論文　仕上塗材の中性化抑制効果と透気性に関する考察

唐沢　智之[*1]・古賀　一八[*2]・浦川　和也[*3]・河野　政典[*4]

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。本論では，各種下地調整塗材および仕上塗材の中性化抑制効果について検討を行った。さらに，仕上塗材の透気係数を測定し，透気性と中性化抑制効果の関係について検討を行った。その結果，仕上塗材による中性化抑制効果が支配的であり，下地調整塗材による中性化抑制効果は低いことが分かった。また，透気係数が大きくなるにつれて中性化率が大きくなり，透気係数により仕上塗材の中性化抑制効果を評価できることが分かった。

キーワード：仕上塗材，中性化速度係数，中性化抑制効果，透気係数，透気性

1. はじめに

鉄筋コンクリート造構造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。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[1)]されており，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を有することが報告されている[2)]。また，仕上塗材の中性化抑制効果については，既往の文献を総合的に調査し検討した事例[3)]や既存建物の調査結果を基に検討した事例[4)]がある。しかし，仕上塗材の通常の施工法においては，下地調整塗材を塗布するのが一般的であるが，下地調整塗材を含めた仕上塗材の中性化抑制効果について検討した事例は少ない。さらに，コンクリートの表層品質の評価を目的にコンクリートの透気速度と中性化の関係について検討した事例[5)]があるが，仕上塗材の透気性について検討した事例はほとんどない。

そこで本論では，下地調整塗材を含めた仕上塗材の中性化抑制効果，および中性化抑制効果と透気性の関係を把握することを目的に実施した促進中性化試験，トレント法による透気試験の結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 要因と水準

実験の要因と水準を**表－1** に，試験体一覧を**表－2** に示す。実施工を想定し，下地調整塗材に加え仕上塗材を組み合わせた場合についても実験対象とした。下地調整塗材は JIS A 6916 に適合するもので，セメント系下地調整塗材の C-1 および C-2，合成樹脂エマルション系下地調整塗材の E，セメント系下地調整厚塗材の CM-1 および CM-2 を用いた。C-1，C-2 および E は塗料製造所の 3 銘柄を，CM-1，CM-2 はセメント系材料製造所の 2 銘柄を選定した。塗厚さは材料種類毎の仕様に応じ，実施工に用いられる塗厚さとした。仕上塗材は JIS A 6909 に適

表－1　要因と水準

要因		水準				
材料組合せ		下地調整塗材，仕上塗材 下地調整塗材+仕上塗材，なし				
下地調整塗材	種類	セメント系 下地調整塗材		合成樹脂 エマルション系	セメント系 下地調整厚塗材	
		C-1	C-2	E	CM-1	CM-2
	塗厚(mm)	0.5	1,3	0.5	3	3
	製造所	3 社[記号 a,b,c]			2 社[記号 d,e]	
仕上塗材	種類	複層塗材 E[記号 AT] 防水形外装薄塗材 E[記号 SE] 防水形複層塗材 E[記号 ET]				
	塗厚	標準施工塗厚さの 1/2				
	製造所	3 社[記号 a,b,c]				

表－2　試験体一覧

記号	下地調整塗材			仕上塗材		
	種類	塗厚さ(mm)	製造所	種類	塗厚さ	製造所
C105a(b,c)	C-1	0.5	a(b,c)	なし		
C210a(b,c)	C-2	1.0	a(b,c)			
C230a(b,c)		3.0	a(b,c)			
E05a(b,c)	E	0.5	a(b,c)			
CM130d(e)	CM-1	3.0	d(e)			
CM230d(e)	CM-2	3.0	d(e)			
B-ATa(b,c)	なし			AT	標準×1/2	a(b,c)
B-SEa(b,c)				SE		a(b,c)
B-ETa(b,c)				ET		a(b,c)
C2-ATa(b,c)	C-2	1.0	a	AT		a(b,c)
C2-SEa(b,c)	C-2	1.0	a	SE		a(b,c)
C2-ETa	C-2	1.0	a	ET		a
B-B	なし			なし		

