

ケーソン式岸壁の地震時安定に対する信頼性設計の適用について

復建調査設計（株） 正会員 佐貫哲朗
運輸省港湾技術研究所 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全体系安全性を安全率で評価する現行の設計手法に比べ、構造物の破壊確率を定量的に評価出来る信頼性設計法は合理的である。すでに筆者らの1人は防波堤に対する信頼性設計の適用性評価を行っているが、本研究では岸壁など土圧を受ける港湾構造物への信頼性設計法の適用性評価の一環として、現行設計法により設計された5つのケーソン式岸壁について、同型式の最も一般的な破壊モードである地震時の滑動に対する、現行設計法による安全率と信頼性設計法による安全性指標の比較検討を行った。

2. 検討概要

現行の設計手法に準じて次式のように性能関数を設定し、平均値周りのテーラー展開による一次近似二次モーメント法を用い安全性指標(β)の算出を行った。

$$Z=g(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13})=(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6-X_7)X_8-(X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12}+X_{13})$$

ここに

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| X_1 : 自重の鉄筋コンクリート成分 | X_8 : 摩擦係数 |
| X_2 : 自重の無筋コンクリート成分 | X_9 : 水平土圧の常時成分 |
| X_3 : 自重のケーソン中詰材成分 | X_{10} : 水平土圧の地震時の増分 |
| X_4 : 自重の裏込材成分 | X_{11} : 残留水圧 |
| X_5 : 鉛直土圧の常時成分 | X_{12} : 動水圧 |
| X_6 : 鉛直土圧の地震時の増分 | X_{13} : 慣性力 |
| X_7 : 浮力 | |

なお、 X_i は $N(\mu_i, \sigma_i)$ と表す互いに独立な正規確率変数と仮定する。また地震時の土圧は

常時土圧+地震時の増分

と考え、それぞれ別の確率変数とした。

検討対象として取り上げた5つの岸壁の設計時の主な設計条件を表-1に示し、そのうちの岸壁1の断面図を図-1に示す。

岸壁に作用する荷重の設計用値は平成11年に改訂された港湾の技術基準²⁾に準じ算出した。

各パラメータのばらつきは、真値の平均値(μ_i)と設計用値の比 α と、変動係数 $V(V_i=\sigma_i/\mu_i)$ により表す。自重及び摩擦係数のばらつきは文献1)を参考とし表-2に示すように設定した。土圧の地震時の増分、動水圧及び慣性力のばらつきは設計震度のばらつきに等しいと考え同じ値とした。設計

表-1 岸壁の主な設計条件

		岸壁 1	岸壁 2	岸壁 3	岸壁 4	岸壁 5
天 端 高		+ 3.50	+ 5.50	+ 4.00	+ 2.50	+ 3.50
ケーソン据付高		-13.10	- 8.50	-12.70	- 8.00	-14.10
ケーソン天端高		+ 1.90	+ 2.50	+ 2.00	+ 1.00	+ 2.50
ケ ー ソ ン 幅		11.00	4.80	12.20	8.50	22.00
潮 位	H.W.L.	+ 1.50	+ 3.90	+ 1.70	+ 0.50	+ 1.72
	L.W.L.	± 0.00	- 0.08	± 0.00	± 0.00	± 0.00
残 留 水 位		+ 0.50	+ 1.30	+ 0.60	+ 0.35	+ 0.60

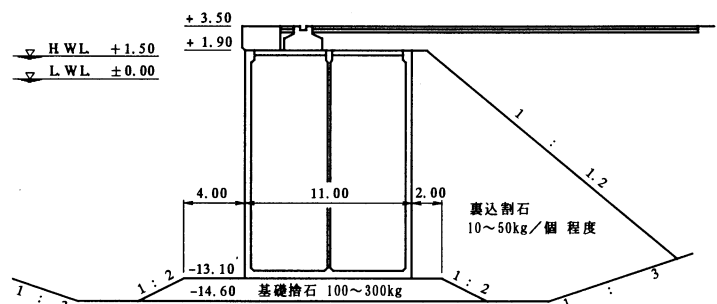


図-1 岸壁1の断面図

キーワード：信頼性設計法、地震時安定、安全性指標、ケーソン式岸壁

連絡先：〒732-0052 広島市東区光町2-10-11 復建調査設計(株)沿岸開発部沿岸技術課 TEL 082-506-1861

震度のばらつきは文献3)を参考とし、50年最大水平震度の平均値と技術基準により算定した設計震度の比を α とし、同じく50年最大水平震度の変動係数を V とした。ただし、この値には地震動の増幅の影響が十分に反映されておらず、今後精査する必要がある。浮力及び残留水压のばらつきは、参考文献4)5)の潮位及び残留水位のデータから設定した。また土圧の常時成分については $\alpha=1.0$ 、 $V=0.1$ とした。

