

コンクリート構造物の塩害劣化予測と点検に基づくその修正手法に関する一考察

鹿児島大学大学院 正会員 ○小郷 亜紀子
 鹿児島大学大学院 正会員 武若 耕司

鹿児島大学大学院 正会員 山口 明伸
 鹿児島大学大学院 学生会員 劉 娟

1. はじめに

近年、わが国では、社会資本の効率的な維持管理方法としてアセットマネジメントの適用が試みられている。そのためには、精度の高い劣化予測が前提となるが、現実的には、精度の高い長期予測を行うことは未だ困難であり、定期的な点検に基づきその予測を修正することが必要となる。そこで、本研究では、鹿児島市の塩害環境下にある9橋梁のPC橋を対象に、各橋梁の塩害劣化の進行を予測し、その予測精度を概略点検および詳細調査の結果と比較することで確認するとともに、概略点検による劣化予測の適切な修正方法を検討した。

2. 劣化予測モデルの概要

塩害による構造物の劣化過程は潜伏期、進展期、加速期、劣化期に分けられる。劣化モデルの概念図を図-1に示す。目視点検による健全度評価結果と劣化過程との対応は構造物の健全な状態を健全度 100 とし、25 刻みで図-1のようになると仮定してモデル化した。各劣化過程の期間は塩害環境条件、配合条件、構造条件を考慮し、以下の各劣化モデルにより算出した。

(1)潜伏期の劣化予測：潜伏期はフィックの拡散係数方程式の解を用いて、腐食発生限界塩化物イオン濃度 $1.2(\text{kg}/\text{m}^3)$ に達するまでの期間を算出した。

(2)進展期の劣化予測：進展期は、松林による提案式を用い、例えば水セメント比が 50%から 55%の場合、式(1)を用いて腐食量を算出し、式(2)により設定される腐食ひび割れ発生限界腐食量に達するまでの期間を算出した¹⁾²⁾。

$$q_s = 1.95 \cdot d \cdot \frac{1}{\sqrt{c}} \cdot 0.092 \exp \{ (0.0423 \cdot W/C - 1.5091) Cl^- \} \quad (1)$$

$$y = 10 \cdot c / d \quad (2)$$

ここで、 q_s ：腐食速度($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{年}$)、 W/C ：水セメント比(%),
 Cl^- ：塩化物イオン量(kg/m^3)、 c ：かぶり厚さ(mm)、 d ：鉄筋直径(mm)、
 y ：経験式によるひび割れ発生腐食量 (mg/cm^2)

(3)加速期および劣化期の劣化予測：加速期および劣化期については、図-2に示す鉄筋腐食量と腐食ひび割れ幅と腐食速度の関係を用いて腐食量を算出した³⁾。構造性能に対する安全率の観点から、鉄筋腐食減量率が 10%, 20% に達するまでの期間をそれぞれ加速期、劣化期と設定した。

3. 9橋梁に対する劣化予測とその修正方法の検討

(1)海岸からの距離に基づく劣化予測および概略点検との比較

上記の劣化モデルを用いて、鹿児島市で実際に供用中の9橋梁(A～I)に対する塩害劣化の進行予測を行った。ただし、材料条件、構造条件については、表-1のように仮定し、環境条件である表面塩化物イオン濃度には、各橋梁の海岸からの距離に応じて示方書による値を設定した。劣化予測結果を図-2に示す。なお図中には、9橋梁の概略点検結果を併せて示す。概略点検では、目視による外観調査により各橋梁の健全度を評価している。各橋梁の劣化予測結果と概略点検結果を比較すると、ほとんどの橋梁でその整合性が低いことが分かる。

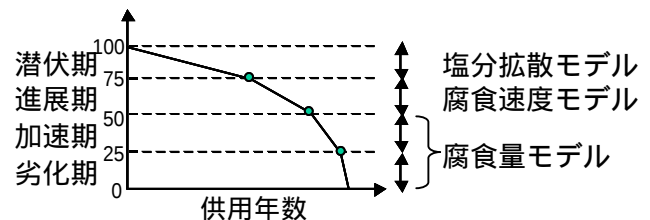


図-1 劣化モデルの概念図

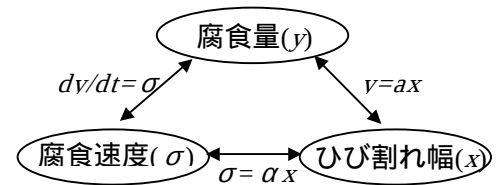


図-2 鉄筋腐食量と腐食ひび割れ幅と腐食速度の関係式

表-1 9橋梁の入力条件

入力条件		設定値
材料条件	セメント種類	OPC
	水セメント比	50(%)
	拡散係数	示方書
構造条件	かぶり	7(cm)
	鉄筋径	19(mm)
環境条件	表面塩分濃度	示方書

キーワード 劣化モデル、劣化予測、概略点検、詳細調査

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究科 海洋土木工学専攻 TEL099-285-8480

(2)概略点検結果に基づく修正

概略点検結果に基づき、各橋梁の環境条件、すなわち表面塩化物イオン濃度を再設定した。修正後の劣化予測結果を図-3に示す。図のように、修正後の劣化予測は、概略点検結果とほぼ対応している。ただし、概略点検は目視調査を主体としているため、最終的な精度は、詳細調査によって確認する必要がある。

