

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.922

June 2016

重力式防波堤のレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究  
～混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動および転倒照査を対象に～

佐藤 健彦・竹信 正寛・宮田 正史

A Basic Study of the Level 1 Reliability Design Method  
for gravity-type breakwater  
～Performance verifications of sliding failure and overturning failure  
for composite breakwater and breakwater covered with wave-dissipating blocks～

Takehiko SATO, Masahiro TAKENOBU, Masafumi MIYATA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan



# 重力式防波堤のレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究

～ 混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動および転倒照査を対象に ～

佐藤健彦\*・竹信正寛\*\*・宮田正史\*\*\*

## 要 旨

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）」（以下、現行基準という。）において、防波堤や係留施設の全体安定性の照査に対して、レベル1信頼性設計法（部分係数法）が導入された。本研究の目的は、重力式防波堤（混成堤と消波ブロック被覆堤）における、変動波浪に対する滑動照査および転倒照査を対象として、目標安全性水準は現行基準の安全性水準を踏襲した場合の、荷重抵抗係数アプローチを採用した、新しい部分係数法の案を提案することである。

本研究では、現行基準における重力式防波堤の安全性水準が、従来用いられてきた安全率法の安全性水準と、平均的に同等であることを確認した。また、現行基準と同等の目標安全性水準に対して設定した、荷重抵抗係数アプローチと材料係数アプローチによる部分係数を比較検討した結果、重力式防波堤の滑動照査および転倒照査に対して、荷重抵抗係数アプローチを採用することの妥当性を確認した。

**キーワード：**レベル1信頼性設計法，荷重抵抗係数アプローチ，目標安全性水準，重力式防波堤，変動波浪

---

\* 港湾研究部 港湾施設研究室 交流研究員（五洋建設株式会社）  
\*\* 港湾研究部 港湾施設研究室 主任研究官  
\*\*\* 港湾研究部 港湾施設研究室長

**A Basic Study of the Level 1 Reliability Design Method  
for gravity-type breakwater**  
~ Performance verifications of sliding failure and overturning failure  
for composite breakwater and breakwater covered with wave-dissipating blocks ~

**Takehiko SATO\***  
**Masahiro TAKENOBU\*\***  
**Masafumi MIYATA\*\*\***

**Synopsis**

The level 1 reliability design method (partial factor design method) has been introduced as a method of verifying performance regarding the overall stability of breakwaters and mooring facilities. It is in line with the Japanese design standard for port facilities whose title is "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan (2007)." The purpose of this study is to propose a new partial factor design method for sliding failures and overturning failures of gravity-type breakwaters (composite breakwaters and breakwaters covered with wave-dissipating blocks) in variable situations, focusing on the following two points:

- 1) Following the target safety level of the current standard for sliding failures and overturning failures of gravity-type breakwaters in variable situations, and
- 2) Adoption of the partial factor design method based on Load and Resistance Factor Approach

Regarding the first point, the authors showed that the target safety level should be followed to the level of past structures designed by using the partial factor design method of the current standards.

Regarding the second point, the authors proposed two sets of partial factors based on Load and Resistance Factor Approach.

**Key Words** : Level 1 reliability design method, Load and Resistance Factor Approach, Target safety level, Gravity-type breakwater, Variable situation

---

\* Exchanging Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM  
(PENTA-OCEAN CONSTRUCTION Co., Ltd.)

\*\* Senior Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

\*\*\* Head, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

## 目 次

1. はじめに	1
2. 本研究の検討方針と検討手順	1
2.1 本研究における検討方針	1
2.2 部分係数設定に当たっての検討手順	2
3. 重力式防波堤の照査手法	3
3.1 本章の概要	3
3.2 安全率法と現行基準における部分係数法	3
3.3 波圧算定式の概要	5
4. 安全率法と現行基準の部分係数法で設定された断面における安全性水準の比較	8
4.1 本章の概要	8
4.2 現行基準の整理	8
4.3 検討条件	8
4.4 安全率法と現行基準の部分係数法による計算結果の比較	11
5. 目標破壊確率の設定	14
5.1 本章の概要	14
5.2 現行基準における破壊確率の評価	14
5.3 目標破壊確率の設定	18
6. 部分係数の設定	20
6.1 本章の概要	20
6.2 部分係数の設定	20
6.3 部分係数の検証	25
6.4 部分係数の提案	31
6.5 提案した部分係数に関する留意点	31
7. 結論	32
謝辞	32
参考文献	32
付録 A 防波堤の滑動・転倒照査に係る技術基準の変遷	34
付録 B 本研究に用いた設計条件および確率変数とする設計因子とその統計的性質	35
付録 C MCSにおける重点サンプリング法の適用性確認	44
付録 D 各部分係数フォーマットにおけるMCSによる感度係数の比較	46
付録 E 部分係数一覧	56
付録 F 破壊確率一覧	71



## 1. はじめに

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）」<sup>1)</sup>（以下、現行基準という。）は、平成19年に改訂され、港湾の施設の技術上の基準の性能規定化や、信頼性設計法の導入が図られた。本稿執筆時点において、現行基準への改訂から約8年が経過したが、現行基準の課題を抽出し、より合理的な設計を可能とする設計体系の構築を目指すべく、次期基準改訂に向けた取り組みが行われている。

この取り組みの1つに、レベル1信頼性設計法（部分係数法）の見直しがある。竹信ら<sup>2)</sup>は、ケーソン式岸壁における永続状態に対する滑動照査および転倒照査を対象に、目標安全性水準を見直し、部分係数フォーマット（安定性照査に用いる際の部分係数の形式）を荷重抵抗係数アプローチへ変更することを提案している。

本研究の目的は、重力式防波堤のうち、混成堤と消波ブロック被覆堤の変動波浪に対する滑動照査および転倒照査を対象に、目標安全性水準は現行基準の安全性水準を踏襲し、部分係数フォーマットを荷重抵抗係数アプローチへ移行した場合の、当該構造物に対する新しい部分係数法およびフォーマットの案を提案することである。なお、本研究では、特に断りがない限り、混成堤と消波ブロック被覆堤の両者を総称して、重力式防波堤と呼称することとする。

第2章では、本研究の前提となる事項(2.1)と部分係数の設定手順(2.2)を示し、第3章では、重力式防波堤に対して従来用いられてきた安全率法による設計、および現行基準における部分係数法による設計について紹介する。また、第4章において、安全率法と現行基準における部分係数法で得られる防波堤の断面について比較検討を行う。さらに、第5章～第6章において、部分係数を設定するための具体的な計算結果を示し、第7章にて結論を示す。

## 2. 本研究の検討方針と検討手順

### 2.1 本研究における検討方針

ここでは、現行基準における部分係数法の考え方と、ケーソン式岸壁の照査に対して竹信ら<sup>2)</sup>が提案した部分係数法の考え方を簡単に示し、これらを踏まえた本研究の検討方針を示す。

#### (1) 現行基準における部分係数の考え方

現行基準における各構造形式に対する部分係数の設定にあたっての、目標安全性水準に対する考え方は、「過去の設計法に基づく平均的な安全性水準に基づく方法」と「期待総費用最小化に基づく方法」の2種類に大別される。以下に、現行基準における、ケーソン式岸壁と重力式防波堤の部分係数の設定に関する考え方の特徴を示す。

ケーソン式岸壁の場合、永続状態における、滑動照査および転倒照査に対する部分係数は、「期待総費用最小化に基づく方法」で設定された目標システム破壊確率に対して設定されている<sup>1)</sup>。

一方で、重力式防波堤の場合、変動波浪時における、滑動照査および転倒照査に対する部分係数は、第3章にて詳述する、「過去の設計法に基づく平均的な安全性水準に基づく方法」で設定された目標システム破壊確率に対して設定されている。この際、過去の設計法に基づく平均的な安全性水準は、混成堤と消波ブロック被覆堤を合わせた平均的な安全性水準として設定されている<sup>3)</sup>。

また、ケーソン式岸壁および重力式防波堤の部分係数のフォーマットは、概ね各設計因子に対して部分係数を乗じるフォーマットとしており、材料係数アプローチ<sup>2)</sup>に近い方法であると言える。

#### (2) 竹信らの検討

竹信ら<sup>2)</sup>は、ケーソン式岸壁を対象に、永続状態における滑動照査および転倒照査に対して、次期基準改訂に向けた新しい部分係数を提案している。

この際、目標とする安全性水準を、過去に安全率法で設計された断面の建設実績や、改良設計への対応等を考慮し、「過去の設計法に基づく平均的な安全性水準に基づく方法」に変更している。滑動と転倒に関する破壊確率を絶対的な安全性を示す数値としての評価は行わず、同一破壊モード間での相対的な安全性を示す指標として扱い、破壊モードごとに目標破壊確率を設定している。

また、部分係数フォーマットについて、荷重抵抗係数アプローチと材料係数アプローチの得失を比較し、地盤や基礎が関係する港湾構造物の全体安定性の照査に関して、荷重抵抗係数アプローチへ移行することを提案している。荷重抵抗係数アプローチと材料係数アプローチによる試設計で決定する断面に大きな違いがないことを確認したうえで、ケーソン式岸壁の永続状態における、滑動照査および転倒照査に対して、荷重抵抗係数アプローチによる新しい部分係数法を提案している。

### (3) 本研究の検討方針

本研究では、重力式防波堤のうち混成堤および消波ブロック被覆堤を対象に、変動波浪時における滑動照査および転倒照査に対して、新しい部分係数およびそのフォーマットの案を提案する。

この際、目標とする安全性水準は、現行基準の考え方を踏襲し、「過去の設計法に基づく平均的な安全性水準に基づく方法」とすることを前提とする。これは、現行基準が適用されてから8年以上経過しており、著者らが知る範囲では現行基準の運用上の不具合の報告はなされていないことを踏まえたものである。

また、部分係数フォーマットについては、荷重抵抗係数アプローチへ変更することも前提としている。これは、竹信ら<sup>2)</sup>の、材料係数アプローチよりも荷重抵抗係数アプローチの方が、実務的なメリットが多いという考え方を踏襲したためである。

まず、手順①として、現行基準の安全性水準を評価するために、同一の設計条件に対し、安全率法と現行基準における部分係数法を用いて設計し、両者の安全性水準を相対評価する。

次に、手順②として、手順①で得られた安全性水準の評価結果を踏まえ、目標安全性水準を設定する。

また、手順③として、安全率法と現行基準における部分係数法で設計された断面が有する破壊確率を評価し、部分係数フォーマットを設定の上、目標安全性水準に対応する目標破壊確率を設定する。

更に、手順④として、手順③で設定した目標破壊確率に合致するような部分係数を破壊モード毎に設定する。

最後に、手順⑤として、新たに設定された部分係数を用いて試設計を実施し、得られた断面幅やその断面が有する破壊確率を指標として、部分係数の妥当性を評価することとする。

## 2.2 部分係数設定に当たっての検討手順

本研究における部分係数の設定に当たっての検討手順(第4章～第6章)をフローに示す(図-2.1)。検討の手順や具体的な計算手法は、竹信ら<sup>2)</sup>が提案する方法を踏襲することとし、破壊確率や部分係数の検討に当たっては、全てモンテカルロシミュレーションを用いた。

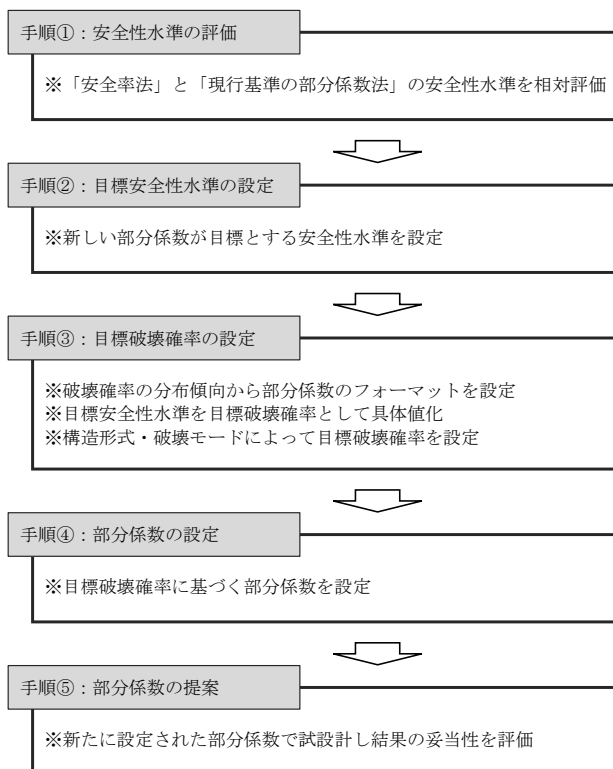


図-2.1 本研究の検討フロー



### 3. 重力式防波堤の照査手法

#### 3.1 本章の概要

本章では、重力式防波堤の滑動照査および転倒照査に用いる設計手法について整理する。3.2では現行基準より前に用いられていた安全率法と現行基準で用いられている部分係数法の照査方法を示す。

防波堤の設計において、防波堤の諸元は変動波浪によって決定することが多いため、主たる作用である波の作用について把握することが重要である。3.3では、波圧算定式として一般的に用いられる合田式と、砕波を考慮するための拡張した利用方法について概要を述べる。

3.2や3.3は、現行基準および「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成11年）」<sup>4)</sup>や、昭和25年発行の「港湾工事設計示方要覧」<sup>5)</sup>および昭和34年発行の「港湾工事設計要覧」<sup>6)</sup>等を基にまとめている。

#### 3.2 安全率法と現行基準における部分係数法

##### (1)安全率法

現行基準より前は、重力式防波堤の安定性の照査に対して、安全率法が用いられてきた。安全率法を用いた滑動および転倒の安定性は、抵抗側の合計値 $R$ と、荷重側の合計値 $S$ の比である安全率が、許容される安全率以上であることで確認する。安全率の算定式を式(3.1)に、許容される安全率を表-3.1に示す。抵抗側の合計値 $R$ と荷重側の合計値 $S$ は、特性値で計算される。

$$F_s = R / S \quad (3.1)$$

表-3.1 既往の基準における許容安全率

	滑動照査	転倒照査
波圧時	1.2 <sup>*</sup>	1.2

\*) 模型実験によって堤体の安定性を確認した場合には、安全率が1.2を下回ってもよいが、1.0を下回ってはならない。

抵抗 $R$ と荷重 $S$ は、堤体の変動波浪時における滑動照査と転倒照査の場合は、式(3.2)および式(3.3)のとおりとなる。ただし、抵抗 $R$ と荷重 $S$ は、滑動照査の場合は作用する力の合計を、転倒照査の場合は作用するモーメントの合計を表す(図-3.1)。

##### (滑動照査)

$$R = \mu \cdot (W - P_B - P_U)$$

$$S = P_H \quad (3.2)$$

##### (転倒照査)

$$R = W \cdot a_1 - P_B \cdot a_2 - P_U \cdot a_3$$

$$S = P_H \cdot a_4 \quad (3.3)$$

ここに、

$\mu$  : 摩擦係数

$W$  : 堤体の重量

$P_B$  : 浮力

$P_U$  : 揚圧力

$P_H$  : 水平波力

$a_1 \sim a_4$  : 各作用のアーム長

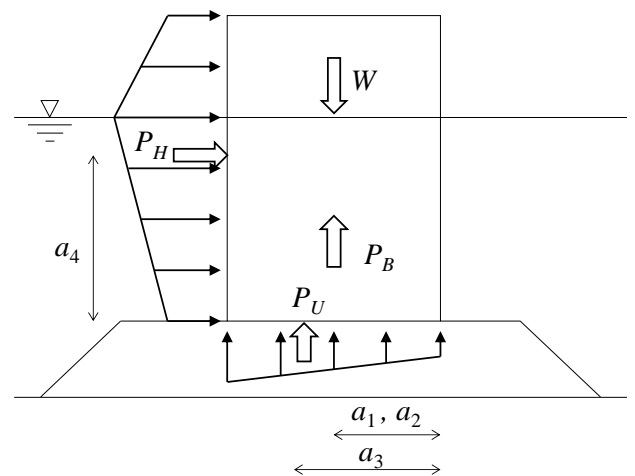


図-3.1 荷重図（堤体部）

表-3.1に示す許容安全率は、昭和25年発行の文献<sup>5)</sup>のなかですでに示されており、滑動照査については、「滑出に対する安全率は1.2以上たることを要する。」と規定されており、転倒照査についても、「転倒に対する安全率は1.5以上たることを要する。」と規定されている。昭和34年発行の文献<sup>6)</sup>では、滑動照査と転倒照査の安全率は、両者ともに「安全率は1.2以上とする。」と規定されており、転倒の安全率が1.5から1.2に低減されている。

この時点で表-3.1に示す許容安全率が提示されたが、これ以降、平成11年発行の文献<sup>4)</sup>まで、安全率の見直しは行われていない。すなわち、安全率の値については、60年にも渡る実績があるということになる。なお、重力式防波堤の安全率法を用いた設計手法や安全率の変遷については、付録Aに詳細を示す。また、以下、安全率法とは、文献<sup>4)</sup>による設計法とする。

(2) 現行基準における部分係数法

現行基準では、堤体の安定性の照査に対して、部分係数法が適用されている。部分係数法を用いた滑動および転倒の安定性は、抵抗側の合計値  $R_d$  が、荷重側の合計値  $S_d$  以上であることで確認する。部分係数法の照査式を式(3.4)に示す。抵抗側の合計値  $R_d$  と荷重側の合計値  $S_d$  は、特性値に部分係数を乗じた設計用値で計算される。

$$R_d \geq S_d \quad (3.4)$$

抵抗  $R_d$  と荷重  $S_d$  は、堤体の変動波浪時における滑動照査と転倒照査の場合は、式(3.5)および式(3.6)のとおりとなる。ただし、抵抗  $R_d$  と荷重  $S_d$  は滑動照査の場合は作用する力の合計を、転倒照査の場合は、作用するモーメントの合計を表す。

(滑動照査)

$$R_d = f_d \cdot (W_d - P_{Bd} - P_{Ud})$$

$$S_d = P_{Hd} \quad (3.5)$$

(転倒照査)

$$R_d = W_d \cdot a_1 - P_{Bd} \cdot a_2 - P_{Ud} \cdot a_3$$

$$S_d = P_{Hd} \cdot a_4 \quad (3.6)$$

ここに、

$f_d$  : 摩擦係数

$W_d$  : 堤体の重量

$P_{Bd}$  : 浮力

$P_{Ud}$  : 揚圧力

$P_{Hd}$  : 水平波力

$a_1 \sim a_4$  : 各作用のアーム長

式中の設計用値は、例えば摩擦係数、揚圧力、水平波力については式(3.7)のとおり算定する。なお、記号  $\gamma$  はその添え字に関する部分係数であり、添字  $k$  および  $d$  はそれぞれ特性値および設計用値を示す。

$$f_d = \gamma_f \times f_k$$

$$P_{Ud} = \gamma_{PU} \times P_{Uk}$$

$$P_{Hd} = \gamma_{PH} \times P_{Hk} \quad (3.7)$$

その他、例えば堤体の重量については、堤体を構成する材料である、中詰砂、鉄筋コンクリートおよび無筋コンクリートの特性値に、部分係数を乗じることで設計用値を算定し、各材料の設計用値を用いて堤体重量の設計用値を計算する。

現行基準では、構造形式や照査項目に応じて、標準的な破壊確率に対する部分係数が与えられている。混成堤における滑動および転倒の部分係数を表-3.2に、消波ブロック被覆堤における滑動および転倒の部分係数を表-3.3に示す。表-3.2および表-3.3の部分係数は、波浪の作用による変動状態における、混成堤および消波ブロック被覆堤の直立部の滑動、転倒、基礎地盤の支持力破壊の標準的なシステム破壊確率に関する部分係数である。標準的なシステム破壊確率は、過去の設計法による防波堤の平均的な安全性水準を信頼性理論により評価したものである。

表-3.2 部分係数 (混成堤) <sup>1)</sup>

目標システム信頼性指標 $\beta_T$		2.38				
目標システム破壊確率 $P_{FT}$		$8.7 \times 10^{-3}$				
$\gamma$ の計算に用いる目標信頼性指標 $\beta_T'$		2.40				
		$\gamma$	$\alpha$	$\mu/X_k$	V	
滑動	$\gamma_f$ 摩擦係数	0.79	0.689	1.060	0.150	
	$\gamma_{PH}, \gamma_{PU}$	水深変化 緩	1.04	-0.704	0.740	0.239
		水深変化 急	1.17	-	0.825	0.251
	$\gamma_{wl}$	$r_{wl} = 1.5$	1.03	-	1.000	0.200
		$r_{wl} = 2.0, 2.5$	1.06	-0.059	1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00	-	-	-
	$\gamma_{WRC}$	RCの単位体積重量	0.98	0.030	0.980	0.020
	$\gamma_{WNC}$	NCの単位体積重量	1.02	0.025	1.020	0.020
	$\gamma_{WSAND}$	中詰め砂の単位体積重量	1.01	0.150	1.020	0.040
	転倒	$\gamma_{PH}, \gamma_{PU}$	水深変化 緩	1.15	-0.968	0.740
水深変化 急			1.31	-	0.825	0.251
$\gamma_{wl}$		$r_{wl} = 1.5$	1.04	-	1.000	0.200
		$r_{wl} = 2.0, 2.5$	1.09	-0.092	1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00	-	-	-
$\gamma_{WRC}$		RCの単位体積重量	0.98	0.044	0.980	0.020
$\gamma_{WNC}$		NCの単位体積重量	1.02	0.040	1.020	0.020
$\gamma_{WSAND}$		中詰め砂の単位体積重量	1.00	0.232	1.020	0.040

※1:  $\alpha$ : 感度係数、 $\mu/X_k$ : 平均値の偏り (平均値/特性値)、V: 変動係数である。  
 ※2: RC: 鉄筋コンクリート、NC: 無筋コンクリート  
 ※3: 水深変化緩/急: 海底勾配1/30未満/以上  
 ※4:  $r_{wl}$ は既往最高潮位 (H.H.W.L.) と期望平均満潮位 (H.W.L.) の比である。

表-3.3 部分係数 (消波ブロック被覆堤) <sup>1)</sup>

目標システム信頼性指標 $\beta_T$		2.38				
目標システム破壊確率 $P_{FT}$		$8.7 \times 10^{-3}$				
$\gamma$ の計算に用いる目標信頼性指標 $\beta_T'$		2.40				
		$\gamma$	$\alpha$	$\mu/X_k$	V	
滑動	$\gamma_f$ 摩擦係数	0.77	0.750	1.060	0.150	
	$\gamma_{PH}, \gamma_{PU}$	水深変化 緩	0.91	-0.636	0.702	0.191
		水深変化 急	1.01	-	0.772	0.205
	$\gamma_{wl}$	$r_{wl} = 1.5$	1.04	-	1.000	0.200
		$r_{wl} = 2.0, 2.5$	1.08	-0.081	1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00	-	-	-
	$\gamma_{WRC}$	RCの単位体積重量	0.98	0.030	0.980	0.020
	$\gamma_{WNC}$	NCの単位体積重量	1.02	0.031	1.020	0.020
	$\gamma_{WSAND}$	中詰め砂の単位体積重量	1.01	0.150	1.020	0.040
	転倒	$\gamma_{PH}, \gamma_{PU}$	水深変化 緩	1.01	-0.962	0.702
水深変化 急			1.14	-	0.772	0.205
$\gamma_{wl}$		$r_{wl} = 1.5$	1.06	-	1.000	0.200
		$r_{wl} = 2.0, 2.5$	1.13	-0.133	1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00	-	-	-
$\gamma_{WRC}$		RCの単位体積重量	0.98	0.050	0.980	0.020
$\gamma_{WNC}$		NCの単位体積重量	1.02	0.054	1.020	0.020
$\gamma_{WSAND}$		中詰め砂の単位体積重量	0.00	0.248	1.020	0.040

※1:  $\alpha$ : 感度係数、 $\mu/X_k$ : 平均値の偏り (平均値/特性値)、V: 変動係数である。  
 ※2: RC: 鉄筋コンクリート、NC: 無筋コンクリート  
 ※3: 水深変化緩/急: 海底勾配1/30未満/以上  
 ※4:  $r_{wl}$ は既往最高潮位 (H.H.W.L.) と期望平均満潮位 (H.W.L.) の比である。

安全率法では、特性値で計算された安全率という最終結果に安全性の余裕を見込む方法であるのに対し、部分

係数法では、設計初期における設計因子や合力等に安全性の余裕を見込む方法である。

### 3.3 波圧算定式の概要

#### (1)合田式による波圧

昭和 25 年発行の文献<sup>5)</sup>では、波圧算定式として、重複波にはサンフルー式、砕波には広井式が適用されていた。これらの式を適用すると、重複波から砕波への移行が不連続である等の問題を含んでいた。合田<sup>7)</sup>はこの問題に対して新たな波圧算定式を提案しており、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（昭和 54 年）」に合田による波圧算定式が掲載されて以降、現在に至るまで、合田式として広く使われている。

合田式において、直立部前面に作用する水平波力は、式(3.8)から式(3.11)で表される、波圧とその作用高から、波圧分布を考慮して算定される(図-3.2, 図-3.3)。

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta)\lambda_1 H_D \quad (3.8)$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos \beta)(\alpha_1 \lambda_1 + \alpha_2 \lambda_2 \cos^2 \beta)\rho_0 g H_D \quad (3.9)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)} \quad (3.10)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (3.11)$$

- ここに、 $\eta^*$  : 静水面上で波圧強度が 0 となる高さ  
 $p_1$  : 静水面における波圧強度  
 $p_2$  : 海底面における波圧強度  
 $p_3$  : 直立壁の底面における波圧強度  
 $\rho_0 g$  : 水の単位体積重量  
 $\beta$  : 波の主方向から  $\pm 15^\circ$  の範囲内で最も危険な方向と直立壁の法線の垂線が成す角度

$\lambda_1, \lambda_2$  : 波圧の補正係数

$h$  : 直立壁の前面における水深

$L$  : 水深  $h$  において計算に用いる波長

$H_D$  : 計算に用いる波高

$\alpha_1$  : 次式によって表される数値

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{4\pi h/L}{\sinh 4\pi h/L} \right\}^2 \quad (3.12)$$

$\alpha_2$  :  $\frac{h_b - d}{3h_b} \left( \frac{H_D}{d} \right)^2$  と  $\frac{2d}{H_D}$  のうち、いずれか小さい数値

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left( \frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right\} \quad (3.13)$$

$\alpha_3$  : 次式によって表される数値

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right\} \quad (3.14)$$

この式において、 $h_b$ 、 $d$ 及び $h'$ は、それぞれ次の数値を表すものとする。

$h_b$  : 直立壁の前面から沖側へ有義波高の 5 倍の距離の地点における水深

$d$  : マウンドの根固め工又は被覆工の天端のうち、いずれか浅い水深

$h'$  : 直立壁の底面の水深

合田式において、直立部底面に作用する揚圧力は、直立壁の前趾で、式(3.15)で表される $p_u$ 、後趾で 0 となる三角形分布である。

$$p_u = 0.5(1 + \cos \beta)\alpha_1 \alpha_3 \lambda_3 \rho_0 g H_D \quad (3.15)$$

ここに、 $p_u$  : 直立壁の底面に作用する揚圧力  
 $\lambda_3$  : 揚圧力の補正係数

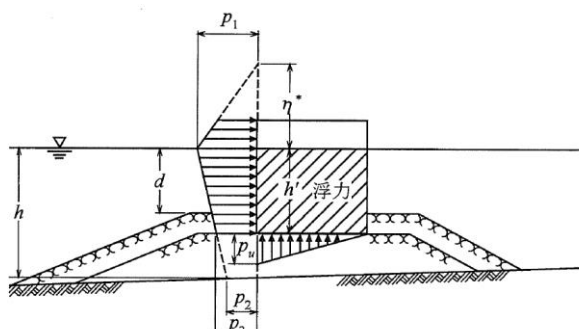


図-3.2 計算に用いる波圧分布<sup>1)</sup>

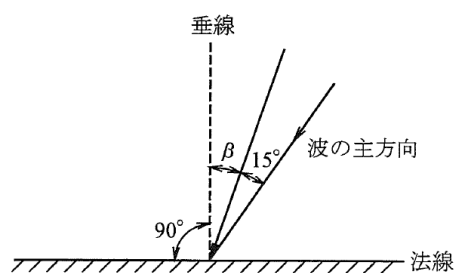


図-3.3 波の入射角  $\beta$  のとりかた<sup>1)</sup>

合田式の特徴は、重複波から砕波に至る波力を連続的に算定できることである。この特徴を表現している係数が、式(3.12)で表される $\alpha_1$ と、式(3.13)で表される $\alpha_2$ である。

$\alpha_1$ は式中の  $h/L$  によって、間接的に周期を考慮している係数であり、 $\alpha_1$ がとり得る値の変化の一例を図-3.4に示す。 $\alpha_1$ のとり得る値は、浅海域の0.6から深海域の1.1であり、深海域では $\alpha_1$ の変化は小さく、浅海域では $h/L$ によって $\alpha_1$ への影響が大きくなっている。これは、深海域では海底の影響を受けにくいため波高は変化せず、浅海域では海底の影響を受けやすいため、波速が遅くなると同時に波長が縮まり、波高が変化する様子を表している。

$\alpha_2$ は、マウンドの高さと海底勾配による波力の変化を考慮している係数であり、 $\alpha_2$ がとり得る値の変化の一例を図-3.5に示す。波高 $H_D$ に対するマウンド天端の水深 $d$ が大きくなると、砕波による影響が徐々に大きくなり、砕波に最適な条件をピークとして、急激に波圧の影響が減少する様子が見て取れる。また、式中の $h_b$ が大きい、すなわち、海底勾配が大きいと $\alpha_2$ の値は大きくなることわかる。

以上より、合田式では、重複波の特徴を $\alpha_1$ で表現し、砕波の特徴を $\alpha_2$ で表しているということもできる。

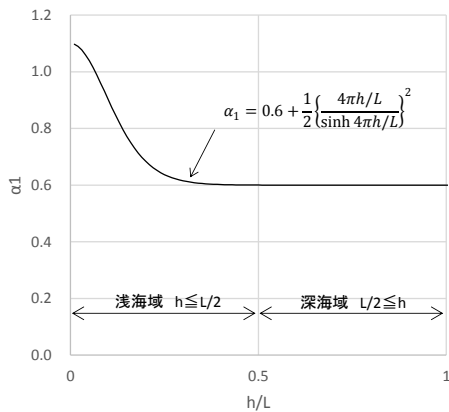


図-3.4  $\alpha_1$ の計算例

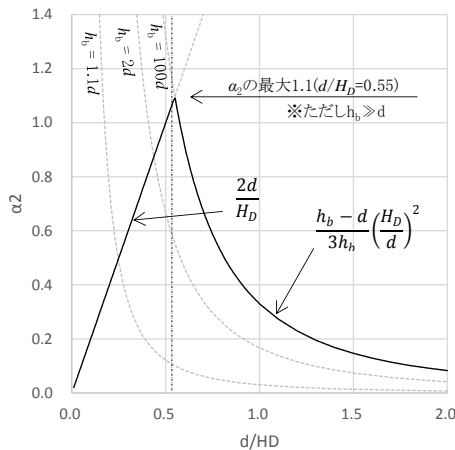


図-3.5  $\alpha_2$ の計算例

(2)消波ブロックで被覆された直立壁に作用する波力

消波ブロックで被覆された直立壁に作用する波圧の算定には、波圧の補正係数 $\lambda$ を式(3.16)で与えることで、合田式を準用することができる。消波ブロックによって砕波圧は著しく低減するため補正係数 $\lambda_2$ は0とされ、重複波の影響は波高に依存するとの考えのもと、波高に応じた係数が与えられている。

$$\lambda_1 = \begin{cases} 1.0 & (H/h \leq 0.3) \\ 1.2 - 2(H/h)/3 & (0.3 < H/h \leq 0.6) \\ 0.8 & (H/h > 0.6) \end{cases}$$

$$\lambda_3 = \lambda_1$$

$$\lambda_2 = 0 \tag{3.16}$$

なお、消波ブロック被覆堤が一般に用いられる砕波帯では、 $\lambda_1 = \lambda_3 = 0.8$ となる。

(3)衝撃砕波力

高橋ら<sup>8)</sup>は、マウンドが高く、衝撃砕波力が作用する場合において、その波力の程度を表す係数として、衝撃砕波力係数 $\alpha_1$ を提案している。この係数は、マウンド前面肩幅やマウンド天端の水深等を考慮して実験的に導かれた係数であり、合田式に対しては、 $\alpha_2$ と $\alpha_1$ の大きい方を用いればよい。

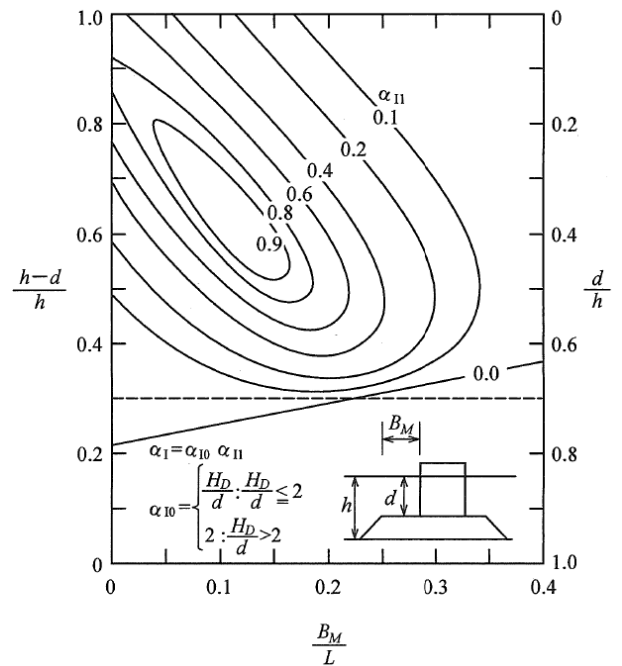


図-3.6 衝撃砕波力係数<sup>1)</sup>

$\alpha_1$ は、図-3.6で示され、 $\alpha_1$ を数式化したものが、式(3.17)である。図-3.6より、マウンド天端の水深 $d$ とマウンド前面肩幅 $B_M$ がある条件を満たす時、 $\alpha_1$ の値はピークとなり、そこから条件が外れるに従い、碎波の影響が小さくなる様子がわかる。

$$\alpha_1 = \alpha_{10}\alpha_{11} \quad (3.17)$$

ここに、

$\alpha_{10}$  : 波高の影響を表すパラメータ

$\alpha_{11}$  : マウンド形状の影響を表すパラメータ

$\alpha_{10}$ は式(3.18)で、 $\alpha_{11}$ は式(3.19)で表される。

$$\alpha_{10} = \begin{cases} H_D/d & (H_D/d \leq 2) \\ 2 & (H_D/d > 2) \end{cases} \quad (3.18)$$

$$\alpha_{11} = \begin{cases} \frac{\cos \delta_2}{\cosh \delta_1} & (\delta_2 \leq 0) \\ \frac{1}{\cosh \delta_1 (\cosh \delta_2)^{1/2}} & (\delta_2 > 0) \end{cases} \quad (3.19)$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 20\delta_{11} & (\delta_{11} \leq 0) \\ 15\delta_{11} & (\delta_{11} > 0) \end{cases} \quad (3.20)$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 4.9\delta_{22} & (\delta_{22} \leq 0) \\ 3\delta_{22} & (\delta_{22} > 0) \end{cases} \quad (3.21)$$

$$\delta_{11} = 0.93 \left( \frac{B_M}{L} - 0.12 \right) + 0.36 \left( \frac{h-d}{h} - 0.6 \right) \quad (3.22)$$

$$\delta_{22} = -0.36 \left( \frac{B_M}{L} - 0.12 \right) + 0.93 \left( \frac{h-d}{h} - 0.6 \right) \quad (3.23)$$

#### (4)信頼性設計の観点による合田式の着目点

合田式で波圧を算定する過程において、碎波に関する係数 $\alpha_2$ もしくは $\alpha_1$ に対してどの式が選択されるかによって、算定される波圧の持つ性質が異なる。波圧の持つ性質は、 $\alpha_2$ を計算する際に用いる式(3.13)と $\alpha_1$ を計算する過程で用いる式(3.18)において、式(3.24)のなかから選択される式によって決まる。算定される波力は、設計波高 $H_D$ に比例する性質、もしくは、 $H_D$ の自乗に比例する性質、もしくは、 $H_D$ の逆数に比例する性質、もしくは、 $H_D$ に無関係な性質となるのかで、違いが出てくる。

$$\max \left\{ \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left( \frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right\}, \min \left\{ \frac{H_D}{d}, 2 \right\} \right\} \quad (3.24)$$

信頼性設計を考える場合、 $H_D$ にある統計的性質を持たせたとき、算定される波圧が上記のどの過程を経てきたかによって、算定される波圧の統計的性質が全く異なるということである。

#### 4. 安全率法と現行基準の部分係数法で設計された断面における安全性水準の比較

表-4.1 システム信頼性指標の比較

構造形式	平均値		標準偏差	
ケーソン式混成堤	2.38	2.11	0.30	0.14
消波ブロック被覆堤		2.64		0.15

##### 4.1 本章の概要

本章では、安全率法で設計された場合と、現行基準における部分係数法で設計された場合を対象に、構造断面が有する安全性水準について考察する。検討の対象構造は、重力式防波堤のうち、混成堤および消波ブロック被覆堤とし、検討の対象破壊モードは、変動波浪時に対する滑動および転倒とする。混成堤および消波ブロック被覆堤の各構造形式と、滑動および転倒の各破壊モードの組合せに対して、安全率法と現行基準における部分係数法で、必要な最小断面幅を計算し、比較検討する。

検討に先立ち、4.2で現行基準の考え方について整理し、4.3で検討に必要な断面諸元と設計因子について説明する。4.4では、安全率法と、現行基準における部分係数法で計算された最小断面幅から、安全性水準を検証し、このときの安全率の関係についても参考として示す。

##### 4.2 現行基準の整理

目標安全性水準を検討するにあたって、現行基準の目標安全性水準に対する考え方について整理する。現行基準において、混成堤および消波ブロック被覆堤の変動波浪に対する滑動および転倒照査の目標安全性水準は、「過去の設計法の平均的な安全性水準に基づく方法」によって決定されている。吉岡ら<sup>3)</sup>は、安全率法で設計された混成堤と消波ブロック被覆堤のシステム信頼性指標を算出し、消波ブロック被覆堤の方が、システム信頼性指標の平均値が高いことを示している(表-4.1)。この結果は、消波ブロック被覆堤の被災遭遇確率が、混成堤と比較して1オーダー低い値であるという知見に調和的であると考察されている。

また、目標とする信頼性指標 $\beta$ については、「ケーソン式混成堤、消波ブロック被覆堤については、それぞれの平均信頼性指標が異なっているが、これは明瞭な意図のもとに設計された結果ではないと考えられるため、ここでは両者の平均値(2.38)を目標値とした。」とある。この平均値を目標として設定された、現行基準の部分係数法による設計結果は、安全率法に比べてケーソン式混成堤は全体的に堤体重量増大、消波ブロック被覆堤は全体的に堤体重量縮減となり、両者を合わせた堤体重量は、全国平均的に安全率法と同程度に保たれると記されている。

##### 4.3 検討条件

安全率法と現行基準の部分係数法が有する安全性水準の違いを検証するために、一般的な混成堤と消波ブロック被覆堤を網羅するように、複数の断面を設定する。混成堤の断面の基本構造を図-4.1に、消波ブロック被覆堤の基本構造を図-4.2に示す。

具体的な検討断面は、吉岡ら<sup>3)</sup>に示される、全国広範囲より地域、設計条件に偏りがないように収集された防波堤の建設事例(ケーソン式混成堤38ケース、消波ブロック被覆堤38ケース)を元に設定した(表-4.2、表-4.3)。設定根拠の詳細は付録Bに示す。

安全率法と現行基準における部分係数法において、設計される断面が有する安全性水準の違いは、同じ条件に対して両設計方法を適用したときに計算される必要最小断面幅を比較することで検証する。

安全率法において必要な最小断面幅は、滑動安全率が $F_s=1.2$ に等しくなる断面幅を滑動に対する、必要な最小断面幅とし、転倒安全率が $F_s=1.2$ に等しくなる断面幅を転倒に対する必要な最小断面幅とする。両者のうち大きい断面幅を安全率法で波圧時に対して必要な決定断面幅とする。

現行基準における部分係数法において必要な最小断面幅は、滑動における荷重値と抵抗値が等しくなる断面幅を滑動に対する必要な最小断面幅とし、転倒における荷重値と抵抗値が等しくなる断面幅を転倒に対する必要な最小断面幅とする。両者のうち大きい断面幅を現行基準における部分係数法で変動波浪に対して必要な決定断面幅とする。

なお、現行基準の部分係数法では、海底勾配が1/30未満(以下、「海底勾配が緩い場合」という。)と、海底勾配が1/30以上(以下、「海底勾配が急な場合」という。)で部分係数を使い分けている。これは、海底地形が単純な場合と海底地形が複雑な場合では、波浪変形計算精度が異なるという、高山ら<sup>9)</sup>による報告を踏まえた結果である。

本研究では、海底勾配の違いによって使い分けている部分係数が、波浪変形計算精度の違いによるものとする。実際の海底勾配に依らず、全ての検討断面に対して、2通りの統計的性質を考慮するものとした。この考え方の詳細は付録Bに示す。

