

資料 2 - 2

泊発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	DB05 r. 3. 37
提出年月日	令和5年12月11日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について  
(設計基準対象施設等)

第5条 津波による損傷の防止

令和 5 年 1 2 月  
北海道電力株式会社

泊発電所 3 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 設計又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 敷地への流入防止（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 敷地への流入防止（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. 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域について
4. 港湾内の局所的な海面の励起について
5. 管路解析の詳細について
6. 入力津波に用いる潮位条件について
7. 津波防護対策の設備の位置づけについて
8. 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
9. 海水ポンプの水理試験について
10. 貯留量の算定について
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，実施範囲及び工例
12. 基準津波に伴う砂移動評価について
13. 泊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. 漂流物の評価に考慮する津波の流速・流向について
17. 津波の流況を踏まえた防波堤の取水口到達及び閉塞可能性評価について
18. 燃料等輸送船の係留索の耐力について
19. 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について
20. 津波監視設備の監視に関する考え方
21. 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
22. 防潮堤及び貯留堰における津波荷重の設定方針について
23. 基準類における衝突荷重算定式及び衝突荷重について
24. 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
25. 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について
26. 貯留堰の構造及び仕様について
27. 鋼管矢板継手部の漏水量評価について
28. 水密扉の運用管理について
29. 屋外排水路に関する設計方針について
30. 輸送物及び輸送車両の漂流物評価について
31. 1号及び2号炉取水路流路縮小工について
32. 1号及び2号炉放水路逆流防止設備について
33. 3号炉放水ピット流路縮小工について
34. 発電所敷地外の車両について
35. 発電所周辺における漁船の操業・航行の可能性について
36. 3号炉取水ピットスクリーン室防水壁及び水密扉の設計方針について
37. 水位変動・流向ベクトルについて

38. 3号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備について
39. 津波発生時の運用対応について
40. モニタリングポスト及びモニタリングステーションについて
41. 構外海域の漂流物が施設護岸及び取水口へ到達する可能性について
42. 入力津波に対する水位分布について
43. 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）

（参考資料）

- － 1 泊発電所3号炉津波評価について

## 防潮堤及び貯留堰における津波荷重の設定方針について

## 1. 津波荷重の算定式

津波防護施設の津波荷重の算定式は、「耐津波設計に係る設工認審査ガイド（令和5年1月改正）」（以下、「設工認審査ガイド」という。）や既往の算定式を参考に設定する。以下に、設工認審査ガイド及び設工認審査ガイドにおいて示されている既往文献の津波波圧算定式の考え方と津波防護施設への適用を示す。

## (1) 津波波圧算定式に関する文献の記載

## a. 耐津波設計に係る設工認審査ガイド（令和5年1月改正）

設工認審査ガイドにおける適用対象は、外郭防護に係る施設及び設備のうち、津波波圧の影響を直接受ける陸域の構築物、海域にあり引き波時に設置面が露出する構築物等（防潮堤等）としている。

設工認審査ガイドにおいて、防潮堤等に作用する波圧は段波波圧及び持続波圧の2種類の津波波圧を考慮することとしている。防潮堤等に作用する津波波圧の分類及び考慮する知見の確認手順を第1図（1）に示す。

防潮堤等に作用する段波波圧については、砕波段波波圧及び波状段波波圧の2種類を考慮することとしている。防潮堤等に作用する段波津波波圧に係る確認手順を第1図（2）に示す。

防潮堤等に作用する持続波圧評価に係る確認手順を第1図（3）に示す。持続波圧については、フルード数  $Fr$  が1以下の場合、水深係数を3とすることで、保守的に波圧を評価できるが、フルード数  $Fr$  が1を超える場合は、水深係数は3を超えうるため、非保守的な波圧評価となる可能性があることから、評価方法を分ける必要があるとしている。

通過波の最大浸水深発生時のフルード数  $Fr$  が1以下の場合、水深係数を3として、持続波圧は次式で算出する。

$$P_{2nd} = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{\max\_2nd}$$

$P_{2nd}$ ：防潮堤等の最下部に作用する圧力

$\eta_{\max\_2nd}$ ：持続波最大浸水深

$\rho$ ：海水（流体）密度

$g$ ：重力加速度

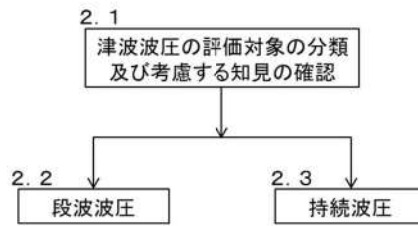
通過波の最大浸水深発生時のフルード数  $Fr$  が 1 を超える場合、通過波の最大比エネルギー発生時刻における浸水深  $\eta_{E\_max}$ 、水深係数  $\alpha_E$  及びフルード数  $Fr_E$  を用いて、持続波圧を次式で算出する。

$$P_E = \alpha_E \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{E\_max}$$

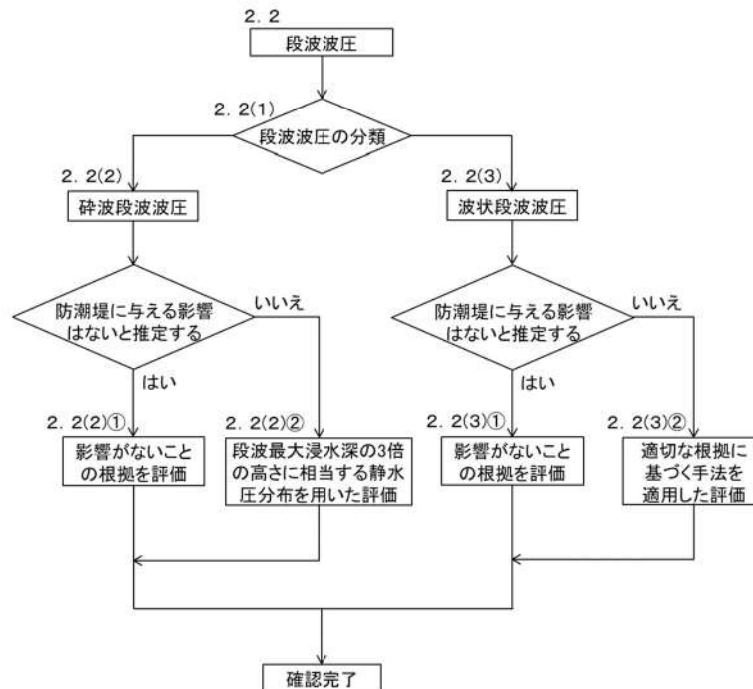
$$\alpha_E = 3.0 \quad (Fr_E \leq 1.24)$$

$$\alpha_E = (0.70 \times Fr_E^2 + 1) + 0.93 \quad (Fr_E > 1.24)$$

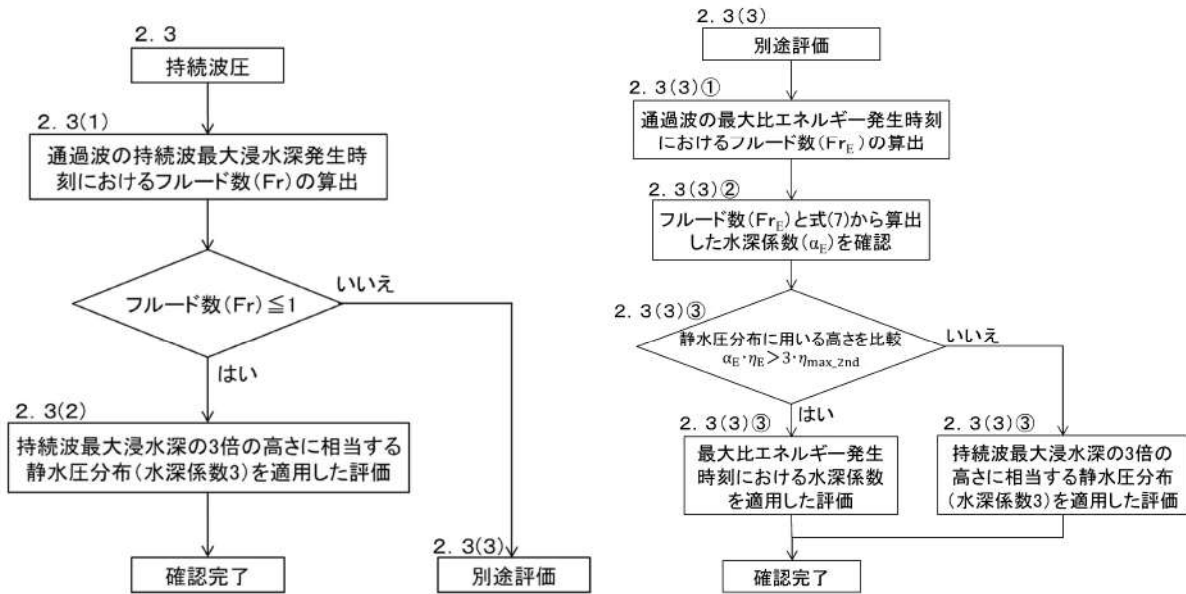
ここで求めた  $P_E$  とフルード数  $Fr$  が 1 以下の場合の持続波圧  $P_{2nd}$  を比較し、大きい方を持続波圧として採用する。



第 1 図 (1) 防潮堤等に作用する津波波圧の分類及び考慮する知見の確認手順



第 1 図 (2) 防潮堤等に作用する段波波圧評価に係る確認手順



第1図(3) 防潮堤等に作用する持続波圧評価に係る確認手順



b. 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（平成 23 年）

構造設計用の進行方向の津波波圧は、次式により算定する。

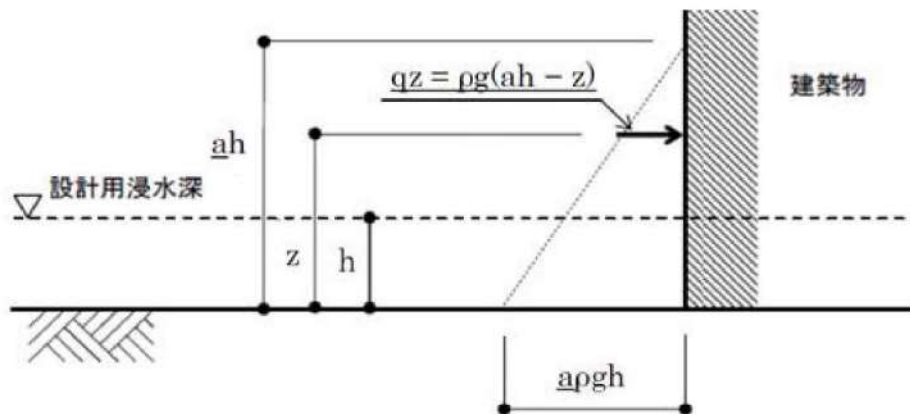
構造設計用の進行方向の津波波圧  $qz = \rho g (ah - z)$ （第 2 図）

$h$ ：設計用浸水深

$z$ ：当該部分の地盤面からの高さ（ $0 \leq z \leq ah$ ）

$a$ ：水深係数。3 とする。

$\rho g$ ：海水の単位体積重量



第 2 図 津波波圧算定図

c. 港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（平成 25 年 10 月）

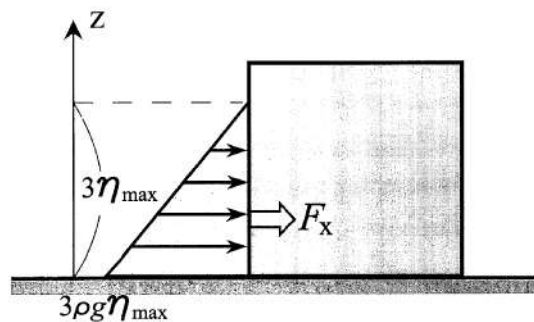
文献 b. に基づく。ただし、津波が生じる方向に施設や他の建築物がある場合や、海岸等から 500m 以上離れている場合において、水深係数は 3 以下にできるとしている。

d. 朝倉ら(2000)：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会，pp.911-915.

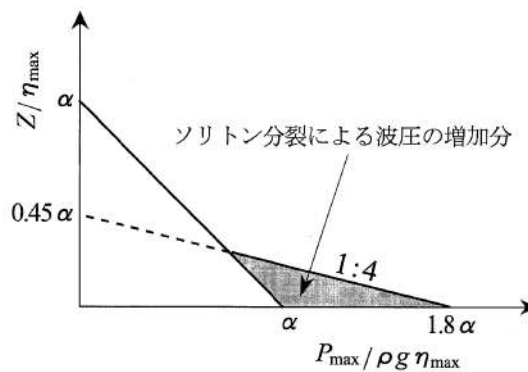
直立護岸を越流した津波の遡上特性から護岸背後の陸上構造物に作用する津波波圧について実験水路を用いて検討している。

その結果，非分裂波の場合，フルード数が1.5以上では構造物前面に作用する津波波圧分布を規定する水平波圧指標（遡上水深に相当する静水圧分布の倍率） $\alpha$ は最大で3.0となるとしている。

一方，ソリトン分裂波の場合は，構造物前面に働く津波波圧は，構造物底面近傍で非分裂波の $\alpha$ を1.8倍した値となるとしている（第3図及び第4図）。



第3図 非分裂波の場合の津波水平波圧



第4図 分裂波の無次元最大波圧分布

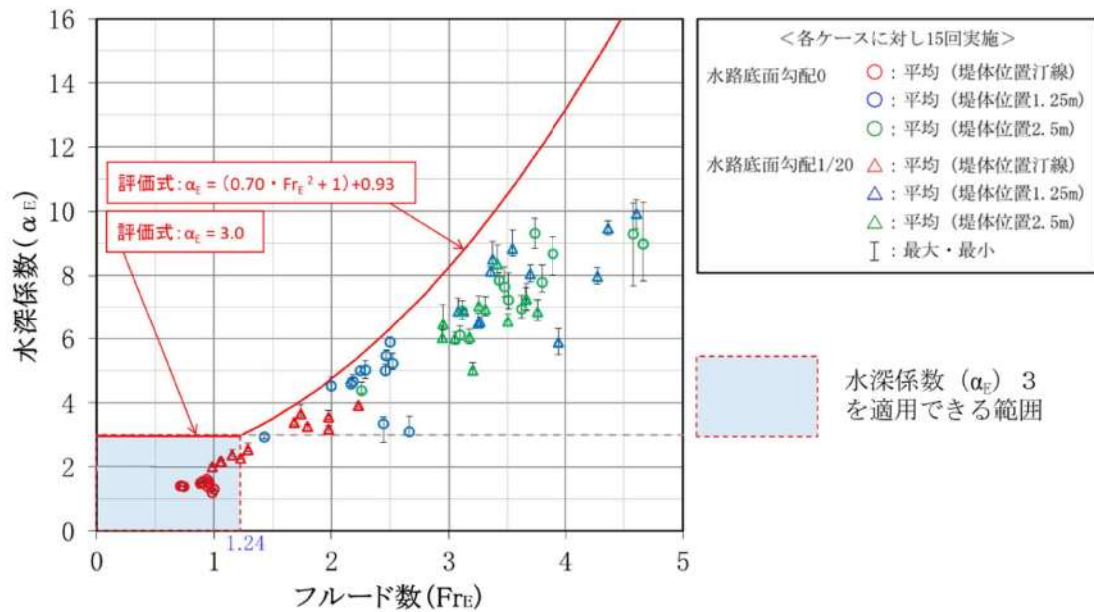
e. NRA 技術報告「防潮堤に作用する最大持続波圧評価式の提案」(令和4年7月)

設計の妥当性評価等へ活用可能な防潮堤に作用する最大持続波圧の評価式として，水理試験結果の標準偏差 $+2\sigma$ を考慮し，次式が提案されている。

$$\alpha = 3.0 \quad (\text{Fr}_E \leq 1.24)$$

$$\alpha = (0.7 \times \text{Fr}_E^2 + 1) + 0.93 \quad (\text{Fr}_E > 1.24)$$

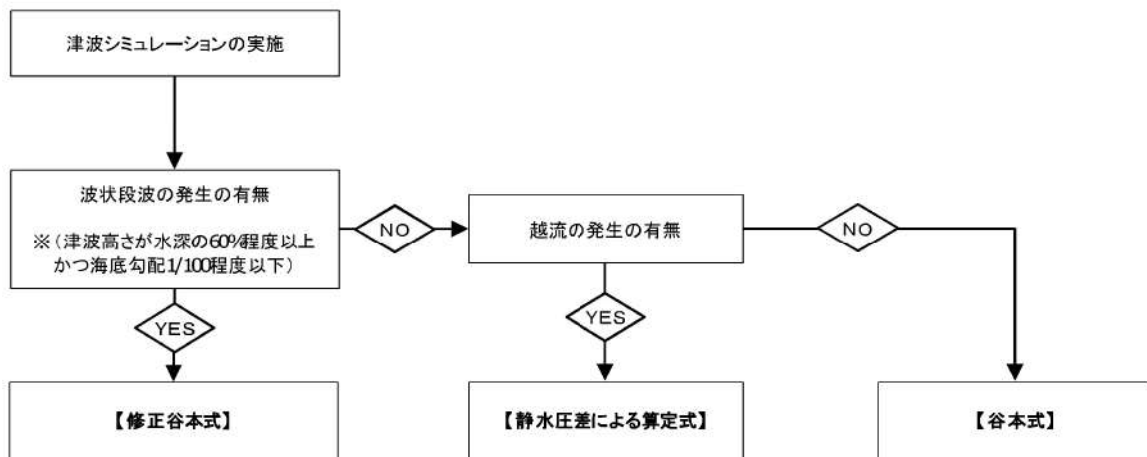
上式の通り，通過波の最大比エネルギー発生時のフルード数 $\text{Fr}_E$ が1.24以下になることが確認できれば，水深係数は3を適用できるとされている。



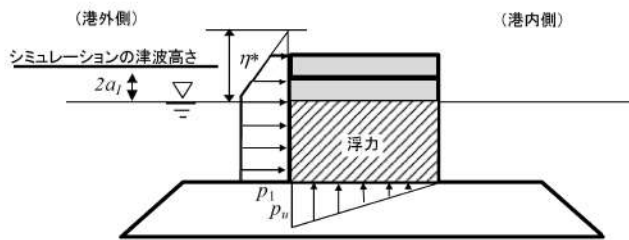
第5図 最大持続波圧評価式と水理試験結果の関係

f. 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）

防波堤の津波波圧の適用の考え方として、ソリトン分裂波が発生する場合は修正谷本式を、そうでない場合において津波が防波堤を越流する場合には静水圧差による算定式を、越流しない場合は谷本式を用いることとしている（第6図～第8図）。



第6図 防波堤に対する津波荷重算定手順

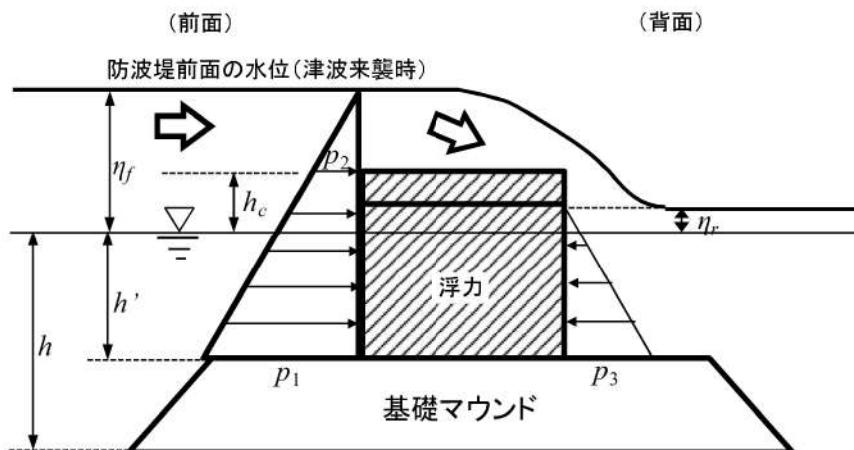


- $\eta^* = 3.0a_1$
- $p_1 = 2.2\rho_0ga_1$  : 谷本式
- $p_1 = 3.0\rho_0ga_1$  : 修正谷本式
- $p_2 = \rho_0g\eta_B$
- $p_u = p_1$
- $p_L = p_2$
- $\eta^*$  : 静水面上の波圧作用高さ (m)
- $\eta_B$  : 直立壁背面で静水面から下がった水位(m)
- $a_1$  : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)
- $\rho_0g$  : 海水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)
- $p_1$  : 静水面における波圧強度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $p_2$  : 直立壁背面における負圧(kN/m<sup>2</sup>)
- $p_u$  : 直立壁前面下端における揚圧力(kN/m<sup>2</sup>)
- $p_L$  : 直立壁背面下端における揚圧力(kN/m<sup>2</sup>)

第7図 谷本式・修正谷本式

・水理模型実験による結果により、現時点では、前面の静水圧に  $a_f=1.05$  倍、背面の静水圧に  $a_r=0.9$  倍した静水圧を用いる。

- $p_1 = \alpha_f \rho_0 g (\eta_f + h')$
- $p_2 = \frac{\eta_f - h_c}{\eta_f + h'} p_1$
- $p_3 = \alpha_r \rho_0 g (\eta_r + h')$
- $p_1$  : 直立壁前面の底面における波圧強度(kN/m<sup>2</sup>)
- $p_2$  : 直立壁前面の天端面にける波圧強度(kN/m<sup>2</sup>)
- $p_3$  : 直立壁背面の底面における波圧強度(kN/m<sup>2</sup>)
- $\rho_0g$  : 海水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)
- $h'$  : 直立壁の底面の水深(m)
- $h_c$  : 静水面から直立壁天端面までの高さ(m)
- $\eta_f$  : 直立壁前面の静水面からの津波高さ(m)
- $\eta_r$  : 直立壁背面の静水面からの津波高さ(m)
- $\alpha_f$  : 直立壁前面の静水圧補正係数
- $\alpha_r$  : 直立壁背面の静水圧補正係数



第8図 静水圧差による算定式

## 2. 検討方針

泊発電所の防潮堤の設計で考慮する津波荷重は、「津波シミュレーション及び水理模型実験による津波波圧」と「設工認審査ガイドに基づく津波波圧」を比較・検証することで設定する。設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式は、ソリトン分裂波や砕波の発生有無により、算定式の適用性が異なる。そのため、泊発電所における基準津波の特性及び沿岸の陸海域の地形を考慮した科学的根拠に基づき、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを実施し、ソリトン分裂波及び砕波の有無を確認する。

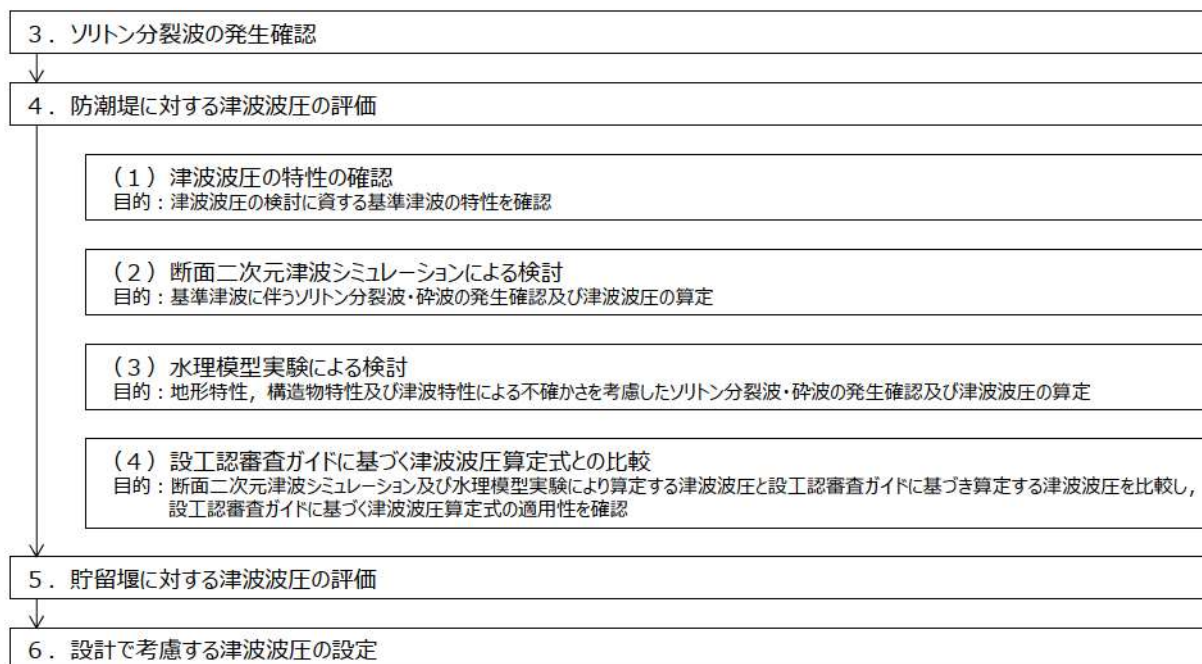
泊発電所の貯留堰の設計で考慮する津波荷重は、津波荷重が大きく作用する状態として、引き波時において越流直前の津波波圧と越流時の静水压差を想定する。

引き波時における越流直前の津波波圧は、貯留堰を保守的に設置面が露出する構築物として考え、防潮堤の設計で考慮する津波荷重の設定における「津波シミュレーション及び水理模型実験による津波波圧」と「設工認審査ガイドに基づく津波波圧」の比較・検証結果を踏まえて算定する。

越流時の静水压差は、貯留堰が越流状態にある条件下では設工認審査ガイドの適用対象外となることから、既往の津波波圧算定式のうち、越流状態の構造物に適用可能な「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局）」（平成27年12月一部改訂）に基づき算定する。

以上を踏まえ、貯留堰の設計においては、引き波時において越流直前の津波波圧及び越流時の静水压差を比較・検証することで設定する。

第9図に検討フローを、第1表に検討項目及び検討内容を示す。



第9図 検討概要

第1表 検討項目及び検討内容

検討項目	検討内容
3. ソリトン分裂波及び砕波の発生	平面二次元津波シミュレーション結果及び海底勾配を用いて、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき、ソリトン分裂波の発生有無を確認する。
4. 防潮堤に対する津波波圧の評価	
(1) 基準津波の特性の確認	断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験において考慮する基準津波の特性を確認する。
(2) 断面二次元津波シミュレーションによる検討	基準津波の実波形の再現が可能で、ソリトン分裂波及び砕波を表現可能な断面二次元津波シミュレーション(CADMAS-SURF/3D(Ver. 1. 5))を実施し、水位の時刻歴波形からソリトン分裂波及び砕波の発生有無を確認するとともに、防潮堤における津波波圧を算定する。
(3) 水理模型実験による検討	地形特性、構造物特性及び津波特性の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し、不確かさを考慮して設定した実験条件に基づき水理模型実験を実施することで、ソリトン分裂波及び砕波の発生有無を確認するとともに、防潮堤における津波波圧を算定する。
(4) 設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式との比較	断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験により防潮堤に作用する波圧を直接算定し、設工認審査ガイドに基づき算定した津波波圧を比較することで、設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式の適用性を確認する。
5. 貯留堰に対する津波波圧の評価	「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」及び「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき、引き波時において越流直前の津波波圧と越流時の静水圧差を比較・検証し、貯留堰に作用する津波波圧を設定する。
6. 設計で考慮する津波波圧の設定	防潮堤等について保守的な設計を行う観点から、上記の検討結果を踏まえた設計用津波波圧を設定する。

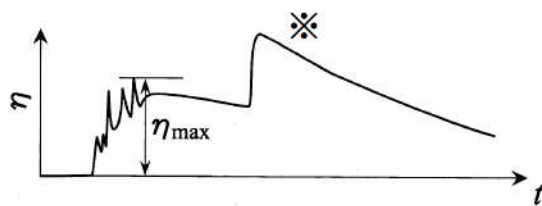
津波シミュレーション及び水理模型実験の長所・短所を整理した上で、泊発電所におけるソリトン分裂波及び砕波の発生確認、津波波圧の確認に係る検討内容を第2表に示す。

第2表 津波シミュレーション及び水理模型実験の長所・短所

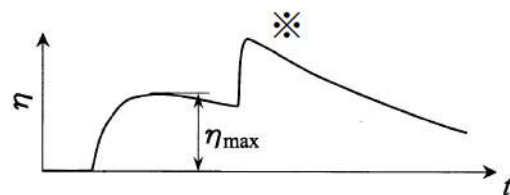
解析手法	長所	短所	長所・短所を踏まえた検討内容
平面二次元津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・広範囲にわたる地形のモデル化が可能</li> <li>・複雑な不規則波形及び平面的な流況の再現が可能</li> <li>・解析時間が短い</li> <li>・審査における実績がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が困難</li> <li>・津波波圧の直接評価が不可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基準津波の策定(水位変動量・流速)</li> <li>・「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づくソリトン分裂波の発生確認</li> </ul>
断面二次元津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基準津波の実波形の再現が可能</li> <li>・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が可能</li> <li>・津波波圧を直接評価可能</li> <li>・解析時間が短い</li> <li>・審査における実績がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複雑な地形や構造物のモデル化が困難</li> <li>・三次元的な流況の再現が不可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・科学的根拠に基づくソリトン分裂波及び砕波の発生確認</li> <li>・津波波圧の確認</li> </ul>
水理模型実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が可能</li> <li>・津波波圧を直接評価可能</li> <li>・審査における実績がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複雑な地形や構造物のモデル化が困難</li> <li>・基準津波の実波形の再現が困難</li> <li>・三次元的な流況の再現が不可能</li> <li>・実験に時間を要する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・科学的根拠に基づくソリトン分裂波及び砕波の発生確認</li> <li>・津波波圧の確認</li> </ul>

ソリトン分裂波は津波の伝播過程で複数の波に分裂し、波高が増幅する現象である。また、砕波は波が浅海域を進行する際に、波高が高くなると波が砕け、波高が急激に小さくなる現象である。いずれも構造物へ衝撃的な波圧を作用させる可能性がある現象である。第10図にソリトン分裂波及び非分裂波の概要を示す。

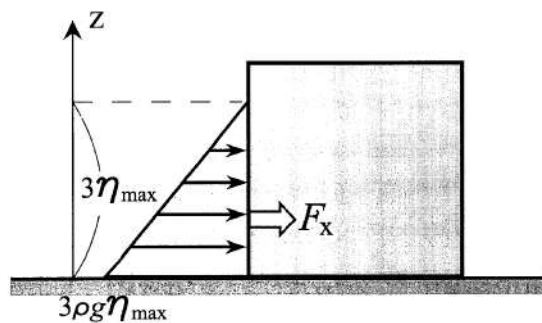
非分裂波の場合の構造物に作用する津波波圧分布は、津波高さに依存した直線形状となる。一方、ソリトン分裂波が生じた場合は、構造物の底面近傍では非分裂波を1.8倍した波圧が作用し、水平波力は非分裂波に比べて約20%大きくなる可能性がある。



