

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4. 改修後2~16年のRC外壁を対象とした実地調査

正会員 ○越中谷光太郎*1 同 今本 啓一*2
同 本橋 健司*3 同 兼松 学*4
同 榆木 堯*5 同 清原 千鶴*6

仕上塗材 目視調査 マルコフ連鎖
劣化シミュレーション 耐用年数予測手法

研究目的

我が国では「持続可能な社会の発展」が求められており、新築のみならず既存ストックを含めた建築物の長寿命化や省エネルギー化の需要が高まっている。また、それらの評価に必要な耐用年数予測についても規格整備に向けた研究が行われている。環境、施工条件、材料特性などを独立の劣化因子として考慮して耐用年数を予測する手法である Factor Method と呼ばれる手法が ISO で規格化されているが、外装仕上げ材の劣化においては劣化因子同士が複合的に作用するため、それぞれの因子を積み上げて全体を予測することは容易ではない。そこで本研究では、実構造物の調査結果に基づき、確率論モデルであるマルコフ連鎖モデルを用いた劣化シミュレーションに基づく建築材料の耐用年数予測手法の確立を試みる。

2. 調査対象および調査方法

表1 調査対象

調査対象	改修年度	経年数 2012年度	経年数 2013年度	外装仕上げ材	塗膜材 色
つくば市 団地	A号棟	平成9年	15年	マスチック	白
	B号棟	平成13年	11年		
	C号棟	平成20年	4年		
	D号棟	平成22年	2年		

調査対象である団地の4棟について2012年度および2013年度に調査を行った(表1)。調査方法は以下のとおりである。

①光沢度：仕上塗材の凹凸の凸部分の光沢度を、光沢度計を用いて測定する。その建築物の2012年度調査時の最も劣化の小さいと思われる測定点をイニシャルとし、その他の測定点と比較して光沢度保持率を算出する。

②変退色：塗膜の色相、明度、彩度の変化を色差計により数値化し、イニシャルと比較することで劣化グレードを判定する。

③ひび割れ：目視で簡便に評価できる劣化事象であるため、ひび割れ状態を4段階のグレードに分類し、建物の劣化グレード分布を調査する。

3. 調査結果

図1は2013年度調査時の各建築物の光沢度保持率を表したものである。

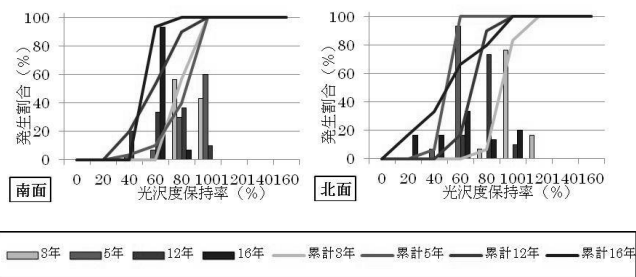


図1 各棟の光沢度保持率比較

図2は2013年度の各棟の色差の測定結果を示す。

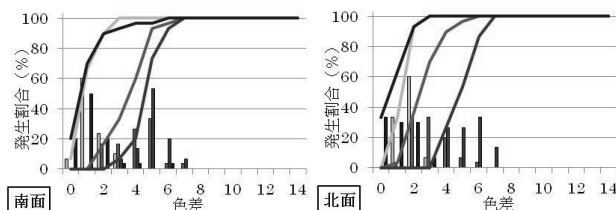


図2 各棟の色差比較

図3は2013年度調査時の各建築物の雨掛かり有りのひび割れの劣化度分布を示す。

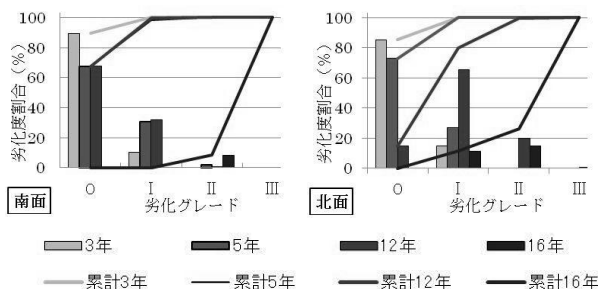


図3 各棟のひび割れ比較

図4は同一棟の2012年調査時と2013年調査時の劣化を表したものである。

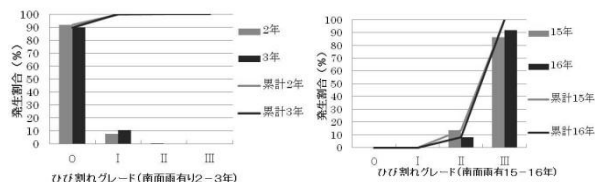


図4 同一棟の1年経年時ひび割れ比較

マルコフ連鎖モデルによる劣化予測シミュレーション

4.1 マルコフ連鎖を用いた劣化進行モデル

マルコフ連鎖モデルにおいては、単位時間内のある劣化度は図5のようにある遷移確率 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と仮定される。これがすべての劣化度で同時に起こり、最終的には劣化度Ⅲ（最終劣化グレード）に収束する。 t を使用年数（築年数、経年数）、 $0 \sim \text{Ⅲ}$ を t 年後の劣化度分布、 x_0, x_1, x_2 をそれぞれの遷移確率とすると、劣化進行は図6の行列式で表される。ここで遷移確率を設定することで確率モデルによる劣化予測が可能となる。