以上の条件で算出した安全性指標を設計震度及びそのばらつきとともに表-3、従来設計法による安全率を表-4に示す。検討対象の岸壁は改訂前の技術基準による設計であり、新基準による安全率は岸壁1を除き設計時を下回り、許容安全率1.0を満たさないケースもある。

3. 検討結果

安全性指標は0.91～2.41（破壊確率では 10^{-1} ～ 10^{-3} のオーダー）の範囲にばらついたが、文献1)に示された防波堤の安全性指標の平均値2.20程度（破壊確率では 10^{-2} のオーダー）に比べると小さい。これは滑動の許容安全率が防波堤は1.2であるのに対し、岸壁の地震時は1.0であることが一因であると考えられる。しかしながら、岸壁の設計では重要度係数が考慮されており、これは安全率と類似した性格を持つ。このため、安全性の余裕度をより良く示す指標として安全率に重要度係数を乗じた値と安全性指標をプロットしてみると(図-2)、今回の5ケースの結果を見る限りでは安全率と安全性指標の相関は比較的良いと言える。このため、防波堤との安全性の差については被災事例の分析を含めて今後検証する必要がある。

4. まとめ

今回の検討条件で算出されたケーソン式岸壁の地震時滑動の安全性指標は、防波堤の安全性指標の平均値に比べ小さく、現行設計法による安全率と信頼性設計法による安全性指標の相関は良い。今後は検討ケースを増すとともに、地震時荷重の確率分布についてさらに考察を深めることが課題である。

参考文献

- 1)長尾毅,大久保昇,川崎進,林由木夫:信頼性設計法による防波堤の全体系安全性(第3報)～レベル1,2の設計法の適用性総括～,港湾技術研究所報告,vol.37,No.2,1998,pp131～176.
- 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.
- 3)米山治男,白石悟,上部達生:最新の基盤加速度データに基づいた地震荷重の変動係数の地域特性,第54回土木学会年次学術講演会講演概要集第1部(B),1999,pp938～939.
- 4)河合弘泰,高山知司,鈴木康正,平石哲也:潮位変化を考慮した防波堤堤体の被災遭遇確率,港湾技術研究所報告,vol.36,No.4,1997,pp3～41.
- 5)古土井光昭,片山猛雄:残留水位測定調査,港湾技研資料,No.115,1971.

表-2 自重及び摩擦係数のばらつき

		α	V
自 重	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 材	1.02	0.04
	裏 込 材	1.00	0.03
摩 擦 係 数		1.06	0.15

表-3 設計震度及び安全性指標

	岸壁 1	岸壁 2	岸壁 3	岸壁 4	岸壁 5
設計震度(K_h)	0.13	0.18	0.10	0.22	0.25
地域別震度	0.13	0.15	0.08	0.15	0.15
地盤種別係数	1.00	1.20	1.00	1.20	1.20
重要度係数	1.00	1.00	1.20	1.20	1.50
50年最大震度の平均値(K_{h0})	0.135	0.142	0.067	0.142	0.142
50年最大震度の変動係数(V)	0.310	0.330	0.489	0.330	0.330
$K_h/K_{h0}(\alpha)$	1.038	0.789	0.670	0.646	0.568
安全性指標(β)	0.91	1.00	1.14	1.74	2.37

表-4 従来設計法による設計震度及び安全率

		岸壁 1	岸壁 2	岸壁 3	岸壁 4	岸壁 5
旧基準	設計震度	0.10	0.18	0.05	0.20	0.25
	安全率(F_s)	1.45	1.19	1.003	1.01	1.06
新基準	設計震度	0.13	0.18	0.10	0.22	0.25
	安全率(F_s)	1.13	0.97	0.94	0.99	1.06

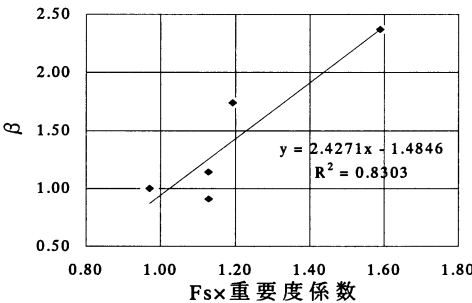


図-2 F_s と β の相関