

係留施設の常時の信頼性解析について

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 ISO2394（構造物の設計法に関する一般原則）の制定などにより，土木構造物の設計手法として信頼性設計法を採用すべきとの議論がなされている．筆者らは既に矢板式係船岸および栈橋の地震時の信頼性解析について検討を行っているが¹⁾，本研究ではこれらの構造物に関して常時の信頼性解析を行い，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. 検討条件 検討断面のモデルは矢板式係船岸，栈橋ともに天端高を+2.00m，構造水深は-7.50m，-11.0m，-14.0mの3ケースとした．潮位は $HWL=+1.00$ ， $LWL=\pm 0.00$ とした．外力は矢板式係船岸については土圧および残留水圧，栈橋については接岸力を考慮した．設計パラメータは全て独立な正規分布と仮定した．表-1にその平均値と変動係数を示す．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その変動係数である．また，矢板式係船岸は裏込材として裏込石を用い土圧算定に用いる内部摩擦角は 40° ，上載荷重は 20kN/m^2 とした．栈橋に作用する接岸力は港湾の技術基準により一般的な値を算出し，構造水深の浅い方から順に 270kN ， 355kN ， 468kN とした．考慮する破壊モードは矢板式係船岸で主矢板の曲げおよびタイロッドの引張，栈橋で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 ：軸方向圧縮耐力， 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	変動係数
f_y	SY390	468	0.065
	SKK490	378	0.065
	高張力鋼740	432	0.065
ロウによる補正係数*		1.00	0.10
土 圧*		1.00	0.10
R_{WL}		0.60	0.30
R_{RWL}		1.00	0.38
ψ		1.17	0.10
$1/\beta^*$		1.00	0.10
f_c^*	SKK490	1.20	0.065
f_r	SKK490	378	0.065
η_1^*		0.93	0.20
η_2^*		1.60	0.35
接岸力*		1.00	0.05

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. 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Ⅰ型～Ⅴ型, タイロッドをφ25～50, 栈橋については鋼管杭をφ400×9～φ900×15の間で変化させ, 部材スペック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, 次式により期待総費用を算出した.

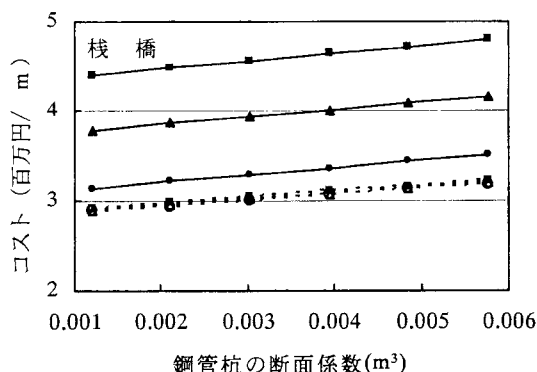
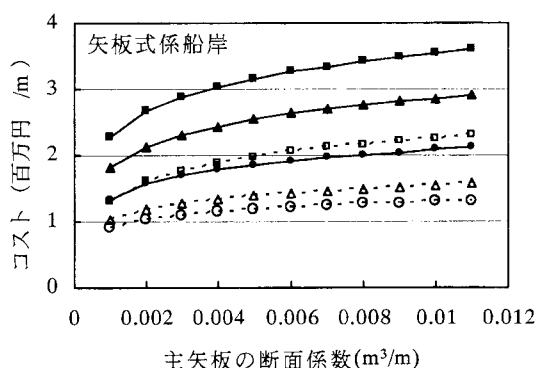
$$ELC = C_i + P_f C_f$$

ここに, ELC : 期待総費用, C_i : 初期費用, P_f : システム破壊確率, C_f : 復旧費用である. 図-2に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. 現行設計法による設計断面のシステム破壊確率は矢板式係船岸で $10^{-4} \sim 10^{-3}$, 栈橋で $10^{-5} \sim 10^{-4}$ の間にばらつく結果となった. 一方, 期待総費用最小となる断面のシステム破壊確率は矢板式係船岸で 5×10^{-2} 程度, 栈橋で 5×10^{-3} 程度となった. また, 水深-7.5mの矢板式係船岸では外力が小さく, 最も小さな矢板のケースにおいてもシステム破壊確率は 10^{-1} 程度であり, 初期建設費と期待総費用に明瞭な差が現れていない.

6. まとめ 矢板式係船岸および栈橋の常時の信頼性解析を行い次のような結果を得た. ①現行設計法による設計断面の安全性水準は比較的高い. ②信頼性設計法により設計を行う場合, システム破壊確率の目標値を矢板式係船岸で 5×10^{-2} 程度, 栈橋では 5×10^{-3} 程度とすれば期待総費用は最小になる.

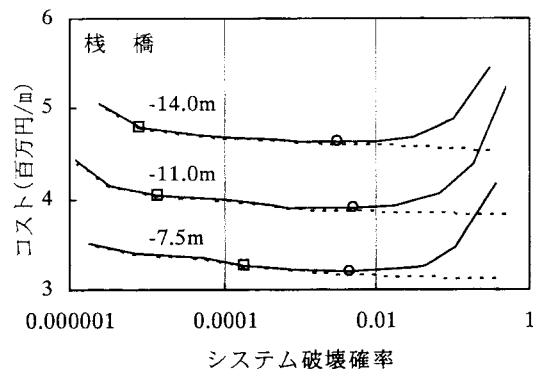
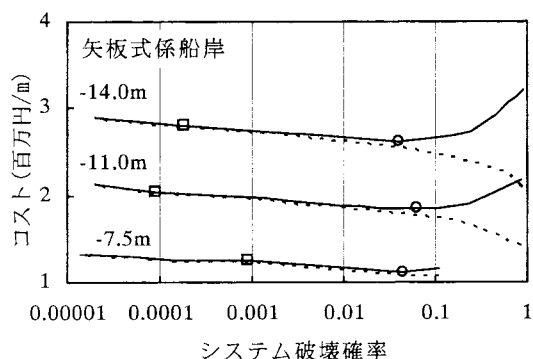
表-2 被災パターン

	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 主矢板上部工の破壊 タイロッドの破壊 主矢板の破壊	エプロン舗装の破壊 主矢板上部工の破壊 タイロッドの破壊
栈橋	上部工の破壊 杭の破壊 (全杭の半数)	上部工の破壊 杭の破壊(全杭)



初期費用 —●— -7.5 —▲— -11.0 —■— -14.0
復旧費用 ---○--- -7.5 ---△--- -11.0 ---□--- -14.0

図-1 断面係数と費用の関係



..... C_i ——— ELC
□ 現行設計法 ○ ELC 最小

図-2 期待総費用と破壊確率の関係

参考文献

- 1) 佐貫哲朗, 長尾毅, 吉浪康行: 矢板式係船岸および栈橋の信頼性設計について, 第55回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, 2003.
- 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.