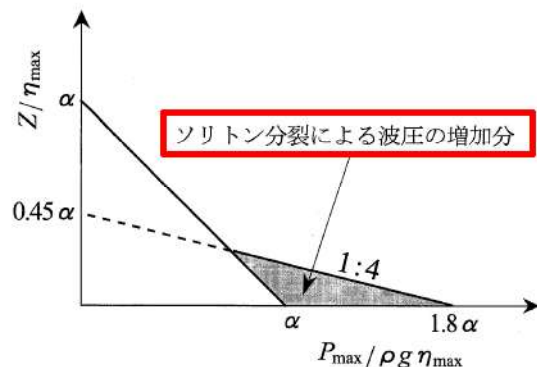
ソリトン分裂波の最大遡上水深



非分裂波の最大遡上水深



非分裂波の場合の波圧分布



ソリトン分裂波の場合の波圧分布

第10図 ソリトン分裂波及び非分裂波

「護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，朝倉ら(2000)」より引用

※  $\eta_{\max}$  後の水位の上昇は反射波を示す。

### 3. ソリトン分裂波及び砕波の発生確認

津波防護施設に作用する津波波圧の算定方法は、来襲する津波にソリトン分裂波及び砕波が発生するか否かで評価式が異なる。そのため、泊発電所に来襲する津波にソリトン分裂波及び砕波が発生するか否について、(1) 平面二次元津波シミュレーションによる検討、(2) 断面二次元津波シミュレーションによる検討及び(3) 水理模型実験による検討を実施し確認を行った。なお、(2) 断面二次元津波シミュレーション及び(3) 水理模型実験による検討結果の詳細は「4. 防潮堤に対する津波波圧の評価」にて記載する。

#### (1) 平面二次元津波シミュレーションによる検討

沖合から伝播してくる津波が、サイト前面においてソリトン分裂波を伴うか否かの判定に当たっては、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」において、以下に示す①かつ②の条件に合致する場合、ソリトン分裂波が発生するとされている。

条件①：シミュレーション等による津波高さが水深の60%以上

条件②：海底勾配が1/100以下程度の遠浅

条件①について基準津波を対象に検討した結果を第3表、第11図に示す。この結果、津波高さは水深の60%以上となる。

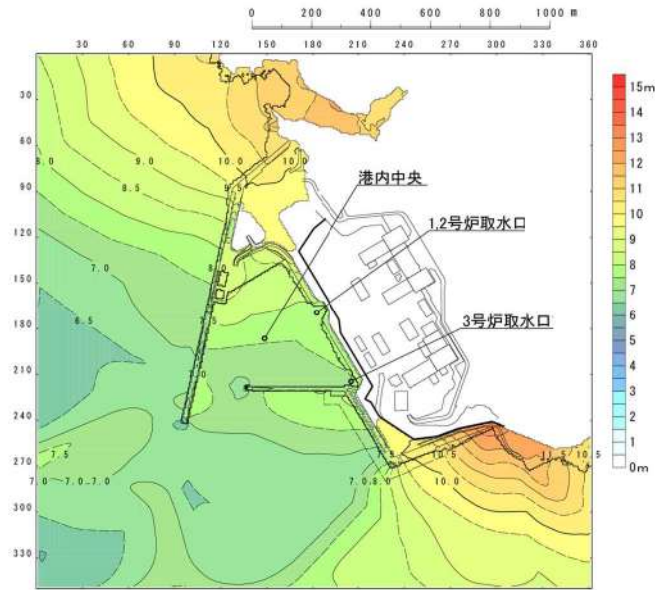


第3表(1) 津波高さと水深の割合(1)

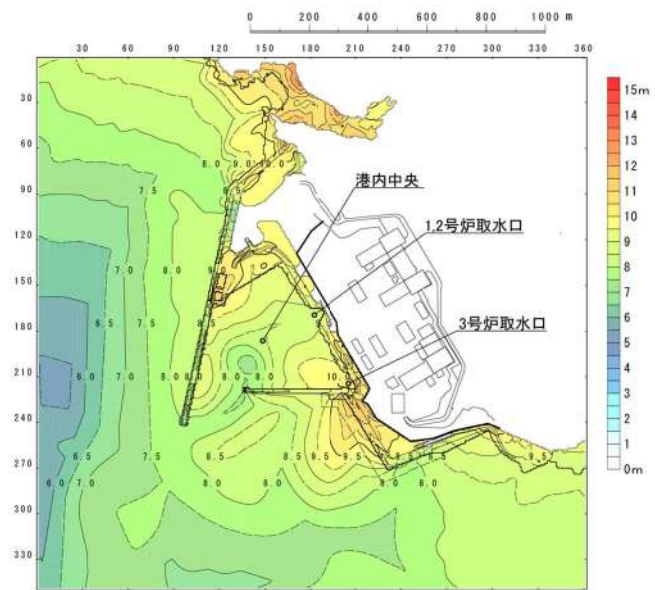
基準津波	地点	(1)水深	(2)津波高さ	(2)/(1)
波源A 防波堤損傷なし	3号炉取水口	8.0m	7.76m	97.0%
	1, 2号炉取水口	7.0m	8.06m	115.1%
	港内中央	13.6m	7.82m	57.5%
波源B 防波堤損傷なし	3号炉取水口	8.0m	10.45m	130.6%
	1, 2号炉取水口	7.0m	9.16m	130.9%
	港内中央	13.6m	8.70m	64.0%
波源B 北防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	12.86m	160.8%
	1, 2号炉取水口	7.0m	11.20m	160.0%
	港内中央	13.6m	9.35m	68.8%
波源C 防波堤損傷なし	3号炉取水口	8.0m	9.23m	115.4%
	1, 2号炉取水口	7.0m	9.45m	135.0%
	港内中央	13.6m	8.73m	64.2%
波源D 防波堤損傷なし	3号炉取水口	8.0m	9.53m	119.1%
	1, 2号炉取水口	7.0m	8.76m	125.1%
	港内中央	13.6m	7.95m	58.5%
波源D 北及び南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	11.36m	142.0%
	1, 2号炉取水口	7.0m	11.38m	162.6%
	港内中央	13.6m	9.83m	72.3%
波源D 南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	10.76m	134.5%
	1, 2号炉取水口	7.0m	10.64m	152.0%
	港内中央	13.6m	9.47m	69.6%
波源D 北防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	11.60m	145.0%
	1, 2号炉取水口	7.0m	10.80m	154.3%
	港内中央	13.6m	8.58m	63.1%
波源E 北及び南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	13.00m	162.5%
	1, 2号炉取水口	7.0m	12.28m	175.4%
	港内中央	13.6m	10.28m	75.6%
波源E 南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	11.94m	149.3%
	1, 2号炉取水口	7.0m	11.42m	163.1%
	港内中央	13.6m	10.08m	74.1%

第3表(2) 津波高さと水深の割合(2)

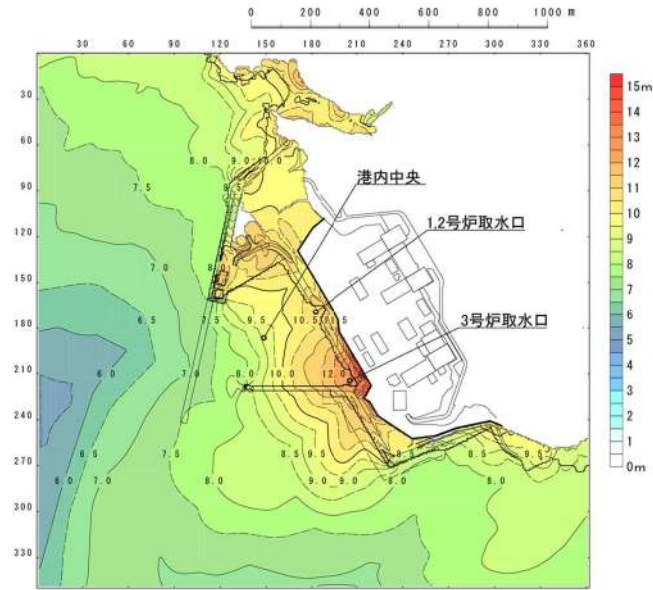
基準津波	地点	(1)水深	(2)津波高さ	(2)/(1)
波源F 北及び南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	13.11m	163.9%
	1, 2号炉取水口	7.0m	12.34m	176.3%
	港内中央	13.6m	10.30m	75.7%
波源F 北防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	12.94m	161.8%
	1, 2号炉取水口	7.0m	11.27m	161.0%
	港内中央	13.6m	8.84m	65.0%
波源G 南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	10.71m	133.9%
	1, 2号炉取水口	7.0m	11.96m	170.9%
	港内中央	13.6m	10.45m	76.8%
波源H 北防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	12.61m	157.6%
	1, 2号炉取水口	7.0m	11.39m	162.7%
	港内中央	13.6m	9.23m	67.9%
波源I 防波堤損傷なし	3号炉取水口	8.0m	8.88m	111.0%
	1, 2号炉取水口	7.0m	8.34m	119.1%
	港内中央	13.6m	7.43m	54.6%
波源J 北及び南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	11.67m	145.9%
	1, 2号炉取水口	7.0m	10.18m	145.4%
	港内中央	13.6m	9.47m	69.6%
波源K 南防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	10.84m	135.5%
	1, 2号炉取水口	7.0m	10.61m	151.6%
	港内中央	13.6m	9.55m	70.2%
波源L 北防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	9.41m	117.6%
	1, 2号炉取水口	7.0m	9.98m	142.6%
	港内中央	13.6m	8.15m	59.9%



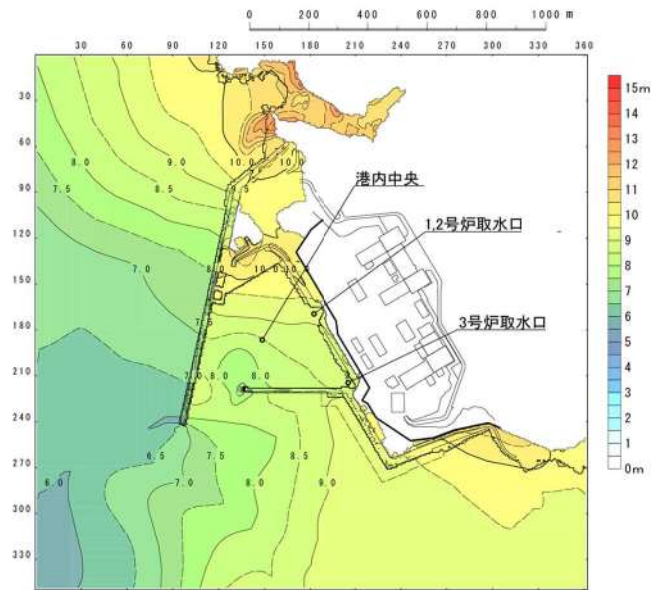
第 11 図(1) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 A, 防波堤損傷なし))



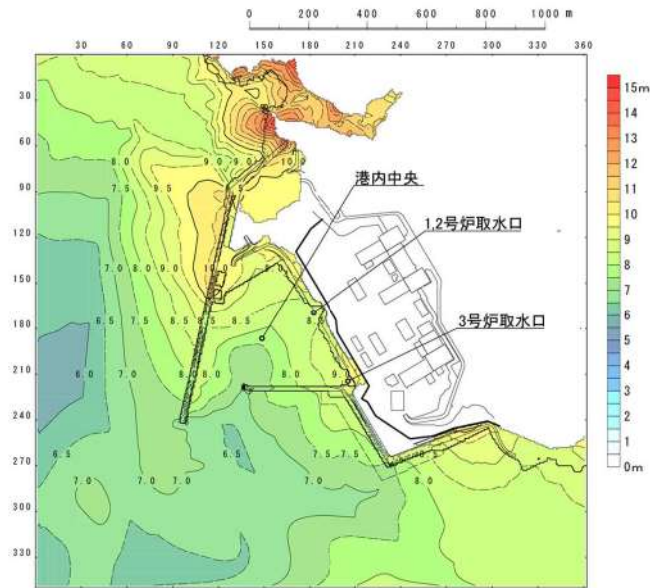
第 11 図(2) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 B, 防波堤損傷なし))



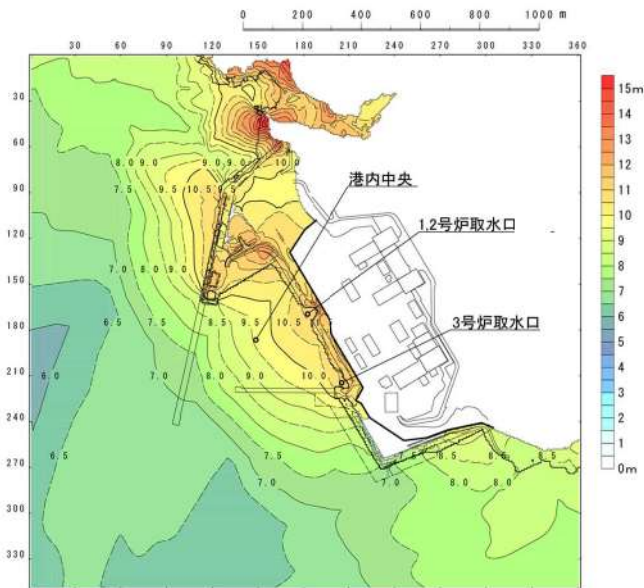
第 11 図(3) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源B, 北防波堤損傷))



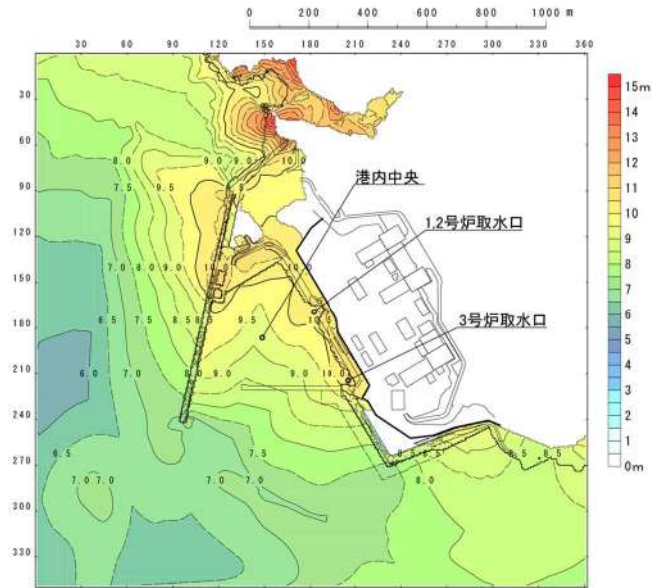
第 11 図(4) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源C, 防波堤損傷なし))



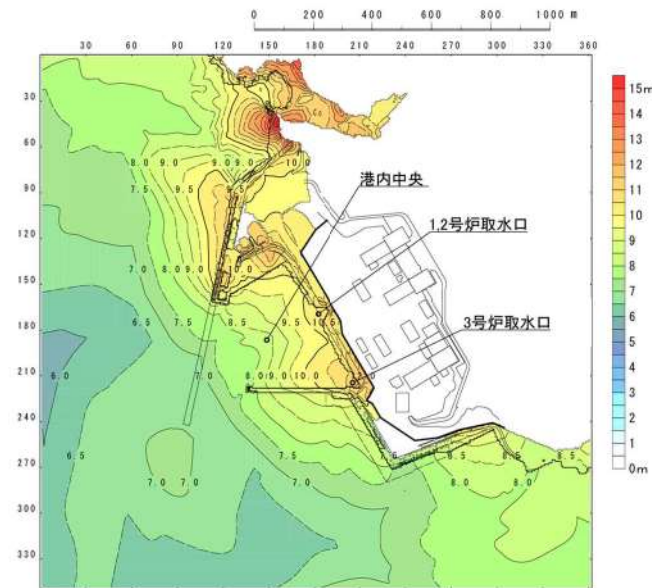
第 11 図(5) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源D, 防波堤損傷なし))



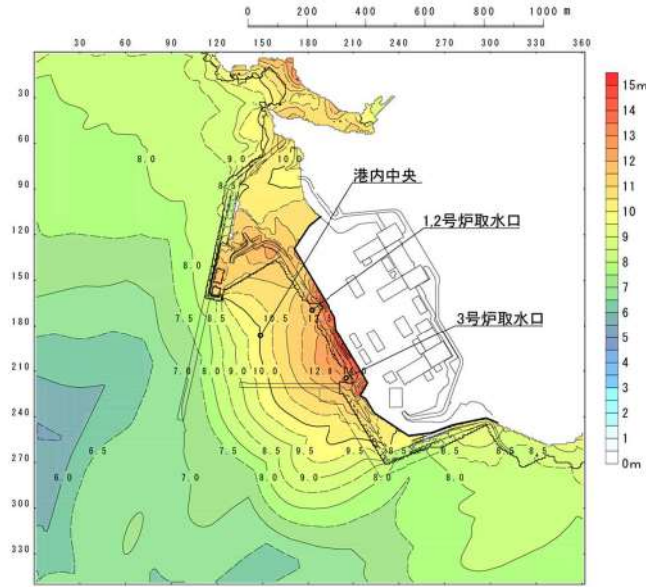
第 11 図(6) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源D, 北及び南防波堤損傷))



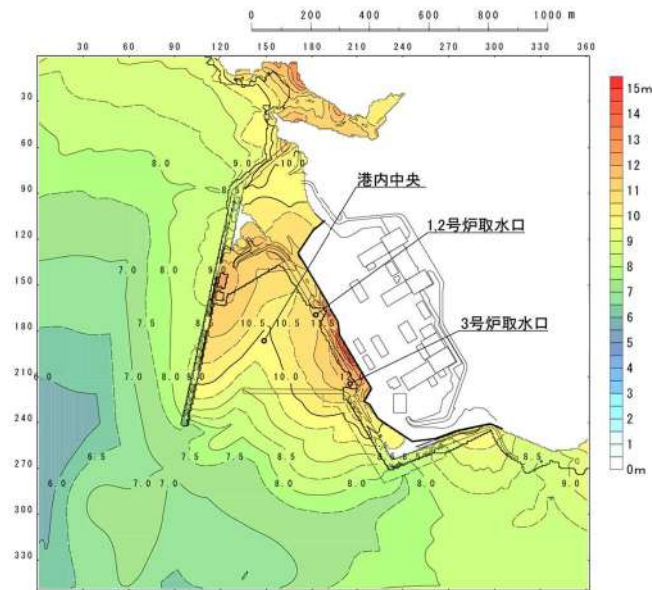
第 11 図(7) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源D, 南防波堤損傷))



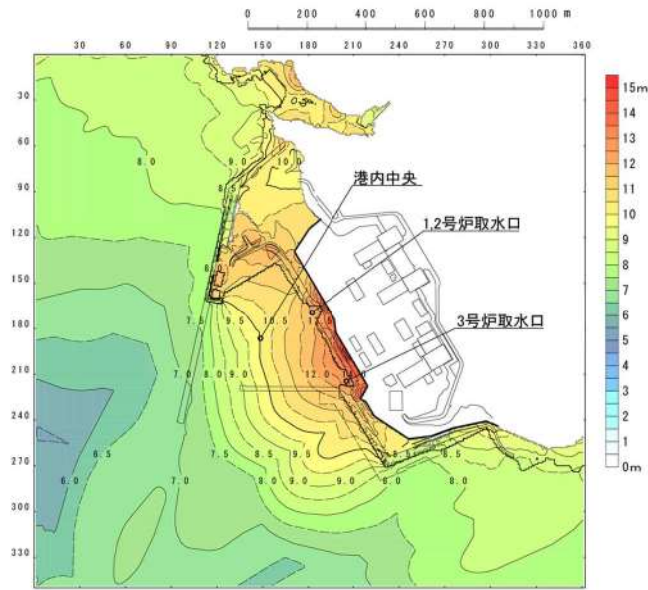
第 11 図(8) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源D, 北防波堤損傷))



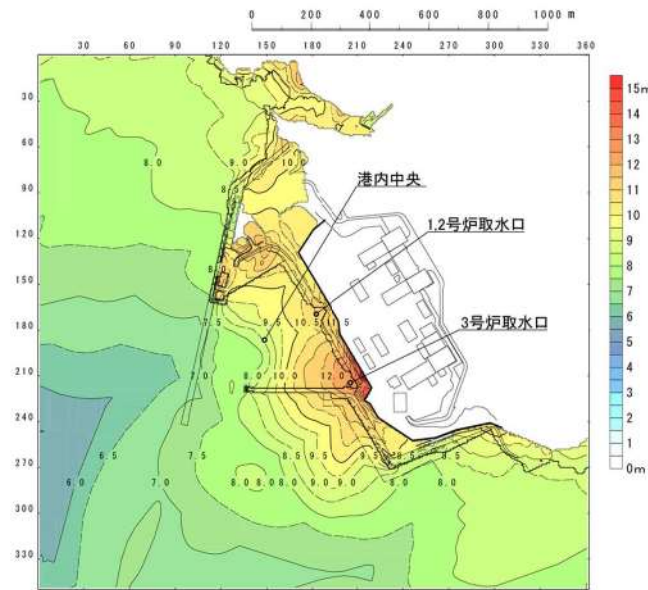
第 11 図(9) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 E, 北及び南防波堤損傷))



第 11 図(10) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 E, 南防波堤損傷))

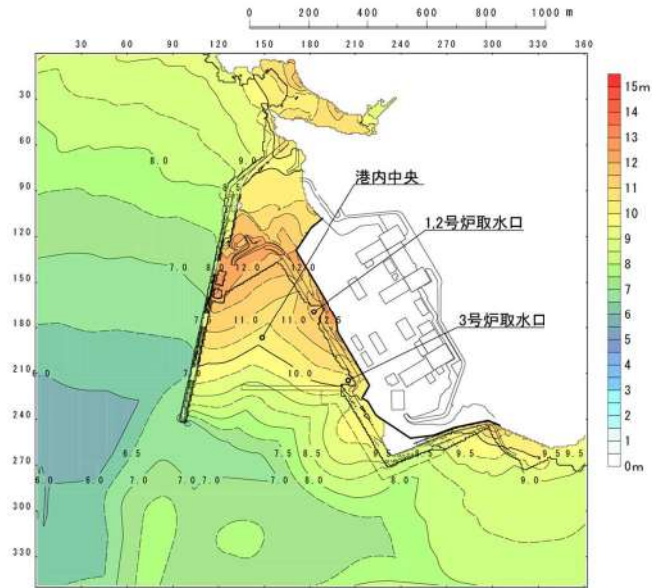


第 11 図(11) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 F, 北及び南防波堤損傷))

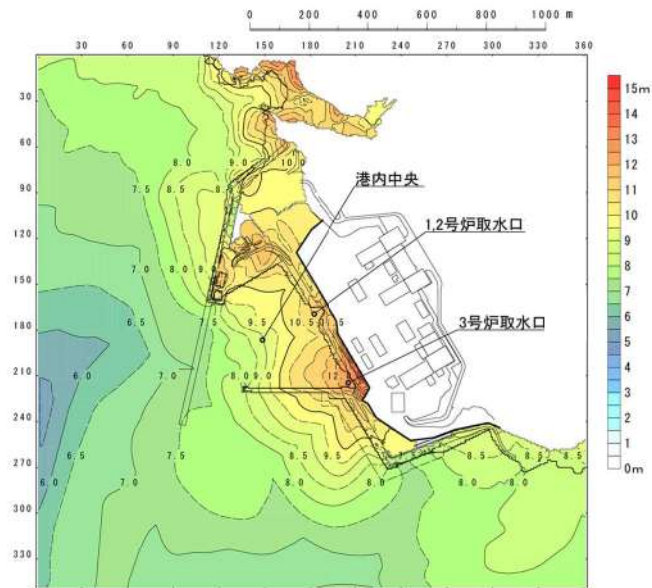


第 11 図(12) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 F, 北防波堤損傷))

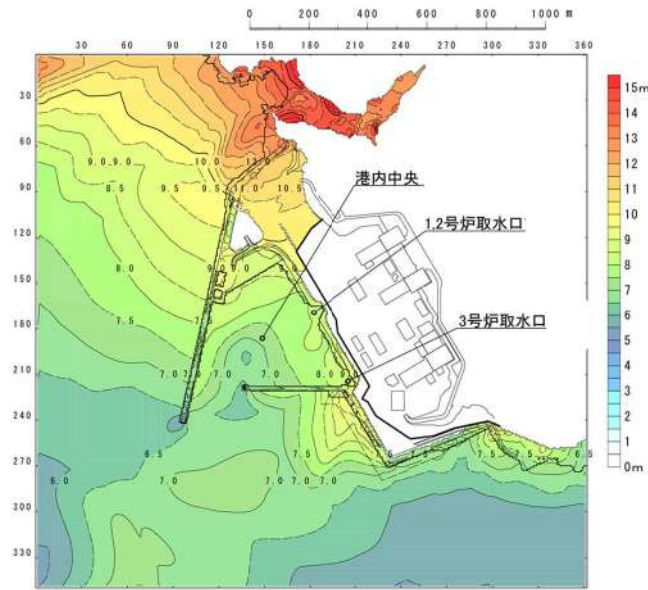




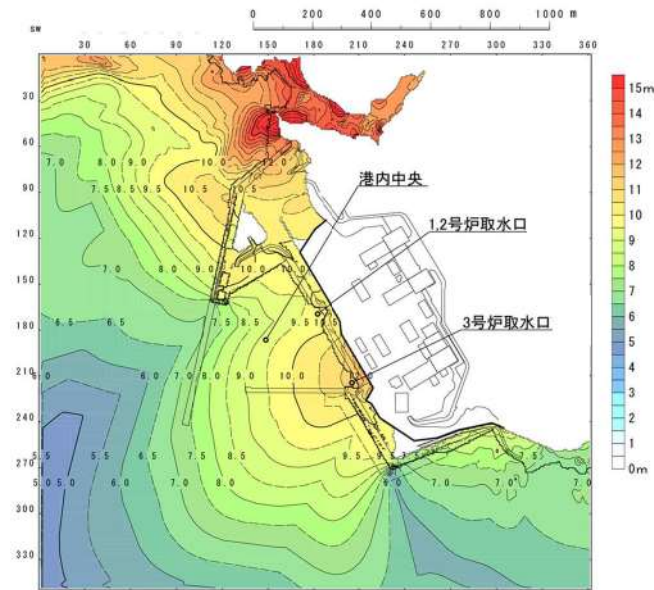
第 11 図(13) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源G, 南防波堤損傷))



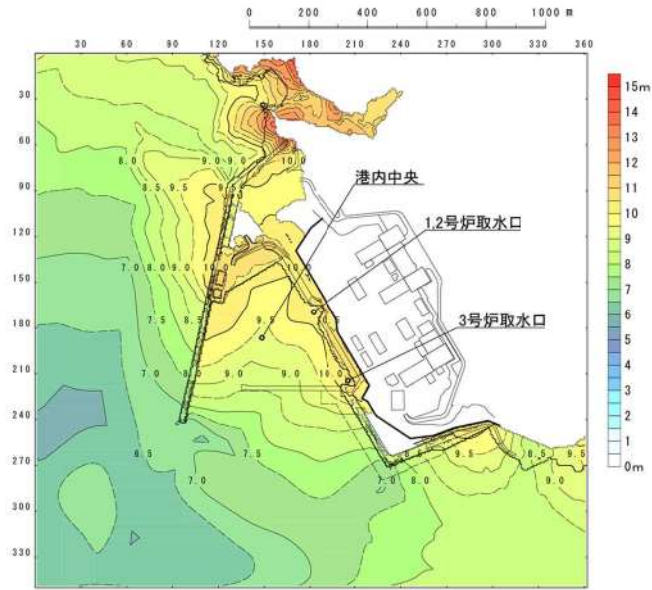
第 11 図(14) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源H, 北防波堤損傷))



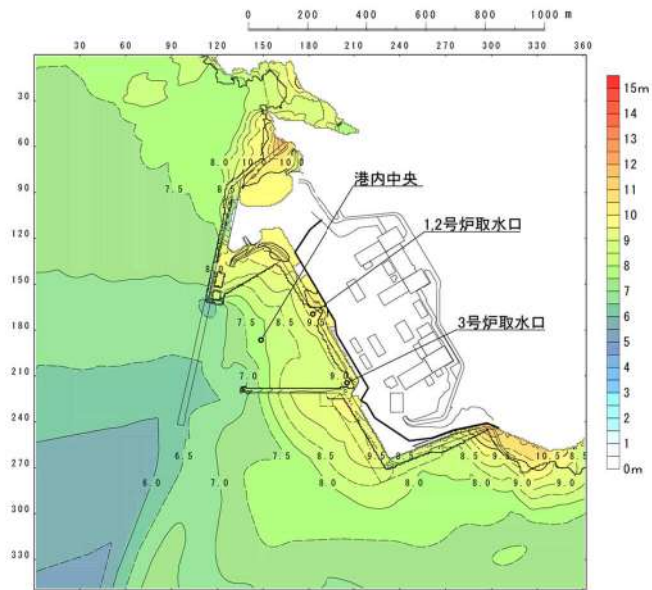
第 11 図(15) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 I, 防波堤損傷なし))



第 11 図(16) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 J, 北及び南防波堤損傷))



第 11 図(17) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 K, 南防波堤損傷))

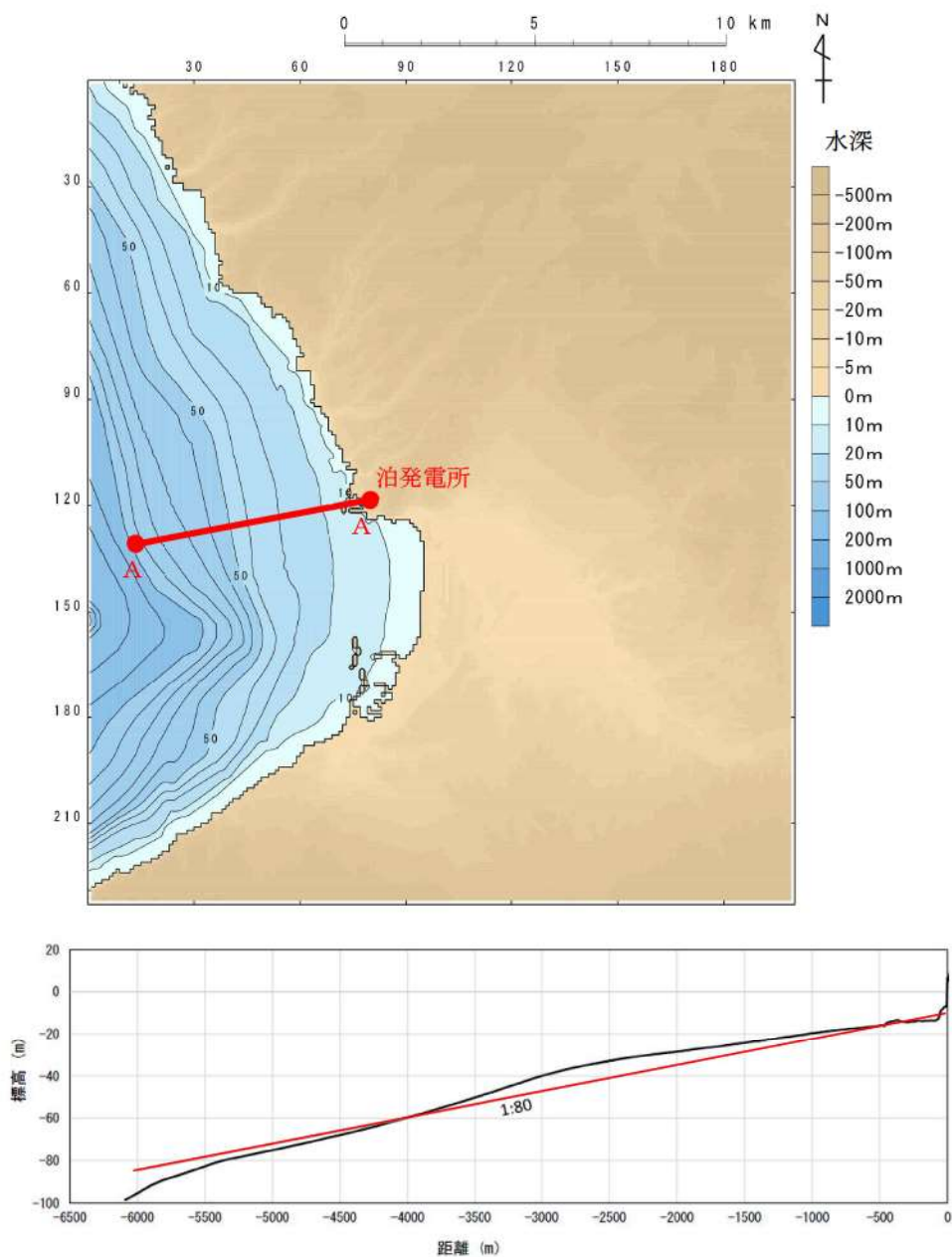


第 11 図(18) 基準津波による最大水位上昇量分布  
(基準津波 (波源 L, 北防波堤損傷))