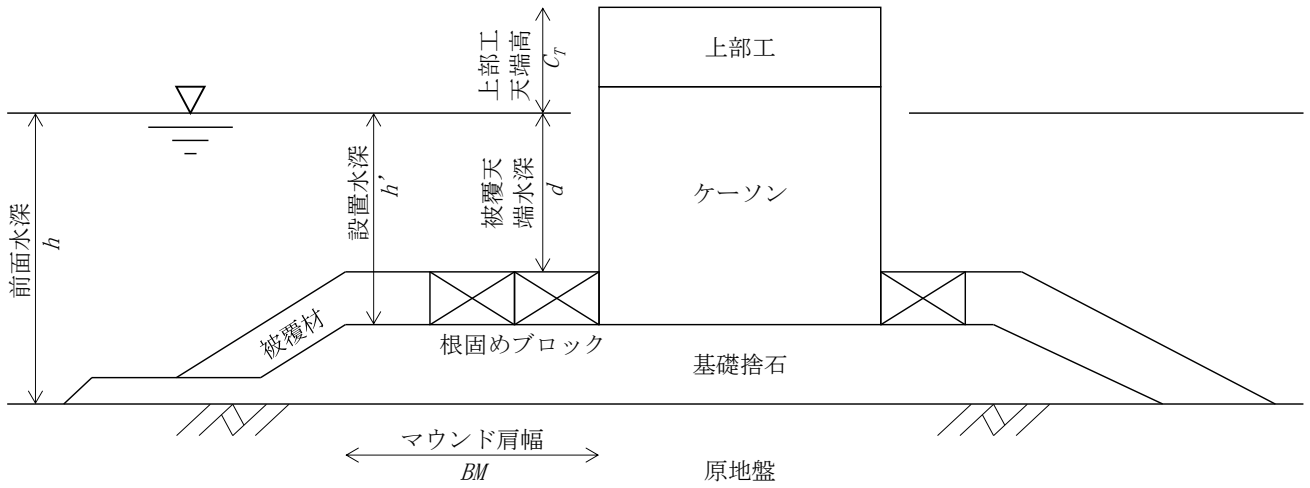


図-4.1 混成堤の基本構造

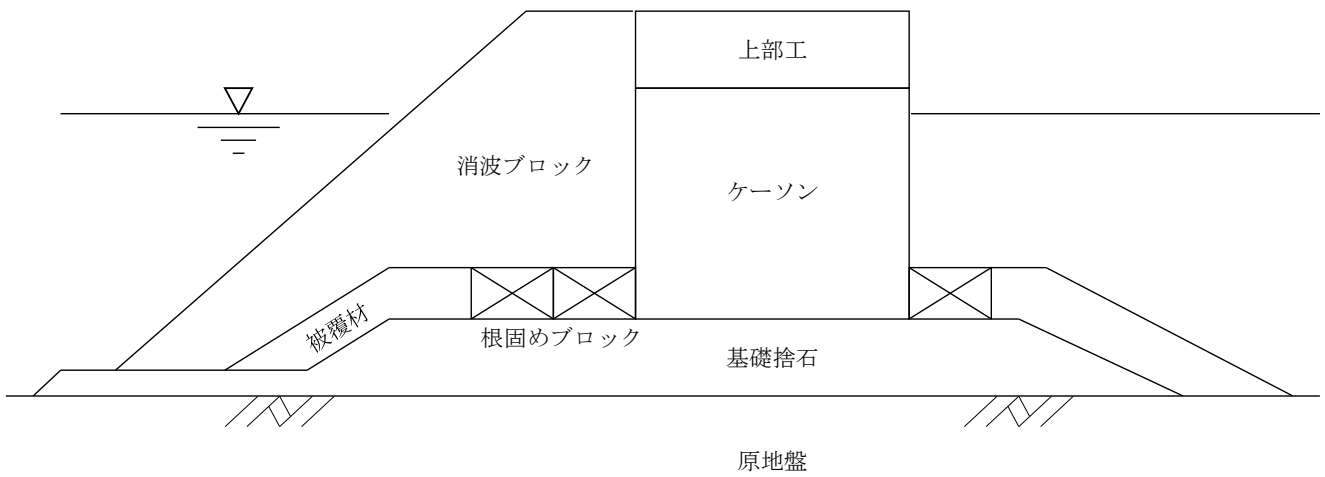


図-4.2 消波ブロック被覆堤の基本構造

表-4.2 混成堤の断面条件

ケース 番号	前面水深 $h$ m	被覆天端 水深 $d$ m	設置水深 $h'$ m	上部工 天端高 $C_T$ m	海底勾配 $i$	有義波高 $H_{1/3}$ m	周期 $T$ s	入射角 $\beta$	摩擦係数 $f$	堤体平均 単体重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup>	設計潮位 $wl$ m	設計波高 $H_D$ m	マウンド 肩幅 $BM$ m
1	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0077	7.50	13.5	15.0	0.75	21.0	0.50	13.40	10.60
2	21.5	14.3	17.0	6.5	0.0100	9.40	14.0	10.3	0.75	21.0	0.50	16.68	12.60
3	17.5	10.3	13.5	6.4	0.0090	9.80	14.0	0.0	0.75	21.0	0.50	14.05	11.50
4	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0080	7.10	13.5	0.0	0.60	21.0	0.70	12.50	12.50
5	13.0	7.5	8.5	4.5	0.0050	3.74	14.0	20.0	0.60	21.0	0.50	6.73	9.00
6	16.0	11.5	13.0	6.0	0.0130	8.50	13.5	25.0	0.75	21.0	0.50	13.07	7.00
7	22.0	15.0	16.5	6.0	0.0140	8.00	13.0	7.0	0.60	21.0	1.50	14.30	8.00
8	27.5	15.0	18.5	6.0	0.0050	8.00	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	14.30	33.00
9	26.5	13.3	16.5	6.0	0.0050	7.40	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	13.30	28.00
10	14.7	10.5	12.5	5.5	0.0230	7.40	11.0	0.0	0.60	21.0	0.40	13.30	13.50
11	23.2	13.0	16.5	6.2	0.0020	8.00	14.0	7.0	0.60	21.0	1.40	14.36	10.00
12	12.7	8.0	9.5	5.0	0.0100	3.50	13.0	23.0	0.60	21.0	1.50	6.40	10.00
13	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	5.90	6.50
14	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	5.5	0.60	21.0	0.80	5.94	6.50
15	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	5.90	6.50
16	13.1	7.6	10.5	5.0	0.0090	5.50	12.0	12.0	0.60	21.0	1.60	9.60	12.00
17	18.5	11.5	13.0	6.0	0.0100	8.40	12.5	0.0	0.75	21.0	1.30	13.00	15.80
18	13.5	8.0	10.0	8.0	0.0200	8.40	13.5	0.0	0.75	21.0	3.50	13.00	15.50
19	14.5	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	13.05	11.00
20	15.6	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	13.05	15.60
21	17.0	11.5	13.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	13.05	15.60
22	12.0	8.0	9.0	4.5	0.0100	4.80	10.8	30.0	0.60	21.0	1.67	8.64	7.50
23	17.2	9.0	10.0	4.8	0.0050	2.80	5.9	30.0	0.60	21.0	2.20	4.95	6.50
24	12.6	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.30	7.5	43.0	0.60	21.0	2.10	4.10	11.10
25	12.2	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.50	7.6	42.0	0.60	21.0	2.10	4.50	7.00
26	13.0	8.0	9.0	5.5	0.0100	3.70	14.8	0.0	0.60	21.0	3.10	6.60	8.00
27	8.6	5.3	6.5	9.2	0.0100	5.10	11.1	38.0	0.60	21.0	1.30	7.50	5.00
28	17.0	12.6	14.0	6.5	0.0030	7.70	13.0	0.0	0.60	21.0	1.50	12.70	9.60
29	6.6	4.0	5.0	3.0	0.0200	2.90	11.0	43.0	0.60	21.0	0.40	5.30	9.60
30	18.7	12.3	13.5	4.0	0.0100	5.80	11.0	15.0	0.60	21.0	0.40	10.50	13.45
31	14.1	8.8	10.0	6.5	0.0100	6.00	15.0	0.0	0.60	21.0	1.50	10.60	13.20
32	18.4	11.5	13.0	4.5	0.0091	6.00	8.7	25.0	0.60	21.0	0.90	10.80	10.10
33	18.5	9.6	12.0	4.5	0.0167	6.00	11.3	7.0	0.75	21.0	0.90	12.00	9.60
34	19.0	10.0	11.0	2.6	0.0100	3.00	7.3	0.0	0.60	21.0	0.80	5.40	6.00
35	12.1	7.5	9.0	4.9	0.0346	5.78	13.0	40.0	0.75	21.0	1.42	10.08	10.00
36	10.0	6.0	7.5	4.2	0.0033	4.71	13.0	59.0	0.60	21.0	1.33	8.02	8.00
37	10.0	6.0	7.5	4.2	0.0033	4.71	13.0	59.0	0.60	21.0	1.33	8.02	8.00
38	15.0	6.0	7.0	5.6	0.0100	2.34	4.7	14.0	0.60	21.0	4.05	4.21	7.00

表-4.3 消波ブロック被覆堤の断面条件

ケース 番号	前面水深 $h$ m	被覆天端 水深 $d$ m	設置水深 $h'$ m	上部工 天端高 $C_T$ m	海底勾配 $i$	有義波高 $H_{1/3}$ m	周期 $T$ s	入射角 $\beta$	摩擦係数 $f$	堤体平均 単体重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup>	設計潮位 $wl$ m	設計波高 $H_D$ m	マウンド 肩幅 $BM$ m
1	11.5	6.1	8.5	4.0	0.0100	5.30	12.0	0.0	0.60	21.0	0.50	9.10	-
2	10.5	5.6	8.0	4.0	0.0100	5.30	12.0	0.0	0.60	21.0	0.50	8.60	-
3	10.5	5.6	8.0	4.0	0.0100	5.80	12.0	0.0	0.60	21.0	0.50	8.70	-
4	16.5	9.3	12.5	7.0	0.0110	7.90	13.0	54.0	0.75	21.0	0.50	12.85	-
5	15.5	7.3	11.5	6.5	0.0110	7.50	12.5	52.0	0.60	21.0	0.50	12.40	-
6	12.3	5.5	7.0	4.0	0.0070	4.20	13.0	0.0	0.60	21.0	1.50	7.50	-
7	16.5	10.0	11.5	5.8	0.0050	7.10	13.0	13.5	0.75	21.0	1.50	12.80	-
8	15.3	10.0	11.5	5.7	0.0050	7.20	13.0	28.5	0.60	21.0	1.50	12.70	-
9	19.0	11.5	13.0	5.3	0.0020	6.30	13.0	20.0	0.60	21.0	1.50	11.20	-
10	12.6	8.0	9.5	5.0	0.0040	3.01	14.0	0.0	0.60	21.0	1.33	9.96	-
11	14.5	8.6	10.0	3.6	0.0330	4.80	12.5	14.6	0.60	21.0	1.10	8.40	-
12	10.6	6.3	7.0	3.0	0.0100	4.90	10.5	8.0	0.60	21.0	0.80	7.50	-
13	11.5	6.5	8.0	7.0	0.0090	8.00	12.0	0.0	0.75	21.0	3.60	11.30	-
14	7.2	5.0	4.5	5.7	0.0100	3.50	7.4	0.0	0.60	21.0	4.40	5.70	-
15	11.5	6.5	8.0	7.0	0.0100	8.00	12.0	0.0	0.75	21.0	3.60	11.60	-
16	13.0	6.5	8.0	7.0	0.0100	8.00	12.0	0.0	0.75	21.0	3.60	11.60	-
17	13.4	7.5	9.0	7.6	0.0060	9.50	16.0	0.0	0.60	21.0	2.10	12.40	-
18	21.1	10.5	12.0	8.0	0.0100	9.40	17.4	35.0	0.60	21.0	2.20	15.50	-
19	15.7	13.0	13.0	6.4	0.0200	8.10	12.0	3.0	0.60	21.0	1.50	12.70	-
20	11.3	9.0	9.0	3.2	0.0100	4.80	11.5	58.0	0.60	21.0	0.40	8.20	-
21	12.1	10.0	10.0	5.8	0.0100	5.70	12.1	40.0	0.60	21.0	1.20	9.30	-
22	14.2	11.5	11.5	4.1	0.0100	5.90	11.0	0.0	0.60	21.0	0.50	9.80	-
23	16.3	12.0	12.0	4.6	0.0200	7.00	11.0	0.0	0.60	21.0	0.40	11.50	-
24	8.4	5.5	5.5	5.2	0.0100	5.40	10.0	0.0	0.60	21.0	0.30	7.00	-
25	6.0	4.0	4.0	4.5	0.0100	4.90	13.0	25.0	0.60	21.0	0.30	6.40	-
26	11.3	6.5	6.5	5.1	0.0100	5.90	12.0	9.0	0.60	21.0	0.30	8.70	-
27	5.3	3.5	3.5	2.3	0.0100	2.00	11.0	0.0	0.60	21.0	0.50	3.70	-
28	14.5	5.0	10.0	6.0	0.0100	7.00	14.0	0.0	0.75	21.0	0.50	11.63	9.40
29	11.8	7.1	9.5	4.8	0.0091	5.20	12.0	15.0	0.60	21.0	1.60	8.80	5.00
30	12.8	7.6	10.0	5.0	0.0091	5.60	12.0	20.0	0.60	21.0	1.60	9.90	7.00
31	10.5	6.0	7.0	4.0	0.0100	3.70	13.0	34.0	0.60	21.0	1.50	6.60	19.00
32	12.1	7.5	9.0	5.2	0.0020	5.83	13.0	0.0	0.60	21.0	1.70	10.02	23.90
33	14.0	8.5	10.0	6.0	0.0020	7.36	15.0	15.0	0.60	21.0	1.40	11.51	8.00
34	17.0	6.0	8.0	7.0	0.0010	12.00	16.0	0.0	0.75	21.0	3.50	20.09	14.00
35	14.2	7.5	10.0	7.0	0.0100	10.50	16.0	2.5	0.75	21.0	3.50	14.00	17.00
36	17.2	11.0	12.5	6.0	0.0100	6.00	16.5	0.0	0.75	21.0	3.50	10.80	31.50
37	7.0	4.6	5.0	5.6	0.0100	2.44	5.0	0.0	0.60	21.0	4.05	4.39	19.30
38	15.0	6.4	7.0	5.6	0.0100	2.44	5.0	0.0	0.60	21.0	4.05	4.39	19.30



#### 4.4 安全率法と現行基準の部分係数法による計算結果の比較

ここでは、安全率法および現行基準の部分係数法において、変動波浪の滑動照査および転倒照査に対して必要な最小断面幅を比較した。図-4.3から図-4.8にそれぞれの比較結果を示す。図の縦軸は、安全率法で必要な最小断面幅に対する、各設計法で必要な最小断面幅の比を示している。また、情報の整理として、安全率法から現行基準の部分係数法に移行した際の、最小断面幅が有する安全率の変化についても参考として示す。

##### 1) 混成堤に対する計算結果の比較

まず、混成堤の変動波浪に対する安定性において、滑動に対して必要な最小断面幅の比較を図-4.3に、転倒に対して必要な最小断面幅の比較を図-4.4に示す。

海底勾配が緩い場合の部分係数を用いた場合は、現行基準の部分係数法で必要な最小断面幅は安全率法で必要な最小断面幅と比較し、滑動で平均的に11%増加、転倒で平均的に同等となった。

滑動と転倒の照査結果を比較し、最終的に決定される断面幅としては、平均的に8%増加する結果となった。必要断面幅で比較した場合の現行基準における混成堤の変動状態に対する安全性水準は安全率法に比べて高くなっていることがわかる。これは、表-4.1に示したとおり、混成堤の信頼性指標が、2.11から2.38と大きくなっていることに起因している。

なお、海底勾配が急な場合の部分係数を用いると、現行基準の部分係数法で必要な最小断面幅は安全率法で必要な最小断面幅と比較し、滑動で平均的に27%増加となり、転倒で平均的に9%増加となった。最終的に決定される断面幅としては、平均的に24%増加する結果となり、安全性水準は安全率法に比べて高くなっている。

##### 2) 消波ブロック被覆堤に対する計算結果の比較

次に、消波ブロック被覆堤の波浪に対する安定性において、滑動に対して必要な最小断面幅の比較を図-4.5に、転倒に対して必要な最小断面幅の比較を図-4.6に示す。

海底勾配が緩い場合の部分係数を用いた場合は、現行基準の部分係数法で必要な最小断面幅は安全率法で必要な最小断面幅と比較し、滑動で平均的に3%減少、転倒で平均的に8%減少となった。

滑動と転倒の照査結果を比較し、最終的に決定される断面幅としては、平均的に5%減少する結果となった。必要断面幅で比較した場合の現行基準における混成堤の変動状態に対する安全性水準は安全率法に比べて低くなっ

ていることがわかる。これは、表-4.1に示したとおり、消波ブロック被覆堤の信頼性指標が、2.64から2.38と小さくなっていることに起因している。

なお、海底勾配が急な場合の部分係数を用いると、現行基準の部分係数法で必要な最小断面幅は安全率法で必要な最小断面幅と比較し、滑動で平均的に10%増加となり、転倒で平均的に同等となった。最終的に決定される断面幅としては、平均的に7%増加する結果となり、安全性水準は安全率法に比べて高くなっている。

##### 3) 総合的な計算結果の比較

混成堤と消波ブロック被覆堤の変動波浪に対する安定性に対して、最終的に決定される最小断面幅について、海底勾配が緩い場合の比較を図-4.7に、海底勾配が急な場合の比較を図-4.8に示す。

海底勾配が緩い場合、現行基準の部分係数法における安全性水準は、安全率法における安全性水準に比べて、混成堤で高くなり、消波ブロック被覆堤で低くなるため、平均的には同等となっている。

海底勾配が急な場合、現行基準の部分係数法における安全性水準は、安全率法における安全性水準に比べて、混成堤で大幅に高くなり、消波ブロック被覆堤で若干高くなるため、平均的には高くなっている。

なお、一般的に、防波堤は海底勾配が急な場所に建設されることはほとんどないことを踏まえると、図-4.8の場合はほとんどなく、図-4.7の場合が支配的である。この場合、図-4.7より、混成堤と消波ブロック被覆堤の各構造形式を平均した場合の、変動波浪に対する防波堤の安全性水準は、現行基準の部分係数法と安全率法でほぼ同等であることがわかる。

##### 4) 現行基準における部分係数法で計算される断面の安全率

参考として、混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動および転倒に対して計算された断面に対して、安全率を算定した結果を図-4.9～図-4.12に示す。また、各条件に対する安全率の平均値を表-4.4に示す。

海底勾配が緩い場合において、混成堤の平均滑動安全率は $F_s=1.33$ 、平均転倒安全率は $F_s=1.20$ となり、安全率法の $F_s=1.2$ と同等かそれ以上となる。消波ブロック被覆堤の平均滑動安全率は $F_s=1.17$ 、平均転倒安全率は $F_s=1.02$ となり、安全率法の $F_s=1.2$ と同等かそれ以下となる。安全率法から現行基準の部分係数法へ移行したことによって、混成堤の安全率は $F_s=1.2$ より大きく、消波ブロック被覆堤の安全率は $F_s=1.2$ より小さくなっているこ

とがわかる。これは、表-4.1に示したとおり、混成堤の信頼性指標が大きくなり、消波ブロック被覆堤の信頼性指標が小さくなったことに起因する。また、海底勾配が急な場合においては、海底勾配が緩い場合と比較して安全率が1割以上更に大きくなっていることがわかる。これは、表-3.2にと表-3.3からわかるように、水平波力に作用する部分係数 $\gamma_{PH}$ が、海底勾配が急な場合の方が、海底勾配が緩い場合より大きいことに起因する。

以上より、現行基準から安全率法へ移行することで、平均的には安全率は同等であるが、対象とする構造形式や対象とする破壊モード毎で見ると、安全率が変化していることがわかる。

表-4.4 安全率のまとめ

海底勾配	混成堤		消波ブロック被覆堤	
	滑動	転倒	滑動	転倒
緩	1.33	1.20	1.17	1.02
急	1.53	1.43	1.32	1.19

#### 5) 本章のまとめ

本章では、安全率法と現行基準における部分係数法で決定される混成堤と消波ブロック被覆堤の両者の平均的な断面を比較した。現行基準における部分係数法で計算された断面は、図-4.3から図-4.6に示すとおり、構造形式および破壊モードによって安全性水準が異なるものの、図-4.7からわかるとおりその平均的な安全性水準は同等であることが確認された。

なお、各構造形式で分けて見ると、現行基準による部分係数法が有する安全性水準は、安全率法が有する安全性水準に比べて、混成堤で高く、消波ブロック被覆堤で低い結果となる。この結果は表-4.1において示した、システム信頼性指標を、混成堤と消波ブロック被覆堤で平均したため、混成堤では大きくなり、消波ブロック被覆堤では小さくなるという、現行基準の考え方がそのまま反映されており、その考え方と整合した結果となっている。

なお、次章以降における部分係数の検討においては、現行基準による方法を踏襲した「混成堤と消波ブロック被覆堤の両者を考慮した過去の設計法における平均的な安全性水準に基づく方法」による目標安全性水準に対して設定することとする。

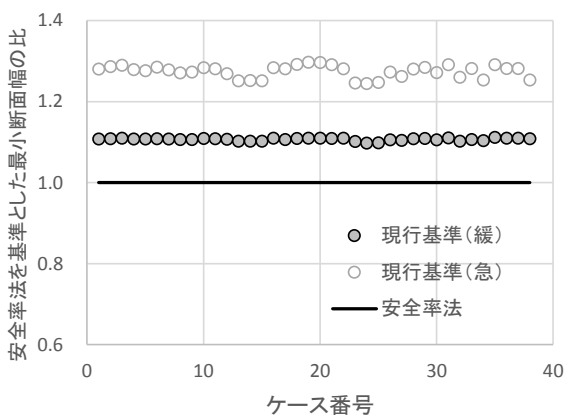


図-4.3 滑動照査に必要な断面幅 (混成堤)

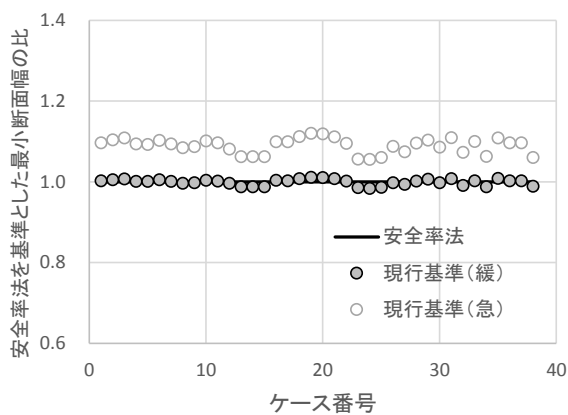


図-4.4 転倒照査に必要な断面幅 (混成堤)

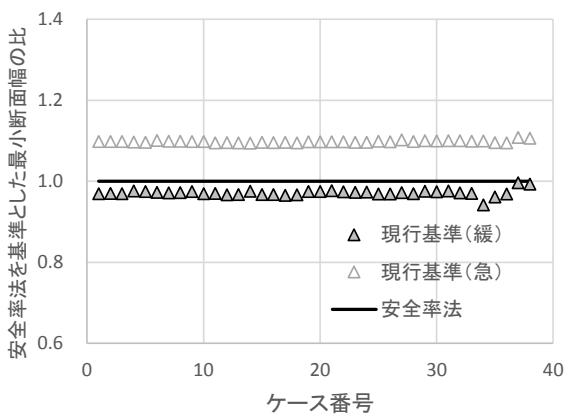


図-4.5 滑動照査に必要な断面幅  
(消波ブロック被覆堤)

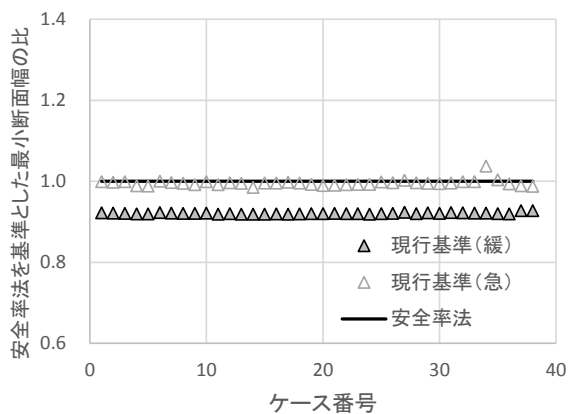


図-4.6 転倒照査に必要な断面幅  
(消波ブロック被覆堤)

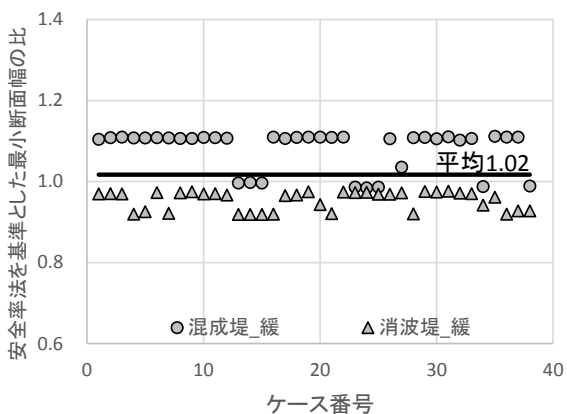


図-4.7 最終的に必要な断面幅  
(海底勾配が緩い場合)

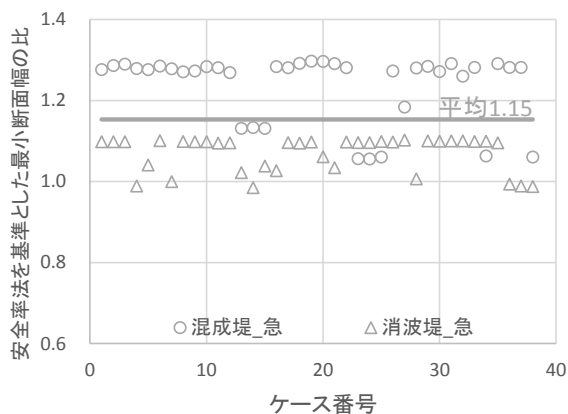


図-4.8 最終的に必要な断面幅  
(海底勾配が急な場合)

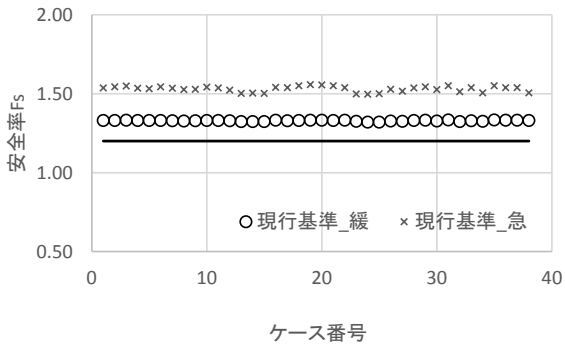


図-4.9 混成堤の滑動安全率

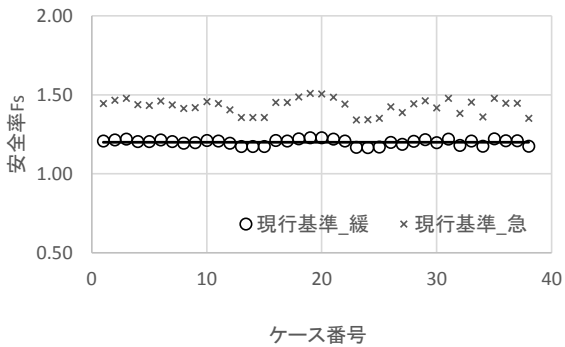


図-4.10 混成堤の転倒安全率

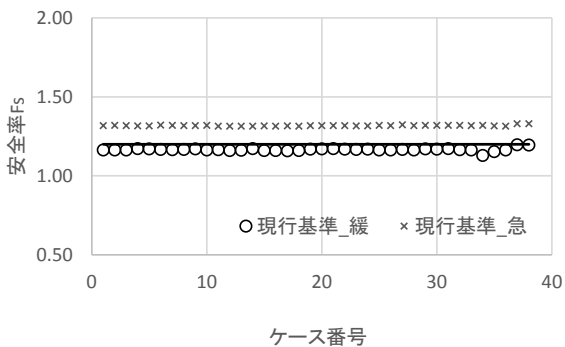


図-4.11 消波ブロック被覆堤の滑動安全率

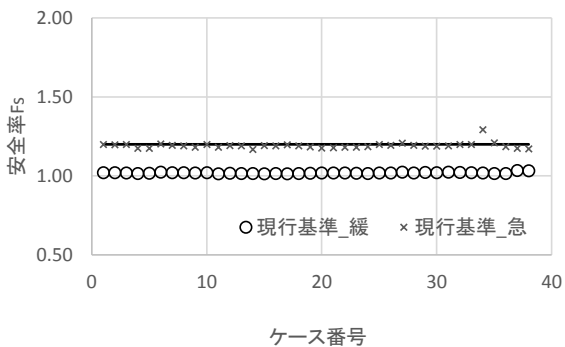


図-4.12 消波ブロック被覆堤の転倒安全率

## 5. 目標破壊確率の設定

### 5.1 本章の概要

本章では、部分係数の設定に必要な、目標破壊確率の設定について論じる。部分係数を設定する上で必要となる目標安全性水準は、第2章で述べたとおり、現行基準と同じ安全性水準である。部分係数を設定するためには、目標安全性水準を破壊確率という指標を用いた目標破壊確率として、具体的に数値化する必要がある。混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動照査および転倒照査を対象に、現行基準で設計される最小幅の断面がもつ破壊確率を5.2で評価し、構造形式や検討する破壊モードに対してどのような目標破壊確率を設定するかを5.3で示す。

### 5.2 現行基準における破壊確率の評価

破壊確率の評価については、竹信ら<sup>2)</sup>がモンテカルロシミュレーション（以下、MCSという。）を用いた方法を示している。MCSを用いた結果の一例として、図-5.1に荷重値と抵抗値の関係を示す。計算結果のうち、性能関数が負となる点が破壊した結果（以下、破壊点という。）であり、全計算数に対する破壊点の割合が破壊確率となる。破壊線は図中に示される性能関数が $Z=0$ となる線である。部分係数は図-5.1で示される設計値と特性値の比であるため、設計点が決まると部分係数が決まる。設計点は破壊点の中で尤度が最大の点とし、設計点の抽出には、重点サンプリング法を用いている。破壊確率を目標破壊確率に合わせるためには、破壊線を平行移動し、全計算数に対する破壊点の数を調整すればよい。破壊点の個数の割合が目標破壊確率に合った状態の設計点を抽出し、設計値と特性値の比をとることで、部分係数を乗じたい設計因子あるいは合力に対応した部分係数が設定される。

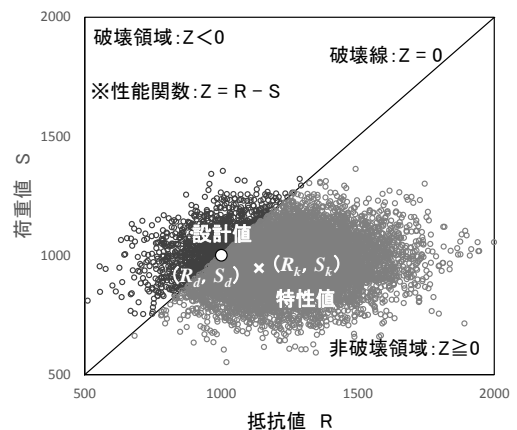


図-5.1 MCS結果の一例

本研究ではこの方法を踏襲する。MCSを実施するに当たり、必要な試行回数や重点サンプリング方法の適用性等は別途確認し、詳細を付録Cに示す。また、本編では触れないが、各設計因子の感度係数について算定した結果を付録Dに示す。

(1)検討条件

検討対象は、混成堤および消波ブロック被覆堤の、滑動照査および転倒照査である。表-4.2および表-4.3に示す条件に対して、現行基準の海底勾配が緩い場合の部分係数および、海底勾配が急な場合の部分係数を適用した場合の、必要最小断面幅を算定し、この最小断面幅に対する破壊確率を求める。最小断面幅は、第4章で計算した断面であり、混成堤の破壊確率を算定する断面諸元の値を表-5.2に、消波ブロック被覆堤の破壊確率を算定する断面諸元の値を表-5.3に示す。また、設計因子の統計的性質を表-5.1に示す。設計因子の統計的性質の設定根拠については、付録Bに詳細を示す。

ここに、

$f$  : 摩擦係数

$W$  : 堤体の重量

$P_B$  : 浮力

$P_U$  : 揚圧力

$P_H$  : 水平波力

$a_1 \sim a_4$  : 各作用のアーム長

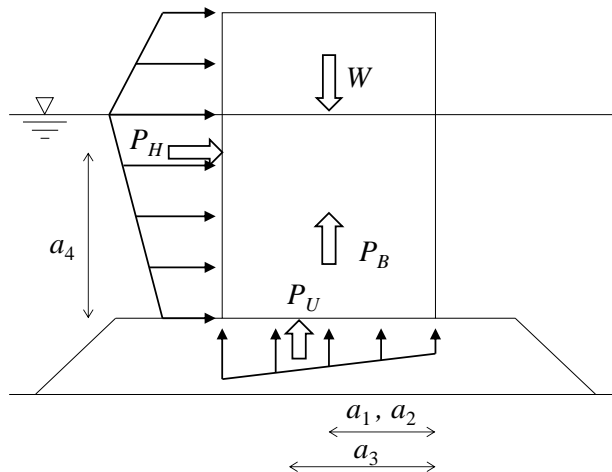


図-5.2 荷重図（堤体部）

表-5.1 設計因子の統計的性質

設計因子	平均値 の偏り	変動 係数
摩擦係数	1.06	0.15
ケーソン	1.01	0.03
潮位 $r_{wf} = 1.5$	1.00	0.20
$r_{wf} = 2.0, 2.5$	1.00	0.40
H.H.W.L.	1.00	0.00
設計波高 水深変化 緩	0.84	0.14
水深変化 急	0.92	0.16
波力算定精度 ケーソン式混成堤	0.91	0.17
消波ブロック被覆堤	0.84	0.10

また、重力式防波堤における、滑動照査の性能関数を式(5.1)に、転倒照査の性能関数を式(5.2)に示す。この式は、混成堤および消波ブロック被覆堤に対して共通である。

(滑動照査)

$$Z = R - S$$

$$= \{ f \cdot (W - P_B - P_U) \} - \{ P_H \} \quad (5.1)$$

(転倒照査)

$$Z = R - S$$

$$= \{ W \cdot a_1 - P_B \cdot a_2 - P_U \cdot a_3 \} - \{ P_H \cdot a_4 \} \quad (5.2)$$

表-5.2 設計因子の条件

ケース 番号	前面水深 $h$ m	被覆天端 水深 $d$ m	設置水深 $h'$ m	上部工 天端高 $C_T$ m	海底勾配 $i$	有義波高 $H_{1/3}$ m	周期 $T$ s	入射角 $\beta$	摩擦係数 $f$	堤体平均 単体重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup>	設計潮位 $wl$ m	設計波高 $H_D$ m	マウンド 肩幅 $BM$ m	断面幅 $B$ (m)			
														海底勾配：緩		海底勾配：急	
														滑動	転倒	滑動	転倒
1	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0077	7.50	13.5	15.0	0.75	21.0	0.50	13.40	10.60	18.86	17.12	21.80	18.73
2	21.5	14.3	17.0	6.5	0.0100	9.40	14.0	10.3	0.75	21.0	0.50	16.68	12.60	24.44	20.71	28.36	22.75
3	17.5	10.3	13.5	6.4	0.0090	9.80	14.0	0.0	0.75	21.0	0.50	14.05	11.50	23.17	18.49	26.94	20.36
4	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0080	7.10	13.5	0.0	0.60	21.0	0.70	12.50	12.50	22.00	16.49	25.39	18.02
5	13.0	7.5	8.5	4.5	0.0050	3.74	14.0	20.0	0.60	21.0	0.50	6.73	9.00	11.44	9.10	13.18	9.93
6	16.0	11.5	13.0	6.0	0.0130	8.50	13.5	25.0	0.75	21.0	0.50	13.07	7.00	17.79	15.74	20.62	17.27
7	22.0	15.0	16.5	6.0	0.0140	8.00	13.0	7.0	0.60	21.0	1.50	14.30	8.00	23.59	17.74	27.23	19.38
8	27.5	15.0	18.5	6.0	0.0050	8.00	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	14.30	33.00	34.25	22.16	39.36	24.11
9	26.5	13.3	16.5	6.0	0.0050	7.40	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	13.30	28.00	34.94	21.41	40.19	23.32
10	14.7	10.5	12.5	5.5	0.0230	7.40	11.0	0.0	0.60	21.0	0.40	13.30	13.50	23.40	15.83	27.10	17.37
11	23.2	13.0	16.5	6.2	0.0020	8.00	14.0	7.0	0.60	21.0	1.40	14.36	10.00	26.07	18.71	30.13	20.47
12	12.7	8.0	9.5	5.0	0.0100	3.50	13.0	23.0	0.60	21.0	1.50	6.40	10.00	10.18	9.07	11.67	9.84
13	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	5.90	6.50	7.98	7.91	9.06	8.51
14	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	5.5	0.60	21.0	0.80	5.94	6.50	8.01	7.93	9.10	8.53
15	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	5.90	6.50	7.98	7.91	9.06	8.51
16	13.1	7.6	10.5	5.0	0.0090	5.50	12.0	12.0	0.60	21.0	1.60	9.60	12.00	18.02	12.85	20.84	14.07
17	18.5	11.5	13.0	6.0	0.0100	8.40	12.5	0.0	0.75	21.0	1.30	13.00	15.80	18.33	16.06	21.22	17.61
18	13.5	8.0	10.0	8.0	0.0200	8.40	13.5	0.0	0.75	21.0	3.50	13.00	15.50	20.93	16.87	24.38	18.62
19	14.5	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	13.05	11.00	21.30	16.87	24.90	18.69
20	15.6	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	13.05	15.60	21.43	16.90	25.04	18.71
21	17.0	11.5	13.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	13.05	15.60	20.43	16.87	23.79	18.61
22	12.0	8.0	9.0	4.5	0.0100	4.80	10.8	30.0	0.60	21.0	1.67	8.64	7.50	13.67	10.42	15.78	11.39
23	17.2	9.0	10.0	4.8	0.0050	2.80	5.9	30.0	0.60	21.0	2.20	4.95	6.50	4.66	6.33	5.27	6.78
24	12.6	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.30	7.5	43.0	0.60	21.0	2.10	4.10	11.10	4.18	5.47	4.74	5.87
25	12.2	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.50	7.6	42.0	0.60	21.0	2.10	4.50	7.00	4.58	5.74	5.20	6.17
26	13.0	8.0	9.0	5.5	0.0100	3.70	14.8	0.0	0.60	21.0	3.10	6.60	8.00	12.48	10.22	14.37	11.14
27	8.6	5.3	6.5	9.2	0.0100	5.10	11.1	38.0	0.60	21.0	1.30	7.50	5.00	8.17	7.84	9.34	8.48
28	17.0	12.6	14.0	6.5	0.0030	7.70	13.0	0.0	0.60	21.0	1.50	12.70	9.60	21.34	16.02	24.65	17.52
29	6.6	4.0	5.0	3.0	0.0200	2.90	11.0	43.0	0.60	21.0	0.40	5.30	9.40	8.54	6.24	9.89	6.84
30	18.7	12.3	13.5	4.0	0.0100	5.80	11.0	15.0	0.60	21.0	0.40	10.50	13.65	15.91	12.76	18.29	13.89
31	14.1	8.8	10.0	6.5	0.0100	6.00	15.0	0.0	0.60	21.0	1.50	10.60	13.20	20.63	14.11	23.98	15.53
32	18.4	11.5	13.0	4.5	0.0091	6.00	8.7	25.0	0.60	21.0	0.90	10.80	10.10	12.94	11.50	14.79	12.45
33	18.5	9.6	12.0	4.5	0.0167	6.00	11.3	7.0	0.75	21.0	0.90	12.00	9.60	19.05	15.35	22.07	16.84
34	19.0	10.0	11.0	2.6	0.0100	3.00	7.3	0.0	0.60	21.0	0.80	5.40	6.00	6.63	7.23	7.53	7.78
35	12.1	7.5	9.0	4.9	0.0346	5.78	13.0	40.0	0.75	21.0	1.42	10.08	10.00	13.79	11.93	16.02	13.12
36	10.0	6.0	7.5	4.2	0.0033	4.71	13.0	59.0	0.60	21.0	1.33	8.02	8.00	11.03	8.61	12.74	9.42
37	10.0	6.0	7.5	4.2	0.0033	4.71	13.0	59.0	0.60	21.0	1.33	8.02	8.00	11.03	8.61	12.74	9.42
38	15.0	6.0	7.0	5.6	0.0100	2.34	4.7	14.0	0.60	21.0	4.05	4.21	7.00	5.12	6.21	5.79	6.66

表-5.3 設計因子の条件

ケース 番号	前面水深 $h$ m	被覆天端 水深 $d$ m	設置水深 $h'$ m	上部工 天端高 $C_T$ m	海底勾配 $i$	有義波高 $H_{1/3}$ m	周期 $T$ s	入射角 $\beta$	摩擦係数 $f$	堤体平均 単体重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup>	設計潮位 $wl$ m	設計波高 $H_D$ m	マウンド 肩幅 $BM$ m	断面幅 $B$ (m)			
														海底勾配：緩		海底勾配：急	
														滑動	転倒	滑動	転倒
1	11.5	6.1	8.5	4.0	0.0100	5.30	12.0	0.0	0.60	21.0	0.50	9.10	-	10.39	8.50	11.77	9.21
2	10.5	5.6	8.0	4.0	0.0100	5.30	12.0	0.0	0.60	21.0	0.50	8.60	-	9.86	8.09	11.17	8.76
3	10.5	5.6	8.0	4.0	0.0100	5.80	12.0	0.0	0.60	21.0	0.50	8.70	-	10.00	8.15	11.33	8.84
4	16.5	9.3	12.5	7.0	0.0110	7.90	13.0	54.0	0.75	21.0	0.50	12.85	-	7.68	9.83	8.63	10.57
5	15.5	7.3	11.5	6.5	0.0110	7.50	12.5	52.0	0.60	21.0	0.50	12.40	-	9.51	9.45	10.70	10.16
6	12.3	5.5	7.0	4.0	0.0070	4.20	13.0	0.0	0.60	21.0	1.50	7.50	-	9.16	7.51	10.37	8.14
7	16.5	10.0	11.5	5.8	0.0050	7.10	13.0	13.5	0.75	21.0	1.50	12.80	-	11.13	11.61	12.59	12.56
8	15.3	10.0	11.5	5.7	0.0050	7.20	13.0	28.5	0.60	21.0	1.50	12.70	-	13.29	11.29	15.02	12.20
9	19.0	11.5	13.0	5.3	0.0020	6.30	13.0	20.0	0.60	21.0	1.50	11.20	-	11.54	10.80	13.00	11.63
10	12.6	8.0	9.5	5.0	0.0040	3.01	14.0	0.0	0.60	21.0	1.33	9.96	-	12.04	9.86	13.64	10.69
11	14.5	8.6	10.0	3.6	0.0330	4.80	12.5	14.6	0.60	21.0	1.10	8.40	-	9.63	8.54	10.87	9.22
12	10.6	6.3	7.0	3.0	0.0100	4.90	10.5	8.0	0.60	21.0	0.80	7.50	-	8.63	6.99	9.78	7.57
13	11.5	6.5	8.0	7.0	0.0090	8.00	12.0	0.0	0.75	21.0	3.60	11.30	-	10.24	10.42	11.59	11.28
14	7.2	5.0	4.5	5.7	0.0100	3.50	7.4	0.0	0.60	21.0	4.40	5.70	-	5.09	5.42	5.71	5.81
15	11.5	6.5	8.0	7.0	0.0100	8.00	12.0	0.0	0.75	21.0	3.60	11.60	-	10.57	10.60	11.98	11.49
16	13.0	6.5	8.0	7.0	0.0100	8.00	12.0	0.0	0.75	21.0	3.60	11.60	-	10.32	10.47	11.69	11.34
17	13.4	7.5	9.0	7.6	0.0060	9.50	16.0	0.0	0.60	21.0	2.10	12.40	-	14.49	11.48	16.45	12.47
18	21.1	10.5	12.0	8.0	0.0100	9.40	17.4	35.0	0.60	21.0	2.20	15.50	-	16.29	13.38	18.45	14.49
19	15.7	13.0	13.0	6.4	0.0200	8.10	12.0	3.0	0.60	21.0	1.50	12.70	-	12.88	11.74	14.51	12.66
20	11.3	9.0	9.0	3.2	0.0100	4.80	11.5	58.0	0.60	21.0	0.40	8.20	-	6.93	6.76	7.80	7.27
21	12.1	10.0	10.0	5.8	0.0100	5.70	12.1	40.0	0.60	21.0	1.20	9.30	-	8.34	8.34	9.37	8.97
22	14.2	11.5	11.5	4.1	0.0100	5.90	11.0	0.0	0.60	21.0	0.50	9.80	-	10.08	9.33	11.36	10.05
23	16.3	12.0	12.0	4.6	0.0200	7.00	11.0	0.0	0.60	21.0	0.40	11.50	-	11.31	10.20	12.75	11.00
24	8.4	5.5	5.5	5.2	0.0100	5.40	10.0	0.0	0.60	21.0	0.30	7.00	-	6.20	5.77	6.98	6.23
25	6.0	4.0	4.0	4.5	0.0100	4.90	13.0	25.0	0.60	21.0	0.30	6.40	-	6.20	5.17	7.03	5.61
26	11.3	6.5	6.5	5.1	0.0100	5.90	12.0	9.0	0.60	21.0	0.30	8.70	-	8.64	7.28	9.79	7.88
27	5.3	3.5	3.5	2.3	0.0100	2.00	11.0	0.0	0.60	21.0	0.50	3.70	-	4.48	3.75	5.08	4.07
28	14.5	5.0	10.0	6.0	0.0100	7.00	14.0	0.0	0.75	21.0	0.50	11.63	9.40	10.11	10.47	11.45	11.34
29	11.8	7.1	9.5	4.8	0.0091	5.20	12.0	15.0	0.60	21.0	1.60	8.80	5.00	9.75	8.78	11.00	9.47
30	12.8	7.6	10.0	5.0	0.0091	5.60	12.0	20.0	0.60	21.0	1.60	9.90	7.00	10.68	9.43	12.06	10.18

(2)検討結果

混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動断面および転倒断面に対して、破壊確率を計算した結果を示す。図-5.3は混成堤の滑動破壊確率であり、図-5.4は混成堤の転倒破壊確率である。また、図-5.5は消波ブロック被覆堤の滑動破壊確率であり、図-5.6は消波ブロック被覆堤の転倒破壊確率である。図中のプロットは、海底勾配が緩い場合の部分係数で設計した場合と、海底勾配が急な場合の部分係数で設計した場合の、それぞれの断面が有する破壊確率であるが、両者はおおよそ一致していることがわかる。

参考として、安全率法で設計した場合の、必要最小幅に対して破壊確率を算定した結果を示す。図-5.7は混成堤の滑動破壊確率であり、図-5.8は混成堤の転倒破壊確率である。また、図-5.9は消波ブロック被覆堤の滑動破壊確率であり、図-5.10は消波ブロック被覆堤の転倒破壊確率である。図中のプロットは、海底勾配が緩い場合の統計的性質で計算した場合と、海底勾配が急な場合の統計的性質で計算した場合の断面が有する破壊確率であるが、両者の値は異なることがわかる。同じ断面に対して、海底勾配が緩い場合と急な場合の異なる統計的性質を与えると、計算される破壊確率に大きく影響することがわかる。

また、各条件において、一部破壊確率が大きくなっていくケースがあるが、これは計算上で衝撃砕波が発生しているケースである。具体的には、合田式の式(3.9)における $\alpha_2$ に対して、 $\alpha_1$ が選択された場合である。これらのケースを分けたものを図-5.11および図-5.12に示す。衝撃砕波が発生しない場合は、破壊確率は一定値をとるが、衝撃砕波が発生した場合の一部において、破壊確率が大きくなる傾向が見られる。すなわち、衝撃砕波が発生する場合は、破壊確率が急激に大きくなる可能性、すなわち、破壊する可能性が高くなることを示唆している。

