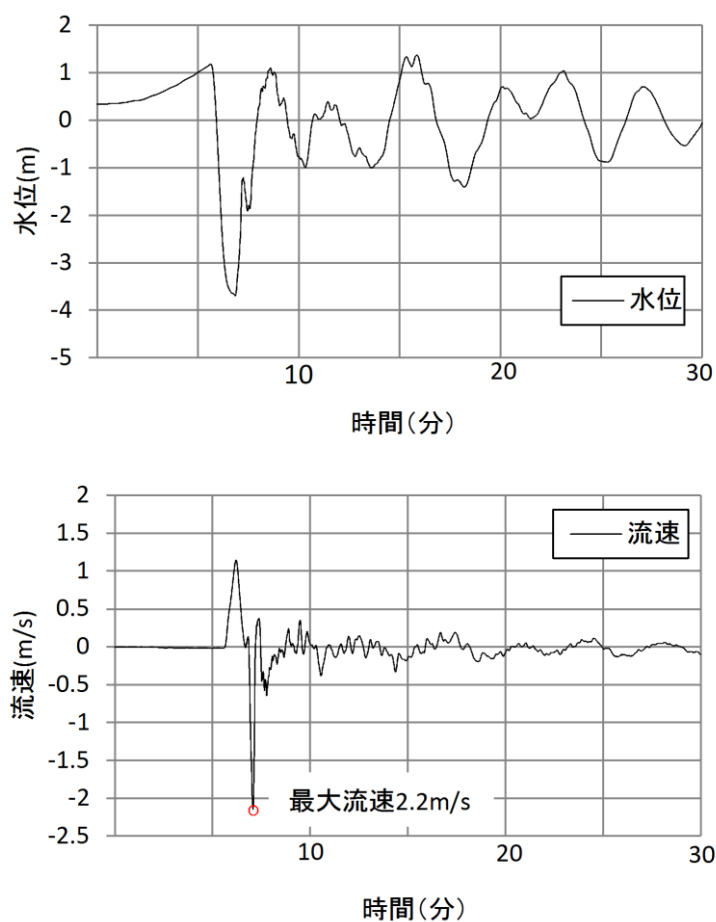
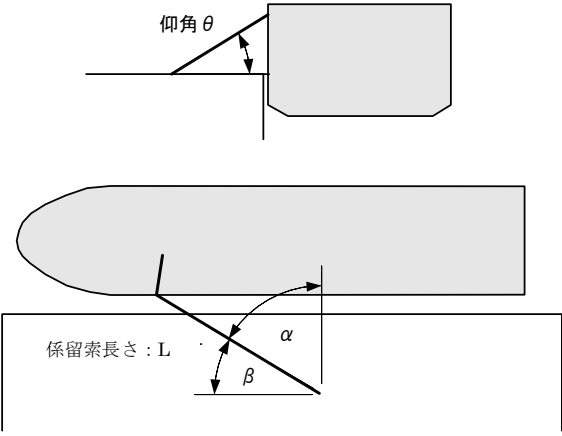


図3-2 防波堤健全時における基準津波4の流速（荷揚場近傍）

(3)係留力

係留力の計算方法を表2に、計算結果を表3、図4、5に示す。

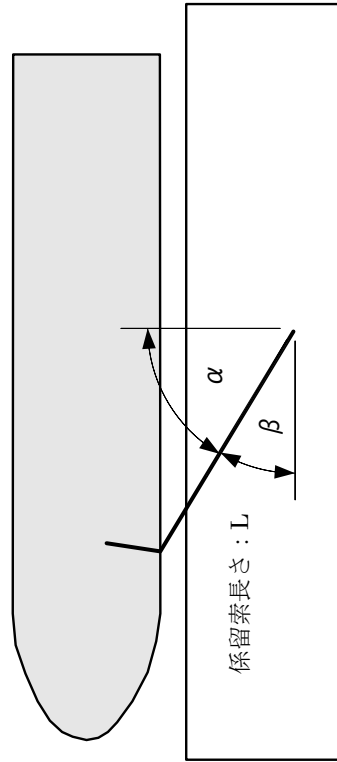
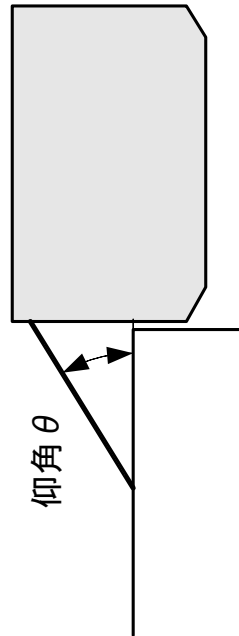
表2 係留力の計算方法

<p>【各索の係留力計算式】</p> $R_x = T \times \left(\frac{\cos^2 \beta \times \cos^2 \theta}{L} \right) \times \left(\frac{L_c}{\cos \beta_c \times \cos \theta_c} \right)$	
<p>R_x : 前後係留力[tonf] (前方は添字 f, 後報は添字 a) T : 係留索 1 本に掛けることができる最大張力[tonf] β : 係留索水平角 (岸壁平行線となす角度) [deg] θ : 係留索の仰角[deg] L : 係留索の長さ (船外+船内) [m] β_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の係留索水平角 (岸壁平行線となす角度) [deg] θ_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の仰角 (岸壁平行線となす角度) [deg] L_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の長さ (船外+船内) [m] ※係留索の機能別グループ (前方係留力または後方係留力)</p>	

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)

表3 係留力 (図1) の計算結果

フェア リダー	索種類	係船柱	係留索長さ[m]		係留角[deg]		索張力T [tonf]	係留力 前後 [tonf]	Bitt Performance [tonf]		
			船外		θ	β			Bitt Load	合計	係船柱 強度
FL1	Line1	B1	65.2		3.2	32.3	20.0	6.2	20.0	20.0	25.0
FL2	Line2	B2	13.1		4.8	-14.5	20.0	19.3	20.0	20.0	25.0
FL3	Line3	B9	21.6		2.4	8.9	20.0	19.7	20.0	20.0	25.0
FL4	Line4	B15	59.5		0.9	-34.9	20.0	4.2	20.0	20.0	25.0
								船尾方向係留力 25.9			
								船首方向係留力 23.5			



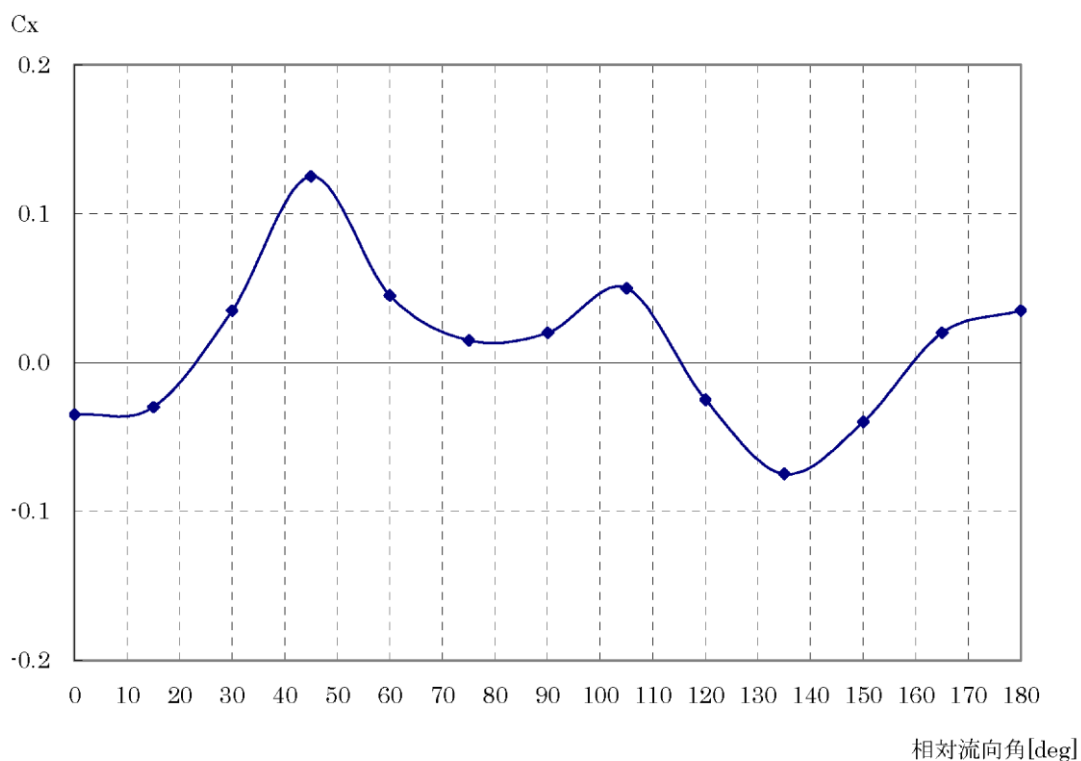
(4) 流圧力

流圧力の計算方法を表4に示す。計算結果について、前項で求めた係留力との比較結果を図6に示す。

表4 流圧力の計算方法

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{xc} = \frac{1}{2} \times C_{xc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{pp} \times d$	<p>F_{xc} : 縦方向流圧力[kgf]</p> <p>C_{xc} : 縦方向流圧力計数</p> <p>V_c : 流速[m/s]</p> <p>L_{pp} : 垂線間直[m]</p> <p>d : 喫水[m]</p> <p>ρ_c : 水密度[kg・sec²/m⁴] (=104.5 sec²/m⁴)</p>
--	---

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)



(出典：VLCCにおける風圧及び流圧の予測 OCIMF 刊行)

縦方向流圧力係数[Cx]

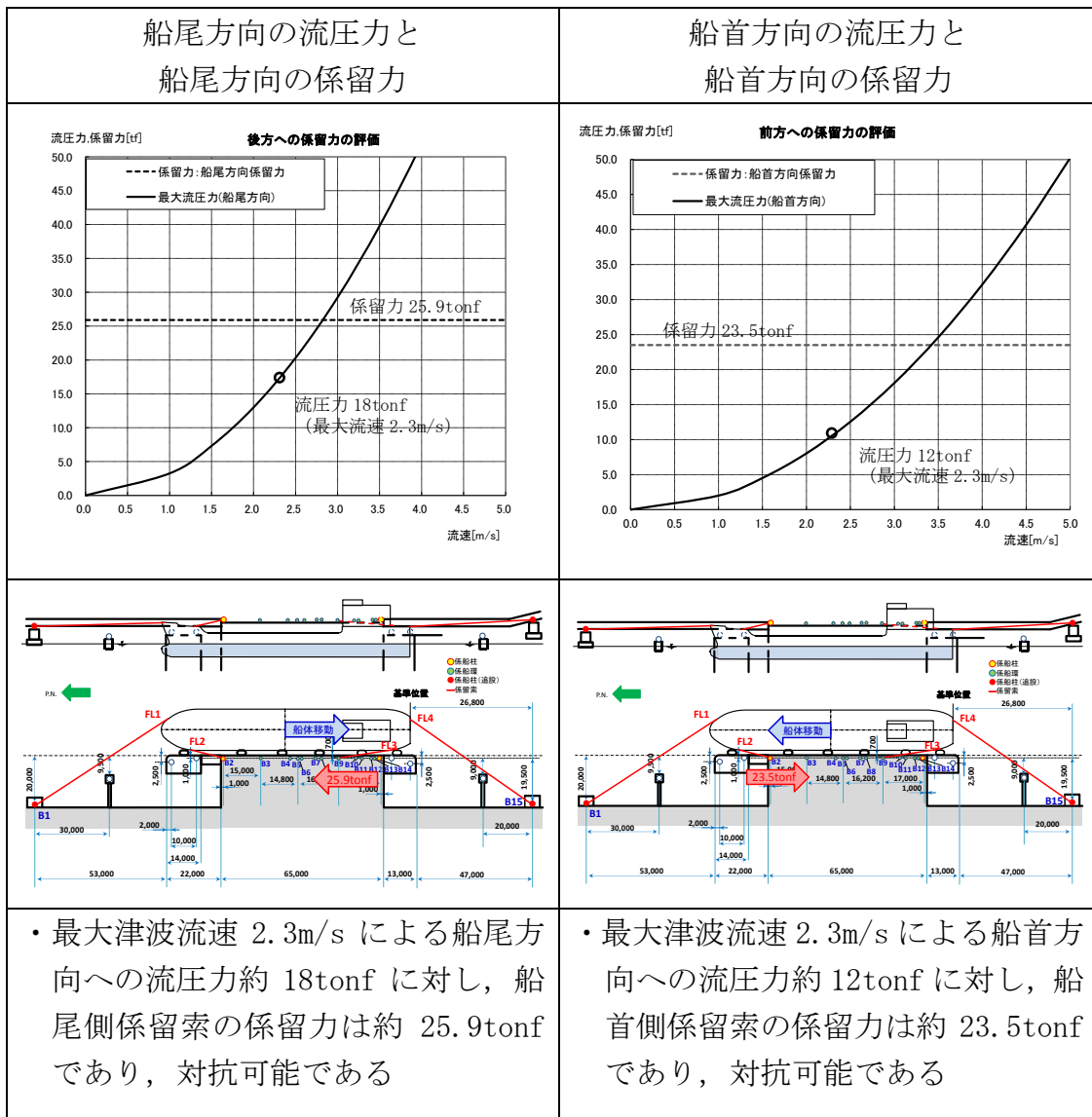


図6 流圧力と係留力の比較

3. 結論

津波（最大流速 2.3m/s）による流圧力に対し，係留力（約 25.9tonf，約 23.5tonf）が上回ることを確認した。

なお，追設する係船柱の位置によっては，係留索の長さ及び角度が変わることから，係留力は変化するが，追設する係船柱の位置は，その位置における係留索の長さ及び角度を考慮しても，津波による流圧力に対して係留力が上回るように設計する。

耐津波設計における係船柱及び係船環の必要性及び評価方針について

1. 概要

燃料等輸送船は、津波襲来までに時間的余裕がある津波の場合は、緊急退避するが、津波襲来までに時間的余裕がない津波の場合は、荷揚場に係留する。

ここでは、係留索が機能しない場合、燃料等輸送船は輪谷湾内を漂流し、取水口へ到達する可能性があるため、取水口への到達可能性評価を踏まえ、係留索を固定する係船柱及び係船環の必要性等について示す。

2. 係船柱及び係船環の必要性について

燃料等輸送船が係留索がない状態において取水口上部に漂流した場合、基準津波4の取水口における最低水位EL-4.3mに対して、喫水高さは3m～5mであることから、取水口（上端EL-9.0m）に到達する可能性がある。

3. 係船柱及び係船環の位置付けについて

係留索を固定する係船柱及び係船環について、漂流防止装置と位置付け設計を行う。

4. 漂流防止装置の評価方針について

海域活断層に想定される地震による津波の襲来に伴い、荷揚場に係留された燃料等輸送船を漂流させないため、荷揚場の係船柱・係船環及び追設する係船柱を漂流防止装置として設計する。なお、追設する係船柱は設計中であり、位置や構造については、詳細設計段階で説明する。

【規制基準における要求事項等】

津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物、設置物等が破損、倒壊、漂流する可能性について検討すること。上記の検討の結果、漂流物の可能性がある場合は、防潮堤等の津波防護施設、浸水防止設備に波及的影響を及ぼさないよう、漂流防止装置または津波防護施設、浸水防止設備への影響防止措置を施すこと。

係船柱及び係船環の配置を図1に、荷揚護岸の断面図を図2に、構造概要を表1に示す。

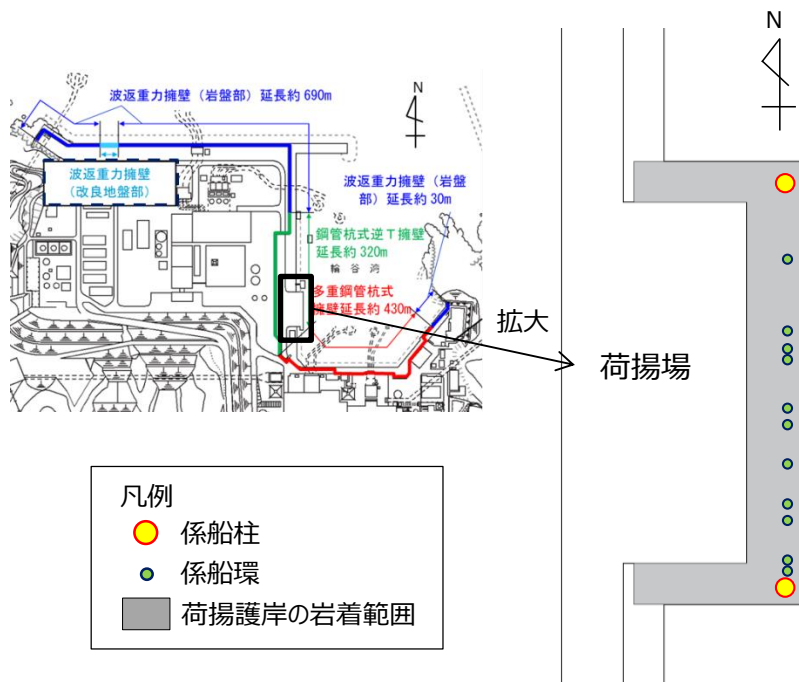


図1 係船柱及び係船環配置図

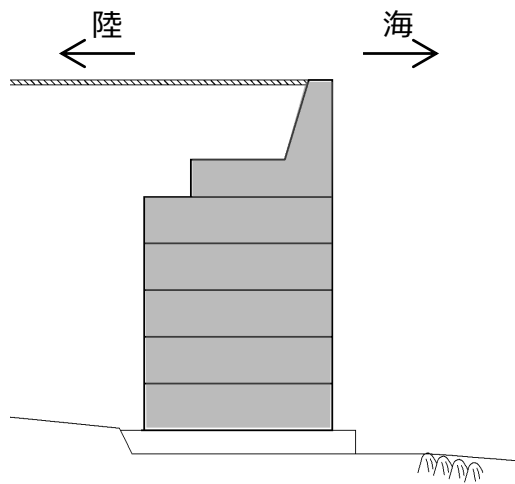


図2 荷揚護岸の断面図

表1 係船柱及び係船環の構造概要

名称	係船柱	係船環
構造		
基数	2基	11基
設計けん引 耐力	25t	

漂流防止装置とする係船柱及び係船環は、海域活断層に想定される地震による津波の流れにより作用する燃料等輸送船の係留力に対して、係留機能を損なうおそれのないよう、構造強度を有することを確認する。また、基準地震動 S_s に対して、係留機能を損なうおそれのないよう、構造強度を有することを確認する。

係船柱及び係船環の基礎（アンカー）となる荷揚護岸は、係船柱及び係船環の支持機能を損なうおそれのないよう、安定性を確保する。

係船柱、係船環及び荷揚護岸の要求機能と評価方針を表2に示す。

表2 係船柱，係船環及び荷揚護岸の要求機能と評価方針

装置名	係船柱	係船環	荷揚護岸
	係留機能		
要求機能	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動 S s に対し，漂流防止装置に要求される機能を損なうおそれのないよう，構造強度を有すること。 ・海域活断層に想定される地震による津波の流れにより作用する燃料等輸送船の引張荷重（係留力）に対し，漂流防止装置に要求される機能を損なうおそれのないよう，構造強度を有すること。 		
性能目標	<ul style="list-style-type: none"> ・終局状態に至らないこと。 		
照査部位	<ul style="list-style-type: none"> ・係船柱本体 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカーボルト 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカーボルト 定着部
照査項目	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ及びせん断破壊 	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ破壊 せん断破壊 	<ul style="list-style-type: none"> せん断破壊
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・短期許容応力度 		
留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料等輸送船の浸水深に応じた浮力，燃料等輸送船の形状及び津波の速度に応じた波圧を荷重として考慮する。 		
荷重組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 係船柱及び係船環の設計においては，常時荷重，地震荷重及び係留力を適切に組合せて設計を行う。なお，海域活断層から想定される地震による津波は荷揚場に遡上しないことから，津波荷重は考慮しない。 荷揚護岸の設計においては，海域活断層に想定される地震による津波が到達する。したがって，津波荷重を考慮する必要があるが，安定性の観点では津波荷重と漂流物衝突荷重は係留力と逆方向に作用するため，考慮しない設計とする。 ・常時荷重 + 地震荷重 ・常時荷重 + 係留力 + 余震荷重 		
評価方針			

耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて

1. 概要

島根原子力発電所において設置する津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備については、設置許可基準規則及び関連審査ガイドに記載される下記事項（表1）を考慮した上で荷重の組合せを設定する。

表1 設置許可基準規則等の荷重組合せに関する要求事項

	記載箇所	記載内容	考慮する荷重
①	耐震審査ガイド※ ¹ 6.3.1 及び 6.3.2	常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力を組み合わせる。	・ 常時荷重 ・ 地震荷重
②	耐震審査ガイド※ ¹ 6.3.3	荷重の組合せに関しては、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮すること。	・ 地震荷重 ・ 津波荷重
③	耐津波審査ガイド※ ² 5.1	耐津波設計における荷重の組合せとして、余震が考慮されていること。	・ 常時荷重 ・ 津波荷重 ・ 余震荷重
④	耐津波審査ガイド※ ² 5.4.2	漂流物の衝突による荷重の組合せを適切に考慮して設計すること。	・ 漂流物衝突荷重
⑤	耐津波審査ガイド※ ² 5.3	津波監視設備については、地震荷重・風荷重の組合せを考慮すること。	・ 地震荷重 ・ 風荷重
⑥	設置許可基準規則 第6条	安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。※ ³	・ 積雪荷重

※1 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」を指す。

※2 「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」を指す。

※3 安全施設に対する要求事項であるが、津波防護施設等の設計において準用する。

2. 考慮する荷重について

(1) 常時荷重

常時作用している荷重として、自重、土圧、積載荷重及び海中施設に対する静水圧等を考慮する。なお、当該施設・設備に運転時の荷重が作用する場合は、運転時荷重を考慮する。

(2) 地震荷重

基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

(3) 余震荷重

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d-D による地震力を考慮する。(添付資料 22 参照) なお、施設が浸水した状態で余震が発生した場合における、施設内滞留水に生じる動水圧荷重(スロッシングによる荷重等)も併せて考慮する。

(4) 静的荷重(静水圧)

津波又は低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水により施設・設備に作用する静的荷重として、静水圧を考慮する。

(5) 動的荷重(波力)

津波により施設・設備に作用する動的荷重として、津波の波力による荷重を考慮する。

(6) 動的荷重(突き上げ)

津波により施設・設備に作用する動的荷重として、突き上げ荷重(経路からの津波が鉛直上向き方向に作用する場合の津波荷重)を考慮する。

(7) 漂流物衝突荷重

漂流物の衝突荷重を考慮する。(添付資料 18 参照)

(8) 風荷重

自然現象による荷重であり、「第6条 外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する設計基準風速に伴う荷重を考慮する。

(9) 積雪荷重

自然現象による荷重であり、「第6条 外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する建築基準法の考え方を参考とし設計積雪深(100cm)に係数0.35を考慮した荷重を組み合わせる。

3. 荷重の組合せ

3.1 設置状況等に応じて考慮する荷重について

荷重の組合せの設定に当たっては、施設・設備の設置状況や構造（形状）等を考慮し、各荷重の組合せ要否を以下のとおり整理する。

(1) 設置場所及び構造（形状）条件

設置場所が屋外の施設・設備については、構造（形状）も踏まえて自然現象による荷重（風荷重及び積雪荷重）を考慮する。なお、設置場所が屋内、敷地地下及び水路部の施設・設備については、当該箇所における自然現象の影響の有無を整理したうえで、影響の無い自然現象による荷重を考慮不要と整理する。

(2) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する施設・設備については、津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する施設・設備については、津波荷重として動的荷重を考慮し、経路からの津波が鉛直上向きに作用する施設・設備については、「動的荷重（突き上げ）」を考慮する。それ以外の施設・設備については、「動的荷重（波力）」を考慮する。なお、「動的荷重（波力）」における津波荷重は、敷地高以上は朝倉式に基づき算定し、敷地高以下については谷本式に基づき算定する。

(3) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定される施設・設備については、「漂流物衝突荷重」を考慮する。なお、漂流物衝突荷重は、施設・設備の設置高さに応じて、海域活断層から想定される地震による津波が到達する部位と日本海東縁部に想定される地震による津波が到達する部位とで個別に評価を行う。

(4) 津波の波源の活動の影響

地震に起因する津波の影響を受ける施設・設備について、以下のとおり整理する。

海域活断層から想定される地震による津波の影響を受ける場所に設置する施設・設備について、海域活断層から想定される地震による津波荷重に「余震荷重」を考慮する。

なお、日本海東縁部に想定される地震による津波の影響を受ける場所に設置する施設・設備については、日本海東縁部に想定される地震による「余震荷重」は敷地への影響が明らかに小さいことから、「余震荷重」を考慮しない。（添付資料 22 参照）

ここで、常時荷重及び自然現象による荷重（風荷重，積雪荷重）の組合せは，施設・設備の設置状況や構造（形状）等の条件を踏まえて，図1の通り分類する。

なお，地震時の検討は，全ての施設・設備において，以下で分類した常時荷重（自然現象による荷重含む）に地震荷重（ S_s ）を組み合わせで行う。

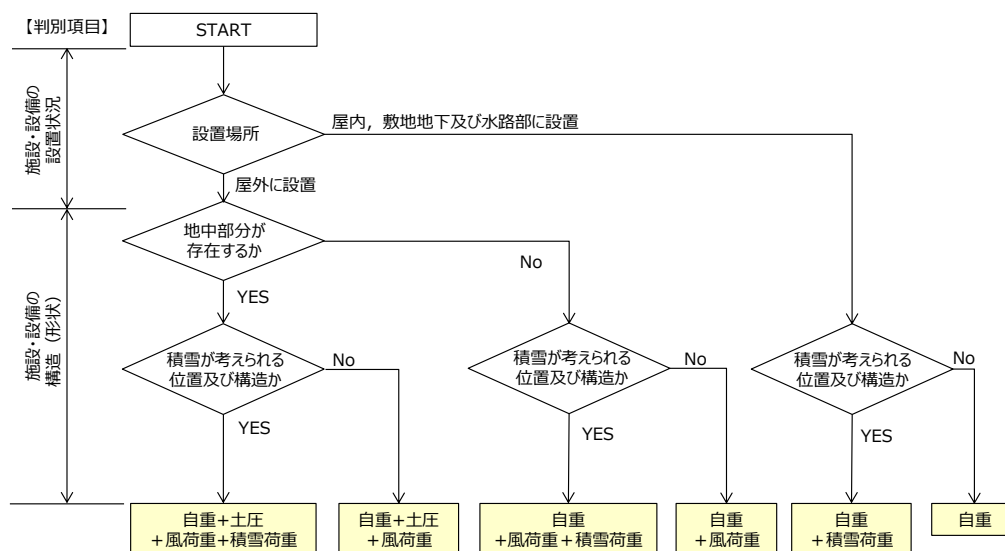


図1 常時荷重及び自然現象による荷重（風荷重，積雪荷重）の組合せ選定フロー

津波時及び重畳時の検討は，図1で分類した常時荷重及び自然現象による荷重（風荷重，積雪荷重）に，津波波源，津波の作用状態及び漂流物衝突の可能性を踏まえて分類した図2及び図3の荷重を組み合わせで行う。

なお，低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受ける施設・設備については，静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する。

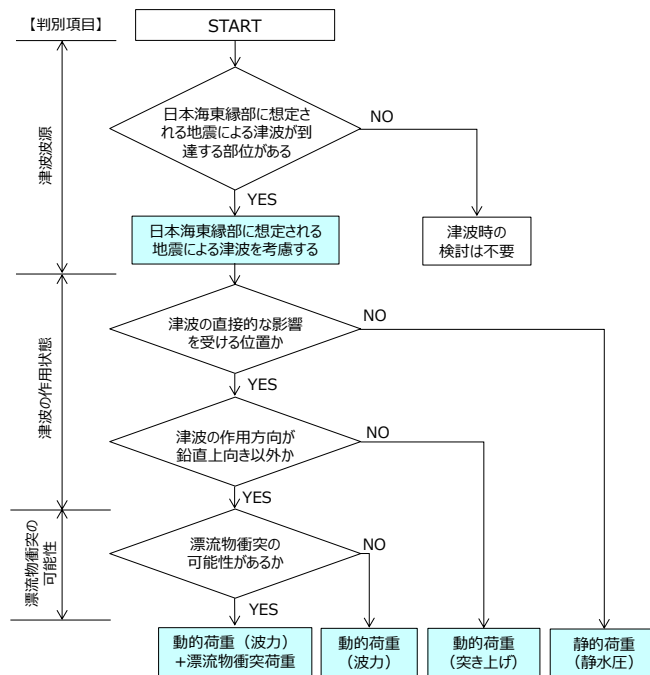


図2 津波時における荷重の組合せ選定フロー

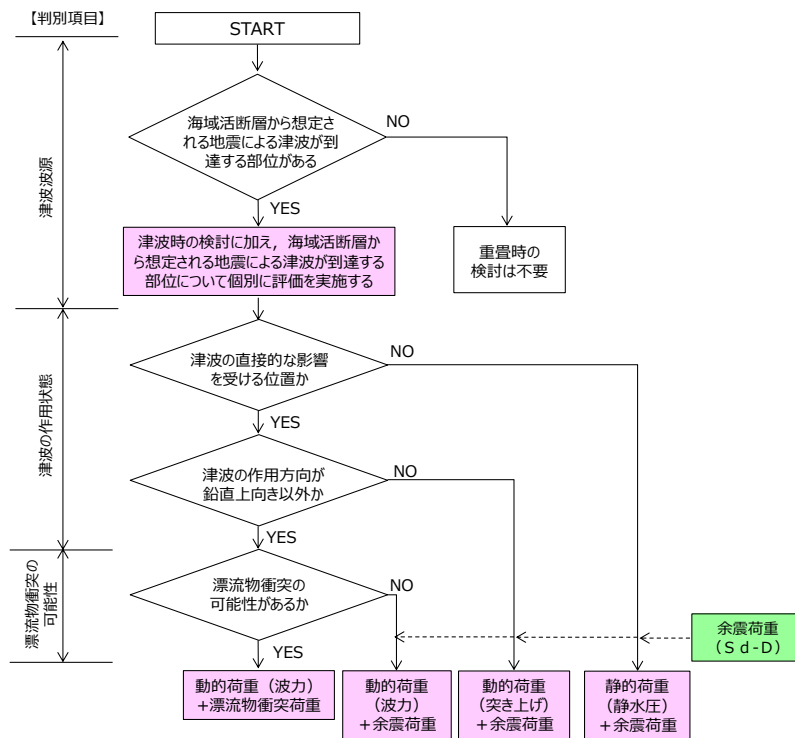


図3 重畳時における荷重の組合せ選定フロー

3.2 各施設・設備の設計において考慮する荷重の組合せ

3.1 に示す考え方を各施設・設備に展開し、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の設計に当たって考慮する荷重の組合せを以下のとおり整理する。

(1) 防波壁

防波壁の設計において考慮する荷重は、防波壁の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」を考慮する。また、地中部に存在する部位については土圧を考慮する。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する施設であるため、津波荷重として「動的荷重（波力）」を考慮する。なお、海域活断層から想定される地震による津波においては入力津波高さ以深の防波壁の部位においても漂流物が衝突するものとして照査を実施する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されるため、「漂流物衝突荷重」を考慮する。

d. 余震荷重の影響

海域活断層から想定される地震による津波が到達する防波壁（波返重力擁壁）のケーソン部等については海域活断層から想定される地震による津波に対する評価を実施する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）＋漂流物衝突荷重
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）＋余震荷重

(2) 防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉

防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉の設計において考慮する荷重は、防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するため、「風荷重」を考慮するが、防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉は薄い鋼材等で構成されており、積雪が考えられる構造ではないため、「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する設備であるため、津波荷重として「動的荷重（波力）」を考慮する。

c. 漂流物の衝突の影響

漂流物の衝突が想定されるため、「漂流物衝突荷重」を考慮する。

d. 余震荷重の影響

海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けないため、「余震荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）＋漂流物衝突荷重

(3) 1号炉取水槽流路縮小工

1号炉取水槽流路縮小工の設計において考慮する荷重は、1号炉取水槽流路縮小工の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するが、水路部（1号炉取水管端部）に設置されることから、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する施設であるため、津波荷重として「動的荷重（波力）」を考慮する。なお、津波荷重（津波波力）は、津波時の静水圧、流水圧及び流水の摩擦による推力を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

1号炉取水槽流路縮小工に対しては、海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けるため、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）＋余震荷重

(4) 屋外排水路逆止弁

屋外排水路逆止弁の設計において考慮する荷重は，図4～図6に示す屋外排水路逆止弁の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するが，敷地地下に設置されることから，「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるため，津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため，「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

屋外排水路逆止弁に対しては，海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けるため，「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し，以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）
- ・ 常時荷重＋津波荷重（静水圧）＋余震荷重

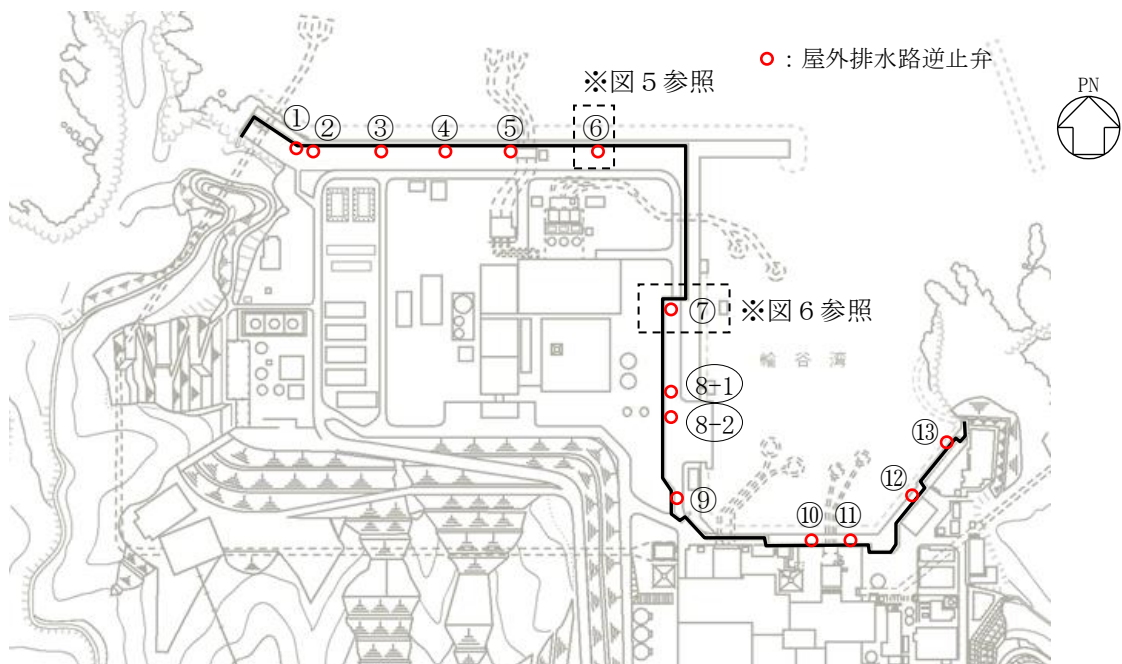


図4 屋外排水路逆止弁位置図

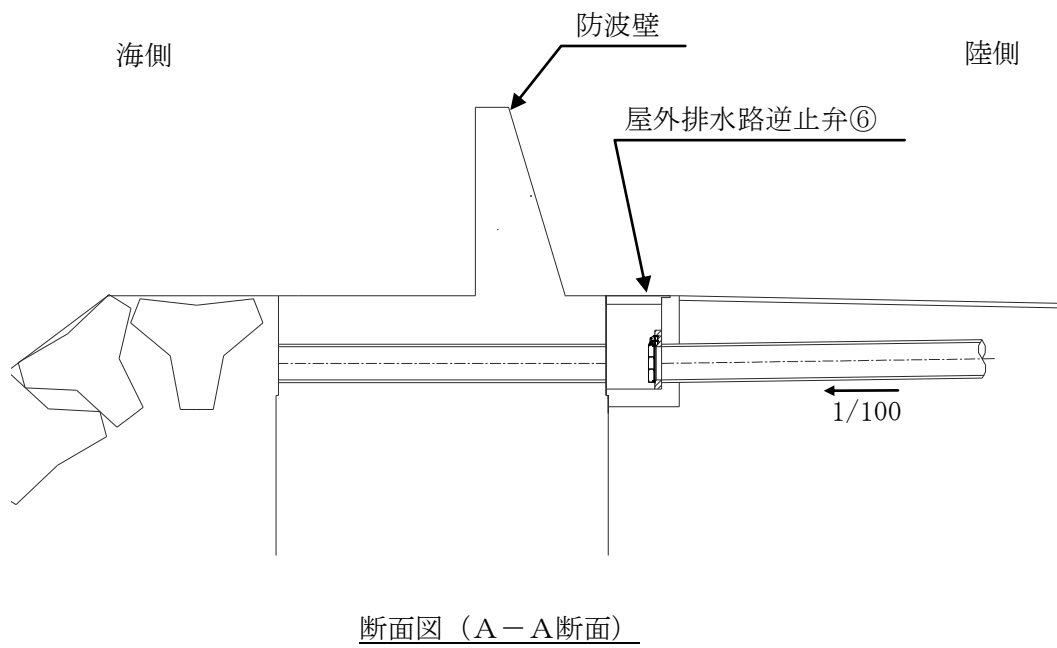
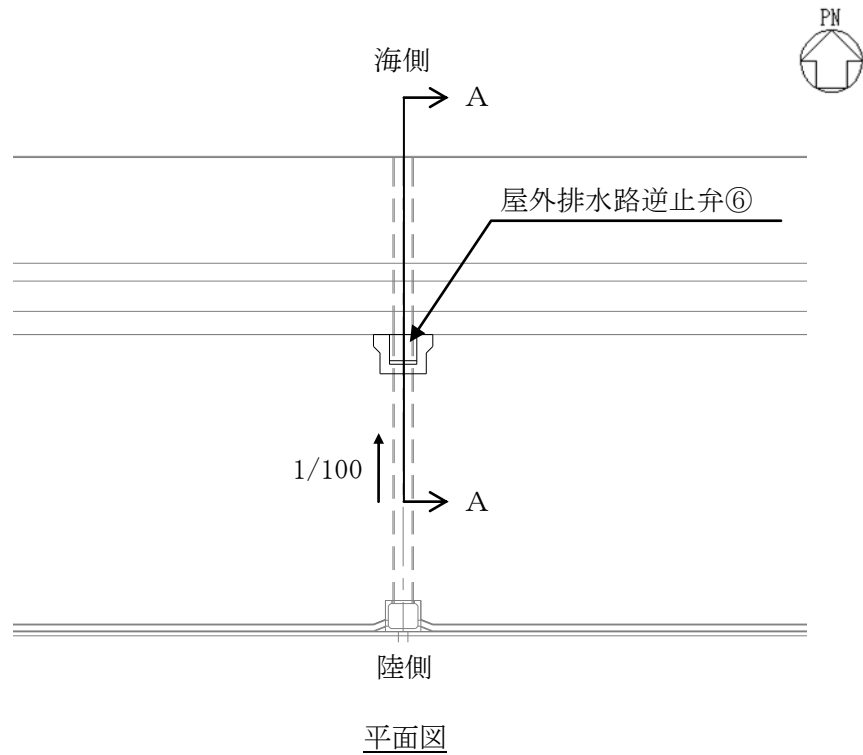
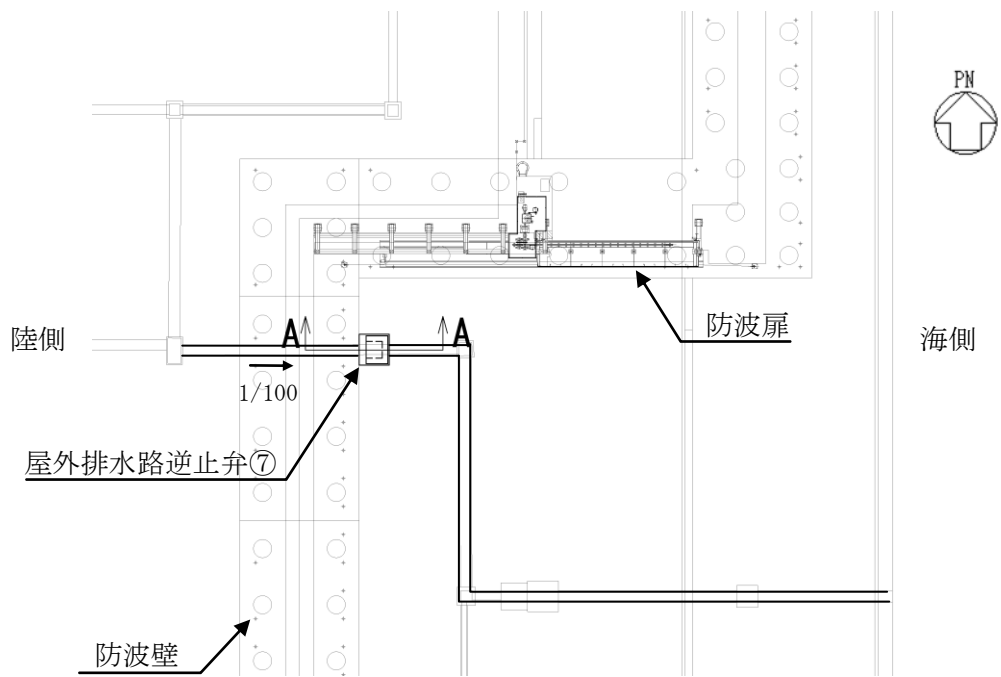
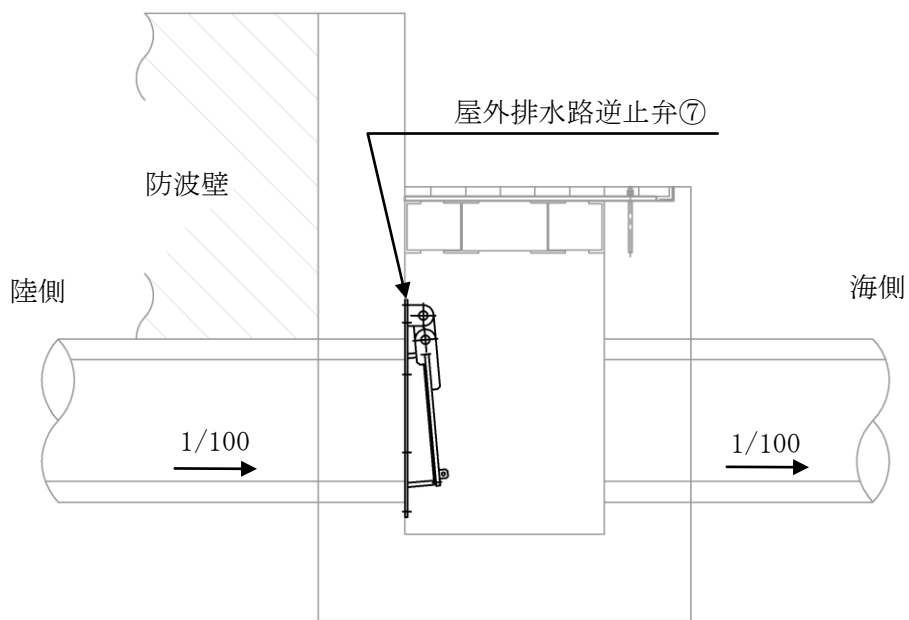


