

# 津波を考慮した胸壁の設計の考え方（暫定版）

平成27年11月

水産庁 漁港漁場整備部 防災漁村課  
国土交通省 港湾局 海岸・防災課



## はじめに

我が国の海岸は、地震や台風、冬季風浪等の厳しい自然条件にさらされており、東日本大震災においては、これまでの想定を遙かに超えた巨大な地震・津波により海岸保全施設及びその背後地に甚大な被害を受けました。

東日本大震災の教訓を踏まえ、港湾局では、津波に対する粘り強い港湾構造物のガイドラインとして「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」を平成 25 年 11 月にとりまとめました。

その際に、被災要因分析や水理模型実験などが課題として整理され、水産庁において、平成 25 年度から 2 カ年に渡り、水理模型実験や計算条件の検証を行い、胸壁の堤体に作用する動水圧を考慮した津波波力を算定する手法による津波波圧を考慮した設計の考え方を検討しました。具体的には、被災 3 県（岩手県、宮城県、福島県）における漁港海岸の胸壁について被災状況を調査したところ、津波の越流による洗掘が多くみられるものの洗掘が確認されず倒壊に至った胸壁も確認されました。この洗掘が確認されず倒壊したケースでは、津波の水圧を静水圧として取り扱った設計法も踏まえ、動水圧をより精度良く再現できるよう、本設計の考え方をとりまとめました。

また、平成 26 年 6 月に海岸法が改正され、背後地の状況等を考慮して、設計の対象を超える津波、高潮等の作用に対して施設の損傷等を軽減するため、粘り強い構造の胸壁等の整備を推進しており、それらの考え方についても整理しております。

我が国周辺では、今後も大規模な地震・津波の発生が予想されており、大きな被害の発生が懸念されます。防災・減災を推進するため、海岸管理者が地域特性を踏まえ、本考え方が参考として、津波対策が一層推進されることを期待します。

平成 27 年 11 月

水産庁 漁港漁場整備部 防災漁村課長  
国土交通省 港湾局 海岸・防災課長

# — 目 次 —

第 I 章	本書の概要 .....	1
1.1	目的 .....	1
1.2	本書の構成 .....	1
1.3	胸壁の設計法の記載の仕方 .....	1
1.4	位置付け .....	2
	(1) 位置付け .....	2
	(2) 対象 .....	4
1.5	用語解説 .....	5
第 II 章	津波を考慮した胸壁の設計の考え方 .....	6
2.1	設計の考え方 .....	6
	(1) 構造形式の選択 .....	7
	(2) 胸壁に作用する設計外力 .....	8
2.2	津波波力の算定法 .....	9
	(1) 波力算定式の選択 .....	9
	(2) 波力算定式の選択 (非越流時) .....	11
	(3) 波力算定式の選択 (越流時) .....	13
第 III 章	粘り強い構造の考え方 .....	16
3.1	概要 .....	16
3.2	粘り強い構造 .....	17
	(1) 堤体工 .....	18
	(2) 水叩工 .....	18
	(3) 洗掘対策 .....	20
【参考文献】	..... エラー! ブックマークが定義されていません。	

## 第I章 本書の概要

### 1.1 目的

本書は、津波による波力の算定法を用いた胸壁の設計の考え方および粘り強い構造の考え方とをまとめたものである。

### 1.2 本書の構成

本書の構成は、以下に示すとおりである。

表 I-1 提案書の構成

章	頁	内 容
第I章	1	概要（構成・対象者・用語の説明など）
第II章	6	津波波力を考慮した胸壁の設計法
第III章	15	粘り強い構造の考え方
参考資料	21	設計計算事例
		水理実験・数値計算による津波波力提案式

### 1.3 胸壁の設計法の記載の仕方

本書は、基本的考え方、解説、参考情報を以下の記述方法で記載する。

#### 【基本的考え方】

各章の冒頭に基本的考え方を整理

#### 【解 説】

基本的考え方を文章、図表、写真等で解説

・解説欄で特に強調したい事項はこの枠囲みで記述

#### 【参考情報】

・事例、参考データ等を掲載する場合はこの枠囲み

## 1.4 位置付け

### 【基本的考え方】

本書は、動水圧を考慮した津波波力の算定法による漁港における胸壁の設計の基本的考え方を示すものであり、胸壁の設計を行う際に「漁港・漁場の施設の設計参考図書」及び「海岸保全施設の技術上の基準」に対して付加的に考慮すべき点を取りまとめたものである。

### 【解説】

#### (1) 位置付け

本書は津波外力を考慮した漁港における胸壁の設計の考え方および粘り強い構造について、整理したものである。胸壁の設計の検討にあたっては、「漁港・漁場の施設の設計参考図書（以下、「設計参考図書」という。）」又は「海岸保全施設の技術上の基準」を踏まえた上で、本書の内容を考慮するものとする。

防波堤などの漁港施設では、従来、津波による波力を考慮していなかったが、東北地方太平洋沖地震津波による漁港施設の被害状況を踏まえ、設計参考図書においては、重要な施設について、津波波力に対して安定性を確保することとしている。

胸壁の設計においても、従来、静水圧を用いた波力の算定法が用いられていたが、東北地方太平洋沖地震津波では、越流前に被災したと考えられる胸壁があり、静水圧以上の外力が作用したと考えられる。

このため、胸壁の津波波力の算定法について見直しを実施した。

見直された津波波力を用いた胸壁の設計法および、また、越流による堤体背後の侵食などによる被災もあり、越流時の対策、すなわち、粘り強い構造の考え方について、整理した。

中央防災会議では、避難のための発生頻度は低いものの最大クラスの津波と海岸保全施設の設計に用いる設計津波（最大クラスの津波に比べ発生頻度が高いが、甚大な被害を与える津波）と区分しており、海岸保全施設は越流することが想定される。

