

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	SA設-C-1 改95
提出年月日	平成30年3月2日

東海第二発電所

重大事故等対処設備について

平成30年3月

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

目 次

- 1 重大事故等対処設備
- 2 基本設計の方針
 - 2.1 耐震性・耐津波性
 - 2.1.1 発電用原子炉施設の位置
 - 2.1.2 耐震設計の基本方針 【39 条】
 - 2.1.3 耐津波設計の基本方針 【40 条】
 - 2.2 火災による損傷の防止
 - 2.3 重大事故等対処設備の基本設計方針 【43 条】
 - 2.3.1 多様性，位置的分散，悪影響防止等について
 - 2.3.2 容量等
 - 2.3.3 環境条件等
 - 2.3.4 操作性及び試験・検査性について
- 3 個別設備の設計方針
 - 3.1 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備 【44 条】
 - 3.2 原子炉冷却材圧力バウンダリ 高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備 【45 条】
 - 3.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備 【46 条】
 - 3.4 原子炉冷却材圧力バウンダリ 低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備 【47 条】
 - 3.5 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備 【48 条】
 - 3.6 原子炉格納容器内の冷却等のための設備 【49 条】
 - 3.7 原子炉格納容器内の過圧破損を防止するための設備 【50 条】
 - 3.8 原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備 【51 条】

- 3.9 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備【52条】
- 3.10 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備【53条】
- 3.11 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備【54条】
- 3.12 工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備【55条】
- 3.13 重大事故等の収束に必要なとなる水の供給設備【56条】
- 3.14 電源設備【57条】
- 3.15 計装設備【58条】
- 3.16 原子炉制御室【59条】
- 3.17 監視測定設備【60条】
- 3.18 緊急時対策所【61条】
- 3.19 通信連絡を行うために必要な設備【62条】

別添資料-1 基準津波を超え敷地に遡上する津波に対する津波防護方針に
ついて

~~別添資料-2 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備（格納容器
圧力逃がし装置）について~~

~~別添資料-3 代替循環冷却の成立性について~~

~~別添資料-4 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備に
ついて~~

基準津波を超え敷地に遡上する津波に対する防潮堤耐力について

1. はじめに

東海第二発電所の津波 P R A に基づく事故シーケンス選定において、基準津波を超え敷地に遡上する津波（以下「敷地に遡上する津波」という。）を起因した事故シーケンスグループ「津波浸水による注水機能喪失」を抽出し、津波防護対策を実施することとしている。

この際、敷地に遡上する津波高さは、防潮堤の耐力である T. P. +24m に基づき設定している。このため、防潮堤耐力 T. P. +24m の設定の考え方について整理した。

2. 基準津波に対する防潮堤の設計概要

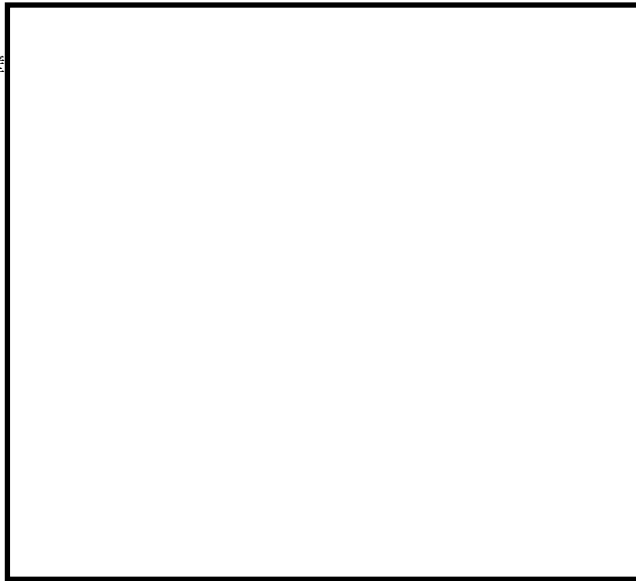
防潮堤の設置計画を第 1 表に示す。防潮堤は、基準津波の遡上波の地上部からの敷地への到達、流入を防止するため、敷地を取り囲むように設置することとしている。防潮堤の構造形式は、鋼製防護壁、鉄筋コンクリート防潮壁及び鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁からなる。また、敷地南側の敷地境界及び海水ポンプ室に設置する鉄筋コンクリート防潮壁には、それぞれのアクセスのために防潮扉を設置することとしている。

基準津波の遡上波の防潮堤前面における最高水位は、敷地前面東側で T. P. +17.1m、敷地側面北側で T. P. +15.2m、敷地側面南側で T. P. +15.4m である。これに対し、人工構造物である防波堤の有無による津波高さへの影響、潮位のばらつき、高潮の重畳等を考慮し、敷地前面東側の防潮堤高さは T. P. +20m、敷地側面北側及び南側の防潮堤は T. P. +18m としている。

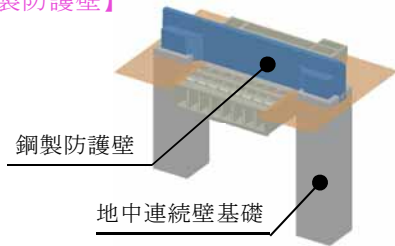
第1表 防潮堤の設置計画

敷地区分	エリア区分	構造形式		天端高さ (T.P. +m)
		上部工	下部工	
敷地前面東側	a. 海水ポンプ エリア	鋼製防護壁	地中連続壁 基礎	20.0
		鉄筋コンクリート防潮壁		
敷地側面北側	b. 敷地周辺 エリア	鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア)	鋼管杭	18.0
敷地側面南側		鋼管杭鉄筋コンクリート 防潮壁		

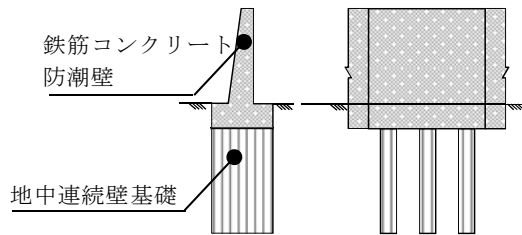
- 鋼製防護壁
- 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁
- 鉄筋コンクリート防潮壁



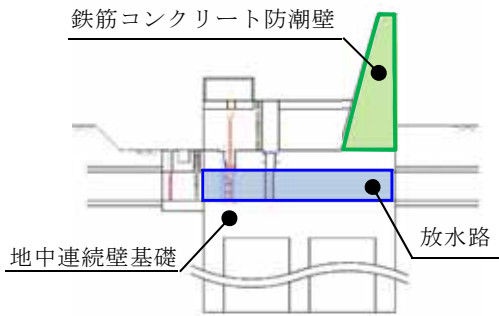
【鋼製防護壁】



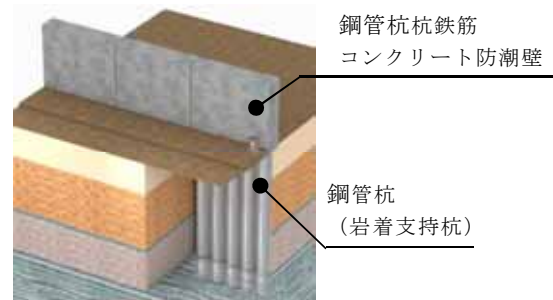
【鉄筋コンクリート防潮壁】



【鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）】



【鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁】



防潮堤の設計に当たっては、設置許可基準規則第5条（津波による損傷の防止）及び別記3並びに基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイドの要求に従い、第2表のとおり荷重の組合せ、荷重の設定、許容限界を定めている。特に防潮堤に期待される津波防護機能を保持するため、機能保持限界として、地震後、津波後の再使用性及び津波の繰返し作用を考慮し構成する部材が概ね弾性状態に収まる設計としている。具体的には短期許容応力度以下とすることにより、津波防護機能を保持する設計としている。