図5 屋外排水路逆止弁⑥配置図



平面図



断面図 (A-A断面)

図6 屋外排水路逆止弁⑦配置図

(5) 防水壁

a. 除じん機エリア防水壁

除じん機エリアの防水壁の設計において考慮する荷重は、除じん機エリア防水壁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するため、「風荷重」を考慮するが、除じん機エリア防水壁は薄い鋼材等で構成されており、積雪が考えられる構造ではないため、「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する施設であるため、津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けないため、「余震荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（S s）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）

b. 復水器エリア防水壁

復水器エリア防水壁の設計において考慮する荷重は、復水器エリア防水壁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所及び構造（形状）条件

屋内に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重等の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

復水器エリア防水壁に対しては、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の

影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧) +余震荷重

(6) 水密扉

a. 除じん機エリア水密扉

除じん機エリア水密扉の設計において考慮する荷重は、除じん機エリア水密扉の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所及び構造 (形状) 条件

屋外に設置するため、「風荷重」を考慮するが、除じん機エリア水密扉は薄い鋼材等で構成されており、積雪が考えられる構造ではないため、「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるため、津波荷重として「静的荷重 (静水圧)」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けないため、「余震荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)

b. 復水器エリア水密扉

復水器エリア水密扉の設計において考慮する荷重は、復水器エリア水密扉の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所及び構造 (形状) 条件

屋内に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重等の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器

の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

復水器エリア水密扉に対しては、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（S s）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）＋余震荷重

(7) 床ドレン逆止弁

a. 取水槽床ドレン逆止弁

取水槽床ドレン逆止弁の設計において考慮する荷重は、取水槽床ドレン逆止弁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するため、「積雪荷重」は考慮するが、敷地地下に設置されることから、「風荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する設備であり、波圧が鉛直上向きに作用する設備であるため、「動的荷重（突き上げ）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

取水槽床ドレン逆止弁に対しては、海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けるため、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（S s）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（突き上げ）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（突き上げ）＋余震荷重

b. タービン建物床ドレン逆止弁

タービン建物床ドレン逆止弁の設計において考慮する荷重は、タービン建物床ドレン逆止弁の設置状況より以下のとおり整理される。

(a) 設置場所及び構造（形状）条件

屋内に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。

(b) 津波荷重等の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

(c) 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

(d) 余震荷重の影響

タービン建物床ドレン逆止弁に対しては、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（ S_s ）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）
- ・ 常時荷重＋静的荷重（静水圧）＋余震荷重

(8) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の設計において考慮する荷重は、貫通部止水処置の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造（形状）条件

屋内又は屋外に設置するが、屋内に設置する設備は、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。屋外に設置する設備は、敷地地下に設置されることから「風荷重」は考慮不要であり、また、積雪が考えられる構造でないことから「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

屋内に設置する設備は、津波の直接的な影響を受けない場所に設置する設備であるが、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「静的荷重（静水圧）」を考慮する。屋外に設置する設備は、津波の波力の影響を受けない場所に設置する施設であるため、津波荷重として「静的荷重（静水圧）」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

貫通部止水処置に対しては、屋内に設置する設備は、低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。屋外に設置する設備は、海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けることから、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧) +余震荷重

(9) 隔離弁、ポンプ及び配管

隔離弁、ポンプ及び配管の設計において考慮する荷重は、隔離弁、ポンプ及び配管の設置状況より以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造 (形状) 条件

屋内 (配管ダクト内) 又は屋外に設置するが、屋内に設置するものについては、「風荷重」及び「積雪荷重」は考慮不要である。屋外に設置するものについても、敷地地下に設置されることから「風荷重」は考慮不要であり、また、積雪が考えられる構造でないことから「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受けない場所に設置する施設であるため、津波荷重として「静的荷重 (静水圧)」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

海域活断層より想定される地震による津波が到達する部位については「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重+地震荷重 (S s)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧)
- ・ 常時荷重+静的荷重 (静水圧) +余震荷重

(10) 津波監視カメラ

津波監視カメラの設計において考慮する荷重は、津波監視カメラの設置状況により以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するため、「風荷重」及び「積雪荷重」を考慮する。

b. 津波荷重の種別

津波の影響を受けない場所に設置する設備であるため、津波荷重は考慮不要である。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（S s）

(11) 取水槽水位計

取水槽水位計の設計において考慮する荷重は、取水槽水位計の設置状況により以下のとおり整理される。

a. 設置場所及び構造（形状）条件

屋外に設置するが、敷地地下に設置されることから、「風荷重」は考慮不要であり、積雪が考えられる構造でないことから「積雪荷重」は考慮不要である。

b. 津波荷重の種別

津波の直接的な影響を受ける場所に設置する設備であるため、津波荷重として「動的荷重（波力）」を考慮する。

c. 漂流物衝突の影響

漂流物の衝突が想定されないため、「漂流物衝突荷重」は考慮不要である。

d. 余震荷重の影響

取水槽水位計に対しては、海域活断層から想定される地震による津波の影響を受けるため、「余震荷重」を考慮する。

上記を考慮し、以下の荷重の組合せに対して構造設計を行う。

- ・ 常時荷重＋地震荷重（S s）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）
- ・ 常時荷重＋動的荷重（波力）＋余震荷重

ここで、図7に津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の位置を示し、表2～表5に考慮する荷重及び荷重の組合せを示す。

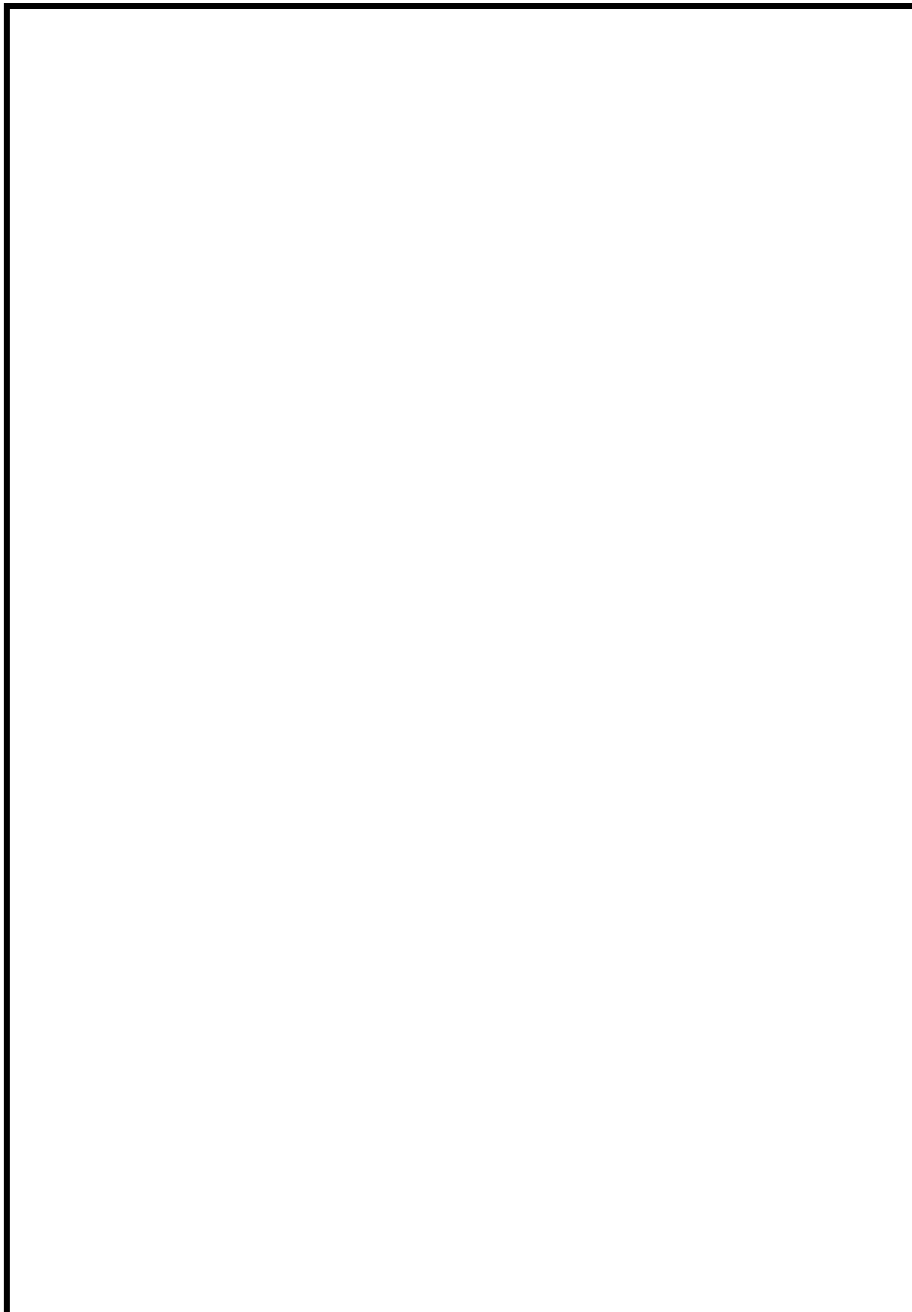
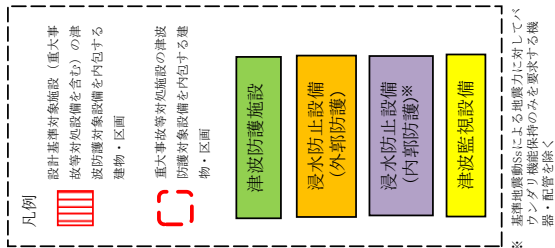


図7 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の平面図

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

表2 津波防護施設で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ		常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			漂流物衝突荷重	備考	
			津波波源	自重	土庄	風荷重	積雪荷重	(波力)荷重			(突き上げ)荷重	静水圧				
津波防護施設	防波壁	屋外	常時荷重+地震荷重	○	○	○	○	○	○	○						
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○	○	○	○	○	○		○					
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +漂流物衝突荷重	○	○	○	○	○	○		○				○	
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +漂流物衝突荷重	○	○	○	○	○	○		○				○	
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +余震荷重	○	○	○	○	○	○		○	○				
			常時荷重+地震荷重	○	○	○	○	○	○		○					
防波扉	屋外	常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○	○	○	○	○	○								
		常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +漂流物衝突荷重	○	○	○	○	○	○						○		
		常時荷重+地震荷重	○	○	○	○	○	○								
1号戸取水槽 流路縮小工	屋外 (水路部)	常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○	○	○	○	○	○								
		常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +余震荷重	○	○	○	○	○	○			○					
		常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○	○	○	○	○	○								

※ 余震荷重は「海域活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する (【参考】余震荷重の設定)を参照)

表3 浸水防止設備（外郭防護）で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	津波波源	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重 ※	津波荷重			備考	
					自重	土圧	風荷重	積雪荷重			動的荷重 (波力)	動的荷重 (突き上げ)	静水圧		漂流物衝突荷重
浸水防止設備（外郭防護）	屋外排水路 逆止弁	屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○				○						
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○						○				
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	海域 活断層	○							○			
	除じん機工了 防水壁	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○					○					
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○							○			
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	海域 活断層	○								○		
	除じん機工了 水密扉	屋外	常時荷重+地震荷重	—	○					○					
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○							○			
			常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	海域 活断層	○								○		
	床下に 逆止弁	屋外 (敷地地下)	常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (突き上げ))	日本海 東縁部	○								○		
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (突き上げ)) +余震荷重	海域 活断層	○							○			
			常時荷重+地震荷重	—	○						○				
貫通部 止水処置	屋外 (敷地地下)	常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧))	日本海 東縁部	○								○			
		常時荷重+津波荷重 (静的荷重 (静水圧)) +余震荷重	海域 活断層	○								○			
		常時荷重+地震荷重	—	○						○					

※ 余震荷重は「海域活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する（〔参考〕余震荷重の設定を参照）

表 4 浸水防止設備（内郭防護）で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	津波波源	常時			自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重※	津波荷重			備考	
					自重	土圧	風荷重	積雪荷重	動的荷重			動的荷重(突き上げ)	静水圧	漂流物衝突荷重		
浸水防止設備（内郭防護）	復水器工了 防水壁	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○				○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する		
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○							○				
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○							○				
	復水器工了 水密扉	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○					○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する	
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○								○			
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○							○				
	床トシ 逆止弁	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○					○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する	
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○								○			
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○							○				
	貫通部 止水処置	屋内	常時荷重+地震荷重	—	○					○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する	
			常時荷重+静的荷重（静水圧）	—	○								○			
			常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	—	○							○				
隔離弁、 ポンプ及び配管	屋内 (配管ダクト内) 又は屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	—	○					○					低耐震クラス機器の損傷による保有水の溢水の影響を受けることから、静的荷重（静水圧）及び余震荷重を考慮する		
		常時荷重+静的荷重（静水圧）	日本海 東縁部	○									○			
		常時荷重+静的荷重（静水圧）+余震荷重	海城 活断層	○								○				

※ 余震荷重は「海城活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所を考慮する（「参考」余震荷重の設定）を参照

表 5 津波監視設備で考慮する荷重及び荷重の組合せ

対象	施設・設備	設置場所	荷重の組合せ	常時		自然現象による荷重		地震荷重 (Ss)	余震荷重※	津波荷重			備考
				自重	土庄	風荷重	積雪荷重			動的(波力)荷重	動的(突き上げ)荷重	静水圧	
津波監視設備	津波監視カメラ	屋外	常時荷重+地震荷重	○	○	○	○	○					
	取水槽水位計	屋外 (敷地地下)	常時荷重+地震荷重	○				○					
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力))	○						○			
			常時荷重+津波荷重 (動的荷重 (波力)) +余震荷重	○						○	○		

※ 余震荷重は「海域活断層から想定される地震」による津波の影響を受ける箇所で考慮する（「参考」余震荷重の設定」を参照）

耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて

1. 規制基準における要求事項等

- ・サイトの地学的背景を踏まえ、余震の発生の可能性を検討すること。
- ・余震発生の可能性に応じて余震による荷重と入力津波による荷重との組合せを考慮すること。

2. 検討方針

余震による荷重については、本震発生後の余震及び誘発地震を検討し、耐津波設計において津波荷重と組み合わせる適切な余震荷重を設定する。なお、本検討においては、本震の震源域において発生する地震を余震とし、本震の震源域の外で発生する地震を誘発地震として整理し、図1の流れで検討を実施した。

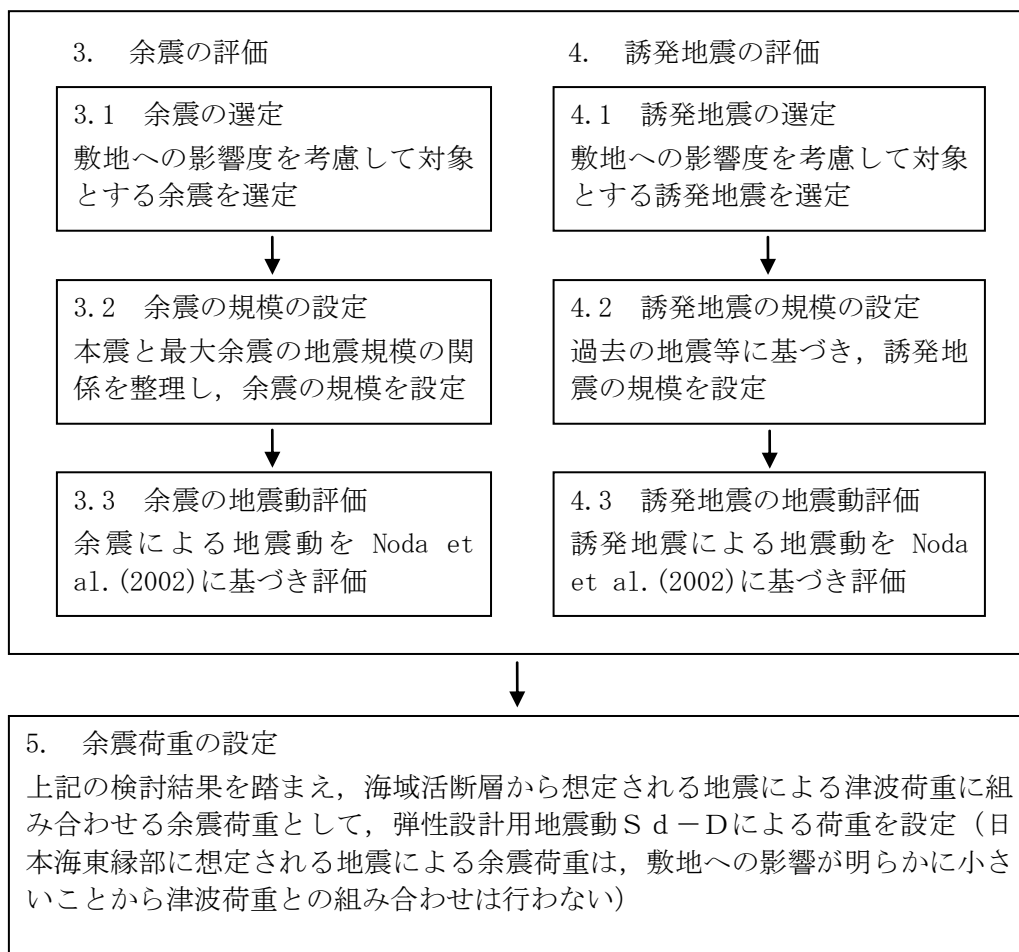


図1 余震荷重の検討フロー

3. 余震の評価

3.1 余震の選定

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある余震による地震動を評価するにあたり、敷地への影響度を考慮して対象とする余震を選定する。島根原子力発電所における基準津波は、図2に示す「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」及び「海域活断層から想定される地震による基準津波4」である。このうち、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の波源位置は、敷地から600km以上の距離にあり、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が明らかに小さい。一方、「海域活断層から想定される地震による基準津波4」の波源位置は、敷地からの断層最短距離が約8kmと比較的近く、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が考えられる。

以上のことから、「海域活断層から想定される地震による基準津波4」の波源の活動に伴う余震を選定する。

3.2 余震の規模の設定

余震の規模は、過去の地震データにおける本震規模と最大余震の規模の関係を整理することにより想定する。検討対象とした地震は、津波荷重と組み合わせる余震荷重を評価するという観点から、地震調査研究推進本部の地震データによる本震のマグニチュードが7.0以上とし、かつ、余震を考慮する基準津波4の波源の活動に伴い発生する津波の最大水位変化を生起する時間帯は、最大でも地震発生から約10分以内であることを考慮し、本震と最大余震との時間間隔が1時間程度以内の地震とした。対象とした地震の諸元及び震央分布を表1及び図3に示す。地震調査研究推進本部の地震データについて、本震のマグニチュードM0と最大余震のマグニチュードM1の関係から本震と余震のマグニチュードの差D1は、図4のとおり、 $D1 = M0 - M1 = 1.2$ として評価できる。余震の規模を想定する際は、データ数が少ないことから、保守的に標準偏差を考慮し $D1 = 0.9$ として余震の規模を想定する。

3.3 余震の地震動評価

基準津波4の波源の活動に伴い発生する可能性がある余震による地震動を評価するにあたり、表2及び図5に示す波源の諸元及び震源モデルを設定し、上記の関係式に基づき余震の規模を設定した上で、Noda et al. (2002)により応答スペクトルを評価した。その評価結果と弾性設計用地震動S_{d-D}の応答スペクトルを比較して図6に示す。同図より、基準津波4の波源の活動に伴う余震の地震動評価結果は、弾性設計用地震動S_{d-D}を下回っている。

4. 誘発地震の評価

4.1 誘発地震の選定

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある誘発地震による地震動を評価するにあたり、敷地への影響度を考慮して対象とする誘発地震を選定する。

過去に発生した誘発地震について、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）を対象に、余震活動の領域内の地震を除いた本震発生後24時間以内に発生したM6.5以上の内陸地殻内地震を確認すると、本震発生から約13時間後に長野県北部の地震（M6.7）が誘発地震として発生しており、それぞれの地震の震央位置は、図7に示すとおり約400km離れた位置関係になっている。

図8に示す国土地理院による2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）の発生後（2011年2月下旬～3月下旬）の地殻変動によると、誘発地震の長野県北部の地震（M6.7）の震央位置周辺に比べて、敷地周辺ではほとんど地殻変動は見られない。また、遠田（2011）において、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）の発生後の応力変化を検討し、近畿地方の変化量は概ね0.1bar以下と小さく、地震活動に目立った変化は見られないことから、「近畿の活断層への影響はごくわずか」としており、近畿地方よりもさらに西方の敷地周辺の活断層への影響もごくわずかと考えられる。なお、日本海東縁部の地震の本震のマグニチュードが7.0以上の3地震（1964年新潟地震：本震M7.5 最大余震6.1、1983年日本海中部地震：本震M7.7 最大余震6.1、1993年北海道南西沖地震：本震M7.8 最大余震6.0）については、余震を含めたとしてもM6.5未満の地震しか発生していない。

基準津波のうち、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1、2、3、5及び6」の波源は2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）より規模が小さく、その位置は図7に示すとおり敷地から600km以上の距離にあり、2011年東北地方太平洋沖地震とその誘発地震の位置関係よりも更に離れていることから、上記の地殻変動や応力変化を考慮すると、その波源の活動に伴う誘発地震が敷地周辺で発生することは考えられない。

一方、「海域活断層から想定される地震による基準津波4」の波源位置は、図7に示すとおり、敷地からの断層最短距離が約8kmと比較的近いことから、その波源の活動に伴う誘発地震が敷地周辺で発生することは考えられる。

以上のことから、「海域活断層から想定される地震による基準津波4」の波源の活動に伴う誘発地震を選定する。

4.2 誘発地震の規模の設定

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)では誘発地震の長野県北部の地震(M6.7)が発生したのは本震発生から約13時間後である。誘発地震を考慮する基準津波4の継続時間のうち最大水位変化を生起する時間帯(最大でも地震発生から約10分以内)においてM6.8以上の誘発地震が発生することは考えにくい。保守的に基準地震動の評価において検討用地震に選定されなかった孤立した短い活断層による地震を対象とし、誘発地震の規模をM6.8に設定する。

4.3 誘発地震の地震動評価

基準津波4の波源の活動に伴う誘発地震について、表3及び図9に示す孤立した短い活断層による地震を対象にM6.8の震源モデルを設定し、Noda et al. (2002)により応答スペクトルを評価した。その評価結果と弾性設計用地震動S_d-Dの応答スペクトルを比較して図10に示す。同図より、基準津波4の波源の活動に伴う誘発地震の地震動評価結果は、弾性設計用地震動S_d-Dを下回っている。

5. 余震荷重の設定

以上の検討結果から、基準津波1, 2, 3, 5及び6の波源である「日本海東縁部に想定される地震」については、その余震及び誘発地震の敷地への影響が明らかに小さいことから、津波荷重に組み合わせる余震荷重を設定しない。また、基準津波4の波源である「海域活断層から想定される地震」については、その余震及び誘発地震の地震動評価結果を、全ての周期帯において弾性設計用地震動S_d-Dが十分に上回ることから、保守的にS_d-Dによる荷重を海域活断層から想定される地震による津波荷重に組み合わせる余震荷重として設定する。

【参考文献】

- Noda, S. • K. Yashiro • K. Takahashi • M. Takemura • S. Ohno • M. Tohdo • T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18 Istanbul, pp.399-408
- 地震調査研究推進本部 (2016) : 大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方, 平成 28 年 8 月 19 日
- 国土地理院 (2011) : 平成 23 年 3 月の地殻変動について
- 遠田晋次 (2011) : 東北地方太平洋沖地震にともなう静的応力変化, <http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/events/110311tohoku/toda/index.html>
- 活断層研究会編 (1991) : [新編] 日本の活断層分布図と資料, 東京大学出版会

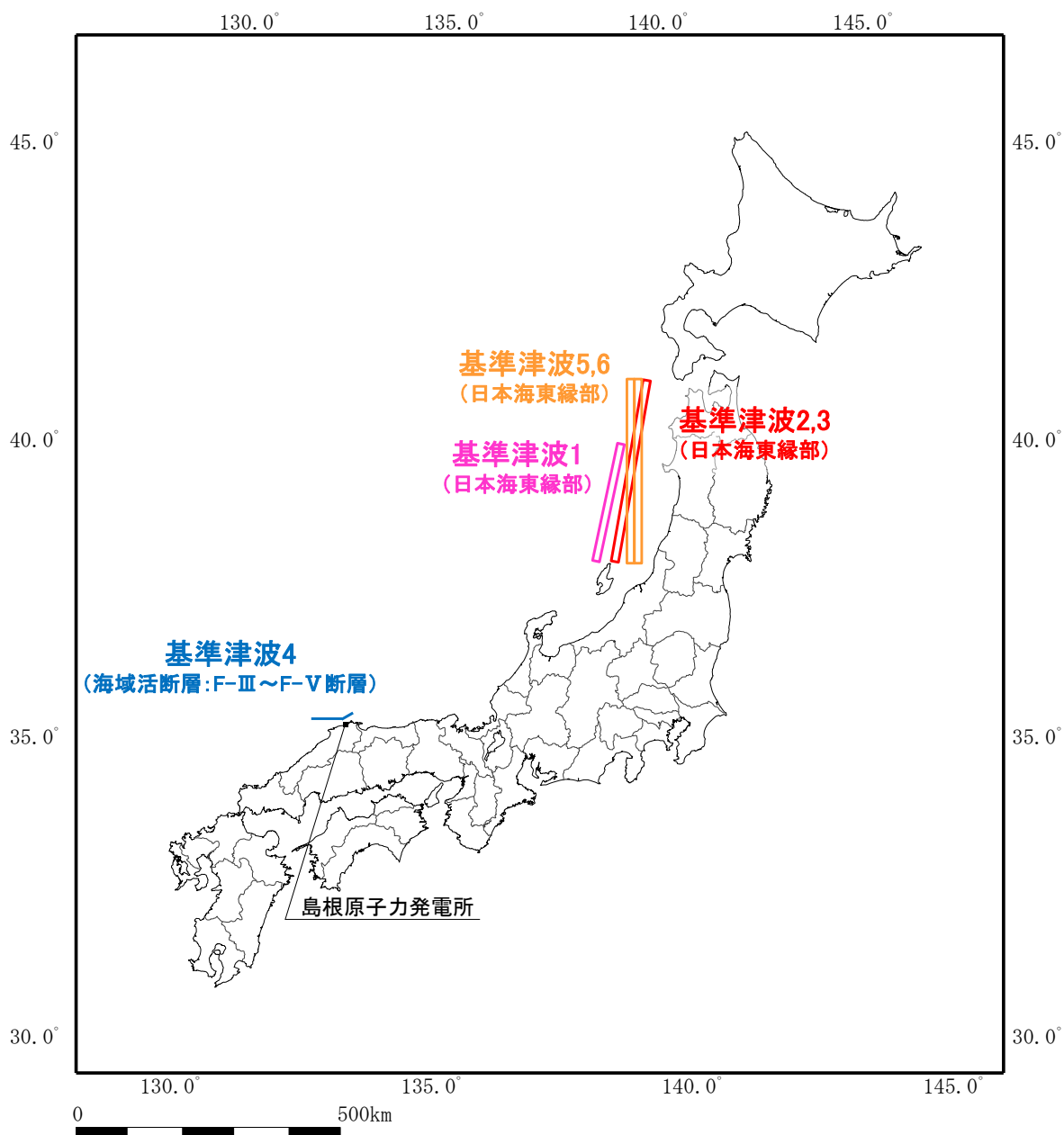


図2 島根原子力発電所と基準津波の波源

表1 過去の地震における本震と最大余震の関係 (M7.0 以上)

No.	発生年月日	震源	最大余震		
			本震 マグニチュード M0	マグニチュード M1	本震との 時間間隔
1	2003/9/26	十勝沖	8.0	7.1	1:18
2	2004/11/29	釧路沖	7.1	6.0	0:04
3	2006/11/15	千島列島東方	7.9	6.7 ^{※1}	1:12
4	2008/6/14	岩手宮城内陸地震	7.2	5.7	0:37
5	2008/9/11	十勝沖	7.1	5.7	0:12
6	2011/3/11	東北地方太平洋沖地震	9.0	7.6 ^{※1}	0:29
7	2012/12/7	三陸沖	7.3	6.6	0:13
8	2016/4/16	熊本地震	7.3	5.9	0:21

※1：気象庁による最新の震源情報を参照

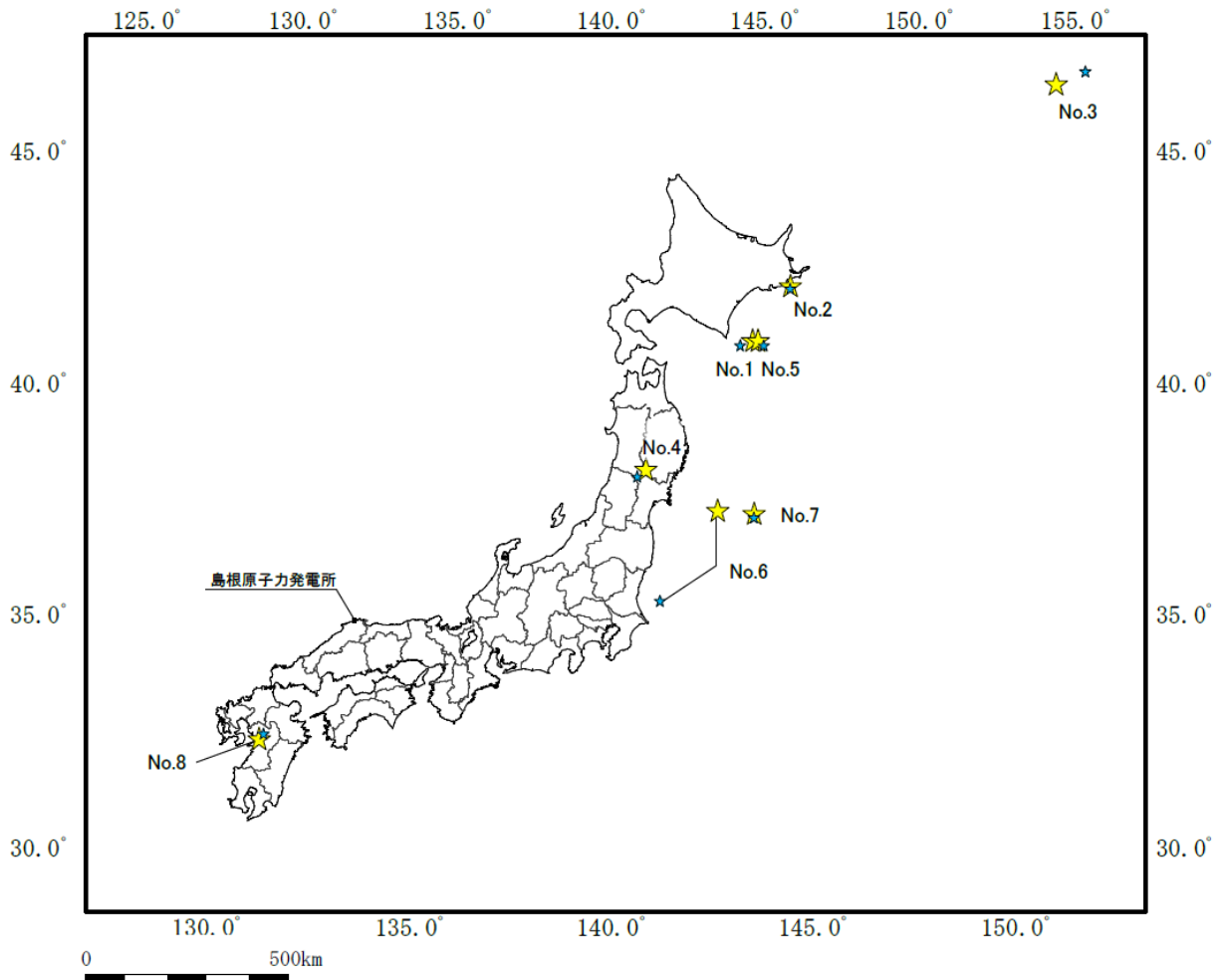


図3 余震の地震規模の評価に用いた地震の震央分布 [本震 (★), 余震 (★)]

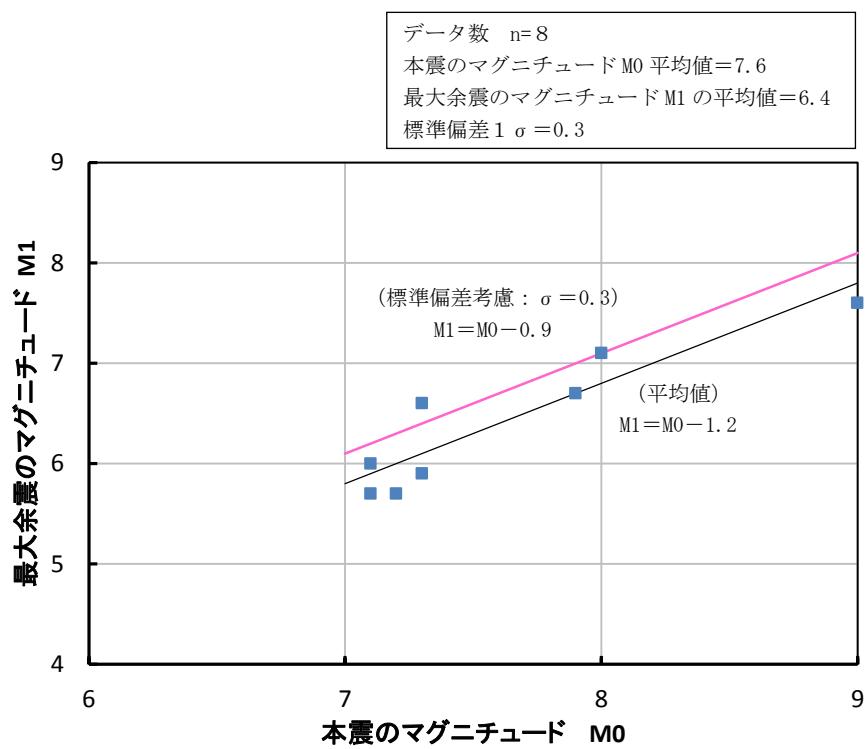


図4 本震と最大余震の地震規模の関係 (M7.0 以上)

