

## [1032] 含浸塗料を塗布したモルタルの透水性

正会員 ○沼尾達弥（茨城大学工学部）

正会員 福沢公夫（茨城大学工学部）

岩松幸雄（茨城大学工学部）

奥沢達也（茨城大学工学部）

### 1. はじめに

含浸塗料はコンクリートに塗布することにより、コンクリート表層部に含浸して、空隙を充填または発水性を持つ保護層を形成する。この保護層は、コンクリート内外からの水等の出入りを遮断あるいは抑制して、コンクリートの劣化防止に効果があるといわれている。しかし、含浸塗料は比較的新しい材料であり、含浸塗料が水の移動を抑制する効果があるかどうかについての評価は定まっていない<sup>1)2)3)4)</sup>。評価が一樣でない理由として、含浸性状に影響を与える供試体の状態や、透水時の試験水圧など報告により様々であり、試験方法も定まっていないためと思われる。特に、試験水圧は塗料の効果にとって影響が大きいと思われるが、水圧とその効果との関係について報告されたものはない。これらから、透水試験方法によって含浸塗料の効果を評価する場合には、まずその試験方法、特に試験水圧について検討する必要があると思われる。

本研究は、透水試験方法の一つとして、INPUT法を用いた簡易透水試験方法、および電極を利用して透水深さを測定する方法を提案しその妥当性について検討を行うと共に、この試験方法を用いて、水圧を変化させた場合の、含浸塗料の透水性について調べることを目的とした。

### 2. 使用材料

#### 2.1 セメントおよび骨材

セメントとして普通ポルトランドセメントを使用した。骨材は茨城県久慈川産の川砂を用い、混和剤はカフラン系の高性能減水剤を用いた。

#### 2.2 含浸塗料

本研究で使用した含浸塗料は、市販されているもののうち、モジラン系、反応ジン系、アクリル系の中から各1銘柄ずつ3銘柄を用いた。

表-1 モルタルの配合

### 3. 配合

モルタルの配合は水セメント比60%、スランプ12cmとして試し練りにより決定した。その配合を表-1に示す。なお、本実験では、次章で述べる測定方法を用いるため、骨材による測定端子への影響を考慮してモルタルを用いることとした。

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水 セメント比 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )		
				水 W	セメント C	細骨材 S
5	60	5±1	12±2	246	411	1450

### 4. 実験装置および測定方法の検討

#### 4.1 供試体

供試体は図-1に示すように、径0.5mmの銅線を5mm間隔で水平に2列、鉛直方向には10列配置した後、3.で示した配合によるモルタルを打設して、寸法300×300×55mmの平板状にしたものを使用した。打設後2日で脱型し、12日間恒温室で気中養生（気温20°C・湿度60%）を行った後、含浸深さが4.5mm程度となるように、はけ塗りまたはぶ付け法で供試体の片面に含浸塗料を

塗布した。塗料塗布後、一昼夜放置し翌日透水試験を行った。

#### 4.2 透水試験装置および透水試験方法

透水試験装置は、JIS A 1404(建築用セメント防水剤の試験方法)を基に、容易に繰り返し試験ができるよう考えた。この装置の概略図を図-2に示す。大別すると供試体、加水板、蓄圧槽およびコンプレッサーで構成されている。この試験装置の特徴としては、供試体部の組み立て時間が数分程度で容易に行え、供試体に埋込んだ銅線端子に外部回路を取付けられることである。また、最大4.0kgf/cm<sup>2</sup>程度の水圧を与えることができ、しかも供試体と加水板との間にゴム板を挟んでシール材を使用すれば水漏れにも十分対応できることを確認しており、低水圧域(0-4.0kgf/cm<sup>2</sup>程度)での、INPUT法による透水試験が簡便に行える。

#### 4.3 水の浸透深さ測定方法及び測定装置

一般にINPUT法による透水試験結果の検討は、水圧を加えた時間、平均浸透深さ等を測定し拡散係数を求めることにより行っている。しかし、水の出入りに対する塗料の効果という点では、水の浸透深さのみによって評価する方がより明快であると思われる。