第2表 防潮堤の設計方針

項目	設計方針
荷重の組合せ	<p>常時荷重，地震荷重，津波荷重及び余震荷重を適切に組み合わせた条件とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 ・常時荷重＋津波荷重＋漂流物衝突荷重 <p>また，設計に当たっては，風荷重及びその他自然現象に伴う荷重については，施設の設置状況，構造（形状）等の条件を含めて適切に組合せを考慮する。</p>
荷重	<p>設計に考慮する荷重は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・常時荷重：自重等を考慮 ・地震荷重：基準地震動 S_s を考慮 ・津波荷重：潮位のばらつき等を考慮した防潮堤前面における入力津波高さに十分な余裕をもった津波荷重水位を考慮 ・余震荷重：余震による地震動を検討し，余震荷重を設定（弾性設計用地震動 $S_d - D1$ を設定） ・漂流物荷重：漂流物重量 50tf の衝突荷重を設定
許容限界	<p>津波防護機能に対する機能保持限界として，地震後，津波後の再使用性及び津波の繰返し作用を想定し，構成する部材が概ね弾性状態（短期許容応力度以下）に収まる設計とする。</p>

3. 防潮堤耐力の設定の考え方

防潮堤は、設計基準事象である基準津波に対して津波防護機能を保持するため、2. 項に記載したとおり、想定する荷重に対して概ね弾性状態に収まることを基本とし、実設計においては、短期許容応力度に対して一定の余裕を持った設計としている。

一方、津波PRAにおいては、防潮堤高さ（T.P. +20m）を超える津波高さを評価対象とした上で、津波による事故シーケンスを抽出するとともに炉心損傷防止対策を検討している。また、有効性評価においては、重要事故シーケンスとして選定した「原子炉建屋内浸水により複数の緩和機能喪失」に対する対策の有効性について確認している。

このため、防潮堤の有する実力耐力を前提に、敷地に遡上する津波による現実的な対策を検討し、その有効性を確認する必要があると考えるが、この際、津波特有の考慮事項として、繰返し襲来する津波に対して防潮堤はその機能を保持し、敷地への津波の流入を防止する必要があることから、想定するT.P. +24mの第1波の津波に対して、防潮堤は概ね弾性状態（曲げ応力に対しては降伏応力度以下、せん断応力に対してはせん断強度以下）を許容限界値として設計を行うこととした。

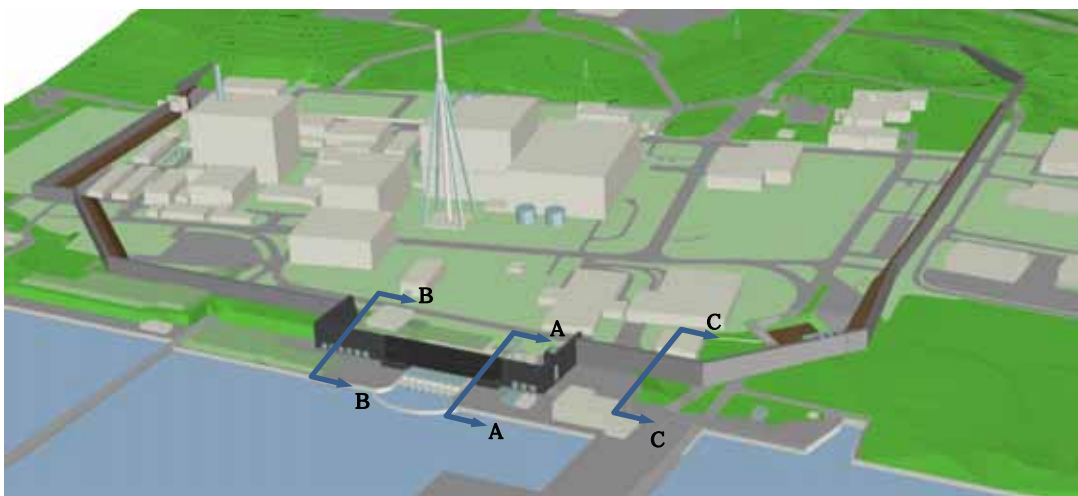
4. 防潮堤の耐力評価

(1) 検討条件

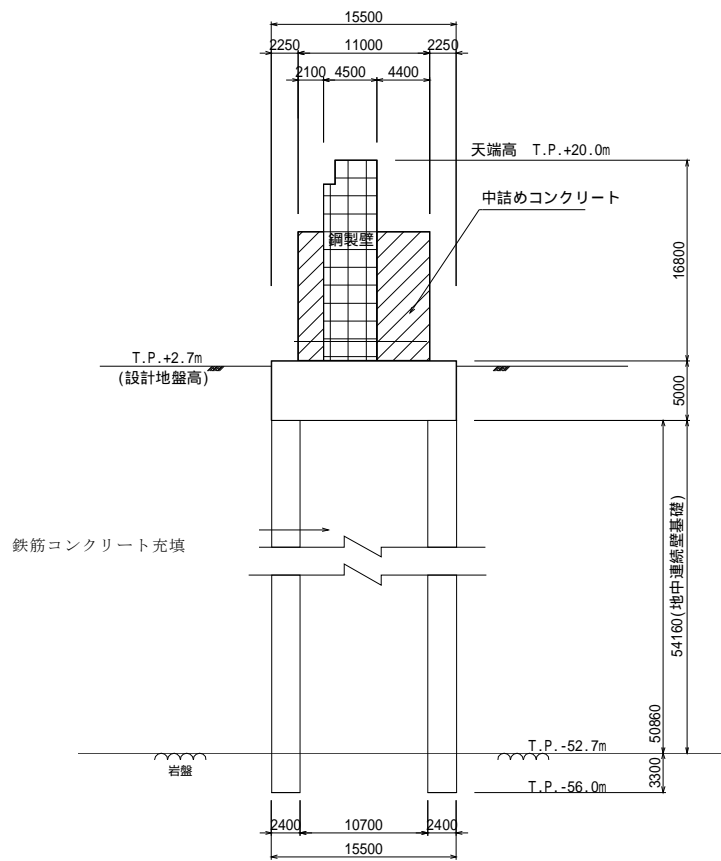
防潮堤の耐力評価に当たっては、基準津波による津波シミュレーションにおいて、津波高さが最も高くかつ敷地高さの低い、防潮堤への津波波力が最も大きくなる海水ポンプエリア周辺を選定した上で、防潮堤の構造形式別に評価した（第5条津波による損傷の防止での代表断面と同じ断面とした）。

鋼製防護壁は、取水口を跨いで北側と南側に地中連続壁基礎を設置するため両断面を対象に検討を行った。鉄筋コンクリート防潮壁は、取水口の北側と南側に設置されるが、防潮堤の天端高さ及び地表の設置標高は同様であるため、基礎全体の根入れ深さに比較して岩盤への根入れ長が大きく、水平荷重に対して曲げモーメントが大きくなる取水口南側を検討断面とした。また、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、設置標高が低く壁高が高い（津波荷重が大きくなる）断面を検討断面とした。