表2 設定した余震の震源諸元

項目	設定値
本震のマグニチュード	7.6
余震のマグニチュード ^{※1}	6.7
等価震源距離 ^{※2} (km)	17.3

※1：本震と余震のマグニチュードの差D1を0.9として、余震のマグニチュードを評価
 ※2：図5に示す震源モデルに対し、Noda et al. (2002)に基づき等価震源距離を評価

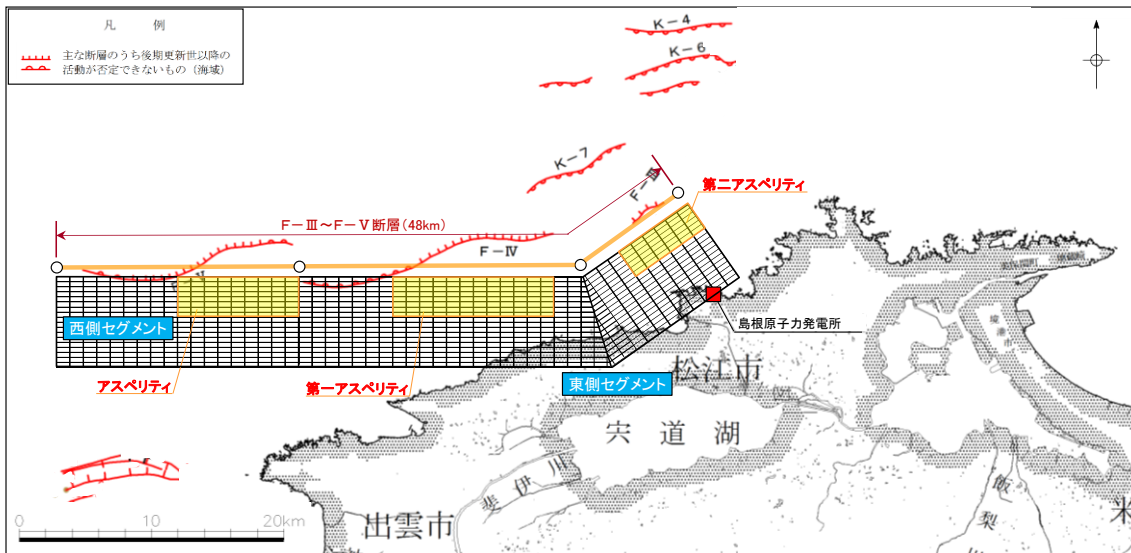


図5 基準津波4の波源に対する震源モデル

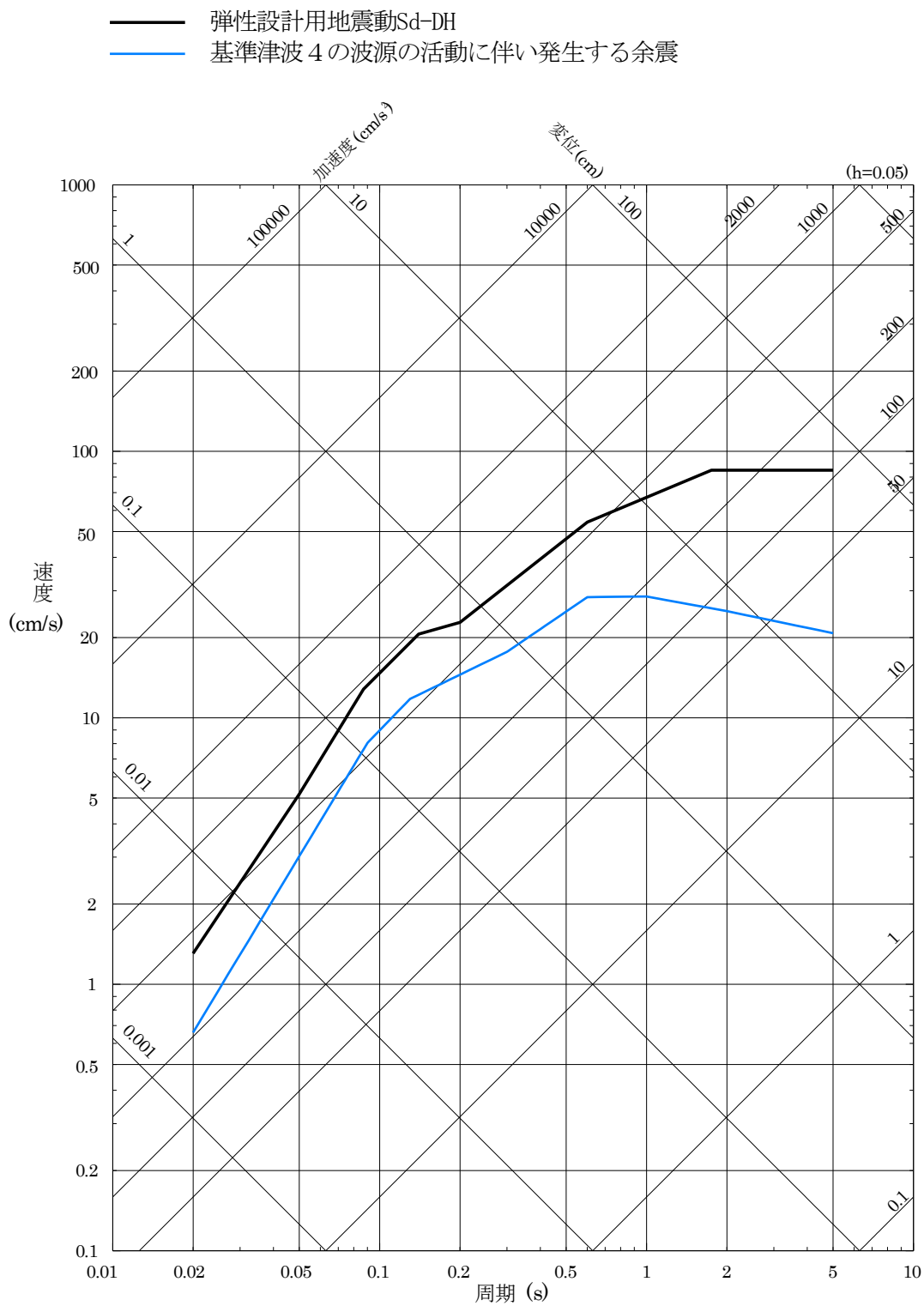


図6 (1) 基準津波4の波源の活動に伴い発生する余震と弾性設計用地震動Sd-Dの比較 (水平方向)

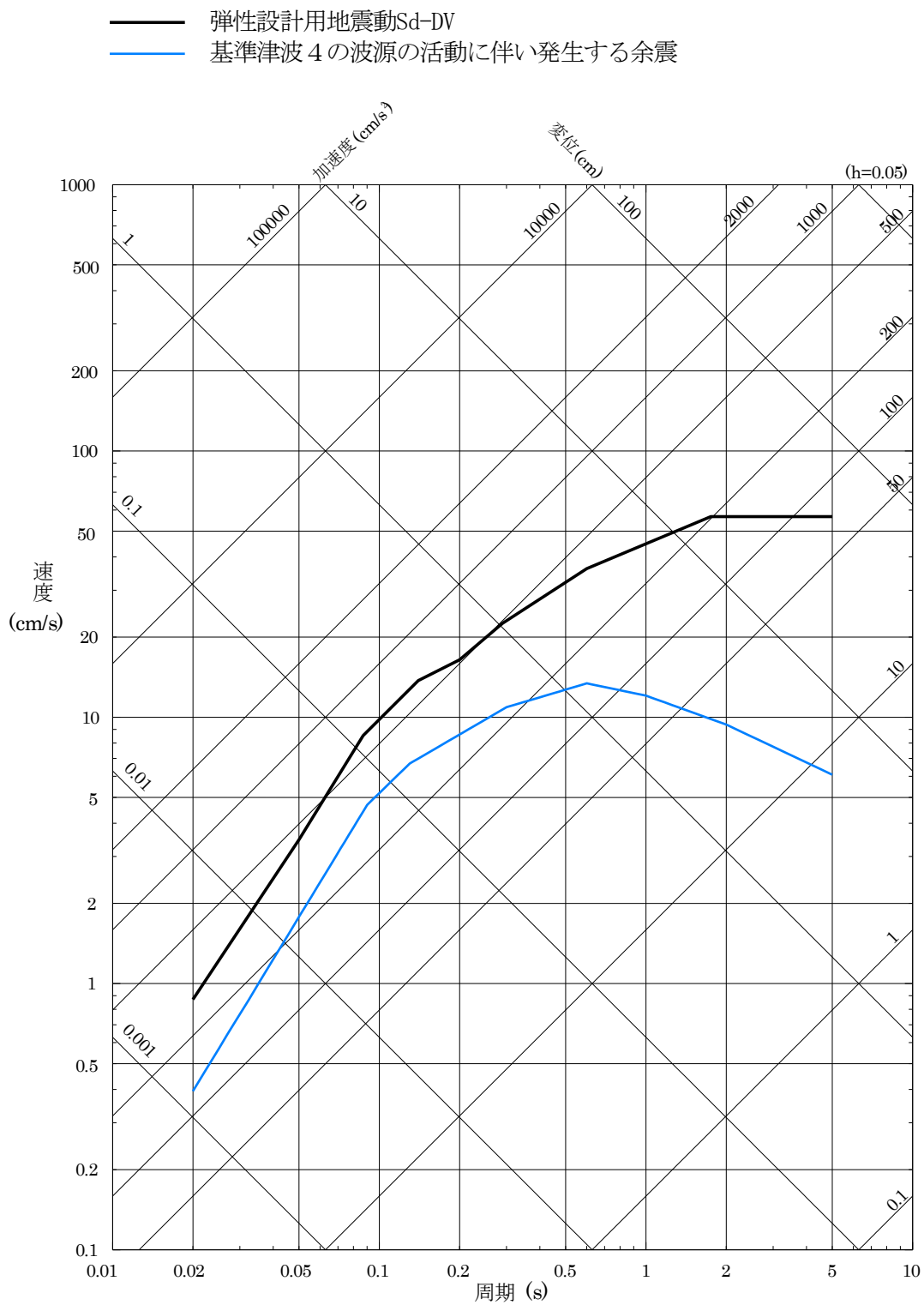


図6 (2) 基準津波4の波源の活動に伴い発生する余震と弾性設計用地震動Sd-Dの比較 (鉛直方向)

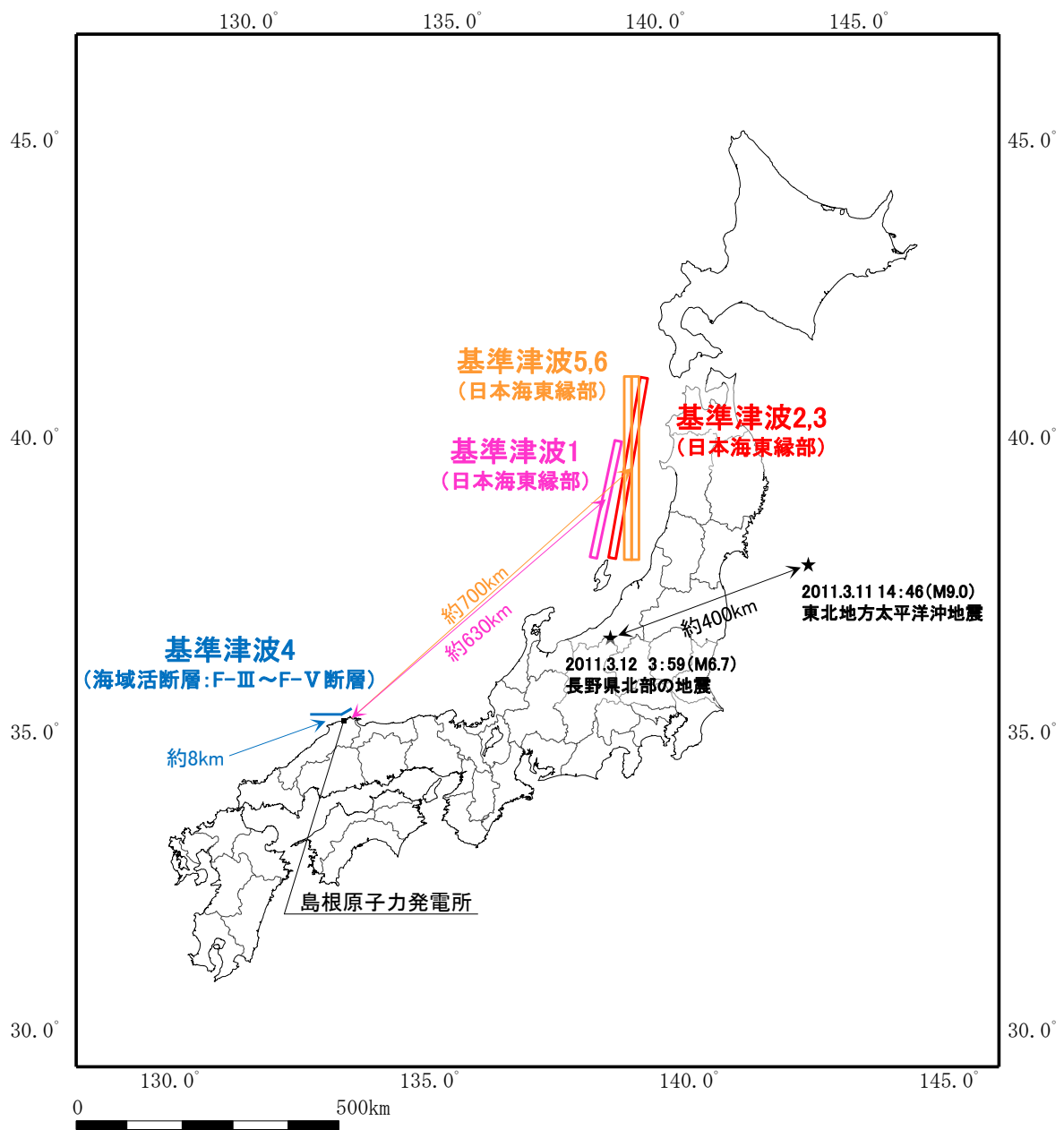
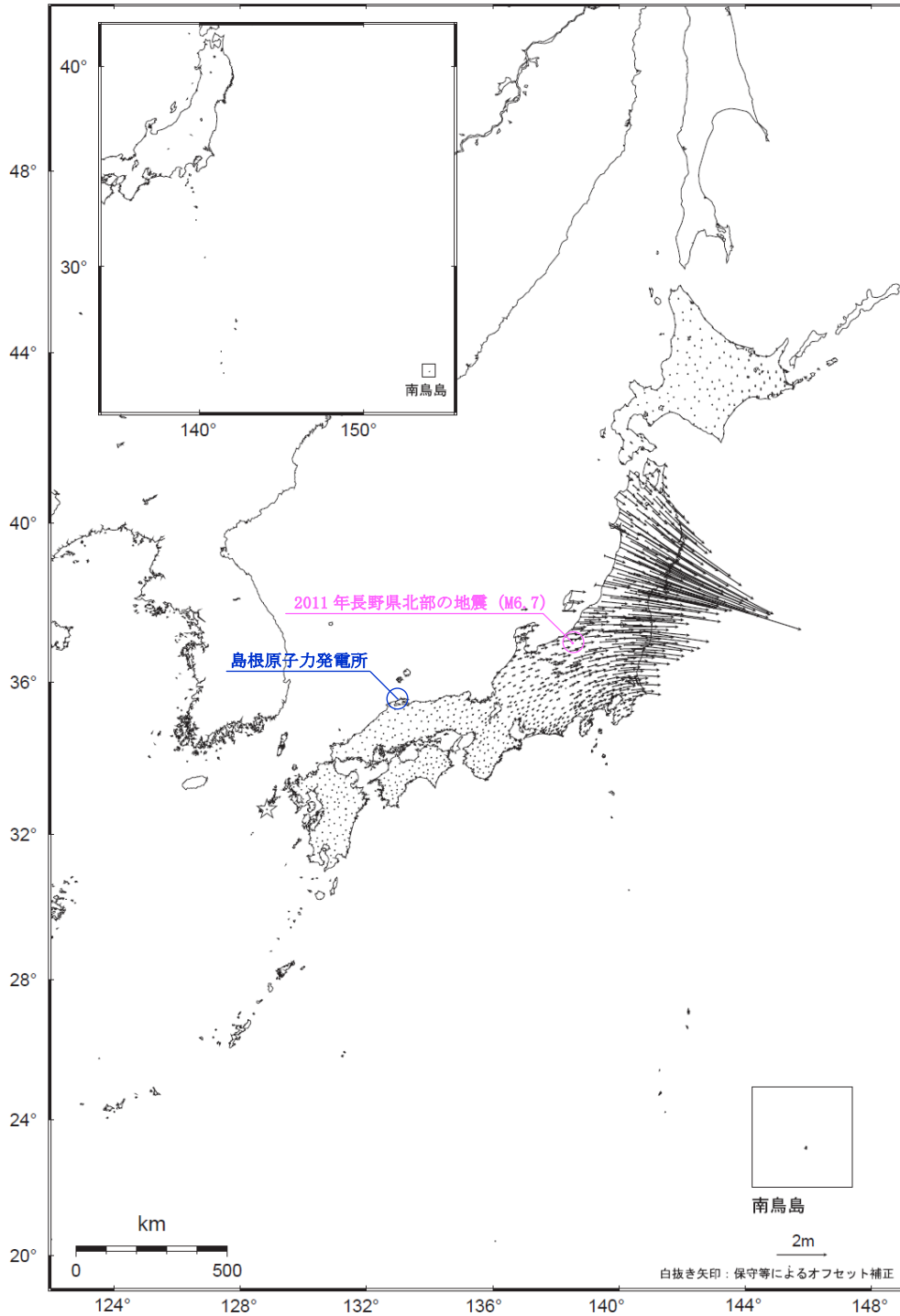


図7 2011年東北地方太平洋沖地震と2011年長野県北部の地震の震源位置及び島根原子力発電所と基準津波の波源の位置関係

全国の地殻変動（水平）－1ヶ月－

基準期間：2011.02.22～2011.02.28 [F3：最終解]

比較期間：2011.03.25～2011.03.31 [R3：速報解]



☆ 固定局：福江（950462）

・3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動が見られます。

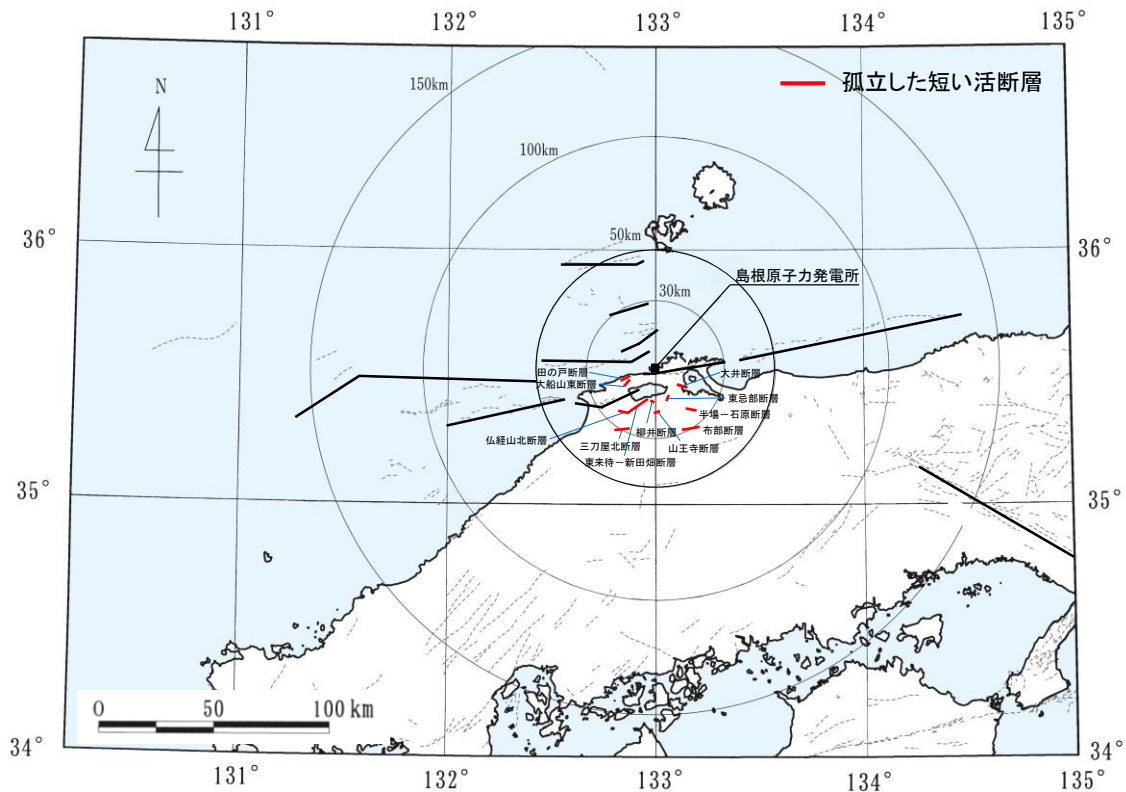
※東北地方太平洋沖地震に伴い、つくば1（92110）が変動したため、2011/3/11以降のQ3、R3解析においては固定点を与論（950495）へ変更している。

[国土地理院（2011）に一部加筆]

図8 2011年2月下旬から2011年3月下旬の1ヶ月間の地殻変動

表3 設定した誘発地震の震源諸元

No.	断層名	マグニチュード M	等価震源距離 Xeq (km)
1	た と 田の戸断層	6.8	16.0
2	おおふなやまひがし 大船山東断層	6.8	16.1
3	ぶつきょうざんきた 仏経山北断層	6.8	26.2
4	ひがしまち しんたばた 東来待-新田畑断層	6.8	20.2
5	やない 柳井断層	6.8	18.3
6	みとやきた 三刀屋北断層	6.8	32.1
7	はんば いしはら 半場-石原断層	6.8	25.7
8	ふべ 布部断層	6.8	32.1
9	ひがしいんべ 東忌部断層	6.8	17.3
10	さんのうじ 山王寺断層	6.8	22.2
11	おおい 大井断層	6.8	16.0



[[「新編」日本の活断層]に加筆修正]

図9 誘発地震として考慮する孤立した短い活断層の分布

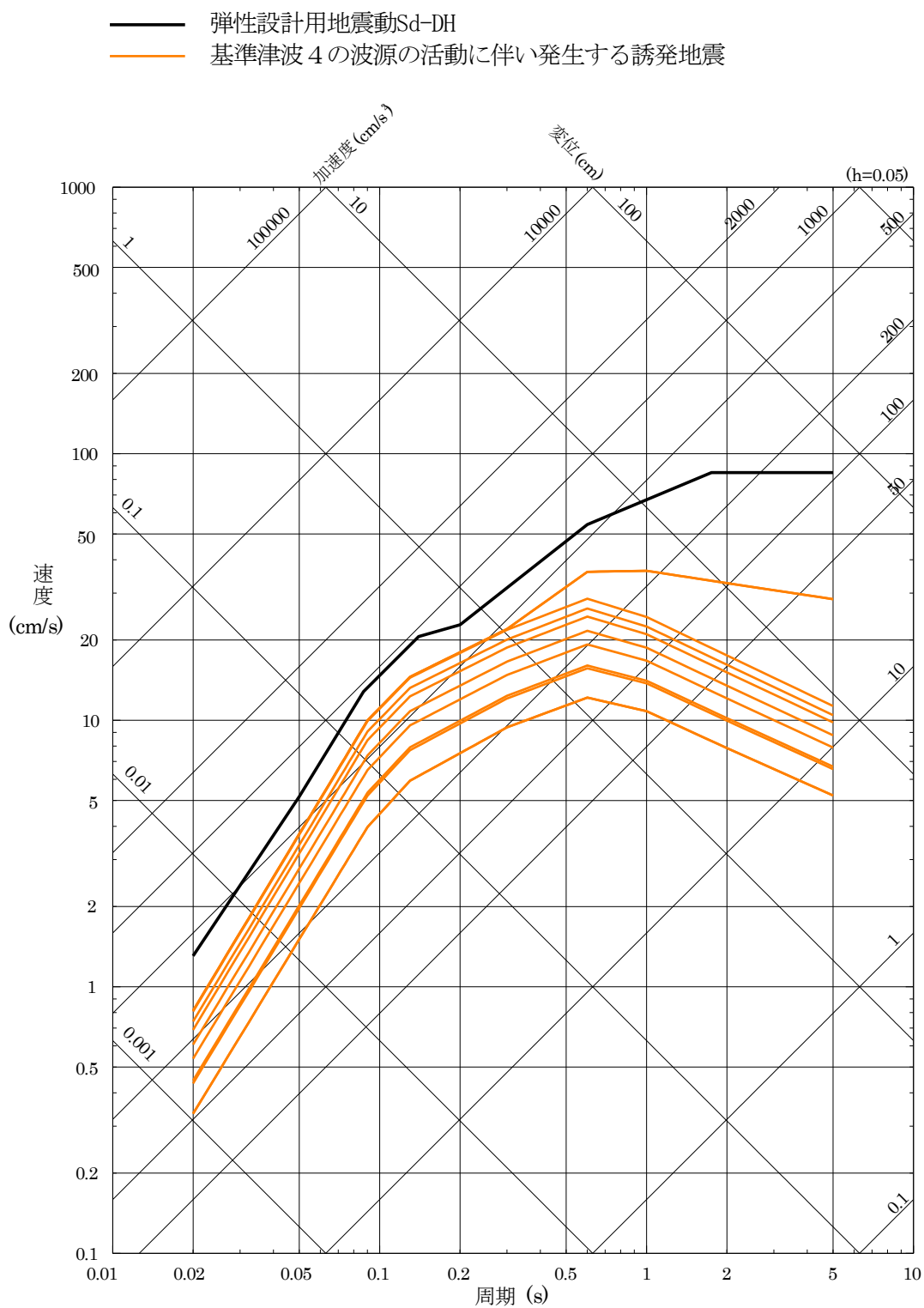


図 10 (1) 基準津波 4 の波源の活動に伴い発生する誘発地震と弾性設計用地震動 S d - D の比較 (水平方向)

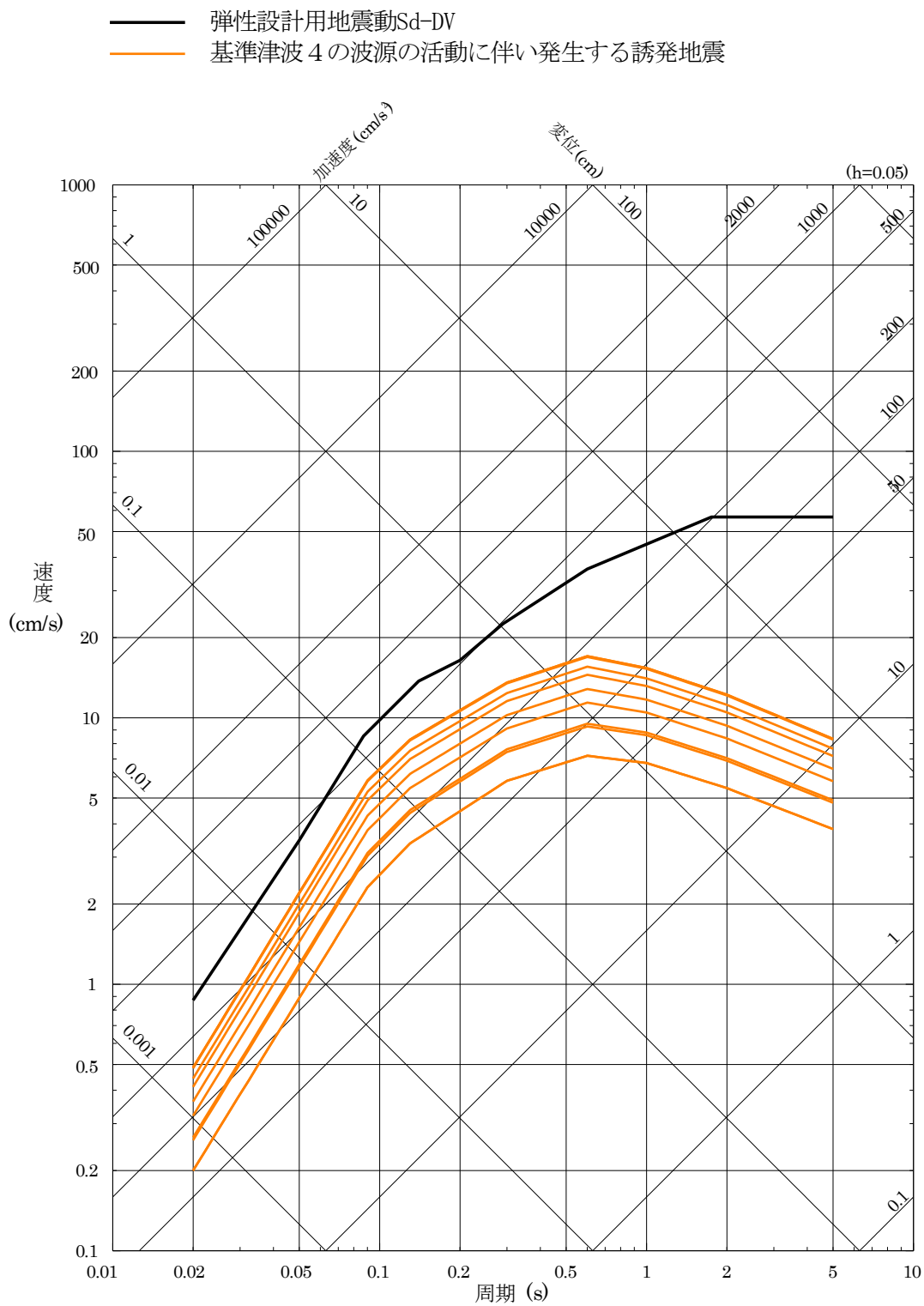


図 10 (2) 基準津波 4 の波源の活動に伴い発生する誘発地震と弾性設計用地震動 S d - D の比較 (鉛直方向)

荷重の組合せに関する津波と地震の組合せの方針について

1. 津波と地震の組合せについて

第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）において自然現象の組合せは、発生頻度及び最大荷重の継続時間を考慮して検討するとしており、基準津波と基準地震動を独立事象として扱う場合は、それぞれの発生頻度が十分小さいことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。それ以外の組合せについて、以下に示す。

2. 基準津波と地震の組合せについて

基準津波と当該津波の波源を震源とする本震は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないため、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する必要はない。

基準津波（海域活断層）と当該津波の波源を震源とする余震は、同時に敷地に到達することを想定し、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する。

一方、基準津波（日本海東縁部）と当該津波の波源を震源とする余震については、当該津波の波源が敷地から遠く、余震の敷地への影響が明らかに小さいことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。さらに、当該津波については、仮に余震以外のその他の地震として、頻度が高く年に1回程度発生する地震動レベルの小さい地震を独立事象として想定したとしても、当該津波の発生頻度及び最大荷重継続時間（120分と設定：別紙2参照）を踏まえると、当該津波の最大荷重継続時間内に余震以外のその他の地震が発生する頻度は、表1のとおり、 2.3×10^{-8} / 年であり十分小さい*ことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。

また、基準津波以外の津波は、阿部（1989）の予測式に基づく津波の予測高さによると、表2に示すとおり、基準津波（海域活断層）の波源の断層であるF-Ⅲ～F-V断層に比べて水位が低く敷地に与える影響は小さいため、余震荷重との組合せを考慮しない。

*JEAG4601において組み合わせるべき荷重としては、事象の発生確率、継続時間、地震動の発生確率を踏まえ、その確率が 10^{-7} / 炉年以下となるものは組合せが不要と記載されている

3. 基準地震動と津波の組合せについて

基準地震動の震源（海域活断層）からの本震と当該本震に伴う津波は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。

基準地震動の震源については、他の海域の活断層よりも敷地に近い位置に存在し、仮に誘発地震に伴う津波の発生を考慮した場合においても、基準地震動が敷地に到達すると同時に当該津波が敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。

【参考文献】

- ・阿部勝征(1989)：地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測，東京大学地震研究所彙報，Vol. 64，pp. 51-69
- ・国土交通省・内閣府・文部科学省（2014）：日本海における大規模地震に関する調査検討会，最終報告書（H26. 9）

表1 地震及び津波の最大荷重継続時間と発生頻度

荷重の種類	最大荷重 継続時間 (年)	発生頻度 (/年)
地震 (基準地震動)	10^{-5}※1	$5 \times 10^{-4} \text{※3}$
津波 (基準津波)	$2.3 \times 10^{-4} \text{※2}$	$10^{-4} \sim 10^{-5} \text{※4}$

※1 $10^{-5} = 5 \text{分} / (365 \text{日} \times 24 \text{時間} \times 60 \text{分})$ として算出

※2 $2.3 \times 10^{-4} = 120 \text{分} / (365 \text{日} \times 24 \text{時間} \times 60 \text{分})$ として算出
(別紙2参照)

※3 JEAG4601に記載されている基準地震動 S_2 の発生確率を読み替えて適用

※4 ハザード評価結果

(基準津波の最大荷重継続時間内に余震以外のその他の地震が発生する頻度)

基準津波の 発生頻度		基準津波の 最大荷重継続時間		余震以外のその他の地震の 発生頻度 (想定)
$10^{-4} / \text{年}$	×	$2.3 \times 10^{-4} \text{年}$	×	$1 / \text{年}$
$= 2.3 \times 10^{-8} / \text{年}$				

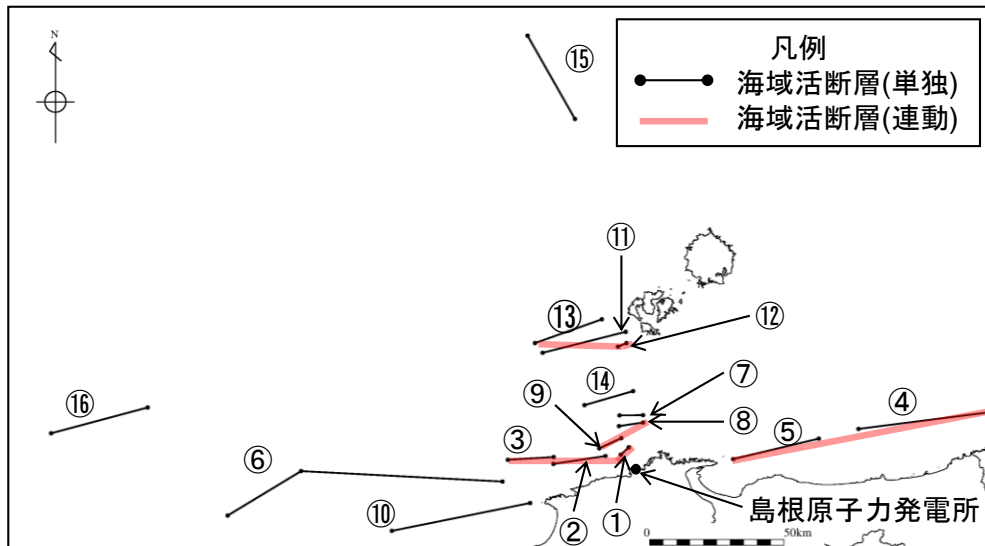


図1 敷地周辺海域の主な活断層の分布

表2 阿部(1989)の予測式に基づく敷地周辺海域の
主な活断層による津波の予測高^{※1}

No.	断層(図1の番号) ^{※2}	断層長さ L(km)	津波の 伝播距離 Δ(km)	Mw	予測高 H(m)
1	F-Ⅲ~F-V断層 (①+②+③) [基準津波の波源の断層]	48.0	24	7.3	3.6
2	鳥取沖東部断層~ 鳥取沖西部断層(④+⑤)	98	84	7.7	2.7
3	F57断層(⑥)	108	103	7.7	2.2
4	K-4~K-7撓曲 (⑦+⑧+⑨)	19.0	12.9	6.7	1.8
5	大田沖断層(⑩)	53	67	7.3	1.4
6	K-1撓曲+K-2撓曲 +F _{K0} 断層(⑪+⑫+⑬)	36	50	7.1	1.2
7	F _{k-1} 断層(⑭)	19.0	28.4	6.7	0.8
8	隠岐北西方北部断層(⑮)	36	149	7.1	0.4
9	見島北方沖西部断層(⑯)	38	201	7.1	0.3

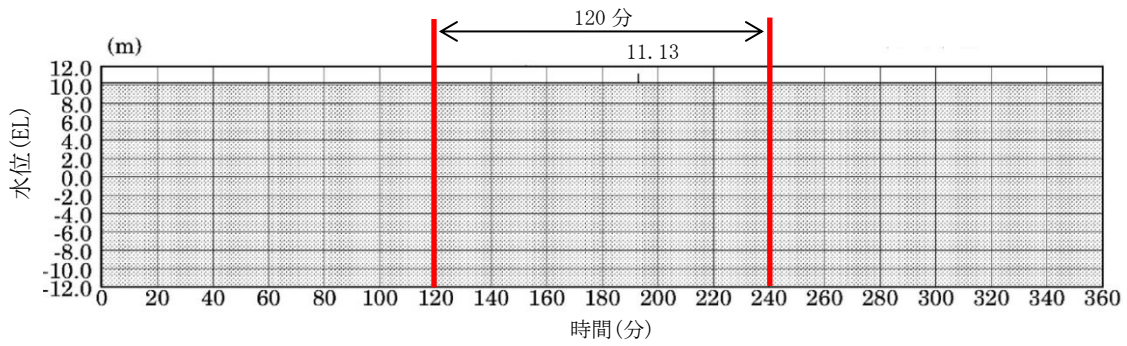
※1 数値は、第771回審査会合資料1-2 44頁から引用

※2 日本海の九州から北海道までの津波波源のうち、日本海東縁部の断層以外で国土交通省・内閣府・文部科学省(2014)により島根県に与える影響が大きいとされている断層(上表のNo.1~3)及びその他の敷地周辺海域の活断層(上表のNo.4~9)について評価