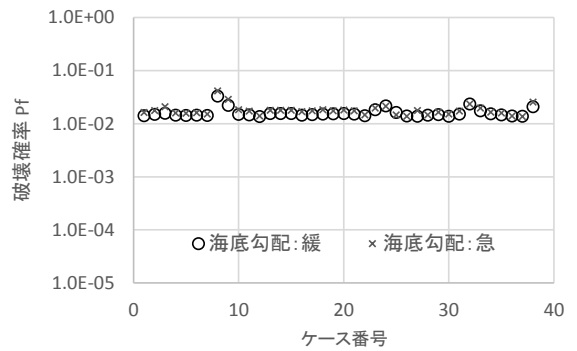


図-5.3 滑動破壊確率（混成堤）

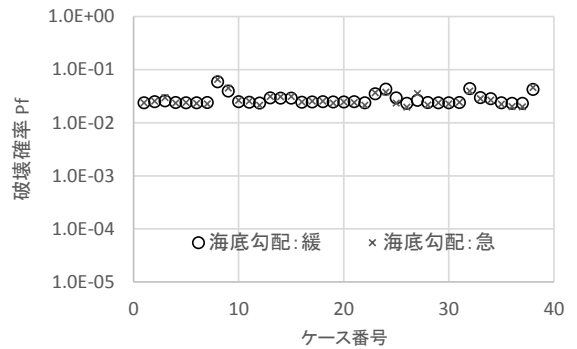


図-5.4 転倒破壊確率（混成堤）

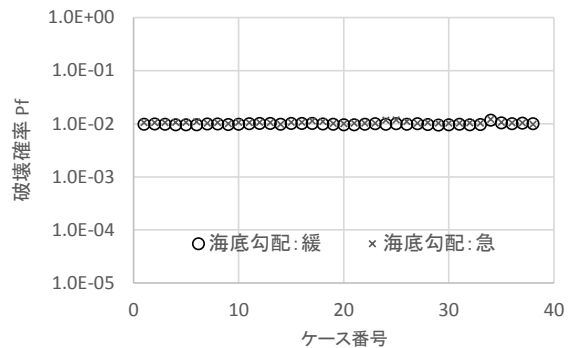


図-5.5 滑動破壊確率（消波ブロック被覆堤）

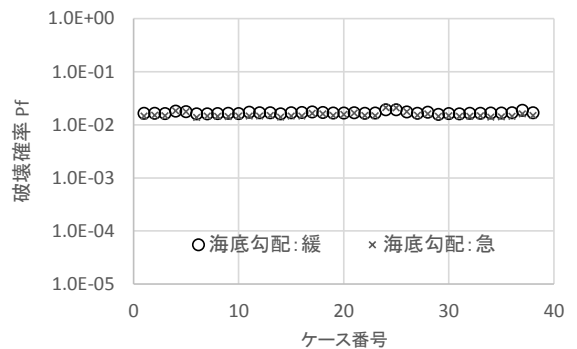


図-5.6 転倒破壊確率（消波ブロック被覆堤）

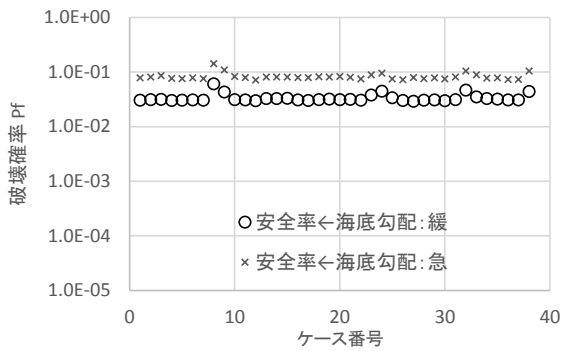


図-5.7 滑動破壊確率（混成堤）

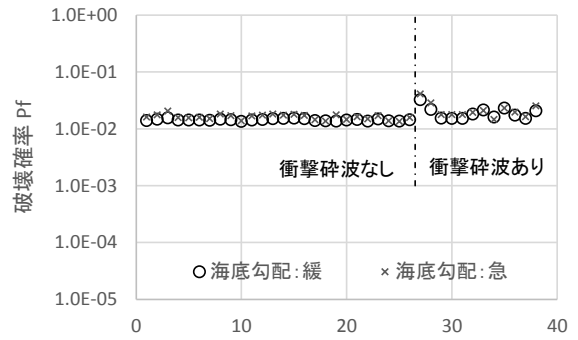


図-5.11 滑動破壊確率（混成堤）

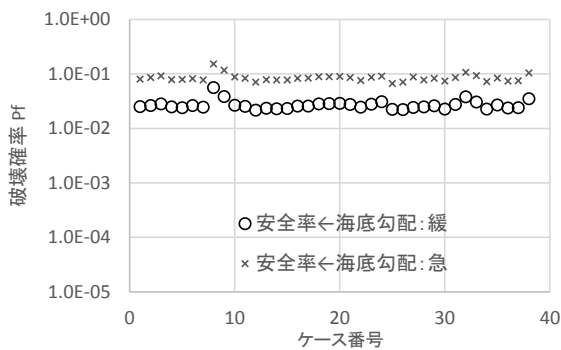


図-5.8 転倒破壊確率（混成堤）

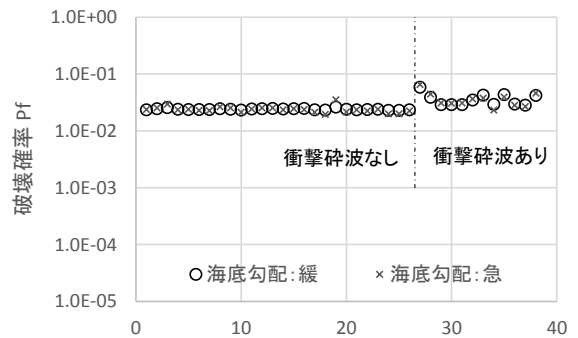


図-5.12 転倒破壊確率（混成堤）

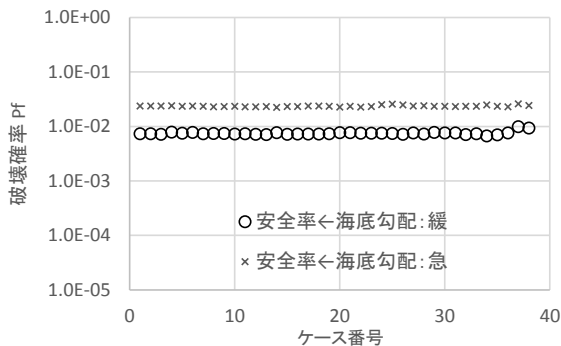


図-5.9 滑動破壊確率（消波ブロック被覆堤）

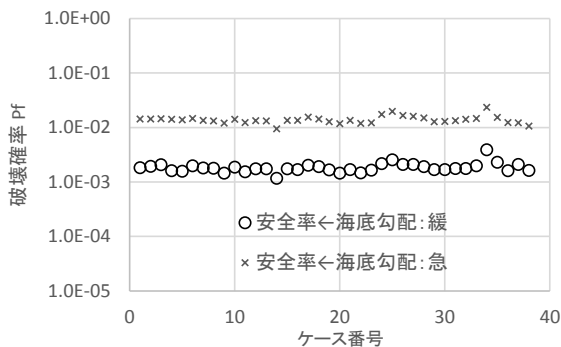


図-5.10 転倒破壊確率（消波ブロック被覆堤）

### 5.3 目標破壊確率の設定

混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動照査および転倒照査に対して、新しい部分係数設定のための目標破壊確率を設定する。目標破壊確率は、現行基準の部分係数法で計算される、混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動および転倒に必要な断面が有する破壊確率の、平均値として設定する。

ただし、混成堤については、衝撃砕波が発生する条件は特異な場合と考え、衝撃砕波が発生している条件の破壊確率は除外して考えることとする。海底勾配が緩い場合と急な場合については、それぞれの破壊確率は同等であるため、これをまとめて1つの目標破壊確率を設定した。目標破壊確率の設定根拠を図-5.13～図-5.16に、具体的な数値を表-5.4に示す。

ここで表-4.4において、消波ブロック被覆堤の転倒照査における、海底勾配が緩い場合の安全率が  $F_s=1.0$  となっていることに着目する。消波ブロック被覆堤の場合、消波ブロックの沈下が度々問題となる。消波ブロックが沈下し直立部が衝撃砕波力を受けると、直立部が急激に安定性を失うことが懸念される。そのため、安全率  $F_s=1.0$  では危険であるという見解もある。したがって、消波ブロックの沈下が問題となることが多い、消波プロ



ック被覆堤については、転倒安全率が  $F_s=1.2$  となる断面が有する破壊確率を目標破壊確率とした場合についても参考として提示する（表-5.5）。

表-5.4 目標破壊確率

対象	モード	勾配緩	勾配急	目標採用値
混成堤	滑動	0.011	0.014	0.012
	転倒	0.017	0.019	0.018
消波ブロック被覆堤	滑動	0.007	0.009	0.008
	転倒	0.011	0.012	0.011

表-5.5 目標破壊確率 ( $F_s=1.2$ )

対象	モード	勾配緩	勾配急	目標採用値
消波ブロック被覆堤	転倒	0.0009	-	0.0009

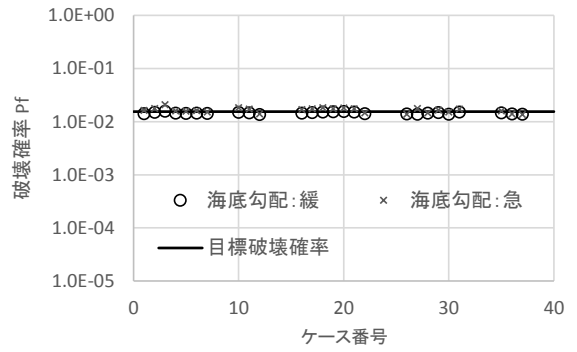


図-5.13 目標破壊確率（混成堤/滑動）

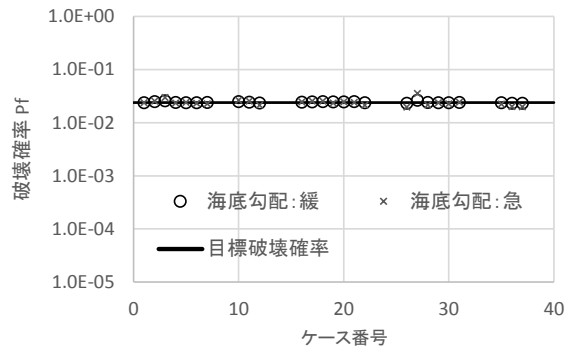


図-5.14 目標破壊確率（混成堤/転倒）

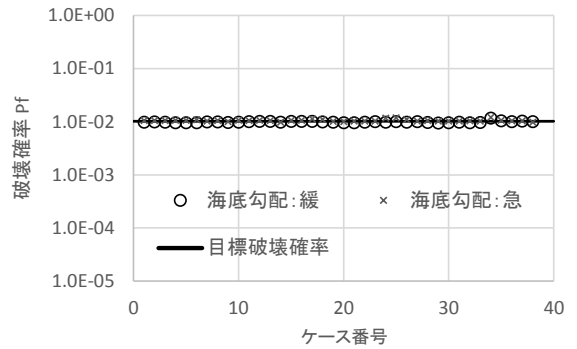


図-5.15 目標破壊確率（消波ブロック被覆堤/滑動）

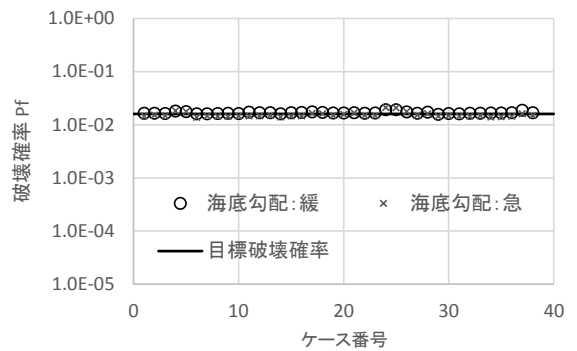


図-5.16 目標破壊確率（消波ブロック被覆堤/転倒）

## 6. 部分係数の設定

### 6.1 本章の概要

本章では、新しい部分係数の案を提案する。第2章でまとめたとおり、現行基準の部分係数法は、主に設計因子に対して乗じられるため、材料係数アプローチに近いフォーマットである。そこで、新しい部分係数法を、荷重抵抗係数アプローチとした場合に、フォーマットの違いが設計結果に与える影響を確認するため、複数のフォーマットで部分係数を設定し、同じ条件に対して設計した結果の比較検証を行う。6.2で部分係数の具体的なフォーマットについて述べ、各フォーマットに対して部分係数を計算する。6.3では、新たに設定された部分係数で設計した結果の比較検証から、最適な部分係数を選定し、新しい部分係数法の案として提案する。

### 6.2 部分係数の設定

#### (1)部分係数の計算

竹信ら<sup>2)</sup>は、ケーソン式岸壁に対して3つの部分係数フォーマットを設定し、比較検討を行っている。本研究における重力式防波堤においても、同様に3つのフォーマットを設定し、比較検討を行う。

#### ①荷重抵抗係数アプローチ A

直立部に作用する荷重を荷重項と抵抗項に分離し、この荷重項と抵抗項に部分係数を乗じるフォーマット。

##### 【滑動照査式】

$$\gamma_R \cdot \{f \times (W - P_B - P_U)\} \geq \gamma_S \cdot \{P_H\}$$

##### 【転倒照査式】

$$\gamma_R \cdot \{W \times a_1 - P_B \times a_2 - P_U \times a_3\} \geq \gamma_S \cdot \{P_H \times a_4\} \quad (6.1)$$

#### ②荷重抵抗係数アプローチ B

直立部に作用する代表的な合力に対して、部分係数を乗じるフォーマット。

##### 【滑動照査式】

$$\gamma_f \cdot f \times (\gamma_W \cdot W - \gamma_{PB} \cdot P_B - \gamma_{PU} \cdot P_U) \geq \gamma_{PH} \cdot \{P_H\}$$

##### 【転倒照査式】

$$\{\gamma_W \cdot W \times a_1 - \gamma_{PB} \cdot P_B \times a_2 - \gamma_{PU} \cdot P_U \times a_3\} \geq \gamma_{PH} \cdot \{P_H \times a_4\} \quad (6.2)$$

#### ③材料係数アプローチ

設計因子に対して部分係数を乗じるフォーマット。

##### 【滑動照査式】

$$f[f] \times (W[\gamma_C] - P_B[r_{wl}] - P_U[H_D, P]) \geq P_H[H_D, P]$$

##### 【転倒照査式】

$$W[\gamma_C] \times a_1 - P_B[r_{wl}] \times a_2 - P_U[H_D, P] \times a_3 \geq P_H[H_D, P] \times a_4 \quad (6.3)$$

ここに、式(6.1)、式(6.2)の $\gamma_O$ は、添字Oに対する部分係数であり、式(6.3)の[ ]内は部分係数を乗じる設計因子である(表-6.1)。

表-6.1 部分係数フォーマット

分類	設計因子	記号	部分係数
荷重抵抗係数 アプローチA	荷重	$S$	$\gamma_S$
	抵抗	$R$	$\gamma_R$
荷重抵抗係数 アプローチB	摩擦係数	$f$	$\gamma_f$
	堤体の重量	$W$	$\gamma_W$
	浮力	$P_B$	$\gamma_{PB}$
	揚圧力	$P_U$	$\gamma_{PU}$
材料係数 アプローチ	水平波力	$P_H$	$\gamma_{PH}$
	摩擦係数	$f$	$\gamma_f$
	壁体平均単位体積重量	$\gamma_C$	$\gamma_{\gamma C}$
	潮位	$r_{wl}$	$\gamma_{rwl}$
	設計波高	$H_D$	$\gamma_{HD}$
	波力算定式	$P$	$\gamma_P$

(2)部分係数の計算結果

部分係数を計算した結果の一例を示す。混成堤の滑動照査に対する部分係数のうち、荷重抵抗係数アプローチ Aの結果を図-6.1に、荷重抵抗係数アプローチ Bの結果を図-6.2に、材料係数アプローチの結果を図-6.3に、具体的な数値を表-6.8に示す。また、混成堤の転倒照査に対する部分係数のうち、荷重抵抗係数アプローチ Aの結果を図-6.4に、荷重抵抗係数アプローチ Bの結果を図-6.5に、材料係数アプローチの結果を図-6.6に、具体的な数値を表-6.9に示す。

衝撃砕波が発生している条件以外において、部分係数は構造条件によらずほぼ一定の値をとることから、標準的な部分係数は、衝撃砕波が発生している条件以外のケースで求められた部分係数の平均値とする。荷重抵抗係数アプローチ Aの部分係数を表-6.2に、荷重抵抗係数アプローチ Bの部分係数を表-6.3に、材料係数アプローチの部分係数を表-6.4に示す。また、消波ブロック被覆堤の海底勾配が緩い場合における、転倒照査に対する転倒安全率  $F_s=1.2$  相当の部分係数として、荷重抵抗係数アプローチ Aの部分係数を表-6.5に、荷重抵抗係数アプローチ Bの部分係数を表-6.6に、材料係数アプローチの部分係数を表-6.7に示す。

荷重抵抗係数アプローチ Aの部分係数表には、合わせて、荷重係数と抵抗係数の比  $\gamma_s/\gamma_R$  と、目標破壊確率の設定に用いた断面が有する安全率の比較を示している。両者の値がほぼ一致していることから、求められた部分係数は妥当であることがわかる。

また、その他の検討ケースにおける部分係数は、その詳細を付録 E に示す。

表-6.2 部分係数一覧 (荷重抵抗係数アプローチ A)

対象構造	海底勾配	破壊モード	荷重抵抗係数アプローチA			
			$\gamma_R$	$\gamma_s$	$\gamma_s/\gamma_R$	$F_s$
混成堤	緩	滑動	0.83	1.08	1.30	1.33
		転倒	0.95	1.14	1.20	1.20
	急	滑動	0.82	1.28	1.56	1.53
		転倒	0.91	1.33	1.46	1.43
消波ブロック被覆堤	緩	滑動	0.79	0.90	1.14	1.17
		転倒	0.98	0.99	1.01	1.02
	急	滑動	0.78	1.03	1.32	1.32
		転倒	0.95	1.13	1.19	1.19

表-6.3 部分係数一覧 (荷重抵抗係数アプローチ B)

対象構造	海底勾配	破壊モード	荷重抵抗係数アプローチB				
			$f$	$W$	$P_B$	$P_U$	$P_H$
混成堤	緩	滑動	0.85	1.00	1.00	1.09	1.08
		転倒	-	1.00	1.00	1.13	1.14
	急	滑動	0.87	1.00	1.00	1.23	1.28
		転倒	-	1.00	1.00	1.27	1.33
消波ブロック被覆堤	緩	滑動	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90
		転倒	-	0.99	1.01	0.99	0.99
	急	滑動	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03
		転倒	-	0.99	1.01	1.11	1.13

表-6.4 部分係数一覧 (材料係数アプローチ)

対象構造	海底勾配	破壊モード	材料係数アプローチ				
			$f$	$\gamma_C$	$r_{wl}$	$H_D$	$P$
混成堤	緩	滑動	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
		転倒	-	1.00	1.02	1.01	1.12
	急	滑動	0.87	1.00	1.02	1.12	1.10
		転倒	-	1.00	1.02	1.14	1.11
消波ブロック被覆堤	緩	滑動	0.78	1.00	1.03	0.99	0.92
		転倒	-	0.99	1.04	1.04	0.95
	急	滑動	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
		転倒	-	0.99	1.04	1.18	0.94

表-6.5  $F_s=1.2$  相当の部分係数一覧 (荷重抵抗係数アプローチ A)

対象構造	海底勾配	破壊モード	荷重抵抗係数アプローチA			
			$\gamma_R$	$\gamma_s$	$\gamma_s/\gamma_R$	$F_s$
消波ブロック被覆堤	緩	転倒	0.92	1.13	1.23	1.20

表-6.6  $F_s=1.2$  相当の部分係数一覧 (荷重抵抗係数アプローチ B)

対象構造	海底勾配	破壊モード	荷重抵抗係数アプローチB			
			$W$	$P_B$	$P_U$	$P_H$
消波ブロック被覆堤	緩	転倒	0.98	1.01	1.12	1.13

表-6.7  $F_s=1.2$  相当の部分係数一覧 (材料係数アプローチ)

対象構造	海底勾配	破壊モード	材料係数アプローチ			
			$\gamma_C$	$r_{wl}$	$H_D$	$P$
消波ブロック被覆堤	緩	転倒	0.98	1.06	1.13	0.99

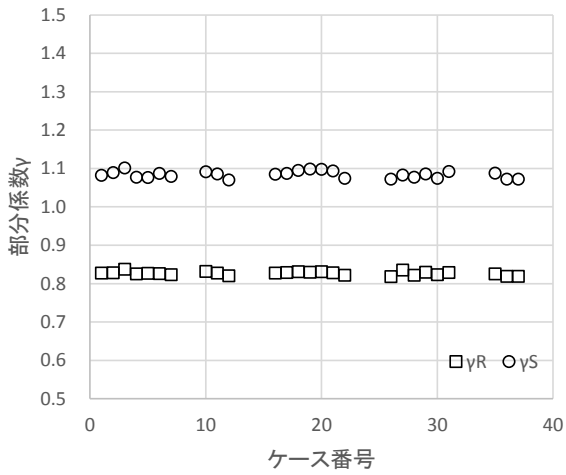


図-6.1 荷重抵抗係数アプローチ A  
 (混成堤\_勾配緩\_滑動)

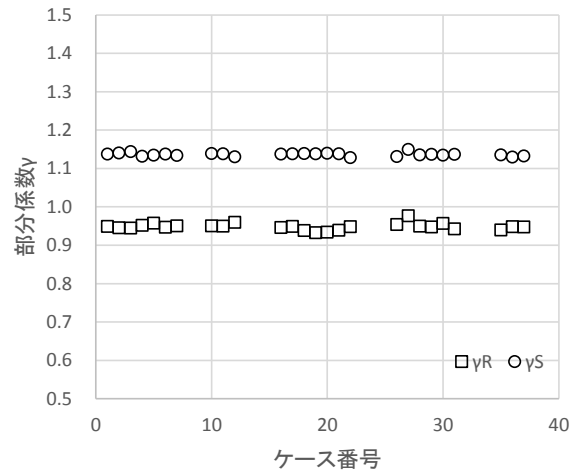


図-6.4 荷重抵抗係数アプローチ A  
 (混成堤\_勾配緩\_転倒)

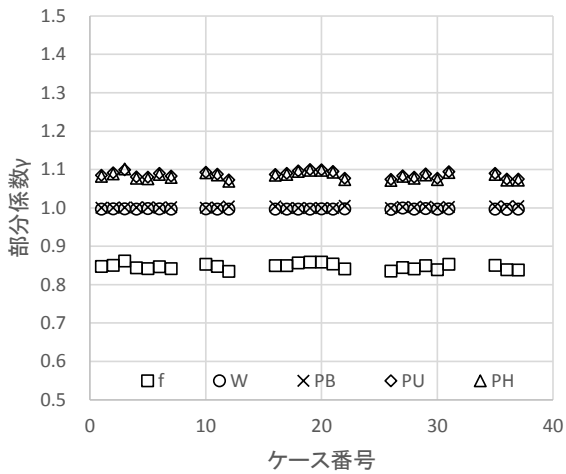


図-6.2 荷重抵抗係数アプローチ B  
 (混成堤\_勾配緩\_滑動)

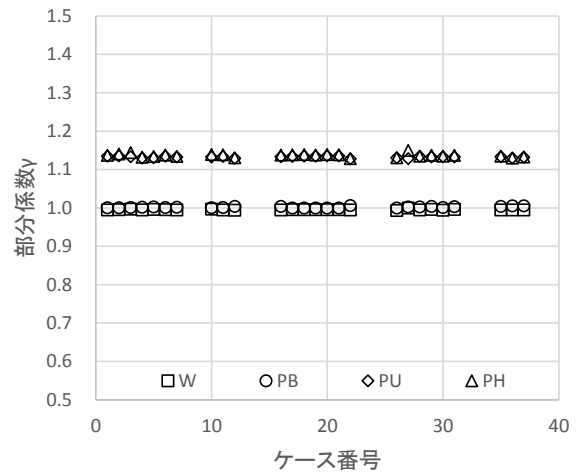


図-6.5 荷重抵抗係数アプローチ B  
 (混成堤\_勾配緩\_転倒)

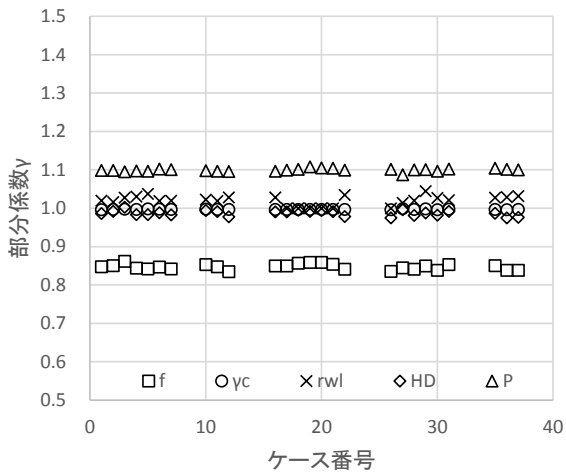


図-6.3 材料係数アプローチ  
 (混成堤\_勾配緩\_滑動)

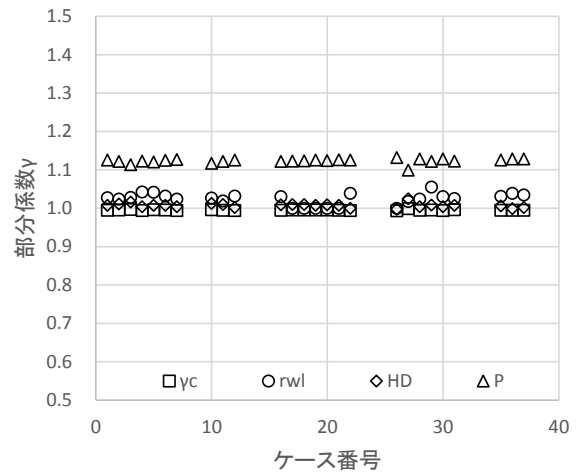


図-6.6 材料係数アプローチ  
 (混成堤\_勾配緩\_転倒)

表-6.8 部分係数一覧 (混成堤/滑動照査/海底勾配:緩)

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_w$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.83	1.08	0.85	1.00	1.00	1.09	1.08	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
2	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
3	0.84	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.03	1.00	1.10
4	0.83	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
5	0.83	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.04	0.98	1.10
6	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
7	0.82	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.02	0.98	1.10
8	0.85	1.24	0.87	1.00	1.00	1.10	1.24	0.87	1.00	1.01	1.01	1.09
9	0.84	1.16	0.86	1.00	1.00	1.09	1.16	0.86	1.00	1.02	1.00	1.09
10	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
11	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
12	0.82	1.07	0.83	1.00	1.00	1.07	1.07	0.83	1.00	1.03	0.98	1.10
13	0.83	1.08	0.83	1.00	1.00	1.07	1.08	0.83	1.00	1.01	0.98	1.08
14	0.83	1.08	0.83	1.00	1.00	1.07	1.08	0.83	1.00	1.01	0.98	1.09
15	0.83	1.09	0.84	1.00	1.00	1.07	1.09	0.84	1.00	1.02	0.98	1.09
16	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.03	0.99	1.10
17	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.00	0.99	1.10
18	0.83	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.00	1.00	1.10
19	0.83	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.00	0.99	1.11
20	0.83	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.00	0.99	1.11
21	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.10	1.09	0.85	1.00	1.00	0.99	1.10
22	0.82	1.07	0.84	1.00	1.01	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
23	0.82	1.10	0.83	1.00	1.01	1.06	1.10	0.83	1.00	1.03	0.98	1.08
24	0.82	1.13	0.83	1.00	1.00	1.06	1.13	0.83	1.00	1.00	0.97	1.09
25	0.82	1.08	0.82	1.00	1.00	1.06	1.08	0.82	1.00	1.00	0.97	1.09
26	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.07	1.07	0.84	1.00	1.00	0.97	1.10
27	0.84	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.01	1.00	1.09
28	0.82	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.02	0.98	1.10
29	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.05	0.99	1.10
30	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
31	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
32	0.83	1.15	0.84	1.00	1.00	1.08	1.15	0.84	1.00	1.00	0.98	1.10
33	0.83	1.11	0.85	1.00	1.00	1.09	1.11	0.85	1.00	1.00	0.99	1.10
34	0.82	1.08	0.83	1.00	1.00	1.06	1.08	0.83	1.00	1.06	0.97	1.09
35	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.03	0.99	1.10
36	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.97	1.10
37	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
38	0.82	1.12	0.84	1.00	1.03	1.07	1.12	0.84	1.00	1.08	0.99	1.08

■ : 衝撃碎波が発生するケース

表-6.9 部分係数一覧（混成堤／転倒照査／海底勾配：緩）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wi}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.95	1.14	0.99	1.00	1.13	1.14	0.99	1.03	1.01	1.13
2	0.95	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.02	1.01	1.12
3	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.02	1.11
4	0.95	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.04	1.00	1.12
5	0.96	1.13	1.00	1.00	1.13	1.13	1.00	1.04	1.01	1.12
6	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.13
7	0.95	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.02	1.00	1.13
8	0.96	1.28	1.00	1.00	1.13	1.28	1.00	1.02	1.02	1.11
9	0.96	1.21	1.00	1.00	1.13	1.21	1.00	1.02	1.02	1.11
10	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.12
11	0.95	1.14	0.99	1.00	1.13	1.14	0.99	1.02	1.01	1.12
12	0.96	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.03	1.00	1.13
13	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.01	1.12
14	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.01	1.12
15	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.01	1.12
16	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.12
17	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.00	1.01	1.12
18	0.94	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.12
19	0.93	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.13
20	0.93	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.12
21	0.94	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.13
22	0.95	1.13	0.99	1.01	1.13	1.13	0.99	1.04	1.00	1.13
23	0.98	1.18	1.00	1.01	1.13	1.18	1.00	1.04	1.01	1.12
24	0.98	1.20	0.99	1.00	1.13	1.20	0.99	1.00	1.00	1.13
25	0.98	1.16	0.99	1.00	1.13	1.16	0.99	1.00	1.00	1.13
26	0.95	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.00	1.00	1.13
27	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.02	1.10
28	0.95	1.14	0.99	1.00	1.13	1.14	0.99	1.02	1.00	1.13
29	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.06	1.01	1.12
30	0.96	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.03	1.00	1.13
31	0.94	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.12
32	0.97	1.21	1.00	1.00	1.13	1.21	1.00	1.00	1.00	1.12
33	0.95	1.16	1.00	1.00	1.13	1.16	1.00	1.00	1.01	1.12
34	0.97	1.15	0.99	1.01	1.13	1.15	0.99	1.08	1.00	1.12
35	0.94	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.13
36	0.95	1.13	0.99	1.01	1.13	1.13	0.99	1.04	1.00	1.13
37	0.95	1.13	0.99	1.01	1.13	1.13	0.99	1.03	1.00	1.13
38	0.96	1.19	1.00	1.03	1.12	1.19	1.00	1.09	1.01	1.11

■ : 衝撃砕波が発生するケース

### 6.3 部分係数の検証

6.2で設定された部分係数を用いて、混成堤は表-4.2の条件、消波ブロック被覆堤は表-4.3の条件に対して再度設計計算を実施し、最小断面幅を求めた。

部分係数フォーマットの違いによる設計計算結果の違いを把握するため、それぞれの部分係数フォーマットで計算される結果の比較を行った。

#### (1)部分係数フォーマットの違いによる断面幅の比較

部分係数フォーマットの違いによる設計計算結果への影響を確認するため、各部分係数フォーマットで必要な最小断面幅を比較する。

混成堤の海底勾配が緩い場合における滑動照査の結果を図-6.7に、混成堤の海底勾配が緩い場合における転倒照査の結果を図-6.8に、混成堤の海底勾配が急な場合における滑動照査の結果を図-6.9に、混成堤の海底勾配が急な場合における転倒照査の結果を図-6.10に示す。具体的な数値のまとめを表-6.10に示す。

消波ブロック被覆堤の海底勾配が緩い場合における滑動照査の結果を図-6.11に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が緩い場合における転倒照査の結果を図-6.12に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が急な場合における滑動照査の結果を図-6.13に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が急な場合における転倒照査の結果を図-6.14に示す。具体的な数値のまとめを表-6.11に示す。

各部分係数フォーマットにおける最小断面幅の比を平均値で比較すると、最大でも2%程度の違いであるため、平均的には各部分係数アプローチ間で断面幅の算定結果に違いはないと言ってよい。

また、各部分係数フォーマットにおける最小断面幅の差を、平均値で比較する。混成堤の海底勾配が急な場合で25cm程度の差があるが、他の比較では、大きくても10cm程度の差となっており、平均的に各部分係数フォーマット間で断面幅の算定結果に違いはないと言ってよい。

各部分係数フォーマットで必要となる最小断面幅の比較から、平均的には各部分係数フォーマット間で差はないことがわかる。

#### (2)現行基準との断面幅の比較

各部分係数フォーマットによる設計計算結果への影響を確認するため、各部分係数フォーマットで必要な最小断面幅と、現行基準の部分係数法で必要な最小断面幅を比較する。

混成堤の海底勾配が緩い場合における滑動照査の結果を図-6.15に、混成堤の海底勾配が緩い場合における転

倒照査の結果を図-6.16に、混成堤の海底勾配が急な場合における滑動照査の結果を図-6.17に、混成堤の海底勾配が急な場合における転倒照査の結果を図-6.18に示す。具体的な数値のまとめを表-6.12に示す。

消波ブロック被覆堤の海底勾配が緩い場合における滑動照査の結果を図-6.19に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が緩い場合における転倒照査の結果を図-6.20に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が急な場合における滑動照査の結果を図-6.21に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が急な場合における転倒照査の結果を図-6.22に示す。具体的な数値のまとめを表-6.13に示す。

現行基準における部分係数法と各部分係数フォーマットにおける最小断面幅の比を、平均値で比較すると、最大でも2%程度の違いであるため、平均的には、現行基準における部分係数法と各部分係数フォーマット間で断面幅の算定結果に違いはないと言ってよい。

現行基準における部分係数法と各部分係数フォーマットにおける最小断面幅の差を、平均値で比較すると、最大でも40cm程度あるため、平均的には、現行基準における部分係数法と各部分係数フォーマット間で断面幅の算定結果に違いはないと言ってよい。

現行基準における部分係数法で必要となる最小断面幅との比較から、各部分係数フォーマットで設計された断面は、現行基準で設計された断面幅と平均的に差はないことがわかる。

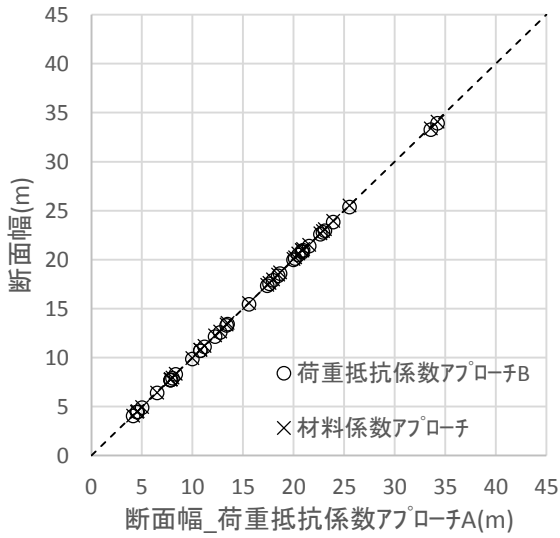


図-6.7 断面幅の比較 (混成堤\_滑動\_緩)

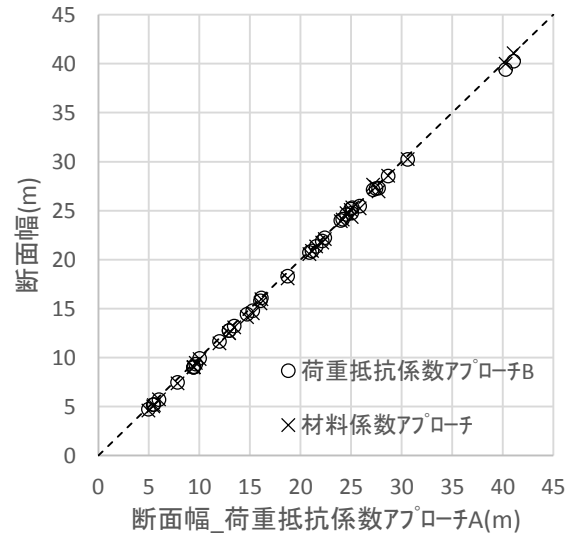


図-6.9 断面幅の比較 (混成堤\_滑動\_急)

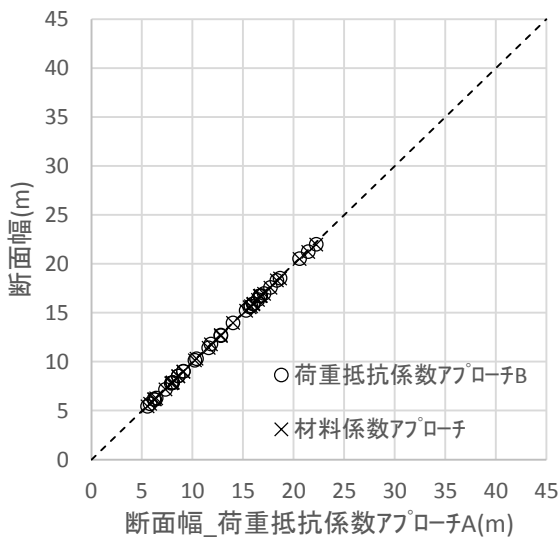


図-6.8 断面幅の比較 (混成堤\_転倒\_緩)

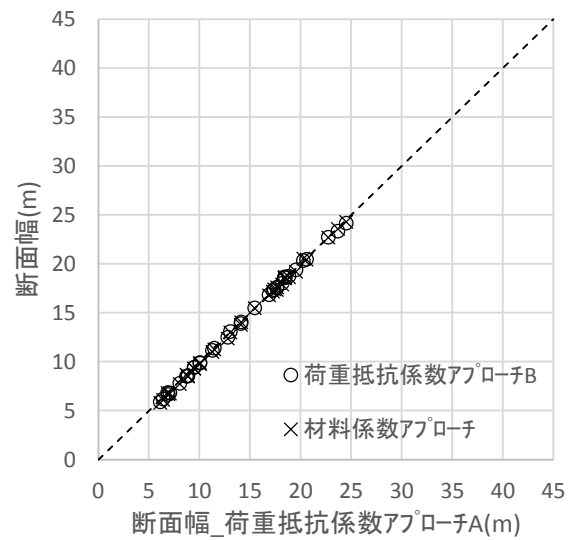


図-6.10 断面幅の比較 (混成堤\_転倒\_急)

表-6.10 断面幅の比較 (混成堤)

	海底 勾配	比						差 (m)					
		荷重抵抗係数 アプローチB / 荷重抵抗係数 アプローチA			材料係数 アプローチ / 荷重抵抗係数 アプローチA			荷重抵抗係数 アプローチB - 荷重抵抗係数 アプローチA			材料係数 アプローチ - 荷重抵抗係数 アプローチA		
		滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定
平均	緩	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	-0.09	-0.09	-0.10	0.01	-0.11	-0.01
	急	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	-0.23	-0.11	-0.23	-0.28	-0.16	-0.27



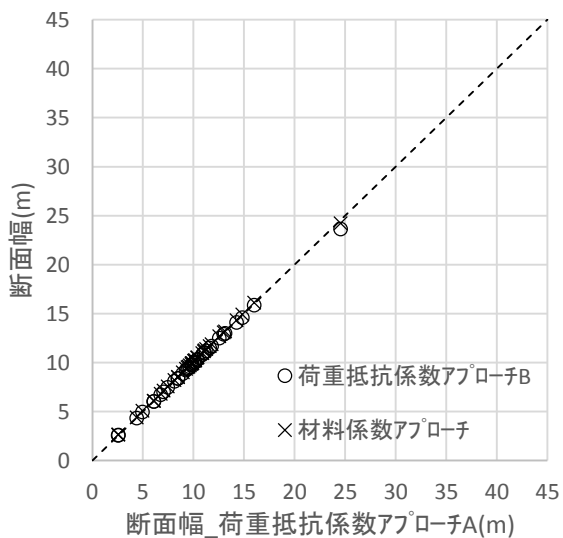


図-6.11 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_滑動\_緩)

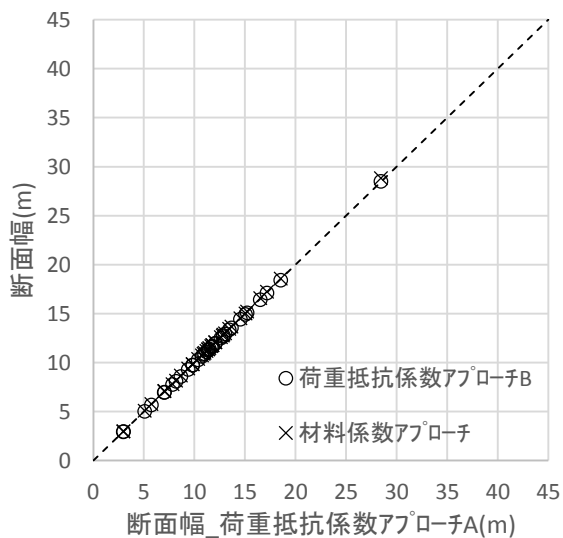


図-6.13 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_滑動\_急)

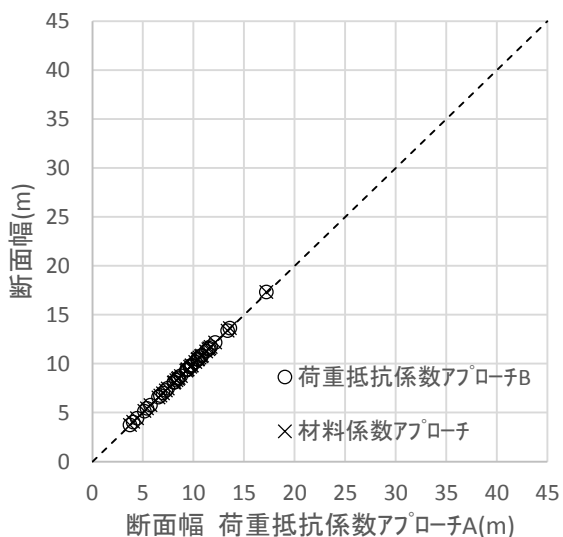


図-6.12 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_転倒\_緩)

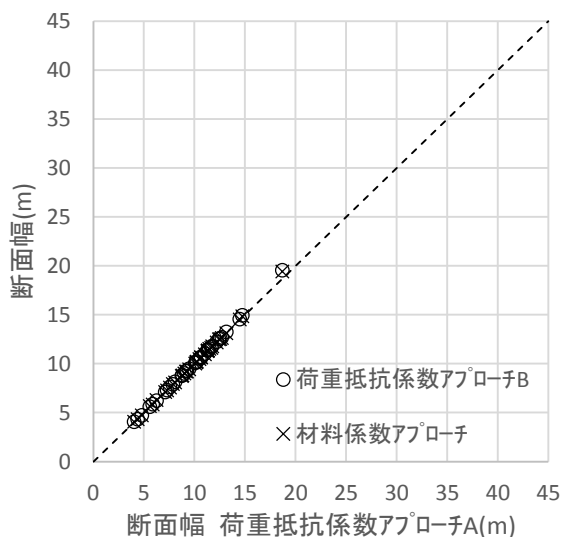


図-6.14 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_転倒\_急)

表-6.11 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤)

	海底 勾配	比						差 (m)					
		荷重抵抗係数 アプローチB / 荷重抵抗係数 アプローチA			材料係数 アプローチ / 荷重抵抗係数 アプローチA			荷重抵抗係数 アプローチB - 荷重抵抗係数 アプローチA			材料係数 アプローチ - 荷重抵抗係数 アプローチA		
		滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定
平均	緩	0.99	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	-0.08	0.02	-0.06	0.09	0.01	0.06
	急	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	-0.07	0.05	-0.07	0.03	0.01	0.02

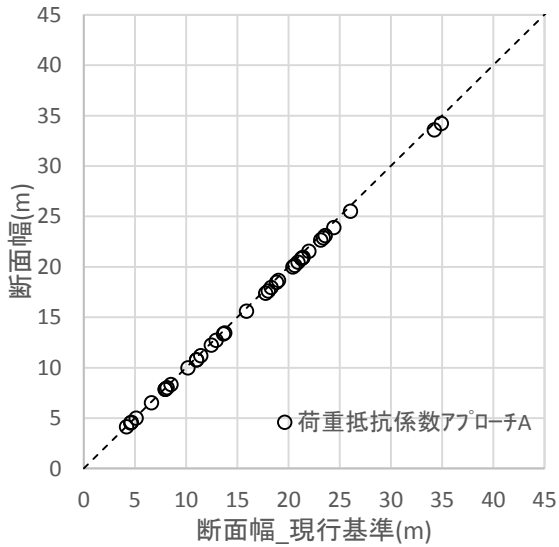


図-6.15 断面幅の比較 (混成堤\_滑動\_緩)

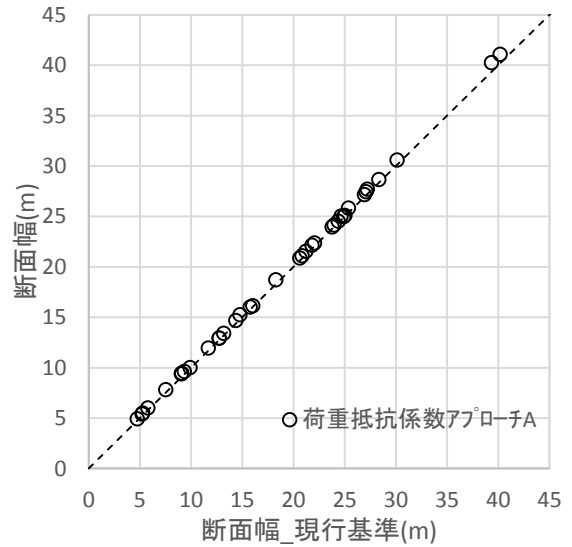


図-6.17 断面幅の比較 (混成堤\_滑動\_急)