防潮堤の耐力評価は、基準津波及びT.P. +24m津波について実施した。評価を行った海水ポンプエリア周辺の防潮堤配置図及び断面図を第1図～第4図に示す。

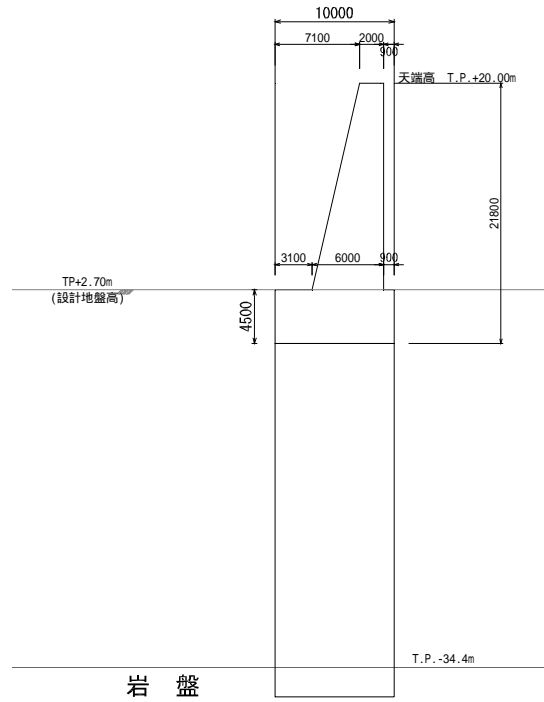


第1図 海水ポンプエリア周辺防潮堤配置図



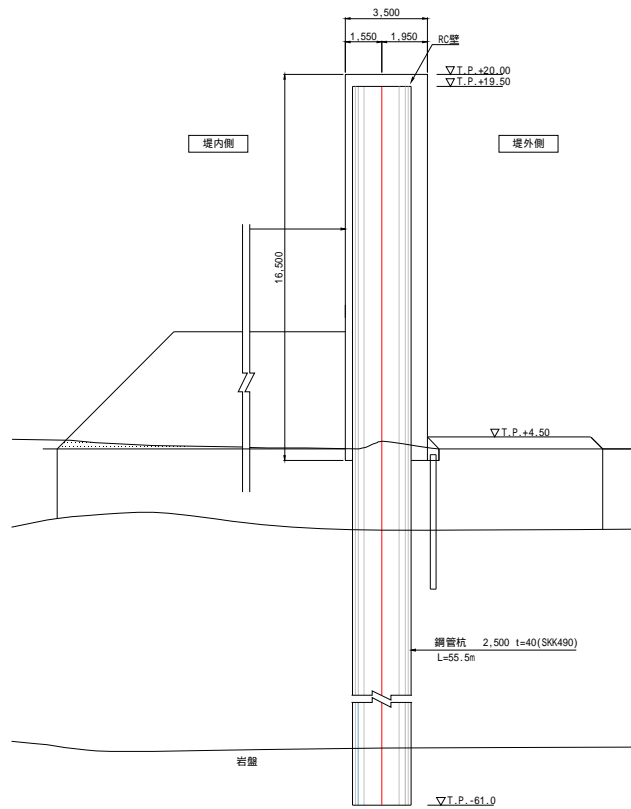
注) 今後の詳細設計により、仕様について変更の可能性はある。

第2図 鋼製防護壁断面図 (A-A断面)



注) 今後の詳細設計により, 仕様について変更の可能性はある。

第3図 鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (B-B断面)



注) 今後の詳細設計により, 仕様について変更の可能性はある。

第4図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (C-C断面)

(2) 検討内容

1) 解析モデル

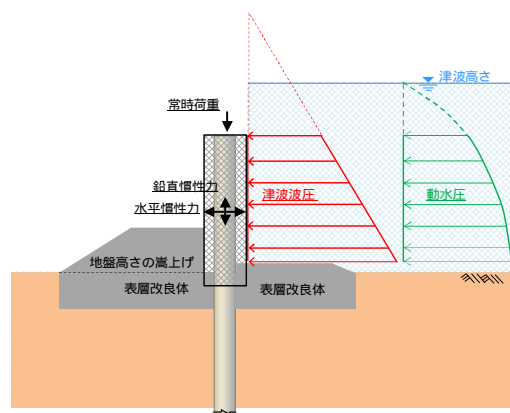
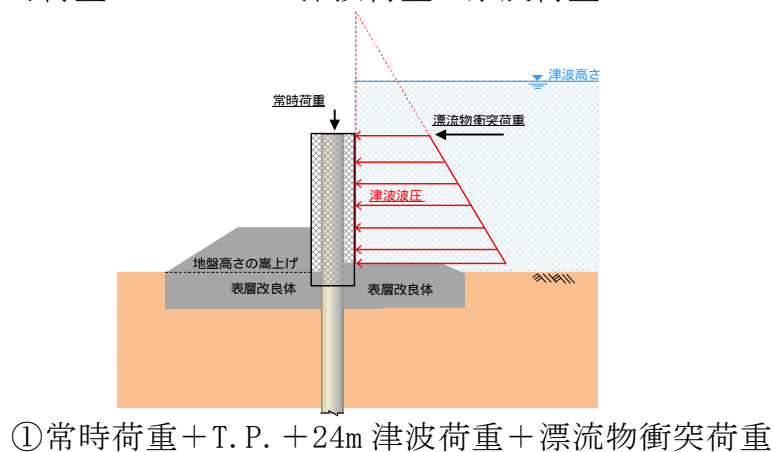
設置許可基準規則第5条及び技術基準規則第6条の要求事項に対して適合性を示した資料「東海第二発電所 津波による損傷の防止」に記載した同モデルを用いる（鋼製防護壁は添付資料2-1，鉄筋コンクリート壁は添付資料2-2，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は添付資料2-4）。

