

信頼性理論を用いた既存栈橋の補修効果の評価法に関する研究

国土技術政策総合研究所 正会員 長尾 毅
 復建調査設計株式会社 正会員 ○佐藤 秀政

1. はじめに

港湾鋼構造物の場合、腐食による性能低下が問題となることが多く、供用期間中の構造物の性能を評価する際にはそれらを考慮した被害リスクを定量的に評価することが重要である。その場合、発生応力度を許容応力度の比で評価する方法では被害リスクの考慮としては不十分であるといえ、信頼性理論による破壊確率を用いる手法等の被害リスクを定量的に評価できる手法を用いる必要がある。

本研究では、下部鋼管杭の腐食が進行した既存の直杭式横栈橋を対象に、種々の補修工を適用した場合の地震時の経年的な施設の性能を信頼性理論による破壊確率を用いて評価した。本研究では通常信頼性解析で確率変数として扱う震度、鋼材降伏応力度などのパラメータのほかに、腐食量を確率変数として扱った。

2. 信頼性評価

(1) 検討条件

本研究で対象とした施設は、図-1 に示す既存の直杭式横栈橋である。信頼性解析は、栈橋を地盤バネによって支持された杭—上部工ラーメンモデルとして骨組解析を行い、これより求めた断面力をもとに一次信頼性理論 (FORM: First Order Reliability Method)¹⁾を用いて実施した。信頼性解析では、鋼材降伏強度、水平地盤反力係数、照査用震度、腐食量を確率変数とし表-1 に示す統計量と分布形を設定した²⁾。ここで、腐食が最も激しい箇所の腐食量が信頼性解析に与える影響が大きいものと考えられるため、腐食速度の最も大きい1列目の深度-1.0mの腐食量を確率変数とし、それ以外の箇所の腐食量は確定値として設定した。

対象とした地震動の作用は、再現期間 50,75,100,150,200,500 年の地震動で時刻歴波形の形で工学的基盤に与え、1次元地震応答計算で杭固定点 ($1/\beta_p$) の応答加速度を算出し、栈橋の固有周期に応じた応答加速度最大値から震度に換算した。表-2 に各再現期間の地震動に対する照査用震度を示す。

補修工の検討ケースを表-3 に示す。補修工法は、鋼管杭の補修工法として現在一般的に用いられている鋼板溶接工法、塗覆装工法、電気防食工法を組み合わせたケースを設定した。補修する杭列は全杭対象とする場合と補修する杭列を選定した場合を設定した。

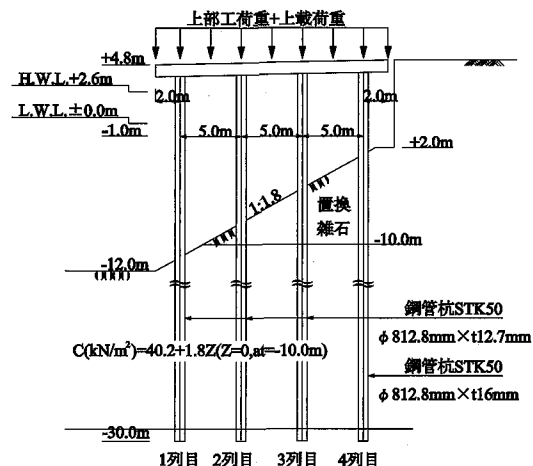


図-1 検討対象断面

表-1 信頼性解析に用いた確率変数

確率変数	平均値	変動係数	分布形
鋼材降伏強度 (SKK490)	377 (N/mm²)	8%	正規
水平地盤反力係数	2000N (kN/m³)	75.5%	対数正規
照査用震度	—	20%	対数正規
腐食量	—	88%	対数正規

表-2 照査用震度

地震動の再現期間 (年)	入力加速度最大値 (Gal)	$1/\beta_p$ 地点の応答加速度最大値 (Gal)	栈橋上部工の応答加速度最大値 (Gal)	照査用震度
50	80.9	131.1	120.3	0.123
75	70.8	110.2	133.1	0.136
100	84.2	133.5	168.3	0.172
150	107.2	165.5	224.9	0.229
200	126.4	191.1	272.3	0.278
500	200.6	260.6	414.3	0.423

キーワード 栈橋, 補修, 地震, 破壊確率

連絡先 〒732-0052 広島県広島市東区光町 2-10-11 復建調査設計株式会社 TEL082-506-1861

(2) 信頼性評価と生起確率

性能照査は、各再現期間の地震動に対して各杭の縁部降伏に関する限界状態を想定し、(1)式に示す限界状態関数で照査した。

$$g = \sigma_y - \sigma_d(k_h, K, F) \geq 0 \quad (1)$$

ここに、 σ_y ：鋼管杭の降伏強度、 k_h ：水平地盤反力係数、 K ：照査用震度、 F ：腐食量、 σ_d ：鋼管杭に発生する応力度（ $\sigma_d = N/A \pm M/Z$ ）、 N ：杭の軸方向力、 A ：杭の断面積、 M ：杭の曲げモーメント、 Z ：杭の断面係数である。

