

# 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

河野政典\* 起橋孝徳\*

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の多くは、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場合がある。仕上塗材の保護機能としては主に防水が挙げられるが、この他にも建築物の耐久性の評価指標であるコンクリートの中性化を抑制する性能を有することが報告されている<sup>1)</sup>。

しかしながら、仕上塗材自体の経年変化により、上記性能も劣化すると考えられるため、建築物の耐久性評価に仕上塗材による中性化抑制効果を加味するためには、仕上塗材の劣化と中性化抑制性能との関係を明らかにする必要がある。しかし、仕上塗材の劣化を考慮した中性化抑制効果に関する研究は少なく、定量的な評価ができていない。そこで、本研究では、劣化させた仕上塗材で覆ったコンクリート試験体を用いて促進中性化試験を行い、仕上塗材の劣化と中性化抑制性能との関係について検討を行った。

試験機で与えた。振動回数は日内の温度変化による伸縮を1日一回とし、2190回を劣化6年相当、4380回を劣化12年相当と仮定し、試験シリーズaでは引張ひずみを、試験シリーズbでは引張と圧縮ひずみを交互に与えた。

## 2.2 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。化学的劣化および複合劣化ではSWMを使用するので、試験体にはSWM内に設置できるように大きさ70×150mm、厚さ5mmのモルタル板を用いた。また、劣化なしおよび物理的劣化の試験体においても同一条件とするためにモルタル板を用いた。モルタル板は、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)した。

促進中性化試験には、モルタル板裏面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板を底面として打込み、その際、塗装面にペーストが付着しないように養生した。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験因子と水準

実験因子と水準および試験体記号を表-1に示す。仕上塗材は、耐久性能指数<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。塗厚さは標準仕様の塗厚さと、薄塗りの2種類とした。仕上塗材を劣化させる要因は、紫外線や降雨による化学的劣化、温熱変化に伴う躯体の伸縮による物理的劣化、ならびにそれらを合わせた複合劣化の3種類を対象とした。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年相当、3000時間を劣化12年相当と仮定した。物理的劣化は躯体の伸縮を想定した引張と圧縮の曲げひずみを振動

表-1 実験因子と水準および試験体記号

因子	水準	記号	
コンクリートの調査	W/C=60%	-	
仕上塗材	種類	①仕上げなし ②耐久性能指数IIグループ：複層塗材E ③耐久性能指数IIグループ：防水形外装薄塗材E ④耐久性能指数IVグループ：防水形複層塗材E	B AT SE ET
	塗厚さ	①標準塗り ②薄塗り(標準塗りの0.5倍)	s t
劣化種類	(劣化なし)	劣化なし	N
	化学的劣化	①サンシャインウェザーメータ照射時間1500時間	C1
		②サンシャインウェザーメータ照射時間3000時間	C2
	物理的劣化	シリーズa (引張ひずみ)	①振動回数2190回 ②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]	Pb2
複合劣化 (化学的劣化+物理的劣化)	①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]	CP1	
	②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]	CP2	
試験体記号	記号例) C1 AT s ← 塗厚種類 劣化種類 ← 仕上塗材種類		

\*技術研究所

後打ちコンクリートの調合と使用材料を表-2に示す。なお、モルタル板の水セメント比は68%とした。

a. 化学的劣化試験体

化学的劣化試験体は、材齢8週以降に、モルタル板に仕上塗材を施し、養生した後、所定期間の劣化を行い、その後図-2に示す促進中性化試験体を製作した。

b. 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、150×500×100mmのコンクリート試験体の曲げモーメントが一定となる区間にモルタル板を配し製作した。写真-1に試験体形状を示す。コンクリート打設後材齢4週まで標準水中養生、その後材齢8週まで20℃気中養生した。材齢8週以降にモルタル板に仕上塗材を施し、養生後、物理的劣化を行った。劣化後は中性化試験対象部分以外を切断除去し、図-2に示す形状とした。

c. 複合的劣化試験体

複合劣化試験体は、化学的劣化を先行して行い、その後劣化したモルタル板をコンクリートに打込み物理的劣化を与えた。

d. 劣化なし試験体

劣化なし試験体も各劣化試験体同様、図-2の形状とした。仕上塗材は、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、モルタル面その他、コンクリート打込み面にも施した。

