

信頼性解析による直杭式横棧橋の期待総費用

復建調査設計（株） 正会員 ○佐貫哲朗
 復建調査設計（株） フェロー会員 吉浪康行

1. はじめに ISO2394（構造物の信頼性に関する一般原則）を契機として土木および建築構造物への信頼性設計法の適用に関する研究が各方面で進められている。本研究では直杭式横棧橋の地震時を対象として、信頼性設計法を適用する場合の目標安全性水準について期待総費用最小化の観点から提案する。検討対象とした直杭式横棧橋の断面は図-1に示すようなもので、-7.5m、-11.0m、-14.0mの3ケースの水深に水平震度0.23を作用させた場合の破壊確率を鋼管杭の仕様を変化させて算出することにより、初期建設費と被災時の復旧費用を考慮した期待総費用の検討を行った。

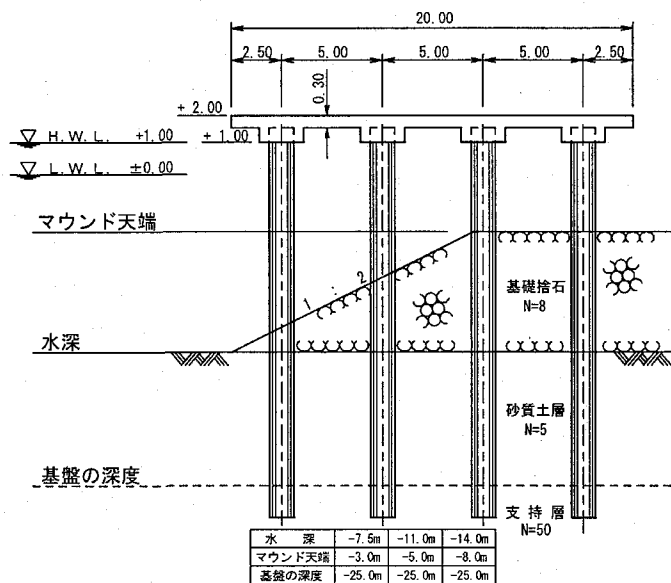


図-1 モデル断面

2. 解析手法と検討条件 構造解析モデルは水平方向・鉛直方向共に地盤によってバネ支持されたモデルとした。この棧橋に対して水平力を徐々に増加させると、やがて何れか1本の鋼管杭が降伏に至る。しかしながら複数本ある中の1本のみが降伏したとしても全体系の安定が損なわれるわけではなく、また、降伏した杭のみに着目しても塑性変形しながらも抵抗力は発現する。本研究ではこのような挙動を再現するためにプッシュオーバー解析による構造解析を行った。破壊確率の算出はいわゆるレベルⅡ信頼性解析の一種であるFORM（FirstOrder Reliability Method）を用いて安全性指標を求め、安全性指標から破壊確率を算出した。信頼性解析において確率変数として取扱ったパラメータは鋼管杭の降伏強度と水平地盤反力係数である。既往の研究成果¹⁾から設定した

確率変数の統計量を表-1に示す。また、その他の設計条件は港湾の技術基準²⁾等に準じた一般的な値に設定した。

表-1 確率変数の統計量

		単位	特性値	平均値	変動係数	分布形
鋼管杭（SKK490）の降伏点		N/mm ²	315	378	0.065	正規分布
水平地盤反力係数	捨 石：N=8	N/cm ³	12.0	17.8	0.754	対数正規分布
	砂質土層：N=5		7.5	12.6	0.754	
	岩 盤：N=50		75.0	75.0	0.754	

3. 限界状態と性能関数 本研究では使用限界状態および修復限界状態の2つの限界状態を対象とした。直杭式横棧橋の破壊は、①ある1本の杭の杭頭降伏、②全ての杭の杭頭降伏、③ある1本の杭の土中部降伏、④全ての杭の土中部降伏という順序を辿る。使用限界状態は杭を塑性変形させず補修が必要とならない限界状態として①の状態と定義した。また土中部で降伏した杭の補修は極めて困難であることから、修復限界状態は大規模な補修が必要とならない限界状態として③の状態と定義した。限界状態を示す性能関数は使用限界、修復限界とも式(1)とした。

$$g(x) = f_y - \sigma_d(f_y, k_h) \quad (1)$$

ここで、 f_y ：鋼管杭の降伏強度、 k_h ：水平地盤反力係数、 σ_d ：鋼管杭の発生応力度である。

4. 期待総費用 期待総費用は式(2)により算出した。

$$E = C_i + P_f \cdot C_f \quad (2)$$

ここで、 E ：期待総費用、 C_i ：初期建設費、 C_f ：被災時復旧費、 P_f ：破壊確率である。

初期建設費については一般的な工法による直杭式横桟橋の工事費の見積もりを行った。被災時復旧費については限界状態ごとに被災パターンを設定し復旧工事費の見積もりを行った。使用限界状態では海側最前面杭の頭部、修復限界状態では海側最前面杭の土中部およびその他の杭の頭部で塑性変形が発生すると仮定し、変形部分の鋼管を切断し継杭を行うとともに塑性変形が発生した杭の撤去に伴う上部コンクリートの復旧費用を見込んだ。図-2に杭径ごとに算出した初期建設費および被災時復旧費を示す。全体的に杭径の違いによる費用の差は小さく、水深が小さくなるに従いその傾向が強くなる。