そこで、本研究では4.2の透水試験装置を用いて透水試験を行い、試験時間を同一とするときの水の浸透深さを測定することで、塗料の透水性を検討することとした。さらに、一定の浸透深さに達するまでに要する時間についても、どのような差が生じるか検討するため、水の浸透深さの経時変化についても検討できるように測定方法を考えた。

ところで、水の浸透深さの測定は、供試体を分割し、その断面の観察により行うのが一般的である。しかし、この方法では、その都度供試体を壊すため、同じ供試体を用いて水の浸透深さの経時変化を測定することは不可能であり、経時による変化を捉えようとする場合では、数多くの供試体を作り試験しなければならない。そこで、コンクリートに水が浸透すると電気が通るという性質を利用し、コンクリート中の自由水の多少に応じて変化する電気抵抗を、コンクリート内に配した銅線(電極)により測定することで含水率の変化点をとらえ、間接的に水の浸透深さを推定できると考え、この方法について検討する。なお、コンクリートの電気抵抗によりコンクリートの含水率を推定する方法は、電極法と呼ばれ多数報告されている<sup>5)6)</sup>。本研究ではこれらの試験方法を基にしている。以下に本研究での試験方法を示す。

図-3に示すように、あらかじめ約5Ωの抵抗を既知抵抗として用いた回路を作り、供試体中に埋め込まれた2本1組の銅線に接続する。銅線は、4.1に示した様に供試体表面より5mm~50mmの間に5mm間隔で計10組配置した。それぞれの対の銅線間には定電圧電源(5V)により常に電位を与えておき既知抵抗間の電位を一定時間ごとに測定する。そして次の式(1)により供試体の各対の銅線間の抵抗値を算出し、その経時変化を検討することにより水の浸透深さを推定する。

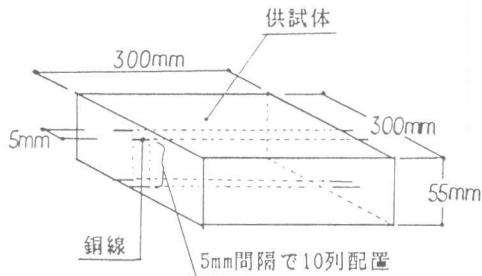


図-1 透水試験用供試体

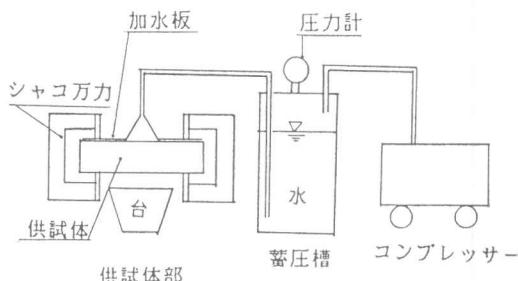


図-2 透水試験装置概略図

$$R = R_0 \cdot (V_1 - V_2) / V_2 \quad \dots \quad (1)$$

R : 対の銅線間の抵抗値

$R_0$  : 既知抵抗、

$V_1$  : 定電圧(5V)、 $V_2$  : 測定電位

#### 4.4 試験方法の検討

4.1~2で述べた透水試験装置および供試体を用いて、 $1\text{kgf/cm}^2$ の水圧で60分程度透水試験を行い、既知抵抗間の電位を測定する。試験後、供試体を分割して断面の透水状況を観察し、電位または抵抗の測定値と比較することにより、間接的に水の浸透深さを推定できるかどうか検討を行った。

各深さでの電位の変化を図-4に示す。さらにこの電位から式(1)を用いて銅線間の抵抗を算出し、片対数表示したものを図-5に示す。これらの図から、各銅線位置の電位および抵抗値は、ある時間経過すると急に変化する点が生じるという共通的特性を示すことがわかる。また、試験後供試体を分割してその断面の透水状況を写真-1に示した。写真-1より、水の浸透深さは供試体表面から35mmに達していることが観察できる。この写真および電位の変化を示した図-4を比較検討してみると、まず、水の浸透先端部分が既に通過した深さ5mm~30mmの位置にある銅線の電位は、増加中であるかあるいは増加後一定の値を保っている。また、水の浸透先端に位置する35mmの銅線の電位は上昇しようとするところであることが分る。このことは、抵抗の変化を示した図-5についても同様のことといえる。これは、各測定位置に水が浸透すると、供試体銅線間の抵抗値が低下すると共に、電流が流れ外部抵抗の電位が上がるためと思われる。したがって、水が浸透した深さと電圧が増加または抵抗が減少はじめる測定位置とがほぼ一致すると判断できる。

