

# マルコフ連鎖モデルに基づく外装材の劣化シミュレーション —その2. マルコフ連鎖モデルによるシミュレーション—

マルコフ連鎖 外装仕上げ材料 耐用年数予測  
リファレンスサービスライフ

正会員 ○林 瑞紀\*1 同 今本 啓一\*2  
同 本橋 健司\*3 同 兼松 学\*4  
同 楡木 堯\*5 同 井上 照郷\*6

## 1. 調査結果一覧

表1にその1. で実施した調査結果の一覧を示す。

表1 調査結果一覧

		光沢度			光沢度保持率			変退色		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
2011年度 調査結果	東	○	×	×	×	×	×	×	×	×
	西	○	×	×	×	×	×	×	×	×
	南	○	×	×	○	×	×	×	×	×
	北	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2009-2011年度 調査結果比較	東	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	西	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	南	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	北	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		白亜化			ひび割れ			透気性能		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
2011年度 調査結果	東	×	×	○	×	×	○	×	○	×
	西	×	×	○	○	×	○	×	○	×
	南	×	×	×	×	×	×	×	○	×
	北	×	×	×	○	○	×	×	○	×
2009-2011年度 調査結果比較	東	△	△	△	×	○	○	○	×	×
	西	△	△	△	○	○	○	×	×	×
	南	△	△	△	×	○	○	×	×	×
	北	△	△	△	○	○	×	×	×	×

経年別の劣化傾向が見られたものを『2011年度調査結果』において、○、2011年度の調査結果が2009年度より劣化傾向が見られたものを『2009-2011年度調査結果比較』において、○としている(そうでないものは×とした)。ひび割れに関しては経年2年後の劣化が明確であることが分かる。このことから本報では、調査より得られたひび割れを対象として、この劣化度分布をマルコフ連鎖モデルに代入し、劣化シミュレーションを試みることにした。

## 2. マルコフ連鎖モデル

まずマルコフ過程とは、未来の挙動が現在の状態だけで決定され、過去の状態とは無関係であるという性質をもつ確率過程である。特にマルコフ過程の中でも、扱う状態が離散的であるモデルをマルコフ連鎖モデルという。

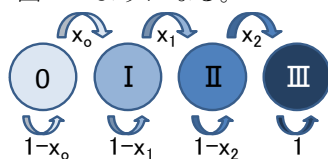
特に、厳密なメカニズムや作用因子が不明確な場合に有用とされ、多様な要因を受け複雑な劣化因子のある外装仕上げ材料の劣化予測に適していると考えられる。過去に土木分野ではマルコフ連鎖モデルを使用した劣化進行モデルを実験橋に適用し維持管理ツールとして用いられた

実績がある。

## 3. マルコフ連鎖モデルによる劣化シミュレーション

### 3.1 マルコフ連鎖を用いた劣化進行モデル

劣化状況から劣化グレードの基準を設け、劣化度の評価を行った。劣化度推移をマルコフ連鎖で表現すると、図2のようになる。



0~IIIまでの劣化度があるとき、単位時間内にある劣化度はある遷移確率 x で次の劣化度に移行する。移行しない残り (1-x) は同じ劣化度に留まる。これが全ての劣化度で同時に起こり、最終的には劣化度IIIに収束するというものである。この一連の流れを1ステップとし、一定期間が経過するごとにこのステップが繰り返され、劣化が進行していく。この劣化進行モデルは式(1)で表される。

$$\begin{pmatrix} 0 \\ I \\ II \\ III \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-x_0 & 0 & 0 & 0 \\ x_0 & 1-x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 & 1-x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_2 & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{—式(1)}$$

0~IIIは t 年後の劣化度分布, x0, x1, x2 は遷移確率, t は施設の使用年数(築年数)を表す。竣工直後つまり t=0 のとき、劣化度0は100%を占める。

### 3.2 遷移確率算出

この式1で表される劣化進行モデルに関し、調査結果から得られる劣化度分布と、施設の使用年数 t を代入した式の計算値が最もよく適合するように遷移確率 x を定める。その遷移確率を用いて年数 t を設定することで劣化の将来予測が可能になると考えられる。ここで、本モデルでは劣化速度指標となる遷移確率を、経時的に変化しない施設ごとに固有な一定値を同定することとした。

### 3.3 劣化シミュレーション

実測値から同定した遷移確率に基づいてマルコフ連鎖モデルによる劣化シミュレーションを行った。図2, 3にA8号棟西面雨掛かり有の調査実測値から同定された遷移確率に基づく劣化度分布の予測値と実測の劣化度との対応を示す。具体的には、2009年度の実測値から遷移確率を算出して2年後の劣化予測を図2, 2011年度の実測値から同様に、2年前の劣化予測を行った結果を図3に示す。

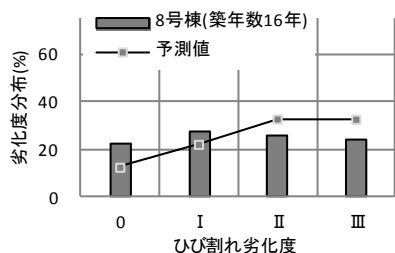


図2 2009年度実測値と予測値

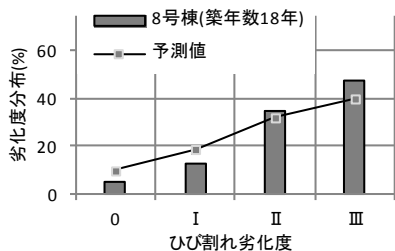


図3 2011年度実測値と予測値

それぞれの劣化予測の詳細は異なるものの劣化度分布のピーク、分布の傾向がおおよそ一致しているものと考えられる。

本来は実測値から得られる遷移確率について、経年による変化を考慮することが望ましいが、調査時期や調査方法について今後検討する必要があると考える。

A 団地 8 号棟築 18 年の北面雨掛かり有・無および、西面雨掛かり有の部位について検討を行う。過去二度にわたるひび割れの劣化状況の調査結果から算出した遷移確率の平均をとり、マルコフ連鎖モデルに基づき劣化シミュレーションを行った結果を図 4~6 に示す。