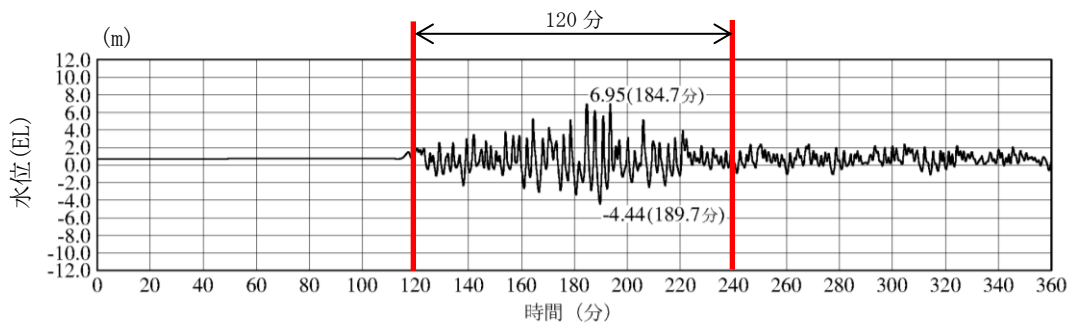
基準津波の最大荷重継続時間について

「1.6 設計または評価に用いる入力津波」において確認している、各施設に対する入力津波の時刻歴波形を図1に示す。なお、「海域活断層から想定される地震による基準津波4」は、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」と比べ、その津波の継続時間が短いことから、「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の時刻歴波形のうち、各施設に対して最も水位が高くなる入力津波の時刻歴波形を示している。

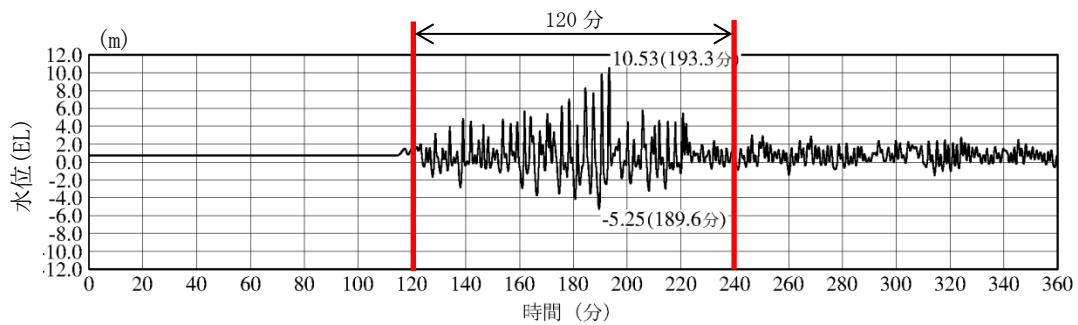
図1のとおり、入力津波が最大水位となるのは短時間であることから、津波による最大荷重継続時間も短時間となる。ただし、最大ではないものの比較的高い水位が発生していることから、高い水位が発生する範囲を余裕を持って包含する時間として、津波の最大荷重継続時間を120分と設定している。



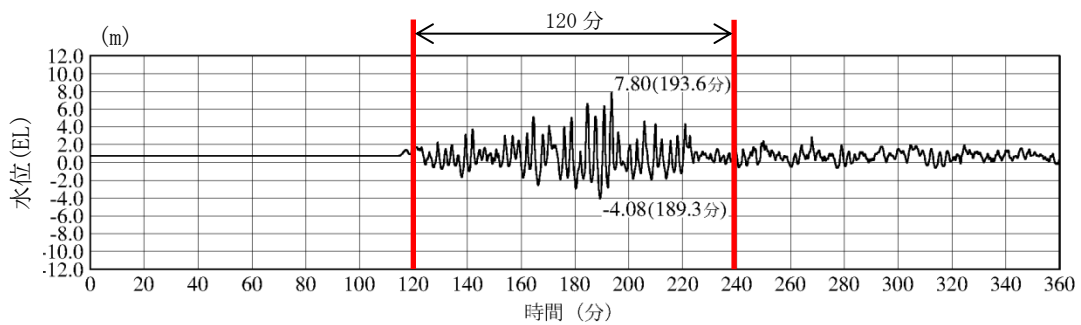
※最大水位上昇量 11.13m+朔望平均満潮位 0.58m+潮位のばらつき 0.14m \div EL+11.9m
 施設護岸又は防波壁 (入力津波 1, 防波堤無し)



1号炉取水槽 (入力津波 1, 防波堤無し)

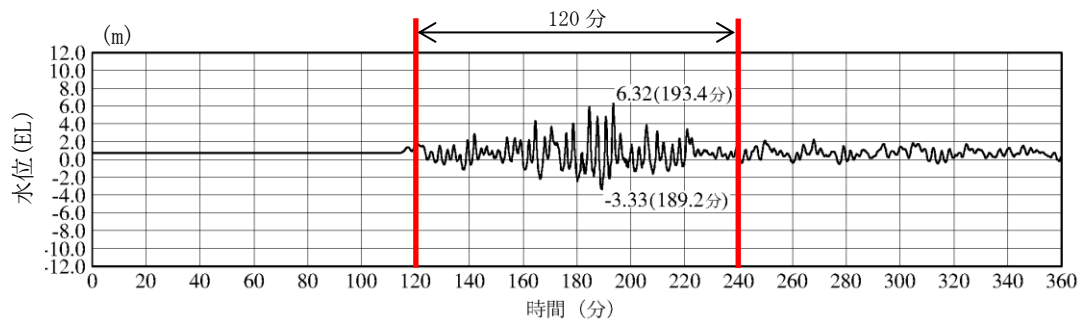


2号炉取水槽 (入力津波 1, 防波堤無し)

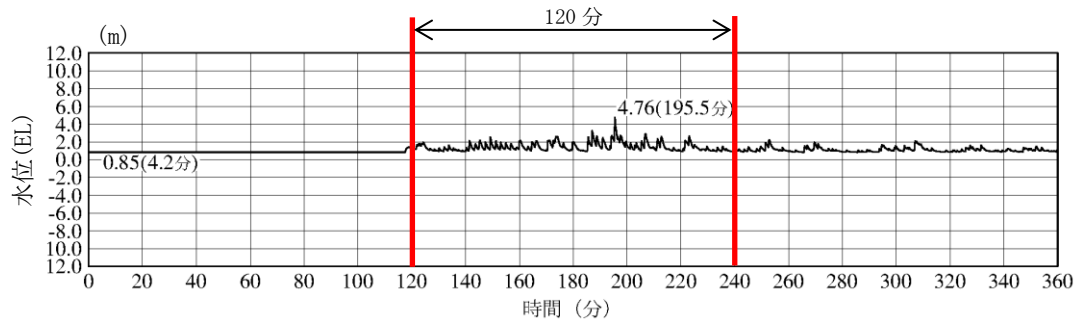


3号炉取水槽 (入力津波 1, 防波堤無し)

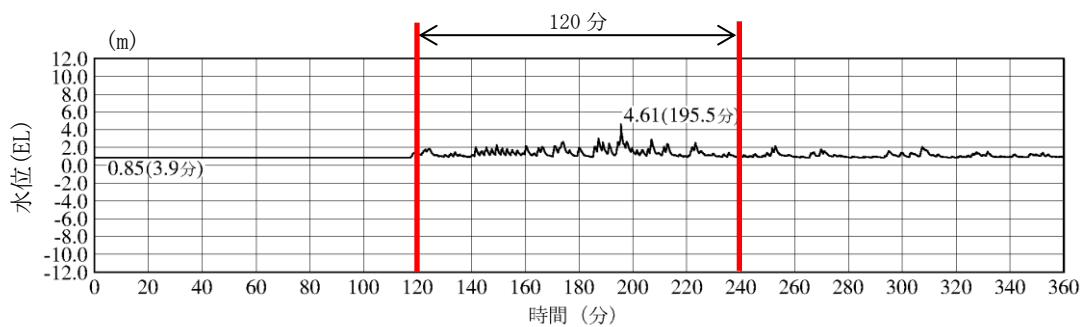
図1 入力津波の時刻歴波形 (日本海東縁部) (1 / 4)



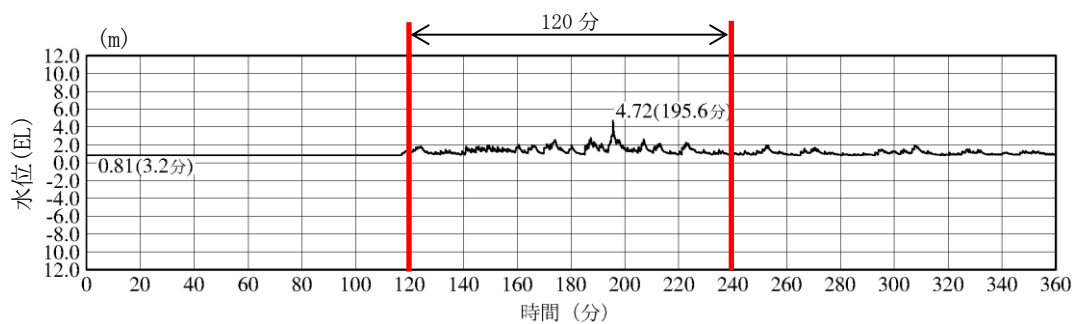
3号炉取水路点検口 (入力津波 1, 防波堤無し)



1号炉放水槽 (入力津波 1, 防波堤有り)

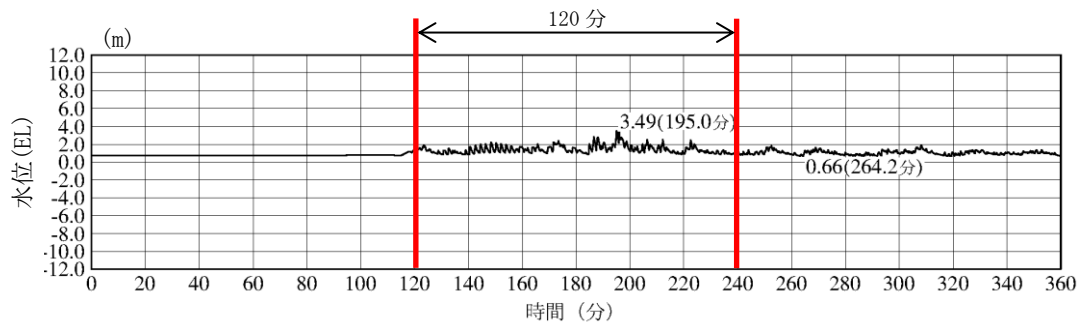


1号炉冷却水排水槽 (入力津波 1, 防波堤有り)

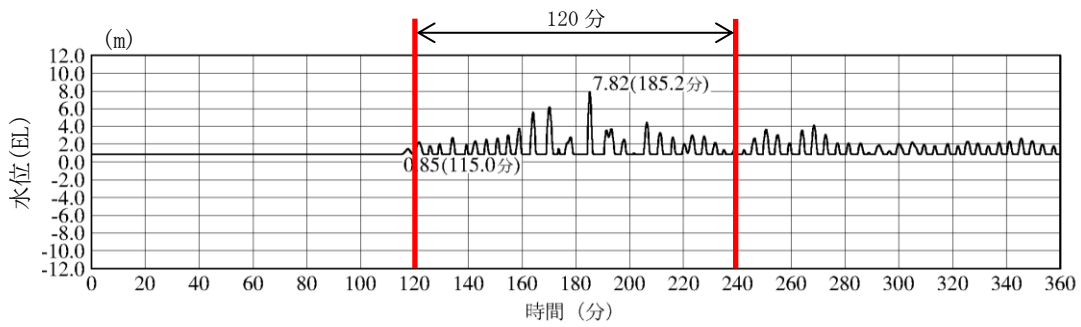


1号炉マンホール (入力津波 1, 防波堤有り)

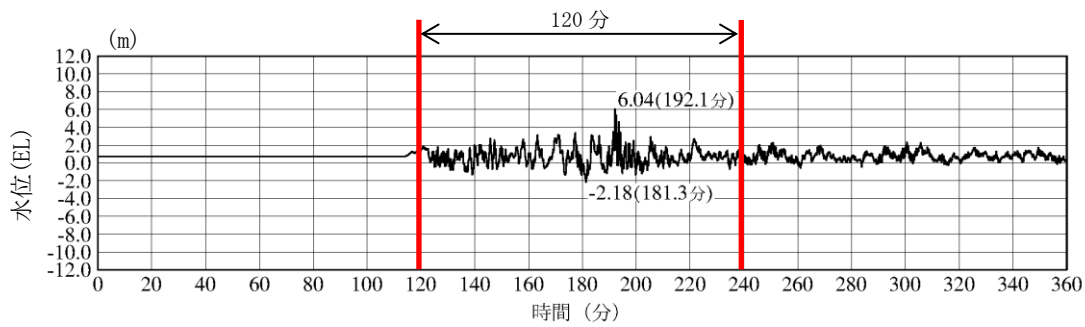
図1 入力津波の時刻歴波形 (日本海東縁部) (2 / 4)



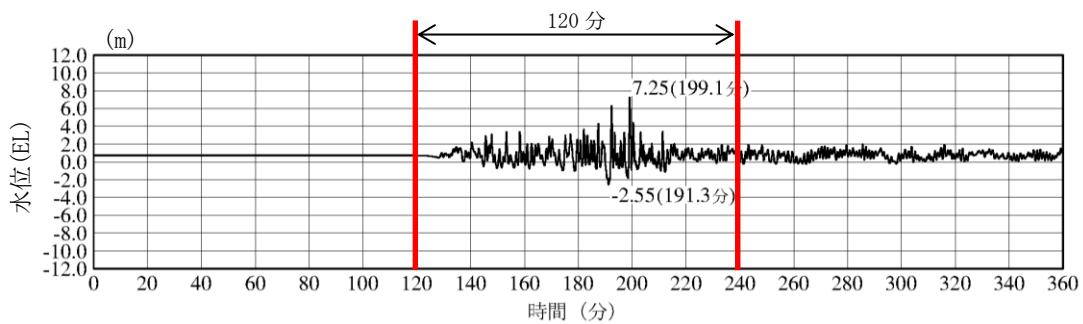
1号炉放水接合槽 (入力津波 1, 防波堤有り)



2号炉放水槽 (入力津波 1, 防波堤有り)

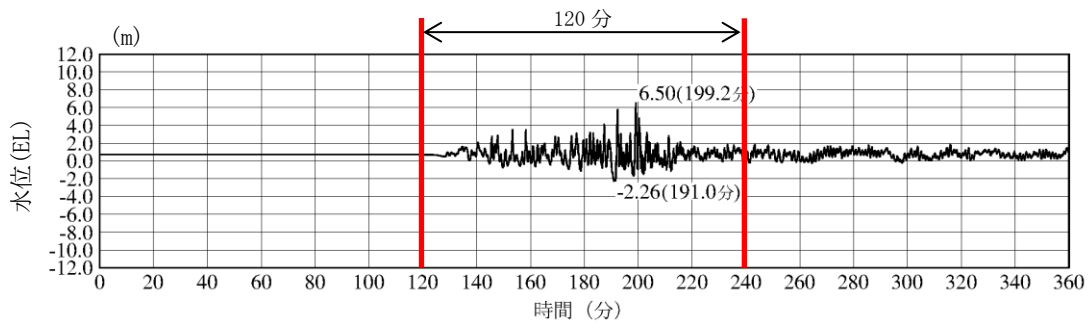


2号炉放水接合槽 (入力津波 1, 防波堤無し)



3号炉放水槽 (入力津波 5, 防波堤無し)

図1 入力津波の時刻歴波形 (日本海東縁部) (3 / 4)



3号炉放水接合槽 (入力津波5, 防波堤無し)

図1 入力津波の時刻歴波形 (日本海東縁部) (4 / 4)

防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について

目次

1. 概要
2. 津波防護対象施設
3. 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項
4. 防波壁設計に関する基本条件
 4. 1 防波壁の概要
 4. 2 防波壁（共通）の設計フロー
 4. 3 基準地震動
 4. 4 防波壁高さ及び設計に用いる津波高さ
 4. 5 検討ケース及び荷重の組合せ
 4. 6 重畳時（津波＋余震時）の評価
 4. 7 解析用物性値
5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針
 5. 1 構造概要
 5. 2 規制における要求機能
 5. 3 周辺地質
 5. 4 設計方針
 5. 5 個別論点
6. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設計方針
 6. 1 構造概要
 6. 2 規制における要求機能
 6. 3 周辺地質
 6. 4 設計方針
 6. 5 個別論点
7. 防波壁（波返重力擁壁）の設計方針
 7. 1 構造概要
 7. 2 規制における要求機能
 7. 3 周辺地質
 7. 4 設計方針
 7. 5 個別論点
8. その他の構造概要
 8. 1 止水目地
 8. 2 防波壁通路防波扉
 8. 3 1号放水連絡通路防波扉
9. 設置許可段階における確認項目及び構造成立性評価
 9. 1 設置許可段階における確認項目

- 9. 2 構造成立性評価の方針
- 9. 3 設置許可段階での提示内容
- 9. 4 地下水位の設定方針
- 9. 5 解析用物性値
- 10. 防波壁の構造成立性評価結果
 - 10. 1 構造成立性評価の基本方針
 - 10. 2 構造成立性評価断面の選定
 - 10. 3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造成立性検討
 - 10. 4 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造成立性検討
 - 10. 5 防波壁（波返重力擁壁）の構造成立性検討
 - 10. 6 止水性に係る検討結果（2次元浸透流解析）
 - 10. 7 まとめ

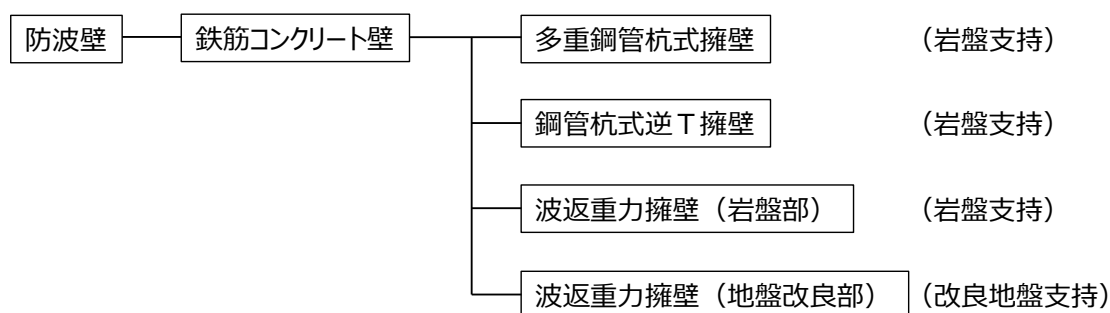
1. 概要

津波防護施設として防波壁に求められる要求機能は、繰り返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造全体として変形能力について十分な余裕を有することである。

上記の機能を確保するための性能目標は、基準津波による遡上波に対し余裕を考慮した防波壁高さを確保するとともに、構造体の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対し止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。

島根原子力発電所においては、入力津波に対して、高さ EL. +15m の防波壁を設置し、地震時の変位や変形を考慮しても十分な余裕を確保した防波壁高さとなっている。

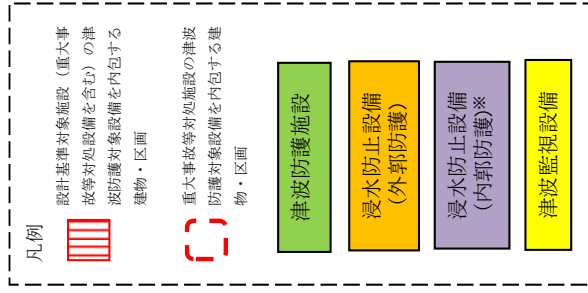
防波壁の構造型式は、鉄筋コンクリート壁であり、さらに多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆 T 擁壁、波返重力擁壁（岩盤部）、波返重力擁壁（地盤改良部）に分類される。



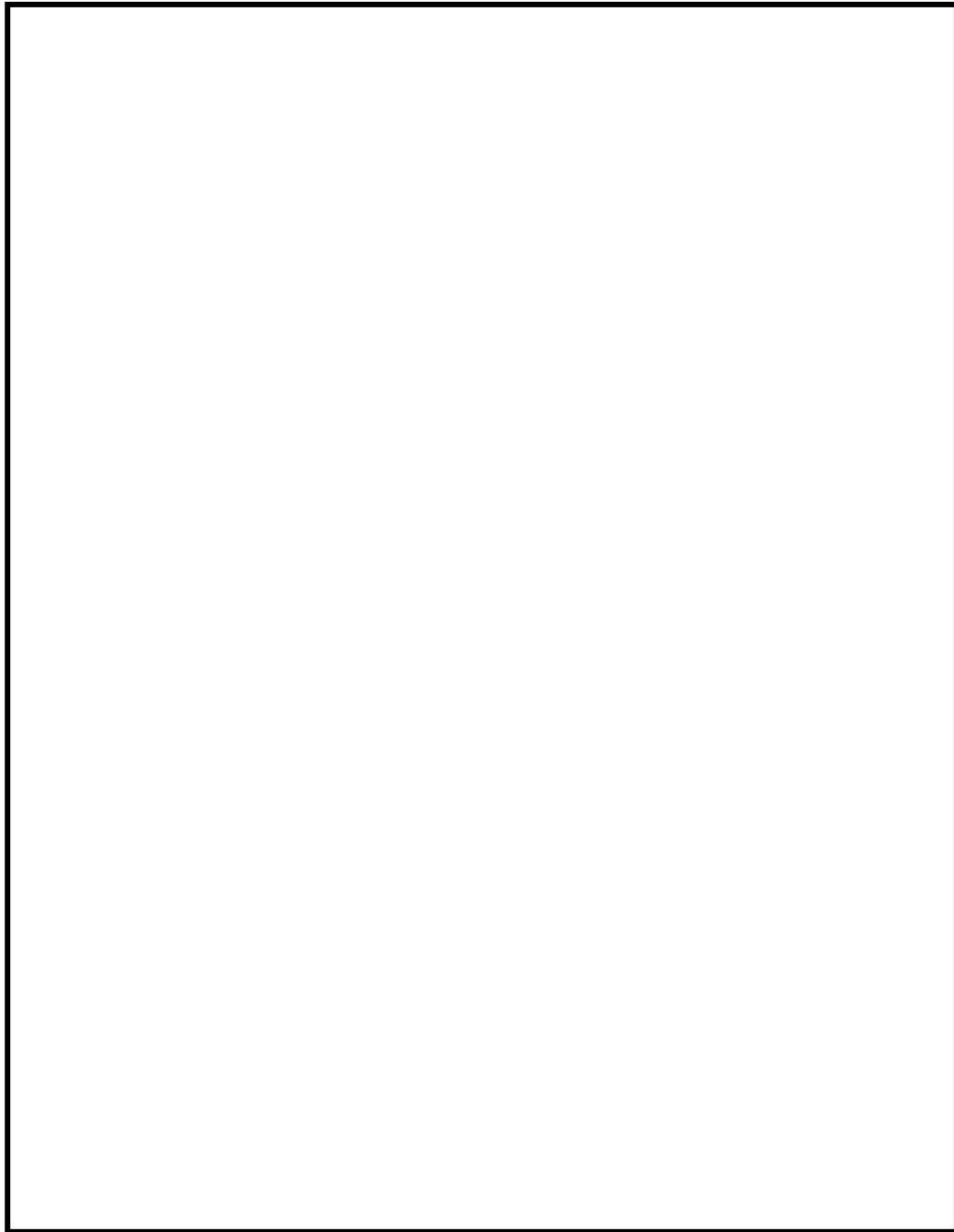
防波壁は、地震後及び津波後の再使用性と津波の繰り返し作用を考慮し、構造物全体の変形能力に対して十分な裕度を有するよう設計する。設計においては、地盤の液状化の影響を考慮する。また、津波の検討においては地震による影響を考慮したうえで評価する。

2. 津波防護対象施設

設置許可基準規則 5 条及び 40 条の対象となる浸水防止設備及び津波監視設備を第 2-1 図に示す。



※ 基準地震動Ssによる地震力に対してパワングラリ機能保持のみを要求する機器・配置を除く



第 2-1 図 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の平面配置

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

3. 防波壁に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項

防波壁に関する「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下、設置許可基準規則という。）の条文と、各条文（第3条、第4条、第5条）に対する確認事項をの第3-1表のとおり整理した。

以下の事項を確認することにより、防波壁の各条文への適合性を確認する。

第3-1表 各条文（第3条、第4条、第5条）に対する確認事項

設置許可基準規則	各条文に対する確認事項	本資料の説明範囲
第3条 設計基準対象施設の地盤		
設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有すること 基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていること 	○ － (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)
2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み 液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮しても、施設の安全機能が損なわれるおそれがないこと 	－ (基礎地盤の安定性評価にて説明予定) ○
3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤にずれが生じないこと 	－ (敷地の地質・地質構造にて説明済み)
第4条 地震による損傷の防止		
3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、構造全体としての変形能力について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能を保持すること 	○

設置許可基準規則	各条文に対する確認事項	本資料の説明範囲
第5条 津波による損傷の防止		
設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させないこと スクラスに属する設備が基準津波による遡上波が到達する高さにある場合には、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置すること 遡上波の到達防止に当たっては、敷地及び敷地周辺の地形及びその標高、河川等の存在並びに地震による広域的な隆起・沈降を考慮して、遡上波の回り込みを含め敷地への遡上の可能性を検討すること 地震による変位又は繰り返し襲来する津波による洗掘・堆積により地形又は河川流路の変化等が考えられる場合は、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討すること 入力津波に対して津波防護機能を保持できること 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による浸食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能を十分に保持できるように設計すること 津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物及び設置物等が破損、倒壊及び漂流する可能性がある場合には、防潮堤等の津波防護施設に波及的影響を及ぼさないよう、漂流防止装置又は津波防護施設への影響の防止措置を施すこと 耐津波設計上の十分な余裕を含めるため、各施設・設備の機能損傷モードに対応した荷重（浸水高、波力・波圧、洗掘力及び波力等）について、入力津波から十分な余裕を考慮して設定すること 余震の発生の可能性を検討した上で、必要に応じて余震による荷重と入力津波による荷重との組合せを考慮すること 入力津波の時刻歴波形に基づき、津波の繰り返しの襲来による作用が津波防護機能へ及ぼす影響について検討すること 地震による敷地の隆起・沈降、地震（本震及び余震）による影響、津波の繰り返しの襲来による影響及び津波による二次的な影響（洗掘、砂移動及び漂流物等）を考慮すること 津波防護施設の設計に当たっては、入力津波による水位変動に対して朔望平均潮位を考慮して安全側の評価を実施すること。なお、その他の要因による潮位変動についても適切に評価し考慮すること。また、地震により陸域の隆起又は沈降が想定される場合、想定される地震の震源モデルから算定される、敷地の地殻変動量を考慮して安全側の評価を実施すること 	○ － (耐津波設計方針にて説明予定) ○ ○ ○

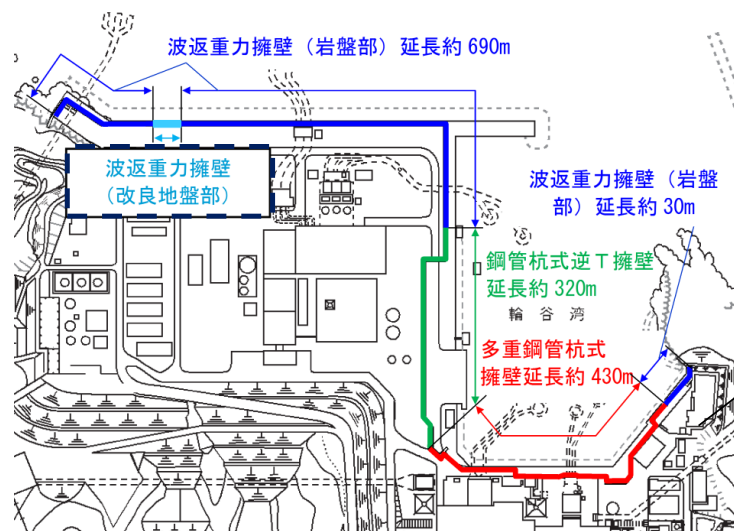
4. 防波壁設計に関する基本条件

4.1 防波壁の概要

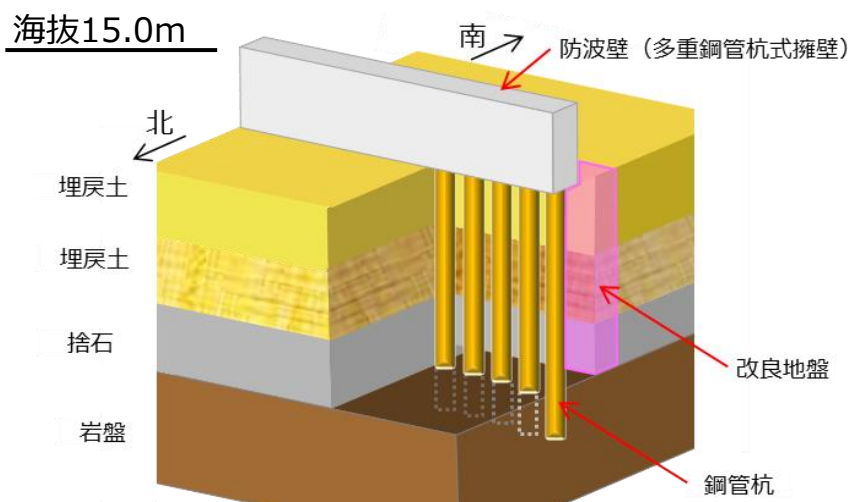
4.1.1 防波壁の構造形式

防波壁の構造形式は、鉄筋コンクリート壁であり、さらに多重鋼管杭式擁壁、鋼管杭式逆T擁壁及び波返重力擁壁に分類される。なお、波返重力擁壁は、改良地盤部と岩盤支持に分類される（第4-1図、第4-2図参照）。

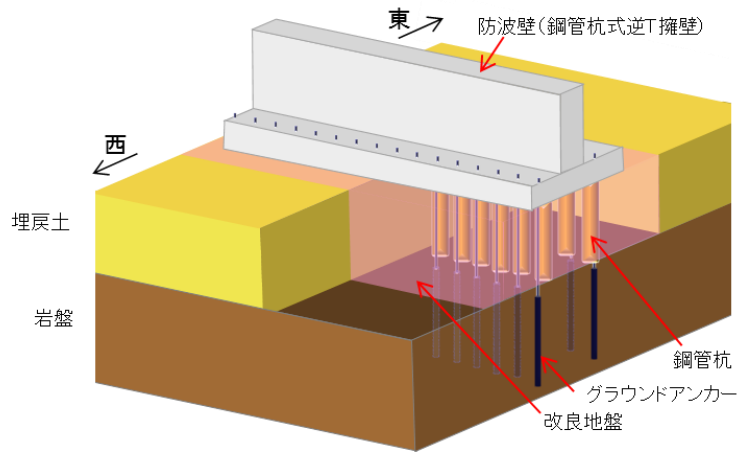
防波壁は津波荷重や地震荷重に対して、端部も含めて津波防護機能を十分に保持出来るようにする。また、目地部について適切に止水対策を実施する。



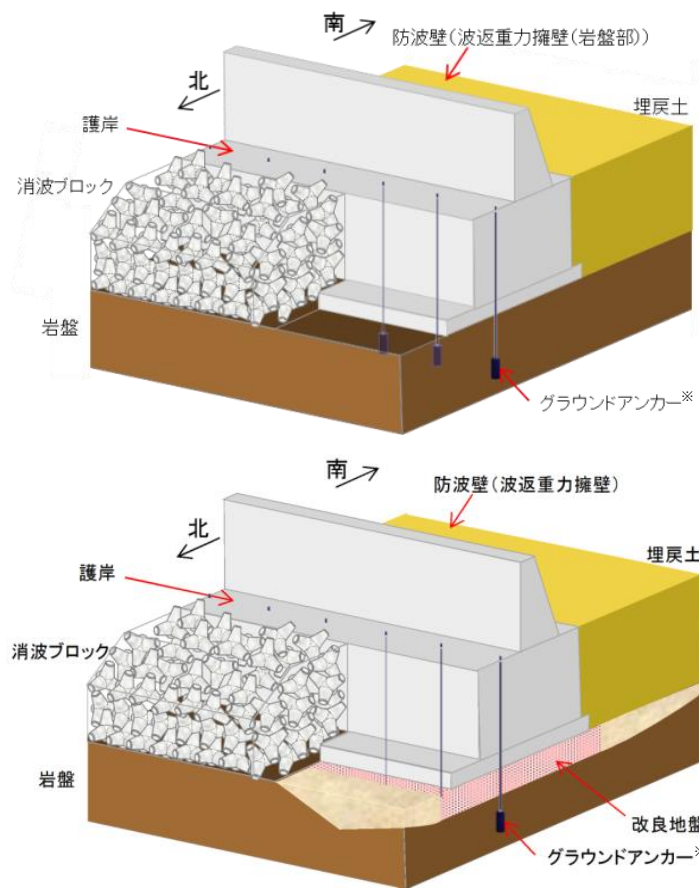
第4-1図 防波壁の平面図



第4-2(1)図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（岩盤支持）の評価対象部位



第 4-2(2) 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）（岩盤支持）の評価対象部位



※ 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカーの効果も期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

第 4-2(3) 図 防波壁（波返重力擁壁）の評価対象部位

4.1.2 防波壁の構造選定

多重鋼管杭式擁壁の構造選定

- ・ 1, 2号炉北側の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 1, 2号炉北側の施設護岸と発電所施設は近接し, 狹隘である。
- ・ 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約 EL. -14.5mである。
- ・ 敷地の制約と岩盤深さを考慮し, 鋼管杭による杭基礎構造を選定し, 設計した。なお, 上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため, 大口径の鋼管杭を多重化した。
- ・ 上部工は下部から連続する鋼管杭(最内管)を被覆する鉄筋コンクリート造とした。

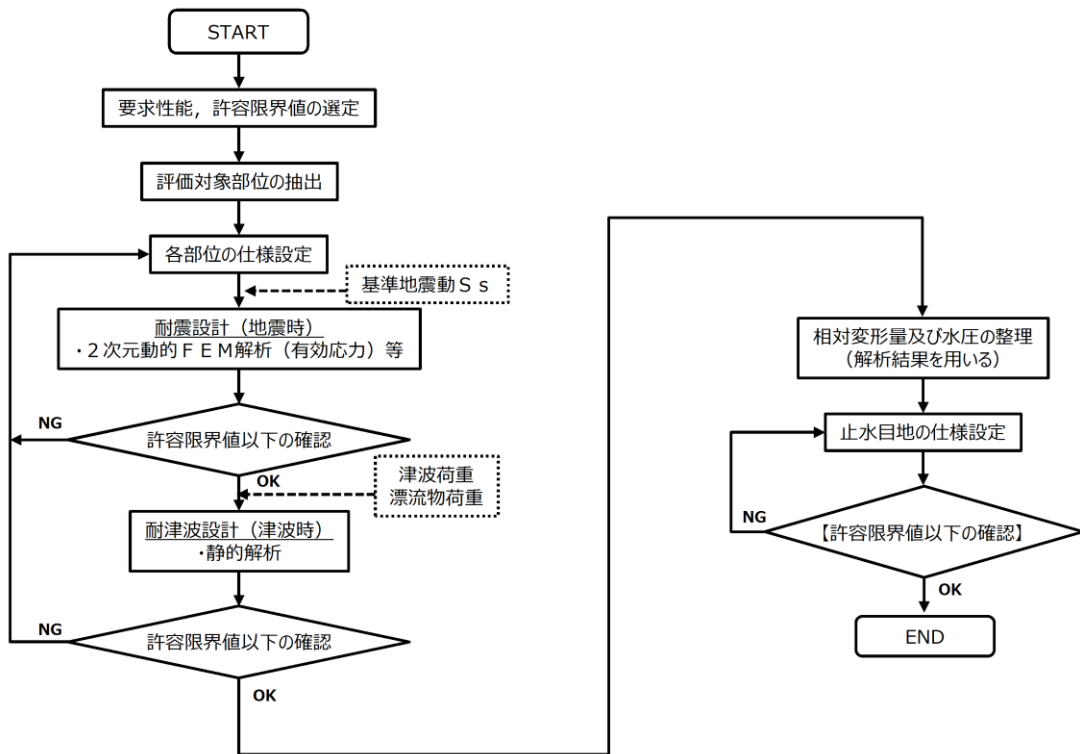
鋼管杭式逆T擁壁の構造選定

- ・ 3号炉東側の一部の施設護岸は基礎捨石上に設置しており, 3号炉東側の施設護岸と発電所施設は十分な離隔距離がある。
- ・ 基礎を支持する岩盤の深さは, 最深約 EL. -10.0mである。
- ・ 岩盤深さを考慮し, 埋戻土(掘削ズリ)に対して地盤改良を実施する設計とした。
- ・ 上部工は安定性を考慮し, 逆T構造の鉄筋コンクリート造とした。

波返重力擁壁の構造選定

- ・ 3号炉北側の施設護岸は改良地盤又は岩盤に直接設置している。
- ・ 岩着構造の施設護岸を基礎とした直接基礎構造を選定し, 設計した。
- ・ 上部工は安定性を考慮し, 重力擁壁構造の鉄筋コンクリート造とした。

