

# 泊発電所 3 号炉 耐津波設計方針について

## 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

令和 5 年 12 月 11 日  
北海道電力株式会社

- 本資料では、防潮堤及び貯留堰の詳細設計段階で考慮する津波荷重の設定方針について説明する。
- 泊発電所に来襲する津波においては、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、ソリトン分裂波及び砕波が発生しないことを確認した結果について説明し、その上で、防潮堤等の詳細設計段階で考慮する津波荷重を設定する。
- なお、設置許可段階における防潮堤の構造成立性評価で考慮する津波荷重の考え方は、別途説明する。

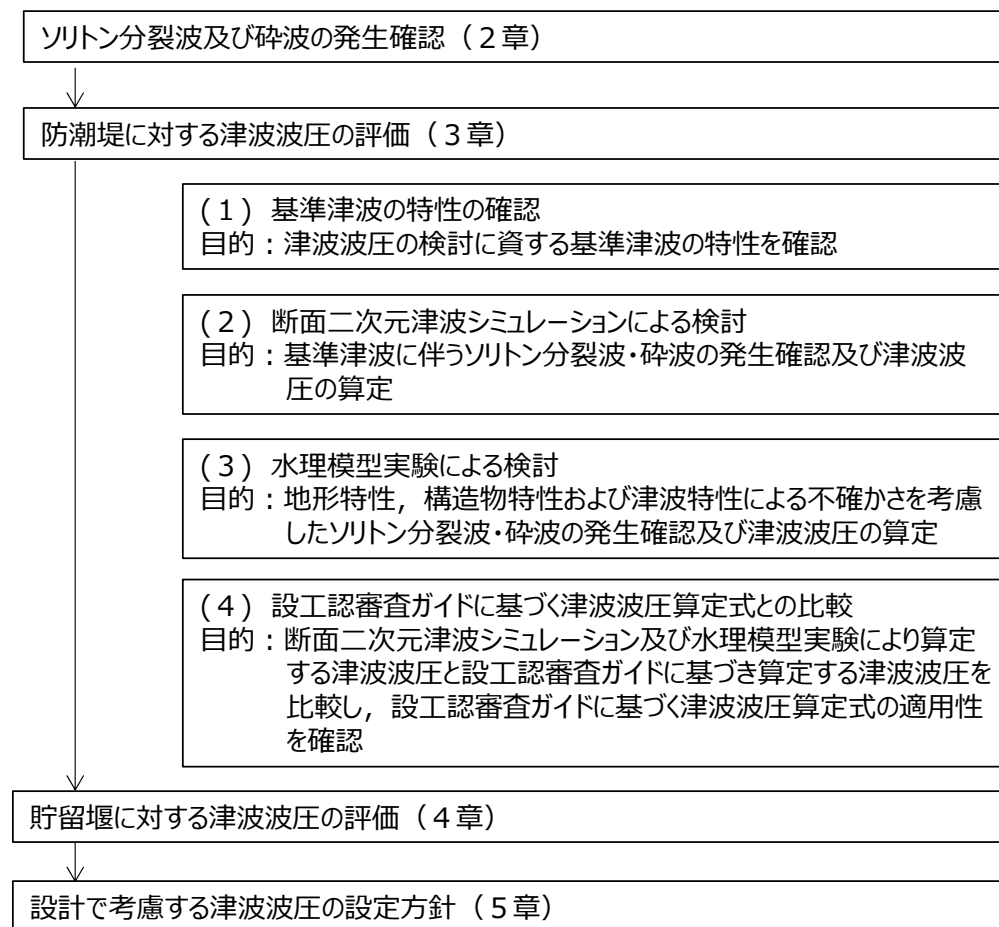
1. 検討方針	P. 3
2. ソリトン分裂波及び砕波の発生確認	P. 4
3. 防潮堤に対する津波波圧の評価	
(1) 基準津波の特性の確認	P. 5
(2) 断面二次元津波シミュレーションによる検討	P. 7
(3) 水理模型実験による検討	P. 9
(4) 設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式との比較	P. 14
4. 貯留堰に対する津波波圧の評価	P. 15
5. 設計で考慮する津波波圧の設定方針	P. 16

# 1. 検討方針

- 津波防護施設の津波波圧の算定式は、「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」（以下、「設工認審査ガイド」という。）及び既往の算定式\*より保守的になるように設定する。
- 設工認審査ガイドによる津波波圧は、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することで、科学的根拠に基づき、ソリトン分裂波及び砕波の有無を確認する。
- 防潮堤の詳細設計段階で考慮する津波波圧は、「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」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。
- 貯留堰の詳細設計段階で考慮する津波波圧は、津波波圧が大きく作用する状態として、引き波時における越流直前の津波波圧と越流時の津波波圧のうち、保守的な方を設定する。
  - ✓ 越流直前の津波波圧は「設工認審査ガイド」に基づき算定する。
  - ✓ 越流時の津波波圧は「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき算定する。

\*: 既往の算定式は以下に示すものとする。

- ・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）
- ・港湾の津波避難施設的设计ガイドライン（平成25年10月）
- ・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.
- ・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）
- ・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）



## 検討概要

## 2. ソリトン分裂波及び砕波の発生確認

- 沖合から伝播してくる津波が、敷地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、以下に示す条件①及び条件②の両方に合致する場合、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
- 泊発電所においては、条件①に合致するが、条件②には合致しないため、ソリトン分裂波が発生しないと考えられるものの、科学的根拠に基づいた砕波発生有無の確認を行うために、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験を実施する。

### 条件①

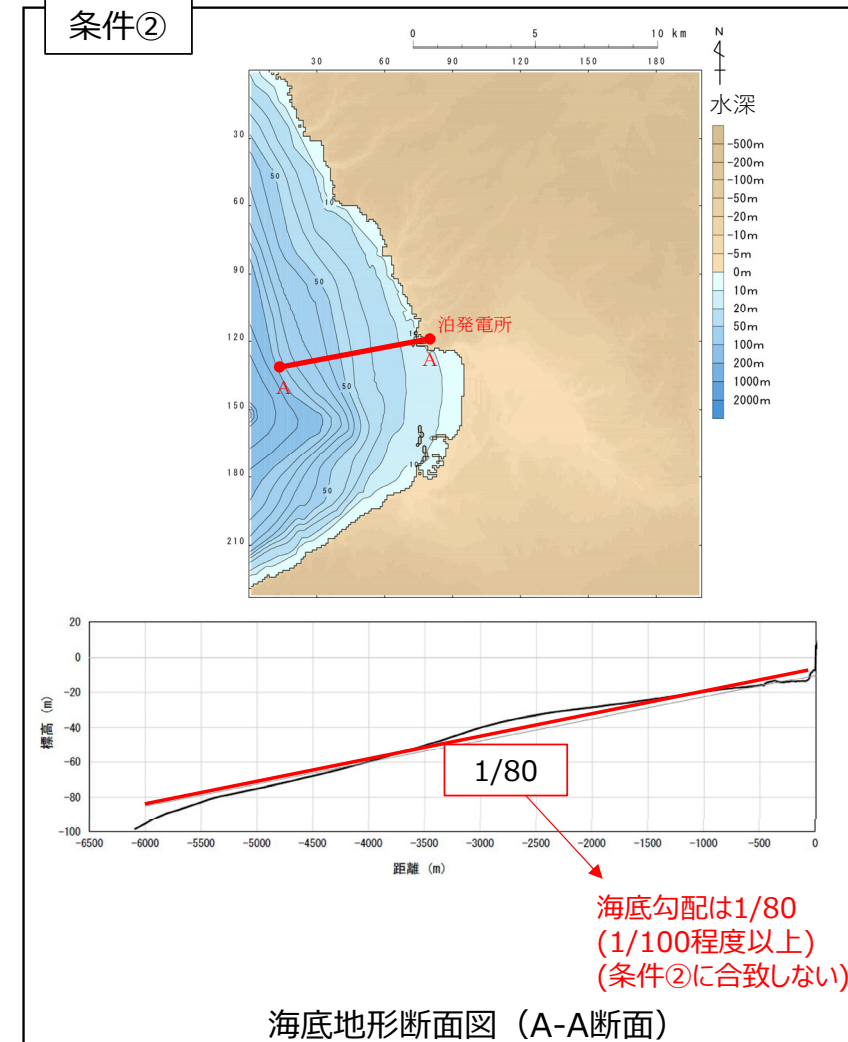
津波高さと水深の割合(基準津波(波源F, 北防波堤損傷)の例)