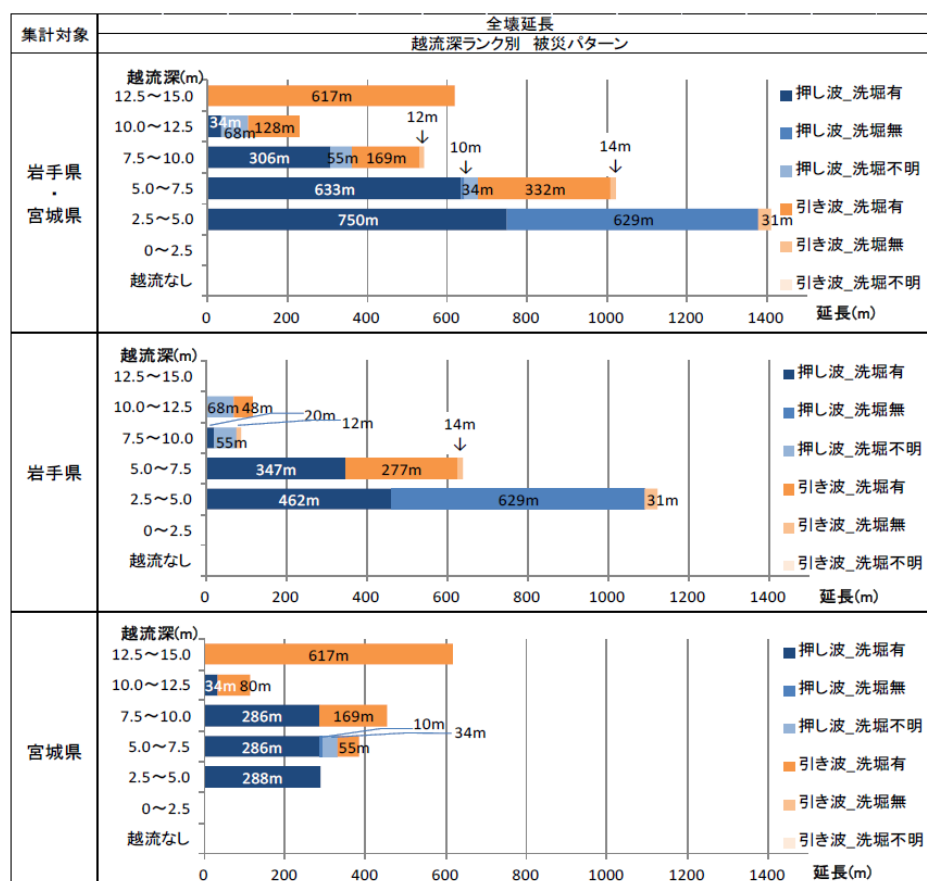
漁港施設の設計の体系を示した設計参考図書においても、漁港施設について設計津波を考慮し、さらに、設計津波を超える津波に対して、粘り強い構造とすることとされている。

従来、胸壁などの堤防に作用する津波波力は、津波遡上高の静水圧を考慮することとしている。また、越流はしない天端高を算定していたため、越流時の対策については検討されていない。

東北地方太平洋沖地震津波では、前述のように、越流する前に被災したと考えられる胸壁があり、津波による動圧を考慮した波力算定法が必要になる。さらに、越流時における侵食により被災した胸壁もあることから、越流対策の考え方（粘り強い構造の考え方）を示す必要がある。

## 【参考情報】漁港海岸における被災状況

水産庁では、平成 23 年度に海岸保全施設設計条件等緊急調査結果を実施し、東北地方太平洋沖地震津波における岩手県・宮城県・福島県の海岸保全施設の被災状況調査を行った。このうち、胸壁の被災状況を参図-1 に示す。ここでは、福島県の漁港海岸には胸壁がないため、宮城・岩手の結果になっている。



参図-1 胸壁の被災状況

参図-1 の岩手県では、洗堀がなく、押し波による被災が多く、これは、津波の波力によるものと考えられる。

## (2) 対象

### ①対象となる構造

- ・本書の設計の考え方で検討対象とする施設は胸壁とする。

胸壁は、海岸線に漁港や港湾等の施設が存在し、利用の面から海岸線付近に堤防、護岸等を設置することが困難な場合において、海岸背後にある人命・資産を高潮、波浪及び津波から防護することを目的として設置される海岸保全施設である。

胸壁は、高潮若しくは津波による海水の浸入を防止する機能、波浪による越波を減少させる機能のいずれかの機能又はその両方の機能を有するものとする。

(海岸保全施設の技術上の基準・同解説より抜粋)

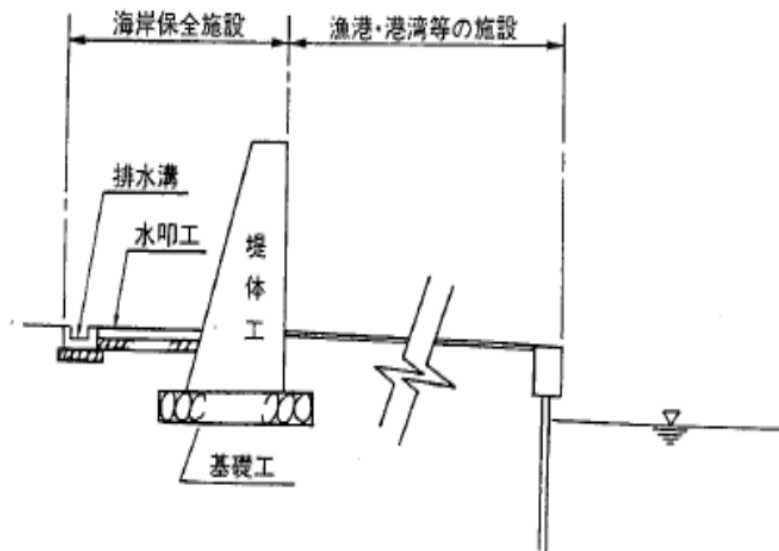


図 I-1 胸壁概念図

## 1.5 用語解説

本提案書の記載内容に関して、基本的な用語を以下に解説する。

### ○ 設計津波

過去の浸水の記録等に基づく最大の津波又は数値計算等により算定した最大の津波を考慮して、原則として、数十年から百数十年に一度程度発生する比較的発生頻度の高い津波。

### ○ レベル1地震動

海岸保全施設の耐震設計は、施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動。

### ○ 粘り強い構造

設計津波を超える津波に対しても、全壊しにくく、全壊に至る時間を少しでも長く延ばすことが可能となる構造上の工夫。

### ○ フルード数 $F_r$

$F_r = u / \sqrt{gh_r}$  で定義された加速度項と重力項の無次元水理量である。 $u$  は流速、 $\sqrt{gh_r}$  は線形長波の波速であり、 $g$  は重力加速度、 $h_r$  は浸水深である。

### ○ 無次元波圧係数

静水圧に乗じる動圧力相当分の係数であり、「水深係数」とも言う。

### ○ 作用水深

胸壁に作用する津波水深。

### ○ 作用波圧

胸壁に作用する津波の静水圧および動水圧による合成水圧。

### ○ 摩擦速度

$u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho}$  で定義される流れを規定する水理量。ここで、 $\tau_0$  はせん断応力、 $\rho$  は海水密度である。

