

# 論文 塗布型躯体防水材によるコンクリートの中性化抑制効果および細孔径分布の変化

立松 和彦<sup>\*1</sup>・山崎 順二<sup>\*2</sup>

**要旨：**2種類の塗布型躯体防水材をブロック試験体および高流動コンクリートを使用した壁試験体に塗布し、中性化の抑制効果および細孔径分布の変化などについて検討した。その結果、躯体防水材の塗布により、表面強度は若干上昇すること、中性化の進行抑制効果は躯体防水材A、Bともに期待できること、躯体防水材を塗布してもコンクリートそのものの細孔量はほとんど変化していないことが確認できた。

**キーワード：**塗布型躯体防水材、中性化、表面強度、細孔径分布、塗布量

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の長寿命化には、劣化状態の診断や補修が不可欠である。なかでも、打ち放しコンクリート構造物の補修に絞って考えると、中性化の進行を抑制することがコストパフォーマンスにも優れた長寿命化手法の一つである。塗料のように強固な膜を表面に形成して内部のコンクリートを保護する方法もあるが、コンクリート内部の水分の逃げ場が無くなるので塗膜がふくれたりしてトラブルが生じる場合もある。コンクリート内部の水分を外へ逃がすような透湿性を持ち、かつ外部からの雨水などの浸透を防ぐ防水性があり、コンクリートの中性化を抑制できるような材料が望ましい。

数尾ら<sup>1)</sup>は、上述のような透湿性と防水性を有する仕上げ材料としてケイ酸質系防水材に着目した基礎研究を実施している。また、榊原ら<sup>2)</sup>は、ケイ酸質塗布防水材料を塗布したモルタルでは塗布面から約2mmの深さまで、防水材料に起因した多量の針状結晶が観察され組織が緻密化されていることを確認している。しかし、こうした補修材料によるコンクリート表層部の細孔径分布の変化と中性化抑制効果などの耐久性能の向上について検討した報告はあまりみられない。

そこで本論文では、透湿性と防水性を有していると考えられる2種類の塗布型躯体防水材（以下、躯体防水材とする）を用いて、塗布による中性化の抑制効果および細孔径分布の変化について検討した結果を述べる。

## 2. 実験概要

### 2.1 躯体防水材および試験体

使用した躯体防水材は、市販されているA、Bの2種類である。躯体防水材Aは、乳白色のエマルジョン(pH8~9)であり、シリカ微粒子(有機変成<sup>ポ</sup>リソ<sup>キ</sup>ン)・アクリルウレタン樹脂・撥水剤(フッ化<sup>ビ</sup>コ<sup>レ</sup>ン共重合体)などから成る浸透性防水材である。内部まで浸透したシリカ微粒子が空隙を充填して水密性を高め、表面は撥水性のある防水塗膜を形成して防水性を発揮し、かつ、透湿性も有している。躯体防水材Bは、無色透明で無臭の液状(無機質、ケイ酸系、pH11.7)である。塗布・乾燥後2-3日間の散水養生を施すことによってコンクリート内部に浸透し、コンクリート内のカルシウムと反応して不溶性のケイ酸カルシウム水和物を形成して空隙を充填し、防水性を発揮する。Aとは異なり、表面に塗膜を形成しない。また、Bはひび割れ発生後、雨水の浸透によってひび割れの内部で

\*1 (株)浅沼組 技術研究所 建築工法・材料研究室 主任 (正会員)

\*2 (株)浅沼組 技術研究所 建築工法・材料研究室 研究員 工修 (正会員)

表-1 試料の区分

記号	試験体	躯体防水材の種類	塗布量
AA	ブロック	A	規定量
A3			1/3量
BB		B	規定量
B3			1/3量
P		無塗布	-
AW	高流動壁	A	規定量
BW		B	規定量
PW		無塗布	-

再反応が生じ自己修復作用でひび割れを埋める特性も有している。(A, Bともメーカー資料より抜粋)

