

# 論文 既存建物の調査事例に基づいた仕上塗材の中性化抑制効果に関する考察

唐沢 智之<sup>\*1</sup>・古賀 一八<sup>\*2</sup>・板谷 俊郎<sup>\*3</sup>・親本 俊憲<sup>\*4</sup>

**要旨**：鉄筋コンクリート造建築物の外壁に施されている仕上塗材には、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が、自然条件下における既存建築物の実態調査の事例は未だ少ない。本論では、各種仕上塗材を施した既存建物の中性化深さの調査事例を基に、各種仕上塗材を施したコンクリートの中性化速度係数を算出し、既往の中性化速度係数との比較を行い、実測データによる仕上塗材の中性化抑制効果について検討を行った。

**キーワード**：実態調査, 仕上塗材, 中性化速度係数, 中性化抑制効果

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の耐久性を評価する上で、コンクリートの中性化は最も重要な劣化現象とされている。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の一つである。従って、鉄筋コンクリート造建築物の耐久性を評価する上で、仕上塗材の中性化抑制効果を検証することは、大きな意義がある。

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ている。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<sup>1)</sup>されており、仕上材種類毎の中性化の抑制程度も報告<sup>1)</sup>されている。特に、近年使用量が増加している防水形あるいは複層の仕上塗材は、高い中性化抑制効果があることが報告されている<sup>2)</sup>。しかしながら、実態調査による仕上塗材の中性化抑制効果に関する報告事例は少ない。それ故に、例えば公共建築工事標準仕様書では、鉄筋の最小かぶり厚さの規定において、仕上塗材は鉄筋の耐久性上有効でない仕上げとされている。

本論では、既存建物における調査事例を基に、

表-1 調査対象建物の概要

番号	竣工年	調査年	経過年数	階数	主体構造	大規模改修の回数・時期
1	1995年	2004年	9	7F	RC	0回
2	1985年	2005年	19	11F	SRC	0回
3	1982年	2003年	21	7F	SRC	1回・不明
4	1980年	2002年	22	10F	SRC	1回・1989年
5	1980年	2003年	23	10F	SRC	1回・1992年
6	1980年	2001年	21	10F	SRC	1回・1991年
7	1979年	2003年	24	6F	RC	1回・1993年
8	1982年	2002年	20	11F	SRC	1回・1992年
9	1981年	2005年	24	5F	RC	0回
10	1993年	2004年	11	5F	RC	0回
11	1982年	2004年	22	5F	RC	1回・1996年
12	1984年	2004年	20	7F	RC	1回・1995年
13	1989年	2000年	11	7F	RC	0回
14	1978年	2004年	26	6F	RC	0回
15	1993年	2003年	10	8F	RC	0回
16	1982年	2002年	20	11F	RC	1回・1992年
17	1982年	2004年	22	7F	RC	1回・1992年
18	1980年	1997年	17	7F	RC	0回
19	1989年	1999年	11	7F	RC	0回
20	1993年	2000年	7	11F	SRC	0回
21	1978年	2004年	26	5F	RC	1回・不明
22	1982年	2003年	21	5F	RC	0回
23	1993年	2004年	11	5F	SRC	0回
24	1997年	2003年	6	8F	SRC	0回
25	1992年	2004年	12	7F	SRC	0回
26	1974年	2004年	30	7F	RC	0回
27	1993年	2004年	12	7F	RC	0回
28	1983年	2004年	21	7F	SRC	0回
29	1982年	2004年	22	7F	SRC	0回
30	1993年	2004年	11	—	その他	0回
31	1994年	2005年	11	10F	RC	0回
32	1996年	2006年	10	11F	RC	0回

\*1 鉄建建設(株) 技術センター 材料・構造グループ 主任研究員 (正会員)

\*2 (株)長谷工コーポレーション 技術研究所 建築材料 上席研究員 (正会員)

\*3 戸田建設(株) 技術研究所 施工グループ仕上材料チーム 主管

\*4 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 (正会員)

