

目標信頼性指標については、考慮する事象が単一の破壊モードである場合には、現行設計法が担保する平均信頼性指標がそのまま目標値となる。しかしながら、本問題のように、事象が複数破壊モードの和事象で定義される直列システムの場合には、表-8に示したシステム信頼性指標の平均値 β_{T_sys} をそのまま目標値 β_T とすることは適切ではないと考えられる。なぜなら、仮に各モードの信頼性指標が β_{T_sys} を満足するように設計したとしても、設計結果が保有するシステム信頼性指標は、必ず β_{T_sys} を下回るからである。そのため、本研究では、吉岡ら¹⁸⁾による方法にならい、まず、FORMにより β_{T_sys} を満足する断面を決定して、その断面における各モードの信頼性指標のうちから最小値を抽出した。さらに、これを全事例について平均して式(29)に用いる目標値 β_T とした。この方法により得られた信頼性指標は2.46となり、 β_{T_sys} よりも若干高い値となっている。

(2) 感度係数

感度係数は、吉岡ら¹⁸⁾による方法にならい、各破壊モード別に β_T を満足する断面をまず決定し、その断面における感度係数を全事例について平均した値を用いることとした。

図-12は、この方法によって算出した感度係数の全事例についての平均値を示したものである。また図-13には、比較のため一般的な5形式の防波堤に関する感度係数¹⁸⁾を示している。これらによると、消波ブロック被覆上部斜面堤は、他の形式と比較して、水平波力・揚圧力、および上載荷重の感度が低いことがわかる。消波ブロック被覆上部斜面堤は、消波ブロックの被覆効果により揚圧力が低減され、斜面部に作用する鉛直下向波力と打ち消し合う傾向にある。これに伴い、式(19a)における波力に

関する偏微分項の値が小さくなることが要因と考えられる。また、上載荷重の感度係数は水平波力との相関を考慮(式(21)参照)しているが、同様の理由により相関係数が小さくなり、これに伴い感度係数も小さくなっているものと考えられる。

5.2 部分係数の算出

(1) 部分係数の提案

以上の検討により得られた目標信頼性指標 β_T および各設計因子の確率分布(表-4, 表-6)、感度係数(図-12)を用い、式(29)によって算出した部分係数を表-9に示す。さらに、レベル1信頼性設計法の安全性照査式を以下に示す。

(滑動)

$$\gamma_f f_k (\sum_i \gamma_{W_i} W_{ik} - P_{Bd} - \gamma_{P_U} P_{Uk}) \geq \gamma_{P_H} P_{Hk} \quad (30)$$

(転倒)

$$a_1 \sum_i \gamma_{W_i} W_{ik} - a_2 P_{Bd} - a_3 \gamma_{P_U} P_{Uk} \geq a_4 \gamma_{P_H} P_{Hk} \quad (31)$$

(支持力)

$$\sum \left\{ \left[\gamma_{c'} c'_k s + (\gamma_{w'} w'_k + \gamma_q q_k) \gamma_{\tan \phi'} \tan \phi'_k \right] \times \frac{\sec \theta}{1 + \tan \theta \gamma_{\tan \phi'} \tan \phi'_k / F_f} \right\} / \gamma_a \left\{ \sum (\gamma_{w'} w'_k + \gamma_q q_k) \sin \theta + a_5 \gamma_{P_H} P_{Hk} / r \right\} \geq F_f = 1.0$$

$$P_{Bd} = \rho_w g (\gamma_{w_l} w_l^k + h) B_C \quad (33)$$

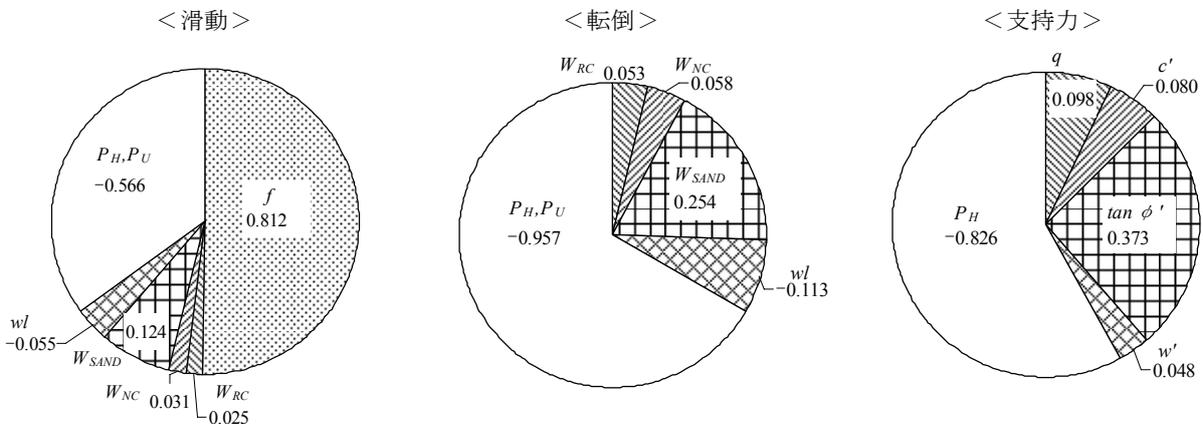


図-12 感度係数分布 (全事例平均, 消波ブロック被覆上部斜面堤)

