

3

ダブルチャンバー法による仕上塗材の透気係数と中性化進行予測に関する研究

唐沢 智之*1・西脇 敬一*2・川又 篤*2

概 要

仕上塗材を施したコンクリートの拡散係数は、ダブルチャンバー法による透気係数との間に線形の関係が成り立つことが分かった。仕上塗材の中性化抑制効果を表す中性化抵抗は、仕上塗材の拡散係数と塗厚さから求められることから、拡散係数と透気係数の関係を適用すると、透気係数より中性化抵抗が求められ、中性化進行予測が可能であることが明らかになった。そして、中性化抵抗の理論値およびその理論値を用いた中性化予測値は、促進中性化試験から得られた実験値と対応する傾向が示され、透気係数の測定結果から求めた拡散係数、中性化抵抗により、仕上塗材を施したコンクリートの中性化進行を予測できることが確認された。

キーワード：コンクリート・中性化・仕上塗材・透気係数・拡散係数・二酸化炭素

STUDY ON THE AIR PERMEABILITY COEFFICIENT OF COATING MATERIALS FOR
TEXTURED FINISHES BY THE DOUBLE CHAMBER METHOD
AND PREDICTION OF CARBONATION

Tomoyuki KARASAWA*1, Keiichi NISHIWAKI*2,
Atsushi KAWAMATA*2

Abstract

The study results showed that there is a linear relationship between the diffusion coefficient of concrete coated with coating materials for textured finishes and the air permeability coefficient determined by the double chamber method. The resistance against carbonation that represents the carbonation suppressive effect of coating materials for textured finishes is obtained by the diffusion coefficient and coating thickness of coating materials for textured finishes. By applying the relationship between the diffusion coefficient and the air permeability coefficient, the diffusion coefficient is calculated by experimental values of air permeability coefficient. Therefore it was cleared that the carbonation progress is able to be predicted by the calculated value of the carbonation resistance. The calculated carbonation resistance value and the carbonation prediction value based on the calculated carbonation resistance tend to agree with the experimental values of the accelerated carbonation test. Hence, the study demonstrated that the carbonation progress of concrete with a coating materials for textured finishes can be predicted, using carbonation resistance and the diffusion coefficient calculated from the experimental value of the air permeability coefficient.

Keywords: concrete, carbonation, coating materials for textured finishes, air permeability coefficient, diffusion coefficient, carbon dioxide

*1 Manager, Material / Structure Group, Construction Technology Center, Engineering Division

*2 Material / Structure Group, Construction Technology Center, Engineering Division

ダブルチャンバー法による仕上塗材の透気係数と中性化進行予測に関する研究

唐沢 智之*1・西脇 敬一*2・川又 篤*2

1. はじめに

最も一般的な外装仕上材の一つである仕上塗材は、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ことが報告¹⁾されている。筆者らは、促進劣化させた仕上塗材を施したコンクリート試験体を用いて促進中性化試験を行い、仕上塗材の劣化に伴う中性化抑制効果を中性化抵抗により評価し、仕上塗材の経年劣化を考慮した中性化予測式の提案を試みた²⁾。さらに、河野らは、新たに考案した二酸化炭素の拡散係数測定装置を用いて仕上塗材および促進中性化させたモルタル板の拡散係数を求め、得られた拡散係数から中性化抵抗の理論値を導いた。そして、中性化抵抗の理論値を用いた中性化進行予測値と既往の促進中性化試験から得られている実験値との比較を行い、拡散理論による中性化進行モデルの検証を行った³⁾。

仕上塗材によるコンクリートの中性化抑制効果の評価方法としては、仕上塗材を施したコンクリートと施していないコンクリートの促進中性化試験を行うのが最も明解であるが、試験期間を要するという欠点がある。一方、仕上塗材の二酸化炭素の拡散係数を実際に求めた河野らの方法³⁾は、迅速に中性化を評価できるが、仕上塗材の膜を作製したり、精度の高い測定装置や試験技術が必要であることから、仕上塗材の中性化抑制効果を容易に推定できる方法の確立が望まれている。

そこで、筆者らは、迅速かつ実際の建築物における原位置でも中性化を評価できる方法として、空気の透気性に着目し、 T_{prrent} が

開発したダブルチャンバー法⁴⁾(以下トレント法)で測定した透気係数により、仕上塗材による中性化抑制効果を推定する手法を検討した。筆者らは、仕上塗材を施したコンクリート試験体を用い、トレント法で測定した透気係数と中性化率の間に相関があることを明らかにした⁵⁾。この結果を踏まえ、本論では、仕上塗材、およびコンクリートにおける二酸化炭素の透気性と空気の透気性が相関を有すると仮定し、仕上塗材の拡散係数と透気係数との関係について理論的検討を行い、測定した透気係数から拡散係数および中性化抵抗の理論値を導くこととした。そして、中性化抵抗の理論値を用いた中性化進行予測値と促進中性化試験から得られている実験値との比較を行い、透気係数による中性化進行予測方法の検証を行った。

