

## 東海第二発電所

### 耐津波設計方針について

〔第513回審査会合(平成29年9月26日)時の  
指摘事項に対する回答〕

平成29年10月12日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密又は  
防護情報の観点から公開できません。

## 耐津波設計方針に係る審査会合時の指摘事項

No.	指摘事項	説明頁	該当資料
7	止水機構の漏水試験について、試験体の断面図等を示し、試験の詳細について説明すること。	2	
8	止水機構の追従性に係る解析方針について、水密ゴムの劣化状態を模擬した摩擦係数0.4の考え方等を説明すること。	7	
9	止水機構の構成部材の損傷モードを網羅的に抽出し、設計への考慮を示すこと。	11	
10	ソリトン分裂波の影響について、より詳細な考察をした上で資料に反映すること。	16	
11	漂流物の定期的な調査について隣接事業所から仮設物(クレーン等)の情報を入手できることを示すこと。	30	

**【指摘事項】**

止水機構の漏水試験について、試験体の断面図等を示し、試験の詳細について説明すること。

**【回答概要】**

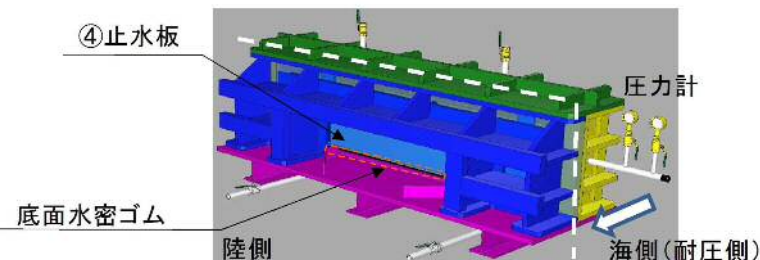
止水板及び水密ゴムを用いた止水機構の実機への適用性を確認するために実施した漏水試験装置の構造を示すとともに、漏水試験結果について漏えい量のデータの考察を行い、漏えい量と許容漏えい量の関係について説明する。

# 1. 止水機構の漏水試験結果

- ◆ 止水板及び水密ゴムを用いた止水機構の実機への適用性を確認するため、実機と同仕様の実規模大の漏水試験装置(止水板1枚:2m相当)を製作し、漏水試験を実施した。
- ◆ 試験の実施に当たっては、未使用品の水密ゴム及び供用後に想定される劣化事象等を抽出し、想定事象を模擬した試験を実施した。具体的には、水密ゴムの摺動による摩耗(摩滅)、水密ゴムと底面戸当たり間への砂の噛み込みを模擬した。
- ◆ 漏水試験結果を表1に示す。また、漏水試験に用いた試験装置等の構造、試験結果の考察を次項に示す。

表1 止水機構(水密ゴム)の漏水試験結果

区分	目的	試験体No.	試験圧力 (Mpa)	保持時間 (分)	漏えい量 (ℓ/10分)	許容漏えい量※4 (ℓ/10分)	判定	備考	
1	未使用品	水密ゴム単体の水密性能の確認	①	0.2※1	10	0.020	2.0	○	※1: 防潮堤天端高さ(T.P.+20m, 保守的に設置地盤標高(T.P.+3m)を差引かない値) ※2: 防潮堤天端高さ(T.P.+20m)から設置地盤標高(T.P.+3m)を差引いた値 ※3: T.P.+24m(43条対応の敷地遡上津波高さ)時の設計条件(約0.3MPa)×2倍の値 ※4: ダム・堰施設技術基準(案)で規定する保持時間及び許容漏えい量算定式に基づく1m当たりの許容漏えい量 $W=10.2L \times P$ ・L: 長辺の長さ ・P: 設計(試験)圧力
			②	0.2※1		0.029		○	
2	劣化状態を仮定	劣化モードとして、S <sub>5</sub> 相当の加振による摩耗及び底面戸当りと水密ゴム間に砂を噛み込ませた状態での水密性能の確認	③	0.17※2	10	0.039	1.7	○	
				0.66※3		0.625		○	
				0.17※2		0.440		○	
				0.66※3		0.525		○	



試験装置の概要(左:鳥瞰図 右:試験装置)

## 2. 止水機構の漏水試験装置等の構造

### 1. 止水機構 漏水試験装置の構造

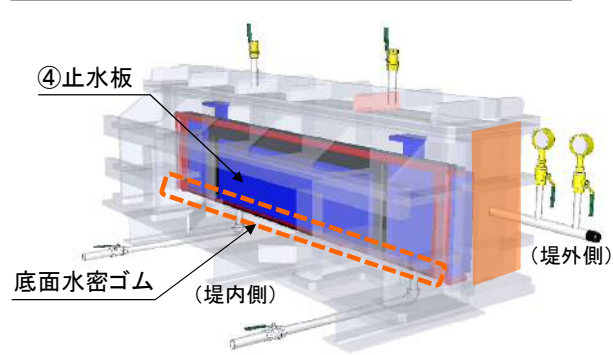


図1 試験装置の全体図

#### <試験装置の説明>

- ✓④止水板は、実機仕様(構造, 寸法, 重量)で製作
- ✓試験に用いた底面水密ゴムも実機と同じものを使用し, ④止水板の底部に固定
- ✓④止水板の据付けは, 実機の設置状況を模擬し, ④止水板の自重により設置
- ✓漏水量は堤内側の中央部1mの範囲を対象※に計測  
※底面水密ゴムの止水性能の確認が目的であるため, 試験装置側面からの漏水の影響を受けないよう, 漏えい検出範囲を中央部の範囲に限定

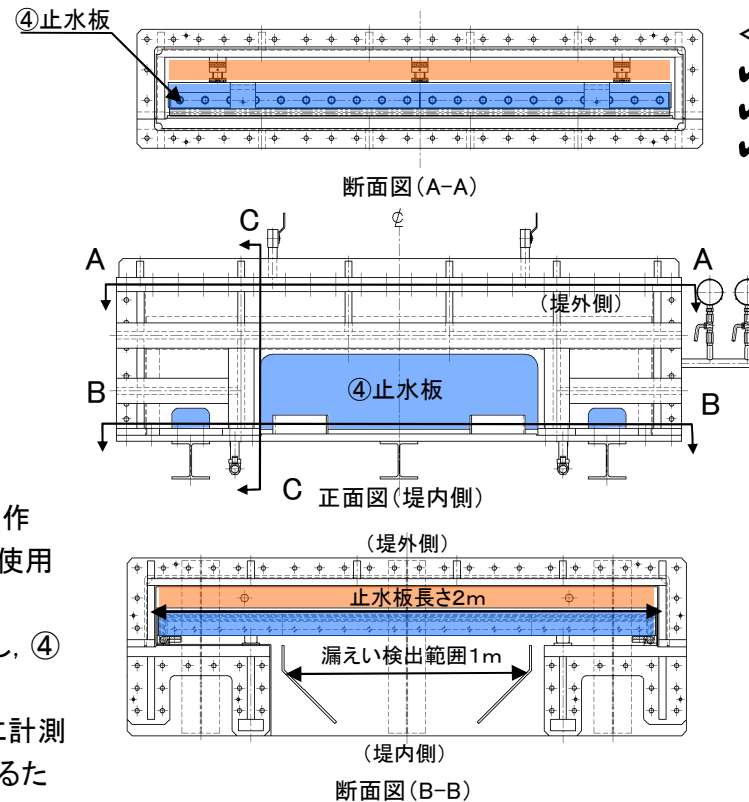
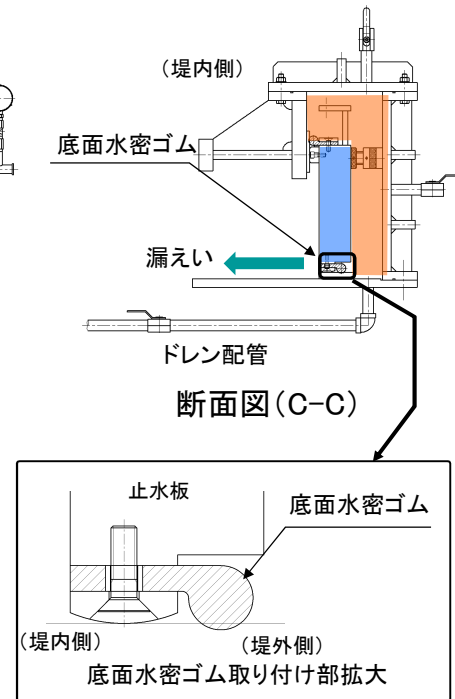


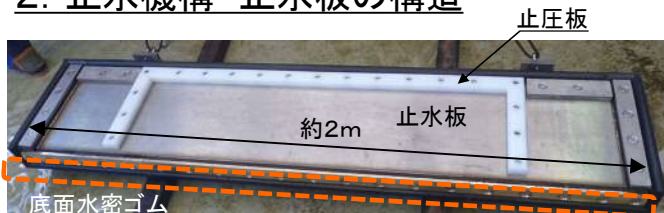
図2 試験装置の構造図

#### <漏水試験装置主要仕様>

- ✓寸法:長さ約2.3m×高さ0.7m×幅0.5m
- ✓材質:鋼製
- ✓設計圧力:0.7 MPa



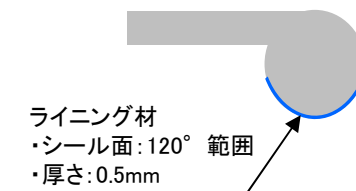
### 2. 止水機構 止水板の構造



#### <止水板主要仕様>

- ・寸法:長さ約2m×幅0.1m×高さ0.4m  
(実機スケール(1/1))
- ・材質:止水板 ステンレス鋼  
止圧板 超高分子量ポリエチレン
- ・重量:620kg (実機と同じ)

### 3. 止水機構 底面水密ゴムの仕様



### 3. 止水機構の漏水試験の考察

- ◆水密ゴムの漏水試験結果について、漏えい量と許容漏えい量の関係について整理した。いずれの試験結果においても、ダム・堰施設技術基準(案)で規定する許容漏えい量算定式から求まる許容漏えい量を下回っており、水密ゴムの止水性能に影響のないことを確認した。
- ◆上記許容漏えい量は、未使用品の単品性能に適用される許容値であり、実機において許容漏えい量を超えた瞬間に漏水による影響を受けるものではない。仮に許容漏えい量に相当する漏水が生じたとしても、実機においては無視できる程度の浸水深である。

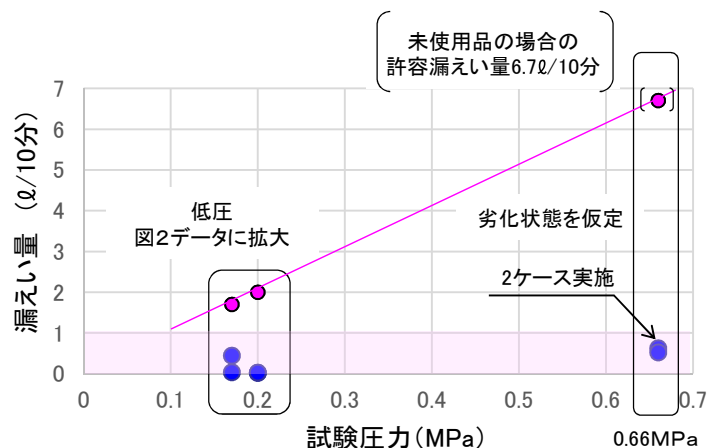


図1 試験圧力と漏えい量(高圧)

#### 【試験圧力の高い試験結果】(図1)

- ✓劣化状態を仮定した漏水試験の結果について、許容漏えい量の関係を高圧時と低圧時を比べて整理した。
- ✓漏水試験の結果、漏えい量は、許容漏えい量(未使用品の場合)に対して低い値であり、水密ゴムの性能に影響のない範囲であった。
- ✓高圧時の漏えい量は、低圧の時の漏えい量と同様に、少ない領域(1Q/10分以下)であることから、低圧、高圧に係らず水密ゴムの性能が維持できていることが確認された。