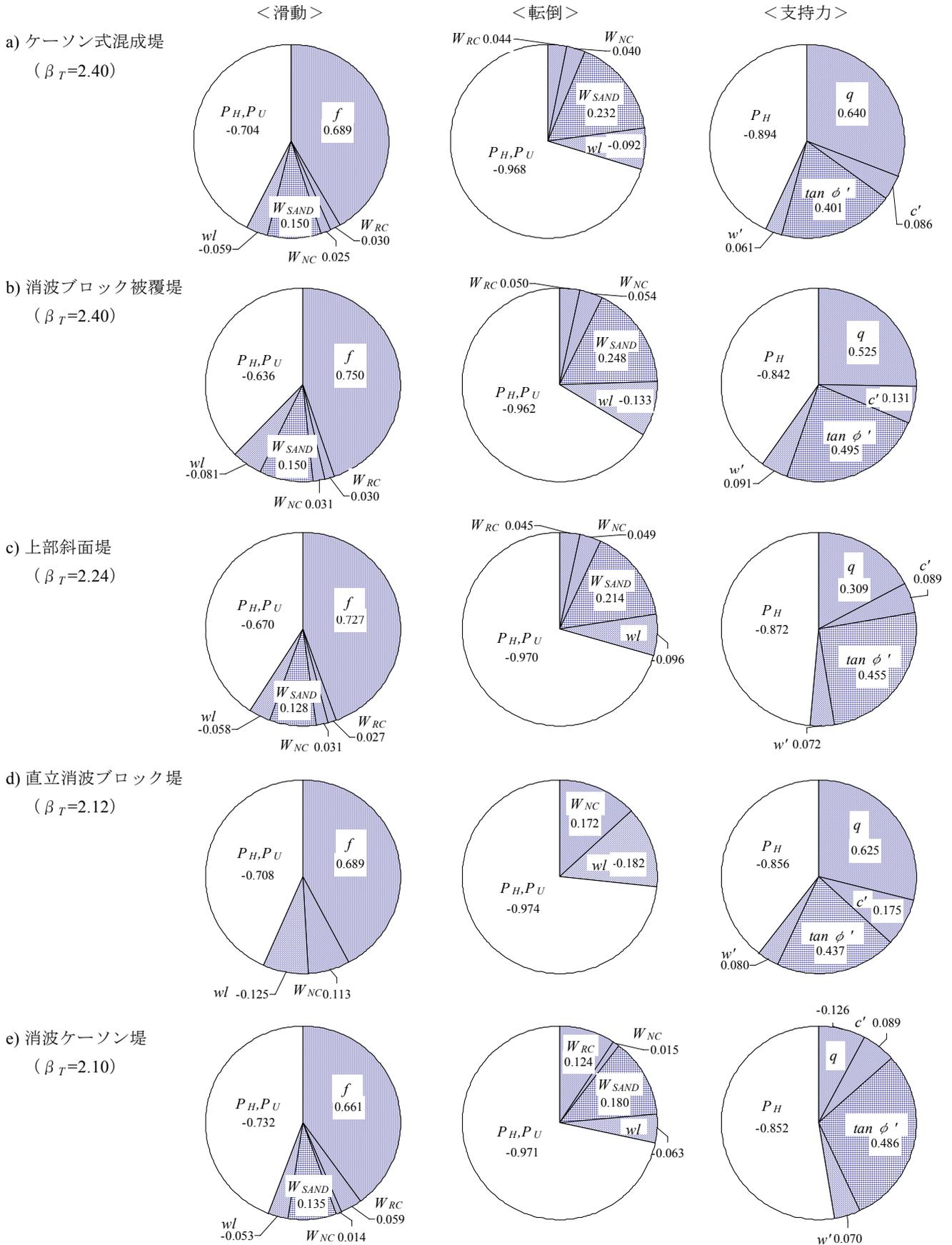


図-13 感度係数分布 (全事例平均, 吉岡ら¹⁸⁾による5形式)