各種仕上塗材を施したコンクリートの中性化速度について検討し、仕上塗材の中性化抑制効果を検証した。

## 2. 調査概要

### 2.1 調査対象建築物

調査の対象とした建築物の概要を表-1に、仕上塗材の種類と調査データ数等の詳細を表-2に示す。

調査対象建築物は、1974年から1997年の間に竣工した32物件であり、普通コンクリートを用いたRC造19件、SRC造12件、その他1件である。調査は、1997年から2006年にかけて実施した。また、全32物件の内11件については調査時以前に大規模改修を実施しており、仕上塗材の塗り替えが行われている。その他の21件については、大規模改修が実施されていない。調査の対象とした部位は全て外壁であり、方位については特に限定しなかった。仕上塗材の種類は、外装薄塗材E(アクリルリシン)、複層塗材E(アクリルタイル)、防水形外装薄塗材E(単層弾性)、防水形複層塗材E(弾性タイル)の4種類である。なお、モルタル下地のデータは調査対象から除外した。

### 2.2 調査項目

調査項目を表-3に示す。調査項目は、仕上塗材の外観、コア供試体の中性化深さ、設計図書によるコンクリートの圧縮強度とした。中性化深さの測定は、採取したコア供試体を割裂した後、割裂面に1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧して、躯体表面から赤色部分までの距離を測定した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 中性化深さ

中性化深さの調査結果を図-1、2に示す。図-1については大規模改修が実施されていない物件、図-2については大規模改修が実施された物件の調査結果を示す。なお、図中の実線は、式(1)の岸谷式<sup>3)</sup>における仕上げ無し( $\beta=1$ )

表-2 調査データ詳細

改修の有無	仕上塗材種類	記号	データ数
大規模改修無し	外装薄塗材 E(アクリルリシン)	n-AR	1
	複層塗材 E(アクリルタイル)	n-AT	40
	防水形外装薄塗材 E(単層弾性)	n-SE	19
	防水形複層塗材 E(弾性タイル)	n-ET	0
大規模改修有り	外装薄塗材 E(アクリルリシン)	r-AR	8
	複層塗材 E(アクリルタイル)	r-AT	23
	防水形外装薄塗材 E(単層弾性)	r-SE	8
	防水形複層塗材 E(弾性タイル)	r-ET	8

表-3 調査項目

調査項目	調査方法
調査箇所	方位、部位
外観調査	目視、指触(チョーキングの有無)
中性化深さ	フェノールフタレイン法(コア供試体)
圧縮強度	設計図書(設計基準強度、呼び強度)

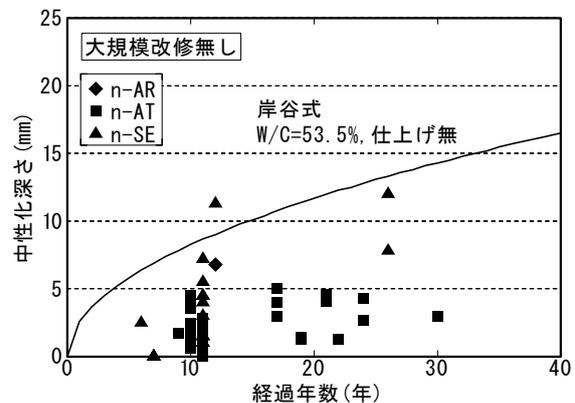


図-1 中性化深さ調査結果 (大規模改修無し)

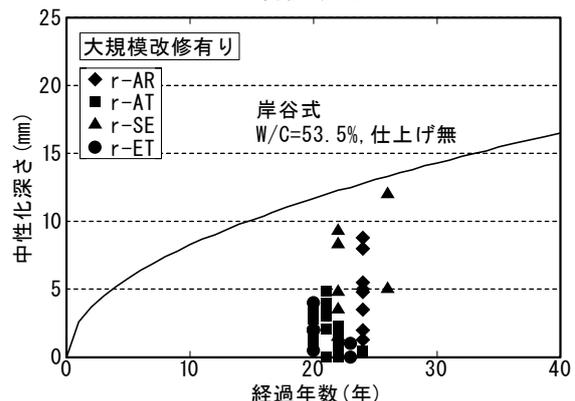


図-2 中性化深さ調査結果 (大規模改修有り)

とした場合の中性化深さを示す。水セメント比については、調査したデータの呼び強度が全て明らかでないが、建物の規模、竣工年が明らかになっているデータが21~27N/mm<sup>2</sup>である事等を考慮し、呼び強度27N/mm<sup>2</sup>に対応する水セメ

ント比として 53.5%とした。

$$t = \frac{7.2}{\beta^2(4.6x - 1.76)^2} C^2 \quad (1)$$

ここで、t: 中性化期間(年), C: 中性化深さ(cm),  
β: 中性化比率, x: 水セメント比(%/100)