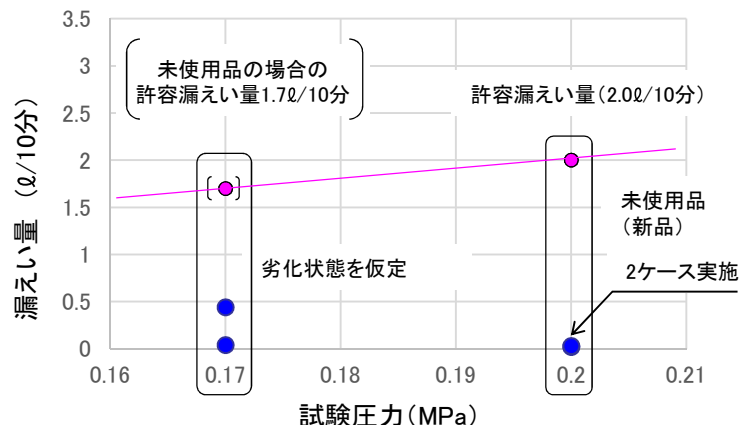


図2 試験圧力と漏えい量(低圧)

#### 【試験圧力の低い試験結果】(図2)

- ✓未使用品(新品)と劣化状態を仮定(摩耗試験後)した漏水試験の結果について、試験圧力と漏えい量の関係を整理した。
- ✓漏水試験の結果、未使用品(新品)の場合には許容漏えい量に対し、十分に低い値であった。また、劣化状態を仮定した漏えい量についても、わずかに漏えい量に幅があるが、許容漏えい量(未使用品の場合)に対しては、十分に少ない値であり、水密ゴムの性能に影響のない範囲であった。

## 4. 止水機構の漏水量評価

◆水密ゴム単体の性能について前項にて評価したが、ここでは、安全側の評価として③砂除けの損傷し、砂、礫、小型植生等が④止水板に到達し、底面水密ゴムと④止水板が機能喪失した場合を想定した漏れい量評価を実施した。その結果、両方のケースにおいても隣接する安全系ポンプの安全機能に影響を与える浸水量ではなかった。

	【ケース1】 止水板の水密ゴムが全て破損した場合	【ケース2】 止水板1枚の機能が喪失した場合
概要	止水板1枚(2m)の底面水密ゴムからの浸水量の算出結果に基づき、止水板全体の水密ゴムが損傷した場合の浸水量評価を行う。 (底面・側面水密ゴム(各50m)合計100m)	止水板1枚(2m)の機能が喪失した場合を想定し漏水量を評価した。 (開口部は止水板がない場合の鋼製防護壁と底面戸当りの隙間部(最大170mm)から評価した。)
説明図	<p>図1 底面水密ゴムの損傷想定位置</p>	<p>図2 止水板が機能喪失した場合の浸水位置</p>
漏水量／浸水深	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆1枚(2m)あたり : 漏水量: 66m<sup>3</sup>/10分, 浸水深 約0.03m (T.P.+3m)</li> <li>◆水密ゴム全体(100m) : 3300m<sup>3</sup>/10分, 浸水深 約1.1m (T.P.+3m)</li> </ul>	◆漏水量3726m <sup>3</sup> /10分, 浸水深 約1.2m (T.P.+3m)
許容高さ	T.P.約+6.59m (海水ポンプ室壁高さ)	
浸水エリア	<p>図3 海水ポンプ室浸水エリア</p>	

**【指摘事項】**

止水機構の追従性に係る解析方針について、水密ゴムの劣化状態を模擬した摩擦係数0.4の考え方等を説明すること。

**【回答概要】**

水密ゴム(ライニング含む)の物性値及び摩耗試験の水密ゴムの摩耗状況の結果から、水密ゴムの摩擦係数の考え方を整理し、二次元動的解析における劣化状態を模擬した摩擦係数の設定の考え方を示す。



# 1. 止水機構の水密ゴムの動的解析に用いる摩擦係数の設定の考え方(1/3)

- ◆ 止水板は底面水密ゴム及び側面水密ゴムが、それぞれ底面戸当り及び側面戸当りに接触することで位置決めされ止水性能が確保される。
- ◆ 地震により止水板が加振された場合、水密ゴムがそれぞれの戸当りと摺動するが、この際、摩擦係数が高いと止水板の動きが拘束され、本来の止水性能に影響することが予想されるため、水密ゴム表面にライニング(超高分子量ポリエチレン)を施すことにより摩擦係数の低減を図っている。ダム・堰施設技術基準(案)では、水密ゴムに求める摩擦係数が規定されており、上記のライニング等が施工されている場合は0.2とされている。
- ◆ このため、実機に使用する水密ゴム及びライニング材の物性値について試験により確認するとともに、供用後の劣化状況を把握するため、摩耗試験を実施した。以降、これら確認・試験結果を示すとともに、二次元動的解析における摩擦係数0.4の設定の考え方を示す。

## 1. 水密ゴムの物性値の確認結果

水密ゴム(クロロプレン系合成ゴム)の物性値は以下の通り(表1)。

表1 水密ゴムの物性値

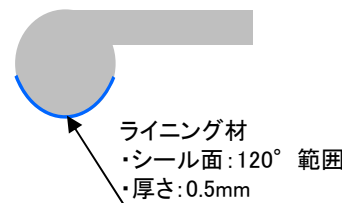
試験項目		物性値	規格値	試験条件 試験方法	備考	
通常	硬さ (DURO-A型)	55	55±5	JIS K 6253		
	引張り 強さ	(MPa)	16.3	14.7以上	JIS K 6251	
		(kgf/cm <sup>2</sup> )	166	150以上		
伸び(%)	500	300以上				
劣化 加速	硬さ (DURO-A型)	+1	+10以内	JIS K 6257	70°C×70hr	
	引張り強さ変化率(%)	+2	-15以内			
	伸び変化率(%)	-4	-25以内	JIS K 6258	70°C×70hr	

## 2. ライニングの物性値の確認結果

ライニング(超高分子量ポリエチレン)の物性値は以下の通り(表2)。

表2 超高分子量ポリエチレンの物性値

項目	物性値
引張り強さ(MPa)	44
伸び(%)	450
硬度(Rスケール)	40
摩擦係数 (相手:ステンレス)	○静摩擦係数 0.10~0.20(乾式) ○動摩擦係数: 0.07~0.22(乾式) 0.05~0.10(湿式)



### 【ダム・堰施設技術基準(案)】

水密ゴム(ライニングあり)とステンレスの摩擦係数は、0.2(乾式)、0.1(湿式)と記載がある。

# 1. 止水機構の水密ゴムの動的解析に用いる摩擦係数の設定の考え方(2/3)

## 3. 水密ゴムの摩耗試験

### 【目的】

表面にライニングされた水密ゴムに対し、摩耗試験装置により供用後約20年相当の移動量を与え、ライニングの摩耗量を計測することにより、ライニング残存状況を確認し、摩擦係数が維持できるか確認する。

### 【試験条件】

以下の条件にて水密ゴムの摩耗試験を実施した。

<加振条件>(図1)

①温度変化による移動(道路橋示方書に準拠)

・温度変化：1サイクル/日×365日×20年=7300回

②地震加振による移動

・震度3以上震度4まで：41回※/年×(20年/5年)

= 164回+30(裕度)=194回

※:気象庁HPより 東海村実績2010.1~2015/1まで41回)

・地震の継続時間 50秒×194回=9700秒

③大規模地震加振による移動 (Ss相当, 余震+津波荷重)

・最大加速度×1.5倍で加振

<環境条件>(図2)

①砂噛込み：現地砂を使用

②水圧を考慮：0.17MPa※

※:防潮堤天端高さ(T.P.+20m)~設置地盤標高(T.P.+3m)を差引いた値

### 【試験結果】

- ✓水密ゴムの摩耗量は、最大で0.36mmであった(2回実施)。
- ✓ライニングの初期厚さ0.5mmに対して、摩耗試験後においてもライニングが残存しており、水密性の確保及び摩擦係数は維持できる結果であった(図3)。

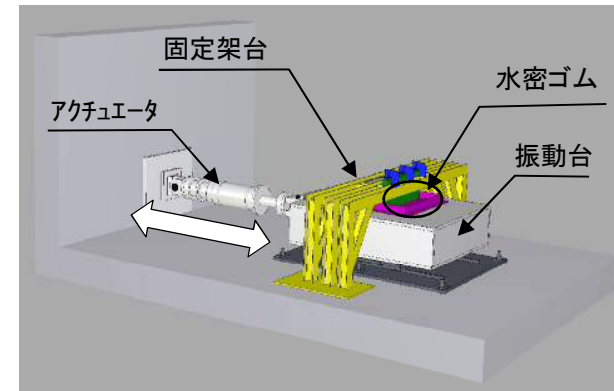


図1 摩耗試験装置の概要

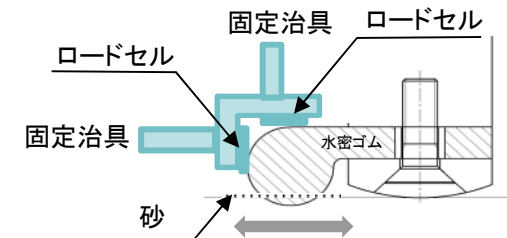


図2 水密ゴム摩耗概要  
(余震時+津波荷重)

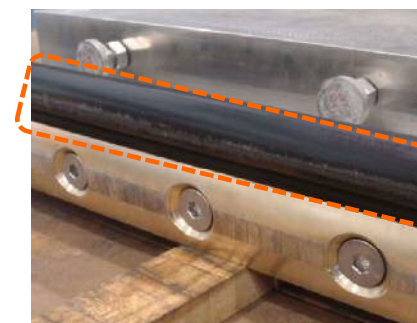


図3 摩耗試験後の水密ゴム

# 1. 止水機構の水密ゴムの動的解析に用いる摩擦係数の設定の考え方(3/3)

## 4. 二次元動的解析における摩擦係数の設定

以下に二次元動的解析に用いる摩擦係数の考え方について示す。

### <摩擦係数の整理>

#### ①水密ゴムの物性値

✓静摩擦係数は最大0.2(乾式), 動摩擦係数は最大0.22(乾式)

#### ②摩耗試験の結果

✓水密ゴムに約20年間の移動量を与えても, 水密ゴムのライニングの摩耗量は初期厚さ0.5mmに対して0.36mmであり, ライニングは残存

✓このため, 供用後においても摩擦係数は物性値上の0.2を維持

#### ③ダム・堰施設技術基準(案)

✓水密ゴム(ライニングあり)とステンレスの摩擦係数は, 未使用品において0.2(乾式), 0.1(湿式)とあり, 摩耗試験後においても基準に適合

✓なお, 止水板(接触面:アルミニウム)と底面戸当り(ステンレス)間の摩擦係数は0.4

### <二次元動的解析における摩擦係数の設定>

#### ①通常状態

✓二次元動的解析時における摩擦係数は, 約20年相当の移動量に対してもライニングが維持できること, また, ライニングの維持管理を十分に実施することから0.2を採用

#### ②劣化傾向模擬

✓上記状況を踏まえると, 水密ゴムの劣化傾向を模擬した解析は不要と考えられるが, 不測の事態を考慮してライニングの一部が喪失した状態を想定

✓劣化傾向を模擬した二次元動的解析においては, 保守的に通常の2倍の摩擦係数である0.4を設定し, 止水機構の挙動を確認

### <水密ゴムの維持管理方針>

水密ゴムの通常の維持管理として, 外観点検(摩耗の有無等)及び定期的な硬度測定を実施し, 水密ゴムの摩耗や劣化の兆候について傾向を管理する。

<二次元動的解析の評価条件>  
(第513回審査会合(H29.9.26)資料 一部加筆)

◆解析コード:MARC (大規模解析対応非線形解析)

◆地震動:基準地震動 $S_s$

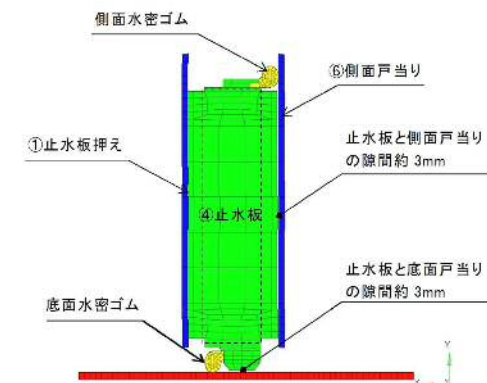
◆解析ケース:3ケース  
地震時, 津波時, 津波+余震時

◆水密ゴム摩擦係数:  
0. 2(ダム・堰施設技術基準(案))  
0. 4(劣化傾向模擬)

