

岸壁の設計における部分安全係数の設定について

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。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、設計された構造物の安全性には大きなばらつきがあると考えられる。本研究で取り扱う信頼性設計法は確率論をベースとしており、構造物の安全性のばらつきの小さい設計が可能である。また将来的にはライフサイクルコストを考慮した経済設計への適用も期待される。本研究はケーソン式岸壁の耐震安定性に対するレベル 1 信頼性設計手法の提案を行うものであり、設計パラメータの従う確率分布の推定、現行設計法の安全性水準の検討、信頼性設計法によるコードキャリブレーションを行い、地震荷重作用時の外的安定照査における安全係数の算出を行った。

2. 設計パラメータの従う確率分布 表-1 にパラメータの確率分布の一覧を示す。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。設計震度の確率分布は港湾の技術基準¹⁾における地域別震度の基となった野津ら²⁾の検討に準じて、過去110年間の地震記録から全国280地点において算出された基盤入射加速度に、距離減衰関係及び極値統計解析に関するばらつきを考慮して、再現期間75年の基盤加速度の確率分布を推定し、これに地盤による増幅特性及び震度算定式に関するばらつきを考慮して推定した。土圧については静的成分と動的成分に分け、動的成分は慣性力と逆位相と考え位相差パラメータを導入した。位相差パラメータの確率分布は実際の破壊確率と解析により得られる破壊確率が整合するように設定した。その他のパラメータについては既往の研究成果を参考とした³⁾。

3. 現行設計法の安全性水準の検討 表-2 に示す計240ケースのモデル断面に対し、現行設計法で滑動及び転倒の検討を行いケーソンの幅を決定した。支持力に関しては支配的な破壊モードとなるケースは少ないため検討を行っていないが、ケーソンの幅と高さの比の下限値を0.5とすることにより支持力破壊を起こすような断面は取り除いた。決定された断面に対して、先に推定したパラメータの確率分布を用いて滑動及び転倒の破壊点に関する安全性指標を算出し、安全性指標から破壊確率を求めるとともに両破壊モードの相関を考慮した総合破壊の安全性指標及び破壊確率を算出した。図-1 に総合安全性指標の頻度分布図を示す。港湾の技術基準では設計震度の算出に重要度係数を考慮し安全性の差別化を行っており、図-1 はこの重要度別の整理となっている。現行設計法により設計されたケーソン式岸壁の総合安全性指標の平均値は、重要度 B 級(重要度

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_{HL}	0.60	0.30
残留水位 R_{RWL}	1.10	0.20

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

表-2 検討条件

水深(m)	-5.5	-7.5	-10.0
H.W.L.(m)	+1.00, +3.00		
天端高(m)	H.W.L. + 1.00		
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 1.0, 1.2 1.0, 1.2, 1.5		
上載荷重(kN/m ²)	5	5	10

係数1.0)で1.18, A級(重要度係数1.2)で1.51, 特級(重要度係数1.5)で2.05となった。総合破壊確率の平均値ではそれぞれ0.14, 0.09, 0.03となる。信頼性設計におけるキャリブレーションではこの平均破壊確率を目標値とする。また全ての重要度係数を含めたトータルでは総合安全性指標の平均値1.42, 変動係数0.38となっている。なお平均値の算出などの計算結果の整理にあたっては、水深などの条件分布が実際の分布と一致するようにサンプル数の調整を行っている。

4. 信頼性設計法によるコードキャリブレーション 本研究は設計実務への適用性を考慮し、安全係数を用いるレベル1信頼性設計法を対象とした。安全係数は先に算出した現行設計法の平均破壊確率との分散が最小となるようにキャリブレーションを行い最適値を求めた。B級についてのキャリブレーション結果を図-2及び図-3に示す。図-2は目標安全性指標を1.25～1.65まで変化させ、現行設計法と同じ240ケースのモデル断面についてレベル1信頼性設計法により決定した断面の総合破壊確率の目標破壊確率0.14に対する分散を示したものである。分散が最小である目標安全性指標1.60のケースが最適と判断される。図-3はB級における現行設計法と信頼性設計法の総合安全性指標の分布を比較したものである。これから信頼性設計法は現行設計法に比べて安全性のばらつきの小さい設計となっていることが分かる。A級と特級については安全係数をB級と同じとして、荷重側全体に乗ずる構造物係数のキャリブレーションを行った。目標安全性指標をA級で1.0～1.1, 特級で1.0～1.25まで変化させた結果、A級で1.05, 特級では1.20が最適と判断された。算出された安全係数の一覧を表-3に示す。