表-9 消波ブロック被覆上部斜面堤の部分係数

		消波ブロック被覆上部斜面堤				
目標システム信頼性指標 β_T		2.38				
目標システム破壊確率 P_{JT}		0.0087				
γ 計算に用いる目標信頼性指標 β_T		2.46				
		γ	α	B	V	
滑動	摩擦係数 f	0.74	0.812	1.060	0.150	
	水平波力 P_H 水深変化緩	0.93	-0.566	0.737	0.187	
	揚圧力 P_U 水深変化急	1.04		0.813	0.201	
	潮位 wl	$r_{wl}=1.5$	1.03	-0.055	1.000	0.200
		$r_{wl}=2.0, 2.5$	1.05		1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00		-	-
	自重	W_{RC} 鉄筋コンクリート	0.98	0.025	0.980	0.020
W_{NC} 無筋コンクリート		1.02	0.031	1.020	0.020	
W_{SAND} 中詰砂		1.01	0.124	1.020	0.040	
転倒	水平波力 P_H 水深変化緩	1.06	-0.957	0.737	0.187	
	揚圧力 P_U 水深変化急	1.20		0.813	0.201	
	潮位 wl	$r_{wl}=1.5$	1.06	-0.113	1.000	0.200
		$r_{wl}=2.0, 2.5$	1.11		1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00		-	-
	自重	W_{RC} 鉄筋コンクリート	0.98	0.053	0.980	0.020
		W_{NC} 無筋コンクリート	1.02	0.058	1.020	0.020
W_{SAND} 中詰砂		1.00	0.254	1.020	0.040	
基礎の支持力	水平波力 P_H 水深変化緩	1.02	-0.826	0.737	0.187	
	揚圧力 P_U 水深変化急	1.15		0.813	0.201	
	上載荷重 q	0.45	0.098	0.459	0.036	
	上載荷重載荷幅 $2b'$	2.34	-	-	-	
	分割片重量 w'	1.00	0.048	1.000	0.030	
	$\tan \phi'$	0.94	0.373	1.000	0.066	
	粘着力 c'	0.99	0.080	1.000	0.066	
構造解析係数 γ_a	0.81	-	-	-		

※) α : 感度係数, B : 平均値の偏り (平均値/特性値), V : 変動係数

※) 水深変化緩/急: 海底勾配 1/30 未満/以上

※) r_{wl} : 既往最高潮位 (H.H.W.L.) とさく望平均満潮位 (H.W.L.) の比

※) 水平波力・揚圧力, 上載荷重の確率分布 (B , V) は, 表-4 及び表-6 をもとに算出した値

※) 表中の上載荷重 q , および上載荷重載荷幅 $2b'$ の部分係数の取り扱い「港湾の施設に関する技術上の基準・同解説 付属書⁵⁾ (以下, 付属書と略記)」と異なるため, 以下に示す付属書記載の取り扱いを優先されたい.

- ・ 付属書において上載荷重 q の部分係数は, 平均値に対する値が示されている (他の形式の防波堤について). これに準じた場合, 表-9 に示す上載荷重の部分係数 (0.45) は 0.98 となる. また, 上載荷重載荷幅 $2b'$ の平均値の算出に関しては, 表-9 に示す部分係数を使用せず, 各設計因子の平均値の偏りを用いて, 直接, 平均値を算出する方法を標準としている.

ここに、

- γ : 添字の設計因子に対する部分係数
- 添字 k, d : それぞれ特性値および設計用値
- F_f : 耐力の設計用値と作用効果の設計用値の比を示す補助パラメータ
- ρ_w : 海水の密度 (kg/m^3)
- g : 重力加速度 (m/s^2)
- wl : 潮位 (m)
- h : 水深 (m)
- B_C : 堤体幅 (m)

その他の記号については、式(22)～式(24)と同一である。

また、式(33)は、ケーソンがフーチングを有しない場合の浮力設計用値の算定式である。ここで、水平波力・揚圧力に対する部分係数に1.0を下回る値があるのは、表-4および表-6より得られる波力の平均値の偏り B が、1.0を大きく下回っているためである。

支持力安全性照査式(32)における F_f は、簡易ビショップ法による収束計算において、抵抗モーメントが起動モーメントを上回ることを確認するための補助パラメータである。また、上載荷重の特性値 q_k は、波力、浮力および堤体重量の部分係数を用いない特性値をもとに計算される値であることに注意を要する。さらに上載荷重載荷幅 $2b'$ (等分布荷重に換算した上での載荷幅)に対する部分係数は、その特性値を平均値に変換するための係数である。

また、4.1で述べたとおり、支持力信頼性指標の計算においては、簡易ビショップ法による性能関数自体に内在する安全性の余裕度を考慮するため、水平波力を作用させる位置をマウンド上面ではなく水平波圧の重心位置としている。しかしながら、レベル1設計において水平波力の作用位置を波圧の重心位置に変更することは、設計者の便を考えると得策ではない。そこで、レベル1設計における支持力安全性照査においては、この点を考慮するために構造解析係数に相当する γ_a を導入する¹⁸⁾。 γ_a の決定方法は、次に述べる目標システム破壊確率に対する分散最小案とする。消波ブロック被覆上部斜面堤の γ_a は0.81となり、起動モーメントの設計用値を減ずる結果となった。

通常、部分係数の最適案の判定は式(34)によって行う。すなわち、目標システム破壊確率 P_{fT} とレベル1設計結果が保有するシステム破壊確率 P_{fL1} の分散が最小となる案を最適案として採用する。