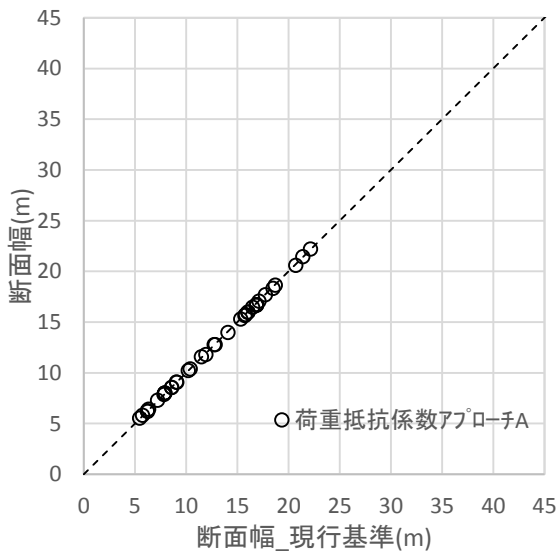


図-6.16 断面幅の比較 (混成堤\_転倒\_緩)

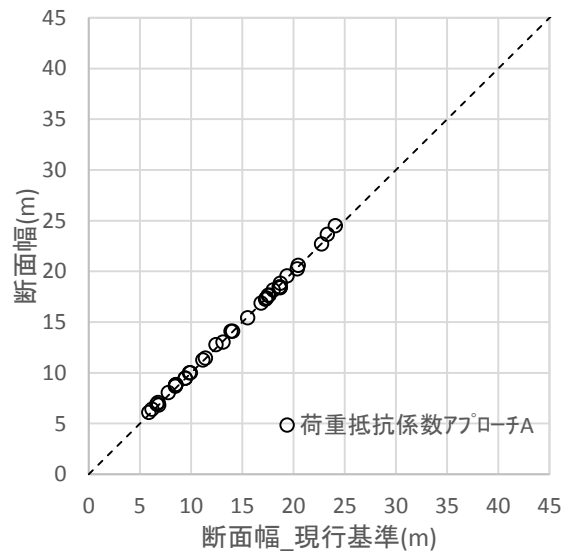


図-6.18 断面幅の比較 (混成堤\_転倒\_急)

表-6.12 断面幅の比較 (混成堤)

	海底勾配	比									差 (m)								
		荷重抵抗係数 / 現行基準 アプローチA			荷重抵抗係数 / 現行基準 アプローチB			材料係数 / 現行基準 アプローチ			荷重抵抗係数 - 現行基準 アプローチA			荷重抵抗係数 - 現行基準 アプローチB			材料係数 - 現行基準 アプローチ		
		滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定
平均	緩	0.98	1.00	0.99	0.97	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	-0.33	-0.01	-0.30	-0.43	-0.11	-0.40	-0.32	-0.13	-0.31
	急	1.02	1.01	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.12	0.32	0.08	0.00	0.09	0.04	-0.05	0.05

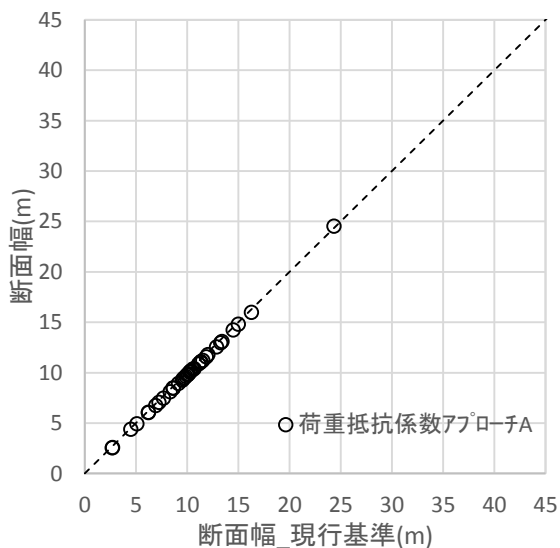


図-6.19 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_滑動\_緩)

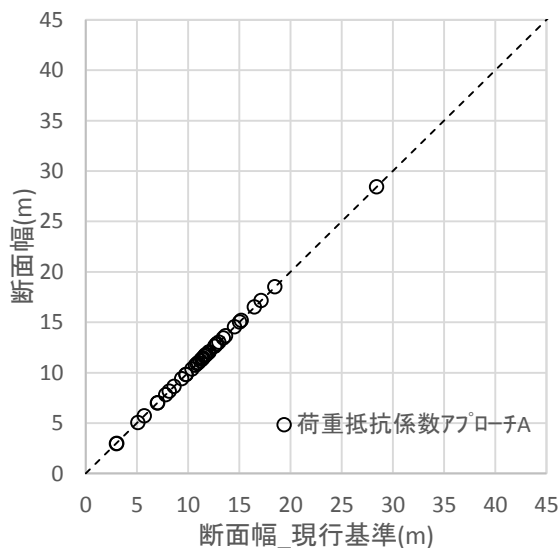


図-6.21 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_滑動\_急)

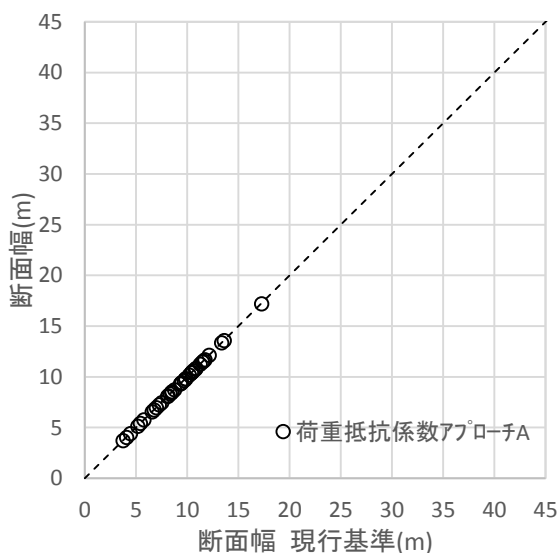


図-6.20 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_転倒\_緩)

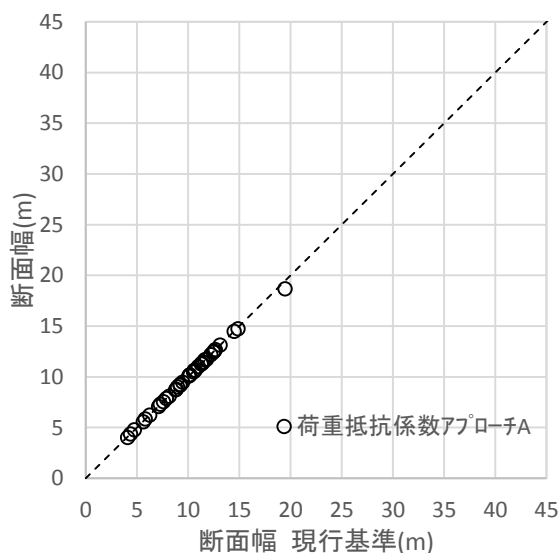


図-6.22 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤\_転倒\_急)

表-6.13 断面幅の比較 (消波ブロック被覆堤)

	海底 勾配	比									差 (m)								
		荷重抵抗係数 / 現行基準 アプローチA			荷重抵抗係数 / 現行基準 アプローチB			材料係数 / 現行基準 アプローチ			荷重抵抗係数 - 現行基準 アプローチA			荷重抵抗係数 - 現行基準 アプローチB			材料係数 - 現行基準 アプローチ		
		滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定	滑動	転倒	決定
平均	緩	0.98	1.00	0.98	0.97	1.00	0.98	0.99	1.00	0.99	-0.20	-0.03	-0.15	-0.28	-0.01	-0.21	-0.11	-0.02	-0.09
	急	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	-0.01	0.03	-0.04	0.03	-0.03	0.06	0.00	0.05

(3)破壊確率の確認

3つの部分係数フォーマットによって設計された断面の、破壊確率を確認する。計算結果の一例として、混成堤の海底勾配が緩い場合を対象とした結果を図-6.23に示す。上段は滑動照査に対する破壊確率を、下段は転倒照査に対する破壊確率を示す。上段下段とも、左から荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチによる結果である。滑動照査および転倒照査において、部分係数フォーマットの違いによる破壊確率の算定結果の違いは見られない。その他の条件においても、同様に部分係数フォーマットの違いによる破壊確率の算定結果の違いは見られない(付録F)。

各部分係数フォーマットの、目標破壊確率に対する変動係数を表-6.14に、目標信頼性指標に対する変動係数を表-6.15に示す。部分係数フォーマットの違いによる、変動係数の違いは見られない。混成堤と消波ブロック被覆堤の変動係数を比較すると、混成堤の変動係数の方が大きいことがわかる。そこで、混成堤の破壊確率および信頼性指標を、衝撃砕波の発生の有無で分離した結果を表-6.16および表-6.17に示す。衝撃砕波が発生すると変動係数が大きくなる場合があるが、発生しない場合は、消波ブロック被覆堤と同等であることがわかる。これは、衝撃砕波が発生すると、破壊確率の変動が大きくなり、急に破壊に至る可能性を示唆している。

表-6.14 破壊確率の変動係数

	海底勾配	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
		滑動	転倒	滑動	転倒	滑動	転倒
混成堤	緩	0.27	0.27	0.32	0.38	0.31	0.38
	急	0.31	0.35	0.37	0.41	0.33	0.37
消波ブロック被覆堤	緩	0.09	0.10	0.06	0.12	0.05	0.10
	急	0.07	0.22	0.06	0.18	0.04	0.09

表-6.15 信頼性指標の変動係数

	海底勾配	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
		滑動	転倒	滑動	転倒	滑動	転倒
混成堤	緩	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05
	急	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04	0.05
消波ブロック被覆堤	緩	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	急	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01

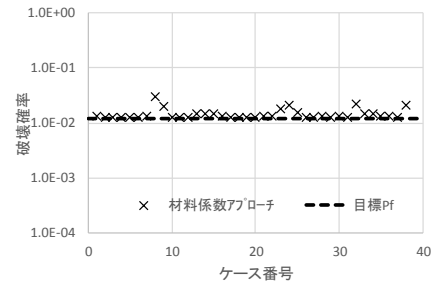
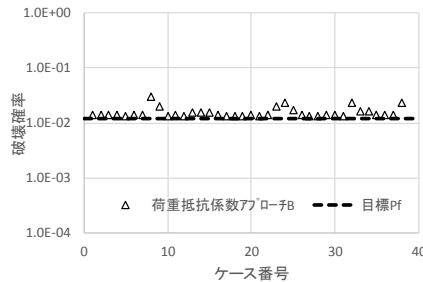
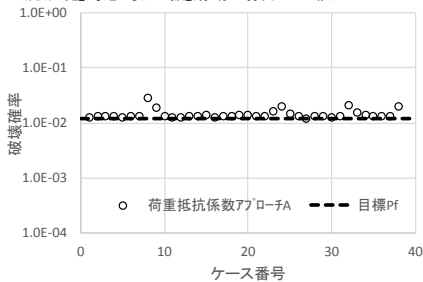
表-6.16 破壊確率の変動係数(砕波の有無で分類)

	海底勾配	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
		滑動	転倒	滑動	転倒	滑動	転倒
砕波なし	緩	0.04	0.08	0.02	0.02	0.01	0.02
	急	0.13	0.20	0.09	0.14	0.02	0.02
砕波あり	緩	0.37	0.43	0.37	0.47	0.38	0.45
	急	0.49	0.55	0.48	0.54	0.39	0.43

表-6.17 信頼性指標の変動係数(砕波の有無で分類)

	海底勾配	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
		滑動	転倒	滑動	転倒	滑動	転倒
砕波なし	緩	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	急	0.02	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00
砕波あり	緩	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04	0.05
	急	0.06	0.09	0.05	0.06	0.04	0.05

■混成堤\_海底勾配:緩\_滑動\_場合の比較



■混成堤\_海底勾配:緩\_転倒\_場合の比較

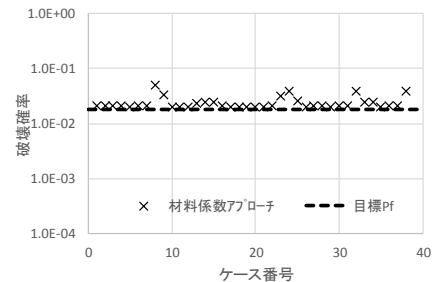
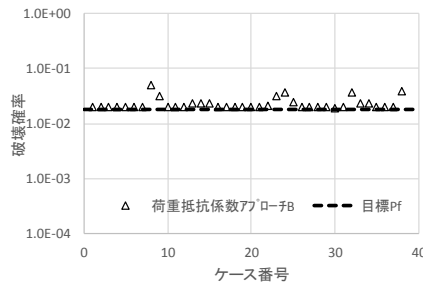
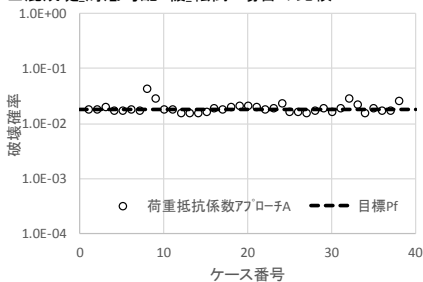


図-6.23 破壊確率の比較(混成堤\_緩)

6.4 部分係数の提案

6.3の検討結果から、3つの部分係数フォーマットに違いがないことがわかった。そこで、本研究では竹信らの考えを踏襲し、荷重抵抗係数アプローチA、または、荷重抵抗係数アプローチBの方法を新しい部分係数法として提案する。

荷重抵抗係数アプローチAの滑動照査式を式(6.4)に、転倒照査式を式(6.5)に示し、荷重抵抗係数アプローチBの滑動照査式を式(6.6)に、転倒照査式を式(6.7)に示す。また、混成堤の具体的な部分係数を表-6.18に、消波ブロック被覆堤の具体的な部分係数を表-6.19に示す。

【荷重抵抗係数アプローチA】

(滑動照査式)

$$\gamma_R \cdot \{f \times (W - P_B - P_U)\} \geq \gamma_S \cdot \{P_H\} \tag{6.4}$$

(転倒照査式)

$$\gamma_R \cdot \{W \times a_1 - P_B \times a_2 - P_U \times a_3\} \geq \gamma_S \cdot \{P_H \times a_4\} \tag{6.5}$$

【荷重抵抗係数アプローチB】

(滑動照査式)

$$\gamma_f \cdot f \times (\gamma_W \cdot W - \gamma_{PB} \cdot P_B - \gamma_{PU} \cdot P_U) \geq \gamma_{PH} \cdot P_H \tag{6.6}$$

(転倒照査式)

$$\gamma_W \cdot W \times a_1 - \gamma_{PB} \cdot P_B \times a_2 - \gamma_{PU} \cdot P_U \times a_3 \geq \gamma_{PH} \cdot P_H \times a_4 \tag{6.7}$$

表-6.18 混成堤の部分係数

部分係数フォーマット	項目	記号	部分係数			
			海底勾配：緩		海底勾配：急	
			滑動	転倒	滑動	転倒
荷重抵抗係数アプローチA	抵抗	$\gamma_R$	0.83	0.95	0.82	0.91
	荷重	$\gamma_S$	1.08	1.14	1.28	1.33
荷重抵抗係数アプローチB	摩擦係数	$\mu$	0.85	-	0.87	-
	壁体重量	$W$	1.00	1.00	1.00	1.00
	浮力	$P_B$	1.00	1.00	1.00	1.00
	揚圧力	$P_U$	1.09	1.13	1.23	1.27
	水平波力	$P_H$	1.08	1.14	1.28	1.33

表-6.19 消波ブロック被覆堤の部分係数

部分係数フォーマット	項目	記号	部分係数			
			海底勾配：緩		海底勾配：急	
			滑動	転倒	滑動	転倒
荷重抵抗係数アプローチA	抵抗	$\gamma_R$	0.79	0.98	0.78	0.95
	荷重	$\gamma_S$	0.90	0.99	1.03	1.13
荷重抵抗係数アプローチB	摩擦係数	$\mu$	0.78	-	0.79	-
	壁体重量	$W$	1.00	0.99	1.00	0.99
	浮力	$P_B$	1.00	1.01	1.00	1.01
	揚圧力	$P_U$	0.90	0.99	1.03	1.11
	水平波力	$P_H$	0.90	0.99	1.03	1.13

また、消波ブロック被覆堤における、海底勾配が緩い場合の転倒照査に対して、転倒安全率  $F_s=1.2$  に相当する部分係数を、荷重抵抗係数アプローチAについて表-6.20、荷重抵抗係数アプローチBについて表-6.21に、参考として示す。

表-6.20  $F_s=1.2$  に相当する部分係数

海底勾配	破壊モード	荷重抵抗係数アプローチA	
		$\gamma_R$	$\gamma_S$
緩	転倒	0.92	1.13

表-6.21  $F_s=1.2$  に相当する部分係数

海底勾配	破壊モード	荷重抵抗係数アプローチB			
		$W$	$P_B$	$P_U$	$P_H$
緩	転倒	0.98	1.01	1.12	1.13

6.5 提案した部分係数に関する留意点

本研究で提案する部分係数に関する留意点を以下に示す。

①部分係数の妥当性

現行基準における海底勾配が緩い場合の部分係数を使った場合、消波ブロック被覆堤の転倒照査では、安全率が  $F_s=1.0$  相当の断面が設計されることが確認された。現行基準で混成堤と消波ブロック被覆堤に求める安全性水準を、両者の有する安全性水準の平均値としたことによって、消波ブロック被覆堤の安全性水準が、安全率法に比べて低くなったためである。安全率  $F_s=1.0$  に懸念を抱く見解もあるが、現行基準で設計された重力式防波堤に関して、波浪に対する大きな被害が現在までに確認されていないことから、新しい部分係数法についても問題ないものとする。

②消波ブロック被覆堤の部分係数

消波ブロック被覆堤において、消波工の沈下がたびたび問題となる。消波工が沈下し、直立部に衝撃砕波力が直接作用する場合は、外力の増大により、直立部の安定性が大きく損なわれる懸念がある。本研究における部分係数は、消波工が直立部天端まで施工されている状態の部分係数であるため、消波工が沈下した場合には適用できない。

③混成堤の部分係数

混成堤の滑動と転倒に対して設計される断面について、衝撃砕波力が発生する場合の一部の条件において、破壊確率が急激に大きくなる可能性がある。これは、安全率法、

現行基準における部分係数法，新しい部分係数法のいずれの設計手法を用いても同様に起こる現象であり，従来からこのような現象を許容しながら設計がなされてきたことを意味する．新しい部分係数法についても，従来通り，衝撃砕波の発生の有無によって部分係数を使い分けることはない．

## 7. 結論

本研究では，重力式防波堤の変動波浪時における，滑動照査および転倒照査に対する，新しい部分係数法の案を提案した．新しい部分係数法では，現行基準の目標安全性水準の考え方を踏襲し，部分係数フォーマットを荷重抵抗係数アプローチへ変更する案を提案した．本研究における検討から得られた主な結論を，以下に示す．

① 混成堤および消波ブロック被覆堤の平均的な安全性水準は，現行基準における部分係数法と安全率法で，同等であることを確認した．断面幅を比較した結果，現行基準における部分係数法で設計される断面幅は，安全率法で設計される断面幅に比べて，混成堤で大きく，消波ブロック被覆堤で小さくなり，平均で同等となることを確認した．

② 現行基準における部分係数法で算定される，混成堤および消波ブロック被覆堤の，滑動および転倒に対して必要な最小断面幅が有する安全率の平均値は，表-4.4の通りである．

③ 混成堤および消波ブロック被覆堤について，変動波浪時の滑動照査および転倒照査に対する2種類の荷重抵抗係数アプローチによる部分係数（荷重抵抗係数アプローチAおよび荷重抵抗係数アプローチB）を提案した．具体的には，混成堤の部分係数を表-6.18に，消波ブロック被覆堤の部分係数を表-6.19示すとおりである．

なお，荷重抵抗係数アプローチAおよび荷重抵抗係数アプローチB，ならびに材料係数アプローチを用いた場合の断面幅の差異は表-6.10と表-6.11に示す程度である．

④ 計算上で衝撃砕波が発生すると判定された場合，一部の条件において，破壊確率が大きくなる傾向が見られた．この現象は，衝撃砕波が発生する条件においては，破壊確率が急激に大きくなる可能性，すなわち，破壊する可能性が高くなることを示唆している．

⑤ 現行基準における部分係数法では，消波ブロック被覆堤の転倒照査に対して必要な最小断面幅は，安全率に換算すると， $F_s=1.0$ 程度となることがわかった．消波ブロック被覆堤の消波工が沈下すると，砕波の影響により急激に大きな波力を受け，破壊に至る懸念があるとの見解もあるため，安全率 $F_s=1.2$ 相当の部分係数も参考として示した．

また，重力式防波堤には，本研究で対象とした，混成堤および消波ブロック被覆堤のほかに，上部斜面堤，消波ブロック被覆上部斜面堤，直立消波ブロック堤，消波ケーソン堤等の特殊な構造もある．本研究で示した手順を用いれば，本研究で対象としなかった重力式防波堤に対しても同様に部分係数を設定することができる．ただし，部分係数は各構造形式の一般的な形状に対して設定するため，実績の少ない構造に対しては適用に注意が必要である．

(2016年5月31日受付)

## 謝辞

本稿をとりまとめるにあたり，信頼性設計法およびモンテカルロシミュレーションを用いた解析手法について，岐阜大学の本城勇介名誉教授，新潟大学の竹雄准教授より，波浪に対する設計について，京都大学の高山知司名誉教授，港湾空港技術研究所の下迫健一郎特別研究主幹，鈴木高二朗グループ長より，懇切丁寧なご指導および適切なご助言，様々な参考情報を頂きました．また，港湾研究部の部外研究員である松原弘晃氏，村上和康氏，川俣秀樹氏，高野向後氏，勝俣優氏，西岡悟史氏，および渡部富博港湾研究部長，松本英雄港湾情報システム研究官，福永勇介主任研究官には，本稿の執筆方針および検討内容に対して貴重な意見を頂きました．ここに記して，深く感謝の意を表します．

## 参考文献

- 1)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説 2007.
- 2)竹信正寛、西岡悟史、佐藤健彦、宮田正史：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究 ～永続状態におけるケーソン式岸壁の滑動および転倒照査を対象に～，国土技術政策総合研究所資料，No.880，2015.
- 3)吉岡健，長尾毅：重力式防波堤の外的安定に関するレベル1信頼性設計法の提案，国土技術政策総合研究所研究報告，No.20，2005.

- 4)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説  
1999.
- 5)日本港湾協会：港湾工事設計示方要覧，1950.
- 6)日本港湾協会：港湾工事設計要覧，1959.
- 7)合田良実：防波堤の設計波圧に関する研究，港湾技術  
研究所報告第12巻第3号，1973.
- 8)高橋重雄，谷本勝利，下迫健一郎，細山田得三：混成  
防波堤のマウンド形状による衝撃波力係数の提案，第  
39回海岸工学論文集，1992.
- 9)高山知司，池田直太：現行設計法における防波堤の滑  
動安定性，海岸工学論文集 第38巻，1991.

付録 A 防波堤の滑動・転倒照査に係る技術基準の変遷

1. 技術基準の変遷

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」が平成19年に改訂され、設計方法が従来用いられてきた安全率法から信頼性設計へ変更された。港湾に関する技術基準は、現行の基準・同解説の前身である「港湾工事設計示方要覧」が昭和25年に発刊されて以来、おおよそ10年毎に改訂がなされ、現在に至っている（付表A-1）。ここでは、防波堤の滑動照査、転倒照査に関連する安全率と波力算定式を、技術基準の変遷に合わせて整理する。

付表A-1 港湾技術基準の変遷<sup>1)~7)</sup>

発刊年	技術基準名
昭和25年	港湾工事設計示方要覧
昭和34年	港湾工事設計要覧
昭和42年	港湾構造物設計基準
昭和54年	港湾の施設の技術上の基準・同解説
平成元年	港湾の施設の技術上の基準・同解説
平成11年	港湾の施設の技術上の基準・同解説
平成19年	港湾の施設の技術上の基準・同解説

2. 安全率の変遷

安全率法で用いる滑動と転倒の安全率について、過去の技術基準の記載を整理した一覧を付表A-2に示す。

滑動照査に必要な最小安全率については、過去の技術基準でも1.2であり、現在までこの値に変わりはない。ただし、昭和42年の「港湾構造物設計基準」から、期待滑動量方式<sup>8)</sup>による安定の検討を行うことができるようになり、昭和54年の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では、模型実験によって堤体の安定性を確認した場合には、滑動の安全率が1.2を下回ってよいことが記載された。平成11年の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では、期待滑動量によった場合でも、模型実験によった場合でも、設計された断面は安全率1.0を下回ってはならないことが記載された。

転倒照査に必要な最小安全率については、昭和25年の「港湾工事設計示方要覧」では1.5であるが、昭和34年の「港湾工事設計要覧」以降は1.2であり、現在までこれに代わる値は出ていない。

付表A-2 安全率の変遷

発刊年	安全率	
	滑動	転倒
昭和25年	1.2	1.5
昭和34年	1.2	1.2
昭和42年	1.2	1.2
昭和54年	1.2	1.2
平成元年	1.2	1.2
平成11年	1.2	1.2

3. 波圧算定式の変遷

波圧の算定に用いる式について、過去の技術基準の記載を整理した一覧を付表A-3に示す。波圧算定式は、重複波が作用する場合の波圧と砕波が作用する場合の波圧、衝撃砕波圧、消波工で被覆された場合の波圧について整理する。昭和54年の技術基準以前は、重複波はサンフルー式、砕波は広井式、衝撃砕波圧は主にミニキンの公式、消波工で被覆された場合は森平式が使われていた。しかし、重複波から砕波に至る波力を周期の影響を含めて連続的に計算できる合田式が提案された昭和54年以降の技術基準では、過去に提案された式の使用を否定はしていないが、実質的に合田式で波力が計算されることとなる。合田式は、パラメータを工夫することで、衝撃砕波圧や消波工を考慮した場合のほか、特殊な構造の防波堤にも適用可能なため、現在最も広く使われている波圧算定式である。

付表A-3 港湾技術基準の変遷

発刊年	重複波	砕波	衝撃砕波力	消波工で被覆された場合
昭和25年	サンフルー式	広井式	-	-
昭和34年	サンフルー式	広井式	ミニキン公式 永井の式	-
昭和42年	サンフルー式	広井式	ミニキン公式 永井の式	森平式
昭和54年	合田式 <sup>*1</sup>	合田式 <sup>*1</sup>	-	合田式 <sup>*1</sup>
平成元年	合田式 <sup>*1</sup>	合田式 <sup>*1</sup>	-	合田式 <sup>*1</sup>
平成11年	合田式 <sup>*1</sup>	合田式 <sup>*1</sup>	合田式 <sup>*2</sup>	合田式 <sup>*1</sup>
平成19年	合田式 <sup>*1</sup>	合田式 <sup>*1</sup>	合田式 <sup>*2</sup>	合田式 <sup>*1</sup>

\*1 サンフルー式、広井式、森平式は適用性確認のうえ使用可能と記載  
 \*2 高橋らの衝撃砕波力係数 $\alpha_1$ の導入

[付録A 参考文献]

- 1) 日本港湾協会：港湾工事設計示方要覧，1950.
- 2) 日本港湾協会：港湾工事設計要覧，1959.
- 3) 日本港湾協会：港湾構造物設計基準，1967.
- 4) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1979.
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（改訂版），1989.
- 6) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（改訂版），1999.
- 7) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（改訂版），2007.
- 8) 伊藤善行，藤島睦，北谷高雄：防波堤の安定性に関する研究，港湾技術研究所報告，VOL.5, No.14, 1966.



付録 B 本研究に用いた設計条件および確率変数とする設計因子とその統計的性質

1. 検討断面と設計因子の特性値

本研究に用いた混成堤の断面形状と設計因子の特性値を付表 B-1 に、消波ブロック被覆堤の断面形状と設計因子の特性値を付表 B-2 に示す。検討断面の一般図を付図 B-1 に示す。本検討断面は、吉岡ら<sup>2)</sup>に示される、全国広範囲より地域的、設計条件的に偏りがないように収集された建設事例である。表中の地域の分類を付図 B-2 に示す。また、表中の堤体の平均単位体積重量  $\gamma_c$  については、以下のとおり設定した。

(1) 堤体の平均単位体積重量  $\gamma_c$

南ら<sup>2)</sup>は、混成式防波堤とケーソン式係船岸のケーソンを対象に、中詰砂の体積  $V_s$  とケーソン本体のコンクリートの体積  $V_c$  の関係を調べている。その結果、 $V_s/V_c$  は混成堤のケーソンで 3.03、係船岸のケーソンでは 2.78 となり、一般的に 3 であることが報告されている。

ケーソンの重量として、中詰砂と鉄筋コンクリート、無筋コンクリートを個別に評価した場合と、平均的に評価した場合とで結果に影響がないことを確認し、ケーソンの平均単位体積重量を、上部工も含めて平均的に評価することとした。本研究におけるケーソンの平均単位体積重量は、中詰砂の体積  $V_s$  と鉄筋コンクリートの体積  $V_c$  の比  $V_s/V_c=3$  で重量平均したものをを用いることとする。

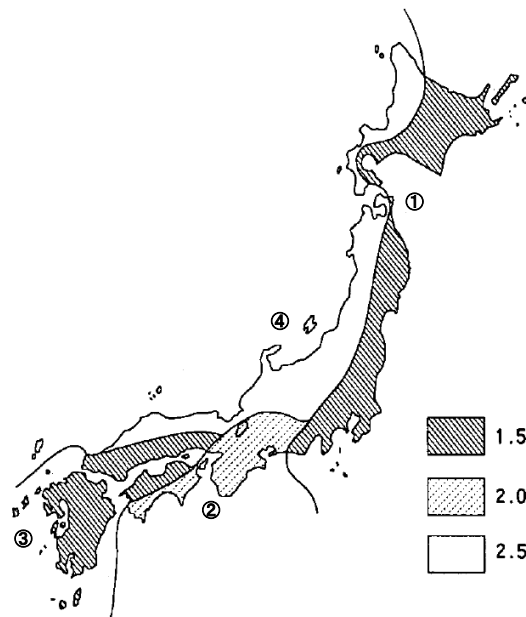
ここで、鉄筋コンクリートと中詰砂の単位体積重量を、港湾工事設計要覧を参考に以下のとおり設定する。

中詰砂 :  $\gamma_{sat} = 20.0 \text{ kN/m}^3$

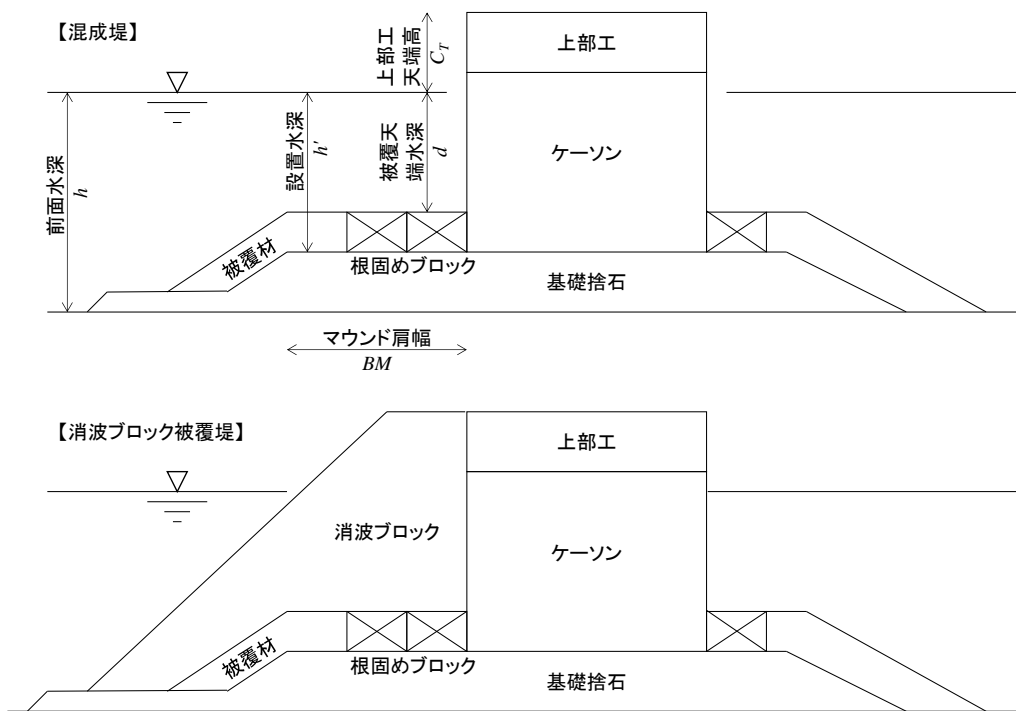
鉄筋コンクリート :  $\gamma_c = 24.0 \text{ kN/m}^3$

ケーソンの平均単位体積重量は、以下の値をケーソンの規模によらず使用することとする。

$$\gamma_c = (1 \times 24.0 + 3 \times 20.0) / 4 = 21.0 \text{ kN/m}^3$$



付図 B-2 地域の分割と  $\gamma_c$  の分布<sup>3)</sup>



付図 B-1 検討断面

付表B-1 混成堤の検討断面<sup>1)</sup>

ケース 番号	前面 水深 <i>h</i> m	被覆天端 水深 <i>d</i> m	設置 水深 <i>h'</i> m	上部工 天端高 <i>C<sub>T</sub></i> m	海底 勾配 <i>i</i>	有義 波高 <i>H<sub>1/3</sub></i> m	周期 <i>T</i> s	入射角 $\beta$	摩擦 係数 <i>f</i>	堤体平均 単体重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup>	設計潮位		設計 波高 <i>H<sub>D</sub></i> m	マウンド 肩幅 <i>BM</i> m	地域	
											<i>wl</i> m	潮位			地域	$r_{wl} = h'/h$ <i>r<sub>wl</sub></i>
1	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0077	7.50	13.5	15.0	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	13.40	10.60	④	2.5
2	21.5	14.3	17.0	6.5	0.0100	9.40	14.0	10.3	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	16.68	12.60	④	2.5
3	17.5	10.3	13.5	6.4	0.0090	9.80	14.0	0.0	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	14.05	11.50	④	2.5
4	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0080	7.10	13.5	0.0	0.60	21.0	0.70	H.W.L.	12.50	12.50	④	2.5
5	13.0	7.5	8.5	4.5	0.0050	3.74	14.0	20.0	0.60	21.0	0.50	H.W.L.	6.73	9.00	④	2.5
6	16.0	11.5	13.0	6.0	0.0130	8.50	13.5	25.0	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	13.07	7.00	④	2.5
7	22.0	15.0	16.5	6.0	0.0140	8.00	13.0	7.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	14.30	8.00	①	1.5
8	27.5	15.0	18.5	6.0	0.0050	8.00	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	H.W.L.	14.30	33.00	①	1.5
9	26.5	13.3	16.5	6.0	0.0050	7.40	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	H.W.L.	13.30	28.00	①	1.5
10	14.7	10.5	12.5	5.5	0.0230	7.40	11.0	0.0	0.60	21.0	0.40	H.W.L.	13.30	13.50	④	2.5
11	23.2	13.0	16.5	6.2	0.0020	8.00	14.0	7.0	0.60	21.0	1.40	H.W.L.	14.36	10.00	①	1.5
12	12.7	8.0	9.5	5.0	0.0100	3.50	13.0	23.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	6.40	10.00	①	1.5
13	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.90	6.50	①	1.5
14	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	5.5	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.94	6.50	①	1.5
15	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.90	6.50	①	1.5
16	13.1	7.6	10.5	5.0	0.0090	5.50	12.0	12.0	0.60	21.0	1.60	H.W.L.	9.60	12.00	①	1.5
17	18.5	11.5	13.0	6.0	0.0100	8.40	12.5	0.0	0.75	21.0	1.30	H.H.W.L.	13.00	15.80	④	2.5
18	13.5	8.0	10.0	8.0	0.0200	8.40	13.5	0.0	0.75	21.0	3.50	H.H.W.L.	13.00	15.50	②	2.0
19	14.5	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	13.05	11.00	④	2.5
20	15.6	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	13.05	15.60	④	2.5
21	17.0	11.5	13.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	13.05	15.60	④	2.5
22	12.0	8.0	9.0	4.5	0.0100	4.80	10.8	30.0	0.60	21.0	1.67	H.W.L.	8.64	7.50	③	1.5
23	17.2	9.0	10.0	4.8	0.0050	2.80	5.9	30.0	0.60	21.0	2.20	H.W.L.	4.95	6.50	③	1.5
24	12.6	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.30	7.5	43.0	0.60	21.0	2.10	H.H.W.L.	4.10	11.10	①	1.5
25	12.2	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.50	7.6	42.0	0.60	21.0	2.10	H.H.W.L.	4.50	7.00	①	1.5
26	13.0	8.0	9.0	5.5	0.0100	3.70	14.8	0.0	0.60	21.0	3.10	H.H.W.L.	6.60	8.00	③	1.5
27	8.6	5.3	6.5	9.2	0.0100	5.10	11.1	38.0	0.60	21.0	1.30	H.W.L.	7.50	5.00	①	1.5
28	17.0	12.6	14.0	6.5	0.0030	7.70	13.0	0.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	12.70	9.60	①	1.5
29	6.6	4.0	5.0	3.0	0.0200	2.90	11.0	43.0	0.60	21.0	0.40	H.W.L.	5.30	9.40	④	2.5
30	18.7	12.3	13.5	4.0	0.0100	5.80	11.0	15.0	0.60	21.0	0.40	H.W.L.	10.50	13.65	④	2.5
31	14.1	8.8	10.0	6.5	0.0100	6.00	15.0	0.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	10.60	13.20	①	1.5
32	18.4	11.5	13.0	4.5	0.0091	6.00	8.7	25.0	0.60	21.0	0.90	H.H.W.L.	10.80	10.10	④	2.5
33	18.5	9.6	12.0	4.5	0.0167	6.00	11.3	7.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	12.00	9.60	④	2.5
34	19.0	10.0	11.0	2.6	0.0100	3.00	7.3	0.0	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.40	6.00	④	2.5
35	12.1	7.5	9.0	4.9	0.0346	5.78	13.0	40.0	0.75	21.0	1.42	H.W.L.	10.08	10.00	①	1.5
36	10.0	6.0	7.5	4.2	0.0033	4.71	13.0	59.0	0.60	21.0	1.33	H.W.L.	8.02	8.00	①	1.5
37	10.0	6.0	7.5	4.2	0.0033	4.71	13.0	59.0	0.60	21.0	1.33	H.W.L.	8.02	8.00	①	1.5
38	15.0	6.0	7.0	5.6	0.0100	2.34	4.7	14.0	0.60	21.0	4.05	H.W.L.	4.21	7.00	③	1.5

付表B-2 消波ブロック被覆堤の検討断面<sup>1)</sup>

ケース 番号	前面 水深 <i>h</i> m	被覆天端 水深 <i>d</i> m	設置 水深 <i>h'</i> m	上部工 天端高 <i>C<sub>T</sub></i> m	海底 勾配 <i>i</i>	有義 波高 <i>H<sub>1/3</sub></i> m	周期 <i>T</i> s	入射角 $\beta$	摩擦 係数 <i>f</i>	堤体平均 単体重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup>	設計潮位		設計 波高 <i>H<sub>D</sub></i> m	マウンド 肩幅 <i>BM</i> m	地域	
											<i>wl</i> m	潮位			地域	$r_{wl} = h'/h$ <i>r<sub>wl</sub></i>
1	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0077	7.50	13.5	15.0	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	13.40	10.60	④	2.5
2	21.5	14.3	17.0	6.5	0.0100	9.40	14.0	10.3	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	16.68	12.60	④	2.5
3	17.5	10.3	13.5	6.4	0.0090	9.80	14.0	0.0	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	14.05	11.50	④	2.5
4	21.0	13.3	16.0	5.0	0.0080	7.10	13.5	0.0	0.60	21.0	0.70	H.W.L.	12.50	12.50	④	2.5
5	13.0	7.5	8.5	4.5	0.0050	3.74	14.0	20.0	0.60	21.0	0.50	H.W.L.	6.73	9.00	④	2.5
6	16.0	11.5	13.0	6.0	0.0130	8.50	13.5	25.0	0.75	21.0	0.50	H.W.L.	13.07	7.00	④	2.5
7	22.0	15.0	16.5	6.0	0.0140	8.00	13.0	7.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	14.30	8.00	①	1.5
8	27.5	15.0	18.5	6.0	0.0050	8.00	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	H.W.L.	14.30	33.00	①	1.5
9	26.5	13.3	16.5	6.0	0.0050	7.40	13.0	0.0	0.60	21.0	1.40	H.W.L.	13.30	28.00	①	1.5
10	14.7	10.5	12.5	5.5	0.0230	7.40	11.0	0.0	0.60	21.0	0.40	H.W.L.	13.30	13.50	④	2.5
11	23.2	13.0	16.5	6.2	0.0020	8.00	14.0	7.0	0.60	21.0	1.40	H.W.L.	14.36	10.00	①	1.5
12	12.7	8.0	9.5	5.0	0.0100	3.50	13.0	23.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	6.40	10.00	①	1.5
13	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.90	6.50	①	1.5
14	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	5.5	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.94	6.50	①	1.5
15	19.5	9.7	10.7	2.8	0.0100	3.30	7.0	0.0	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.90	6.50	①	1.5
16	13.1	7.6	10.5	5.0	0.0090	5.50	12.0	12.0	0.60	21.0	1.60	H.W.L.	9.60	12.00	①	1.5
17	18.5	11.5	13.0	6.0	0.0100	8.40	12.5	0.0	0.75	21.0	1.30	H.H.W.L.	13.00	15.80	④	2.5
18	13.5	8.0	10.0	8.0	0.0200	8.40	13.5	0.0	0.75	21.0	3.50	H.H.W.L.	13.00	15.50	②	2.0
19	14.5	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	13.05	11.00	④	2.5
20	15.6	10.5	12.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	13.05	15.60	④	2.5
21	17.0	11.5	13.0	5.5	0.0100	8.50	14.0	0.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	13.05	15.60	④	2.5
22	12.0	8.0	9.0	4.5	0.0100	4.80	10.8	30.0	0.60	21.0	1.67	H.W.L.	8.64	7.50	③	1.5
23	17.2	9.0	10.0	4.8	0.0050	2.80	5.9	30.0	0.60	21.0	2.20	H.W.L.	4.95	6.50	③	1.5
24	12.6	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.30	7.5	43.0	0.60	21.0	2.10	H.H.W.L.	4.10	11.10	①	1.5
25	12.2	7.5	9.0	3.5	0.0040	2.50	7.6	42.0	0.60	21.0	2.10	H.H.W.L.	4.50	7.00	①	1.5
26	13.0	8.0	9.0	5.5	0.0100	3.70	14.8	0.0	0.60	21.0	3.10	H.H.W.L.	6.60	8.00	③	1.5
27	8.6	5.3	6.5	9.2	0.0100	5.10	11.1	38.0	0.60	21.0	1.30	H.W.L.	7.50	5.00	①	1.5
28	17.0	12.6	14.0	6.5	0.0030	7.70	13.0	0.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	12.70	9.60	①	1.5
29	6.6	4.0	5.0	3.0	0.0200	2.90	11.0	43.0	0.60	21.0	0.40	H.W.L.	5.30	9.40	④	2.5
30	18.7	12.3	13.5	4.0	0.0100	5.80	11.0	15.0	0.60	21.0	0.40	H.W.L.	10.50	13.65	④	2.5
31	14.1	8.8	10.0	6.5	0.0100	6.00	15.0	0.0	0.60	21.0	1.50	H.W.L.	10.60	13.20	①	1.5
32	18.4	11.5	13.0	4.5	0.0091	6.00	8.7	25.0	0.60	21.0	0.90	H.H.W.L.	10.80	10.10	④	2.5
33	18.5	9.6	12.0	4.5	0.0167	6.00	11.3	7.0	0.75	21.0	0.90	H.H.W.L.	12.00	9.60	④	2.5
34	19.0	10.0	11.0	2.6	0.0100	3.00	7.3	0.0	0.60	21.0	0.80	H.W.L.	5.40	6.00	④	2.5
35	12.1	7.5	9.0	4.9	0.0346	5.78	13.0	40.0	0.75	21.0	1.42	H.W.L.	10.08	10.00	①	1.5
36	10.0	6.0	7.5	4.2	0.0033	4.71	13.0	59.0	0.60	21.0	1.33	H.W.L.	8.02	8.00	①	1.5
37	10.0	6.0	7.													

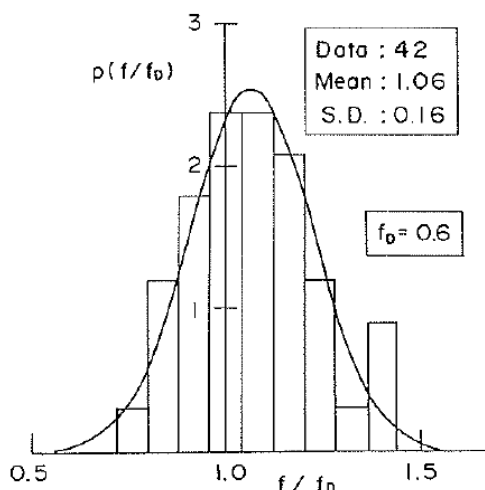
2. 確率変数とする設計因子の統計的性質

(1) 摩擦係数

高山ら<sup>4)</sup>は、実物に近い捨石マウンドおよび堤体を用いて行った既往の実験結果（森平ら，1978<sup>5)</sup>，1979<sup>6)</sup>，等）から、摩擦係数のばらつきを検討している。

付図B-3は、実験結果から摩擦係数の統計的性質を整理したものである。本研究では、実際のケーソン底面と捨石マウンド間の摩擦係数の統計的性質も、この結果に従うと仮定した。摩擦係数は正規分布に従うと仮定し、平均値の偏りと変動係数を以下のとおり設定した。

平均値の偏り  $\mu/X_k = 1.06$   
 変動係数  $V = 0.15$



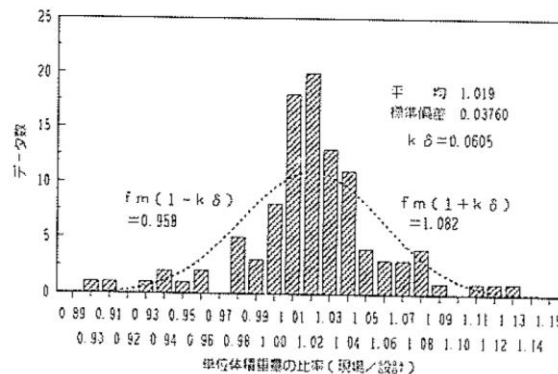
付図B-3 摩擦係数のばらつき<sup>4)</sup>

(2) ケーソン壁体の単位体積重量

南ら<sup>2)</sup>は、コンクリート構造物の重量のばらつきを把握するため、各建設局を通じて、コンクリートの圧縮強度の測定に用いる要素試験結果についてアンケート調査を実施している。その結果、鉄筋コンクリートの単位体積重量の平均値として  $\mu = 2.41(t/m^3)$ ，標準偏差として  $\sigma = 0.0448(t/m^3)$  が得られている。

また、南ら<sup>2)</sup>は、ケーソンの中詰材の単位体積重量のばらつきを推定するために、中詰砂の管理試験結果をアンケートによりまとめている。この調査は各工事事務所で容量が様々な容器（2リットルと10リットルが多い）を用いて、中詰砂として予定されている土砂の単位体積重量調査の結果を調べたものである。また、土砂の充填方法や締め固め方法についても各工事事務所ごとに独自の方法で行われているものであるが、その手法の詳細については不明である。

以上を整理したものを付図B-4に示す。この結果、中詰砂の単位体積重量の現場計測値と設計値の比に対して、平均値  $\mu = 1.019$ ，標準偏差  $\sigma = 0.0376$  が得られている。



付図B-4 中詰砂の単位体積重量の現場計測値と設計値の比<sup>2)</sup>

上記の情報に基づき、まず、本研究に用いる鉄筋コンクリートの単位体積重量およびケーソン中詰材の単位体積重量の統計量を、以下のとおり算定した。

- ・鉄筋コンクリートの単位体積重量
  - 特性値 :  $\gamma_{RC} = 24.00 \text{ kN/m}^3$
  - 平均値の偏り :  $\mu/X_k = 2.41 \times 9.8 / 24.0 = 0.98$
  - 標準偏差 :  $\sigma = 0.0448 \times 9.8 = 0.44$
  - 変動係数 :  $V = 0.44 / (2.41 \times 9.8) = 0.02$
  - 平均値 :  $\gamma_{RC}^* = 24.0 \times 0.98 = 23.52 \text{ kN/m}^3$

- ・中詰砂の単位体積重量
  - 特性値 :  $\gamma_S = 20.00 \text{ kN/m}^3$
  - 平均値の偏り :  $\mu/X_k = 1.019 = 1.02$
  - 標準偏差 :  $\sigma = 0.0376 = 0.04$
  - 変動係数 :  $V = 0.04 / 1.02 = 0.04$
  - 平均値 :  $\gamma_S^* = 20.00 \times 1.02 = 20.4 \text{ kN/m}^3$
  - 標準偏差 :  $\sigma = 0.04 \times 20.4 = 0.816$

さらに、南ら<sup>2)</sup>によって報告された、一般的なケーソンの中詰砂と鉄筋コンクリートの体積比がおおよそ 3:1 であることを利用し、一般的なケーソンの壁体としての、平均的な単位体積重量とその統計量は、正規分布に従うとして、以下のように推定した。

・ケーソンの平均的な単位体積重量

特性値  $\gamma_c = (1 \times 24.0 + 3 \times 20.0) / 4 = 21.0$   
 平均値の偏り  $\mu / X_k = (1/4 \times 23.52 + 3/4 \times 20.40) / 21.0$   
 $= 1.01$   
 標準偏差  $\sigma = \{(1/4 \times 0.44)^2 + (3/4 \times 0.816)^2\}^{1/2}$   
 $= 0.62$   
 変動係数  $V = 0.62 / (21.0 \times 1.01) = 0.03$

以上より、ケーソン壁体の平均値の偏りと変動係数を以下のとおり設定した。

平均値の偏り  $\mu / X_k = 1.01$   
 変動係数  $V = 0.03$

(3) 沖波の推定精度

設計沖波波高の推定精度については、データの蓄積が十分ではない。そのため文献<sup>4)</sup>を参考に、実際の沖波波高と推定された沖波波高の比は正規分布に従うと仮定し、平均値の偏りと変動係数を以下のとおり設定した。

平均値の偏り  $\mu / X_k = 1.00$   
 変動係数  $V = 0.10$

(4) 波浪変形計算の精度

高山ら<sup>4)</sup>は、波浪変形計算法としてよく用いられる方法である、エネルギー平衡方程式法と緩勾配方程式法の計算精度について、既往の実験や現地観測に基づいた検討を行った。計算値に対する実験値あるいは観測地の比の頻度分布が、正規分布に従うと仮定した場合の、比の平均値と標準偏差を求めた。エネルギー平衡方程式法の精度を検討した結果を付図B-5に、緩勾配方程式法の精度を検討した結果を付図B-6に示す。その他の実験結果も加えて、波浪変形計算法の精度を検討した結果、エネルギー平衡方程式法では計算値との比の平均値が0.97、標準偏差が0.04となり、緩勾配方程式法では計算値との比の平均値が0.98、標準偏差が0.14となった。両者の推定精度にはほとんど差がないことがわかる。海底地形の複雑さによって計算精度が異なる傾向があったため、2つに分けて検討した。海底地形変化が緩やかな場合と海底地形変化が急な場合に分けて、平均値の偏りと変動係数を以下のとおり設定した。

①海底地形変化が緩やかな場合

平均値の偏り  $\mu / X_k = 0.97$   
 変動係数  $V = 0.04$

②海底地形変化が急な場合

平均値の偏り  $\mu / X_k = 1.06$   
 変動係数  $V = 0.09$

(5) 砕波変形の推定精度

波浪変形計算の精度は有義波高に関するものであるが、防波堤の設計波力は最高波高を対象にして算定されるため、現地観測や実験値と合田の砕波変形計算値から、平均値の偏りと変動係数を以下のとおり設定した。

平均値の偏り  $\mu / X_k = 0.87$   
 変動係数  $V = 0.09$

(6) 設計波高の推定精度

「沖波の推定精度」と「波浪変形計算の精度」と「砕波変形の推定精度」は、「設計波高の推定精度」として集約する。設計波高の推定精度は、以下のとおり計算する。

①水深変化が緩い場合

平均値の偏り :  $1.00 \times 0.97 \times 0.87 = 0.84$   
 変動係数 :  $\{(1.00 \times 0.10)^2 + (0.97 \times 0.04)^2 + (0.87 \times 0.09)^2\}^{1/2} = 0.13$

②水深変化が急な場合

平均値の偏り :  $1.00 \times 1.06 \times 0.87 = 0.92$   
 変動係数 :  $\{(1.00 \times 0.10)^2 + (1.06 \times 0.09)^2 + (0.87 \times 0.09)^2\}^{1/2} = 0.16$

(7) 波力算定式の精度

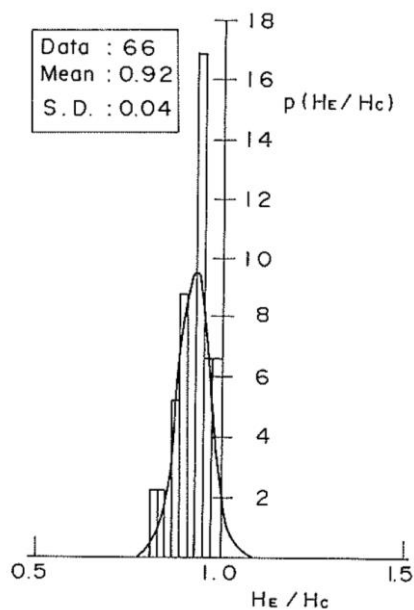
高山ら<sup>4)</sup>は、波力算定式についても、合田式で計算された波力に対する実験によって求めた波力の比の頻度分布から、その比の平均値と標準偏差を求めている。混成堤に作用する波力推定精度を付図B-7に、消波工被覆堤に作用する波力推定精度を付図B-8に示す。いずれも、波力公式は大きめに推定していることがわかる。付図B-7と付図B-8の結果に、これ以外の実験結果も考慮し、混成堤と消波工被覆堤に対して、平均値の偏りと変動係数を以下のとおり設定した。

①混成堤

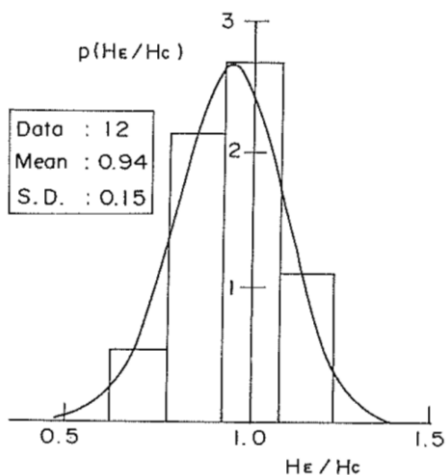
平均値の偏り  $\mu / X_k = 0.91$   
 変動係数  $V = 0.17$

②消波工被覆堤

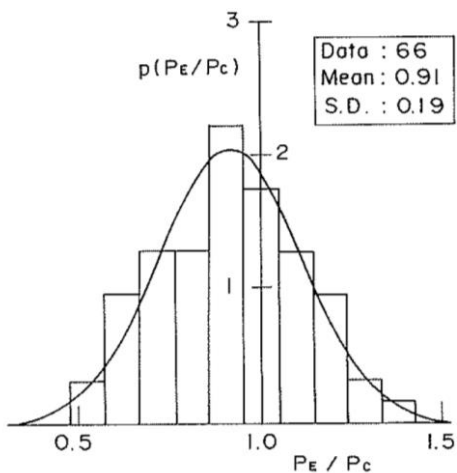
平均値の偏り  $\mu / X_k = 0.84$   
 変動係数  $V = 0.10$



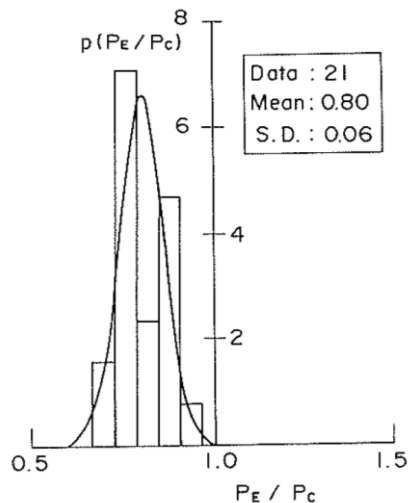
付図B-5 エネルギー平衡方程式法の推定精度<sup>4)</sup>



付図B-6 緩勾配方程式法の推定精度<sup>4)</sup>



付図B-7 混成堤に働く波力の推定精度<sup>4)</sup>



付図B-8 消波工被覆堤に働く波力の推定精度<sup>4)</sup>

(8) 設計潮位

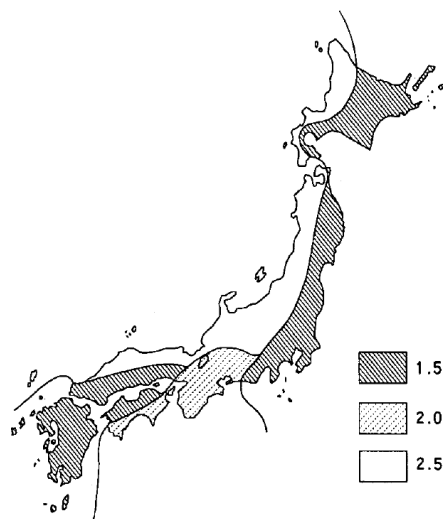
長尾<sup>3)</sup>は、防波堤の被災時の潮位と設計潮位H.W.L.の比について検討している。このとき、地域性を有する潮位パラメータ $r_{wl}$ を新たに導入し、 $r_{wl}$ を用いて全国の沿岸域を地域的にまとめている(付図B-9)。潮位パラメータは式(B.1)で示すとおりである。

$$r_{wl} = h' / h \tag{B.1}$$

ここに、

- $h'$  : 高潮に基づく既往最高潮位 (H.H.W.L.)
- $h$  : 朔望平均満潮位 (H.W.L.)

ここで、既往最高潮位 (H.H.W.L.) は、過去の高潮に基づく既往最大偏差を、朔望平均満潮位 (H.W.L.) に加えたものであり、偏差とは気象潮と天文潮との潮位の差である。



付図B-9  $r_{wl}$ の分布<sup>3)</sup>

1983年から1991までの期間に被災を受けた防波堤の、被災時の潮位と設計潮位の比の分布が付図B-10である。被災時の潮位が設計潮位を超えていた事例が半数あり、最高で2.3倍の潮位の差が生じていたと見られる。この結果を地域で整理した結果、平均値の偏りと変動係数は、以下のとおり設定されている。

①  $r_w=1.5$ の場合

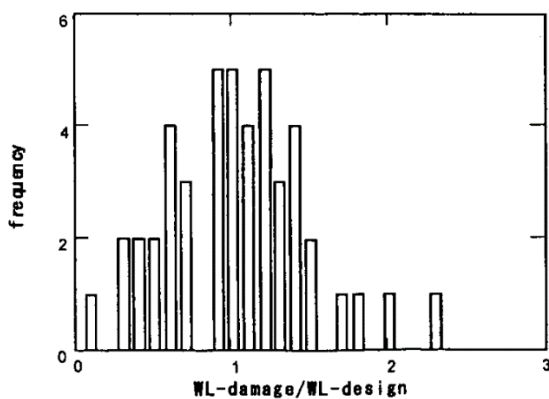
平均値の偏り  $\mu/X_k = 1.00$

変動係数  $V = 0.20$

②  $r_w=2.0$ および $2.5$ の場合

平均値の偏り  $\mu/X_k = 1.00$

変動係数  $V = 0.40$



付図B-10 被災時の潮位<sup>3)</sup>

(9) 設計波高

沖波波高推定精度と波浪変形計算精度、砕波変形精度については、これらをまとめて設計波高の統計的性質とする。設計波高の統計的性質は、以下のとおり求める。

①水深変化が緩い場合

平均値の偏り

$$\mu/X_k = 1.00 \times 0.97 \times 0.87 = 0.84$$

変動係数

$$V = (0.10^2 + 0.04^2 + 0.09^2)^{1/2} = 0.14$$

②水深変化が急な場合

平均値の偏り

$$\mu/X_k = 1.00 \times 1.06 \times 0.87 = 0.92$$

変動係数

$$V = (0.10^2 + 0.09^2 + 0.09^2)^{1/2} = 0.16$$

(10) 確率変数の統計的性質のまとめ

以上より、本研究における確率変数の統計的性質を、付表B-3にまとめる。

付表B-3 確率変数の統計的性質

設計因子	平均値の偏り	変動係数
摩擦係数	1.06	0.15
ケーソン	1.01	0.03
潮位	$r_{w1} = 1.5$	1.00
	$r_{w1} = 2.0, 2.5$	1.00
	H.H.W.L.	1.00
設計波高	水深変化 緩	0.84
	水深変化 急	0.92
沖波波高推定精度	1.00	0.10
波浪変形計算精度 (緩)	0.97	0.04
波浪変形計算精度 (急)	1.06	0.09
砕波変形推定精度	0.87	0.09
波力算定精度 ケーソン式混成堤	0.91	0.17
消波ブロック被覆堤	0.84	0.10

3. 確率変数の統計的性質に対する海底勾配の取り扱い

(1) 海底勾配の定義

現行基準において、水深変化が緩い場合と、水深変化が急な場合で、部分係数が使い分けられている。水深変化によって部分係数を使い分ける理由は、「2. 確率変数とする設計因子の統計的性質」にも示した、波浪変形計算精度が異なるためである。

ここで、波浪変形計算精度に関する文献の記載について整理する。高山ら<sup>4)</sup>は、エネルギー平衡方程式や緩勾配方程式による波浪変形計算結果と、模型実験や現地観測の結果を比較し、波浪変形計算精度についてとりまとめている。その結果、海底地形が複雑な箇所と単純な箇所では計算精度が異なる傾向を見出し、海底地形の「変化が緩やかな場合」と「変化が急な場合」で、波浪変形計算精度の統計的性質を分けている。現行基準において、この「海底地形変化が緩い場合」を「水深変化 緩」、 「海底地形変化が急な場合」を「水深変化 急」と表現し、その定義を、「水深変化 緩」を「海底勾配 1/30 未満」、 「水深変化 急」を「海底勾配 1/30 以上」と定義している。すなわち、元来は海底地形の複雑さによる計算精度の違いと定義されていたものを、現行基準においては、海底勾配 1/30 を境界に定義し直しているのである。したがって、部分係数の使い分けは、海底地形が単純か複雑かで、波浪変形計算精度が異なるためであり、海底勾配が波力に与える影響によるものではないことがわかる。

ここでは、本研究に用いる検討条件を設定するにあたり、海底勾配の違いが、実際に破壊確率に与える影響について考察する。

## (2) 海底勾配の影響

吉岡ら<sup>1)</sup>に示される、全国広範囲より地域的、設計条件的に偏りがないように収集された建設事例には、実際の海底勾配の条件もあるが、ここでは、海底勾配の破壊確率へ与える影響を確認するため、海底勾配を複数変化させて破壊確率の試算を行う。各断面条件に対して、海底勾配を1/10, 1/30, 1/50, 1/100, 1/1000と仮定した場合の破壊確率の変化を確認する。このとき、設計因子には、各断面条件に対して、実際の海底勾配とは無関係に、海底地形が複雑な場合と単純な場合の統計的性質を与える。

混成堤の水深変化が緩い場合の部分係数で計算される断面に対して、海底地形の変化が緩い場合の統計的性質を与えて破壊確率を計算したときの、滑動破壊確率を付図B-11に、転倒破壊確率を付図B-12に示す。混成堤の水深変化が急な場合の部分係数で計算される断面に対して、海底地形の変化が急な場合の統計的性質を与えて破壊確率を計算したときの、滑動破壊確率を付図B-13に、転倒破壊確率を付図B-14に示す。水深変化が緩い断面と水深変化が急な断面では、滑動破壊確率(付図B-11と付図B-13)および転倒破壊確率(付図B-12と付図B-14)は、それぞれ同等の値が得られる。また、各図中で海底勾配の違いによる破壊確率の違いも見られない。

混成堤の水深変化が緩い場合の部分係数で計算される断面に対して、海底地形の変化が急な場合の統計的性質を与えて破壊確率を計算したときの、滑動破壊確率を付図B-15に、転倒破壊確率を付図B-16に示す。混成堤の水深変化が急な場合の部分係数で計算される断面に対して、海底地形の変化が緩い場合の統計的性質を与えて破壊確率を計算したときの、滑動破壊確率を付図B-17に、転倒破壊確率を付図B-18に示す。同じ断面に対して、海底地形の変化が緩い場合の統計的性質を与えた場合と、海底地形の変化が急な場合の統計的性質を与えた場合では、滑動破壊確率(付図B-11と付図B-15, 付図B-13と付図B-17)および転倒破壊確率(付図B-12と付図B-16, 付図B-14と付図B-18)で、破壊確率の値が異なることがわかる。しかし、各図中で海底勾配の違いによる破壊確率の違いは見られない。

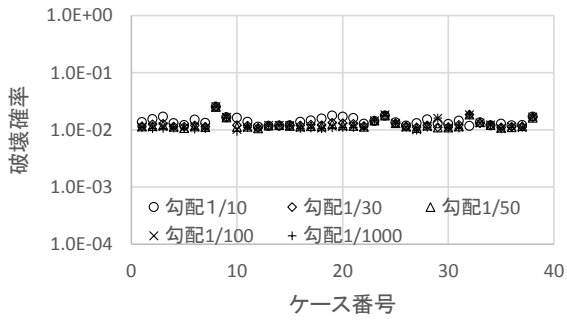
消波ブロック被覆堤の破壊確率を計算した結果を、混成堤と同様の並びで、付図B-19から付図B-26に示す。各図の比較から、混成堤と同様の結果が得られる。

以上より、海底勾配の緩急は、波力を算定するパラメ

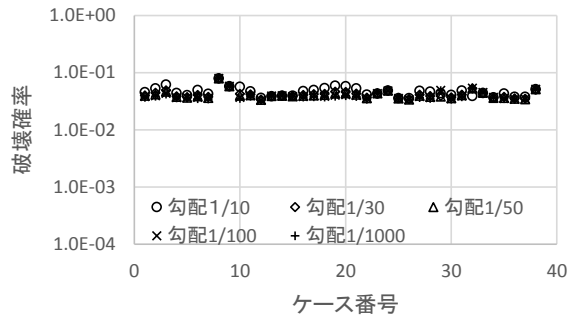
ータとしては、破壊確率に大きく影響することはないが、統計的性質としては、破壊確率に大きく影響することがわかった。ここでいう、統計的性質は、波浪変形計算精度の問題であるため、本研究では、実際の海底勾配の条件に応じて統計的性質の使い分けは行わず、全ての検討断面に対して、波浪変形計算精度が良い場合の統計的性質を与えた場合と、波浪変形計算精度が悪い場合の統計的性質を与えた場合の両者に対して検証を行うこととする。

## [付録B 参考文献]

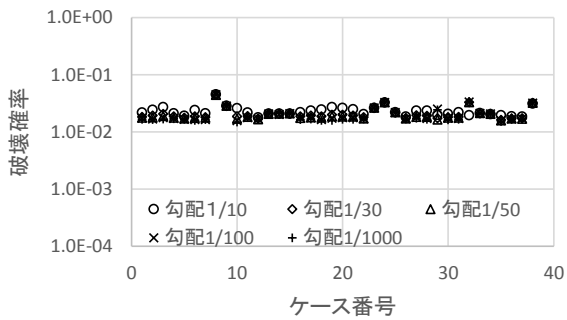
- 1) 吉岡健, 長尾毅: 重力式防波堤の外的安定に関するレベル1信頼性設計法の提案, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.20, 2005.
- 2) 南兼一郎, 春日井康夫: 鉄筋コンクリート港湾構造物への限界状態設計法の適用, 港湾技研資料No.716, 1991.
- 3) 長尾毅: ケーソン式防波堤の外的安定に関する信頼性設計手法の提案, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.4, 2002.
- 4) 高山知司, 池田直太: 現行設計法における防波堤の滑動安定性, 海岸工学論文集 第38巻, 1991.
- 5) 森平倫生, 木原力, 堀川洋: 混成防波堤捨石マウンドの摩擦係数について, 第25回海岸工学講演会論文集, 1978.
- 6) 森平倫生, 足立一美: 混成防波堤捨石マウンドの摩擦係数について(第2報), 第26回海岸工学講演会論文集, 1979.



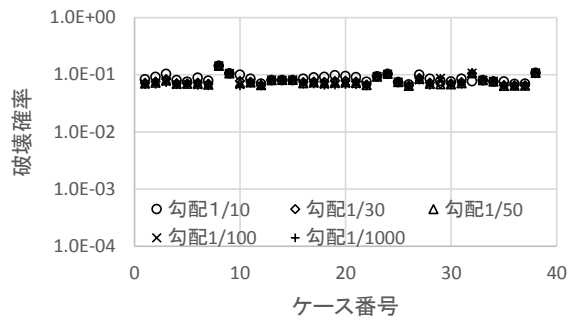
付図B-11 混成堤 / 断面：緩 / 統計：緩 / 滑動



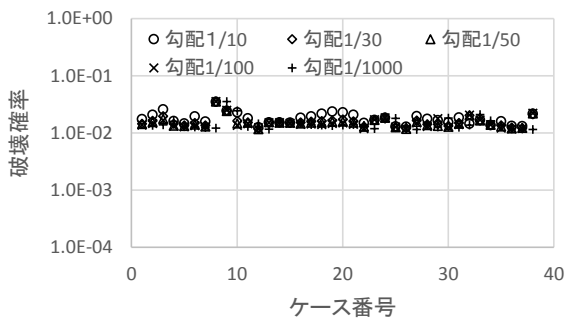
付図B-15 混成堤 / 断面：緩 / 統計：急 / 滑動



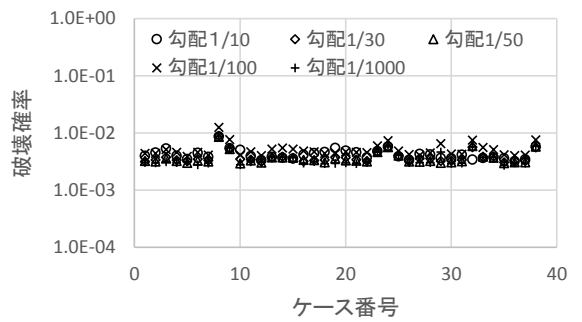
付図B-12 混成堤 / 断面：緩 / 統計：緩 / 転倒



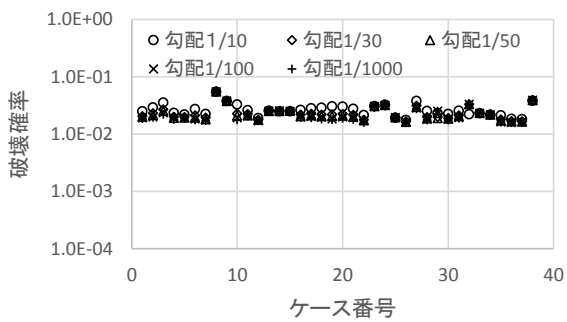
付図B-16 混成堤 / 断面：緩 / 統計：急 / 転倒



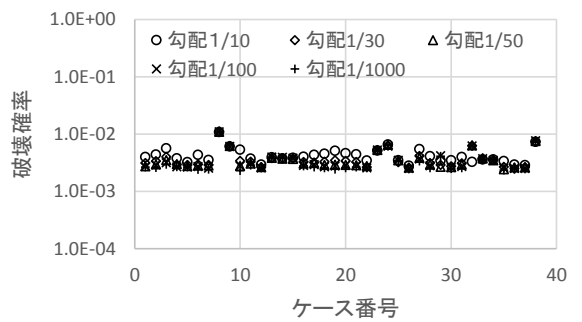
付図B-13 混成堤 / 断面：急 / 統計：急 / 滑動



付図B-17 混成堤 / 断面：急 / 統計：緩 / 滑動

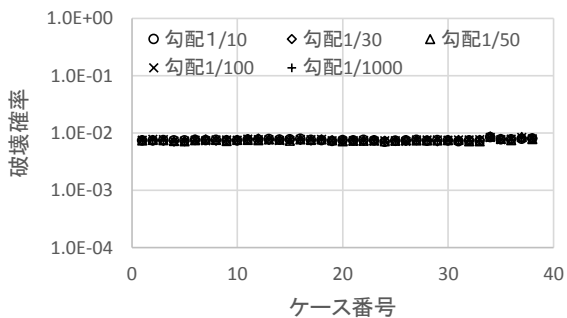


付図B-14 混成堤 / 断面：急 / 統計：急 / 転倒

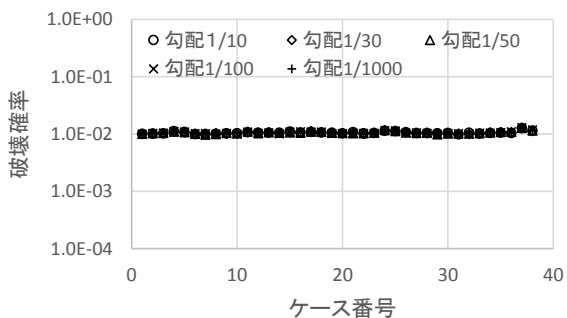


付図B-18 混成堤 / 断面：急 / 統計：緩 / 転倒

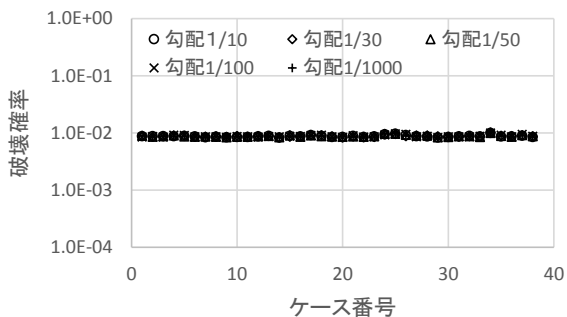




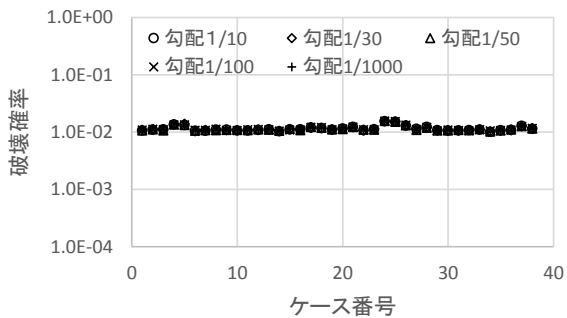
付図B-19 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：緩 / 統計：緩 / 滑動



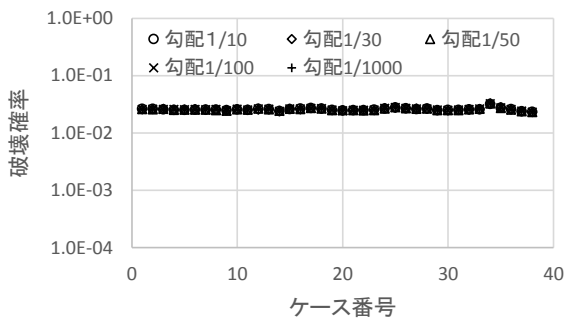
付図B-20 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：緩 / 統計：緩 / 転倒



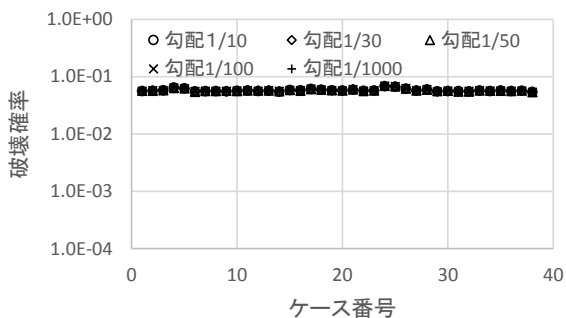
付図B-21 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：急 / 統計：急 / 滑動



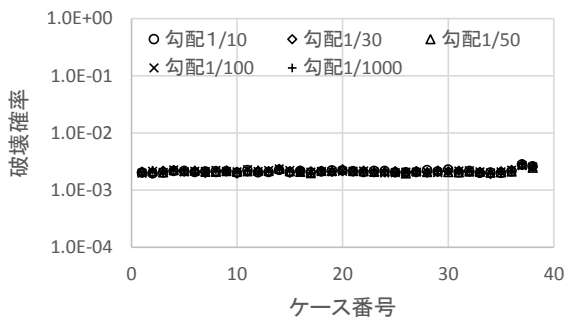
付図B-22 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：急 / 統計：急 / 転倒



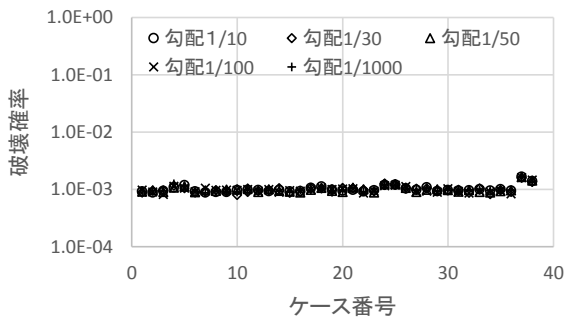
付図B-23 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：緩 / 統計：急 / 滑動



付図B-24 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：緩 / 統計：急 / 転倒



付図B-25 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：急 / 統計：緩 / 滑動



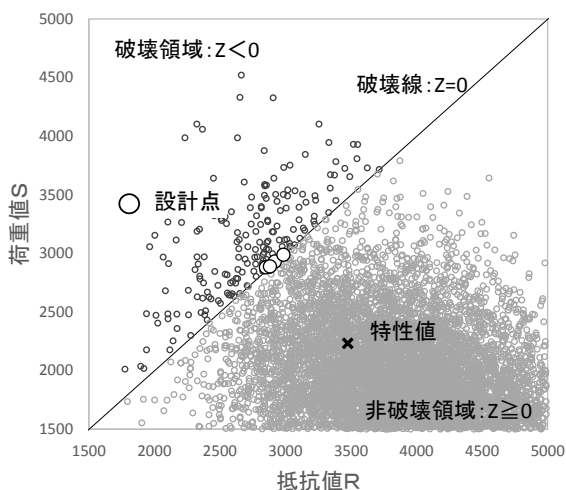
付図B-26 消波ブロック被覆堤  
/ 断面：急 / 統計：緩 / 転倒

付録 C MCSにおける重点サンプリング法の適用性確認

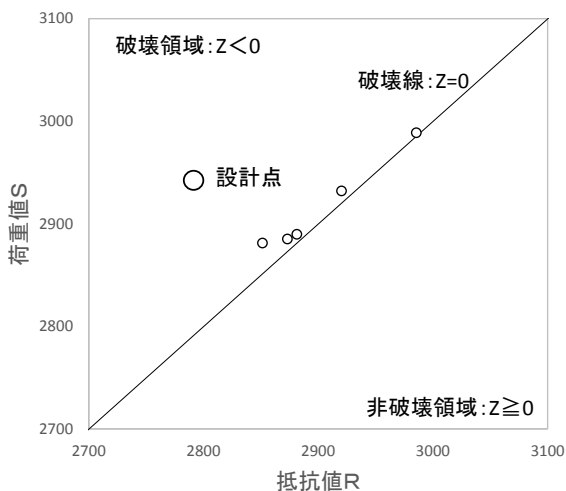
1. 目的

部分係数は設計値と特性値の比で定義されるため、設計点の算定精度が部分係数の精度に大きく影響する。部分係数の算定には、破壊確率が目標破壊確率に一致するときの設計点が必要であり、設計点は、破壊点のうち最も尤度の高い点（最尤点）と定義している。

同じ条件で5回MCSを実施し、設計点を求めた結果を、付図C-1、付図C-2に示す。発生する乱数によって、求まる設計点が異なることがわかる。竹信ら<sup>1)</sup>は、この原因は設計点付近に発生する破壊点数が少ないことにあると考え、解決方法として重点サンプリング法の採用を提案している。本付録では、本研究に対する重点サンプリング法の適用性を確認する。



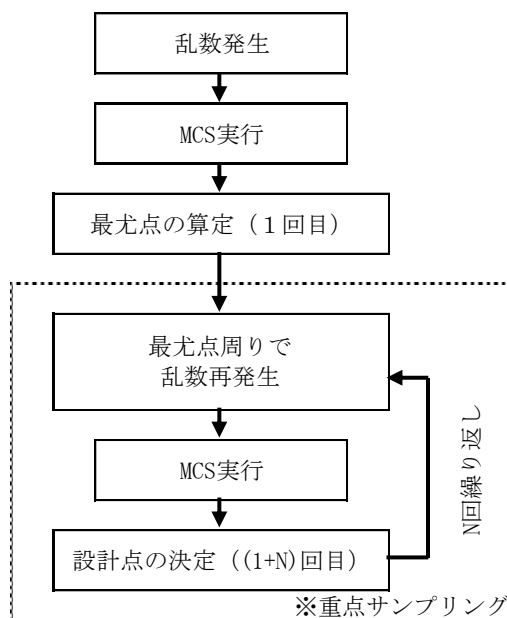
付図C-1 設計点の計算結果



付図C-2 設計点の計算結果  
(設計点付近拡大)

2. 重点サンプリング法

付図C-3に、竹信ら<sup>1)</sup>が提案する重点サンプリング法のフローを示す。1回目のMCSを実施すると、少ない破壊点の中から最尤点を抽出する。この最尤点は、母数が少ない破壊点による結果であり信頼度が低い。そこで1回目に求められた最尤点を平均値とする乱数を再発生することで、求めたい設計点付近に十分なサンプル数を確保する。これを必要回数繰り返すことで、設計点付近に十分なサンプル数を確保し、信頼度の高い設計点を求める。また、乱数を再発生する際に必要な標準偏差については、必要な範囲に効率良く乱数を発生させるため、標準偏差の値も繰り返し毎に小さくしていく方法を採用している。具体的には、標準偏差を、再設定3回目まで0.5倍し、以降は1倍する方法を採用している。



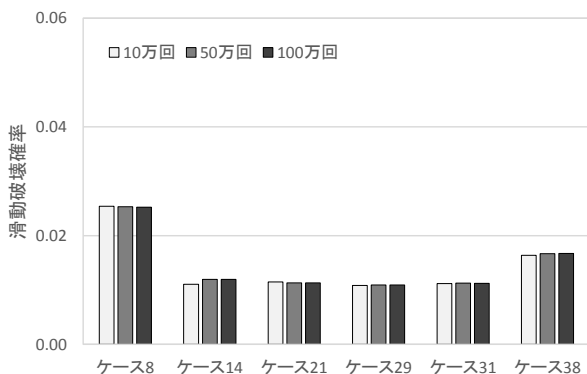
付図C-3 重点サンプリングのフロー<sup>1)</sup>

3. MCSの試行回数

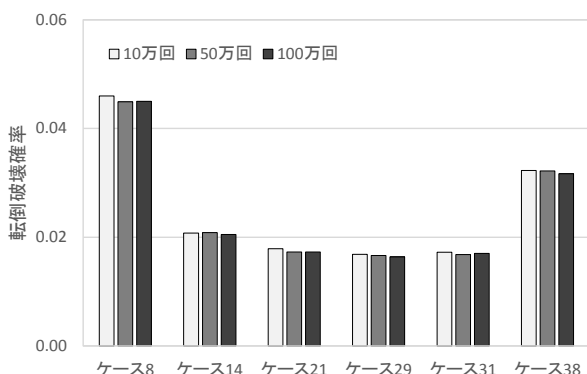
破壊確率を安定的に計算するために必要なMCS試行回数を検証する。検討には、本編の検討ケース 8, 14, 21, 29, 31, 38 を用いた。各ケースに対してMCSの試行回数を変化させて破壊確率を計算した結果を付表C-1に、図化したものを付図C-4、付図C-5に示す。MCSの試行回数が10万回、50万回、100万回で計算した結果、回数によって破壊確率が変わることはなかった。したがって、MCSの試行回数が10万回でも破壊確率の算定精度は十分であることがわかった。

付表C-1 破壊確率の比較

ケース番号	滑動			転倒		
	10万回	50万回	100万回	10万回	50万回	100万回
ケース8	0.0254	0.0253	0.0252	0.0460	0.0449	0.0450
ケース14	0.0110	0.0120	0.0119	0.0207	0.0209	0.0205
ケース21	0.0115	0.0113	0.0113	0.0179	0.0173	0.0173
ケース29	0.0109	0.0109	0.0109	0.0169	0.0166	0.0164
ケース31	0.0112	0.0113	0.0112	0.0172	0.0168	0.0170
ケース38	0.0164	0.0167	0.0167	0.0323	0.0322	0.0317



付図C-4 滑動破壊確率の比較



付図C-5 転倒破壊確率の比較

4. 部分係数に必要な桁数

重点サンプリングの適用性を確認するために、部分係数に必要な精度を確認する。検討ケース21を対象に、各部分係数を0.01ずらしたときの必要堤体幅の変化をみる。検討結果を付表C-1に示す。いずれのケースでも堤体幅の誤差が1%程度であるため、部分係数は小数点以下第三位で四捨五入することとした。

付表C-2 堤体幅の比較

	滑動		転倒		堤体幅 (m)	
	$\gamma_R$	$\gamma_S$	$\gamma_R$	$\gamma_S$	滑動	転倒
基本	0.83	1.08	0.95	1.14	19.98	-
比較1	0.82	1.08	0.94	1.14	20.23 ( 1.3% )	16.83 ( 0.5% )
比較2	0.83	1.07	0.95	1.13	19.80 ( -0.9% )	16.67 ( -0.4% )
比較3	0.84	1.08	0.96	1.14	19.75 ( -1.2% )	16.65 ( -0.5% )
比較4	0.83	1.09	0.95	1.15	20.17 ( 1.0% )	16.82 ( 0.5% )

5. 重点サンプリング回数

竹信ら<sup>1)</sup>が重力式岸壁に対して採用した、重点サンプリングの回数は、MCSの試行回数50万回するとき、重点サンプリング回数5回である。本研究もこれに従うが、適用性の確認を行う。MCSの試行回数を10万回、50万回、100万回とし、重点サンプリングの回数を5回、10回とし、それぞれの組合せに対して、部分係数の算定精度を確認する。許容する計算精度の目安は、部分係数の計算誤差が±0.01以内であることとする。

検討結果を付表C-3と付表C-4に示す。組み合わせで、MCS試行回数50万回と重点サンプリング5回の組合せはMCS試行回数100万回と重点サンプリング5回の組合せと変わらないので、50万回と5回の組合せで必要な計算精度が確保できることが確認できた。

付表C-3 滑動部分係数の比較

MCS試行回数 重点SP回数	10万回		50万回		10万回		100万回	
	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$
1	0.82	1.09	0.82	1.09	0.83	1.10	0.82	1.09
2	0.82	1.09	0.82	1.10	0.82	1.10	0.82	1.10
3	0.83	1.10	0.82	1.09	0.82	1.10	0.82	1.10
4	0.82	1.10	0.82	1.10	0.82	1.10	0.82	1.10
5	0.82	1.10	0.82	1.09	0.83	1.10	0.82	1.09
6	0.82	1.09	0.82	1.10	0.82	1.10	0.82	1.09
7	0.83	1.10	0.82	1.09	0.83	1.10	0.82	1.10
8	0.82	1.09	0.82	1.09	0.83	1.10	0.82	1.09
9	0.83	1.10	0.82	1.10	0.82	1.09	0.82	1.10
10	0.82	1.10	0.82	1.09	0.82	1.09	0.83	1.10
11	0.82	1.10	0.82	1.09	0.82	1.10	0.82	1.09
12	0.82	1.10	0.82	1.09	0.83	1.10	0.82	1.10
13	0.82	1.09	0.82	1.10	0.83	1.10	0.82	1.10
14	0.82	1.10	0.82	1.09	0.82	1.10	0.83	1.10
15	0.82	1.10	0.83	1.10	0.82	1.10	0.82	1.10
16	0.82	1.09	0.82	1.09	0.82	1.09	0.82	1.09
17	0.82	1.09	0.83	1.10	0.83	1.10	0.82	1.09
18	0.82	1.10	0.83	1.10	0.82	1.09	0.82	1.10
19	0.82	1.10	0.83	1.10	0.83	1.10	0.83	1.10
20	0.83	1.10	0.83	1.10	0.82	1.09	0.82	1.10
最大差	0.006	0.008	0.005	0.007	0.009	0.011	0.004	0.005

付表C-4 転倒部分係数の比較

MCS試行回数 重点SP回数	10万回		50万回		10万回		100万回	
	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$	滑動 $\gamma_R$	滑動 $\gamma_S$
1	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
2	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
3	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
4	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
5	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
6	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
7	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
8	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
9	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
10	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
11	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
12	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
13	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
15	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
16	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
17	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
18	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
19	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
20	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14	0.94	1.14
最大差	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002

[付録C 参考文献]

- 1) 竹信正寛、西岡悟史、佐藤健彦、宮田正史：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究 ～永続状態におけるケーソン式岸壁の滑動および転倒照査を対象に～、国土技術政策総合研究所資料、No.880、2015。

## 付録 D 各部分係数フォーマットにおける MCS による感度係数の比較

竹信ら<sup>1)</sup>は、MCSを用いた感度係数の求め方を提案している。本付録では、竹信らの方法を用いて、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチについて、各確率変数の感度係数を試計算する。検討対象は、混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動および転倒ともに、第3章で用いた38ケースの断面条件である。以下に竹信らの方法の概略を述べる。

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）」<sup>2)</sup>によると、1次信頼性理論FORM（First-Order Reliability Method）において、確率変数として設定した設計因子に対する感度係数は、式(D.1)で定義されている。

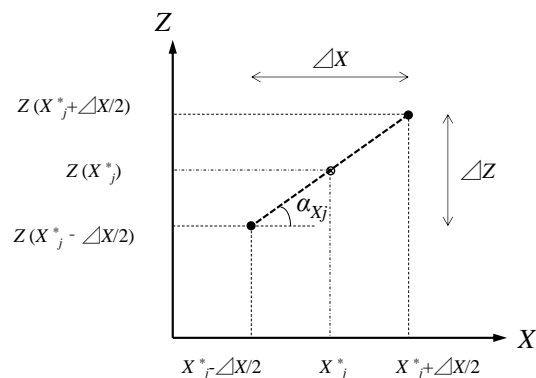
$$\alpha_j = \frac{\left( \frac{\partial Z}{\partial X_j} \Big|_{X^*} \right) \sigma_{X_j}}{\left\{ \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial Z}{\partial X_j} \Big|_{X^*} \right)^2 \sigma_{X_j}^2 \right\}^{1/2}} : j=1,2,\dots,n \quad (D.1)$$

ここに、 $X$  : 性能関数を構成する確率変数  
 $\alpha$  : 確率変数 $X$ の感度係数  
 $Z$  : 性能関数  
 $X^*$  : 確率変数 $X$ の設計点における値  
 $\sigma$  : 標準偏差  
 $j$  : 互いに独立な確率変数の番号

ここで定義される感度係数を、MCSを用いて算定する。感度係数は、ある確率変数 $X$ が、設計点を中心として、わずかに変化したときの性能関数 $Z$ の変化の割合と言える。概念図を付図D-1に示す。MCSでは、設計点の確率変数 $X_0$ を中心に $\Delta X_j$ 離れた2点における性能関数 $Z$ を求め、その差 $\Delta Z$ から式(D.2)で感度係数を求める。

$$\alpha_{X_j} = \Delta Z / \Delta X_j \quad (D.2)$$

ここに、 $\alpha_{X_j}$  : 確率変数 $X_j$ の感度係数  
 $\Delta X_j$  : 確率変数 $X_j$ の変動量（任意）  
 $\Delta Z$  : 性能関数 $Z$ の $\Delta X_j$ に対する変動  
 $j$  : 確率変数 $X$ の番号



付図D-1 MCSにおける感度係数の計算方法

以上の方法で計算した感度係数を、付図D-2から付図D-49に示す。混成堤の海底勾配が緩い場合の滑動の結果を付図D-2から付図D-7に示す。付図D-2から付図D-4は、順に材料係数アプローチ、荷重抵抗係数アプローチB、荷重抵抗係数アプローチAの結果で、付図D-5から付図D-7は、付図D-2から付図D-4の中から、検討ケース8の場合のみを抽出した結果である。以降、同様の内容で、混成堤の海底勾配が緩い場合の滑動の結果を付図D-8から付図D-13に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が緩い場合の滑動の結果を付図D-14から付図D-19に、消波ブロック被覆堤の海底勾配が緩い場合の転倒の結果を付図D-20から付図D-25に示す。付図D-26以降は、同様の内容で海底勾配が急な場合の結果を示す。

以下に感度係数について考察するが、海底勾配が緩い場合と海底勾配が急な場合の違いはない。

### (1) 混成堤の滑動

材料係数アプローチでは、作用側には設計波高と波圧算定式の感度が高く、潮位の感度はほとんどない。抵抗側には摩擦係数の感度が高く、ケーソンの単位体積重量は若干の感度を有する。現行基準では作用側には波圧の感度が高く、潮位の感度はほとんどない。抵抗側には摩擦係数の感度が高く、中詰め砂の単位体積重量が若干の感度を有する。したがって、MCSで求めた感度係数と、現行基準の感度係数は調和的である。

荷重抵抗係数アプローチBでは、作用側には水平波力の感度が大きく、揚圧力が若干の感度を有する。抵抗側には摩擦係数の感度が高く、ケーソンの重量が若干の感度を有しており、これも現行基準と調和的である。

材料係数アプローチと荷重抵抗係数アプローチBにおいて、作用側と抵抗側の感度がおおよそバランスしていると見られるため、荷重抵抗係数アプローチAの作用側と抵抗側の感度も同程度となっている。

## (2) 混成堤の転倒

材料係数アプローチでは、作用側には設計波高と波圧算定式の感度が高く、潮位の感度はほとんどない。抵抗側にはケーソンの単位体積重量が若干の感度を有する。現行基準では作用側には波圧の感度が高く、潮位の感度はほとんどない。抵抗側には中詰め砂の単位体積重量が若干の感度を有する。したがって、MCSで求めた感度係数と、現行基準の感度係数は調和的である。

荷重抵抗係数アプローチBでは、作用側には水平波力の感度が大きく、揚圧力が若干の感度を有する。抵抗側にはケーソンの重量が若干の感度を有しており、これも現行基準と調和的である。

材料係数アプローチと荷重抵抗係数アプローチBにおいて、作用側の波力の感度が大きいため、荷重抵抗係数アプローチAの作用側の感度が大きくなっている。

## (3) 消波ブロック被覆堤の滑動

混成堤と比較すると、波力に係る感度係数が小さくなり、摩擦係数の感度が大きくなっている。現行基準においても同様の傾向にあり、MCSで求めた感度係数と現行基準の感度係数は調和的である。

消波ブロックの設置によって碎波の影響がなくなること、波力全体としての感度が小さくなるが、消波ブロックの設置は摩擦係数には影響しないため、相対的に波力に係る感度係数が小さくなり、摩擦係数の感度係数が大きくなったと考えられる。

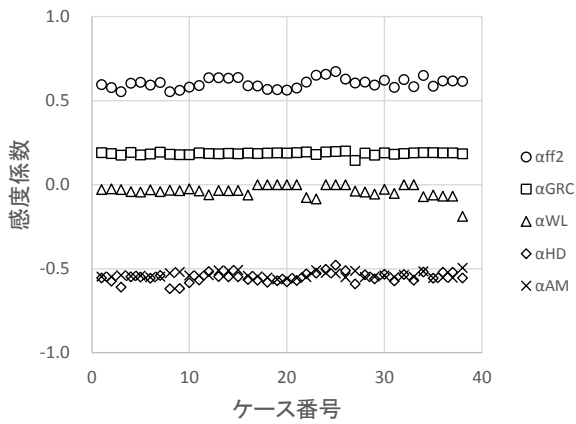
## (4) 消波ブロック被覆堤の転倒

混成堤と比較すると、波力に係る感度係数が若干小さくなり、ケーソン重量に係る感度が若干大きくなっている。現行基準においても同様の傾向にあり、MCSで求めた感度係数と現行基準の感度係数は調和的である。

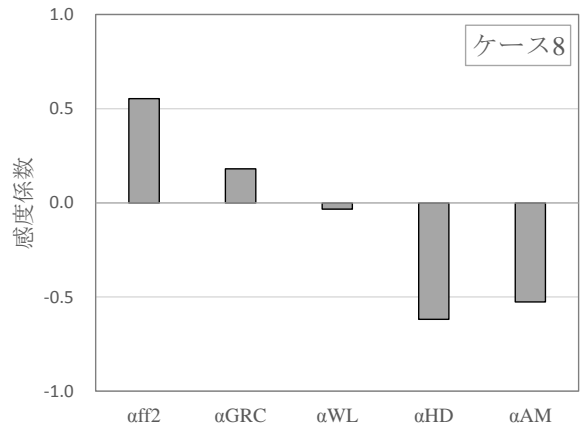
消波ブロックの設置によって碎波の影響がなくなること、波力全体としての感度が小さくなるが、消波ブロックの設置はケーソン重量による抵抗モーメントには影響しないため、相対的に波力に係る感度係数が小さくなり、ケーソン重量に係る感度係数が大きくなったと考えられる。

## [付録D 参考文献]

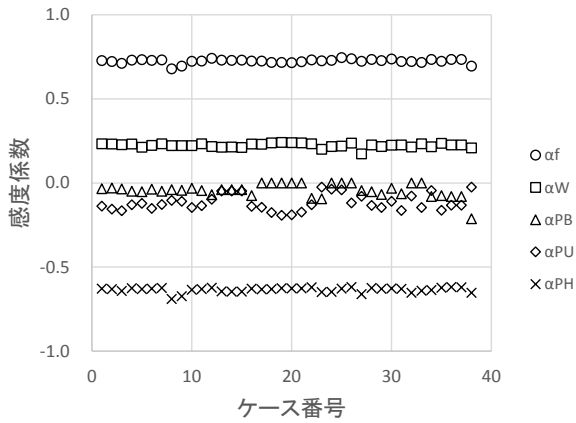
- 1) 竹信正寛、西岡悟史、佐藤健彦、宮田正史：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究 ～永続状態におけるケーソン式岸壁の滑動および転倒照査を対象に～，国土技術政策総合研究所資料，No.880，2015.
- 2) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（改訂版），2007.



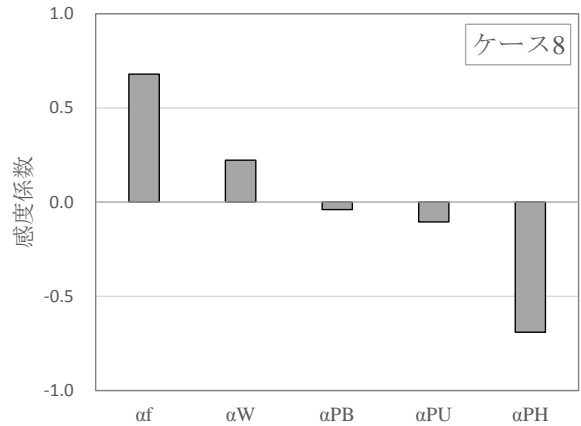
付図D-2 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ



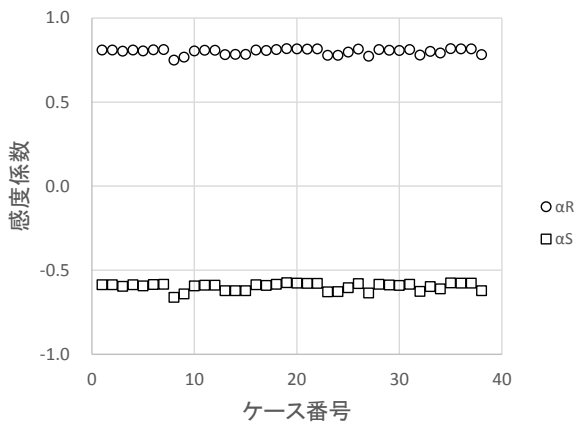
付図D-5 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ



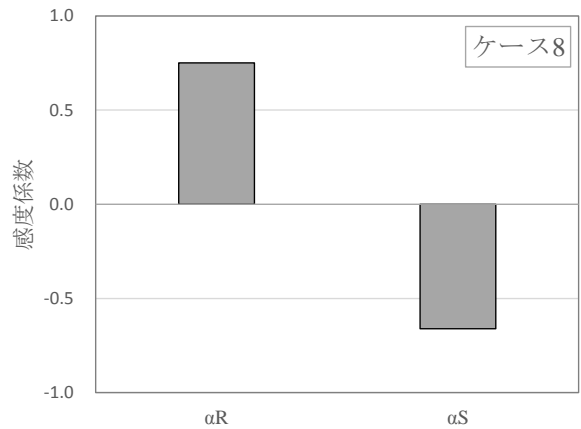
付図D-3 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB



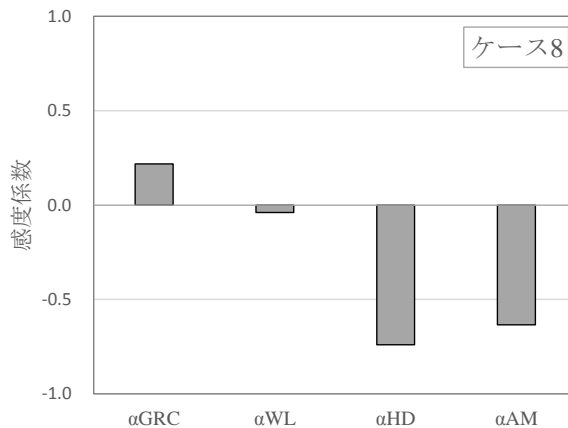
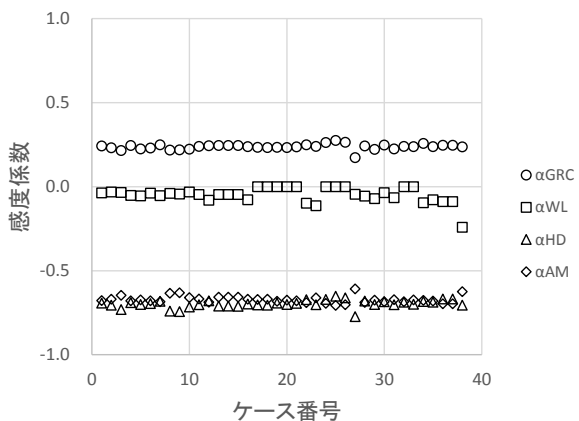
付図D-6 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB



付図D-4 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA

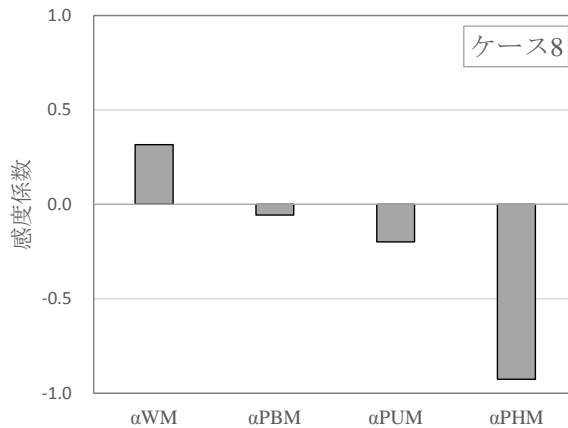
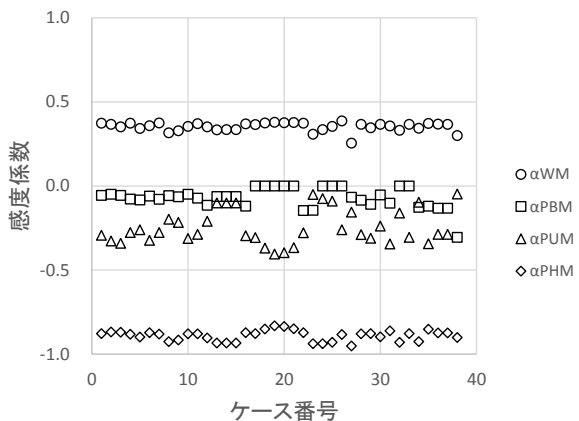


付図D-7 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA



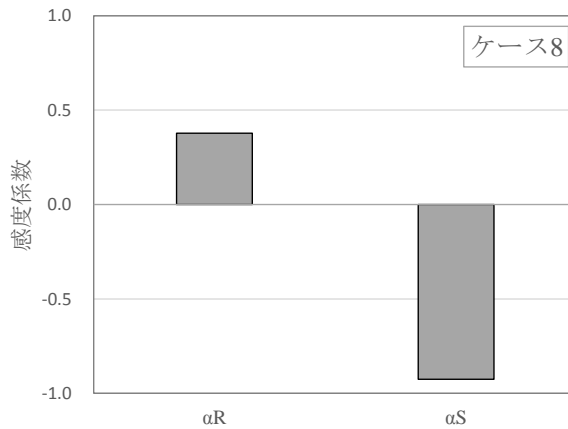
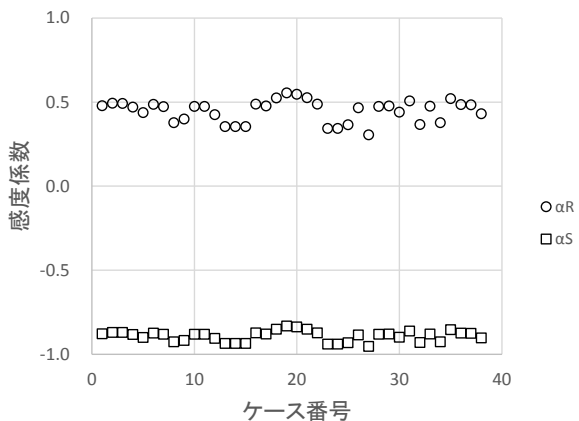
付図D-8 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ

付図D-11 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ



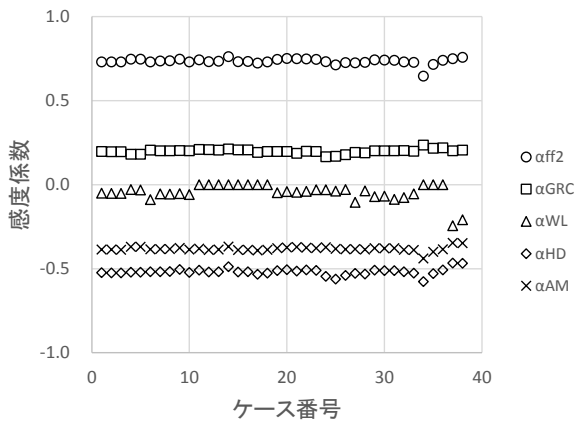
付図D-9 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB

付図D-12 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB

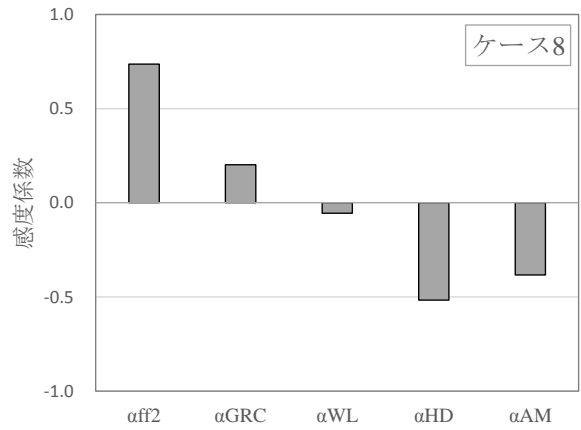


付図D-10 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA

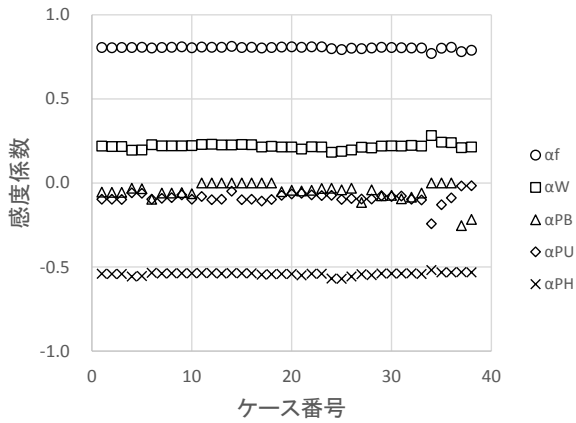
付図D-13 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA



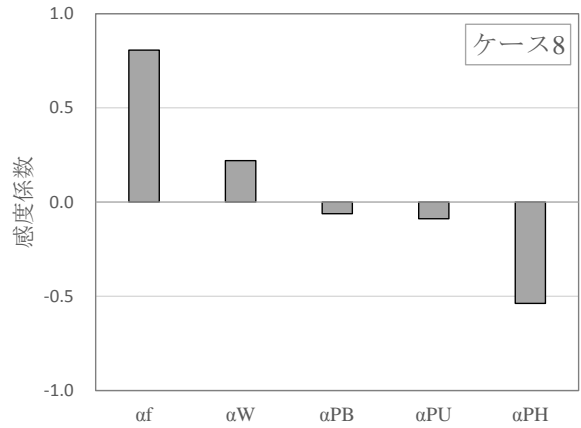
付図D-14 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ



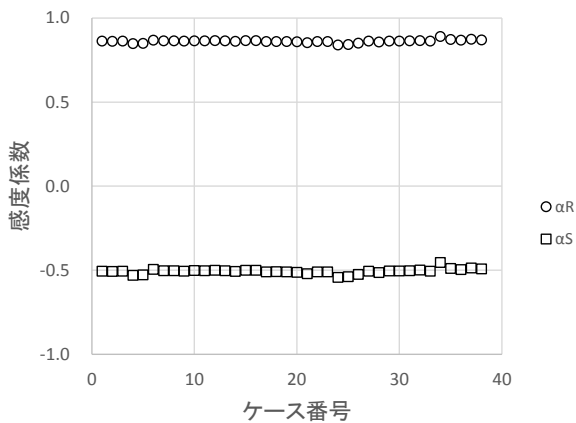
付図D-17 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ



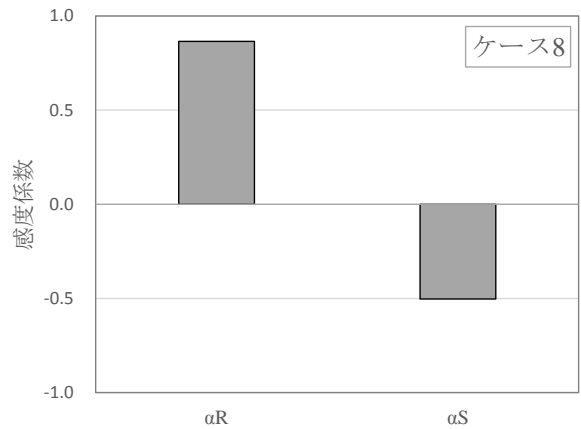
付図D-15 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB



付図D-18 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB

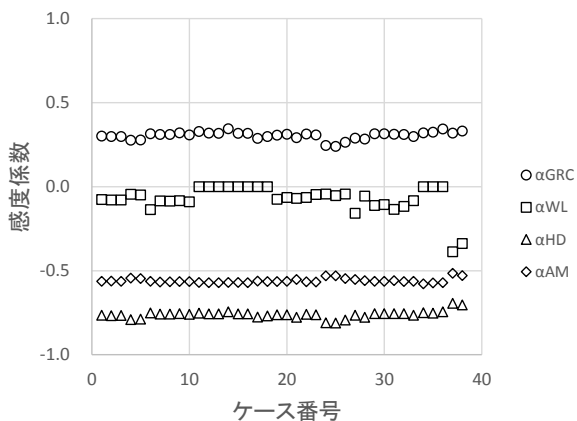


付図D-16 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA

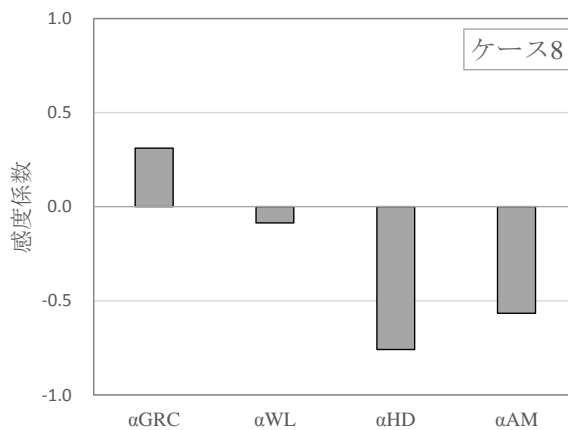


付図D-19 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA

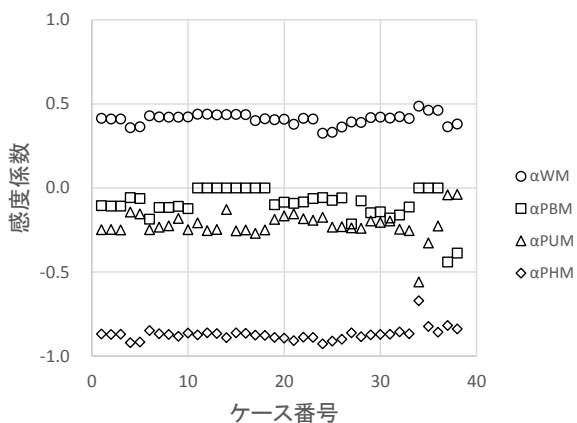




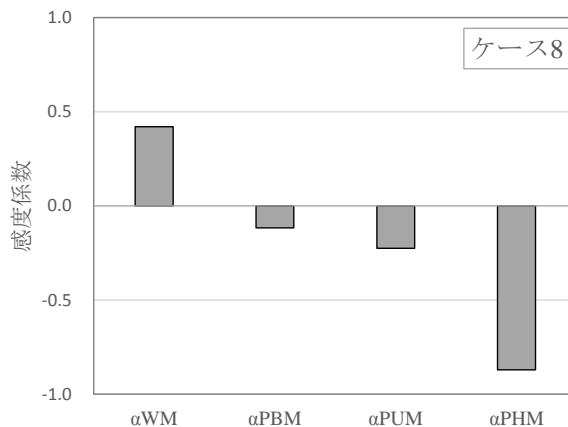
付図D-20 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ



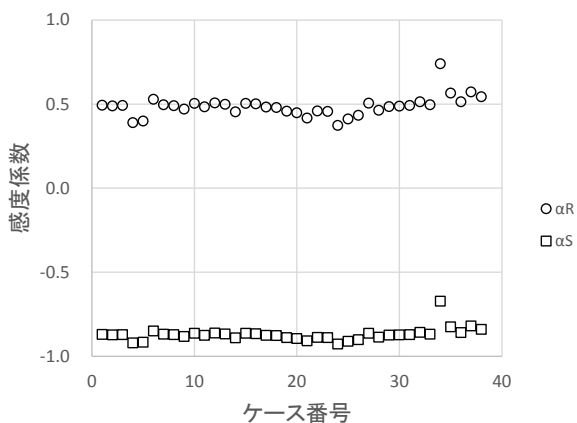
付図D-23 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 材料係数アプローチ



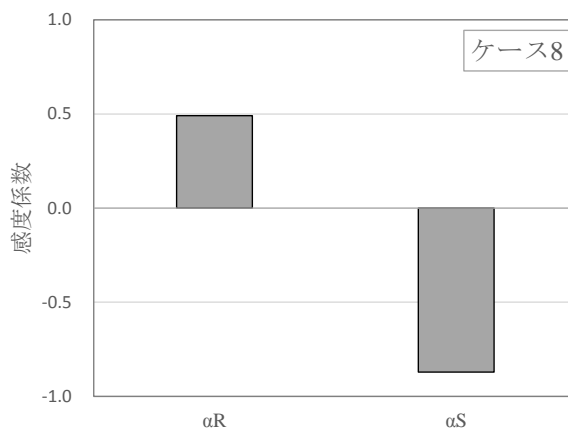
付図D-21 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB



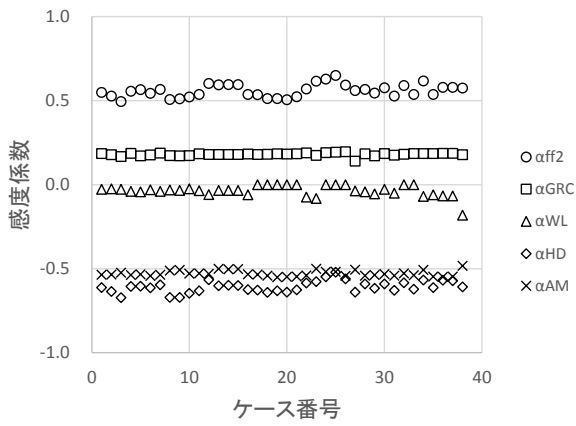
付図D-24 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチB



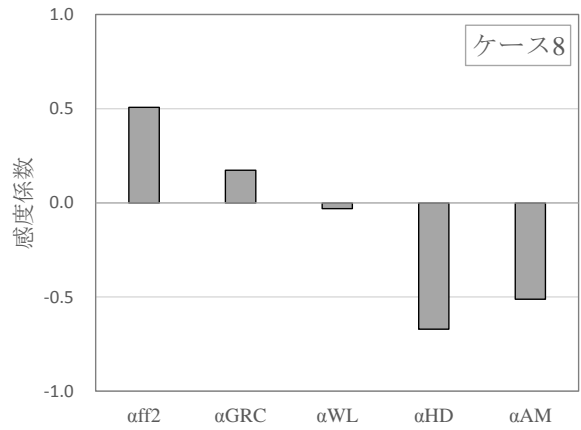
付図D-22 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA



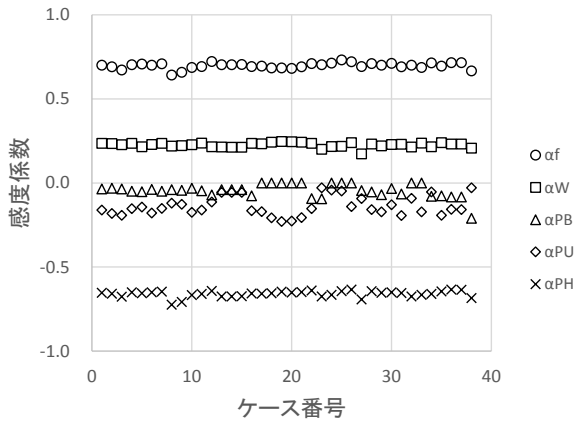
付図D-25 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：緩 / 荷重抵抗係数アプローチA



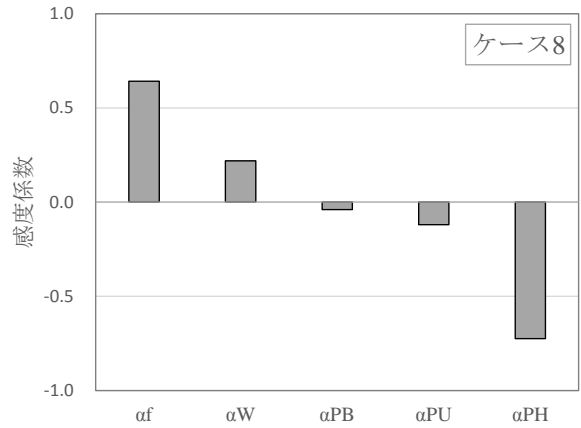
付図D-26 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



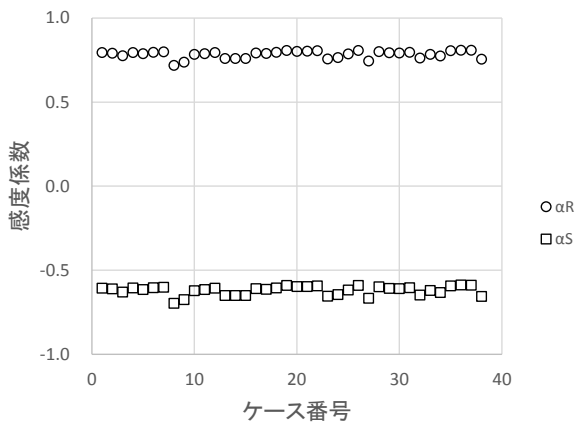
付図D-29 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



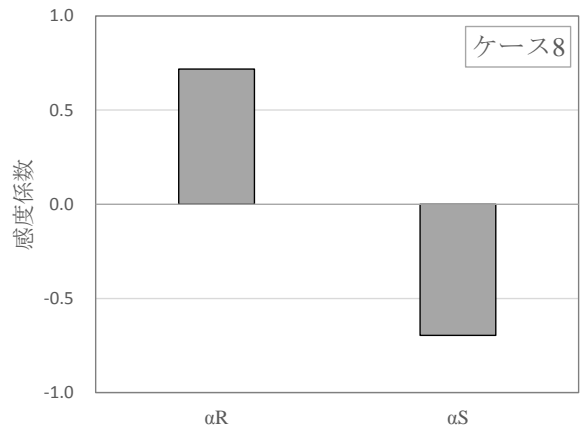
付図D-27 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



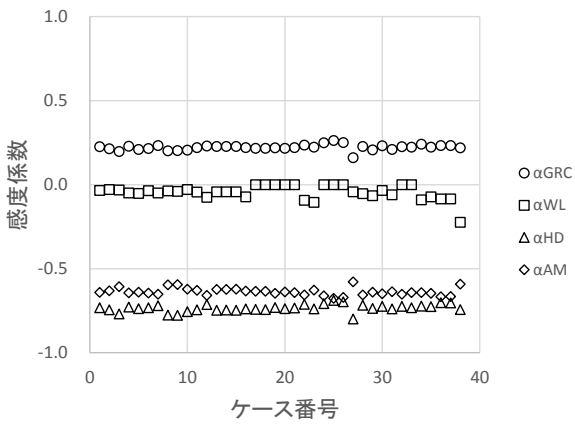
付図D-30 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



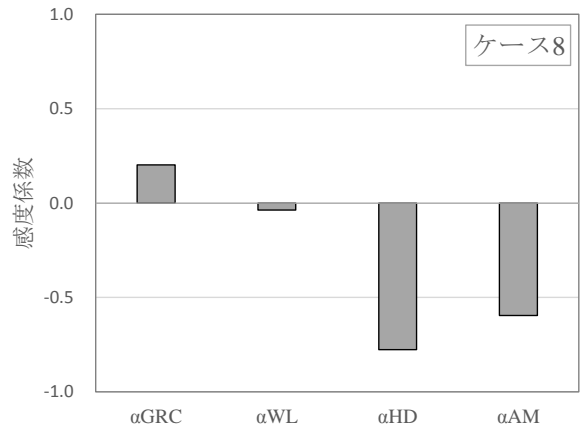
付図D-28 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA



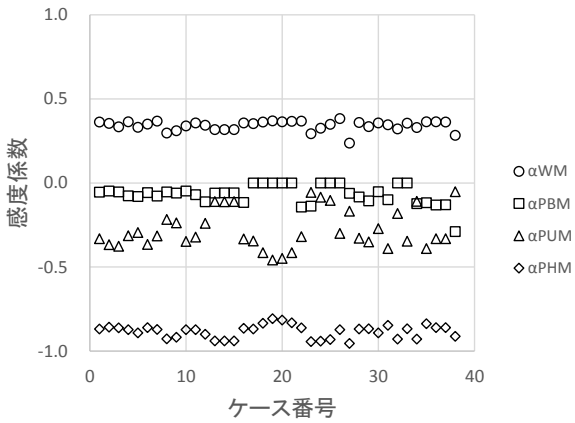
付図D-31 混成堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA



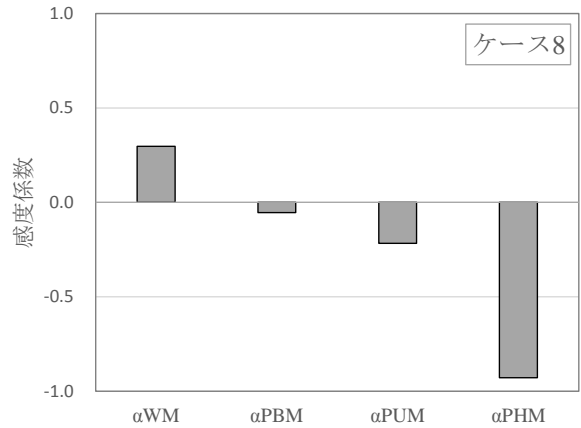
付図D-32 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



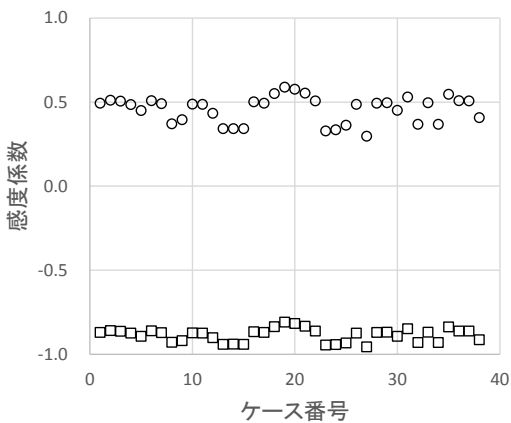
付図D-35 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



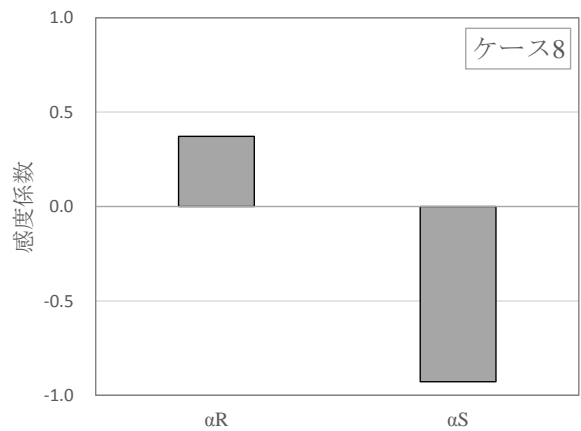
付図D-33 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



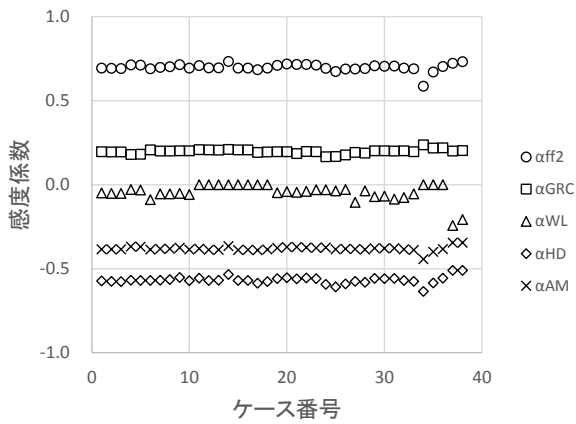
付図D-36 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



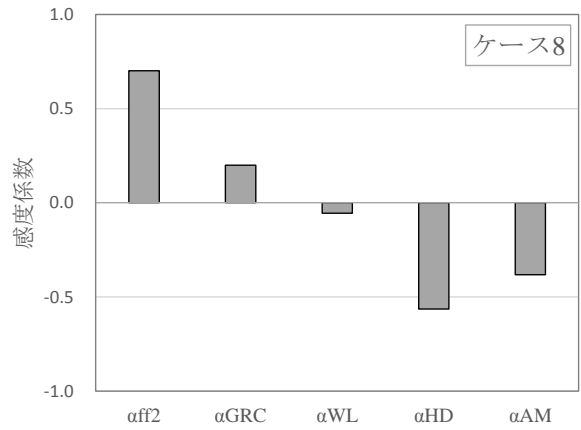
付図D-34 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA



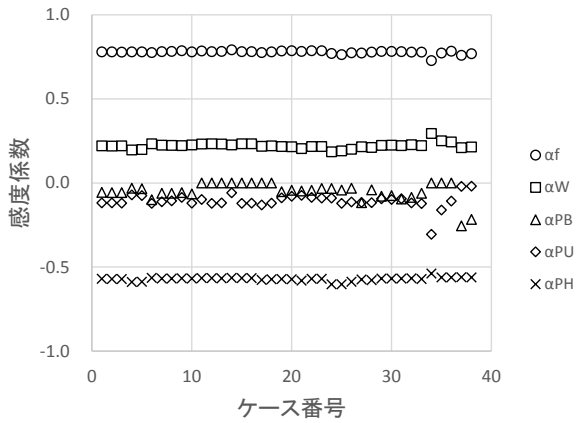
付図D-37 混成堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA



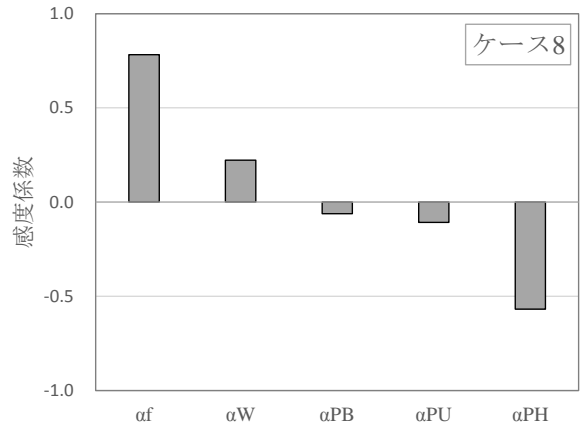
付図D-38 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



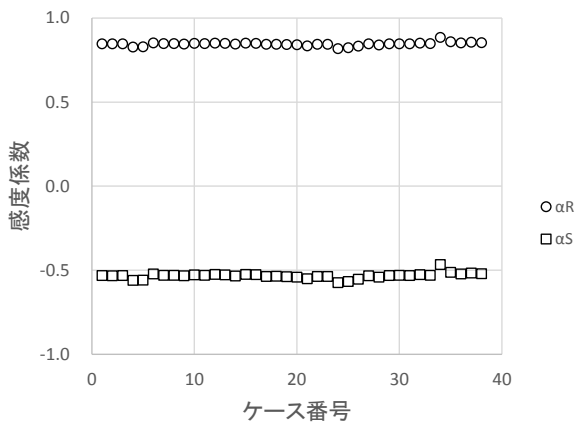
付図D-41 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



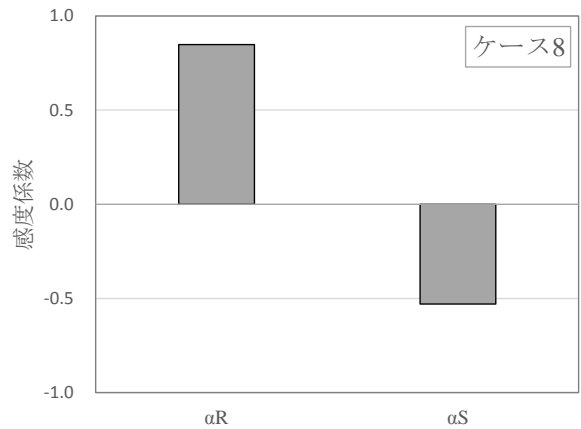
付図D-39 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



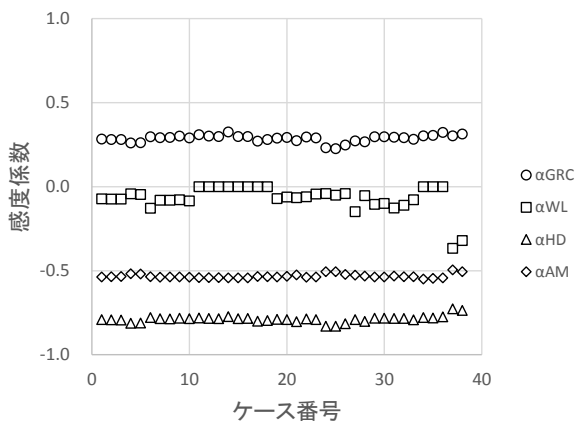
付図D-42 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



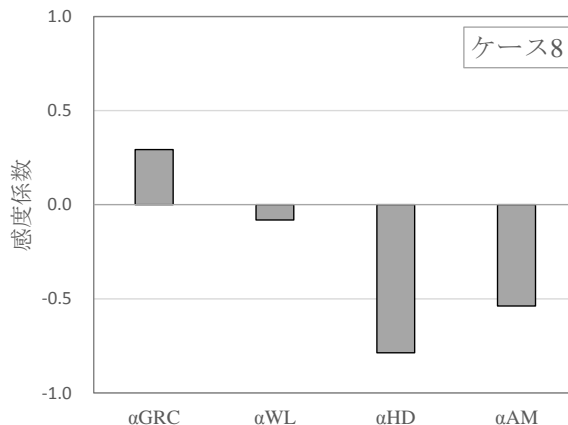
付図D-40 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA



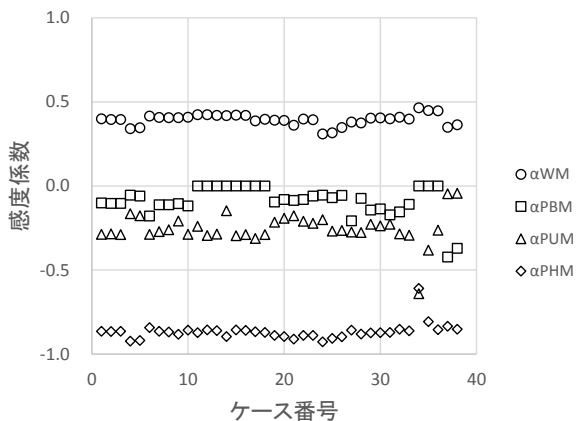
付図D-43 消波ブロック被覆堤 / 滑動  
 / 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA



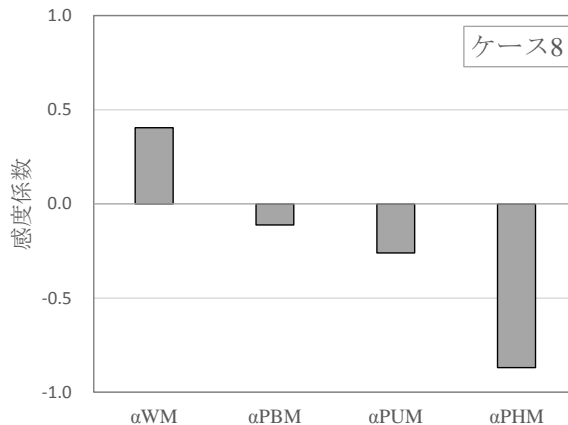
付図D-44 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



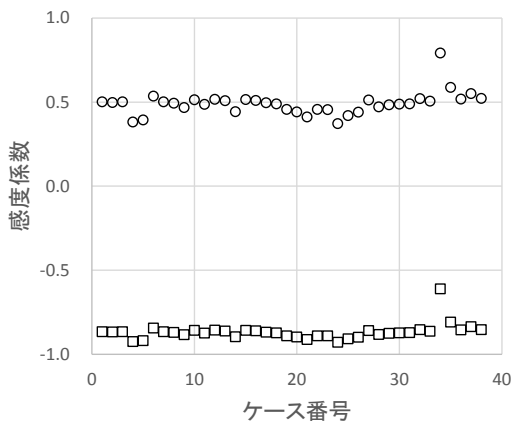
付図D-47 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 材料係数アプローチ