基準津波	地点	(1)水深	(2)津波高さ	(2)/(1)
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%

※防潮堤前面において、水位上昇量が最大となる基準津波

津波高さが水深の60%以上となった  
(条件①に合致する)

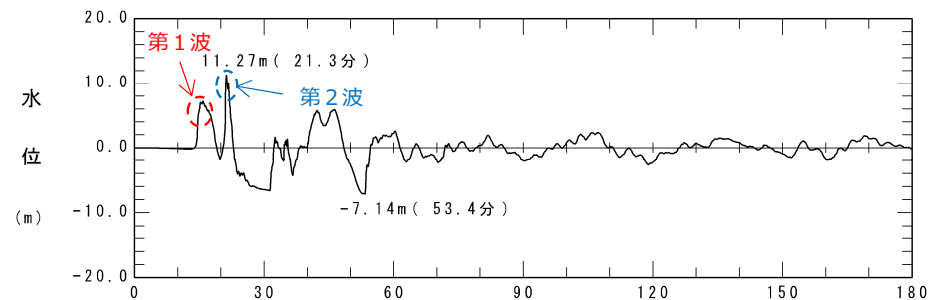
### 条件②



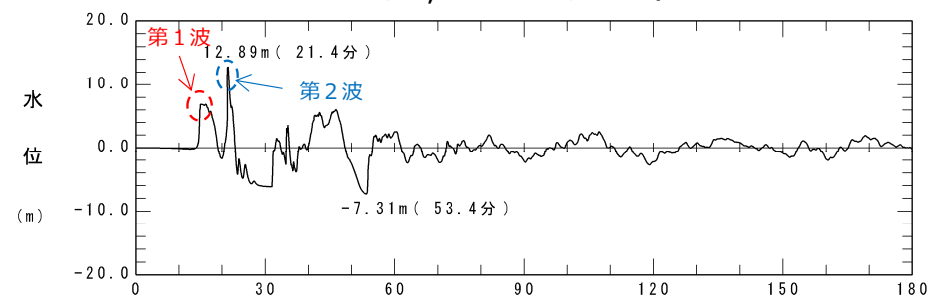
### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (1 / 10)

#### (1) 基準津波の特性の確認

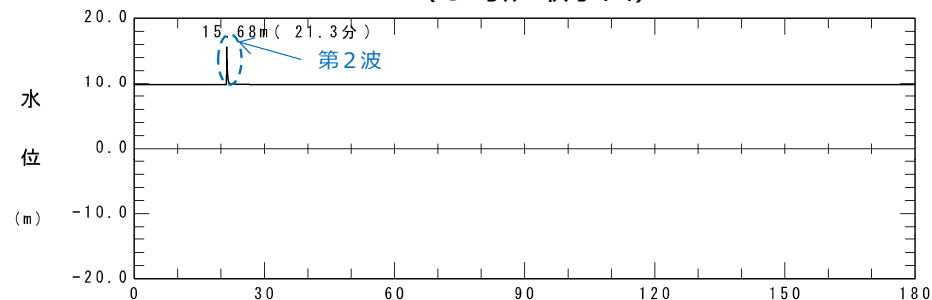
- 断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験による検討に当たって、ソリトン分裂波及び砕波の発生並びに津波波圧に対する影響要因である津波高さの観点から基準津波を整理した。
- その結果、基準津波（波源F，北防波堤損傷）において防潮堤前面の水位上昇量が最も大きくなることを確認したため、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験では、基準津波（波源F，北防波堤損傷）を対象として検討を行う。
- 基準津波（波源F，北防波堤損傷）の特性を以下に示す。
  - 地震発生から約14分後、地震に伴う津波の第1波が発電所港湾に来襲し、押し波が3分程度継続した後、引き波に転じる。
  - 地震発生から約18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（地震発生から約20分30秒～約22分）。
  - 防潮堤前面の最大水位変動量15.68mは第2波により発生することから、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（地震発生から約21分30秒後）。



(1, 2号炉取水口)



(3号炉取水口)



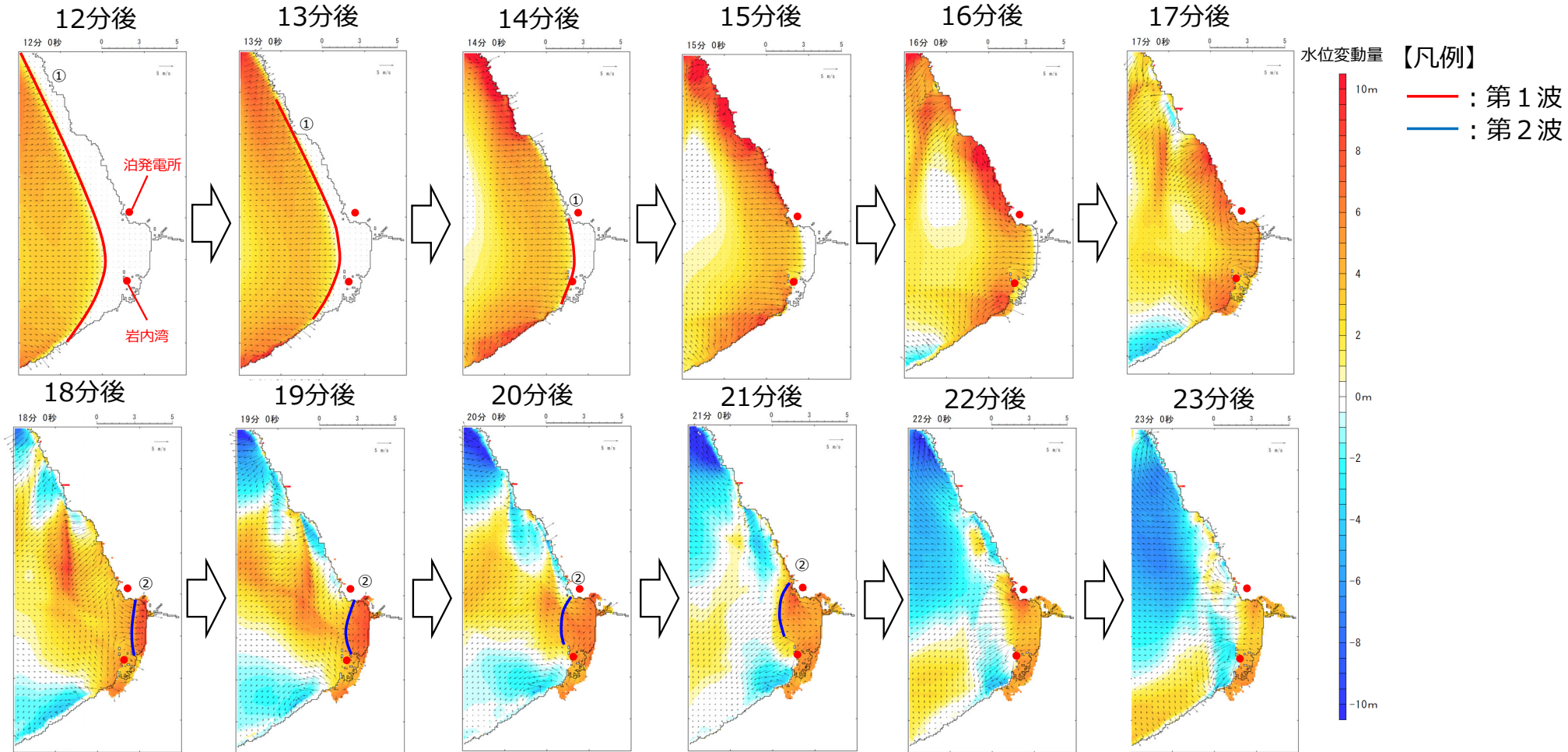
(防潮堤前面)