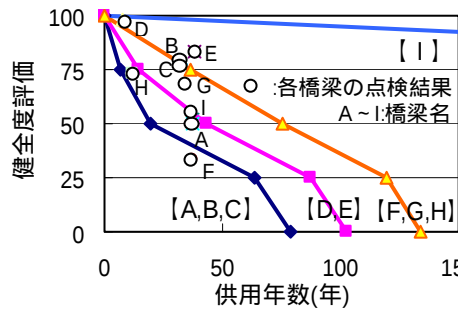


図-2 海岸からの距離に基づく劣化予測結果

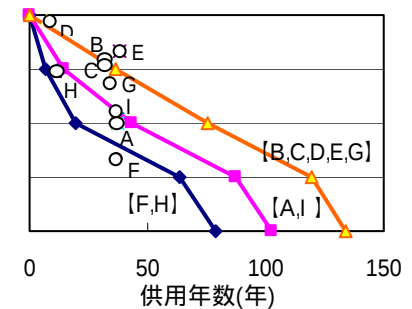


図-3 概略点検結果に基づく劣化予測結果の修正

(3)詳細調査による精度の確認と劣化予測の再修正

詳細調査では、各橋梁から採取したコンクリートコア内部の塩化物イオン濃度分布を調査し、実測の表面塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数が得られるため、これらの実測値を用いて各橋梁の劣化予測を再度行った。その結果得られた腐食ひび割れ発生年数(健全度 50)を指標として、上記(1), (2)の劣化予測から得られる年数と比較したものが図-4(a), (b)である。図-4(a)は(1)で行った劣化予測と詳細調査と比較したものであり、両者の全体的な整合性が低いことが分かる。これに対して図-4(b)は、図-4(a)を概略点検に基づき修正した(2)の予測結果と詳細調査を比較したものである。概略点検に基づいた修正により、予測の精度が改善された橋梁グループ【I】(A,F,H,I)と、さらに予測精度が悪くなった橋梁グループ【II】(B,C,D,E,G)の2つに分類されることが分かる。この二つのグループの違いは、【I】が概略点検で「進展期」あるいは「加速期」と判定された橋梁であり、【II】が、Gを除いて「潜伏期」と判定された橋梁であることである。つまり、概略点検において「潜伏期」と判定された橋梁の多くは、その点検結果に基づいた修正を行うことにより、逆に劣化予測の推定精度が低下してしまったことになる。このことは、目視を主体とする概略点検によって「潜伏期」と判定された橋梁は、実際には既に進展期あるいは加速期となっていた可能性が高いことを示唆するものである。そこで、概略点検において「進展期」あるいは「加速期」と判定された橋梁グループ【I】についてはその結果を踏まえて当初の劣化予測結果を修正し、「潜伏期」と判定された橋梁グループ【II】については、修正を実施しないこととした。その結果得られた各橋梁の腐食ひび割れ発生年数予測を示したものが図-4(c)である。図-4(a), (b)と比較して最も詳細調査との整合性が高くなっており、点検結果を適切に取り入れた修正

となっていることが分かる。なお、このときの各橋梁の劣化予測結果を図-5に示す。

4.まとめ

本研究で構築した劣化モデルを用い、塩害環境下にある鹿児島市の9橋梁の劣化予測を行い、その

精度の確認および修正を行った。その結果、概略点検で潜伏期と判定された結果を用いて劣化予測を修正した場合には危険側の予測となる可能性があることを確認した。

【参考文献】

- 1)コンクリート構造物の長期性能照査支援モデルに関するシンポジウム，委員会報告書，日本コンクリート工学協会，2004.10.8
- 2)コンクリート構造物のアセットマネジメントに関するシンポジウム委員会報告書，日本コンクリート工学協会，2006.12
- 3)コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，1998.10

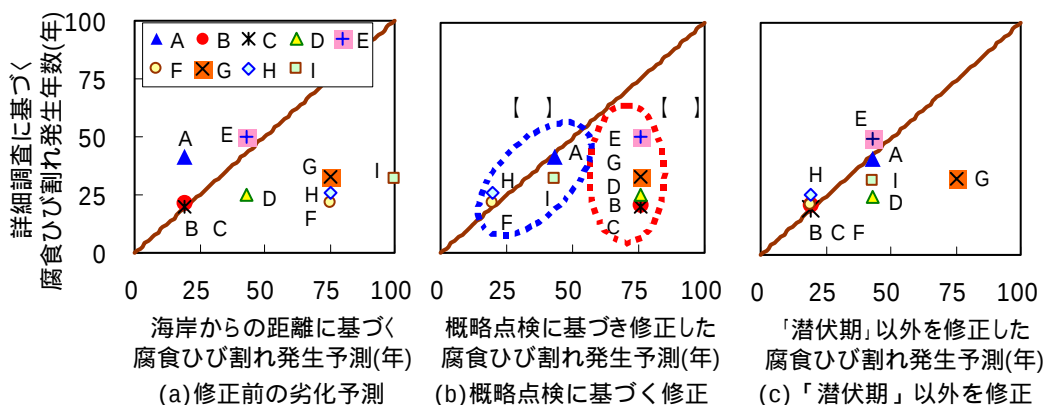


図-4 予測される腐食ひび割れ発生年数の比較

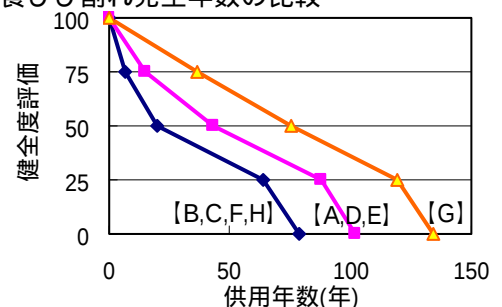


図-5 各橋梁の劣化予測結果