

目視調査結果を基にした栈橋 RC 上部工の劣化予測手法

五洋建設（株） 正会員 ○谷口 修
 五洋建設（株） 正会員 内藤 英晴
 五洋建設（株） 正会員 田村 保
 （独）港湾空港技術研究所 正会員 濱田 秀則

1. はじめに

劣化した栈橋を適切に維持管理していくためには、定期的な点検を行い、重大な損傷が発見された場合には速やかに対処することが重要である。しかしながら栈橋の点検は、通常小型船舶を必要とすることなど施設管理者が容易に実施できないなどの制約があり、劣化が進行した段階で初めて劣化による損傷が発見される場合が多い。そのため現時点での劣化状態を適切に評価するとともに今後の劣化進行状況を評価することが栈橋の維持管理を行う上で重要となる。そこで本研究では、コア採取等の詳細劣化調査を実施する前段階の簡易な劣化予測手法として、現時点での目視調査結果のみから今後の栈橋上部工全体の劣化を予測する確率モデルを提案する。確率モデルを用いた劣化予測は、はじめに栈橋の劣化調査時に梁や床版などの部材を表—1に分類されるような劣化度0～5の6段階に分類する。次に、栈橋全体の劣化度の割合と建設時からの経過年数から遷移率を算定し、その遷移率を用いて今後の劣化度の割合を予測する。

表—1 劣化度の分類

劣化度の分類	示方書の分類	状態
劣化度0	潜伏期	鉄筋腐食がまだ始まっていない段階で潜伏期に相当する。
劣化度1	進展期	鉄筋の腐食が進行している段階で進展期の前期～中期に相当する。
劣化度2	進展期	コンクリート表面に劣化が顕在化しているが、まだ腐食ひび割れは発生していない段階であり、進展期の後期に相当する。
劣化度3	加速期	かぶり部分に腐食ひび割れが発生しており、加速期の前期に相当する。
劣化度4	加速期	かぶり部分に腐食ひび割れが発生しており、加速期の後期に相当する。
劣化度5	劣化期	鉄筋の断面欠損が顕著になる段階であり、劣化期に相当する。

2. 劣化予測モデル

栈橋上部工のある劣化度の部材がある遷移率 $x_0 \sim x_{IV}$ で次の劣化度に移行し、移行しない残りの部材は、確率 $(1-x_0) \sim (1-x_4)$ で現在の状態に留まることすると提案する劣化進行モデルは、次のように表すことができる。

$$\begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_0 & 1-x_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 & 1-x_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_2 & 1-x_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & 1-x_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_4 & 1 \end{bmatrix}^Y \begin{bmatrix} P_0' \\ P_1' \\ P_2' \\ P_3' \\ P_4' \\ P_5' \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで Y ：調査時からの経過年数、 $P_0' \sim P_5'$ ：調査時点の栈橋全体の劣化度の割合、 $P_0 \sim P_5$ ： Y 年経過後の栈橋全体の劣化度の割合、 $x_0 \sim x_4$ ：各劣化度における遷移率を示す。

遷移率の算定は、調査時の劣化度の割合と調査時点の経過年数から構成される以下の連立方程式を用いて算出する。

$$\begin{aligned} P_0' &= (S_0)^Y & P_1' &= x_0 \sum_{k=1}^Y (S_0)^{Y-k} (S_1)^{k-1} & P_2' &= x_0 x_1 S_0^{Y-3} \times (S_0 + S_1 + S_2) \\ & & & & & + x_0 x_1 \sum_{j=1}^{Y-3} \left(S_0^{j-1} \sum_{k=1}^{Y-j} S_1^{Y-i-k} S_2^{k-1} \right) \\ P_3' &= x_0 x_1 x_2 S_0^{Y-4} \times (S_0 + S_1 + S_2 + S_3) & P_4' &= x_0 x_1 x_2 x_3 S_0^{Y-5} \times (S_0 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4) \\ & + x_0 x_1 x_2 \times \sum_{j=1}^{Y-4} \left(S_0^{j-1} \times \left\{ S_1^{Y-j-3} (S_1 + S_2 + S_3) \right. \right. & & \left. \left. + \sum_{i=j+1}^{Y-3} \left(\sum_{k=1}^{Y-i} S_2^{Y-i-k} S_3^{k-1} \times S_1^{i-(j+1)} \right) \right\} \right) & & + x_0 x_1 x_2 x_3 \times \sum_{j=1}^{Y-5} \left(S_0^{j-1} \times \left\{ S_1^{Y-j-4} (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) \right. \right. \\ & & & & & \left. \left. + \sum_{m=j+1}^{Y-4} S_1^{m-j-1} \left\{ S_2^{Y-m-3} (S_2 + S_3 + S_4) \right. \right. \right. & & \left. \left. + \sum_{i=m+1}^{Y-3} \left(\sum_{k=1}^{Y-i} S_3^{Y-i-k} S_4^{k-1} \times S_2^{i-(m+1)} \right) \right\} \right) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $S_0 = 1 - x_0$ 、 $S_1 = 1 - x_1$ 、 $S_2 = 1 - x_2$ 、 $S_3 = 1 - x_3$ 、 $S_4 = 1 - x_4$

キーワード 栈橋、劣化予測、確率論、塩害、目視調査

連絡先 〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1 五洋建設(株)技術研究所 TEL0287-39-2109

