

鉄筋コンクリート橋梁の劣化予測システムの開発

埼玉大学大学院 学生会員 ○川名桂子
 埼玉大学大学院 正会員 浅本晋吾
 埼玉大学大学院 フェロー 陸好宏史
 八千代エンジニアリング(株) 正会員 野田一弘

1. 研究の背景と目的

日本における既設橋梁は昭和30年から40年の高度経済成長期に建設されたものが多く、戦後約14万橋(2006年現在)が建設されてきた。これらの橋梁は近年老朽化が進み、安全性、使用性、耐久性、景観などが低下しているものが多い。近い将来、橋齢50年を超える橋梁は全橋梁数の50%に達すると言われている。したがって、今後橋梁の維持管理業務が大幅に増大することは必然であり、その維持管理方法についての検討が進められている。

著者らは鉄筋コンクリート橋梁の統括的な橋梁維持管理システム(Bridge Management System)を開発してきた^{1,2)}。本BMSは橋梁の健全度を点検シートに基づき点数評価する橋梁健全度診断¹⁾、点検結果に基づき将来の橋梁の健全度を予測する劣化推定、そして補修時期やそのコストを検討する維持管理計画の3つの機能から構成されている。本研究では、上記の3つの機能の中から、将来における橋梁の健全度を予測する劣化推定に焦点を絞り、マルコフ連鎖モデルを用いた劣化予測システムを開発しようとするものである。

2. マルコフ連鎖モデルを用いた劣化予測手法の概要

コンクリート構造物の劣化推定法として、いくつかの考え方がこれまで提案されているが、未だ研究途上であると言ってよい。ここでは劣化推定手法にマルコフ連鎖モデルを適用した。マルコフ連鎖モデルとは、既知である最初の状態(橋齢0年)と現在の状態(例えば図-1における橋齢20年時)から、未知であるその間の状態を、状態確率(各劣化状態の割合)と推移確率 X を用いて連鎖的に求める確率モデルである。本手法では、劣化度が部材により異なり、劣化が徐々に進行する過程を数学的に表現することが可能であり、既設橋梁の健全度診断結果から将来の劣化現象を推定することができる。

3. 橋梁の劣化予測システム

マルコフ連鎖モデルを鉄筋コンクリート橋梁の劣化予測に適用するに当たり、以下を仮定した。1) 建設時において、初期欠陥、施工不良などは無いものとする、2) 劣化の推移確率は段階(Condition State)ごとに不変とする、3) 現在の劣化状況および経過年数は点検時に既知である。これらの前提条件から現在の劣化状況に最も整合するように推移確率を設定し、設定した推移確率を用いて将来の劣化予測を行うこととした(図-1)。

(1) 既設橋梁の健全度点検結果の利用

点検して得られた既設鉄筋コンクリート橋梁の健全度をマルコフ連鎖モデルに対応させるために、橋梁点検により得られた損傷評価(A(損傷がない状態)、B(損傷が認められた状態)、C(損傷が著しい状態))を、直接マルコフ連鎖モデルにおける「状態確率」として表すことを試みた。まず、図-1におけるCondition Stateを点検により得られた損傷評価に適合させるため、A、B、Cの三段階に置き換えた(図-2)。本システムにおいて、損傷を

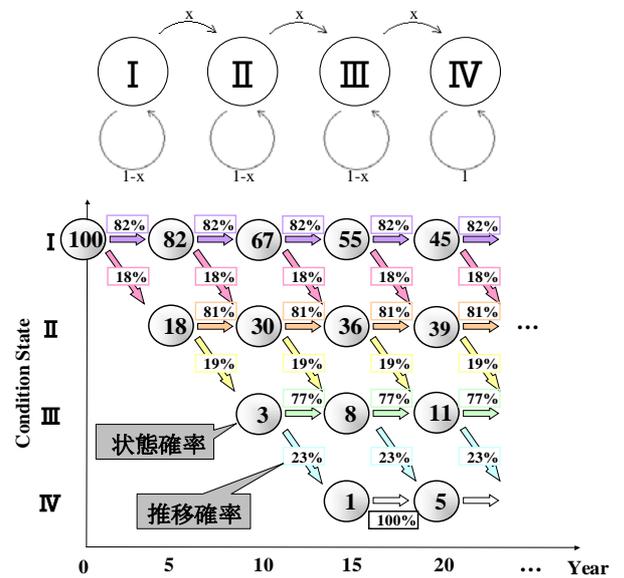


図-1 マルコフ連鎖モデル

キーワード 橋梁診断システム, 健全度, 劣化予測, マルコフ連鎖モデル

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3427

評価する項目は全部で 26 項目ある¹⁾。しかしながら、「ひび割れの発生状況」という項目における C 評価と、現象の異なる「鉄筋の露出状況」という項目における C 評価を同じ影響度で橋梁を評価することは論理的に矛盾がある。そこで、各点検項目における評価値が、最終的な健全度に及ぼす影響について検討した。