◆金属間摩擦係数 (止水板と底面戸当り): 0. 4

◆評価対象部位:  
・ 底面水密ゴム  
・ 側面水密ゴム  
・ ④止水板  
・ その他の部材は, 必要に応じて評価

◆許容限界:  
・ 水密ゴム : 引張り強度, 変形量(伸び)  
・ 止水板, その他の部材 : 弾性設計範囲内



**【指摘事項】**

止水機構の構成部材の損傷モードを網羅的に抽出し、設計への考慮を示すこと。

**【回答概要】**

止水機構の設計フローについて説明し、今後の設計方針の考え方を説明する。  
また、構造部材の損傷モードを抽出し、地震時、津波時における損傷モードに基づいた設計方針を説明する。

# 1. 止水機構の損傷モードの抽出と設計方針について(1/3)



◆鋼製防護壁の止水機構の構成部材における損傷モードについて整理するとともに、設計方針について表1に整理した。  
また、図1、図2に構成部品の概要を示す。

表1 止水機構の構成部材の損傷モードにおける設計方針(1/2)

構成部材の設計			損傷要因	設計方針	信頼性向上のための設計 (詳細設計)
構成部材	応力等の状態	損傷モード	上段(◆印) : 地震時 下段(●印) : 津波時	上段(◇印) : 地震時 下段(○印) : 津波時	
①止水板押え	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	◆鋼製防護壁との取合い部に応力が発生し損傷する ◆④止水板との接触により損傷する。	◇構造部材設計 鋼製防護壁との取付けボルトについて短期許容応力度以下になるよう設計する。 ◇二次元動的解析 動的解析を実施し④止水板の挙動について確認する。	三次元動的解析を実施する。
			●津波波力, 漂流物の衝突により損傷する。	○構造部材設計 津波荷重, 漂流物の衝突荷重を考慮し短期許容応力度以下になるよう設計する。	
②保護プレート	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	◆①止水板押えとの取合い部に応力が発生し損傷する。	◇構造部材設計 構造上1~1.5m間隔で①止水板押えにボルトにより固定している。 取付けボルトについて短期許容応力度以下になるよう設計する。	
			●漂流物荷重の衝突により変形する。	○構造部材設計 構造上1~1.5m間隔で①止水板押えにボルトにより固定している。 このため, 保護プレートが変形し漂流物化することはない。	

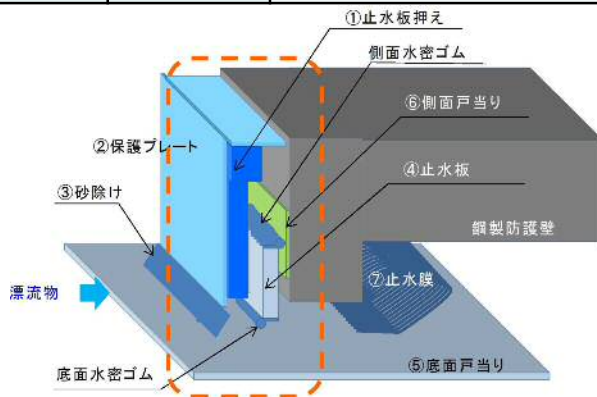


図1 鋼製防護壁の概要

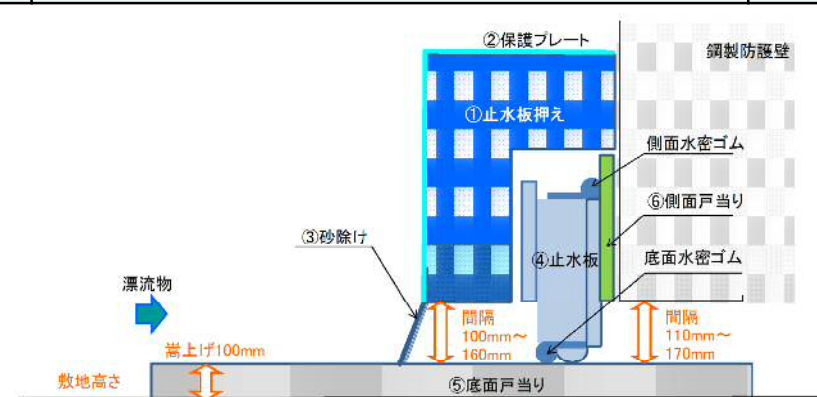


図2 各構成部品の概要

# 1. 止水機構の損傷モードの抽出と設計方針について(2/3)



表1 止水機構の構成部材の損傷モードにおける設計方針(2/2)

構成部材の設計		損傷モード	設計方針	信頼性向上のための設計 (詳細設計)	
構成部材	応力等の状態	損傷モード	設計方針		
④止水板 ⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	<p>◆①止水板押えとの接触により④止水板が接触し損傷する。</p> <p>◆地震時に④止水板が浮上り等により固着し水密性を損なう。</p> <p>◆④止水板の挙動により戸当りが損傷し、水密性を損なう。</p>	<p>◇構造部材設計</p> <p>①止水板押えから受ける荷重と⑥側面戸当りへの荷重について考慮し短期許容応力度以下になるよう設計する。</p> <p>◇二次元動的解析</p> <p>動的解析を実施し④止水板の挙動について確認する。</p>	三次元動的解析を実施する。
		●①止水板押えの隙間部(100mm~160mm)より漂流物が侵入し止水板に衝突する。	○構造部材設計	<p>①止水板押えの隙間部(100mm~160mm)から大型の漂流物が入らないよう設計している。また、③砂除けを設置しており砂の混入も防いでいる。④止水板は構造上、小型の漂流物にも耐えるよう設計する。</p>	止水機構の多重化を検討する。
底面水密ゴム 側面水密ゴム	応力, 接触面圧, 変形量	有意な漏えいに至る変形, 引張り	<p>◆④止水板の挙動により水密ゴムが損傷し水密性を喪失おそれがある。</p> <p>◆水密ゴムの著しい摩耗</p>	<p>◇構造部材設計</p> <p>水密ゴムにライニングを施し摩擦抵抗を低減させ追従性を高める。</p> <p>◇摩耗試験</p> <p>実機に近い環境条件にて約20年相当の摩耗試験を実施しライニングの耐久性を確認する。</p> <p>◇二次元動的解析</p> <p>動的解析を実施し水密ゴム(側面・底面)の挙動について確認する。</p>	三次元動的解析を実施する。
		●④止水板押えの隙間部(100mm~160mm)より漂流物が侵入し底面水密ゴムに衝突する。	○構造部材設計	<p>・①止水板押えの隙間部(100mm~160mm)から大型の漂流物が入らないよう設計している。また、③砂除けを設置しており砂の混入を防いでいる。</p> <p>・漏水評価</p> <p>水密ゴムが想定外の事象により損傷した場合の敷地内への浸水量評価を実施し影響のないことを確認する。</p> <p>・通常の維持管理として外観点検(摩耗の有無等)及び定期的な硬度測定によるトレンド管理を実施し、兆候について傾向を管理する。</p>	止水機構の多重化を検討する。

# 1. 止水機構の損傷モードの抽出と設計方針について(3/3)

## ◆止水板における小型漂流物の評価について

### 【目的】

止水機構は、鋼製防護壁の底面と既設取水路の応答変位の違いにより相対変位が生じるため、①止水板押えと⑤底部戸当りの間に100～160mmの隙間を考慮している。

小型の漂流物を想定すると上記の隙間に入り込む可能性があることから、小型の漂流物による④止水板への影響について評価する。

図1に小型漂流物の流入経路について示す。

### 【止水板の漂流物の衝突荷重の考え方】

(1) 止水板まで通過の可能性が高いもの  
砂、礫、小型植生(枝葉、樹皮)、その他小物の異物  
そのうち、小型の植生を選定した。

(2) 小型植生の重量の算定  
東海発電所北側の植生調査(H28年度)より  
地震後の漂流物を想定し①止水板押えと⑤底面戸当りの間は100mm以下の植生とした。

- ・平均直径:0.06m
- ・平均樹高:6m
- ・重量の算定式(建築空間の緑化手法1988より)

$$W = k \cdot \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H \cdot w(1+p)$$

$$= 18.7\text{kg} \approx 19\text{kg}$$

d=目通直径 0.06m(平均直径)  
H=樹高 10m (6m+成長分4m)  
k=樹幹形状係数(概算の場合0.5)  
w=樹幹の単位体積重量(1100kg/m<sup>3</sup>)  
p=枝葉の多少による割合(1.2)

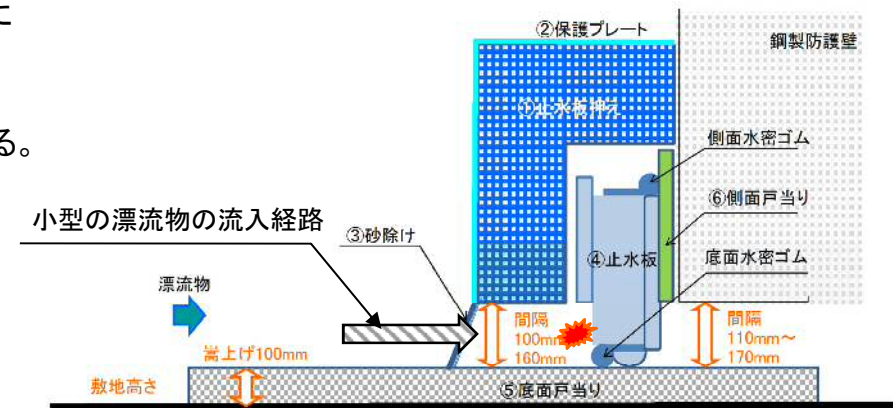


図1 小型漂流物の流入経路

(3) 漂流物荷重の算定(道路橋示方書)

$$P = 0.1 \cdot W \cdot V$$

$$= 0.1 \times 19 \times 9.8 \times 10 = 0.19\text{kN}$$

P : 漂流物衝突荷重(kN)

W : 漂流物の重量(kg)

V : 流速(m/s)

(4) 止水板の設計

・許容限界 : 短期許容応力度 × 1.5倍

・許容応力 : 240kN

漂流物荷重0.19kNに対し許容限界は240kNであり、十分な裕度を確認した。

## 2. 止水機構の更なる信頼性向上の検討について

### ◆設計方針

止水機構を採用するにあたり、設計を超える事象を考慮した浸水量評価により安全機能に影響のないことを確認するとともに、小型漂流物の衝突による止水板の影響について評価を実施し問題のないことを確認した。

しかしながら更なる対策として、信頼性向上を図るため、止水板の多重化を検討する。

### 【目的】

- ✓ 止水機構は、鋼製防護壁の底面と既設取水路の応答変位の違いにより相対変位が生じるため、①止水板押えと底部戸当りの間に100～160mmの隙間を考慮している。
- ✓ 上記寸法を超える漂流物は止水板まで到達しないが、小型の漂流物を想定すると隙間に入り込み、止水板に設置した底部水密ゴムや止水板本体を損傷させる可能性がある。
- ✓ また、水密ゴムの劣化傾向管理に基づく補修、取替が発生した場合、止水機構の機能に期待できない期間が生じる。
- ✓ このため、現在の止水機構の堤内側にバックアップとしての止水機構の設置を検討する。

図1に小型漂流物の流入経路、図2に止水機構の多重化の例を示す。

### 【バックアップ止水機構の設計概念】

- ✓ 現設計の止水機構の漂流物等による損傷、メンテナンス時の止水防止機能の喪失を考慮して、現設計の止水機構と同等の追従性・止水性を有する機構を検討する（現設計の止水機構又は他の構造候補についても検討）。

