

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について

正会員 ○鈴木 邦康* 同 十河 哲也**
同 片山 大輔** 同 濱 幸雄***

鉄筋コンクリート 劣化調査 劣化予測
マルコフ連鎖 遷移確率

1. はじめに

著者らは既存建築物を適切に維持管理するために、簡易な目視調査に基づき最適な補修・改修工法を選定できるシステムの構築を目指し、建築物保全支援システムの開発^{1),2)}に取り組んでいる。このシステムは、建築物の劣化調査・診断や劣化進行予測、建物供用期間中の補修にかかるLCCの算出および保全計画の策定などの一連の作業を支援するツールである。

本報では、上記システムの要素技術のうち、マルコフ連鎖を用いた劣化進行予測に関して、実際の調査結果に基づいて算出した遷移確率について検討した。

2. マルコフ連鎖を用いた劣化進行予測

2.1 マルコフ連鎖の適用法

マルコフ連鎖とは、図1に示すようにある状態のものがある遷移確率で次の状態に移行する概念であり、これによって現在の様子のみから未来の状態を予測することができる。

前述の建築物保全支援システムでは、建物外観について、壁、柱および梁を調査単位として表1に示す劣化症状の有無を目視により判断し、劣化割合を全調査単位数に対する各劣化度の調査単位数の割合として求めている。マルコフ連鎖モデルは、建物の劣化状態を表1に示す劣化度0~Ⅲの4段階に分類して適用すると、劣化進行予測式は(1)式で表わされる。

$$\begin{pmatrix} P_0 \\ P_I \\ P_{II} \\ P_{III} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-x_0 & 0 & 0 & 0 \\ x_0 & 1-x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 & 1-x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_2 & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \dots (1)$$

ここに、 $P_0 \sim P_{III}$: t 年後の劣化割合
 t : 建築時からの経過年数
 $x_0 \sim x_2$: 各劣化度における遷移確率

2.2 遷移確率の算出方法

遷移確率は、劣化進行速度を表す指標であり、(1)式の左辺に劣化調査の結果から得られた劣化割合を、 t には建物建築時から調査時点までの経過年数を代入して算出する。なお、調査結果の劣化割合が0になる場合、(1)式か

ら遷移確率を算出できないため、この場合については今回の検討からは除くこととした。

3. 調査結果に基づく遷移確率の検討

3.1 調査建物の概要

本報では、平成19年に前述のシステムの試行調査として行った北海道室蘭市内のRC造小・中学校校舎の劣化調査結果¹⁾のうち、外装仕上げ材がリシン吹付仕上げによる34校舎を対象に検討した。また、同市で平成16年に行った市立小・中学校施設耐震化優先度調査³⁾の中のコンクリート圧縮強度試験結果との関係についても検討した。

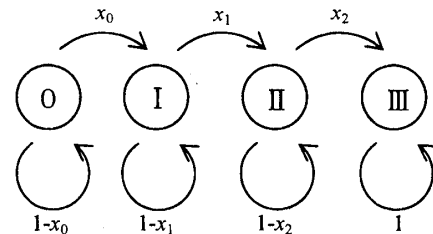


図1 マルコフ連鎖推移図

表1 外壁の劣化分類と劣化度

分類	記号	劣化症状	劣化度
a 躯体の劣化	a1	錆汁を伴うひび割れ・はく離	Ⅲ
	a2	はく離・スケール・欠損(発錆鉄筋の露出)	Ⅲ
	a3	鉄筋に沿うひび割れ・はく離	Ⅲ
	a4	白華を伴うひび割れ・はく離	Ⅱ
	a51	比較的大きな(幅0.4mm以上)ひび割れ	Ⅱ
	a52	比較的小さな(幅0.2mm以上)ひび割れ	Ⅱ
	a53	微細な(幅0.2mm未満)ひび割れ	I
	a6	はく離・スケール・欠損(発錆鉄筋なし)	0
	a7	豆板(ジャンカ)	0
	a8	ポップアウト	0
a9	その他(網目状ひび割れ等)	0	
b 躯体・外壁	b1	はく離・欠損(躯体の露出)	Ⅲ
	b2	浮き	Ⅲ
	b3	ひび割れ	Ⅱ
	b4	摩耗(下地の露出)	Ⅲ
	b5	はく離・はく離・欠損(下地の露出)	Ⅲ
	b6	ひび割れ	Ⅲ
	b7	ふくれ	Ⅱ
	b8	表層のみの軽微なひび割れ・はく離・摩耗	Ⅱ
	b9	白亜化(チョーキング)	I
	b10	局部的汚れ(鋼製付属物からの錆汚れを含む)	0
c 共通	c0	その他(変質等)	0
	c1	破断・ひび割れ(貫通している)	Ⅲ
	c2	はく離	Ⅲ
	c3	被着材破断	Ⅲ
	c4	充填モルタルのひび割れ・浮き・はく離	Ⅲ
	c5	ひび割れ(貫通していない)	Ⅱ
	c6	しわ・変形・変質等	Ⅱ
	c7	汚れの付着・周囲の汚れ・表面塗膜はく離	I
	c8	その他	0
	c9	開口部材の錆・変形・脱落等	0
d 劣化材の劣化	d1	水切部材の錆・変形・脱落等	0
	d2	手摺部材の錆・変形・脱落等	0
	d3	その他	0

3.2 遷移確率と経過年数の関係

図 2~4 は、劣化度ごとに遷移確率と経過年数の関係を示したものである。

図 2 より、劣化度 0 から I への遷移確率は躯体コンクリート及び外装仕上げ材ともに、経過年数にかかわらず非常に小さな値となっている。これに対して、劣化度 I から II への遷移確率および劣化度 II から III へのそれは、図 3, 4 に見られるように大きいものでは 0.8 程度の値となっている。このことから、建物の外観に劣化症状が現れるまでの遷移確率は非常に小さく、劣化症状が発生するまでにある程度の時間を要するが、いったん劣化が生じるとその進行速度は早まるものと考えられる。今回算出した遷移確率はばらつきが大きく、経過年数との間に一定の関係は見られない。また、図 4 より、劣化度 II から III への遷移確率については、躯体コンクリートよりも外装仕上げ材のほうが大きな値を示す傾向がある。

3.3 遷移確率とコンクリート強度の関係

図 5 は、各校舎の設計基準強度に対するコンクリート圧縮強度の比と躯体コンクリートの遷移確率の関係を示したものである。

同図より、検討対象とした調査結果には強度比が 1.0 未満、すなわち強度試験値が設計基準強度を下回った校舎は無く、同じ強度比でも遷移確率はばらつく結果となっている。

遷移確率がばらついた理由の一つとして以下のことが考えられる。試行調査として行った目視調査において、劣化度 III の劣化症状である錆汁を伴うひび割れ・はく離や発錆鉄筋の露出が見られた箇所では、明らかにかぶり厚が不足している箇所が多く見受けられた。したがって、かぶり厚が確保されている建物に比べて、かぶり厚が不足していれば経過年数が短い建物でも劣化が早期に進行し、調査結果に基づいて算出した遷移確率に大きく影響を与えているものと考えられる。

4. まとめ

目視調査結果に基づき、マルコフ連鎖を用いた劣化進行予測における遷移確率について検討した。その結果、劣化度 0 から I への遷移確率は非常に小さいが、その後ばらつきはあるが大きな値となる。また、今回の検討では遷移確率と経過年数あるいはコンクリート強度との間に明確な関係は見られなかった。

参考文献

- 鈴木, 森久保, 十河, 片山, 濱: 鉄筋コンクリート造建築物の保全支援システムの開発と試行調査, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.81, 2008.6.
- 北海道立北方建築総合研究所: 市町村の建築物保全支援システムに関する研究開発, 調査研究報告集, 2008.5
- 室蘭市: 学校施設の耐震化推進計画策定支援事業報告書, 2005.3.

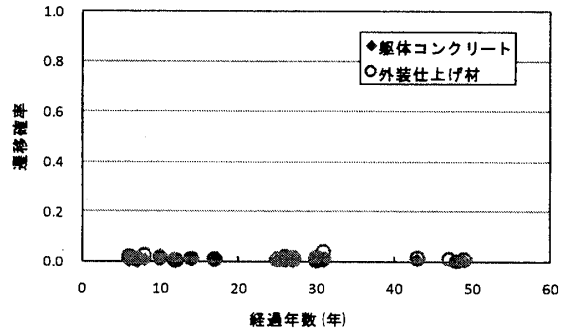


図 2 遷移確率と経過年数の関係 (劣化度 0 → I)

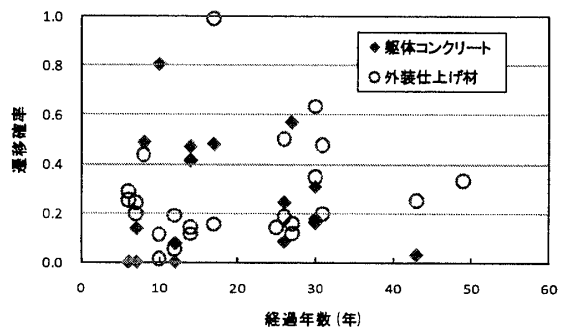


図 3 遷移確率と経過年数の関係 (劣化度 I → II)

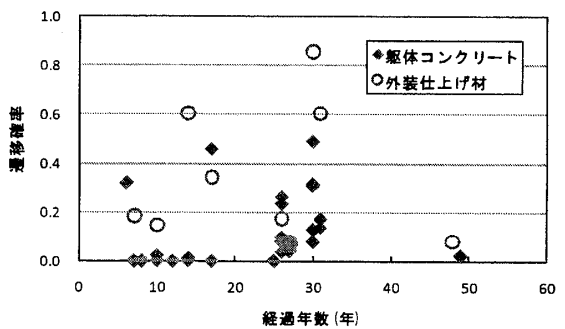


図 4 遷移確率と経過年数の関係 (劣化度 II → III)

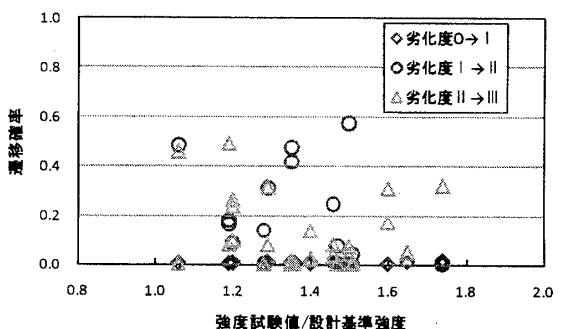


図 5 遷移確率とコンクリート強度比の関係

* 釧路工業高等専門学校准教授・博士 (工学)
 ** 北海道立北方建築総合研究所
 *** 室蘭工業大学准教授・博士 (工学)

* Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology, Dr. Eng.
 ** Hokkaido Northern Regional Building Research Institute
 *** Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.