2. 透気係数による拡散係数の評価方法の検討

仕上塗材の透気性と拡散係数の関係について、宮木ら⁶⁾は、ガス透過性測定装置を用いて、タイムラグ法により拡散係数と透過係数を算出し、さらに仕上塗材を施したコンクリートの促進中性化試験を行い、中性化と仕上塗材の透気性の関係について考察している。また、笠井ら⁷⁾は円板透気性試験装置を、本橋⁸⁾はガス透過性測定装置を用いて仕上塗材の透気係数を測定している。実際の建築物における原位置でのコンクリートの透気性の試験方法としては、ドリル削孔法⁹⁾やシングルチャンバー法¹⁰⁾などが報告されており、さら

*1 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 材料・構造グループ グループリーダー

*2 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 材料・構造グループ

に原位置において簡便に、かつ比較的精度良く測定できる方法としてトレント法がある。トレント法の試験装置の概要は図-1に示す通りであり、試験の原理は、内部セルと外部セルをポンプにより真空状態にした後、内部と外部のセルの圧力を等しく制御することにより、周りから内部セルへの空気の流れが排除され、結果として図-1に示すように内部セルでは栓流が形成され、透気係数が精度良く測定できるというものである。内部セルの圧力 P_1 と外部セルの圧力 P_0 を等しく保つために外部セルの圧力のみをポンプにより制御し、内部セルの圧力 P_1 の変化と時間 t を測定することにより、透気係数 K 、および試験の影響を受けるコンクリートの深さ L が算出される。ここで、試験の影響を受けるコンクリートの深さとは、図-2に示すように、コンクリートを1次元の半無限固体とし、その表面を真空状態にして圧力を低下させた場合、半無限固体内の空気は、拡散方程式の解に従って移動し圧力が低下するが、その低下した圧力を測定できる深さのことである。なお、この場合、無限遠での圧力は大気圧である。また、仕上塗材を施したコンクリートの透気係数 K は、仕上塗材のみの透気係数ではなく、仕上塗材の下のコンクリートを含めた透気係数になる。ここで、仕上塗材が施されたコンクリートのトレント法による透気係数の測定において、仕上塗材中、およびコンクリート中の圧力が定常状態で変化すると仮定した場合、図-3に示すように、仕上塗材とコンクリートの界面の圧力を P' とすると、仕上塗材部分とコンクリート部分における透気量が等しいことから関係式(1)が成り立つ。

$$K \frac{P_a - P_s}{L_{c+f}} = K_c \frac{P_a - P'}{l_c} = K_f \frac{P' - P_s}{d_f} \quad (1)$$

ここに、 K : 仕上塗材を施した試験体の透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)、 P_a : 大気圧 (N/mm^2)、 P_s : 内

