

ケーソン式岸壁に対するレベル2信頼性設計法の適用について

復建調査設計（株）正会員○佐貫哲朗

国土技術政策総合研究所正会員長尾毅

復建調査設計（株）フェロー会員吉浪康行

1. はじめに 重力式港湾構造物の外的安定照査には安全率を判定基準とした手法が採用されているが、安全率は構造物の安全性を定量的に表すパラメータとは必ずしもいえず、設計手法の合理化の観点から確率論をベースとする信頼性設計法の適用が望まれる。筆者らは各種の安全係数を考慮するレベル1信頼性設計法のケーソン式岸壁の外的安定設計への適用手法を検討しているが¹⁾、本研究ではさらにレベル2信頼性設計法の適用方法を検討するとともに、レベル1信頼性設計法との合理性の比較検討を行った。

2. 検討条件 設計パラメータの従う確率分布を表-1に示す¹⁾。表中の α はパラメータの平均値と設計用値の比、 V はパラメータの変動係数を表す。レベル2信頼性設計法による安定照査は、港湾の技術基準²⁾による滑動および転倒の安全性照査式である式(1)、式(2)をもとに性能関数を定義し、破壊点に関する安全性指標を算出し行う。

表-1 パラメータの確率分布

	α	V
単位体積重量		
鉄筋コンクリート	0.98	0.02
無筋コンクリート	1.02	0.02
中詰砂	1.02	0.04
摩擦係数	1.06	0.15
土圧		
静的成分	1.00	0.10
動的成分の位相差	-0.50	0.30
設計震度		
A地区 第1種地盤	1.52	0.25
第2種地盤	1.17	0.25
第3種地盤	0.91	0.26
B地区 第1種地盤	1.74	0.25
第2種地盤	1.25	0.25
第3種地盤	0.99	0.25
C地区 第1種地盤	1.57	0.25
第2種地盤	1.27	0.25
第3種地盤	1.01	0.25
D地区 第1種地盤	1.58	0.25
第2種地盤	1.23	0.25
第3種地盤	0.98	0.25
E地区 第1種地盤	2.05	0.25
第2種地盤	1.49	0.26
第3種地盤	1.11	0.26
前面潮位 R_{WL}	0.60	0.30
残留水位 R_{RWL}	1.10	0.20

R_{WL} =前面潮位/朔望平均満潮面
 R_{RWL} =残留水位/前面潮位

$$F_s = \frac{f(\sum W_i - B + E_v)}{k_h \sum W_i + E_H + R + D} \tag{1}$$

$$F_t = \frac{a \sum W_i - bB + cE_v}{dk_h \sum W_i + eE_H + iR + jD} \tag{2}$$

ここに

- W_i

: ケーソン構成材料 i の自重(kN)

E_v

: 鉛直土圧合力(kN)

k_h

: 設計震度

R

: 残留水圧合力(kN)

$a \sim j$

: 各荷重のアーム長さ(m)
- B

: 浮力(kN)

f

: 摩擦係数

E_H

: 水平土圧合力(kN)

D

: 動水圧合力(kN)

F_s, F_t

: 安全率

表-2に示す45ケースのモデル断面に対して、各破壊モードの安全性指標がいずれも所要の安全性指標である目標安全性指標 β_T を上回る堤体幅を求める。ただし支持力および浮遊時の検討を行っていないことを考慮して、実際のケーソン式岸壁の統計分析から堤体幅の下限値をケーソン高さの1/2とした。得られた堤体幅における各破壊モード

の安全性指標より破壊確率を算出し、さらに2つの破壊モードの相関を考慮したシステム破壊確率を算出する。以上の計算を $\beta_T=0.70 \sim 2.00$ の間で0.05ピッチで行い、現行設計法による平均破壊確率に対するシステム破壊確率の分散が最小となる β_T を最適案とする。現行設計法による平均破壊確率は港湾の技術基準における特級、A級、B級の重要度別に設定し、それぞれ0.14、0.09、0.03である¹⁾。また、本研究で扱う破壊確率は全て再現期間75年の地震動作用時のものである。

表-2 検討ケース

水 深(m)		-5.5	-7.5	-10.0
H. W. L.(m)		+1.00		
天 端 高(m)		+2.00		
設計震度	地域別震度	A, B, C, D, E		
	地盤種別係数	1種, 2種, 3種		
	重要度係数	特級, A級, B級		
上載荷重(kN/m ²)		5	5	10

