

矢板式係船岸および栈橋の信頼性設計について

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 矢板式係船岸および栈橋の設計は現在のところ許容応力度法により行われているが、本研究では耐用50年間の被災時復旧費用を考慮した期待総費用最小化の観点から、信頼性設計法を適用する場合に目標とする破壊確率を提案するとともに、現行設計法で設計された断面の安全性水準についても検討を行った。

2. 性能関数 対象とした破壊モードは矢板式係船岸については主矢板の曲げおよびタイロッドの引張、栈橋については鋼管杭の曲げおよび支持力とし、性能関数は現行設計法の安全性照査式を基にそれぞれ次式のように設定した。

矢板式係船岸

・主矢板

$$Z = f_Y - \frac{M}{W}$$

・タイロッド

$$Z = f_Y - \frac{T}{A}$$

ここに、 f_Y ：矢板およびタイロッドの耐力、 M ：最大曲げモーメント、 T ：タイロッド張力、 W ：矢板の断面係数、 A ：タイロッドの断面積

栈 橋

・曲げ

$$Z = \psi - \frac{\sigma_{CS}}{f_C} - \frac{\sigma_{MS}}{f_R}$$

・支持力

$$Z = \eta_1 30NA_P + \eta_2 2\bar{N}A_S - P$$

ここに、 ψ ：耐力式の精度、 σ_{CS} ：軸方向圧縮応力、 σ_{MS} ：曲げ圧縮応力、 f_C ：軸方圧縮力耐力、 f_R ：曲げ圧縮耐力、 η_1 ：先端支持力のばらつき、 η_2 ：周面摩擦力のばらつき、 N ：杭先端のN値、 $\bar{N}$ ：根入れ全長の平均N値、 A_P ：杭の先端面積、 A_S ：杭の表面積、 P ：軸力

表-1 パラメータの確率分布

		平均値	標準偏差
f_Y	SY390	468.00	30.42
	SKK490	378.00	24.57
	高張力鋼740	432.00	28.08
ロウによる補正係数のばらつき		1.00	0.10
静的土圧*		1.00	0.10
設計震度*		1.00	0.25
R_{WL}		0.60	0.18
R_{RWL}		1.00	0.38
ψ		1.17	0.12
$1/\beta^*$		1.00	0.10
f_C^*	SKK490	2.00	0.065
f_R	SKK490	378.00	24.57
η_1		0.93	0.20
η_2		1.60	0.35

耐力の単位は N/mm^2 前面潮位(WL)= $R_{WL} \times HWL$ 残留水位(RWL)= $R_{RWL}(0.53 \times WL + 0.87)$

3. 検討条件 設計パラメータは全て独立な正規分布と仮定した。表-1に平均値と標準偏差を示す。ただし表中*を付した項目については平均値と現行設計法による設計値の比と変動係数を示す。また土圧のばらつきは静的土圧と動的土圧に分けて設定し、動的土圧のばらつきには設計震度ばらつきを当てた¹⁾。また動水圧のばらつきも設計震度のばらつきを当てた。その他の基本条件として、潮位は $HWL=+1.00$ 、 $LWL=\pm 0.00$ 、天端高は $+2.00$ 、水深は各々 -7.5m 、 -11.0m 、 -14.0m の3ケースとした。

4. 各種費用 初期費用および復旧費用は参考文献2)に準じて算出し、主矢板および鋼管杭の断面係数との関係で整理

表-2 被災パターン

	大規模被災	中規模被災
矢板式係船岸	エプロン舗装の破壊	エプロン舗装の破壊
	主矢板上部工の破壊	主矢板上部工の破壊
	タイロッドの破壊	タイロッドの破壊
	主矢板の破壊	
栈 橋	上部工の破壊	上部工の破壊
	杭の破壊(全杭の半数)	杭の破壊(全杭)

を行った。また復旧費用については表-2に示す大規模被災と中規模被災を想定しその平均値を用いた。図-1に構造形式別に主矢板および鋼管杭の断面係数と各種費用の関係を示す。

5. 期待総費用 矢板式係船岸については主矢板をU型鋼矢板ⅠA型～鋼管矢板φ900×16、タイロッドをφ25～70、栈橋については鋼管杭をφ400×9～φ800×13の間で変化させ、部材スペックと地震動の再現期間ごとに安全性指標をFORMにより算出した。算出された安全性指標から破壊モードの相関を考慮したシステム破壊確率を算出し、これに地震動の発生確率を考慮した期待被災回数から次式により期待総費用を算出した。

$$ELC = C_i + \sum_{j=1}^m E_{fj} C_f R$$

$$R = \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t \frac{1}{(1+i)^k}$$