2) 検討ケース

検討ケースは、荷重の組合せを考慮した以下のケースを実施した。

① 常時荷重 + T. P. + 24m 津波荷重 + 漂流物衝突荷重

② 常時荷重 + T. P. + 24m 津波荷重 + 余震荷重

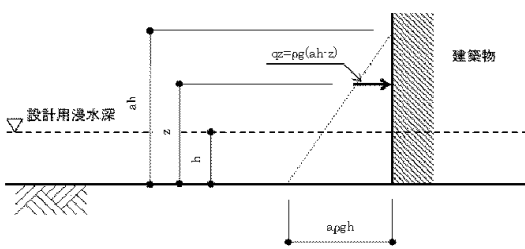


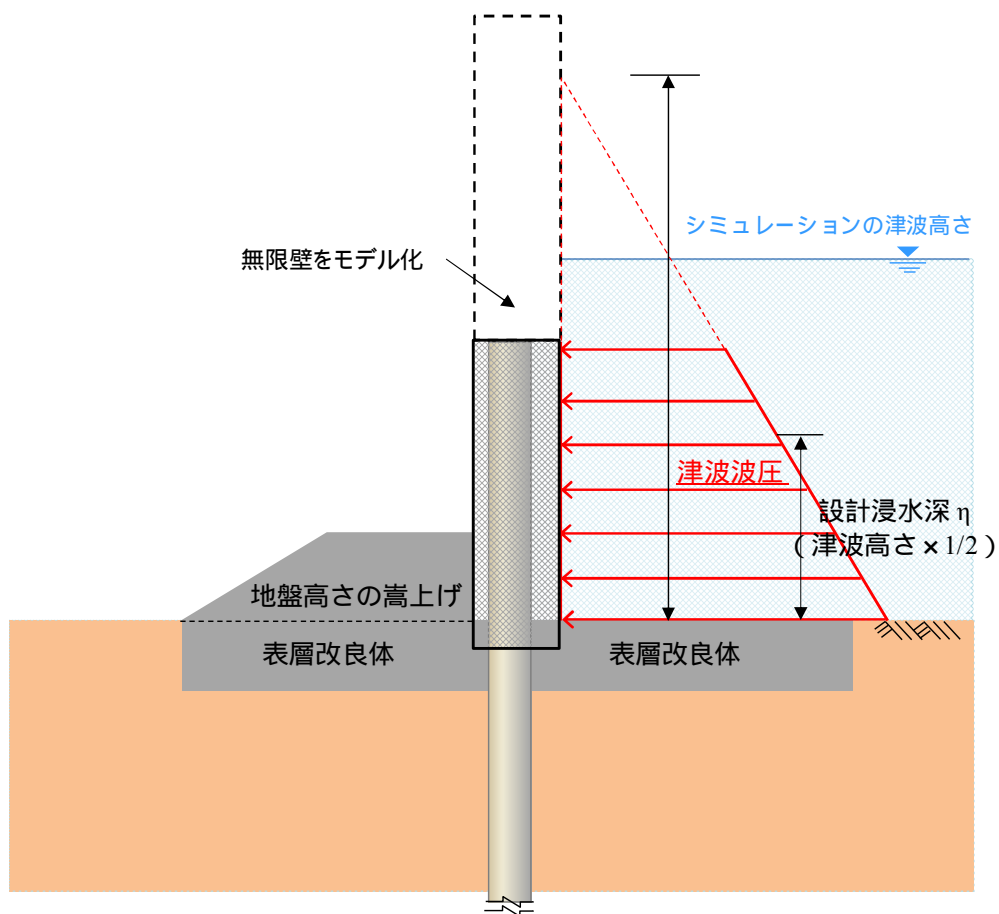
第5図 荷重作用概要

3) 検討用荷重

検討に用いた防潮堤に作用する主な荷重について、第3表に示す。

第3表 検討用荷重

荷重	内容
常時荷重	構造物の自重及び積雪荷重（堆積量 30cm, 単位荷重 20N/cm/m ² ）
津波荷重	<p>防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）等に基づき、防潮壁を考慮した数値シミュレーション解析により得られた防潮堤位置の最大津波高さの 1/2*の高さを入射する津波高さ（設計浸水深）とし、朝倉式から設計浸水深の 3 倍（水深係数 $\alpha=3$）により津波波力を設定した。</p>  <p>津波波圧 $q = \rho g (a h - Z)$ h : 設計用浸水深 Z : 当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq Z \leq a h$) a : 水深係数, 3 とする。 ρg : 海水の単位体積重量</p> <p>（津波防護施設の津波荷重の算定式は、朝倉ら（2000）の研究を元にした「港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成 25 年 10 月）」や「防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）等を参考に最も保守的となる波圧を設定した。）</p> <p>※防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）の記載「現行の港湾基準では、便宜上防波堤前面における最大津波高さの 1/2 の高さを入射する津波高さとして設定することとしているが、実際には防波堤前面以外の場所でも防波堤および陸域からの反射の影響を含んでいるため、数値シミュレーション等による津波高さ（基準水面からの高さ）の 1/2 を入射津波高さとして定義し、波力算定にはこれを用いるものとする。」</p>
漂流物衝突荷重	<p>漂流物重量 50tf, 津波流速 15m/s*を用いて道路橋示方書式により衝突荷重を算定し、防潮堤天端に集中荷重として作用させる。</p> <p>※T.P. +24m 津波時の流速は、取水口前面における基準津波の流速との比率 1.51 を用いて設定（基準津波時の最大流速 7.1m/s \times 1.51 = 10.7m/s を保守的に 15m/s とした）。</p>
余震荷重	<p>弾性設計用地震動 Sd-D1 波を用いて、一次元波動論に基づき地表面加速度を算定し構造物の慣性力として作用させる。</p>
動水圧荷重	<p>遡上高さ T.P. +24m を水面として動水圧を Westergaard 式にて算定し、防潮堤天端から荷重を作用させる。</p>



第 6 図 T.P. +24m津波荷重の算定概要図

4) 許容限界値

鉄筋コンクリートや鋼材の照査に用いる許容限界値は、概ね弾性状態とし、曲げは降伏応力度、せん断はせん断強度とする。また、照査値は耐力作用比（発生応力／許容値）で表現し、1.0 以下であれば弾性状態と判断する。

5) 検討結果

現時点における鋼製防護壁、鉄筋コンクリート防潮壁及び鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の耐力の評価状況を第4表～第6表に、断面図等を第7図～第9図に示す。

第4表(1) 鋼製防護壁の評価結果 (上部工) 鋼製防護壁

鋼材：SM490Y, SM570 材	照査値	
	曲げ	せん断
①常時荷重+T.P.+24m 津波荷重+漂流物衝突荷重	0.88	0.83
②常時荷重+T.P.+24m 津波荷重+余震荷重	0.48	0.57

※三次元 FEM 解析結果による照査値で表示。

※曲げ引張り応力度は、鋼材の降伏応力度（道路橋示方書 鋼橋編）に対して照査。

※曲げ圧縮応力度は、鋼材の降伏応力度（道路橋示方書 鋼橋編）に対して低減を考慮して照査。

※せん断応力度は、鋼材の降伏応力度/ $\sqrt{3}$ に対して照査

※地盤ばねの上限值は地盤の平均ピーク強度を用いた。地盤ばね定数は、津波時は静弾性係数を、余震との重畳時は余震時の収束剛性を用いた。

※照査値は耐力作用比（発生応力/許容値）で表現し、1.0 以下であれば弾性状態と判断。

第4表(2) 鋼製防護壁の評価結果 (下部工) 地中連続壁

コンクリート： $f_{ck}=30, 40, 50\text{N/mm}^2$ 鉄筋：SD490	照査値	
	曲げ	せん断
①常時荷重+T.P.+24m 津波荷重+漂流物衝突荷重	0.40	0.18
②常時荷重+T.P.+24m 津波荷重+余震荷重	0.57	0.16

※三次元 FEM 解析結果による照査値で表示。

※曲げ圧縮応力度は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 2.0（コンクリート標準示方書 構造照査編 2002 年）を考慮した許容値（20, 28, 32N/mm²）に対して照査。二軸曲げの場合は、2N/mm²を加算する（道路橋示方書Ⅲ-コンクリート橋編-p.126）。

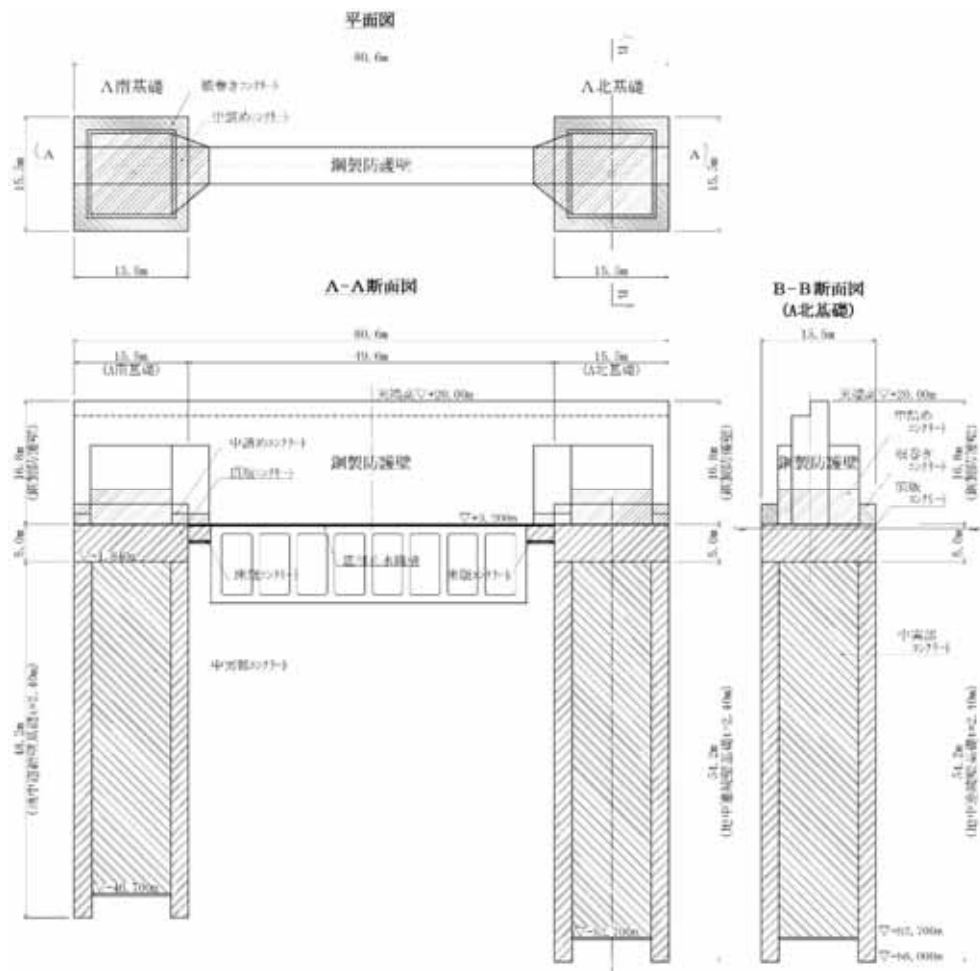
※曲げ引張り応力度は、鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65（コンクリート標準示方書 構造照査編，2002 年）を考慮した許容値（478N/mm²）に対して照査。

※せん断応力度は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 2.0、鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65（コンクリート標準示方書 構造照査編，2002 年）を考慮した許容値（コンクリート $\tau_{a2}=3.8, 4.8, 4.8\text{N/mm}^2$ ），鉄筋 330N/mm²）に対して照査。

※地盤ばねの上限值は地盤の平均ピーク強度を用いた。地盤ばね定数は、津波時は静弾性係数を、余震との重畳時は余震時の収束剛性を用いた。

※照査値は耐力作用比（発生応力/許容値）で表現し、1.0 以下であれば弾性状態と判断。

注）今後の詳細設計により、照査値については変更となる可能性がある。



第7図 鋼製防護壁平・断面図

第5表(1) 鉄筋コンクリート防潮壁の評価結果（上部工）

鉄筋コンクリート壁

コンクリート： $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 鉄筋：SD490	照査値		
	曲げ		せん断
	コンクリート	鉄筋	
①常時荷重+T.P.+24m津波荷重+漂流物衝突荷重	0.40	0.71	0.70
②常時荷重+T.P.+24m津波荷重+余震荷重	0.18	0.28	0.37