以上のにより、電極法により水の浸透深さを供試体を壊すことなく推定できることが確かめられた。また、水の浸透深さを推定するだけであれば、抵抗値を算出するまでもなく電位の測定値の変化により求めることが可能である。また、この測定方法により、供試体底部まで水を浸透させても、水圧を加えた時間と浸透深さの関係が推定できる

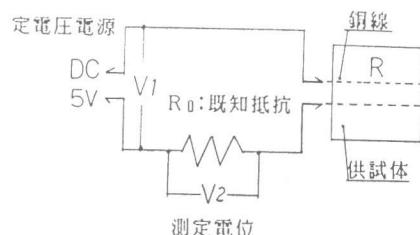


図-3 浸透深さ測定回路

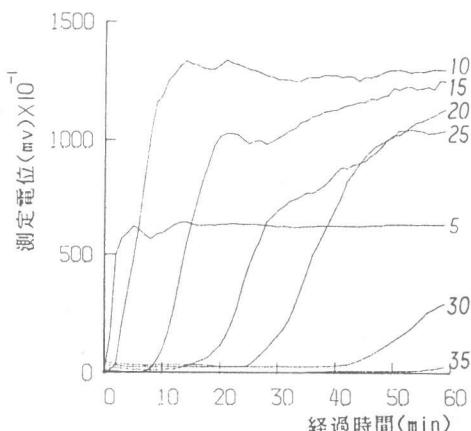


図-4 測定電位の変化

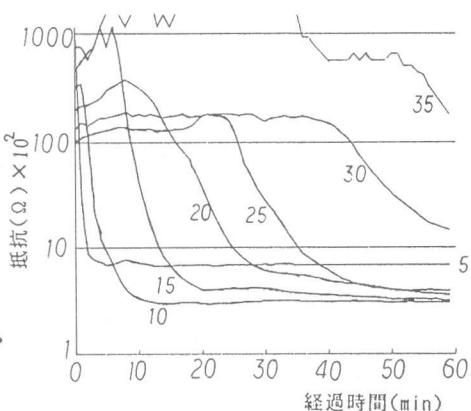


図-5 供試体抵抗の変化

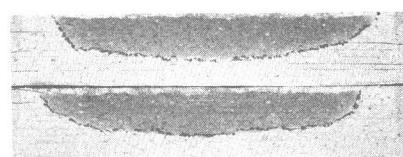


写真-1 供試体の透水状況

ので、INPUT 法での時間的制約がなくなるうえ、水の浸透深さを観察しながら透水試験ができ、試験を終える場合の判断も容易になる。さらに、同じ供試体を用いて透水性の経時変化を捉えることも可能となる。

先にも述べたように、供試体の抵抗から含水率をもとめる方法が提案されている。しかし本研究では、銅線の対を多段階に配置し、またその間隔が小さいため、いったん水が浸透したあとでは、電気は対となった銅線間を流れるのではなく、その近辺の銅線を通じて流れるので、銅線間の抵抗を正確に測定することはできない。そのためこの実験による抵抗値からは、モルタルの含水率を定量的に求めることはできないと思われる。しかし、銅線間の干渉等を除外くことができれば、各深さでの含水率の変化の算出も可能である。

## 5. 水圧による塗料を塗布したモルタルの透水性への影響

### 5.1 実験概要

4.で述べたモルタル供試体、透水試験装置および水の浸透深さ測定方法を用いて、水圧を変化させて、透水時間と水の浸透深さとの関係の測定を行い、含浸塗料を塗布した供試体の透水性を無処理のものと比較することにより検討した。

