

破壊確率を考慮した栈橋下部工のライフサイクルシナリオに関する研究

新日鉄エンジニアリング株式会社 正会員 ○寺西翔平

北海道大学大学院 フェロー会員 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. まえがき

構造物の維持管理に関して、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(LCC)の低減を図ることが必要となっている。しかし、予防保全型ライフサイクルシナリオの立案に際しては、多くの選択肢があり、これらを適切に評価して選定する必要がある。本研究では、栈橋下部工を対象に、このシナリオの立案と評価を試みる。その際、栈橋の鋼管杭の腐食により生じる性能低下の程度をレベル 1 地震動に対する破壊確率で数値化する。また、鋼管杭の気中部と海中部の防食および補修方法をパラメータとした複数のシナリオを設定し、LCC を算定することでシナリオを評価する。

2. 栈橋の性能低下

対象とした構造物は設計供用年数 50 年の直杭式横栈橋である。その下部工は、SKK490(1500φ×19t)、SKK400(1500φ×15t)の鋼管杭(全長 38m)により構成されている。同種の鋼管杭の肉厚測定結果から、腐食プロファイルを設定した。

栈橋の耐力は、部材および地盤の非線形性を考慮したプッシュオーバー解析により求めた。その際、前述の腐食プロファイルから鋼管杭の水深毎の肉厚の経時変化を求めた。また、3.2 で示す地震動を栈橋上部工に水平方向に作用させて得られた荷重-変位関係から栈橋の弾性限界を求め、この値を栈橋の耐力とした。耐力の経年的な劣化を図-1 に示す。同図にある 3 線は栈橋耐力のばらつきの一例として、最大値(肉厚最大)、最小値(肉厚最小)および平均値(肉厚平均)を表している。なお、本研究ではレベル 1 地震動に対する栈橋の破壊確率を対象としているので、弾性限界を栈橋の耐力として考えている。

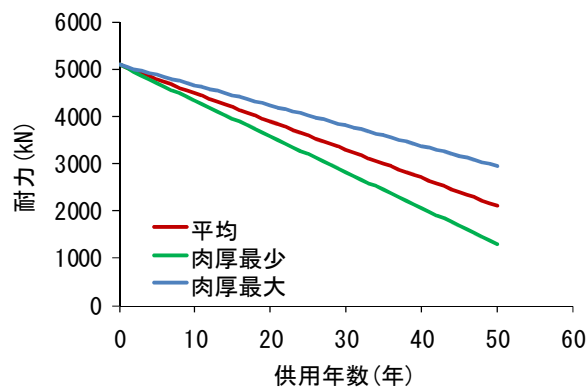


図-1 栈橋の耐力

3. 破壊確率の算出と地震作用の設定

3.1 破壊確率の算出

破壊確率の基本モデルを図-2 に示す。これは、耐力 R を持つ栈橋に地震動荷重 S が作用する場合を示している。 R および S は、図-2 に示すような確率密度関数(それぞれ P_r および P_s)を持つものとした。これらの確率密度曲線が交錯する部分 P_f が破壊確率となる。

破壊確率の計算には、モンテカルロ法により、疑似乱数生成アルゴリズムとして、Mersenne Twister(以下、MT)を用いた。なお、試行回数を 15 万回とした。

2. で述べた栈橋耐力のばらつきを正規分布により近似し、MT で発生させた乱数をこの正規分布に従う正規乱数に変換することで、栈橋耐力の確率分布 P_r を算出した。

3.2 地震動荷重の検討

地震動荷重は、作用震度に自重を乗ずることにより求め、栈橋上部工図心位置に水平方向(陸→海)に作用させた。作用震度の計算フローを図-3 に示す。破壊確率 P_f は式(1)で求めることができる。

キーワード ライフサイクルコスト, 腐食, 破壊確率, モンテカルロ法, 事後保全, 予防保全

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL 011-706-6204

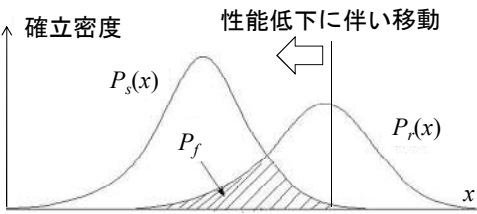


図-2 基本モデル

MTを用いて回帰係数Aの乱数発生

地表面における地盤の最大加速度 α の決定
 $\alpha = (T_R \times 10^{2.959})^{1/A}$
 T_R : 再現期間(75年)