*1 鉄建建設(株) 建設技術総合センター 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 上席研究員 (正会員)
*3 佐藤工業(株) 建築事業本部 技術部 建築技術課 副課長
*4 (株)奥村組 技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 博士(工学) (正会員)

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ション系複層仕上塗材(以下，複層塗材 E と記す)，防水形外装合成樹脂エマルション系薄付け仕上塗材(以下，防水形外装薄塗材 E と記す)，および防水形合成樹脂エマルション系複層仕上塗材(以下，防水形複層塗材 E と記す)の 3 種類とし，製造所は 3 銘柄を選定した。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，実施工時より安全側の評価になるように，仕上塗材毎の標準施工塗厚さの 1/2 とした。試験体種類は合計で 33 種類とした。下地調整塗材と仕上塗材を組み合わせた試験体における下地調整塗材は，C-2 の 1 銘柄とした。

2.2 使用材料

(1) コンクリート

コンクリートの調合と使用材料を**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。

(2) 下地調整塗材

下地調整塗材の仕様および塗布量を**表－4** に示す。C-1 および C-2 は銘柄によりポリマーの種類が異なるが，E，CM-1 および CM-2 は銘柄が異なってもポリマーの種類は同じである。

(3) 仕上塗材

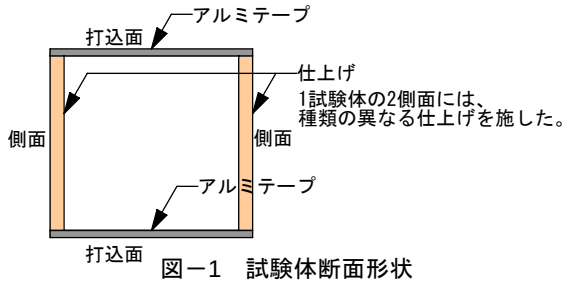
仕上塗材の塗布量および理論塗膜厚さを**表－5** に示す。理論塗膜厚さは塗布量を基に式(1)より算出した。なお，実施工ではパターン仕上げによって凹凸を施すが，本実験ではパターンなしとし，複層塗材 E においては主材なしとした。塗膜厚さは，防水形複層塗材 E が最も大きく，次いで防水形外装薄塗材 E，複層塗材 E の順となった。

$$H = A\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1 - NV}{d_2}\right) \qquad (1)$$

ここに，H：理論塗膜厚さ(mm)，A：塗付け量(kg/m^2)，d_1：仕上塗材の密度(g/cm^3)[1.02～1.70]，NV：塗材の不揮発分の割合(Wt)[0.17～0.78]，d_2：揮発分の密度(g/cm^3)[1.0]

2.3 試験体製作と中性化試験方法

試験体断面形状を**図－1** に示す。試験体寸法は 10×10×40cm とした。コンクリート打設後，材齢 4 週まで



図－1 試験体断面形状

表－3 コンクリートの調合と使用材料

	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	細骨材 S2	粗骨材 G1	粗骨材 G2
調合	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 栃木県鹿沼産砂岩砕石 2005 表乾密度:2.65g/cm^3
		:G2 栃木県栃木産石灰岩砕石 2005 表乾密度:2.70g/cm^3
	混和剤	:AE 減水剤，空気量調整剤

表－4 下地調整塗材の仕様および塗布量

種類	製造所	下地調整塗材 ポリマー種類	調合(質量比) 主材	混和液	清水	塗布量(kg/m^2)
C-1	a	アクリル系エマルション	100 [15～25]	25	15	0.8
	b	アクリル系エマルション	100	33[95]	6.7	0.95
	c	エチレン酢酸ビニル系エマルション	100	50[40]	－	0.9
C-2	a	アクリル系エマルション	100 [15～25]	25	25	1.6(1.0mm) 4.8(3.0mm)
	b	エチレン酢酸ビニル系エマルション	100	11.5[88]	25	1.6(1.0mm) 4.8(3.0mm)
	c	エチレン酢酸ビニル系エマルション	100	10[92]	－	1.6(1.0mm) 4.8(3.0mm)
E	a	アクリル系エマルション	100 [35～45]	－	7.5	0.8
	b	アクリル系エマルション	100[42]	－	4.0	0.73
	c	アクリル系エマルション	100[24]	－	－	0.76
CM-1	d	エチレン酢酸ビニル系エマルション	100	10	24	5.0
	e	エチレン酢酸ビニル系エマルション	100	6.0	28	5.0
CM-2	d	エチレン酢酸ビニル系粉末樹脂	100	－	26	4.7
	e	エチレン酢酸ビニル系粉末樹脂	100	－	22	5.1