2.3 劣化前の試験体性状

a. 仕上塗材塗厚さ

各モルタル板に施した仕上塗材の平均塗厚さと、仕上塗材に含まれている樹脂質量に対する平均塗厚さ(以下、樹脂塗膜厚さと略す)を表-3に示す。両塗厚さは各試験体において測定した塗布質量を基に推定した。塗厚さは仕上塗材種類別に比較すると、防水形複層塗材Eが最も大きく、次いで防水形外装薄塗材E、複層塗材E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、本実験では凹部分のみを対象とし、パターンなしとした。なお、仕上塗材の色は一般的な茶系の色を使用した。

b. モルタル板とコンクリートの物性

今回の試験方法では、コンクリート表面を切り取ってモルタル板で模擬することとした。モルタルの材齢28日強度は22.6 N/mm<sup>2</sup>で、コンクリートと同程度であった。また、両者の細孔径分布を測定した結果、ほ

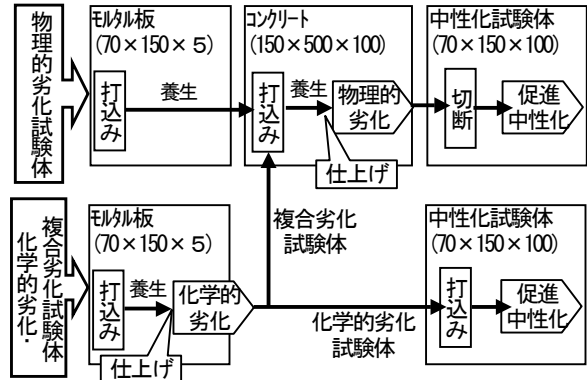


図-1 劣化因子に応じた試験体の形状、製作手順の概要

表-2 コンクリートの調合と使用材料

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				材齢28日強度 (N/mm <sup>2</sup> )
			W	C	S	G	
コンクリート	60	47	177	295	838	967	23.9
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 : 岩瀬産硬質砂岩砕石(最大骨材寸法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						

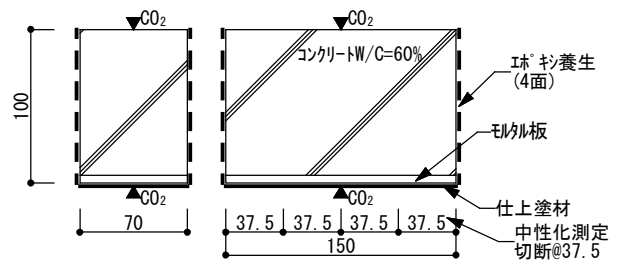


図-2 中性化試験体の形状

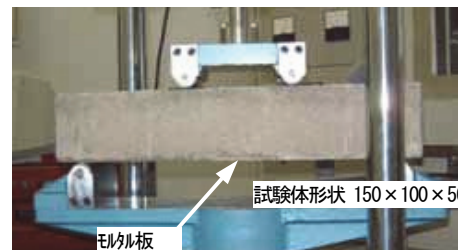


写真-1 物理的劣化試験体形状と試験状況

表-3 仕上塗材の平均塗厚さ

	複層塗材E		防水形外装薄塗材E		防水形複層塗材E	
	標準塗り	薄塗り	標準塗り	薄塗り	標準塗り	薄塗り
下塗材(μm)	39.9	19.4	17.8	8.8	17.6	8.7
主材(μm)	-	-	-	-	612.7	318.4
上塗材(μm)	97.5	53.4	252.6	124.2	116.2	54.2
総塗厚(μm)	137.4	72.8	270.4	132.9	746.5	381.2
樹脂塗厚(μm)	98.1	53.8	194.3	95.5	417.4	210.7

