

マルコフ理論による塩害劣化 RC 橋梁の簡易健全性評価についての検討

神戸大学大学院
八千代エンジニアリング (株)

学生員
○上山 暁一
内海 卓也

神戸大学大学院 正会員
森川 英典

1. はじめに

近年、長期にわたり供用され続け、塩害劣化した RC 橋梁が多数報告され、維持管理の重要性が高まっている。しかし、経済的、時間的な要因により、すべての橋梁に対して、詳細な点検を行うことは現実的に不可能である。そこで、本研究では、マルコフ理論による簡易的な劣化予測手法についての検討を行い、その結果より得られた浮き、はく落の情報から健全性評価を行い、目視調査の判断基準について検討を行った。

2. 対象橋梁概要および調査概要

(1) 対象橋梁概要

現場試験を行った橋梁は淡路島内で現在供用されている単純 RCT 橋梁である I 橋および M 橋の 2 橋である。表-2.1 に各橋梁の諸元について示す。I 橋について主桁の名称を下流側から A 桁、B 桁、C 桁とする。A 桁および B 桁では鉄筋腐食に伴ってはく落し、鉄筋が露出している箇所が多数確認できた。C 桁では広範囲にわたり浮きが発生しており、はく落も確認された。M 橋について主桁の名称を下流側から A 桁、B 桁、C 桁、D 桁とする。A 桁では桁端部のかぶりコンクリートのはく落による鉄筋の露出部分が確認された。その他の桁では端部において浮きや腐食ひび割れが確認できるが、比較的健全であると考えられる。

表-2.1 I 橋・M 橋諸元

	I橋	M橋
所在地	兵庫県洲本市	兵庫県洲本市
架設年次	1959年	1962年
設計荷重	TL-14	TL-20
上部構造形式	RC単純T桁橋	RC単純T桁橋
スパン	1スパン	1スパン
スパン長	11.1m	10.6m
海岸からの距離	約50m	約15m

(2) 調査概要

本研究で行った現場試験はひび割れ・浮き調査および鉄筋腐食モニタリングである。鉄筋腐食モニタリング調査では、自然電位、分極抵抗の測定を行った。また、測定時の環境条件を把握するため、気温、湿度、コンクリート温度およびコンクリート含水率について測定を行った。これらの点検結果より、既往の研究¹⁾において、I 橋および M 橋についてマクロセル腐食発生を考慮した劣化予測を行っている。

3. マルコフ理論を用いた簡易的劣化予測手法についての検討

既往の研究¹⁾における、詳細な点検に基づくマクロセル腐食発生を考慮した劣化予測の結果をもとに、マルコフ理論を用い、簡易的な劣化予測手法の検討を行った。マルコフ理論とは、「状態」と「遷移」という 2 つの概念により、ある状態から、次の状態へと遷移する様子を確率論的にとらえる統計的手法である。(図-3.1 参照)

本研究においては、詳細な点検に基づいた劣化予測の結果に従って、図-3.2 に示すようなマルコフモデルによる劣化状態および遷移の設定を行った。劣化予測として、各橋梁について、橋齢 100 年まで、10 年ごとに遷移確率の算出を行った。その際、簡易化のため、経年での遷移確率は一定としている。算出された遷移確率によって得られた、橋齢 50 年における M 橋の状態確率と詳細な点検に基づく劣化予測の結果を図-3.3 に示す。図-3.3 に示すように、M 橋において、遷移確率によって得られた状態確率の結果について、詳細な点検に基づいた劣化予測の結果と同程度の結果を得ることができた。また、I 橋についても同様の結果が得られた。