(2) 各点検項目における評価が最終的な健全度に及ぼす影響

本橋梁健全度診断システムにおいて、点検シートの評価が全て A であった場合、主桁耐荷性、床版耐荷性、主桁耐久性、床版耐久性、および橋梁耐荷性、橋梁耐久性の健全度評価は全て 100 点として出力される。そこで、全ての項目で A 評価を入力した上で、一つの項目のみ C 評価に置き換えた場合に失われる健全度(点数)を項目ごとに求めた。その点数が、各項目の健全度に対する影響度(配点)となる。点検項目ごとの健全度に対する影響度を含めた上での状態確率(劣化度の割合)の算出が可能となるのである。

(3) 状態確率および推移確率の算出

上述の各評価項目のシステム影響度から点検時における A, B, C の状態確率を算出することができる(図-2)。これをもとに、多次元多項方程式を解けば、推移確率が求められる。これによって全ての状態確率と推移確率が求まり、各年の橋梁健全度を算出することが可能となるため、橋梁の劣化進行を予測する劣化曲線を作成することができる(図-3)。さらに、この推移確率に交通条件、環境条件等を考慮した劣化曲線を求めることも可能である。

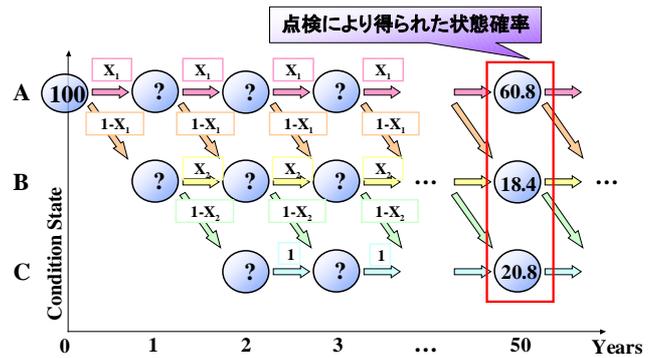


図-2 マルコフ連鎖モデルによる状態確率算出過程

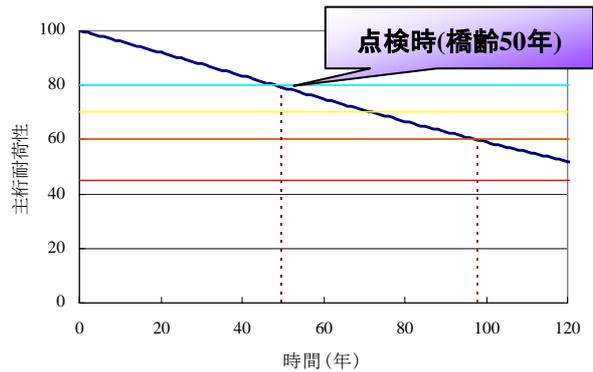


図-3 劣化推定曲線

4. 劣化予測曲線

橋梁点検結果から求めた健全度を用いて、上記の過程により求めた劣化予測曲線の一例を図-3に示す。また、その評価基準を、実際に点検した橋梁の健全度に沿うように定めた(表-1)。図に示した橋梁は、橋齢 50 年で、現在の主桁耐荷性の健全度は 78 点である。本研究で開発した劣化システムを適用すると、約 50 年後に補修・補強が必要となる。

5. 結論

橋梁の維持管理システムを構成する、劣化予測システムの開発を行った。本研究成果をまとめると以下のようである。

- 1) 既設橋梁の点検結果から、マルコフモデルを用いて、将来の劣化予測システムを開発した。
- 2) 開発した劣化システムは、将来の交通量変動等の環境条件の変化に伴う劣化曲線の変動を表現することが可能である。
- 3) 劣化予測システムの構築により、LCC を考えた橋梁維持管理計画システムのための基礎を築いた。

参考文献

1) 高瀬隼人, 睦好宏史, 深井崇志, 野田一弘, RC橋梁の健全度診断システムの開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.2, pp.1663-1668,2006.
 2) Bakht B., Mutsuyoshi H., Takase H., Development of Evaluation System for Reinforced Concrete Bridges, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.27, No.2, pp.1621-1626,2005.

表-1 健全度評価指標

健全度(点数)	指標
100~80	特に問題がない健全な状態
79~70	継続調査を必要とする状態
69~60	劣化が進行しており、補修・補強を必要とする状態
59~45	補修が必要不可欠な状態
44~0	架け替えの検討が必要となる状態