

## 信頼性の変化に対応した部分係数設定方法のケーソン式防波堤への適用

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

今後の標準設計法として期待されているレベル1信頼性設計法（部分係数法）においては、各設計因子の推定精度、感度係数および目標信頼性指標をもとにしたキャリブレーションにより部分係数を設定する必要がある。ここで、適切なキャリブレーションの実施後において、研究の進展等の理由により設計因子の推定精度が向上する場合や、ライフサイクルコスト等の観点から目標安全性水準が変化する場合が当然考えられる。著者らは、一次信頼性理論 FORM に基づく検討によって、このような信頼性の変化に対応した部分係数の修正方法を提案している<sup>1)</sup>。本報告は、提案法の実務への適用例として、ケーソン式防波堤の耐波安定問題を対象に検討した結果を報告するものである。

### 2. 提案法の概要

確率変数  $X$  の部分係数  $\gamma_X$  は次式により決定される。

$$\gamma_X = (1 - \alpha_X \beta_T V_X) B_X \quad (1)$$

ここに、 $\beta_T$  は目標信頼性指標、 $\alpha_X, V_X, B_X$  はそれぞれ確率変数  $X$  の感度係数、変動係数および平均値の偏り（平均値と特性値の比）である。信頼性の変化に対応した部分係数の修正方法として、提案法他に、再キャリブレーションによって新たな感度係数を評価し部分係数を修正する方法（再校正法）と、信頼性変化前の感度係数をそのまま用いて部分係数を修正する方法（簡便法）がある。標準正規化平面上的各設計点を図-1に示す。提案法は、図に示すように感度係数を変えずに設計点を破壊線上に位置させることによって、目標値に等しい設計結果を得る方法である。このとき、式(1)による部分係数の修正に用いる目標信頼性指標として、設計因子の推定精度が変化する場合式(2)を、目標信頼性指標が変化する場合

は式(3)を用いる。

$$\beta_T' = \beta_T \left( \frac{1}{|\cos \theta|} \sqrt{\frac{\lambda^2}{n_k^2} \tan^2 \theta + 1} - \frac{\lambda}{n_k} \tan^2 \theta \right) \quad (2)$$

$$\lambda = \left[ c \beta_T V_{b,k} \sqrt{n_k^2 \left( 1 - \frac{\beta_T V_{b,k}}{\cos \theta} \right)^2 - \{ (n_k \beta_T V_{b,k})^2 - 1 \} \tan^2 \theta} + \left( 1 - \frac{\beta_T V_{b,k}}{\cos \theta} \right) \right] / \left\{ \left( 1 - \frac{\beta_T V_{b,k}}{\cos \theta} \right)^2 - (\beta_T V_{b,k})^2 \tan^2 \theta \right\},$$

$$c = \begin{cases} +1 & : \cos \theta < 0 \\ -1 & : \cos \theta > 0 \end{cases} \quad (\text{ここで, } \theta = \cos^{-1} \alpha_{b,k})$$

$$\beta_{T,a}' = \beta_{T,a} \frac{\sqrt{\lambda^2 \tan^2 \theta + 1}}{\cos \theta (\lambda \tan^2 \theta + 1)} \quad (3)$$

$$\lambda = \left[ -\beta_{T,a} V_j \sqrt{\left( 1 - \frac{\beta_{T,a} V_j}{\cos \theta} \right)^2 - \{ (\beta_{T,a} V_j)^2 - 1 \} \tan^2 \theta} + \left( 1 - \frac{\beta_{T,a} V_j}{\cos \theta} \right) \right] / \left\{ \left( 1 - \frac{\beta_{T,a} V_j}{\cos \theta} \right)^2 - (\beta_{T,a} V_j)^2 \tan^2 \theta \right\}$$

(ここで、 $\theta = \cos^{-1} \alpha_{b,j}$ )

ここに、 $\alpha_{b,k}, V_{b,k}, n_k$  は対象因子の精度変化前の感度係数、変動係数および精度変化率、 $\beta_{T,b}, \beta_{T,a}$  は変化前後の目標信頼性指標、 $\alpha_{b,j}, V_j$  は最も感度係数の大きい耐力因子の感度係数および変動係数である。

### 3. 検討内容

検討には、全国広範囲より収集した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

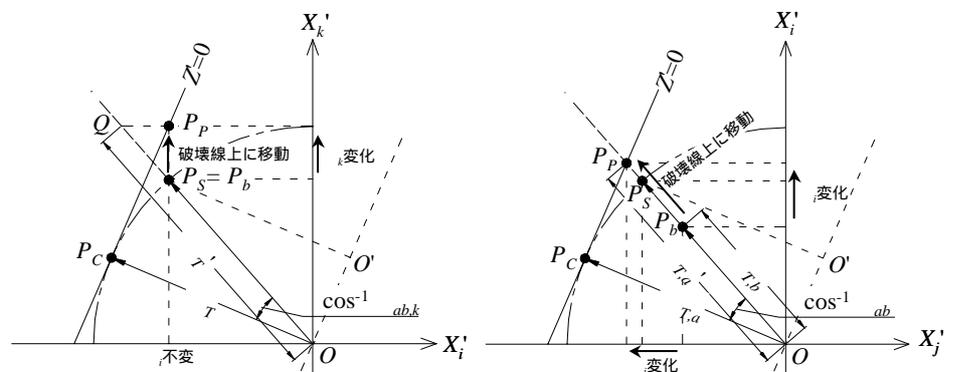


図-1 標準正規化平面上的各設計点（変化前  $P_b$ 、再校正法  $P_c$ 、簡便法  $P_s$ 、提案法  $P_p$ ）

キーワード 信頼性設計法、部分係数、信頼性指標、感度係数、ケーソン式防波堤

連絡先 〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1 TEL 03-3546-3222 FAX 03-3546-9423

