

栈橋 RC 上部工の劣化進行予測手法に関する検討

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

1. はじめに

港湾施設は重要な社会資本の一つであるが海洋環境下に置かれているため、コンクリート構造物は塩害による劣化の事例が数多く見られる。特に栈橋RC上部工は、劣化が顕著に現れる事例が多いこともあり適切に維持管理を行う為には、劣化状態の把握もさることながら以後の劣化進行を的確に予測することが重要となる。そこで本研究では、塩化物イオン浸透の予測モデルを用いた方法と確率論的予測手法を融合した劣化進行予測手法を提案する。なお、提案したモデルの検証対象としたものは中部地方太平洋側に位置する民間施設の栈橋であり、建設後24年目と28年目に目視点検による劣化度調査が実施されたものである。

2. 栈橋 RC 上部工の現状の劣化予測手法とその問題点

2.1 コンクリート標準示方書²⁾の劣化予測モデル 塩化物イオン濃度の浸透予測によって鉄筋の腐食発生を予測する方法は表面塩化物イオン濃度、みかけの拡散係数を与えることで、構造物内部の塩化物イオン濃度分布が求まる。通常、塩化物イオン濃度や拡散係数の測定には多額の費用がかかるため、各施設の限られた箇所での調査結果から施設全体の平均的な劣化進行を判断する場合が多い。しかしながら、劣化が進んだ部材と劣化進行の遅い部材が混在する状況にあるのが一般的であり、栈橋上部工全体の劣化進行予測を数カ所の塩化物イオン濃度調査によって適切に再現することは困難である。

2.2 確率論的予測方法³⁾ 目視点検結果から栈橋の部材毎の劣化度を劣化度0～Vの6段階に分類し、各部材の劣化進行がマルコフ連鎖モデルで表現できるとする劣化予測モデルがある。このモデルは、現時点での目視点検結果による劣化状態から、各部材の劣化度を経過年数によって構造物全体を確率的に予測することが可能なモデルであり、構造物全体の劣化度分布の予測が可能である。式(1)にモデルを示す。

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I \\ II \\ III \\ IV \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x & 1-x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1-x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & 1-x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 1-x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & 1-x \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで0～Vは劣化度割合、xは遷移確率、tは経過年数を示す。このモデルでは劣化進行が時間的に平均に進むことを想定しており、劣化が急速に進行した場合では、再現することが困難な場合がある。

3. かぶりを考慮した確率論に基づく予測方法

3.1 提案する予測モデルの概要

(1) **劣化度の期間の推定** 提案するモデルは、かぶりの大小の影響が劣化期間の長さおよび遷移確率に影響を及

表—1 遷移率の設定

劣化期間	潜伏期	進展期		加速期		劣化期
劣化度	0	I	II	III	IV	V
劣化期間の比率	T_0	$T_I=1$	$T_{II}=1$	T_{III}	T_{IV}	
遷移率	$x_0 = \alpha/T_0$	$x_I = \alpha/T_I$	$x_{II} = \alpha/T_{II}$	$x_{III} = \alpha/T_{III}$	$x_{IV} = \alpha/T_{IV}$	

表—2 入力値

表面塩化物イオン濃度	13.0 (kg/m ³)
見かけの拡散係数	1.86×10^{-8} (cm ² /sec)
鉄筋径	1.6 (cm)

表—3 劣化期間の割合

示方書の分類	潜伏期	進展期		加速期		劣化期
劣化度	0	I	II	III	IV	V
各期間の年数	4年間	2年間		30年間		
各期間の比率:T	4	1	1	15	15	

キーワード 栈橋 RC 上部工, 塩害, 確率論, 劣化予測, 塩化物イオン浸透予測

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 TEL 0287-39-2116

ぼすのものと考え、示方書の塩化物イオン濃度浸透予測の考えを取り入れ、塩化物イオン濃度により劣化度 0 ～ V の 6 段階に分類される各期間の比率 $T_0, T_I, T_{II}, T_{III}, T_{IV}, T_V$ をあらかじめ予測し、劣化度の期間を考慮した遷移確率を設定し、対象構造物全体の今後の予測を行うものである。劣化度の各期間を予測するために塩化物イオン濃度分布の予測を行い、鉄筋位置で塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 に達した段階で鉄筋に腐食が発生するものとし、潜伏期と進展期を判断する。また、塩化物イオン濃度が鉄筋位置で 2.0kg/m^3 に達した段階でコンクリートに腐食ひび割れが発生するものとし、進展期、加速期を判断する。腐食ひび割れ発生以降の予測は参考文献⁴⁾の方法により鉄筋腐食減少率が 20%以上となる段階を劣化期と判断した。

