

マルコフ連鎖を用いた栈橋上部工の劣化の予測と評価方法に関する提案

国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所 正会員

西村 大司

国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所 正会員

日置 幸司

国土交通省 中部地方整備局 四日市港湾事務所

正会員 工修 ○野上 周嗣

1. はじめに

我が国の港湾は、高度成長期以降の急速な整備に伴い増加した港湾ストックが順次老朽化してきている状況にある。近年の社会資本整備に係る厳しい財政事情の中で既存港湾ストックの維持管理を適時適切に行うためには、施設の劣化状況の把握、劣化予測結果等を基にした維持補修計画の立案や予防保全が重要である。しかしながら、港湾施設の劣化の進行については同一構造物内でもばらつき、その評価は困難な状況である。

本報告は、中部地方における栈橋構造物のコンクリート上部工（以下、栈橋上部工）を対象とし、実際の施設点検結果に即してマルコフ連鎖による劣化予測を行い、その予測と評価方法について提案したものである。

2. 対象施設

評価方法を検討するにあたり選定した施設は、当局が過去に施設点検を行った名古屋港金城ふ頭地区の栈橋構造物とした。当該施設は、昭和49年に完成しており、供用年数は34年となっている。

一般的に、栈橋上部工の多くの劣化要因は塩害とされており、「港湾の施設の技術上の基準」ではコンクリート中の塩化物イオン濃度の下限値が $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以上になると塩害の影響を受けているとされている。対象施設の点検結果から、下限値を超える数値が確認されていること、錆汁等が見られることから、塩害によって劣化が進行しているものと判断された。

3. 劣化予測方法および評価方法

小牟禮らの研究¹⁾によると、塩害に至る原因は同一構造条件であれば施工精度による影響が大きいと

報告されているが、それらを定量的に関連付けることは難しい。同研究およびその後策定された「港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾」（以下、マニュアル）では、確率論的な手法である「マルコフ連鎖」が劣化推定モデルとして使用できるとしており、本検討でもマルコフ連鎖を用いることとした。マルコフ連鎖は、ある「状態」からある「遷移確率」で次の「状態」へ「推移」することを確率論的に捉える手法であり、イメージおよび式として、図-1および式-1のとおりとなる。

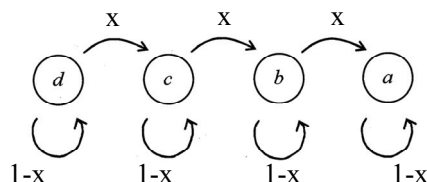


図-1 マルコフ連鎖における「状態」と「推移」

$$\begin{pmatrix} d \\ c \\ b \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-x & 0 & 0 & 0 \\ x & 1-x & 0 & 0 \\ 0 & x & 1-x & 0 \\ 0 & 0 & x & 0 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (\text{式-1})$$

ここで、a～dは対象施設の劣化度の割合、xは遷移確率、tは予測年数を表している。

このマルコフ連鎖においては、将来の劣化割合は算定できるが、その算定結果から施設の状態を評価することはできない。また、マニュアルには表-1に示すような施設の評価結果の分類等は明記されているが劣化割合と相関させることはなされていないため、設計供用期間を50年と仮定した場合におけるマルコフ連鎖の劣化予測結果に対する評価方法について検討した。

検討方法として、始めに対象施設の劣化速度を意味する遷移確率を算定した。その後、遷移確率を用いて対象施設の将来の劣化の推移を算定し、部材の劣化割合と評価を相関付けることとした。

キーワード 劣化予測、マルコフ連鎖、栈橋構造物、塩害、遷移確率

連絡先 〒457-0833 愛知県名古屋市南区東又兵衛町1-57-3 調査課 TEL052-612-9983

表-1 施設の評価結果の分類

総合評価	ブロック毎の評価	導出方法	
		維持管理レベルⅡ	維持管理レベルⅢ
A	性能が低下している状態	aが多数、a+bがほとんど	—
B	放置の場合、性能低下の恐れあり	aが数個、a+bが多数	—
C	継続して観察が必要	A、B、D以外	D以外
D	十分な性能を保持している状態	全てd	全てd