### ○ 限界摩擦速度（限界掃流力）

掃流力がある限界値をこえると、砂の移動が始まる。この限界値を限界掃流力  $\tau_c$  と言い、

$u_{*c} = \sqrt{\tau_c / \rho}$  を限界摩擦速度と言う。ここで、 $\rho$  は海水密度である。

## 第II章 津波を考慮した胸壁の設計の考え方

### 2.1 設計の考え方

#### 【基本的考え方】

津波を考慮した胸壁の設計については、設計津波に起因する外力を算定し、安定性の照査を行い、さらに、粘り強い構造となるよう検討する必要がある。

#### 【解説】

津波による波力を考慮した胸壁の設計法フロー図を以下に示す。

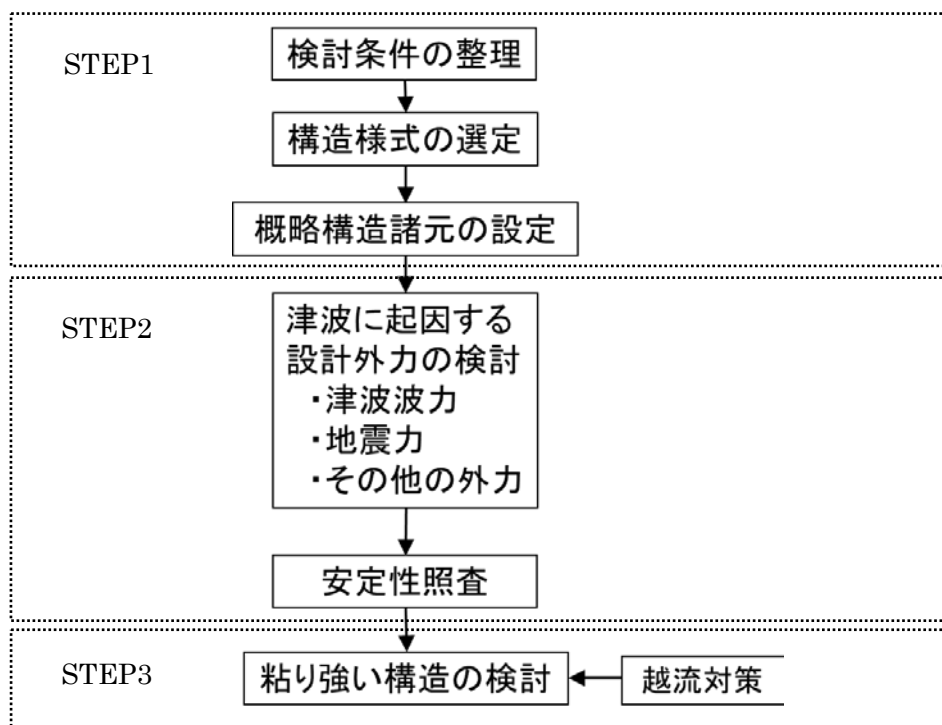


図 II-1 津波対策を行う胸壁の設計手法フロー図

設計の手順を以下に示す。

- STEP1：高潮あるいは波浪、及びレベル1地震動、地盤条件、周辺利用等、その他の検討条件を整理し、適切な構造様式を選定し、同条件による安定性照査を行い、概略構造諸元を設定する。
- STEP2：防護対象となる津波及びその津波を発生させる地震動（当該施設に最も影響を及ぼすもの）を設定し、津波及び地震動の作用に対する安定性照査（原則として非越流状態）を行う。
- STEP3：津波が越流する場合を想定して、当該施設に有効な越流対策による粘り強い構造の検討を行い、施設の基本構造諸元を決定する。

ここで、設計津波は、原則として“数十年から百数十年に一度程度発生する比較的発生頻度の高い津波”である。

## (1) 構造形式の選択

### ① 構造規模の検討項目

構造規模は、以下の項目を参考に、法線計画及び構造形式について検討する。

- ◆ 海岸線の位置・形状
- ◆ 用地取得の難易度
- ◆ 堤内地（背後地）及び堤外地（漁港または海岸）の利用状況
- ◆ 設計条件（潮位、波浪、津波、基礎地盤など）

### ② 構造形式の選定項目

構造形式は、表 II-1 構造形式の設定項目を参考に選定する。

表 II-1 構造形式の設定項目

構造形式	主な照査項目	適合条件	備考
単塊式	滑動・転倒	用地取得が容易 基礎地盤が堅固	
L型胸壁 逆T型胸壁	滑動・転倒	用地取得が比較的容易 基礎地盤が比較的軟弱	施工範囲に注意が必要
杭式 矢板式	応力度・根入れ長	用地取得が困難 基礎地盤が軟弱	

- ・単塊式：コンクリート構造の重力式胸壁
- ・L型及び逆T型胸壁：鉄筋コンクリート製またはハイブリッド構造
- ・杭式：等間隔に打設した支持杭に胸壁を取り付ける構造
- ・矢板式：鋼矢板等で連続壁を打設する構造

**留意点**：単塊式、L型及び逆T型胸壁は、基礎構造について、直接基礎、杭式、矢板式基礎など支持形式についても検討する。

### ③ 波浪（波高・周期・波向出現頻度、観測資料、設計波諸元等）

対象漁港周辺の波浪観測データを整理する。できるだけ長期間（数年～10年）の波浪観測資料があることが望ましいが、短期的な観測である場合には少なくとも1年間のデータが必要である。対象漁港における波浪観測資料が得られないときは、ナウファス波浪観測<sup>※1</sup>や漁港波浪データベース<sup>※2</sup>などの公開データの中から至近の観測結果を利用する。

※1：<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>

※2：[database.nriffe.affrc.go.jp/wavedb/](http://database.nriffe.affrc.go.jp/wavedb/)

## (2) 胸壁に作用する設計外力

胸壁に作用する外力としては、津波に起因する外力とそれ以外の2つの外力が考えられる。

### ① 津波に起因する外力

- ・津波波力（津波流体力）
- ・津波を起こす地震動
- ・その他（漂流物など）

### ② その他

- ・レベル1地震動
- ・高潮および波浪（高波）
- ・土圧等

本提案書で新たに提案する設計手法で対象とする外力は、津波に起因する外力として、津波波力（津波流体力）と津波を起こす地震動を対象とする。

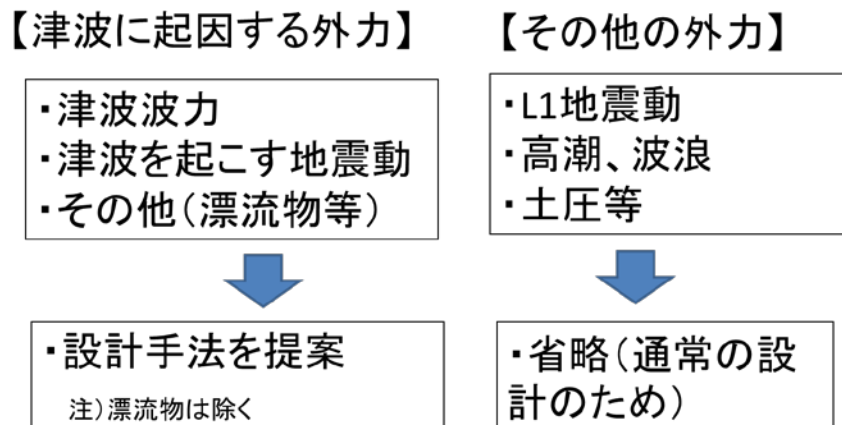


図 II-2 対象とする外力の設定

## 2.2 津波波力の算定法

### 【基本的考え方】

津波波力の算定は、原則として胸壁を津波が越流しない場合とする。

ただし、胸壁の天端高を超える津波が作用する場合には、越流した場合の算定を行う必要がある。越流の有無を確認するには、津波数値シミュレーションによる検討が必要となる。