ぼ同様の分布傾向を示した。従って、今回用いたモルタル板はコンクリート表面と同等であると考えられる。

2.4 劣化促進方法と測定項目

各劣化試験における方法と、測定項目を表-4に示す。物理的劣化では、仕上塗材に引張りひずみを与え

る時は仕上面を下面に、圧縮ひずみを与える時は上面にした。仕上塗材は常温に比べ低温環境下において弾性性能が小さいため、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、試験体を振動試験前日から試験直前まで-5℃の冷凍養生槽で冷却した。試験中の仕上面の温度は5℃以下とした。

測定項目は、物理的劣化では仕上塗材表面の劣化状態を倍率200倍で観察した。化学的劣化では、表面観察の他、仕上塗材の色差と光沢を測定した。中性化深さの測定は、所定材齢にて、試験体を切断し切断面の3点の中性化深さを測定し、平均値を求めた。

### 3. 化学的劣化状況

化学的劣化における仕上塗材の光沢の測定結果を図-3に示す。照射時間とともに光沢保持率は減少しており、仕上塗材が劣化していることが伺える。なお、実験値をJIS規格試験の結果と比較すると、早期に光沢保持率が低下している。これは、本実験の場合、中性化試験に影響をおよぼすと考えられる塗装前の下地処理を行っていないため、モルタルの不陸やピンホールが光沢保持率の早期低下の要因となっていると考える。なお、色差の測定結果は、JIS規格試験の結果とほぼ同様の傾向が認められた。

SWM照射前と3000時間照射後の表面観察結果を写真-2に示す。仕上材表面を200倍で観察したところ、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塗材が劣化していることが分かる。

### 4. 促進中性化試験結果

#### 4.1 中性化抑制効果の評価

仕上塗材を考慮したコンクリートの中性化深さについては、中性化期間の平方根と中性化深さの間いわゆるルートt則が成立するものとし、仕上塗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みなして予測する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、仕上げなしの場合と、各種仕上塗材を施した場合の中性化速度係数の比率(以下、中性化速度比率と略す)の比較、および馬場らの報告<sup>3)</sup>による非セメント系仕上塗材の中性化予測式(以下、馬

表-4 劣化促進方法と測定項目

試験種類	試験装置	劣化促進方法	測定項目
化学的劣化	サンラインカーブアーメータ	光源：サンラインカーブアーグランプ ブラック初温度：約63℃ 降雨時間：18分/120分	色差・光沢
物理的劣化	油圧式サボバル研(振動)試験機	ひずみ導入方法：曲げ応力繰返し(片振り) 曲げひずみ量(ひずみ度)：約 $80 \times 10^{-6}$ 振動数：5Hz シースb引張りと圧縮ひずみの組合せ方法 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℃	仕上げ表面の観察 [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]

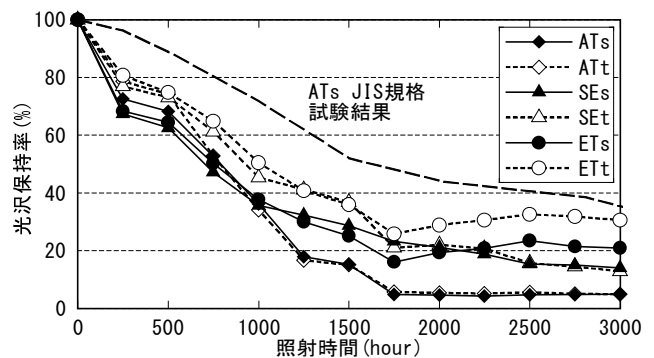


図-3 光沢保持率の推移

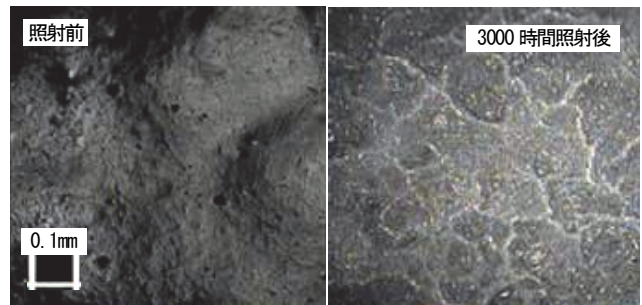


写真-2 照射前と照射後の塗装表面例(ETs200倍)