試験体には、ブロック試験体および高流動コンクリートを使用した壁試験体(以下、「高流動壁試験体」とする)の2種類を用いた。そして、躯体防水材の塗布状況を、

- ①躯体防水材Aを規定量塗布、
- ②躯体防水材Aを規定の1/3量塗布、
- ③躯体防水材Bを規定量塗布、
- ④躯体防水材Bを規定の1/3量塗布、
- ⑤無塗布(打ち放しのまま)、

の5種類とし、ブロック試験体では全5種類を、高流動壁試験体では①、③、⑤の3種類を実施した。各試験体での塗布面の区分を表-1および図-1に示す。なお、ここでいう規定量とは、それぞれのメーカーが推奨する標準使用量のことであり、躯体防水材Aでは0.20~0.25kg/m<sup>2</sup>、躯体防水材Bでは0.35kg/m<sup>2</sup>である。

ブロック試験体の寸法は600×600×高さ770mmであり、躯体防水材塗布時の材齢は約2年(101週)である。コンクリートの水セメント比は55%、単位水量は179kg/m<sup>3</sup>である。打設後の材齢14週におけるコア強度は27.5N/mm<sup>2</sup>であった。ブロック試験体は鋼製型枠を使用し、バイブレータを用いて入念に作製したものであり、4側面ともコンクリート表面はほぼ均質と考えられる。躯体防水材は、図-1に示すように、2つの側面をそれぞれ2区画に分割して塗布した。

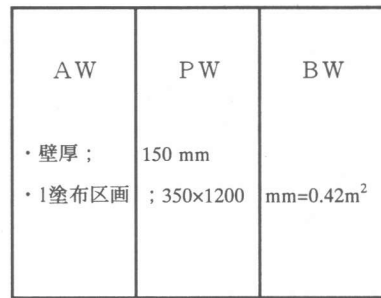
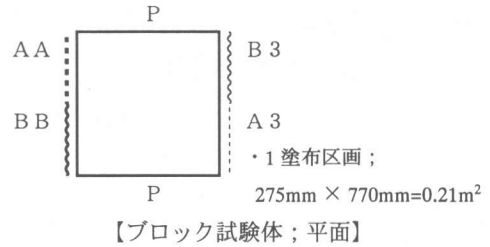


図-1 試験体の概要

高流動壁試験体は、石灰石粉を使用した高流動コンクリートで作った実大試験体の一部分であり、躯体防水材塗布時の材齢は5年3ヶ月(274週)であった。コンクリートの水セメント比は50%、水結合材比は35%、単位水量は175kg/m<sup>3</sup>である。塗布直前のコア強度は52.5N/mm<sup>2</sup>で、水セメント比50%としてはかなり高い値であった。この高流動壁試験体は、作製時は締め固めをしていないため、壁の表面は、若干気泡の多いところや微細な表面ひび割れのあるところなどがあり、位置によっては試料の表面性状に差異の生じる可能性があるが、その点についての配慮はしていない。ただし、コアの採取および表面強度の試験は、試験項目ごとにほぼ同じ高さで実施した。コンクリートの表面は、Bの塗布面の方がA, Pの面に比べてやや粗い(微細な気泡が目立つ)印象であった。躯体防水材を塗布した面は北面にあたり、直射日光をほとんど受けない面である。

## 2.2 塗布量

表-2に、各試験体の実際の塗布量を示す。ほぼ計画通りの塗布量であった。

## 2.3 試験項目および試験方法

表-2 実際の塗布量

区分	目標塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	実際の塗布量 (kg/m <sup>2</sup> ) *1
AA	0.250	0.264
A3	0.083	0.098
BB	0.350	0.373
B3	0.117	0.115
AW	0.250	0.221
BW	0.350	0.339

\*1 鉛直面への塗布によるロスを10%と仮定し、その分を差し引いて計算した。

表-3 試験方法

試験項目	試験方法
表面強度	NR型シュミットハンマーにより1カ所あたり20点測定
中性化深さ	コア試料の割裂面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧し、変色しない深さを測定
細孔径分布	3~5mm角の試料を、水銀圧入式ポロシメータ(Pascal 140/440)により細孔半径1.8nm~10μmの細孔を測定