### 【解説】

#### (1) 波力算定式の選択

津波の波力算定に伴う算定式の選手順を以下のフロー図に示す。

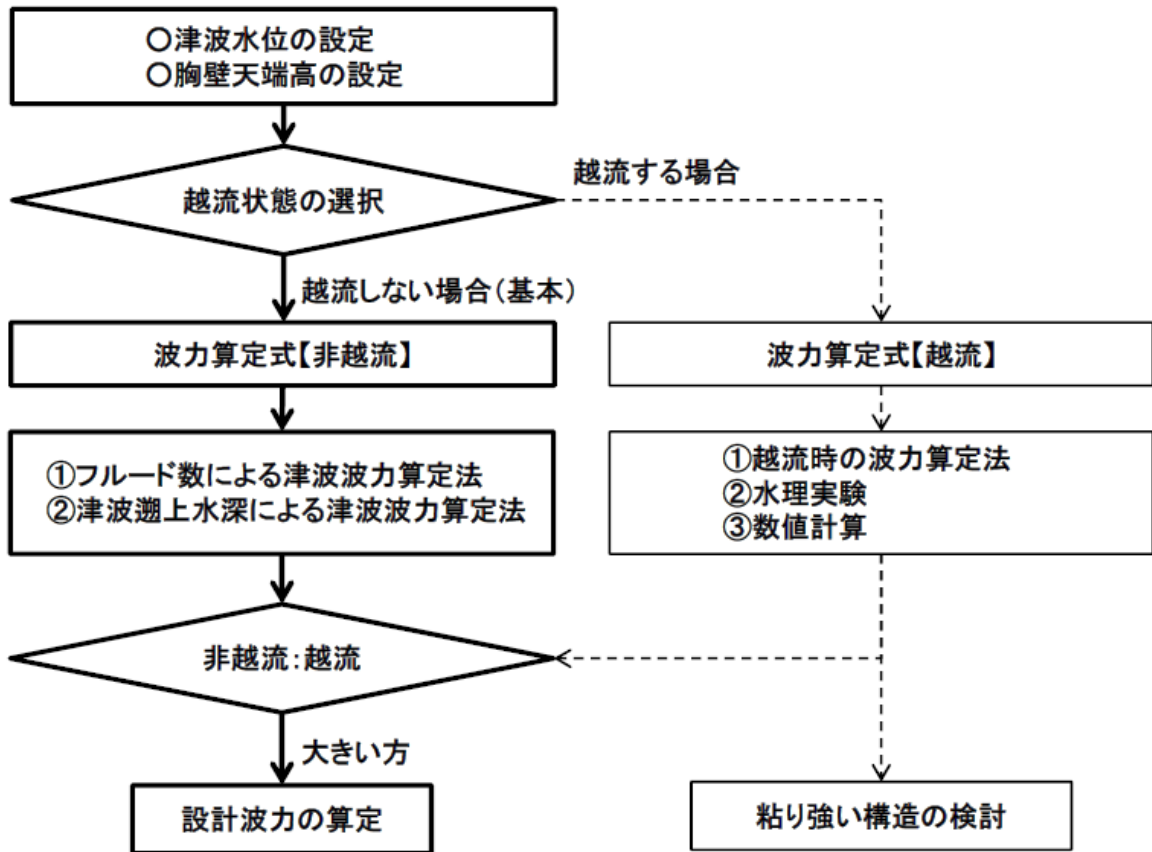


図 II-3 波力算定の選択フロー図

胸壁の天端高は設計津波が越流しない高さを基本とする。ただし、天端高は、海岸の機能の多様性への配慮、環境保全、周辺景観との調和、経済性、維持管理の容易性、施工性、公衆の利用等を

総合的に考慮して適切に定めるものであり、場合によっては、天端高を越流する場合も想定される。また、設計津波を超える津波に対して胸壁の粘り強さを検討する際に、越流させるケースが想定される。そのため、対象となる胸壁の越流の有無については、津波遡上シミュレーションを実施し、確認する必要がある。また、後述する津波波力算定のためには、津波水位が必要になるため、胸壁の有無によるシミュレーションを行うことが望ましい。

## (2) 波力算定式の選択（非越流時）

非越流時（津波が胸壁を越流しない場合）は、フルード数による方法と遡上水深による方法がある。フルード数を考慮した波力の算定法は段波も考慮しているが、遡上水深による方法は段波を考慮していない。

### ① フルード数による津波波力算定法【進行波による津波波力算定法】

胸壁のない場合の津波遡上シミュレーションにより、進行波の津波水位を算定し、堤体設置箇所のフルード数により、津波波力を算定する方法である。

フルード数  $F_r$  が  $0.0 \leq F_r \leq 1.5$  の範囲において、波圧作用高さは進行波の浸水高の  $\alpha'$  倍とする。作用する水圧は  $\alpha$  倍とする。

$$\frac{P_{\max}}{\rho g \eta_{\max}} = \alpha \left( 1 - \frac{Z}{\alpha' \eta_{\max}} \right) \quad 0 \leq \frac{Z}{\eta_{\max}} \leq \alpha'$$

無次元波圧作用高さの係数： $\alpha' = \max\{3, \alpha\}$

ここで、 $\eta_{\max}$  は進行波の最大遡上水深、 $Z$  は波圧作用位置の地盤からの高さ、 $P_{\max}$  は最大波圧、 $\rho$  は海水の密度、 $g$  は重力加速度である。

無次元波圧係数  $\alpha$  は、以下の関数として与える。

$$\alpha = 1.0 + 1.35 F_r^2$$

ただし、フルード数  $F_r$  が 1.5 程度を超える場合は、既往研究成果および水理実験や数値計算等を用いて無次元波圧係数  $\alpha$ （波圧作用高さは  $\alpha'$  は 3 とする）を検討する。

なお、フルード数  $F_r$  が不明な場合は、水深  $\eta_{\max}$  として汀線際（0m 位置）の最大水深  $\eta_{0\max}$  を利用し、谷本式（ $\alpha' = 3.0, \alpha = 2.2$ ）を適用する。

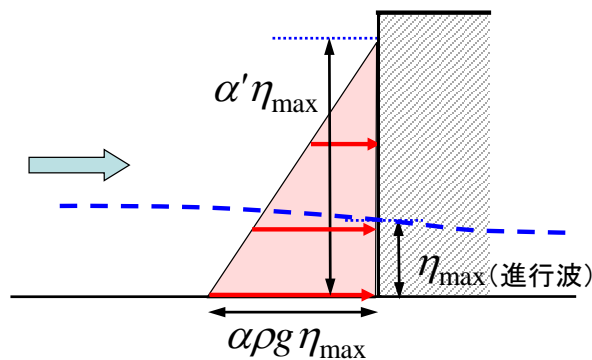


図 II-4 非越流時の新波力算定式の作用イメージ【フルード数による方法】

## ② 津波遡上水深による津波波力算定法【壁立計算による津波波力算定法】

胸壁のある場合の津波遡上シミュレーションにより、胸壁前面の津波遡上高さを算定し、遡上高さから波力を算定する。

波圧作用高さは津波遡上水深とする。作用する水圧は静水圧の 1.1 倍とする。

$$p_1 = \rho g \eta \times a_1 \qquad a_1 = 1.1$$

ここで、 $\eta$  は堤体設置時の遡上水深、 $p_1$  は下端部における波圧、 $a_1$  は静水圧の波圧係数である。ただし、堤体基部側では、静水圧を大幅に上回る最大波圧が発生することがある。また、段波砕波が発生する場合、波圧は 1.1 倍を上回ることがあることに留意する。