※三次元 FEM 解析結果による照査値で表示。

※曲げ圧縮応力度は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 2.0（コンクリート標準示方書 構造照査編 2002 年）を考慮した許容値（ 20N/mm^2 ）に対して照査。二軸曲げの場合は、 2N/mm^2 を加算する（道路橋示方書Ⅲ-コンクリート橋編-p.126）。

※曲げ引張り応力度は、鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65（コンクリート標準示方書 構造照査編，2002 年）を考慮した許容値（ 478N/mm^2 ）に対して照査。

※せん断応力度は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 2.0，鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65（コンクリート標準示方書 構造照査編，2002 年）を考慮した許容値（コンクリート $\tau_{a2}=3.8\text{N/mm}^2$ ），鉄筋 330N/mm^2 ）に対して照査。

※地盤ばねの上限値は地盤の平均ピーク強度を用いた。地盤ばね定数は、津波時は静弾性係数を、余震との重畳時は余震時の収束剛性を用いた。

※照査値は耐力作用比（発生応力/許容値）で表現し、1.0 以下であれば弾性状態と判断。

第5表(2) 鉄筋コンクリート防潮壁の評価結果（下部工）地中連続壁

コンクリート： $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 鉄筋：SD490	照査値	
	曲げ	せん断
①常時荷重+T.P.+24m津波荷重+漂流物衝突荷重	0.32	0.15
②常時荷重+T.P.+24m津波荷重+余震荷重	0.60	0.58

※三次元 FEM 解析結果による照査値で表示。

※曲げ圧縮応力度は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 1.65（コンクリート標準示方書 構造照査編 2002 年）を考慮した許容値（ 28N/mm^2 ）に対して照査。

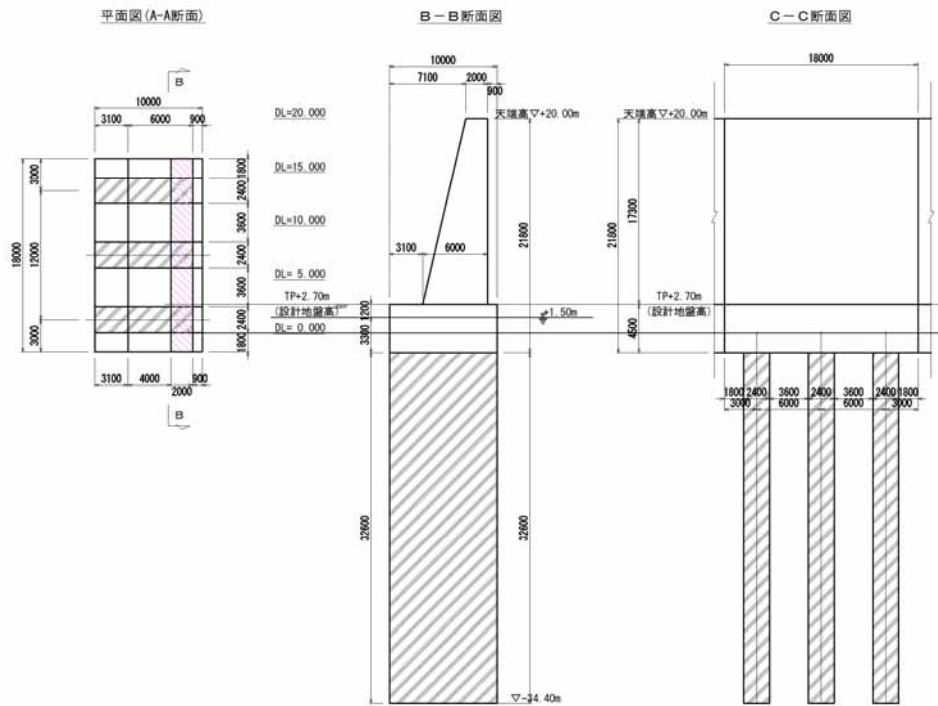
※曲げ引張り応力度は、鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65（コンクリート標準示方書 構造照査編，2002 年）を考慮した許容値（ 478N/mm^2 ）に対して照査。

※せん断応力度は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 2.0，鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65（コンクリート標準示方書 構造照査編，2002 年）を考慮した許容値（コンクリート $\tau_{a2}=4.8\text{N/mm}^2$ ），鉄筋 330N/mm^2 ）に対して照査。

※地盤ばねの上限値は地盤の平均ピーク強度を用いた。地盤ばね定数は、津波時は静弾性係数を、余震との重畳時は余震時の収束剛性を用いた。

※照査値は耐力作用比（発生応力/許容値）で表現し、1.0 以下であれば弾性状態と判断。

注）今後の詳細設計により、照査値については変更となる可能性がある。



第 8 図 鉄筋コンクリート防潮壁平・断面図

第 6 表(1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価結果 (上部工)

鉄筋コンクリート壁

コンクリート : $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 鉄筋 : SD490	照査値		
	曲げ		せん断
	コンクリート	鉄筋	
①常時荷重+T.P.+24m津波荷重+漂流物衝突荷重	0.55	0.62	0.43
②常時荷重+T.P.+24m津波荷重+余震荷重	0.48	0.54	0.36

※二次元梁バネ解析結果による照査値で表示。

※曲げ圧縮応力度は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 1.65 (コンクリート標準示方書 構造照査編 2002 年) を考慮した許容値 (20N/mm^2) に対して照査。

※曲げ引張り応力度は、鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65 (コンクリート標準示方書 構造照査編 2002 年) を考慮した許容値 (478N/mm^2) に対して照査。

※せん断耐力は、コンクリートの許容応力度に割増し係数 2.0 (コンクリート標準示方書 構造照査編, 2002 年) および鉄筋の許容応力度に割増し係数 1.65 (コンクリート標準示方書 構造照査編 2002 年) を考慮して算出した許容値 ($1,703\text{N/mm}^2$) に対して照査。

※照査値は耐力作用比 (発生応力/許容値) で表現し、1.0 以下であれば弾性状態と判断。

第 6 表(2) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価結果 (下部工)

鋼管杭基礎

鋼管杭 : SM570, $\phi 2,500\text{mm}$, $t=35\text{mm}$	照査値	
	曲げ	せん断
①常時荷重+T.P.+24m津波荷重+漂流物衝突荷重	0.83	0.17
②常時荷重+T.P.+24m津波荷重+余震荷重	0.79	0.18

※二次元フレーム解析結果による照査値で表示。

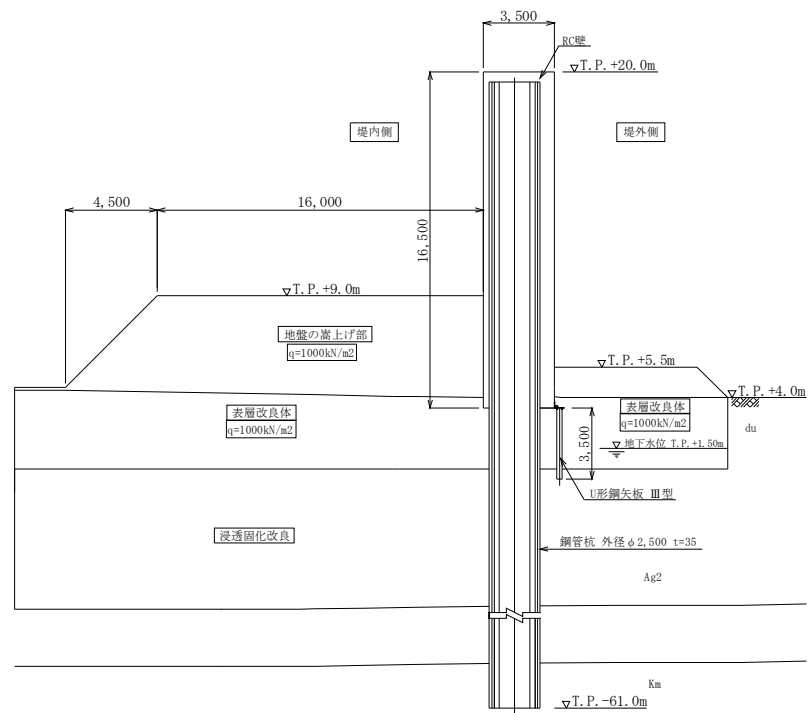
※曲げ引張り応力度は、鋼管杭の許容応力度に割増し係数 1.70 (道路橋示方書 下部工編 H24.3) を考慮した許容値 433.5N/mm^2 に対して照査。