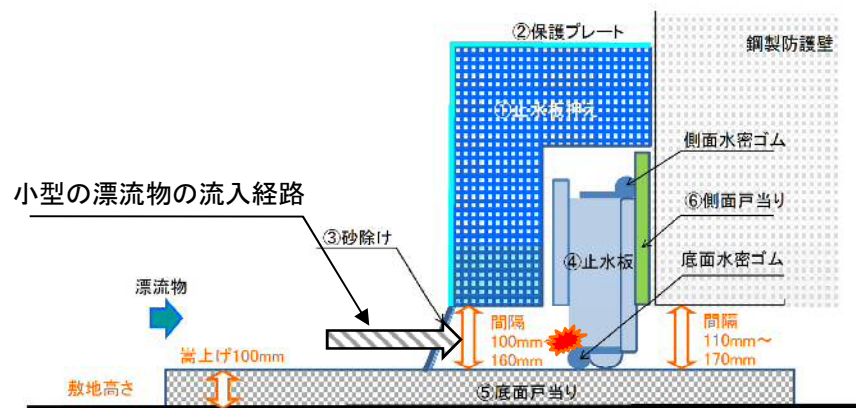


図1 小型漂流物の流入経路

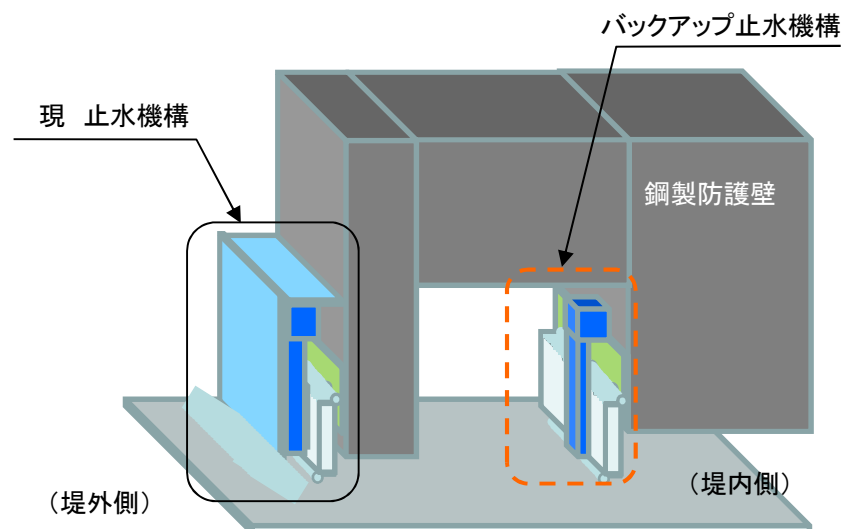


図2 止水機構の多重化の例



【指摘事項】

ソリトン分裂波の影響についてより詳細な考察をしたうえで資料に反映すること。

【回答概要】

- 東海第二発電所に到達する基準津波については、東海沖の海底地形を模擬した水理模型実験および断面二次元津波シミュレーション解析にて、沖合でソリトン分裂波が生じることを確認したが、陸上に遡上する過程で分裂波が減衰し、防潮堤に作用する波圧分布にソリトン分裂波の有意な影響はなく、単直線型の朝倉式に包含されることを確認したことから、単直線型の朝倉式( $3\rho gh$ )を用いた津波荷重の設定を行うこととする。
- 朝倉式に用いる設計用浸水深の設定については、(津波遡上高さ－設置地盤高さ)／2とすることで、水理模型実験結果等から得られた浸水深と比較し、十分に安全側の設定になっていることを確認した。
- なお、水理模型実験や津波シミュレーション解析で得られたフルード数は1.0以下であることから、朝倉式の適用範囲であることを確認した。

# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について ソリトン分裂波の発生の可能性について



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」において以下の2つ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。

- ① おおむね入射津波高さが水深の30%以上（津波シミュレーション解析等による津波高さが水深の60%以上）
- ② 海底勾配が1/100以下程度の遠浅

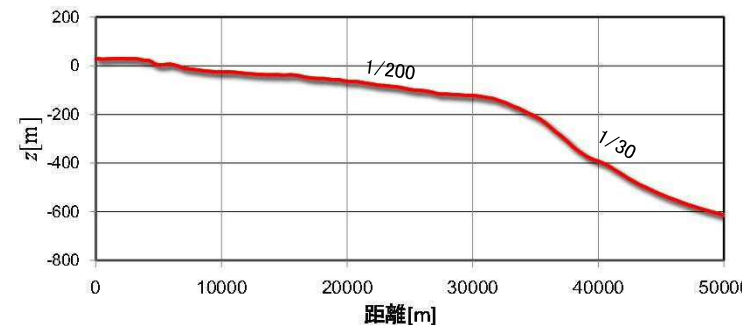
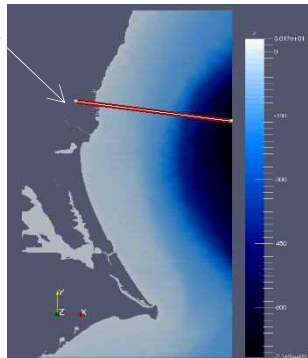
津波高さと水深の関係

地点	(1)水深	(2)入射津波高さ※	(2)/(1)
東海第二発電所前面	7.5m	4.7m	62%

➡ ①に該当する

※津波シミュレーション解析による津波高さの1/2を入射津波高さとして定義(防潮堤の耐津波ガイドライン)

東海第二発電所



➡ ②に該当する

東海第二発電所前面の海底勾配

東海第二発電所前面の海底地形は約1/200と遠浅であり、入射波津波高さと水深の関係も入射津波高さが水深の30%以上であることから、①及び②の条件に合致する。

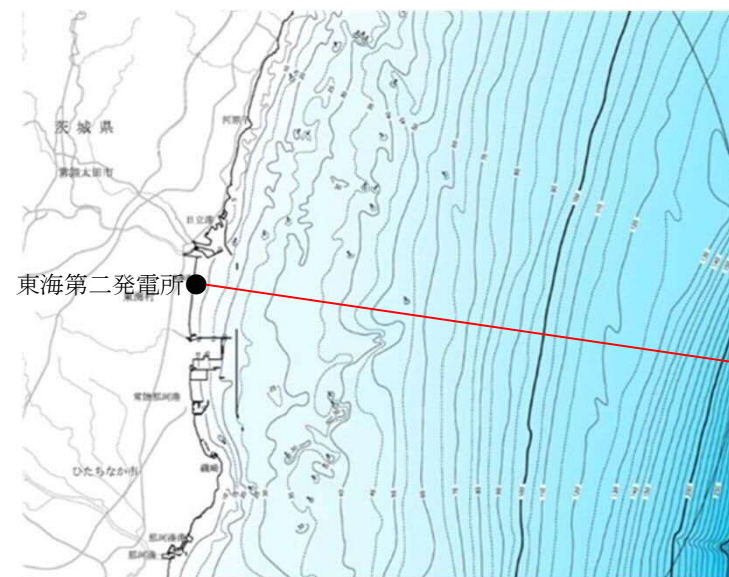
このため、ソリトン分裂波が津波波圧に与える影響を定量的に把握するため、東海第二発電所のサイト特性を考慮した水理模型実験を行い、防潮堤前面の津波波圧を測定した。

# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 水理模型実験内容



## 1. 検討断面

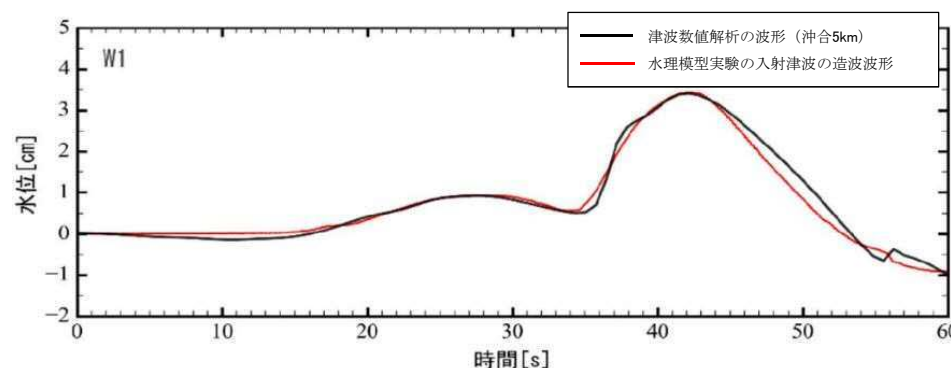
水理模型実験においては、ソリトン分裂波が生じない沖合5.0kmにおける津波波形を入力し、ソリトン分裂波の発生の有無、フルード数の把握、防潮堤位置での津波波圧を把握することを目的に実施した。東海第二発電所前面の海底地形は、概ね一様の地形となっていることから、本実験では、津波水位が最大となる地点を基に、津波の伝播特性を踏まえ、等深線図に直交する断面を選定した。



検討断面位置図

## 2. 入射津波の造波

水理模型実験における再現範囲の最沖地点はソリトン分裂波が発生しない沖合5.0kmの位置とし、基準津波の波源モデルを用いた平面二次元津波シミュレーション解析から求めた同地点における津波波形を入力した。また、この津波波形を防潮堤位置で平面二次元津波シミュレーション解析と同様の高さになるよう振幅を調整した。



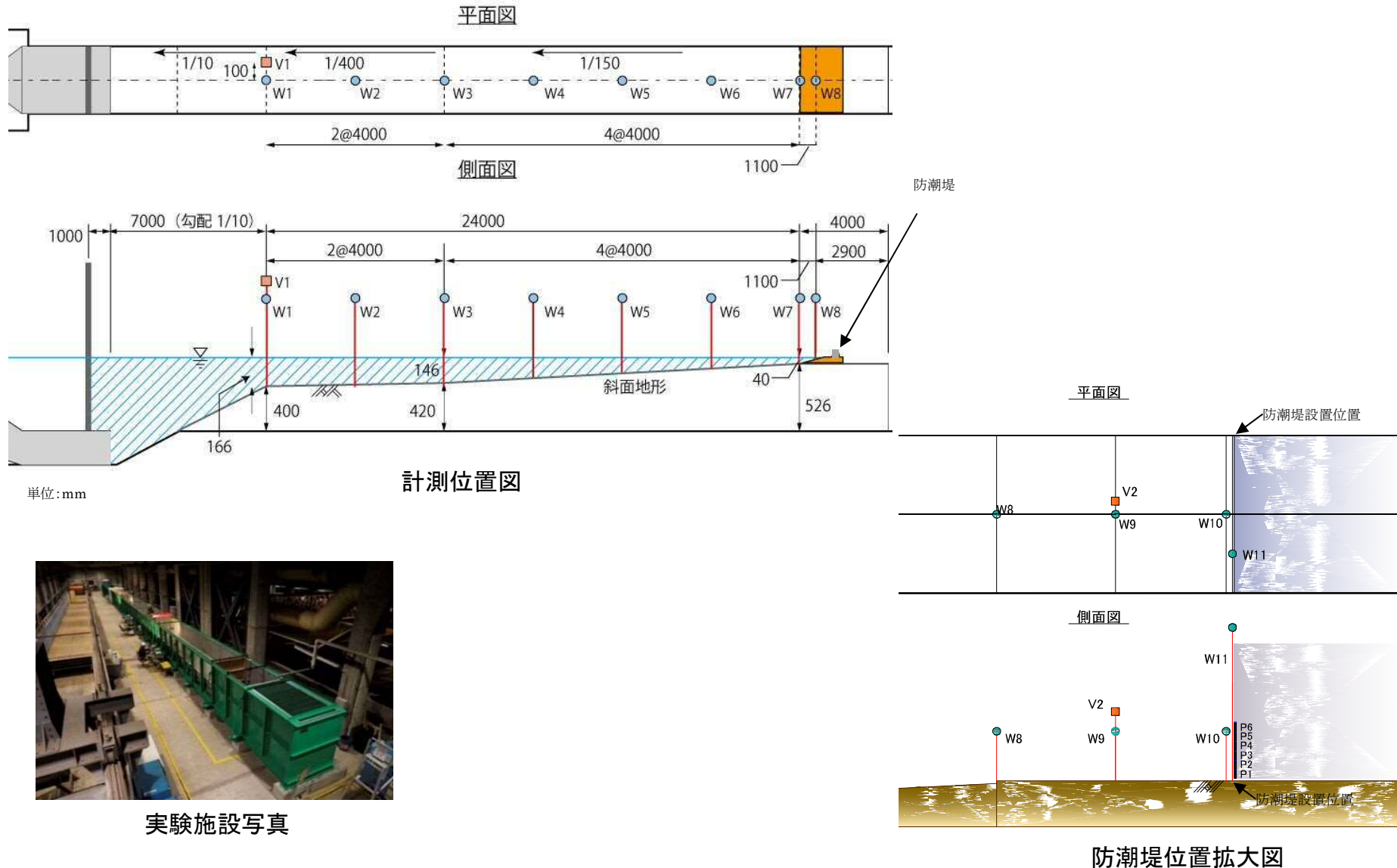
入射津波の造波波形図(沖合5km地点)

# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 水理模型実験内容



## 3. 実験条件

断面二次元実験施設の水路は、長さ60m×幅1.2m(貯水部は1.8m)×高さ1.5mとし、沖合5kmから陸側の範囲を再現するために、実験縮尺(幾何縮尺)は $\lambda=1/200$ とした。



# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 水理模型実験結果(1)

## 4. 水理模型実験の結果

### (1) 水理模型実験におけるソリトン分裂波の確認

水理模型実験を行った結果、目視観察と波高計による計測により沖合約220m地点 (W7) においてソリトン分裂波が生じることを確認した。

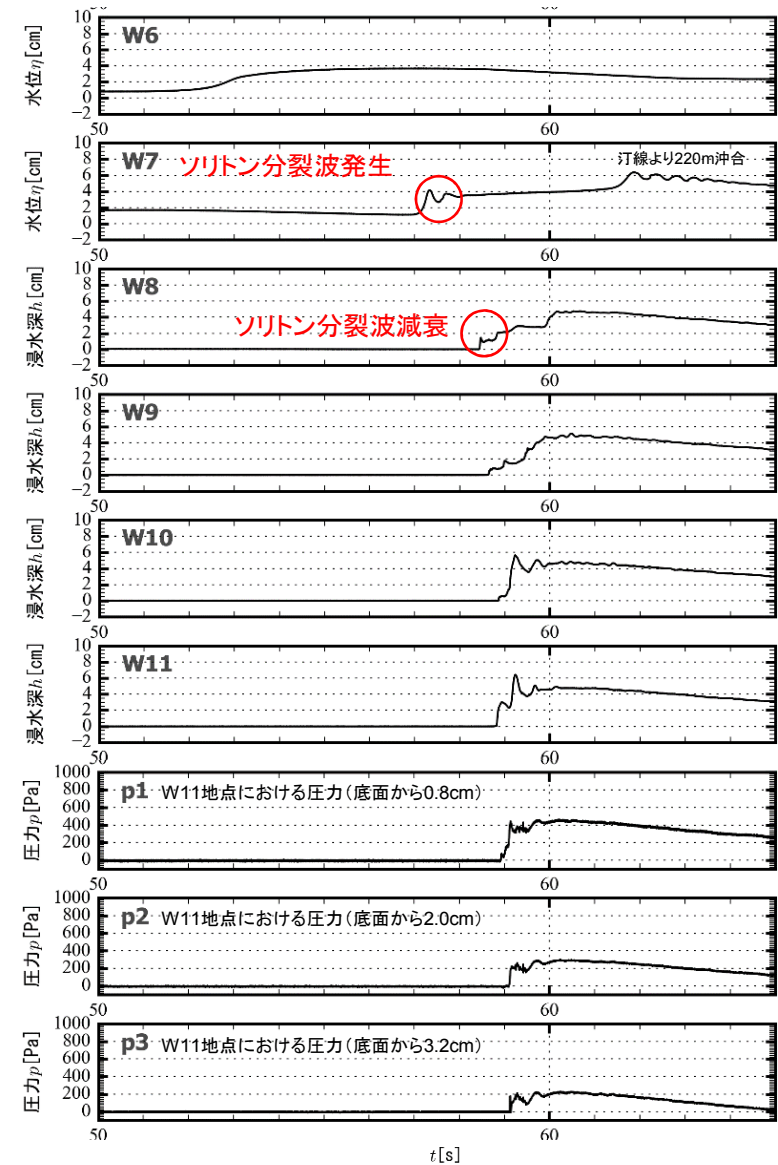
津波はソリトン分裂波を生じるものの、陸上に遡上する過程で分裂波が減衰し、防潮堤位置での有意な波圧分布への影響は認められない。

### (2) フルード数

防潮堤がないモデルで、防潮堤位置の最大浸水深を計測し、同時刻における流速からフルード数を算定した。

その結果、持続波圧を対象とした通過波のフルード数は平均で0.8 (< 1.0) であったことから、水深係数3で津波波圧分布を評価し、防潮堤の設計に適用できることを確認した。

	フルード数 (最大浸水深時)
1回目	0.9
2回目	0.9
3回目	0.6
4回目	0.8
5回目	0.7
6回目	0.9
平均値	0.8



時刻歴データ(防潮堤設置モデル, 幾何縮尺1/200)

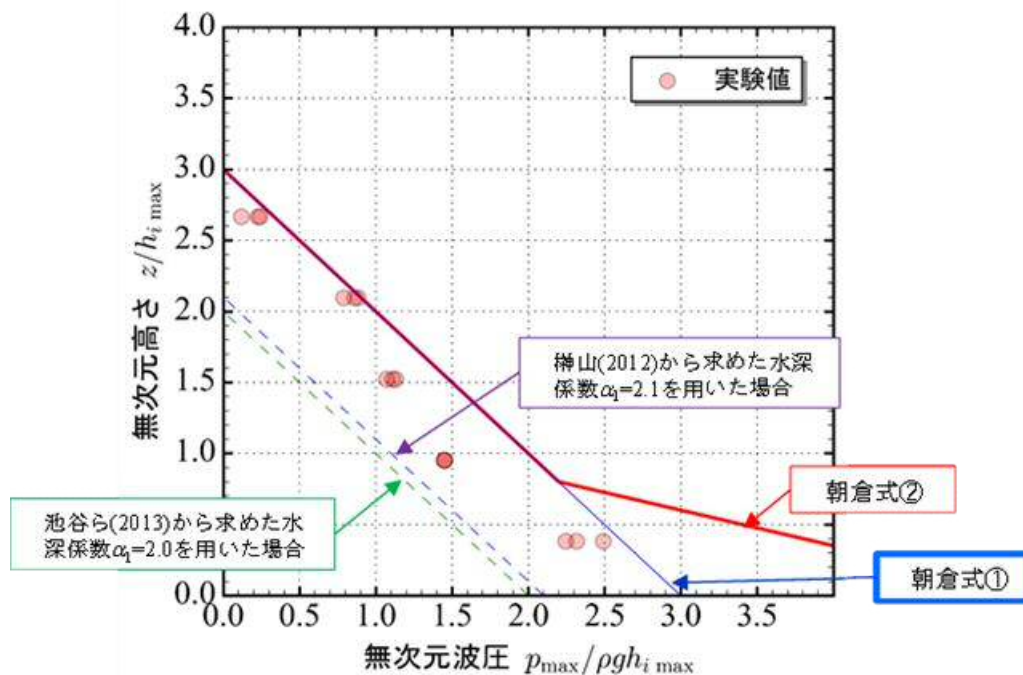
# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 水理模型実験結果(2)



## (3) 防潮堤壁面におけるソリトン分裂波の最大津波波圧

防潮堤壁面における津波波圧計測結果を通過波の最大浸水深で除して無次元化した結果を以下に示す。

東海第二発電所前面海域の地形を模擬した水理模型実験で計測した防潮堤壁面の最大津波波圧は、朝倉式①及び朝倉式②による算定値よりも小さい値となり、朝倉式②のような波圧分布は認められず、朝倉式①と整合する結果となった(朝倉式①の方が津波波圧分布の再現性がよいことを確認した)



- ・朝倉式①: 水理模型実験に基づく実験式。
- ・朝倉式②: 水理模型実験に基づく実験式。
- ・榊山(2012): 榊山(2012): 陸上構造物に作用する津波持続波圧の算定式。水深係数  $\alpha$  が  $\alpha = 1 + 1.4Fr$  で評価できるとした式。
- ・池谷ら(2013): 榊山(2012)と同様な津波持続波圧の算定式。同様に、水深係数が  $Fr$  数の関数であるとして  $\alpha = 1 + 1.3Fr$  で評価できるとした式。

既往の津波波圧算定式との比較 (無次元最大津波波圧分布図)

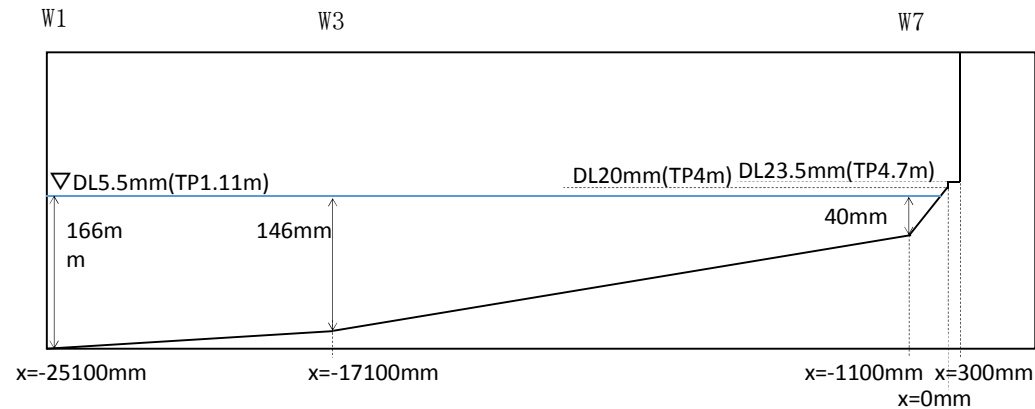
# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 断面二次元津波シミュレーション解析結果（水理模型実験結果の検証）



## 5. 水理模型実験結果の検証（再現性検討）

水理模型実験結果について、断面二次元津波シミュレーション解析を実施し、防潮堤位置での津波波圧算定式が朝倉式①で妥当であることを検証した。断面二次元シミュレーション解析は、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/2D (Ver. 5.1) を用いた。

水理模型実験でモデル化した区間と同じ区間を解析領域とし、入射波は水理模型実験の入力波形に合わせて作成した。



解析モデル図（幾何縮尺1/200）

# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 断面二次元津波シミュレーション解析結果（水理模型実験結果の検証）