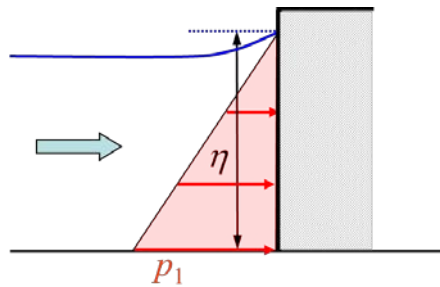


図 II-5 非越流時の新波力算定式の作用イメージ【遡上水深による方法】

### (3) 波力算定式の選択 (越流時)

胸壁がある場合の津波遡上シミュレーションを実施し、堤体前面、背面の津波水位を算定し、その水位を用いて津波波力を算定する。

津波が越流している時の波力算定式は、静水圧×波圧係数として算定する。

○前面

$$p_1 = \rho g \eta \times a_I \quad , \quad p_2 = p_1(\eta - h_C)/\eta$$

$$P_I = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)h_C$$

$a_I$ の算出は、前面法先の水深  $\eta$  を使用する場合は、以下の通りとする。

$$\text{波圧係数 } a_I = -0.17 \times h_C/\eta + 1.27 \quad (0.4 \leq h_C/\eta < 1.0)$$

前面沖合 (水面変動の小さい位置) の水深  $\eta_0$  を使用する場合は、以下通りとする。

$$\text{波圧係数 } a_I = 1.1$$

○背面

$$p_3 = \rho g \eta^* \times a_{IB} \quad , \quad p_4 = p_3(\eta^* - h_{CB}^*)/\eta^* \quad h_{CB}^* = \min(\eta^*, h_C)$$

$$P_B = \frac{1}{2}(p_3 + p_4)h_{CB}^*$$

ここで、水深  $\eta^*$  として、背後水深  $\eta_B$  を使用する。津波シミュレーションでは、施設背後のメッシュにおいて、法先前面の水深  $\eta$  を使用する場合は、水深  $\eta$  の発生時刻と同じ時刻の背後水面とする。前面沖合 (水面変動の小さい位置) の水深  $\eta_0$  を使用する場合は、合成波力が最も大きくなる場合の背面水位とする。

$h_C/\eta_B < 0.8$  の場合は、波圧係数  $a_{IB}=0.4$

$h_C/\eta_B \geq 0.8$  の場合は、波圧係数  $a_{IB}=0.0$  (背面波圧を考慮しない)

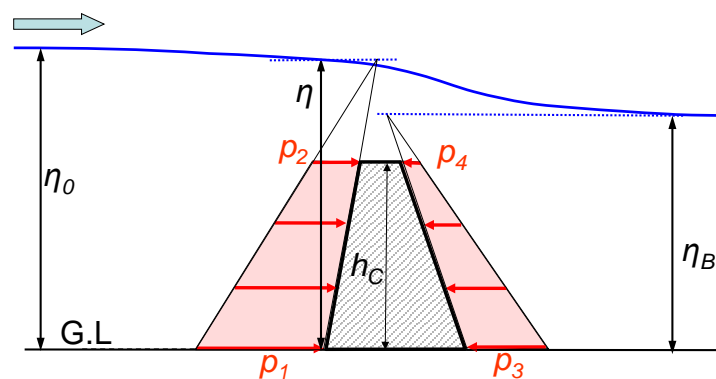


図 II-6 越流時の新波力算定式の作用イメージ

なお、背面波圧は、背後の地形等の影響により異なるため留意が必要である。

背面水位  $\eta_B$  の算出が困難である時に、 $\eta^*$  として天端上水位  $\eta_2$  を用いて背面波圧の波圧係数を算定する方法を以下に示す。水位  $\eta_2$  の算出にあたっては、前面水位と天端高の差による  $h_1$  から本間の公式より算出する。

$$\eta_2 = h_2 + h_c = 0.45h_1 + h_c$$

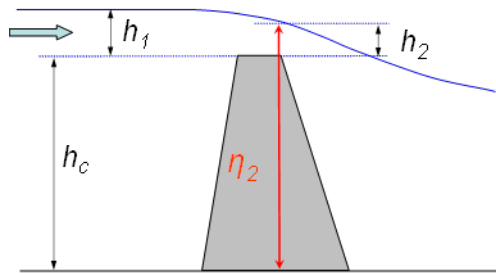


図 II-7 天端上水位  $\eta_2$  の定義

$h_c/\eta_2 < 0.8$  の場合は、波圧係数  $a_{IB}=0.4$

$h_c/\eta_2 \geq 0.8$  の場合は、波圧係数  $a_{IB}=0.0$  (背面波圧を考慮しない)

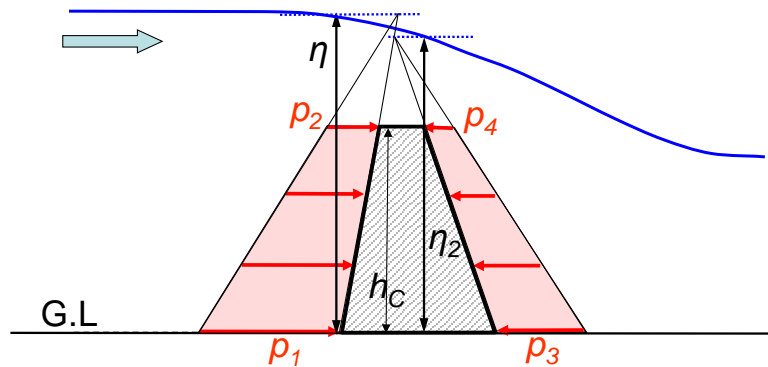


図 II-8 越流時の新波力算定式の作用イメージ ( $\eta_2$  を利用場合)

