

# 仕上塗材の経年劣化を考慮した中性化抑制効果に関する研究

落合 亮太\* 竹内 博幸\*  
瀬尾 正幸\*\*

## 要 旨

本研究は、仕上材を施したコンクリートにおいて、建築物の耐久性の重要な評価指標である中性化に対する仕上材の劣化抑制効果を明らかにし、それらを考慮したRC建築物の耐久性能を評価する資料を得ることを目的とする。実験では、建築に用いられる代表的な仕上材を施したコンクリート試験体で促進中性化試験を行った。仕上材はコンクリートに対して高い中性化抑制効果があり、劣化を考慮した仕上材の中性化抑制効果を評価する資料を得ることができた。また、劣化条件による仕上材の中性化傾向を推定できることが分かった。

## 1. はじめに

RC建築物の多くは、外壁に仕上げが施されており、仕上塗材は最も一般的な外装仕上材である。

仕上塗材には意匠性、美観性の他、躯体の保護機能が求められる。保護機能の一つとして、仕上塗材は、建物の耐久性の重要な評価指標であるコンクリートの中性化に対して、抑制効果を有すると報告されている<sup>1)</sup>。

しかしながら、仕上塗材自体は経年変化により劣化するため、建物の耐久性に仕上塗材の効果を加えるには、仕上塗材の劣化まで考慮した中性化抑制効果について明らかにする必要がある。そこで、本研究では、あらかじめ劣化条件を与えた仕上塗材を用いて促進中性化試験を行い、劣化した仕上塗材の中性化抑制効果について検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験因子と水準

実験に用いた仕上塗材は、耐久性性能指数<sup>2)</sup>、使用実績等を考慮し、JIS A 6909 に適合した3種類を選定した。塗厚さは、標準塗りと薄塗りの2種類とした。劣化は、紫外線劣化を対象とした

化学的劣化、温熱変化に伴う躯体の伸縮による劣化を対象とした物理的劣化、ならびにそれらを合わせた複合劣化の3種類とした。実験因子と水準および試験体記号を表-1に示す。化学的劣化はサンシャインウェザーメータ(以後、SWMと略す)を用い、照射1500時間を劣化6年、3000時間を劣化12年相当と仮定した。物理的劣化は振動試験機で引張と圧縮の曲げひずみを与え、伸縮を模擬した。

表-1 実験因子と水準および試験体記号

因 子	水 準	記号
コンクリート調合	W/C=60%	-
仕上塗材	種類	仕上げなし 耐久性性能指数 グループ 複層塗材 E (アクリルタイル) 耐久性性能指数 グループ 防水形外装薄塗材 E (単層弾性) 耐久性性能指数 グループ 防水形複層塗材 E (弾性タイル)
	塗厚さ	標準塗厚さ 薄塗厚さ(標準塗厚さの0.5倍)
劣化種類	劣化なし	
	化学的劣化	サンシャインウェザーメータ照射時間 1500 時間 サンシャインウェザーメータ照射時間 3000 時間
	物理的劣化	シリーズ a (引張ひずみ) : 振動回数 2190 回 振動回数 4380 回
		シリーズ b (引張と圧縮ひずみ) : 振動回数[引張 4380回 +圧縮 4380回]
複合劣化	サンシャインウェザーメータ照射時間 1500 時間 +振動回数[引張 2190回+圧縮 2190回] サンシャインウェザーメータ照射時間 3000 時間 +振動回数[引張 4380回+圧縮 4380回]	
試験体記号	記号例) C1 AT s	

表-2 劣化試験と中性化試験の試験条件および測定項目

種類	試験装置	試験条件	測定項目
化学的劣化	サンシャインウェザーメータ	光源：サンシャインカーボンアーク燈 ブラックボックス補温度：約 63 降雨時間：18分/120分	色差・光沢
物理的劣化	油圧式サーボハイドラリック振動試験機	ひずみ導入方法：曲げ応力繰り返し(片振り) 曲げひずみ量(ひずみ度)：約 $80 \times 10^{-6}$ 振動数：5 Hz シリーズ b 引張と圧縮ひずみの組み合わせ方法 振動回数[引張 2190回+圧縮 2190回]の場合 ：[引張 1095回+圧縮 1095回] × 2セット繰返し 振動回数[引張 4380回+圧縮 4380回]の場合 ：[引張 1095回+圧縮 1095回] × 4セット繰返し 試験中の仕上げ材表面温度：-5 ~ +5	仕上げ表面観察 [倍率：200倍]
促進中性化	中性化試験槽	温度：20 ± 2 相対湿度：60 ± 5 % CO <sub>2</sub> 濃度：5 ± 0.2 %	中性化深さ [測定箇所 3点]

\*技術研究所 \*\*中国支店

振動回数は、日内の温度変化による伸縮を1日1回とし、2190回を劣化6年、4380回を劣化12年相当と仮定した。試験体シリーズaでは引張を、試験体シリーズbでは引張と圧縮ひずみを交互に与えた。各劣化試験における試験条件を表-2に示す。

### 2.2 測定項目

劣化試験と中性化試験の試験条件および測定項目を表-2に示す。化学的劣化では、仕上材の色差・光沢を測定した。物理的劣化では仕上材表面を倍率200倍で観察し、劣化状態を目視にて確認した。中性化深さの測定は、所定の材齢経過後、試験体を切断し、切断面の3点の中性化深さを測定した。測定値は3点の平均値とした。

### 2.3 試験体の製作方法

劣化因子に応じた試験体の形状、製作順序の概要を図-1に示す。化学的劣化試験ではSWMを使用するため、試験体は、SWM内に設置できるように、大きさ70×150mm、厚さ5mmのモルタル基盤を用いた。試験体の状態を統一するため、その他の試験体においてもモルタル基盤を用いた。モルタル基盤は、打設後材齢4週まで標準水中養生し、その後、材齢8週まで温度20±2℃、相対湿度60±5%で養生（以後、20℃気中養生と略す）を行い製作した。

中性化試験には、モルタル基盤にコンクリートを後打ちした試験体を用いた。後打ちコンクリートはモルタル基盤を底面として打込み、その際、モルタル基盤面にペーストが付着しないように、ビニールシートで養生した。

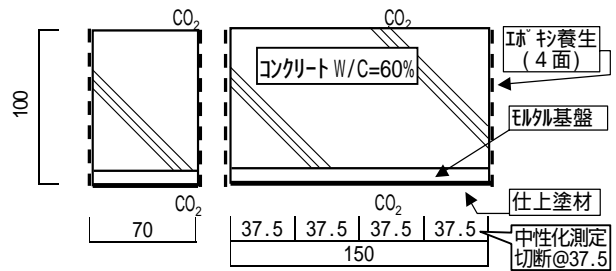


図-2 中性化試験体の形状

### 2.5 物理的劣化試験体

物理的劣化試験体は、振動試験機による曲げひずみが仕上面に均一に作用するように、モルタル基盤を曲げモーメント一定区間に配した。写真-1に試験状況を示す。

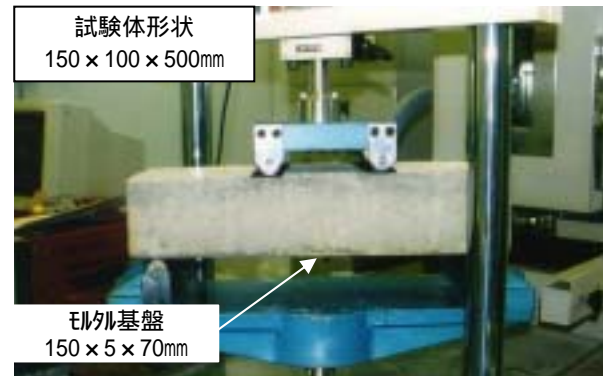


写真-1 物理的劣化試験の状況

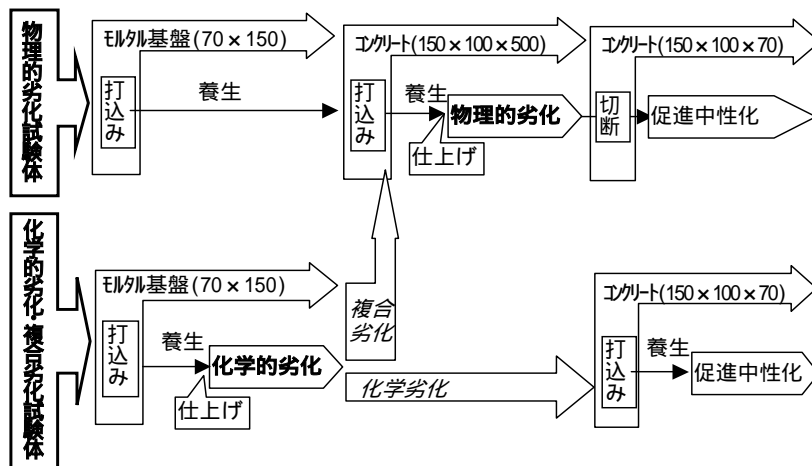


図-1 劣化因子による試験体の形状、製作順序

### 2.4 化学的劣化試験体

材齢8週を経過したモルタル基盤に、仕上材を施し、養生後、SWMにて所定期間の化学的劣化試験を行った。化学的劣化後、図-2に示す中性化試験体を作製した。

コンクリート打設後材齢4週まで標準水中養生し、その後、材齢8週まで20℃気中養生した。材齢8週以降に、モルタル基盤に仕上材を施し、養生後、物理的劣化試験を行った。仕上材に引張を与える時は仕上面を底面に、圧縮を与える時は同面を上面にした。

仕上材は常温に比べ低温環境下において弾性性能が低くなるため、伸縮による表面劣化が生じやすいと考えられる。そこで冬期を想定し、試験体を振動試験の前日から試験直前まで-5℃の冷凍養生槽で保存した。試験中の仕上面の温度は5℃以下とした。物理的劣化後、中性化試験対象部分以外は切断除去し、図-2に示す形状として化学的劣化試験と同様に促進中性化試験を行った。

## 2.6 複合劣化試験体

複合劣化試験体は、まず、化学的劣化を与え、その後、劣化したモルタル基盤をコンクリートに打ち込み物理的劣化を与えた。複合劣化後に、他の劣化条件と同様に促進中性化試験を行った。