場式)と実験値の比較から、中性化抑制効果の定量的評価を試みた。中性化速度係数は式(1)に、中性化速度比率は式(2)によりそれぞれ求めた。また、中性化予測式を式(3)に示す。

$$C = A\sqrt{t} \quad (1)$$

$$R_A(n) = \frac{A}{A_0} \quad (2)$$

$$C = A_0 \left( \sqrt{t + R^2} - R \right) \quad (3)$$

ここに、

C: 中性化深さ(mm)

A: 中性化速度係数(mm/√週)

t: 促進試験期間(週)

R<sub>i</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>: 仕上げなし試験体の中性化速度係数(mm/√週)

R: 中性化抵抗(√週)

### 4.2 劣化していない試験体の中性化抑制効果

モルタル面およびコンクリート面の中性化抵抗(R)と、仕上げなし試験体の中性化速度係数(A<sub>0</sub>)を表-5に、劣化していない標準塗厚さ試験体の中性化傾向と馬場式の比較を図-4に示す。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。

仕上げなしモルタル面における中性化の進行は、コンクリート面に比べやや速いが、試験誤差を考慮すれば、中性化傾向はほぼ一致していると考えられる。これは、モルタルとコンクリートのポロシチー試験結果においても、細孔構造がほぼ一致していたことから妥当であると考えられる。仕上塗材毎に中性化抵抗を比較した場合、複層塗材E、防水形外装薄塗材E、防水形複層塗材Eの順で中性化の抑制効果は高くなった。特に防水形の仕上塗材では、劣化が生じなければ中性化の抑制効果が高く、かつ、その効果の持続性は高いと考えられる。また、塗厚さ毎に中性化抵抗を比較した場合、複層塗材Eのモルタル面以外については、標準塗りの方が中性化抵抗は大きくなる傾向がみられ、塗厚さの厚い方が中性化の抑制効果は高くなった。

中性化傾向を馬場式と比較すると、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、モルタル面、コンクリート面とも馬場式の中性化傾向と実験値はほぼ合致していると考えられる。

### 4.3 劣化を与えた試験体の中性化抑制効果

仕上塗材に劣化を与えた場合は、Pa シリーズ以外では、劣化を与えない場合よりも、中性化が進行し、中性化の抑制効果は低減した。

物理的劣化させたPa2 シリーズおよびPb2 シリーズの標準塗厚さ試験体における中性化傾向を図-5に示す。Pa シリーズの引張りひずみのみを与えた場合の中性化傾向および中性化抵抗は、劣化を与えない場合とほぼ同様で、中性化の抑制効果の低減はみられなかったが、Pb シリーズの引張りと圧縮ひずみを交互に与えた場合では、劣化を与えない場合よりも中性化が進行し、中性化の抑制効果は低減した。しかしながら、いずれの仕上塗材も劣化後においても中性化の抑制効果は有し続けていた。

化学的劣化と複合劣化の標準塗厚さ試験体における中性化傾向を図-6、7にそれぞれ示す。化学的劣化および複合劣化では、劣化を与えない場合と比べて中性化の進行が大きく、中性化の抑制効果が低下した。

表-5 中性化抵抗(R)と中性化速度係数(A<sub>0</sub>)

	劣化なし		物理的劣化			化学的劣化		複合劣化	
	モルタル	コンクリート	Pa1	Pa2	Pb2	C1	C2	CP1	CP2
ATs	7.9	9.8	8.3	11.0	8.6	4.1	2.2	4.6	2.3
ATt	7.5	4.3	9.7	11.5	6.6	1.4	1.1	2.7	1.2
SEs	77.2	53.9	139.8	51.4	17.6	5.5	5.6	7.8	5.3
SEt	13.6	8.7	14.4	31.8	6.6	9.5	2.6	7.0	2.6
ETs	152.7	64.7	279.6	102.1	21.6	17.3	8.1	14.9	10.0
ETt	116.8	46.7	79.8	27.4	25.9	16.3	6.5	14.8	7.1
NB	2.52	2.07	2.74	3.11	3.00	1.93	1.55	1.75	1.64