基準津波（波源F，北防波堤損傷）の時刻歴波形

### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (2 / 10)

#### (1) 基準津波の特性の確認

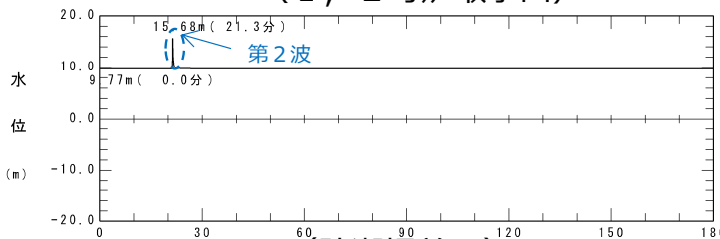
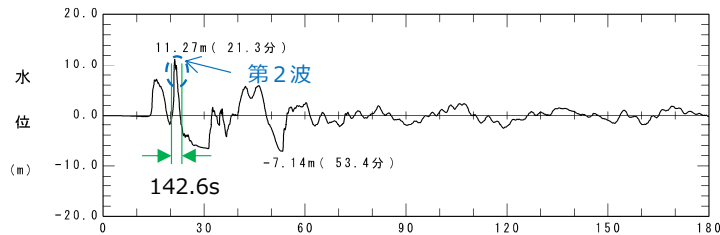
- 基準津波（波源F，北防潮堤損傷）の地震発生後の12分後～23分後のスナップショットを以下に示す。



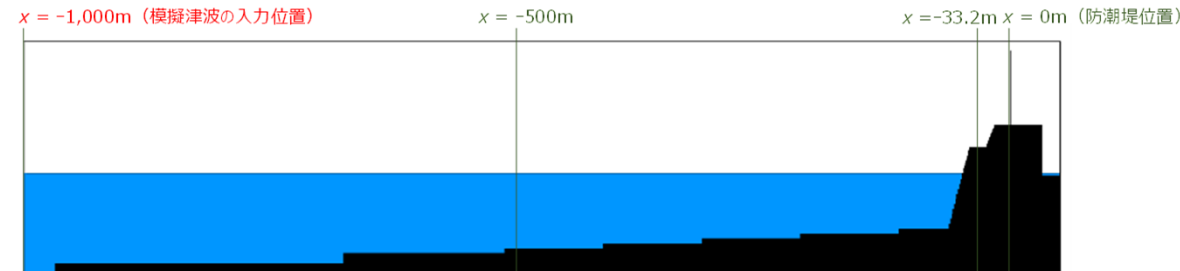
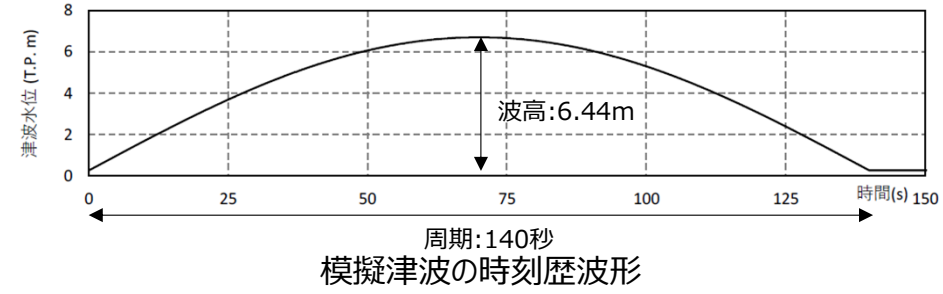
### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (3 / 10)

#### (2) 断面二次元津波シミュレーションによる検討 (解析条件)

- 断面二次元津波シミュレーションでは、泊発電所の地形特性 (海底勾配・敷地形状) を再現した上で、ソリトン分裂波及び砕波の発生の有無並びに津波波圧を確認した。
- 基準津波 (波源F, 北防潮堤損傷) の特性を踏まえると、防潮堤に作用する津波波圧は第2波による影響が支配的と考えられるが、第2波は岩内側の反射波による影響を大きく受けることから、断面二次元津波シミュレーションでは第2波の時刻歴波形を再現できない。
- そのため、断面二次元津波シミュレーションでは、第2波の模擬津波を作成し、模擬津波の波高及び周期を以下の通り設定した。
  - 解析モデルの沖合1.0km地点で入力した模擬津波が防潮堤前面位置で最大水位T.P.15.94m (最大水位上昇量15.68m + 朔望平均満潮位 T.P.0.26m) 以上となるよう、入力位置の模擬津波の波高は6.44mと設定した。
  - 周期が短い方がソリトン分裂波及び砕波が発生しやすいことから、模擬津波の半周期は1, 2号炉取水口位置における第2波の半周期142.6秒を保守的に140秒と設定した。



基準津波 (波源 F, 北防潮堤損傷) の時刻歴波形



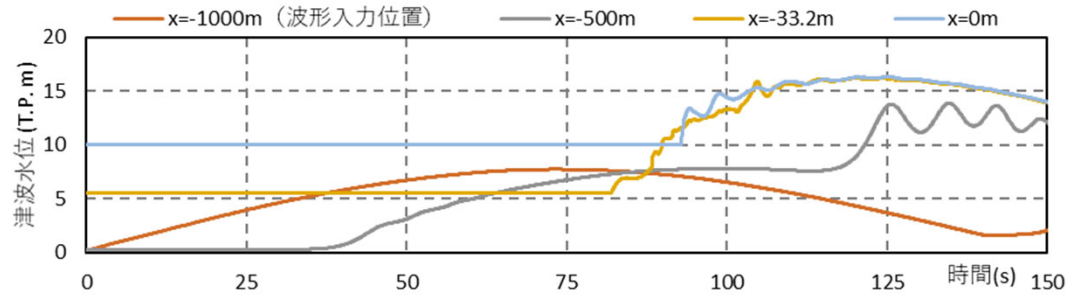
断面二次元津波シミュレーションにおける解析モデル (沖合1.0km地点～敷地)



### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (4 / 10)

#### (2) 断面二次元津波シミュレーションによる検討 (解析結果)

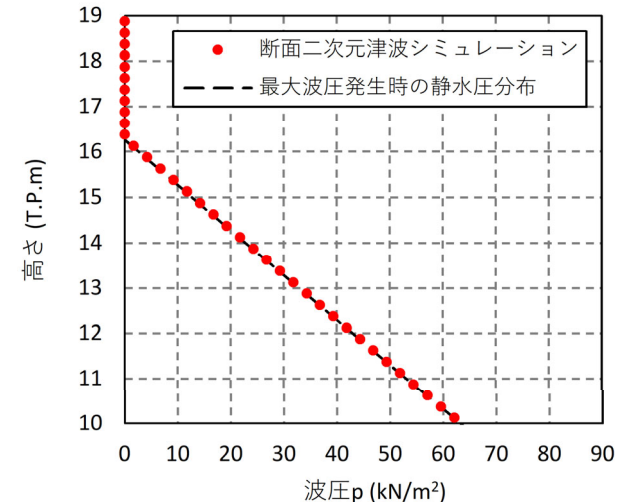
- 断面二次元津波シミュレーションによる検討の結果，以下を確認したことから，防潮堤前面においてソリトン分裂波及び砕波は発生していないことを確認した。
  - 水位の時刻歴波形を確認したところ，発電所沖合から防潮堤位置において，水位は緩やかに上昇しており，ソリトン分裂波及び砕波を示す波形は確認されなかった※1。
  - 津波が護岸に到達した時刻に着目し，護岸の水面勾配を確認したところ，水面勾配は4°であり，松山ら（2005）における水面勾配の砕波限界である30°～40°と比較して十分小さい結果となった。
  - 防潮堤に作用する津波波圧が最大となる時刻の波圧分布を確認したところ，津波の衝撃圧は発生せず，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）。



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



護岸における水面勾配



最大波圧分布

※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=-500m地点，125～150s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。

### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (5 / 10)

#### (3) 水理模型実験による検討 (実験条件)

- 水理模型実験による検討は、泊発電所の地形特性（前面地形）、構造物特性（防潮堤位置）及び津波特性（周期、波高）の不確かさがソリトン分裂波及び砕波並びに津波波圧に及ぼす影響を確認することを目的として実施した。
- 津波特性（周期、波高、波形）の不確かさによる影響を確認するため、断面二次元津波シミュレーションの模擬波形に対し、周期、波高及び波形を変化させた7種類の波形を設定した。

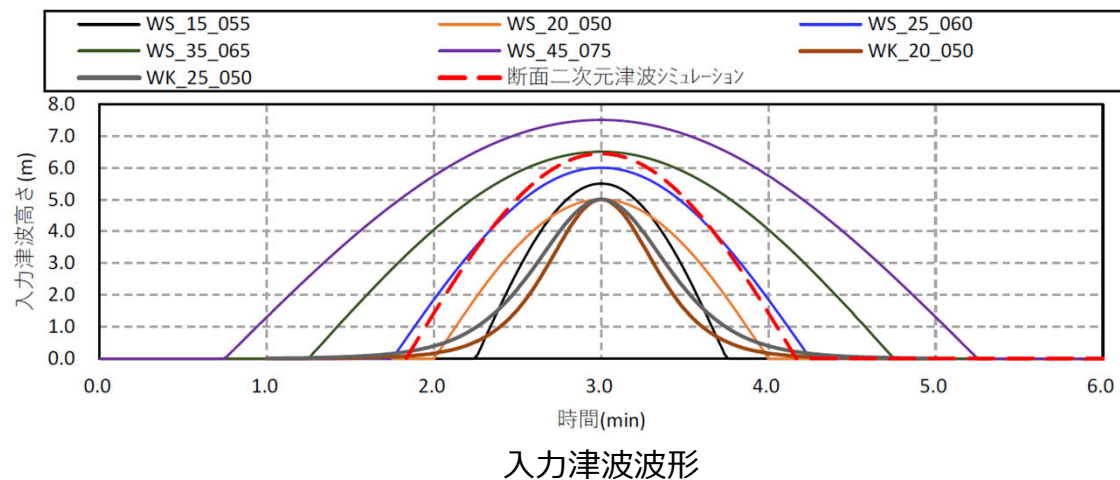
半周期：90秒～270秒

波 高：5.0m～7.5m

波 形：正弦波・孤立波

入力する津波の条件 (目標波形)

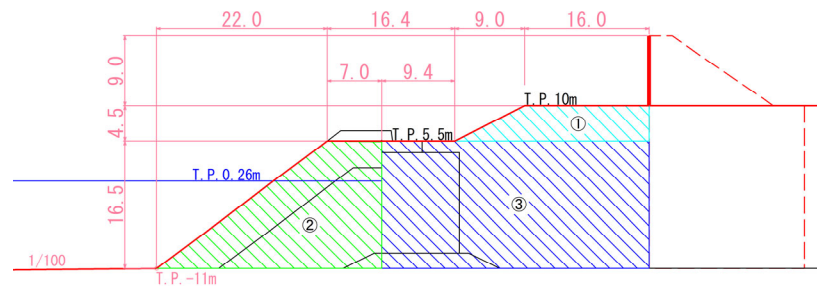
波条件	波形	目標津波条件 (現地換算)		目標津波条件 (1/80 実験換算)	
		半周期 T/2(分)	津波高 H(m)	半周期 T/2(秒)	津波高 H(m)
WS_15_055	正弦波 (押し波)	1.5	5.5	10	0.069
WS_20_050		2.0	5.0	13	0.063
WS_25_060		2.5	6.0	17	0.075
WS_35_065		3.5	6.5	23	0.081
WS_45_075		4.5	7.5	30	0.094
WK_20_050	孤立波	2.0	5.0	13	0.063
WK_25_050		2.5	5.0	17	0.063



### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (6 / 10)

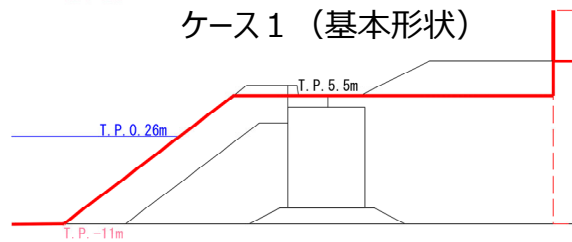
#### (3) 水理模型実験による検討 (実験条件)

- 地形特性 (前面地形) 及び構造物特性 (防潮堤位置) の影響を確認するため, 5 ケースの敷地形状を設定した。

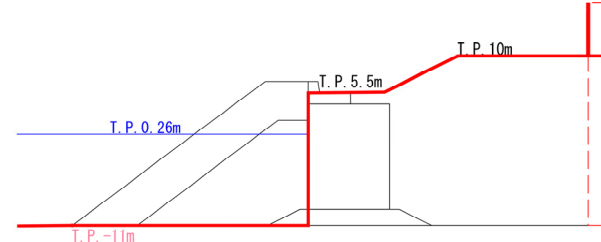


- 【凡例】
- : 実験模型の断面形状
  - ① : 海側盛土 (ケース2, 4では変状を考慮)
  - ② : 海側法面 (ケース3, 4では変状を考慮)
  - ③ : 護岸 (変状を考慮しない)