作用震度の算出
 $k_h = 0.197 \times a \times (\alpha/g)^{1/3} \quad (\alpha \geq 200 \text{ Gal})$
 $k_h = 0.59 \times a \times (\alpha/g) \quad (\alpha \leq 200 \text{ Gal})$
 α : 地盤種別係数比 g : 重力加速度

図-3 作用震度の計算フロー

$$P_f = \int (P_r(x) - P_s(x)) \quad (1)$$

ここで、 P_f : 破壊確率、 $P_r(x)$ および $P_s(x)$: 耐力および地震動荷重の確立密度関数

4. 破壊確率とLCCの算定結果

鋼管杭の防食として、気中部には被覆、海中部には電気防食を用いることとし、表-1に示すライフサイクル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。本研究では、許容破壊確率 γ を波浪作用に対する値を準用して0.014として設定し、この破壊確率に達する前に性能回復のための補強（鋼板溶接）を行うこととした。

図-4にS1_2とS3の破壊確率の経時変化を示す。事後保全型のS1_2では、50年間に許容破壊確率に3回到達し、その都度補強が必要となった。破壊確率は経年につれて増加の勾配が大きくなった。そのため、溶接を行った後に防食を行わない場合、許容破壊確率を超える周期が大幅に短くなった。一方、予防保全型のS3では腐食による肉厚減少が微小なため、性能低下もほとんどなく、破壊確率はほぼ0となった。この両ケースが最大あるいは最小のLCCを与えることになると予想されるので、この2つを比較することとした。

図-5に各シナリオのLCCを示す。被覆防食を用いない場合、25年までLCCは低くなった。しかし、

表-1 ライフサイクルシナリオ

シナリオ	防食工		鋼板による補修		補修回数
	気中部	海中部	気中部	海中部	
s1_1	—	—	被覆	—	1
s1_2	—	—	—	—	3
s2_1_1	被覆	—	被覆	—	1
s2_1_2	被覆	—	—	—	2
s2_2	被覆	—	—	電気防食	1
s3	被覆	電気防食	—	—	0
s4_1	—	電気防食	被覆	—	1
s4_2	—	電気防食	—	—	2

事後保全型 予防保全型

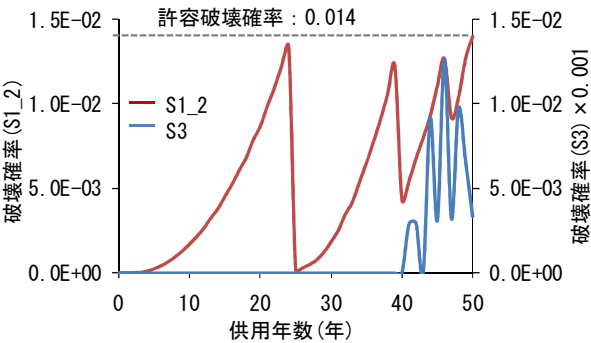


図-4 破壊確率

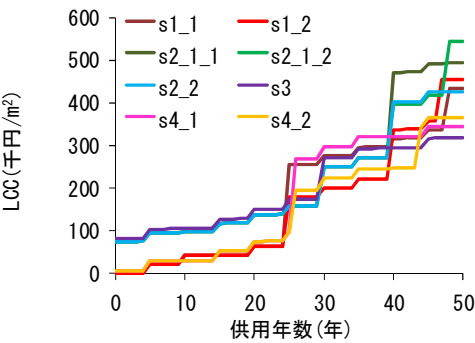


図-5 各シナリオのLCC

25年で許容破壊確率を超えるため、その後のLCCは被覆と電気防食を用いた場合のLCCよりも高くなった。供用年数50年では、S1_2を基準に比較すると、S3のLCCは約30%低くなった。

5. まとめ

S1_2の場合、破壊確率は25年で許容破壊確率を超え、鋼板溶接による耐力の回復が必要となる。S3の場合、破壊確率はほぼ0となる。設計供用年数を50年とすると、気中部に被覆、海中部に電気防食を用い、適切に補修すると、LCCは最も低くなる。

参考文献

1) 国土交通省：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，2007