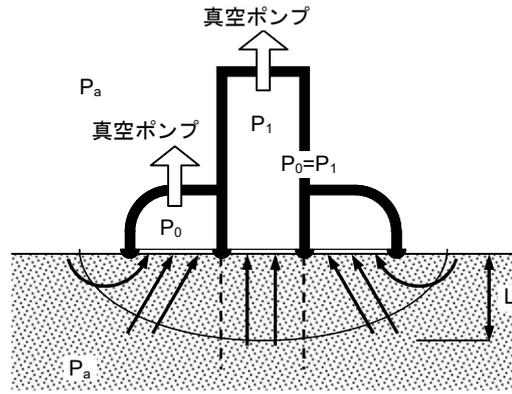


図-1 トレント法の試験概要

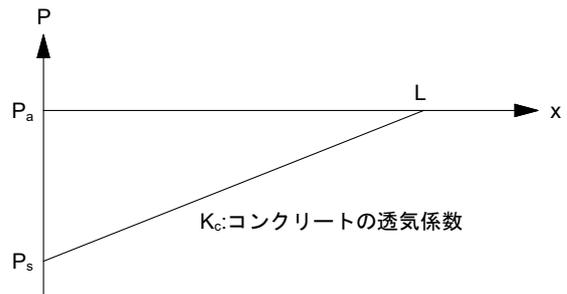


図-2 圧力と透気係数の関係

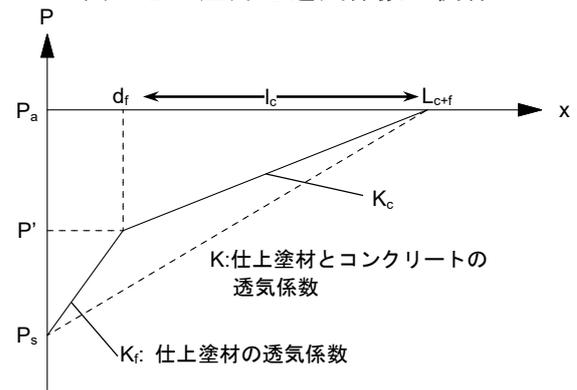


図-3 仕上塗材がある場合の圧力と透気係数の関係

部セルの圧力の初期値 (N/mm^2)、 L_{c+f} : 仕上塗材を施した試験体における試験の影響を受けるコンクリートの深さ (m)、 K_c : 仕上塗材のない試験体 (打放し) の透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)、 P' : 仕上塗材とコンクリートの界面の圧力 (N/mm^2)、 l_c : コンクリート部分の厚さ ($L - d_f$) (m)、 K_f : 仕上塗材のみの透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)、 d_f : 仕上塗材の厚さ (m)

式(1)より仕上塗材のみの透気係数 K_f を式(2)により算出した。

$$K_f = \frac{K \cdot K_c \cdot d_f}{K_c \cdot L_{c+f} - K(L_{c+f} - d_f)} \quad (2)$$

仕上塗材が施されたコンクリートの中性化

進行については、二酸化炭素が仕上塗材および中性化したコンクリート中をフィックの第一法則に従って拡散していくと仮定した場合、仕上塗材なしと同様、理論的に中性化期間との間に \sqrt{t} 則が成り立ち、拡散理論から仕上塗材を施したコンクリートの中性化深さは式(3)で表すことが可能である³⁾。また、式(3)は馬場ら¹¹⁾が、非セメント系仕上材を施したコンクリートの中性化進行の実験結果にあてはめて提案したものと同じ式である。

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

ここに、 X : 中性化深さ (mm), A : 仕上塗材のない試験体(打放し)の中性化速度係数 (mm/ $\sqrt{\text{週}}$), t : 促進試験期間 (週), R : 中性化抵抗 ($\sqrt{\text{週}}$)

中性化抵抗 R は、二酸化炭素が仕上塗材および中性化したコンクリート中をフィックの第一法則に従って拡散していくと仮定し、式(4)により算出した³⁾。

$$R = \frac{D_c}{\left(\frac{D_f}{d_f} \right)} \cdot \frac{1}{A} \quad (4)$$

ここに、 D_c : コンクリートの拡散係数 (cm²/s), D_f : 仕上塗材の拡散係数 (cm²/s)

式(2), (3), (4)より、仕上塗材のみの透気係数 K_f と拡散係数 D_f の関係が求まれば、透気係数の測定結果からコンクリートの中性化深さが求められることが分かる。

そこで、仕上塗材を施したコンクリートの促進中性化試験とトレント法による透気係数の測定を行い、仕上塗材の透気係数と拡散係数との関係について明らかにし、透気係数による中性化進行予測方法を提案した。そして、既往の実験で得られている仕上塗材を施したコンクリートの透気係数と促進中性化データ⁵⁾を用いて、中性化進行予測方法の検証を行った。

表-1 要因と水準

要因	水準		記号
仕上塗材	種類	① 仕上なし ② 複層塗材 E(アクリルタイル) ③ 防水形外装薄塗材 E(単層弾性) ④ 防水形複層塗材 E(弾性タイル)	B AT SE ET
	塗厚	① 標準施工塗厚さ ② 薄塗厚さ(標準施工塗厚さの 1/2)	s t

表-2 仕上塗材の塗布量および理論塗膜厚さ

	塗厚さ	下塗り	主材	上塗り	総塗膜厚さ	樹脂塗膜厚さ
複層塗材 E	標準	39.9 μm	-	97.4 μm	137.4 μm	98.1 μm
	薄塗	19.4 μm	-	53.4 μm	72.8 μm	53.8 μm
防水形外装薄塗材 E	標準	17.8 μm	252.6 μm	-	270.4 μm	194.3 μm
	薄塗	8.8 μm	124.2 μm	-	132.9 μm	95.5 μm
防水形複層塗材 E	標準	17.6 μm	612.7 μm	116.2 μm	746.5 μm	417.4 μm
	薄塗	8.7 μm	318.4 μm	54.2 μm	381.2 μm	210.7 μm