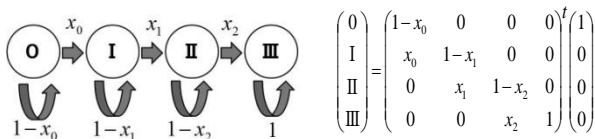


図5 劣化進行概念 図6 劣化進行行列式

4.2 遷移確率の算出およびシミュレーション結果

シミュレーション結果を図7に示す。経年数ごとの結果にばらつきがあったため、シミュレーションについては各遷移確率毎の平均値を用いた。

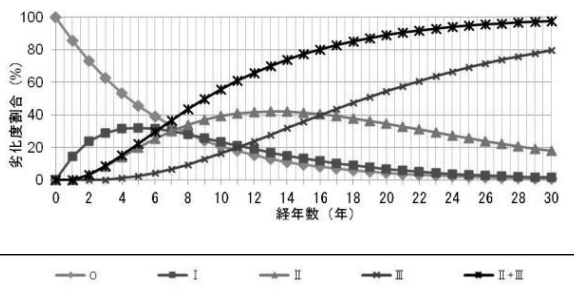


図7 シミュレーション結果（ひび割れ・南面）

4.3 耐用年数の推定

松田らにより¹⁾、外壁仕上げ材料の寿命は、仕上げ材のひび割れによる中性化速度係数が増加し、打ち放しコンクリートの中性化速度係数と同等になる時期であると提案され、調査した実構造物の外装仕上げ材（複層塗材）の寿命をおおよそ13年と予測している。本研究で調査した外装仕上げ材料の耐用年数を同様に13年と仮定した場合にシミュレーション結果により相当する劣化グレードⅡ+Ⅲの割合は約70%と評価される。

経年2年から12年までの各経年毎のひび割れと光沢度保持率並びに色差の劣化グレードの平均値の相関を図8に示す。変退色の進行および光沢度保持率低下がひび割れの進行に影響があると仮定すると、変退色および光沢

度保持率についてのシミュレーション結果における経年13年時の劣化分布が仕上げ塗材の寿命の状態であると考えられる（変退色は劣化グレードⅡ+Ⅲ約50%、光沢度保持率は劣化グレードⅡ+Ⅲ約25%）。

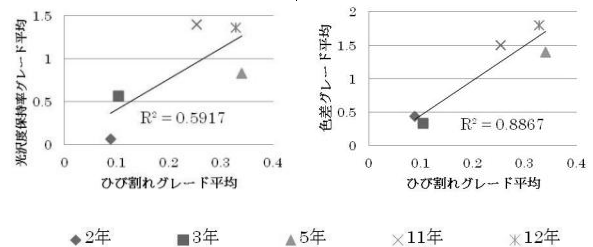


図8 ひび割れ・光沢度保持率・色差の相関

4.4 環境劣化外力の算出

マルコフ連鎖モデルによる劣化シミュレーションを雨掛かりの有無、方位の南北面についてそれぞれ行った。雨掛かり無し及び北面を基準として、雨掛かり有り及び南面の劣化進行の違いを環境劣化外力として表2に示す。値の大きさは劣化進行への影響の大きさを表す。

表2 環境劣化外力

	雨掛かり		方位	
	有り	無し	南面	北面
ひび割れ	3.3	1.0	2.1	1.0
変退色	0.4	1.0	2.0	1.0
光沢度保持率	0.9	1.0	2.0	1.0

ひび割れについては雨掛かり有り、方位南面において劣化外力が大きくなっている。これはひび割れの進行が雨水や日射に影響しているためと考えられる。一方、変退色および光沢度保持率については、方位についてはひび割れ同様に南面の方が劣化外力が大きくなっているが、雨掛かりについては無しの方が劣化外力が大きくなっている。これは変退色および光沢度保持率の劣化については汚れや白亜化による影響が大きく、それらが雨水によって洗い流されているためだと考えられる。

5. まとめ

ひび割れによる劣化分布に基づくマルコフ連鎖モデルを用いた劣化予測シミュレーションによる外装仕上げ材料の耐用年数予測方法について検討を行った。また、ひび割れと変退色並びに光沢度保持率の相関関係を仮定することにより、雨掛かりの有無、方位の南北における環境劣化外力を算出し、検討を行った。

参考文献

- 1) 松田 啓 マルコフ連鎖モデルと現位置非破壊試験を組み合わせた外壁仕上げ材料の経年劣化と躯体の保護効果の評価に向けた基礎的研究 2012年度東京理科大学修士論文

*1 東京理科大学大学院工学部研究科建築学専攻 修士
 *2 東京理科大学工学部建築学科 教授
 *3 芝浦工業大学工学部建築工学科 教授
 *4 東京理科大学理工学部建築学科 准教授
 *5 (一財)バタリービングつくば建築試験研究センター
 *6 東京理科大学工学部建築学科 補手

*1 Dept. of Arch., Graduate School of Tech., Tokyo University of Science
 *2 Prof., Dept. of Arch. Fac. of Tech., Tokyo Univ. 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 Univ. of Science, Dr. Eng
 *5 Tsukuba Building Test Laboratory, Center for Better Living
 *6 Assistant, Dept. of Arch. Fac. of Tech., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng