

論文

表面含浸材のひび割れ改質効果に関する検討

澤田 巧^{*1}, 福手 勤^{*2}, 内藤 英晴^{*1}, 小笠原 哲也^{*1}, 酒井 貴洋^{*1}

A Study on the Effect of Crack Reforming of Surface Penetrants

Takumi SAWADA^{*1}, Tsutomu FUKUTE^{*2}, Hideharu NAITOU^{*1},
Tetsuya OGASAWARA^{*1} and Takahiro SAKAI^{*1}

要旨: コンクリート表面含浸材をすでにひび割れが生じている既設構造物へ適用することを想定し、幅が0.2mm程度のひび割れ部へ適用したときの改質効果に関する実験を行った。その結果、模擬ひび割れを導入した供試体による試験では、シラン系、けい酸塩系とも十分な吸水抑制効果を有していることが確認できた。一方、実ひび割れが発生している部材から採取した供試体による試験では、模擬ひび割れによる試験結果のような明確な関係は見られなかったものの、塗布後の撥水状況から、ひび割れ内部においても表面含浸材により改質されていることが確認できた。

キーワード: 表面含浸材, ひび割れ, 耐久性, 吸水率, 透水量

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物が更新時期を迎えているが、社会情勢・経済情勢から、適切な維持管理によるコンクリート構造物の延命化が求められている。そのため、コンクリート構造物の長寿命化に関する技術開発が鋭意進められている状況にある。コンクリート構造物はそれが置かれている環境中の劣化因子の侵入により様々な変状を生じるため、それらの侵入を抑制することで、コンクリート構造物の長寿命化を図ることが可能となる。劣化因子の侵入防止に関する技術としては、表面被覆材や表面含浸材などこれまでに多くのものが開発されている。それらの性能や施工に関する知見は、「表面保護工法設計施工指針(案)」¹⁾などにまとめられている。

表面保護工法のうち表面含浸工法は塗布後も外観の変化がほとんどなく、コンクリート構造

物表面の目視による診断も塗布前と変わらず行うことが出来るため、多くの構造物に適用しやすい材料といえる。また、表面含浸材は、既往の文献や研究から、確実な施工を行えば劣化因子の侵入抑制効果は高いことがわかっている。そのような特長から、最近では表面含浸材が使用される機会も増え、その種類も増加してきている。一方、既設のコンクリート構造物への表面含浸材の塗布を考えた場合、ひび割れを有する面への適用が考えられる。しかし、ひび割れを有する面へ表面含浸材を塗布した場合の劣化因子の侵入抑制効果については明らかではない。

そこで本実験では、テフロンシートを用いてスリットを導入した供試体、割裂によりひび割れを作製した供試体、内部拘束による温度ひび割れが発生している部材から採取したコア供試体を用いて、0.2mm程度のひび割れに対する表面含浸材の改質効果に関する検討を行った。

*1 五洋建設(株)技術研究所耐震構造グループ

*2 東洋大学理工学部都市環境デザイン学科 教授

2. スリット供試体を用いた実験

2.1 概要

本実験では、権代らの実験²⁾を参考とし、モルタル打ち込み時にテフロンシートを挟み込み、硬化後にそれを除去することでスリットを導入した供試体を使用した。供試体は W/C=50%、砂セメント比 3 のモルタルとし、材料には、上水道水、普通ポルトランドセメント、標準砂を用いた。使用した表面含浸材は、市販されているものから使用実績が多いと思われる 6 種類を選定した。表面含浸材の分類を表-1 に示す。併用系の銘柄 D は、1 回目にけい酸塩系を塗布することで緻密化し、2 回目にシラン系を塗布することで撥水性を付与する 2 液型の含浸材である。表面含浸材の改質効果は、JSCE-K 571-2005 「表面含浸材の試験方法」に規定されている吸水率試験を行うことで確認した。なお、含浸材塗布後の養生期間は、けい酸塩系の含浸材が C-S-H の水和物を十分生成する時間を考慮して、規定されている 14 日間より長い 28 日間の気中養生とした。

表-1 含浸材の分類

銘柄	分類	主成分	塗布量	備考
A	シラン系	シランオリゴマー	200g/m ²	1 回塗布
B		シランモノマー	150+ 100g/m ²	2 回塗布
C		シランモノマー	200g/m ²	1 回塗布
D	併用系	けい酸+シラン	200+ 100g/m ²	2 液型
E	けい酸塩系	けい酸ナトリウム	150+ 100ml/m ²	2 回塗布
F		けい酸ナトリウム	100+ 100ml/m ²	2 回塗布

2.2 供試体の作製

供試体の寸法は直径 100mm、厚さ 50mm の円柱で、上面にひび割れを模擬し、深さが 30mm、幅が 0.1mm および 0.2mm のスリットを設けた。供試体の作製は、モルタルを打ち込み後、材齢 24 時間で脱型し、材齢 7 日まで水中養生を行い所定の寸法に切断、テフロンシートを除去した。

その後、28 日間の気中養生後に含浸材の塗布を行い、更に 28 日間の気中養生を行った。なお、スリットを有する面以外はエポキシ樹脂にてシール処理を行った。含浸材はひび割れを有する面に鉛直下向き方向が浸透方向になるよう、各メーカーの推奨仕様にに基づき塗布した。塗布量は、φ100mm の断面積 7854mm² に相当する量とし、ひび割れがあるために含浸量を増やすといった処置は行っていない。ショップ顕微鏡によりひび割れ幅を確認した結果、0.1mm のテフロンシートを挟みこんでいたもので 0.10mm から 0.11mm、0.2mm を挟み込んでいたもので 0.20mm から 0.22mm のひび割れ幅であることを確認した。供試体の個数は各条件につき 3 体ずつとした。供試体の形状を図-1 に示す。

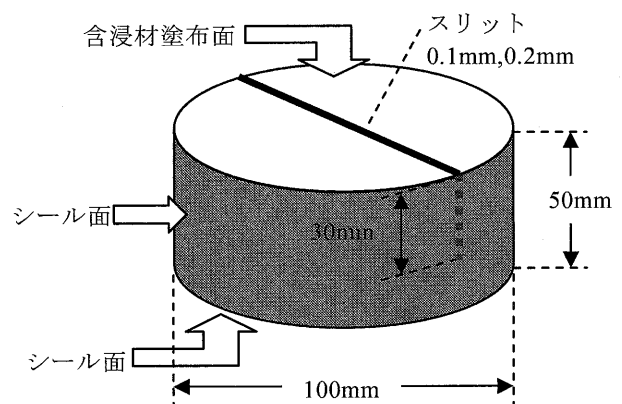


図-1 供試体の形状

2.3 実験結果

実験結果を図-2 に示す。ブランク供試体ではスリットが有ると、無い場合に比べ吸水率が大きく上昇しており、ひび割れから吸水されていることが理解できる。ひび割れ幅が 0.1mm と

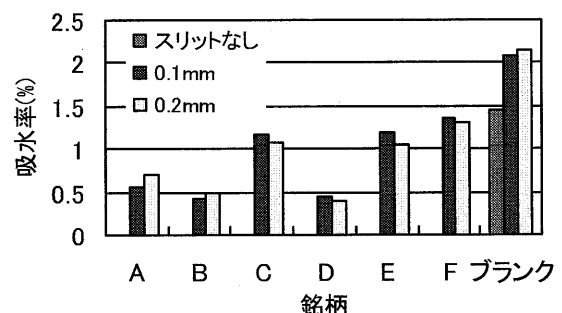


図-2 吸水率試験結果(スリット)

0.2mmの間では吸水率に大きな差はなかった。その理由としては、幅は異なっても吸水する面積に差がないため、と推察される。シラン系含浸材は主成分により浸透性が異なると考えられるが、本実験の結果では含浸材 A, B, C の間で、主成分と吸水抑制効果の関連性は見られなかった。ひび割れ部への浸透性を考えた場合、0.1mm以上の幅がある場合、その浸透性に主成分がモノマーやオリゴマーであるといった分子の大小は関係せず、ひび割れ内部で主成分が結合する際の構造で差が生じたことも可能性として考えられる。また、含浸材 C が最も粘性が高かったため、ひび割れに浸透しにくかったことも可能性として考えられる。含浸材 D については最も大きな吸水抑制効果が認められた。また、けい酸塩系含浸材 E, F についても、含浸材を塗布することで、吸水抑制効果を期待できることが確認できた。

3. 割裂供試体を用いた実験

3.1 概要

本実験では、モルタルの硬化後に割裂し、再び割裂面を合わせることで模擬ひび割れとした供試体を使用した。供試体の作製に用いた材料、使用した含浸材はスリット供試体を用いた実験と同様とし、試験方法および含浸材塗布後の養生期間についてもスリット供試体を用いた実験と同様に行った。

3.2 供試体の作製

供試体のひび割れは 100mm×100mm×50mm の角柱を割裂し、再び割裂面を合わせ側面をアルミテープで固定することでひび割れを模擬した。なお、側面および底面はエポキシ樹脂によりシール処理を行った。含浸材はひび割れを有する面に鉛直下向き方向が浸透方向となるよう塗布した。塗布量は、100mm×100mm の 10000mm² に相当する量とし、ひび割れがあるために含浸量を増やすといった処置は行っていない。ショップ顕微鏡によりひび割れ幅を確認した結果、0.13mm から 0.28mm であることを確

認した。供試体の形状を図-3 に示す。

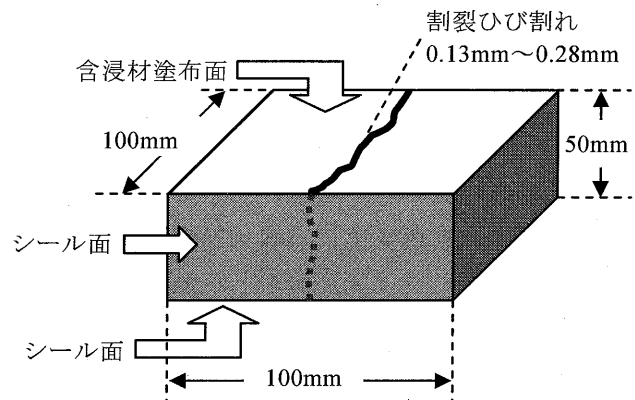


図-3 供試体の形状

3.3 実験結果

スリット供試体の実験結果と比較し、含浸材 C で吸水率が多少低下したものの全体としての傾向は同様であり、ひび割れの断面がスリットのように平滑ではなくても、ひび割れに浸透し、吸水抑制効果を期待できることが確認できた。実験結果を図-4 に示す。

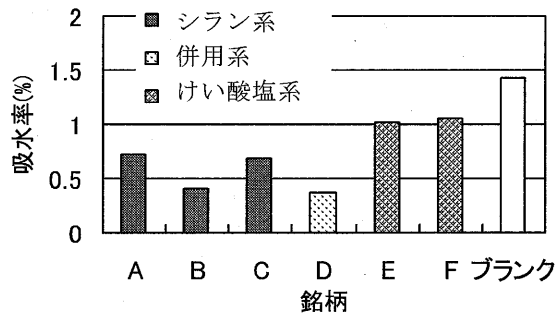


図-4 吸水率試験結果 (割裂)

4. 実ひび割れを用いた実験

4.1 概要

本実験では、実ひび割れへの改質効果を確認するために、内部拘束による温度ひび割れが発生している部材から採取した供試体を使用した。スリット供試体および割裂供試体による実験において、7日間の浸漬による吸水量ではひび割れ幅による評価ができなかった。しかし、「表面保護工法設計施工指針(案)」¹⁾によると吸水量と透水量には相関性があることが示されているため、透水量を経時的に読み取ることができる。

JSCE-K 571-2005「表面含浸材の試験方法」に規定されている透水量試験に準じた試験とした。含浸材は前述の表-1中のA, B, D, Fの4種類を使用した。

4.2 供試体の作製

供試体を採取する部材は、打設から8ヵ月が経過した、内部拘束による温度ひび割れが発生している無筋コンクリート部材である。そのコンクリートのセメントには強制的に温度ひび割れを発生させるため、早強ポルトランドセメントが使用されている。配合を表-2に、部材の形状、ひび割れの発生状況を図-5に示す。

表-2 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	AE 減水剤
34.5	36.8	174	505	586	1005	5.05

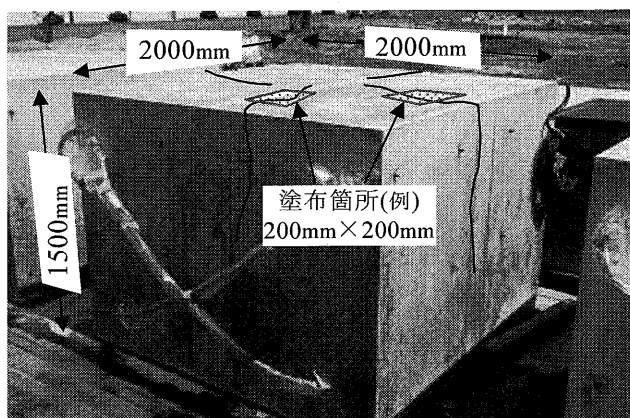


図-5 部材の形状

図-5に示す様に部材の上面に、ひび割れを含む200mm×200mmの範囲を複数箇所指定し、それぞれの箇所に表面含浸材を200mm×200mmの面積0.04m²に相当する量を一様に塗布した。ここでも前述の実験と同様に、ひび割れが有るために含浸量を増やすといった処置は行っていない。含浸材塗布後7日間は、塗布箇所が風雨にさらされないよう養生を行い、8日目にひび割れをまたぐようにひび割れ深さ方向にコアを削孔し、上面から160mmの位置で切断した。コア削孔後10日間は室内にて気中養生を行った。その後透水面を残し、エポキシ樹脂で周囲をシ

ールし、更に3日間の気中養生を行うことで、円柱供試体の高さ方向に実ひび割れを持つ透水量試験用の供試体とした。また、ひび割れによる透水量の変化を把握するために、ひび割れを含まない供試体も同様に作製した。各供試体が有する試験面におけるひび割れの幅をショップ顕微鏡で確認したところ0.07mmから0.21mmであった。また、ひび割れ深さについては160mm以上であることを確認した。供試体の形状を図-6に示す。

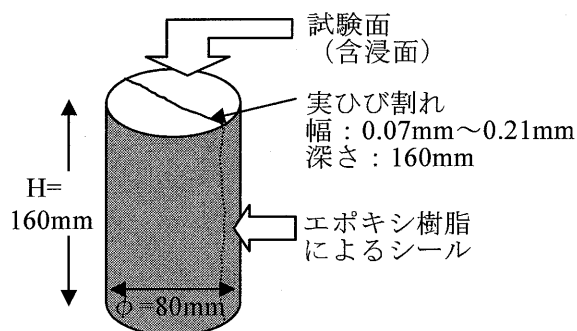


図-6 供試体の形状

4.3 実験方法

図-6で示される供試体の試験面にφ75mmのロートを使用した透水試験器具を漏水がないよう止め付け、試験を行った。透水試験の規準では水頭高さが250mmとされているが、ひび割れによる透水量の増加が見込まれるため、試験開始時の水頭高さを375mmとした。また、試験水の減少が著しい場合は試験水を継ぎ足し、その量を透水量として加算する処置を行い、試験中の水頭高さを375mmから125mmの間に保持した。結果の整理には透水開始から5日目時点の透水量を用いた。試験状況を図-7に示す。

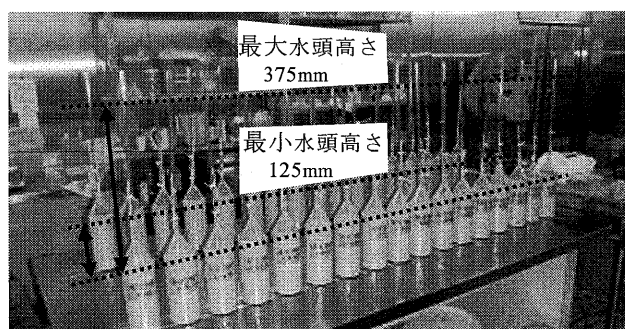


図-7 試験状況

4.4 実験結果

(1) ひび割れ無し

ひび割れを含まない供試体の5日間の透水量を図-8に示す。ひび割れを含まない場合、含浸材を塗布することで透水量が抑制されていることが確認できる。既往の文献で示されているように、ここでもシラン系の含浸材で透水量が大きく抑制されていることが分かる結果となった。けい酸塩系の含浸材Fについては塗布から試験までの期間が短かったためか、その他の含浸材と比較し透水抑制力に劣る結果であった。含浸材Aについては供試体の不良から、データを取得できなかった。

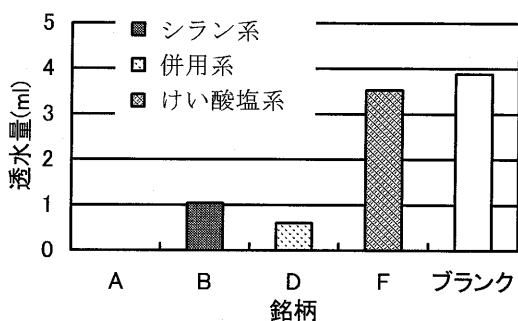


図-8 透水量試験結果 (ひび割れ無し)

(2) ひび割れ有り

ひび割れからの透水量を検討する場合、表面におけるひび割れ幅以外にも、内部におけるひび割れ幅、ひび割れ深さ、ひび割れ形状など多数の要因が透水量に影響すると考えられる。しかし、ひび割れは供試体の高さ全域において発生しており、内部におけるひび割れ幅についてはひび割れ形状の複雑さから一定の値とするこ

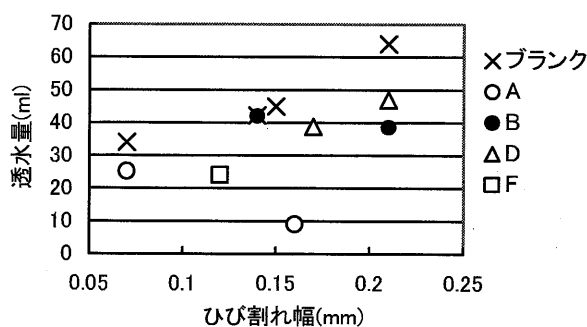


図-9 透水量試験結果 (ひび割れ有り)

とが困難であったため、ここでは表面におけるひび割れ幅についてのみ結果の整理に考慮することとした。ひび割れを有する供試体の5日間の透水量と試験面におけるひび割れ幅の関係を図-9に示す。

ひび割れが無い場合、5日間の透水量はブランク供試体で4ml程度であったが、ひび割れを有する場合、含浸材を塗布した場合においても全ての供試体で10ml以上となり、模擬ひび割れの実験結果のように、ひび割れを有する面に含浸材を塗布することで、ひび割れが無い無塗布の供試体よりも透水量を低減するといった大きな透水抑制効果は確認できなかった。また、ブランク供試体ではひび割れ幅が大きくなるに従い透水量も増加していることが確認でき、最大で64mlとなった。含浸材の塗布による、大きな透水抑制効果は確認できなかったものの、ひび割れ幅から予測されるブランク供試体の透水量よりも、低下している傾向が確認できる。また、含浸材Aのひび割れ幅0.16mmの供試体の場合のように明らかに透水抑制効果が確認できるものもあった。

透水試験後の供試体を用いて、撥水状況による改質効果の確認を行った。シラン系を含む含浸材A, B, Dを塗布した供試体について、ひび割れに直交するように半割りにし、水中に浸漬後の撥水範囲を目視により確認した。ひび割れを有する面に含浸材を塗布することで、ひび割れに沿って含浸材が浸透し、供試体内部でひび割れ部に撥水層が形成されていることが確認できた。しかし、含浸材A, B, D全てのケースにおいてひび割れに沿って一様に改質されおらず塗布面に近い範囲では撥水層が確認されなかった。これは、塗布面については、水セメント比が34.5%と緻密な面であったため、含浸材の浸透が困難であり、撥水層が形成されなかったことが原因と考えられる。一方、ひび割れ内部については塗布方向が鉛直下向きであり、塗布した含浸材は表面付近を短時間で通過し、ひび割れの内部で滞留した。そのため、表面付

近では撥水層を形成できず、含浸材が滞留していたひび割れの奥深くでは、次第に浸透していき、ひび割れに沿って撥水層が形成されたと考えられる。また、供試体それぞれの、透水試験結果と撥水状況の関連性は確認できなかった。ひび割れ部の撥水状況を図-10に示す。

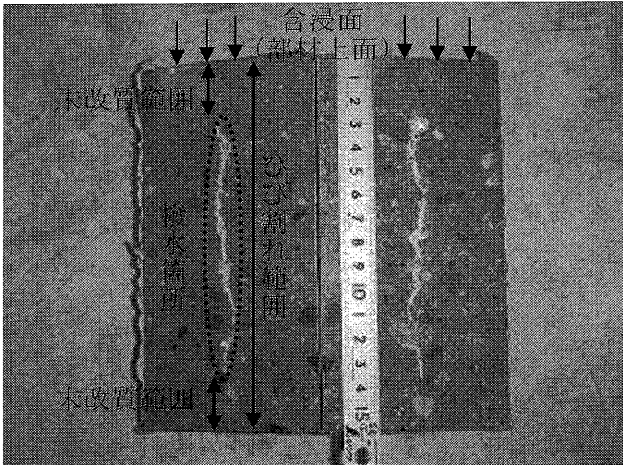


図-10 ひび割れ部の撥水状況

5. まとめ

表面含浸材のひび割れ改質効果の把握を目的として、模擬ひび割れ供試体への吸水率試験、実ひび割れ供試体への透水量試験を行ったところ、以下のような結果を得ることが出来た。

(1)テフロンシートを用いてスリットを作製し模擬ひび割れとした供試体の実験では、ひび割れ幅 0.1mm, 0.2mm いずれにおいても、含浸材を規定量塗布することで含浸材無塗布のひび割れが無い供試体よりも吸水量を抑制できることが確認できた。

(2)供試体を割裂した後に再び合わせることで模擬ひび割れとした供試体の実験でもスリット供試体の場合と同様に、含浸材を規定量塗布することで吸水抑制効果が確認できた。

(3)実ひび割れによる実験では模擬ひび割れの実験結果のように明らかな透水抑制効果は確認できなかったが、含浸材を塗布した場合、同程度のひび割れ幅を持つブランク供試体の透水量を下回り、供試体によっては明らかな透水抑制

効果が確認できるものもあった。

(4)実ひび割れに含浸材を塗布した後の撥水状況の確認ではひび割れに沿って含浸材が浸透し、撥水層を形成している様子が確認できた。しかし、その撥水層の分布は一様ではなく、ひび割れの奥深くに偏ったものであった。

今回行った一連の実験では規定量の塗布のみでは、実ひび割れ全体を改質することは難しいという結果であった。しかし、ひび割れの奥深くまで含浸材が浸透し改質されていることも確認できたため、実ひび割れに鉛直下向きに含浸材を塗布する場合、複数回塗布を重ねるなど、塗布量、塗布方法を検討することでひび割れ内部の全域において改質効果を発揮させることができ、一連の実験の結果以上にひび割れを改質できる可能性がある。

また、一般的には注入、充填等の補修は必要とされないひび割れ³⁾や、注入、充填等が困難であるひび割れに対して含浸材を塗布することで、ある程度の劣化因子の侵入抑制効果は期待できると考えられる。含浸材は施工が容易であり、塗布後もその外観にほぼ変化がないことから、使用しやすい材料である。含浸材を塗布することで高い劣化因子の侵入抑制効果が期待できるのは、既往の研究から明らかであるため、より細かな適応性の範囲を明確にすることが今後、必要であろう。

参考文献

- 1) コンクリートライブラリー119, 表面保護工法設計施工指針 (案), 土木学会, 2005.4
- 2) 権代由範, 月永洋一, 庄谷征美, 阿波稔: 表面含浸材によるコンクリートのひび割れ閉塞効果に関する実験的検討, セメント・コンクリート論文集, No.62, pp.485-492, 2008
- 3) コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2009-, (社)日本コンクリート工学協会, 2009.3