

地震作用に対する破壊確率に基づく栈橋下部工のライフサイクルシナリオ評価

北海道大学大学院	学生会員	○尾崎 亮太
北海道大学大学院	フェロー	横田 弘
北海道大学大学院	正会員	橋本 勝文
北海道大学大学院	学生会員	古谷 宏一

1. はじめに

社会基盤施設の維持管理において、従来の事後保全型の維持管理から予防保全型の維持管理へと転換することで、ライフサイクルコスト（以下、LCC）の低減を図ることが必要である。その場合、予防保全型の維持管理計画立案に際しては、多くの補修シナリオから適切なシナリオを選択する必要がある。

本研究では、レベル 1 地震動とレベル 2 地震動に対する破壊確率に基づき、栈橋の性能確保に関する複数の補修シナリオを立案し、LCC を指標として各シナリオの評価を試みた。その際、栈橋の性能低下が下部工鋼管杭の腐食により生じると考え、その性能低下の程度を地震動に対する破壊確率で数値化した。また、気中部と海中部の防食および補修方法が異なる 4 つのシナリオを設定した。

2. 栈橋の性能低下

検討の対象とした栈橋を図-1 に示す。設計供用期間 50 年の直杭式横栈橋で、下部工は SKK490(1500φ×19t)、SKK400(1500φ×15t)の鋼管杭（全長 38m）により構成されている。供用期間中の鋼管杭の腐食量は、同種の鋼管杭の肉厚測定結果から設定した¹⁾。

栈橋の荷重・変位関係は、鋼管杭（腐食を考慮）、コンクリート上部工および地盤の非線形性を考慮し、栈橋上部工に地震動を水平方向に作用させたプッシュオーバー解析により求めた。レベル 1 地震動に対する耐力の許容限界値は、荷重・変位曲線における弾性限界とした。レベル 2 地震動に対しては、上部工の水平変位を指標として性能を規定し、水平変位の許容限界値（許容塑性率；許容限界変位と弾性限界時変位との比）を式(1)²⁾により求めた。

$$\mu_a = 1.25 + 62.5t / D \quad (1)$$

ここで、 μ_a ：許容塑性率、 t ：鋼管杭の肉厚(mm)、 D ：鋼管杭の直径(mm)

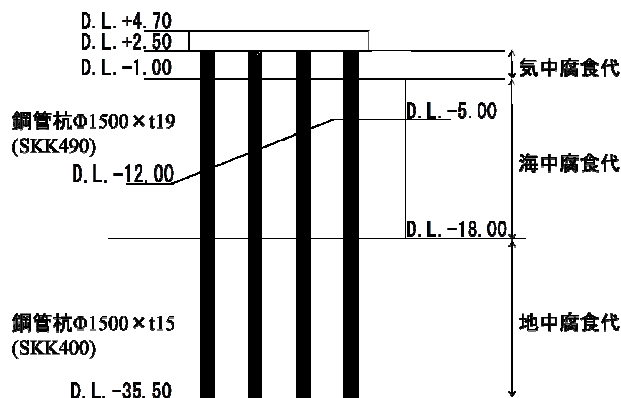


図-1 対象栈橋の標準断面

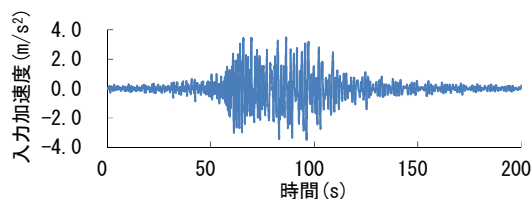


図-2 入力加速度（レベル 2 地震動）

3. 動的解析による地震作用の算出

得られた荷重・変位曲線より、栈橋の復元特性をバイリニア骨格型曲線でモデル化した。栈橋の応答加速度を図-2 に示す地震動入力加速度データとバイリニア骨格型曲線を用いて 1 質点非線形動的解析により求めた。

4. モンテカルロ法による破壊確率の算出

疑似乱数生成アルゴリズムとして、Mersenne Twister（以下、MT）を用いた。上記で得られた許容限界値 r と地震作用 s が正規分布に従うと仮定し、MT で発生させた一様乱数をボックスミュラー法により正規分布乱数に変換した。破壊確率 P_f は式(2)により算出した。

$$P_f = \int (P_r(x) - P_s(x)) dx \quad (2)$$

ここで、 P_f ：破壊確率、 $P_r(x)$ ：許容限界値の確率密度関数、 $P_s(x)$ ：地震作用の確率密度関数

キーワード ライフサイクルコスト、動的解析、地震作用、破壊確率、腐食、港湾鋼構造物

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院 TEL 011-706-6204

表-1 補修シナリオ

シナリオ	防食工		鋼板による補修	溶接回数
	気中部	海中部		
S1	—	—	気中溶接+海中溶接	2
S2	被覆	—	海中溶接	1
S3	被覆	電気防食	—	0
S4	—	電気防食	気中溶接	2