試験項目は、表面強度、中性化深さ、細孔径分布とした。中性化深さおよび細孔径分布測定用の試料は、原則としてφ75mmのコアとした。試験時期は、躯体防水材塗布前、塗布直後（塗布後約1週間）、塗布後中性化促進3ヶ月後、塗布後6ヶ月後（表面強度のみ）とした。試験時期の「塗布後中性化促進3ヶ月」は、塗布直後の試料と同時にコアを採取し、塗布面以外の面をエポキシ樹脂塗料でコーティングした後、そのコア試料を20℃、60%RH、CO<sub>2</sub>濃度5%で中性化促進させたものである。

試験方法は、表-3に示すとおりである。なお、細孔径分布の測定は、表面から4層とし、第4層の深さは30mmとした。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 表面強度

図-2に、表面強度の試験結果を示す。表面強度は反発度Rを建築学会式  $\sigma = 7.3R + 100$  により強度(kgf/cm<sup>2</sup>)に換算し、N/mm<sup>2</sup>で表記した。

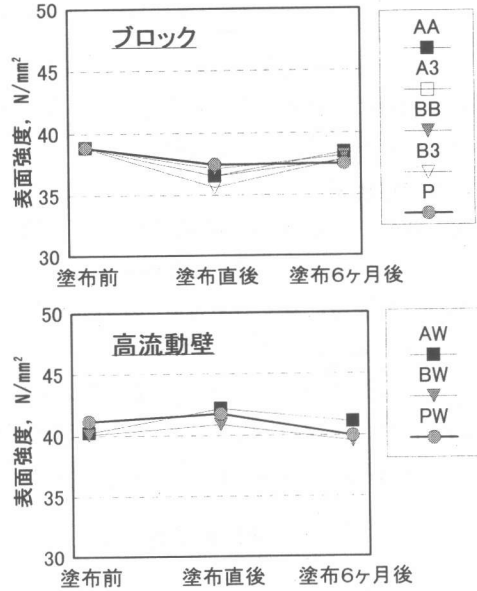


図-2 表面強度

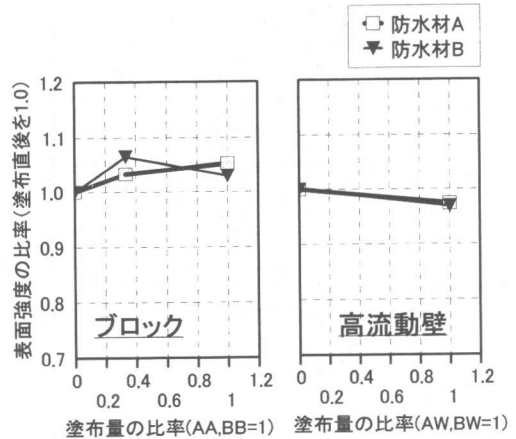


図-3 塗布量の比率と表面強度の比率

図-3は、塗布量の比率を横軸に、塗布直後の表面強度を1.0とした表面強度の比率を縦軸にとってあらわしたものである。ブロック、高流動壁ともに、躯体防水材A・Bの種類および、塗布量による表面強度の違いは明瞭ではない。しかし、ブロックでの塗布直後と塗布6ヶ月後を比べると、塗布直後では無塗布よりも全体的にやや低い（塗布による含水が表面強度に影響を及ぼした可能性も考えられる）が、

塗布6ヶ月後では無塗布よりも3%~6%高くなっている(図-2)。このことから、強度のあまり高くない(30N/mm<sup>2</sup>程度以下)コンクリートであれば、躯体防水材の塗布によって、表面強度は若干上昇すると思われる。

### 3.2 中性化深さ

表-4に中性化深さの試験結果を示す。図-4は、規定の塗布量に対する各塗布量の比率を横軸に、無塗布に対する塗布後の中性化速度係数の比率を縦軸にとってあらわしたものである。中性化速度係数は、中性化深さをC(mm)、材齢をt(週)とした次式、 $C=A(t)^{0.5}$ におけるAが中性化速度係数(mm/週<sup>0.5</sup>)である。ブロック