ばらつきは大きいものの、中性化深さは一部のデータを除き、岸谷式の仕上げ無しの中性化深さより小さな値であり、仕上塗材の中性化抑制効果が認められる。特に、複層塗材 E(AT)については、大規模改修を実施せずに 20 年以上経過した時点においても、中性化深さが 5mm 以下であり、高い中性化抑制効果が認められる。

### 3.2 中性化速度係数

最も調査データの多かった複層塗材 E(AT)に関して、大規模改修の有無による中性化速度係数の比較を図-3に、調査箇所(方位)毎の中性化速度係数の比較を図-4, 5に示す。図-4については大規模改修が実施されていない物件、図-5については大規模改修が実施された物件の調査結果を示す。なお、本調査データは仕上塗材が施されているが、ここでは見かけの中性化速度係数として、 $\sqrt{t}$  則に従い式(2)より求めた。

$$C = A\sqrt{t} \quad (2)$$

ここで、t: 中性化期間(年), C: 中性化深さ(mm),  
A: 中性化速度係数(mm/√年)

仕上塗材を施したコンクリートの中性化進行は、仕上げの無いコンクリートの中性化進行の傾向とは異なり、初期材齢での中性化進行が遅く、その後徐々に進行すると報告されている<sup>4)</sup>。従って、式(2)によりコンクリートの見かけの中性化速度係数を求めた場合、経過年数に伴い見かけの中性化速度係数は増加傾向を示すと考えられる。図-3に示す今回の複層塗材 E(AT)の大規模改修無しの結果からは、経過年数 9~11 年の中性化速度係数の平均値は 0.65mm/√年、経過年数 17~30 年の平均値は 0.70mm/√年で明確な中性化速度の増加傾向は認められなかった。経過年数 17 年以降の中性化速度係数を大規模改修の有無別に比較すると、大規模改修有りの中性化速度係数の平均値は 0.35mm/√年で、大規模改

修無しの平均値よりも小さくなっており、大規模改修の効果が認められる。しかし、大規模改修が実施されていない場合でも、依然大きな中性化抑制効果が維持されていると言える。複層塗材 E(SE)のトップコートは、経過年数 10 年程度で劣化が顕在化していることを考慮すると、トップコートを除いた主材の中性化抑制効果が大きいと考えられる。

図-4の方位別の中性化速度係数の比較を見てみると、大規模改修無しの場合、南面を除き経過年数の進行により中性化速度係数が大きくなる傾向がある。一方、大規模改修有りの場合、図-5に示すように大規模改修無しの場合より中性化速度係数が小さくなっており、大規模改修の実施により、中性化速度の進行が抑制されている。複層塗材 E(AT)に関して、方位毎に中性化速度係数を比較すると、東西南北でさほど大きな差がなく、方位による中性化速度係数の違

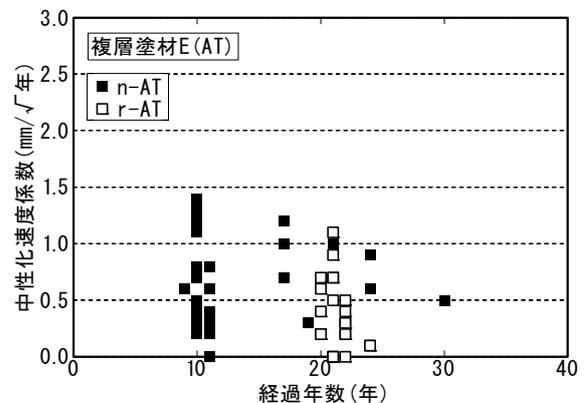


図-3 大規模改修の有無による  
中性化速度係数の比較

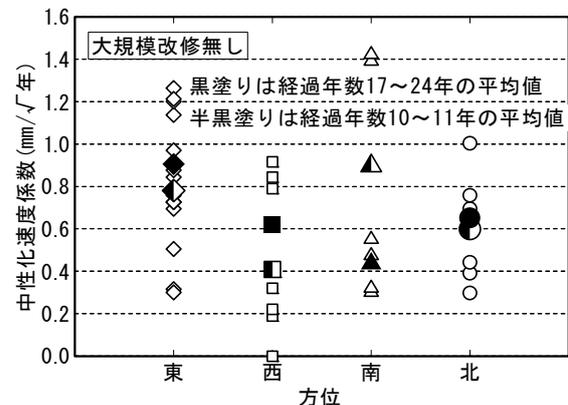


図-4 方位別の中性化速度係数の比較  
(大規模改修無し)