※せん断応力度は、鋼管杭の許容応力度に割増し係数 1.70 (道路橋示方書 下部工編 H24.3) を考慮した許容値 (246.5N/mm^2) に対して照査。

※地盤ばね定数は、津波時は静弾性係数を、余震との重畳時は余震時の収束剛性を用いた。

※照査値は耐力作用比 (発生応力/許容値) で表現し、1.0 以下であれば弾性状態と判断。

注) 今後の詳細設計により、照査値については変更となる可能性がある。



第9図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁断面図

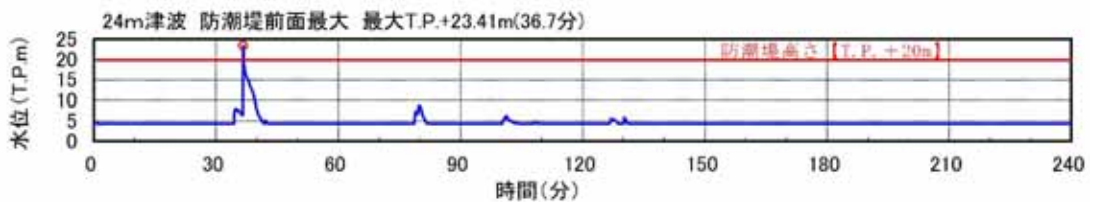
(3) 繰返し襲来する津波に対する防潮堤の機能保持

① T. P. +24m 津波の時刻歴波形

4. (2)項に示したとおり、敷地に遡上する津波（第1波として想定する T. P. +24m 津波）に対して、防潮堤は損傷することはないが、津波特有の考慮事項として、繰返し襲来する津波に対しても防潮堤は損傷することなく、津波の敷地への流入を防止・抑制する必要がある。

敷地に遡上する津波の時刻歴波形は第10図に示すとおり、第1波は地震発生後約37分で到達する。第2波は地震発生後約80分に襲来し、その高さは T. P. 約+9m である。このため、第1波の襲来を受けた防潮堤が第2波の襲来により損傷することがないことを確認する。

なお、第3波以降の津波高さは、原子炉建屋等が設置されている敷地高さである T. P. +8m 以下であるため、評価対象外とした。



第10図 T. P. +24m 津波の時刻歴波形

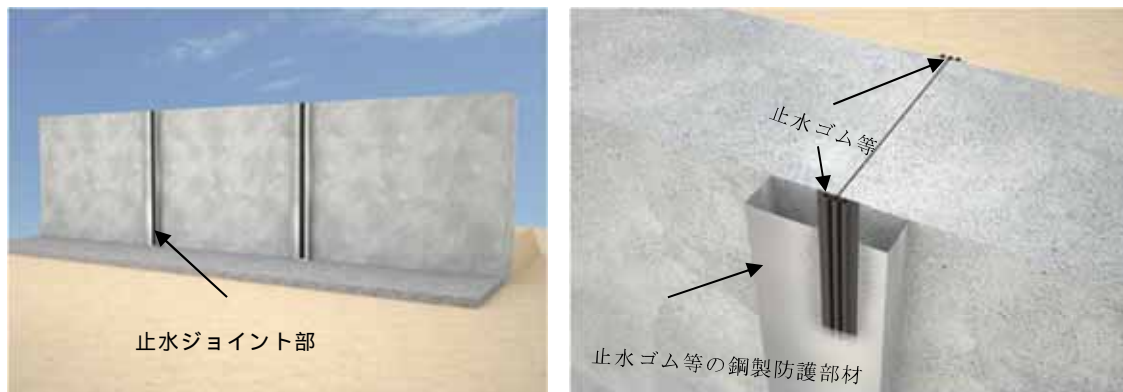
② 繰返し襲来する津波に対する防潮堤の機能保持確認結果

防潮堤の部材は、4. (2)項に示したように、T. P. +24m 津波の津波荷重に対して、おおむね弾性状態に留まる設計とすることから、健全性が確保されているものと判断する。

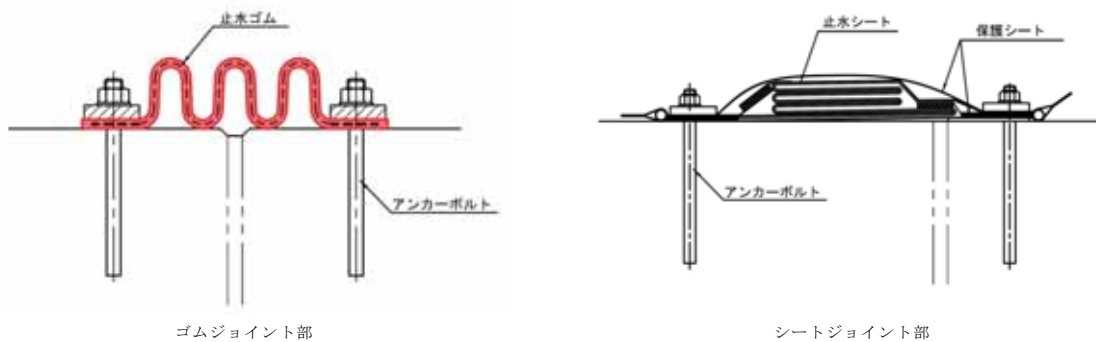
5. 防潮堤に係るその他設備の健全性について

(1) 止水ジョイント

防潮堤の境界には止水ジョイントを設置し、止水ゴム等の材料を用いることにより止水性能を保持する計画である。止水ジョイント部の計画図を第11図に、止水ジョイント部の概念図を第12図に示す。



第11図 止水ジョイント部計画図



第12図 止水ジョイント部の概念図

止水ジョイント部は、地震時に構造物間に生じる相対変位と、その後の津波や余震により構造物間に生じる相対変位に対して止水性を確保するため、伸縮性を有するものとし、堤内側及び堤外側の両面に止水ゴム等を設置する。これを踏まえ、止水ゴム等の性能を確認するために耐圧試験等を実施する。

ゴムジョイントの試験は、所定の変位を与えた上で津波波圧相当の荷重で

の耐圧試験を実施する。

ゴムジョイントの耐候性については、メーカーによる試験結果を確認した結果、ゴムジョイントに使用されるゴムの伸びが半減する期間が約 38 年（気温条件：30℃）で、ゴムの伸びが半減しても有意な硬化はなく、十分な変形性能（伸び率 225%）を有している。

シートジョイントの試験は、継続载荷試験、津波波圧相当の荷重での耐圧試験及び母材の耐候性試験（紫外線を照射し、初期値と照射後の引張強度の確認）を実施する。耐候性試験は JIS L 1096 「織物及び編物の生地試験方法」に基づき、15 年に相当する耐候性を確認する。今後、耐候性試験結果に基づき適切にシートジョイントの耐用年数を設定し、供用後の維持管理を行うと共に、必要に応じ更なる耐候性試験を実施し、耐用年数を見直していく。

止水ゴム等の耐圧試験例を第 13 図に示す。止水性能試験のうち耐圧試験については、第 7 表に示すとおり最大水圧 0.55MPa までの健全性を確認した。T. P. +24m 津波の津波荷重は、0.3MPa 程度であることから、第 1 波の津波以降も防潮堤間の止水性に問題はない。



第 13 図 止水ゴム等の耐圧試験例

第 7 表 止水性能試験結果表

止水ゴム等	試験内容	試験結果
ゴムジョイント	耐圧試験 (0.26MPa, 1hr, 伸び 250mm)	良
	耐圧試験 (0.26MPa, 1hr, 剪断 300mm)	良
	耐圧試験 (0.26MPa, 1hr, 伸び 125mm, 剪断 150mm)	良
	耐圧試験 (0.55MPa, 1hr, 伸び 250mm)	良
	耐圧試験 (0.55MPa, 1hr, 剪断 300mm)	良
	耐圧試験 (0.55MPa, 1hr, 伸び 125mm, 剪断 150mm)	良
シートジョイント	耐圧試験 (0.26MPa, 1hr)	良
	耐圧試験 (0.55MPa, 1hr)	良
	継続载荷試験 (56.45KN/30cm, 10 分)	良
	繰返载荷試験 (56.45KN/30cm, 10 回)	良
	継続载荷試験 (56.45KN/30cm, 10 分, 取付角 45°)	良
	繰返载荷試験 (56.45KN/30cm, 10 回, 取付角 45°)	良
	耐候性試験 (15 年相当 その後引張試験を実施)	良