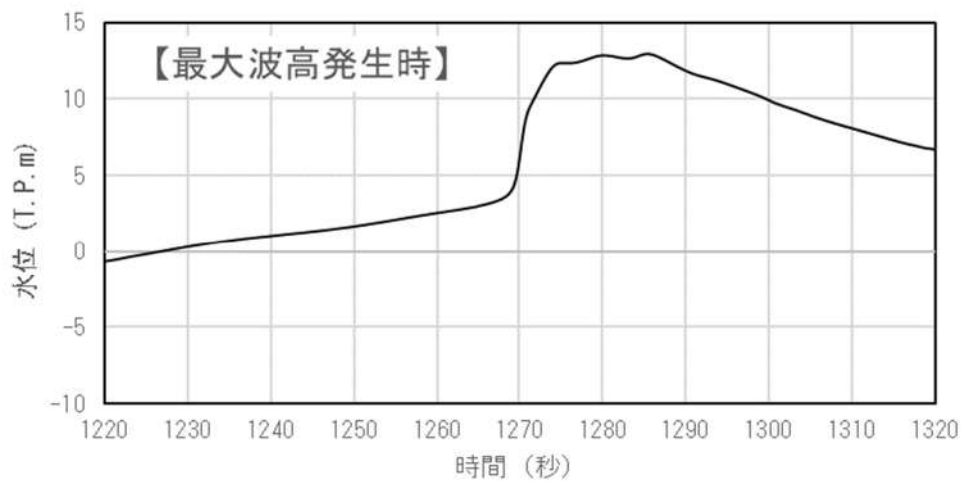
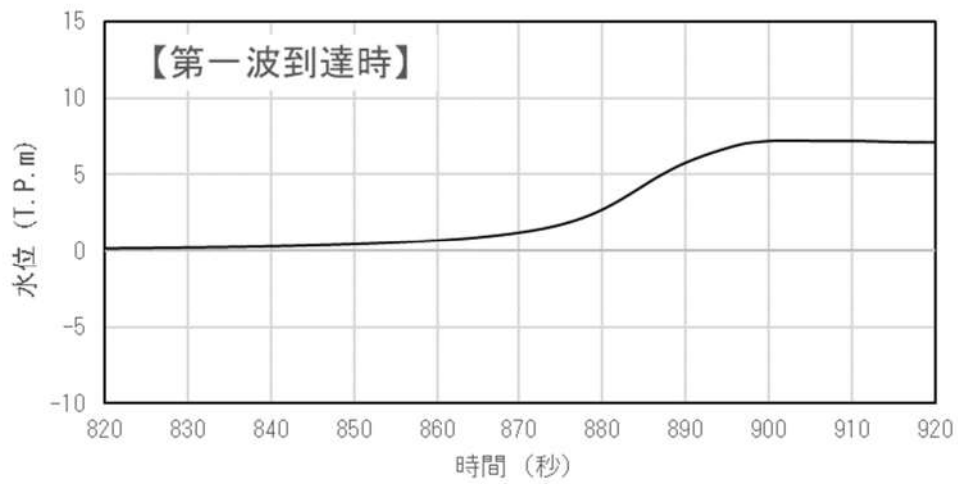
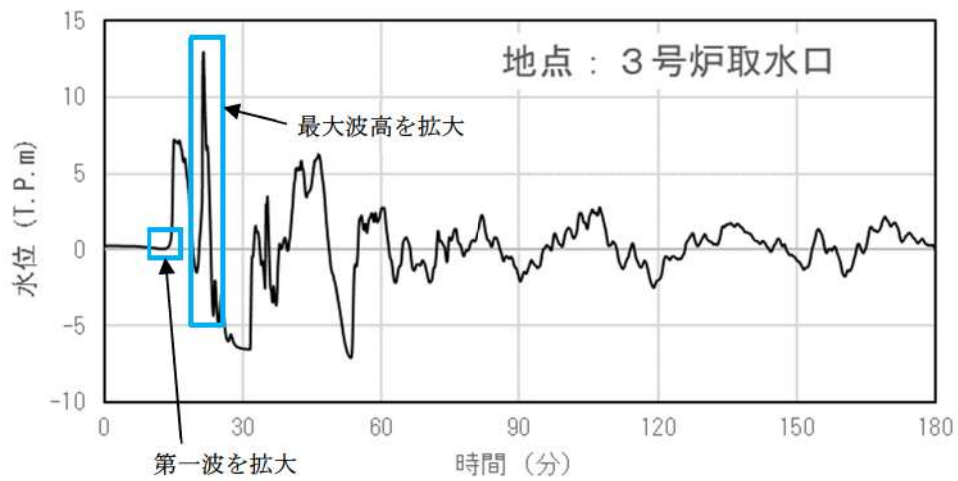
条件②について検討した結果を第 12 図及び第 13 図に示す。

また、平面二次元津波シミュレーションの結果より、最大水位変動量は 15.68m（基準津波（波源 F，北防波堤損傷））であり、朔望平均満潮位（T. P. 0.26m），潮位のばらつき（0.14m）及び泊発電所と岩内港の潮位差 0.01m を考慮した津波高さ T. P. 16.1m（≒16.09m）に高潮ハザードの裕度（0.62m）を考慮しても、防潮堤の天端高さは T. P. 19.0m であるため津波は越流しない。

発電所前面の海底地形として、沖合 6,000m から施設近傍までの平均勾配（A－A断面）が約 1/80（>1/100）となった。



第 12 図 海底地形断面図（A－A断面）



第13図 津波高さの時刻歴波形図 (基準津波 (波源F, 北防波堤損傷))

「防波堤の耐津波設計ガイドライン」の条件①かつ条件②の条件に合致しないため、ソリトン分裂波が発生しないと考えられるが、碎波発生有無の確認を含めて、科学的根拠に基づいた確認を行うために、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験を追加実施する。

(2) 断面二次元津波シミュレーションによる検討

後述の4.(2)に示すように、断面二次元津波シミュレーションにより、基準津波についてソリトン分裂波及び碎波は発生しないことを確認した。

(3) 水理模型実験による検討

後述の4.(3)に示すように、水理模型実験により、地形特性、構造物特性及び津波特性による不確かさを考慮した津波についてソリトン分裂波及び碎波は発生しないことを確認した。

#### 4. 防潮堤に対する津波波圧の評価

##### (1) 基準津波の特性の確認

泊発電所の基準津波は日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と陸上地滑り（川白）の組合せによる津波であり，策定位置は沖合約5 km となっている。基準津波の第1波は押し波成分であり，第2波は第1波の岩内側からの反射の影響を受ける。断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験により津波波圧の検討を行うに当たり，基準津波の特性の確認を行った。

断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験に使用する基準津波の選定に当たっては，ソリトン分裂波や砕波の発生及び津波波圧への影響要因である津波高さを指標とした。

基準津波を対象とし，防潮堤前面位置の結果について整理した。整理結果より，基準津波（波源F，北防波堤損傷）で防潮堤前面位置の水位上昇量が最も大きいことから，基準津波（波源F，北防波堤損傷）を選定した。基準津波における津波高さを第4表に示す。

第4表 基準津波における津波高さ

基準津波	地形モデル (防波堤の損傷状態)	防潮堤前面（上昇側） 水位上昇量（m）
波源A	防波堤損傷なし	13.44
波源B	防波堤損傷なし	11.95
	北防波堤損傷	15.58
波源C	防波堤損傷なし	10.65
波源D	防波堤損傷なし	10.52
	北及び南防波堤損傷	12.58
	南防波堤損傷	11.55
	北防波堤損傷	12.53
波源E	北及び南防波堤損傷	15.65
	南防波堤損傷	14.98
波源F	北及び南防波堤損傷	15.54
	北防波堤損傷	15.68
波源G	南防波堤損傷	12.99
波源H	北防波堤損傷	15.05
波源I	防波堤損傷なし	10.37
波源J	北及び南防波堤損傷	12.80
波源K	南防波堤損傷	11.35
波源L	北防波堤損傷	11.89

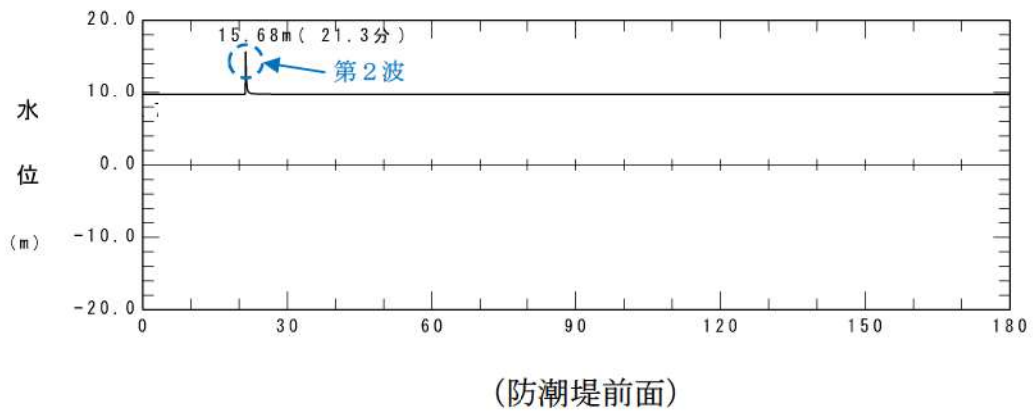
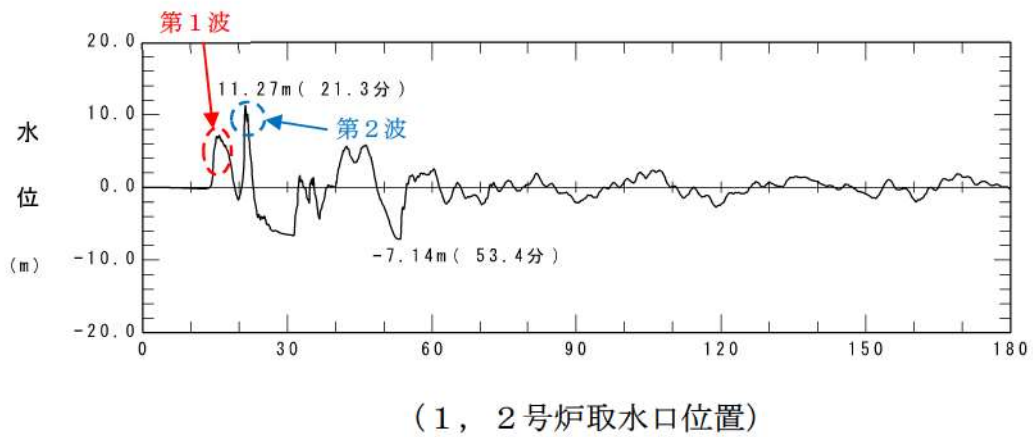
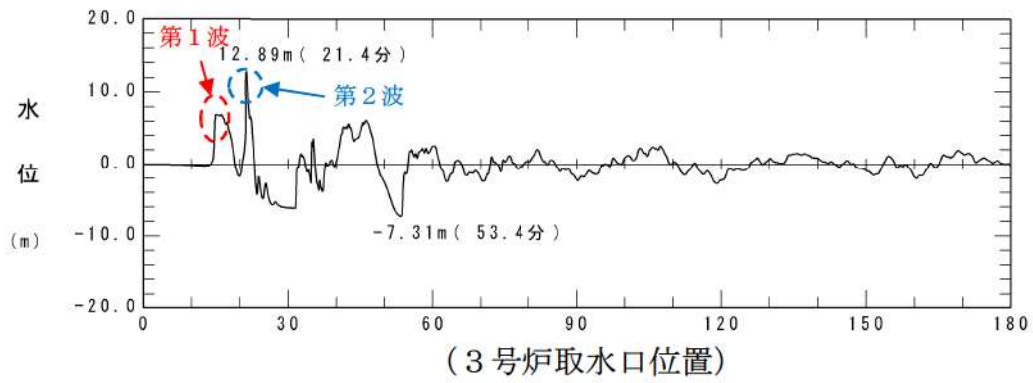
a. 第1波と後続波の関係

基準津波（波源F，北防波堤損傷）の3号炉取水口，1，2号炉取水口前面及び防潮堤前面における時刻歴波形を第14図に示す。

地震発生から約14分後，地震に伴う津波の第1波が発電所港湾に来襲した後，押し波が3分程度継続し，その後，引き波に転じる。地震発生から約18分30秒後，岩内側で反射された津波及び陸上地すべり（川白）による津波の第2波が発電所港湾に来襲し，押し波が1分30秒程度継続した後，引き波に転じる。

基準津波（波源F，北防波堤損傷）における敷地前面の最大水位変動量15.68mは，第2波（地震発生から約21分30秒後）で確認され，このとき，最大水位はT.P.15.94m（＝最大水位変動量15.68m＋朔望平均満潮位T.P.0.26m）となることから，防潮堤に作用する津波波圧は，第2波のときに最大となることが想定される。



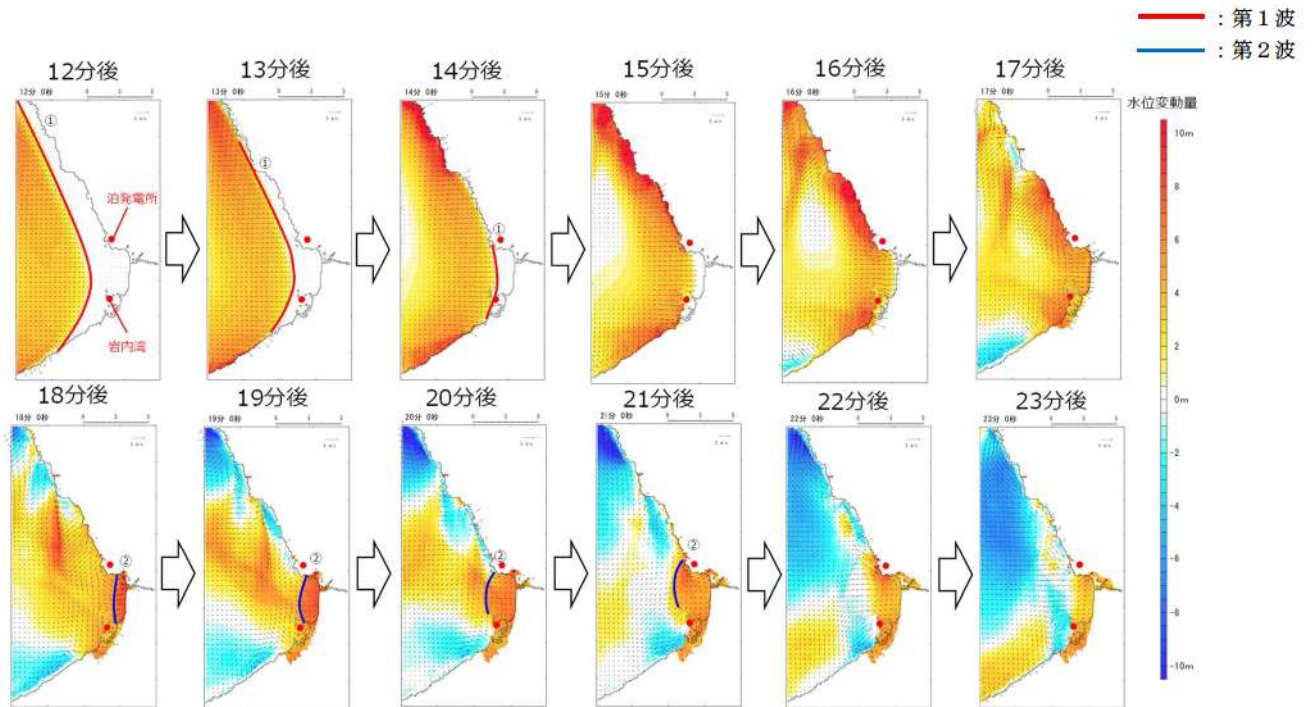


第14図 基準津波（波源F，北防波堤損傷）の時刻歴波形

b. 周辺地形の影響

基準津波（波源F，北防波堤損傷）の平面二次元津波シミュレーションによる伝播状況を第15図に示す。

第15図に示す通り，第1波は周辺地形の影響をほとんど受けずに策定位置から直線的に到達するが，第2波は岩内側からの反射の影響を大きく受けることを確認した。



第15図 平面二次元津波シミュレーションによる基準津波の伝播状況  
(基準津波（波源F，北防波堤損傷）)

### c. まとめ

泊発電所の基準津波を対象とし、ソリトン分裂波及び砕波の発生及び津波波圧への影響要因である津波高さを指標として整理した結果、防潮堤前面の水位上昇量は基準津波（波源F，北防波堤損傷）で最大となったため、基準津波（波源F，北防波堤損傷）の特性を確認した。

基準津波（波源F，北防波堤損傷）において、第1波は周辺地形の影響をほとんど受けずに直線的に到達するが、第2波は岩内側からの反射の影響を大きく受けることを確認した。また、防潮堤に作用するのは第2波のみであることから、第2波の影響が支配的になる（防潮堤に作用する津波波圧が最大となる）ことを確認した。

以上を踏まえて、基準津波（波源F，北防波堤損傷）の第2波を検討対象として防潮堤に作用する津波波圧の検討を行うこととする。

また、断面二次元津波シミュレーションによる検討と併せて、波形特性（周期，波高）や地形特性（敷地形状，防潮堤位置）の不確かさも考慮した水理模型実験による検討を補完的に行う。

## (2) 断面二次元津波シミュレーションによる検討

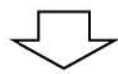
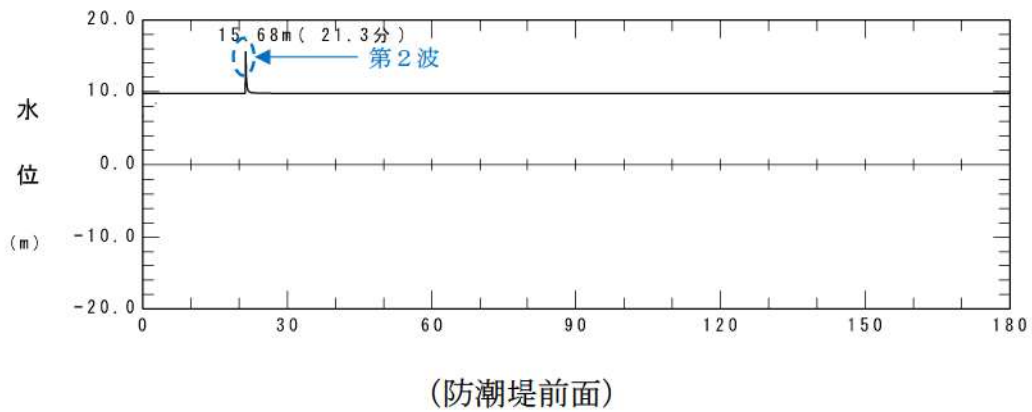
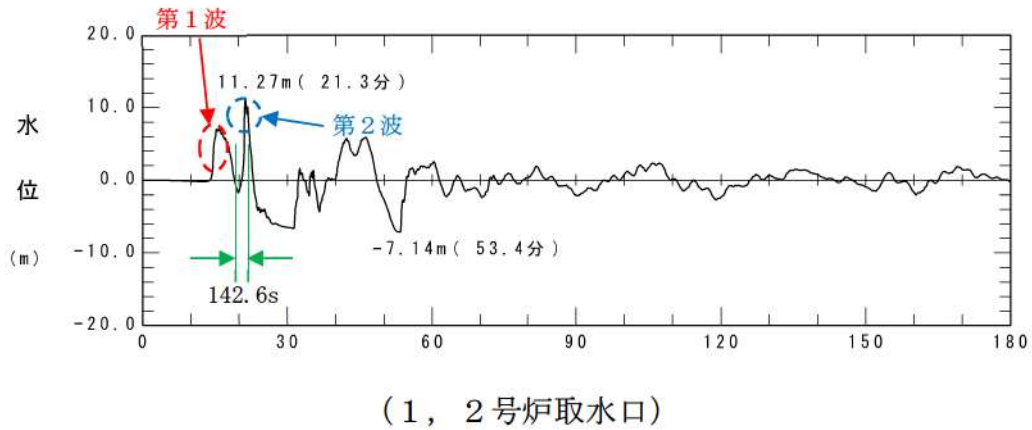
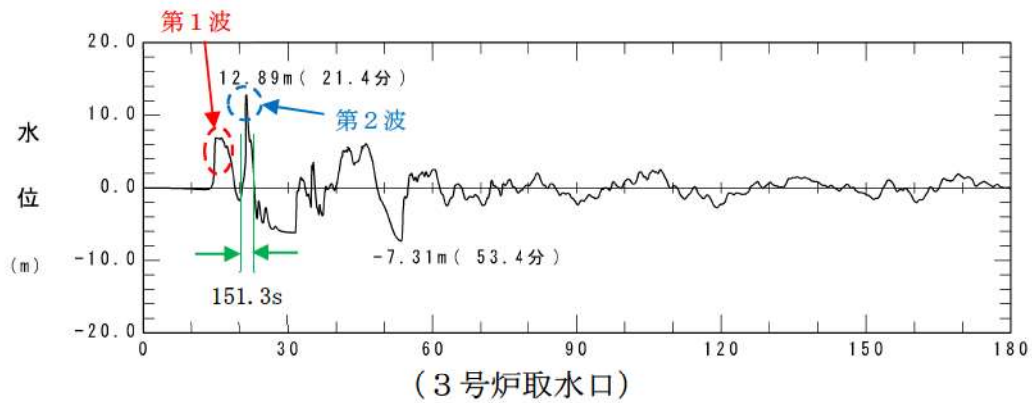
### a. 解析条件

泊発電所の地形特性（海底勾配，敷地形状）を再現した上で，基準津波を対象とした断面二次元津波シミュレーションにより，津波の水位・流速・波圧等の確認を行った。数値流体解析は，非線形分散波理論に基づいた解析手法であり，ソリトン分裂波を表現可能な数値波動水路 CADMAS-SURF/3D (Ver. 1.5) を用いた。

基準津波（波源 F，北防波堤損傷）の特性を踏まえると，防潮堤に作用する波圧は第 2 波による影響が支配的と考えられるものの，断面二次元津波シミュレーションにおいて基準津波の第 2 波のみを沖合から入射させても泊発電所位置で第 2 波に対応する時刻歴波形を再現することができない。そのため，断面二次元津波シミュレーションでは，防潮堤前面で最大水位 T. P. 15.94m（＝最大水位変動量 15.68m＋朔望平均満潮位 T. P. 0.26m）が得られるように模擬波形を作成した。また，ソリトン分裂波及び砕波は周期が短いほど発生しやすいことから，模擬津波の半周期は，基準津波（波源 F，北防波堤損傷）における 3 号炉取水口及び 1，2 号炉取水口位置の第 2 波に対応する半周期のうち，最も短い 1，2 号炉取水口位置の半周期（約 142 秒）を，保守的に 140 秒に設定した。

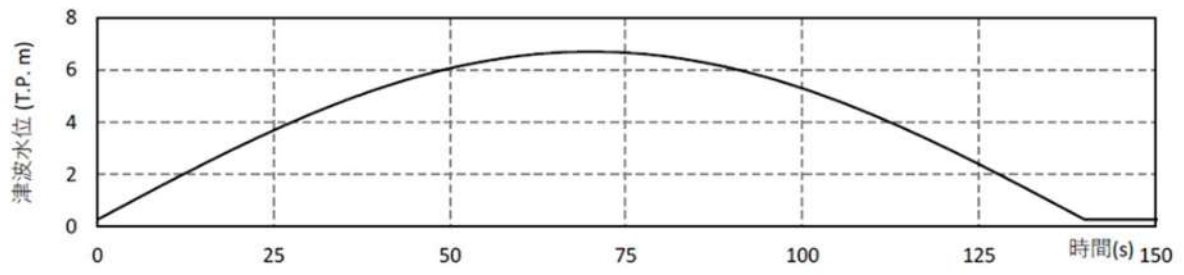
第 2 波は岩内側からの反射波等が重合した波であり，反射波が岸側から沖合に伝播する過程で海底勾配は負となることから，ソリトン分裂波は発生しないと考えられるが，ここでは保守的な検討を行う。

第 2 波の模擬津波の設定方法及び時刻歴波形を第 16 図に示す。



- ・第2波を正弦波（押し波のみ）でモデル化
- ・入力する正弦波の高さは，試行計算により防潮堤前面で最大水位 T.P. 15.94m（=最大水位変動量 15.68m+朔望平均満潮位 T.P. 0.26m）を得られるよう設定
- ・入力する正弦波の半周期は，基準津波（波源F，北防波堤損傷）の3号炉取水口及び1，2号炉取水口位置の第2波の半周期のうち，最も短い半周期を保守的に設定

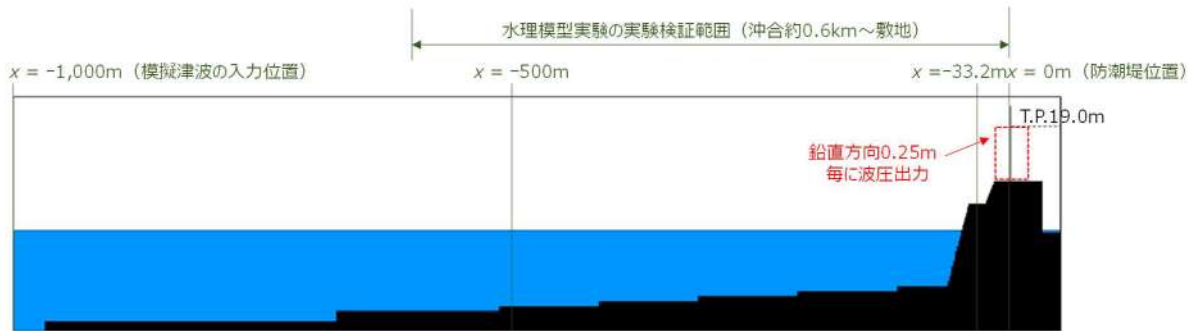
第16図（1） 第2波の模擬津波の設定方法



第 16 図 ( 2 ) 第 2 波の模擬津波の時刻歴波形

断面二次元津波シミュレーションにおける解析モデルを第 17 図に示す。

第 2 波の模擬津波は沖合からの進行波を再現するものではなく、第 1 波の岩内側からの反射波を再現するものであり、防潮堤前面位置における津波の遡上を対象とするため、解析領域は、「4. (3) 水理模型実験による検討」で後述する水理模型実験の実験検証範囲である沖合 0.6km を包括する沖合 1.0km 地点から発電所敷地までの区間をモデル化し、第 2 波の模擬津波は沖合 1.0km 地点に入力した。



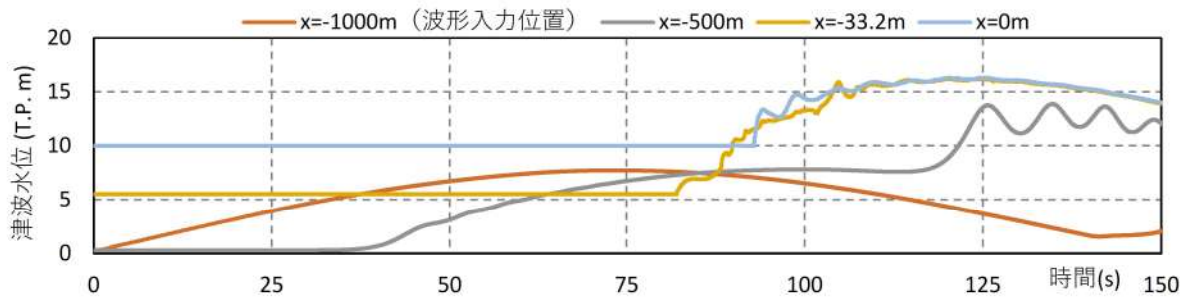
第 17 図 断面二次元津波シミュレーションにおける解析モデル  
(沖合 1.0 km 地点～敷地)

b. ソリトン分裂波及び砕波の確認

第 18 図に断面二次元津波シミュレーションにおける第 2 波の模擬津波の時刻歴波形 ( $x = -1000\text{m}$ ,  $-500\text{m}$ ,  $-33.2\text{m}$ ,  $0\text{m}$  地点) を示す。第 18 図より, 発電所沖合から防潮堤前面にかけてソリトン分裂波及び砕波が発生しないことを以下の通り確認した。

- ・ 発電所沖合から防潮堤の近傍において, ソリトン分裂波及び砕波を示す波形がなく<sup>※1</sup>, 水位は緩やかに上昇している ( $x = -1000\text{m}$ ,  $-500\text{m}$ ,  $-33.2\text{m}$  地点)。
- ・ 防潮堤前面の  $x = 0\text{m}$  地点においても, ソリトン分裂波及び砕波は発生しない。

※1: 断面二次元津波シミュレーションにおける水位の時刻歴波形より,  $x = -500\text{m}$  地点,  $125 \sim 150\text{s}$  において短周期の水位変動が認められるが, 当該部は防潮堤側の反射波による影響によるものである。



第 18 図 断面二次元津波シミュレーションにおける水位の時刻歴波形  
(第 2 波模擬津波)



c. 波形の水面勾配

第2波模擬津波の断面二次元津波シミュレーション結果を基に波形の水面勾配を確認する。第19図に護岸における水面勾配を示す。

断面二次元津波シミュレーションにおいて、入力した波形が護岸に到達した時刻に着目し、護岸の水面勾配を確認した結果、護岸における水面勾配は $4^\circ$ であり、松山ら(2005)における水面勾配の碎波限界 $30^\circ \sim 40^\circ$ に比べて十分に小さい。

基準津波の時刻歴波形や水位分布からソリトン分裂波や碎波と考えられる挙動は認められない。

以上より、防潮堤前面ではソリトン分裂波及び碎波は発生しない。

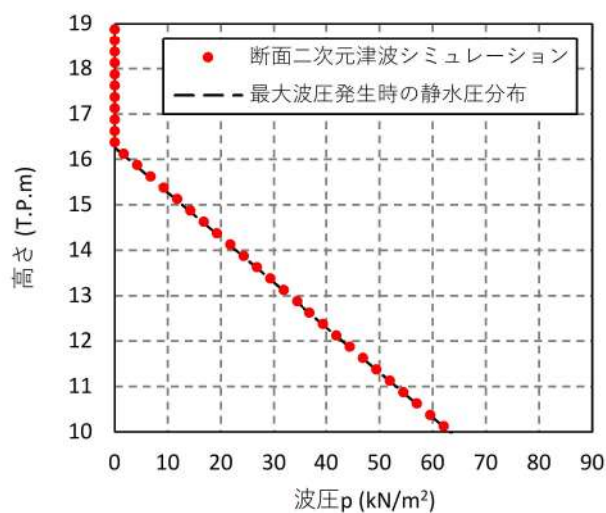


第19図 護岸における水面勾配（第2波模擬津波）

#### d. 波圧の算定結果

断面二次元津波シミュレーションにより算定した、防潮堤に作用する最大波圧発生時の波圧分布を第 20 図に示す。

直線型の波圧分布となることから、ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。



第 20 図 最大波圧分布 (第 2 波模擬津波)

#### e. まとめ

泊発電所の地形特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧について、断面二次元津波シミュレーションにより、基準津波の特性や津波波圧等を確認した。

検討の結果、防潮堤前面で津波のソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。また、基準津波の作用により、津波の衝撃圧は発生せず、持続圧が作用した (防潮堤に作用する波圧分布は直線型となり、おおむね静水圧分布となった)。

### (3) 水理模型実験による検討

#### a. 実験条件

泊発電所の地形特性、構造物（防潮堤）特性、津波特性（基準津波）の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し、保守的な結果が得られる条件を設定する。

津波波圧に影響するサイト特性の整理と水理模型実験条件への反映結果を第5表に示す。地形特性、構造物特性及び津波特性の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し、保守的になるよう実験条件を設定するとともに、津波の波形特性としての周期（継続時間）及び波高、地形特性としての敷地形状、防潮堤位置の不確かさを考慮した。

津波の波形特性（周期、波高）の不確かさが津波波圧等に与える影響を確認するため、津波の周期・波高を変化させた7種類の津波波形（1波形あたり3回）による水理模型実験を行った（第6表、第21図）。

実験装置は、長さ20.4m（漸縮部12.95m、直線部7.45m）×幅1.0～7.5m×高さ0.91mの平面水槽を用い、実験縮尺（幾何縮尺）は1/80とした。また、高水位の津波を造波するため、増波装置の能力や水槽内の貯留可能水量を考慮し、沖合部に津波水位を高くするための収斂壁（幅7.5mより1mに絞る）を設置し、下流側に幅1m水路、護岸模型及び防潮堤模型を構築した。実験装置及び実験模型の概要を第22図、第23図に示す。

防潮堤海側の盛土法面は地震による液状化等による変状の可能性があること、またその変状により津波波圧が変化する可能性があることを踏まえ、法面形状及び防潮堤位置が津波波圧等に与える影響を確認するため、5ケースの敷地形状を設定した（第24図）。ケース1は法面の形状変更を考慮しない基本ケース、ケース2は法面の盛土を仮想的に考慮しないケース、ケース3は消波ブロック部を仮想的に考慮しないケース、ケース4は法面の盛土及び消波ブロック部の両方を考慮しないケース、ケース5はケース1に対して防潮堤位置を16m後退させたケースである。

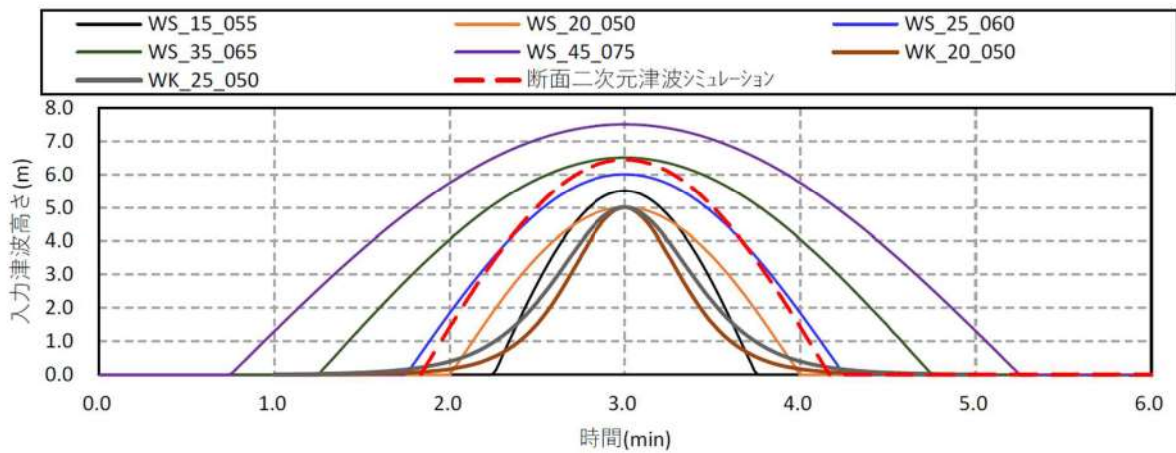
検討ケース一覧を第7表に、実験状況を第25図に示す。

第5表 津波波圧に影響するサイト特性の整理と水理模型実験条件への反映結果

分類	項目	サイト特性	津波波圧への影響	実験条件への反映結果
地形	海底勾配	1/88 (平均勾配)	<ul style="list-style-type: none"> <li>海底勾配が1/100以下程度の遠浅で、かつ津波高さが水深の30%以上であると、ソリトン分裂波が発生する可能性がある</li> </ul>	<u>サイト特性を再現(与条件)<sup>※</sup></u> ※:津波高さの違いがソリトン分裂波の有無に影響するため、津波高さの項目で反映
	防波堤	防波堤あり	<ul style="list-style-type: none"> <li>防波堤の有無は防潮堤に対する津波の流向に影響する</li> </ul>	<u>保守性を考慮(防波堤なしでモデル化)</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>防波堤なしの場合に津波は直接防潮堤に作用すること、基準津波の最高水位が防波堤よりも十分高く波長も長いことから、津波波圧への影響検討として防波堤なしが保守的と考えられる</li> </ul>
	前面地形 (防潮堤海側)	2段敷地	<ul style="list-style-type: none"> <li>防潮堤海側の敷地法面は、防潮堤に作用する津波波圧を減勢する効果をきたす可能性がある</li> </ul>	<u>不確かさを考慮</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>敷地法面が津波波圧の減勢効果を有するかを確認するため、法面の形状変化を仮定した感度実験を実施</li> </ul>
構造物 (防潮堤)	設置位置	法面上部	<ul style="list-style-type: none"> <li>汀線から離れるほど津波が減勢し、津波波圧は小さくなる</li> </ul>	<u>不確かさを考慮</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>防潮堤と海岸線との離隔距離の違いが津波波圧に与える影響を確認するため、防潮堤の設置位置を変化させた感度実験を実施</li> </ul>
	防潮堤高さ	T.P.19.0m	<ul style="list-style-type: none"> <li>影響なし</li> </ul>	<u>サイト特性を再現(与条件)</u>
	形状	堤体形状	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波波圧は津波が衝突する前面形状の影響を受ける</li> </ul>	<u>防潮堤を壁構造でモデル化</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>前面形状を適切にモデル化</li> </ul>
津波 (基準津波)	波形	周期	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波の周期は、防潮堤に作用する津波の波長、流速の大小に影響する</li> </ul>	<u>不確かさを考慮(半周期 1.5分～4.5分の5ケース)</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>断面二次元津波シミュレーションに入力する波形の半周期が約140秒であることを考慮して設定</li> <li>正弦波の目標波形に加え、実際の津波波形に近い孤立波も設定</li> </ul>
	津波高さ	6.44m (断面二次元津波シミュレーションに入力する波形の高さ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>波高が高い方が、流速も含めた津波のエネルギーが大きく、津波波圧は大きくなる</li> </ul>	<u>不確かさを考慮(5.0m～7.5mの7ケース)</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>断面二次元津波シミュレーションに入力する波形の高さが約6.44mであることを考慮して設定</li> </ul>

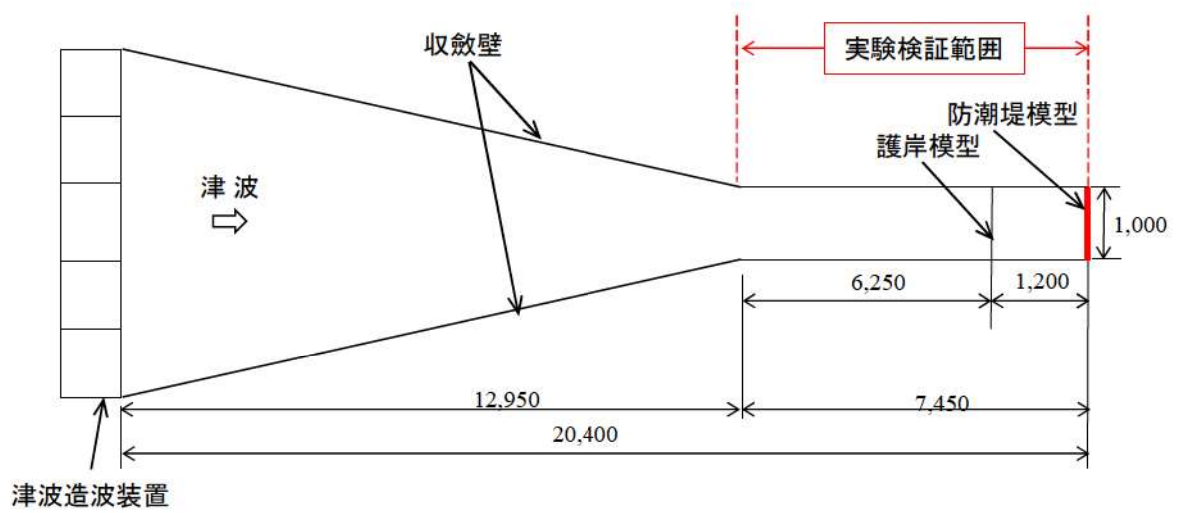
第6表 入力する津波の条件（目標波形）

波条件	波形	目標津波条件 (現地換算)		目標津波条件 (1/80 実験換算)	
		半周期 T/2(分)	津波高 H(m)	半周期 T/2(秒)	津波高 H(m)
WS_15_055	正弦波 (押し波)	1.5	5.5	10	0.069
WS_20_050		2.0	5.0	13	0.063
WS_25_060		2.5	6.0	17	0.075
WS_35_065		3.5	6.5	23	0.081
WS_45_075		4.5	7.5	30	0.094
WK_20_050	孤立波	2.0	5.0	13	0.063
WK_25_050		2.5	5.0	17	0.063

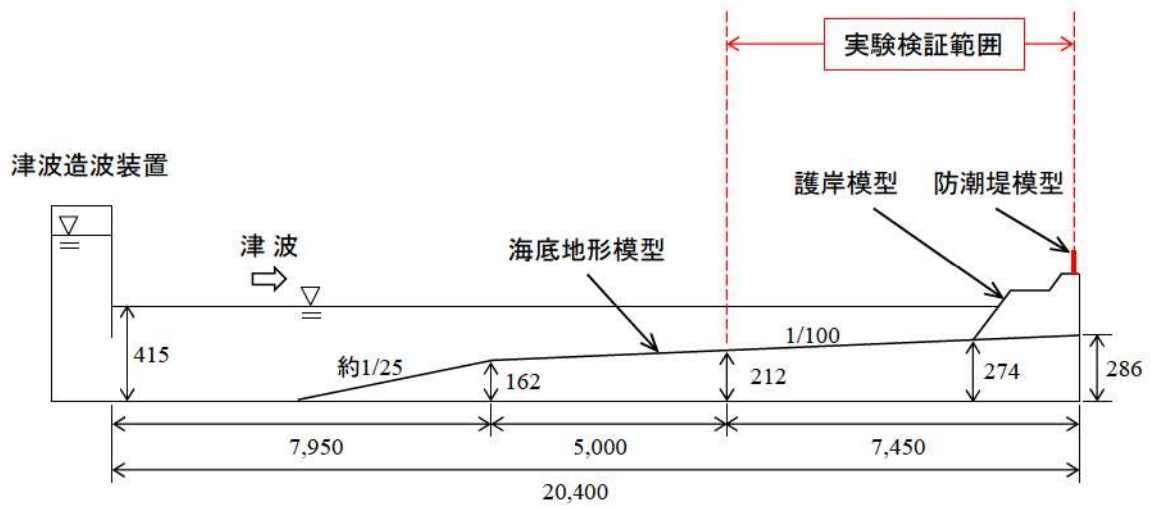


第21図 入力する津波波形（目標波形）

※ 参考として断面二次元津波シミュレーションで用いた津波波形を併記

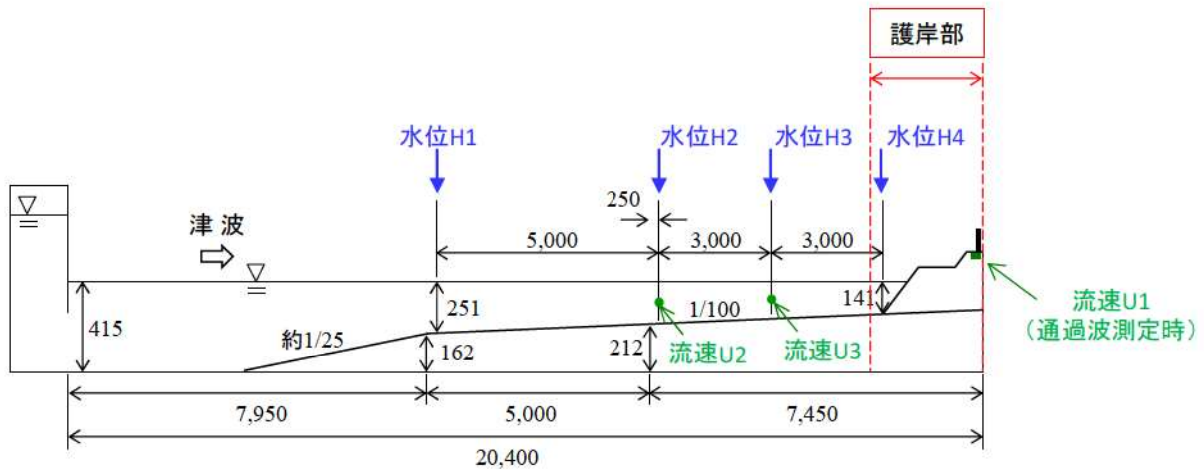


(a) 平面図



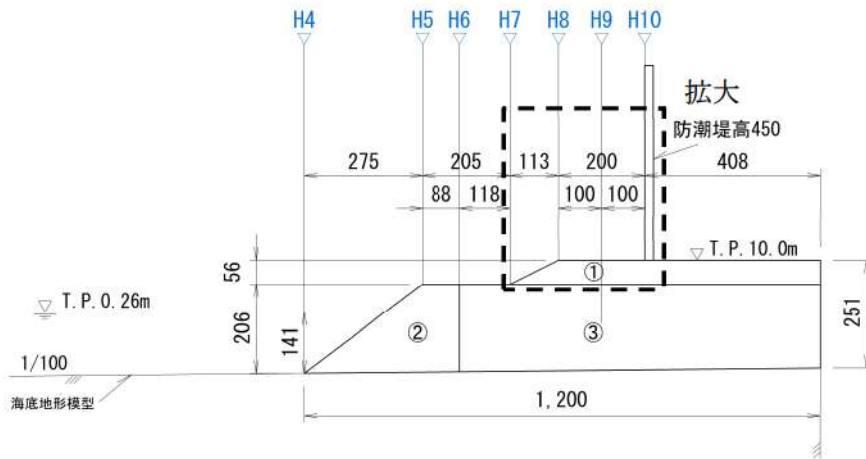
(b) 断面図

第 22 図 実験装置概要図 (単位 : mm)

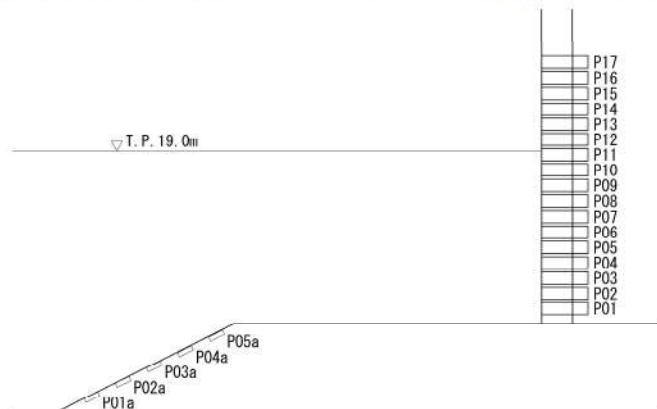


※流速 U2, U3 の鉛直計測位置は、水路床から静水時水深の半分の高さとする

(a) 断面図



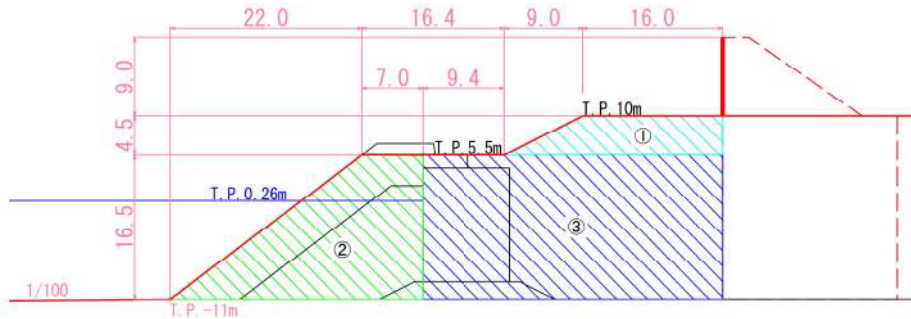
(b) 護岸部 (護岸ケース 1 (基本形状) の場合)



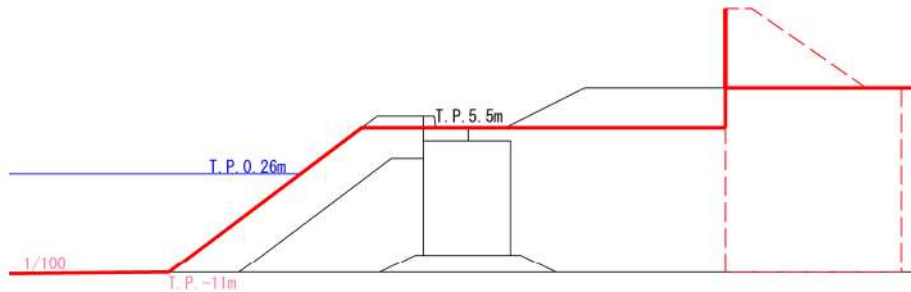
(c) 波圧計設置箇所拡大図

第 23 図 実験模型概要及び計測位置図 (単位 : mm)

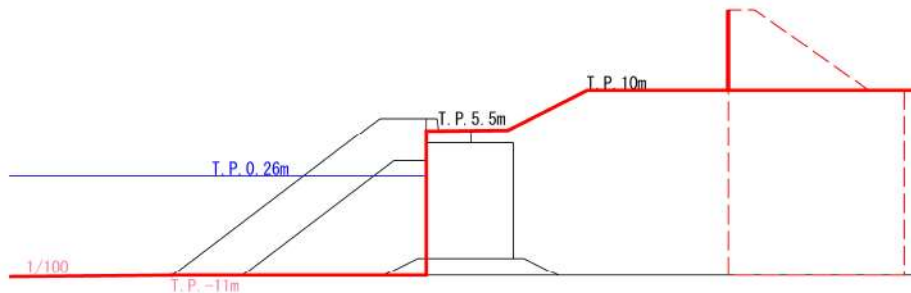
- : 実験模型の断面形状
- ① : 海側盛土 (ケース 2, 4 では変状を考慮)
- ② : 海側法面 (ケース 3, 4 では変状を考慮)
- ③ : 護岸 (変状を考慮しない)



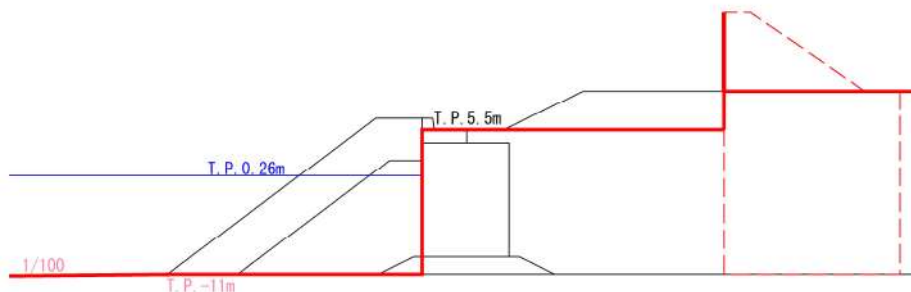
(ケース 1 : 基本形状, 海側法面・海側盛土あり)



(ケース 2 : 海側盛土なし)

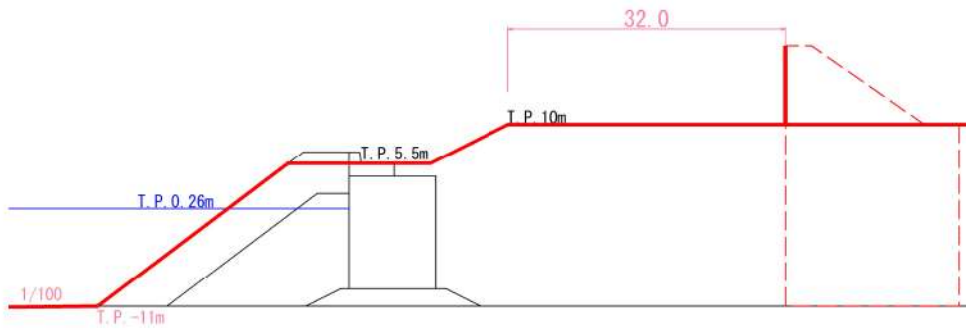


(ケース 3 : 海側法面なし)



(ケース 4 : 海側法面・海側盛土なし)



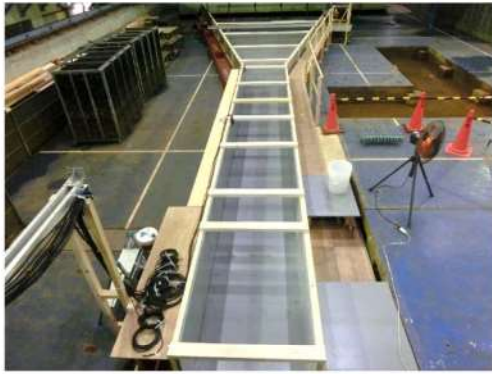


(ケース 5 : ケース 1 に対し, 防潮堤位置を後退)

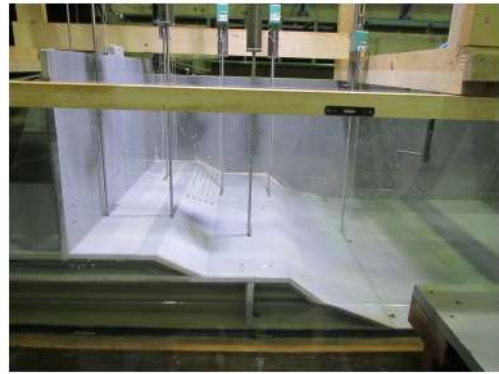
第 24 図 敷地形状

第7表 検討ケース一覧

No	津波波形	敷地形状	防潮堤	No	津波波形	敷地形状	防潮堤
1	WS_15_055	ケース 1	無	36	WS_15_055	ケース 1	有
2		ケース 2		37		ケース 2	
3		ケース 3		38		ケース 3	
4		ケース 4		39		ケース 4	
5		ケース 5		40		ケース 5	
6	WS_20_050	ケース 1		41	WS_20_050	ケース 1	
7		ケース 2		42		ケース 2	
8		ケース 3		43		ケース 3	
9		ケース 4		44		ケース 4	
10		ケース 5		45		ケース 5	
11	WS_25_060	ケース 1		46	WS_25_060	ケース 1	
12		ケース 2		47		ケース 2	
13		ケース 3		48		ケース 3	
14		ケース 4		49		ケース 4	
15		ケース 5		50		ケース 5	
16	WS_35_065	ケース 1		51	WS_35_065	ケース 1	
17		ケース 2		52		ケース 2	
18		ケース 3		53		ケース 3	
19		ケース 4		54		ケース 4	
20		ケース 5		55		ケース 5	
21	WS_45_075	ケース 1		56	WS_45_075	ケース 1	
22		ケース 2		57		ケース 2	
23		ケース 3		58		ケース 3	
24		ケース 4		59		ケース 4	
25		ケース 5		60		ケース 5	
26	WK_20_050	ケース 1		61	WK_20_050	ケース 1	
27		ケース 2		62		ケース 2	
28		ケース 3		63		ケース 3	
29		ケース 4		64		ケース 4	
30		ケース 5		65		ケース 5	
31	WK_25_050	ケース 1		66	WK_25_050	ケース 1	
32		ケース 2		67		ケース 2	
33		ケース 3		68		ケース 3	
34		ケース 4		69		ケース 4	
35		ケース 5		70		ケース 5	



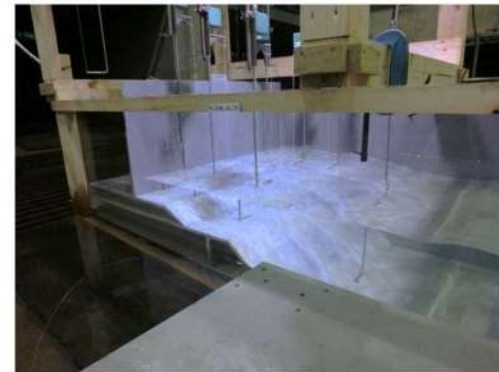
収斂壁



護岸模型・防潮堤模型



通過波計測状況



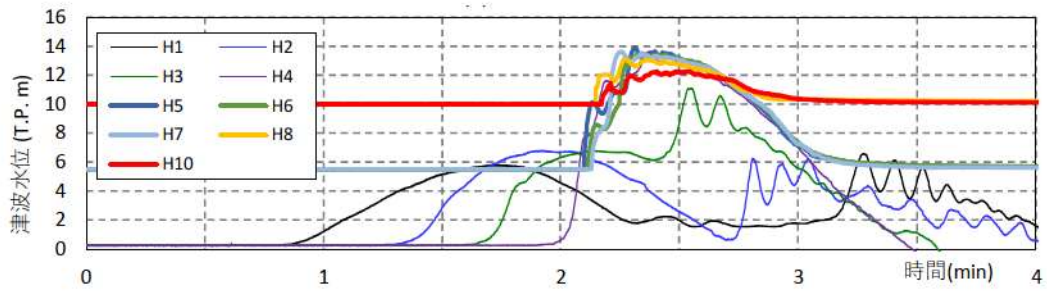
津波波圧計測状況

第 25 図 実験状況

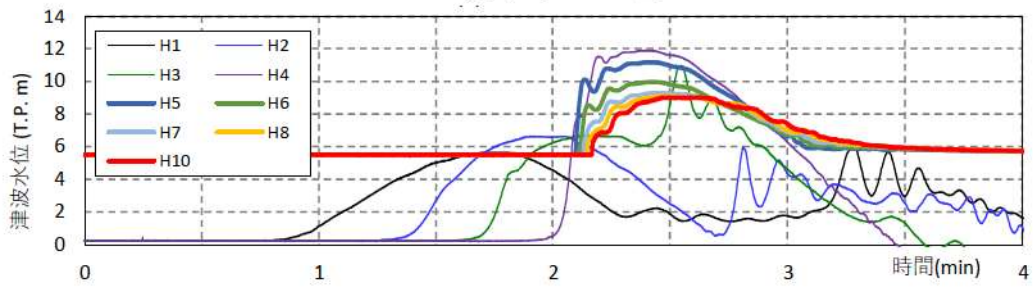
b. ソリトン分裂波及び碎波の確認

第 7 表に示すケースについて、水位計測位置での水位時刻歴波形を第 26 図から第 39 図に示す。発電所沖合から護岸前面 (H1~H4 地点) において、ソリトン分裂波及び碎波を示す波形がなく、水位は緩やかに上昇していることを確認した。

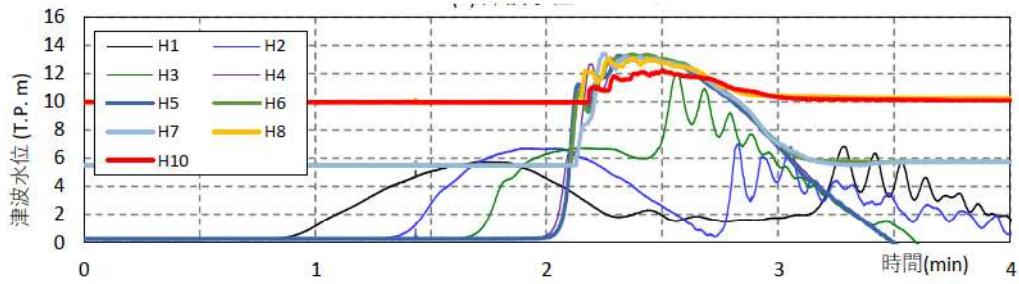
津波が護岸を遡上した後 (H5 地点以降) は、津波が護岸を乗り越える影響や防潮堤による反射の影響を受け、波形に乱れを確認したことから、波圧分布によりソリトン分裂波及び碎波の影響を確認する。



