

## 期待総費用による直杭式横棧橋の目標安全性水準

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おり、2007年度に改訂される港湾の技術基準<sup>1)</sup>では信頼性設計法が本格的に導入される予定である。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初期建設費と被災時の復旧費用を考慮した期待総費用最小化の観点から提案する。

**2. 検討条件** 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、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。荷重変位関係は図-2のようになり、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で破壊が進行する。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、杭を塑性変形させず補修が必要とならない①の状態を使用限界状態、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③を修復限界状態と定義した。

設計震度は0.15とし、確率変数として取扱った鋼管杭の降伏強度と水平地盤反力係数の統計量については既往の研究成果<sup>2)</sup>から表-1のように設定した。また、その他の設計条件は港湾の技術基準<sup>3)</sup>等に準じた一般的な値に設定した。

限界状態を表す性能関数は使用限界、修復限界とも式(1)とした。

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

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

破壊確率の算出については、棧橋のフレーム解析をもとにFORM(First Order Reliability Method)を用いた信頼性解析を実施し得られた信頼性指標から算出した。なお、鋼管杭のM- $\Phi$ 関係はバイリニアモデルとした。

**3. 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。

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、逆に被災時復旧費と破壊確率の積は大きくなるた

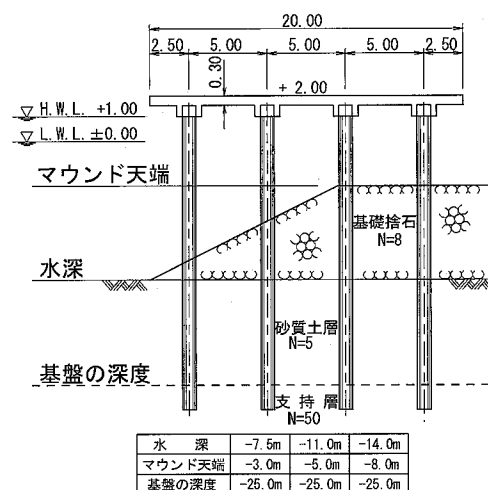


図-1 モデル断面

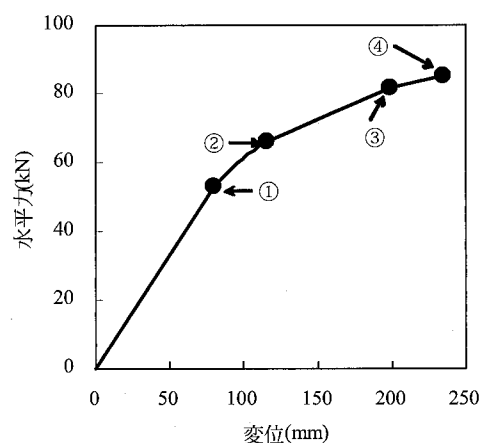


図-2 荷重変位関係

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    |
|------------------|-------------------|------|------|-------|--------|
| 鋼管杭の降伏点 (SKK490) | N/mm <sup>2</sup> | 315  | 378  | 0.065 | 正規分布   |
| 地盤反力係数           |                   |      |      |       |        |
| 捨石: N=8          | N/cm <sup>3</sup> | 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 |        |

め、その合計である期待総費用はあるポイントで最小となる。図-3に-7.5m, -11.0m, -14.0mの3ケースについて水深ごとに杭径を変えて算出した初期建設費および被災時復旧費を示す。初期建設費は一般的な工法により積算した栈橋の工事費、被災時復旧費は限界状態ごとに被災パターンを設定して積算した復旧工事費である。被災パターンは使用限界では海側最前面杭の頭部、修復限界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た。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。本研究では、これらの費用と水深および杭径ごとに算出した破壊確率により期待総費用を算出した。

