

塩害による鉄筋腐食を考慮した栈橋RC上部工の破壊確率に関する考察

東洋建設(株) 正会員 ○合田 和哉

1. はじめに

港湾施設の維持管理を実施するに当たっては、将来の施設の性能低下を予測し、維持管理活動を考慮したライフサイクルマネジメントの検討が重要である。その際、老朽化した港湾施設の劣化や変状を把握したうえで、要求性能の照査および被害リスクの定量的評価が重要となる。本研究では、直杭式横栈橋を対象として信頼性解析を実施し、塩害による鉄筋腐食がRC上部工の曲げ破壊確率に与える影響について考察した。

2. 信頼性解析手法

(1) 解析対象モデル

図-1 に示す直杭式横栈橋に対して、船舶接岸時における信頼性解析を実施した。また、上部工断面として表-1 に示すように船舶接岸時における終局限界状態および使用限界状態に対して安全性の程度が異なる3断面を設定した。D-1 は安全性に余裕のある断面、D-2 は安全性を満足する経済的断面、D-3 は使用限界を満たさない断面である。

(2) 信頼性解析

信頼性解析は、2次元骨組解析により求めた断面力をもとに一次信頼性理論(FORM)を用いて実施した。信頼性解析に用いた確率変数の統計量と分布形を表-2 に示す。上部工の部材劣化は塩害による鉄筋腐食を対象とし、鉄筋の断面減少率 V_r を確定値として取り扱った。

性能関数 g は式(1)のようであり、部材の曲げ破壊耐力と発生曲げモーメントの差が0以下で破壊と判定した。

$$g = M_{u(coor)} - M(F, K_h, \gamma_{RC}, q) \geq 0 \quad (1)$$

ここに、 $M_{u(coor)}$:主筋の腐食を考慮した曲げ破壊耐力、 M :発生曲げモーメント、 F :防舷材反力、 K_h :水平地盤反力係数、 γ_{RC} :鉄筋コンクリートの単位体積重量、 q :上載荷重である。曲げ破壊耐力は、横田ら¹⁾に示され主筋の腐食を考慮した耐力式に曲げ破壊耐力算定精度と断面諸元精度を加味した式(2)により算定した。

$$M_{u(coor)} = \lambda \xi A_s(coor) f_y(coor) d \left\{ 1 - (0.60 p_s(coor) f_y(coor) / f_c') \right\}, f_y(coor) = f_y (1 - 1.32 V_r), p_s(coor) = A_s(coor) / (bd) \quad (2)$$

ここに、 λ :曲げ破壊耐力算定精度、 ξ :断面諸元精度、 A_s :鉄筋の断面積、 f_y :鉄筋の降伏強度、 d :有効高さ、

キーワード 信頼性評価, 栈橋, RC部材, 塩害, 鉄筋腐食

連絡先 〒135-0064 東京都江東区青海二丁目43番地 東洋建設(株) 土木技術部 TEL 03-6361-5464

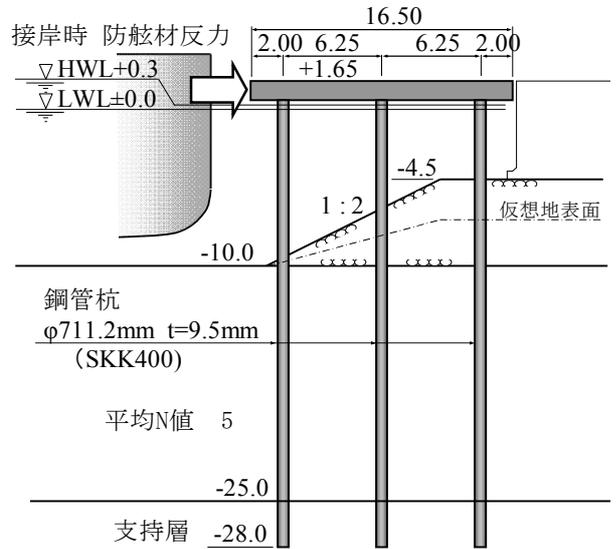


図-1 解析対象モデル(直杭式横栈橋)

表-1 上部工断面ケース

断面	D-1	D-2	D-3
下側鉄筋	D22×6本	D19×7本	D19×6本
終局限界 $\gamma_i M_u / M_{ud}$	0.68	0.78	0.91
使用限界 w/w_a	0.88	0.97	1.11

表-2 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
防舷材反力 F	191.40 kN	25%	対数正規
水平地盤反力係数 K_h	10000 kN/m³	76%	対数正規
上部工の単位体積重量 γ_{RC}	23.52 kN/m³	2%	正規
上載荷重 q	10.00 kN/m²	40%	正規
曲げ破壊耐力算定精度 λ	1.13	14%	正規
断面諸元精度 ξ	1.00	5%	正規
鉄筋の降伏強度 f_y	393.30 N/mm²	5%	正規
コンクリート圧縮強度 f_c	26.40 N/mm²	5%	正規

p_s :鉄筋比, f_c :コンクリートの圧縮強度, V_r :鉄筋の平均断面減少率, b :腹部幅であり, 下添え字(*cor*)は腐食時の値であることを示す.

3. 鉄筋腐食と破壊確率の関係

(1)平均断面減少率と信頼性指標との関係

信頼性解析から得られた鉄筋腐食による平均断面減少率と信頼性指標との関係を図-2に示す. 同関係は, いずれの断面に対しても2次曲線として近似でき, 鉄筋の腐食に伴って信頼性指標の低下量が漸増する傾向にある.

(2)劣化の進行に伴う破壊確率の変化

図-3は, 鉄筋腐食の経時変化を試算し, この結果に図-2の関係をあてはめることで, 破壊確率の経時変化を示したものである. 鉄筋腐食の経時変化は, Fickの第2法則で算定した鉄筋位置での塩化物イオン量が 2kg/m^3 となった時点で腐食ひび割れが発生し, 鉄筋腐食が進行すると仮定した. 同図には, 参考として古玉ら²⁾に示される劣化度と鉄筋腐食に関する推定結果の関連付けを示している. また, 破壊確率 $P_f=1.9 \times 10^{-3}$ は, 港湾基準に示される栈橋の目標破壊確率(船舶作用による変動状態)である.

いずれの断面においても, 鉄筋の平均断面減少率 $V_r=1\%$ 程度から破壊確率の増加が顕著になる. また, 適切に設計された断面D-1およびD-2は, それぞれ $V_r=14.7\%$ および 9.3% において目標破壊確率を超える結果となった.

4. まとめ

直杭式横栈橋を対象として船舶接岸時の信頼性解析を実施し, 鉄筋の腐食による断面減少を考慮したRC上部工の曲げ破壊確率を試算した. 本解析対象栈橋に対しては, $V_r=1\%$ 程度から破壊確率の増加が顕著になり, $V_r=9\%$ 以上で目標破壊確率を上回る, という結果となった. これに基づけば, 船舶接岸時に対しては劣化期の部材を発生させないことが維持管理上の目安になると考えられる.

なお, 本研究は港湾信頼性設計法研究会(国土技術政策総合研究所)における活動成果であり, 長尾室長をはじめとするメンバーの方々にご指導ご助言を頂きました. ここに, 深く感謝の意を表します.

参考文献

- 1)横田弘, 山内浩, 加藤絵万, 岩波光保: 既設栈橋のライフサイクルシナリオに関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No. 1114, 2005.
- 2)古玉悟, 田邊俊郎, 横田弘, 濱田秀則, 岩波光保, 日比智也: 栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発, 港湾空港技術研究所資料, No. 1001, 2001.

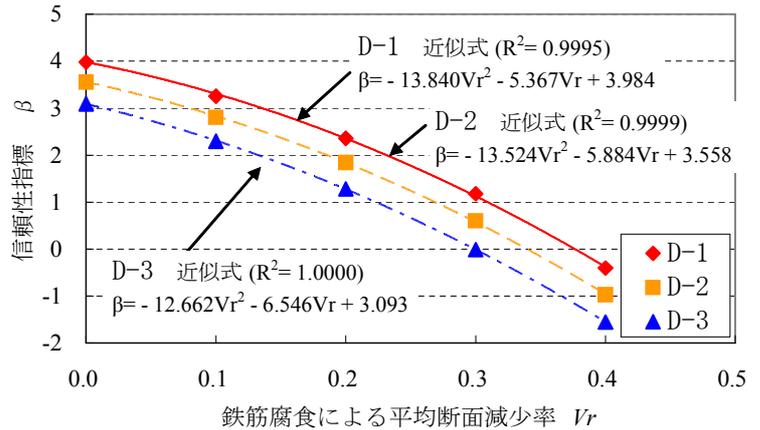


図-2 平均断面減少率と信頼性指標の関係

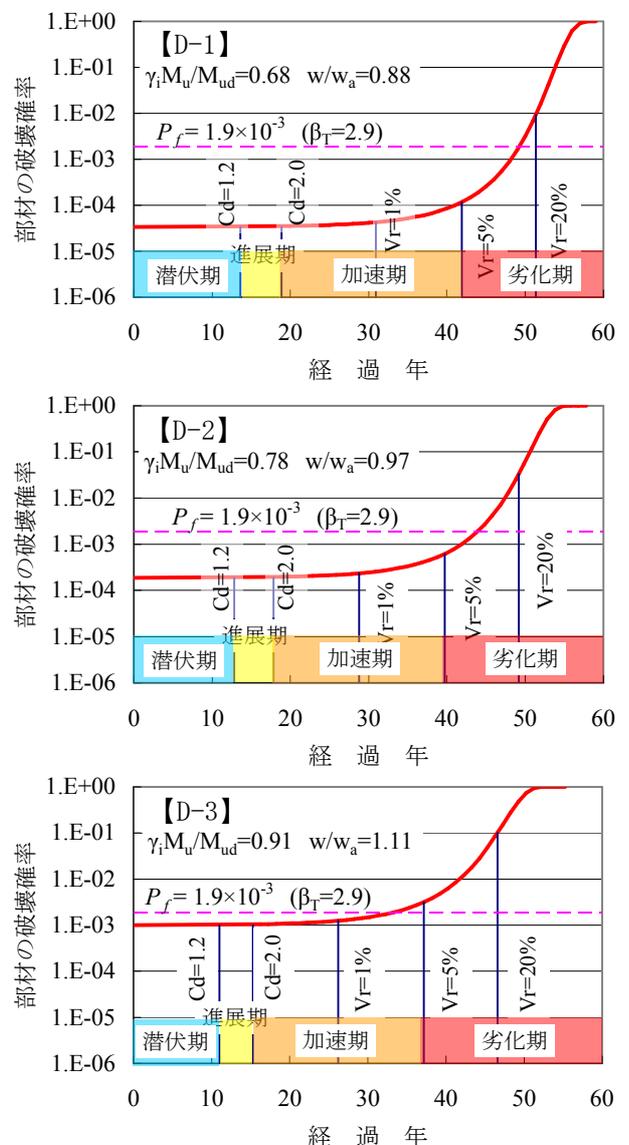


図-3 破壊確率の経時変化