これらの費用と杭径ごとに算出した破壊確率から求めた期待総費用を図-3に示す。図-3は横軸に破壊確率、縦軸に各費用の金額をプロットしたもので、実線が期待総費用、破線が初期建設費である。破壊確率が大きくなるに従い初期建設費は小さくなるが被災時復旧費は逆に大きくなるため、その合計である期待総費用はある点で最小となる。杭径による初期および復旧費の差が小さいことから期待総費用最小点は明瞭とならなかったが、使用限界状態では0.001～0.003、修復限界状態では0.0004～0.001程度の破壊確率で最小となった。これを安全性指標に直すとそれぞれ2.7～3.0、3.0～3.3程度となる。

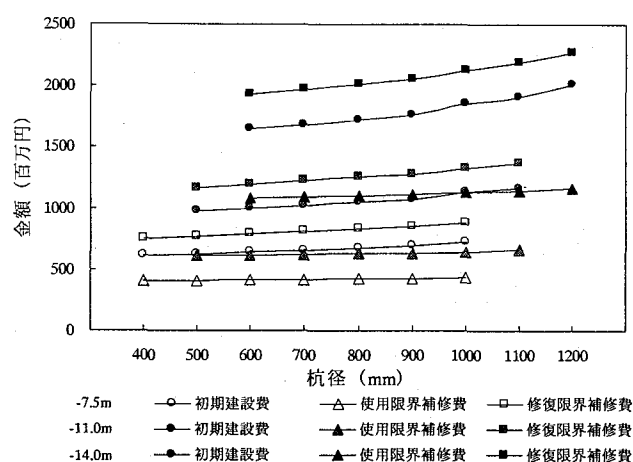


図-2 初期建設費および復旧費

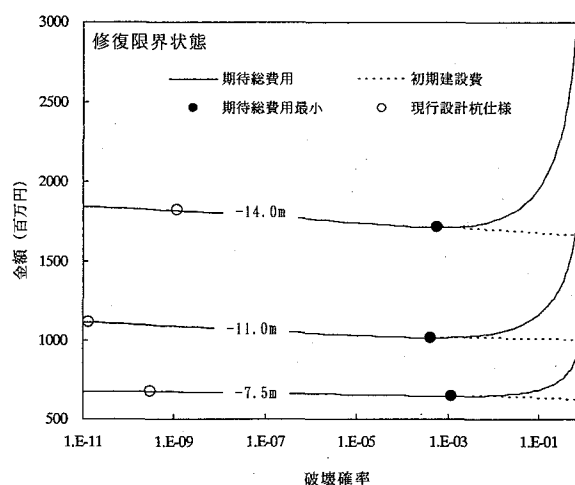
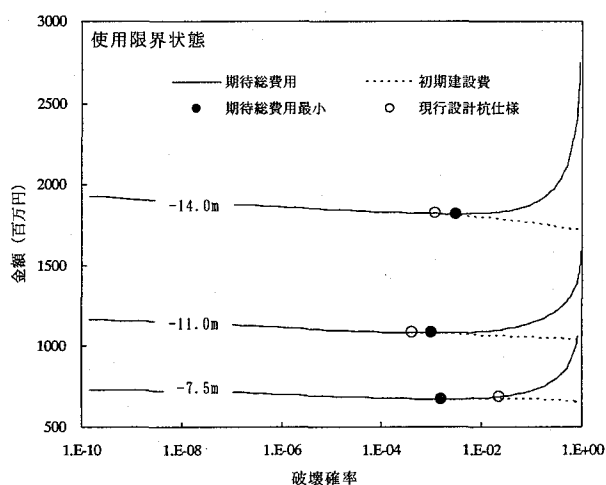


図-3 期待総費用検討結果

4. 今後の課題 本研究では直杭式横桟橋の地震時の使用限界状態および修復限界状態を対象に期待総費用最小化の観点による目標安全性水準の提案を行ったが、今回の検討は水平震度0.23の場合のみであり、今後は水平震度を変えて同様の検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 安間, 菊池, 鈴木, 辻岡, 吉浪: 性能設計を考慮した直杭式横桟橋の部分係数法, 第49回地盤工学シンポジウム平成16年度論文集, p149-156, 2004.
- 2) 国土交通省港湾局監修, 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.