

マルコフ連鎖モデルを用いた橋梁の劣化進行予測に関する基礎的研究

芝浦工業大学 学生会員 ○安達 友亮
 芝浦工業大学 正会員 勝木 太

1. 研究背景及び目的

近年、構造物を維持管理していく上で劣化予測が非常に重要視されている。劣化予測においては点検データから重みづけを行い、劣化予測曲線を引く方法が一般的である。しかし、重みづけによる劣化予測曲線では使用条件や環境条件などの外的要因を考慮することが難しい。そこで確率論的に劣化予測を表現するマルコフ連鎖モデルが注目されている。既存の研究ではマルコフ連鎖モデルを用いて、栈橋の塩害を劣化要因として劣化予測した研究や¹⁾、北海道の橋梁を対象とした研究がされている²⁾。

そこで本研究では、橋梁の疲労や腐食機能の劣化などに代表される経年劣化に対してマルコフ連鎖モデルを用いて劣化予測を行い検証した。また点検データが一期分しかない多くの自治体のケースを想定し、点検データ一期分のみでのマルコフ連鎖モデルによる劣化予測が可能か検証した。

2. 実験概要

2-1.実験方法

マルコフ連鎖モデルの構築と検証には、都内で点検調査されたデータ(国土交通省点検基準)を使用するが、橋梁を橋梁形式別に三つに分類し、それぞれ主桁、床版において10年間隔で50年後までの劣化予測を行った。また、点検データは一期分のみであるため、建設年時の異なる同じ橋梁形式の二つの橋梁を同一の橋梁と仮定し、モデルの構築、すなわち劣化進行の推移確率を求めることとした。なおモデルの検証は、橋梁形式として多く存在する非合成床版において行うが、供用年数がそれぞれ主桁21年、床版30年経過した橋梁の点検データで構築した劣化予測モデルを用いて供用年数が主桁は75年経過(供用年数21年から54年経過)、床版は80年経過(供用年数30年から50年経過)した実際の橋梁を劣化予測し、点検データと比較した。

2-2. マルコフ連鎖モデル

キーワード 劣化予測, マルコフ連鎖モデル, 経年劣化

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-7-5

マルコフ連鎖モデルとは²⁾、ある時点の状態が、それ以前の状態にのみ依存する確率過程である。マルコフ連鎖モデルで表した劣化推移を図-1に示す。すなわち現時点から一定期間が経過すると、ある劣化度の部材は、ある推移確率 X で次の劣化度に移行し、移行しない残り $(1-X)$ は同じ劣化度に留まる。これが劣化度ごとに異なる推移確率で同時に起こり、劣化が徐々に進行していき最終的には劣化度 e に収束する、というものである。この劣化過程は以下の式で表される。

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{aa} & X_{ba} & X_{ca} & X_{da} & X_{ea} \\ X_{ab} & X_{bb} & X_{cb} & X_{db} & X_{eb} \\ X_{ac} & X_{bc} & X_{cc} & X_{dc} & X_{ec} \\ X_{ad} & X_{bd} & X_{cd} & X_{dd} & X_{ed} \\ X_{ae} & X_{be} & X_{ce} & X_{de} & X_{ee} \end{pmatrix}^{\frac{t}{n}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e$:劣化度 t :年数
 X_{oo} :推移確率 n :単位推移期間

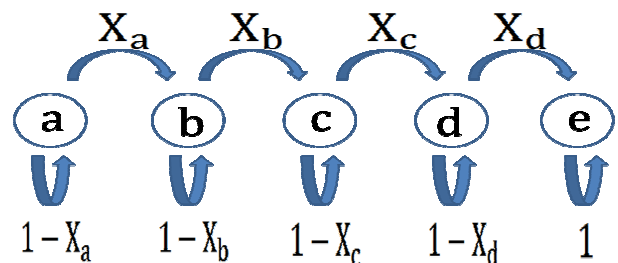


図-1 マルコフ連鎖モデルの劣化過程

2-3.推移確率

推移確率とは図-1に示すようにある劣化度が、ある推移確率によって次の状態に移行する概念である³⁾。本研究では二つの点検データから、それぞれの劣化度推移別に推移確率を算出した。ただし、点検データから劣化割合が0の劣化度においては数学的に推移確率を算出することができないので、その場合は既存の研究より³⁾その後の劣化予測割合に大きな差が生じないことがわかっているので推移確率を1として使用した。またマルコフ連鎖モデルにおいては、補修が行われている橋梁には適用が難しいのでサンプルから除外した。よって $X_{ba}, X_{ca}, X_{cb}, X_{da}, X_{db}, X_{dc}, X_{ea}, X_{eb}, X_{ec}, X_{ed}$