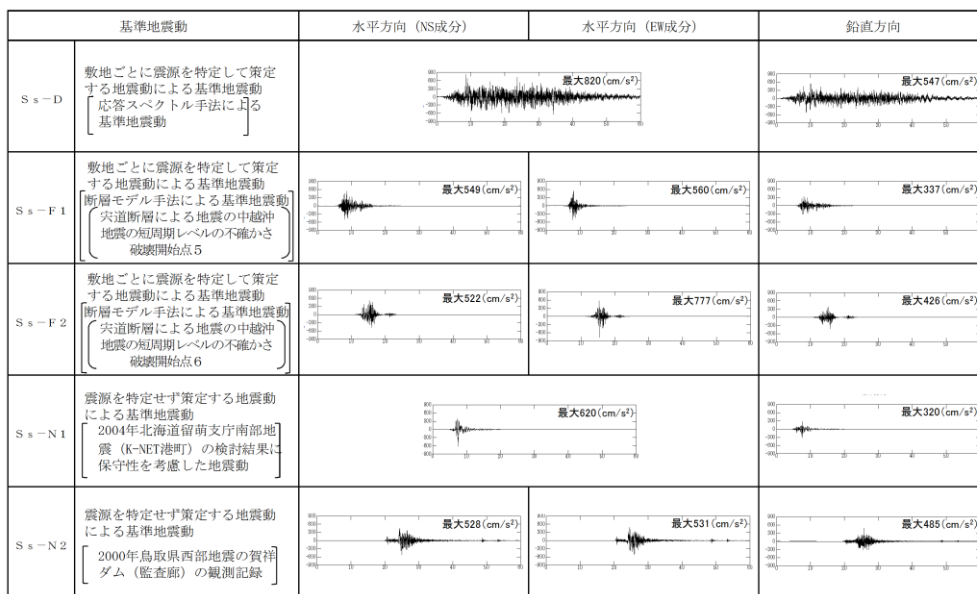
4.2 防波壁（共通）の設計フロー
防波壁の設計フローを以下に示す。



第 4-3 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計フロー

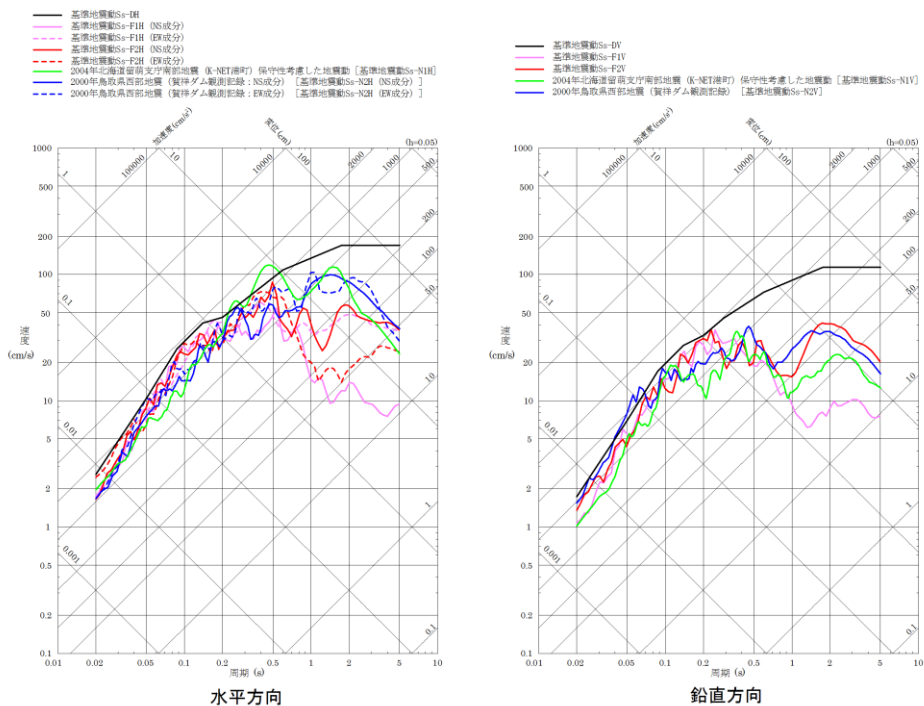
4.3 基準地震動

構造成立性評価断面（地点）における基準地震動5波の応答結果から、構造成立性評価地震波を選定する。基準地震動 S_s の時刻歴波形及び応答スペクトルを第4-4 図及び第4-5 図に示す。



※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形〔縦軸：加速度（cm/s²），横軸：時間（s）〕

第4-4 図 基準地震動 S_s の時刻歴波形



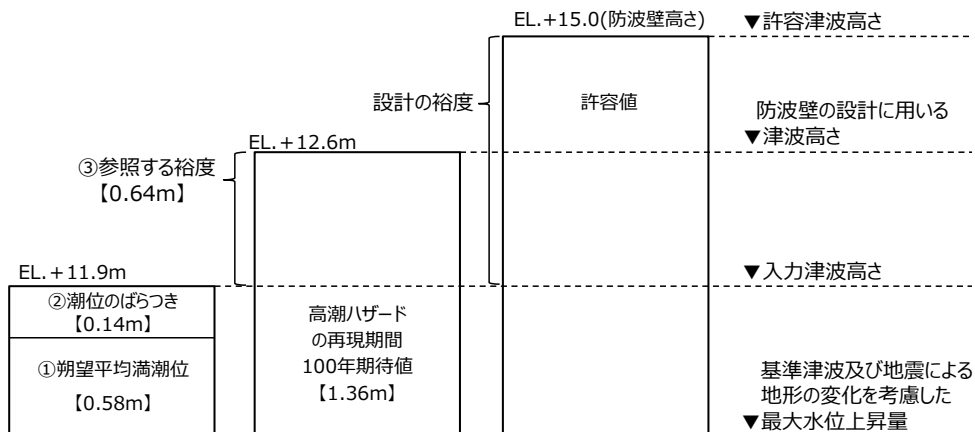
第4-5 図 基準地震動 S_s の応答スペクトル

4.4 防波壁高さ及び設計に用いる津波高さ

防波壁は，設計に用いる津波高さ（入力津波高さ）に対して余裕を持った高さを設定している。設計に用いる津波高さと防波壁高さの関係を第 4-1 表に，設計裕度のイメージを第 4-6 図に示す。

第 4-1 表 設計に用いる津波高さと防波壁高さの関係

設計に用いる津波高さ (高潮ハザードの裕度を参照)	EL.+12.6m
防波壁高さ	EL.+15.0m
設計裕度	2.4m



第 4-6 図 防波壁設計裕度のイメージ

4.5 検討ケース及び荷重の組合せ

防波壁の検討ケースは、荷重の組合せを考慮し、以下のケースを実施する。防波壁は、地震後及び津波後の再使用性と津波の繰返し作用を考慮し、構造物全体の変形能力に対して十分な裕度を有するよう設計する。

なお、津波荷重、漂流物衝突荷重及び荷重の組合せについては、今後、別の論点の審査結果を反映する。

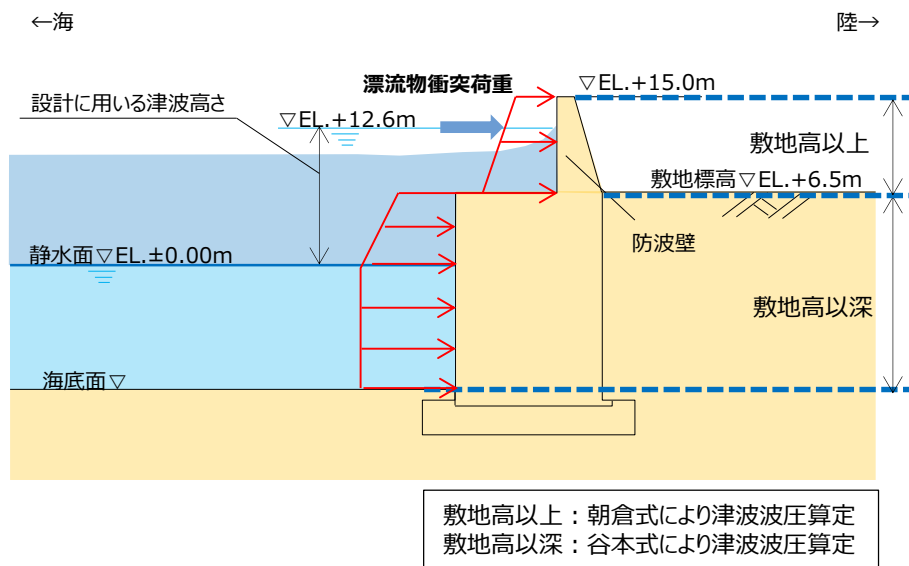
第 4-2 表 荷重の組合せ

検討ケース	荷重の組合せ※
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時	常時荷重 + 津波荷重 + 漂流物衝突荷重 (海域活断層から想定される地震による津波においては入力津波高さ以上の防波壁の部位においても漂流物が衝突するものとして照査を実施する。)
重畳時 (津波 + 余震時)	常時荷重 + 津波荷重 + 余震荷重 (海域活断層から想定される地震による津波が到達する防波壁(波返重力擁壁)のケーソン等については、海域活断層から想定される地震による津波に対する評価を実施する)

※自然現象による荷重(風荷重及び積雪荷重)は設備の設置状況、構造(形状)等の条件を含めて適切に組み合わせを考慮する

第 4-3 表 荷重の内容

荷重	内容
常時荷重	構造物の自重, 土圧,
自然現象による荷重	風荷重, 積雪荷重
地震荷重	基準地震動 S_s を作用させる
余震荷重	弾性設計用地震動 S_d-D による地震動を考慮する
津波荷重	津波荷重(津波波力)を考慮する なお、設計用津波波力について、敷地高以上は朝倉式に基づき算定し、敷地高以深については谷本式に基づき算定する
漂流物衝突荷重	漂流物, 荷重算定式について詳細検討を行ったうえで作用させる

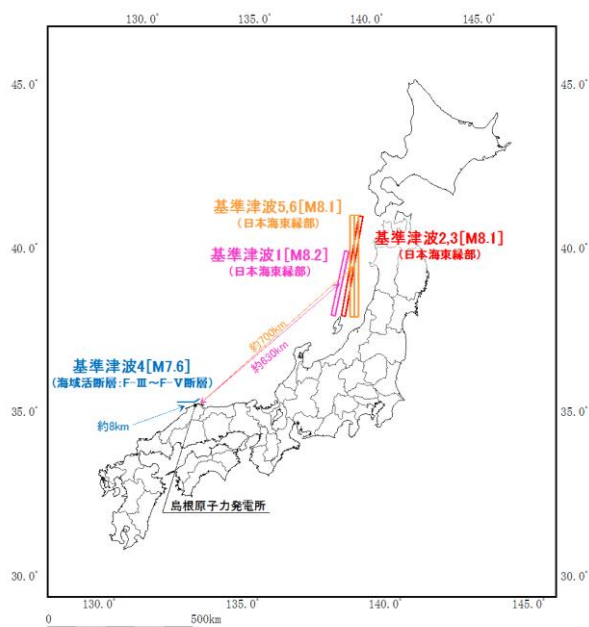


第 4-7 図 津波時の荷重イメージ図（波返重力擁壁）

4.6 重畳時（津波＋余震時）の評価

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある津波及び余震の影響を踏まえ、「津波＋余震時」の検討の要否について以下の通り、検討を行った。「日本海東縁部に想定される地震による基準津波1, 2, 3, 5及び6」の波源位置は、敷地から600km以上の距離にあり、その波源の活動に伴う余震については、敷地への影響が明らかに小さい。

「海域活断層に想定される地震による基準津波4」は、防波壁の敷地の壁体部（被覆コンクリート部等）には到達しないが、到達する部位については個別に評価を実施する。なお、詳細については、荷重の組合せの審査において説明する。



第4-8 図 島根原子力発電所と基準津波の波源



第4-9 図 基準津波4の最大水位上昇量分布

4.7 解析用物性値

防波壁の設計に用いる解析条件（解析用物性値等）の設定方針は、以下のとおりとする。

【施設・地盤の解析用物性値】

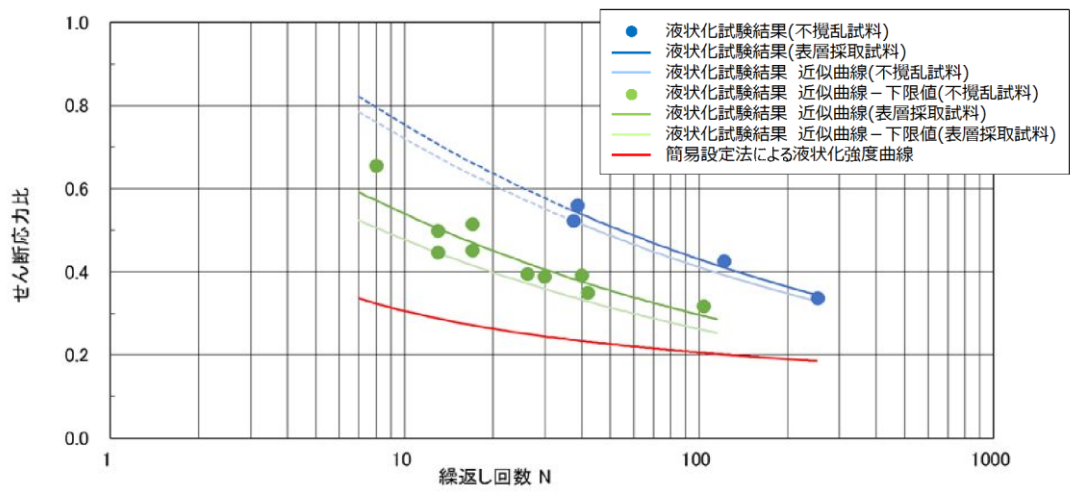
- ・施設の解析用物性値は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（社）土木学会，2002年制定」等に基づき設定する。
- ・地盤の解析用物性値は，原位置試験結果及び室内試験結果に基づき設定することを基本とするが，一部については，港湾基準等に準拠し，妥当性を確認のうえ，慣用値を用いる。

【設計地下水位】

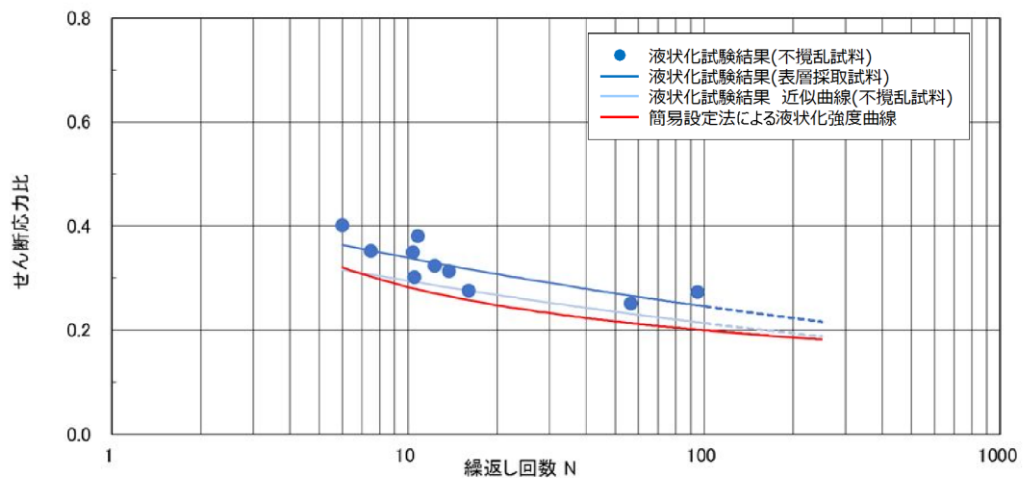
- ・詳細設計段階において，防波壁や改良地盤等をモデル化した浸透流解析を実施し，自然水位より保守的に設定した水位を設計地下水位として設定する。

【液状化強度特性】

- ・液状化評価対象層（埋戻土（掘削ズリ），砂礫層）に対して実施した液状化試験結果に基づく液状化強度特性よりも保守的な有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法により液状化強度特性を設定する。簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較を第4-10 図に示す。



(a) 埋戻土 (掘削ズリ)



(b) 砂礫層

第 4-10 図 簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較

5. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の設計方針

5.1 構造概要

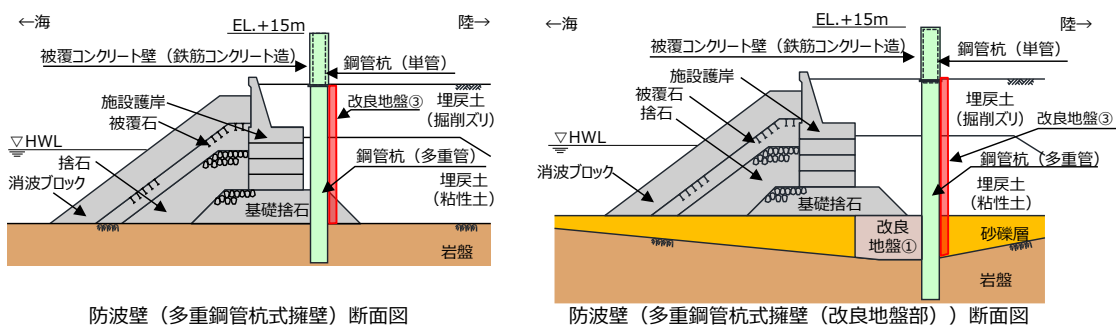
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の断面図を第 5-1 図に、構造概要を第 5-2 図に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、1, 2号炉北側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した（根入れ深さ：5.0m 程度）。

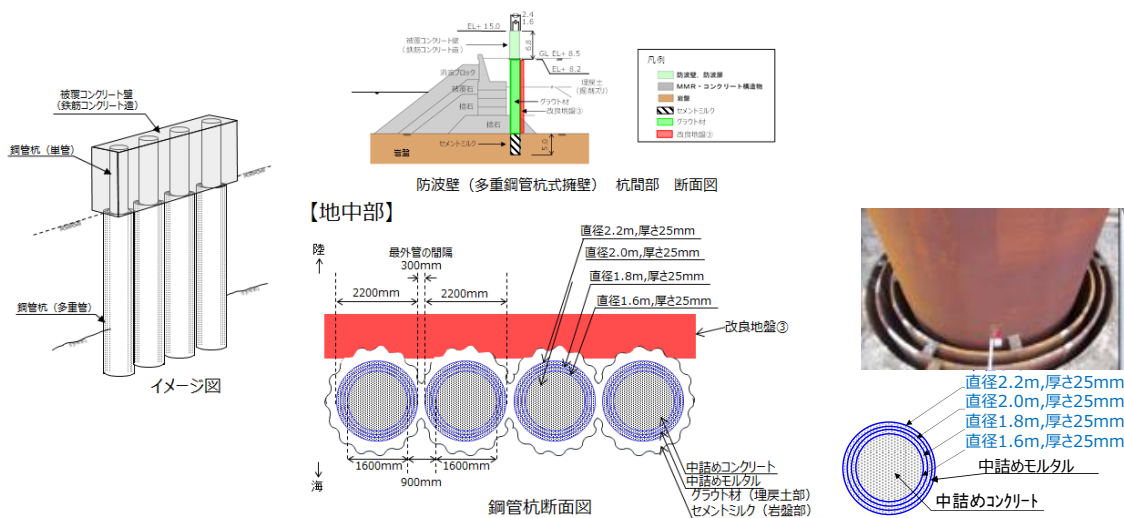
鋼管杭は、コンクリートで中詰めされた大口径管の多重構造を採用している。また、岩盤部では隣り合う多重鋼管杭間にセメントミルクを間詰めし、埋戻土部はグラウト材で間詰めした。

被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成される。鋼管杭 6 本程度を 1 ブロックの標準とした壁体を連続して設置した。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地（8.1 参照）を設置する。

防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。（詳細は 5.5 (4) 参照）



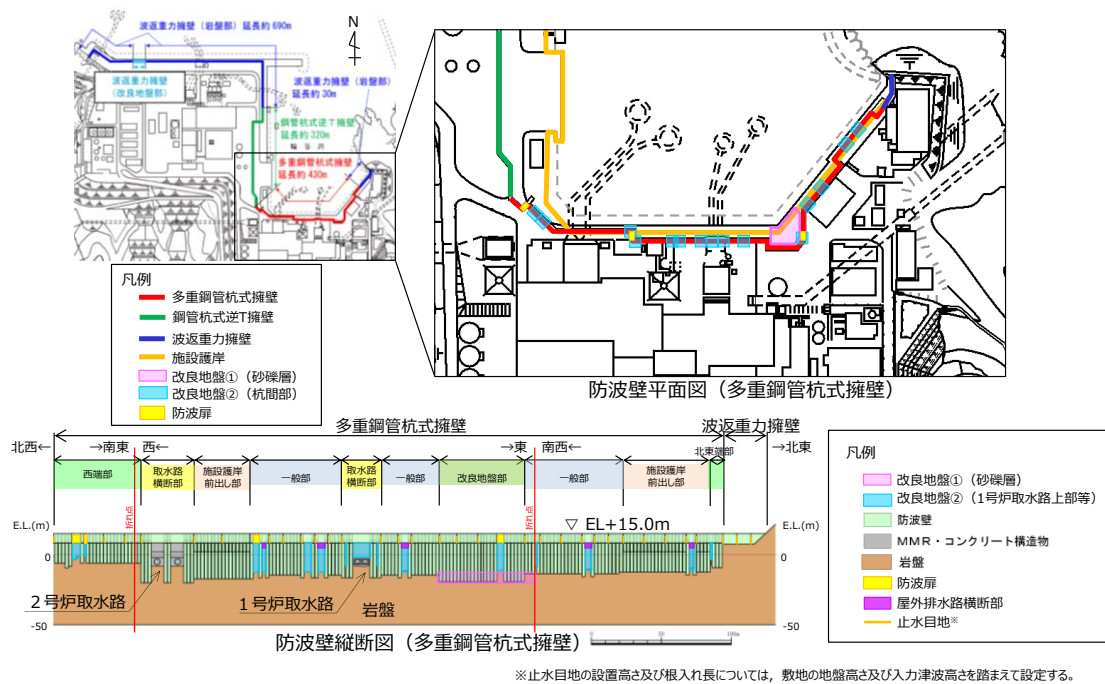
第 5-1 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の断面図



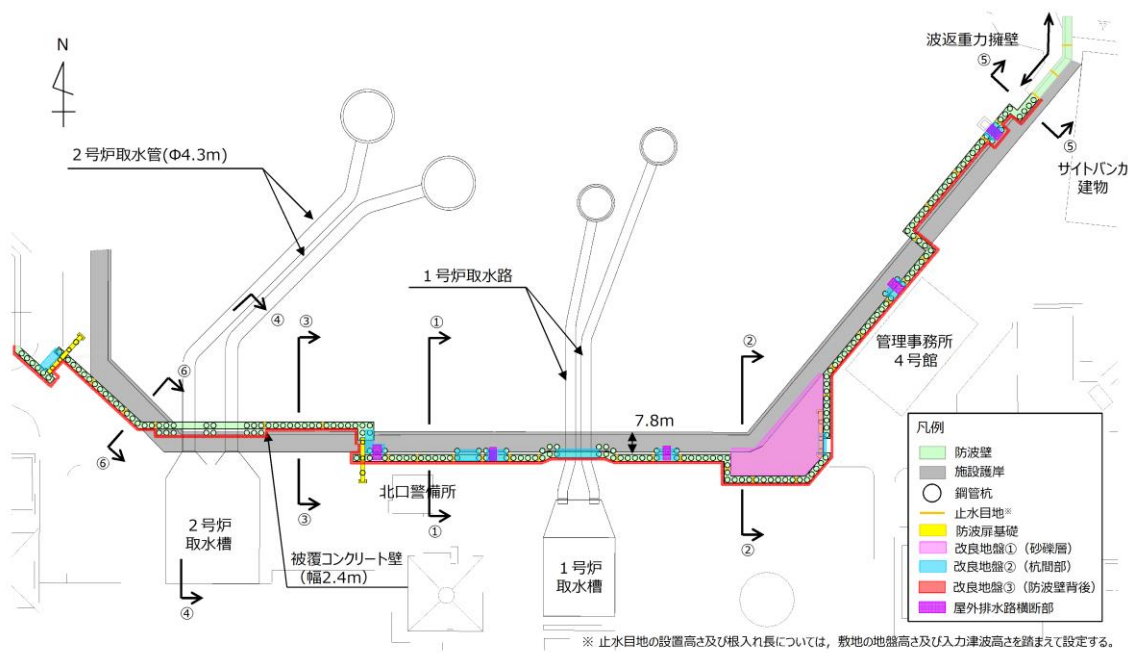
第 5-2 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、1, 2号炉北側全線にわたり多重鋼管杭を連続的に設置した。岩盤上に砂礫層が堆積している範囲において防波壁前面で薬液注入工法（特殊スラグ系固化材）により地盤改良を実施した（改良地盤①）。また、取水路及び屋外排水路設置箇所等で杭間隔が大きい区間については、側方の鋼管杭に支持された上部工が横断する構造としており、横断部の地中については、止水性を保持する観点から薬液注入工法（セメント系固化材）により地盤改良を実施した（改良地盤②）。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断面図を第5-3図に、平面図（止水目地位置含む）を第5-4図に示す。防波壁取水路横断面（④-④断面）南側には2号炉取水槽，北東端部（⑤-⑤断面）東側にはサイトバンカ建物，及びその他の断面近傍には管理事務所4号館などの一般事務建物がそれぞれ隣接している。



第5-3 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断面図



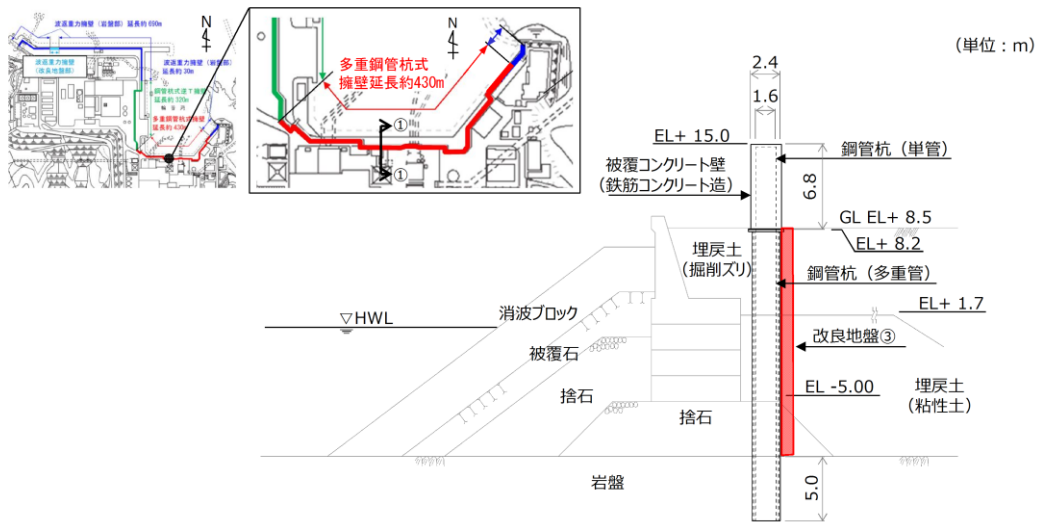
第 5-4 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の平面図

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、一般部、改良地盤部、施設護岸前出し部、取水路横断部、北東端部及び西端部で構成される。特徴は以下のとおり。

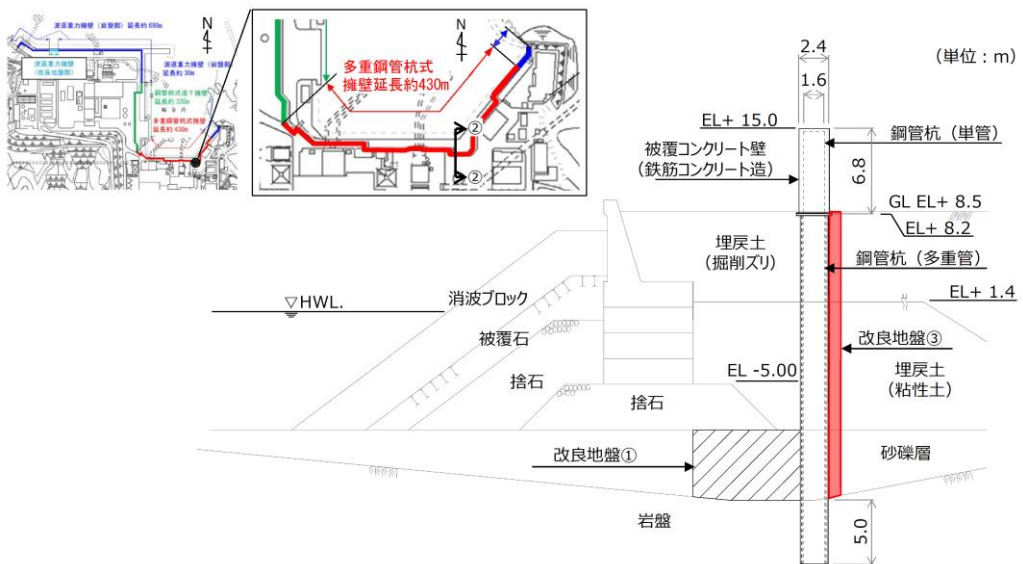
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部（①－①断面）については、施設護岸の南側（陸側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②－②断面）については、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の南東角部に位置し、支持地盤が深く、杭長が最も長い箇所である。周辺の砂礫層（海側）に対しては、薬液注入工法により地盤改良を実施した。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部（③－③断面）については、施設護岸の北側（海側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（④－④断面）については、2号炉取水管（φ4.3m）を横断するため、側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し、杭頭連結材を設置した（杭頭部の構造については5.5(1)参照）。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）北東端部（⑤－⑤断面）については、施設護岸上に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。
- ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）西端部（⑥－⑥断面）については、施設護岸の南西側（陸側）に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が配置される構造となっている。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）一般部の構造を第5-5(1)図に、改良地盤部の構造を第5-5(2)図に、施設護岸前出し部の構造を第5-5(3)図に、取水路横断部の構造を第5-5(4)図に、北東端部の構造を第5-5(5)図に、西端部の構造を第5-5(6)図に示す。また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を構成する各部位の仕様を第5-1表及び第5-6図に示し、評価対象部位及び構造上のバウンダリを第5-2表及び第5-7図に示す。

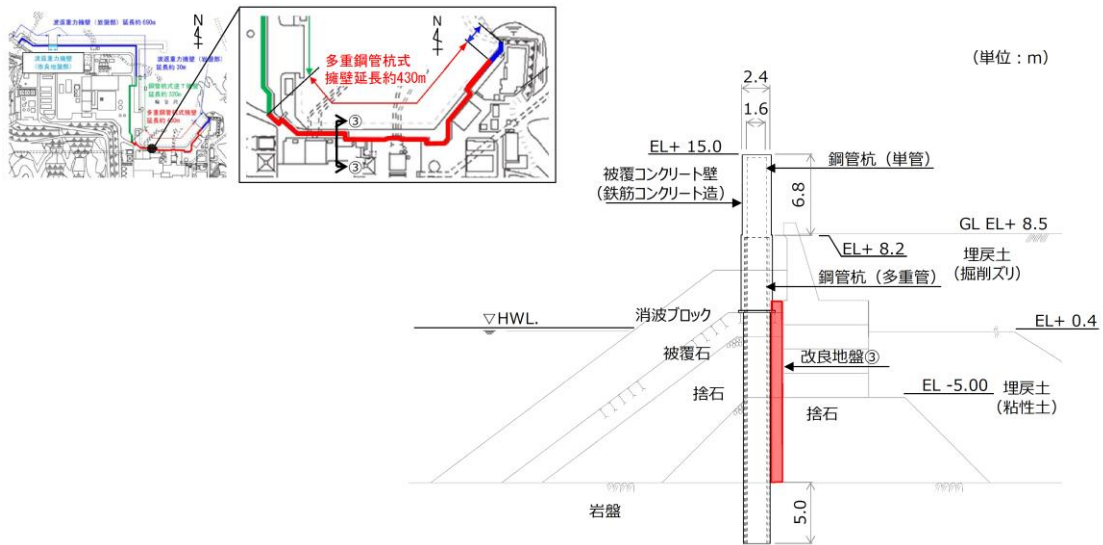
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は被覆コンクリート壁及び止水目地を構造上のバウンダリとする。また、地中部の改良地盤③についても構造上のバウンダリとする。



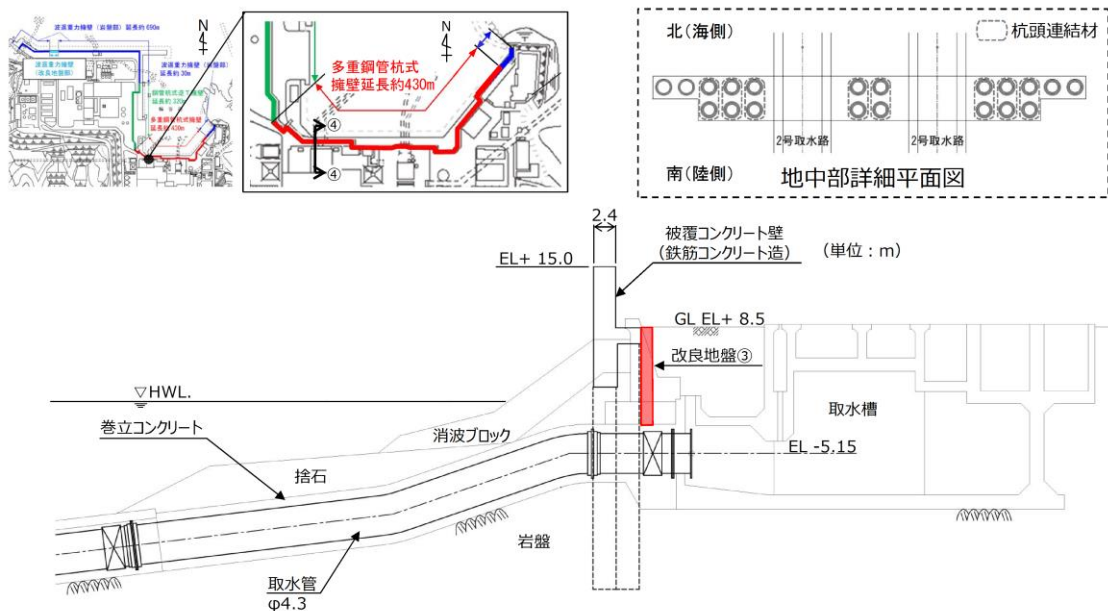
第 5-5(1) 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 一般部 (①-①) 断面図



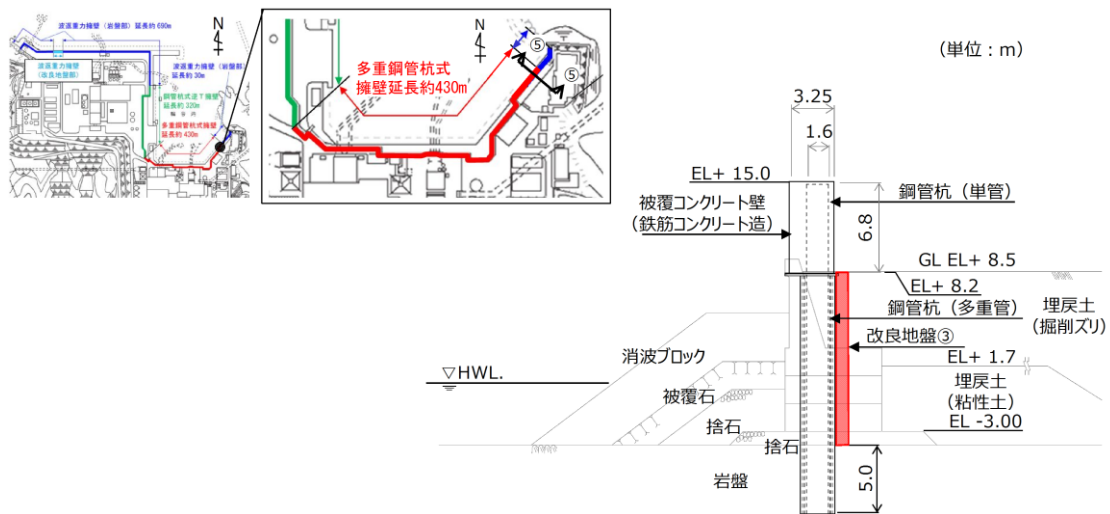
第 5-5(2) 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 改良地盤部 (②-②) 断面図



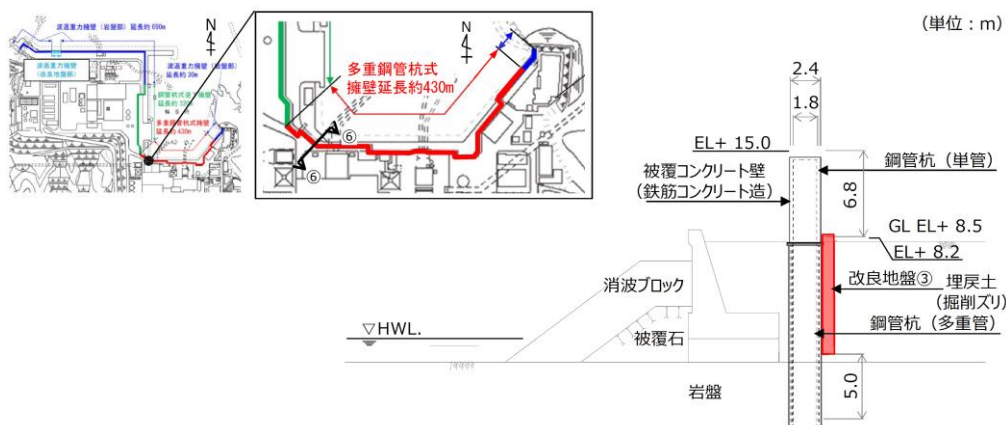
第 5-5(3) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）施設護岸前出し部（③－③）断面図



第 5-5(4) 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（④－④）断面図



第 5-5(5) 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 北東端部 (⑤—⑤断面) 断面図

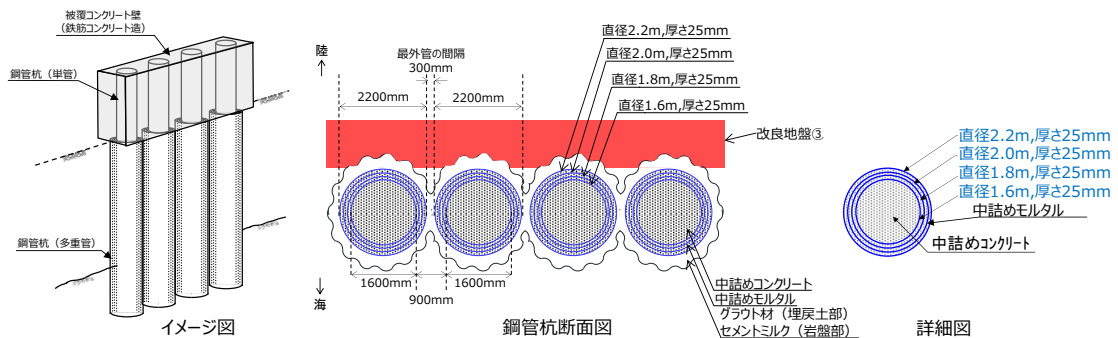
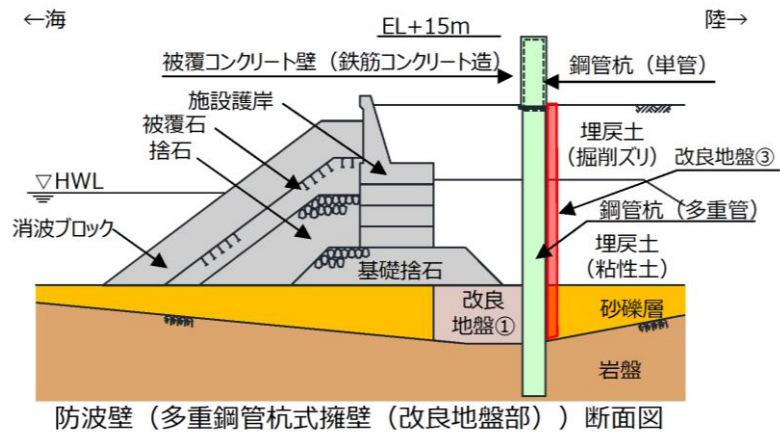