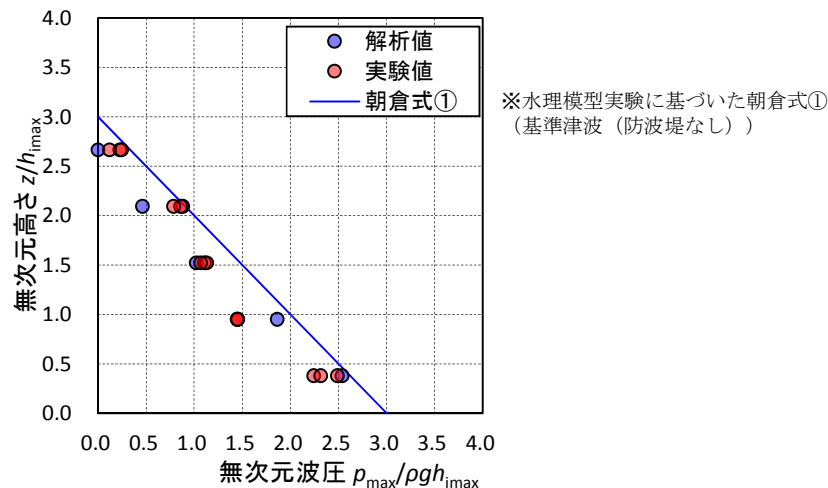


## 5. 水理模型実験結果の検証（再現性検討）

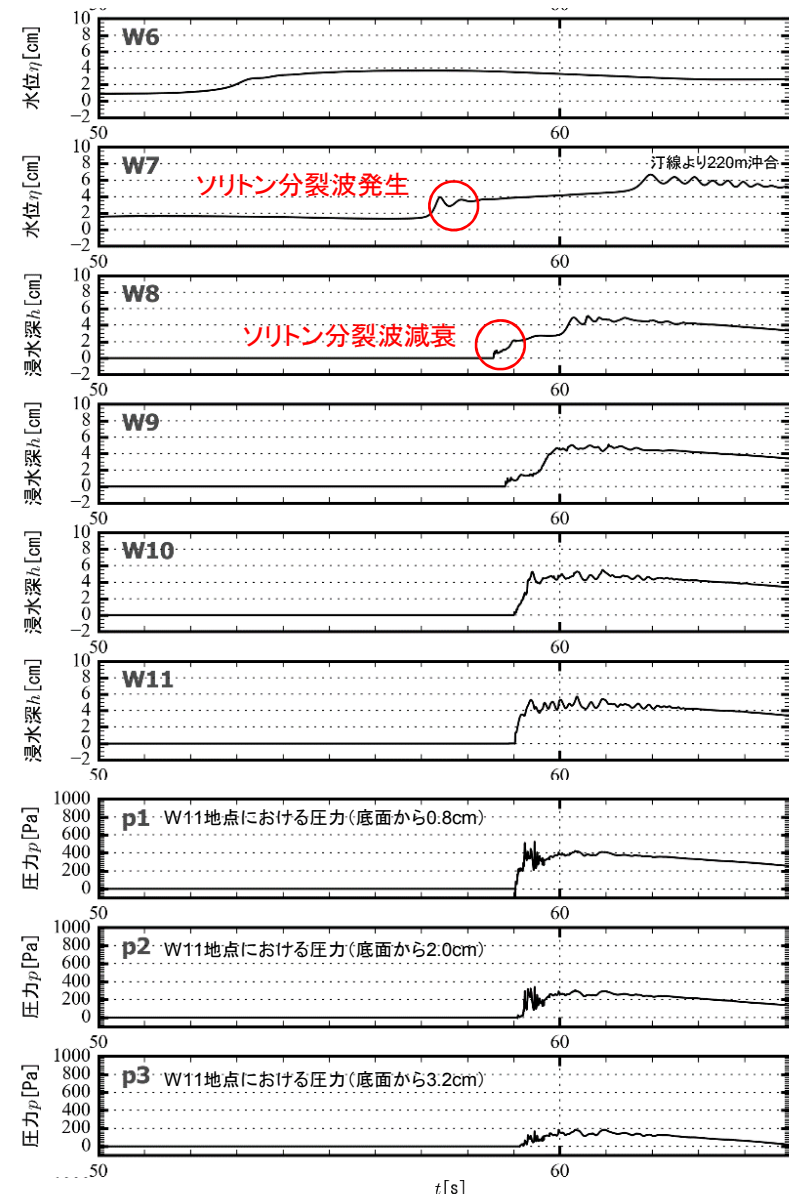
断面二次元津波シミュレーション解析の結果，水理模型実験結果と同様，沖合約220m地点（W7）においてソリトン分裂波が確認された。

津波はソリトン分裂波を生じるものの，陸上に遡上する過程で分裂波は減衰し，防潮堤位置での有意な波圧分布への影響は認められない。

防潮堤壁面に作用する津波波圧は実験値とほぼ同等のものとなり，朝倉式①による波圧分布を下回るとともに，朝倉式②のような波圧分布は認められず，朝倉式①と整合する結果となった。



断面二次元津波シミュレーション解析結果図  
(最大波圧分布図)



時刻歴データ(防潮堤設置モデル, 幾何縮尺1/200)



# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 断面二次元津波シミュレーション解析結果(海岸線との離隔距離の影響検討)

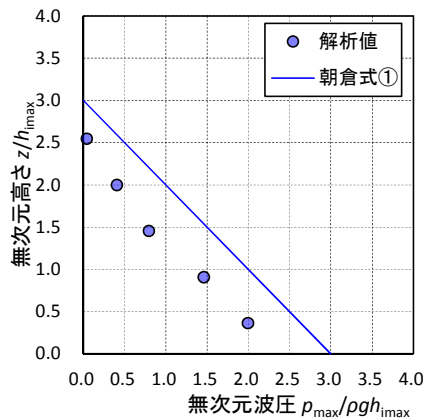


## 6. 防潮堤と海岸線との離隔距離の違いが津波波圧に与える影響検討

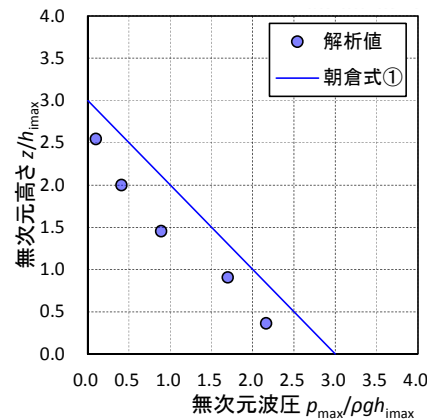
防潮堤の設置位置は、海岸線から最も近いところで約30mであり、水理模型実験では海岸線と防潮堤の離隔距離が約60m地点の断面（津波水位が最も高くなる地点）をモデル化した。

海岸線と防潮堤の離隔距離を30m, 45m, 60m, 75mと変化させた場合のソリトン分裂波の影響について検討を行った。入力波形は基準津波を用いて実施した。

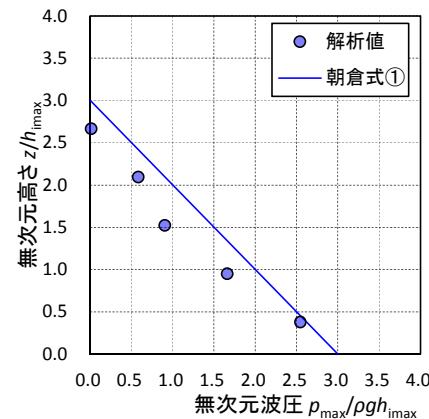
その結果、防潮堤と海岸線との離隔距離が津波波圧に与える影響は認められず、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、分布形は朝倉式①と整合する結果となった。



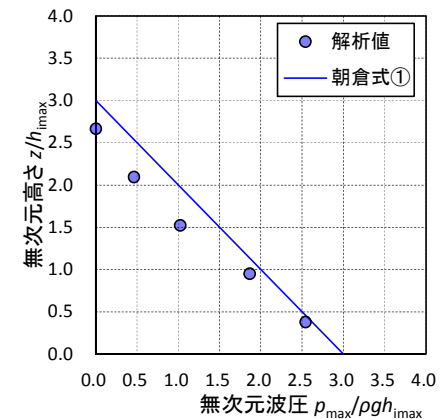
離隔距離30m



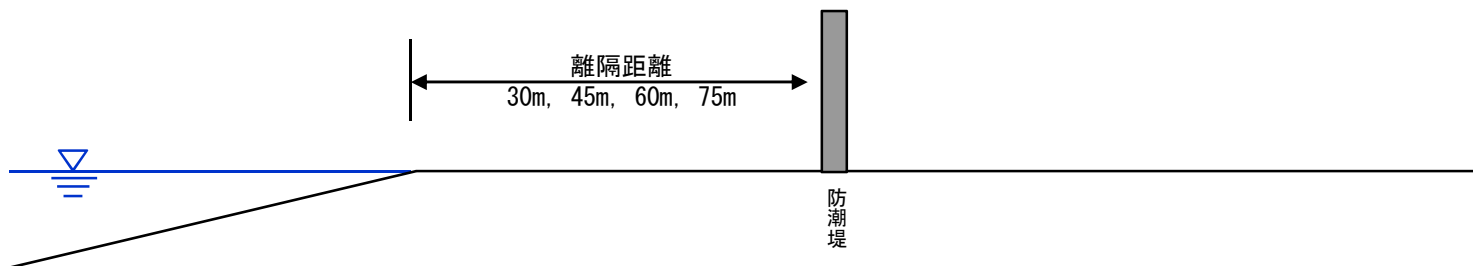
離隔距離45m



離隔距離60m



離隔距離75m



# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 断面二次元津波シミュレーション解析結果(津波遡上高さの影響について)



## 7. 津波遡上高さが異なる津波が防潮堤に与える影響について

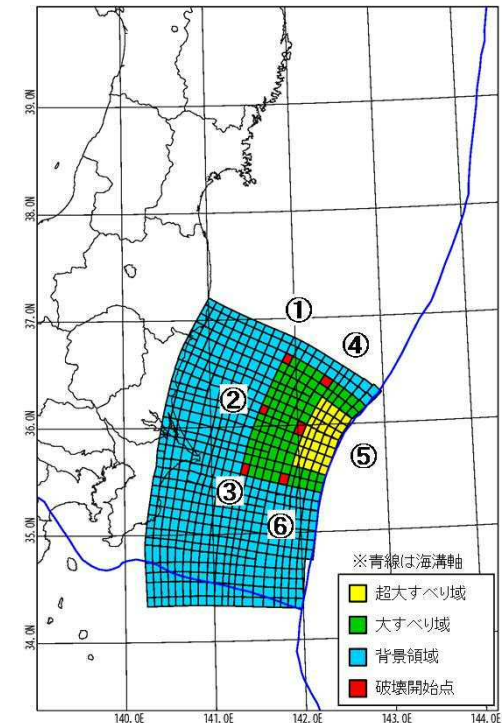
基準津波の決定に当たっては、平面二次元津波シミュレーション解析において、断層の破壊開始点位置や破壊伝播速度等をパラメータスタディした中で、防潮堤位置での津波遡上高さが最も高くなる波を抽出している。

防潮堤位置での津波遡上高さが大きい上位10波の沖合波形（沖合5km地点）を用いて、防潮堤壁面の津波波圧を確認した。

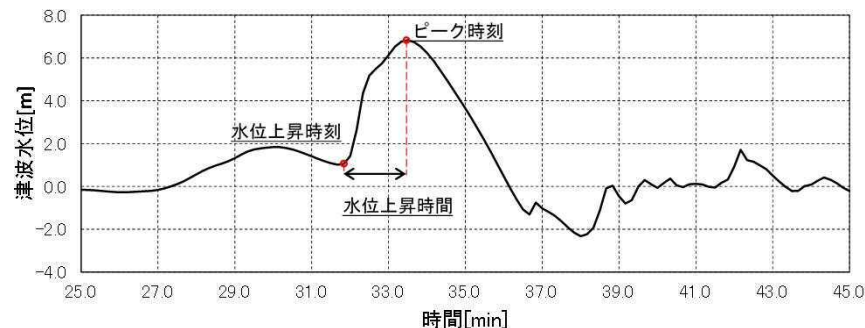
ケース	津波遡上高さ (T.P.(m))	水位上昇 時間[min]	破壊伝播 速度 [km/s]	破壊 開始点	立ち上り 時間 [s]
1(基準津波)	17.2	1.5	3.0	⑥	30.0
2	17.0	1.5	2.5	⑥	30.0
3	16.8	1.5	3.0	⑥	60.0
4	16.2	1.7	2.0	⑥	30.0
5	16.1	1.5	3.0	④	30.0
6	15.9	1.7	3.0	③	30.0
7	15.8	1.7	3.0	⑤	30.0
8	15.6	1.7	2.5	④	30.0
9	15.5	1.8	1.5	⑥	30.0
10	15.5	1.7	3.0	①	30.0

※破壊伝播速度：破壊開始点から断層破壊が進行する速度

※立ち上り時間：断層のある点において破壊開始から終了するまでの時間



破壊開始点位置図



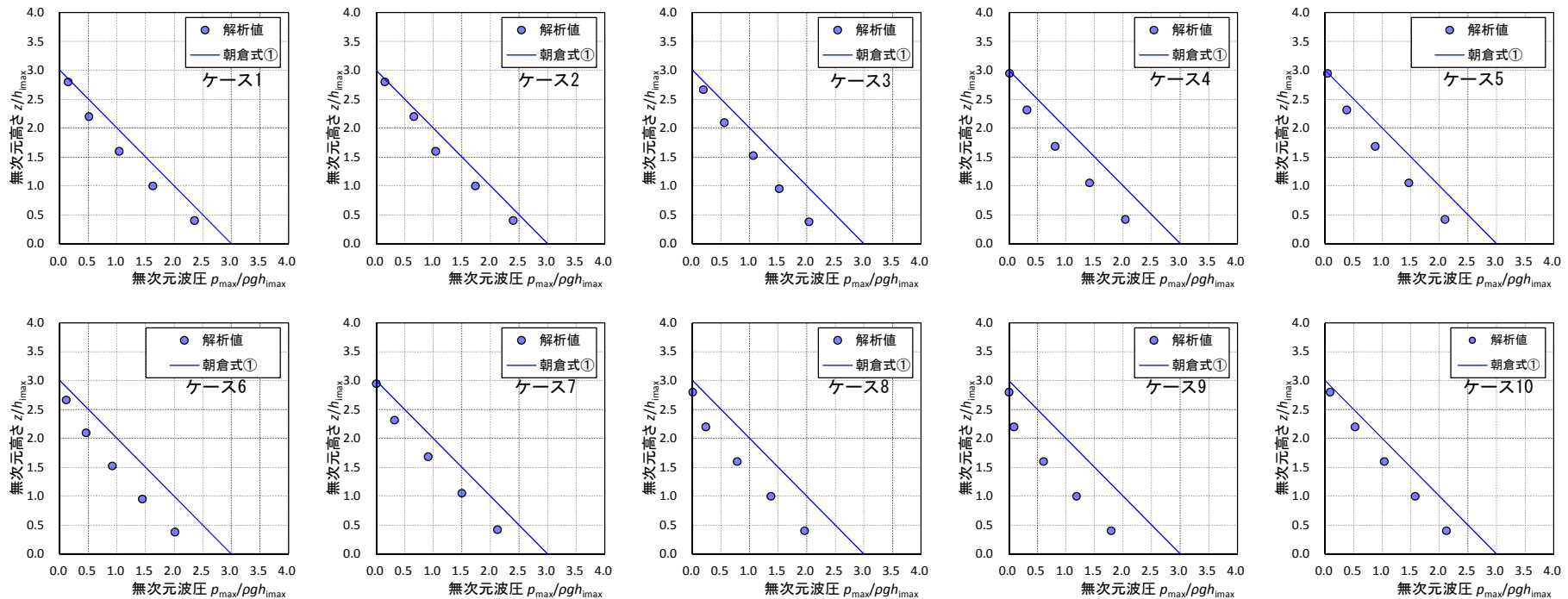
水位上昇時間の定義図

# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について 断面二次元津波シミュレーション解析結果(津波遡上高さの影響について)