表-3 コンクリートの調合と使用材料

調合	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
	60.0	46.9	177	295	838	967
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 ³				
	細骨材	:鬼怒川産川砂 表乾密度2.61g/cm ³ , 吸水率1.72%				
	粗骨材	:岩瀬産硬質砂岩碎石(最大骨材寸法20mm) 表乾密度2.66g/cm ³ , 吸水率0.75%, 実積率60.1%				
	混和剤	:AE減水剤, 空気量調整剤				

3. 実験概要

3.1 仕上塗材

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 JIS A 6909 に適合するもので、使用実績が多く、中性化抑制効果が期待できる合成樹脂エマルジョン系複層仕上塗材(以下、複層塗材 E)、防水形外装合成樹脂エマルジョン系薄付け仕上塗材(以下、防水形外装薄塗材 E)、および防水形合成樹脂エマルジョン系複層仕上塗材(以下、防水形複層塗材 E)の3種類を選定した。なお、塗厚さは実施工時の施工環境等により生じる塗厚さのばらつきを考慮し、標準施工塗厚さと、仕上塗材毎の標準施工塗厚さの 1/2 とした薄塗りの2種類とした。

仕上塗材の総塗膜厚さと、塗膜のうち仕上塗材に含まれる樹脂質量分に相当する塗膜厚さ(以下、樹脂塗膜厚さ)を表-2に示す。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、複層塗材 E においては主材なしとした。塗膜厚

表-4 促進中性化試験条件と測定方法

促進方法	測定方法	中性化期間
温度：20±2℃ 相対湿度：60±5% CO ₂ 濃度：5±0.2%	所定材齢にて試験体を切断し、	4週
	切断面に1%フェノールフタレ	13週
	インエタノール溶液を噴霧して	26週
	表面から赤色部分までの距離を5点測定し、その平均値を求める。中性化深さには下地調整塗材の厚みを含めない。	52週

さは、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 の順となった。

3. 2 コンクリート

コンクリートの調査と使用材料を表-3に示す。コンクリートの水セメント比は60%とした。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。

3. 3 試験体製作と中性化試験方法

中性化試験には、仕上塗材を施した大きさ70×150mm、厚さ5mmのモルタル板にコンクリートを後打ちし厚さ100mmとした試験体を用いた。モルタル板は、厚さが薄くブリージングの影響を大きく受けてモルタル板全体の平均の水セメント比が小さくなるため、水セメント比60%のコンクリートと圧縮強度がほぼ同等になるようにモルタル板の水セメント比は68%とした。なお、水セメント比60%のコンクリート中のモルタル部分とモルタル板の細孔径分布を水銀圧入法により測定した結果、両者の細孔径分布はほぼ同様の分布傾向であった。モルタル板は、モルタル打設後、材齢4週まで標準水中養生した後、材齢8週まで温度20℃、相対湿度60%の環境で養生し、その後仕上塗材を施し、さらに4週間乾燥養生を行った。試験体は、モルタル板に後打ちコンクリート打設後、材齢4週まで標準水中養生した後、材齢8週まで20℃気中養生し、その後、促進中性化試験を開始した。促進中性化試験条件と測定方法を表-4に示す。

4. 中性化深さ、透気係数の測定結果

4. 1 中性化深さ

仕上塗材のない試験体の中性化速度係数と

表-5 中性化速度係数と中性化抵抗

仕上塗材のない試験体の 中性化速度係数 A(mm/√週)		2.516
中性化抵抗 R(√週)	ATs	7.744
	ATt	7.422
	SEs	77.18
	SEt	13.47
	ETs	143.7
	ETt	114.9

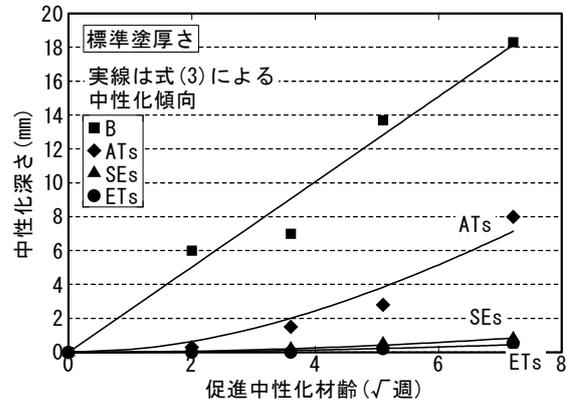


図-4 中性化深さの測定結果と式(3)との比較(標準塗厚さ)

