

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8. 異なる環境に建てられた建築物の外装材のひび割れと中性化抑制効果の関係についての考察

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

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

1. 研究目的

近年、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おり、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。しかしながら、コンクリート造建築物の耐用年数に作用する外装仕上材の劣化には施工、環境、材料特性その他複合的な因子が含まれているため、因子毎の劣化メカニズムを積み上げて全体を予測することは容易ではない。

筆者らは前報にて、同様の環境に建てられた4棟の実建築物に対する調査結果に基づき、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標準耐用年数の予測手法について提案をおこなった。本研究では異なる環境にある実建築物においても同様の提案が可能であるかを確認する。

2. 調査対象および調査方法

表1に示す調査対象に対し、外装仕上材のひび割れおよび躯体コンクリートの中性化調査を行った。なお、調査対象 A~D については前報で報告した同様の環境に建てられた4棟の実建築物である。また、中性化については過去の調査履歴も参考としている。

調査方法は以下のとおりである。

- ①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(表2)、建物の劣化グレード分布を調査する。
- ②中性化：中性化深さは、調査物件においてコアの採取を行い、測定した。

3. 調査結果

図1に調査対象の調査時における外装仕上材の経年数とひび割れグレードの平均を示す。経年数が増加するほどひび割れが進行していることが確認できる。調査物件 G および L については経年数に対してひび割れの進行が遅い。特に L については東京の物件であり地域的な日射量や降雨量等の大きな違いは考えづらく、外装仕上塗材の品質の違いによるものと予想される。

図2は調査対象の築年数と中性化深さ測定の結果を表したものである。築年数と中性化深さの間に関係性が見ら

表1 調査対象

物件名	新築年度(西暦)	改修年度1(西暦)	改修年度2(西暦)	調査年度(西暦)	設計基準強度(N/mm <sup>2</sup> )	階高	地域
A	1978	2010		2012 ~ 2016 の各年	17.65	4	茨城
B	1979	2008			17.65	4	茨城
C	1979	2001			20.58	6	茨城
D	1979	1997			20.58	10	茨城
E	1967	1993		2015	17.65	2	兵庫
F	1962	1992		2015	17.65	2	茨城
G	1967	1992		2016	17.65	2	滋賀
H	1964	1981		2013	17.65	5	東京
I	1977	1995	2013	2016	22.05	15	埼玉
J	1978	2010		2016	23.52	14	東京
K	1977	2010		2015	23.52	14	東京
L	1988			2015	不明	6	東京

いずれも鉄筋コンクリート造建築物、樹脂系外装仕上塗材(白色)

表2 劣化グレード判定基準(ひび割れ)

グレード	劣化状況
グレード0	ひび割れが全くない
グレードI	1~数本程度のひび割れ
グレードII	10本程度のひび割れ
グレードIII	一様なひび割れ

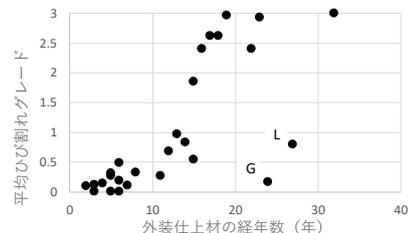


図1 平均ひび割れグレード

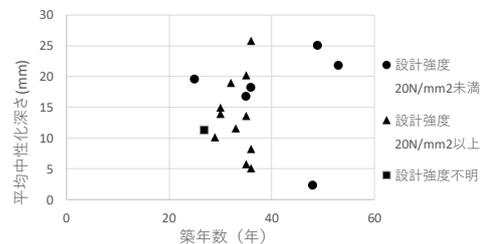


図2 平均中性化深さ

れず、コンクリートの設計強度と中性化の間にも関係性が確認できなかった。これは日射量や降雨量等の環境外力や、外装仕上材の改修の時期や回数が中性化進行に大

大きく影響しているためであると考えられる。このように外装仕上材が施されたコンクリート造建築物については、純粋に築年数や設計基準強度から中性化深さを予測することが難しく、外装仕上塗材の劣化を加味した予測が必要となる。

#### 4. 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 マルコフ連鎖によるひび割れのシミュレーション

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3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。 $t$  を使用年数(築年数, 経年数), 0~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4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。