第 5-5(6) 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 西端部 (⑥—⑥断面) 断面図

第5-1 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の仕様

部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	最内管：φ1600mm,t=25mm,SKK490 最内から2番目の管：φ1800mm,t=25mm,SKK490 最内から3番目の管：φ2000mm,t=25mm,SKK490 最外管：φ2200mm,t=25mm,SKK490又はSM490Y 中詰コンクリート (f'ck=18N/mm ²)
被覆コンクリート壁	コンクリート：f'ck=24N/mm ² 鉄筋：SD345
止水目地	ゴムジョイント, シートジョイント：クロロプレンゴム
【地盤】※	
セメントミルク	q _u =9.8N/mm ² 以上
改良地盤①（砂礫層）	薬液注入工法（セメント系固化材, 特殊スラグ系固化材）

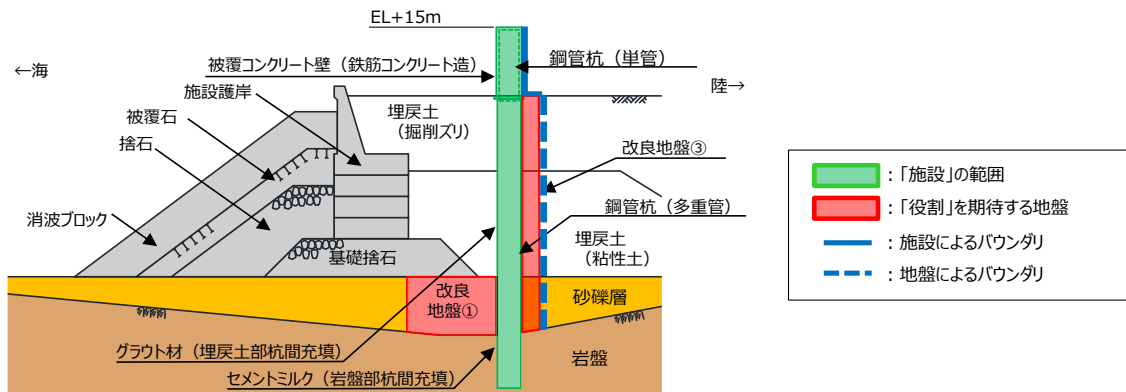
※防波壁の背後に実施する地盤改良（改良地盤③）の仕様は詳細設計段階において説明する。



第5-6 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の仕様

第 5-2 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象部位の役割

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭	被覆コンクリート壁を支持	
被覆コンクリート壁	止水目地を支持，遮水性の保持	
止水目地	被覆コンクリート壁間の遮水性の保持	
セメントミルク	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	
改良地盤①（砂礫層）	鋼管杭の変形を抑制，難透水性の保持	薬液注入工法
改良地盤③（防波壁背後）	難透水性の保持	薬液注入工法（計画）
岩盤	鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持，基礎地盤のすべり安定性に寄与，鋼管杭の変形を抑制	基礎地盤
改良地盤②（1号炉取水路上部等），埋戻土（掘削スリ），埋戻土（粘性土），砂礫層，施設護岸，被覆石，捨石，基礎捨石，消波ブロック，グラウト材	役割に期待しない	



第 5-7 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）（改良地盤部）における構造上のバウンダリ

5.2 規制における要求機能

5.2.1 設置許可基準規則に対する確認事項

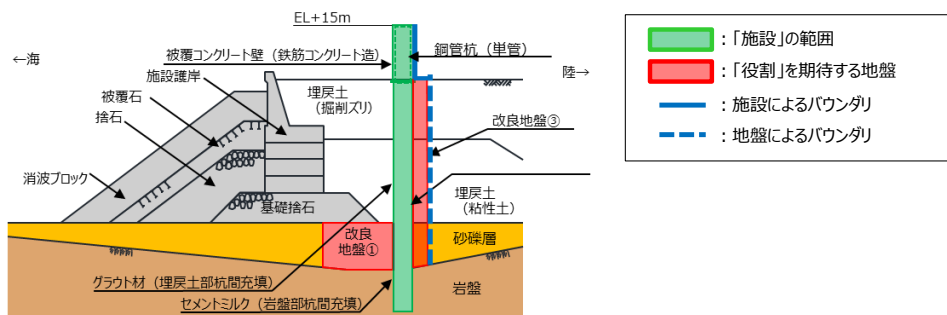
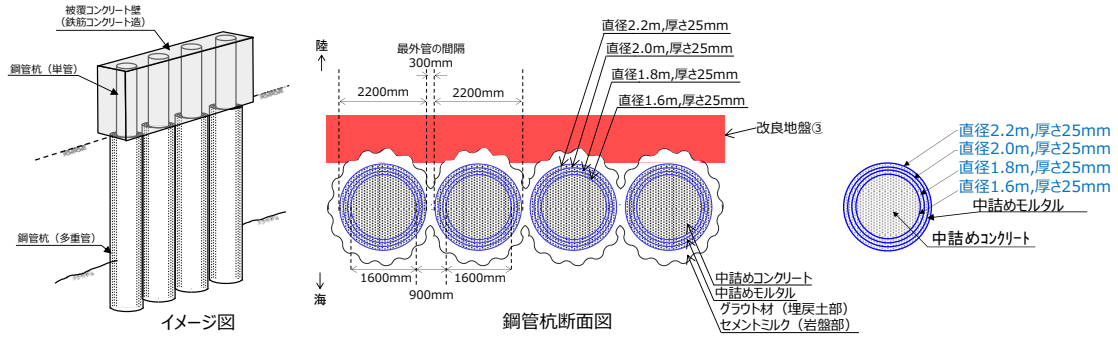
新規制基準への適合性において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を第 5-3 表に示す。以下の条文を確認することにより、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各条文への適合性を確認する。

第 5-3 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第 3 条 (設計基準対象施設の地盤)	• 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、すべり、支持力、傾斜等に対する安定性を確認する。
第 4 条 (地震による損傷の防止)	• 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで、施設の耐震安全性を確認する。
第 5 条 (津波による損傷の防止)	• 地震（本震及び余震）による影響を考慮したうえで、機能を保持できることを確認する。 • 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における条文に対応する施設の範囲及び各部位の役割を第 5-8 図及び第 5-4 表に示す。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』、材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称して『止水性』と整理する。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の周辺地盤及び施設護岸については、設置状況に応じて解析モデルに取り込むが、防波壁の前面に位置している施設護岸については、その損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため、それが損傷した場合の防波壁の耐震性への影響を確認する（詳細は 5.5 (4) 参照）。

鋼管杭間を間詰めしているグラウト材及び改良地盤②は難透水性の地盤ではあるが、地震により施設護岸が損傷し、杭間に直接津波波圧が作用した場合には、止水性を担保することが困難であることから、津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に地盤改良（改良地盤③）を実施する（詳細は 5.5 (4) 参照）。



第5-8 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の役割を期待する範囲

第 5-4 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。
	被覆コンクリート壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変形に追従する。	・被覆コンクリート壁間変形に追従し、遮水性を保持する。
地盤	セメントミルク	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤① (砂礫層)	・鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持する。
	改良地盤② (1号炉取水路上部等)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。
	改良地盤③ (防波壁背後)	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・難透水性を保持する。
	岩盤	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。
	埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸、基礎捨石、捨石、被覆石	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
グラウト材	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。	

各部位の『施設』と『地盤』を区分するに当たり、セメントミルク、改良地盤①（砂礫層）及び改良地盤③（防波壁背後）の具体的な役割を第 5-5 表のとおり整理した。

側方地盤としての鋼管杭の変形抑制を主な役割（第 5-5 表中「○」と記載）とするセメントミルク及び改良地盤①（砂礫層）、また、難透水性の保持を役割とする改良地盤③（防波壁背後）について、『地盤』と区別する。

なお、施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目「○」と評価した具体的な考え方を以下に示す。

- ・セメントミルク、改良地盤①（砂礫層）及び改良地盤③（防波壁背後）の役割である健全性については、鋼管杭の変形を抑制するために剛性（変形特性）を設計に反映することから「○」とした。
- ・セメントミルク、改良地盤①（砂礫層）及び改良地盤③（防波壁背後）の役割である止水性については、地盤中からの回り込みによる浸水を防止するために透水係数を設計に反映することから「○」とした。なお、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを浸透流解析により確認する。

第 5-5 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の具体的な役割

凡 例
 ○：要求機能を主体的に満たすために設計上必要な項目
 （該当する部位を施設と区分する）
 ○：施設の役割を維持するために設計に反映する項目
 -：設計上考慮しない項目

部位	具体的な役割					『施設』と『地盤』の区分の考え方	
	地震時	津波時	鉛直支持	すべり安全率 (鋼管杭の変形抑制)	(遮水性・耐津波性) (耐震性)		
セメントミルク	・鋼管杭間にセメントミルクを設置することで、鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭間にセメントミルクを設置することで、鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を有するセメントミルクを鋼管杭間に連続的に設置することで、津波時の水みちを形成しない。	-	-	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な役割であり、施設の側方地盤に要求される役割と同等であること、難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。
改良地盤① (砂礫層)	・鋼管杭の海側に改良地盤を設置することで鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持することで、遮水性を有する被覆コンクリート壁、止水目地の下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	-	-	○	○	鋼管杭の変形抑制が主な役割であり、施設の側方地盤に要求される役割と同等であること、難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。
改良地盤③ (防波壁背後)	・役割に期待しない。	・難透水性を保持することで、遮水性を有する被覆コンクリート壁、止水目地、下部地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。	-	-	-	○	難透水性の保持の役割をもつことから『地盤』と区分する。

以上を踏まえ、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における各部位の役割に対する性能目標を第 5-6 表に、性能目標を満足するための照査項目と許容限界を第 5-7 表に示す。岩盤は「鋼管杭の支持」及び「基礎地盤のすべり安定性に寄与」の役割を有していることから、支持力及び基礎地盤のすべり安全率により健全性を確認する。液状化の影響については有効応力解析により考慮し、埋戻土、砂礫層の変状に伴う施設評価への影響を検討する。

また、液状化に伴う海側の埋戻土、砂礫層の変状により護岸形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性があることから、**詳細設計段階に影響の程度を検討する（詳細は 9.3 を参照）。**

なお、施設及び岩盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を**今後検討していく。**

第5-6表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	耐津波性 (透水性、難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭			構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭が概ね弾性状態に留まること。
	被覆コンクリート壁	-	-	構造部材の健全性を保持するために、被覆コンクリート壁が概ね弾性状態に留まること。	止水目地の支持機能を喪失して被覆コンクリート間から有意な漏えいを生じないために、被覆コンクリート壁が概ね弾性状態に留まること。
	止水目地			被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・透水性能を保持すること。
地盤	セメントミルク	-	-	鋼管杭の変形を抑制するため、セメントミルクがすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するためセメントミルクがすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	改良地盤① (砂礫層)	-	-	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	改良地盤③ (防波壁背後)	-	-	-	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	岩盤	鋼管杭を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、鋼管杭周辺岩盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	-

第5-7表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）各部位の照査項目と許容限界
(上段：照査項目，下段：許容限界)

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	耐震性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	耐津波性※1 (透水性、難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭			曲げ・せん断 (降伏モーメント(曲げ)及びせん断応力度(せん断))	
	被覆コンクリート壁	-	-	曲げ・せん断 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
地盤	セメントミルク	-	-	すべり安全率※3 (1.2以上)	
	改良地盤① (砂礫層)	-	-	すべり安全率※3 (1.2以上)	
	改良地盤③ (防波壁背後)	-	-	-	すべり安全率※3 (1.2以上)
	岩盤	支持力 (極限支持力度)	すべり安全率(基礎地盤)※2 (1.5以上)	すべり安全率※3 (1.2以上)	-

※1 設備及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、セメントミルク及び改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の湧水時中に浸水しないことを確認する。
 ※2 第3条のすべり安全率は施設の外的安全の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。
 ※3 第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。

5.2.2 要求機能と設計評価方針

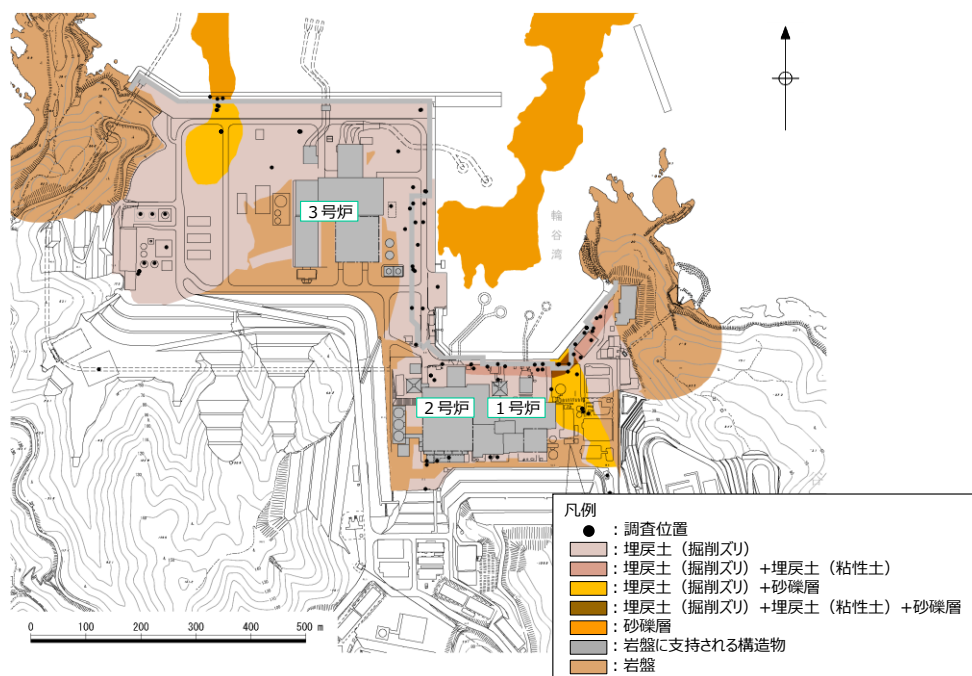
第5-8表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に関する要求機能と設計評価方針

赤字：荷重条件
 緑字：要求機能
/>

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計				設計に用いる許容限界	
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計(評価方針)	評価対象部位	応力等の状態		損傷モード
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	[基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド] 5.1津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるよう設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ①荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ:常時+津波、常時+津波+地震(余震) ②荷重の設定 a)津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の变形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修に、ある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。) [基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド] 6.3津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さの設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の周囲に設置する鉄筋コンクリート壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁の杭周辺に改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の变形を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した防波壁高さ(浸水高さEL+11.9m)に余裕を考慮した天端高さ(EL+15.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ②防波壁の上部構造は、鋼管杭の周囲に設置する鉄筋コンクリート壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。 ③防波壁の杭周辺に改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の变形を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ④鉄筋コンクリート壁間は、波圧による变形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、基準地震動 S s に対し、鋼製及びコンクリートの耐性のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。 ⑥防波壁の杭周辺に、改良地盤(薬液注入工)を構築することで杭の变形を抑制し、鉄筋コンクリート壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。 ⑦鉄筋コンクリート壁間は、地震による变形に追随する、止水性を確認したゴムジョイント及びシートジョイントによる止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。	・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼管杭及び鉄筋コンクリート壁で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。	鋼管杭	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」を踏まえた降伏モーメント(曲げ)及びせん断応力度(せん断)とする。	
						被覆コンクリート壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。	
						止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	
							曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
						地盤	セメントミルク	すべり安全率	すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。
							改良地盤①(砂礫層)	すべり安全率	すべり破壊し、変形抑制機能や難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。
							改良地盤③(防波壁背後)	すべり安全率	すべり破壊し、難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。
							岩盤	支持力 すべり安全率(局所安全係数分布のせん断及び引張破壊領域が連続していない)	鉛直支持機能を喪失する状態 鋼管杭周辺岩盤のせん断及び引張破壊が連続し、変形抑制機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。 「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。

5.3 周辺地質

防波壁周辺の被覆層の分布状況及び地山の岩盤の分布状況を第 5-9 図に示す。

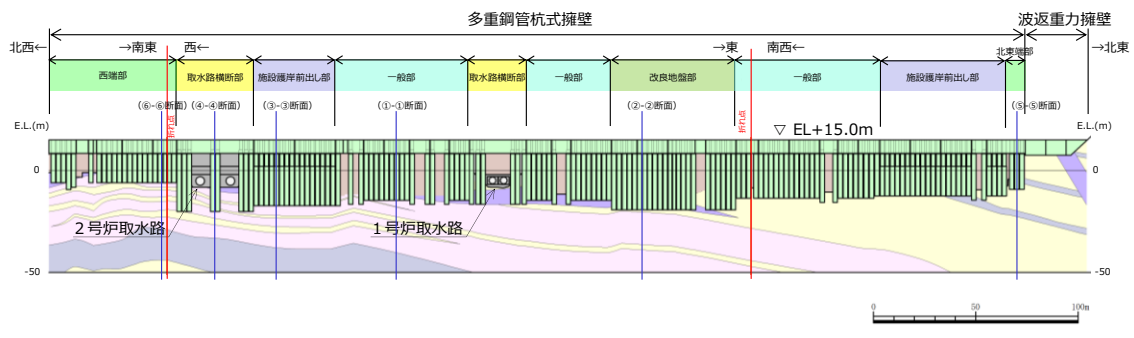
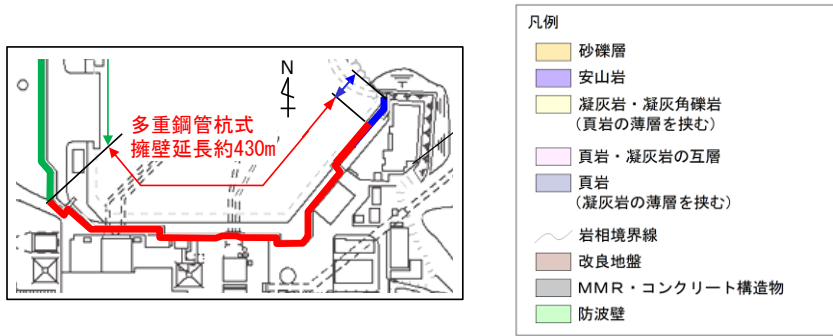


第 5-9 図 敷地の被覆層 平面図

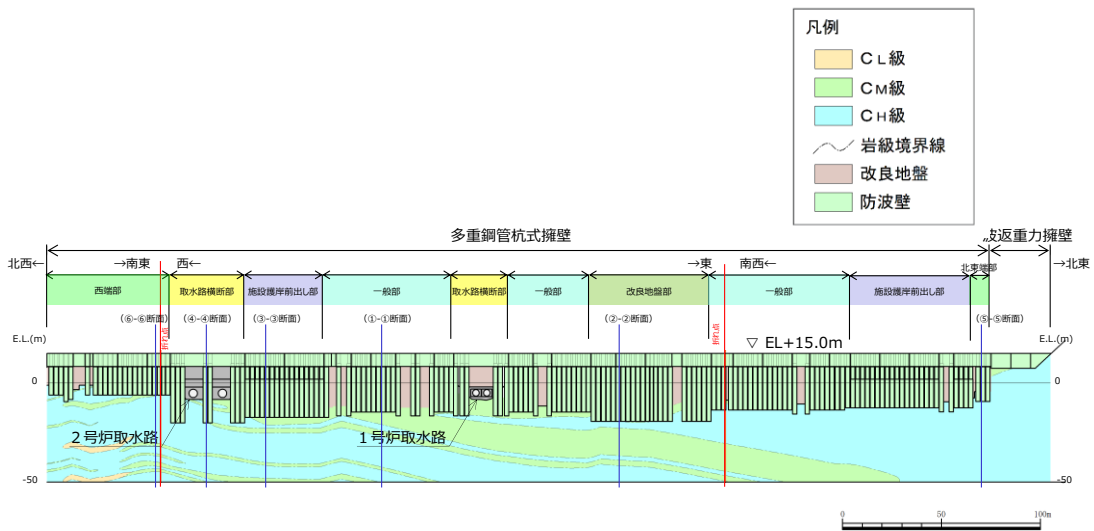
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地質縦断図を第 5-10 図 に、岩級縦断図を第 5-11 図 に、地質断面図を 第 5-12～16 図に示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、杭を介して主に C_M 級及び C_H 級岩盤に支持されており、縦断方向に応じた地質変化部は存在しない。

各断面の特徴は以下のとおり。

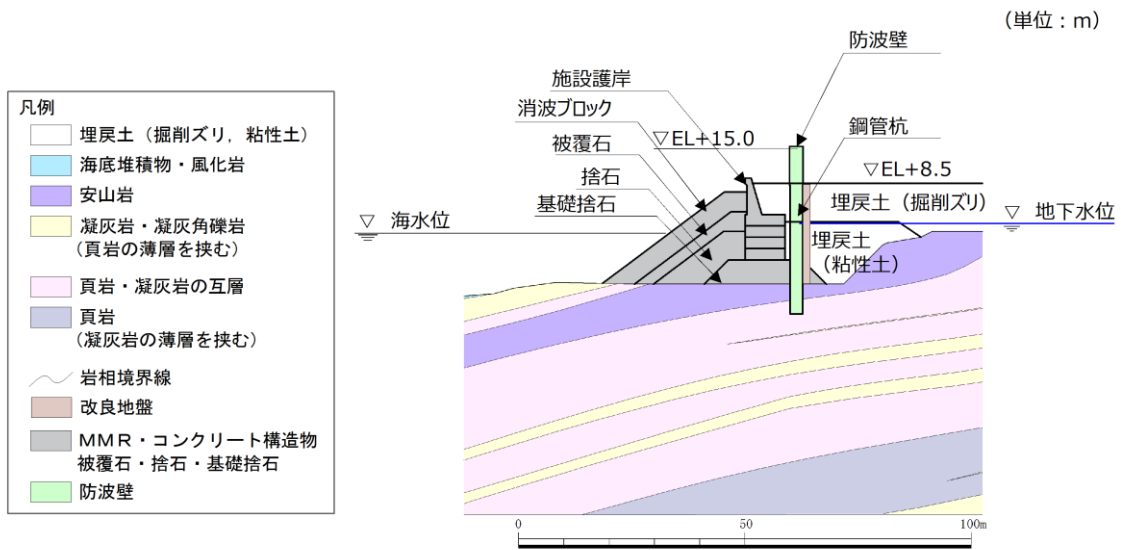
- ①-①断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）等が分布している。
- ②-②断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層等が分布している
- ③-③断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）等が分布している。
- ④-④断面は、鋼管杭を岩盤に根入れしている。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）が分布している。
- ⑤-⑤断面は、鋼管杭を岩盤に根入れする。また、周辺には埋戻土（掘削ズリ）等が分布している。



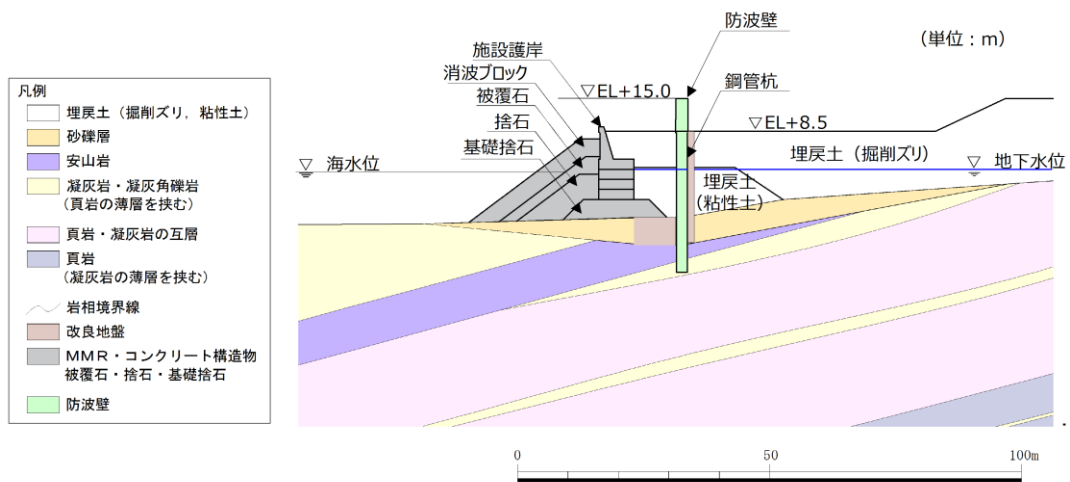
第 5-10 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地質縦断図



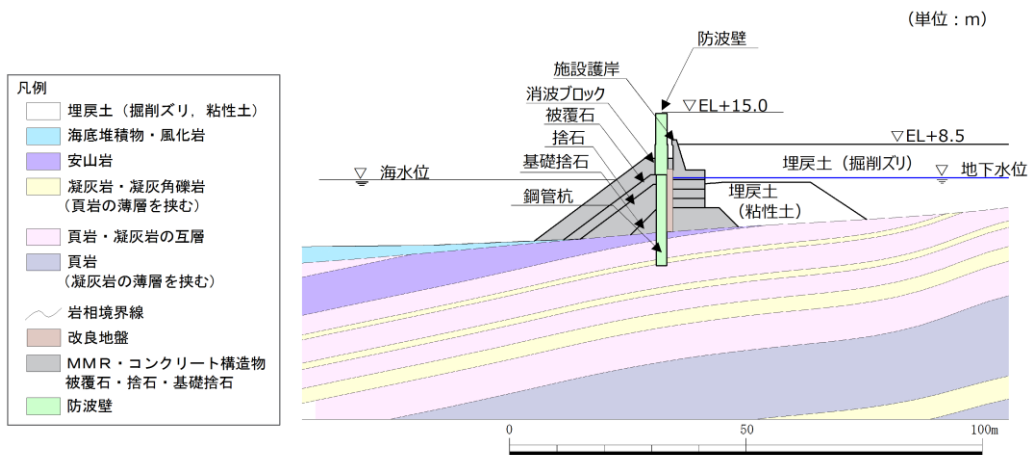
第 5-11 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の岩級縦断図



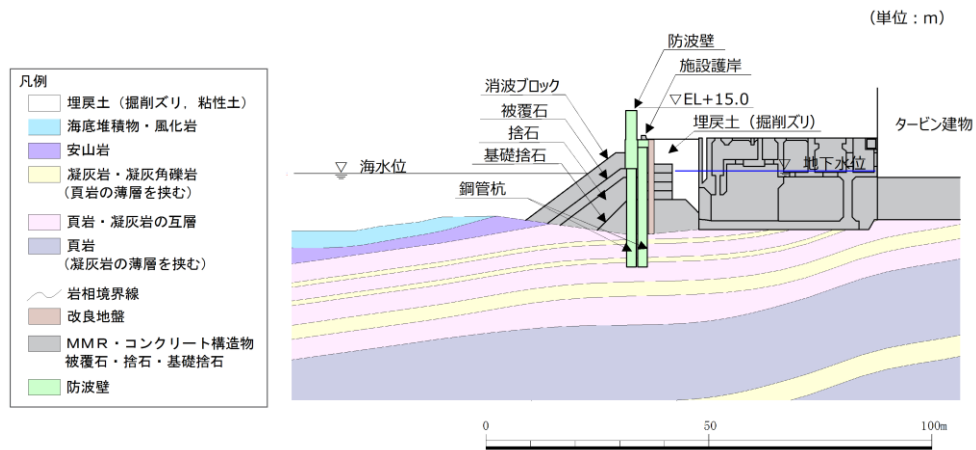
第 5-12 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (①-①)



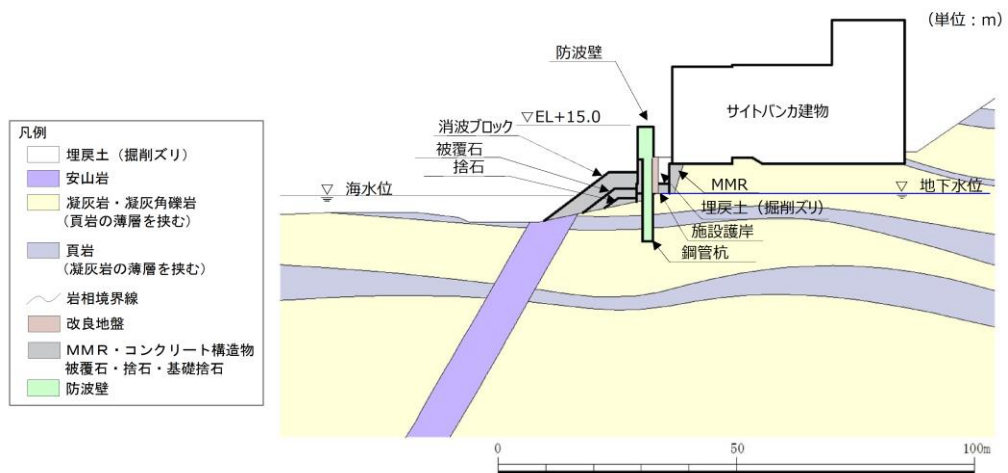
第 5-13 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (②-②)



第5-14 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (③-③)



第5-15 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (④-④)



第5-16 図 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (⑤-⑤)

5.4 設計方針

5.4.1 設計フロー

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。

5.4.2 設計方針の概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の部位ごとの設計方針を第5-9表に示す。
被覆コンクリート壁の設計方針概要については以下に示す。

【被覆コンクリート壁の設計方針概要】

2次元動的FEM解析及び2次元静的フレーム解析の結果から算出された加速度と変形量を用いて、3次元静的FEM解析により被覆コンクリート壁の照査をする。また、取水路横断部の被覆コンクリート壁についても、前後2列に配置される鋼管杭を含む3次元的な挙動を精緻に評価するため、鋼管杭の配置を考慮した梁モデルによる静的解析から3次元静的FEM解析による照査に見直す。

参考として、取水路横断部における当初の設計方針を(a)取水路横断部の方針に示す。

第5-9表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の部位ごとの設計方針

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ・せん断	(曲げ) 降伏モーメント (せん断) せん断応力度	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月)
	津波時	2次元静的フレーム解析			
被覆 コンクリート壁	地震時	3次元静的FEM解析	曲げ・せん断	短期許容応力度	コンクリート標準示方書、構造性能照査編、 2002年制定
	津波時				
止水目地	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	変形・水圧	メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	2次元静的フレーム解析			
止水目地の 鋼製部材	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ・せん断	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。	
	津波時	波圧算定式により算定			
岩盤	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	支持力 すべり安全率 (局所安全 係数分布のせん断 及び引張破壊領域が 連続していない)	極限支持力 すべり安全率1.2以上	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成14年3月) 耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的FEM解析			
改良地盤① (砂礫層)	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的FEM解析			
改良地盤③ (防波壁背後)	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的FEM解析			
セメントミルク	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的FEM解析			

(a) 取水路横断部の方針

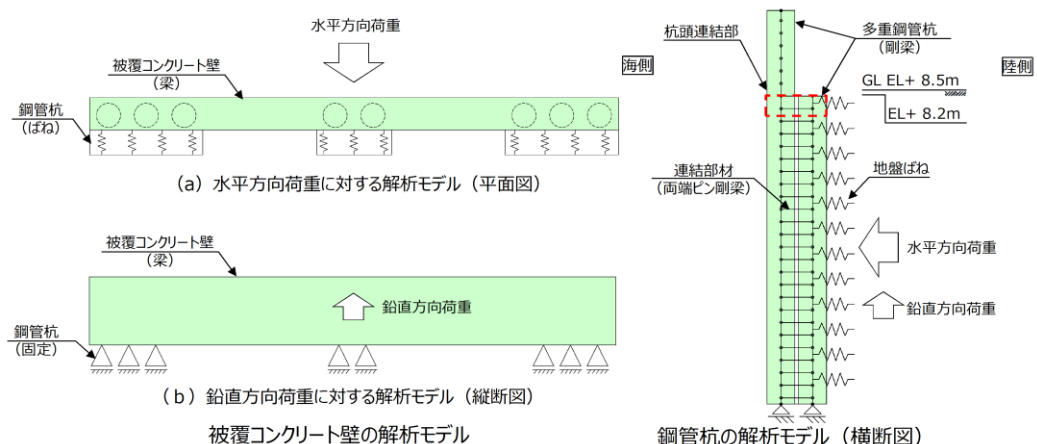
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の当初の設計方針における解析モデルを第5-18図に示す。

取水路横断部は、一般部同様、地震荷重や津波荷重に対し、各部位に発生する断面力や応力度が許容限界以下であることを確認する。

被覆コンクリート壁の評価について、水平方向荷重に対しては、取水路横断箇所以外は鋼管杭と一体構造であることを考慮し、第5-18図(a)に示すとおり、鋼管杭をばねによる弾性支承とし、被覆コンクリート壁を梁でモデル化して評価する。鉛直方向荷重に対しては、第5-18図(b)に示すとおり、鋼管杭を固定支承とし、被覆コンクリート壁を梁でモデル化して評価する。

鋼管杭の評価について、鋼管杭は、多重管構造を1本の梁としてモデル化し、上部コンクリート及び内部の間詰めコンクリートの剛性及び強度は考慮しない。また、海側と陸側に2本の杭が隣接し、杭頭連結部で一体化していることから、第5-18図に示すとおり、両端ピン剛梁で相対する節点を結合したモデルでモデル化し、杭頭連結部以外で両端ピン剛梁に引張が生じている箇所は、この梁を取り外して評価する。なお、地盤は地盤ばねでモデル化する。ここで、地震時検討における水平方向の震度は、被覆コンクリート壁下端位置における基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果から得られた加速度応答スペクトルから、予め算定した防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の水平方向1次固有周期に対応する応答加速度を用いて算定する。

鉛直方向の震度は、地震応答解析から得られた鉛直上向き及び下向きそれぞれの最大応答加速度から算定する。



第5-18図 解析モデル

(b) 地盤（岩盤）の役割と設計方針概要

岩盤は鋼管杭を鉛直支持し、基礎地盤のすべり安定性に寄与する。また、鋼管杭の変形を抑制する。

地震時は、地盤と施設を連成した2次元動的FEM解析を実施する。

2次元動的FEM解析に当たっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、有効応力解析を用いる。

津波時は、地盤と施設を連成した2次元静的FEM解析を実施する。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の支持力は、岩盤の支持力試験から定めた極限支持力と地震応答解析により求められる杭先端の最大軸力を比較することにより確認する。

「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」によると、極限支持力の推定式について以下の記載がされている。

支持杭の軸方向支持力は杭先端支持力と周面摩擦力の和として表されるが、多重鋼管杭式擁壁の支持力評価に当たっては、周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。

《「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に示される極限支持力の推定式》

$$R_u = q_d A + \underbrace{U \sum L_i f_i}_{\text{周面摩擦力}}$$

q_d ：杭先端における単位面積あたりの極限支持力度（kN/m²）

A ：杭先端面積（m²）

鋼管杭周辺の岩盤については、詳細設計段階において局所安全係数分布のせん断及び引張破壊領域を確認することにより、鋼管杭の水平抵抗への影響を評価する。なお、岩盤の破壊領域が連続的に拡大し、鋼管杭の設計に影響を及ぼす場合は、対策（改良地盤③の範囲拡大等）を実施する。

(c) 2次元動的有限要素解析（有効応力解析）

地震時の検討は，2次元動的有限要素解析（有効応力解析）にて行う。以下に，解析の概要を示す。

i. 解析の目的

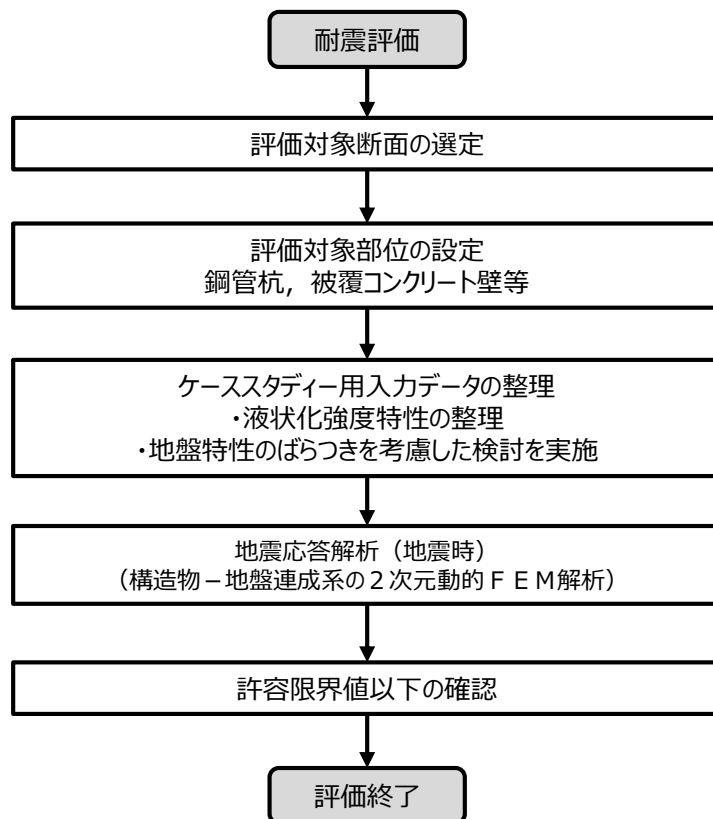
- ・ 鋼管杭，被覆コンクリート壁，埋戻土，基礎捨石，砂礫層，改良地盤，施設護岸，岩盤等を含めた全体の動的挙動評価
- ・ 地盤特性及び液状化を考慮した影響評価

ii. 結果の利用

- ・ 鋼管杭及び被覆コンクリート壁等の照査
- ・ 止水目地の変形量
- ・ 地震時応答（変形量を含む）

iii. 解析条件

- ・ 地盤物性のばらつきを考慮する





第 5-19 図 設計フロー

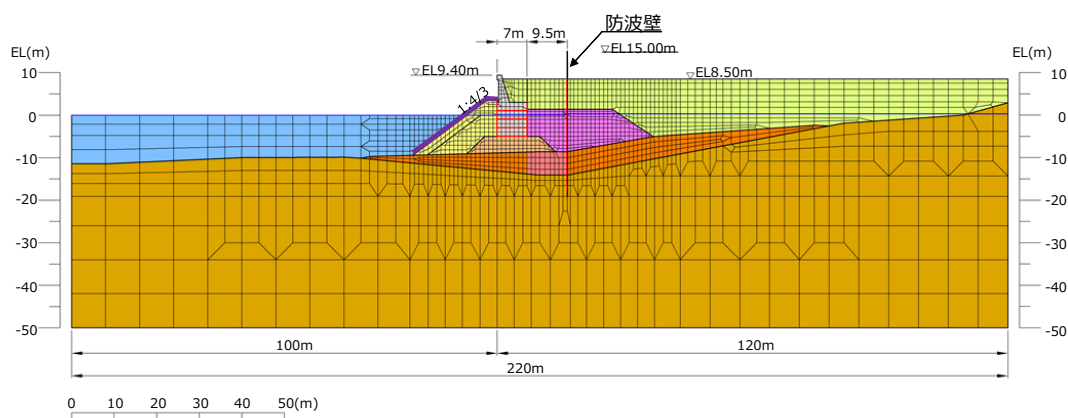
第 5-10 表 代表断面選定の考え方

着目点	概要	代表断面の選定
地質分布	構造的特徴, 周辺の地質分布及び隣接構造物を考慮して, 代表断面を選定する。	詳細設計段階において, 地震応答解析により耐震評価を行ううえで, 構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。