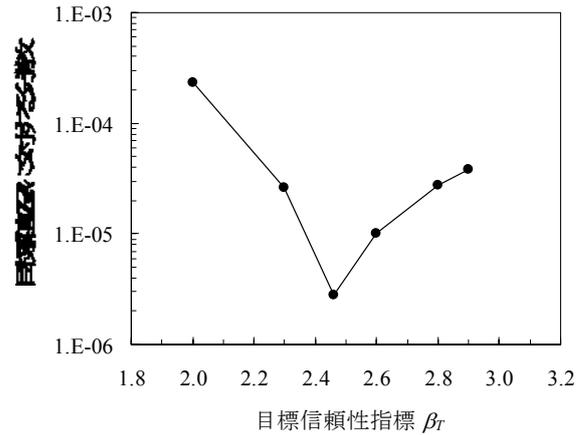


図-14 最適案の判定

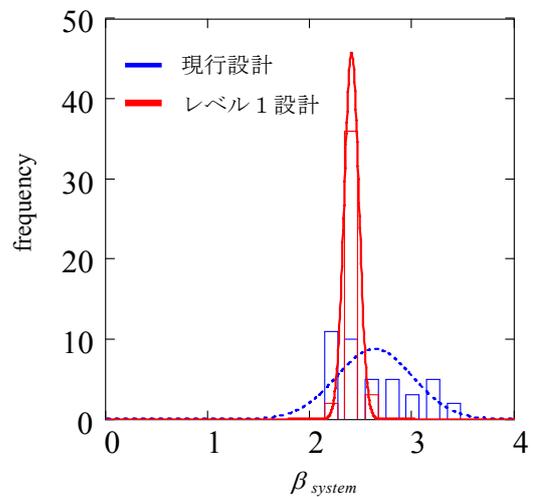


図-15 システム信頼性指標のばらつき

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{fT} - P_{fL1,i})^2 \rightarrow \min \quad (34)$$

式(29)に用いる β_T を変化させた場合の式(34)による判定結果を図-14に示す。5.1で定めた目標信頼性指標 $\beta_T = 2.46$ において、目標値に対する分散が最小となっており、今回構築した部分係数のキャリブレーションが適切になされていると判断できる。

図-15は、レベル1設計法と現行設計法が保有するシステム信頼性指標のばらつきを比較したものである。レベル1設計法によるシステム信頼性指標のばらつきは、現行設計に比較して極めて小さくなっていることがわかる。また、平均値は2.39であり、目標値2.38とほぼ同じ値を示している。図-16にレベル1設計法と現行設計法による設計結果の堤体重量比(レベル1設計/現行設計)のヒストグラムを示す。堤体重量比は80%~100%程度に分布しており、平均値は97%である。これは、レベル1設計法の適用により現行設計法と同程度のコスト、

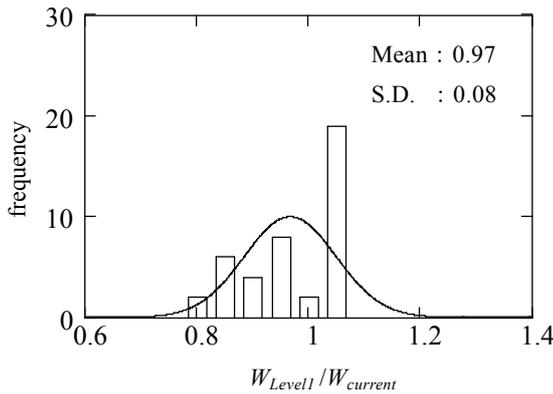


図-16 堤体重量比の分布

もしくは若干のコスト縮減となることを示している。

以上のことから、本研究で提案した部分係数を用いれば、現行設計法と比較して同程度のコスト、もしくは若干のコスト縮減となり、かつ、過度に安全もしくは過度に危険な施設が減少し、合理的な設計が可能となるといえる。

6. 簡便な方法による部分係数の算出

これまでの検討のように、部分係数を算出するためには、多数の建設事例に基づく信頼性の評価によって、部分係数のキャリブレーションを実施する必要がある。しかし、この作業は容易ではなく、レベル1設計法を用いる設計者にこれを強いるのは現実的ではない。そこで、本章では、信頼性解析を実施することなく、簡便に、複数の構造的特徴を有する重力式防波堤の部分係数を算出する方法について検討を行う。検討対象は、これまでと同様に、消波ブロック被覆上部斜面堤とし、前章で求めた部分係数（以下、Targetと称す）との比較検討を行う。

6.1 部分係数の算出方法

下記の方法で部分係数を簡便に算出する（以下、簡便法と称す）。①それぞれの特性を個別に有する防波堤（本研究の場合、消波ブロック被覆堤もしくは上部斜面堤）いずれかの部分係数をベースとする。なお、ベースとする形式は、波力算定式推定精度が、目的とする形式（本研究の場合、消波ブロック被覆上部斜面堤）の波力算定式推定精度と最も近い形式とする。②感度の高い（信頼性指標に及ぼす影響が大きい）波力についてのみ、平均値の偏り、変動係数を、目的とする形式（本研究の場合、消波ブロック被覆上部斜面堤）の波力算定式推定精度を用いて修正する。