4. 検討結果

対象施設における梁と床版の遷移確率の算定結果は図-2のとおりである。

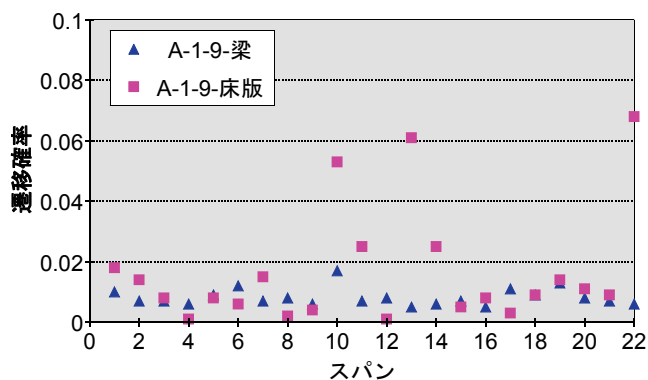


図-2 スパン別遷移確率

遷移確率は、特異値を除外すれば、梁では0.02、床版では0.03程度が最大値であった。将来の劣化の推移を示すと図-3、4のとおりとなる。

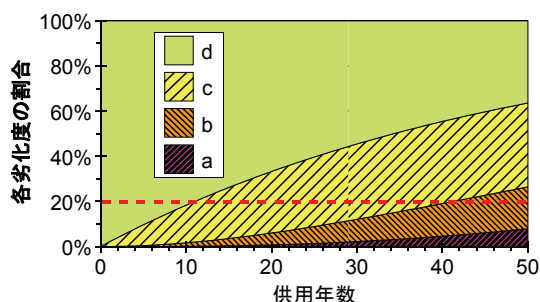


図-3 遷移確率0.02における劣化の推移

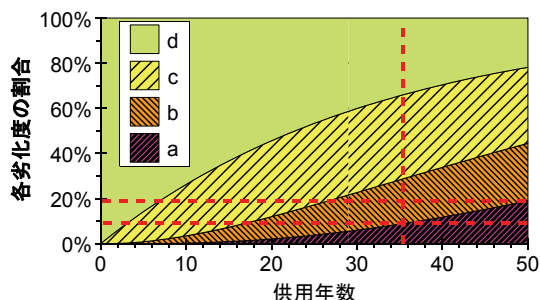


図-4 遷移確率0.03における劣化の推移

劣化の推移の状況から、部材の劣化割合と評価を相関付け、表-2に示すような評価方法（案）を作成した。総合評価Aを事例として、その考え方を以下に示す。

遷移確率0.02では、劣化度aの部位が全体の10%および20%に達するのは供用後50年以降であるが、遷移確率0.03では劣化度aの部位が全体の10%に達するのが35年であり、20%に達するのは50年である。劣化度aが10%を占めたとしても該当箇所が供用できなくなるとは考えにくく、「性能が低下している状態」とすることはできないものと考え、劣化度aが20%以上となった場合に「総合評価A」として評価することとした。

表-2 評価方法（案）

総合評価	各部位の結果		対応	
	はり	床版	維持管理レベルⅡ	維持管理レベルⅢ
A	劣化度 $a \geq 20\%$		詳細調査を行い補修対策の実施	詳細調査を行い補修対策の実施
B	劣化度 $a < 20\%$ $\wedge a+b \geq 30\%$	劣化度 $a < 20\%$ $\wedge a+b \geq 50\%$		補修対策実施時期、対策工法の検討
C	劣化度 $a < 20\%$ $\wedge a+b < 30\%$ $\wedge a+b+c \geq 60\%$	劣化度 $a < 20\%$ $\wedge a+b < 50\%$ $\wedge a+b+c \geq 60\%$	補修対策実施時期、対策工法の検討	当初計画どおり点検を実施
D	劣化度 $d \geq 40\%$		当初計画どおり点検を実施	当初計画どおり点検を実施

5. まとめ

予防保全を実施していく上で、将来の劣化の推移を把握することは必要不可欠である。

今後も他港の栈橋上部工において同様の検討を実施していき、評価方法の確立を目指したいと考えている。

参考文献

- 1) 小牟禮健一、濱田秀則、横田弘、山路徹：RC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年12月
- 2) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル、2007.10