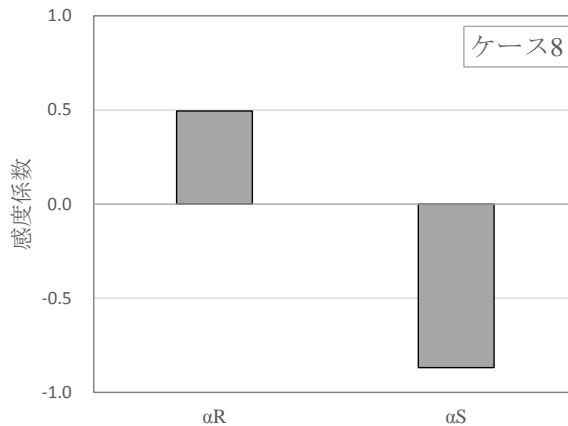
付図D-45 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



付図D-48 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチB



付図D-46 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA



付図D-49 消波ブロック被覆堤 / 転倒  
/ 海底勾配：急 / 荷重抵抗係数アプローチA

## 付録 E 部分係数一覧

本研究において計算された部分係数を示す。

海底勾配が緩い場合における混成堤の滑動部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-1から付図E-3に示す。また、具体的な数値を付表E-1に示す。

海底勾配が緩い場合における混成堤の転倒部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-4から付図E-6に示す。また、具体的な数値を付表E-2に示す。

海底勾配が緩い場合における消波ブロック被覆堤の滑動部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-7から付図E-9に示す。また、具体的な数値を付表E-3に示す。

海底勾配が緩い場合における消波ブロック被覆堤の転倒部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-10から付図E-12に示す。また、具体的な数値を付表E-4に示す。

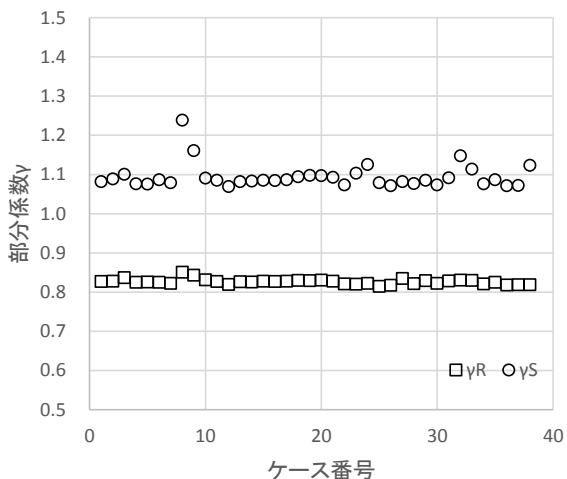
海底勾配が急な場合における混成堤の滑動部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-13から付図E-15に示す。また、具体的な数値を付表E-5に示す。

海底勾配が急な場合における混成堤の転倒部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-16から付図E-18に示す。また、具体的な数値を付表E-6に示す。

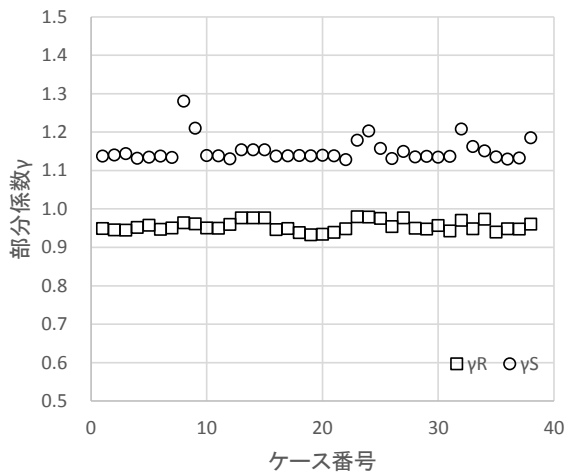
海底勾配が急な場合における消波ブロック被覆堤の滑動部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-19から付図E-21に示す。また、具体的な数値を付表E-7に示す。

海底勾配が急な場合における消波ブロック被覆堤の転倒部分係数を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図E-22から付図E-24に示す。また、具体的な数値を付表E-8に示す。

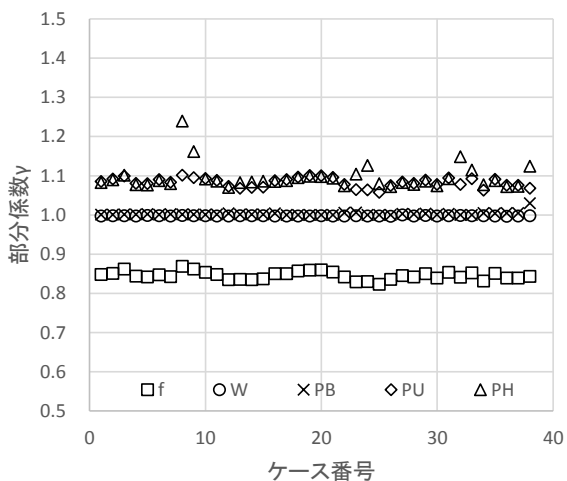
海底勾配が緩い場合における消波ブロック被覆堤に対する、安全率  $F_s=1.2$  相当の転倒部分係数を、荷重抵抗係数アプローチ A、荷重抵抗係数アプローチ B、材料係数アプローチの順に、付図 E-25 から付図 E-27 に示す。また、具体的な数値を付表 E-9 に示す。



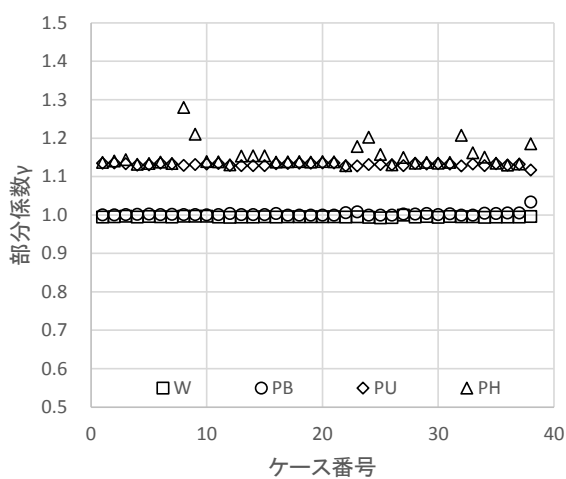
付図E-1 荷重抵抗係数アプローチA  
【混成堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



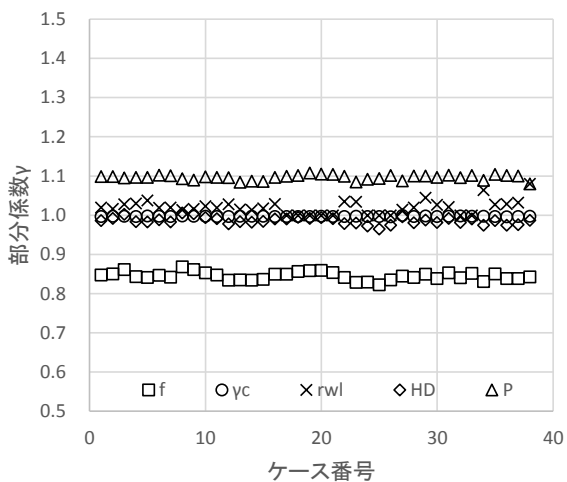
付図E-4 荷重抵抗係数アプローチA  
【混成堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



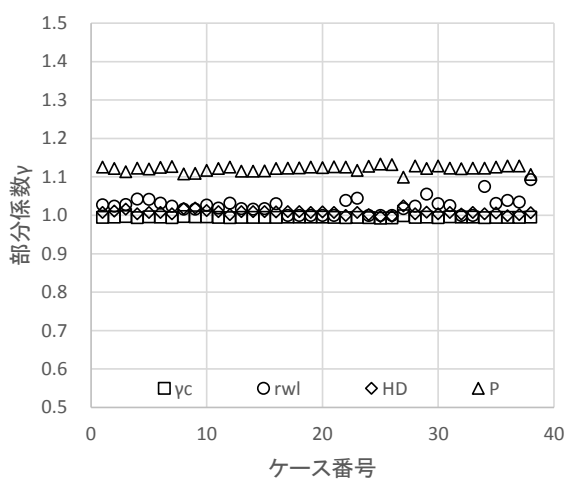
付図E-2 荷重抵抗係数アプローチB  
【混成堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



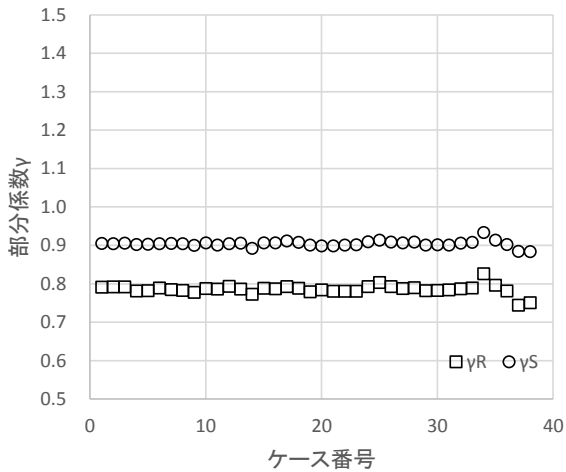
付図E-5 荷重抵抗係数アプローチB  
【混成堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



付図E-3 材料係数アプローチ  
【混成堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】

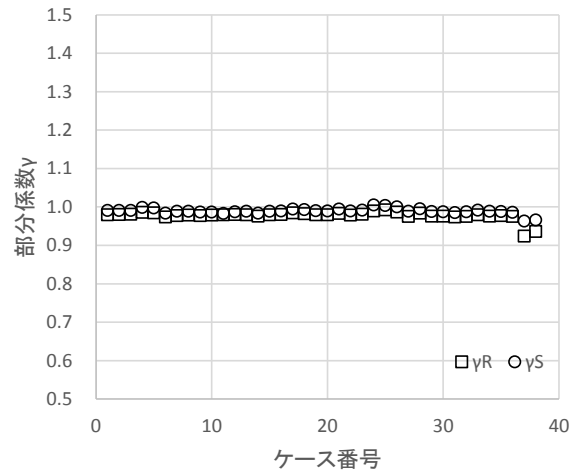


付図E-6 材料係数アプローチ  
【混成堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



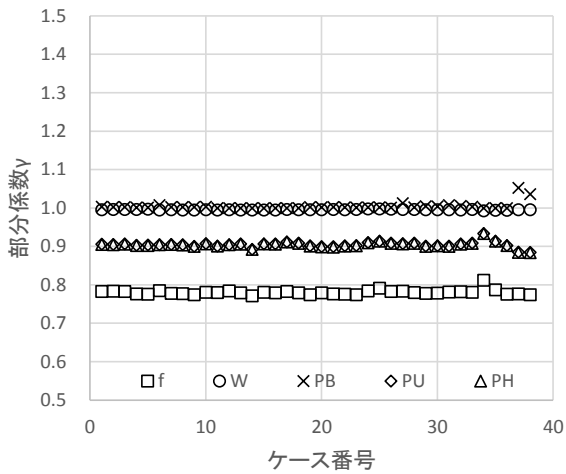
付図E-7 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



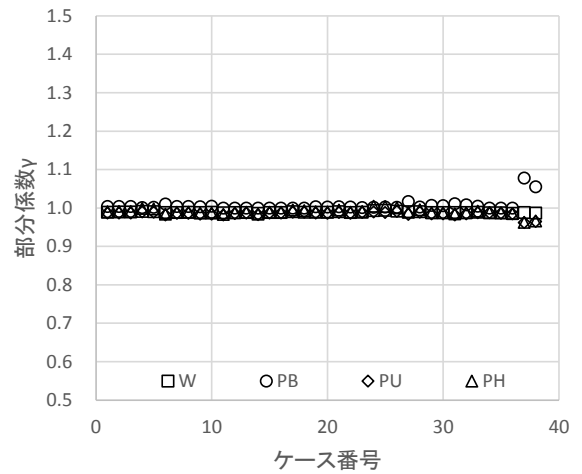
付図E-10 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



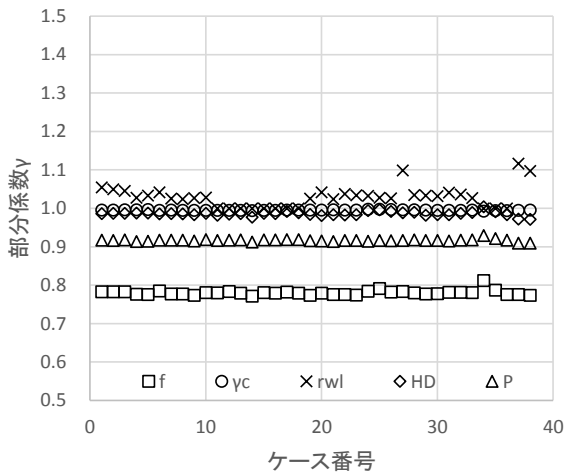
付図E-8 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



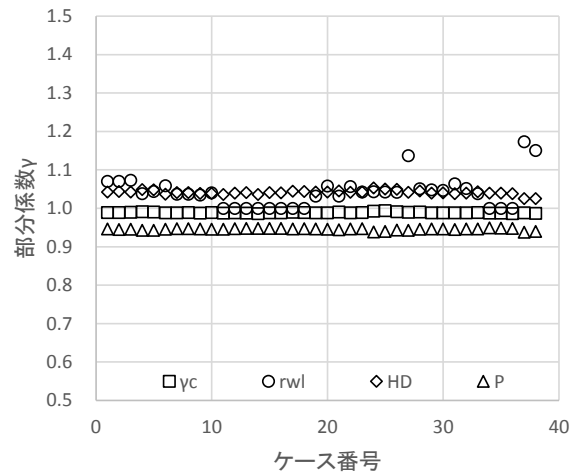
付図E-11 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



付図E-9 材料係数アプローチ

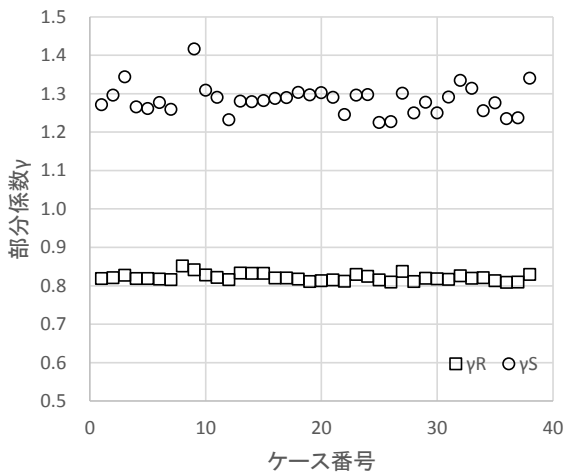
【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



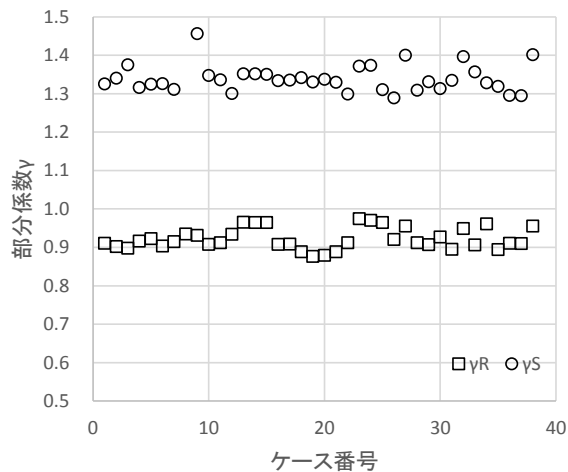
付図E-12 材料係数アプローチ

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】

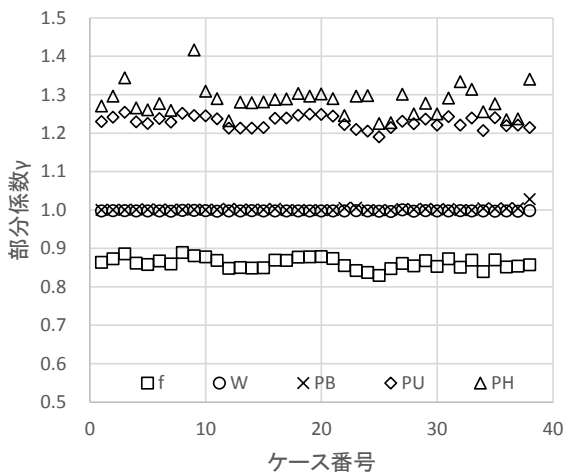




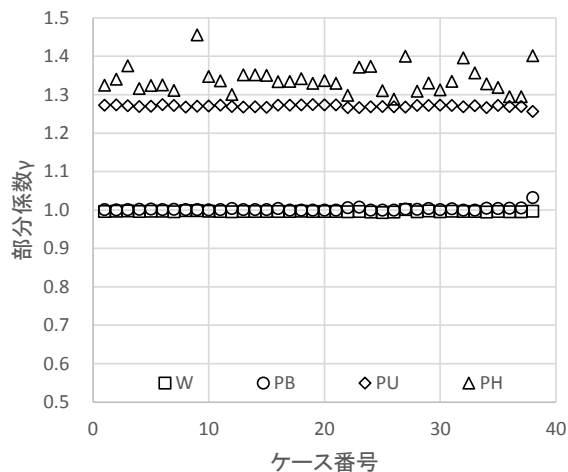
付図E-13 荷重抵抗係数アプローチA  
【混成堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



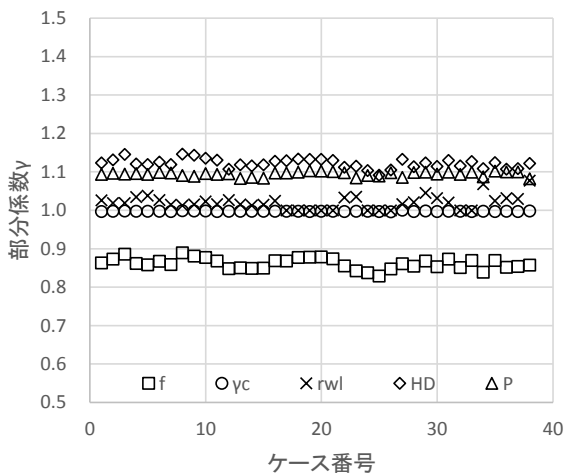
付図E-16 荷重抵抗係数アプローチA  
【混成堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



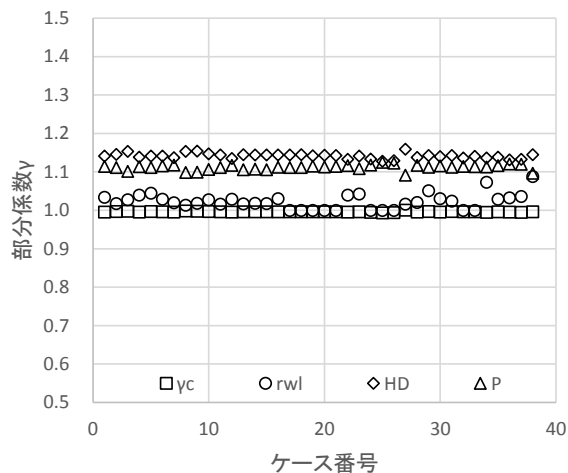
付図E-14 荷重抵抗係数アプローチB  
【混成堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



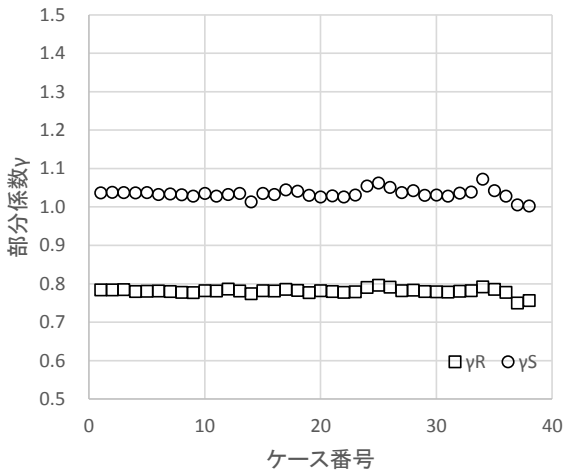
付図E-17 荷重抵抗係数アプローチB  
【混成堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



付図E-15 材料係数アプローチ  
【混成堤 / 海底勾配：急 / 滑動】

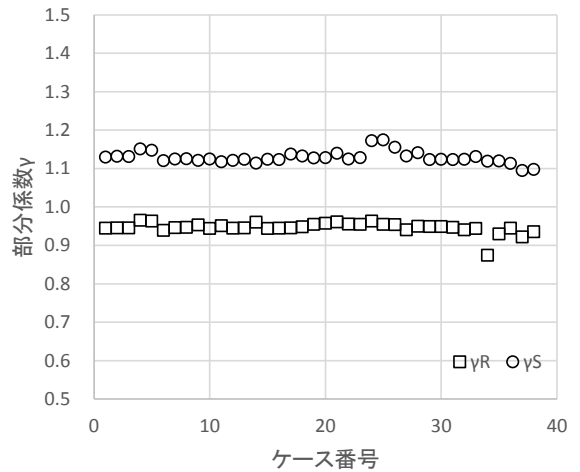


付図E-18 材料係数アプローチ  
【混成堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



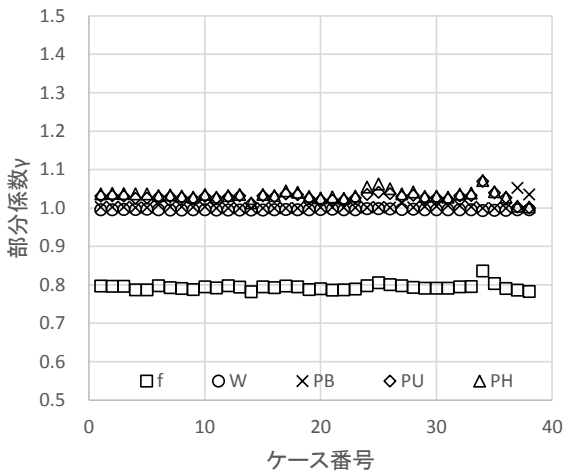
付図E-19 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



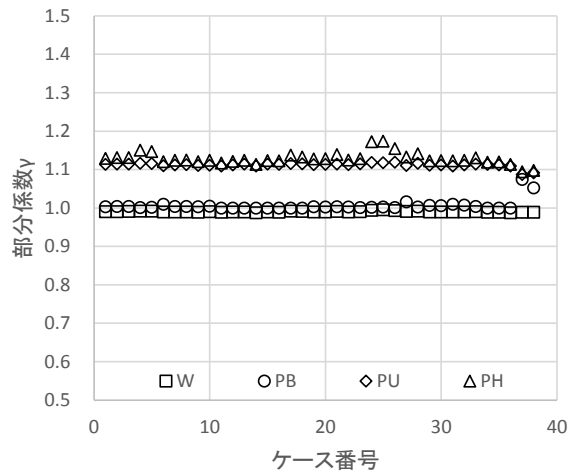
付図E-22 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



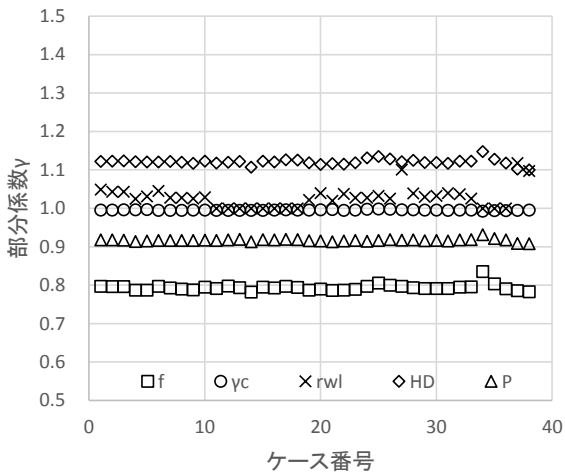
付図E-20 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



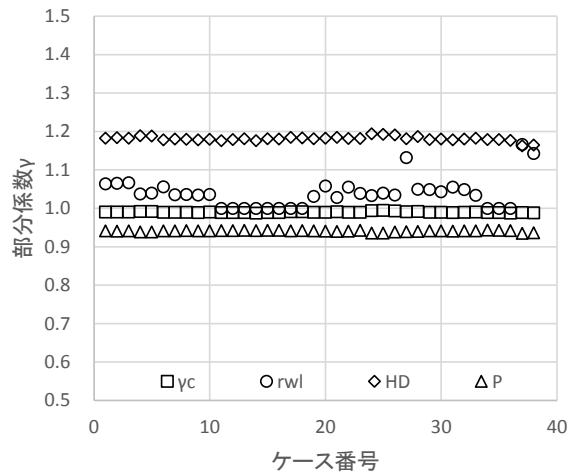
付図E-23 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



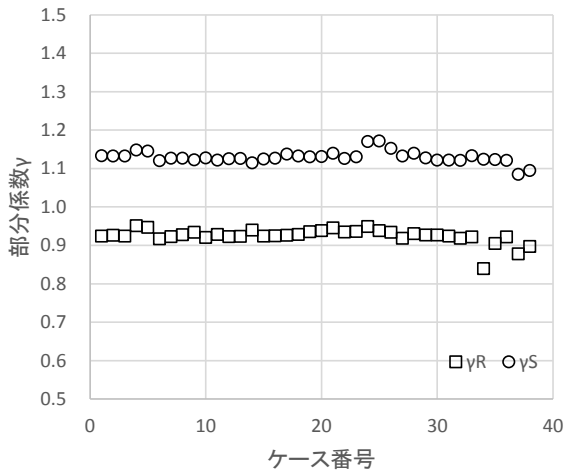
付図E-21 材料係数アプローチ

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



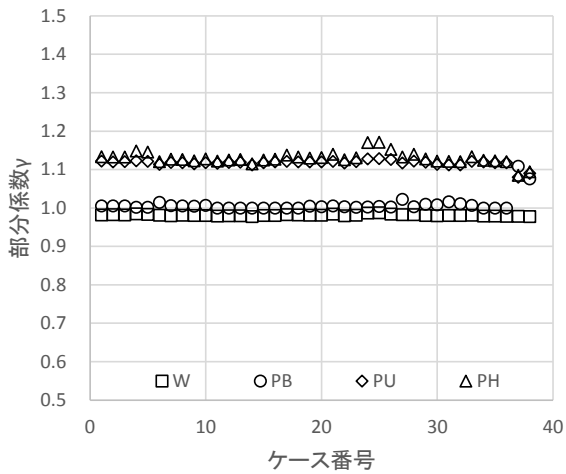
付図E-24 材料係数アプローチ

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



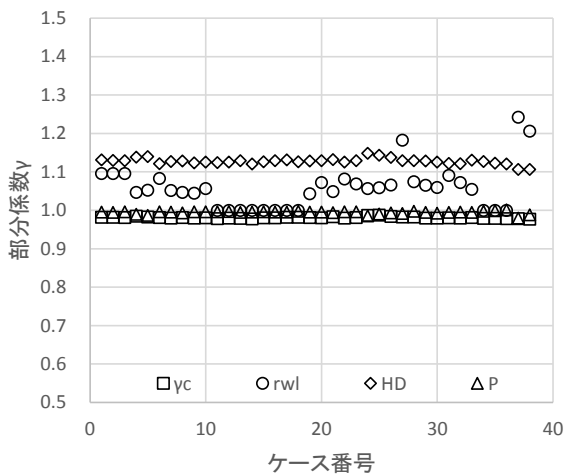
付図E-25 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒 /  $F_s=1.2$ 】



付図E-26 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒 /  $F_s=1.2$ 】



付図 E-27 材料係数アプローチ

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒 /  $F_s=1.2$ 】

付表E-1 部分係数一覧（混成堤／滑動照査／海底勾配：緩）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.83	1.08	0.85	1.00	1.00	1.09	1.08	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
2	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
3	0.84	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.03	1.00	1.10
4	0.83	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
5	0.83	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.04	0.98	1.10
6	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
7	0.82	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.02	0.98	1.10
8	0.85	1.24	0.87	1.00	1.00	1.10	1.24	0.87	1.00	1.01	1.01	1.09
9	0.84	1.16	0.86	1.00	1.00	1.09	1.16	0.86	1.00	1.02	1.00	1.09
10	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
11	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
12	0.82	1.07	0.83	1.00	1.00	1.07	1.07	0.83	1.00	1.03	0.98	1.10
13	0.83	1.08	0.83	1.00	1.00	1.07	1.08	0.83	1.00	1.01	0.98	1.08
14	0.83	1.08	0.83	1.00	1.00	1.07	1.08	0.83	1.00	1.01	0.98	1.09
15	0.83	1.09	0.84	1.00	1.00	1.07	1.09	0.84	1.00	1.02	0.98	1.09
16	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.03	0.99	1.10
17	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.00	0.99	1.10
18	0.83	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.00	1.00	1.10
19	0.83	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.00	0.99	1.11
20	0.83	1.10	0.86	1.00	1.00	1.10	1.10	0.86	1.00	1.00	0.99	1.11
21	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.10	1.09	0.85	1.00	1.00	0.99	1.10
22	0.82	1.07	0.84	1.00	1.01	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
23	0.82	1.10	0.83	1.00	1.01	1.06	1.10	0.83	1.00	1.03	0.98	1.08
24	0.82	1.13	0.83	1.00	1.00	1.06	1.13	0.83	1.00	1.00	0.97	1.09
25	0.82	1.08	0.82	1.00	1.00	1.06	1.08	0.82	1.00	1.00	0.97	1.09
26	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.07	1.07	0.84	1.00	1.00	0.97	1.10
27	0.84	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.01	1.00	1.09
28	0.82	1.08	0.84	1.00	1.00	1.08	1.08	0.84	1.00	1.02	0.98	1.10
29	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.05	0.99	1.10
30	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
31	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10
32	0.83	1.15	0.84	1.00	1.00	1.08	1.15	0.84	1.00	1.00	0.98	1.10
33	0.83	1.11	0.85	1.00	1.00	1.09	1.11	0.85	1.00	1.00	0.99	1.10
34	0.82	1.08	0.83	1.00	1.00	1.06	1.08	0.83	1.00	1.06	0.97	1.09
35	0.83	1.09	0.85	1.00	1.00	1.09	1.09	0.85	1.00	1.03	0.99	1.10
36	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.97	1.10
37	0.82	1.07	0.84	1.00	1.00	1.08	1.07	0.84	1.00	1.03	0.98	1.10
38	0.82	1.12	0.84	1.00	1.03	1.07	1.12	0.84	1.00	1.08	0.99	1.08

：衝撃砕波が発生するケース

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.83	1.08	0.85	1.00	1.00	1.09	1.08	0.85	1.00	1.02	0.99	1.10

付表E-2 部分係数一覧（混成堤／転倒照査／海底勾配：緩）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.95	1.14	0.99	1.00	1.13	1.14	0.99	1.03	1.01	1.13
2	0.95	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.02	1.01	1.12
3	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.02	1.11
4	0.95	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.04	1.00	1.12
5	0.96	1.13	1.00	1.00	1.13	1.13	1.00	1.04	1.01	1.12
6	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.13
7	0.95	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.02	1.00	1.13
8	0.96	1.28	1.00	1.00	1.13	1.28	1.00	1.02	1.02	1.11
9	0.96	1.21	1.00	1.00	1.13	1.21	1.00	1.02	1.02	1.11
10	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.12
11	0.95	1.14	0.99	1.00	1.13	1.14	0.99	1.02	1.01	1.12
12	0.96	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.03	1.00	1.13
13	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.01	1.12
14	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.01	1.12
15	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.01	1.12
16	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.12
17	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.00	1.01	1.12
18	0.94	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.12
19	0.93	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.13
20	0.93	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.12
21	0.94	1.14	1.00	1.00	1.14	1.14	1.00	1.00	1.01	1.13
22	0.95	1.13	0.99	1.01	1.13	1.13	0.99	1.04	1.00	1.13
23	0.98	1.18	1.00	1.01	1.13	1.18	1.00	1.04	1.01	1.12
24	0.98	1.20	0.99	1.00	1.13	1.20	0.99	1.00	1.00	1.13
25	0.98	1.16	0.99	1.00	1.13	1.16	0.99	1.00	1.00	1.13
26	0.95	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.00	1.00	1.13
27	0.98	1.15	1.00	1.00	1.13	1.15	1.00	1.02	1.02	1.10
28	0.95	1.14	0.99	1.00	1.13	1.14	0.99	1.02	1.00	1.13
29	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.06	1.01	1.12
30	0.96	1.13	0.99	1.00	1.13	1.13	0.99	1.03	1.00	1.13
31	0.94	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.12
32	0.97	1.21	1.00	1.00	1.13	1.21	1.00	1.00	1.00	1.12
33	0.95	1.16	1.00	1.00	1.13	1.16	1.00	1.00	1.01	1.12
34	0.97	1.15	0.99	1.01	1.13	1.15	0.99	1.08	1.00	1.12
35	0.94	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.03	1.01	1.13
36	0.95	1.13	0.99	1.01	1.13	1.13	0.99	1.04	1.00	1.13
37	0.95	1.13	0.99	1.01	1.13	1.13	0.99	1.03	1.00	1.13
38	0.96	1.19	1.00	1.03	1.12	1.19	1.00	1.09	1.01	1.11

■ : 衝撃砕波が発生するケース

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.95	1.14	1.00	1.00	1.13	1.14	1.00	1.02	1.01	1.12

付表E-3 部分係数一覧（消波ブロック被覆堤／滑動照査／海底勾配：緩）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.79	0.90	0.78	1.00	1.00	0.91	0.90	0.78	1.00	1.05	0.99	0.92
2	0.79	0.90	0.78	1.00	1.00	0.91	0.90	0.78	1.00	1.05	0.99	0.92
3	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.05	0.99	0.92
4	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.03	0.99	0.91
5	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.03	0.99	0.91
6	0.79	0.90	0.79	0.99	1.01	0.90	0.90	0.79	0.99	1.04	0.99	0.92
7	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.91	0.90	0.78	1.00	1.03	0.99	0.92
8	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.02	0.99	0.92
9	0.78	0.90	0.77	1.00	1.00	0.90	0.90	0.77	1.00	1.03	0.98	0.92
10	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.03	0.99	0.92
11	0.79	0.90	0.78	0.99	1.00	0.90	0.90	0.78	0.99	1.00	0.98	0.92
12	0.79	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.00	0.99	0.92
13	0.79	0.91	0.78	0.99	1.00	0.91	0.91	0.78	0.99	1.00	0.99	0.92
14	0.77	0.89	0.77	0.99	1.00	0.89	0.89	0.77	0.99	1.00	0.98	0.91
15	0.79	0.91	0.78	0.99	1.00	0.91	0.91	0.78	0.99	1.00	0.99	0.92
16	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.00	0.99	0.92
17	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.00	0.99	0.92
18	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.00	0.99	0.92
19	0.78	0.90	0.77	1.00	1.00	0.90	0.90	0.77	1.00	1.03	0.98	0.92
20	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.04	0.98	0.92
21	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.02	0.98	0.91
22	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.04	0.98	0.92
23	0.78	0.90	0.77	1.00	1.00	0.90	0.90	0.77	1.00	1.03	0.98	0.92
24	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.03	0.99	0.91
25	0.80	0.91	0.79	1.00	1.00	0.91	0.91	0.79	1.00	1.03	1.00	0.92
26	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.03	0.99	0.92
27	0.79	0.91	0.78	1.00	1.01	0.91	0.91	0.78	1.00	1.10	0.99	0.92
28	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.03	0.99	0.92
29	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.03	0.98	0.92
30	0.78	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.03	0.98	0.92
31	0.78	0.90	0.78	1.00	1.01	0.90	0.90	0.78	1.00	1.04	0.98	0.92
32	0.79	0.91	0.78	1.00	1.01	0.91	0.91	0.78	1.00	1.04	0.99	0.92
33	0.79	0.91	0.78	1.00	1.00	0.91	0.91	0.78	1.00	1.03	0.99	0.92
34	0.83	0.93	0.81	0.99	1.00	0.93	0.93	0.81	0.99	1.00	1.00	0.93
35	0.80	0.91	0.79	0.99	1.00	0.91	0.91	0.79	0.99	1.00	0.99	0.92
36	0.78	0.90	0.78	0.99	1.00	0.90	0.90	0.78	0.99	1.00	0.98	0.92
37	0.74	0.88	0.78	1.00	1.05	0.89	0.88	0.78	1.00	1.12	0.97	0.91
38	0.75	0.88	0.77	1.00	1.04	0.88	0.88	0.77	1.00	1.10	0.97	0.91

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.79	0.90	0.78	1.00	1.00	0.90	0.90	0.78	1.00	1.03	0.99	0.92

付表E-4 部分係数一覧（消波ブロック被覆堤／転倒照査／海底勾配：緩）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.07	1.04	0.95
2	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.07	1.04	0.95
3	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.07	1.04	0.95
4	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.04	1.05	0.94
5	0.98	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.04	1.05	0.94
6	0.97	0.98	0.99	1.01	0.98	0.98	0.99	1.06	1.04	0.95
7	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.04	1.04	0.95
8	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.04	1.04	0.95
9	0.98	0.99	0.99	1.00	0.98	0.99	0.99	1.04	1.04	0.95
10	0.98	0.99	0.99	1.01	0.98	0.99	0.99	1.04	1.04	0.95
11	0.98	0.98	0.99	1.00	0.98	0.98	0.99	1.00	1.04	0.95
12	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
13	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
14	0.98	0.98	0.99	1.00	0.98	0.98	0.99	1.00	1.04	0.95
15	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
16	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
17	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.05	0.95
18	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
19	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.03	1.04	0.95
20	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.06	1.04	0.95
21	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.03	1.05	0.94
22	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.06	1.04	0.95
23	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.04	1.04	0.95
24	0.99	1.01	0.99	1.00	0.99	1.01	0.99	1.04	1.05	0.94
25	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.04	1.05	0.94
26	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.04	1.05	0.94
27	0.98	0.99	0.99	1.02	0.98	0.99	0.99	1.14	1.04	0.94
28	0.98	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.05	1.05	0.95
29	0.98	0.99	0.99	1.01	0.99	0.99	0.99	1.05	1.04	0.95
30	0.98	0.99	0.99	1.01	0.98	0.99	0.99	1.05	1.04	0.95
31	0.97	0.99	0.99	1.01	0.98	0.99	0.99	1.06	1.04	0.95
32	0.98	0.99	0.99	1.01	0.98	0.99	0.99	1.05	1.04	0.95
33	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.04	1.04	0.95
34	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
35	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
36	0.98	0.99	0.99	1.00	0.98	0.99	0.99	1.00	1.04	0.95
37	0.92	0.96	0.99	1.08	0.96	0.96	0.99	1.17	1.03	0.94
38	0.94	0.97	0.99	1.06	0.97	0.97	0.99	1.15	1.03	0.94

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.98	0.99	0.99	1.01	0.99	0.99	0.99	1.04	1.04	0.95

付表E-5 部分係数一覧（混成堤／滑動照査／海底勾配：急）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.82	1.27	0.86	1.00	1.00	1.23	1.27	0.86	1.00	1.03	1.12	1.09
2	0.82	1.30	0.87	1.00	1.00	1.24	1.30	0.87	1.00	1.02	1.13	1.10
3	0.83	1.34	0.89	1.00	1.00	1.25	1.34	0.89	1.00	1.02	1.15	1.09
4	0.82	1.27	0.86	1.00	1.00	1.23	1.27	0.86	1.00	1.04	1.12	1.10
5	0.82	1.26	0.86	1.00	1.00	1.23	1.26	0.86	1.00	1.04	1.12	1.09
6	0.82	1.28	0.87	1.00	1.00	1.24	1.28	0.87	1.00	1.03	1.13	1.10
7	0.82	1.26	0.86	1.00	1.00	1.23	1.26	0.86	1.00	1.02	1.12	1.10
8	0.85	1.51	0.89	1.00	1.00	1.25	1.51	0.89	1.00	1.01	1.15	1.09
9	0.84	1.42	0.88	1.00	1.00	1.25	1.42	0.88	1.00	1.02	1.14	1.09
10	0.83	1.31	0.88	1.00	1.00	1.24	1.31	0.88	1.00	1.02	1.14	1.10
11	0.82	1.29	0.87	1.00	1.00	1.24	1.29	0.87	1.00	1.02	1.13	1.09
12	0.82	1.23	0.85	1.00	1.00	1.21	1.23	0.85	1.00	1.03	1.11	1.10
13	0.83	1.28	0.85	1.00	1.00	1.21	1.28	0.85	1.00	1.02	1.12	1.08
14	0.83	1.28	0.85	1.00	1.00	1.21	1.28	0.85	1.00	1.01	1.12	1.09
15	0.83	1.28	0.85	1.00	1.00	1.21	1.28	0.85	1.00	1.01	1.12	1.08
16	0.82	1.29	0.87	1.00	1.00	1.24	1.29	0.87	1.00	1.03	1.13	1.10
17	0.82	1.29	0.87	1.00	1.00	1.24	1.29	0.87	1.00	1.00	1.13	1.10
18	0.82	1.30	0.88	1.00	1.00	1.25	1.30	0.88	1.00	1.00	1.13	1.10
19	0.81	1.30	0.88	1.00	1.00	1.25	1.30	0.88	1.00	1.00	1.13	1.10
20	0.81	1.30	0.88	1.00	1.00	1.25	1.30	0.88	1.00	1.00	1.13	1.10
21	0.82	1.29	0.87	1.00	1.00	1.24	1.29	0.87	1.00	1.00	1.13	1.10
22	0.81	1.25	0.86	1.00	1.01	1.22	1.25	0.86	1.00	1.03	1.11	1.10
23	0.83	1.30	0.84	1.00	1.01	1.21	1.30	0.84	1.00	1.04	1.12	1.08
24	0.82	1.30	0.84	1.00	1.00	1.21	1.30	0.84	1.00	1.00	1.10	1.09
25	0.82	1.22	0.83	1.00	1.00	1.19	1.22	0.83	1.00	1.00	1.09	1.09
26	0.81	1.23	0.85	1.00	1.00	1.21	1.23	0.85	1.00	1.00	1.11	1.10
27	0.84	1.30	0.86	1.00	1.00	1.23	1.30	0.86	1.00	1.02	1.13	1.09
28	0.81	1.25	0.85	1.00	1.00	1.22	1.25	0.85	1.00	1.02	1.11	1.10
29	0.82	1.28	0.87	1.00	1.00	1.24	1.28	0.87	1.00	1.05	1.12	1.10
30	0.82	1.25	0.85	1.00	1.00	1.22	1.25	0.85	1.00	1.03	1.11	1.09
31	0.82	1.29	0.87	1.00	1.00	1.24	1.29	0.87	1.00	1.02	1.13	1.10
32	0.83	1.33	0.85	1.00	1.00	1.22	1.33	0.85	1.00	1.00	1.12	1.09
33	0.82	1.31	0.87	1.00	1.00	1.24	1.31	0.87	1.00	1.00	1.13	1.10
34	0.82	1.26	0.84	1.00	1.00	1.21	1.26	0.84	1.00	1.07	1.11	1.09
35	0.81	1.28	0.87	1.00	1.00	1.24	1.28	0.87	1.00	1.02	1.12	1.10
36	0.81	1.24	0.85	1.00	1.00	1.22	1.24	0.85	1.00	1.03	1.11	1.10
37	0.81	1.24	0.85	1.00	1.00	1.22	1.24	0.85	1.00	1.03	1.11	1.10
38	0.83	1.34	0.86	1.00	1.03	1.21	1.34	0.86	1.00	1.08	1.12	1.08

：衝撃砕波が発生するケース

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.82	1.28	0.87	1.00	1.00	1.23	1.28	0.87	1.00	1.02	1.12	1.10



付表E-6 部分係数一覧（混成堤／転倒照査／海底勾配：急）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.91	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.03	1.14	1.11
2	0.90	1.34	1.00	1.00	1.27	1.34	1.00	1.02	1.15	1.11
3	0.90	1.38	1.00	1.00	1.27	1.38	1.00	1.03	1.15	1.10
4	0.92	1.32	1.00	1.00	1.27	1.32	1.00	1.04	1.14	1.11
5	0.92	1.32	1.00	1.00	1.27	1.32	1.00	1.04	1.14	1.11
6	0.90	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.03	1.14	1.12
7	0.92	1.31	1.00	1.00	1.27	1.31	1.00	1.02	1.14	1.12
8	0.93	1.54	1.00	1.00	1.27	1.54	1.00	1.01	1.15	1.10
9	0.93	1.46	1.00	1.00	1.27	1.46	1.00	1.02	1.15	1.10
10	0.91	1.35	1.00	1.00	1.27	1.35	1.00	1.03	1.15	1.11
11	0.91	1.34	1.00	1.00	1.27	1.34	1.00	1.02	1.14	1.11
12	0.93	1.30	1.00	1.00	1.27	1.30	1.00	1.03	1.13	1.12
13	0.97	1.35	1.00	1.00	1.27	1.35	1.00	1.02	1.15	1.11
14	0.96	1.35	1.00	1.00	1.27	1.35	1.00	1.02	1.14	1.11
15	0.96	1.35	1.00	1.00	1.27	1.35	1.00	1.02	1.14	1.11
16	0.91	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.03	1.14	1.11
17	0.91	1.34	1.00	1.00	1.27	1.34	1.00	1.00	1.14	1.11
18	0.89	1.34	1.00	1.00	1.27	1.34	1.00	1.00	1.15	1.11
19	0.88	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.00	1.14	1.12
20	0.88	1.34	1.00	1.00	1.27	1.34	1.00	1.00	1.14	1.11
21	0.89	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.00	1.14	1.11
22	0.91	1.30	1.00	1.01	1.27	1.30	1.00	1.04	1.13	1.12
23	0.97	1.37	1.00	1.01	1.27	1.37	1.00	1.04	1.14	1.11
24	0.97	1.37	1.00	1.00	1.27	1.37	1.00	1.00	1.13	1.12
25	0.96	1.31	0.99	1.00	1.27	1.31	0.99	1.00	1.13	1.12
26	0.92	1.29	0.99	1.00	1.27	1.29	0.99	1.00	1.13	1.12
27	0.96	1.40	1.00	1.00	1.27	1.40	1.00	1.02	1.16	1.09
28	0.91	1.31	1.00	1.00	1.27	1.31	1.00	1.02	1.14	1.12
29	0.91	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.05	1.14	1.11
30	0.93	1.31	1.00	1.00	1.27	1.31	1.00	1.03	1.14	1.12
31	0.90	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.02	1.14	1.11
32	0.95	1.40	1.00	1.00	1.27	1.40	1.00	1.00	1.14	1.11
33	0.91	1.36	1.00	1.00	1.27	1.36	1.00	1.00	1.14	1.11
34	0.96	1.33	0.99	1.00	1.27	1.33	0.99	1.07	1.14	1.11
35	0.89	1.32	1.00	1.00	1.27	1.32	1.00	1.03	1.14	1.12
36	0.91	1.30	1.00	1.00	1.27	1.30	1.00	1.03	1.13	1.12
37	0.91	1.30	1.00	1.01	1.27	1.30	1.00	1.04	1.13	1.12
38	0.96	1.40	1.00	1.03	1.26	1.40	1.00	1.09	1.14	1.10