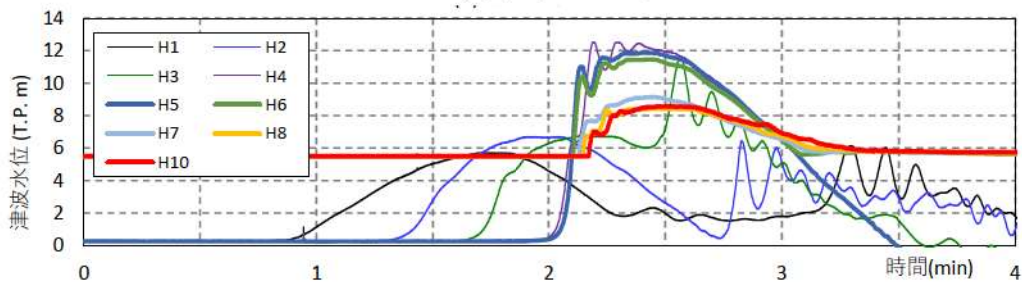
(a) ケース 1



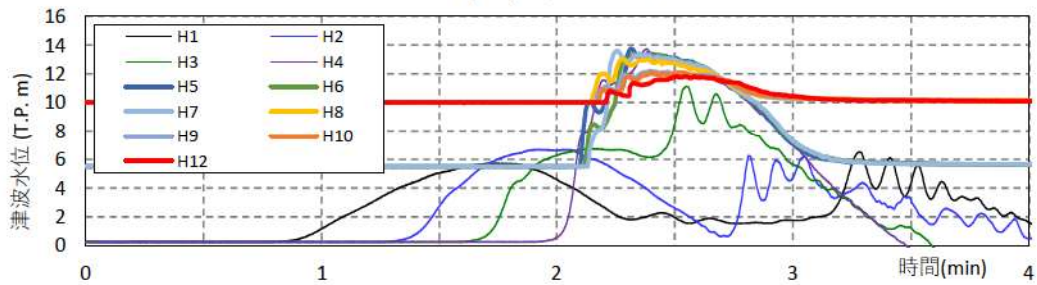
(b) ケース 2



(c) ケース 3

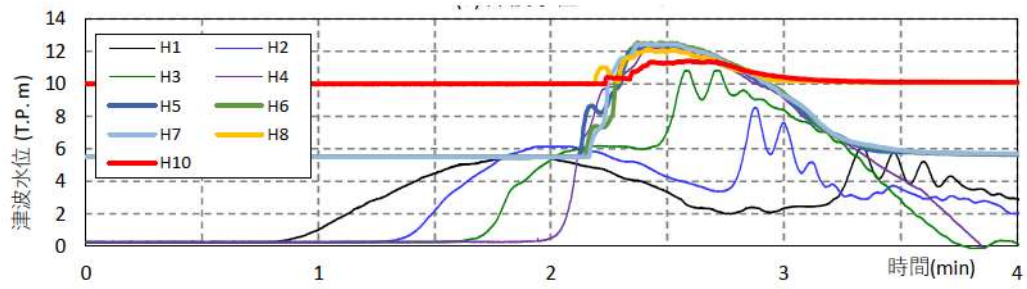


(d) ケース 4

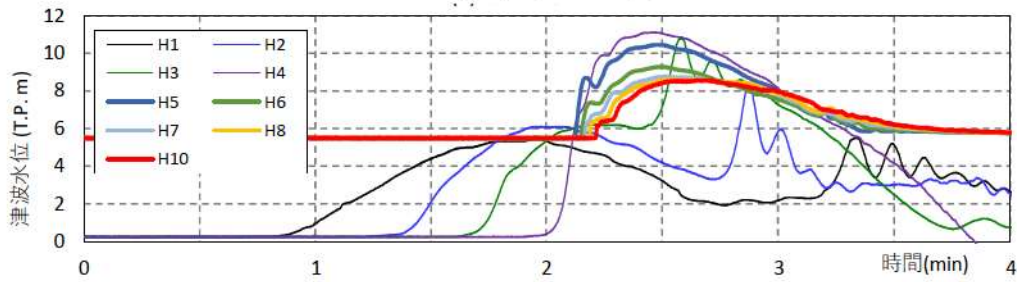


(e) ケース 5

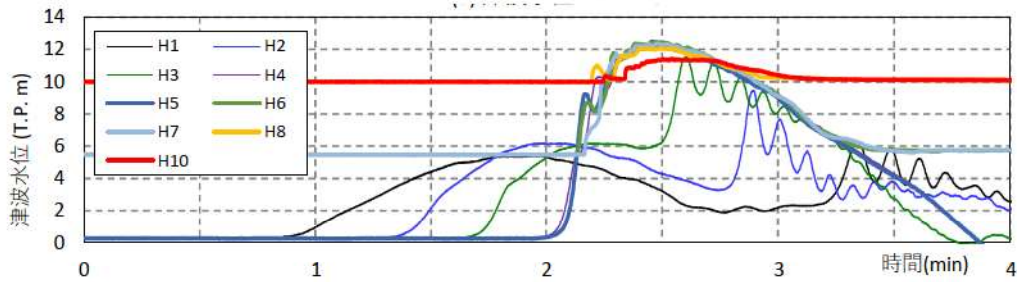
第 26 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_15\_055, 防潮堤：無)



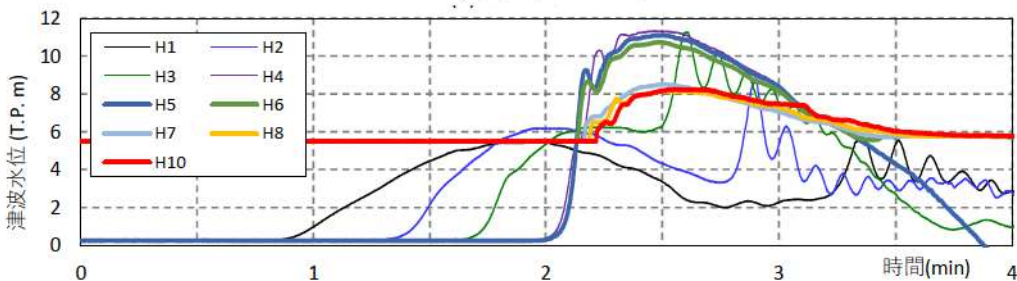
(a) ケース 1



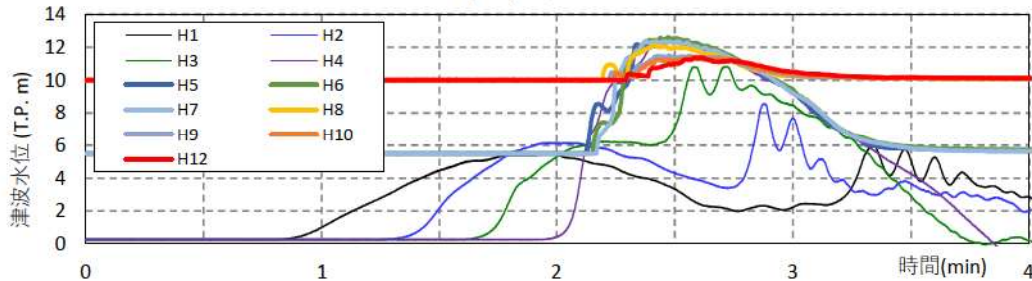
(b) ケース 2



(c) ケース 3

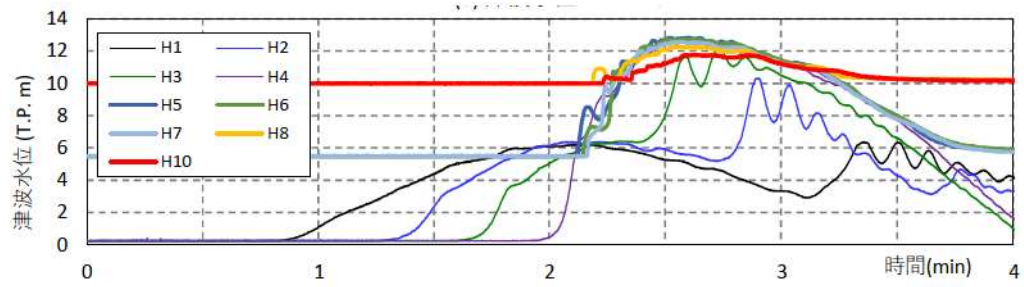


(d) ケース 4

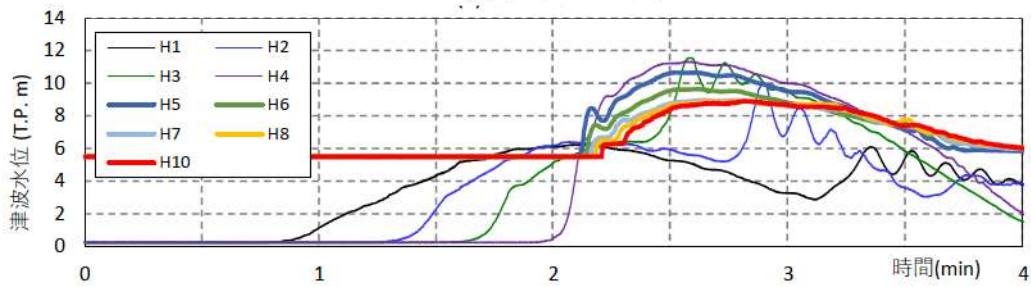


(e) ケース 5

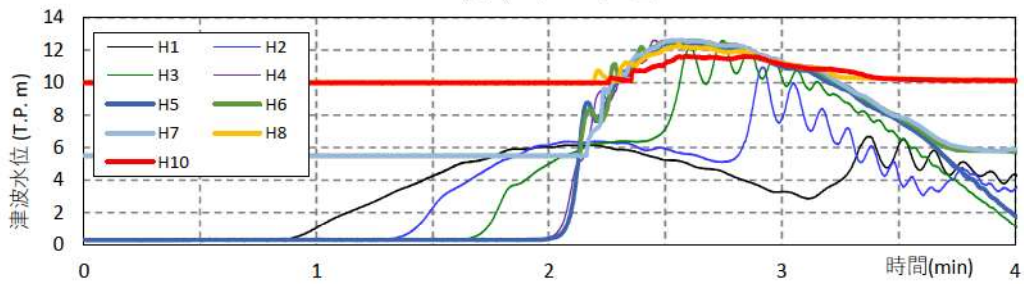
第 27 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_20\_050, 防潮堤：無)



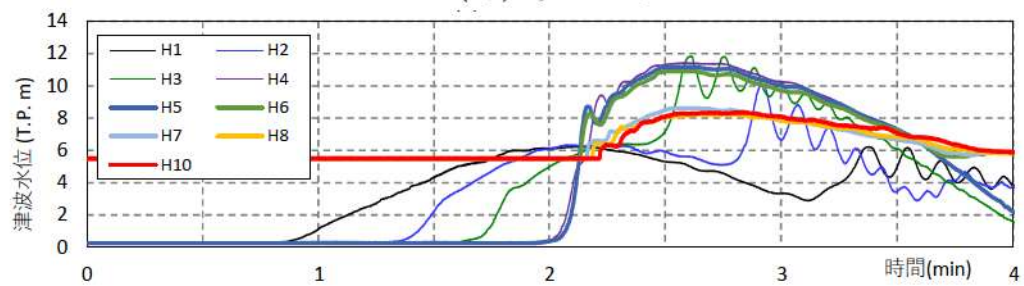
(a) ケース 1



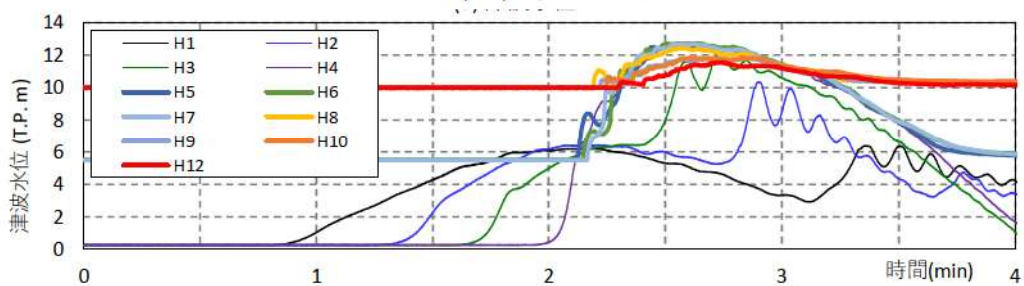
(b) ケース 2



(c) ケース 3

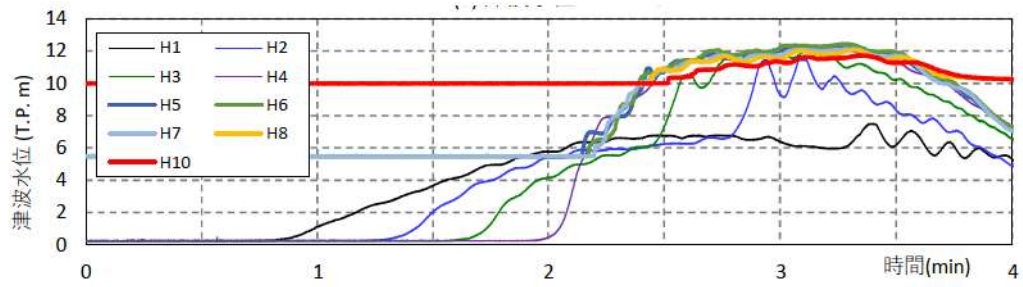


(d) ケース 4

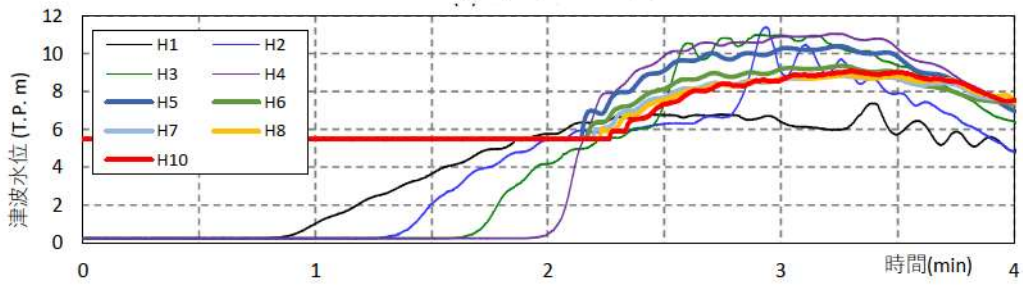


(e) ケース 5

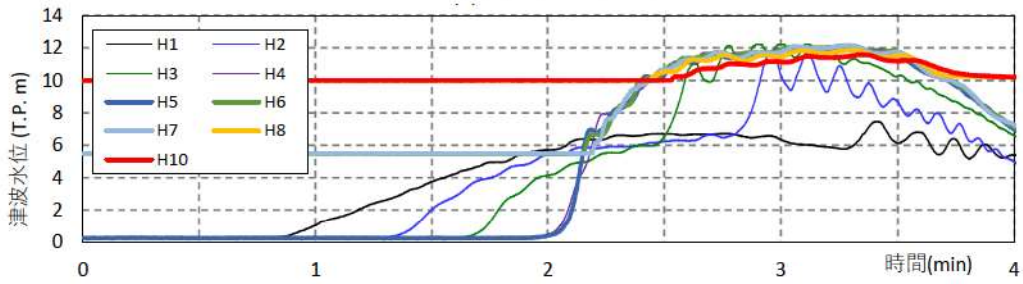
第 28 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_25\_060, 防潮堤：無)



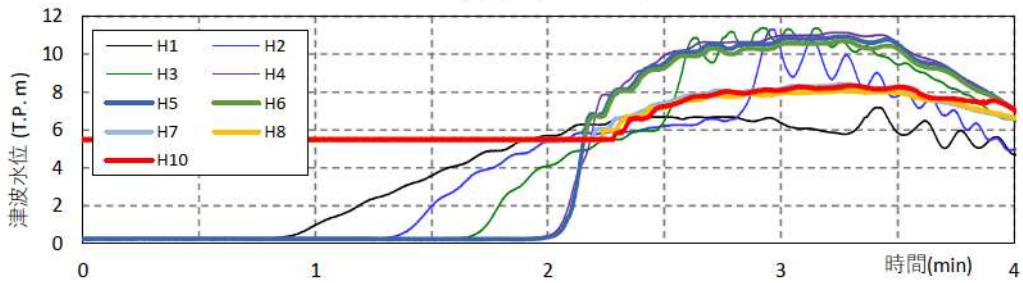
(a) ケース 1



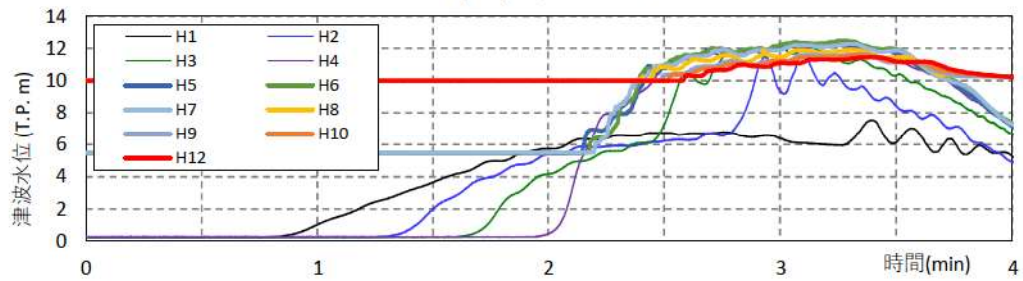
(b) ケース 2



(c) ケース 3

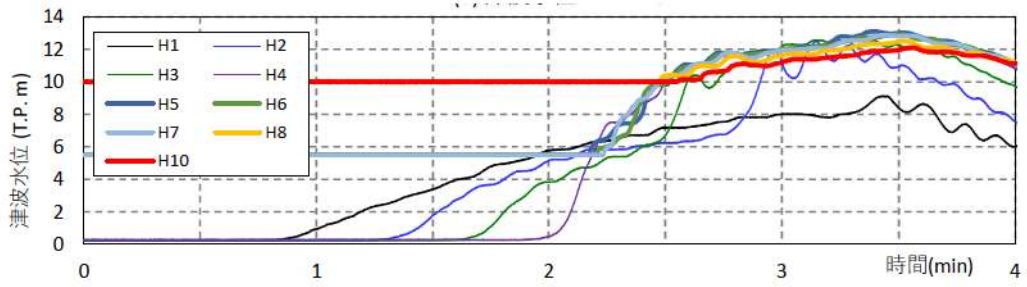


(d) ケース 4

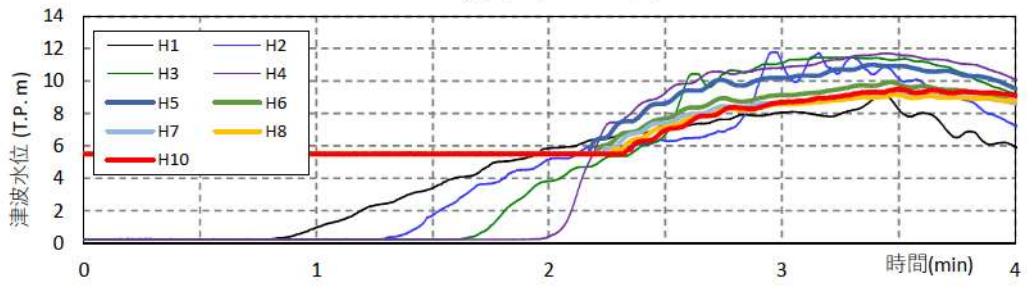


(e) ケース 5

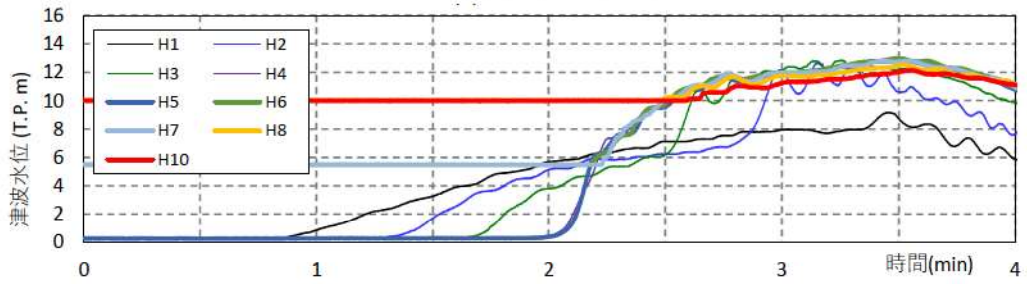
第 29 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_35\_065, 防潮堤：無)



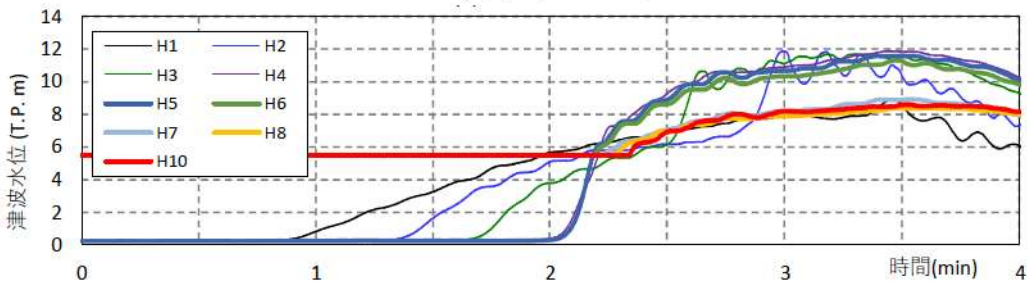
(a) ケース 1



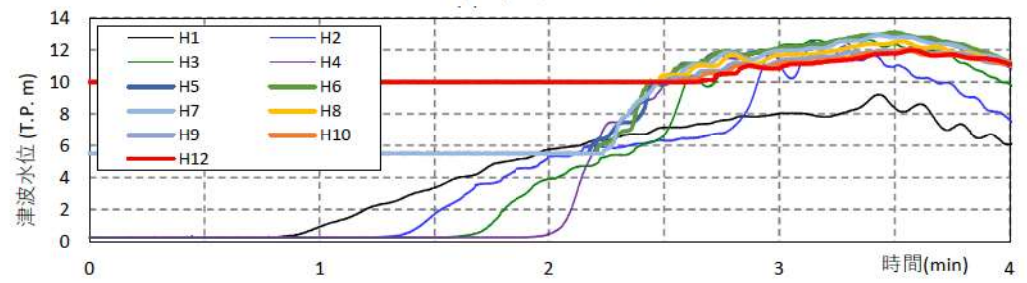
(b) ケース 2



(c) ケース 3



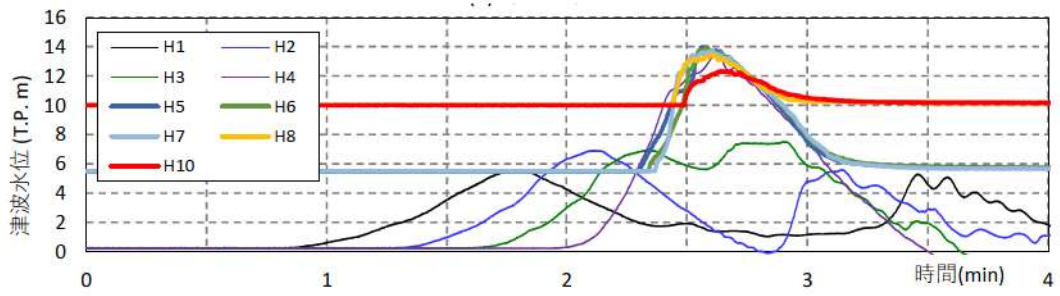
(d) ケース 4



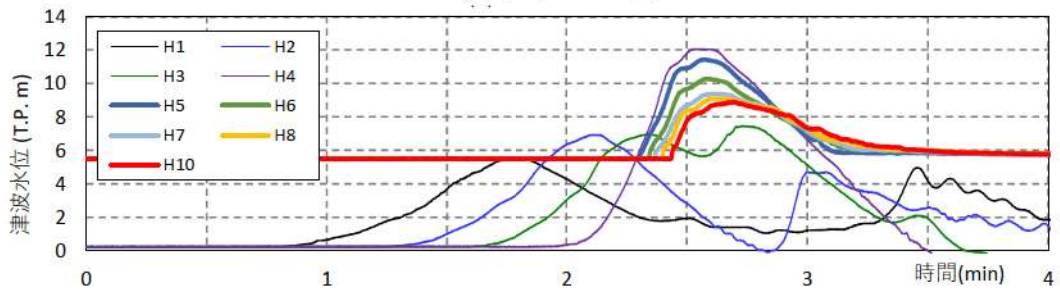
(e) ケース 5

第 30 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_45\_075, 防潮堤：無)

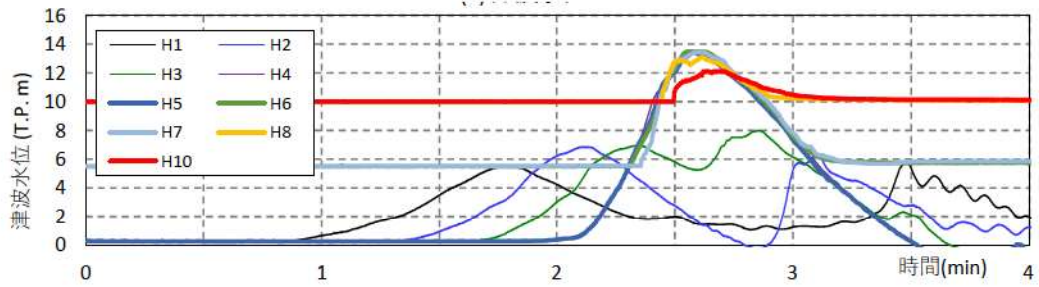




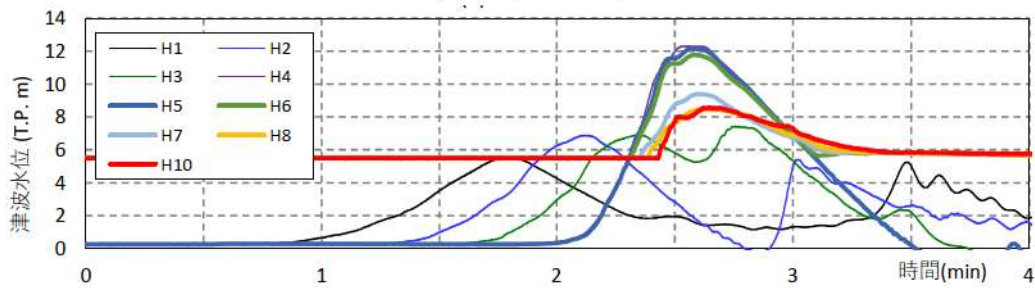
(a) ケース 1



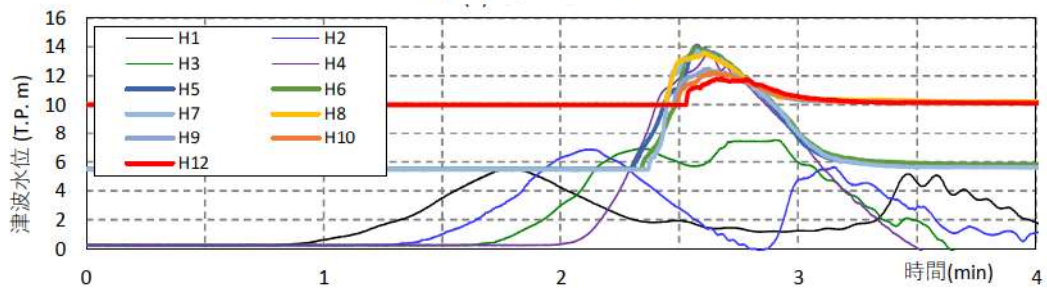
(b) ケース 2



(c) ケース 3

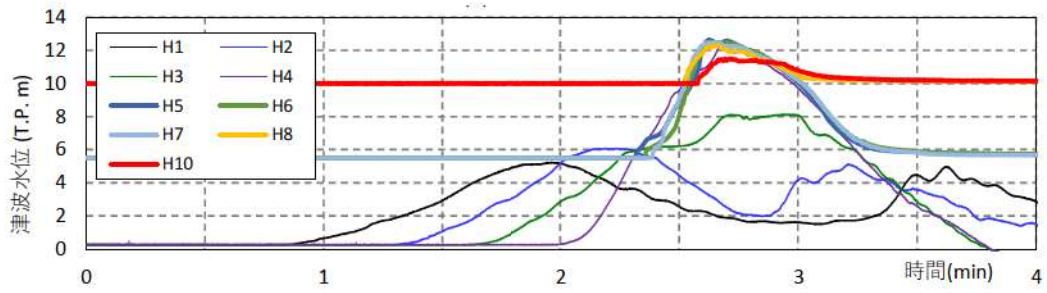


(d) ケース 4

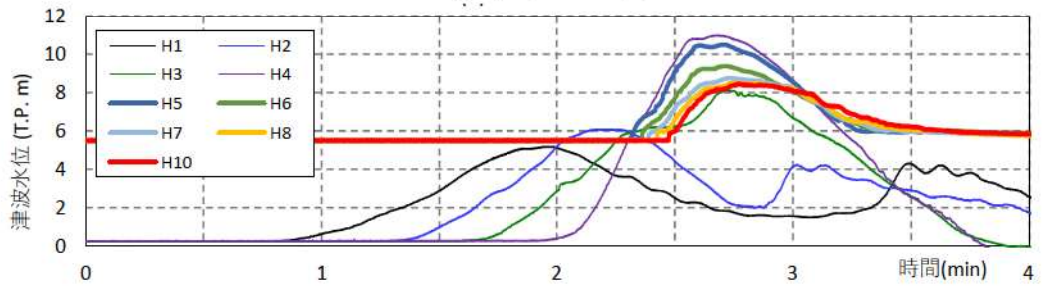


(e) ケース 5

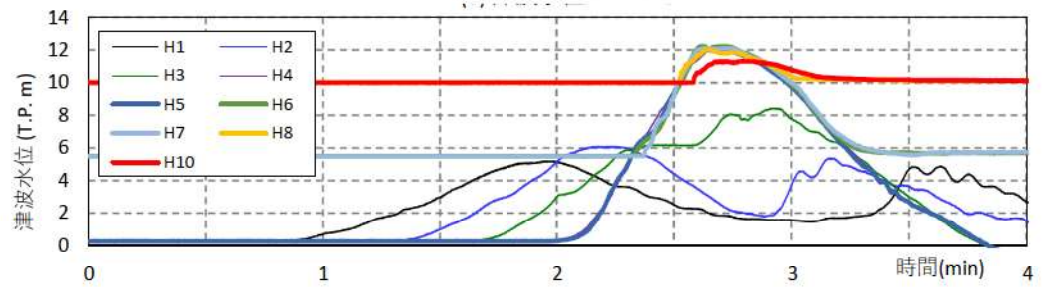
第 31 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WK\_20\_050, 防潮堤 : 無)