いずれのケースにおいても、津波はソリトン分裂波を生じるものの、防潮堤前面位置では明確に分裂波の影響はみられない。また、防潮堤壁面における最大波圧分布は、朝倉式①による波圧分布を下回る結果となった。

津波は、周期が短いほど分裂波(段波)が発生しやすくなるとともに、分裂波が成長し易くなるとされている。上位10波において最も周期が短いものはケース1(基準津波)であることから、基準津波が最もソリトン分裂波の影響を受けると考えられるが、いずれのケースにおいても、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、分布形は朝倉式①と整合する結果となった。



# 1. サイト特性を反映した防潮堤に作用する津波波圧の把握について まとめ



東海発電所に襲来する津波にソリトン分裂波が生じることを水理模型実験等により確認したが、陸上に遡上する過程で分裂波は減衰し、防潮堤前面位置では波圧分布に分裂波の影響はなく、単直線型の朝倉式に包含されることが確認されたことから、耐津波設計において算定する津波荷重については、単直線型の朝倉式を用いることとする。

水理模型実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>水理模型実験を行った結果、目視観察と波高計による計測により沖合約220m地点（W7）においてソリトン分裂波が生じることを確認したが、陸上に遡上する過程で分裂波が減衰し、防潮堤に対する波圧分布への有意な影響はなく、単直線型の朝倉式①に包含されることが確認された。</li> <li>防潮堤壁面の最大津波波圧は、単直線型の朝倉式①に包絡され、朝倉式①による津波波圧分布の再現性がよいことを確認した。</li> </ul>
断面二次元 津波シミュレーション解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面二次元津波シミュレーション解析の結果、水理模型実験結果と同様、沖合約220m地点（W7）においてソリトン分裂波を生じるものの、陸上に遡上する過程で分裂波が減衰し、防潮堤壁面に作用する津波波圧は水理模型実験結果とほぼ同等のものとなり、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、整合する結果となった。</li> <li>海岸線と防潮堤の離隔距離を30m, 45m, 60m, 75mと変化させた場合のソリトン分裂波の影響について検討を行った結果、防潮堤と海岸線との離隔距離が津波波圧に与える影響は認められず、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、分布形は朝倉式①と整合する結果となった。</li> <li>平面二次元津波シミュレーション解析において、断層の破壊開始点位置や破壊伝播速度等をパラメータスタディした中で、防潮堤位置での津波遡上高さが最も高くなる波を抽出しているが、防潮堤位置での津波遡上高さが大きい上位10波の沖合波形（沖合5km地点）を用いて、防潮堤壁面の津波波圧を確認した結果、いずれのケースにおいても、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、分布形は朝倉式①と整合する結果となった。</li> </ul>

## 2. 津波波圧算定式適用に対する考え方 浸水深の設定



### ■ 浸水深の設定

- 朝倉式の適用を検討するために、水理模型実験および平面二次元津波シミュレーション解析で得られた浸水深を用いてフルード数を確認した。
- 平面二次元津波シミュレーション解析は、敷地をT.P.+3.0mフラット地形とし、海岸および陸上構造物を設けず、反射波の影響がないモデルを用いた。
- 平面二次元津波シミュレーション解析及び水理模型実験で確認したフルード数は、いずれも1.0以下であり、朝倉式の適用が可能である。



T.P.+3.0mの範囲の浸水深にてフルード数を算出

平面二次元津波シミュレーション解析モデル  
T.P.+3.0mフラット地形モデル

水理模型実験のフルード数

	フルード数 (最大浸水深時)
1回目	0.9
2回目	0.9
3回目	0.6
4回目	0.8
5回目	0.7
6回目	0.9
平均値	0.8

平面二次元津波シミュレーション解析のフルード数

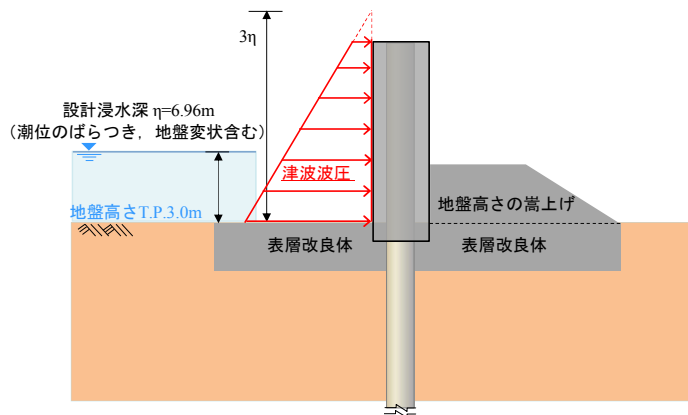
	最大浸水深 (m)	フルード数 (最大浸水深時)
1	5.206	0.60
2	5.027	0.49
3	4.671	0.45
4	5.057	0.66
5	5.276	0.59
6	5.188	0.60

## 2. 津波波圧算定式適用に対する考え方 浸水深の設定

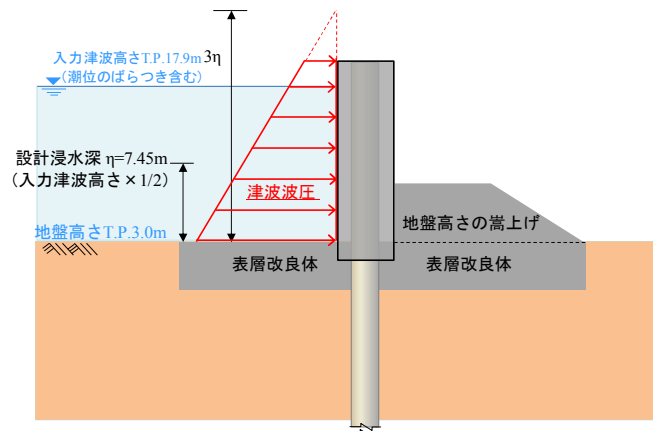
### ■ 浸水深の設定

設計用浸水深は、津波の最大遡上高さとして設置地盤高さの差の1/2とする。設定理由は以下のとおり。

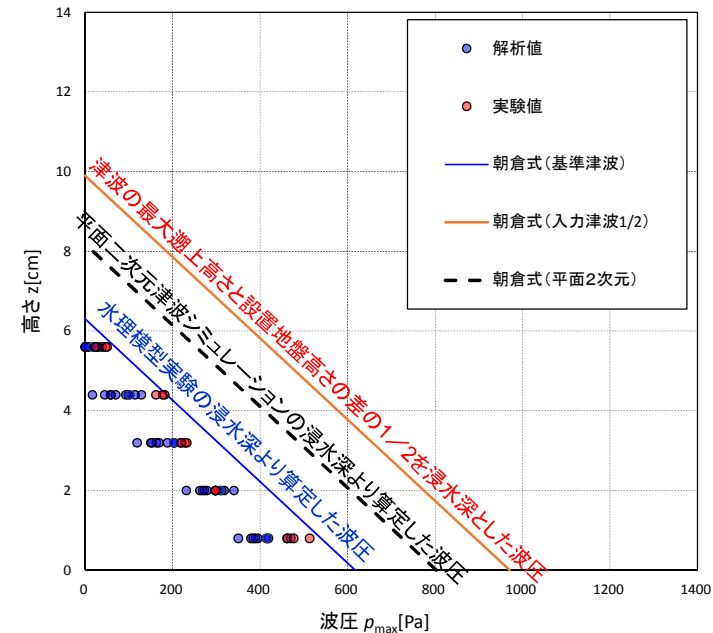
- 津波の最大遡上高さとして設置地盤高さの差の1/2を浸水深とし朝倉式から算定した津波荷重は、平面二次元津波シミュレーション解析で得られた浸水深を用いて朝倉式により算定した津波荷重よりも大きい。
- 水理模型実験により確認した浸水深を用いて朝倉式から算定した津波荷重は、上記から算定した津波荷重よりも更に小さいことを確認した。



津波荷重の作用イメージ(平面二次元津波シミュレーション解析結果)



津波荷重の作用イメージ図(入力津波 x 1/2)



津波波圧の比較(縮尺1/200)

- 解析値: 分散波理論に基づいた断面二次元津波シミュレーション解析で得られた波圧
- 実験値: 水理模型実験で得られた波圧
- 朝倉式(基準津波): 分散波理論に基づいた断面二次元津波シミュレーション解析での浸水深を用いて朝倉式により算出した波圧
- 朝倉式(入力津波1/2): 浸水深を(入力津波高さ-地盤高さ) x 1/2として朝倉式により算出した波圧
- 朝倉式(平面二次元): 平面二次元津波シミュレーション解析で得られた浸水深を用いて朝倉式により算出した波圧

### 【指摘事項】

漂流物の定期的な調査について隣接事業所から仮設物(クレーン等)の情報を入手できることを示すこと。

### 【回答概要】

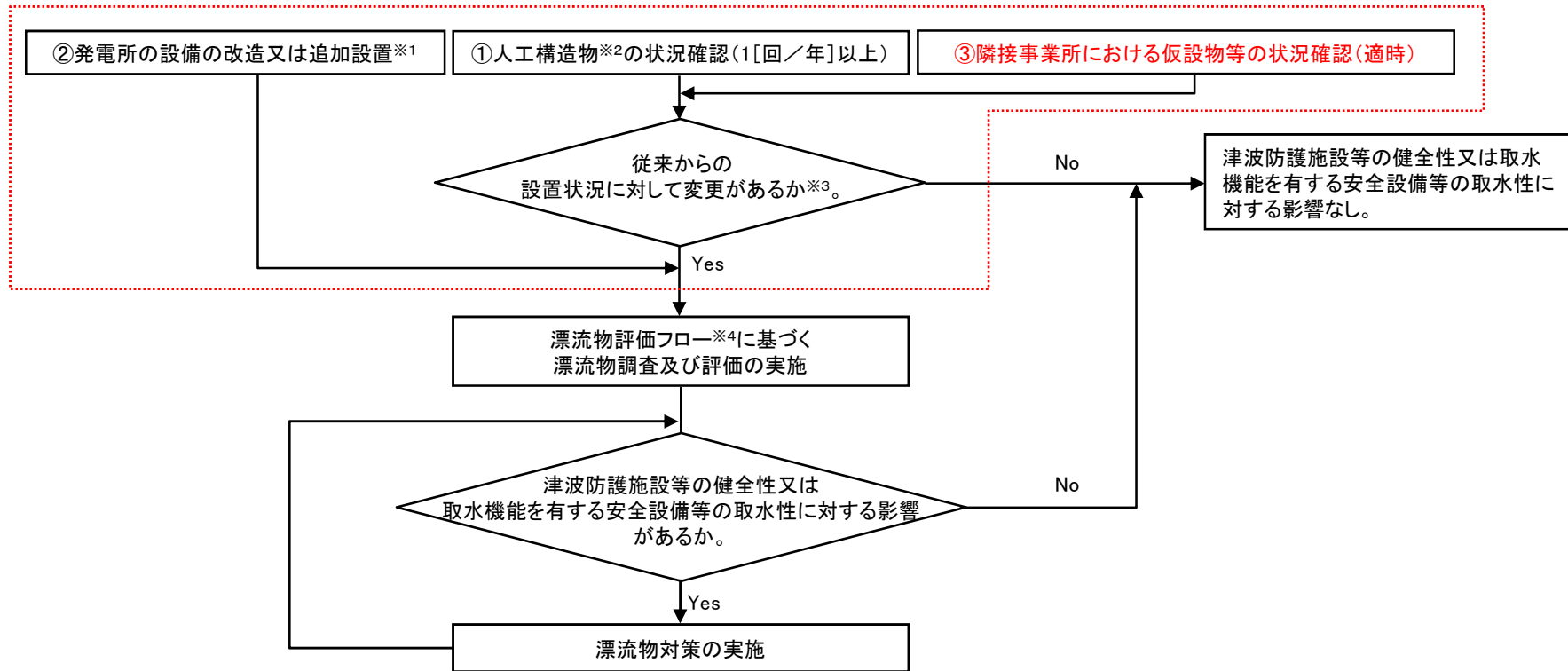
指摘事項を踏まえ、これまでの情報共有手段に加え、隣接事業所における工事・作業等により設置されうる仮設物等について、従来からの設置状況に変更が生じる可能性がある場合は適時情報入手できるよう文書の取り交わしにより情報共有手段を構築し、継続的な漂流物評価フローに反映する。