ここに、 ELC ：期待総費用、 C_i ：初期費用、 m ：対象とする地震動ランク数、 t ：耐用年数、 E_{fj} ：期待被災回数、 C_f ：復旧費用、 i ：社会的割引率である。対象とする地震動のランクは25, 50, 75, 100年再現期間の4ランクを考慮した。図-2に50年再現期間の地震動によるシステム破壊確率と期待総費用の関係を、現行設計法による設計断面および期待総費用最小となる断面の位置とともに示す。

6. まとめ 矢板式係船岸ではU型鋼矢板の型式による断面係数の変化が大きいため、期待総費用はスムーズな変化を示していない。また-14.0m矢板式係船岸のシステム破壊確率0.1付近で初期費用と期待総費用が大きく変化している原因は、U型鋼矢板と鋼管矢板のコスト差が大きいためである。これらから現行設計法による断面の破壊確率は0.03～0.1、期待総費用最小となる断面の破壊確率は0.01～0.1の間にばらつく結果となった。一方、栈橋では現行設計法による断面の破壊確率は0.02前後、期待総費用最小となる断面の破壊確率は0.007前後の結果となった。これらの検討結果より信頼性設計法の観点からは矢板式係船岸では平均的には破壊確率が0.05程度、栈橋では0.01程度の目標安全性水準が最適と考えられる。

参考文献

1)長尾毅,吉浪康行,佐貫哲朗,嘉門雅史:ケーソン式岸壁の外的安定に関する信頼性設計法の適用,構造工学論文集,Vol.47A,2001.2)国土交通省港湾局監修,日本港湾協会:港湾土木請負工事積算基準(平成14年度改訂版),2002.

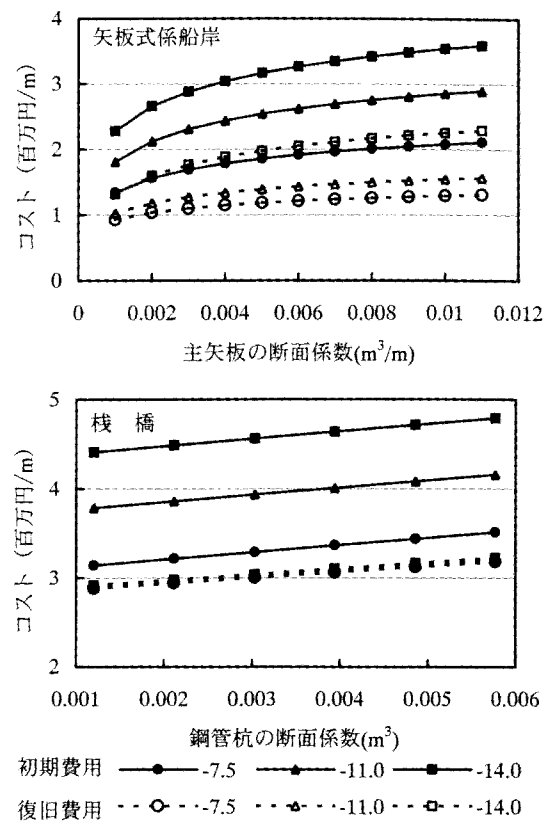


図-1 断面係数と各種費用の関係

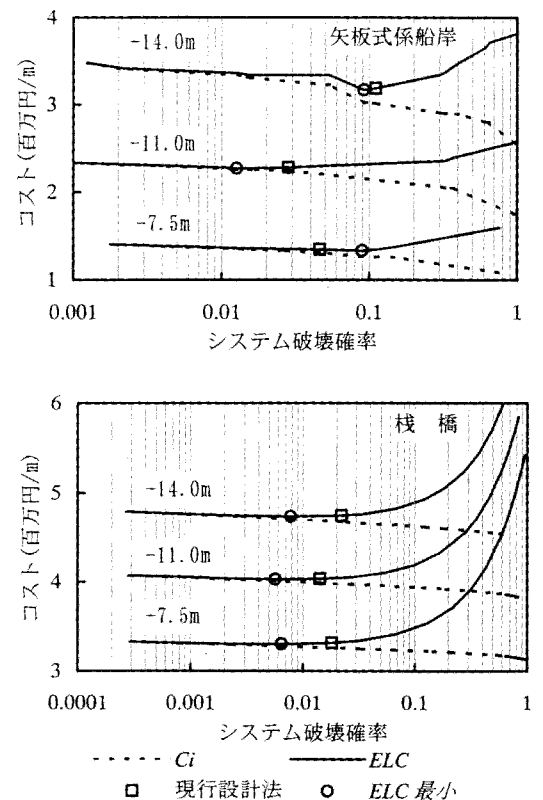


図-2 期待総費用と破壊確率の関係