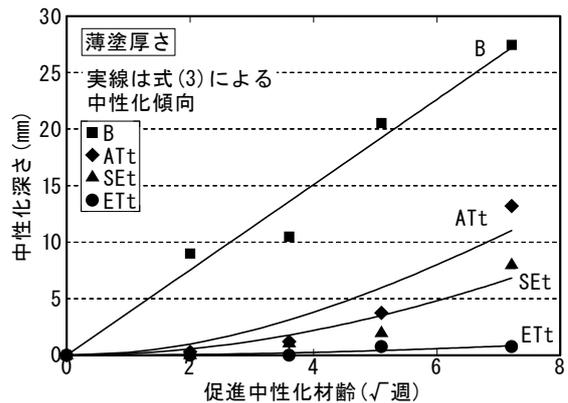


図-5 中性化深さの測定結果と式(3)との比較(薄塗厚さ)

中性化深さの測定結果より求めた中性化抵抗を表-5に、中性化深さの測定結果と式(3)との比較を図-4、図-5に示す。図-4が標準塗厚さの結果、図-5が薄塗厚さの結果である。なお、式(3)の中性化抵抗は、測定値を用いて最小2乗法により算出した。

仕上塗材ごと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 の順で中性化抵抗が大きくなり、中性化抑制効果が高くなった。特に、防水形複層塗材は、標準塗厚さ、薄塗厚さともに中性化抵抗が大きかった。塗厚さごとに中性化抵抗を比較した場合、全ての仕上塗材とも中性化

抵抗は標準塗厚さの方が大きく、中性化抑制効果が高かった。特に、防水形外装薄塗材 E は、標準塗厚さ、薄塗厚さの中性化抵抗の差が大きかった。中性化傾向を式(3)と比較すると、標準塗厚さ、薄塗厚さともに式(3)の中性化傾向と実験値はほぼ合致していた。

4. 2 透気係数

中性化深さの測定結果より求めた中性化抵抗とトレント法による透気係数の測定結果の関係を図-6に示す。

透気係数が大きくなると、中性化抵抗が小さくなる傾向を示した。すなわち、透気係数が大きくなると、中性化抑制効果が小さくなっており、透気係数からコンクリートの中性化深さの推定ができることが、実験結果からもうかがえる。

4. 3 透気係数と拡散係数の比較

仕上塗材の拡散係数については、宮木ら⁵⁾の実験では、タイムラグ法により算出している。本研究においても、内部セルを真空状態にした後の内部セル圧力の変化と測定時間の関係についてタイムラグ法を適用し、圧力上昇曲線から拡散係数を算出することを試みた。が、ピンホール等の影響により測定開始直後の圧力上昇速度が速いため通常の気体透過曲線が得られず、拡散係数が算出できないものが多数あった。そこで、本研究では、中性化深さの測定結果より求めた中性化抵抗を用い式(4)により仕上塗材の拡散係数を求めた。なお、タイムラグ法により算出した拡散係数は、単層弾性の標準塗りの場合 $5.4 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ 、弾性タイルの薄塗りの場合 $8.5 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ であり、式(4)により算出した拡散係数よりも若干大きかった。

中性化深さの測定結果より求めた中性化抵抗を式(4)に代入して求めた仕上塗材の拡散係数と、透気係数の測定結果を式(2)に代入して求めた仕上塗材のみの透気係数の関係を図-7に示す。なお、コンクリートの透気係数は $6.756 \times 10^{-16} \text{m}^2$ であった。コンクリート

の拡散係数は、既往の実験値³⁾ $9.84 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$ を用いた。

仕上塗材の厚さを総塗膜厚さとした場合、樹脂塗膜厚さとした場合とも、透気係数が大きくなるにつれて拡散係数も大きくなる傾向を示し、その関係は図-7の一次関数で表せることが分かった。従って、仕上塗材が施されたコンクリートの透気係数の測定値が得られれば、本関係式から拡散係数あるいは中性化抵抗が算出され、式(3)、(4)から中性化進行予測が可能と考えられる。

5. 予測手法の検証

5. 1 透気係数、中性化抵抗の実験値

文献5)における仕上塗材は、複層塗材 E、防水形外装薄塗材 E、防水形複層塗材 E の3種類であり、塗厚さは薄塗りのみ、パターン仕上げ、複層塗材 E の主材は共になく、本研究と同条件である。文献5)における仕上塗材の総塗膜厚さと、樹脂塗膜厚さを表-6に示