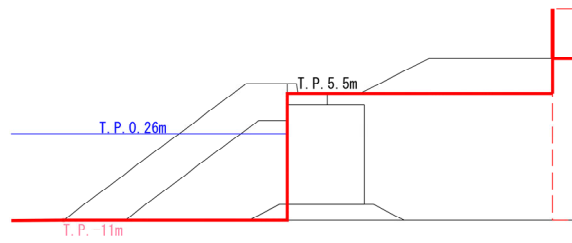
ケース1 (基本形状)



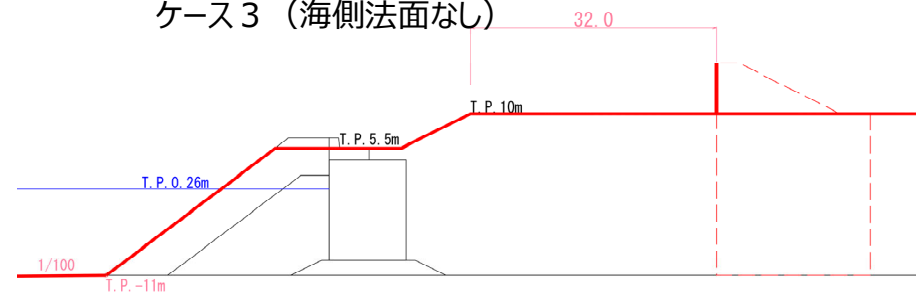
ケース2 (海側盛土なし)



ケース3 (海側法面なし)



ケース4 (海側盛土・海側法面なし)



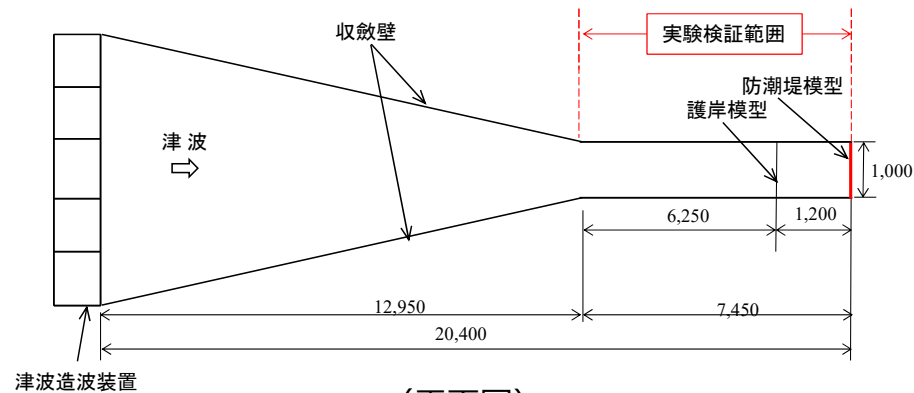
ケース5 (ケース1に対し, 防潮堤位置を後退)

敷地形状

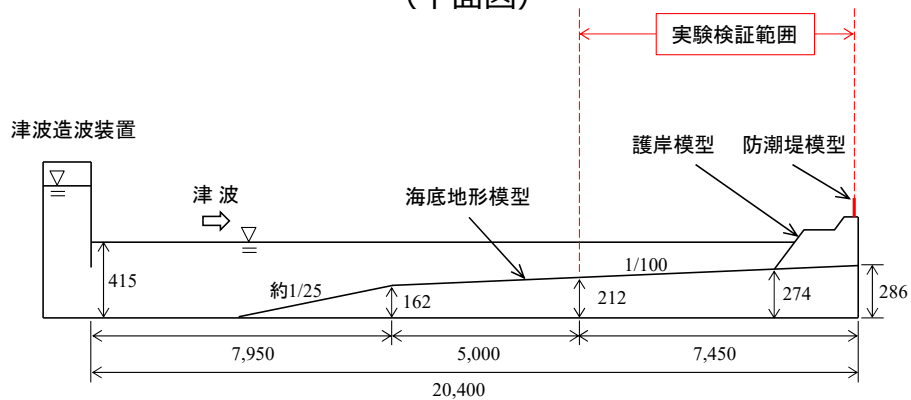
### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (7 / 10)

#### (3) 水理模型実験による検討 (実験装置)

- 実験装置は長さ20.4m×幅1.0m~7.5m×高さ0.91mとし、実験縮尺は1/80とする。
- 沖合部に津波水位を高くするための収斂壁を設置し、下流側に護岸模型及び防潮堤模型を構築した。

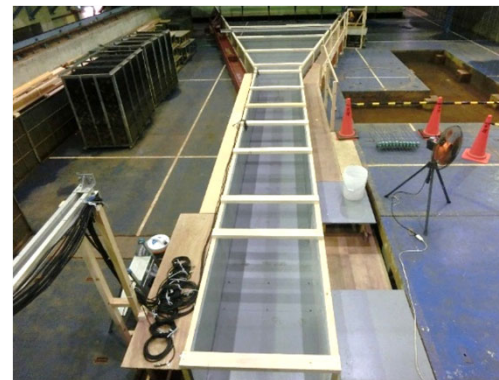


(平面図)

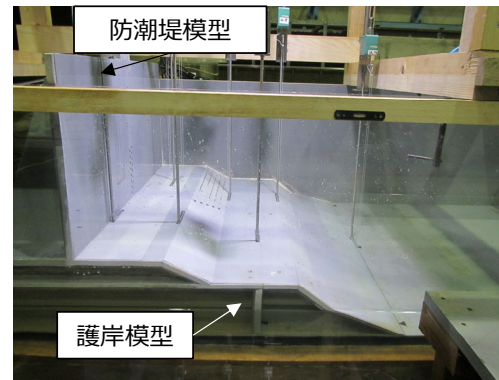


(断面図)

実験装置概要※1



(収斂壁)



(護岸模型及び防潮堤模型)