2次元動的有限要素解析(有効応力解析)におけるモデル化方針について、以下に示す。

- ・鋼管杭は線形はり要素でモデル化する(多重鋼管杭のモデル化に関しては5.5(2)参照)。
- ・岩盤及び施設護岸は線形平面要素でモデル化する。
- ・埋戻土(掘削ズリ), 埋戻土(粘性土), 砂礫層, 改良地盤, 被覆石及び基礎捨石はマルチスプリング要素でモデル化する。消波ブロックは分布荷重で考慮する。
- ・液状化評価対象層である埋戻土(掘削ズリ)及び砂礫層は液状化パラメータを設定する。
- ・海水は流体要素でモデル化する。
- ・防波壁と周辺地盤など, 要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は, ジョイント要素でモデル化する。

- | | | | |
|---|--|--|---|
|  : 岩盤 |  : 砂礫層 |  : 埋戻土(粘性土) |  : ジョイント要素 |
|  : 埋戻土(掘削ズリ) |  : 改良地盤 |  : 被覆石(捨石を含む) |  : 消波ブロック荷重 |
|  : 基礎捨石 |  : 施設護岸 | | |

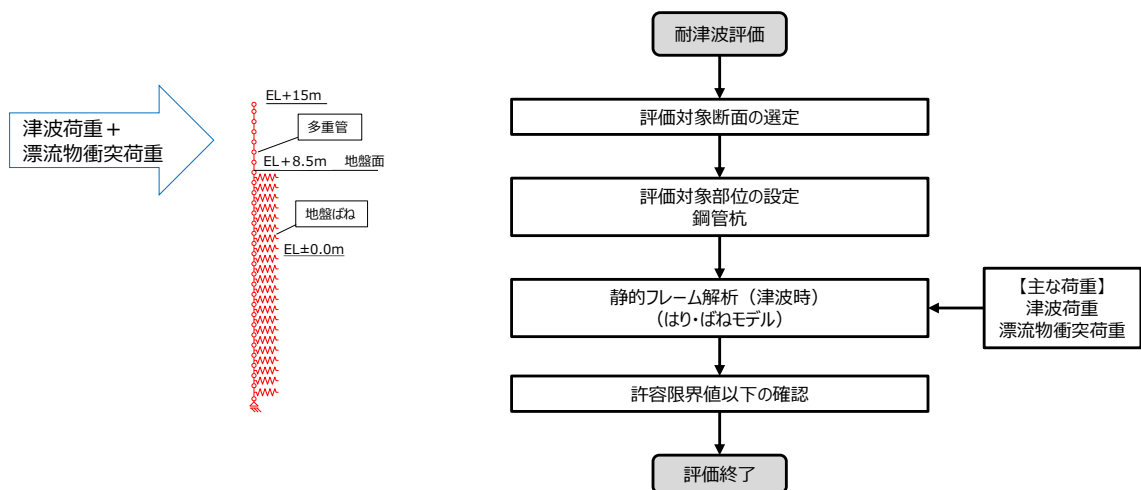


第 5-20 図 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の解析モデル

(d) 津波時の検討（静的フレーム解析）

津波時の検討は、静的フレーム解析にて行う。以下に解析の概要を示す。

- i. 解析の目的
 - ・ 鋼管杭の挙動評価（津波時）
 - ii. 結果の利用
 - ・ 鋼管杭の照査
 - ・ 止水目地の変形量
 - iii. モデル化方針
 - ・ 鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する
 - ・ 岩盤は地盤ばねでモデル化する
- IV. 解析条件
- ・ 解析用物性値（静的物性）を用いる



第 5-21 図 設計フロー

5.4.3 荷重と発生断面力の概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については，鋼管杭を岩盤に打設し，岩盤に鉛直支持させる設計としている。

防波壁の構造成立性には，このような構造に作用する荷重に対し，各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。

このような観点から，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に作用する荷重，構造体の発生断面力について地震時及び津波時に分けて整理する。

(1) 津波時

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の津波時の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を第5-22図に示す。

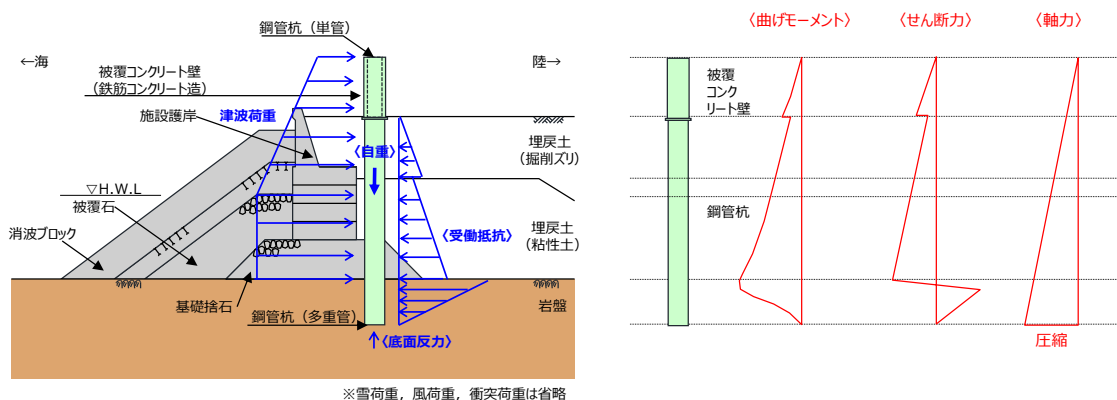
【荷重伝達メカニズム】

津波荷重に対して海側に位置する施設護岸及び埋戻土は考慮せず，津波荷重は防波壁に直接作用させる。

防波壁に作用する津波荷重は，防波壁を介して鋼管杭背後の岩盤及び埋戻土に伝わり，反力として受働抵抗が働く。

【発生断面力（応力状態）】

埋戻土と岩盤（根入れ部）の剛性差によって岩盤の受働抵抗が大きくなることから，せん断及び曲げモーメントは埋戻土と岩盤との境界に集中する。



荷重図

発生断面力

第5-22図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の津波時の荷重図と発生断面力イメージ図

(2)地震時

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時（海側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を第 5-23 図に示す。

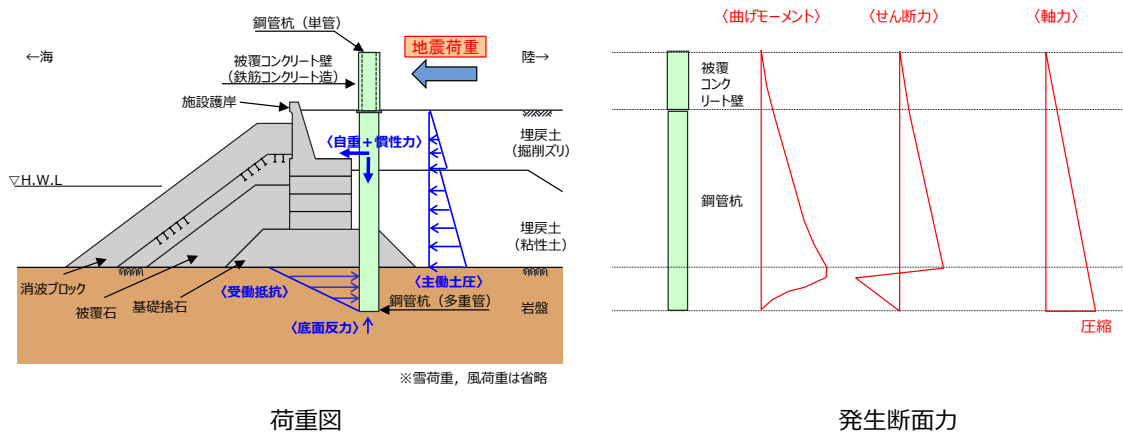
【荷重伝達メカニズム】

海側に位置する施設護岸及び埋戻土の受働抵抗は考慮しない。

防波壁を介して鋼管杭前面の岩盤に伝わり、反力として受働抵抗が働く。

【発生断面力（応力状態）】

発生断面力は基礎捨石と岩盤との境界に集中する。



第 5-23 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時（海側方向）の荷重図と発生断面力イメージ図

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時（陸側方向）の荷重図と発生断面力（応力状態）のイメージ図を第 5-24 図に示す。

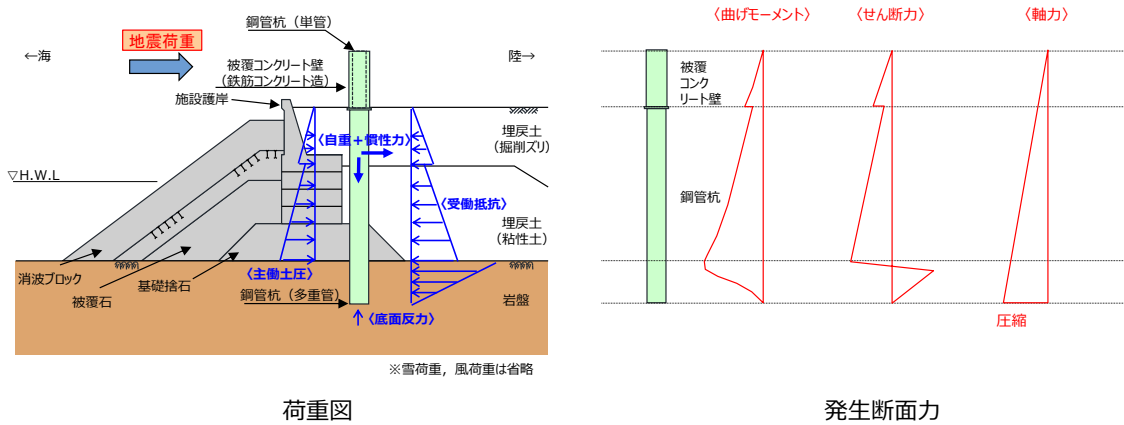
【荷重伝達メカニズム】

海側に位置する施設護岸及び埋戻土は、主働土圧として考慮する。

防波壁に作用する地震力（慣性力及び主働土圧）は、防波壁を介して鋼管杭背後の岩盤及び埋戻土に伝わり、反力として受働抵抗が働く。

【発生断面力（応力状態）】

基礎捨石と岩盤（根入れ部）の剛性差によって岩盤の受働抵抗が大きくなることから、せん断及び曲げモーメントは埋戻土と岩盤との境界に集中する。



第 5-24 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時（陸側方向）の荷重図と発生断面力イメージ図

5.4.4 損傷モードと弱部

(1) 要求機能を喪失する事象の抽出

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）について、各部位が損傷して要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。また、これに合わせて、防波壁の構造上の弱部を抽出した。結果を第5-11表に示す。

第5-11(1)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮及び構造上の弱部の抽出

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース ^{※1}	設計・施工上の配慮	照査 ^{※2}
鋼管杭	地震又は津波荷重により埋戻土－改良地盤間、埋戻土－岩盤間、改良地盤－岩盤間に曲げモーメントが集中し、曲げ破壊することで、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。【弱部①】	①, ②	地震後や津波後の再使用性、津波時の影響（繰返しの津波）を考慮して、被覆コンクリート壁や止水目地の変形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。	○
	地震又は津波荷重により埋戻土－改良地盤間、改良地盤－岩盤間に相対変形が生じ、せん断力が鋼管杭に作用し、鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。【弱部①】	①, ②		○
	地震又は津波荷重により、単管と多重管の境界部で鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。【弱部①】	①, ②		○
	地震又は津波荷重により、杭頭連結部に応力が集中することで、杭頭連結部が破損し、被覆コンクリート壁が損傷するか、位置を保持できなくなり、遮水性を喪失する。	①, ②	杭頭連結部が損傷しないことを確認する。（杭頭連結材を設置している取水路横断部の構造については次頁以降参照）	○
	防波壁と干渉する取水路横断部において、鋼管杭のピッチが広いことから、地震又は津波荷重に対する十分な抵抗力が確保できず、遮水性を喪失する。【弱部②】	①, ②		取水路横断部では、側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し、杭頭連結材を設置する。
	津波荷重により、鋼管杭の下部が転倒するようなモードが発生し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	②	鋼管杭が転倒しないことを確認する。	○
	地震時に施設護岸が損傷し、鋼管杭に衝突することにより鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①	施設護岸を適切にモデル化した2次元動的FEM解析（有効応力）により、鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。	○
	地震時に施設護岸が損傷し、仮に施設護岸が無いものとした場合に、鋼管杭が露出した状態で津波が来襲し、鋼管杭間から津波が遡上する。【弱部③】	②	隣合う多重鋼管杭間について、地中部はセメントミルク、岩盤面より上部はグラウト材を注入する。 仮に施設護岸が無いものとした場合に、鋼管杭間の止水性をより確実なものとするため、鋼管杭背面を地盤改良する。（参考資料10参照）	○
	地震時に施設護岸が損傷し、受働土圧が低下することにより鋼管杭が損傷し被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。【弱部③】	①, ②	施設護岸を適切にモデル化した2次元動的FEM解析（有効応力）により、鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。 防波壁前面の施設護岸をモデル化しないケースにおいて、防波壁の構造成立性を確認する。（参考資料10参照）	○
	汀線方向の地震荷重により、曲げ・せん断破壊し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①	地震荷重については汀線方向についても考慮し、被覆コンクリート壁や止水目地の変形を許容限界以下に留めて遮水性を確保するために、鋼管杭の変形が概ね弾性範囲であることを確認する。	○
	隣接するブロックからの荷重により、鋼管杭が損傷し被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	①	地震荷重については汀線方向についても考慮し、隣接ブロックの影響を確認する。	○
地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、漂流物として被覆コンクリート壁に衝突することで鋼管杭が損傷し、被覆コンクリート壁を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	②	数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。	—	

※1 ①地震時、②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

第5-11(2)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と
設計・施工上の配慮及び構造上の弱部の抽出

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定 ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
被覆 コンクリート壁	・ 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。	①, ②	・ 被覆コンクリート壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。	○
	・ 地震又は津波荷重により、同一ブロック内で鋼管杭に相対変形が発生し、被覆コンクリート壁がねじれ、曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。	①, ②		○
	・ 津波荷重により鋼管杭接続部に押抜きせん断応力が働き、押抜きせん断破壊が生じることで被覆コンクリート壁が損傷し、遮水性を喪失する。【損傷モードと弱部（2）】	①, ②		○
	・ 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、被覆コンクリート壁が損傷する、あるいは止水目地を支持できなくなり、遮水性を喪失する。	—	・ 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—
	・ 津波時の漂流物衝突荷重により、被覆コンクリート壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	・ 漂流物衝突荷重による被覆コンクリート壁の発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。	○
	・ 地震時又は津波時に施設護岸の一部が崩壊し、津波により運ばれて被覆コンクリート壁に衝突することで被覆コンクリート壁が損傷し、遮水性を喪失する。	②	・ 数値シミュレーションにより、護岸際は流速が小さいことを確認しているため、護岸構成部材は津波により漂流物とならないと判断する。	—

第5-11(3)表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と
設計・施工上の配慮及び構造上の弱部の抽出

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定 ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	・ 地震又は津波時により発生した施工ブロック間の相対変形により、目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。	①, ②	・ メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 ・ 異種構造形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮して選定した断面について止水目地の相対変形量を算定し、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。	○
	・ 津波時の漂流物が衝突することにより、目地が損傷し遮水性を喪失する。	②	・ 止水目地は、津波漂流物の衝突による損傷を防止するため、防波壁の陸側に設置する。	—
	・ 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、遮水性を喪失する。	—	・ 万一、竜巻及びその随伴事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。	—

※1 ①地震時、②津波時

※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（—）。

第 5-11(4) 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮及び構造上の弱部の抽出

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤① (砂礫層)	・ 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。 	○
	・ 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。			
	・ 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、地盤としての有効応力を喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ポインティング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。			
改良地盤③ (防波壁背後)	・ 地震又は津波荷重により、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、過度なひび割れが連続することで水みちが形成される。	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止（難透水性を保持）するため、改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。（参考資料10参照） 	○
	・ 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊又は引張破壊し、地盤としての有効応力を喪失した状態で地下水や津波による浸透圧が作用することで、ポインティング現象により土粒子が流出して水みちが形成される。			

※1 ①地震時, ②津波時
 ※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

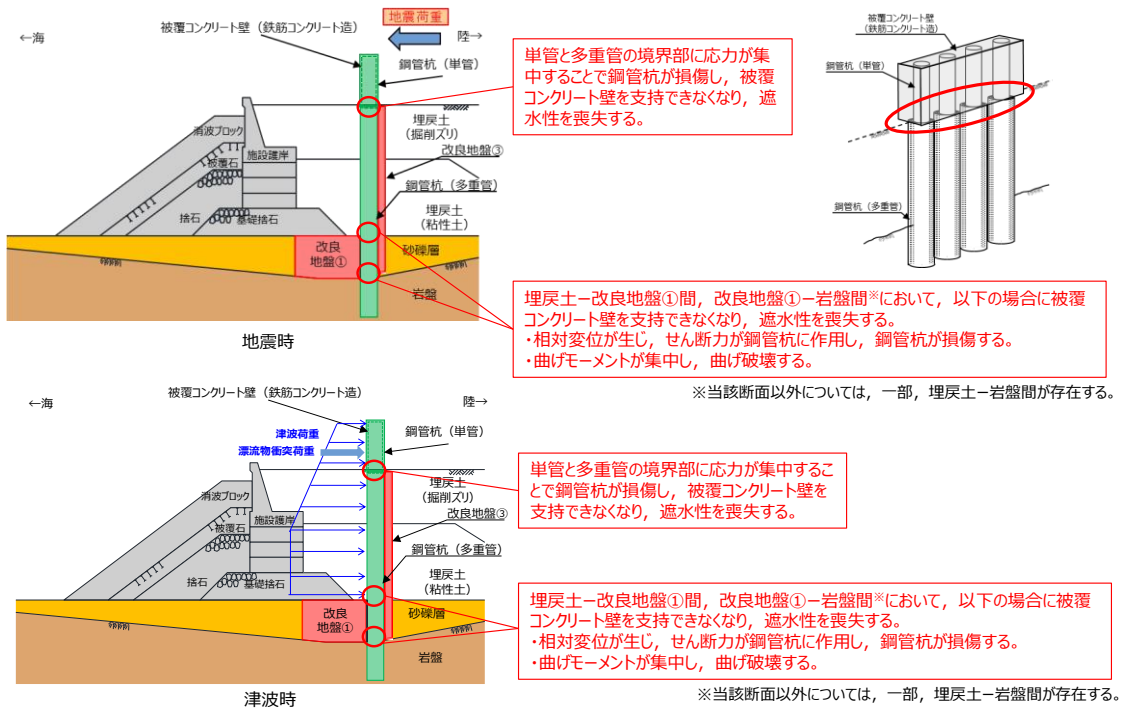
第 5-11(5) 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮及び構造上の弱部の抽出

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
セメントミルク	・ 地震時又は津波時に、セメントミルクがせん断破壊し、鋼管杭の変形を抑制できなくなることで、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の変形を抑制するため、セメントミルクがすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。（多重鋼管杭間の岩盤部の構造については次頁以降参照） 	○
	・ 取水路からの漏水により改良地盤が洗掘され、難透水性を喪失する。			
岩盤	・ 地震時に鋼管杭下端底面のすべりが生じ、杭の変形量が大きくなり、杭が被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。	①	・ すべり安全率が許容値以上であることを確認する。（3条で確認）	○
	・ 地震時に鋼管杭に伝わる荷重により岩盤が破壊し、鉛直支持機能を喪失する。	①	・ 杭先端部の最大軸力が地盤の極限支持力以下であることを確認する。	○
	・ 地震時又は津波時に、鋼管杭周辺岩盤がせん断破壊又は引張破壊し、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、被覆コンクリート壁を支持できなくなることで、被覆コンクリート壁の遮水性を喪失する。	①, ②	・ 鋼管杭の変形を抑制するため、岩盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認する。	○

※1 ①地震時, ②津波時
 ※2 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は（-）。

(2) 共通（地震時，津波時）

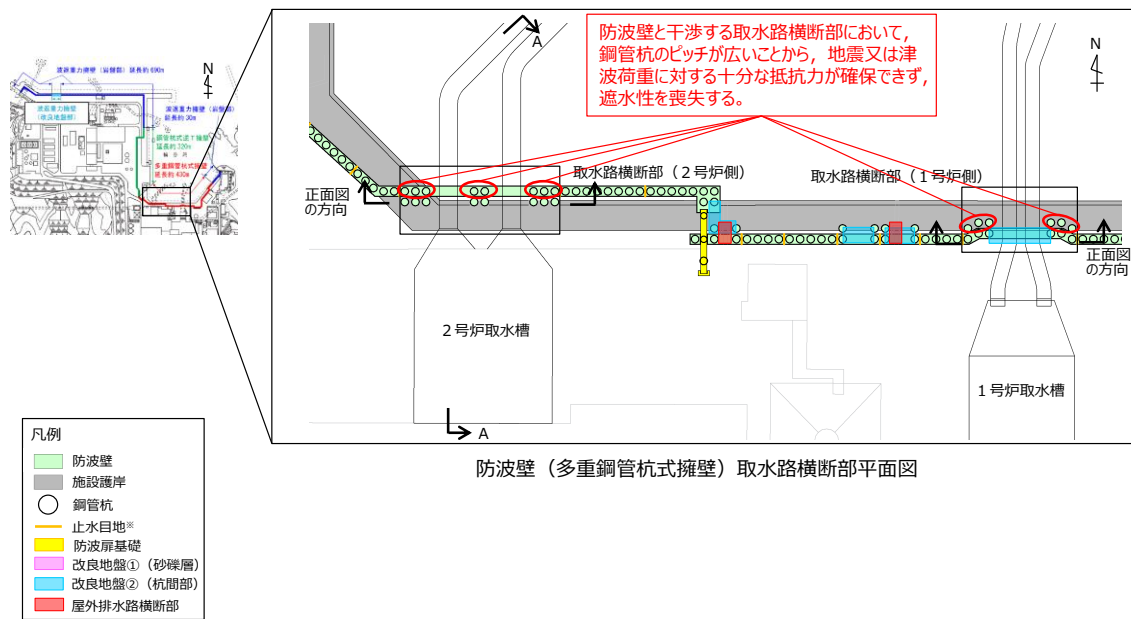
鋼管杭について，地震時及び津波時に局所的に応力が集中し，構造上の弱部となる箇所を第5-25 図に示す。



第5-25 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）弱部①概要図

(3) 取水路横断部（地震時，津波時）

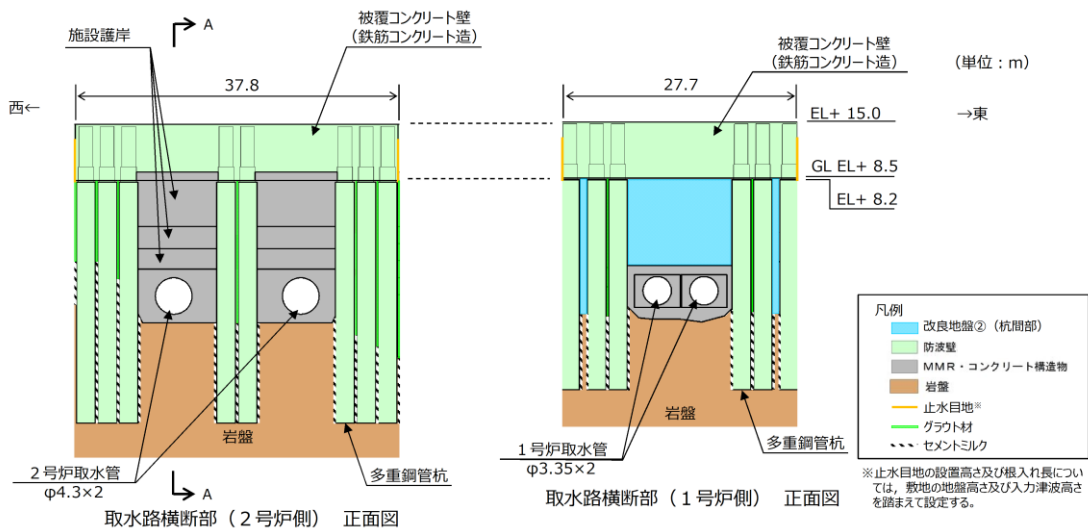
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部の構造上の弱部となる箇所を第5-26 図に示す。取水路横断部では，1号炉及び2号炉の取水管を横断するため，地震又は津波荷重に対する十分な抵抗力が確保できず，遮水性を喪失する可能性があることから，取水管側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置した



※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

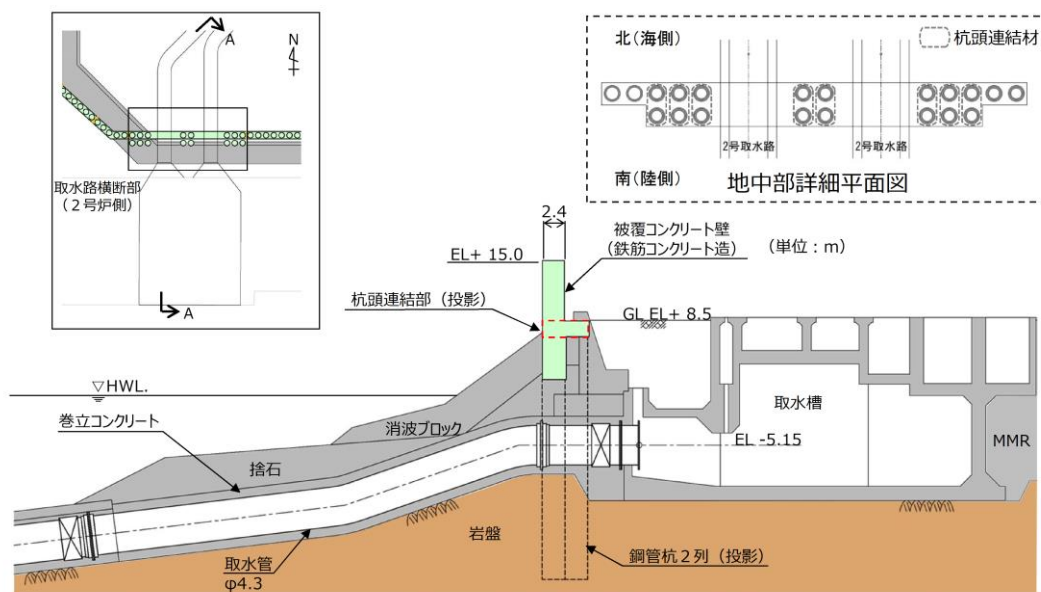
第 5-26 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）弱部②概要図（取水路横断面部）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断面部の正面図を第 5-27 図に示す。取水路横断面部の耐震及び耐津波評価は、下図に示すとおり、2号炉側のスパンが1号炉側より大きく、構造上の弱部となる箇所での発生断面力が大きくなることから、2号炉側に代表させて行う。



第 5-27 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）弱部②概要図（取水路横断面部正面図）

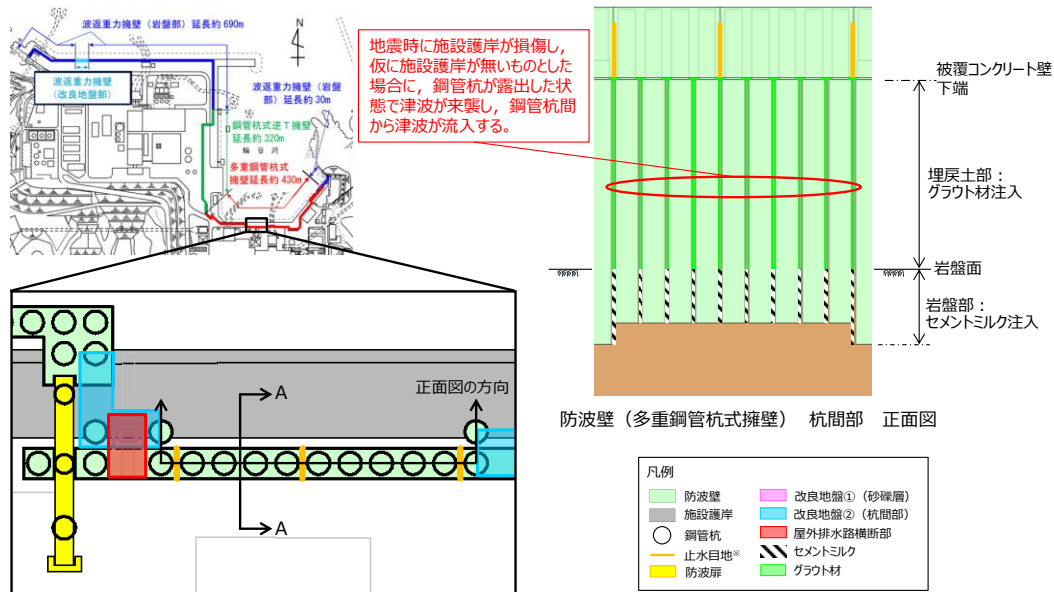
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（2号炉側，A－A断面）の断面図を第5-28図に示す。取水路横断部（2号炉）では，2号炉取水管（ $\phi 4.3\text{m}$ ）を横断するため，側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し，杭頭連結材を設置した（杭頭部の構造については参考資料2参照）。



第5-28図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）取水路横断部（2号炉側，A－A断面）断面図

(4) 施設護岸が損傷した場合の鋼管杭間の止水性（津波時）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）前面の施設護岸が地震により損傷し，鋼管杭が露出した状態で津波が襲来した場合，構造上の弱部となる杭間部の正面図を第5-29図に示す。隣り合う多重鋼管杭間について，地中部（岩盤部）はセメントミルク，岩盤面より上部はグラウト材を注入した。



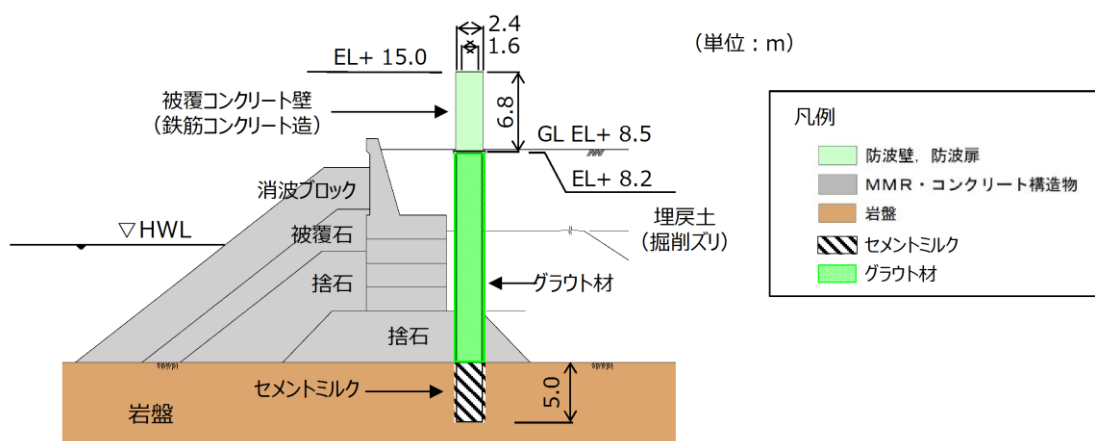
※止水目地の設置高さ及び根入れ長については，敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

第5-29 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）弱部③概要図（杭間部正面図）

セメントミルク及びグラウト材の設計上の役割等について第5-12 表及び第5-30 図のとおり整理した。

第5-12 表 セメントミルク及びグラウトの設計上の役割

	セメントミルク（地中部（岩盤部）に注入）	グラウト材（地中部（埋戻土部）に注入）
造成目的	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭（最外管）の岩盤根入れ部（下端の5.0m）と周辺岩盤を一体化するために造成。 ・周辺はCM級岩盤以上であることから、所定の設計基準強度を有するセメントミルクを採用。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭（最外管）と周辺地盤（埋戻土部）との空隙を充填するために造成。 ・グラウト材が空隙に確実に留まり、施工後に固化体が長期的に品質を持続すること、及び流動性を有して空隙に均一に充填可能であること等を考慮して、ゲルタイムを有する瞬結性懸濁型注入材を採用。
強度仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・一軸圧縮強度；9.8 (N/mm²) 	<ul style="list-style-type: none"> ・一軸圧縮強度；0.7～1.4 (N/mm²)
管理項目	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の一軸圧縮強度を有すること、及び鋼管杭下端から岩盤面まで注入していることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「薬液注入工事における施工管理方式について（H2.10（社）日本薬液注入協会）」に基づき、注入量等を確認する。
設計上の役割 （杭の変形抑制・止水性）	<ul style="list-style-type: none"> ・強度特性は周辺の岩盤相当であることから、地震時及び津波時の鋼管杭の変形を抑制する役割を有する。 ・また、津波時の地盤中からの回り込みに対しては、周辺の岩盤相当の強度を有することから、難透水性の保持の役割を有する。 （防波壁より陸側の地下水位に対しては、難透水性の保持による、地下水位上昇側の影響要因となる。） 	<ul style="list-style-type: none"> ・強度特性は周辺の埋戻土を若干上回る程度であることから、地震時及び津波時の鋼管杭の変形を抑制するものではなく、埋戻土と同様に扱う。 ・また、津波時の地盤中からの回り込みに対しても、難透水性の地盤ではあるが、埋戻土と同様に扱い、浸透流影響評価を行う。



第5-30 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）弱部③概要図
（杭間部（A-A断面）断面図）

(5) 施設護岸が損傷した場合の鋼管杭の耐震性（地震時）、鋼管杭間の止水性（津波時）

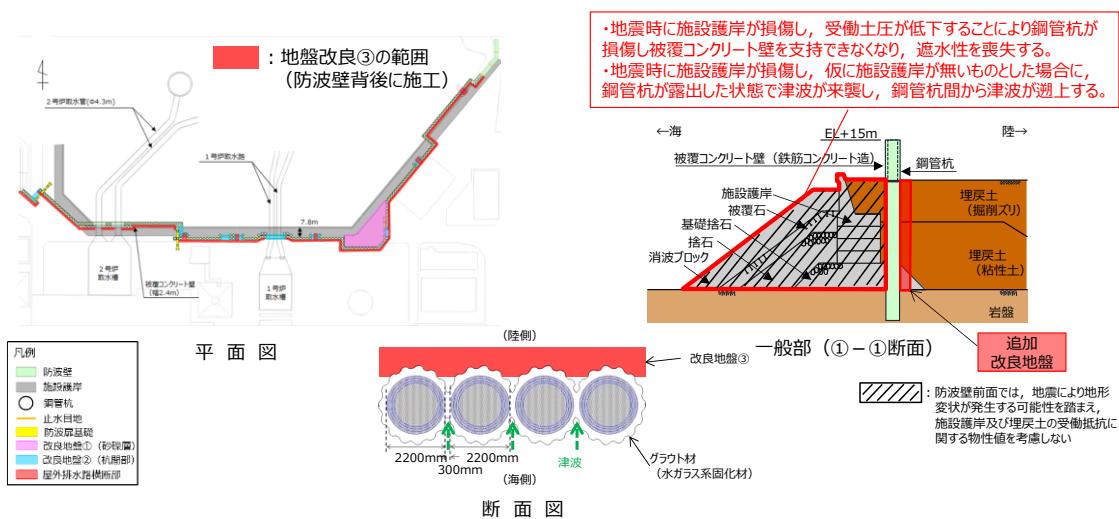
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）前面の施設護岸が損傷した場合、構造上の弱部となる防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の概要図を第5-31図に示す。

【地震時】

施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）の検討は、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の解析を実施することにより行う。（詳細は5.5（4）参照）

【津波時】

地震による施設護岸損傷後に、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定し、鋼管杭が露出した状態で津波が襲来した場合において、津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。（詳細は5.5（4）参照）



第5-31図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）弱部③概要図

5.4.5 耐震評価候補断面の整理方針

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面の整理方針を第5-13表に示す。

詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、上記の観点を考慮して断面を整理し、構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。また、止水目地の機能維持の観点からも、異種構造物形式の境界部、防波壁周辺の隣接構造物、改良地盤の有無を考慮したうえで、防波壁の施工ブロック間の相対変形が最も厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。

第5-13表 耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（1/3）

観点		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	
		一般部（①-①断面）	改良地盤部（②-②断面）
要求機能		津波防護施設	津波防護施設
①間接支持する設備		・なし	・なし
②構造的特徴	形式	・線状構造物 ・多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭4,5本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 ・被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。	・線状構造物 ・多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭6本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 ・被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。
	寸法	・被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ6.80m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m	・被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ6.80m ・鋼管杭：φ1.60～2.20m
③周辺状況	周辺地質	・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：18.1m	・鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 ・周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）及び埋戻土（粘性土）が分布し、基礎換石の下側に改良地盤及び砂礫層が分布している。 ・地表面から岩盤までの深さ：22.9m
	地下水位※	・解析結果等を踏まえて整理する。	・解析結果等を踏まえて整理する。
	隣接構造物	横断方向 ・北側に施設護岸が隣接する。 ・南側に埋戻土（掘削スリ）上に直接基礎形式で設置された北口警備所が隣接する。	縦断方向 ・なし
④地震力特性		・観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		・間接支持する設備なし。	

※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

第 5-13 表 耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（2/3）

観点		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	
		施設護岸前出し部（③-③断面）	取水路横断面（④-④断面）
要求機能		津波防護施設	
①間接支持する設備		なし	
②構造的 特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭8本程度を標準とした壁体を連続して設置している。 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭16本程度による壁体を設置している。 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ13.00m 鋼管杭：φ1.60～2.20m 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ13.00m 鋼管杭：φ1.60～2.20m（海側、陸側に2列配置）
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：20.8m 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ7.0m程度で主にCM級及びCH級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：16.8m
	地下水位※	解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接 構造物	横断 方向	南側に施設護岸が隣接する。
縦断 方向		なし	
④地震力特性		観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		間接支持する設備なし。	