いは顕著でない。一般的に紫外線により仕上塗材が劣化することが知られており、本調査結果でも、チョーキングが発生しているものが多数存在する。しかし、紫外線量が最も小さいと考えられる北面において、他の方位と比較して中性化速度係数が小さくなっていないことから、チョーキングによる仕上塗材の劣化では、仕上塗材の中性化抑制効果の低下は、小さいと考えられる。

### 3.3 中性化比率

調査結果の内、呼び強度が明らかであるデータを抽出し、式(1)により中性化比率を算出した。抽出したデータの呼び強度は 21, 24, 27N/mm<sup>2</sup> であり、呼び強度に対応した水セメント比は、既往の文献<sup>5)</sup>を参考にそれぞれ 62.5%, 57.5%, 53.5%とした。調査結果より算出した経過年数 19~24 年の仕上塗材毎の中性化比率の比較を図-6に示す。

中性化比率に関しては、外装薄塗材 E(AR)と防水形外装薄塗材 E(SE)は同等で、複層塗材 E(AT)、防水形複層塗材 E(ET)の順で小さくなった。外装薄塗材 E(AR)は、中性化抑制効果がさほど期待できない材料<sup>6)</sup>であるが、今回の調査結果においては、ばらつきがあるものの中性化比率の平均値が 0.25 であり、中性化抑制効果が認められる。外装薄塗材 E(AR)は、築 10 年前後の大規模改修においてトップコート等が施されており、それにより中性化抑制効果が得られたものと考えられる。従って、主材の薄い仕上塗材におけるトップコート等の塗替えは中性化抑制に有効と考えられる。

複層塗材 E(AT)と防水形複層塗材 E(ET)については、中性化比率が 0.2 以下であり、高い中性化抑制効果を示した。現状の仕様書等において、鉄筋の耐久性上有効な仕上げとされているモルタル塗りについては、既往の文献<sup>7)</sup>において屋外部分で中性化比率の平均値が 0.28(築 23 年~49 年 6 物件、中性化比率 0.04~0.53)とされていることから、複層塗材 E(AT)と防水形複層塗材 E(ET)については、モルタル塗りと同様以上の中

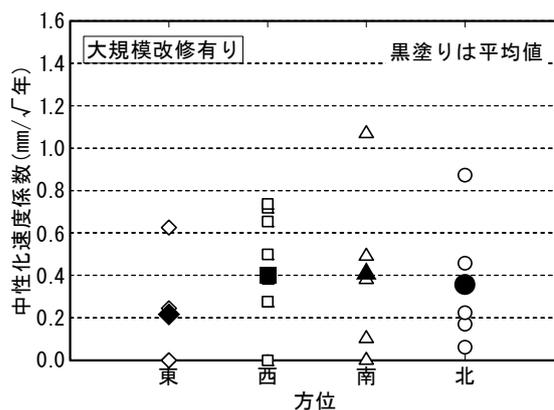


図-5 方位別の中性化速度係数の比較 (大規模改修有り)

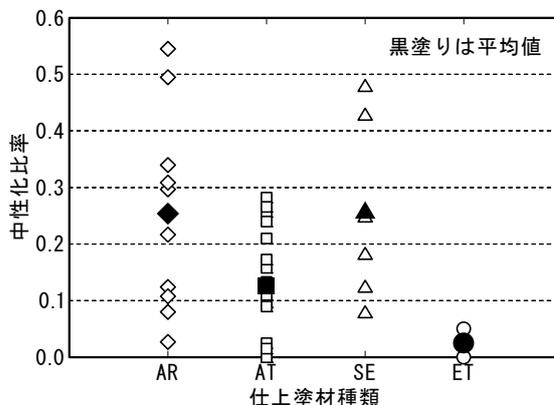


図-6 仕上塗材別の中性化比率の比較

性化抑制効果を有すると考えられる。また、仕上塗材については、施工による塗厚さのばらつきが生じると考えられるが、本調査で最も中性化比率が大きいものでも 0.28 であることから、施工誤差を考慮してもモルタル塗りと同様以上の中性化抑制効果があると考えられる。

### 3.4 中性化予測

仕上塗材のないコンクリートの中性化深さは、中性化期間の平方根と中性化深さの間に $\sqrt{t}$ 則が成立するものとし、式(2)の形に表すことが可能である。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も、同様に中性化期間の平方根と中性化深さの間に $\sqrt{t}$ 則が成立するものとし、仕上塗材の効果については表面層をもつコンクリートとみなして予測する方法が馬場らによって報告<sup>8)</sup>されている。ここでは、この報告による非セメント系仕上塗材の中性化予測式(3)を用い、調査結果より算出した中性化抵抗から、中性化深さの予測を試みた。なお、中性化深さの予測