## 2.7 劣化なし試験体

劣化なし試験体も各劣化試験体同様に、図 - 2 に示す形状とした。なお、仕上材は、コンクリート打設後、材齢4週まで標準水中養生、材齢8週まで20 気中養生した後、モルタル基盤面とコンクリート打込み面に施した。

## 2.8 コンクリートの使用材料と調合

後打ちコンクリートの使用材料と調合を表 - 3、4 に示す。なお、モルタル基盤の水セメント比は68%とした。

表 - 3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	鬼怒川産川砂 表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup> 吸水率:1.72%
粗骨材	岩瀬産硬質砂岩碎石(最大寸法20mm) 表乾密度:2.66g/cm <sup>3</sup> 吸水率:0.75% 実積率:60.1%
混和剤	AE減水剤、空気量調整剤

表 - 4 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				材齢28日 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
		W	C	S	G	
60	47	177	295	838	967	23.9

## 2.9 劣化前の試験体性状

### 2.9.1 仕上材塗厚さ

モルタル基盤に施した仕上材の塗厚さを表 - 5 に示す。塗厚さは各試験体毎に塗布重量を基に理論的に厚さを求め、平均した。塗厚さは、仕上材種類別では弾性タイルが最も大きく、ついで単層弾性、アクリルタイルの順である。なお、実施工ではパターン仕上げによって凹凸を施すが、本実験ではパターンなしとした。

表 - 5 仕上材の平均塗厚さ

	アクリル(μm)		単層弾性(μm)		弾性タイル(μm)	
	標準塗り	薄塗り	標準塗り	薄塗り	標準塗り	薄塗り
下塗材	39.9	19.4	17.8	8.8	17.6	8.7
主材	-	-	-	-	612.7	318.4
上塗材	97.5	53.4	252.6	124.2	116.2	54.2
総塗厚	137.4	72.8	270.4	132.9	746.5	381.2

### 2.9.2 モルタル基盤とコンクリートの物性

仕上材の下地には、試験体の状態を統一するためモルタル基盤を用いた。モルタルの材齢28日強度は22.6N/mm<sup>2</sup>で、コンクリートとほぼ同じであり、また、ポロシチー試験により、両者の細孔径分布を測定した結果、ほぼ同様の分布傾向を示したことから、モルタル基盤は、コンクリート表面を模擬していると考えられる。

## 3. 中性化抑制効果の評価

仕上材を考慮したコンクリートの中性化については、中性化期間の平方根と中性化深さの間にいわゆる T 則が成立するものとし、仕上材による中性化抑制効果を、表面層をもつコンクリートとして予測した、中性化深さ推定方法<sup>3)</sup>が報告されている。本実験においては、各種仕上材を施した場合の中性化速度係数および仕上げなしの中性化速度係数に対する比率(以下、中性化速度比率と略す)を算出し、馬場らの報告<sup>3)</sup>による非セメント系仕上材の中性化予測式(以下、馬場式)と実験値の比較を行うことで、抑制効果の定量的評価を試みた。中性化速度係数は 式に、中性化速度比率は 式によりそれぞれ求めた。また、馬場式を 式に示す。

$$C=A \cdot t$$

$$R_A(n)=A/A_0$$

$$C=A_0 \cdot (t+R^2) \cdot R$$

ここに、C：中性化深さ(mm) A：中性化速度係数(mm/週<sup>0.5</sup>)  
t：促進試験期間(週)  
R<sub>A</sub>(n)：材齢n週における各試験体の中性化速度比率  
A<sub>0</sub>：仕上げなし試験体における中性化速度係数(mm/週<sup>0.5</sup>)  
R：中性化抵抗(週<sup>0.5</sup>)

## 4. 劣化していない試験体の中性化抑制効果

劣化していない試験体モルタル基盤およびコンクリート面における中性化速度係数および中性化速度比率をそれぞれ表 - 6、7に、中性化傾向を図 - 3、4に示す。

モルタル基盤面における中性化の進行は、コンクリート面に比べ速いが、中性化傾向においてはほぼ一致する。仕上種類別で比較すると、アクリルタイル、単層弾性、弾性タイルの順に中性化抑制効果が大きい結果となった。また、標準塗りと薄塗りでは、コンクリート面に仕上げを施した薄塗りアクリルタイルで中性化速度比率が0.465となり、抑制効果の低下がみられた。材齢と中性化速度係数との関係については、長期になるほど全般的に中性化速度係数が大きくなる傾向を示すものの、弾性系の仕上材は長期材齢においてもその絶対値は小さい。近年の一般的な弾性系の仕上材は、劣化が生じなければ中性化抑制効果が高く、かつ、その効果の持続性が高いと考えられる。各仕上材について中性化傾向を馬場式と比較した。なお、馬場式の中性化抵抗は、実験値を用いて最小2乗法により算出した。中性化抵抗を表 - 1に、比較結果を図 - 3、4に示す。コンクリート面においては実験値のばらつきがあるものの、馬場式の中性化傾向は実験値とほぼ一致すると考えられ、中性化傾向を馬場式で表すことができると考えられる。