※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

第 5-13 表 耐震評価候補断面の整理（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））（3/3）

観点		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	
		北東端部（⑤-⑤断面）	西端部（⑥-⑥断面）
要求機能		津波防護施設	
①間接支持する設備		なし	
②構造的 特徴	形式	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭4本を標準とした壁体を設置している。 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 線状構造物 多重鋼管杭式擁壁は、鋼管杭5本程度による壁体を連続して設置している。 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成されている。
	寸法	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅3.25m、高さ6.80m 鋼管杭：φ1.60～2.20m 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆コンクリート壁：幅2.40m、高さ6.80m 鋼管杭：φ1.80～2.20m
③周辺状況	周辺地質	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCH級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：12.7m 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭を根入れ深さ5.0m程度で主にCM級及びCH級岩盤に打設し、支持されている。 周辺地質は、埋戻土（掘削スリ）が分布している。 地表面から岩盤までの深さ：9.5m
	地下水位※	解析結果等を踏まえて整理する。	
	隣接 構造物	横断 方向	<ul style="list-style-type: none"> 施設護岸上に鋼管杭を設置している。 東側に岩盤上に直接基礎形式で設置されたサイトバンカ建物が隣接する。
縦断 方向		異種構造形式（波返重力擁壁）が隣接する。	
④地震力特性		観点③での整理のとおり、周辺地質の差はないため、観点④での断面選定は不要である。	
⑤床応答特性		間接支持する設備なし。	

※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。

5.5 個別論点

(1) 杭頭部の構造

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の杭頭部構造について、一般部と取水路横断部で構造が異なっている。それぞれの杭頭部の状況を第 5-32 図に示す。

【一般部】

- ・4重管のうち、最内管のφ1600のみ地上部に突出させ、φ1800、φ2000、φ2200の杭頭上部からφ1600の杭頭まで、鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。

【取水路横断部】

- ・取水路横断部では2号炉取水管を横断するため、取水管の両側に鋼管杭を追加した構造としている。
- ・地震時及び津波時に被覆コンクリート直下の杭と隣接する追加杭が荷重を分担するように、地上付近（EL. +6.7m～+8.2m）で杭頭連結材にて連結し、内部をコンクリートで充填している。杭頭連結材上部から最内管上端まで鉄筋コンクリートで被覆する構造としている。

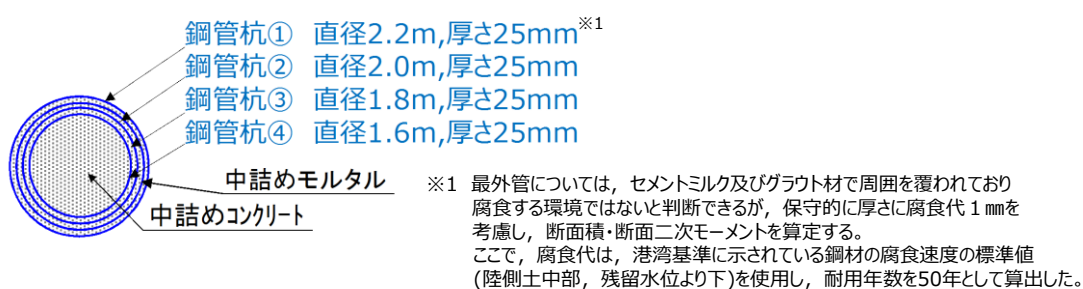


第 5-32 図 杭頭部の状況

(2) 多重鋼管杭のモデル化

多重鋼管杭は、各鋼管を中詰めコンクリート及びモルタルで充填することにより、一体として挙動することで、荷重を分担できる構造としており、多重鋼管杭の挙動については実験により確認を行っている（水平載荷実験については5.5 (3) 参照）。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の2次元動的FEM解析にあたっては、多重鋼管杭はビーム要素でモデル化し、単一の断面積及び断面二次モーメント（各管の断面二次モーメントの合計）を設定する。なお、最外管については、セメントミルクで周囲を覆われており腐食する環境ではないと判断できるが、保守的に厚さに腐食代1mmを考慮し、断面積・断面二次モーメントを算定する。腐食代は、港湾基準に示されている鋼材の腐食速度の標準値（陸側土中部，残留水位より下）を使用し、耐用年数を50年として算出した。



$$\text{断面二次モーメント } I^{※2} = I_{①} + I_{②} + I_{③} + I_{④}$$

$$\text{断面積 } A^{※2} = A_{①} + A_{②} + A_{③} + A_{④}$$

※2 添え字は鋼管杭の番号

第 5-33 図 多重鋼管杭の概要

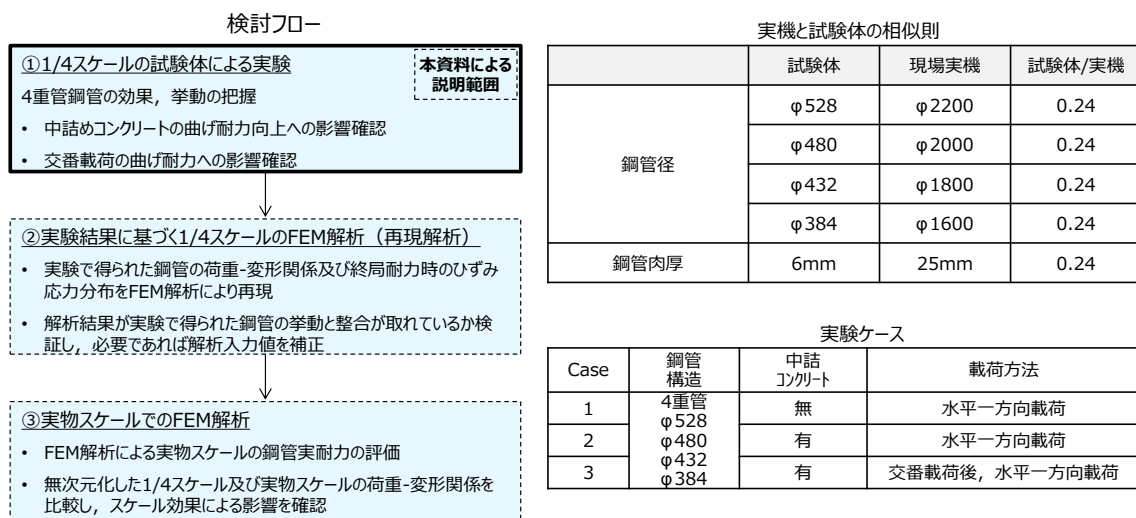
(3) 水平載荷試験

(a) 実験概要

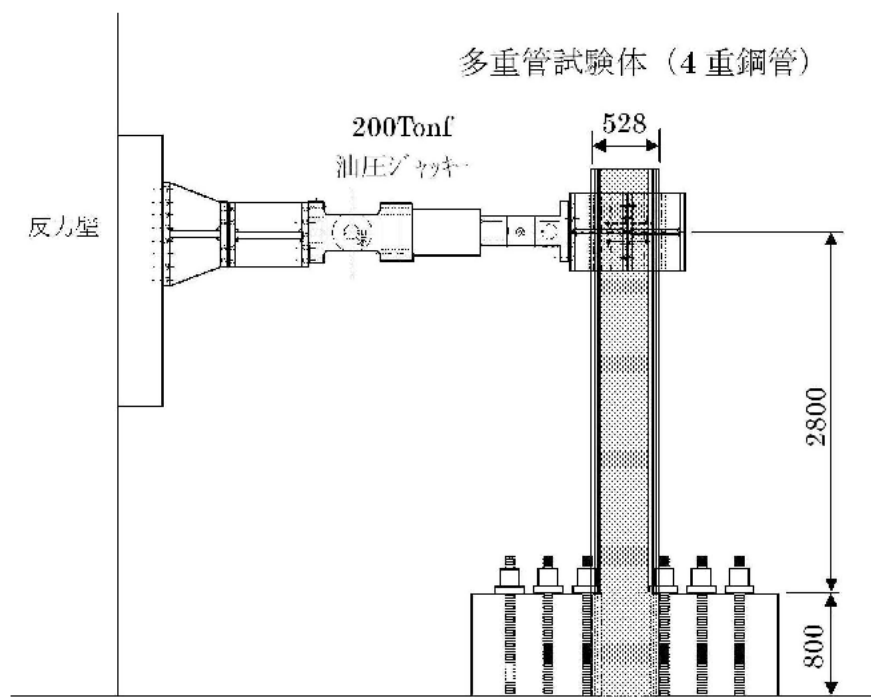
多重鋼管杭は鋼管 1 本あたりの全塑性モーメントを港湾基準から算出し、それらを合算して多重鋼管杭の曲げ耐力として評価することから、多重鋼管杭の実耐力・挙動特性を確認するために水平載荷実験及び数値解析を実施している。このうち多重管の一体挙動と降伏荷重時の挙動を確認したについて説明する。

実験には、耐力・挙動特性に関してスケール効果の影響は小さいことから、1/4 スケールの試験体を用いる。実験としては、Case1及びCase2は中詰コンクリートの有無が曲げ耐力に与える効果と多重鋼管杭の挙動特性を、Case3は交番載荷を与えた後の多重鋼管杭の挙動特性を確認する。また、港湾基準から算出した全塑性荷重・降伏荷重と比較する。なお、交番載荷では、 δy 、 $2\delta y$ 、 $3\delta y$ (δy : 試験から得られた最外管の降伏時変位) を繰り返し載荷した後、水平一方向載荷を行う。

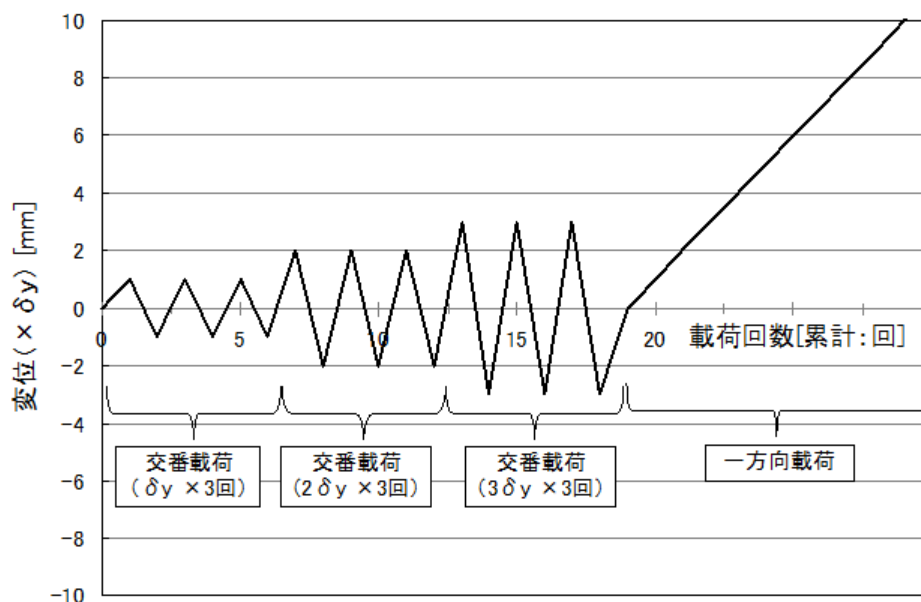
試験の概要を第5-34図に、試験装置の概要図を第5-35図に、交番水平載荷時に作用させる変位を第5-36図に示す。



第 5-34 図 試験の概要



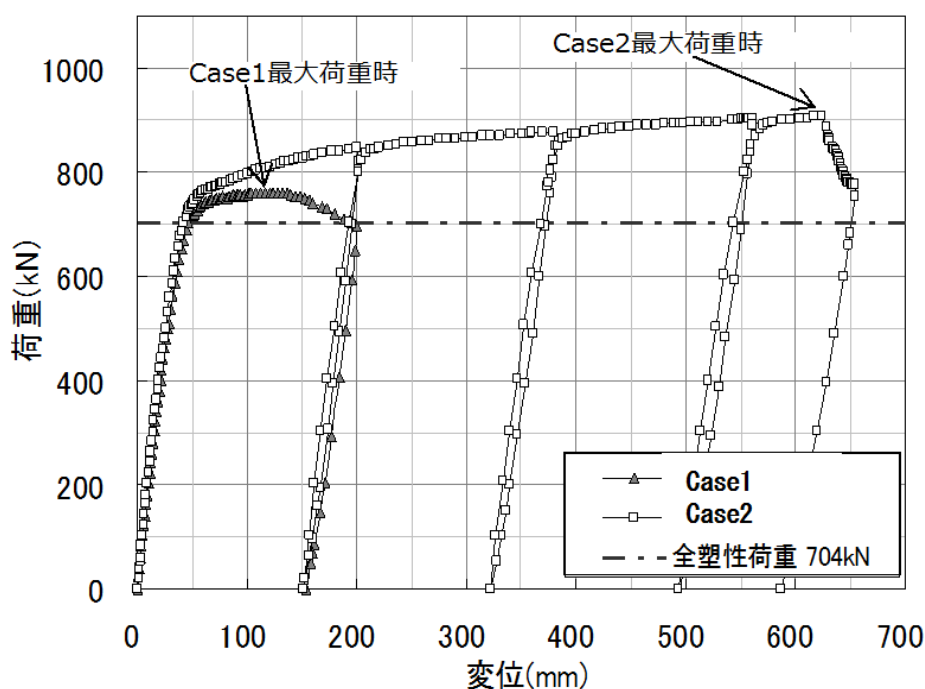
第 5-35 図 実験装置概要図



第 5-36 図 交番水平载荷変形

(b) 結果の概要 (Case1 と Case2 の比較)

水平一方向荷重ケース (Case1 及び Case2) のうち, Case1 (4重管中詰無) の結果, 最大荷重は多重管の全塑性荷重 704kN に対して 1.08 倍であり, 概ね一致している。一方, Case2 (4重管中詰有) の結果, 最大荷重平均で 1.29 倍となった。Case1 と Case2 を比較すると, 最外管の局部座屈発生までは同じ挙動を示すが, Case2 は Case1 と比較して最内側管がコンクリートで中詰めされていることにより, 曲げ耐力が増加している。Case1 及び Case2 の実験結果を第 5-37 図及び第 5-14 表に示す。



第 5-37 図 Case1 及び Case2 の最大荷重時の荷重変形関係

第 5-14 表 Case1 及び Case2 の実験結果の比較

実験Case	最大荷重 (kN)	最大荷重時変形 (mm)	全塑性荷重に対する比率
Case 1	761	120	1.08
Case 2	907	624	1.29

(c) 結果の概要 (Case3 の結果)

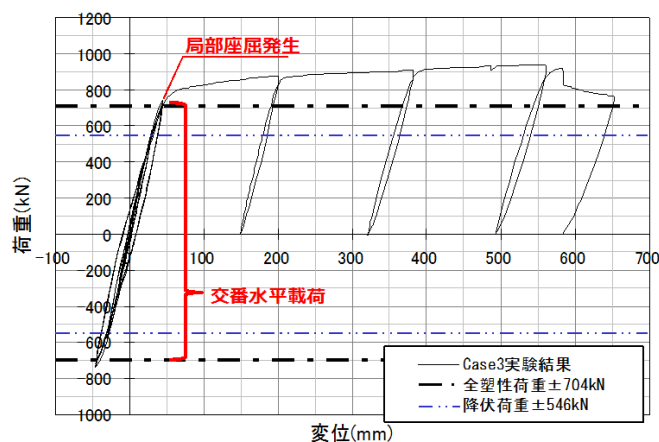
Case3 (交番载荷後, 水平一方向) の結果, 繰返し荷重を受けた後でも Case2 と同様に荷重は緩やかに上昇している。水平荷重と変形の関係から, 多重鋼管杭に対する水平载荷実験の荷重は, 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 11 年 4 月」より算定した各管の全塑性モーメントの合計値に達する時の全塑性荷重と概ね一致していることを確認した。また, 実験後の試験体の観察の結果, 圧縮側のモルタル・コンクリートにひび割れ等の損傷は見られない。また, 圧縮側の鋼管杭の座屈による変形量は内側ほど小さいことから, 外側から内側にかけて順番に座屈が発生したと考えられる。

以上より多重鋼管杭は一体構造として挙動して荷重を分担しており, 降伏荷重においても弾性挙動を示していることを確認した。

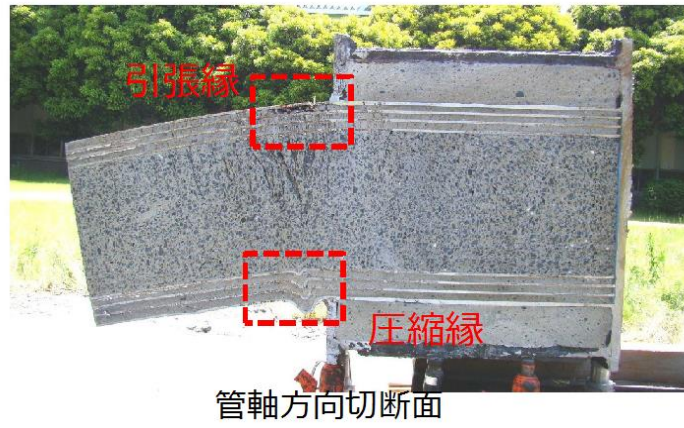
水平载荷試験の最大荷重時の写真を第5-38 図に, 水平荷重と変形を第5-39 図に, 試験後の試験体の切断面の写真を第5-40 図に示す。



第 5-38 図 最大荷重時座屈状況



第 5-39 図 水平荷重と変形の関係



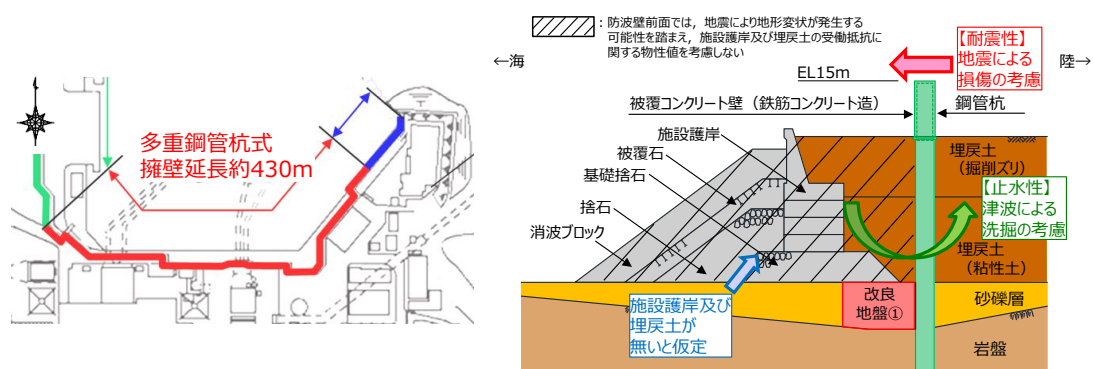
第 5-40 図 水平載荷試験状況

(4) 施設護岸による影響検討

(a) 検討方針

防波壁（多重鋼管杭式）の前面または背面には、施設護岸が近接して設置されている。地震時の検討においては、施設護岸はその形状を適切にモデル化し、有効応力解析により耐震性を評価する。これにより、防波壁への波及的影響を考慮する。また、津波時においては、防波壁の設置状況に応じた地盤ばねを設定し、津波波圧を作用させて静的フレーム解析により耐津波性を評価する。一方で、施設護岸については、耐震性が低く、その損傷による防波壁へ影響を及ぼす可能性が考えられることから、それが損傷した場合の防波壁への影響を確認する。

ここでは、施設護岸が地震により損傷した場合の防波壁の「耐震性」、「耐津波性」及び「止水性」に与える影響を確認し、施設護岸の取り扱いを評価する。施設護岸の地震による損傷の程度を評価することが困難であることから、保守的に、施設護岸が無いものと仮定した状態における防波壁への影響（耐震性）及び地震による損傷後に津波が襲来した場合の津波の地盤中からの回り込みによる影響（止水性）について検討する。なお、「耐津波性」については、当初設計から施設護岸等が無いものとして津波波圧を作用させた検討（添付資料25「2. 構造成立性評価」参照）を実施していることから、検討を省略する。



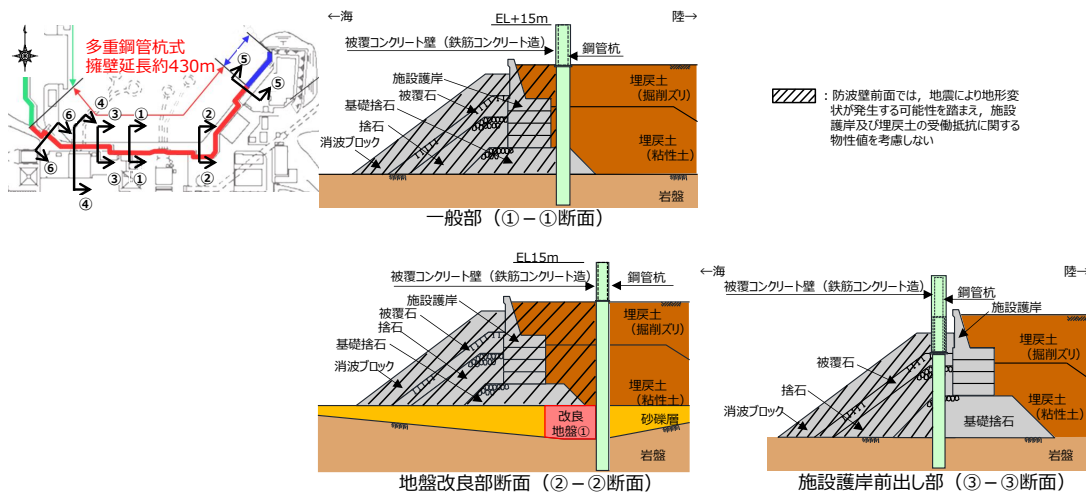
第 5-41 図 検討概要図

(b) 耐震性の検討方針（断面選定）

施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）の検討は、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の解析を実施することにより行う。

施設護岸等が無いと仮定した検討は、第5-42 図に示すとおり施設護岸が防波壁より海側及び陸側に位置する断面について実施する。施設護岸が防波壁より海側に位置する断面として、鋼管杭が長く埋戻土層厚が厚いことから、鋼管杭への影響が最も大きいと判断する「一般部（①-①断面）」及び施設護岸の下部に砂礫層が位置し、鋼管杭の前面に地盤改良を実施した「地盤改良部断面（②-②断面）」を選定する。また、施設護岸が防波壁より陸側に位置する断面として「施設護岸前出し部（③-③断面）」を選定する。

なお、「取水路横断部（④-④断面）」、「北東端部（⑤-⑤断面）」及び「西端部（⑥-⑥断面）」については、第5-15 表に示すとおり、鋼管杭長及び周辺状況を踏まえ、地震時の鋼管杭への影響が最も大きいと考える①-①、②-②及び③-③断面の検討結果に包含されると判断した。



第5-42 図 選定した各断面の検討概要図

第 5-15 表 施設護岸等が無いと仮定した検討対象断面の選定理由

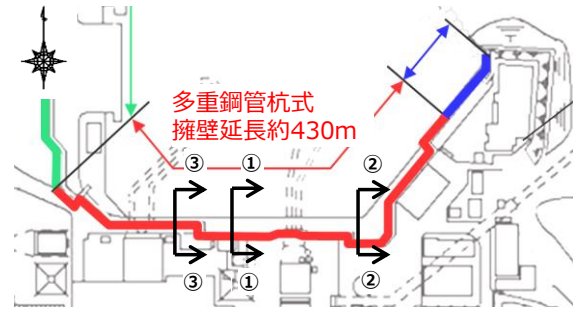
検討対象断面	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）		
	一般部（①-①断面）	改良地盤部（②-②断面）	施設護岸前出し部（③-③断面）
類似断面	西端部（⑥-⑥断面）	-	取水路横断部（④-④断面）, 北東端部（⑤-⑤断面）
選定理由	・①-①断面は、施設護岸が防波壁より海側に位置する断面であり、同様の周辺状況である⑥-⑥に比べて鋼管杭が長く埋戻土層厚が厚いことから、鋼管杭への影響が大きい①-①断面を検討対象断面に選定する。	・②-②断面は、鋼管杭の前面に改良地盤を実施した断面であり、①-①、③-③～⑥-⑥断面とは異なる周辺状況であることから、②-②断面を検討対象断面に選定する。	・③-③断面は、施設護岸が防波壁陸側に位置する断面である。同様の周辺状況である④-④断面は防波壁北側に2号炉取水槽が隣接しており、また、⑤-⑤断面は防波壁位置に施設護岸が配置されており、これらに比べて鋼管杭への地震時土圧が大きい③-③断面を検討対象断面に選定する。

(c) 耐震性の解析条件及び解析結果

施設護岸が地震により損傷することによる防波壁への影響（耐震性）検討における解析条件は以下のとおり。

- ・施設護岸及び埋戻土の受働抵抗に関する物性値を考慮しないよう、剛性を低下させる（剛性を一律 1/1000 以下とする）。なお、施設護岸及び埋戻土の重量は変更しない。
- ・港湾基準によると、施設護岸の石材（基礎捨石、被覆石）の強度特性は粘着力 $C=20$ (kN/m²)、せん断抵抗角 $\Phi f=35$ (°) とされているが、保守的に $C=0$ (kN/m²)、 $\Phi f=35$ (°) と設定する。
- ・地震荷重は、基準地震動 S_s-D する。解析結果を以下に示す。なお、ここでは鋼管杭の構造成立性検討において最も厳しい損傷モードである曲げにより照査を行った。鋼管杭の曲げに対する安全率は 1 以上となり、構造が成立することを確認した。

詳細設計段階では、施設護岸がある場合の防波壁の耐震性を評価し、これにより施設護岸の防波壁への波及的影響を確認する。また、施設護岸が地震により損傷する可能性を考慮し、施設護岸及び埋戻土が無いものと仮定した場合も評価する。それぞれの評価において、防波壁及び岩盤等の健全性を説明する。



断面	評価部位	最小安全率となる部位	地震動	最小安全率 (施設護岸がない場合)
一般部 (①-①断面)	鋼管杭	地中部※ 【4重管構造】	S s -D	1.25
地盤改良部断面 (②-②断面)				1.81
施設護岸前出し部 (③-③断面)				1.63

※ 地中部【4重管構造】は、安全率が最も小さくなる外側から2つ目の鋼管杭φ2000(SKK490)の数値を示す。

第 5-43 図 降伏モーメントに対する照査結果（最小安全率時）

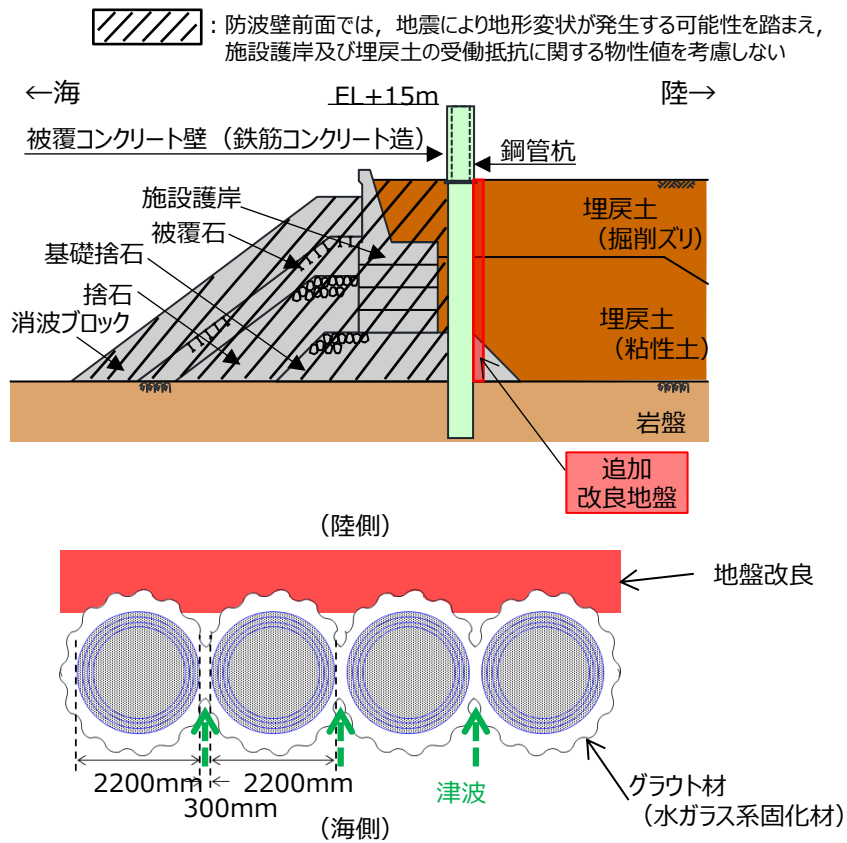
(d) 止水性の検討結果

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）については、鋼管杭間をグラウト材（埋戻土部）（水ガラス系固化材）で充填しているが、施設護岸等が無いと仮定し、杭間に直接津波波圧が作用した場合の津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。

防波壁背後の地盤改良後、防波壁前面の施設護岸及び埋戻土が無いと仮定した場合の浸透流解析を実施した。ここで、津波水位は保守的に EL. +15m とし、透水係数は下表のとおり設定した。

解析の結果、EL. +15m に津波が滞留した状態においても、防波壁より敷地側に浸水は認められないことを確認した。

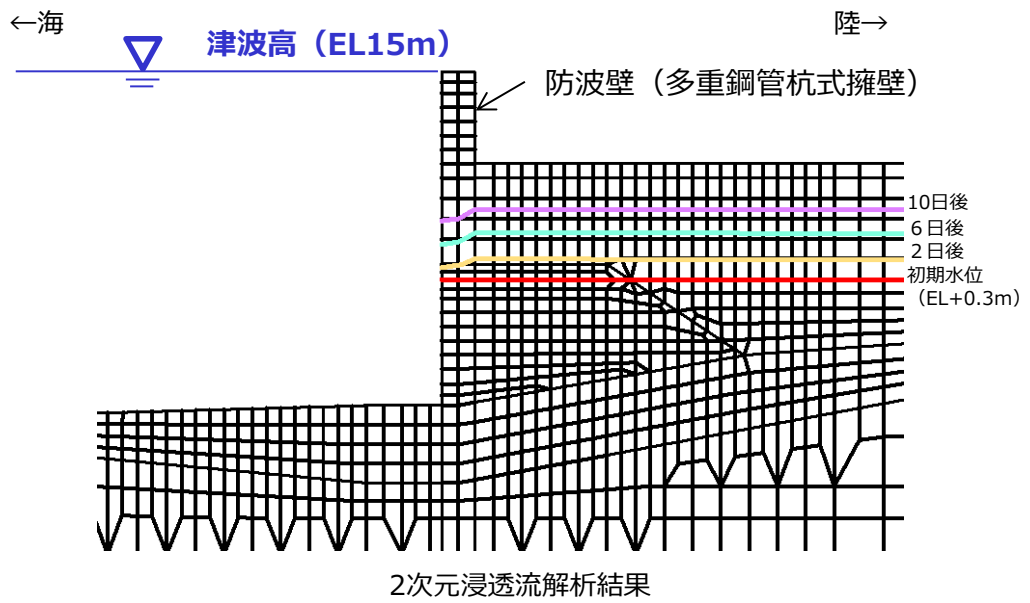
なお、防波壁の背後に実施する地盤改良の仕様は詳細設計段階において説明する。



第 5-44 図 改良地盤の設置イメージ図 (例)

第 5-16 表 透水係数一覧

地盤材料	透水係数(m/s)	摘要
岩盤	1×10^{-5}	CL級岩盤と仮定
埋戻土	2×10^{-3}	
防波壁・改良地盤	1×10^{-7}	



第 5-45 図 2次元浸透流解析結果 (②-②断面)

(5) 構造等に関する先行炉との比較

(a) 比較の観点

島根原子力発電所の防波壁構造型式の設計において留意すべき事項を整理するため、島根原子力発電所と先行炉（日本原子力発電(株)東海第二発電所、東北電力(株)女川原子力発電所及び関西電力(株)美浜発電所）の防潮堤等について構造等を比較する。

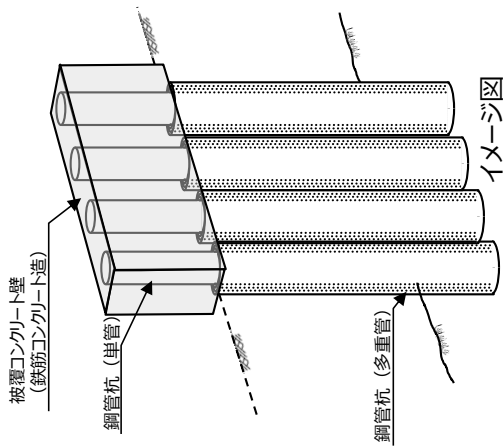
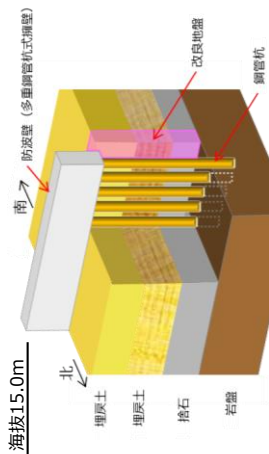
また、先行炉との比較を踏まえ、先行炉実績との類似点を踏まえた設計方針の適用性及び先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項を示す。

(b) 先行炉との比較

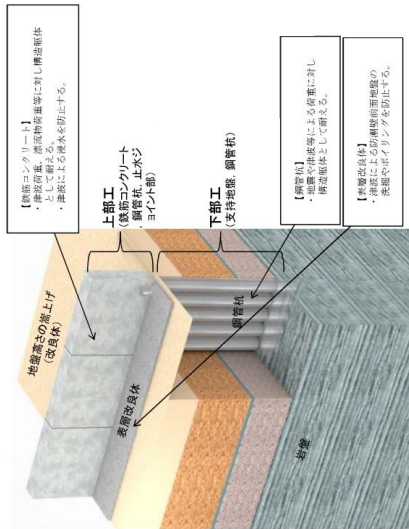
防波壁のうち多重鋼管杭式擁壁については、岩盤に支持された鋼管杭に上部工として被覆コンクリート壁を設置する構造であることから、類似する先行炉津波防護施設として、東海第二発電所における鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁を選定する。それぞれの構造概要を第 5-46 図に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は港湾基準の自立矢板式護岸に準拠し設計を行う。島根原子力発電所の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ第 5-17 表のとおり整理した。

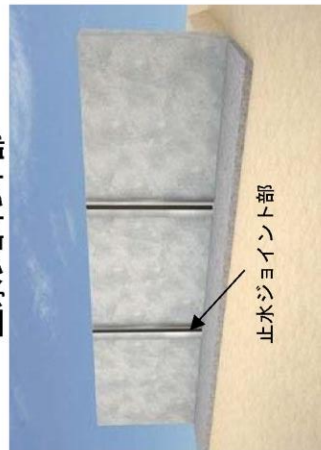
島根原子力発電所
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）



東海第二発電所
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



止水ジョイント部



参考：日本原子力発電株式会社 東海第二発電所 平成29年10月26日審査会合 資料2-1-7

第5-46 図 構造イメージ（島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び
東海第二発電所 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）

第5-17表 防波壁（多重鋼管杭擁壁）の構造等に関する先行炉との比較

評価項目	島根原子力発電所 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） の構造等	先行炉の構造等*	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を踏まえた設計 方針の 適用性	先行炉実績との相違点を踏まえた設計 への 反映事項	
		日本原子力発電(株) 東海第二発電所 （鋼管杭鉄筋コンクリート防 潮壁）	類似点	相違点			
防波壁の構造	下部工の構造	・鋼管杭は岩盤に支持させる。	・鋼管杭を岩盤に支持。	—	・同様の支持形態である。	—	
		・上部工から伝達される荷重に耐える構造とするため、鋼管杭（多重鋼管杭）を採用する。	・鋼管杭（単管）を採用する。	—	・鋼管杭の構造の違い	—	・多重鋼管杭が一体として挙動することを、水平載荷実験により確認している。
		・鋼管杭の許容限界： （曲げ）降伏モーメント （せん断）せん断応力度	・鋼管杭の許容限界： 短期許容応力度	—	・鋼管杭の許容限界の違い	—	・鋼管杭の許容限界について、道路橋示方書・同解説（平成14年3月）に基づき、曲げについては降伏モーメント、せん断についてはせん断応力度をそれぞれ設定し、設計する。
		・遮水性保持のために、防波壁背後に地盤改良を実施する。	・遮水性保持のために、海側にシートパイルを施工する。	—	・遮水性保持を期待する設備の違い	—	・今後、2次元動的FEM解析により改良地盤の健全性を確認する。
	上部工の構造	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重は、鋼管で負担する設計としている。	・鋼管杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆する。 ・地震荷重並びに津波荷重を全て鉄筋コンクリートで負担できる設計としている。	—	・遮水性を確保する部材の設計方針の違い	—	・今後、3次元静的FEM解析により被覆コンクリート壁の健全性を確認する。
止水対策	止水目地	・止水目地材として、相対変形量に応じ、ゴムジョイント若しくはシートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防波壁の陸側に設置する。 ・止水目地の許容限界： メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。	・止水目地材として、相対変形量に応じ、シートジョイントを採用する。 ・設置箇所：防潮堤の堤内側と堤外側に設置する。 ・止水目地の許容限界： 許容変形量、許容引張強度	・同等の仕様の止水目地を採用している。	・止水目地は、防波壁の陸側に設置する。	・同様の止水目地材の採用であることから、先行炉の止水目地の設計方針が適用可能である。	・止水目地取り換え時に一時的に遮水性が確保できなくなることが懸念されるが、耐用年数が30年であり、経年劣化による取り換えは不要と考えられる。万一取り換えの必要が生じた場合については、津波襲来までの時間で取り換えを行うよう、今後運用面の手順を整備する。
液状化影響に関する設計への反映	・液状化検討対象層（埋戻土（掘削スリ、砂礫層））に対して、液状化試験結果及び有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき液状化強度特性を設定する。	・液状化検討対象層に対して、液状化試験結果を踏まえ、地盤を強制的に液状化させる条件（豊浦標準砂の考慮）も含めて保守的な液状化強度特性を設定する。	—	・液状化強度特性の設定において、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法を採用している。	—	・簡易設定法による液状化強度比が、液状化強度試験に基づく液状化強度特性より保守的となっていることを確認している。 ・別途、「地盤の液状化強度特性」の審査において説明する。	

※先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。