

I-A 475

防波堤の滑動および支持力の安全性指標の相互比較

運輸省港湾技術研究所 正会員 長尾 毅

1. はじめに 防波堤の全体系の安定検討では、滑動・転倒・支持力破壊の3つの破壊モードを考慮する。このうち、転倒が支配的となるケースはほとんどなく、滑動か支持力かのどちらかで断面が決まるケースがほとんどである。滑動では、防波堤ケーソンに作用する水平方向の力の釣り合いを検討し、支持力では、簡易ビショップ法を用いた円形すべり破壊モードに対して安定であることを確認する。本研究では、現行設計法によって設計された防波堤の滑動と支持力の安全性指標について比較検討を行った。

2. 検討方法 防波堤の設計事例のうち、波圧作用時の滑動と支持力の両方が現行設計法によってクリティカルと判断される断面18例を収集し検討対象とした。対象事例の安全率は、支持力：1.0～1.1（許容安全率=1.0）、滑動：1.20～1.25（許容安全率=1.2）である。安全性指標 β の算出は、性能関数を $Z=R-S$ （ R ：抵抗力， S ：荷重）とし、安全性指標は $\beta=(\mu_R-\mu_S)/(\sigma_R^2+\sigma_S^2)^{1/2}$ （ μ ：平均値， σ ：標準偏差）によって算出した。設計因子の従う確率分布はすべて正規分布とした。

3. 解析結果 設計因子の持つばらつきとして、既往の実験結果などをもとにして、表-1に示す値¹⁾を設定した。 α および γ は、 $\alpha=X_{om}/X_o$ ， $\gamma=\sigma_o/X_o$ で示される値で、ここに、 X_o ：因子Xの推定値， X_{om} ：因子Xの真値の平均値， σ_o ：因子Xの真値の標準偏差である。

滑動に関する性能関数は $Z=\mu W-P_H$ で表される。ここに、 μ ：摩擦係数， W ：有効鉛直荷重， P_H ：水平波圧である。安全性指標の分布を図-1に示す。平均値は3.3である。 β の値はパラメータの変化に敏感であり、例えば摩擦係数のばらつきを低めに²⁾（ $\alpha=1.1$ ， $\gamma=0.16$ ）見積もると、平均値は2.5程度に低下する。また、収集事例の安全率は1.20から1.25の間でばらつきが少ないため、安全率と安全性指標の相関は強くない（図-2）。

支持力に関する性能関数は $Z=M_R-M_S$ で表される。ここに、 M_R および M_S は、それぞれすべり円に関する抵抗モーメントと滑

表-1 ばらつきの程度¹⁾

	α	γ	備 考
波力関連精度			
沖波波高	1.0	0.1	
波浪変形	0.97	0.04	水深変化緩
	1.06	0.09	水深変化急
碎波変形	0.87	0.09	
波圧算定	0.91	0.17	ケーソン式堤
	0.84	0.10	消波ブロック堤
単位体積重量			
RC	0.98	0.02	
NC	1.02	0.02	
中詰砂	1.02	0.04	
摩擦係数	1.15	0.11	
設計潮位			
H.H.W.L.	1.0	0	
H.W.L.	1.5	0	
	2.5		

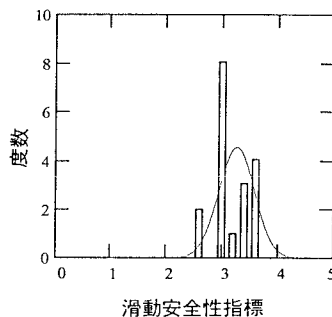


図-1 滑動安全性指標

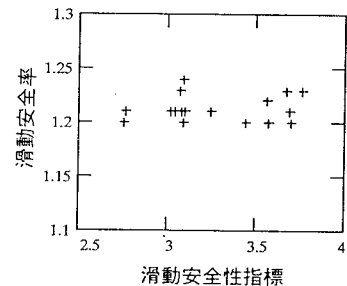
図-2 安全率と β の関係

表-2 土質のばらつき

	V_γ	V_{ms}	V_{ss}
Case1	0.1	0	0
Case2	0.03	0	0
Case3	0.0	0	0
Case4	0.03	0.1	0.1
Case5	0.03	統計	0.1
Case6	0.03	統計	統計

表-3 支持力安全性指標

	β の分布	平均値
Case1	1.34～3.17	1.92
Case2	1.45～3.35	2.07
Case3	1.47～3.39	2.11
Case4	1.42～3.24	2.01
Case5	1.41～3.56	2.17
Case6	-0.17～4.05	1.05