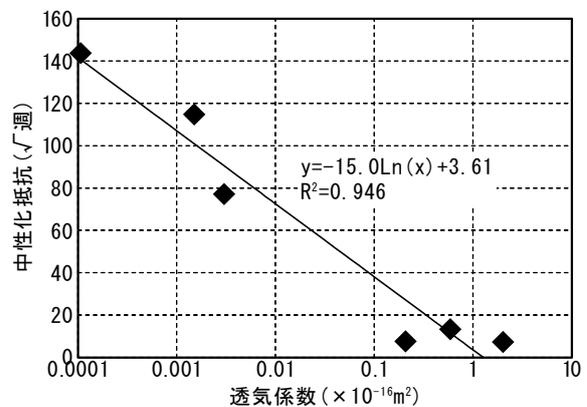


図-6 中性化抵抗と透気係数の関係

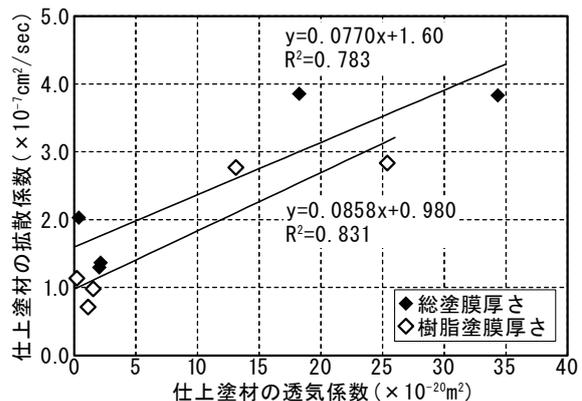


図-7 仕上塗材の拡散係数と透気係数の関係

す。ただし、文献5)ではモルタル板を用いずコンクリートに直に仕上塗材を施している。試験体は、コンクリート打設後、材齢4週まで標準水中養生した後、材齢8週まで乾燥養生し、その後仕上塗材を施し、さらに4週間乾燥養生を行った。乾燥養生後、促進中性化試験を開始した。コンクリートの水セメント比は、60%であり本研究と同条件である。文献5)におけるコンクリートの調合と使用材料を表7に示す。促進中性化試験条件と測定方法も本研究と同条件である。

中性化抵抗と透気係数の測定結果の関係を図8に示す。文献5)の透気係数の実験値は、図6の透気係数と比較すると、 $0.1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以上の大きな値のものがなかった。これは、文献5)ではモルタル板を用いずコンクリートに直に仕上塗材を施しているため、下地面の粗さに起因する仕上塗材表面のピンホールが少なかったためと考えられる。

5. 2 中性化抵抗の理論値と実験値の比較

前章において仕上塗材の拡散係数と透気係数の関係が求められたので、透気係数の測定結果からコンクリートの中性化深さが求められると考えられる。透気係数の測定結果を式(1)に代入して仕上塗材の透気係数を求め、図7において求めた仕上塗材の拡散係数と透気係数の関係より仕上塗材の拡散係数を求め、その拡散係数を式(4)に代入して中性化抵抗を求め、コンクリートの中性化深さを求める。ここでは、文献5)における透気係数の測定結果から式(2)、図7の一次回帰式、および式(4)により算出した中性化抵抗の理論値と実際の促進中性化データより求めた中性化抵抗の実験値の比較を行った。中性化抵抗の理論値と実験値の比較を図9に示す。

表-6 仕上塗材の塗布量および理論塗膜厚さ(文献5)

	塗厚さ	製造所	下塗り	主材	上塗り	総塗膜厚さ	
						塗膜厚さ	樹脂塗膜厚さ
複層塗材 E	薄塗	a	60 μm		110 μm	170 μm	150 μm
		b	20 μm	-	120 μm	140 μm	130 μm
		c	15 μm		69 μm	84 μm	76 μm
防水形外装薄塗材 E	薄塗	a	20 μm	260 μm		280 μm	220 μm
		b	20 μm	270 μm	-	290 μm	250 μm
		c	15 μm	272 μm		287 μm	252 μm
防水形複層塗材 E	薄塗	a	20 μm	640 μm	140 μm	800 μm	390 μm
		b	20 μm	550 μm	120 μm	690 μm	400 μm
		c	15 μm	521 μm	80 μm	615 μm	540 μm

表-7 コンクリートの調合と使用材料(文献5)

調合	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
			水 W	セメント C	細骨材 S1 S2		粗骨材 G1 G2	
	60.0	47.2	179	298	585	255	477	486
使用材料	セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³					
	細骨材	S1	茨城県神栖産陸砂 表乾密度:2.60g/cm ³					
		S2	栃木県鹿沼産砕砂 表乾密度:2.63g/cm ³					
	粗骨材	G1	栃木県鹿沼産砂岩碎石 2005 表乾密度:2.65g/cm ³					
		G2	栃木県栃木産石灰岩碎石 2005 表乾密度:2.70g/cm ³					
混和剤	AE	減水剤, 空気量調整剤						