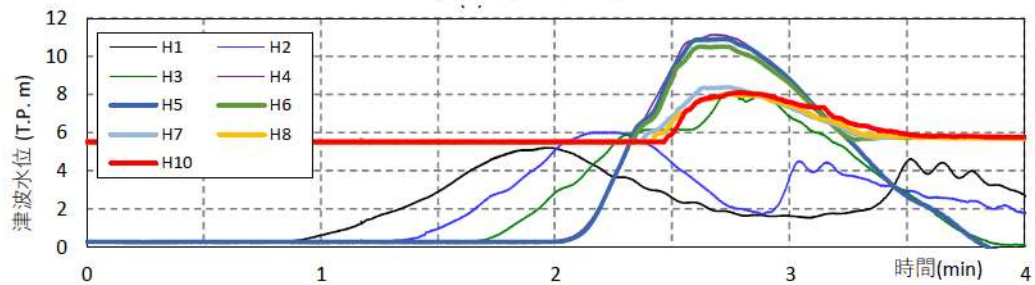
(a) ケース 1



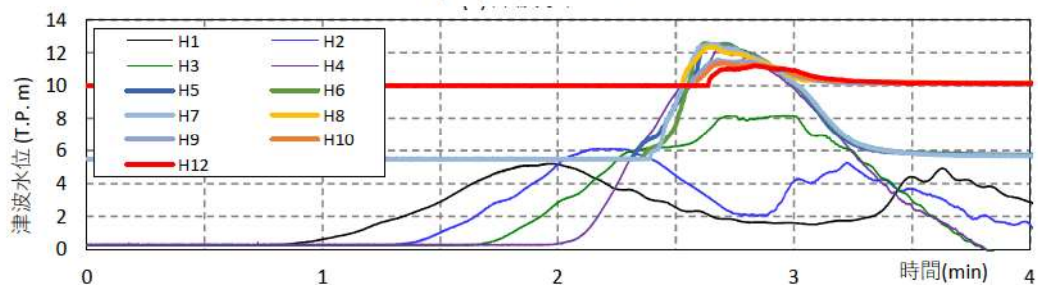
(b) ケース 2



(c) ケース 3

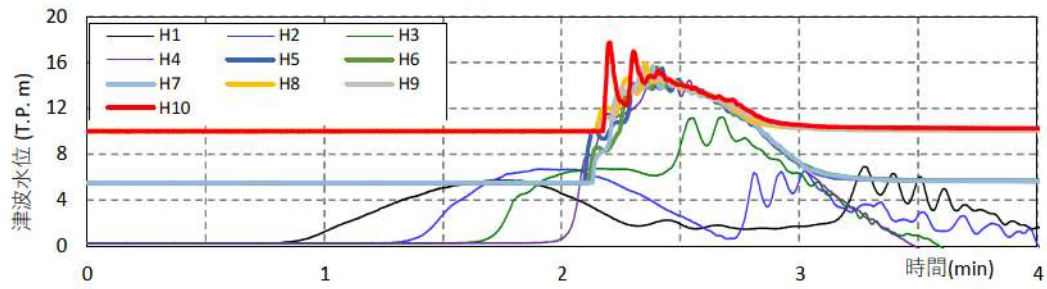


(d) ケース 4

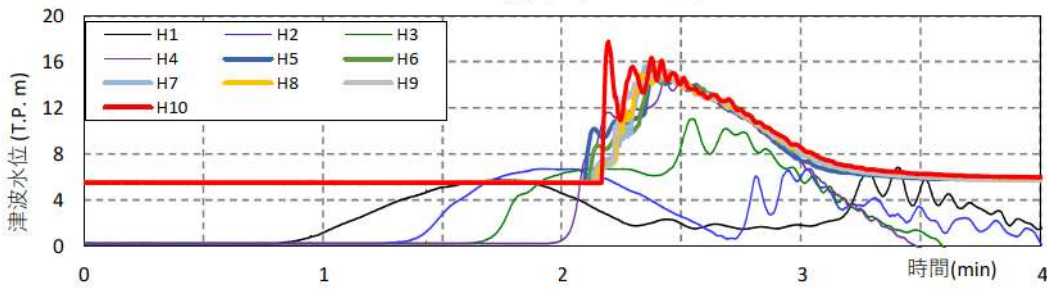


(e) ケース 5

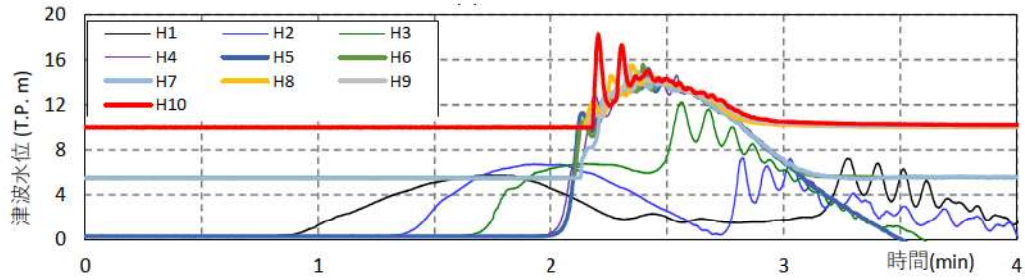
第 32 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WK\_25\_050, 防潮堤：無)



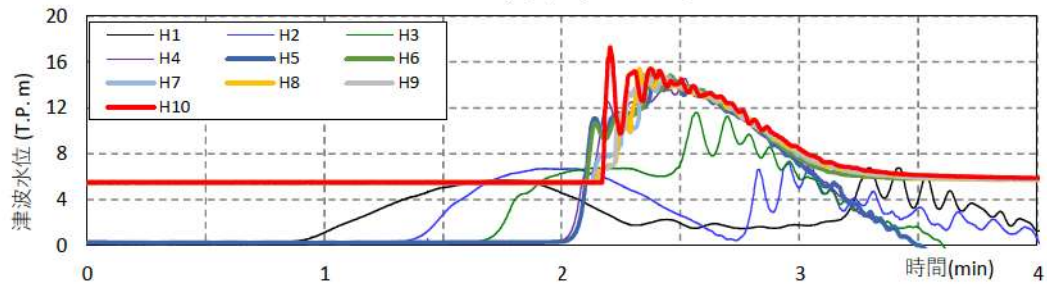
(a) ケース 1



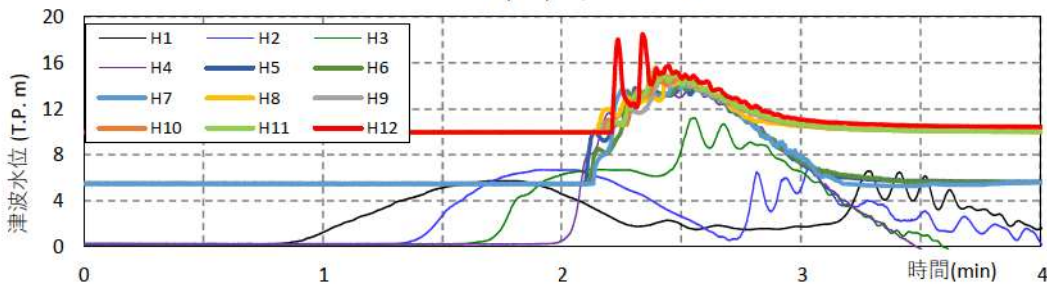
(b) ケース 2



(c) ケース 3

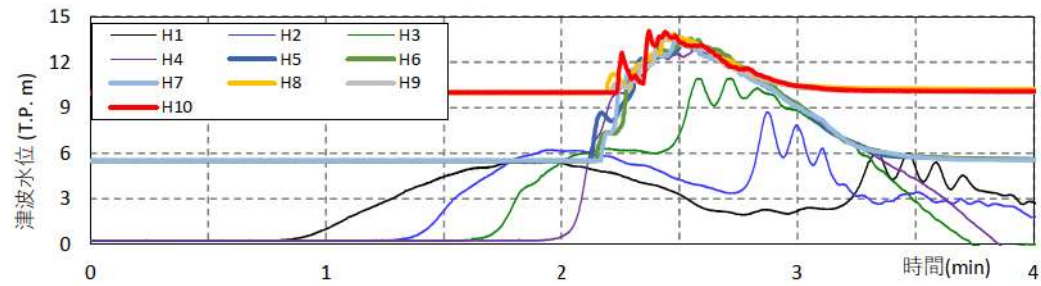


(d) ケース 4

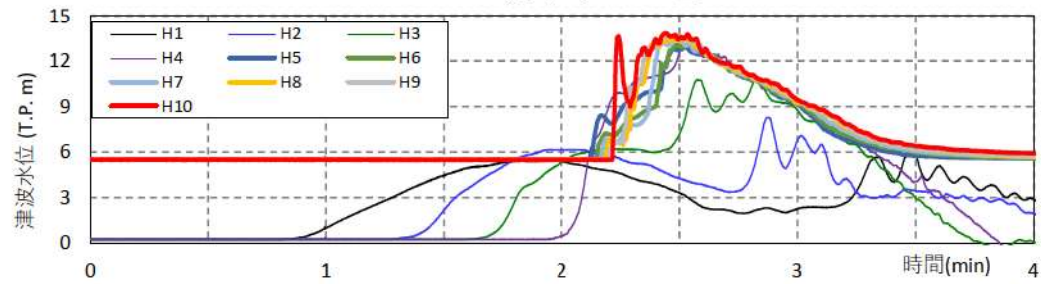


(e) ケース 5

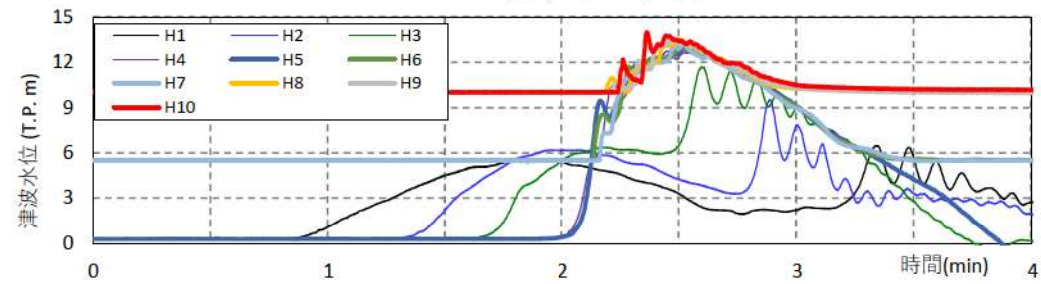
第 33 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_15\_055, 防潮堤 : 有)



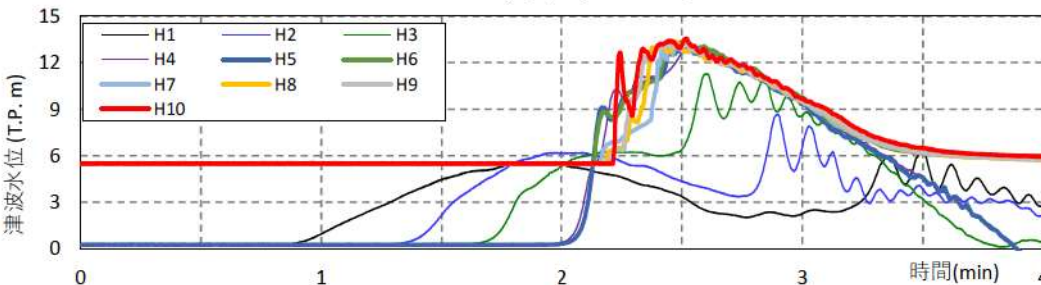
(a) ケース 1



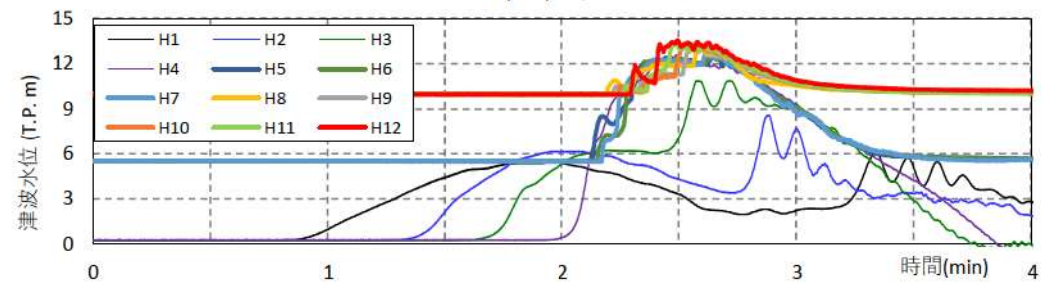
(b) ケース 2



(c) ケース 3

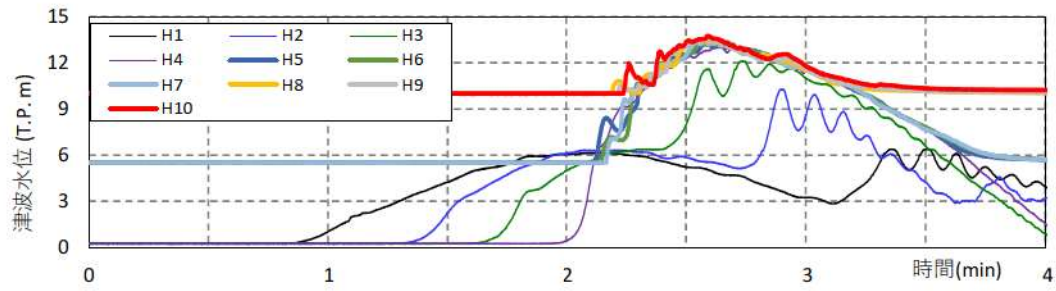


(d) ケース 4

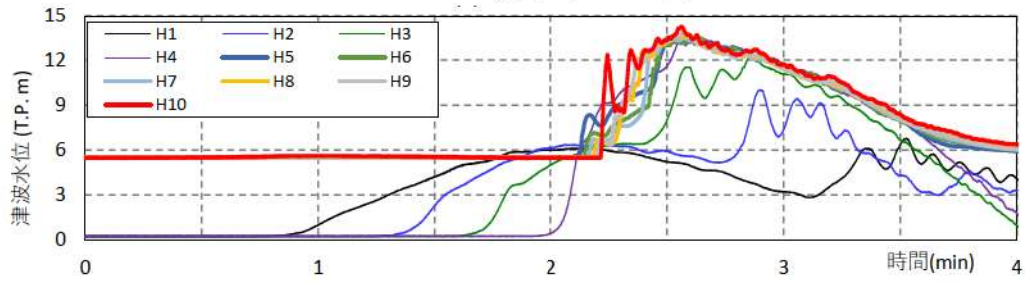


(e) ケース 5

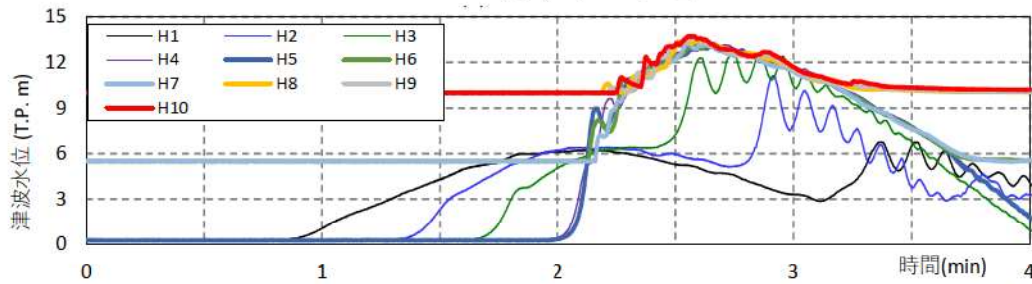
第 34 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_20\_050, 防潮堤 : 有)



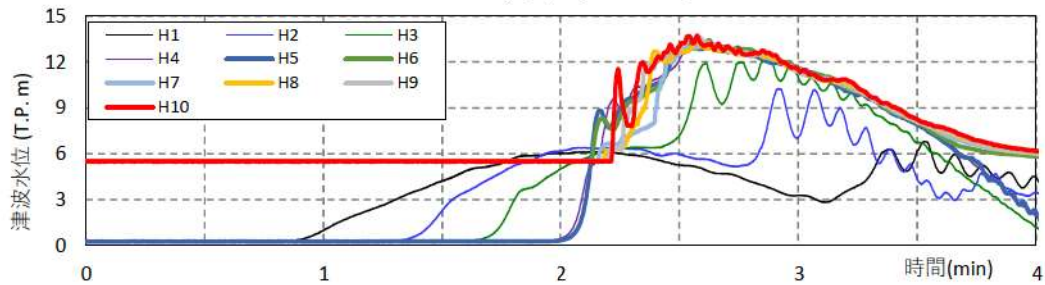
(a) ケース 1



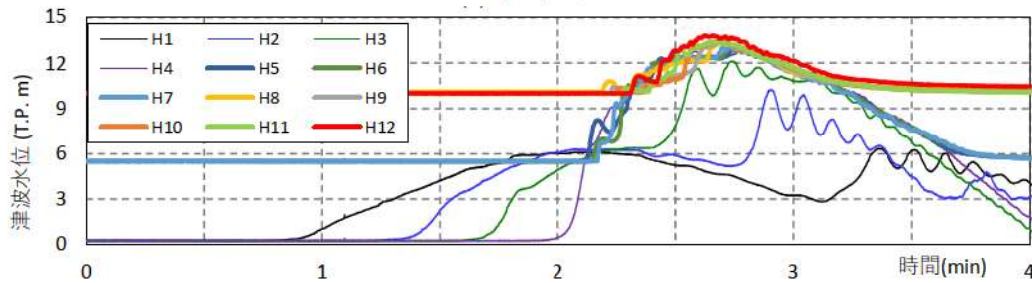
(b) ケース 2



(c) ケース 3

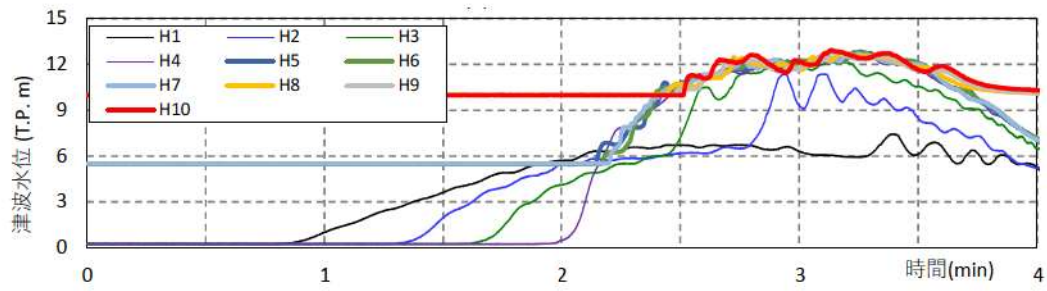


(d) ケース 4

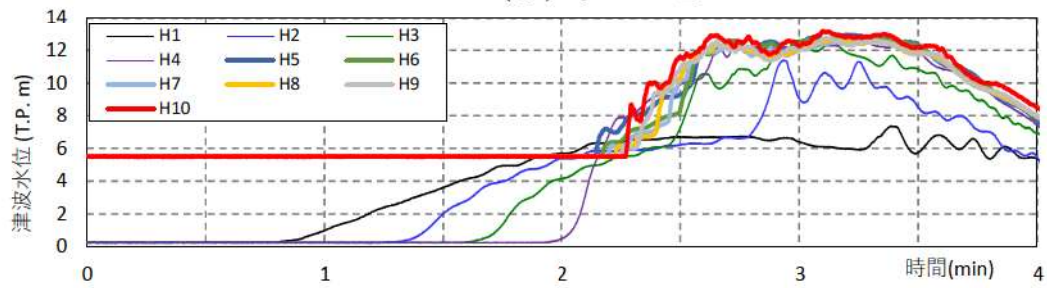


(e) ケース 5

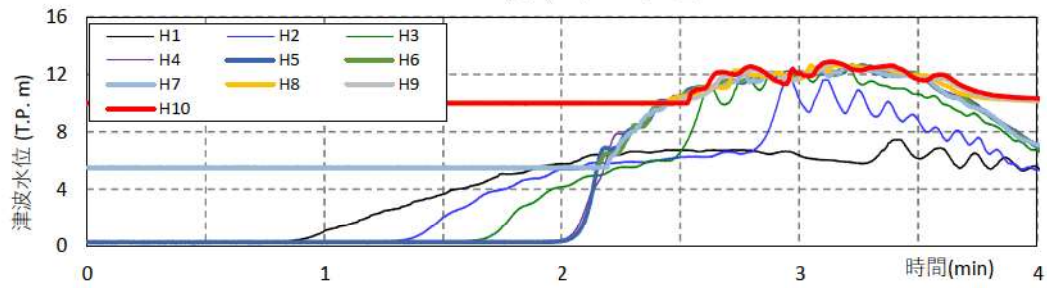
第 35 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_25\_060, 防潮堤 : 有)



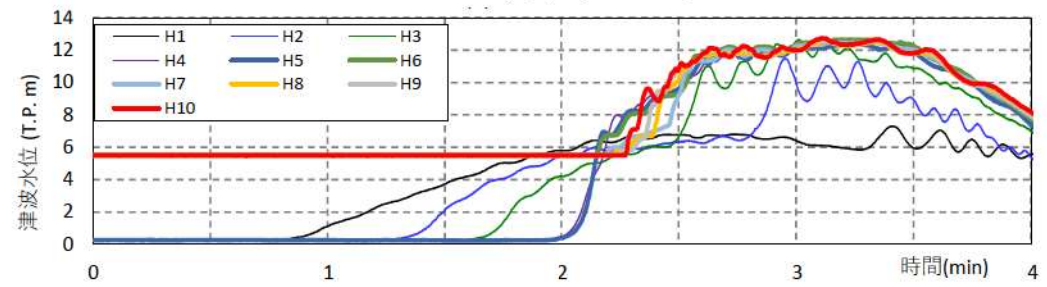
(a) ケース 1



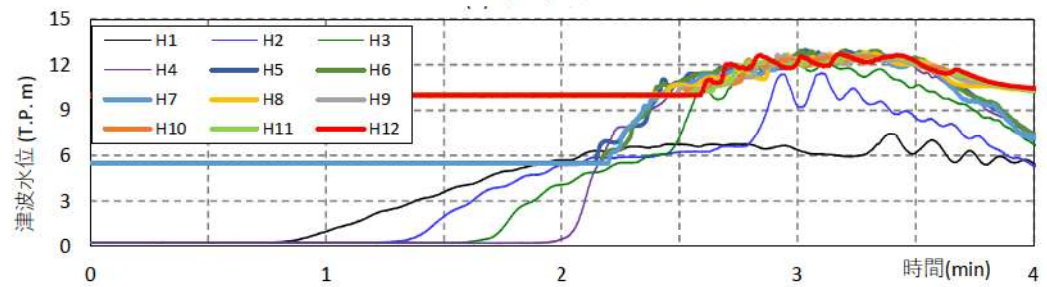
(b) ケース 2



(c) ケース 3

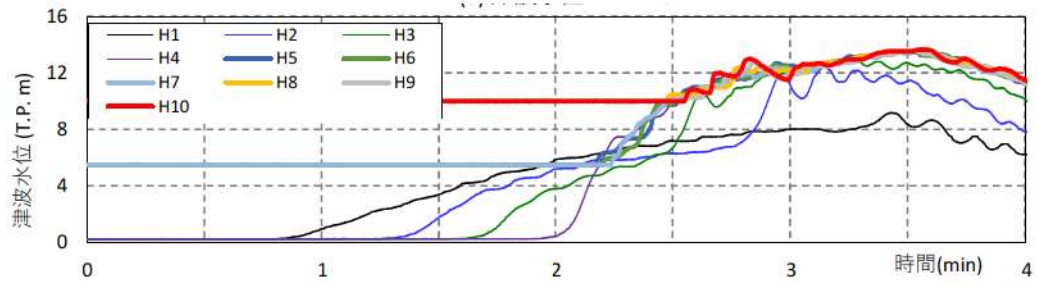


(d) ケース 4

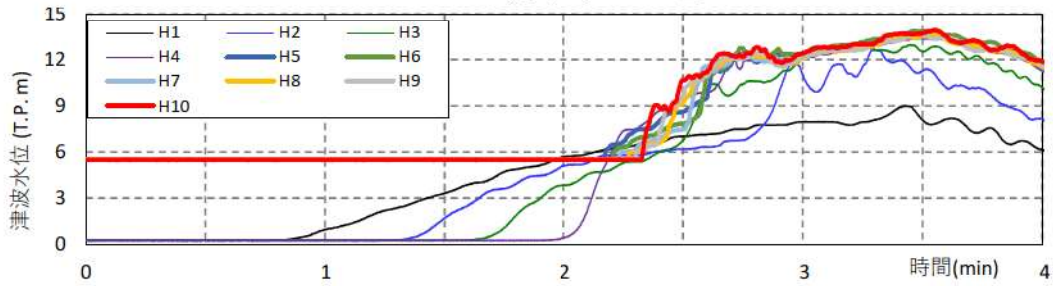


(e) ケース 5

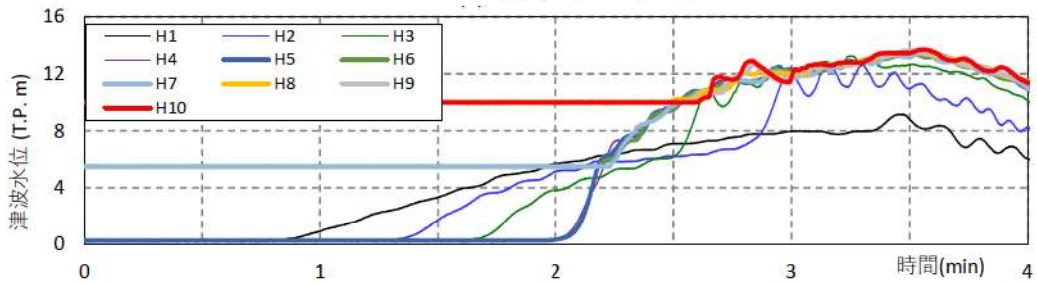
第 36 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_35\_065, 防潮堤 : 有)



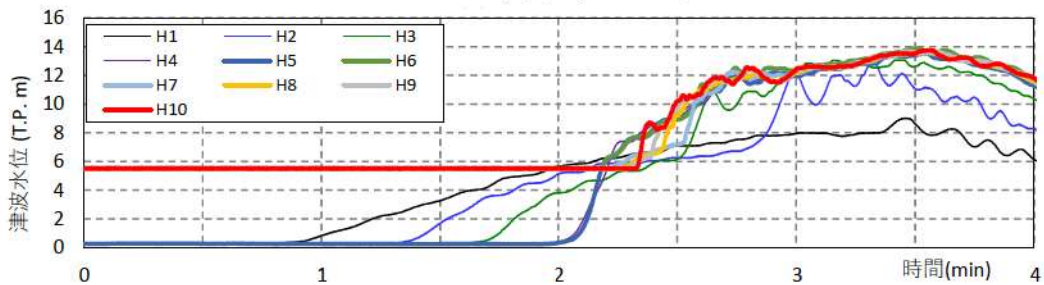
(a) ケース 1



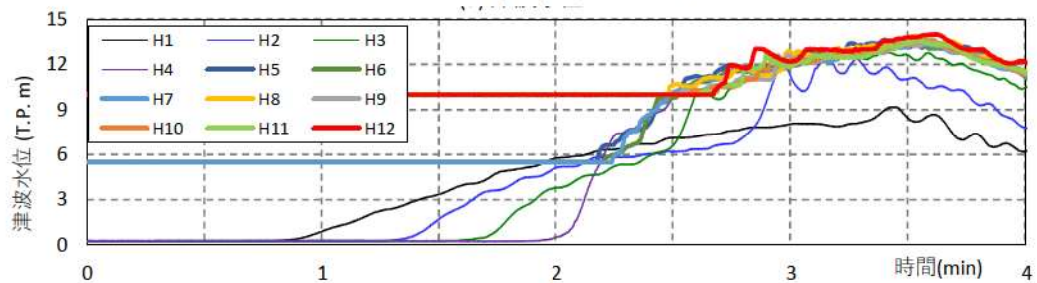
(b) ケース 2



(c) ケース 3

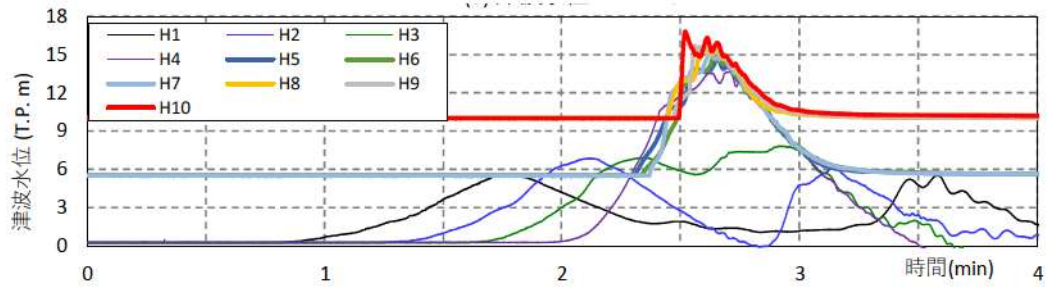


(d) ケース 4

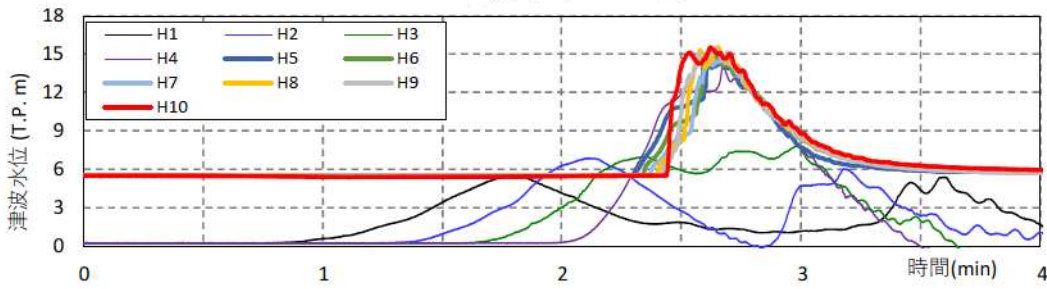


(e) ケース 5

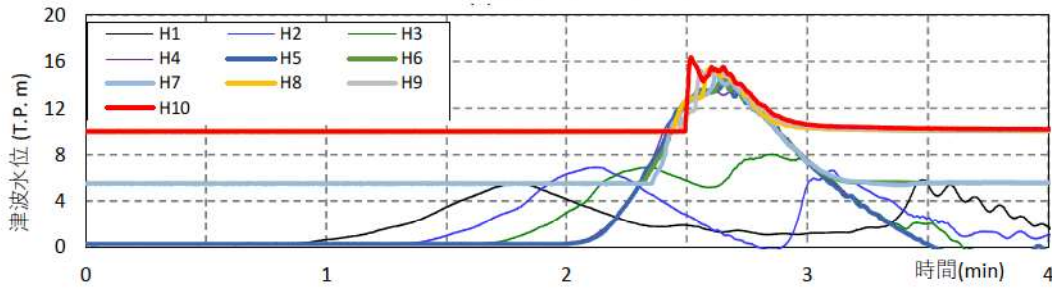
第 37 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WS\_45\_075, 防潮堤 : 有)



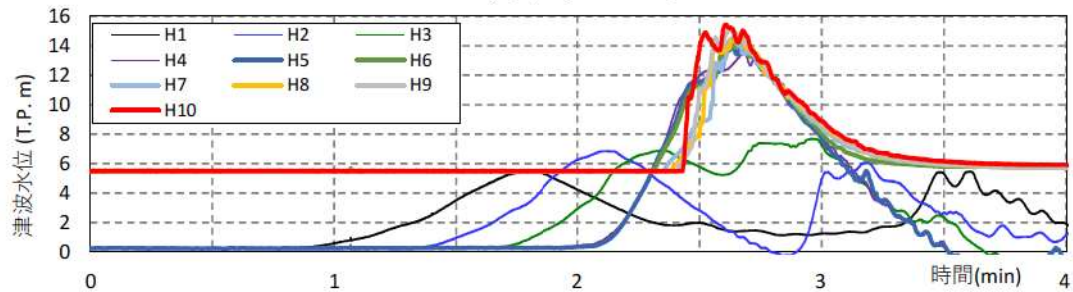
(a) ケース 1



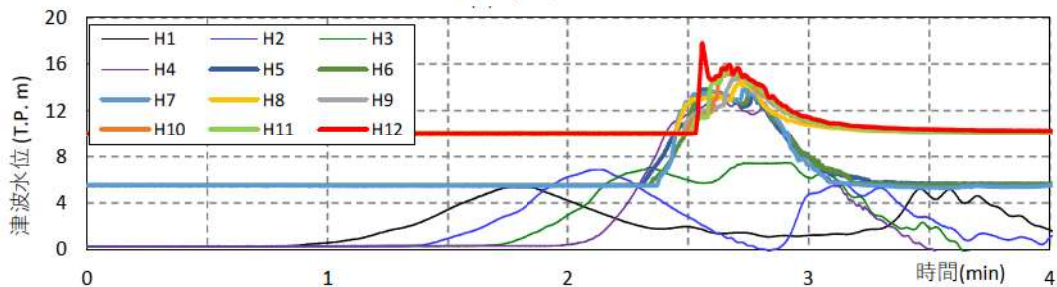
(b) ケース 2



(c) ケース 3



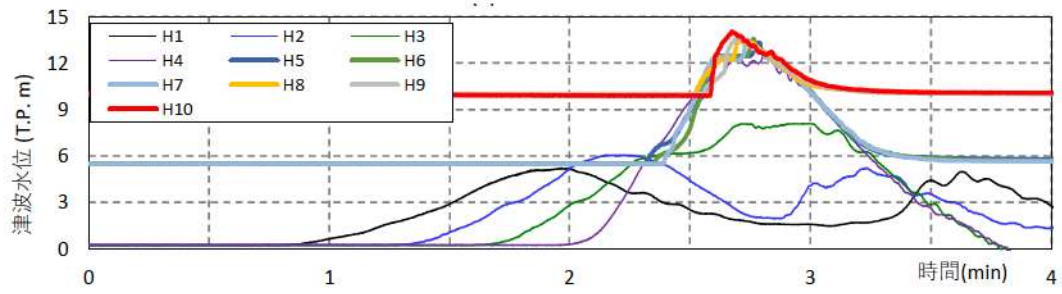
(d) ケース 4



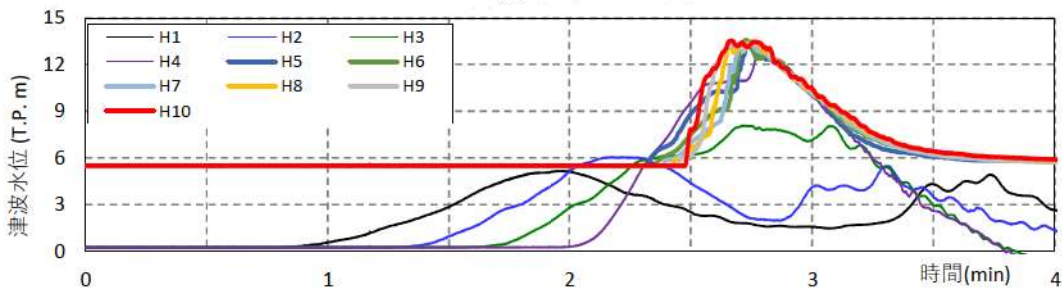
(e) ケース 5

第 38 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WK\_20\_050, 防潮堤: 有)