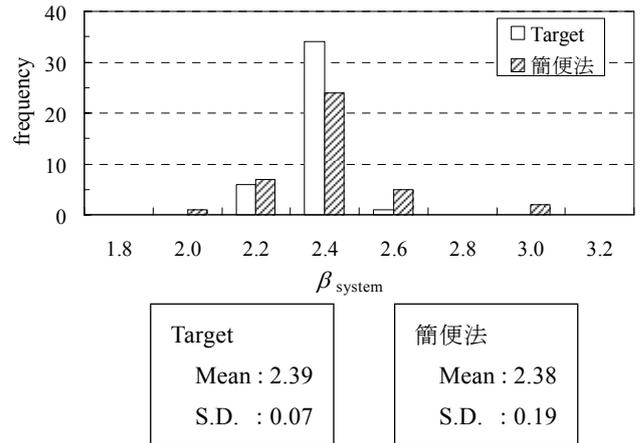


図-17 設計結果の比較

6.2 部分係数の算出

表-4より、消波ブロック被覆上部斜面堤の波力算定式推定精度は、上部斜面堤より消波ブロック被覆堤に近い。そのため、消波ブロック被覆堤の部分係数¹⁸⁾をベースとする。波力の平均値の偏り、変動係数は、消波ブロック被覆堤とケーソン式混成堤の波力推定精度¹⁸⁾および、表-2に示す上部斜面堤の波力補正係数の推定精度を用いて、2.2に示す方法と同様にして算出した。簡便法により算出した部分係数を表-10に示す。同表には比較のためTargetの値も併記している。

6.3 設計結果の比較検討

簡便法による部分係数を用いてレベル1設計を行い、設計断面が保有しているシステム信頼性指標をTargetと比較して図-17に示す。簡便法によるシステム信頼性指標は、平均的にはTargetと同程度の値となっているが、ばらつきが大きく、システム信頼性指標が3.0以上の大きな値を示すケースがある。

システム信頼性指標が比較的大きな値を示すケースは全て基礎の支持力により断面が決定しており、この場合のシステム信頼性指標の平均値、標準偏差は、 $\mu = 2.49$ 、 $\sigma = 0.24$ であり、平均値、標準偏差ともTargetと比較して大きい。この要因として、簡便法では構造解析係数 γ_a を適切に評価できない（現行の基礎の支持力の照査式が保有する安全性の余裕度を評価できない）ことが考えられる。本検討の場合、Targetの $\gamma_a = 0.81$ に対して、簡便法では便宜的に、ベースとなる消波ブロック被覆堤の $\gamma_a = 1.00$ を用いている（表-10参照）。これにより、簡便法では基礎の支持力の照査が厳しくなり、堤体幅が増加し、結果としてシステム信頼性指標が大きくなっているものと考えられる。

一方、滑動が主要な破壊モードとなるケースに関して

表-10 簡便法による消波ブロック被覆上部斜面堤の部分係数

		Target				簡便法 (消波ブロック被覆上部斜面堤ベース)				
目標システム信頼性指標 β_T		2.38				(2.38)				
目標システム破壊確率 P_{FT}		0.0087				(0.0087)				
γ 計算に用いる目標信頼性指標 β_T		2.46				(2.40)				
		γ	α	B	V	γ	α	B	V	
滑動	摩擦係数 f	0.74	0.812	1.060	0.150	0.77	0.750	1.060	0.150	
	水平波力 P_H	水深変化緩	0.93	-0.566	0.737	0.187	0.92	-0.636	0.730	0.170
	揚圧力 P_U	水深変化急	1.04		0.813	0.201	1.05		0.810	0.190
	潮位 wl	$r_{wl}=1.5$	1.03	-0.055	1.000	0.200	1.04	-0.081	1.000	0.200
		$r_{wl}=2.0, 2.5$	1.05		1.000	0.400	1.08		1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00		-	-	1.00		-	-
	自重	W_{RC} 鉄筋コンクリート	0.98	0.025	0.980	0.020	0.98	0.030	0.980	0.020
W_{NC} 無筋コンクリート		1.02	0.031	1.020	0.020	1.02	0.031	1.020	0.020	
W_{SAND} 中詰砂		1.01	0.124	1.020	0.040	1.01	0.150	1.020	0.040	
転倒	水平波力 P_H	水深変化緩	1.06	-0.957	0.737	0.187	1.02	-0.962	0.730	0.170
	揚圧力 P_U	水深変化急	1.20		0.813	0.201	1.17		0.810	0.190
	潮位 wl	$r_{wl}=1.5$	1.06	-0.113	1.000	0.200	1.06	-0.133	1.000	0.200
		$r_{wl}=2.0, 2.5$	1.11		1.000	0.400	1.13		1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00		-	-	1.00		-	-
	自重	W_{RC} W_{RC}	0.98	0.053	0.980	0.020	0.98	0.050	0.980	0.020
		W_{NC} W_{NC}	1.02	0.058	1.020	0.020	1.02	0.054	1.020	0.020
W_{SAND} W_{SAND}		1.00	0.254	1.020	0.040	1.00	0.248	1.020	0.040	
基礎の支持力	水平波力 P_H	水深変化緩	1.02	-0.826	0.737	0.187	0.98	-0.842	0.730	0.170
	揚圧力 P_U	水深変化急	1.15		0.813	0.201	1.12		0.810	0.190
	上載荷重 q		0.45	0.098	0.459	0.036	0.93	0.525	0.367	0.058
	上載荷重載荷幅 $2b'$		2.34	-	-	-	3.25	-	-	-
	分割片重量 w'		1.00	0.048	1.000	0.030	1.00	0.047	1.000	0.030
	$\tan \phi'$		0.94	0.373	1.000	0.066	0.95	0.353	1.000	0.061
	粘着力 c'		0.99	0.080	1.000	0.066	0.99	0.112	1.000	0.061
構造解析係数 γ_a		0.81	-	-	-	1.00	-	-	-	