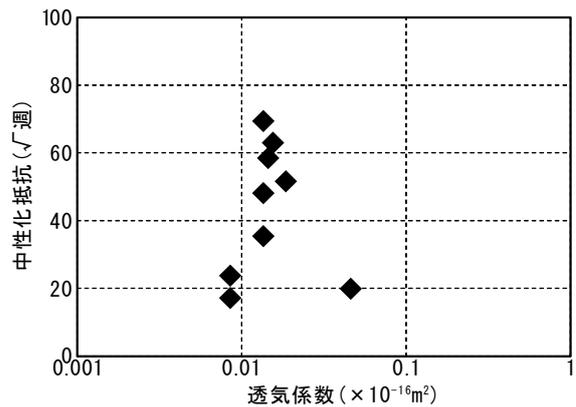


図-8 透気係数と中性化抵抗の関係(文献5)

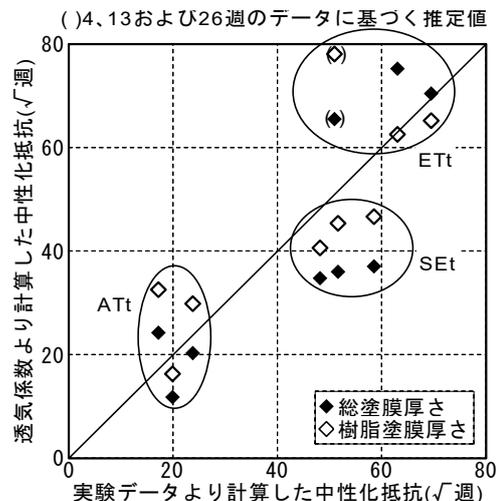


図-9 中性化抵抗の理論値と実験値の比較(図7の回帰式の場合)

ただし、括弧内データは、材齢26週までの中

性化深さの実験値に基づいて材齢 52 週の中性化深さを推定し求めた中性化抵抗である。

中性化抵抗の理論値と実験値を比較すると、防水形複層塗材 E の一部のデータを除くと、全ての仕上塗材とも、総塗厚さを用いて算出した場合、樹脂塗膜厚さを用いて算出した場合とも理論値と実験値がほぼ一致している。防水形外装薄塗材 E については、実験値よりも理論値の方が小さくなる傾向を示した。防水形外装薄塗材 E については、表層にピンホールが多数存在しており、透気係数の測定において、ピンホールなどの仕上塗材の局所的な欠点から空気が透過するため、透気係数が大きくなるためと考えられる。透気係数により中性化の予測を行う場合、透気係数の測定におけるこれらの局所的な欠点による影響の評価方法については、今後の課題である。総塗膜厚さを用いて中性化抵抗を算出した場合と樹脂塗膜厚さを用いて中性化抵抗を算出した場合を比較すると、全体的には、樹脂塗膜厚さを用いて算出した場合の方が、実験値に近い傾向を示した。

5. 3 中性化予測

透気係数から図-7 の回帰式を用いて導いた中性化抵抗の理論値を式(3)に代入して求めた中性化深さの予測値と実験値の比較を図-10、図-11 に示す。図-10 が仕上塗材の厚さを総塗膜厚さとした場合、図-11 が樹脂塗膜厚さとした場合の結果である。

複層塗材 E については、中性化深さが実験値よりも予測値の方が大きくなる傾向を示したが、材齢に伴う全体的な中性化進行は、概ね実験値と一致する傾向を示した。また、予測値と実験値の残差平方和は、総塗膜厚さを用いて中性化抵抗を算出した場合、複層塗材 E が 1.47、防水形外装薄塗材 E が 1.36、防水形複層塗材 E が 0.0730、樹脂塗膜厚さを用いて中性化抵抗を算出した場合、複層塗材 E が 1.82、防水形外装薄塗材 E が 0.609、防水形複層塗材 E が 0.0855 であり、複層塗材 E と防

水形複層塗材 E については大きな差がないが、防水形外装薄塗材 E については、樹脂塗膜厚さを用いて中性化抵抗を算出した場合の方が、総塗膜厚さを用いて中性化抵抗を算出した場合よりも実験値に近い中性化傾向を示した。以上より、トレント法による透気係数の測定結果から、仕上塗材を施したコンクリートの中性化進行の予測が可能であると考えられる。