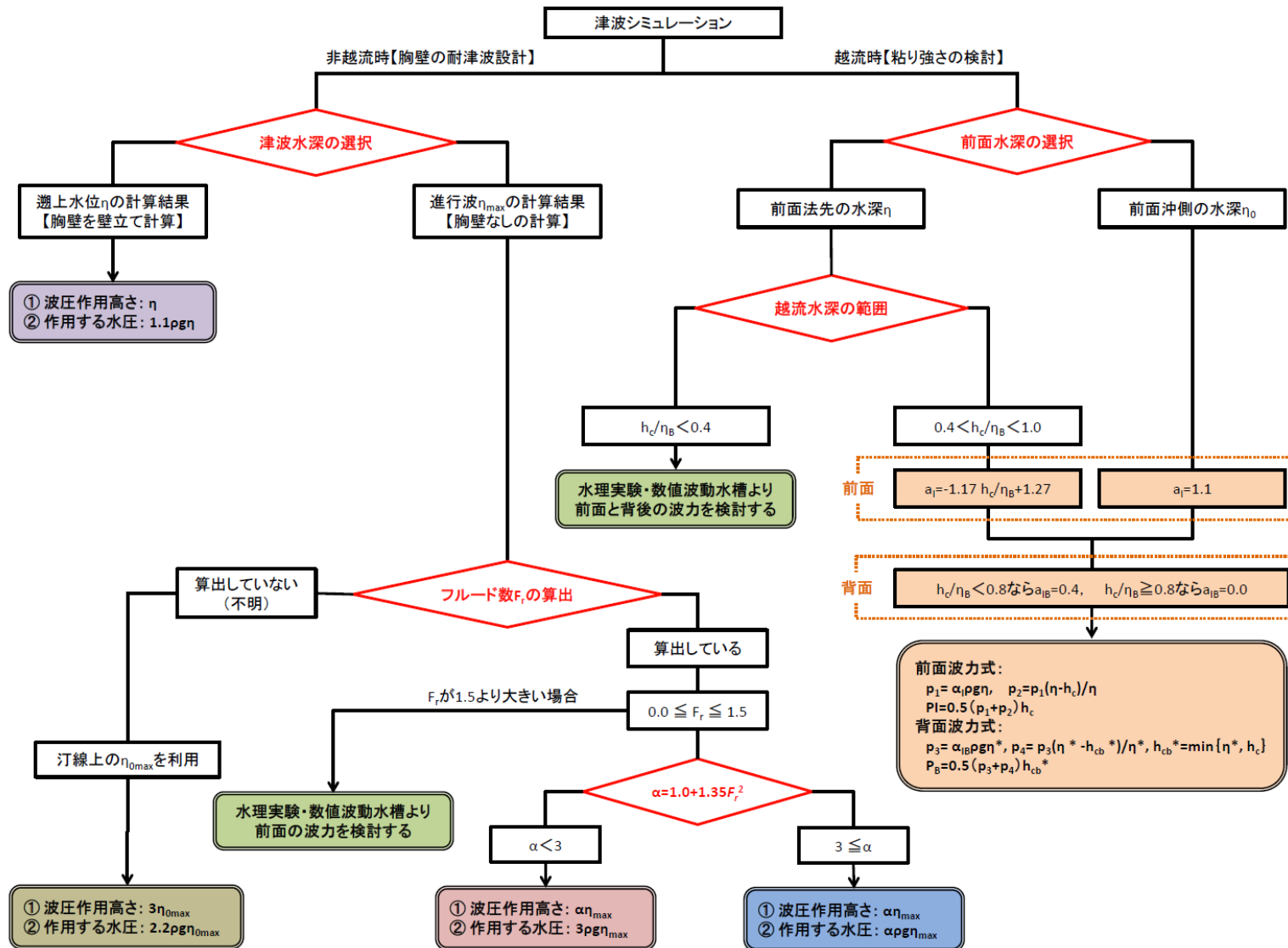


図 II-9 波力算定式の選択の詳細フロー図

## 第III章 粘り強い構造の考え方

### 3.1 概要

#### 【基本的考え方】

粘り強い構造とは、発生頻度の高い津波を超える津波に対しても、可能な限り、被害を受けたとしても全壊しにくく、全壊に至る時間を少しでも長く延ばし早期復旧が可能となる構造上の工夫（「粘り強い構造」）のことである。胸壁についても粘り強い構造の検討が必要であり、その考え方を提案した。

#### 【解 説】

水産庁では、『平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方』（平成 25 年 8 月 30 日、最終改正 平成 26 年 1 月 23 日）を通知し、現時点における漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方（以下「基本的な考え方」を示した。

「基本的な考え方」では、防波堤や岸壁に対し、発生頻度の高い津波を超える津波に対しても、可能な限り、被害を受けたとしても全壊しにくく、全壊に至る時間を少しでも長く延ばし早期復旧が可能となる構造上の工夫（「粘り強い構造」）を検討することが必要であるとしている事から、胸壁に対しても、堤内地の人命・財産等の防災・減災を図る上で、同様の考え方が必要となり、本書では粘り強い構造の考え方を提案した。

### 3.2 粘り強い構造

#### 【基本的考え方】

原則として海岸保全施設の設計に用いる津波は、最大クラスの津波より小さいため、越流することが想定され、津波に対しても、全壊しにくく、全壊に至る時間を少しでも長く延ばすことが可能となる構造上の工夫（粘り強い構造）が必要である。

#### 【解説】

胸壁を越流した場合の構造の工夫について以下に示す。

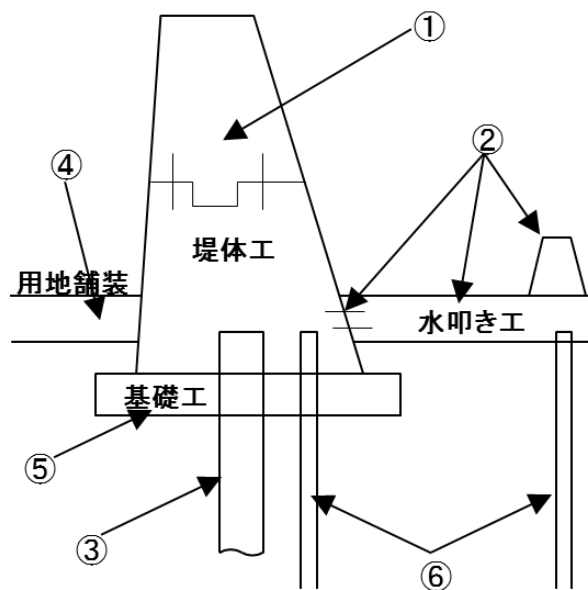


図 III-1 粘り強い構造の検討箇所例

表 III-1 粘り強い構造の検討内容例

	検討箇所	対策内容
①	堤体工	ホゾや用心鉄筋により堤体上部の欠損リスクを低減
②	水叩き工	越流に対する護床工として水叩き舗装厚を強化 堤体工と一体化させ構造強化 強制的な跳水（シル、ピア）
③	基礎工	杭基礎により堤体の滑動及び転倒の安定性を強化
④	基礎工	As 舗装は、路盤の安定処理により洗掘・吸い出しを防止
⑤	基礎工	碎石のセメント注入固化などで、基礎の洗掘・吸い出しを防止
⑥	洗掘対策工	矢板等を設置して洗掘や吸い出しが堤体直下に及ばないように制御