5. 破壊確率と LCC

本研究では、鋼管杭の防食工として、気中部には被覆防食、海中部には電気防食を用いることとし、表-1 に示す 4 つのシナリオを設定した。破壊確率は鋼管杭の腐食の進行に伴い高くなるが、本研究では、許容破壊確率をレベル 1 地震動では 0.0038³⁾、レベル 2 地震動では 0.5 として設定し、この破壊確率达到する直前に性能回復のための鋼板溶接による補修を行うこととした。なお、既往の研究⁴⁾に従い、鋼板溶接を行うことで、鋼管杭の変形性能が 40%低下すると仮定した。レベル 1 地震動に対する破壊確率の経年変化を図-3 に示す。

図-4 に各シナリオで計算される LCC を示す。供用年数 50 年とした場合、S3 の LCC は S2 の約 50%に低減した。S2 の場合、供用開始後 37 年目で、鋼管海中部の腐食により、破壊確率が 0.0038 を超えた。そのため、36 年目に鋼板溶接による補修費用が発生する。S3 と S4 を比較すると、LCC の差はほとんどみられなかった。しかし、S3 では 50 年経過しても破壊確率が概ね 0 だったのに対し、S4 では気中部の腐食により、17 年目と 34 年目に破壊確率が 0.0038 を超えた。そのため、施設の安全性および点検等の維持管理の観点から S3 の方が望ましいシナリオであると考えられる。S1 と S3 を比較すると、S3 の LCC は S1 の約 30%になった。このように、初期コストが高くなったとしても被覆および電気防食による防食工を適切に行った場合(S3)、防食工を行わなかった場合(S1)と比較して LCC を大きく低減でき、優れたシナリオであることが確認された。

6. まとめ

防食工を被覆のみとした場合、海中部の腐食による性能低下に伴い破壊確率が増加し、鋼板溶接による補修を行うことで LCC が増加した。防食工を電気防食のみとした場合、気中部の腐食による性能低下に伴い破壊確率が増加し、鋼板溶接による補修を要するが、本研究の範囲内で最も LCC が低い場合と比べても、ほぼ差はみられなかった。防食工として被覆および電気防

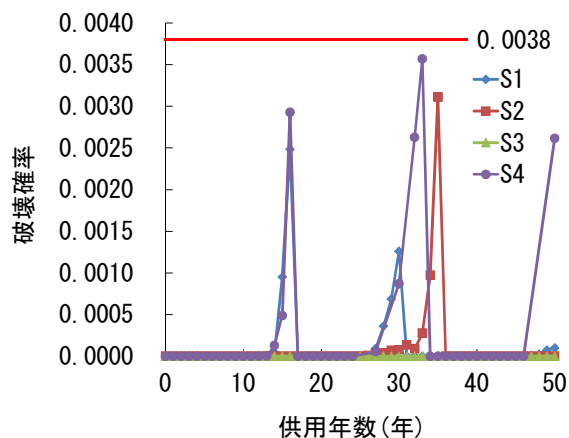


図-3 各シナリオの破壊確率

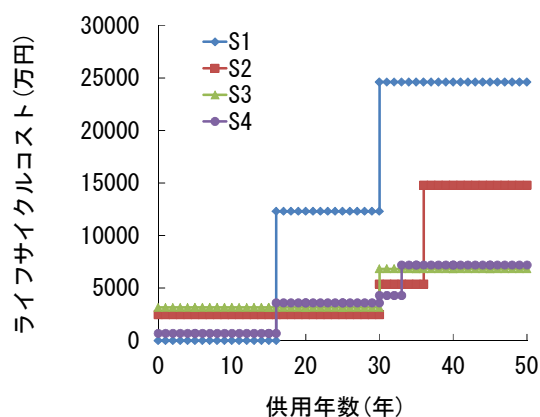


図-4 各シナリオの LCC

食を行った場合、初期コストは高くなるが、破壊確率は 50 年間に亘り概ね 0 であり溶接を行う必要がないため、LCC は最も低くなった。本研究の範囲内では、最も低い場合の LCC は最も高い場合の LCC に比べ、約 30%になった。

参考文献

- 1) 横田弘, 寺西翔平: 鋼杭式栈橋の破壊確率に基づくライフサイクルシナリオ評価の試み, 生産研究, Vol.63, No.4, pp.415-418, 2011
- 2) 横田弘ほか: 鋼直杭式栈橋の弾塑性解析による耐震性能照査および簡便照査法の提案, 港湾技研資料, No.943, 1999
- 3) 国土交通省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007
- 4) Chen, X., Kitane, Y., Itoh, Y.: Mechanical properties of fillet weld joints by underwater wet welding in repairing corrosion-damaged offshore steel structures, Journal of Structural Engineering, Vol.56A, 2010.