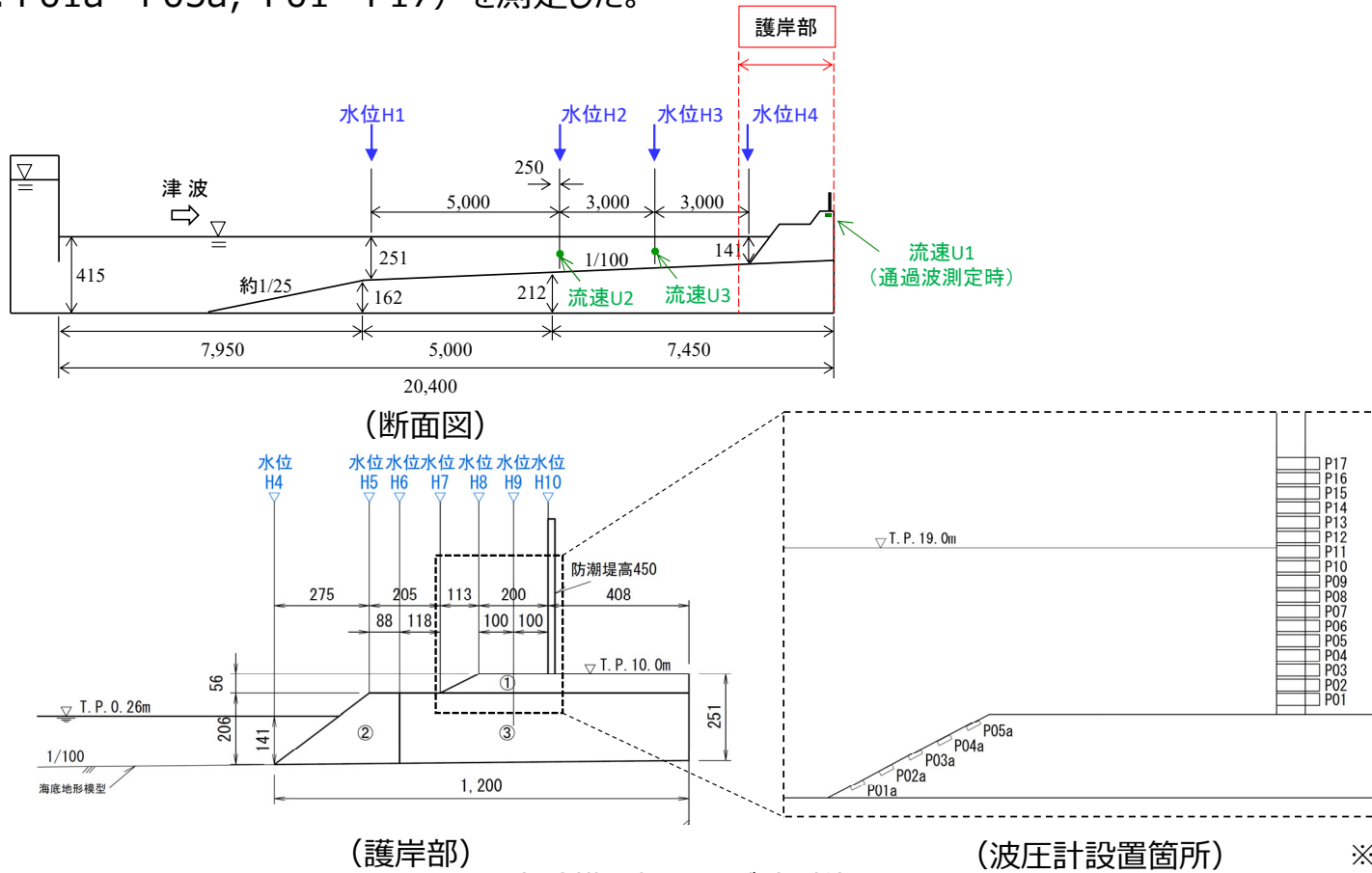
実験装置※1

※1: 護岸模型及び防潮堤模型はケース1 (基本形状) の例を例で示す。

### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (8 / 10)

#### (3) 水理模型実験による検討 (実験模型)

- 前面海域及び護岸部の各点において、津波の水位 (測定位置 : H1~H10) , 流速 (測定位置 : U1~U3) 及び波圧 (測定位置 : P01a~P05a, P01~P17) を測定した。



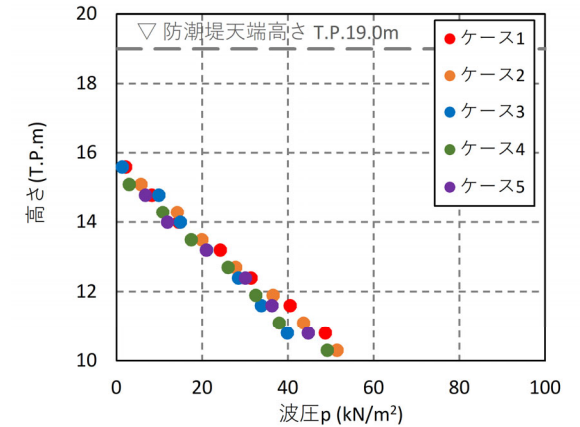
実験模型概要及び計測位置図※1

※1:護岸部はケース1 (基本形状) の例を例で示す。

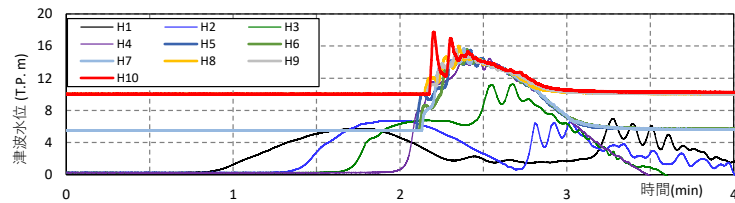
### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (9 / 10)

#### (3) 水理模型実験による検討 (実験結果)

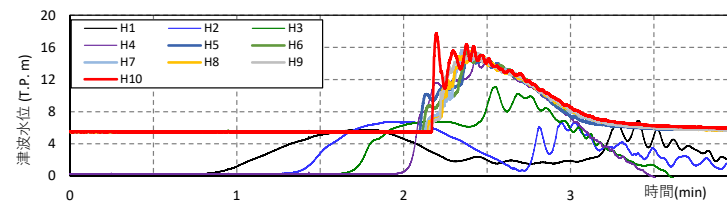
- 時刻歴波形を確認した結果、沖合から護岸前面 (H1 ~ H4 地点) において、ソリトン分裂波及び砕波を示す波形は確認されず、水位は緩やかに上昇していることを確認した。
- 津波が護岸部を遡上した後 (H5 ~ H10 地点) は、津波が護岸を乗り越える影響等により、波形に乱れを確認したことから、波圧分布により、ソリトン分裂波及び砕波の発生有無を確認した。
- その結果、津波の衝撃圧は発生せず、持続圧が作用していることから、ソリトン分裂波及び砕波が発生していないことを確認した (防潮堤に作用する波圧分布はいずれも直線型となり静水圧分布となった)。
- 地形特性 (敷地形状)、構造物特性 (防潮堤位置) 及び津波特性 (周期、波高) の不確かさは津波のソリトン分裂波及び砕波並びに津波波圧に対し、影響がないことを確認した。



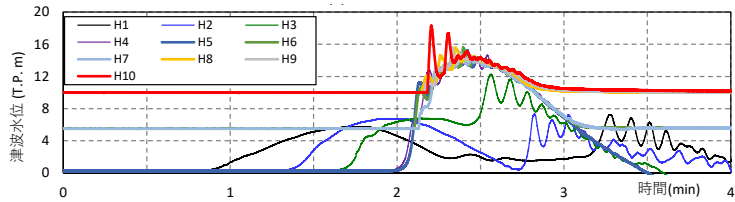
波圧分布 (水理模型実験)  
(WS\_15\_055)



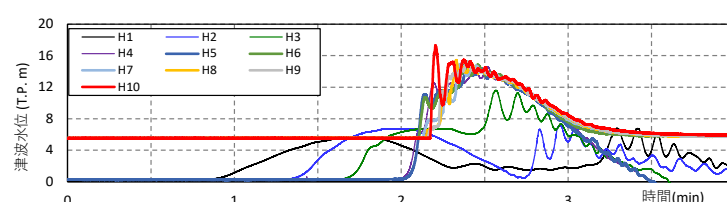
(ケース1 : 基本形状)



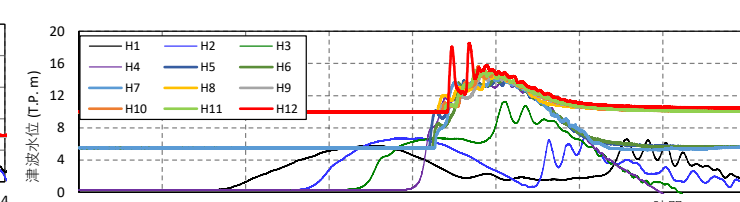
(ケース2 : 海側盛土なし)