表 - 6 モルタル基盤の中性化速度係数・速度比率

試験体名	モルタル基盤						中性化抵抗 R: (週 <sup>0.5</sup> )
	中性化速度係数 A: (mm/週 <sup>0.5</sup> )			中性化速度比率 R <sub>A</sub> (n)			
	4週	13週	26週	R <sub>A</sub> (4)	R <sub>A</sub> (13)	R <sub>A</sub> (26)	
NB	3.000	1.941	2.677	-	-	-	-
NATs	0.174	0.145	0.549	0.058	0.214	0.205	11.2
NATt	0.075	0.235	0.490	0.025	0.121	0.183	13.9
NSEs	0.075	0.041	0.099	0.025	0.021	0.037	70.2
NSEt	0.000	0.181	0.265	0.000	0.093	0.099	24.9
NETs	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.011	284.3
NETt	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.037	84.1

表 - 7 コンクリート面の中性化速度係数・速度比率

試験体名	コンクリート						中性化抵抗 R: (週 <sup>0.5</sup> )
	中性化速度係数 A: (mm/週 <sup>0.5</sup> )			中性化速度比率 R <sub>A</sub> (n)			
	4週	13週	26週	R <sub>A</sub> (4)	R <sub>A</sub> (13)	R <sub>A</sub> (26)	
NB	2.250	2.413	2.255	-	-	-	-
NATs	0.000	0.236	0.756	0.000	0.098	0.335	8.8
NATt	0.176	1.110	1.049	0.078	0.460	0.465	4.3
NSEs	0.176	0.000	0.097	0.078	0.000	0.043	72.5
NSEt	0.000	0.415	0.559	0.000	0.172	0.248	10.6
NETs	0.000	0.000	0.079	0.000	0.000	0.035	98.9
NETt	0.000	0.000	0.129	0.000	0.000	0.057	60.5

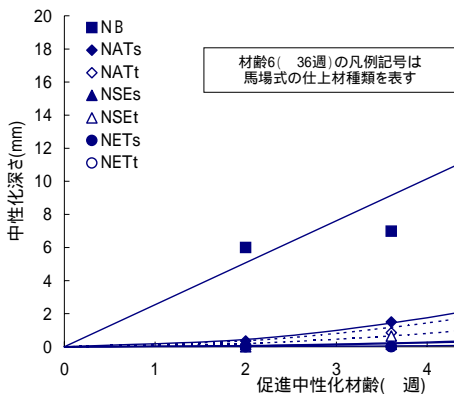


図 - 3 劣化していないモルタル基盤面の中性化傾向

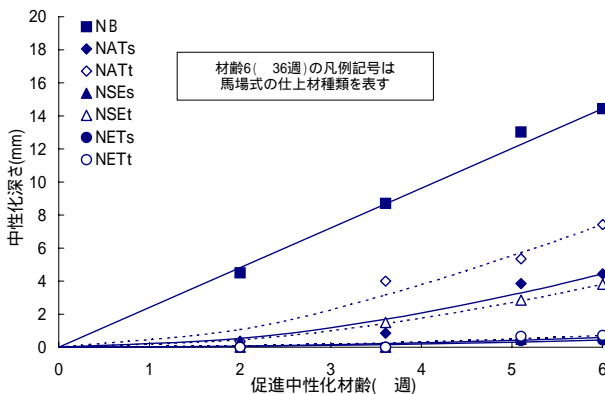


図 - 4 劣化していないコンクリート面の中性化傾向

5. 物理的劣化した試験体の中性化抑制効果

物理的劣化した試験体の中性化傾向を、図 5 (Pa1 シリーズ)、図 6 (Pa2 シリーズ)、図 7 (Pb2 シリーズ) に、中性化速度係数および中性化速度比率を表 8 に示す。なお、物理的劣化後に表面観察を行ったが、いずれの仕上材においてもひび割れ等は確認されなかった。物理的劣化後の表面観察結果を写真 2 に示す。



写真 2 物理的劣化後の塗装表面 (ETs: 200倍)

劣化年数ごとで比較すると、図 5、6 に示すように、仕上のない Pa1 シリーズと Pa2 シリーズでは、Pa2 シリーズの方が中性化深さが大きい傾向にある。また、表 8 に示すように、中性化速度比率においても、Pa2 シリーズの方が大きい傾向にあり劣化 12 年相当の方がどちらの値も増加する傾向となった。仕上材がある場合では、中性化速度比率が大きくなるものもあるが、Pa1 シリーズと Pa2 シリーズを比較しても劣化年数による明確な違いはみられなかった。

図 5、7 および表 8 に示すように、12 年相当における Pb2 シリーズの引張・圧縮を交互に与えた場合と、Pa2 シリーズの引張のみを与えた場合を比べると、仕上材のある場合は、材齢 4 週ではその差は小さいものの、Pb2 シリーズの材齢 13、26 週では、材齢による中性化の進行は大きくなり、中性化速度比率も増加する傾向となった。馬場式と実験値の比較を図 5、6、7 に、中性化抵抗を表 8 に示す。実験値にばらつきはあるものの、劣化なし試験体同様に、馬場式の中性化傾向は実験値とほぼ一致すると考えられる。物理的劣化を受けた仕上材におけるコンクリートの中性化傾向についても、馬場式で表すことができると考えられる。仕上材ごとに中性化速度比率を比較した場合、仕上材による抑制効果の優劣は、劣化していない場合とほぼ同じ結果となり、アクリルタイル、単層弾性、弾性タイルの順に中性化抑制効果が大きくなる結果となった。アクリルタイルは、標準塗り、薄塗りの別に関わらず、全般的に中性化速度比率が他の仕上材より大きい値となり、中性化抑制効果が小さいことが分かる。