動モーメントである。現行設計法の簡易ビショップ法において最小の安全率を与える円弧について β を算出した。マウンド及び基礎地盤の単位体積重量と強度については、表-2に示すように6ケースの変動係数を設定した。表中、 V_v は単位体積重量の変動係数、 V_{ms} はマウンド強度の変動係数、 V_{gs} は基礎地盤の変動係数である。また、「統計」と示したもののうち、マウンドの強度は既往の実験結果³⁾の統計処理結果($\alpha_{tan\phi}=0.93$, $\gamma_{tan\phi}=0.12$, $\alpha_c=2.95$, $\gamma_c=0.58$)であり、基礎地盤の強度は設計に用いられた土質試験の N 値をダナムの式($\phi=(12N)^{1/2}+15$)で ϕ に換算して求めたばらつきを設定した場合である。Case 6のみ、データ数は7である。検討結果を表-3、Case4に関する結果を図-3に示す。 β の値に土質の重量や強度が与える影響度は低いことがわかる。また、安全率が1.0~1.1の範囲にあるため、安全性指標の間に若干の相関性が認められる(図-4)。

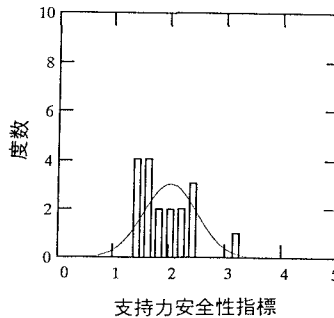


図-3 支持力安全性指標(Case4)

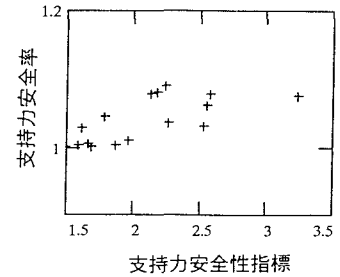


図-4 安全率と β の関係

計」と示したもののうち、マウンドの強度は既往の実験結果³⁾の統計処理結果($\alpha_{tan\phi}=0.93$, $\gamma_{tan\phi}=0.12$, $\alpha_c=2.95$, $\gamma_c=0.58$)であり、基礎地盤の強度は設計に用いられた土質試験の N 値をダナムの式($\phi=(12N)^{1/2}+15$)で ϕ に換算して求めたばらつきを設定した場合である。Case 6のみ、データ数は7である。検討結果を表-3、Case4に関する結果を図-3に示す。 β の値に土質の重量や強度が与える影響度は低いことがわかる。また、安全率が1.0~1.1の範囲にあるため、安全性指標の間に若干の相関性が認められる(図-4)。

4. 安全性指標の相互比較 支持力の安全性指標の値は滑動のものに比べて小さく、安全性が低い結果となった(図-5)。実際は、滑動破壊した例に比べて支持力破壊した例は圧倒的に少なく、解析結果は現実とは一致しない。この原因として以下のことが考えられる。①現行設計法では滑動と支持力の許容安全率が異なり、それぞれ1.2と1.0である。すなわち、支持力の方が荷重に対して抵抗力を低めに設定していることとなるため、計算上 β の値は小さくなる。②破壊形態を考えると、ビショップ法の破壊モードは実際の破壊モードと必ずしも一致しない。ビショップ法による安全性照査方法は経験的に定められたものである性格が強く、信頼性設計法の適用にはなじまない点がある。③既往の実験結果⁴⁾で、ビショップ法で安全率が1.0相当の時に支持力破壊するのは、水平荷重がある程度継続して作用する場合であり、実際の防波堤の波圧時の状況とは必ずしも一致しない。この影響も考えられる。

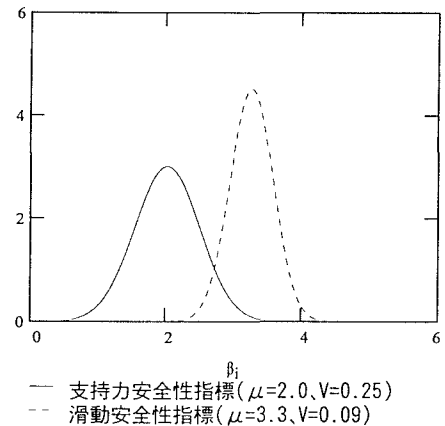


図-5 安全性指標の比較

5. まとめ 今回得られた結論をまとめると次のようになる。

- ①滑動に比べて支持力の安全性指標の計算値は低い。これは、実際に観察される被災の発生状況とは整合しない。現行設計法の許容安全率の差、破壊モードの設計と現実との違いなどがその原因として考えられる。
- ②支持力の安全性指標の値に土質の重量・強度が及ぼす影響は小さい。

防波堤の全体系の設計に信頼性設計法を適用するにあたり、特に支持力について問題点が多いといえる。今後はビショップ法以外の手法の適用も考慮する必要がある。

参考文献 1) 長尾 毅, 門脇陽治, 寺内 潔: 信頼性設計法による防波堤の全体系安全性(第1報)~滑動安全性に関する検討~, 港湾技術研究所報告, Vol.34, No.1, 1995, pp.69~113. 2) 高山知司, 鈴木康正, 河合弘泰, 藤咲秀可: 防波堤の信頼性設計に向けて, 港湾技研資料, No.785, 1994. 3) 水上純一, 小林正樹: マウンド用捨石材の大型三軸試験による強度特性, 港湾技研資料, No.699, 1991. 4) 小林正樹他: 捨石マウンド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.