(ケース3 : 海側法面なし)



(ケース4 : 海側盛土及び海側法面なし)  
時刻歴波形 (水理模型実験)  
(WS\_15\_055 (周期90秒, 津波高さ5.5m))

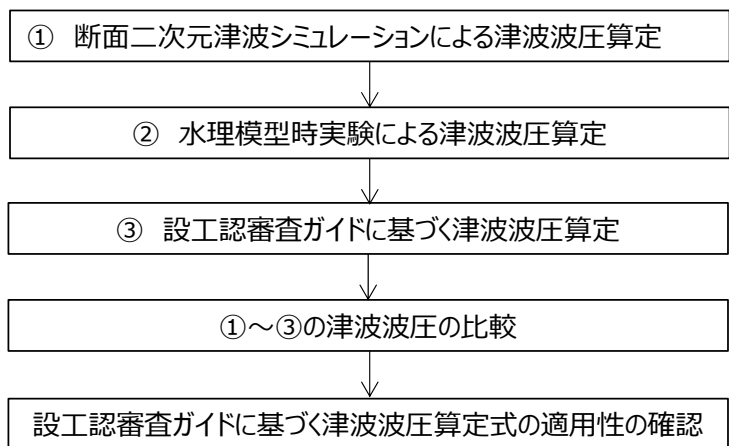


(ケース5 : ケース1 に対し、防潮堤位置を後退)

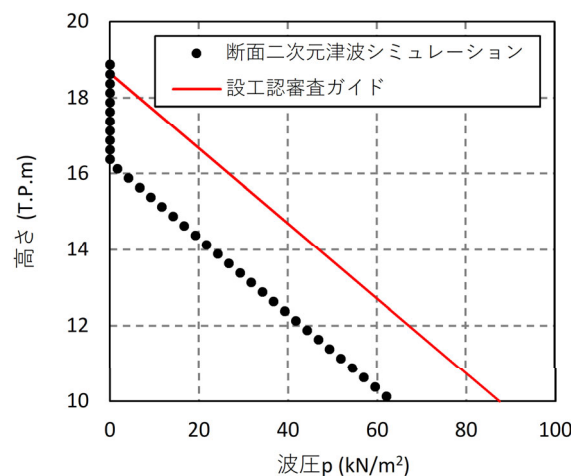
### 3. 防潮堤に対する津波波圧の評価 (10/10)

#### (4) 設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式との比較

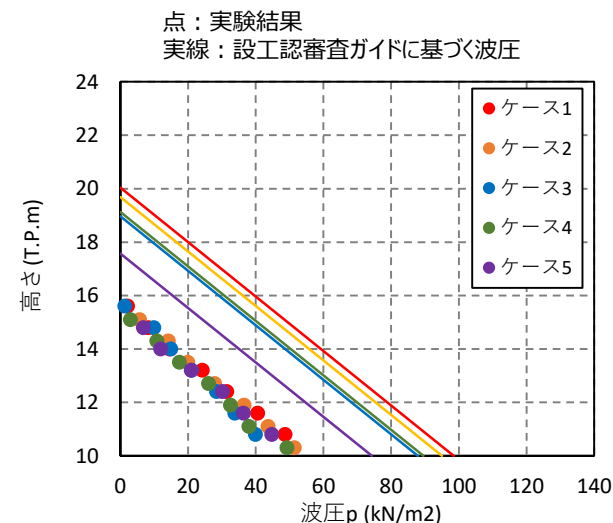
- 設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式への適用性を確認するため、断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験で算定した波圧と計測した通過波の流速及び浸水深を用いて設工認審査ガイドに基づき算定した波圧を比較した。
  - ① 設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式(防潮堤無し条件における通過波を用いて算定した波圧)
  - ② 断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験において算定した波圧(防潮堤有りの条件における波圧の計測結果)
- 設工認審査ガイドに基づき算定した津波波圧が断面二次元津波シミュレーション及び水理模型実験で算定した津波波圧を包絡していることから、設工認審査ガイドに基づ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ことを確認した。



検討手順



波圧分布の比較結果  
(断面二次元津波シミュレーション)



波圧分布の比較結果 (水理模型実験)  
(WS\_15\_055の例)

## 4. 貯留堰に対する津波波圧の評価

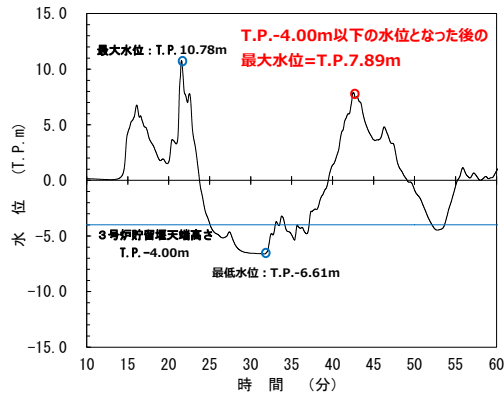
- 貯留堰に有意な津波波圧が作用するのは、引き波により貯留堰が海面から露出し、その後、押し波が貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定される。
- 越流直前と越流時で適用する算定式が異なるため、貯留堰における津波波圧としては、越流直前の津波波圧と越流時の津波波圧のうち保守的なものを適用する。

### ① 越流直前の津波波圧

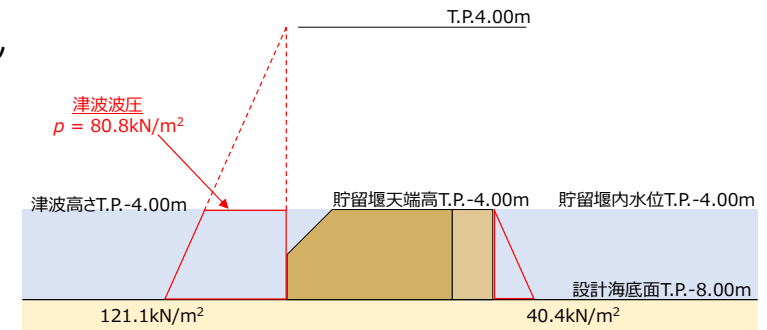
- 越流直前の津波波圧は、貯留堰前面の海底面（T.P.-8.0m）まで水位が低下した後、到達する津波を考慮し、貯留堰に津波が越流する直前の状態として、貯留堰天端高さ（T.P.-4.0m）までを想定し、設工認審査ガイドに基づき、津波高さの3倍の高さまでの静水圧を考慮する。

### ② 越流時の津波波圧

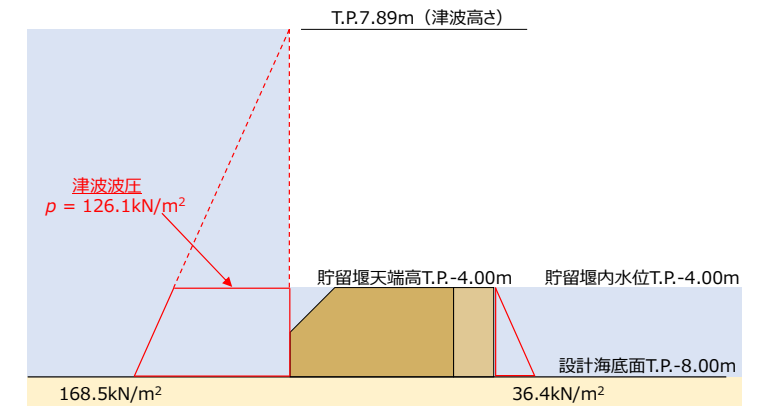
- 越流時の津波波圧は、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局）」（平成27年12月一部改訂）による静水圧差による算定式に基づきに設定する。
- 津波高さは、引き波により、貯留堰天端高さ（T.P.-4.0m）以下の水位となった後の最大水位を設定する。