方位、雨掛かりの有・無で詳細は異なるものの、シミュレーションの結果、劣化の進行は類似した傾向を示した。耐用年数予測の一つの目安として、劣化度 II+III が 60% 以上を改修時期であると想定すると、北面雨掛かり有は築 5 年時頃、北面雨掛かり無は築 8 年時頃、西面雨掛かり有は築 15 年時頃、がこの時期に相当する。

なお、下地材までの改修を前提とした UR では改修時期 18 年としているが、トップコートのひび割れの劣化状況を主体とした本調査において、築 8~12 年時頃は民間企業などで運用される値であり、北面雨掛かり無の箇所において適切である。シミュレーションの結果は、検討の範囲内において概ね妥当であると考えられる

#### 4.まとめ

マルコフ連鎖を用いた劣化シミュレーションによる外装材料の耐用年数予測方法について、特に仕上げ材のひび割れを対象として検討を行った。シミュレーションの結果は本検討の範囲内において概ね妥当であり、方位、雨掛かりの有・無により適切な改修時期を示した。今後、

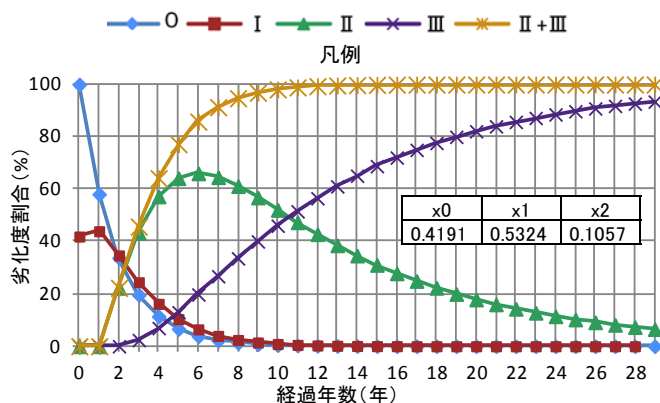


図4 A8号棟 北面雨掛かり有

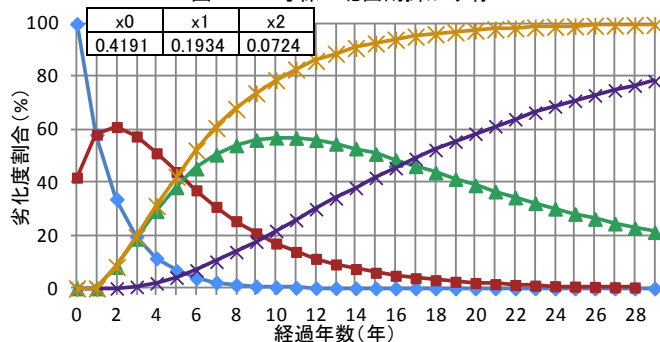


図5 A8号棟 北面雨掛かり無

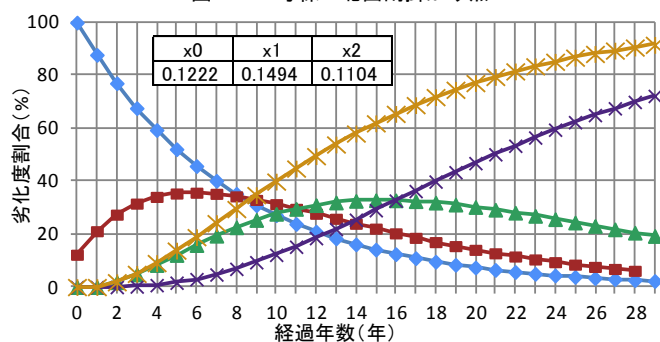


図6 A8号棟 西面雨掛かり有

更なる調査データや改修のクライテリアを集積・検討することにより、劣化予測ツールとして確立することが可能であると考えられる。

謝辞：本研究は、日本建築学会耐用年数設定小委員会（主査：本橋健司 芝浦工業大学）の活動の一環として実施された。御助力いただいた関係各位に付して深謝の意を表します。

参考文献：1)小牟禮健一他「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, Vol.26  
2)ISO 15686-8:「リファレンスサービスマイフおよび耐用年数の推定 (案)」、2007.3

\*1 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻 \*2 東京理科大学工学部建築学科 准教授 \*3 芝浦工業大学工学部建築工学科 教授 \*4 東京理科大学工学部建築学科 准教授 \*5(財)ベタリーピング \*6 日本建築仕上材工業会

\*1 Dept. of Arch., Graduate School of Sci. and Tech., Tokyo University of Science \*2 Assoc. Prof., Dept. of Arch., Fac. Of Tech., Tokyo University of Science, Dr. Eng. \*3 Dept. of Arch. and Building Engineering, the College of Eng., Shibaura Inst. of Tech, Dr. Eng. and Dr. Agr. \*4 Assoc. Prof., Dept. of Arch., Fac. of Sci. and Tech., Tokyo University of Science, Dr. Eng. \*5 The Center for Better Living \*6 Japan Building Coating Materials Association