このモデルは、現時点での劣化度の分布を性格に表した上で劣化予測を行うことできることに特徴がある。

3. 既往調査事例を用いた検証

(1) 遷移率と経過年数、設計かぶり厚との関係

全国各地の建設後 10 年から 47 年経過した全 44 件の栈橋の目視調査結果を用いて検討を行った。このうち H. W. L.、設計かぶりのデータが得られているものは、16 の栈橋である。また、同一の栈橋で複数回の劣化調査を行っているものもある。図—1 は、式 (2) を用いて算出した劣化度 2 から 3 に至る遷移率と建設時からの経過年数関係を示したものである。床版と梁の近似曲線はほぼ同様の値を示していることがわかる。図—2 は遷移率と設計かぶり厚の関係を示したものである。かぶり厚は、7, 10, 15cm と限られたものであったため、設計かぶり厚と遷移率の関係を見いだすことができなかった。

(2) 劣化予測の検証

提案したモデルの検証は、1 回目の目視劣化調査結果を用いて既往の劣化進行モデル¹⁾ および提案した劣化予測モデルで劣化予測を行い、追跡調査後の実測値と比較することで劣化予測モデルを検証した。

劣化予測モデルの検証で対象とした栈橋 A は、建設後 16 年目と 22 年目の 2 回にわたって目視劣化調査が行われ、東京湾に位置するものである。検証結果を図—3～図—4 に示す。提案した劣化モデルは、調査 1 回目の劣化度分布を正確に表した上で劣化予測を行っていることがわかる。また、提案モデルは、既往モデルで表現できなかった劣化度分布の凹凸も表現できることがわかる。

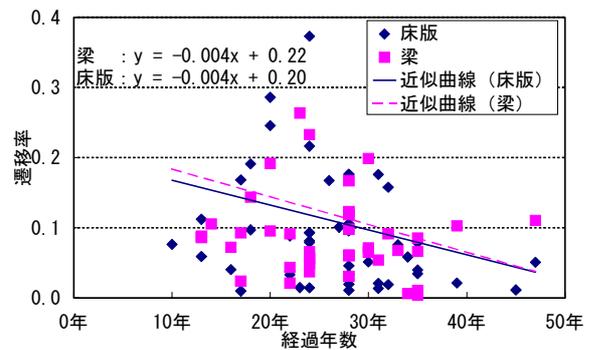
5. まとめ

目視調査結果のみから簡易に栈橋上部工の劣化予測が可能な手法を提案した。提案した手法は、現時点の劣化調査結果を正確に表し、栈橋全体の劣化予測が実施できるものである。複数回の調査事例を基に劣化予測に関する検証を行い、有効性を確認した。なお、本研究で提案したモデルはあくまで簡易手法であり、塩害劣化を受けた構造物の詳細調査は、コアを採取し、コンクリート内部の塩化物イオン濃度を測定することは、重要であると考えられる。

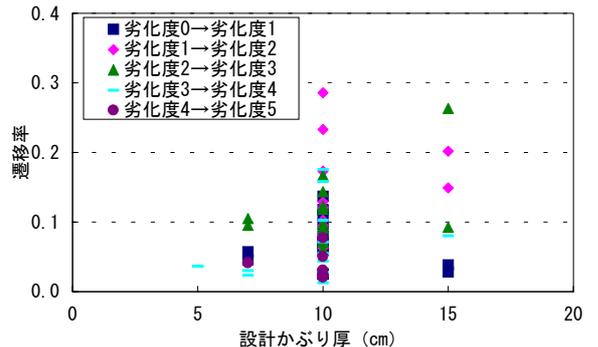
なお、本研究は (独) 港湾空港技術研究所と東洋建設 (株)、五洋建設 (株) の三者にて共同研究を行ったものの成果の一部である。

参考文献

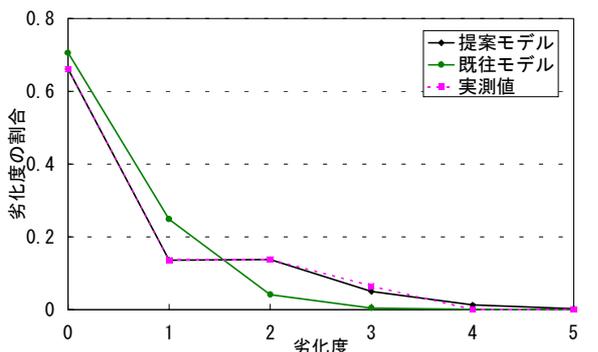
- 1) 港湾構造物の維持補修マニュアル, 財) 沿岸開発技術センター, 1999 年 6 月
- 2) 小牟禮建一, 濱田秀則, 横田弘, 山路徹: R C 栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの開発, 港湾空港技術研究所報告, 第 41 巻, 第 4 号, 2002. 12



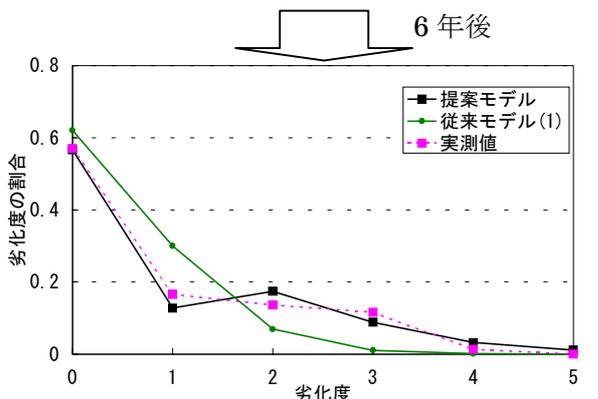
図—1 経過年数と遷移率 (劣化度 2→劣化度 3)



図—2 遷移率と設計かぶり厚の関係



図—3 劣化度分布 (調査 1 回目, 建設後 16 年目)



図—4 劣化度分布 (調査 1 回目, 建設後 22 年目)