なお、隣接事業所において工事等により設置されうる仮設物等が仮に漂流したとしても、敷地側面南側エリアにおいては、津波は防潮堤に沿うように概ね軸方向に遡上することから、漂流物が防潮堤に衝突した場合を想定しても、影響は小さいものと考えられる。

## 【継続的な漂流物評価方針】

①定期的(1[回/年]以上)な人工構造物の設置状況の確認により変更が確認された場合及び②発電所設備の改造又は追加を計画する都度並びに③隣接事業所における仮設物等の状況確認により仮設物等の設置状況に変更が確認された場合、津波防護施設等の健全性、取水機能を有する安全設備等の取水性に影響を及ぼす可能性について確認するため、漂流物評価フローに基づき、漂流物調査及び評価を実施する。

これら調査・評価方針については、保安規定において規定化する。



※1:「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第43条の3の9(工事の計画の認可)及び第43条の3の10(工事の計画の届出)に基づき申請する工事のうち、「改造の工事」又は「修理であって性能又は強度に影響を及ぼす工事」を含む。

※2: 港湾施設、河川堤防、海岸線の防波堤、防潮堤等、海上設置物、津波遡上域の建物・構築物、敷地前面海域における通過船舶等

※3: 自治体、地域の連絡会・協定等の情報を活用し、設置状況を確認する(既往の調査結果に含まれる民家、電柱、マンホールの増加等の評価に影響しないものは除く)。

※4: 次頁にて示す。

## 【継続的な漂流物評価フロー】

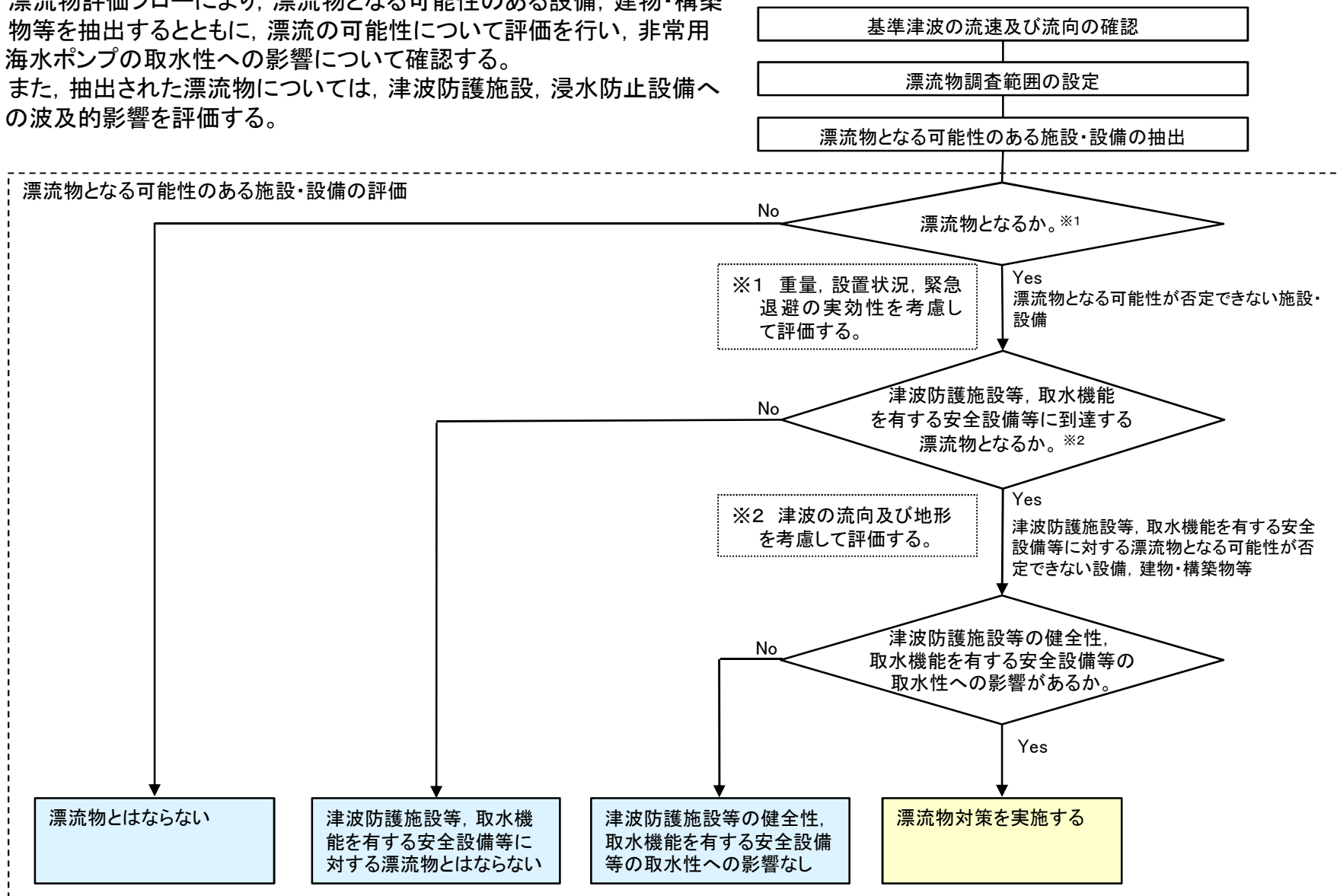


## 2. 漂流物評価フロー

第513回審査会合  
(平成29年9月26日)資料



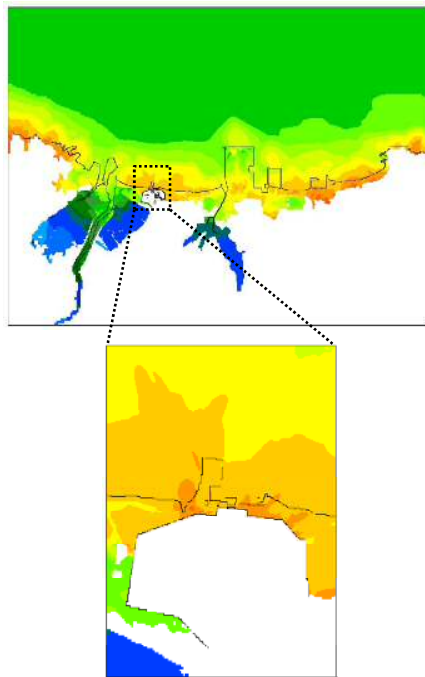
- ◆ 漂流物評価フローにより、漂流物となる可能性のある設備、建物・構築物等を抽出するとともに、漂流の可能性について評価を行い、非常用海水ポンプの取水性への影響について確認する。
- ◆ また、抽出された漂流物については、津波防護施設、浸水防止設備への波及的影響を評価する。



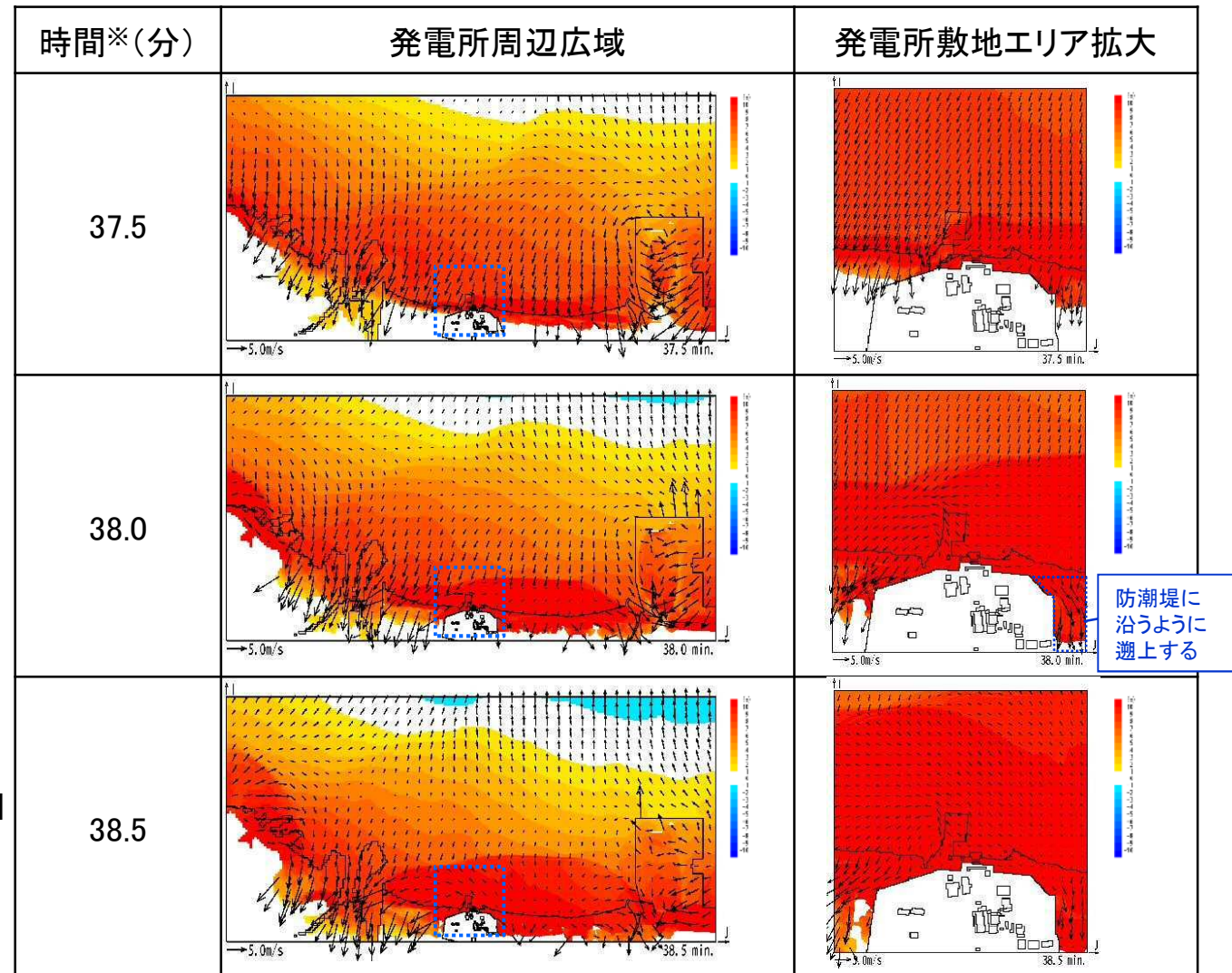
【漂流物評価フロー(東海港防波堤を除く)】

- ◆ 敷地側面南側における津波の流況は防潮堤に沿うように概ね軸方向に遡上することから、隣接事業所において工事等により設置される仮設物等が仮に漂流し、防潮堤に衝突した場合を想定しても、影響は小さいものと考えられる。

※津波の原因となる地震発生後の経過時間



【基準津波による最大水位上昇量分布】



【基準津波による発電所周辺及び発電所敷地前面海域の流向ベクトル(津波襲来時)】