[ ]内数字は各エマルションの組成比率(%)

表－5 仕上塗材の塗布量および理論塗膜厚さ

			製造所 a	b	c
AT	塗布量(kg/m^2)	下塗り(アクリル系)	0.15	0.15	0.08
		主材(アクリル系)	－	－	－
		上塗り(アクリル系)	0.27	0.35	0.20
	理論塗膜厚さ(mm)		0.17	0.14	0.084
SE	塗布量(kg/m^2)	下塗り(アクリル系)	0.15	0.15	0.08
		主材(アクリル系)	0.60	0.69 (アクリルゴム系)	0.69
	理論塗膜厚さ(mm)		0.28	0.29	0.29
ET	塗布量(kg/m^2)	下塗り(アクリル系)	0.15	0.15	0.08
		主材(アクリルゴム系)	1.20	1.20	1.24
		上塗り	0.32 (アクリル系)	0.35 (ウレタン系)	0.20 (アクリル系)
	理論塗膜厚さ(mm)		0.8	0.69	0.62

表－6 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，切断面に 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。	4 週 13 週 21 週 26 週 52 週

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，その後下地調整塗材を施し，2 週間乾燥養生後，仕上塗材を施しさらに 4 週間乾燥養生を行った。下地調整塗材および仕上塗材はコンクリート試験体の打設側面に施し，上面と底面はアルミテープを貼付けた。1 試験体の 2 側面には，種類の異なる仕上げを施し，同一の試験体を 2 体製作した。同一仕上げ条件の測定面は 2 面となり，その 2 面の平均値を中性化深さとした。乾燥養生後，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－6** に示す。中性化抑制効果の評価として，中性化測定材齢毎に下地調整塗材，仕上塗材のないコンクリートの中性化深さに対する比率(以下，中性化率と記す)を式(2)より求めた。

$$S(t) = \frac{C_C(t)}{C_B(t)} \qquad (2)$$

ここに，S(t)：材齢 t における中性化率，C_C：下地調整塗材，仕上塗材を施したコンクリートの中性化深さ(mm)，C_B：下地調整塗材，仕上塗材のないコンクリートの中性化深さ(mm)，t：中性化測定材齢(週)

2.4 透気試験方法

促進中性化材齢 52 週の測定終了後，その試験片を用いて下地調整塗材，仕上塗材の透気試験を行った。透気試験は，RILEM TC189-NEC, State-of-the-Art Report, Chapter3 で分類されている試験方法のうちの表面法である，ダブルチャンバー法に当たるトレント法(Torrent)により行った。試験方法の原理は，**図－2** に示すように，内部チャンバーと外部チャンバーの 2 つの構造を有する装置からなっており，透気性は内部チャンバーの圧力によって評価される。ここで，内部チャンバーと外部チャンバーの圧力を等しくコントロールすることにより，内部チャンバーへの外部からの空気の流入が排除され，内部チャンバー範囲内の透気係数が正確に測定できる仕組みである[6)]。