は、調査データの多かった外装薄塗材 E(AR)と複層塗材 E(AT)について行った。

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

$$A_0 = \frac{4.6x - 1.76}{\sqrt{7.2}} \times 10 \quad (4)$$

ここで、 $C_c(t)$ ：材齢  $t$  年における仕上塗材を施したコンクリートの中性化深さ(mm)， $A_0$ ：仕上塗材のないコンクリートの中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{年}}$ )， $t$ ：中性化期間(年)， $R$ ：中性化抵抗( $\sqrt{\text{年}}$ )， $x$ ：水セメント比(%/100)

仕上塗材のないコンクリートの中性化速度係数は、前述の呼び強度に対応した水セメント比を用いて算出した。調査結果より算出した中性化予測を図-7、8に示す。図-7については外装薄塗材 E(AR)の、図-8については複層塗材 E(AT)の中性化予測を示す。

中性化深さの予測の結果、外装薄塗材 E(AR)を塗布したコンクリートの中性化深さは、65年経過時点で、水セメント比 60%については平均 6mm 程度、水セメント比 55%については平均 5mm 程度、水セメント比 50%については平均 3mm 程度と予測される。ただし、外装薄塗材 E(AR)については、中性化抵抗のばらつきが大きいため、算出した中性化抵抗が最も小さかったデータを用いた予測の場合、65年経過時点で、水セメント比 60%については最大 20mm 程度の中性化深さになると予測される。

一方、複層塗材 E(AT)を塗布したコンクリートの中性化深さは、65年経過時点で、水セメント比 60%については平均 4mm 程度、水セメント比 55%については平均 3mm 程度、水セメント比 50%については平均 2mm 程度と予測され、外装薄塗材 E(AR)よりも全体的に 2mm 程度小さい。算出した中性化抵抗が最も小さかったデータを用いた予測においても、水セメント比 50%のコンクリートの中性化深さは、65年経過時点で 7mm 程度であった。現行の JASS 5<sup>9)</sup> では、計画供用期間の級を標準とした場合、大規模補修不要予定期間を 65年としているため、65年経過時

点の中性化深さが最大で 7mm 程度であれば、仕上塗材の施工誤差を考慮しても、十分な中性化抑制効果が期待できる。また、供用限界期間については 100年としているが、100年経過時点の中性化深さは、水セメント比 50%の場合、最大で 10mm 程度と予測される。

現行の仕様書では、鉄筋の最小かぶり厚さの規定において、仕上塗材は鉄筋の耐久性上有効でない仕上げとされているため、仕上げがある場合の最小かぶり厚さ 20mm に対して 10mm 増すことになり、外壁では 30mm と規定されている。一方、屋外では、鉄筋位置まで中性化した時点で急速に鉄筋腐食が始まると言われている。複層塗材 E(AT)を鉄筋の耐久性上有効な仕上げ

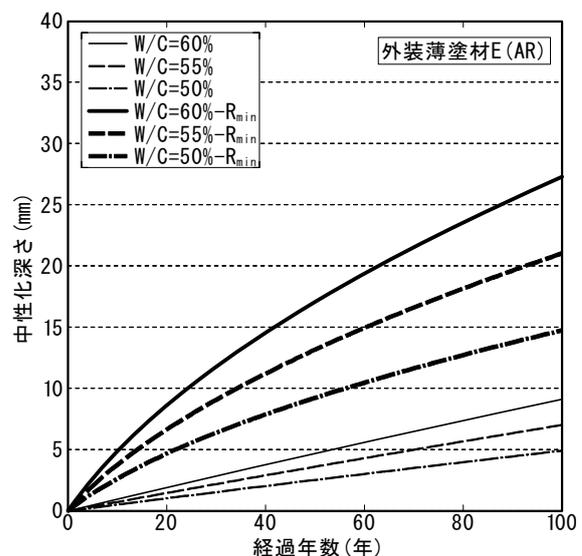


図-7 中性化深さ予測(外装薄塗材 E)