キーワード 健全性評価, 目視調査, マルコフ理論, 塩害劣化, RC 橋梁

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-881-1212

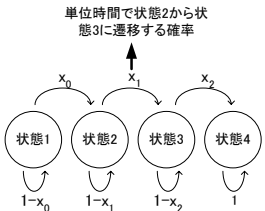


図-3.1 マルコフ理論の概念

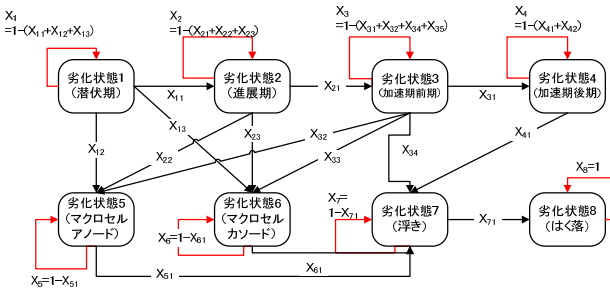


図-3.2 マルコフモデルによる状態遷移

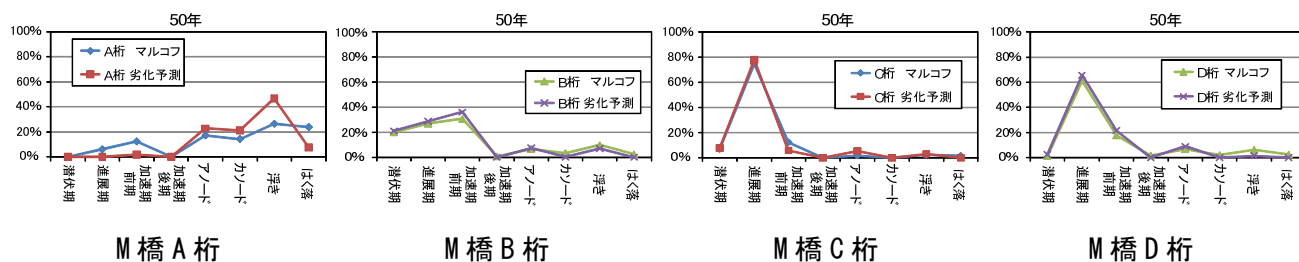
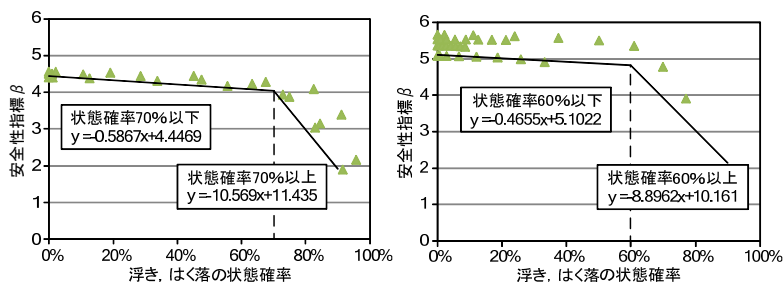


図-3.3 マルコフモデルでの状態確率と劣化予測結果

4. マルコフ理論による浮き、はく落の結果を考慮した簡易健全性評価の検討

3章で示したマルコフモデルにより算出された各劣化状態の状態確率の内、浮き、はく落の状態確率を足し合わせたものを用い、健全性評価を行った。浮き、はく落の状態確率と詳細な点検に基づく安全性指標 β ¹⁾の関係性を図-4.1に示す。ここで、各橋梁について10年ごとに安全性指標 β との関係性をプロットした(I橋では橋齢70年、M橋では橋齢80年までとしている)。図-4.1をみると、両橋梁においてy切片の β の値が異なるが、これは設計荷重、コンクリート強度の違いが影響しているものと考えられる。また、浮き、はく落の状態確率が大きくなると安全性指標 β の値は小さくなり、状態確率が一定の値(I橋においては70%、M橋においては60%あたり)を超えると急激に安全性指標 β が低下することが分かる。図-4.1において、橋梁ごとに、2直線近似によって関係式を算出しているが、その際、簡易健全性評価における不確定性を考慮して、安全側の結果となるように近似直線の算出を行った。

図-4.1 安全性指標 β と浮き、はく落の状態確率の関係式

(左: I橋, 右: M橋)

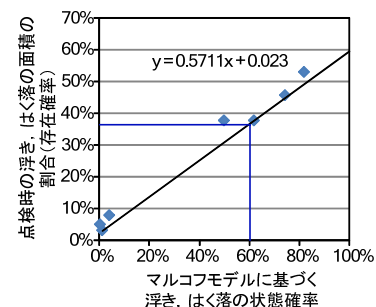


図-4.2 浮き、はく落の状態確率と存在確率の関係

このように、状態確率と安全性指標 β の関係性を示すことができたが、本研究における状態確率とは、詳細な点検に基づいた劣化予測において1000パターンのシミュレーションによって、ある劣化状態となる割合を表したものをマルコフ理論によって簡易化したものであるため、点検時の実際の劣化状態と関連性について考える必要がある。したがって、図-4.2に示すように、点検時における実際の浮き、はく落の面積の割合(存在確率)との関係性に着目し、マルコフモデルに基づく浮き、はく落の状態確率との関係性について検討した。図-4.2から分かるように、両指標には線形関係が確認できる。そこで、目視調査での判断基準の算出を行うため、安全側の結果となるように関係式の算出を行った。その結果、マルコフモデルに基づく浮き、はく落の状態確率が60%である際、点検時における浮き、はく落の面積の存在確率は約35%となった。以上の結果により、目視調査を行う際、浮き、はく落の面積の割合を算出し、それらの割合が35%以下であれば、健全であることが考えられ、35%以上であれば劣化予測が必要であると考えられる。今後、より多くの橋梁を対象にサンプルデータを増やし、更なる改良を行っていく必要がある。

5. まとめ

本研究ではマルコフ理論を用いて簡易的な劣化予測手法の検討を行った。また、この結果の内、浮き、はく落の状態確率を健全性評価の結果と比較することで、点検時の浮き、はく落の発生面積(存在確率)を算出することによって簡易的に健全性評価を行うことが可能となり、目視調査の判断基準を示すことができた。

参考文献 1) 森川英典, 山室俊介, 高木康成, 内海卓也: 鉄筋腐食モニタリングに基づく塩害劣化RC部材の腐食機構と劣化予測手法の検討, 建設工学研究所論文報告集, Vol51, pp.15-30, 2009.11.