### 5.2 実験方法

要因として塗料の種類と水圧をとった。塗料は無処理・モジラン系・反応シラン系・アクリル系の4水準、水圧は  $0 \cdot 0.3 \cdot 0.6 \cdot 1.0 \text{ kgf/cm}^2$  の4水準をとった2元配置試験とし、実験は繰り返し3回行った。ここで、水圧  $0 \text{ kgf/cm}^2$  については、蓄圧槽より水が出てくることが確認できる、できるだけ小さい水圧とした。これは、水圧を若干でもかけないと試験が出来ないためである。

### 5.3 試験結果および考察

各水圧における結果を図-6～9に示す。この図は測定点の深さと各点での水の浸透時間の平均値について示したものである。図-6からわかるように水圧が  $0 \text{ kgf/cm}^2$  の場合、無処理の供試体は300分程度で底面まで透水してしまう。それに対し、処理を施した供試体は24時間程度透水を行っても、アクリル系およびモジラン系共に20mm程度の深さまでしか水が浸透しない。反応シラン系にいたっては3回の実験の内、2回は全く水が浸透しなかった。そのためこの図には表示していない。このように、無処理と比べ明らかに塗料による水の浸透抑制効果が現れている。次に水圧が  $0.3 \text{ kgf/cm}^2$  の場合、図-7から無処理では270分、アクリル系で410分、モジラン系で830分、反応シラン系で510分で底面まで透水した。 $0 \text{ kgf/cm}^2$  に比べて全体として曲線の勾配は無処理に近くが、例えば30mmまで浸透に要する時間は、無処理に対してモジラン系で6.1倍、反応シラン系で2.5倍、アクリル系で2.3倍となっている。全体として、塗料の効果は  $0 \text{ kgf/cm}^2$  の場合と比べて減少するが、まだ効果のあることを示している。低水圧時での塗料の効果については、青山ら<sup>2)</sup>が  $191 \text{ Pa}$  ( $1.95 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ ) で透水試験を行ない、使用した塗料全てに効果が認められたとしており、本実験の結果と一致している。しかし、図-8,9から、水圧が  $0.6 \text{ kgf/cm}^2$  以上になると、無処理のものと処理を施したものでは、ほとんど変わなくなる。

塗料の種類に関しては、モジラン系の塗料は他の塗料と比べ、水圧が  $0 \sim 0.3 \text{ kgf/cm}^2$  の範囲では、効果の減少割合は小さく、水圧が  $0.3 \text{ kgf/cm}^2$  以下であれば加圧水圧による影響が小さいものと考えられる。一方反応シラン系の塗料では、水圧が  $0 \text{ kgf/cm}^2$  の状態では他に比べ効果を発揮するのが特出されるが、水圧の増加により効果の低下が著しい。以上のことから、塗料の効果は試験水圧に大きく影響され、取上げた塗料では  $0.6 \text{ kgf/cm}^2$  以上では効果を示さない。このことから、含浸塗料の使用にあたっては水圧の状況に応じて使い分ける必要があると思われる。

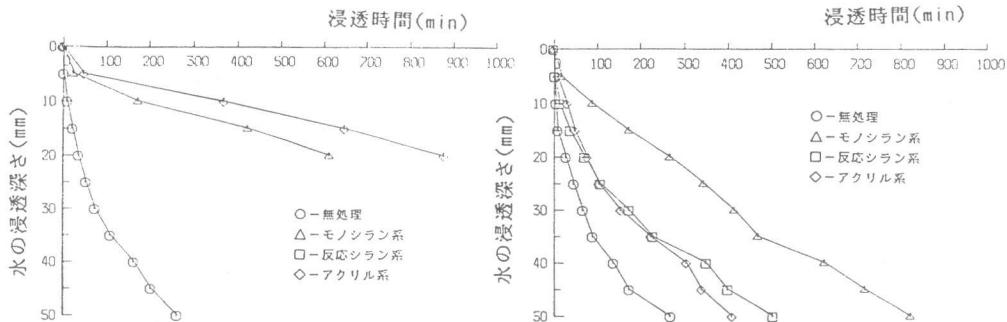


図-6 0kgf/cm<sup>2</sup>での浸透時間と深さ

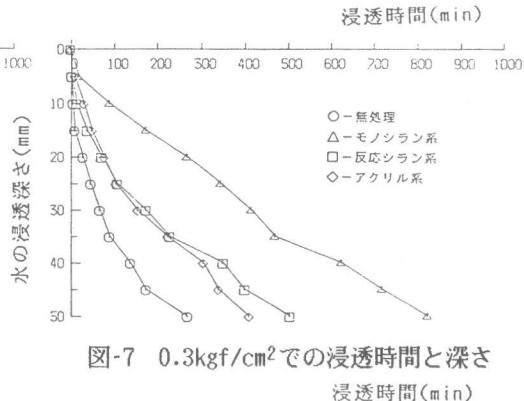


図-7 0.3kgf/cm<sup>2</sup>での浸透時間と深さ

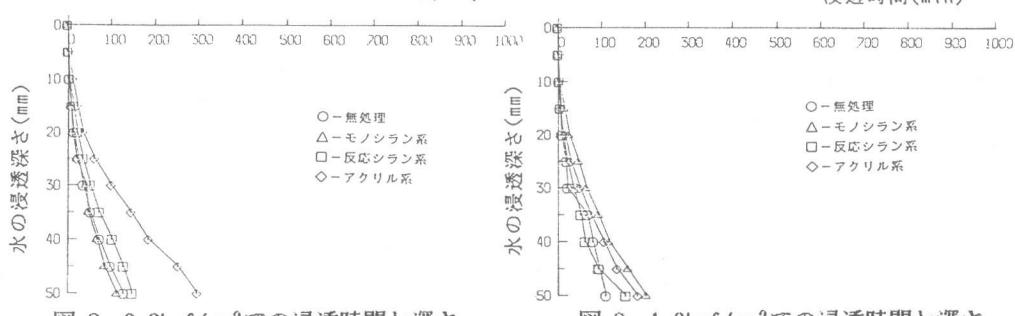


図-8 0.6kgf/cm<sup>2</sup>での浸透時間と深さ

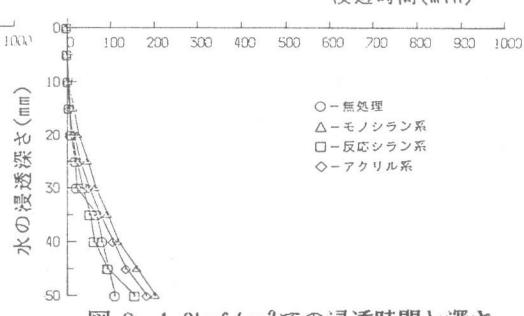


図-9 1.0kgf/cm<sup>2</sup>での浸透時間と深さ

各深さでの塗料の効果の有無として、図-6,7から、深さが5mmまでの地点では、浸透に要する時間は無処理とほぼ変わらないといえる。しかし、深さが5mm～10mmの地点まで水が浸透する時、浸透抑制効果が認められる場合は、浸透速度が無処理に比べて急に遅くなる。これは塗料の含浸深さが5mm程度であることを考慮すれば、水が塗料の含浸層を通過する速度は無処理のものとあまり変わらないといえるが、水が含浸層を通過する際、この含浸層によって透水量および透水圧が抑えられ、結果として、含浸層浸透後の5mmから10mmへ浸透に要する時間に差ができるものと考えられる。

## 6. 透水および乾燥の繰り返しを受ける場合の塗料の効果

### 6.1 実験概要

この実験では、透水試験での透水量について調べることを目的として、乾湿繰り返しを受ける場合も考慮して実験を行った。実験内容としては、塗料を塗布した供試体が透水および乾燥の繰り返しを受ける場合、供試体へ透水した水量および供試体から発散した水量を測定し、無処理のものと比較することによりその効果を検討した。

### 6.2 実験方法

要因として塗料の種類（無処理・反応シリラン系の2水準）を取上げた。前実験同様モルタル平板を用い、塗料を塗布した後、図-10に示すように塗料塗布面以外にシール材をコーティングして、塗布面以外から水の出入りのないようにした。水圧0.3kgf/cm<sup>2</sup>で30分透水した後、2週間、温度20°C・湿度60%で放置する。これを1サイクルとして繰り返し3サイクルを行い、その重量変化を測定した。

### 6.3 実験結果および考察

各サイクル各々の吸水量および発散量の結果を図-11に示す。この図より、次の様なことが分る。

まず、無処理の供試体では、2週間の乾燥後 $0.3\text{kgf/cm}^2$ の水圧で30分間透水を行うと、乾燥前とほぼ同程度の含水量になり、透水の影響が顕著に表われる。また、発散量も大きく2週間に1回の透水の繰り返しにより、ほぼ100g前後の水量が出入りを繰り返していることがわかる。一方塗料を塗布した供試体については、透水量および発散量とも無処理に比べ小さい。また、透水量よりも発散量が大きく、全体として供試体中の水量は徐々に減少する傾向を示した。ここで、水の出入り量として透水量と発散量の合計を考えると、2,3例目では無処理の2割程度であり、実験全体でも3割程度となり、塗料を塗布することにより透水および発散による水の出入り量を抑える効果が認められた。

また、塗料を塗布した供試体では、1例よりも2,3例の方が透水量が減少している。

これは塗料の重合の進行によりより密な含

浸層が形成された為と考えられ、塗料塗布後の養生期間を変えた検討が必要であると思われる。

## 7. まとめ

以上の実験より以下のことが言えよう。

- (1)供試体中に配置した電極間の抵抗の変化を測定することにより、水の浸透深さを供試体を破壊することなく測定でき、水圧を加えた時間と浸透深さの関係が推定することができる。
- (2)含浸塗料は低水圧時において効果を示すことが明らかになった。
- (3)含浸塗料の効果は試験水圧により大きく影響され、水圧が増加すれば塗料の効果は減少し、塗料によってはその影響が著しいものがある。よって、透水試験により塗料の効果を判断する場合、試験水圧も考慮する必要がある。
- (4)本実験で用いた塗料においては、水圧が $0.3\text{kgf/cm}^2$ 程度までその効果が認められたが、 $0.6\text{kgf/cm}^2$ 以上では無処理のものと変わなくなる。また、 $0\text{kgf/cm}^2$ では反応シラン系が、 $0.3\text{kgf/cm}^2$ ではモルタル系が優れていた。
- (5)塗料を塗布することにより、 $0.3\text{kgf/cm}^2$ 程度の透水および乾燥の繰り返しあれば、水の出入り量についても上記同様効果が認められた。

## 参考文献

- 1) 太田稔・国府勝郎：含浸塗料による塩害防止の可能性 メント・コンクリート Sep, 1985 PP82-87
- 2) 青山幹・堀長生：濾水処理材による建物の保護 建築仕上技術 Oct, 1984 PP57-62
- 3) 村田二郎他：浸透性塗布防水剤に関する2,3の実験 メント技術年報 1970 PP419-424
- 4) 大浜嘉彦：塗布浸透型防水材の性能比較 コンクリート工学 Vol.10 1985 PP58-62
- 5) 中根淳他：コンクリート構造体の含水率測定、メント・コンクリート July, 1986 PP8-15
- 6) 田畠雅幸他：電極法によるコンクリート含水量の測定、建築学会大会梗概集 Oct, 1976 PP117-118

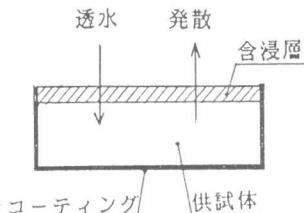


図-10 供試体

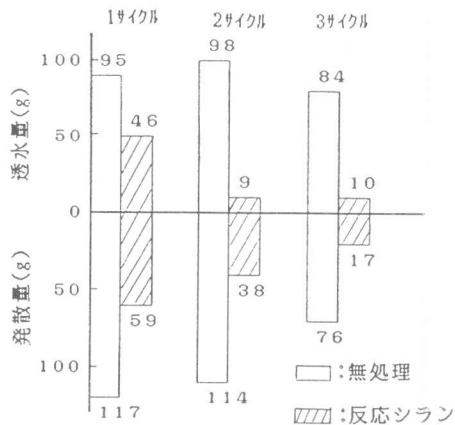


図-11 透水量および発散量