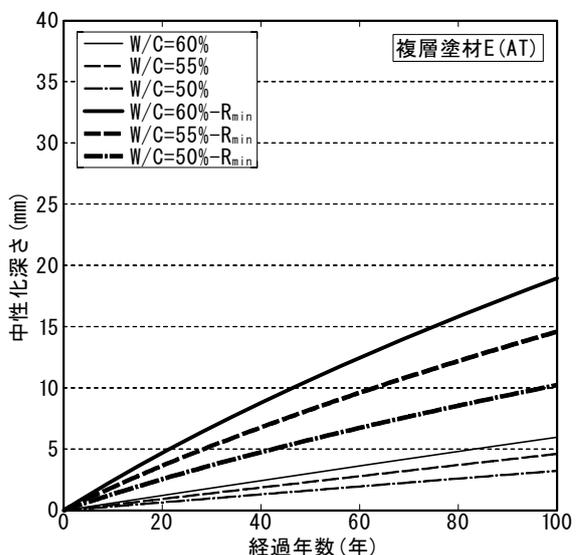


図-8 中性化深さ予測(複層塗材 E)

と見なし、最小かぶり厚さを 20mm とした場合でも、供用限界期間の 100 年経過時点で、鉄筋位置まで中性化しないことから、鉄筋の腐食は抑制できるものと考えられる。しかし、外装薄塗材 E(AR)の場合、100 年経過時点の中性化深さは、水セメント比 50%の場合、最大で 20mm 程度と予測され、鉄筋位置まで中性化することになり、鉄筋の腐食が予想される。

以上より、計画供用期間の級が標準で、水セメント比 50%以下のコンクリートに複層塗材 E(AT)を塗布した場合、供用限界期間まで中性化によって耐久性に問題が生じることは少ないと考えられる。一方、外装薄塗材 E(AR)を塗布した場合、鉄筋位置まで中性化する可能性がある。

#### 4. まとめ

本論は、限られた調査件数のデータをまとめたものである。更に多くの調査データを集積し、統計的な検討を加える必要があるが、本調査結果より得られた知見をまとめると、以下の通りである。

- (1) 複層塗材 E(AT)については、大規模改修を実施せずに 20 年以上が経過した時点においても、中性化深さが 5mm 以下であり、高い中性化抑制効果がある。
- (2) 複層塗材 E(AT)と防水形複層塗材 E(ET)については、チョーキング等のトップコート層の劣化による中性化抑制効果への影響は小さく、仕上塗材の中性化抑制効果は主材によるところが大きい。
- (3) 複層塗材 E(AT)と防水形複層塗材 E(ET)については、中性化比率が平均 0.2 以下であり、モルタル塗り(0.28)と同等以上の中性化抑制効果がある。
- (4) 複層塗材 E(AT)を塗布した水セメント比 50%のコンクリートの中性化深さは、供用限界(100 年経過)時点で、最大 10mm 程度と予測される。一方、外装薄塗材 E(AR)の場合は、最大 20mm 程度と予測される。
- (5) 計画供用期間の級を標準、水セメント比を

50%以下とした場合、仕上塗材を複層塗材 E(AT)とすれば、供用限界期間まで中性化によって耐久性に問題が生じることは少ない。一方、仕上塗材を外装薄塗材 E(AR)とした場合、鉄筋位置まで中性化し、鉄筋腐食の可能性はある。

なお、本研究は、(社)建築業協会「躯体コンクリートの中性化抑制に寄与する各種仕上材の評価研究会」の活動の一環として実施したものである。

#### 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: 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) 河野他: 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 その 1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), A, pp.767~772, 2002.9
- 3) 岸谷孝一: 鉄筋コンクリートの耐久性, 鹿島建設技術研究所出版部, PP.165~167, 1962 年
- 4) 福島敏夫, 福士勲: 高分子仕上塗材がコンクリートの中性化進行に及ぼす影響の定量的評価 鉄筋コンクリート造建築物外壁の耐久性予測法に関する研究(その 2), 日本建築学会構造系論文報告集, 第 434 号, pp.1~10, 1992.4
- 5) 飯生他: 施工性を考慮したコンクリートの調査に関する研究 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), A, pp.643~644, 2003.9
- 6) 唐沢他: 鉄筋コンクリート造建築物のひび割れ部における仕上材の劣化抑制効果に関する研究 その 1~4, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), A-1, pp.997-1004, 2004.8
- 7) 池田他: 既存 RC 構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋腐食について その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.203~204, 1983.9
- 8) 馬場明生, 千歩修: 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, 1987
- 9) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説, JASS5, 鉄筋コンクリート工事, 2003