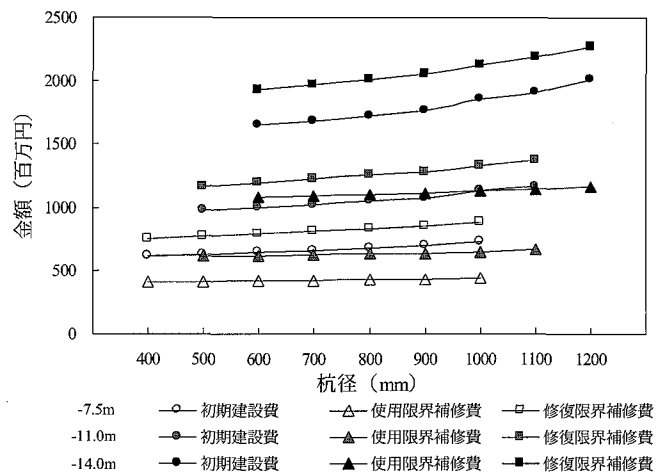


図-3 初期建設費および復旧費

**4. 検討結果** 図-4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あり、実線が期待総費用、破線が初期建設費である。また、期待総費用が最小となるポイントも併せて示している。杭径による初期および復旧費の差が小さいため明瞭ではないが、使用限界については $2 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$ 程度、修復限界については $1 \times 10^{-4} \sim 7 \times 10^{-3}$ 程度の破壊確率で期待総費用は最小となっている。信頼性指標ではそれぞれ2.1～2.9と2.5～3.6程度となる。また、水深が大きいほど小さい破壊確率で最小となり、使用限界状態よりも修復限界状態の方が小さい破壊確率で最小となる。

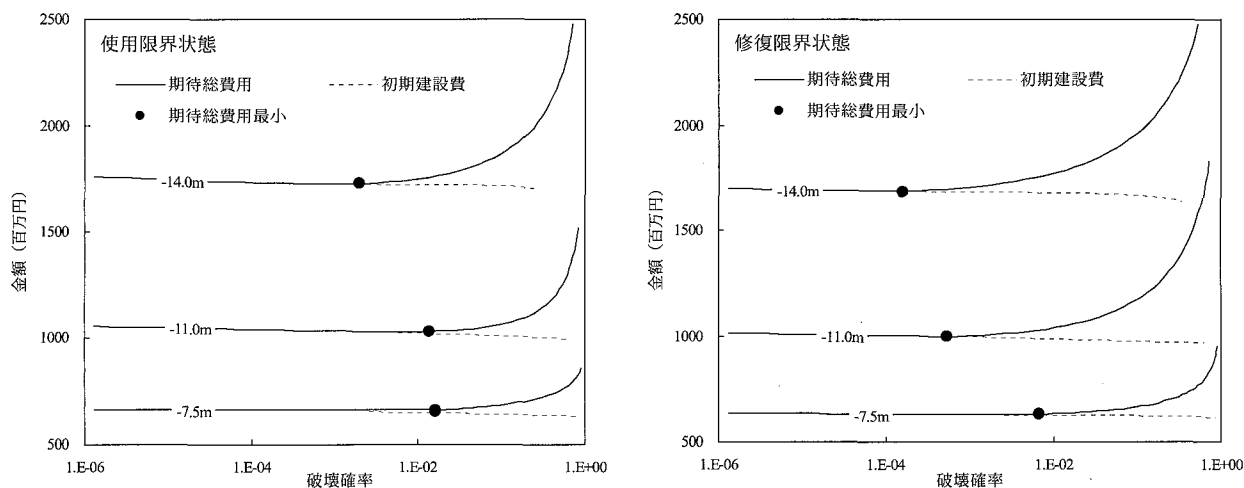


図-4 期待総費用算定結果

**5. 今後の課題** 本研究で用いた設計震度はレベル1地震動程度の0.15であり、算定された破壊確率はレベル1地震動作用時の条件付き破壊確率である。従って期待総費用についても条件付きのものであり、今後は再現期間の異なる地震動に対する破壊確率とその地震動の遭遇確率を考慮した厳密な期待総費用の算定を行う必要があると考えられる。

#### 参考文献

- 1)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.
- 2)安間,菊池,鈴木,辻岡,吉浪:性能設計を考慮した直杭式横栈橋の部分係数法,第49回地盤工学シンポジウム平成16年度論文集,p149-156,2004.