(2) 劣化期間を考慮した遷移確率 期間が短い劣化度ほど次の劣化段階に移行しやすいものと考え、各劣化度の期間の比率 $T_0 \sim T_{IV}$ に対して表—1 のように遷移確率 ($x_0 \sim x_{IV}$) を設定する。ここで α は進展期の遷移確率であり、調査実測値の劣化度分布と遷移確率 ($x_0 \sim x_{IV}$) から算出した劣化度分布との偏差 2 乗和が最小となる α を求めた。

上述のような各劣化度の期間を考慮した劣化予測モデルは式 (2) に示すとおりとなる。

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I \\ II \\ III \\ IV \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_0 & 1-x_I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_I & 1-x_{II} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_{II} & 1-x_{III} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_{III} & 1-x_{IV} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{IV} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

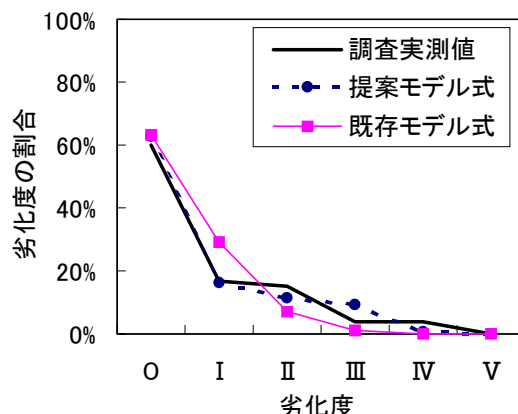
3.2 提案モデルの検証 かぶりが 5cm の場合について前述の方法によって各劣化度の期間を算出した。使用したパラメータを表—2、各劣化期間の長さ及び比率を表—3 に示す。かぶり厚さの大小によって各劣化度の期間の比率に違いが生じることがわかる。初回 (24 年時) の点検結果から遷移確率を求め、得られた遷移確率から初回の劣化度の再現計算および点検年 (28 年時) の劣化予測計算を行い、それぞれの対応する目視点検調査結果による劣化度分布と比較した。初回点検結果から遷移確率を算定する方法は前述の通りである。図—1,2 に示すようにこの栈橋は 4 年間で劣化が比較的急速に進行した事例であるが、このような栈橋での劣化事例に対して提案モデルは調査結果を比較的精度良く再現していることがわかる。

4. まとめ

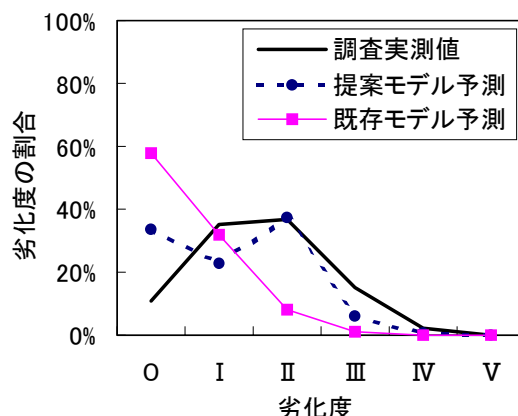
かぶりを考慮するために劣化度の期間をあらかじめ計算し、劣化期間毎に設定した遷移確率を用いた確率モデルを提案した。複数回の調査を実施した栈橋の劣化調査結果を用い、提案したモデルの検証を行い、有効性が確認できた。提案したモデルは比較のかぶり厚が小さい床版部では、劣化の進行が急速に進む場合が多いことから適用が可能であり、またかぶり厚を明確に考慮した確率モデルであると言える。

参考文献

- 1) 沿岸開発技術センター, 港湾構造物の維持補修マニュアル, 平成 11 年 6 月
- 2) 土木学会, コンクリート標準示方書[維持管理編], 2001 年
- 3) 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
- 4) 日本コンクリート工学協会, コンクリート構造物のリハビリテーション委員会報告書, 1998. 10



図—1 栈橋床版の劣化度分布 (建設後 24 年時)



図—2 栈橋床版の劣化度分布 (建設後 28 年時)