■ ベースとした形式の値を変更した箇所

※) α : 感度係数, B : 平均値の偏り (平均値/特性値), V : 変動係数

※) 水深変化緩/急: 海底勾配 1/30 未満/以上

※) r_{wl} : 既往最高潮位 (H.H.W.L.) とさく望平均満潮位 (H.W.L.) の比

は $\mu=2.33$, $\sigma=0.02$ となり, システム信頼性指標のばらつきは非常に小さく, 平均値はTargetより若干小さい値となった. また, 今回の検討では転倒が主要な破壊モードとなるケースはなかったが, 表-10に示す部分係数の値から判断すると, 滑動と同様に, システム信頼性指標はTargetと比較して若干小さめになると考えられる.

7. まとめ

①本研究では, 消波ブロック被覆上部斜面堤を例にとり, 複数の構造的特徴を有する重力式防波堤の波力算定式

推定精度を, その特徴を個別に有する防波堤の波力算定式推定精度を用いて評価する方法を示した.

②評価した消波ブロック被覆上部斜面堤の波力算定式を用いて信頼性解析を行い, 消波ブロック被覆上部斜面堤の部分係数を算出した. 算出した部分係数を用いてレベル1信頼性設計を行えば, 現行設計と同程度のコスト, もしくは若干のコスト削減となり, かつ, 過度に安全もしくは過度に危険な施設が減少し, 合理的な設計が可能であることを示した.

③信頼性解析を実施することなく簡便に部分係数を算出する方法 (簡便法) について検討を行った. 簡便法で

は構造解析係数 γ_0 が適切に評価できない(現行の基礎の支持力の照査式が保有する安全性の余裕度を評価できない)ため、信頼性解析を実施して求めた部分係数による設計結果と比較して、システム信頼性指標が大きく算出されるケースがある。一方、滑動については、システム信頼性指標の平均値が若干小さくなったが、そのばらつきは僅かであった。このことから、滑動が主要な破壊モードとなる事例においては、簡便法で求めた部分係数を用いた場合も、十分合理的な設計が可能であると考えられる。

(2006年11月17日受付)

謝辞

本研究を行うにあたり、沖縄総合事務局開発建設部から消波ブロック被覆上部斜面堤の設計事例を提供して頂きました。また、電源開発(株)吉岡健氏(前港湾施設研究室交流研究員)には始終ご指導頂きました。さらに、港湾施設研究室の方々から貴重な意見を多く頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1)運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，(社)日本港湾協会，1999.
- 2)大堀晃一・森川雅行・大野光嘉・石田国夫：上部斜面堤に作用する波力に関する実験的研究，第33回海岸工学講演会論文集，1986，pp.357-361.
- 3)奥村樹郎・土田 孝：土質定数のばらつきを考慮した不同沈下の推定，港湾技術研究所報告，Vol.20，No.3，1981，pp.131-168.
- 4)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，Vol.12，No.3，1973，pp.31-69.
- 5)国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説付属書，(社)日本港湾協会，2007.
- 6)小林正樹，寺師昌明，高橋邦夫，中島謙二郎，小谷 拓：捨石マウンドの支持力の新しい計算法，港湾技術研究所報告，Vol.26，No.2，1987，pp.371-411.
- 7)佐藤孝夫・山縣延文・古川正美・高橋重雄・細山田得三：消波ブロック被覆上部斜面堤の水理特性—那覇港大水深域における新構造防波堤の開発—，海岸工学論文集，第39巻，1992，pp.556-560.
- 8)高橋重雄・谷本勝利・下迫健一郎：消波ブロック被覆堤直立部の滑動安定性に対する波力とブロック荷重，港湾技術研究所報告，Vol.29，No.1，1990，pp.53-75.
- 9)竹中秀夫・西田 穰・榊原 弘・殿最浩司・佐藤広章：現地観測結果を用いた波浪変形計算および波力の推定精度に関する研究，海岸工学論文集，第46巻，1999，pp.826-830.
- 10)長 尚：基礎知識としての構造信頼性設計，山海堂，1995.
- 11)土田 孝・湯 怡新：港湾構造物の円弧すべり解析における最適な安全率に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.35，No.1，1996，pp.117-146.
- 12)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法の適用，土木学会論文集，No.689，I-57，2001，pp.173-182.
- 13)中田邦夫・池田龍彦・岩崎三日子・北野雅三・藤田 隆：上部斜面堤の現地建設に伴う水理模型実験，第30回海岸工学講演会論文集，1983，pp.313-316.
- 14)星谷 勝，石井 清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.
- 15)細山田得三・高橋重雄・谷本勝利：離島港湾における上部斜面堤の適用性について，海岸工学論文集，第41巻，1994，pp.706-710.
- 16)森平倫生・国田 治：斜面壁堤の水理特性に関する模型実験，第26回海岸工学講演会論文集，1979，pp.295-298.
- 17)吉岡 健・長尾 毅：ケーソン式防波堤におけるレベル1信頼性設計法の合理的な適用方法に関する研究，海岸工学論文集，第51巻，2004，pp.856-860.
- 18)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，2005，No.20.
- 19)吉田郁政・鈴木修一：限界地震動指標を用いた損傷確率の効率的な算定方法，構造工学論文集，Vol.49A，2003，pp.201-206.
- 20)Cornell, C. A.: A Probability-Based Structural code, Journal of the American Concrete Institute, Vol.66, No.12, 1969, pp.974-985.
- 21)Ditlevsen, O.: Narrow reliability bounds for structural systems, Jour. of Struct. Mechanics, Vol.7, No.4, 1979, pp. 453-472.
- 22)Goda, Y.: Performance-based design of faisson breakwaters with approach to extreme wave statistics, Coastal Engineering Journal, JSCE, Vol.43, No.4, 2001, pp.289-316.
- 23)Hasofer, A. M. and Lind, N. C.: Exact and Invariant Second moment Code Format, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.100, No.EM1, 1974, pp.111-121.
- 24)Owen, D. B.: Tables for computing bivariate normal

probabilities, Ann, Math. Stat., Vol.27, 1956, pp. 1075-1090.

25) Rackwitz, R., and Fiessler, B. : Structural Reliability Under Combined Random Load Sequences, Computers and Structures, Vol.9, 1978, pp.489-494.

26) Takayama, T. and N. Ikeda: Estimation of sliding failure probability of present breakwaters for probabilistic design, Rept. Port and Harbour Res. Inst., Vol.31, No.5, 1993, pp.3-32.

付録A 検討対象施設の設計条件・設計結果

表-A.1 各ケースの設計条件・設計結果

No.	設計波高 (H_D) m	有義波高 ($H_{1/3}$) m	周期 (T) s	入射角 (β) °	海底勾配 —	設計潮位 (wl) m	摩擦係数 (f) —	前面水深 (h) m	設置水深 (h') m	港外側 マウント肩幅 (BM_1) m	港内側 マウント肩幅 (BM_2) m	上部工 天端高 (C_T) m	現行設計 堤体幅 ($B_{C_Current}$) m	レベル1設計 堤体幅 (B_{C_Level1}) m
1	13.4	7.5	13.5	15	0.0077	0.5	0.75	21	16	10.6	12.5	8	14.2	12.01
2	16.68	9.4	14	10.3	0.01	0.5	0.75	21.5	17	12.6	9	9.9	18.3	15.26
3	14.05	9.8	14	0	0.009	0.5	0.75	17.5	13.5	11.5	7	10.3	16.4	13.53
4	12.5	7.1	13.5	0	0.008	0.7	0.6	21	16	12.5	27	7.8	12.9	13.53
5	6.73	3.74	14	20	0.005	0.5	0.6	13	8.5	9	6	4.24	8.05	8.43
6	13.07	8.5	13.5	25	0.013	0.5	0.75	16	13	7	13	9	12.4	10.63
7	14.3	8	13	7	0.014	1.5	0.6	22	16.5	8	7	9.5	16.35	16.44
8	14.3	8	13	0	0.005	1.4	0.6	27.5	18.5	33	43	9.4	15.3	15.08
9	13.3	7.4	13	0	0.005	1.4	0.6	26.5	16.5	28	33	8.8	15.85	16.63
10	13.3	7.4	11	0	0.023	0.4	0.6	14.7	12.5	13.5	11	7.8	12.7	13.34
11	14.36	8	14	7	0.002	1.4	0.6	23.2	16.5	10	7	9.4	19.1	19.97
12	6.4	3.5	13	23	0.01	1.5	0.6	12.7	9.5	10	9	5	8.45	8.84
13	5.9	3.3	7	0	0.01	0.8	0.6	19.5	10.7	6.5	8	4.1	6.25	5.57
14	5.94	3.3	7	5.5	0.01	0.8	0.6	19.5	10.7	6.5	8	4.1	6.35	5.62
15	5.9	3.3	7	0	0.01	0.8	0.6	19.5	10.7	6.5	8	4.1	5.9	5.64
16	9.6	5.5	12	12	0.009	1.6	0.6	13.1	10.5	12	6	7.1	10.6	10.93
17	13	8.4	12.5	0	0.01	1.3	0.75	18.5	13	15.8	9.5	9.7	13.55	11.12
18	13	8.4	13.5	0	0.02	3.5	0.6	13.5	10	15.5	9.5	11.9	13	13.66
19	13.05	8.5	14	0	0.01	0.9	0.75	14.5	12	11	14.09	9.4	12.85	10.84
20	13.05	8.5	14	0	0.01	0.9	0.75	15.6	12	15.6	8.9	9.4	14.25	11.78
21	13.05	8.5	14	0	0.01	0.9	0.75	17	13	15.6	9.5	9.4	13.75	11.54
22	8.64	4.8	10.8	30	0.01	1.67	0.6	12	9	7.5	4	6.47	8.1	8.38
23	4.95	2.8	5.9	30	0.005	2.2	0.6	17.2	10	6.5	5	5	4.55	4.24
24	4.1	2.3	7.5	43	0.004	2.1	0.6	12.6	9	11.1	12	4.4	3.95	3.65
25	4.5	2.5	7.6	42	0.004	2.1	0.6	12.2	9	7	5	4.6	4.45	4.15
26	6.6	3.7	14.8	0	0.01	3.1	0.6	13	9	8	6	6.8	10.4	10.85
27	7.5	5.1	11.1	38	0.01	1.3	0.6	8.6	6.5	5	5.43	6.4	6.35	6.58
28	12.7	7.7	13	0	0.003	1.5	0.6	17	14	9.6	6	9.2	14.6	13.6
29	5.3	2.9	11	43	0.02	0.4	0.6	6.6	5	9.4	6	3.3	4.75	4.91
30	10.5	5.8	11	15	0.01	0.4	0.6	18.7	13.5	13.65	19.6	6.2	10.85	11.43
31	10.6	6	15	0	0.01	1.5	0.6	14.1	10	13.2	5.7	7.5	13.9	14.53
32	10.8	6	8.7	25	0.0091	0.9	0.6	18.4	13	10.1	6.5	6.9	8.7	8.14
33	12	6	11.3	7	0.0167	0.9	0.75	18.5	12	9.6	6.5	6.9	10.1	9.09
34	5.4	3	7.3	0	0.01	0.8	0.6	19	11	6	8	3.8	5.85	5.59
35	10.08	5.78	13	40	0.0346	1.42	0.75	12.1	9	10	10	7.2	8.45	8.74
36	8.02	4.71	13	59	0.0033	1.33	0.6	10	7.5	8	5.5	6.04	6.2	6.43
37	8.02	4.71	13	59	0.0033	1.33	0.6	10	7.5	8	5.5	6.04	6.2	6.43
38	4.21	2.34	4.7	14	0.01	4.05	0.6	15	7	7	5.5	6.39	4.65	4.35
39	9.1	5.5	14	22	0.01	3.1	0.6	10	7	19.52	10.03	8.6	8.25	7.69
40	16.9	9.9	15.1	44.5	0.005	3.2	0.75	20	13	8	14.5	13.1	15.5	16.2
41	18.1	10.3	15.4	0	0.025	3.2	0.75	35	15	10.6	5.6	13.5	27.3	28.51

※) 堤体幅 B_C : フーチングを含まないケーソン幅

※) ケースNo.39~41以外はケーソン式混成堤の設計条件を適用

付録B 斜面部波力と直立部波力の案分方法

よって、波圧作用面全体（斜面部+直立部）に関する波力算定式推定精度の変動係数 V_{x+y} は以下のように求められる。

表-3より、

$$B_x = P_{xm} / P_{xk} = 0.60 \quad (\text{B.1})$$

$$B_y = P_{ym} / P_{yk} = 0.96 \quad (\text{B.2})$$

$$V_x = P_{xs} / P_{xm} = 0.33 \quad (\text{B.3})$$

$$V_y = P_{ys} / P_{ym} = 0.12 \quad (\text{B.4})$$

$$\begin{aligned} V_{x+y} &= P_s / P_m \\ &= 0.47 P_{xk} / 4.16 P_{xk} \\ &= \underline{0.11} \end{aligned}$$

ここで、 B は平均値の偏り、 P は消波ブロック被覆上部斜面堤の波力算定式推定精度、添え字 x, y はそれぞれ斜面部、直立部を、また、添え字 m, k, s はそれぞれ平均値、特性値、標準偏差を表す。

式(B.1), (B.2) および斜面部と直立部の波力の比0.27を用いると、波圧作用面全体（斜面部+直立部）に関する波力算定式推定精度の平均値 P_m 、特性値 P_k は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} P_m &= P_{xm} + P_{ym} \\ &= 0.60 P_{xk} + 0.96 P_{yk} \\ &= 0.60 P_{xk} + 0.96 \times (1/0.27) P_{xk} \\ &= 4.16 P_{xk} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_k &= P_{xk} + P_{yk} \\ &= P_{xk} + (1/0.27) P_{xk} \\ &= 4.70 P_{xk} \end{aligned}$$

よって、波圧作用面全体（斜面部+直立部）に関する波力算定式推定精度の平均値の偏り B_{x+y} は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} B_{x+y} &= P_m / P_k \\ &= 4.16 P_{xk} / 4.70 P_{xk} \\ &= \underline{0.89} \end{aligned}$$

また、式(B.3), (B.4) より、

$$\begin{aligned} P_{xs} &= 0.33 \times P_{xm} \\ &= 0.33 \times 0.60 \times P_{xk} \\ P_{ys} &= 0.12 \times P_{ym} \\ &= 0.12 \times 0.96 \times P_{yk} \\ &= 0.12 \times 0.96 \times (1/0.27) P_{xk} \end{aligned}$$

波圧作用面全体（斜面部+直立部）に関する波力算定式推定精度の標準偏差を P_s とすると、

$$\begin{aligned} P_s &= \sqrt{(0.33 \times 0.60 \times P_{xk})^2 + (0.12 \times 0.96 \times P_{yk} / 0.27)^2} \\ &= 0.47 P_{xk} \end{aligned}$$