3. 目標安全性指標の最適案判定結果 重要度別の最適案判定結果を図-1に示す。これより、重要度B級については目標安全性指標が1.15、重要度A級については1.35、重要度特級では1.85のケースでそれぞれ分散が最小となり最適と判定される。現行設計法で設計された断面の破壊確率の分散は重要度B級で 1.30×10^{-2} 、重要度A級で 7.45×10^{-3} 、重要度特級で 1.20×10^{-3} であり、最適案と現行設計法の破壊確率の分散を比較すると、重要度B級では現行設計法の約1/4となり、A級では1オーダー、特級では3オーダー下回る結果となった。最適なケースにおけるシステム破壊確率の平均値は重要度B級で0.11、A級で0.08、特級で0.03であり、安全性指標に直すとそれぞれ1.23, 1.41, 1.88である。

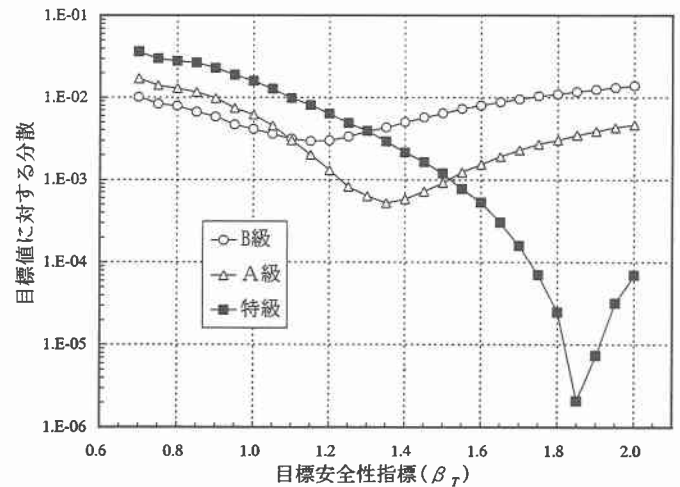


図-1 最適案判定結果

4. レベル1信頼性設計法との比較 次に信頼性設計法のレベルの違いによる合理性の差を検討するため破壊確率の標準偏差を現行設計法、レベル1設計法、レベル2設計法で比較した結果を図-2に示す。ここで、分散ではなく標準偏差により比較を行ったのは、レベル1信頼性設計法の検討ケース数¹⁾と本研究における検討ケース数が異なるためである。重要度B級についてはレベル1設計法とレベル2設計法で標準偏差はほとんど同じ値となり、合理性に差が付かない結果となった。これは、安全性指標の目標値が低いレベルにおいては、堤体幅がケーソン高さの1/2という前提条件で決まる割合が多いことが原因である。重要度A級についてはレベル2設計法の標準偏差の方がレベル1設計法の標準偏差を下回っており、より合理的と判断されるがその差はわず

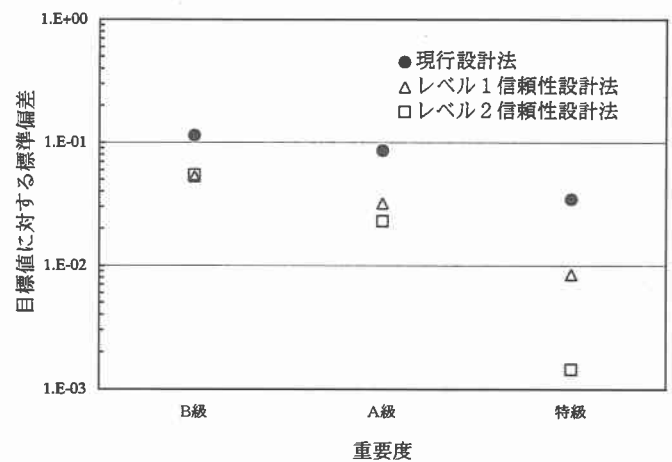


図-2 破壊確率の標準偏差

かである。これに対して重要度特級についてはレベル2設計法の合理性が強く発揮され、レベル1設計法と比較しても標準偏差が非常に小さくレベル2設計法を導入するメリットが高いことがわかる。

5. まとめ 本研究により得られた主要な結論は以下の通りである。

- ①ケーソン式岸壁の再現期間75年の地震動作用時の安定性について、レベル2信頼性設計法によりコードキャリブレーションを行い目標安全性指標を提案した。最適と判定された目標安全性指標は、重要度B級の施設に対して1.15、A級について1.35、特級について1.85となった。
- ②レベル2信頼性設計法を導入することにより、重要度特級およびA級の施設についてはレベル2信頼性設計法の適用性は高いと判断されたが、重要度B級の施設については目標安全性水準に対するばらつきの程度がレベル1信頼性設計法と比較して大差がない結果となった。

参考文献

- 1)佐貫哲朗,長尾毅,吉浪康行:岸壁の設計における部分安全係数の設定について,土木学会中国支部研究発表会発表概要集,第53回,pp.213-214,2001. 2)運輸省港湾局監修,日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説,1999.