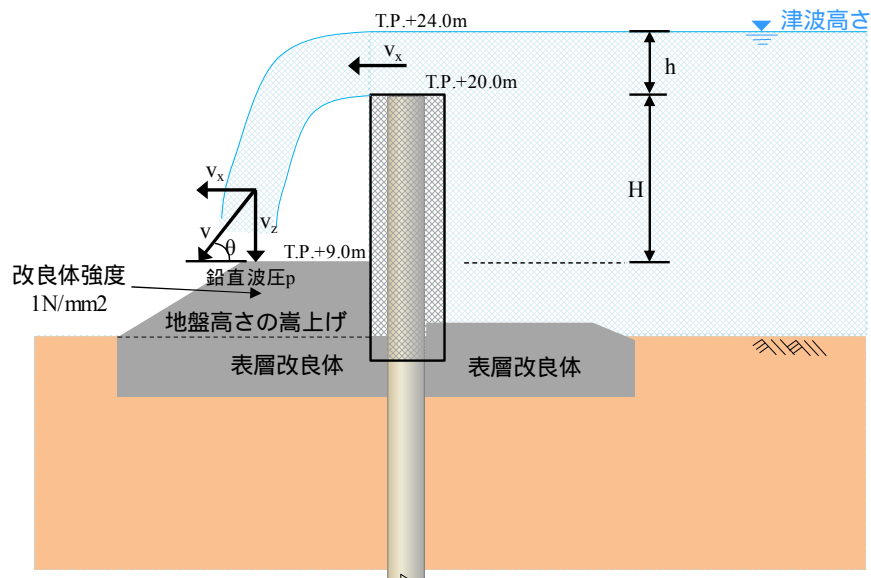
取付角：シートジョイントの载荷試験においては、地震時の防潮堤の残留変形を想定し厳しい変形 45° による材料試験を実施した。

伸び，せん断：ゴムジョイントの津波を想定した耐圧試験時に，予め地震時の残留変形等を想定した。

(2) 堤内側の地盤高さの嵩上げ（改良体）

防潮堤の堤内側には、津波等の水平荷重に対して防潮堤へ受働抵抗を与えるために地盤高さの嵩上げ（改良体）を設置すると共に、地盤高さの嵩上げの支持性能を保持するため地盤改良を実施する。

防潮堤を越流した津波が及ぼす影響については、それ以降に繰返し襲来する津波も想定し、地盤高さの嵩上げ（改良体）の健全性を評価する必要がある。このため、地盤高さの嵩上げ（改良体）に対して、越流津波の水塊が自由落下した場合の波圧を算定し、設計強度が波圧を上回ることを確認した。津波越流時の概念図を第 14 図に示す。



第 14 図 検討概要図

水塊の鉛直波圧 p は、水叩きに作用する動水圧算定式（水理公式集，昭和 60 年版）および近森ら（自由落下水脈落下点における動水圧の変動特性に関する研究，1972）による水脈落下点の動水圧算定式により算出する。評価は、地盤高さの嵩上げ部（天端標高 T.P.+9.0m）について実施する。

評価に用いる海水密度を、第 8 表に示す。

第8表 海水密度の値

参考文献	海水密度 ρ (t/m ³)	備考
国土交通省港湾局 ^(注1)	1.03	海水
FEMA ^(注2)	1.20	堆積物を含んだ液体

(注1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説(国土交通省港湾局 2007年版)

(注2) 津波からの避難のための構造物の設計ガイドライン(アメリカ合衆国連邦緊急事態管理庁(FEMA))

■水叩きに作用する動水圧算定式(水理公式集, 昭和60年版)

$$p = \rho \times (v \times \sin\theta)^2 / 2 \quad \dots \text{動水圧算定式}$$

$$\text{落下時間} : t = \sqrt{2(H + h/2)/g}$$

$$\text{水平流速} : v_x = \sqrt{gh}$$

$$\text{鉛直流速} : v_z = gt$$

$$\text{流速} : v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$$

$$\text{衝突角度} : \theta = \tan^{-1}(v_z/v_x)$$

ここで, p : 鉛直圧力 (kN/m²), ρ : 海水密度 (=1.03t/m³),

v : 流速 (m/s), v_x : 水平流速 (m/s), v_z : 鉛直流速 (m/s),

θ : 衝突角度 (度), H : 地表面から防潮堤天端までの水深 (m),

t : 落下時間 (s), h : 防潮堤天端から水面までの水深 (m)

■近森ら(自由落下水脈落下点における動水圧の変動特性に関する研究, 1972)

$$p = 1.15 \times \rho g(H + h) \quad \dots \text{動水圧算定式}$$

ここで, p : 鉛直圧力 (kN/m²), ρ : 海水密度 (=1.03t/m³),

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²),

H : 地表面から防潮堤天端までの水深 (m),

h : 防潮堤天端から水面までの水深 (m)

評価の結果、地盤高さの嵩上げや表層改良体の設計強度は 1.0N/mm^2 (1.0MPa) であることから、水塊の衝突力に対して十分な強度を有しており、繰返し襲来する津波に対してもその機能を十分維持できることを確認した。第9表に評価結果を示す。

第9表 津波越流時の評価結果（海水密度）

海水密度 ρ 1.03 (t/m^3)	水塊の鉛直波圧		設計強度	判定
	動水圧算定式 (水理公式集)	動水圧算定式 (近森ら)		
地盤高さの嵩上げ (改良体)	0.14MPa	0.18MPa	1.0MPa	0. K

なお、海水密度を濁水（砂移動シミュレーションで用いている砂の比重： 2.72g/cm^3 、浮遊砂濃度1%）と仮定した場合、濁水の比重は 1.05g/cm^3 であり、FEMAによると津波により漂流する堆積物を含んだ海水密度が 1.20g/cm^3 とされていることから、それを用いて評価しても、鉛直波圧は地盤高さの嵩上げ部で 0.21MPa 程度であり、地盤高さの嵩上げは洗掘に対して十分な耐性を持っていると判断される。第10表に評価結果を示す。

第10表 津波越流時の評価結果（濁水密度）

濁水密度 ρ 1.20 (t/m^3)	水塊の鉛直波圧		設計強度	判定
	動水圧算定式 (水理公式集)	動水圧算定式 (近森ら)		
地盤高さの嵩上げ (改良体)	0.16MPa	0.21MPa	1.0MPa	0. K

海水ポンプ室周りの防潮堤のうち、鉄筋コンクリート防潮壁の堤内側については、コンクリート等で舗装を行うことから、越流津波による洗掘の問題はなく、防潮堤の安定性に影響を及ぼすことはない。

(3) フラップゲート

鉄筋コンクリート防潮壁に設置するフラップゲートは堤内側への浸水を仮定した排水設備であり、鉄筋コンクリート防潮壁の東面に北側 2 基、南側 5 基の計 7 基の設置を予定しており、T.P. +24m 津波荷重に対しても止水機能を維持する設計とする。

(参考)

防潮堤フラップゲートの寸法及び設置数の検討概要を以下に示す。

集水面積及び水量の算定

防潮堤南北側面部の天端高さ T.P. +18m

排水容量について

敷地内の浸水深が、防潮堤高さ (T.P. +18m) に相当する高さから常設代替
高圧電源装置置場周辺の敷地高さ (T.P. +11m) 及び原子炉建屋周辺の敷地高
さ (T.P. +8m) 以下になるまでに必要な排水容量 (約 205 万 m³, 約 276 万 m³) を想定する。