調査物件 A~L のひび割れ調査結果を基にした遷移確率の平均値を表3に、その遷移確率を用いたマルコフ連鎖モデルによる劣化予測結果を図5に示す。

##### 4.2 累積超過劣化度

筆者らは以前当該調査対象に対し、塗膜の健全な状態は中性化がほとんど進行しない状態であり、中性化が顕著に進行し始める経年数を耐用年数と仮定し、耐用年数超過年数と各経年における劣化の限界超過度合を考慮した累積超過劣化度を設定し、中性化深さとの関係の考察を行った<sup>2)</sup>。累積超過劣化度の定義を式(1)に示す。

$$D_a = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^{T(n)-L} (d_n(L+t) - d_n(L)) \quad (1)$$

ここで、 $D_a$  は累積超過劣化度、 $N$  は外装仕上材料の新築時を含む塗装回数(回)、 $T(n)$  は  $n$  回目の塗装における塗装時から改修時 ( $n=N$  の場合は塗装時から調査時) までの経年数(年)、 $L$  は外装仕上材料の耐用年数(年)、 $d_n(x)$  は  $n$  回目の塗装の経年数  $x$  時のマルコフシミュレーションの劣化グレードⅢの割合 ( $0 < d_n(x) < 1$ ) を表し、経年数が耐用年数を超える場合 ( $x > L$ ) のみ考慮する。

##### 4.3 中性化深さと累積超過劣化度の関係

図6に累積超過劣化度と中性化深さの関係を示す。累積超過劣化度が増加するにつれて中性化が進行していることが確認できる。これは、異なる環境に建てられた建築物においても前報と同様にひび割れと中性化抑制効果の間に関係があることを示しており、耐用年数の推定をおこなえる可能性を示している。

地域別およびコンクリートの設計基準強度別の累積超過劣化度と中性化深さの関係を図7および図8に示す。今回の調査物件は関東圏が大半を占めているため地域による相違を確認することは出来なかったため、今後調査物件を増やすことが課題となっている。また、設計基準強

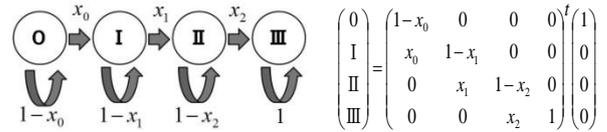


図3 劣化進行概念

図4 劣化進行行列式

表3 遷移確率の平均値

$x_0$	$x_1$	$x_2$
0.121	0.162	0.208

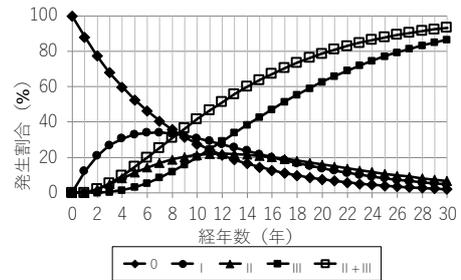


図5 「ひび割れ」の予測結果

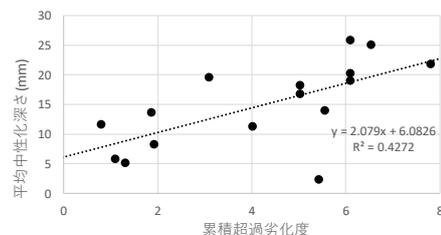


図6 累積超過劣化度と中性化深さの関係

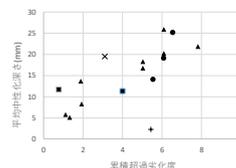


図7 地域別

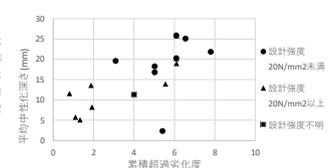


図8 設計基準強度別

度による相違は確認されなかった。このことは今回の調査物件の強度である 17.65~23.52N/mm<sup>2</sup> は中性化を考える上ではほぼ同等の条件である可能性を示している。

#### 5 まとめ

前報では同様の環境に建てられた建築物に対して、ひび割れと中性化抑制効果の関係について考察することで耐用年数の提案をおこなったが、本報では異なる環境に建てられた建築物についてもひび割れと中性化抑制効果の関係についての確認をおこない、前報と同様にマルコフ連鎖モデルを用いた耐用年数の提案ができる可能性を示した。

#### 参考文献

- 1) 越中谷光太郎他, 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 7. 外装材のひび割れに基づいた標準耐用年数および劣化係数の推定, 日本建築学会学術講演梗概種, p. 717-718, 2017

\*1 東京理科大学大学

\*2 (一社)建築研究振興協会

\*3 (一財)ベターリビングつくば建築試験研究センター

\*1 Tokyo University of Science

\*2 Japan Association for Building Research Promotion,

\*3 Tsukuba Building Test Laboratory, Center for Better Living