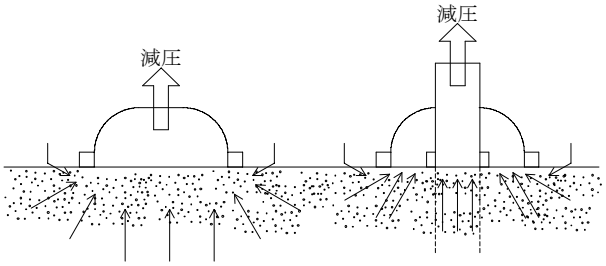
3. 実験結果と考察

3.1 中性化深さ

(1) 材料種類毎の違い

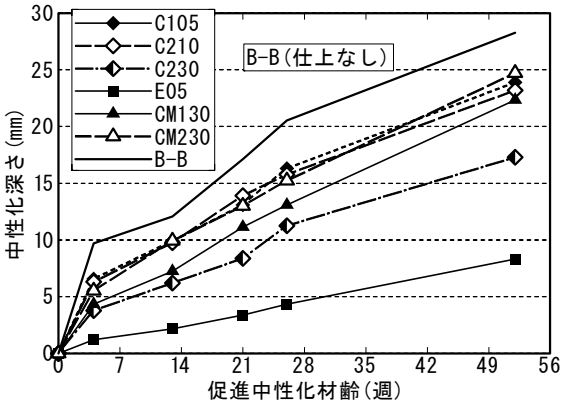
各種下地調整塗材，仕上塗材について，下地調整塗材のみ，仕上塗材のみを施した試験体の中性化深さの推移を**図－3，4** にそれぞれ示す。ここでは材料種類毎に全製造所の平均値を中性化深さとした。

下地調整塗材については，促進中性化材齢 52 週で見てみると，C105，C210，CM130，CM230 がほぼ同程度の中性化深さであり，C230，E05 の順で中性化深さが小さくなった。C105，C210，CM130，CM230 については，促進中性化材齢 52 週の時点で，仕上げなし(B-B)の試験体と比較してさほど中性化深さが小さくなっていないことから，セメント系の下地調整塗材については，中性化抑制効果が低いと言える。下地調整塗材のなかでは，合成樹脂エマルション系 E05 の中性化深さが最も小さく，中性化抑制効果が高かった。

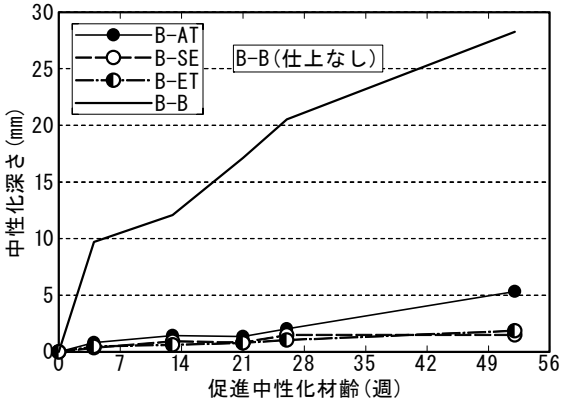


※シングルチャンバー法(左図)はチャンバー外部の空気を取り込んでしまうが，ダブルチャンバー法であるトレント法(右図)は内部チャンバー範囲内を正確に測定できる。

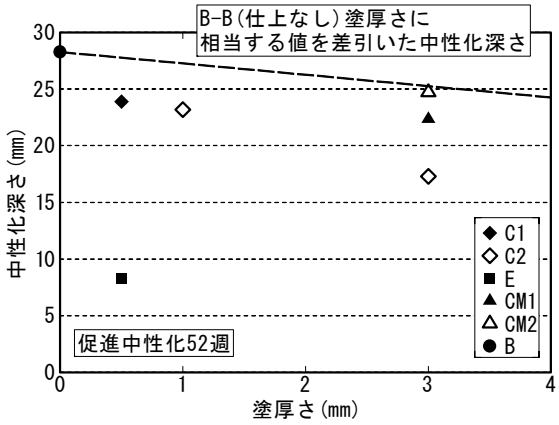
図－2　トレント法概要図



図－3　下地調整塗材のみ施した試験体の中性化深さ



図－4　仕上塗材のみ施した試験体の中性化深さ



図－5　下地調整塗材の塗厚さと中性化深さ

一方，仕上塗材については，仕上塗材の種類に関わらず，促進中性化材齢 52 週の時点で，仕上げなし(B-B)の試験体と比較して大幅に中性化深さが小さくなっており，中性化抑制効果が高かった。従って，下地調整塗材の種類や塗厚さに関わらず，仕上塗材のみにより十分な中性化抑制効果が得られていると考えられる。