排水流量について

排水流量は、防潮堤設置のフラップゲート (7 門) による排水を想定し、
防潮堤内側浸水深の低下に伴い変動するものとして算出した。

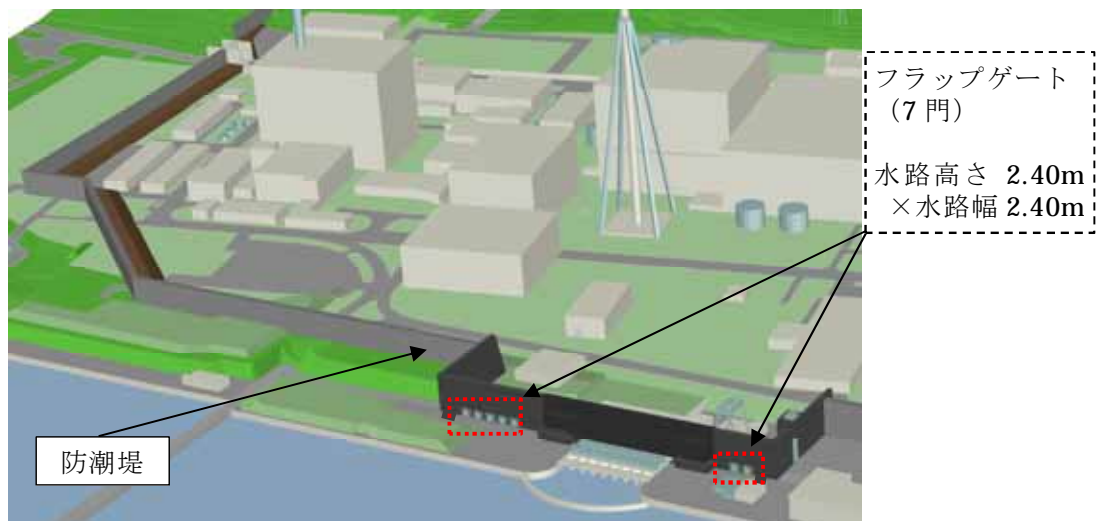
概算の排水時間

常設代替高圧電源装置置場周辺 (T.P. +11m) : 約 2.4 時間

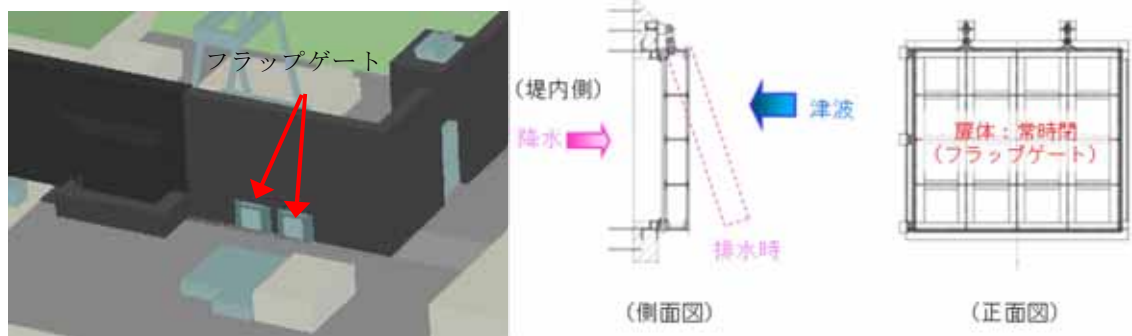
原子炉建屋周辺 (T.P. +8m) : 約 3.7 時間

以上より、余裕を見込んだ冠水解消までの時間は、それぞれ事象発生後から
3 時間 (T.P. +11m) 及び 4 時間 (T.P. +8m) と想定した。

フラップゲートの概念図を第 15 図に示す。



第 15 図 フラップゲート概要図 (1/2)



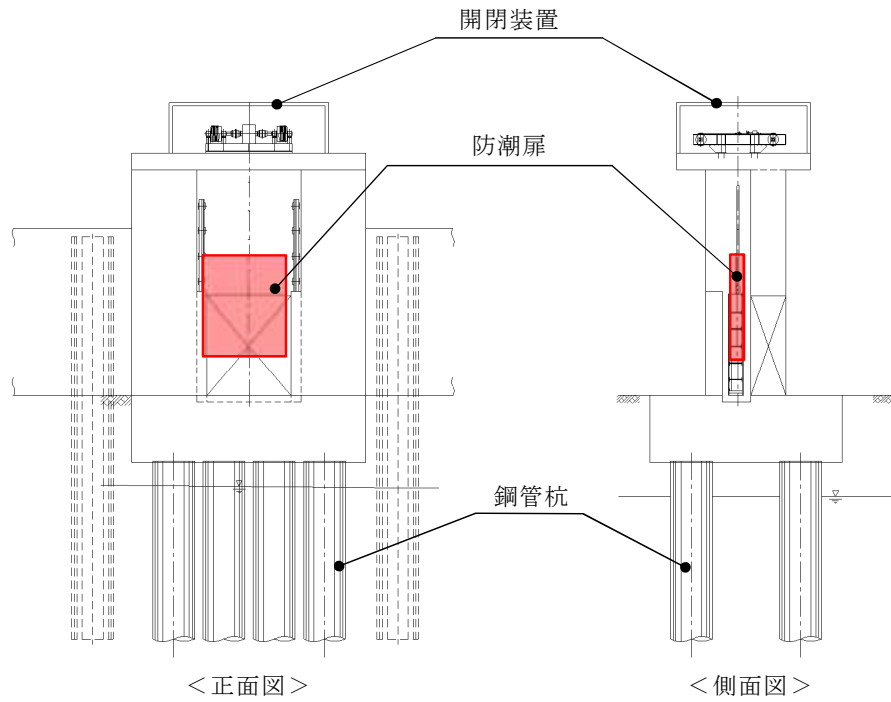
フラップゲート設置位置 (取水口北側部)

第 15 図 フラップゲート概要図 (2/2)

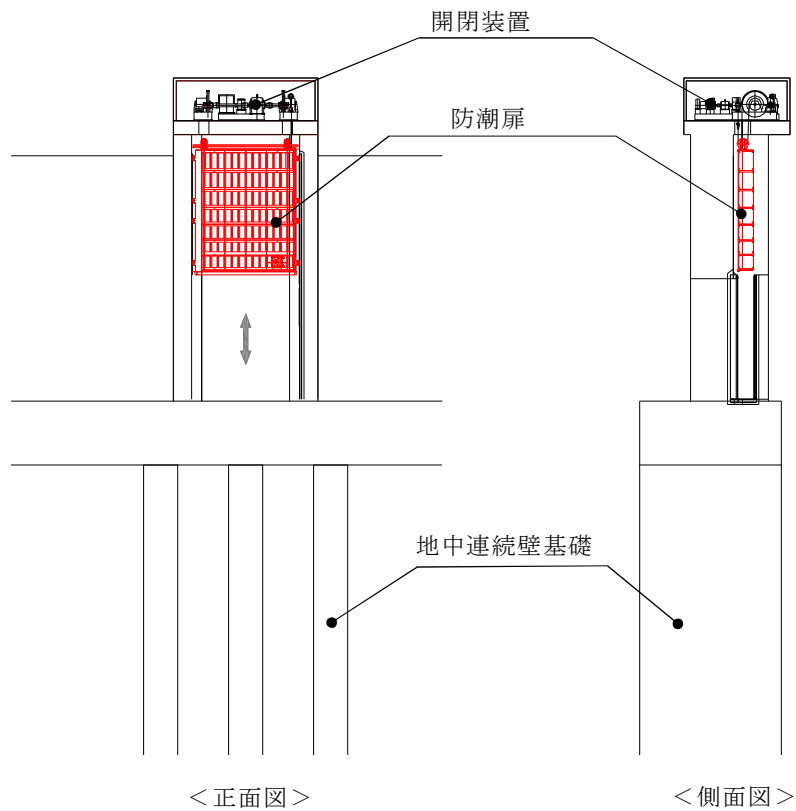
(4) 防潮扉

敷地南側境界部及び海水ポンプエリアに設置する鋼製の防潮扉は堤内側への浸水防止する設備であり、T.P. +24m 津波荷重に対して概ね弾性状態に留まる設計とする。

防潮扉の構造図を第 16 図に示す。



敷地南側境界部防潮扉



海水ポンプエリア防潮扉

第 16 図 防潮扉構造図

7. まとめ

T.P. +24m 津波荷重やこれと重畳を考慮した各種荷重に対して、防潮堤の主要部材は概ね弾性状態を維持していることを確認した。また、防潮堤間に設置する止水ジョイント部の部材については、止水性能試験結果により、その水圧に対して十分な抵抗力を有することを確認した。

さらに、津波越流時の防潮堤の健全性を考慮し、堤内側に設置する地盤高さの嵩上げ部及び表層改良体の設計強度が、越流する水塊による衝突荷重を上回るものであることを確認した。

以上のことから、T.P. +24m 津波に対して防潮堤は、その止水機能を保持しているものと判断される。