表-4 中性化深さ

記号	中性化深さ (mm)		
	塗布前	塗布直後	促進3ヶ月後
AA	(5.4)	7.6	12.8
A3	(5.4)	5.8	21.6
BB	(5.4)	4.8	23.8
B3	(5.4)	6.0	18.8
P	5.4	(5.4)	28.6
AW	(2.3)	1.2	5.4
BW	(2.3)	4.6	13.2
PW	2.3	(2.3)	9.8

(備考) 塗布前のAA, A3, BB, B3およびAW, BWのデータはPおよびPW(ともに無塗布)のデータを、塗布直後のPおよびPWのデータは塗布前のデータをそのまま使用している。

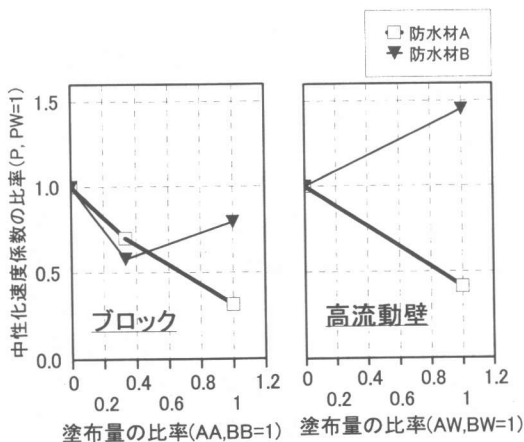


図-4 塗布量の比率と  
中性化速度係数の比率

試験体における促進3ヶ月後の中性化深さは、試料AAでは試料Pの約45%、試料A3では同様に約76%となり、塗布量の少ないものは中性化抑制効果も小さい結果であった。試料BBでは試料Pの約83%、試料B3では同様に65%といずれも無塗布より中性化深さは小さくなっているが、塗布量との関係では、塗布量の少ないB3の方が、BBより大きな中性化抑制効果を示した。一方、高流動壁試験体における促進3ヶ月後の中性化深さは、試料AWでは試料PWの55%と良好な結果が得られた。試料BWでは試料PWよりも大きな値となった。試料BWはコア試料の表面から約25mmの位置に鉄筋が存在し、その部分での中性化深さが大きかった(他のコア試料では鉄筋を含んでいない)ことから、打設時に締め固めをしていないことにより鉄筋周辺がやや多孔質になっていたためにこのような結果になったのではないかと推察される。

これらの結果から、本実験の範囲において、中性化の抑制効果は、躯体防水材A, Bともに期待ができ、Aでは塗布量に応じた効果が得られると考えられる。すなわち、中性化の進行に対する補修の目標性能を設定し、その性能に応じた量を塗布することも可能であろう。

### 3.3 細孔径分布

#### (1) 各試料の細孔径分布

図-5に各試料の細孔径分布の測定結果例として、試料PおよびPW(ともに塗布前)、試料AA, BB, およびAW(中性化促進3ヶ月後)の第1層から第4層の細孔径分布を示す。ブロック試験体においては、中性化していない部分(例えば試料P-塗布前における第2層~第4層)では3nm付近、50nm付近および500nm付近の3つのピークが認められるのに対し、中性化した部分(同、第1層など)では細孔径分布のピークが明瞭ではなくなだらかな曲線を描いていることが分かる。高流動壁試験体においても、AW-1-P第1層、BW-1-P第1層などで同様の傾向がみられた。

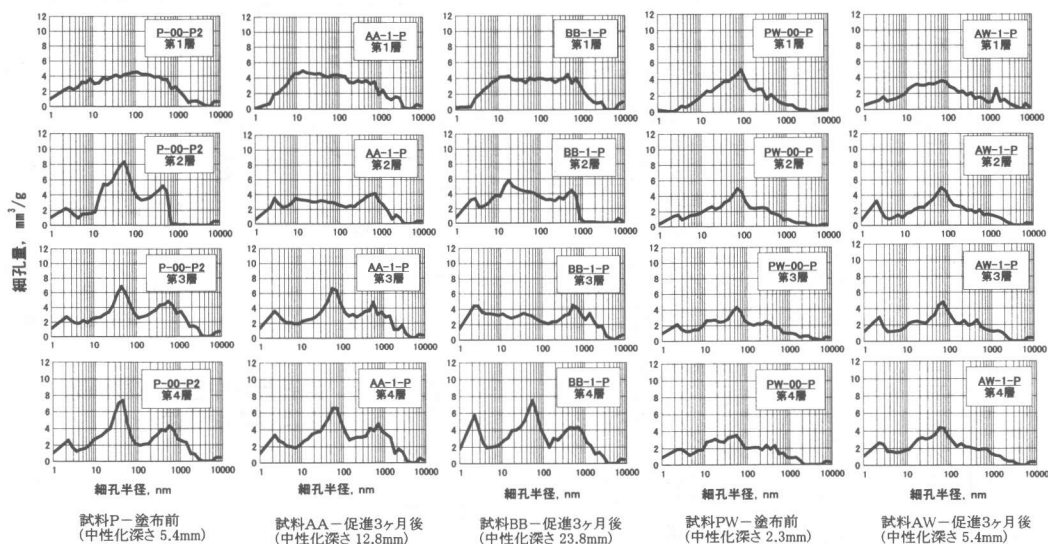


図-5 細孔径分布の測定結果例

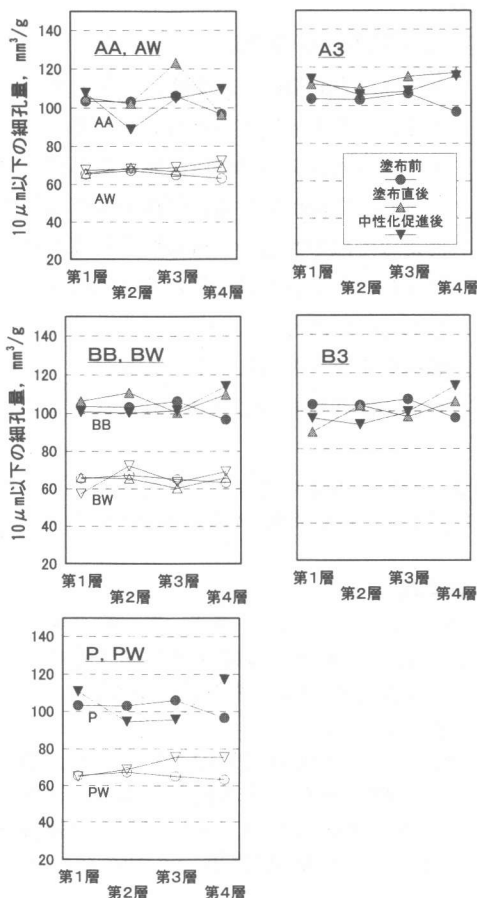


図-6 各層ごとの細孔量

(2) 各層ごとの細孔量

図-6は、各試料の半径 $10\mu\text{m}$ 以下の細孔量を、塗布面の第1層から内部の第4層までの各層ごとに、塗布前・塗布直後・中性化促進後に区分して示したものである。この図から、ブロック試験体の試料に比べて高流動壁試験体の試料では細孔量が少ないこと、深さ方向の細孔量のバラツキが小さいことが分かる。各試料での深さ方向における細孔量の違い、中性化促進前後での細孔量の違いについては、ブロック試験体の試料、高流動壁試験体の試料ともに、顕著な傾向は認められない。そこで、細孔径の範囲を、中性化していない部分の細孔径分布でのピーク(図-5参照)を含むように $1.8\text{nm}$ - $10\text{nm}$ 、 $10$ - $100\text{nm}$ 、 $100$ - $1000\text{nm}$ 、 $1000\text{nm}$ - $10\mu\text{m}$ に区分して検討した。例として試料P、試料AAにおける検討結果を図-7に示す。AAの第2層、Pの第2層、第3層などで $10$ - $100\text{nm}$ の細孔が減少し、 $1.8$ - $10\text{nm}$ の細孔が増加している傾向が伺える。中性化した部分すべてに共通しているわけではないが、これは中性化の進行によって組織がやや緻密になっていることを示している。しかし、

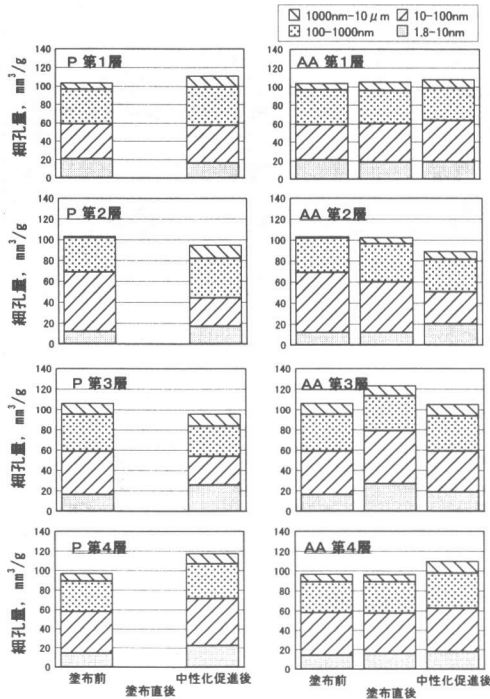


図-7 各細孔径範囲ごとの細孔量

塗布前と塗布直後の比較では、図に示した試料AAだけでなくA3, BB, B3, AW, BW, PWにおいても各細孔径範囲ごとの変化はほとんどみられなかった。榑原<sup>2)</sup>は、ケイ酸質塗布防水材料を塗布したモルタルについて検討し、全細孔量と透水係数は正の相関があること、材齢とともに全細孔量が減少し、防水材料の浸透が長期にわたりモルタルを緻密にしていることなどを明らかにしたが、今回の実験の範囲では、トータルの細孔量および各範囲ごとの細孔量については、躯体防水材料の有無の違い、塗布量の違いなど顕著な傾向はつかめなかった。

図-8には、細孔量と中性化速度係数（促進3ヶ月後）および表面強度との関係を示した。細孔量 105mm³/g 付近のデータはブロック試験体の、細孔量 65mm³/g 付近のデータは高流動壁試験体のデータである。中性化速度係数については、もとの試料の細孔量の大きなものほど、塗布による高い抑制効果が得られる可能性があることが分かる。

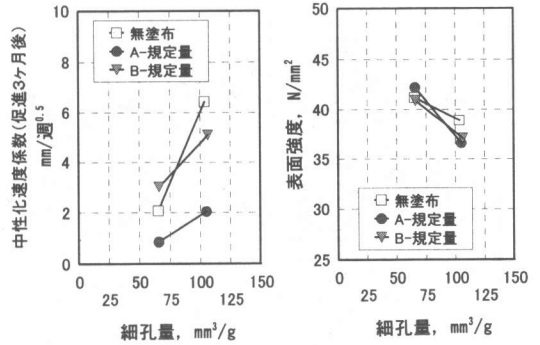


図-8 細孔量と中性化速度係数および表面強度

#### 4. まとめ

2種類の塗布型躯体防水材料を用いて行った今回の実験の範囲で得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 強度が30N/mm<sup>2</sup>程度以下のコンクリートであれば、表面強度は、躯体防水材料の塗布により3~6%上昇すると考えられる。
- (2) 中性化の進行抑制効果は、躯体防水材料A, Bともに期待ができる。躯体防水材料の種類によっては中性化の進行抑制の目標性能を設定し、その目標に応じた量を塗布する方法も可能であろう。
- (3) 躯体防水材料を塗布してもコンクリートそのものの細孔量を減じることはない。

**謝辞** 本研究の遂行に際しご協力をいただきましたアイゾール産業(株)中村氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 数尾 昇, 馬場明生, 千歩 修, 松島泰幸: けい酸質防水材料の基礎性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 391-392, 1990.10
- 2) 榑原弘幸, 小池迪夫, 田中享二, 呉 祥根: ケイ酸質塗布防水材料を塗布したモルタルの組織緻密化及び水密性評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 393-394, 1990.10