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）の時刻歴水位



（越流直前）



（越流時）

波圧算定イメージ（貯留堰※1）

※1 貯留堰の構造の見直しは別途説明する。  
なお、構造変更前後で貯留堰に作用する津波波圧は変わらない。



## 5. 設計で考慮する津波波圧の設定方針

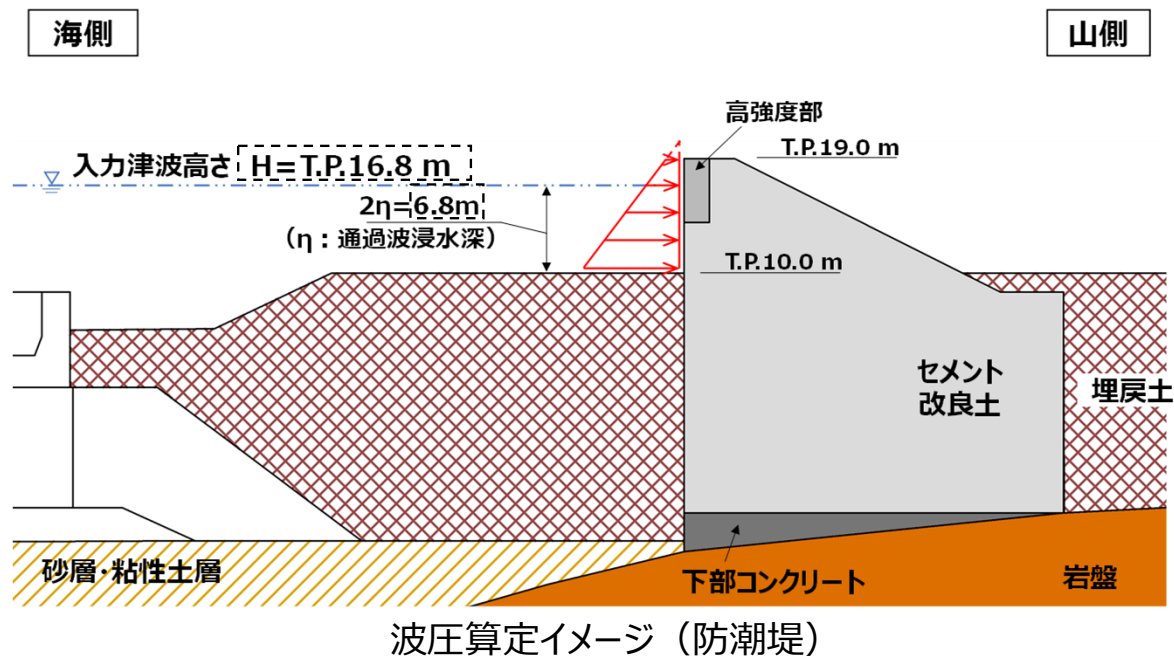
### (1) 防潮堤の詳細設計段階で考慮する津波波圧の設定方針

- 防潮堤の詳細設計で考慮する津波波圧は，設工認審査ガイドに基づく津波波圧算定式より，保守的になるよう，朝倉式により津波波圧を設定する。
- 朝倉式に用いる通過波浸水深は，最大浸水深（入力津波高さ－防潮堤前面の敷地標高）×1/2を用いる。

（防潮堤の詳細設計段階で考慮する津波波圧）

- ・津波高さ： $H = T.P. 16.8m$ （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
- ・設計用浸水深  
（通過波浸水深）： $\eta = 3.4m ((16.8 - 10.0) \times 1/2)$
- ・防潮堤の最下部に作用する波圧： $P = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$

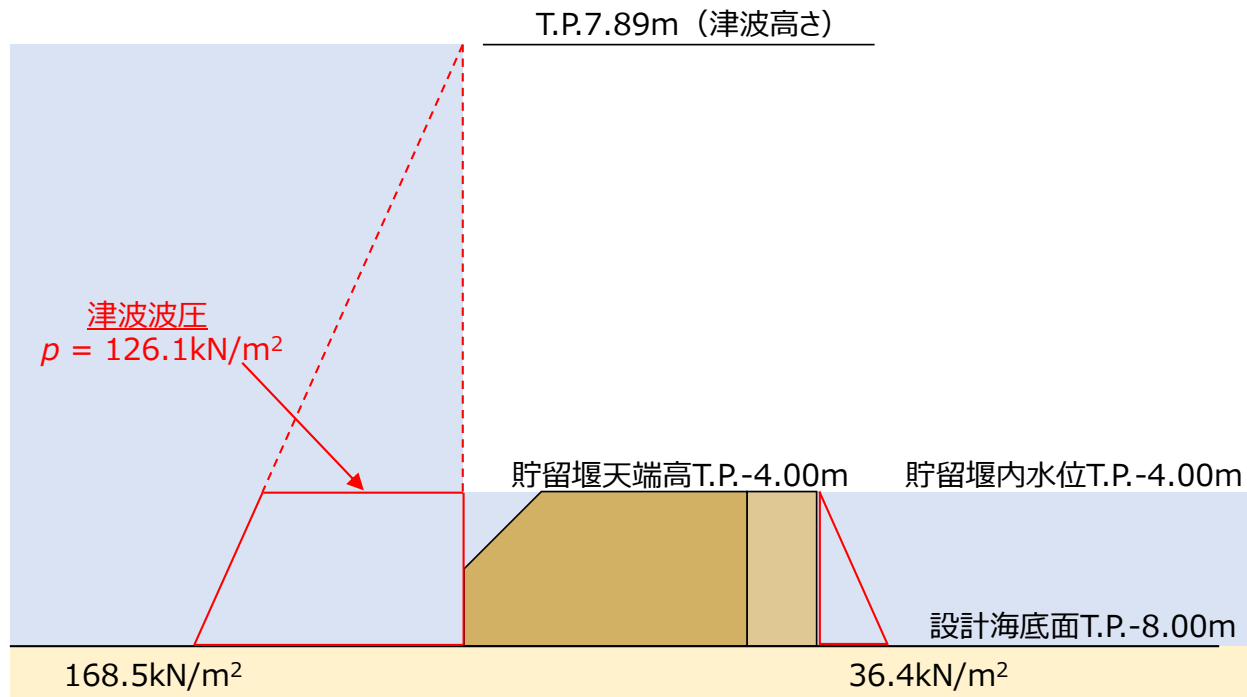
※破線囲部分については，入力津波の審査結果を踏まえ記載を適正化する。



## 5. 設計で考慮する津波波圧の設定方針

### (2) 貯留堰の詳細設計段階で考慮する津波波圧の設定方針

- 越流直前及び越流時の津波波圧について比較した結果、越流時の津波波圧が越流直前の津波を上回ったため、貯留堰の詳細設計段階で考慮する津波波圧は、越流時の津波波圧を設定する。



波圧算定イメージ (貯留堰)