各仕上塗材毎に中性化抵抗R(√週)、NBは中性化速度係数A<sub>0</sub>(mm/√週)を表す

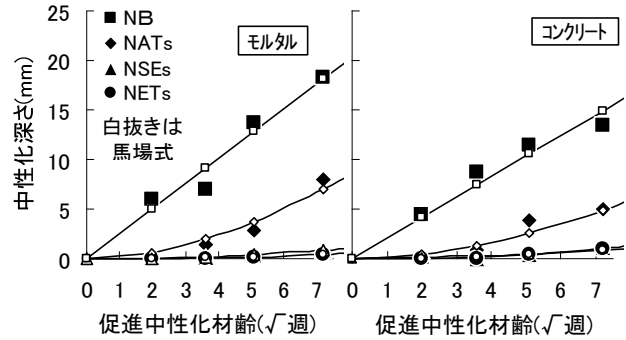


図-4 中性化傾向(劣化なし)

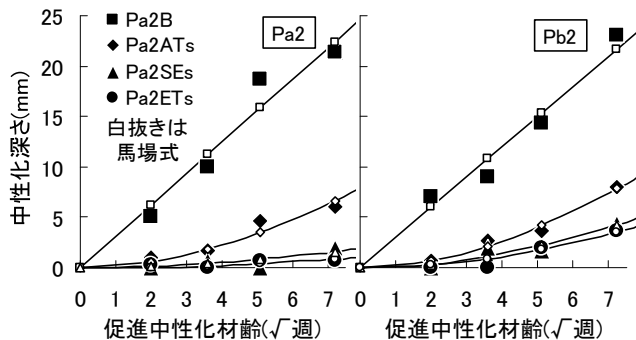


図-5 中性化傾向(物理的劣化)

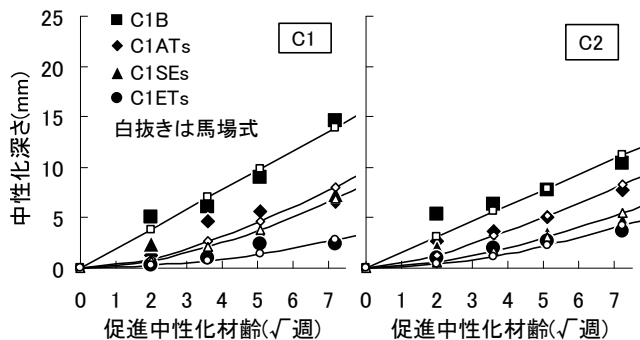


図-6 中性化傾向(化学的劣化)

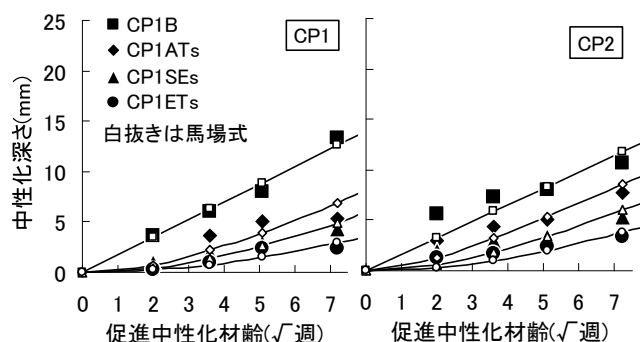


図-7 中性化傾向(複合劣化)

また、劣化程度が大きいほど抑制効果の低下も大きい傾向にあった。複合劣化と化学的劣化における中性化抵抗はほぼ同じであり、複合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と考えられる。