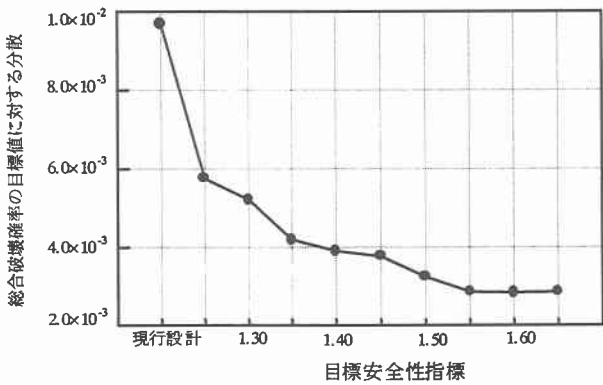


図-2 最適案判定結果

5. まとめ 本研究により得られた主要な結論は、1)ケーソン式岸壁の地震荷重作用時の設計パラメータの従う確率分布を推定した。2)現行設計法により設計されたケーソン式岸壁の総合安全性指標は、再現期間75年の地震動の作用に対して平均値1.4程度、変動係数0.4程度の値を持つ。3)レベル1信頼性設計法によりコードキャリブレーションを行い安全係数を提案した。

参考文献

1)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. 2)野津厚,上部達生,佐藤幸博,篠沢巧:距離減衰式から推定した地盤加速度と設計震度の関係,港湾技研資料, No.893,1997. 3)長尾毅,吉浪康行,佐貫哲朗:信頼性設計法によるケーソン式岸壁の滑動安全性の評価,構造物の安全性及び信頼性, vol.4,2000, pp.487-490.

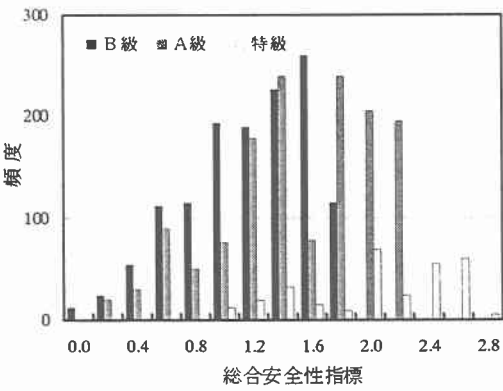


図-1 現行設計の総合安全性指標の分布

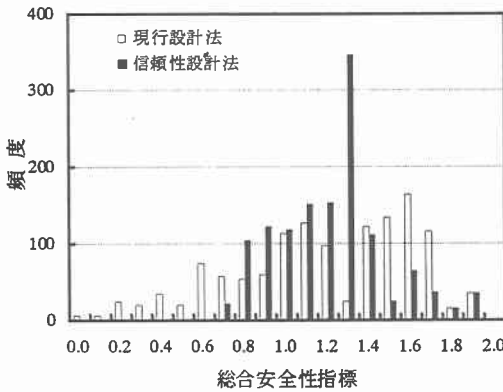


図-3 総合安全性指標の分布の比較

表-3 安全係数の提案

		滑 動		転 倒				
		耐力	荷重	耐力	荷重			
自重	鉄筋コンクリート	0.97	0.99	0.96	0.99			
	無筋コンクリート	1.01	1.03	1.00	1.03			
	中詰材	1.00	1.04	0.99	1.04			
摩擦	摩擦係数	0.94	—	—	—			
	静的成分	0.95	1.08	0.92	1.08			
	動的成分の位相差	-0.56	-0.42	-0.58	-0.42			
設計震度	A地区	1種	(1.66)	(1.31)	1.73	(1.73)	(1.31)	1.73
		2種	(1.29)	(1.01)	1.33	(1.33)	(1.01)	1.33
		3種	(1.00)	(0.78)	1.04	(1.04)	(0.78)	1.04
	B地区	1種	(1.91)	(1.50)	1.98	(1.98)	(1.50)	1.98
		2種	(1.38)	(1.08)	1.43	(1.43)	(1.08)	1.43
		3種	(1.08)	(0.85)	1.12	(1.12)	(0.85)	1.12
	C地区	1種	(1.72)	(1.36)	1.78	(1.78)	(1.36)	1.78
		2種	(1.39)	(1.09)	1.44	(1.44)	(1.09)	1.44
		3種	(1.11)	(0.87)	1.16	(1.16)	(0.87)	1.16
	D地区	1種	(1.73)	(1.36)	1.79	(1.79)	(1.36)	1.79
		2種	(1.35)	(1.06)	1.40	(1.40)	(1.06)	1.40
		3種	(1.07)	(0.84)	1.11	(1.11)	(0.84)	1.11
	E地区	1種	(2.25)	(1.77)	2.33	(2.33)	(1.77)	2.33
		2種	(1.64)	(1.27)	1.70	(1.70)	(1.27)	1.70
		3種	(1.22)	(0.95)	1.27	(1.27)	(0.95)	1.27
	R_{WL}		0.71					
	R_{RM}		1.21					
	構 造 物 係 数							
特 級		1.20						
A 級		1.05						
B 級		1.00						

()内は土圧動的成分算出時に用いる値