## (1) 堤体工

打ち継ぎ (A) に作用する津波波力 (①) を考慮し、滑動・転倒に関して安定照査を行い、必要に応じて鉄筋などで補強する。

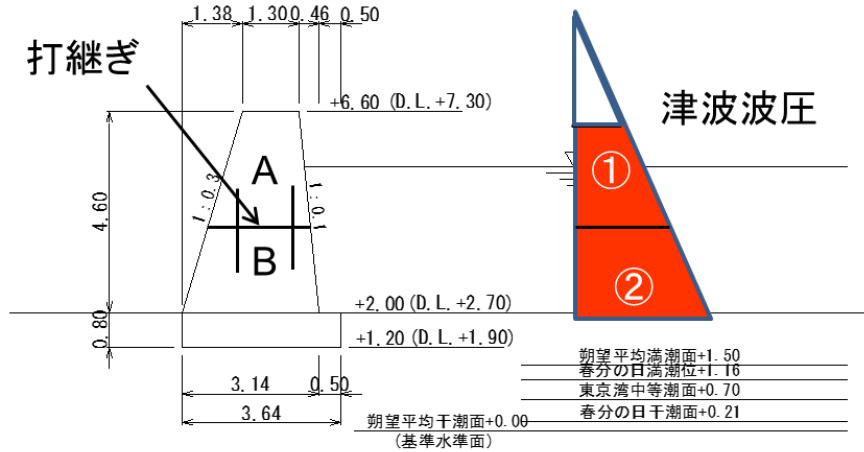


図 III-2 打ち継ぎに作用する津波波力のイメージ図

## (2) 水叩工

越流に対する水叩き工として設計する。水叩き工の範囲としては、落水位置までを水叩きとする。

○ 本間 (1940) の越流公式

本間の越流公式により、越流水深  $h_1$  から堤体後端の水深  $h_2$  と流速  $u_2$  を求める。矩形広堰に対する完全越流時の流量  $q$  は次式で与えられる。

$$h_2 = 0.45 \sim 0.48 h_0 \quad q = 0.35 h_1 \sqrt{2gh_1} \quad (h_0 : \text{堰頂を基準とした上流側の全水頭})$$

また、 $h_2$  は堰頂下流端から自由落下している時はおよそ次の関係となるとしている。

$$h_2 = 0.45 h_1$$

$h_1/h_c < 0.5$  なら接近流速はほとんど無視でき、 $h_0 = h_1$  となる。(  $h_1$  : 堰頂の全水頭)

よって、流速  $u_2$  は以下となる。

$$u_2 = \frac{q}{h_2} = \frac{0.35 h_1 \sqrt{2gh_1}}{0.45 h_1}$$

落下距離  $L_1$  は、堤体後端から放物線の軌跡で落下すると仮定して求める。

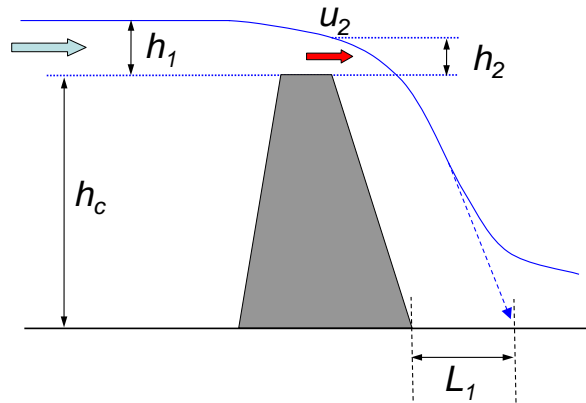


図 III-3 本間の越流公式による各パラメータ定義

なお、越流水の自由落下に伴う対策工へ及ぼす水圧力としては、近森（1972）より、自由落下水脈地点における最大動水圧力  $p_{max}$  として全水頭（対策工上端部を基準）による圧力の 1.15 倍程度とされている。ただし、水クッション水深が全水頭の 10% 以下では高い動水圧を発生する場合もある。

○ Rand（1955）の公式【「床止めの構造設計手引き」平成 10 年 11 月より】

$$W/D = 4.3(hc/D)^{0.81}$$

ここで、 $W$ ：水叩き長（m）、 $D$ ：落差高（m）、 $hc$ ：限界水深（m）である。

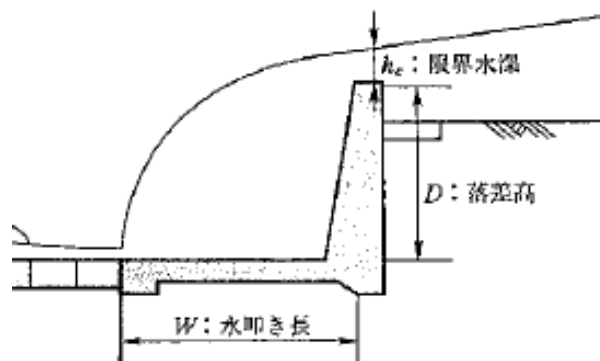


図 III-4 完全越流時の水面形状（「床止めの構造設計手引き」より）

水叩き長さ  $W$ （m）は、落水距離の計算方法とされているので、これを  $L_1$  と考え、さらに海岸保全施設（胸壁）においては、 $D=hc$ ：胸壁の高さ、 $hc=h_2$ ：壁体後端の水深に置き換えて以下のように式を書き換える。

$$L_1/hc = 4.3(h_2/hc)^{0.81}$$

ここで、 $L_1$ ：落水距離（m）、 $hc$ ：胸壁の高さ（m）、 $h_2$ ：壁体後端の水深（m）である。

### (3) 洗掘対策

海岸保全施設を越流することによる堤体背後の侵食も被災要因である。ここでは、洗掘対策の考え方を示す。

矢板等の設置をして洗掘や吸い出しが堤体直下に及ばないように対策を行う。

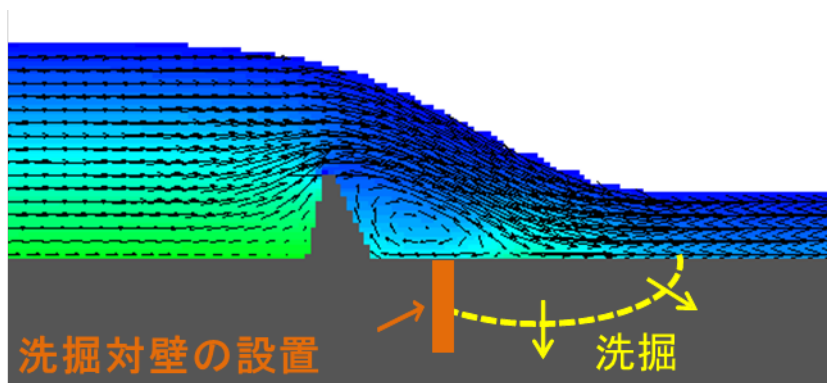


図 III-5 洗掘抑制のための対策壁のイメージ図

洗掘範囲の推定は、以下の資料や方法が参考となる。

- 1) 「津波の越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する水理実験」土木学会論文集 B2, Vol. 68, No. 2, 2012