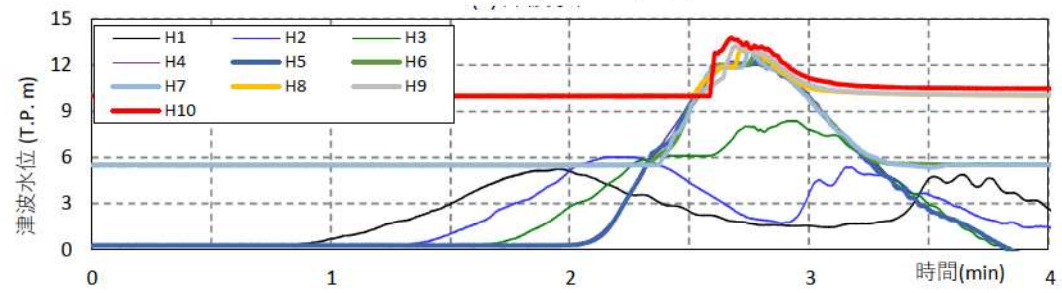




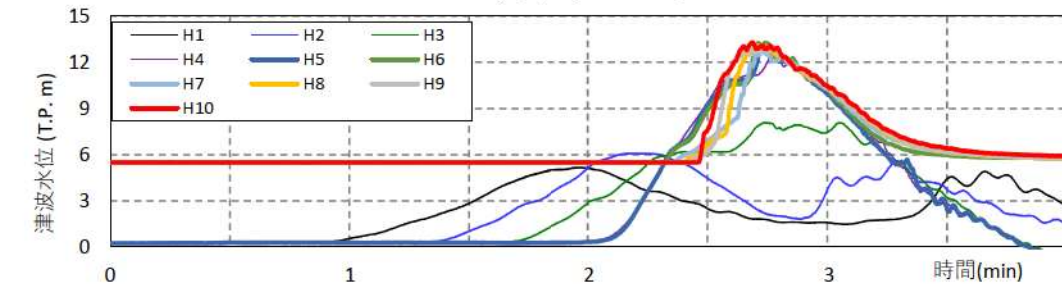
(a) ケース 1



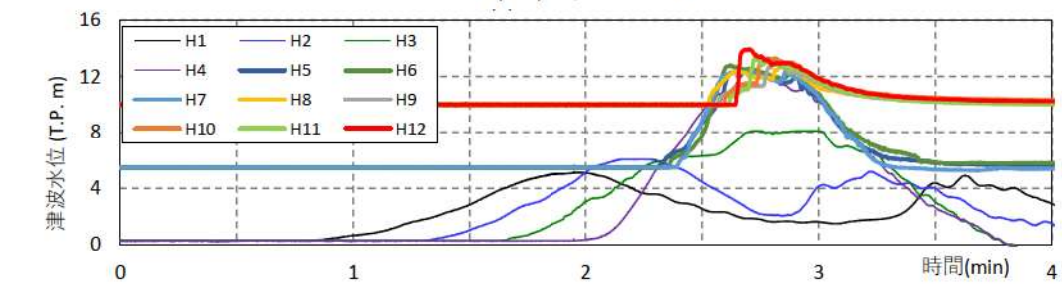
(b) ケース 2



(c) ケース 3



(d) ケース 4

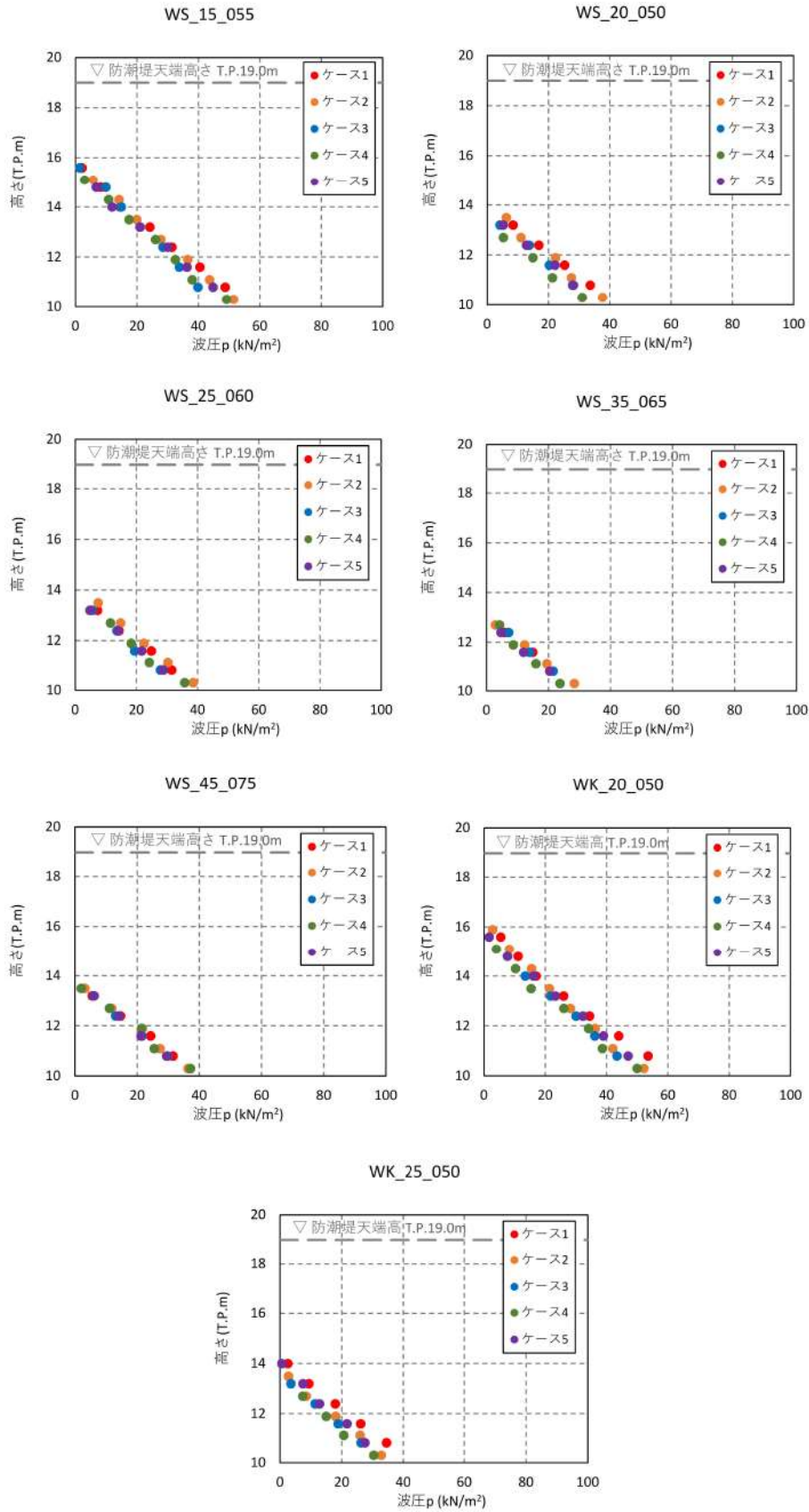


(e) ケース 5

第 39 図 水理模型実験における水位の時刻歴波形 (WK\_25\_050, 防潮堤 : 有)

c. 波圧の結果

水理模型実験において計測した防潮堤に作用する波圧分布を第40図に示す。水理模型実験にて計測した防潮堤における波圧分布は直線型となり、ソリトン分裂波や砕波発生時にみられる波圧の増加がみられないため、ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。



第 40 図 水理模型実験にて計測した波圧分布

#### d. まとめ

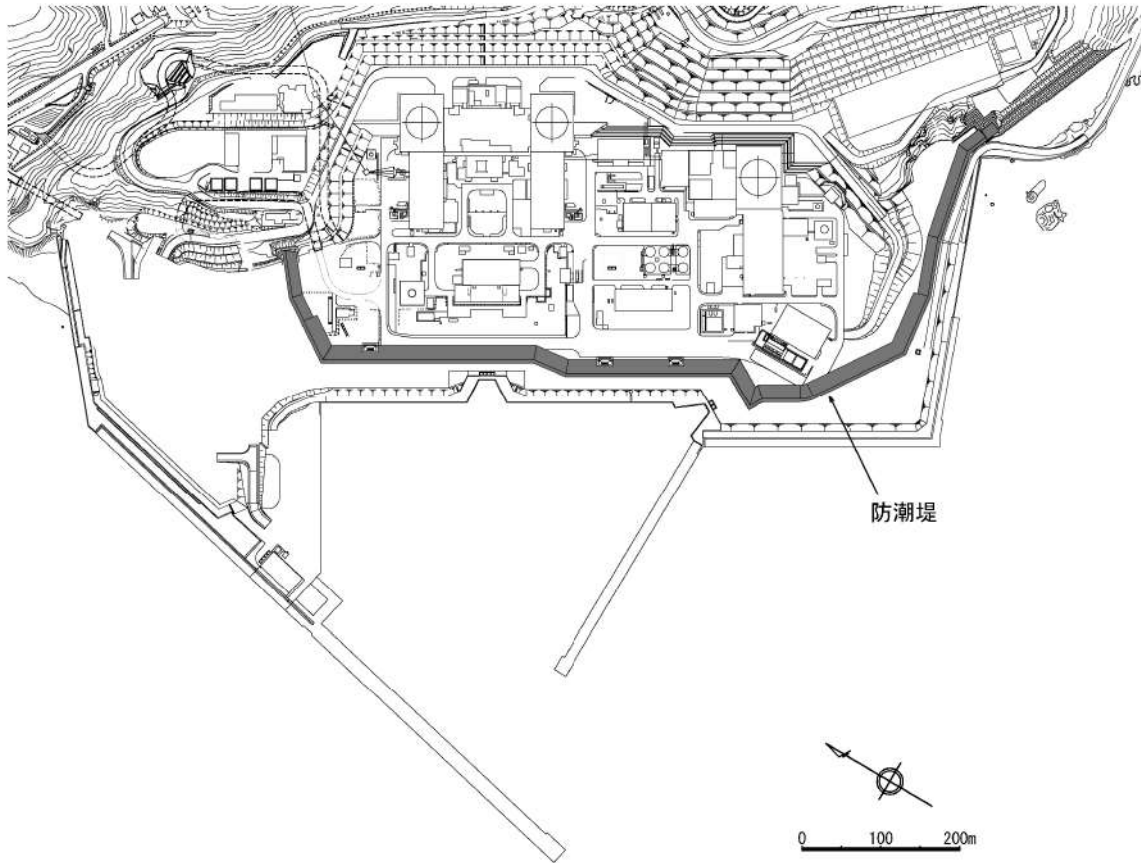
泊発電所のサイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧について、防潮堤を模擬した水理模型実験により、不確かさとして地形特性（敷地形状）、構造物（防潮堤位置の違い）特性及び津波の波形特性（周期、波高）の違いが津波波圧等に与える影響を確認した。

検討の結果、地形特性（敷地形状）、構造物（防潮堤位置の違い）特性及び津波の波形特性（周期、波高）の違いに関わらず、津波のソリトン分裂波及び碎波は確認されず、また津波の衝撃圧は発生せず、持続圧が作用した（防潮堤に作用する波圧分布はいずれも直線型となった）。

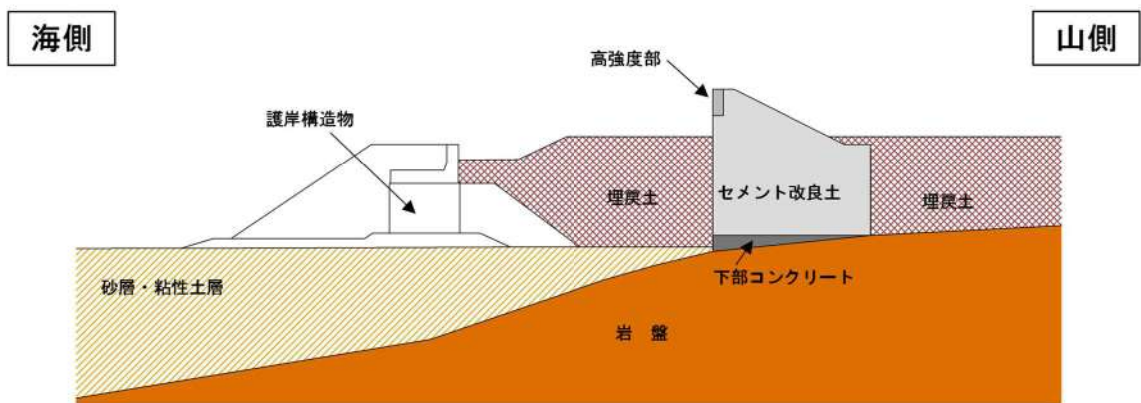
(4) 設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式との比較

a. 検討概要

設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式の適用性を確認するため、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験による波圧と比較検討する。泊発電所の防潮堤の位置図を第41図に、断面図を第42図に示す。



第41図 防潮堤位置図

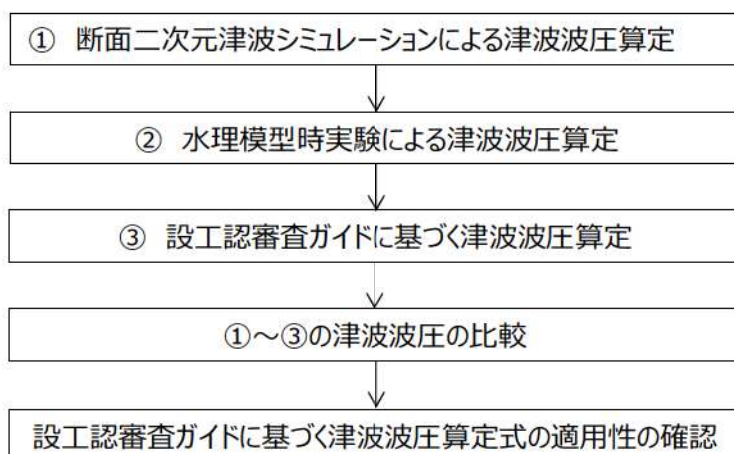


第42図 防潮堤断面図

## b. 津波波圧検討フロー

設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式の適用性は、第 43 図に示すフローにて確認する。

断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験により防潮堤に作用する波圧を直接算定し、設工認審査ガイドに基づき算定した津波波圧と比較し、断面二次元津波シミュレーションと水理模型実験により直接算定した津波波圧が設工認審査ガイドに基づく津波波圧に包絡されることを確認することで、設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式の適用性を確認する。

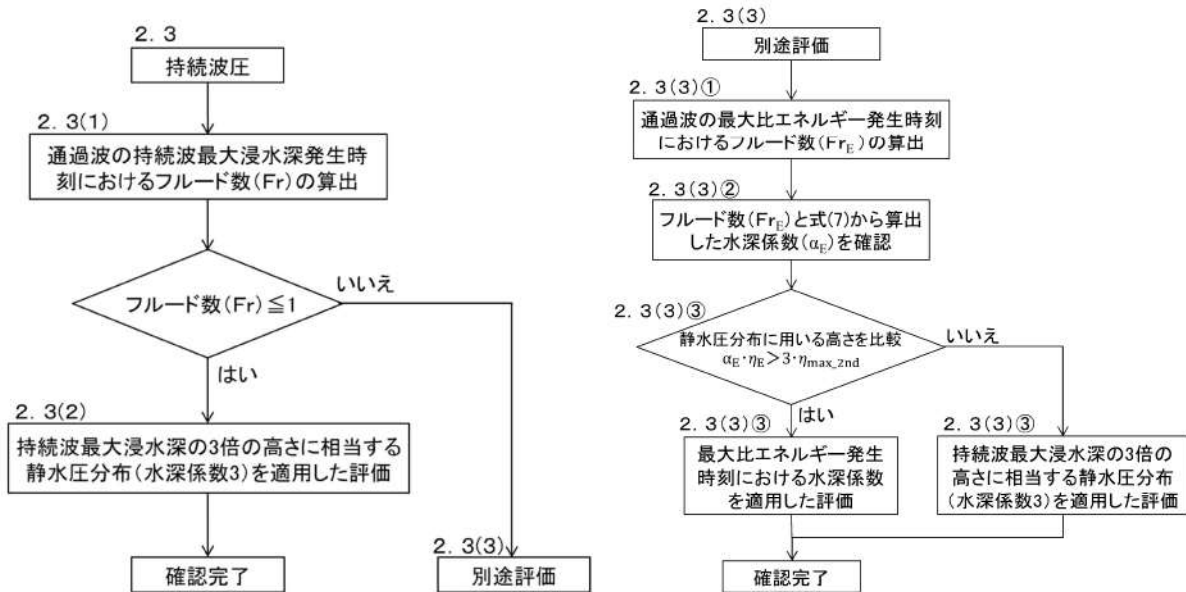


第 43 図 検討フロー

c. 設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式

「3. ソリトン分裂波及び碎波の発生確認」に示す通り、泊発電所における基準津波については、ソリトン分裂波及び碎波は発生しない。そのため、基準津波による津波波圧は、設工認審査ガイドに示される持続波圧に分類されると考えられる。

設工認審査ガイドにおける防潮堤等に作用する持続波圧評価に係る確認手順を第44図に示す。



第44図 防潮堤等に作用する持続波圧評価に係る確認手順

設工認審査ガイドにおいて、設計の妥当性評価等へ活用可能な防潮堤に作用する最大持続波圧の評価式として、以下に示す式が提案されている。

通過波の最大浸水深発生時のフルード数  $Fr$  が1以下の場合、水深係数を3として、持続波圧は次式で算出する。

$$P_{2nd} = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{\max\_2nd}$$

$P_{2nd}$  : 防潮堤等の最下部に作用する圧力

$\eta_{\max\_2nd}$  : 持続波最大浸水深

$\rho$  : 海水(流体)密度

$g$  : 重力加速度

通過波の最大浸水深発生時のフルード数  $Fr$  が1を超える場合、通過波の最大比エネルギー発生時刻における浸水深  $\eta_{E,\max}$ 、フルード数  $Fr_E$ 、水深係数  $\alpha_E$  を用いて、持続波圧は次式で算出する。

$$P_E = \alpha_E \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{E,\max}$$

ここで,

$$\alpha_E = 3.0 \quad (\text{Fr}_E \leq 1.24)$$

$$\alpha_E = (0.7 \times \text{Fr}_E^2 + 1) + 0.93 \quad (\text{Fr}_E > 1.24)$$

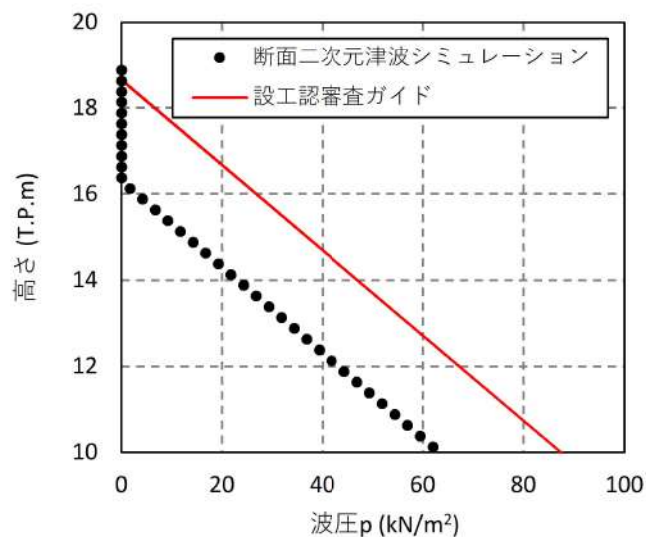
津波波圧の比較においては、上式で求めた  $P_E$  とフルード数  $\text{Fr}$  が 1 以下の場合の持続波圧  $P_{2nd}$  を比較し、大きい方を持続波圧として採用する。



#### d. 津波波圧の比較

基準津波を対象とした断面二次元津波シミュレーションにより算定した波圧分布と設工認審査ガイドに基づく波圧分布の比較結果を第 45 図に示す。

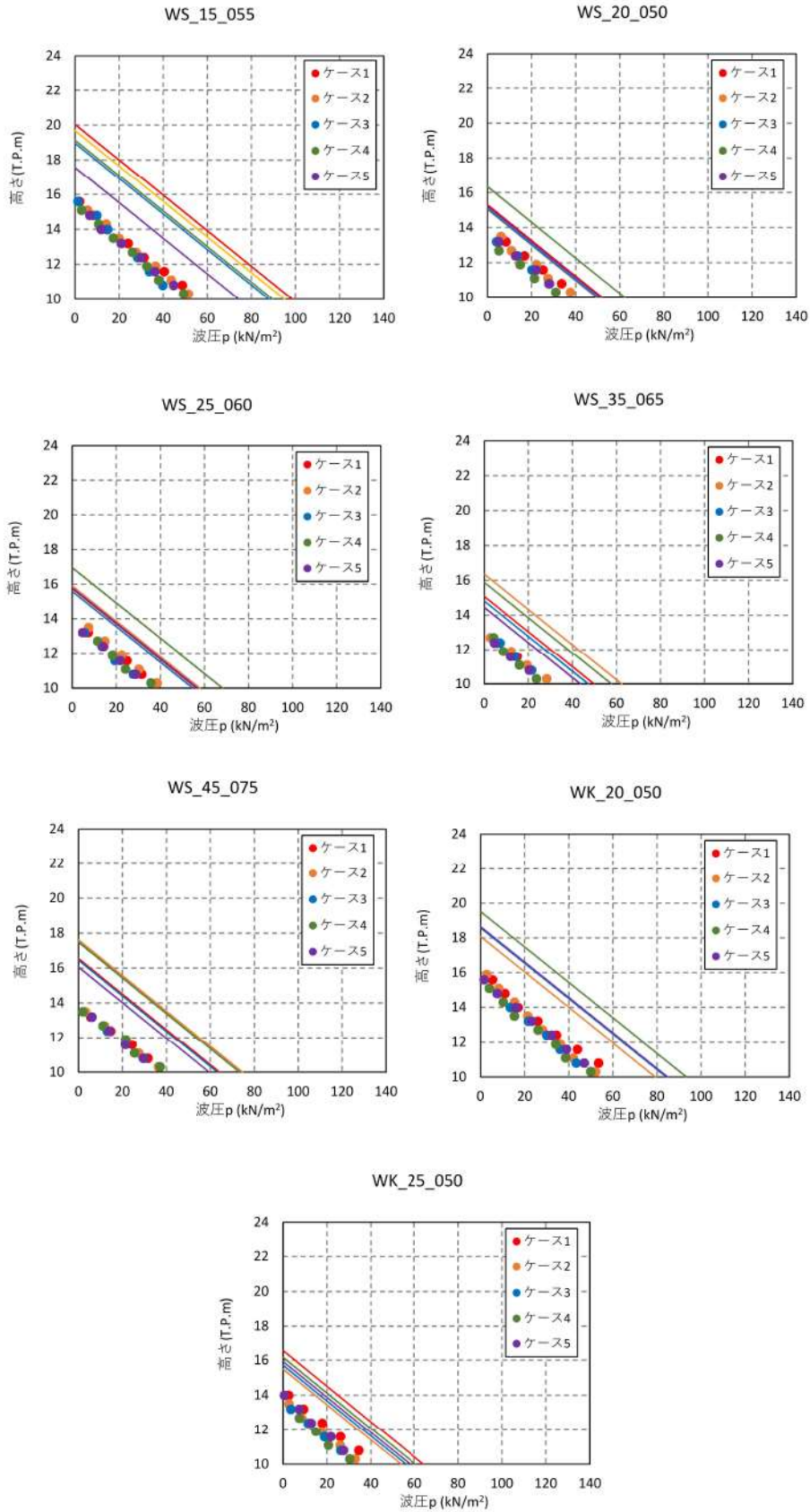
断面二次元津波シミュレーションによる基準津波の波圧分布は設工認審査ガイドに基づく波圧分布に包絡されることを確認した。



第 45 図 波圧分布の比較結果（断面二次元津波シミュレーション）

津波特性や地形特性の不確かさを考慮した水理模型実験により算定した波圧分布と、設工認審査ガイドに基づく波圧分布の比較結果を第 46 図に示す。

水理模型実験による不確かさを考慮した津波の波圧分布は、設工認審査ガイドに基づく波圧分布に包絡されることを確認した。



※点：実験結果，実線：設工認審査ガイドに基づく波圧  
 第 46 図 波圧分布の比較結果（水理模型実験）

e. まとめ

津波は波浪に比べて周期が長いことから、その波力は水位の上昇による静水圧として評価される場合が多い。しかし、実際には流れに伴う動的な影響や作用の継続時間による影響が考えられ、精度よく波力を評価するためには、数値シミュレーションや水理模型実験等を行うことが望ましいため、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験を実施した。

防潮堤においては、敷地標高や遡上水深等により津波波圧への影響が大きいことから、設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式を用いることで、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験により算定される波圧に対して保守性を確保している。

## 5. 貯留堰に対する津波波圧の評価

### (1) 貯留堰に適用する津波波圧算定式

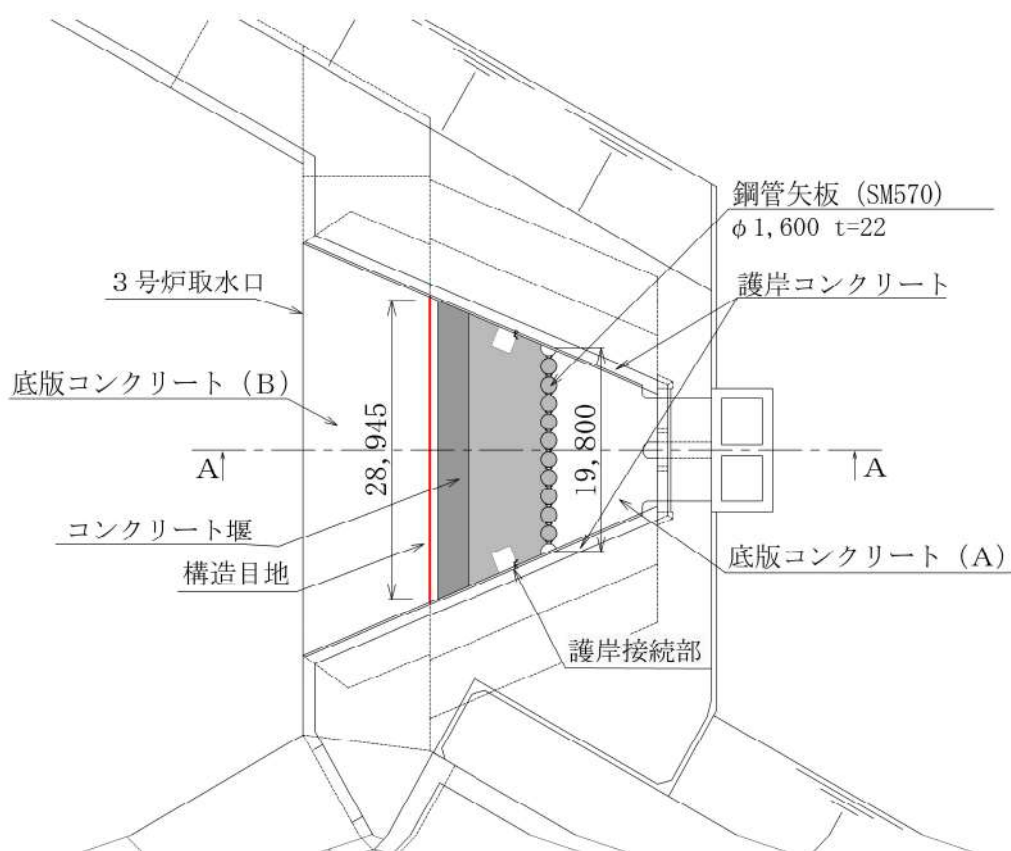
貯留堰の平面図を第 47 図に、断面図を第 48 図に示す。

貯留堰は、コンクリート堰を底版コンクリート (A) に定着した構造であり、引き波時に海底面から突出したコンクリート堰 (貯留堰天端高さ : T.P. -4.0m) において海水を貯留する。

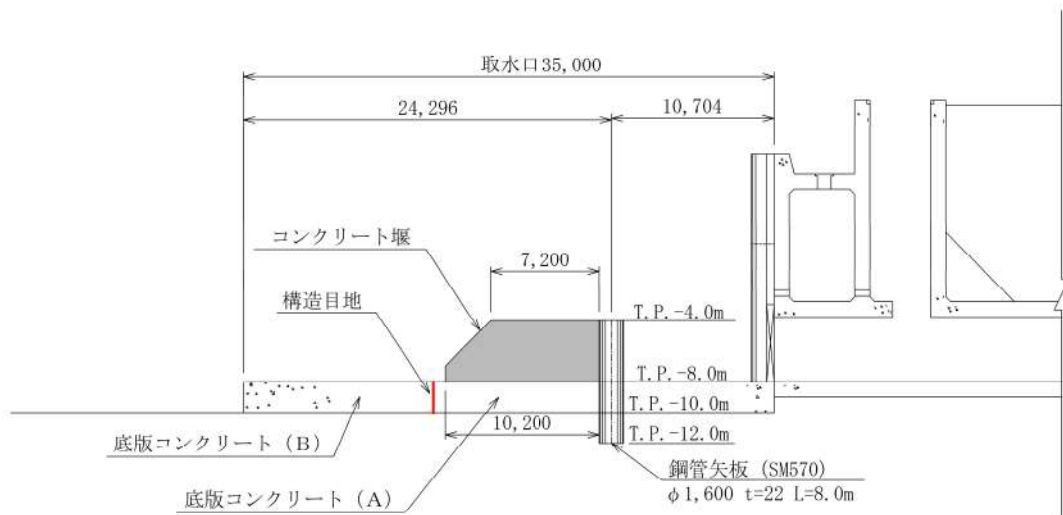
このため、貯留堰に有意な津波波圧が作用するのは、引き波により貯留堰が海面から露出し、その後、押し波が貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定される。

