

レベル1信頼性設計法における部分安全係数の設定方法に関する一考察

電源開発（株） エンジニアリング事業部 正会員 ○吉岡 健
 国土技術政策総合研究所 港湾施設研究室長 正会員 長尾 毅

1. はじめに

ISO2394（構造物の信頼性に関する一般原則）を契機として、土木および建築構造物への信頼性設計法の適用に関する研究が各方面で進められている。中でも、レベル1信頼性設計法（部分安全係数法）は、汎用性、利便性の観点から標準的な設計法としてその導入が期待されている¹⁾。部分安全係数は、各設計因子の推定精度、感度係数および目標安全性指標をもとにしたキャリブレーションにより設定される。ここで、研究の進展により精度の良い算定式が提案されたり、通常用いる算定式の代わりに各種実験、試験、調査により直接的に評価した等の理由によって、設計因子の推定精度が向上した場合には、得られた成果を何らかの方法によって設計に反映させることが望まれる。白戸ら²⁾は、地盤調査における信頼性の地盤定数への反映方法として、部分安全係数は変えずに、それに乗ずる特性値を推定精度に応じて評価する方法を提案したが、別案として、特性値は変えずに部分安全係数を再設定する方法も考えられる。その際には、前述した感度係数が設計因子の推定精度に依存することから、その影響について検討する必要がある。

以上の背景のもと、本報告ではケーソン式防波堤の耐波安定問題を対象とし、その支配因子である波力算定精度が向上した場合の部分安全係数の再設定方法と設計結果に及ぼす影響について検討を行った。

2. 検討内容

部分安全係数は、各設計因子（確率変数）の特性値に乗じることによって、破壊点（設計点）における値に変

換する係数であり、確率変数 X の部分安全係数 γ_x は(1)式によって決定される。

$$\gamma_x = (1 - \alpha_x \beta_T V_x) B_x \quad (1)$$

ここで、 α_x は確率変数 X の感度係数、 β_T は目標安全性指標、 V_x, B_x はそれぞれ確率変数 X の変動係数と平均値の偏り（平均値と特性値の比）である。感度係数は安全性指標の各確率変数軸への方向余弦で表され、構造物の安全性に各設計因子が及ぼす重要度を意味する。

検討は、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76の建設事例（ケーソン式混成堤38例、消波ブロック被覆堤38例）を用い、設計因子の従う確率分布³⁾をもとに、FORM(First-Order Reliability Method)による信頼性解析を実施した。ここでは耐波安定問題の支配モードである滑動破壊のみを対象とし、現行の「港湾の施設の技術上の基準」に従い、水平方向の力の釣合いによって性能関数を定義している。検討ケースは、現行の合田式による波力算定式推定精度（Case1）に対して、その変動係数および目標安全性指標を変えた3ケースとした（表-1）。さらに、算定精度向上時の部分安全係数の算出法として、感度係数を再評価して算定する方法（Test1）と、感度係数は変えずにCase1における値をそのまま用い、波力算定式の変動係数のみを変え

表-1 検討ケース

検討 ケース	波力算定式推定精度 (変動係数 標準値 V)	目標安全性指標 β_T
Case1	V	2.4
Case2	$V/2.0$	2.4
Case3	$V \times 2.0$	5.0

表-2 感度係数 α および部分安全係数 γ （ケーソン式混成堤）

設計因子	Case1		Case2-Test1		Case2-Test2	Case3-Test1		Case3-Test2
	α	γ	α	γ	γ	α	γ	γ
波力、揚圧力	-0.704	1.04	-0.611	0.94	0.97	-0.541	1.55	1.79
潮位	-0.043	1.03	-0.047	1.03	1.03	-0.030	1.03	1.05
摩擦係数	0.689	0.79	0.771	0.76	0.79	0.830	0.39	0.50
自重 鉄筋コンクリート	0.030	0.97	0.031	0.97	0.97	0.020	0.97	0.97
無筋コンクリート	0.025	1.01	0.026	1.01	1.01	0.017	1.01	1.01
中詰砂	0.150	1.00	0.160	1.00	1.00	0.104	0.99	0.98

※波力、揚圧力は水深変化緩の場合、潮位は既往最高潮位とさく望平均満潮位の比が1.5の場合

キーワード 信頼性設計法、部分安全係数、安全性指標、感度係数、ケーソン式防波堤

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 TEL 046-844-5029 FAX 046-844-5081

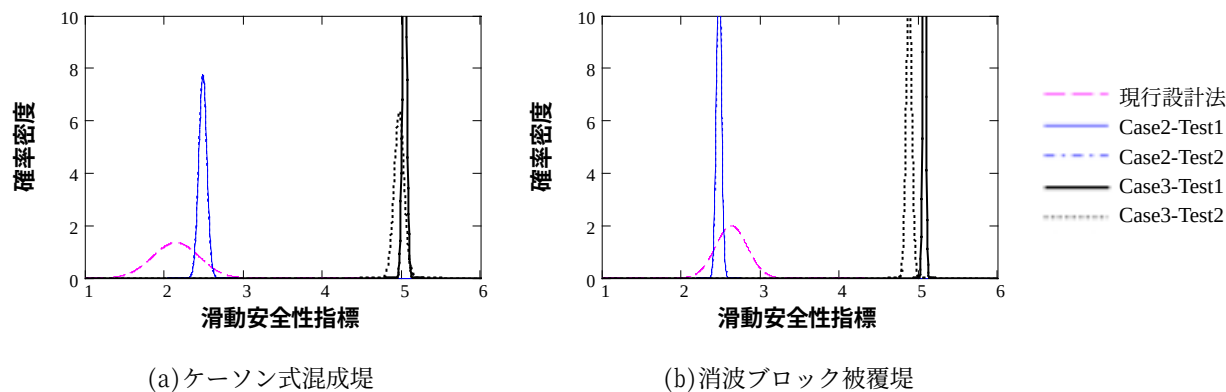


図-1 安全性指標のばらつき

て簡易に算定する方法（Test2）について、レベル1信頼性設計による安全性指標のばらつきを比較した。次に、各ケースについてレベル1設計断面を比較することにより、算定精度向上による効果を検討した。

3. 検討結果

表-2に、ケーソン式混成堤における感度係数と部分安全係数の算出結果を示す。感度係数は、目標安全性指標 β_T に基づくレベル2信頼性設計によって決定した断面における値を、全事例について平均して算出した。波力算定式推定精度を変えることにより感度係数は変化しており、特にその絶対値が大きい波力および摩擦係数について変化度が高い。これによって、Test1、Test2における部分安全係数の値に有意な差が見られる。また、Case3では目標安全性指標を高く設定しているために、部分安全係数の値も大きく変化している。

図-1はレベル1信頼性設計によって決定した断面の保有安全性指標のばらつきを示したものである。波力算定精度の向上によって部分安全係数が変化するにもかかわらず、Case2におけるTest1とTest2の保有安全性指標のばらつきは同程度である。このことは、一度部分安全係数のキャリブレーションを実施しておけば、その後設計因子の推定精度が変化した場合に、設計の合理性を損なわない簡易な方法によって部分安全係数を修正できることを意味する。しかしながら、Case3のTest2では、安全性指標のばらつきは相変わらず小さいものの、その平均値が目標値を若干下回っている。したがって、目標安全性指標もしくは設計因子の変動係数が大きい場合には、感度係数を再評価した正確なキャリブレーションが要求されるものと考えられる。

図-2にレベル1信頼性設計による設計断面の比較を示す。Case1に比較して、Case2は平均して堤体幅が約5%減少している。これは波力の算定精度の向上により

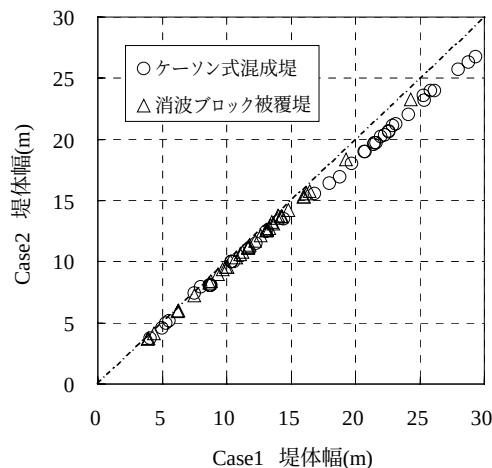


図-2 設計断面の比較

性能関数としての標準偏差が減少したためであり、波力の感度係数が高いケーソン式混成堤の方が堤体幅縮減効果は高い。このことから、波力算定精度の向上が建設コスト縮減に寄与することがわかる。

4. おわりに

本検討により、①設計因子の推定精度の向上によって感度係数は変化するものの、これを考慮しない簡易な方法によって部分安全係数を算出しても設計の合理性は維持される、②しかし、目標安全性指標や設計因子の変動係数が大きい場合には再キャリブレーションが必要である、③レベル1信頼性設計法の適用により、設計因子の推定精度の向上を設計に反映することが可能となり、経済性が発揮されることを示した。

参考文献

- 1) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本，2002。
- 2) 白戸真大，福井次郎，松井謙二，石田雅博：地盤調査の信頼性を反映させた地盤定数の特性値の評価，JCROSSAR2003 論文集，pp.923-927，2003。
- 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適用，土木学会論文集 No.689，I -57，pp.173-182，2001。