海岸堤防を越流する津波について、複数ケースの状況を想定した洗掘を検証しており、具体的な洗掘範囲（距離、深さ）の設定に参考とすることができる。（下図は、その一例）

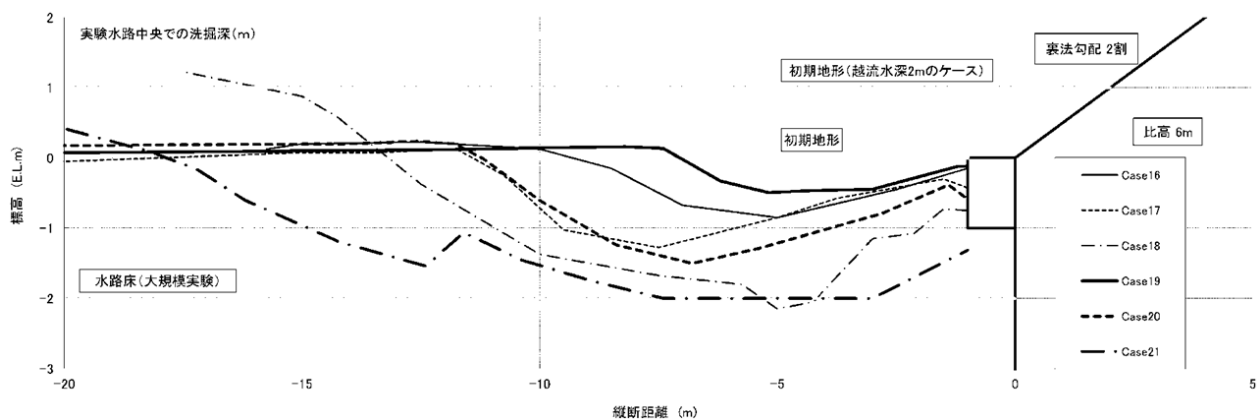


図 III-6 越流後の地形（一例）

2) 限界摩擦速度を算出して推定する方法

シミュレーション等により胸壁背後の浸水深および流速から土砂移動について検討する。

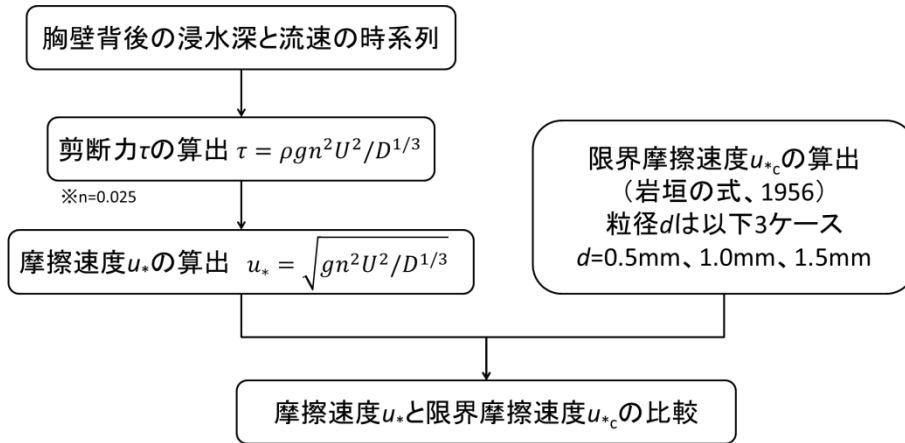


図 III-7 地震動に対する安定性照査のフロー図

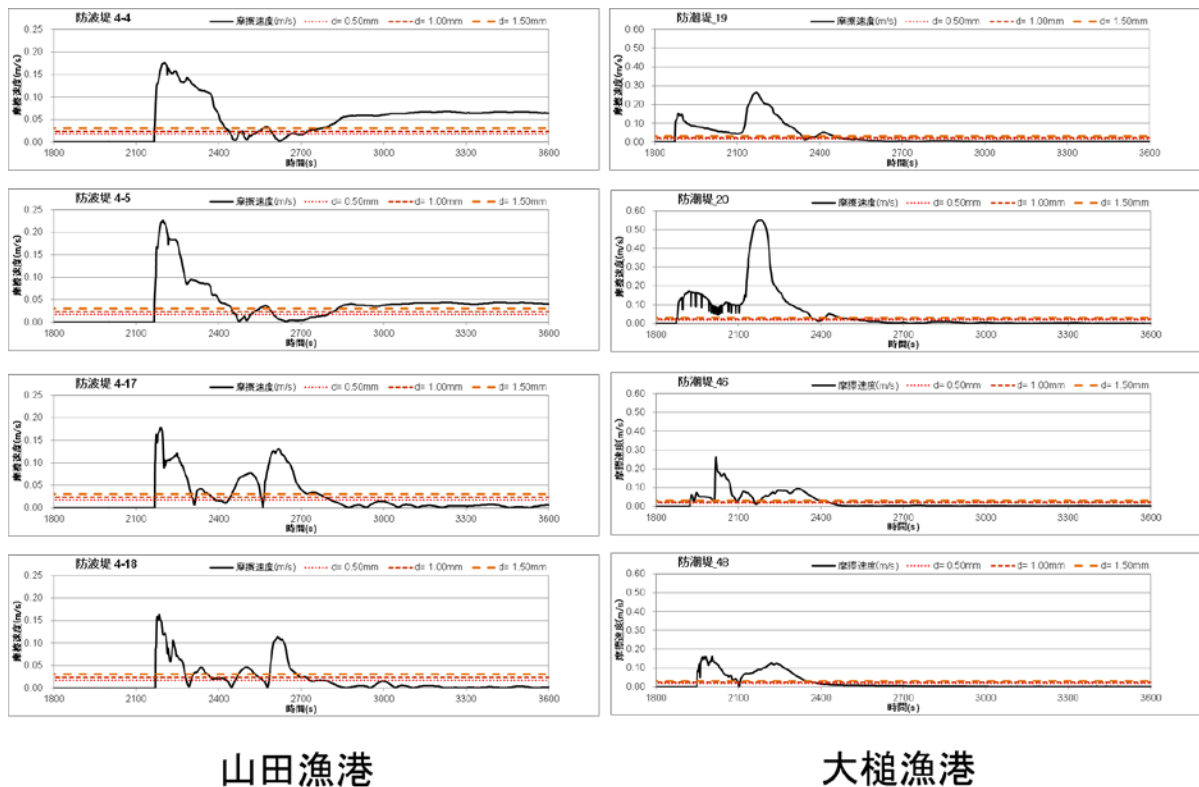


図 III-8 計算例（津波による摩擦速度と各粒径の限界摩擦速度の比較）

## 【参考文献】

(本文引用)

- (1) 国土交通省港湾局：港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン、平成 25 年 11 月
- (2) 海岸保全施設技術委員会：海岸保全施設の技術上の基準・同解説、平成 16 年 6 月
- (3) 水産庁・平成 23 年度海岸保全施設設計条件等緊急調査業務共同研究機関：平成 23 年度海岸保全施設設計条件等緊急調査報告書、平成 24 年 3 月
- (4) 大村智宏・八木宏・中山哲巖・米山正樹・成田賢仁・加藤広之・門安曇・滑川順：胸壁に作用する津波波力に関する実験的研究、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.71、No.2、2015
- (5) 水産庁：平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方、平成 26 年 1 月 23 日 25 水港第 2583 号
- (6) (財) 国土技術研究センター：床止めの構造設計手引き、平成 10 年 11 月
- (7) 近森邦英：自由落水脈落下点における動水圧の変動特性に関する研究、農業土木学会論文集、第 40 号、pp.49-55、1972
- (8) 鳩貝聡・諏訪義雄・加藤史訓：津波の越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する水理模型実験、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol. 68、No. 2、pp.I\_406-I\_410、2012
- (9) 岩垣雄一：限界掃流力の流体的研究、土木学会論文集、第 41 号、1956
- (10) 水産庁・平成 23 年度海岸保全施設設計条件等緊急調査業務共同研究機関：漁港海岸被災データベース、平成 24 年 3 月