各劣化に対する仕上塗材毎の中性化速度比率を図-8に示す。仕上塗材毎に中性化速度比率を比較した場合、劣化していない場合と同様の結果となり、複層塗材E、防水形外装薄塗材E、防水形複層塗材Eの順で中性化の抑制効果は高くなった。塗厚さの違いでは、多くの場合、薄塗りの方が標準塗りより中性化速度比率は大きい。薄塗複層塗材Eの化学的劣化では中性化速度比率が0.83と最も高い値を示した。薄塗り防水形外装薄塗材Eにおいても、化学的劣化により中性化速度比率が0.63を示しており中性化の抑制効果の低減が見られた。防水形複層塗材Eにおいては、他の仕上塗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、最大で0.37と低い値を示しており高い中性化の抑制効果を示した。

中性化傾向と馬場式の比較を図-5~7に示す。実験値にばらつきはあるものの、中性化が進行した場合、劣化なし試験体と同様に、馬場式の中性化傾向は実験値とほぼ合致している。従って、仕上塗材が劣化した場合でも、馬場式でコンクリートの中性化傾向を推定できると考えられる。

### 5. 劣化年数を考慮した中性化予測

#### 5.1 仕上塗材の塗厚さと中性化抑制効果

実際の建築物の外壁面に施された仕上塗材は、本実験での複合劣化による経年変化が生じると仮定し、ここでは複合劣化に着目した。

複合劣化における、樹脂塗膜厚さと中性化速度比率の関係を図-9に示す。樹脂塗膜厚さが大きいほど中性化比率は小さく、また、経年劣化が進むほど中性化速度比率は大きくなる傾向にあった。標準塗り複層塗材Eと薄塗り防水形外装薄塗材E、標準塗り防水形外装薄塗材Eと薄塗り防水形複層塗材Eでは、仕上塗材種類は異なるが、樹脂塗膜厚さがほぼ同様で、中性化速度比率もほぼ同じであった。