劣化条件ごとでは、Pb2 シリーズの場合に、中性化速度比率が大きくなる傾向を示した。特に弾性系材料では、単層弾性の薄塗りを除き、劣化していない試験体ではほとんど中性化がみられなかったが、抑制効果の低減が相対的に顕著にみられた。弾性系材料においては、中性化速度比率の絶対値は小さく、抑制効果は確保されているものの、物理的劣化により仕上材自体の表面保護効果が低減する傾向にあると考えられる。

表 - 8 物理的劣化した試験体の中性化速度係数および中性化速度比率

試験体名	中性化速度係数 A: (mm/週 <sup>0.5</sup> )			中性化速度比率 R <sub>A</sub> (n)			中性化抵抗 R: (週 <sup>0.5</sup> )
	4週	13週	26週	R <sub>A</sub> (4)	R <sub>A</sub> (13)	R <sub>A</sub> (26)	
Pa1B	3.000	2.219	2.883	-	-	-	-
Pa1ATs	1.333	0.185	0.393	0.444	0.083	0.136	15.8
Pa1ATt	1.500	0.370	0.786	0.500	0.167	0.273	8.0
Pa1SEs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-
Pa1SEt	0.333	0.000	0.327	0.111	0.000	0.114	25.1
Pa1ETs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-
Pa1ETt	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.023	134.3
Pa2B	2.500	2.774	3.667	-	-	-	-
Pa2ATs	0.500	0.462	0.917	0.200	0.167	0.250	8.1
Pa2ATt	0.000	0.185	0.589	0.000	0.067	0.161	14.5
Pa2SEs	0.000	0.185	0.000	0.000	0.067	0.000	-
Pa2SEt	0.000	0.000	0.262	0.000	0.000	0.071	36.8
Pa2ETs	0.167	0.000	0.131	0.067	0.000	0.036	73.8
Pa2ETt	0.167	0.000	0.197	0.067	0.000	0.054	49.1
Pb2B	3.500	2.496	2.883	-	-	-	-
Pb2ATs	0.333	0.740	0.737	0.095	0.296	0.256	8.8
Pb2ATt	0.000	0.277	0.737	0.000	0.111	0.256	11.1
Pb2SEs	0.000	0.555	0.335	0.000	0.222	0.116	17.7
Pb2SEt	0.000	1.109	0.939	0.000	0.444	0.326	6.4
Pb2ETs	0.000	0.000	0.402	0.000	0.000	0.140	23.8
Pb2ETt	0.000	0.092	0.335	0.000	0.037	0.116	26.0

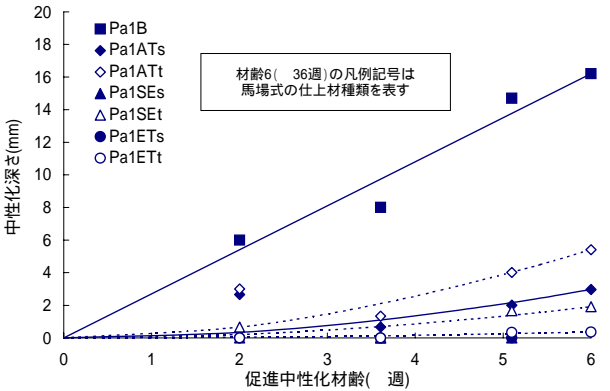


図 5 Pa1中性化傾向

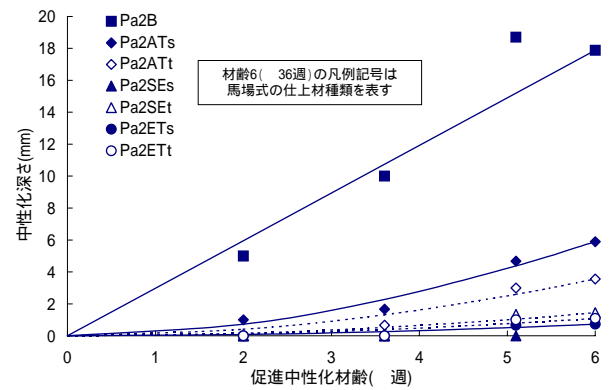


図 - 6 Pa2中性化傾向

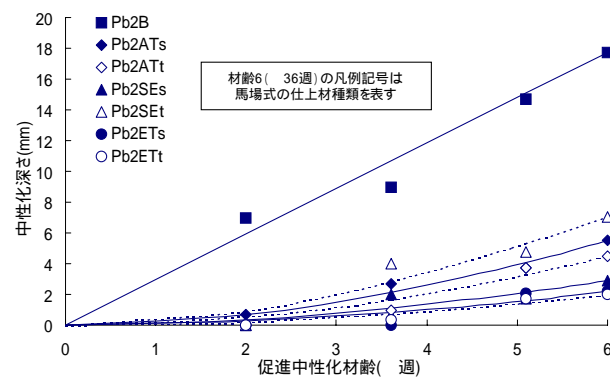


図 7 Pb2中性化傾向

## 6. 化学的劣化状況

SWMにより化学的劣化を行った試験体モルタル基盤の光沢、色差(Lab法)の測定結果を図-8、9に示す。また、照射前と3000時間照射後の表面観察結果を写真-3に示す。なお、仕上材の色は、一般的な茶系とした。

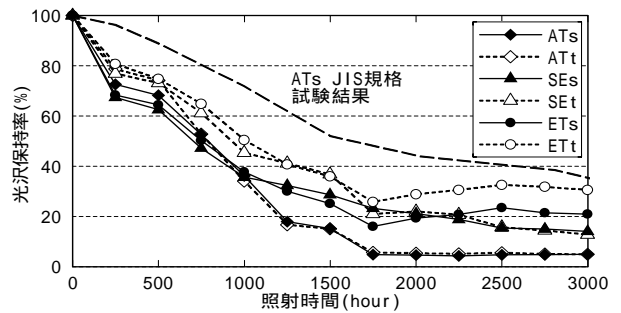


図 - 8 光沢保持率経時変

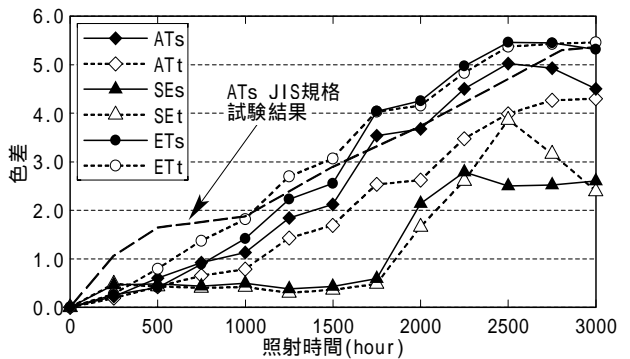


図 - 9 色差経時



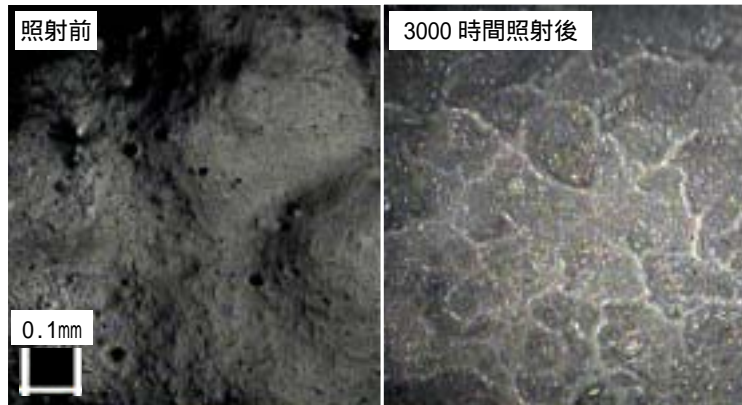


写真 - 3 照射前と照射後の塗装表面 200 倍 (ETs : 200 倍)

図 8、9 に示すように、どの仕上塗材においても、照射時間とともに光沢保持率は減少し、色差は増大し、仕上材が劣化していることが伺える。なお、標準塗りアクリルタイルにおいて、実験値を JIS 規格試験の結果と比較すると、実験値の方が早期に光沢保持率が低下している。これは、本実験の場合、中性化試験において同一条件とするためにモルタル基盤面の下地処理を行っていないため、仕上材の下地に不陸やピンホールが発生しており、それが光沢保持率の早期低下の要因となっていると考えられる。色差においても、実験値と JIS 規格試験の結果は、ほぼ同様の傾向が認められた。

物理的劣化試験同様に、仕上材表面を 200 倍で観察したところ、写真 - 3 に示すように、照射前はピンホールだけであったのが、3000 時間照射後にはひび割れのようなものが発生しており、表面観察の結果からも仕上材が劣化していることが分かる。

#### 7. 化学的劣化した試験体の中性化抑制効果

化学的劣化試験体における各材齢ごとの中性化速度係数、中性化速度比率および中性化抵抗を表 - 9 に示す。なお、3000 時間照射した試験体については、促進中性化試験中であるので、ここでは 1500 時間照射した試験体について考察する。表 7 に示す劣化なし試験体と比べ、化学的劣化した試験体の中性化速度比率は、いずれの仕上材を施した試験体においても化学的劣化した試験体の方が中性化速度比率が大幅に大きくなっており、仕上材に化学的劣化を付与することで、コンクリートの中性化抑制効果が低減されることが分かる。特に、薄塗りアクリルタイルにおいては、中性化速度比率が材齢 4 週において 0.867、材齢 13 週においては 1.000 となり、抑制効果の低減が顕著にみられた。しかしながら、仕上げを施した試験体の中性化速度比率は、いずれも 1.000 以下であることから、仕上のない試験体と比べ、仕上材を施すことによる中性化抑制効果が認められる結果となった。

仕上種類別に比較すると、アクリルタイル、単層弾性、弾性タイルの順に中性化速度比率が小さくなっており、特に、弾性タイル材齢 26 週においては中性化速度比率が 0.259 となり、最も高い中性化抑制効果を示した。

塗厚さ別に比較すると、アクリルタイルについては、標準塗りの方が薄塗りと比べ中性化速度比率が小さく中性化抑制効果が高いが、他の仕上材については塗厚さによる明確な差が認められなかった。

図 - 10 に化学的劣化した試験体の中性化傾向と馬場式の比較を示す。馬場式による検討は塗膜部分を表面層とみなした。実験値と馬場式を比較すると、薄塗りアクリルタイルについては実験値とやや差があるものの、他の仕上材については実験値と馬場式はほぼ合致している。したがって、仕上材に化学的劣化を付与した場合においても、馬場式により中性化傾向の推定が可能であると考えられる。

表 - 9 化学的劣化および複合劣化した試験体の中性化速度係数および中性化速度比率

試験体名	中性化速度係数 A: (mm/週 <sup>0.5</sup> )			中性化速度比率 R <sub>A</sub> (n)			中性化抵抗 R: (週 <sup>0.5</sup> )
	4週	13週	26週	R <sub>A</sub> (4)	R <sub>A</sub> (13)	R <sub>A</sub> (26)	
C1B	2.500	1.664	1.765	-	-	-	-
C1ATs	0.667	1.294	1.111	0.267	0.778	0.630	2.5
C1ATt	2.167	1.664	1.307	0.867	1.000	0.741	0.9
C1SEs	1.167	0.555	0.654	0.467	0.333	0.370	6.0
C1SEt	0.667	0.370	0.850	0.267	0.222	0.481	5.4
C1ETs	0.167	0.277	0.458	0.067	0.167	0.259	10.9
C1ETt	0.000	0.185	0.458	0.000	0.111	0.259	11.9
CP1B	1.833	1.664	1.569	-	-	-	-
CP1ATs	0.167	1.017	0.981	0.091	0.611	0.625	2.6
CP1ATt	1.333	1.387	1.111	0.727	0.833	0.708	1.3
CP1SEs	0.500	0.555	0.588	0.273	0.333	0.375	5.8
CP1SEt	1.000	0.370	0.719	0.545	0.222	0.458	5.0
CP1ETs	0.167	0.277	0.451	0.091	0.167	0.288	9.3
CP1ETt	0.167	0.277	0.458	0.091	0.167	0.292	9.1

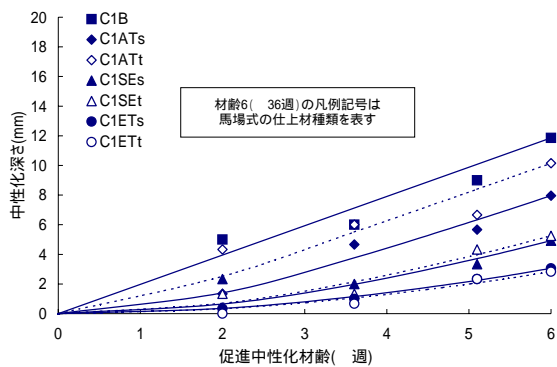


図 10 C1中性化傾向

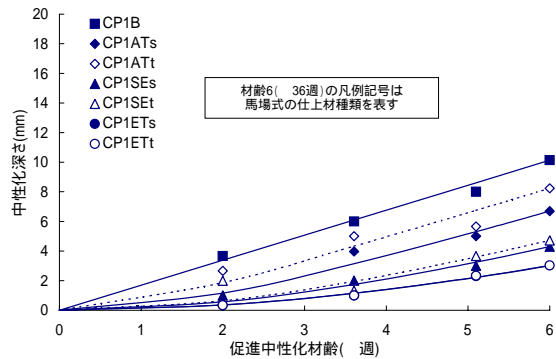


図 11 CP1 中性化傾向

### 8. 複合劣化した試験体の中性化抑制効果

複合劣化試験体における各材齢ごとの中性化速度係数、中性化速度比率および中性化抵抗を表 - 9 に示す。

表 7 に示す劣化なし試験体と、複合劣化した試験体の中性化速度比率を比較すると、化学的劣化と同様に、複合劣化した試験体の方が中性化速度比率が大きくなり、中性化抑制効果が低減されることが分かる。化学的劣化と複合劣化した試験体の中性化速度比率を比較すると、同程度の値となること、また、写真 4 に示す複合劣化後の表面観察において、化学的劣化同様にひび割れのようなものが発生していることから、本実験における仕上材の劣化は、物理的劣化よりも化学的劣化による影響が支配的であることが分かる。仕上材の種類の違いによる中性化抑制効果の優劣についても、化学的劣化と同様の傾向が認められる。塗厚さの違いでは、いずれの仕上材においても標準塗りの方が中性化速度比率が小さく中性化抑制効果が高くなっており、化学的劣化の場合よりも塗厚さの差が顕著に表れている。図 - 11 に複合劣化した試験体の中性化傾向と馬場式との比較を示す。実験値と馬場式を比較すると、化学的劣化の場合と同様に、実験値と馬場式による値は良く合致している。複合劣化における馬場式との差は、化学的劣化よりも小さいことから、化学的劣化に比べ複合劣化の場合の方がより馬場式による中性化傾向を推定できると考えられる。



写真 4 複合劣化後の塗装表面 200倍(ETs:200倍)

### 9. 仕上材による中性化抑制効果

図 12 に劣化条件ごとの各仕上材の中性化速度比率の比較を示す。図の値は各仕上材ごとの3材齢平均値とする。

仕上種類ごとに中性化速度比率を比較した場合、どの仕上材においても化学的劣化および複合劣化を与えた場合に値が大きくなり、中性化抑制効果の低減がみられる。特に、薄塗りアクリルタイルにおいてはその抑制効果の低減が顕著となった。複合劣化は、物理的劣化と化学的劣化を付与したものであるが、中性化比率の値が化学的劣化により近い値となることから、本実験における仕上材の劣化は化学的劣化による影響が支配的であることが分かる。また、仕上材による中性化速度比率は、劣化条件によらずアクリルタイルが大きな値を示しており、特に化学的劣化では中性化速度比率が3材齢平均で0.87と高い値を示している。薄塗り単層弾性においては、複合劣化により中性化速度比率が3材齢平均で0.41を示しており、抑制効果の低減がみられた。弾性タイルにおいては、他の仕上材同様に化学的劣化により中性化速度比率が増加する傾向にあるが、絶対値は3材齢平均で最大0.18と低い値となり、高い中性化抑制効果を示した。

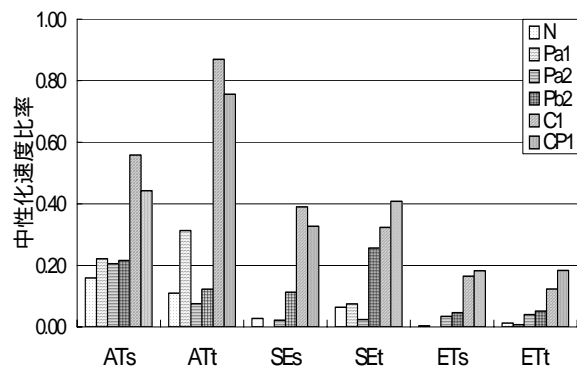


図 12 各仕上材の中性化比率の比較

## 10.まとめ

RC建築物の耐久性能を評価するためには、中性化に対する検討のみでなく、様々な劣化要因に対する検討が必要であるが、本研究においては中性化について実験的検証を行った。中性化を含めた個々の劣化現象についての劣化予測は、現状でもいくつかの方法が提案されているが、仕上材を考慮した劣化に関して中性化を定量的に評価する資料は少なく、本研究を行うことで、仕上材の劣化を考慮した中性化抑制効果を評価する資料を得ることができた。

本実験を行った結果以下の知見が得られた。

- (1) 仕上材に劣化を付与することにより、仕上材の中性化抑制効果は低下する。また、中性化抑制効果の低下は化学的劣化による影響が大きい。
- (2) 物理的劣化においても、圧縮および引張による12年相当の劣化を受けた場合に、弾性系材料は良好な中性化抑制効果を有するものの、劣化を受けない場合に比べその効果は小さくなる。
- (3) 仕上材を施すことにより、高い中性化抑制効果が得られる。仕上材の種類による中性化抑制効果は、アクリルタイル、単層弾性、弾性タイルの順に大きくなり、特に弾性タイルでは高い中性化抑制効果が得られる。
- (4) 薄塗りに比較して標準塗りの方が、わずかではあるが中性化抑制効果が高くなる。
- (5) 仕上材に劣化を付与した場合でも、馬場式によりコンクリートの中性化傾向を推定することができる。

今後の課題としては、ひび割れや中性化がRC建築物の劣化におよぼす影響や、補修による劣化抑制効果について定量的に把握する必要があり、特に鉄筋腐食を含めて劣化を評価、予測できる方向で実験を行う必要があると考える。

実験は、化学的劣化、複合劣化12年相当の試験が終了していないため、化学的劣化、複合劣化6年相当との継続的な比較を行うための試験結果が得られていないが、試験終了後に両劣化条件における劣化年数による検証も行う予定である。

## 11.おわりに

本研究は平成12年度より、奥村組、鉄建建設とともに行っている共同研究の成果であり、引き続きひび割れや鉄筋腐食を考慮した検証を行う予定である。

なお、本報告は、平成14年度日本建築学会大会において、投稿を行ったものに、さらに検討を加え、加筆したものである。

## 謝辞

本研究を行うに当たり、ご指導頂きました宇都宮大学工学部建設学科榎田佳寛教授に深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術」建設大臣官房技術調査室監修、(財)国土開発技術センター建築物耐久性向上普及委員会編、技報堂出版、1986.6.
- 2) 「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 23 吹付け工事」日本建築学会、1998.
- 3) 馬場 明生ほか：各種表面層をもつコンクリートの中性化深さ推定方法に関する一考察、コンクリート工学年次論文報告集、1987.