表 - 1 感度係数  $\alpha$  および部分係数  $\gamma$  (ケーソン式混成堤)

設計因子	Case0		Case1				Case2			
	$\alpha$	$\gamma$	再校正法		簡便法	提案法	再校正法		簡便法	提案法
			$\alpha$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$
波力	-0.704	1.04	-0.272	0.77	0.81	0.87	-0.375	1.08	1.37	1.43
潮位	-0.043	1.03	-0.052	1.03	1.03	1.03	-0.024	1.03	1.05	1.05
摩擦係数	0.689	0.79	0.942	0.69	0.79	0.79	0.922	0.32	0.50	0.45
自重 鉄筋コンクリート	0.030	0.97	0.032	0.97	0.97	0.97	0.016	0.97	0.97	0.97
無筋コンクリート	0.025	1.01	0.029	1.01	1.01	1.01	0.014	1.01	1.01	1.01
中詰砂	0.150	1.00	0.176	1.00	1.00	1.00	0.084	1.00	0.98	0.98

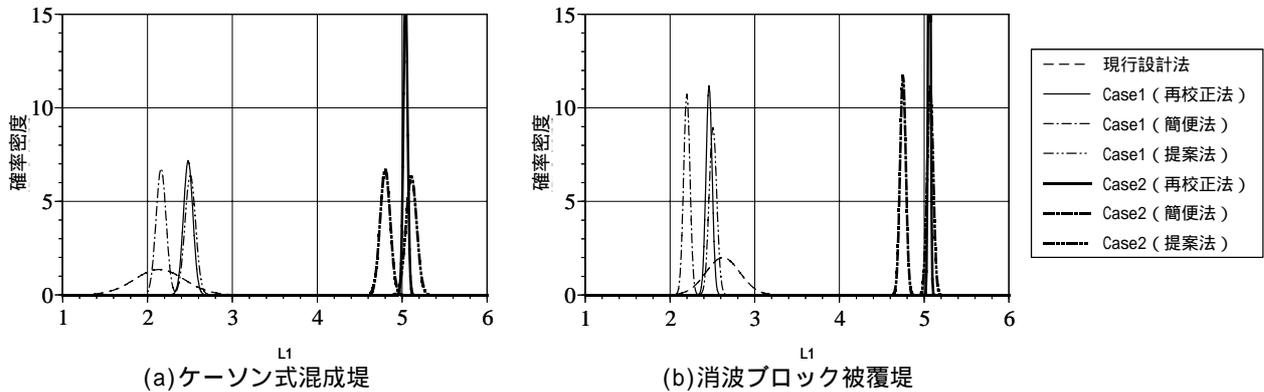


図 - 2 信頼性指標のばらつき

い、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た。検討ケースは、信頼性変化前の標準ケース (Case0) に対し、Case1 では波力の変動係数が 1/4 に向上した場合、Case2 では目標信頼性指標が 2.4 から 5.0 に変化した場合を想定した。

#### 4. 検討結果

表 - 1 に、感度係数と部分係数の算出結果を示す。ここで感度係数は、信頼性指標が目標値に一致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。また、本検討では実務への適用性を検証する目的から、部分係数を小数第 2 位で丸めている。まず、Case1 では、波力の推定精度を向上させたことにより、その感度が減少する一方で、摩擦係数の感度が増加している。その結果、再校正法では、波力および摩擦係数の部分係数が Case0 に比べて大きく変化している。簡便法、提案法では、推定精度を向上させた波力の部分係数のみが変化し、その他の因子の部分係数は変化しない。また、簡便法と提案法では、波力の部分係数に有意な差が見られる。これは、式(2)による  $\gamma$  の値が、ケーソン式混成堤で 4.22、消波ブロック被覆堤で 4.43 となっており、目標値 2.4 よりも大きく増加するためである。Case2 では、目標信頼性指標を高く設定したために、これを満足する堤体幅が Case0 に比べ平均して約 2.5 倍増加しており、これによ

って、摩擦係数の感度が増加し、逆に波力の感度が減少している。そのため、再校正法では、波力および摩擦係数の部分係数が大きく変化するとともに、簡便法、提案法と比べても優位な差が生じている。ここで、提案法における式(3)による  $T_{a'}$  の算出結果は、ケーソン式混成堤で 5.47、消波ブロック被覆堤で 5.40 となっている。

図 - 2 は、各部分係数修正法を用いた設計結果の保有信頼性指標  $L_1$  のばらつきを評価したものである。図には、現行設計法 (許容滑動安全率 1.2) の場合も併記している。まず、Case1 に着目すると、簡便法では  $L_1$  の平均値は目標値を下回っており、やや危険な設計となっている。これに対し、提案法では  $L_1$  の平均値は目標値にほぼ等しい。また、 $L_1$  のばらつきを比較すると、簡便法、提案法のいずれの方法によっても、現行設計法に比べて極めて小さく、合理的な設計となっている。Case2 においても、簡便法では  $L_1$  の平均値は目標値を下回っているのに対し、提案法では  $L_1$  の平均値は目標値にほぼ等しい結果となっている。

以上のことから、実用的な問題に対しても、本提案法が十分適用可能であると言える。

#### 参考文献

- 1) 吉岡 健, 長尾 毅: 信頼性の変化に対応した部分係数の設定方法, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.401-412, 2005.