馬場式に基づき中性化の進行を予測する場合、経年劣化に応じた中性化抵抗が必要となる。複合劣化における、樹脂塗膜厚さと70√週以下の中性化抵抗との

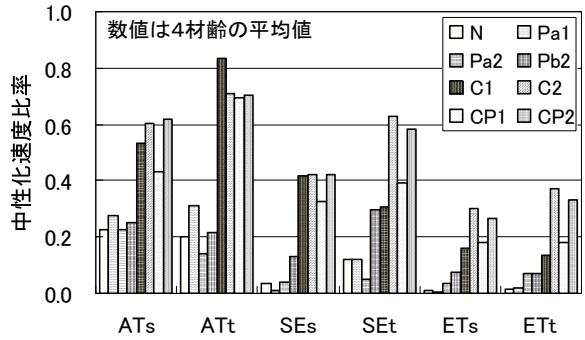


図-8 仕上塗材毎の中性化速度比率

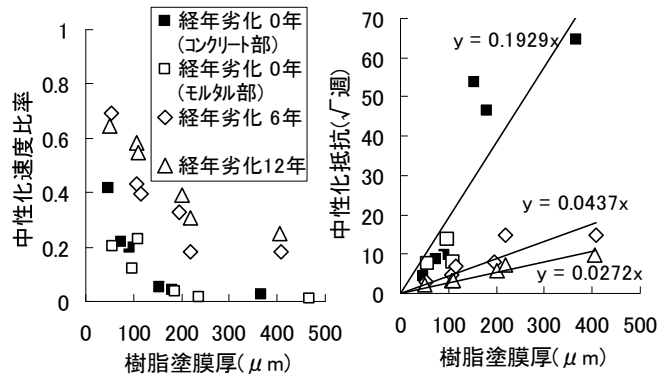


図-9 樹脂塗膜厚さと中性化速度比率の関係

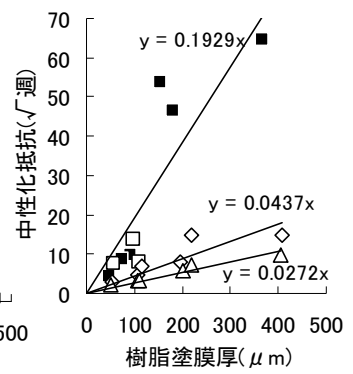


図-10 樹脂塗膜厚さと中性化抵抗の関係

関係を図-10に示す。樹脂塗膜厚さが大きいほど中性化抵抗は大きくなり、経年劣化が進むほど小さくなる。複合劣化を受けた場合、中性化抵抗は樹脂塗膜厚さに対してほぼ直線的に増加する傾向にあり、

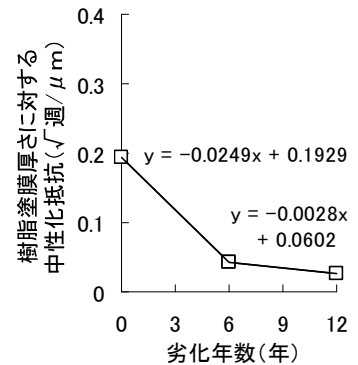


図-11 劣化年数と樹脂塗膜厚さに対する中性化抵抗の関係

中性化抵抗は樹脂塗膜厚さと相関があると考えられる。そこで、中性化抵抗を樹脂塗膜厚さとの関係から直線近似式で表した。近似式を図-10に示す。同様に経年劣化0年(劣化なし)についても直線近似式で表した。なお、経年劣化0年には中性化抵抗が大きい値を示すものが含まれているが、中性化抵抗を安全側に考慮するため、近似では70√週以下の値を対象とした。

図-10に示す劣化年数毎の近似式の傾き(樹脂塗膜厚さに対する中性化抵抗)と劣化年数の関係を図-11に示す。樹脂塗膜厚さに対する中性化抵抗と劣化年数の関係を直線近似した場合、中性化抵抗は劣化年数と樹脂塗膜厚さから式(4)、(5)で表せると考えられる。

$$R = Tr(-0.0249t + 0.193) \quad [t \leq 6] \quad (4)$$

$$R = Tr(-0.0028t + 0.060) \quad [6 < t \leq 12] \quad (5)$$

ここに、 $R$ ：中性化抵抗( $\sqrt{\text{mm}}$ )  
 $Tr$ ：樹脂量分の塗膜厚さ( $\mu\text{m}$ )  
 $t$ ：劣化年数(年)

### 5.2 劣化年数を考慮した中性化予測式

実験結果から、仕上塗材に劣化が生じた場合のコンクリートの中性化傾向は馬場式でおおよそ表せ、また、中性化抵抗は樹脂塗膜厚さと劣化年数から推定できると考えられる。そこで、馬場式に経時的評価を入れた式(6)を用いて、ステップ毎に式(7)から見かけの材齢を、式(9)、(10)から中性化抵抗を算出し、中性化の進行を予測する方法を提案した。ここでは、材齢は“年”で表し、炭酸ガス濃度5%の促進中性化試験の結果から得た中性化抵抗 $R$ を、式(8)に示す屋外での想定炭酸ガス濃度0.03%で補正した中性化抵抗 $R'$ を用いて算出する。適用条件として、仕上塗材は13年以内に塗替えることとし、また、中性化抵抗 $R$ の算出では、樹脂塗膜厚さに、仕上塗材施工における塗厚さのばらつきを考慮した係数を乗じることとした。

$$C_{(i)} = A_0 \left[ \sqrt{\{t'_{(i-1)} + \Delta t\} + R'_{(i-1)}} - R'_{(i-1)} \right] \quad (6)$$

$$t'_{(i-1)} = (C_{(i-1)} / A_0 + R'_{(i-1)})^2 - R'_{(i-1)}^2 \quad (7)$$

$$R'_{(i-1)} = \frac{R}{\sqrt{(52) \times \sqrt{(CO/5)}}} \quad (8)$$

$$R = \alpha Tr(-0.0249t_{(i-1)}^* + 0.193) \quad [t_{(i-1)}^* \leq 6] \quad (9)$$

$$R = \alpha Tr(-0.0028t_{(i-1)}^* + 0.060) \quad [6 < t_{(i-1)}^* \leq 12] \quad (10)$$