地震動の作用により破壊が生起する確率は、補修工適用時点から 30 年間検討した。検討期間 T 年間に m ランクの地震動の作用により破壊が生起する確率 P_T は、(2)式より求めた。

$$P_T = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^m P_{ji}(t) \quad (2)$$

ここに、 $P_{ji}(t)$ ：地震動 i の作用により t 年後にはじめて破壊する確率、 m ：対象とする地震動のランク数（=6, 再現期間 50, 75, 100, 150, 200, 500 年の地震動を対象）、 T ：検討期間(年)である。

(3) 補修方法と破壊確率の関係

各補修工法における破壊確率の経年変化を図-2に示す。case2_2のように全杭対象に鋼板溶接を行い杭の剛性を高くすると、補修部下端の杭応力度が厳しくなり未補修の case1 よりも経年後の破壊確率が大きくなるケースがある。一方、case5_2のように鋼板溶接と塗覆装を行う杭列を選定すれば、他列の杭の弱点部に杭応力が集中することを避けることができ破壊確率を小さくできる場合がある。このように、各杭の自由長が異なる栈橋の場合は、一律に補修により剛性を高くすることは補修費用のみならず破壊確率の観点からも不利な場合があるといえる。また、破壊確率と関係づけられる信頼性指標の最小となる場所を求めると、地震動の作用や経過年数によって変化することが分かった。このため、特定の部位のみに着目した検討を行うことは適切でない場合があるといえる。以上のように、工法、補修鋼板厚、補修対象杭などをパラメータとして検討すればより経済的な補修設計を行うことが可能になると考えられる。

3. おわりに

本研究では、信頼性理論による破壊確率を用いて、種々の補修工を適用した場合の経年的な施設の性能を定量的に把握した。また、破壊確率を用いれば容易に被害リスクをコスト化できるため、メンテナンス戦略の最適化問題にも応用可能である。

参考文献：

- 1) Rackwitz, R. and Fiessler, B. : Structural Reliability under Combined Random Load Sequences, *Computers & Structures*, Vol. 9, pp.489-494, 1978
- 2) 長尾 毅, 菊池喜昭, 藤田宗久, 鈴木 誠, 佐貫哲朗：栈橋式係船岸のレベル 1 地震動に対する信頼性設計法，構造工学論文集，Vol.52A，pp.201-208，2006

表-3 補修工の検討ケース

検討 ケース	補修工	鋼板溶 接と塗 覆装下 端 (m)	対象杭	
			鋼板溶 接と塗 覆装	電気防 食
case1	未補修	—	—	—
case2_1	鋼板溶接($t=0$ mm)+塗覆装	-1.0	全杭	—
case2_2	鋼板溶接($t=10$ mm)+塗覆装	-1.0	全杭	—
case3_1	鋼板溶接($t=0$ mm)+塗覆装+電防	-1.0	全杭	全杭
case3_2	鋼板溶接($t=5$ mm)+塗覆装+電防	-1.0	全杭	全杭
case3_3	鋼板溶接($t=10$ mm)+塗覆装+電防	-1.0	全杭	全杭
case4_1	鋼板溶接($t=5$ mm)+塗覆装+電防	-1.0	3 列目	全杭
case4_2	鋼板溶接($t=10$ mm)+塗覆装+電防	-1.0	3 列目	全杭
case5_1	鋼板溶接($t=5$ mm)+塗覆装+電防	-1.0	2,3 列目	全杭
case5_2	鋼板溶接($t=10$ mm)+塗覆装+電防	-1.0	2,3 列目	全杭
case6	鋼板溶接($t=10$ mm)+塗覆装+電防 塗覆装範囲($\pm 0.0 \sim -1.0$ m まで)	—	全杭	全杭

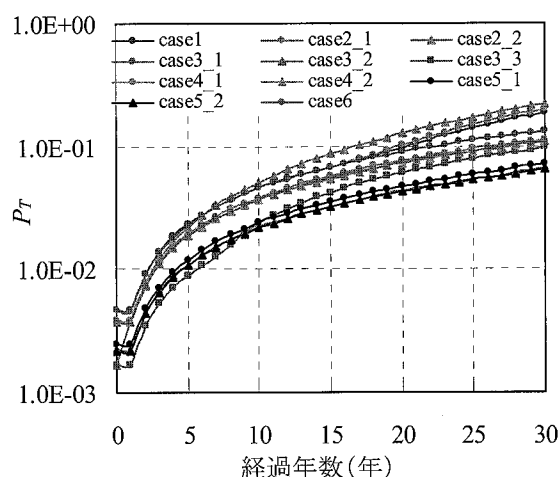


図-2 経過年数と破壊確率の関係