引き波時における越流直前の津波波圧は、貯留堰を保守的に設置面が露出する構築物として考え、設工認審査ガイドに基づく津波波圧を適用する。越流時の静水圧差は、貯留堰が越流状態にある条件下では設工認審査ガイドの適用対象外となることから、既往の津波波圧算定式のうち、越流状態の構築物に適用可能な「防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局)」(平成 27 年 12 月一部改訂) に基づき算定する。

以上を踏まえ、貯留堰における津波波圧としては、越流直前の波圧及び越流時の静水圧差のうち保守的なものを適用することとする。



第 47 図 貯留堰平面図



第 48 図 貯留堰断面図 (A-A断面)

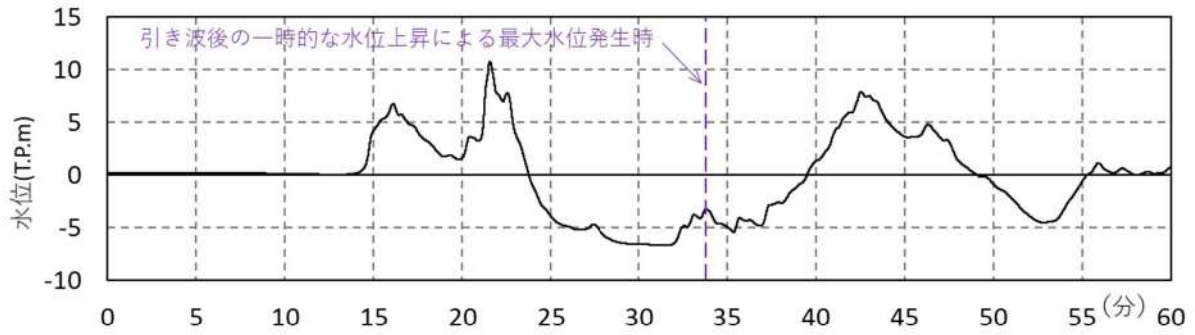
## (2) 越流直前の津波波圧の設定方針

基準津波のうち、引き波後の水位上昇量が最大となる基準津波（波源D，南防波堤損傷）の貯留堰前面における水位・流速時刻歴を第 49 図に示す。

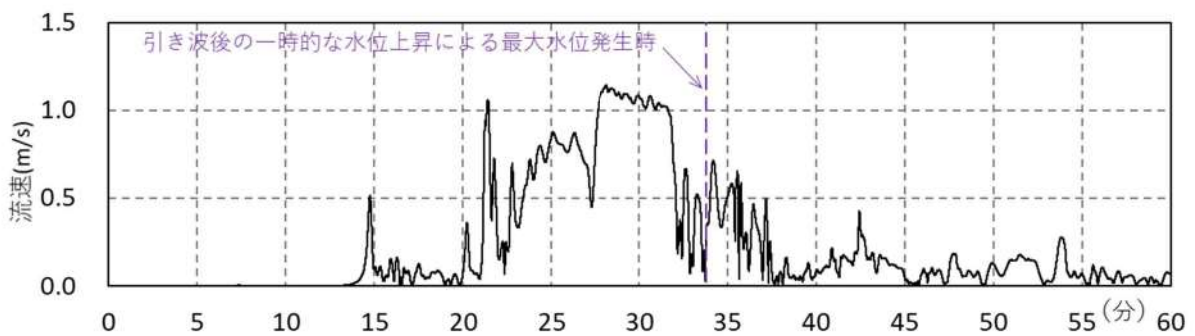
貯留堰前面の水位は若干残るものの保守的に海底面が露出したと仮定し、その後の押し波を遡上波と考え津波波圧を設定する。

具体的には、津波高さは貯留堰に作用する津波波圧が保守的になるように貯留堰前面の海底面（設計用海底面標高 T.P. -8.0m）まで水位が低下した後に到達する津波を考慮することとし、貯留堰に津波が越流する直前の状態として貯留堰天端高さ（T.P. -4.0m）までを想定する。

津波波圧は、設工認審査ガイドの考え方に従って考慮する。第 49 図に示すように、貯留堰前面位置における引き波後の一時的な水位上昇による最大水位発生時の流速は 0.30m/s であり、フルード数は 0.04 となり、1 以下である。したがって、越流直前の津波波圧においては津波高さの 3 倍の高さまで静水压荷重を考慮する。津波波圧の作用イメージを第 50 図に示す。越流直前の津波波圧は、設工認審査ガイドに基づき算出すると 80.8kN/m<sup>2</sup> となる。

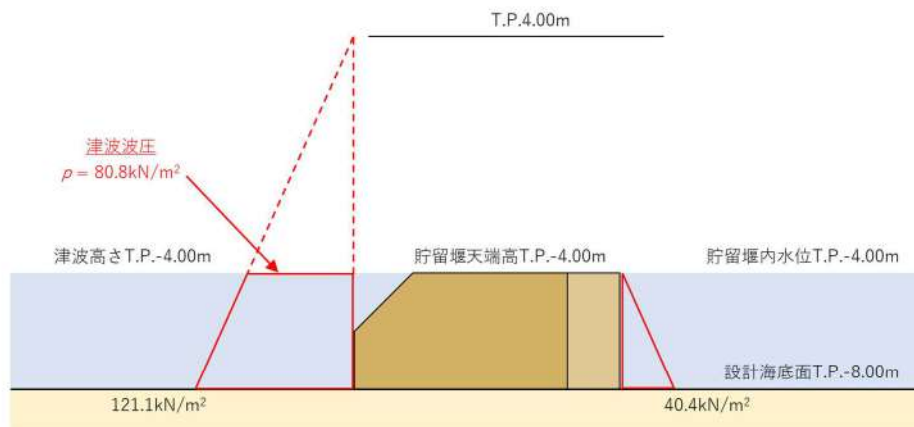


(a) 水位



(b) 流速

第 49 図 引き波後の水位上昇量が最大となる基準津波（波源D，南防波堤損傷）の貯留堰前面における水位・流速時刻歴波形図



第 50 図 津波波圧の作用イメージ図（越流直前）

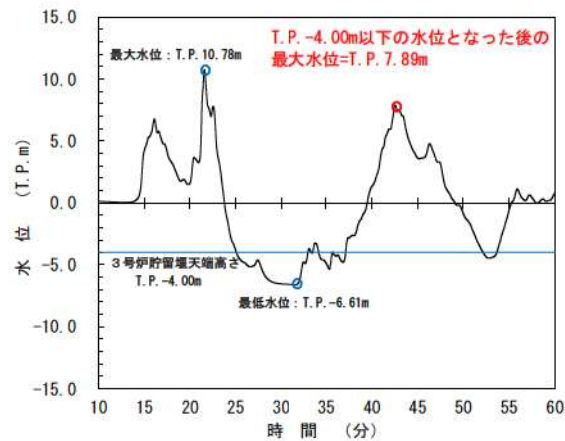
### (3) 越流時の津波波圧の設定方針

引き波後に到達する津波が貯留堰を越流する際、貯留堰の内外での水位差はつきにくいですが、保守的に引き波水位とその後の押し波水位の差が最も大きくなるものを選定し、津波波圧を算定した。

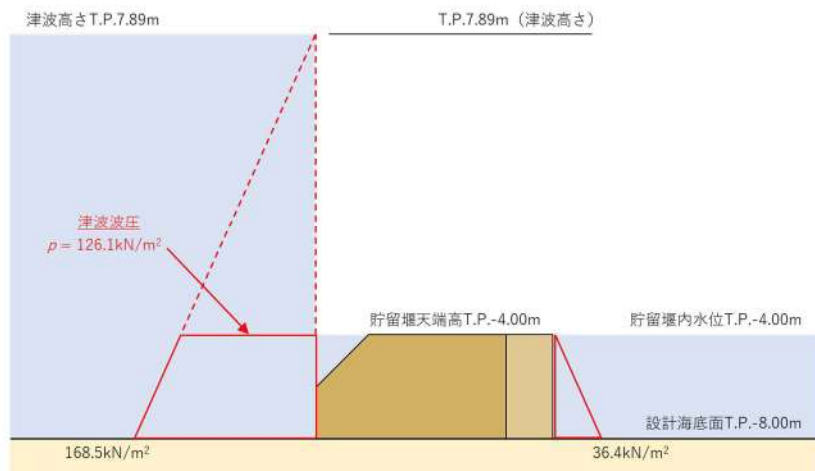
津波高さとしては貯留堰天端からの越流を考慮して、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局）」（平成 27 年 12 月一部改訂）による静水圧差による算定式を参考に設定する。

基準津波 18 波のうち、引き波後の水位上昇量が最大となる基準津波（波源 D，南防波堤損傷）の貯留堰前面における時刻歴波形を第 51 図に、津波波圧の作用イメージを第 52 図に示す。

引き波により、水位が貯留堰天端高さ（T.P. -4.0m）以下となった後の最大水位（T.P. 7.89m）を津波高さとし、静水圧差による算定式に基づき算出すると  $126.1\text{kN/m}^2$  となる。



第 51 図 引き波後の貯留堰前面における水位上昇量が最大となる基準津波（波源 D，南防波堤損傷）の時刻歴波形



第 52 図 津波波圧の作用イメージ図（越流時）

#### (4) まとめ

貯留堰における津波波圧について、越流直前の波圧及び越流時の静水圧差について検討した。この結果、越流時の静水圧差の方が越流直前の波圧を上回る結果となった。このため、貯留堰における津波波圧として、保守的に越流時の静水圧差を考慮することとする。



## 6. 設計で考慮する津波波圧の設定方針

断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験の結果、科学的根拠に基づきソリトン分裂波や砕波が発生しないことを確認した。

また、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験による津波波圧は、設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式による津波波圧に包絡されることを確認した。

上記検討結果を踏まえ、防潮堤及び貯留堰の詳細設計段階で考慮する津波波圧を以下の通り設定する。

### (1) 防潮堤

防潮堤の詳細設計段階で考慮する津波波圧は、朝倉式に基づき設定し、朝倉式に用いる通過波の浸水深は、保守的に最大浸水深（入力津波高さ－防潮堤前面の敷地標高）の1/2と仮定して津波波圧を算出する。

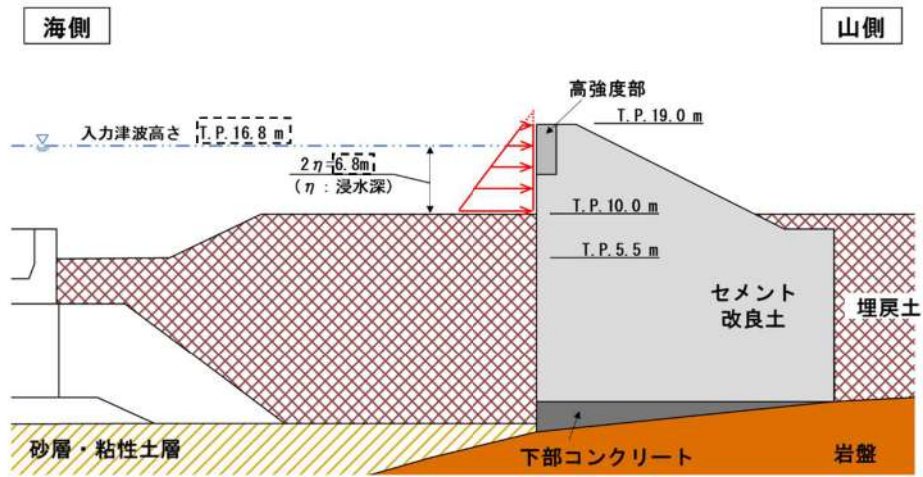
（設計で考慮する津波波圧）

- ・ 津波高さ： $H = T.P. \overline{16.8m}$ （入力津波高さに基づき設定）
- ・ 防潮堤前面の敷地標高： $T.P. 10.0m$ （敷地基準高さに設定）
- ・ 設計用浸水深  
（通過波の浸水深）： $\eta = \overline{3.4m} \left( \overline{16.8} + \overline{10.0} \right) \div 2$
- ・ 防潮堤の最下部に作用する津波波圧： $P = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$

追而【防潮堤前面の入力津波高さ】  
破線囲部分については、入力津波の審査結果を踏まえ記載を適正化する。

波圧算定イメージ（防潮堤）を第53図に示す。

追而  
（入力津波の審査結果を踏まえ記載する）



第 53 図 波圧算定イメージ (防潮堤)

追而【防潮堤前面の入力津波高さ】  
**破線囲部分**については，入力津波の審査結果を踏まえ記載を適正化する。

※通過波の最大浸水深発生時のフルード数  $Fr$  が 1 以下の場合に相当する朝倉式による津波波圧算定（参考）

朝倉式で用いる「通過波の浸水深」と、最大水位から敷地標高を引いた「最大浸水深の 1/2」について、水理模型実験から比較した結果を第 8 表に示す。

・水理模型実験

No. 57：防潮堤がある場合の最大浸水深  $h$  の 1/2

No. 22：防潮堤位置の通過波の浸水深

第 8 表 保守的な浸水深  $\eta$  の水理模型実験による確認結果

実験 ケース	津波波形	護岸 形状	防潮堤	最大 浸水深 $h$	$h/2$	浸水深 $\eta$
No. 57	WS_45_075	ケース 2	無	8.41	4.21	4.21m (最大浸水深の1/2)
No. 22	WS_45_075	ケース 2	有	—	—	4.04m (通過波の浸水深)

上記より、「最大浸水深の 1/2」が「通過波の浸水深」より保守的な値となることを確認した。

## (2) 貯留堰

貯留堰の詳細設計段階で考慮する津波波圧について、設工認審査ガイドに基づく越流直前の波圧及び「防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局)」(平成27年12月一部改訂)に基づく越流時の静水圧差について検討した結果、保守的な設計を行う観点から、越流時の静水圧差を考慮し、静水圧差による算定式を適用する。

## 【補 足】 断面二次元津波シミュレーションの検証

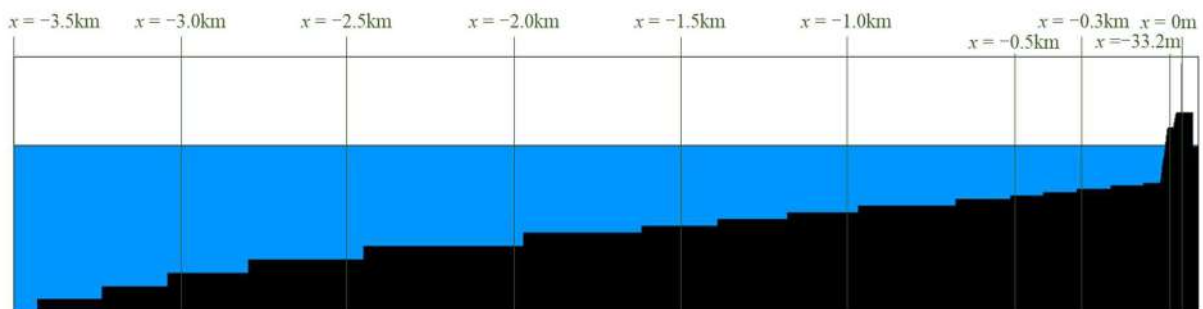
### (1) 検証概要

断面二次元津波シミュレーションについて、解析妥当性の検証を行った。平面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験に対する再現計算を実施し、津波水位及び防潮堤に作用する波圧分布を断面二次元津波シミュレーションにより良好に再現できることを示す。なお、平面二次元津波シミュレーションの再現計算に当たって、断面二次元津波シミュレーションでは第2波は再現できないため、第1波を対象とした。

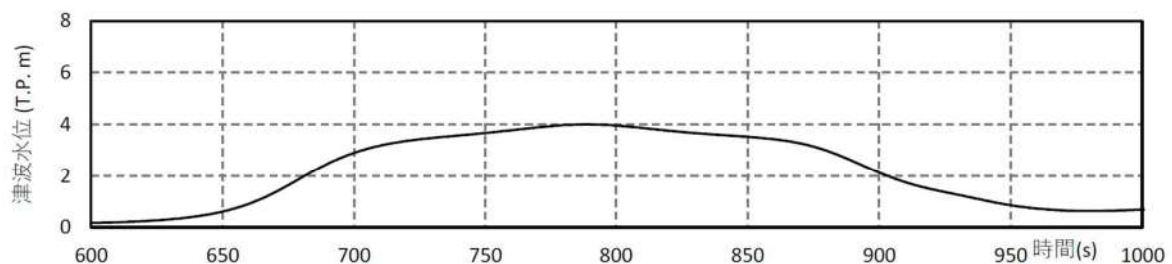
### (2) 平面二次元津波シミュレーションに対する再現計算

#### a. 解析条件

断面二次元津波シミュレーションにおける解析モデルを第54図に示す。解析領域は、平面二次元津波シミュレーションで水位時刻歴が得られる沖合3.5km地点から発電所敷地までの区間をモデル化した。第1波の時刻歴波形を第55図に示す。沖合3.5km地点において平面二次元津波シミュレーションで算出された水位時刻歴のうち、第1波目の波形を与えた。



第54図 断面二次元津波シミュレーションにおける解析モデル  
(沖合3.5km地点～敷地)

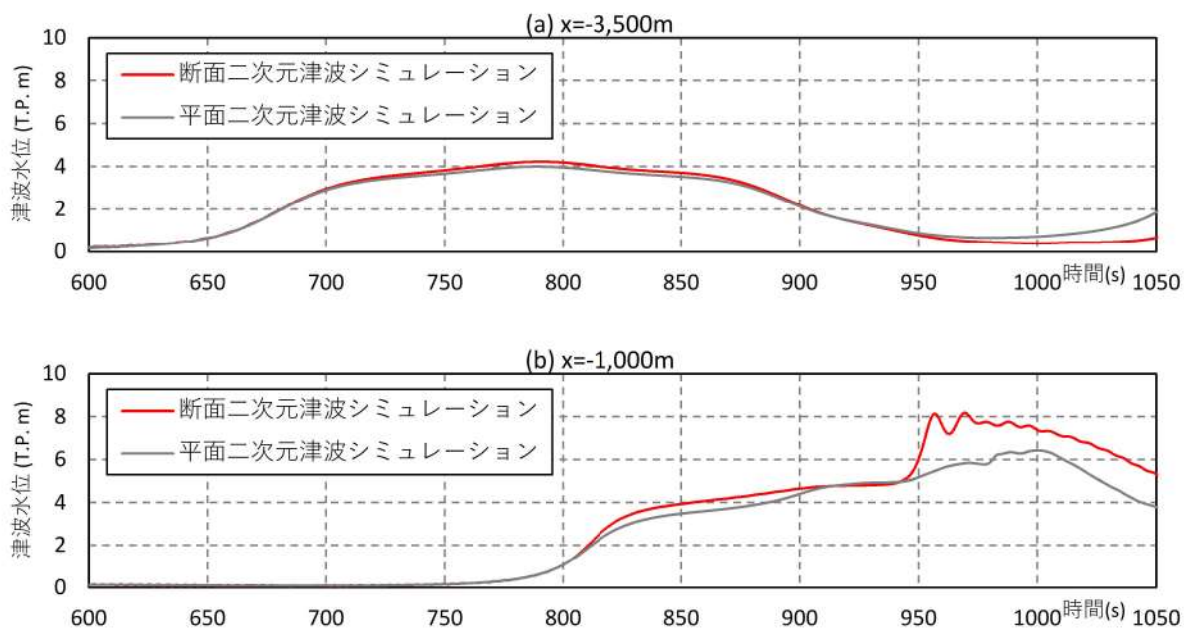


第55図 第1波の時刻歴波形 (基準津波 (波源F, 北防波堤損傷))

### b. 平面二次元津波シミュレーション結果の再現性

基準津波の第1波を対象に、沖合 3.5km 及び 1.0km 位置付近の津波水位時刻歴について平面二次元津波シミュレーションと断面二次元津波シミュレーションの比較を行った結果を第 56 図に示す。なお、平面二次元津波シミュレーションでは沿岸地形の平面的な伝播・反射挙動が含まれ断面二次元津波シミュレーションと条件が異なるため、平面二次元津波シミュレーションと断面二次元津波シミュレーションの比較対象は反射波の影響が現れるまでとなる。

沖合 3.5km 位置で 1 波目の波形は、平面二次元津波シミュレーションと断面二次元津波シミュレーションでほぼ一致している。同波形が陸方向に伝播し、沖合 1.0km 位置においても平面二次元津波シミュレーションと断面二次元津波シミュレーションで同等の水位時刻歴が得られており、断面二次元津波シミュレーションにより平面二次元津波シミュレーションの津波伝播過程を良好に再現できることが確認された。

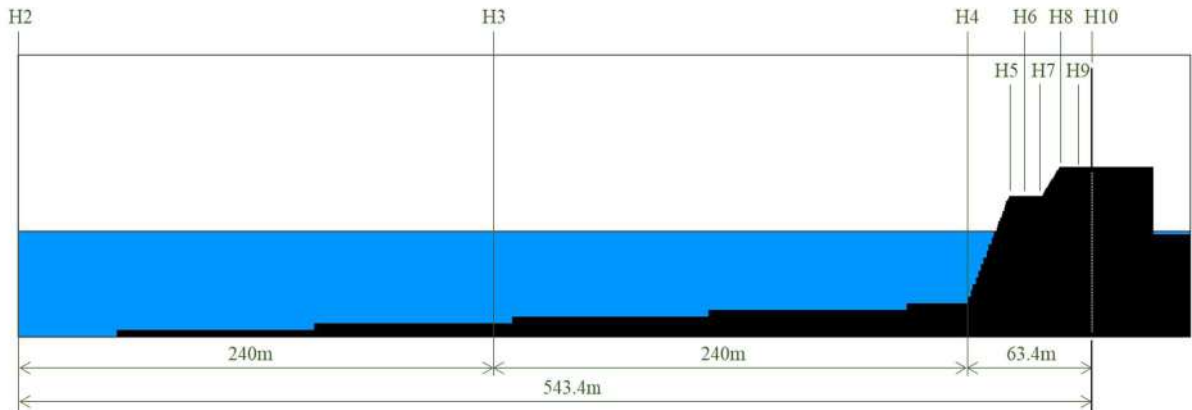


第 56 図 平面二次元津波シミュレーションと断面二次元津波シミュレーションの比較 (津波水位時刻歴) : 基準津波 (波源 F, 北防波堤損傷)

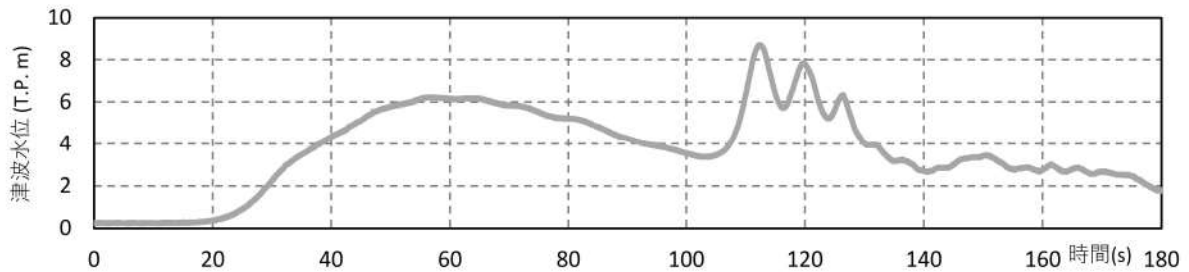
### (3) 水理模型実験に対する再現計算

#### a. 解析条件

水理模型実験に対する解析モデルを第 57 図に示す。解析領域は、水理模型実験で水位時刻歴が得られる H2 地点から H10 地点（発電所敷地）までの区間をモデル化した。入力する津波の時刻歴波形は水理模型実験の水位計 H2 で計測した時刻歴波形とし、解析モデル上の H2 地点に入力した。入力する津波の時刻歴波形を第 58 図に示す。



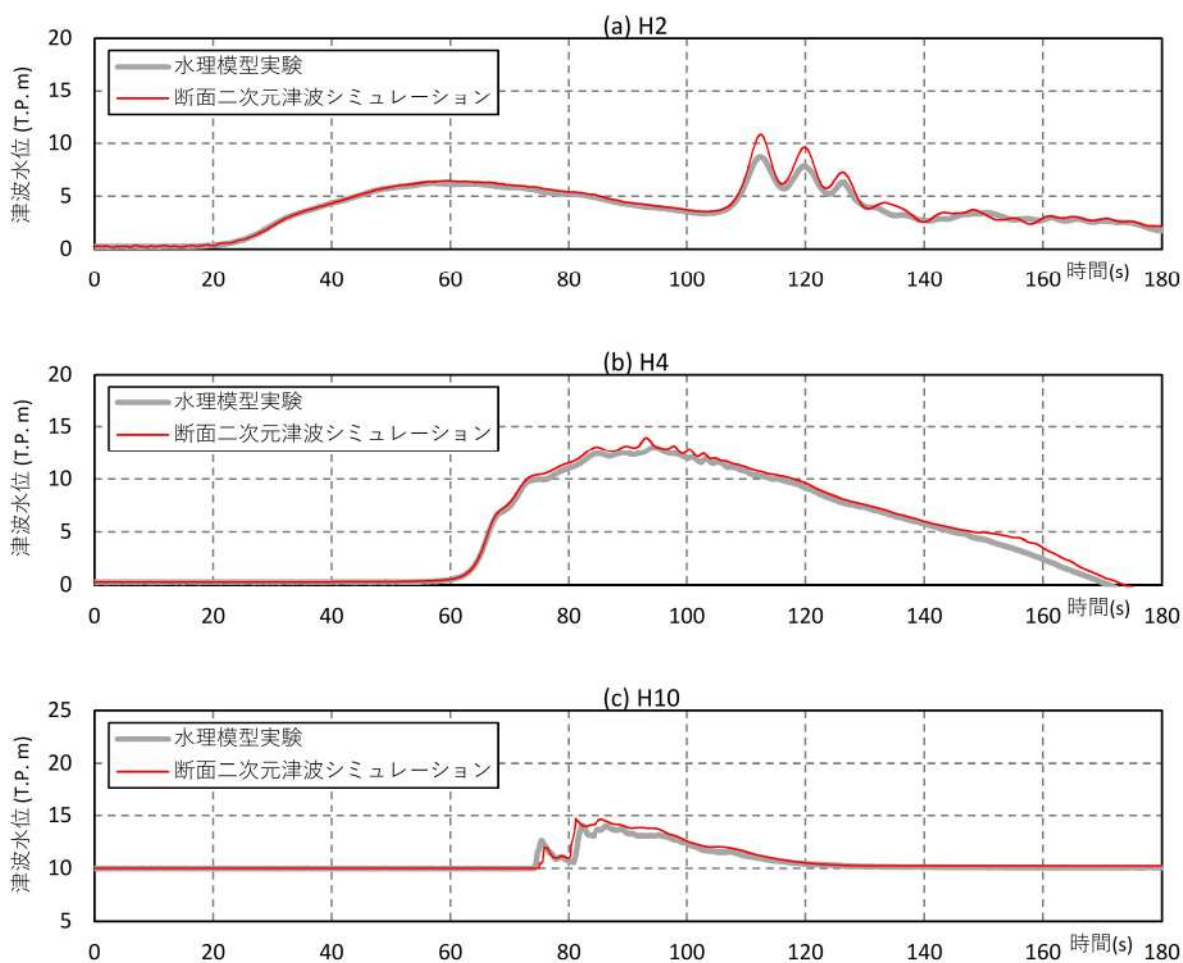
第 57 図 水理模型実験に対する解析モデル (H2 地点～H10 地点 (敷地))



第 58 図 入力する津波の時刻歴波形

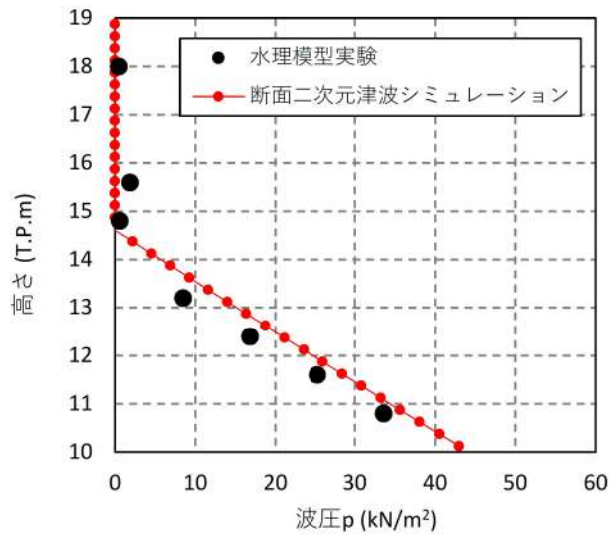
## b. 水理模型実験結果の再現性

水理模型実験の検討ケース No. 41 (津波波形: WS\_20\_050, 護岸ケース 1 (基本形状), 防潮堤有り) を対象に, 断面二次元津波シミュレーションによる再現解析を行った。第 59 図に津波水位時刻歴の比較を示す。沖合から防潮堤前面に至るまで, 良好に再現できている。第 60 図に防潮堤に作用する波圧分布の比較を示す。断面二次元津波シミュレーションにおいて, 水理模型実験結果の静水圧分布とほぼ同じ圧力分布が得られている。以上から, 断面二次元津波シミュレーションにより水理模型実験の津波伝播過程及び防潮堤に作用する波圧分布を再現できることが確認された。



第 59 図 水理模型実験と断面二次元津波シミュレーションの比較  
(津波水位時刻歴)





第 60 図 水理模型実験と断面二次元津波シミュレーションの比較  
(防潮堤に作用する波圧分布)

(4) まとめ

平面二次元津波シミュレーション，断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験の複数手法により同等で整合性のある結果が示されたことから，断面二次元津波シミュレーションにより津波水位及び防潮堤に作用する波圧分布を良好に再現できることが示された。

## 【参考文献】

- 1) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷 毅・高尾 誠・金戸俊道・藤井直樹・大森政則 (2000) : 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 911 - 915.
- 2) 松山昌史・池野正明・榊山勉・柳沢賢・藤井直樹 (2005) : 大陸棚上におけるソリトン分裂した津波の碎波に関する無ひずみ模型実験, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 241 - 245.
- 3) 気象庁 (2011) : 災害時地震・津波速報 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震, 災害時自然現象報告書 2011 年第 1 号.
- 4) 国土交通省住宅局長 (2011) : 津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について (技術的助言) .
- 5) 榊山 勉 (2012) : 陸上遡上津波の伝播と構造物に作用する津波波圧に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. 771 - 775.
- 6) 池谷毅・秋山義信・岩前伸幸 (2013) : 陸上構造物に作用する津波持続波圧に関する水理学的考察, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. 816 - 820.
- 7) 国土交通省港湾局 (2015) : 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) .
- 8) 鳥山拓也・石田暢生・山下啓・高松直丘・日比野憲太 (2022) : 防潮堤に作用する最大持続波圧評価式の提案, NRA 技術報告, NTEC-2022-4001.
- 9) 原子力規制委員会 (2023) : 耐津波設計に係る設工認審査ガイド (令和 5 年 1 月改正) .