条件  $\Delta t = 1$   
 $C_{(0)} = 0, t_{(0)} = 0$   
 経過年数1年を1ステップとする  
 仕上塗材は13年以内に塗替える

ここに、  
 $C_{(i)}$ ：ステップ $i$ での中性化深さ(mm)  
 $A_0$ ：中性化速度( $\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ )  
 $t'_{(i-1)}$ ：ステップ $i-1$ での見かけ材齢(年)  
 $R'_{(i-1)}$ ：ステップ $i-1$ での中性化抵抗( $\sqrt{\text{年}}$ )  
 $CO$ ：炭酸ガス濃度(%) (屋外は0.03%)  
 $t_{(i-1)}^*$ ：ステップ $i-1$ の仕上塗材の劣化材齢(年)  
 ( $t_{(i-1)}^* \leq 12$ 、仕上塗材塗替え後は0年に戻る)  
 $\alpha$ ：仕上塗材の塗厚さのばらつきを表す係数

提案した中性化予測の計算例として算定条件と、外壁部分に仕上塗材を施した場合と仕上なしの打放しの場合における中性化深さの進行予測を図-12に示す。仕上塗材は複層塗材Eとし、13年目毎に塗替える計画とした。仕上塗材施工時の塗厚さのばらつきを表す係数は0.5とした。仕上塗材を施した場合の中性化深さは、経過年数60年で打放しの場合の約50%程度となる。

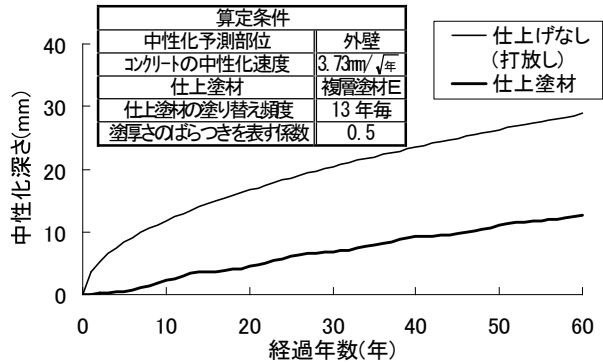


図-12 算定条件と中性化深さの進行予測

### 6. まとめ

仕上塗材による中性化の抑制効果について実験的に検討した結果、以下の知見が得られた。

- ① 仕上塗材によって中性化を抑制する効果が得られるが、この効果は仕上塗材の劣化、特に化学的劣化によって大きく低下する。
- ② 中性化抑制効果は、複層塗材E、防水形外装薄塗材E、防水形複層塗材Eの順に大きく、特に防水形複層塗材Eでは高い中性化抑制効果が得られる。
- ③ 仕上塗材に含まれる樹脂量から換算した樹脂塗膜厚で、中性化に対する抵抗性を推定できる。
- ④ 実験結果から馬場式を基に仕上塗材の経年劣化を考慮した中性化進行の予測式を提案した。

### 7. おわりに

今回、仕上塗材の中性化の抑制効果についての知見を得て、中性化予測式の提案を行った。今後、劣化した建築物の補修計画に備えて、仕上塗材の鉄筋腐食に対する抑制効果について検討していく。

なお、本研究は平成12年度より、五洋建設、鉄建建設とともに進めている共同研究の成果である。

本実験を行うにあたり、協力頂いた関係各位に謝意を表す。また、研究の遂行にあたり、ご指導頂いた宇都宮大学榎田佳寛教授に深く謝意を表す。

#### 【参考文献】

- 1) 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、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術」、技報堂出版、1986. 6
- 2) 日本建築学会、「建築工事標準仕様書・同解説JASS23改訂工事」、1998
- 3) 馬場明生他、「各種の表面層を持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9-1、pp. 333-338、1987