6. まとめ

仕上塗材の拡散係数と透気係数との関係について理論的検討を行い、測定した透気係数から拡散係数、中性化抵抗の理論値を導いた。そして、中性化抵抗の理論値およびその理論値を用いた中性化進行予測値と促進中性化試験から得られている実験値との比較を行い、透気係数による中性化進行予測方法の検証を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 透気係数が大きくなると、中性化抵

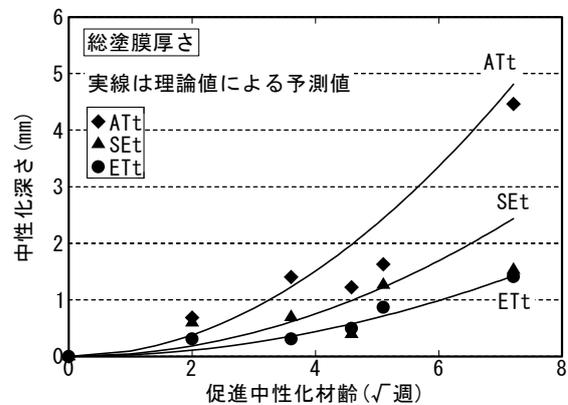


図-10 中性化深さの予測値と実験値の比較 (df: 総塗膜厚さ)

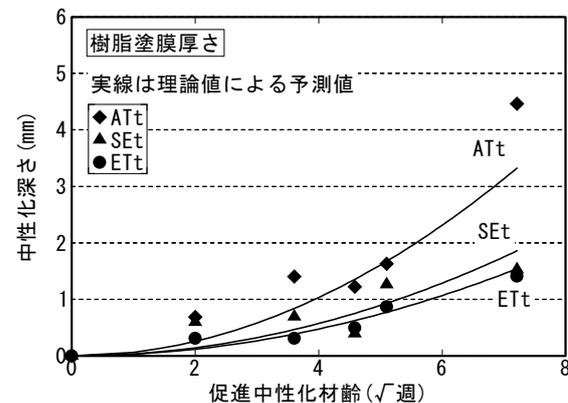


図-11 中性化深さの予測値と実験値の比較 (df: 樹脂塗膜厚さ)

抗が小さくなり、中性化深さが大きくなる傾向が認められる。

- (2) 仕上塗材を施したコンクリートの拡散係数は、透気係数が大きくなるにつれて大きくなる傾向を示し、トレント法による透気係数との間に線形の関係が成り立つ。
- (3) ピンホールなどの仕上塗材の局所的な欠点がある場合、透気係数が大きくなるため、中性化抵抗を小さく評価する傾向がある。
- (4) 中性化抵抗の理論値およびその理論値を用いた中性化予測値は、促進中性化試験から得られた実験値と対応する傾向が示され、透気係数の測定結果から求めた拡散係数、中性化抵抗により、仕上塗材を施したコンクリートの中性化進行を予測できることが確認された。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、ご指導下さいました宇都宮大学の梶田佳寛教授には、厚く御礼申し上げます。また、本研究を遂行するに当たりご助言を頂きました宇都宮大学の李榮蘭博士、実験実施に当たりご協力頂きました富士物産(株)の関係各位に感謝の意を表します。

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：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）
- 2) 河野政典ほか：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，日本建築学会構造系論文報告集，第 584 号，pp. 15-21（2004）
- 3) 河野政典ほか：仕上塗材の経年劣化を考慮した拡散理論に基づく中性化進行予測に関する研究，セメントコンクリート論文集，第 62 号，pp. 318-325，2008
- 4) R. J. Torrent：A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, Vol. 25, No. 150, pp. 358-365, 1992
- 5) 唐沢智之ほか：仕上塗材の中性化抑制効果と透気性に関する考察，コンクリート工学年次論文集 Vol. 30, No. 1, pp. 645-650, 2008
- 6) 宮木宏明，金津貢一：外装仕上塗材の気体透過性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 A(北海道)，pp. 635-636, 1986
- 7) 笠井芳夫ほか：コンクリート用塗料および吹付材の透気性に関する実験研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 構造系(北陸)，pp. 573-574, 1983
- 8) 本橋健司：仕上塗材の通気性について，日本建築学会大会学術講演梗概集 A(関東)，pp. 592-530, 1988
- 9) 笠井芳夫ほか：簡易な試験による構造体コンクリートの品質評価の試み，セメント・コンクリート，No. 559, pp. 20-28, 1993
- 10) 福島札規ほか：構造体コンクリートの透気性に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1(関東)，pp. 911-912, 1983
- 11) 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 Vol. 9, No. 1, pp. 333-338, 1987