(2) 塗厚さの違い

下地調整塗材のみを施した試験体の促進中性化材齢 52 週における，下地調整塗材の塗厚さと中性化深さの関係を**図－5** に示す。

合成樹脂エマルション系の E は, 塗厚さが 0.5mm と薄いが，中性化深さは小さかった。その他のセメント系の下地調整塗材は，塗厚さが大きいほど中性化深さが小さい傾向が見られるが，合成樹脂エマルション系の E と比較すると，塗厚さに関わらず中性化深さが大きかった。ここで, 仕上げなし(B-B)の結果と塗厚さ分に相当する値を差引いた中性化深さを図中に点線で示す。これより，点線よりも大幅に下方にある合成樹脂エマルション系の E を施した場合，同じ塗厚さのモルタルよりも大幅に中性化深さが小さくなり，モルタルよりも中性化抑制効果が高いことが分かる。一方，点線の下方近傍にあるセメント系の C-1, C-2, CM-1 および CM-2 を施した場合，同じ塗厚さのモルタルより中性化深さが小さくなるが，仕上げなしと比較してもさほど大きな違いがなく，塗厚さも薄いことから，中性化抑制効果が低いことが分かる。

仕上塗材のみを施した試験体の仕上塗材の塗膜厚さと中性化深さを**図－6** に示す。

促進中性化材齢 52 週の結果について見てみると，塗膜厚さが薄い複層塗材 E の中性化が最も大きかった。防水形外装薄塗材 E と防水形複層塗材 E の中性化深さは同程度であった。全体的には，仕上塗材の塗膜厚さが大きいほど中性化深さが小さくなる傾向が認められる。

(3) 製造所による違い

下地調整塗材のみと仕上塗材のみを施した試験体について，促進中性化材齢 52 週における中性化深さの製造所毎の比較を**図－7** に示す。

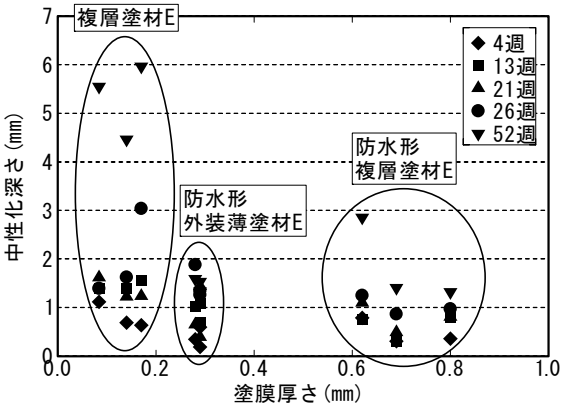
下地調整塗材については製造所間の違いが見られ，下地調整塗材 C-1，C-2 および E については製造所 b の中性化深さが小さい傾向であった。C-1 の製造所 a，b におけるポリマーはアクリル系で，c はエチレン酢酸ビニル系，C-2 の製造所 a のポリマーはアクリル系で，b，c はエチレン酢酸ビニル系であったが，いずれも製造所 b の中性化深さが小さいことから，ポリマー種類の違いよりも製造所の違いによる影響が大きいと考えられる。ただし，下地調整塗材毎の中性化深さの順に大きな違いはなく，C105 と C210 は同程度で，次いで C230，E05 の順であった。一方，仕上塗材については製造所間の違いは見られず，いずれの製造所の仕上塗材も中性化深さが小さかった。

3.2 中性化率

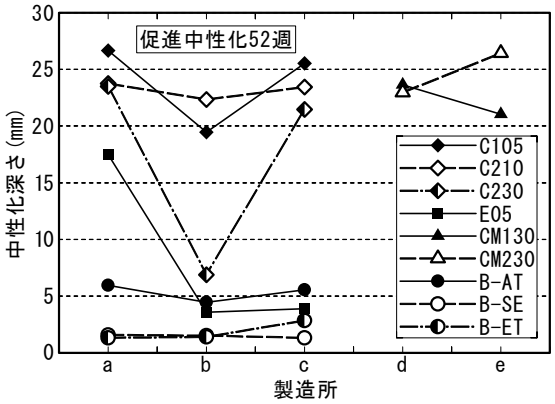
(1) 下地調整塗材種類の違い

下地調整塗材のみを施した試験体について，中性化率の下地調整塗材種類毎の比較を**図－8** に示す。ここでは下地調整塗材種類毎に全製造所の平均値を中性化率とした。

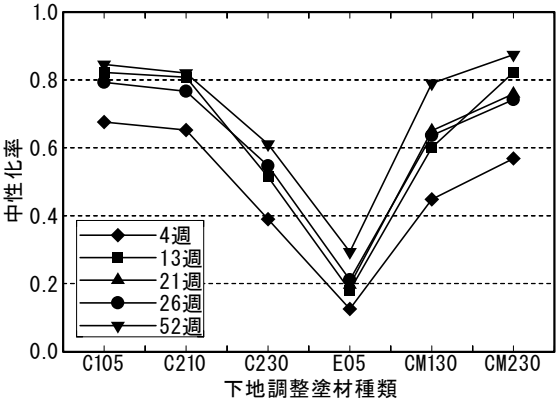
中性化率は下地調整塗材の種類により異なっており，促進中性化材齢 52 週について見てみると, C105, C210, CM130，CM230 の中性化率は 0.8 程度であり，中性化抑制効果が低かった。C230 については，中性化率が 0.6 程度であり，前者よりも若干中性化抑制効果が高かった。



図－6　仕上塗材の塗膜厚さと中性化深さ



図－7　下地調整塗材のみと仕上塗材のみを施した試験体の製造所毎の中性化深さ



図－8　下地調整塗材の種類毎の中性化率

一方，E05 については，中性化率が 0.2 程度であり，他の下地調整塗材と比較して，極めて高い中性化抑制効果が認められた。

(2) 仕上塗材種類の違い

仕上塗材のみを施した試験体について，仕上塗材種類毎の中性化率の推移を図－9 に示す。

促進中性化材齢52週における複層塗材E(AT)の中性化率がやや大きくなったが，中性化率は，いずれの仕上塗材においても促進中性化材齢 52 週まで 0.2 以下，特に，防水形外装薄塗材 E(SE)と防水形複層塗材E(ET)については 0.1 以下であり，極めて高い中性化抑制効果が認められた。

仕上塗材について，仕上塗材のみ，および下地調整塗材 C-2 と仕上塗材を施した試験体の促進中性化期間 52 週における中性化率の仕上塗材毎の比較を図－10 に示す。図には，下地調整塗材 C210 のみのデータを併せて示した。

下地調整塗材に仕上塗材を施した場合と仕上塗材のみを施した場合の中性化率の差は僅かであり，ともに中性化率が 0.2 以下であることから，下地調整塗材に仕上塗材を施した場合の中性化抑制効果は，仕上塗材による効果が支配的であると考えられる。

3.3 透気係数

(1) 透気係数と中性化率

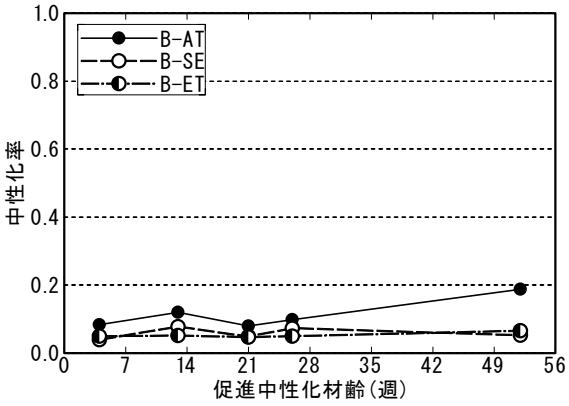
トレント法で測定した透気係数と中性化率の関係を図－11 に示す。

全体的には，透気係数が大きくなるにつれて，中性化率が大きくなっており，透気係数が大きいほど中性化深さが大きくなる傾向が認められる。参考の実建物データについては，中性化率の割に透気係数が大きくなっているが，これは，仕上塗材の模様の凹凸による空気漏れが原因と考えられる。また，透気係数は，$0.01\times10^{-16}m^2$ 程度のものと $1\times10^{-16}m^2$ 程度のものに二分される傾向が認められる。対数による回帰式を算出した結果，中性化率が 0.3 以下となる透気係数は $0.05\times10^{-16}m^2$ 以下，同 0.7 以下となるのは $1.69\times10^{-16}m^2$ 以下と推定される。既往の報告 [3)]において中性化率が 0.3 以下であれば，極めて高い中性化抑制効果を有するとしていることから，透気係数が $0.05\times10^{-16}m^2$ 以下であれば，極めて高い中性化抑制効果を有すると言える。

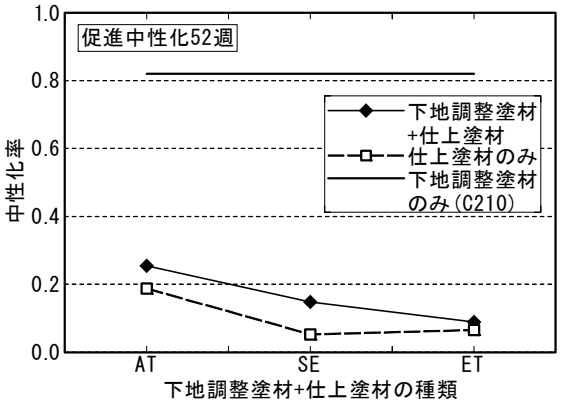
(2) 下地調整塗材種類の違い

下地調整塗材のみを施した試験体と仕上げなしの試験体について，透気係数の下地調整塗材種類毎の比較を図－12 に示す。図には，下地調整塗材種類毎の全データの他，下地調整塗材種類毎に全製造所の平均値を併せて示した。

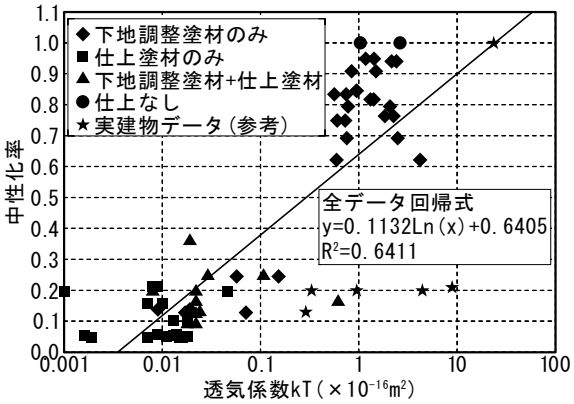
全製造所の平均を見てみると，CM230 の透気係数が仕上げなしと同等であるが，他の下地調整塗材の透気係数は，仕上げなしよりも若干小さく，下地調整塗材の種類によってさほど大きな違いがなかった。E05 の透気係数



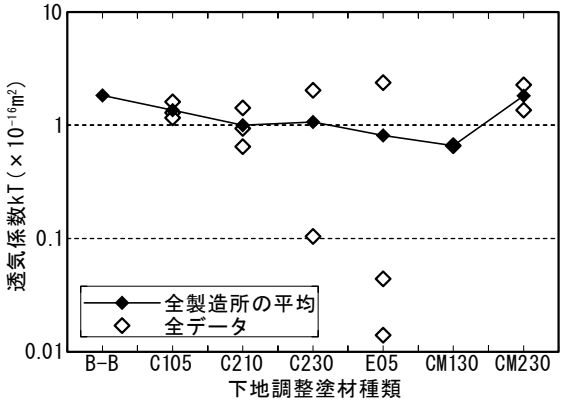
図－9　仕上塗材の種類毎の中性化率



図－10　仕上塗材を施した試験体の中性化率



図－11　透気係数と中性化率



図－12　下地調整塗材の種類毎の透気係数

については，1 データのみやや大きな値があるが，そのデータを除けば他の下地調整塗材よりも大幅に小さかった。中性化率と傾向を比較すると，ばらつきが大きいものの，ほぼ類似の傾向が認められることから，下地調整塗材の中性化抑制効果を透気係数によりある程度推定することが可能と考えられる。透気係数のばらつきについては，下地調整塗材の場合，組織がポーラスであり，塗厚さも薄いためと考えられる。

(3) 仕上塗材種類の違い

仕上塗材について，仕上塗材のみ，および下地調整塗材と仕上塗材を施した試験体の透気係数の仕上塗材毎の比較を**図－13** に示す。

透気係数は，防水形外装薄塗材 E(SE)が最も小さく，複層塗材 E(AT)と防水形複層塗材 E(ET)が同程度であった。下地調整塗材のみを施した場合の透気係数と比較すると，仕上塗材のみを施した場合の透気係数は，1/100 程度になっており，仕上塗材の中性化抑制効果が透気係数の差となって，顕著に表れている。また，仕上塗材のみ，および下地調整塗材と仕上塗材を施した試験体の中性化率と透気係数は，非常に高い相関が得られていることから，仕上塗材の中性化抑制効果を透気係数により評価することが可能と考えられる。下地調整塗材の透気係数のばらつきが若干大きいことを考慮すると，下地調整塗材や仕上塗材の場合，透気係数は，セメント系下地調整塗材よりも，仕上塗材の中性化抑制効果の違いをより精度良く表していると考えられる。

4. まとめ

本実験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) セメント系の下地調整塗材は，中性化抑制効果が低い。一方，合成樹脂エマルション系の下地調整塗材は，中性化進行が遅く，中性化抑制効果が高い。

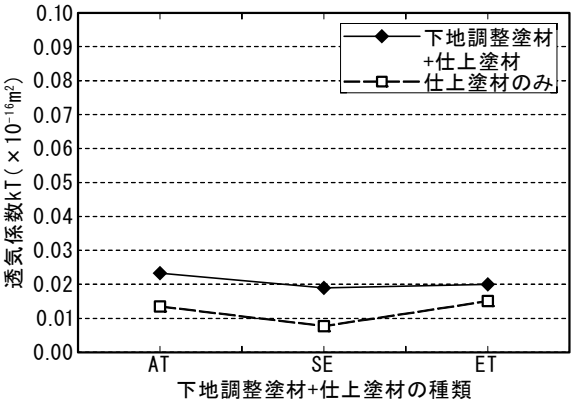
(2) 今回用いた仕上塗材は，種類に関わらず極めて高い中性化抑制効果を有する。下地調整塗材の種類や塗厚さに関わらず，仕上塗材のみにより十分な中性化抑制効果が得られる。

(3) 下地調整塗材に仕上塗材を施した場合の中性化抑制効果は，仕上塗材による効果が支配的である。

(4) 仕上塗材については，塗厚さが大きいほど中性化深さが小さくなる。

(5) 下地調整塗材については製造所間の違いがあるが，仕上塗材については製造所間の違いはない。

(6) 透気係数が大きくなるにつれて，中性化率が大きくなっており，透気係数が大きいほど中性化深さが大きくなる。透気係数が $0.05\times10^{-16}m^2$ 以下であれば，極めて高い中性化抑制効果を有する。



図－13　仕上塗材を施した試験体の透気係数

(7) 下地調整塗材，仕上塗材の中性化抑制効果は，透気係数により評価できるものと推察される。

(8) 下地調整塗材や仕上塗材の場合，透気係数は，セメント系下地調整塗材よりも，仕上塗材の中性化抑制効果の違いをより精度良く表している。

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げ材の評価研究会」の活動の一環として実施したものである。

[謝辞]

試験体製作にあたり，日本建築仕上材工業会にご協力を頂きました。また，透気試験にあたり，足利工業大学工学部建築学科准教授今本啓一先生(現東京理科大学)のご指導を頂きました。ここに深く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，1986.6

2) 河野政典他 : 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-1，pp.767～772，2002.9

3) 長瀬公一他 : 躯体コンクリートの中性化抑制に寄与する各種仕上げ材の評価 その１～４，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1123-1130，2007.8

4) 唐沢智之他 : 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，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.837-842，2007.7

5) 笠井芳夫他 : 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，Sept.1993.

6) 今本啓一他 : 実構造物の表層透気性の非・微破壊試験方法に関する研究の現状, コンクリート工学, Vol.44, No.2，pp.31-38，2006.2