TEL : 03-5859-8400 Mail : h08003@shibaura-it.ac.jp

は補修が行われたケースの推移確率となるので実際 0 となる．更には，劣化は最低ランクの e に収束するため， $X_{ee}=1$ となる．

3. 実験結果

3-1.非合成床版

表-1、表-2 には 75 年経過した橋梁の主桁（鋼材），および 80 年経過した床版（コンクリート）に生じている各劣化度の割合についてそれぞれまとめたものを示す．なお，表中には主桁は 15 年および 21 年，床版は 25 年および 30 年供用された橋梁によってモデルを構築し予測した結果も併せて示す．表より主桁および床版ともに予測結果の劣化度の分布傾向は点検データとほぼ一致していることが分かる．ただし e ランクについては，塩害のように広域に劣化が進行する場合とは異なり，経年劣化で生じているような今回対象とした橋梁については，劣化が局所的に進行している可能性があり，劣化割合がさほど増加しなかったと考えられる．

表-1 主桁の劣化度割合（防食機能の劣化）の比較

	54年後劣化予測モデル (供用年数75年)	実際の供用年数 75年の橋梁
a	86.50%	95.50%
b	1.40%	1.50%
c	1.30%	0.50%
d	1.60%	0.50%
e	9.20%	2.00%

表-2 床版の劣化度割合の比較

	50年後劣化予測モデル (供用年数80年)	実際の供用年数 80年の橋梁
a	85.10%	93.80%
b	2.30%	0.41%
c	1.40%	0.41%
d	1.40%	3.31%
e	9.70%	2.07%

3-2.合成床版

合成床版においては，鋼床版の防食機能の点検結果に c および d ランクが存在しなかったため，b→c および c→d ランクへの推移確率を 1 と仮定して計算するが，12 年および 17 年供用された橋梁によってモデルを構築し劣化予測すると，供用年数 67 年で e の劣化割合が約 85% になる．表-1 に示す主桁の防食機能の劣化においては，75 年経過しても e の劣化割合が約 2% 程度であるのに対し，今回の e の予測結果が大きく乖離する

ことが分かる．そこで，b→c および c→d ランクへの推移確率を 0.99 または 0.5 と設定したが，a→b への推移確率が非常に大きいことから劣化予測割合に大きな変化はなかった．

3-3.コンクリート T 桁

コンクリート T 桁の主桁については，供用年数 80 年で劣化割合は，a が 96.2%，b が 1.9%，c と d が 1%，e が 0% となった．供用年数が 80 年と長いにも関わらず，健全性が高い結果となっているが，これは，モデル構築に使用した 72 年間および 76 年間供用された橋梁が高い健全性を有していたことによるものである．なお，床版についてはモデル構築に必要な点検データがないため除外した．

4. 考察

非合成床版において，劣化予測モデルと実際の橋梁を比較し，主桁，床版ともにほぼ一致したことから，点検データ一期分でも橋梁のモデル化によるマルコフ連鎖モデルを用いての劣化予測が可能であった．しかし，経年劣化のような損傷は，局所的に劣化が進行していくため，劣化が全体的に進行していくように捉えてしまうマルコフ連鎖モデルでは，劣化度 e の推定精度が低い結果となることが分かった．

合成床版においては精度が悪い結果となったが，点検データで得られない劣化割合の推移確率を 1 から 0.99, 0.5 と仮定して予測しても推定値に大きな変化はなかった．これは，点検データから得られる a→b への推移確率が非常に大きいことによるものと考えられる．合成床版の場合，点検データが少ないことに加え，劣化度の評価の対象となる床版の割り付け面積が大きく，劣化度 b が過大評価されているためと考えられる．

参考文献

- 1) 小牟禮 建一，濱田 秀則，横田 弘，山路 徹：塩害を受ける栈橋上部工のマルコフ連鎖モデルを用いた劣化予測に基づく LCC 算定に関する考察，コンクリート工学年次論文集，Vol26，No1，2004
- 2) 竹田俊明，大島俊之，佐藤誠，三上修一：橋梁点検実測データに基づく橋梁資産劣化予測評価の検討，構造工学論文集 Vol51A(2005 年 3 月)
- 3) 清野岳志，鈴木邦康：マルコフ連鎖を用いた建築物の劣化予測における遷移確率