■：衝撃砕波が発生するケース

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.91	1.33	1.00	1.00	1.27	1.33	1.00	1.02	1.14	1.11

付表E-7 部分係数一覧（消波ブロック被覆堤／滑動照査／海底勾配：急）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.78	1.04	0.80	1.00	1.00	1.03	1.04	0.80	1.00	1.05	1.12	0.92
2	0.78	1.04	0.80	1.00	1.00	1.03	1.04	0.80	1.00	1.04	1.12	0.92
3	0.79	1.04	0.80	1.00	1.00	1.03	1.04	0.80	1.00	1.04	1.12	0.92
4	0.78	1.04	0.79	1.00	1.00	1.03	1.04	0.79	1.00	1.02	1.12	0.91
5	0.78	1.04	0.79	1.00	1.00	1.03	1.04	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
6	0.78	1.03	0.80	1.00	1.01	1.03	1.03	0.80	1.00	1.05	1.12	0.92
7	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
8	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
9	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.02	1.03	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
10	0.78	1.04	0.80	1.00	1.00	1.03	1.04	0.80	1.00	1.03	1.12	0.92
11	0.78	1.03	0.79	0.99	1.00	1.03	1.03	0.79	0.99	1.00	1.12	0.92
12	0.79	1.03	0.80	0.99	1.00	1.03	1.03	0.80	0.99	1.00	1.12	0.92
13	0.78	1.04	0.79	0.99	1.00	1.03	1.04	0.79	0.99	1.00	1.12	0.92
14	0.77	1.01	0.78	0.99	1.00	1.01	1.01	0.78	0.99	1.00	1.11	0.91
15	0.78	1.04	0.80	0.99	1.00	1.03	1.04	0.80	0.99	1.00	1.12	0.92
16	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.00	1.12	0.92
17	0.79	1.04	0.80	1.00	1.00	1.04	1.04	0.80	1.00	1.00	1.13	0.92
18	0.78	1.04	0.79	1.00	1.00	1.03	1.04	0.79	1.00	1.00	1.13	0.92
19	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.02	1.12	0.92
20	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.02	1.03	0.79	1.00	1.04	1.11	0.92
21	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.02	1.03	0.79	1.00	1.02	1.12	0.91
22	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.02	1.03	0.79	1.00	1.04	1.12	0.92
23	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
24	0.79	1.05	0.80	1.00	1.00	1.04	1.05	0.80	1.00	1.03	1.13	0.91
25	0.80	1.06	0.81	1.00	1.00	1.04	1.06	0.81	1.00	1.03	1.14	0.92
26	0.79	1.05	0.80	1.00	1.00	1.04	1.05	0.80	1.00	1.03	1.13	0.92
27	0.78	1.04	0.80	1.00	1.01	1.03	1.04	0.80	1.00	1.10	1.12	0.92
28	0.78	1.04	0.79	1.00	1.00	1.03	1.04	0.79	1.00	1.04	1.13	0.92
29	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
30	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92
31	0.78	1.03	0.79	1.00	1.01	1.02	1.03	0.79	1.00	1.04	1.12	0.92
32	0.78	1.04	0.80	1.00	1.01	1.03	1.04	0.80	1.00	1.04	1.12	0.92
33	0.78	1.04	0.80	1.00	1.00	1.03	1.04	0.80	1.00	1.03	1.12	0.92
34	0.79	1.07	0.84	0.99	1.00	1.07	1.07	0.84	0.99	1.00	1.15	0.93
35	0.79	1.04	0.80	0.99	1.00	1.04	1.04	0.80	0.99	1.00	1.13	0.92
36	0.78	1.03	0.79	0.99	1.00	1.03	1.03	0.79	0.99	1.00	1.12	0.92
37	0.75	1.01	0.79	1.00	1.05	1.00	1.01	0.79	1.00	1.12	1.10	0.91
38	0.76	1.00	0.78	1.00	1.04	1.00	1.00	0.78	1.00	1.10	1.10	0.91

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB					材料係数 アプローチ				
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	摩擦係数 $f$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	摩擦係数 $f$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.78	1.03	0.79	1.00	1.00	1.03	1.03	0.79	1.00	1.03	1.12	0.92

付表E-8 部分係数一覧（消波ブロック被覆堤／転倒照査／海底勾配：急）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.95	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.06	1.18	0.94
2	0.95	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.07	1.18	0.94
3	0.95	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.07	1.18	0.94
4	0.97	1.15	0.99	1.00	1.12	1.15	0.99	1.04	1.19	0.94
5	0.96	1.15	0.99	1.00	1.12	1.15	0.99	1.04	1.19	0.94
6	0.94	1.12	0.99	1.01	1.11	1.12	0.99	1.06	1.18	0.94
7	0.95	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.04	1.18	0.94
8	0.95	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.04	1.18	0.94
9	0.95	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.03	1.18	0.94
10	0.94	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.04	1.18	0.94
11	0.95	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.00	1.18	0.94
12	0.94	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.00	1.18	0.94
13	0.95	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.00	1.18	0.94
14	0.96	1.11	0.99	1.00	1.11	1.11	0.99	1.00	1.18	0.94
15	0.94	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.00	1.18	0.94
16	0.94	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.00	1.18	0.94
17	0.95	1.14	0.99	1.00	1.12	1.14	0.99	1.00	1.18	0.94
18	0.95	1.13	0.99	1.00	1.12	1.13	0.99	1.00	1.18	0.94
19	0.95	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.03	1.18	0.94
20	0.96	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.06	1.18	0.94
21	0.96	1.14	0.99	1.00	1.11	1.14	0.99	1.03	1.19	0.94
22	0.96	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.06	1.18	0.94
23	0.96	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.04	1.18	0.94
24	0.96	1.17	0.99	1.00	1.12	1.17	0.99	1.03	1.19	0.94
25	0.95	1.17	1.00	1.00	1.12	1.17	1.00	1.04	1.19	0.94
26	0.95	1.16	0.99	1.00	1.12	1.16	0.99	1.03	1.19	0.94
27	0.94	1.13	0.99	1.02	1.11	1.13	0.99	1.13	1.18	0.94
28	0.95	1.14	0.99	1.00	1.12	1.14	0.99	1.05	1.19	0.94
29	0.95	1.12	0.99	1.01	1.11	1.12	0.99	1.05	1.18	0.94
30	0.95	1.12	0.99	1.01	1.11	1.12	0.99	1.04	1.18	0.94
31	0.95	1.12	0.99	1.01	1.11	1.12	0.99	1.06	1.18	0.94
32	0.94	1.12	0.99	1.01	1.11	1.12	0.99	1.05	1.18	0.94
33	0.94	1.13	0.99	1.00	1.11	1.13	0.99	1.03	1.18	0.94
34	0.87	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.00	1.18	0.94
35	0.93	1.12	0.99	1.00	1.11	1.12	0.99	1.00	1.18	0.94
36	0.94	1.11	0.99	1.00	1.11	1.11	0.99	1.00	1.18	0.94
37	0.92	1.09	0.99	1.07	1.09	1.09	0.99	1.17	1.16	0.93
38	0.94	1.10	0.99	1.05	1.09	1.10	0.99	1.14	1.17	0.94

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.95	1.13	0.99	1.01	1.11	1.13	0.99	1.04	1.18	0.94

付表E-9 部分係数一覧（消波ブロック被覆堤／転倒照査／海底勾配：緩／Fs=1.2）

ケース 番号	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
1	0.92	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.10	1.13	1.00
2	0.93	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.10	1.13	1.00
3	0.92	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.10	1.13	1.00
4	0.95	1.15	0.98	1.00	1.12	1.15	0.98	1.05	1.14	0.99
5	0.95	1.15	0.98	1.00	1.12	1.15	0.98	1.05	1.14	0.99
6	0.92	1.12	0.98	1.01	1.11	1.12	0.98	1.08	1.12	1.00
7	0.92	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.05	1.13	1.00
8	0.93	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.05	1.13	0.99
9	0.93	1.12	0.98	1.00	1.12	1.12	0.98	1.04	1.12	1.00
10	0.92	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.06	1.13	1.00
11	0.93	1.12	0.98	1.00	1.12	1.12	0.98	1.00	1.12	1.00
12	0.92	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.00	1.13	1.00
13	0.92	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.00	1.13	0.99
14	0.94	1.12	0.98	1.00	1.11	1.12	0.98	1.00	1.12	1.00
15	0.92	1.12	0.98	1.00	1.12	1.12	0.98	1.00	1.13	1.00
16	0.93	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.00	1.13	1.00
17	0.93	1.14	0.98	1.00	1.12	1.14	0.98	1.00	1.13	1.00
18	0.93	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.00	1.13	1.00
19	0.94	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.04	1.13	1.00
20	0.94	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.07	1.13	1.00
21	0.95	1.14	0.98	1.01	1.12	1.14	0.98	1.05	1.13	0.99
22	0.93	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.08	1.13	1.00
23	0.94	1.13	0.98	1.00	1.12	1.13	0.98	1.07	1.13	1.00
24	0.95	1.17	0.99	1.00	1.13	1.17	0.99	1.06	1.15	0.99
25	0.94	1.17	0.99	1.00	1.13	1.17	0.99	1.06	1.14	0.99
26	0.93	1.15	0.98	1.00	1.13	1.15	0.98	1.07	1.14	0.99
27	0.92	1.13	0.98	1.02	1.12	1.13	0.98	1.18	1.13	0.99
28	0.93	1.14	0.98	1.00	1.12	1.14	0.98	1.07	1.13	1.00
29	0.93	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.07	1.13	0.99
30	0.93	1.12	0.98	1.01	1.11	1.12	0.98	1.06	1.13	0.99
31	0.92	1.12	0.98	1.02	1.11	1.12	0.98	1.09	1.12	0.99
32	0.92	1.12	0.98	1.01	1.11	1.12	0.98	1.07	1.12	1.00
33	0.92	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.05	1.13	1.00
34	0.84	1.12	0.98	1.00	1.12	1.12	0.98	1.00	1.13	1.00
35	0.90	1.12	0.98	1.00	1.12	1.12	0.98	1.00	1.12	1.00
36	0.92	1.12	0.98	1.00	1.12	1.12	0.98	1.00	1.12	1.00
37	0.88	1.09	0.98	1.11	1.08	1.09	0.98	1.24	1.11	0.98
38	0.90	1.09	0.98	1.08	1.09	1.09	0.98	1.21	1.11	0.99

	荷重抵抗係数 アプローチA		荷重抵抗係数 アプローチB				材料係数 アプローチ			
	抵抗 $\gamma_R$	荷重 $\gamma_S$	堤体重量 $W$	浮力 $P_B$	揚圧力 $P_U$	水平波力 $P_H$	堤体単重 $\gamma_c$	潮位 $r_{wl}$	設計波高 $H_D$	波力算定 $P$
平均	0.92	1.13	0.98	1.01	1.12	1.13	0.98	1.06	1.13	0.99

## 付録 F 破壊確率一覧

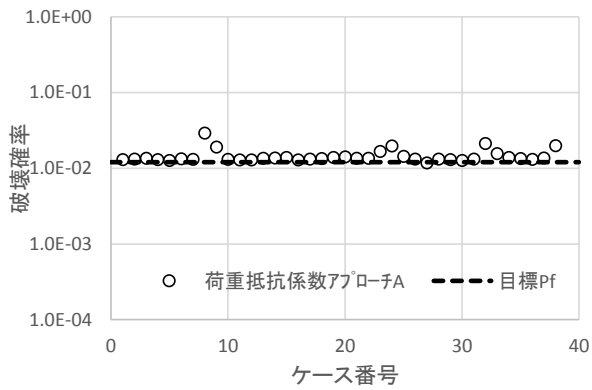
本研究において計算された破壊確率を示す。

海底勾配が緩い場合における混成堤の滑動破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-1から付図F-3に示す。海底勾配が緩い場合における混成堤の転倒破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-4から付図F-6に示す。また、具体的な数値を付表F-1に示す。

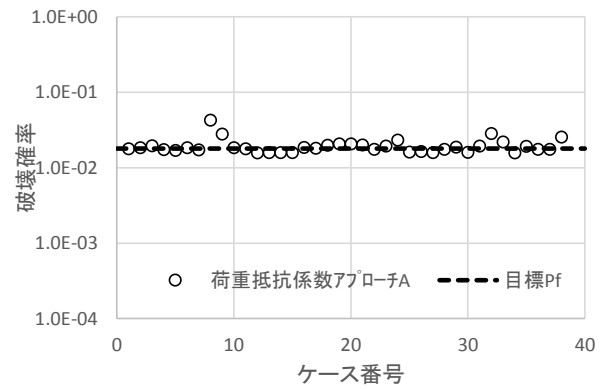
海底勾配が緩い場合における消波ブロック被覆堤の滑動破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-7から付図F-9に示す。海底勾配が緩い場合における消波ブロック被覆堤の転倒破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-10から付図F-12に示す。また、具体的な数値を付表F-2に示す。

海底勾配が急な場合における混成堤の滑動破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-13から付図F-15に示す。海底勾配が急な場合における混成堤の転倒破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-16から付図F-18に示す。また、具体的な数値を付表F-3に示す。

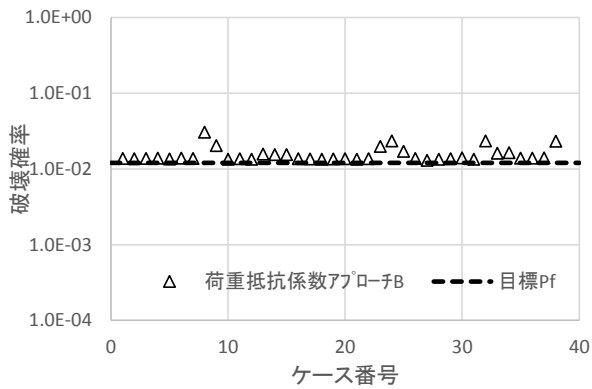
海底勾配が急な場合における消波ブロック被覆堤の滑動破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-19から付図F-21に示す。海底勾配が急な場合における消波ブロック被覆堤の転倒破壊確率を、荷重抵抗係数アプローチA、荷重抵抗係数アプローチB、材料係数アプローチの順に、付図F-22から付図F-24に示す。また、具体的な数値を付表F-4に示す。



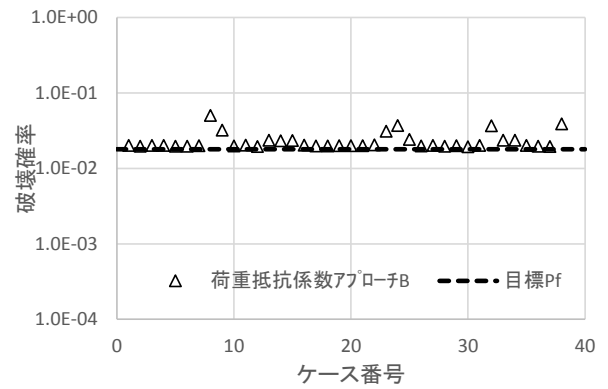
付図F-1 荷重抵抗係数アプローチA  
 【混成堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



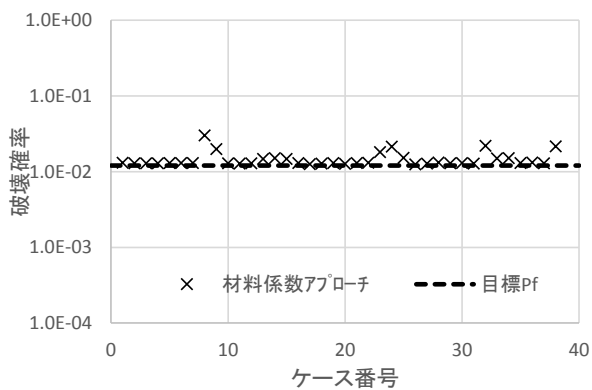
付図F-4 荷重抵抗係数アプローチA  
 【混成堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



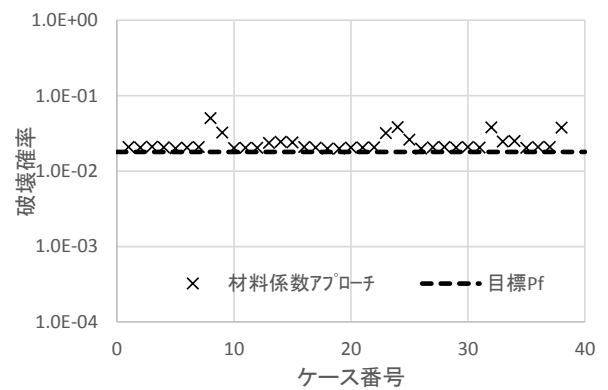
付図F-2 荷重抵抗係数アプローチB  
 【混成堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



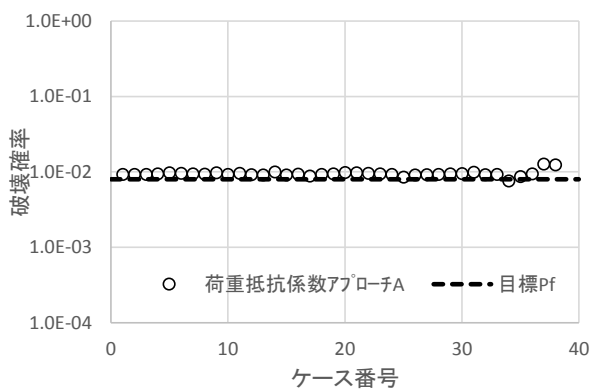
付図F-5 荷重抵抗係数アプローチB  
 【混成堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



付図F-3 材料係数アプローチ  
 【混成堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】

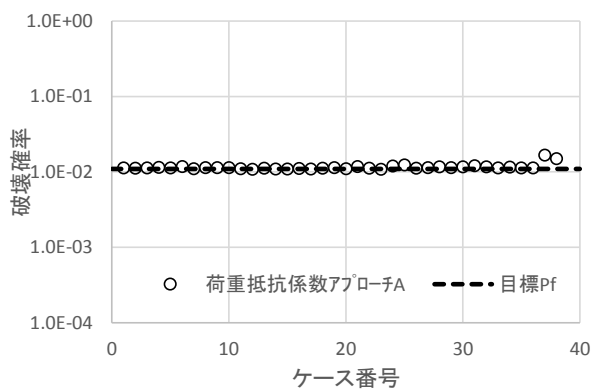


付図F-6 材料係数アプローチ  
 【混成堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



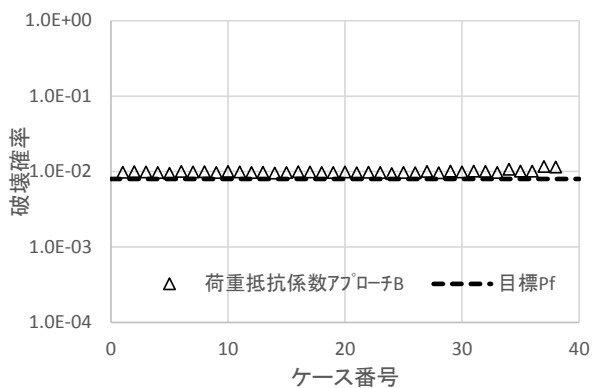
付図F-7 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



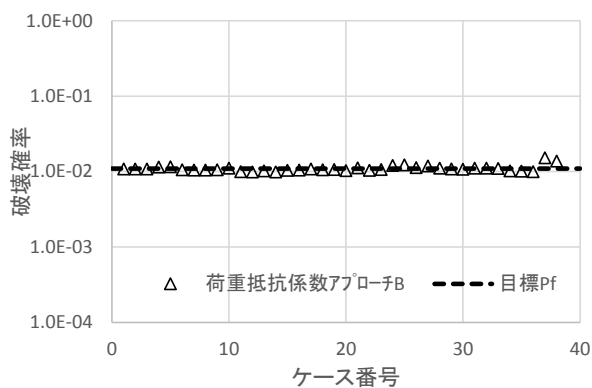
付図F-10 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



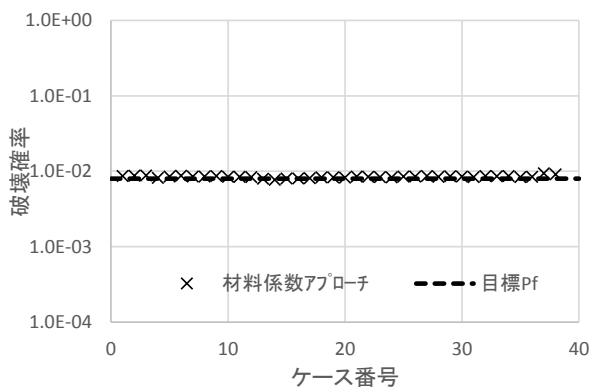
付図F-8 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】



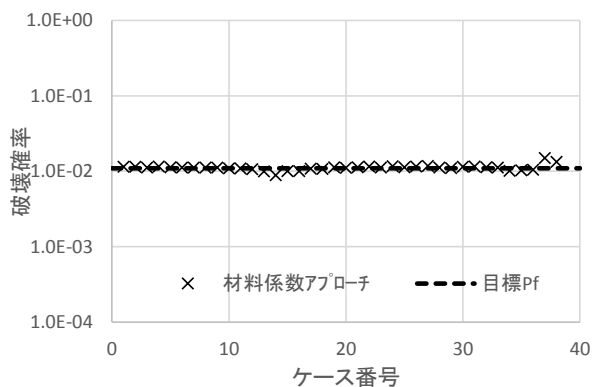
付図F-11 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



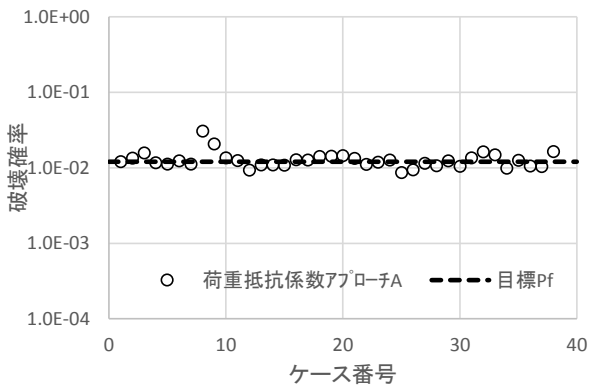
付図F-9 材料係数アプローチ

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 滑動】

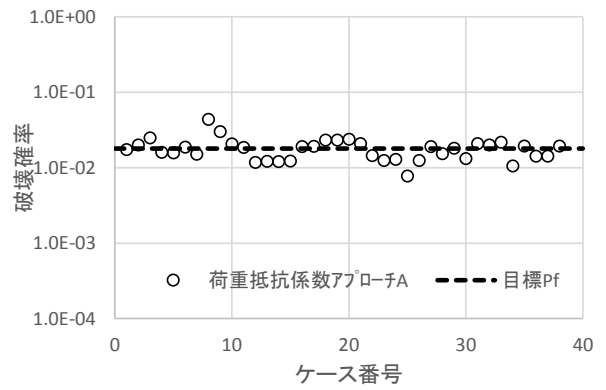


付図F-12 材料係数アプローチ

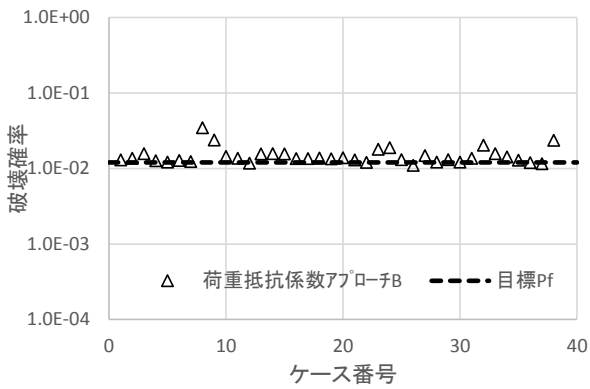
【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：緩 / 転倒】



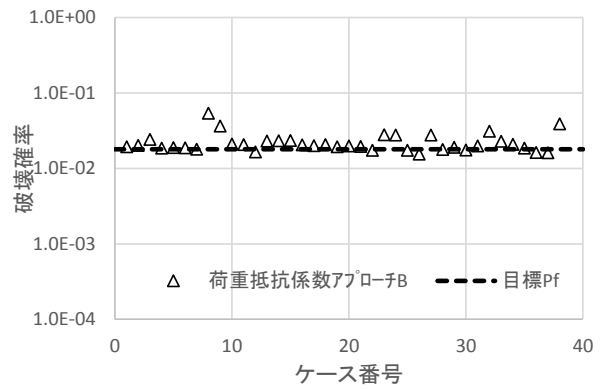
付図F-13 荷重抵抗係数アプローチA  
 【混成堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



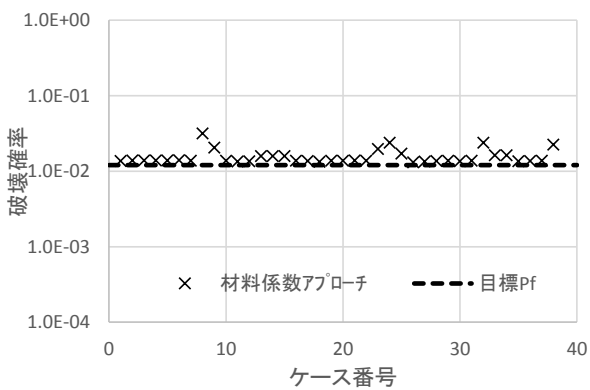
付図F-16 荷重抵抗係数アプローチA  
 【混成堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



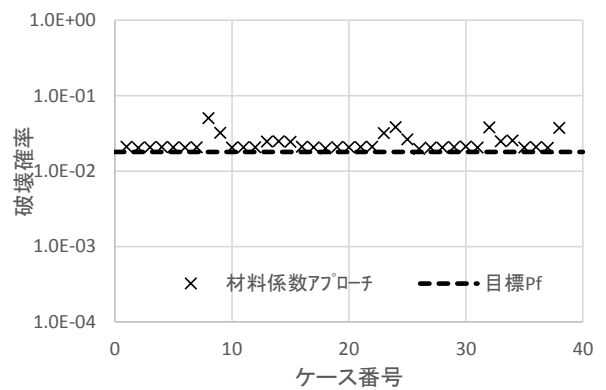
付図F-14 荷重抵抗係数アプローチB  
 【混成堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



付図F-17 荷重抵抗係数アプローチB  
 【混成堤 / 海底勾配：急 / 転倒】

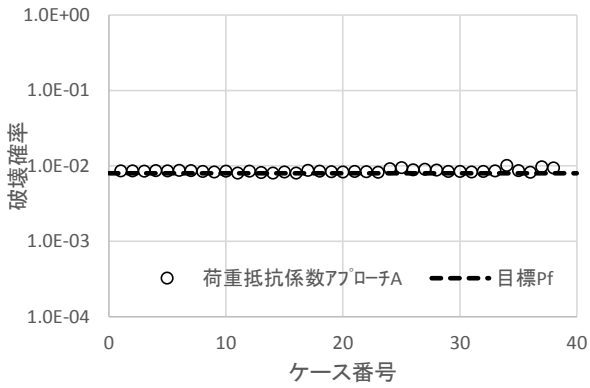


付図F-15 材料係数アプローチ  
 【混成堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



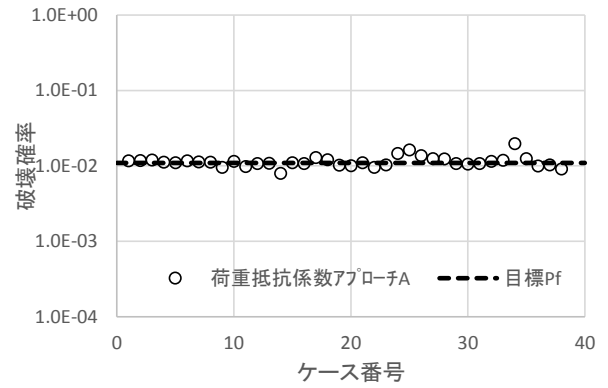
付図F-18 材料係数アプローチ  
 【混成堤 / 海底勾配：急 / 転倒】





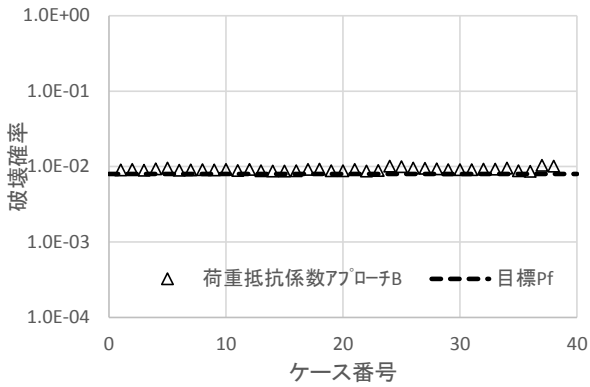
付図F-19 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



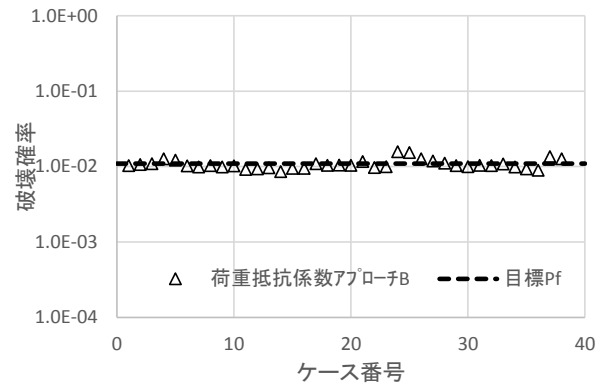
付図F-22 荷重抵抗係数アプローチA

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



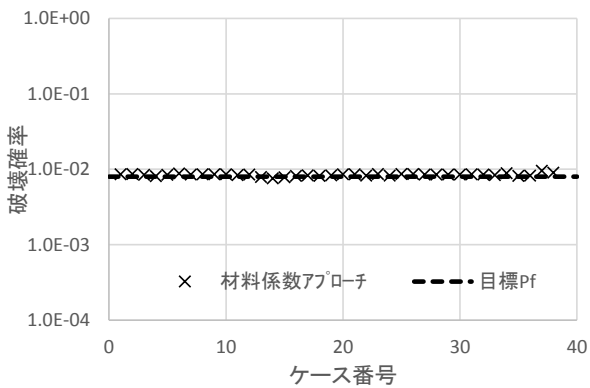
付図F-20 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



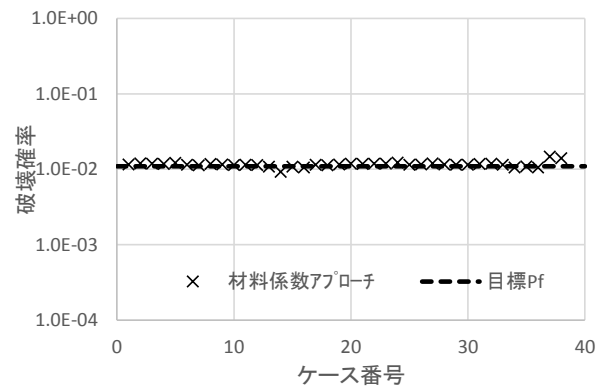
付図F-23 荷重抵抗係数アプローチB

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 転倒】



付図F-21 材料係数アプローチ

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 滑動】



付図F-24 材料係数アプローチ

【消波ブロック被覆堤 / 海底勾配：急 / 転倒】

付表F-1 破壊確率一覧（混成堤／海底勾配：緩）

ケース 番号	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率
1	0.0130	0.0179	0.0138	0.0203	0.0132	0.0210
2	0.0132	0.0185	0.0137	0.0198	0.0129	0.0207
3	0.0136	0.0197	0.0138	0.0203	0.0129	0.0211
4	0.0130	0.0175	0.0139	0.0203	0.0129	0.0208
5	0.0127	0.0171	0.0136	0.0197	0.0130	0.0202
6	0.0134	0.0185	0.0139	0.0197	0.0130	0.0207
7	0.0131	0.0174	0.0138	0.0201	0.0130	0.0209
8	0.0291	0.0429	0.0306	0.0505	0.0302	0.0508
9	0.0192	0.0281	0.0204	0.0324	0.0199	0.0327
10	0.0131	0.0185	0.0134	0.0199	0.0130	0.0203
11	0.0129	0.0179	0.0137	0.0204	0.0128	0.0205
12	0.0129	0.0158	0.0135	0.0196	0.0129	0.0205
13	0.0136	0.0159	0.0157	0.0237	0.0147	0.0238
14	0.0137	0.0159	0.0155	0.0233	0.0151	0.0246
15	0.0139	0.0160	0.0155	0.0235	0.0148	0.0242
16	0.0129	0.0186	0.0137	0.0204	0.0130	0.0210
17	0.0133	0.0182	0.0136	0.0200	0.0126	0.0206
18	0.0135	0.0200	0.0135	0.0200	0.0128	0.0200
19	0.0139	0.0209	0.0136	0.0201	0.0130	0.0199
20	0.0141	0.0208	0.0137	0.0201	0.0127	0.0206
21	0.0135	0.0201	0.0135	0.0201	0.0130	0.0206
22	0.0135	0.0177	0.0138	0.0206	0.0132	0.0207
23	0.0167	0.0195	0.0199	0.0312	0.0182	0.0320
24	0.0197	0.0234	0.0234	0.0373	0.0215	0.0385
25	0.0144	0.0162	0.0172	0.0244	0.0153	0.0262
26	0.0132	0.0164	0.0138	0.0199	0.0125	0.0199
27	0.0118	0.0159	0.0130	0.0202	0.0128	0.0208
28	0.0133	0.0176	0.0135	0.0198	0.0133	0.0210
29	0.0131	0.0188	0.0137	0.0201	0.0129	0.0206
30	0.0127	0.0160	0.0140	0.0195	0.0131	0.0210
31	0.0132	0.0195	0.0135	0.0202	0.0128	0.0206
32	0.0213	0.0284	0.0235	0.0370	0.0219	0.0380
33	0.0157	0.0221	0.0161	0.0237	0.0150	0.0248
34	0.0139	0.0158	0.0165	0.0238	0.0151	0.0251
35	0.0135	0.0193	0.0140	0.0202	0.0130	0.0204
36	0.0132	0.0176	0.0140	0.0197	0.0132	0.0209
37	0.0137	0.0176	0.0140	0.0197	0.0129	0.0209
38	0.0199	0.0257	0.0234	0.0391	0.0216	0.0379
変動 係数	0.27	0.27	0.32	0.38	0.31	0.38

付表F-2 破壊確率一覧（消波ブロック被覆堤／海底勾配：緩）

ケース 番号	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率
1	0.0093	0.0113	0.0098	0.0108	0.0086	0.0115
2	0.0092	0.0112	0.0099	0.0108	0.0087	0.0115
3	0.0092	0.0113	0.0098	0.0108	0.0088	0.0112
4	0.0094	0.0115	0.0097	0.0115	0.0082	0.0116
5	0.0097	0.0113	0.0095	0.0115	0.0085	0.0113
6	0.0096	0.0117	0.0101	0.0106	0.0087	0.0112
7	0.0094	0.0110	0.0099	0.0105	0.0085	0.0112
8	0.0093	0.0114	0.0099	0.0104	0.0085	0.0112
9	0.0097	0.0114	0.0097	0.0105	0.0086	0.0112
10	0.0092	0.0114	0.0100	0.0111	0.0084	0.0109
11	0.0095	0.0110	0.0098	0.0100	0.0084	0.0109
12	0.0091	0.0108	0.0097	0.0099	0.0084	0.0106
13	0.0091	0.0112	0.0098	0.0102	0.0080	0.0100
14	0.0099	0.0109	0.0096	0.0099	0.0077	0.0089
15	0.0091	0.0109	0.0097	0.0104	0.0080	0.0100
16	0.0093	0.0111	0.0099	0.0104	0.0080	0.0100
17	0.0088	0.0109	0.0099	0.0108	0.0081	0.0108
18	0.0092	0.0112	0.0097	0.0105	0.0083	0.0108
19	0.0094	0.0113	0.0097	0.0107	0.0083	0.0112
20	0.0098	0.0110	0.0099	0.0103	0.0082	0.0111
21	0.0097	0.0118	0.0097	0.0112	0.0085	0.0113
22	0.0095	0.0111	0.0097	0.0104	0.0084	0.0116
23	0.0094	0.0108	0.0097	0.0106	0.0084	0.0112
24	0.0092	0.0119	0.0094	0.0121	0.0083	0.0117
25	0.0085	0.0124	0.0097	0.0122	0.0085	0.0113
26	0.0091	0.0112	0.0096	0.0113	0.0085	0.0116
27	0.0091	0.0114	0.0101	0.0118	0.0087	0.0118
28	0.0092	0.0116	0.0097	0.0111	0.0084	0.0112
29	0.0094	0.0114	0.0101	0.0108	0.0085	0.0110
30	0.0095	0.0117	0.0098	0.0107	0.0085	0.0115
31	0.0099	0.0121	0.0101	0.0111	0.0084	0.0116
32	0.0091	0.0116	0.0101	0.0111	0.0086	0.0113
33	0.0092	0.0113	0.0097	0.0110	0.0086	0.0112
34	0.0076	0.0116	0.0107	0.0102	0.0087	0.0101
35	0.0086	0.0113	0.0101	0.0102	0.0084	0.0103
36	0.0094	0.0113	0.0101	0.0100	0.0084	0.0105
37	0.0127	0.0167	0.0117	0.0153	0.0094	0.0150
38	0.0123	0.0150	0.0115	0.0138	0.0091	0.0133
変動 係数	0.10	0.10	0.06	0.09	0.04	0.09

付表F-3 破壊確率一覧（混成堤／海底勾配：急）

ケース 番号	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率
1	0.0121	0.0175	0.0130	0.0195	0.0138	0.0211
2	0.0135	0.0201	0.0137	0.0203	0.0140	0.0205
3	0.0158	0.0250	0.0158	0.0244	0.0139	0.0207
4	0.0117	0.0160	0.0127	0.0187	0.0139	0.0210
5	0.0113	0.0158	0.0122	0.0190	0.0139	0.0208
6	0.0124	0.0189	0.0128	0.0188	0.0141	0.0207
7	0.0112	0.0151	0.0124	0.0180	0.0138	0.0209
8	0.0306	0.0441	0.0348	0.0539	0.0317	0.0504
9	0.0208	0.0302	0.0239	0.0365	0.0206	0.0323
10	0.0136	0.0209	0.0145	0.0212	0.0138	0.0206
11	0.0125	0.0186	0.0138	0.0208	0.0135	0.0207
12	0.0094	0.0118	0.0118	0.0166	0.0136	0.0209
13	0.0109	0.0122	0.0156	0.0231	0.0158	0.0248
14	0.0110	0.0121	0.0157	0.0234	0.0159	0.0250
15	0.0108	0.0123	0.0157	0.0235	0.0159	0.0246
16	0.0128	0.0191	0.0136	0.0206	0.0138	0.0211
17	0.0127	0.0192	0.0136	0.0200	0.0137	0.0207
18	0.0142	0.0233	0.0139	0.0207	0.0134	0.0200
19	0.0142	0.0234	0.0135	0.0195	0.0138	0.0209
20	0.0145	0.0239	0.0140	0.0199	0.0138	0.0207
21	0.0134	0.0209	0.0131	0.0197	0.0139	0.0209
22	0.0111	0.0146	0.0121	0.0174	0.0138	0.0211
23	0.0119	0.0125	0.0180	0.0280	0.0197	0.0319
24	0.0127	0.0130	0.0190	0.0278	0.0239	0.0386
25	0.0087	0.0078	0.0132	0.0174	0.0171	0.0264
26	0.0094	0.0125	0.0111	0.0155	0.0131	0.0198
27	0.0115	0.0191	0.0148	0.0278	0.0135	0.0206
28	0.0107	0.0154	0.0122	0.0179	0.0137	0.0206
29	0.0124	0.0181	0.0131	0.0192	0.0138	0.0209
30	0.0105	0.0133	0.0122	0.0176	0.0136	0.0214
31	0.0136	0.0210	0.0137	0.0199	0.0138	0.0207
32	0.0163	0.0201	0.0204	0.0313	0.0240	0.0381
33	0.0149	0.0218	0.0157	0.0230	0.0163	0.0250
34	0.0099	0.0106	0.0143	0.0210	0.0163	0.0256
35	0.0126	0.0194	0.0129	0.0187	0.0136	0.0207
36	0.0106	0.0142	0.0120	0.0164	0.0137	0.0209
37	0.0104	0.0143	0.0116	0.0162	0.0138	0.0205
38	0.0165	0.0194	0.0238	0.0391	0.0226	0.0376
変動 係数	0.31	0.35	0.37	0.41	0.33	0.37

付表F-4 破壊確率一覧（消波ブロック被覆堤／海底勾配：急）

ケース 番号	荷重抵抗係数アプローチA		荷重抵抗係数アプローチB		材料係数アプローチ	
	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率	滑動破壊確率	転倒破壊確率
1	0.0086	0.0117	0.0090	0.0103	0.0085	0.0115
2	0.0086	0.0117	0.0092	0.0107	0.0087	0.0119
3	0.0085	0.0119	0.0089	0.0109	0.0084	0.0118
4	0.0087	0.0112	0.0093	0.0127	0.0081	0.0118
5	0.0086	0.0110	0.0096	0.0122	0.0084	0.0121
6	0.0087	0.0117	0.0090	0.0102	0.0088	0.0114
7	0.0086	0.0113	0.0090	0.0099	0.0085	0.0112
8	0.0085	0.0112	0.0091	0.0103	0.0085	0.0117
9	0.0083	0.0096	0.0090	0.0099	0.0085	0.0116
10	0.0085	0.0115	0.0092	0.0102	0.0085	0.0114
11	0.0080	0.0098	0.0089	0.0091	0.0084	0.0115
12	0.0085	0.0107	0.0092	0.0093	0.0085	0.0114
13	0.0082	0.0109	0.0088	0.0096	0.0079	0.0108
14	0.0080	0.0079	0.0087	0.0085	0.0075	0.0092
15	0.0083	0.0110	0.0087	0.0095	0.0078	0.0108
16	0.0080	0.0107	0.0087	0.0095	0.0082	0.0106
17	0.0087	0.0129	0.0091	0.0109	0.0083	0.0115
18	0.0085	0.0121	0.0092	0.0104	0.0081	0.0112
19	0.0083	0.0102	0.0088	0.0105	0.0083	0.0115
20	0.0083	0.0100	0.0088	0.0104	0.0086	0.0118
21	0.0084	0.0110	0.0092	0.0116	0.0086	0.0117
22	0.0083	0.0095	0.0087	0.0097	0.0082	0.0118
23	0.0082	0.0103	0.0089	0.0099	0.0086	0.0118
24	0.0091	0.0146	0.0101	0.0157	0.0082	0.0122
25	0.0094	0.0162	0.0099	0.0153	0.0086	0.0115
26	0.0088	0.0136	0.0095	0.0127	0.0086	0.0116
27	0.0090	0.0124	0.0095	0.0119	0.0085	0.0120
28	0.0088	0.0124	0.0093	0.0111	0.0085	0.0116
29	0.0084	0.0107	0.0091	0.0103	0.0085	0.0115
30	0.0084	0.0106	0.0091	0.0100	0.0085	0.0115
31	0.0083	0.0107	0.0090	0.0104	0.0085	0.0117
32	0.0084	0.0115	0.0093	0.0103	0.0085	0.0118
33	0.0086	0.0119	0.0092	0.0108	0.0084	0.0115
34	0.0101	0.0196	0.0095	0.0099	0.0088	0.0105
35	0.0086	0.0125	0.0088	0.0093	0.0082	0.0109
36	0.0082	0.0100	0.0086	0.0089	0.0082	0.0105
37	0.0097	0.0103	0.0104	0.0135	0.0095	0.0147
38	0.0094	0.0091	0.0101	0.0126	0.0090	0.0140
変動 係数	0.06	0.18	0.05	0.14	0.04	0.08

---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 922

June 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写のお問い合わせは  
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1  
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕  
E-mail:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp