

# 論文 材齢初期に発生したひび割れに対するシラン系表面含浸材の適用方法の検討

東 洋輔\*1・本庄 清司\*2・原 健悟\*1・宮里 心一\*3

**要旨：**ひび割れに対してシラン系表面含浸材を塗布する補修方法について検討するため、コンクリート供試体に導入したひび割れに対して、含浸材をハケにより塗布あるいはスプレーにより噴射し、含浸材の含浸深さを評価した。さらに、塩水噴霧暴露を行い、塩分の浸透抑制効果を評価した。その結果、幅が0.2mmのひび割れに対して、含浸材をハケにより塗布するよりも、スプレー噴射する方が、塩分浸透を抑制できることを確認した。また、ひび割れ幅が0.1~0.4mmで、ひび割れに沿って2cm間隔で噴射すれば、スプレーの噴射方向の相違（上、横、下）に関わらず含浸材は一樣に含浸することがわかった。

**キーワード：**壁高欄、ひび割れ、シラン系表面含浸材、スプレー噴射

## 1. はじめに

山間部における高速道路の壁高欄などのRC構造物は、冬期に凍結防止剤を散布するため、発生したひび割れに塩化物イオンが浸入し、耐久性が低下することが懸念される。また、交通規制が伴う床版取替え工事において場所打ちで壁高欄を施工する場合、早強性のコンクリートを一般的に使用するため、ひび割れが発生することがある。そのため、ひび割れに対しては、その幅を管理し、必要に応じて補修を施すことが求められる。一般には、0.2mm以上の幅のひび割れが発生すると、補修する場合がある。しかしながら、部材の収縮が収束する前にひび割れの補修を行えば、増幅により再開口したり、補修した箇所ではない新たな箇所でもひび割れが発生することもある。一方で、収縮が収束するまで補修を行わない場合には、ひび割れ内部に腐食因子が浸透してしまう可能性がある。そのため、ひび割れが発生した段階で、収縮に伴う応力を拘束しない補修を施すことが望まれる。

そこで本検討では、ひび割れに対してシラン系の表面含浸材を塗布することに着目した。ここで「ひび割れに表面含浸材を塗布する」とは、ハケによる塗布やスプレーによる噴射によって、ひび割れ内部に表面含浸材を浸透させることを意味する。久保らは、ひび割れに対して、シラン系表面含浸材をスプレー噴射し、吸水試験により、水分の浸透を抑制できることを示している<sup>1)</sup>。著者らはこれまでに、0.2あるいは0.4mmのひび割れに対してシラン系表面含浸材を塗布あるいはスプレー噴射する方法を検討してきた。具体的には、スプレー噴射する場合の間隔が含浸深さに及ぼす影響を把握し、加えて塩水噴霧暴露を12週間行い、塩分浸透抵抗性を評価した。結果から、材齢初期に発生した約0.2mmの幅のひび割れに対し

て、シラン系表面含浸材をスプレー噴射する方法で補修すれば、それ以降の塩分の浸透を抑制でき、仮にひび割れ幅が進展し補修を行う時期を迎えても、エポキシ樹脂の加圧注入によりひび割れ部を充填し閉塞させることが可能であることを確認した<sup>2)</sup>。本論では、塩分の浸透について、塩水噴霧暴露期間を24週間まで行った結果を加える。また、スプレー噴射の施工条件を変更し、これまでの検討のひび割れ幅より狭い0.1mmのひび割れ幅を対象に、施工条件が厳しいと想定される下面からスプレー噴射した場合の含浸材深さの評価を行った内容を包括的に示す。

## 2. 実験概要

本検討では、ひび割れを有する供試体を作製し、ひび割れに対してシラン系の表面含浸材を塗布した。その後、塩水噴霧暴露を行った。

### 2.1 使用材料

本検討で用いた使用材料を表-1に示す。供試体はコンクリート製とし、セメントは早強ポルトランドセメントとした。表面含浸材はアルキルアルコキシシラン系としたが、ハケで塗布するタイプとスプレーにより噴射するタイプの2種類を用いた。

### 2.2 コンクリート配合

コンクリートの配合を表-2に示す。配合は床版取替え時の壁高欄を想定し、早強ポルトランドセメントを用いて、呼び強度30（材齢7日）とした。

### 2.3 実験要因と水準

実験要因と水準の一覧を表-3に示す。実験要因はひび割れの発生位置、ひび割れ幅、表面含浸材の塗布方法、噴射間隔とした。壁高欄に発生する主なひび割れ位置は、

\*1 オリエンタル白石（株） 本社技術本部技術研究所 修士(工学)（正会員）

\*2 （株）熊谷組 本社土木事業本部 博士(工学)（正会員）

\*3 金沢工業大学 工学部環境土木工学科教授 博士(工学)（正会員）

表-1 使用材料

材料名	記号	備考
セメント	C	早強ポルトランドセメント, 密度:3.13g/cm <sup>3</sup> ,
細骨材1(細骨材2)	S1(S2)	川砂, 表乾密度2.58g/cm <sup>3</sup> , (砕砂, 表乾密度2.50g/cm <sup>3</sup> )
粗骨材1(粗骨材2)	G1(G2)	川砂利, 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup> , (碎石, 表乾密度2.66g/cm <sup>3</sup> )
表面含浸材	塗布型	主成分:アルキルアルコキシシラン, 塗布タイプ
	噴射型	主成分:アルキルアルコキシシラン, スプレータイプ

表-2 コンクリートの配合

G <sub>max</sub> (mm)	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
					W	C	S1	S2	G1	G2	Ad
25	12±2.5	4.5±1.5	47	43.7	168	358	531	233	689	303	3.58

表-3 実験要因と水準

名称	ひび割れ幅	ひび割れの発生位置	表面含浸材の塗布方法	スプレー噴射の噴射間隔	表面含浸材の塗布時期
0.2-無塗布	0.2mm	側面	塗布しない	—	ひび割れ発生後
0.2-ハケ			ハケによる塗布	—	
0.2-噴射-2cm			スプレーによる噴射	2cm	
0.2-噴射-4cm				4cm	
0.2-噴射-2cm-天				天端面	
0.4-噴射-2cm	0.4mm	側面	ハケによる塗布	—	ひび割れ発生前
ハケ-後0.2	0.2mm				
0.1-噴射-2cm下	0.1mm	下面	スプレーによる噴射	2cm	ひび割れ発生後

「側面」, 「天端面」の2種類であるが, 著者らは現場に即した施工と室内で行った施工とでは, 含浸深さに差が生じる可能性があることを示唆している<sup>3)</sup>。そのため, 現場を想定して, 側面あるいは天端面に対して塗布する際のひび割れに対するスプレーの噴射方向の相違(横, 下)が, 表面含浸材の含浸深さに与える影響を評価した。ひび割れ幅は, 補修の閾となる「0.2mm」とし, 比較用として「0.4mm」を用意した。ひび割れに対する表面含浸材の塗布方法は, 「ハケにより塗布する方法」あるいは「スプレーにより噴射する方法」とし, 「無塗布」を比較用とした。また, ひび割れが発生する前に表面含浸材を塗布した場合を想定し, 表面含浸材を含浸させた後にひび割れを導入する水準を用意した。スプレーにより噴射する方法は, 噴射間隔による影響を評価するため, ひび割れに沿って「2cm」あるいは「4cm」の2種類とした。今回, 壁高欄を想定した水準を用意し, 含浸深さと塩分の浸透深さを評価したが, 施工条件が厳しいと想定される床版下面等へのスプレー噴射による含浸深さを把握するため, 壁高欄の想定とは異なるが, 幅0.1mmのひび割れに対して, 下側から上向きに噴射する水準を用意した。

#### 2.4 供試体概要

供試体の概要を図-1に示す。供試体の寸法は200mm×200mm×100mmの平板とした。壁高欄の側面や天端面に生じるひび割れを再現するため, ひび割れ面が側面あるいは天端面となるように, 200×200mmの面を型枠側面や打込み面にした。初期養生は, 20℃環境下で湿潤養生マットにより3日間の養生を行った後に脱型し,

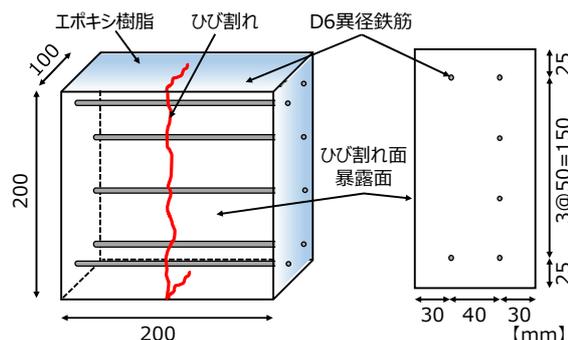


図-1 供試体概要

20℃, 60%RH環境下で気中養生を行った。その後, 材齢25日にひび割れを導入し, 材齢26日にひび割れ面以外の5面をエポキシ樹脂にて被覆し, 材齢28日に表面含浸材を塗布あるいは噴射し, 2週間の気中養生を20℃, 60%RH環境下で行った。なお, 表面含浸材をひび割れ導入前に塗布する水準は, ひび割れの導入を表面含浸材塗布後の材齢35日に行った。供試体には, ひび割れ幅の制御とひび割れの貫通を防止する目的で, D6の異径鉄筋を2段配置した。

下面施工における表面含浸材の浸透性を評価する実験では, NEXCO試験方法426-2004「ひび割れ含浸材料の試験方法」に準拠し100×100×400mmの供試体を作製した。

#### 2.5 ひび割れの導入方法

ひび割れの導入方法の概要を図-2に示す。ひび割れ幅はひび割れ面に設置したパイ型ゲージにより把握した。ひび割れの導入は, ひび割れ導入前と導入後とで載荷治

具の設置位置を変えて載荷した。除荷後、ひび割れ幅をクラックスケールで測定し、所定のひび割れ幅であることを確認した。以上の手順によって、ひび割れの位置がひび割れ面中央部、ひび割れ深さが70mm、ひび割れ幅が0.2mmあるいは0.4mmとなるひび割れを供試体に導入した(図-3)。

下面施工における表面含浸材の浸透性を評価する実験では、NEXCO 試験方法 426-2004 の方法で100×100×400mmの供試体を曲げ試験により割裂し、スパーサーのアルミ箔と拘束治具を用いて、幅が0.1mmとなるひび割れを供試体中央部に導入した。

## 2.6 表面含浸材の塗布・噴射方法

材齢28日に、“0.2-無塗布”を除く供試体のひび割れ面に、塗布型の表面含浸材をハケにより塗布した。その際、ひび割れに表面含浸材が含浸しないように、マスキングテープ(幅5mm)にて保護した。塗布量は表面含浸材の標準塗布量の200g/m<sup>2</sup>とした。その後、ひび割れに対してハケあるいはスプレー噴射により表面含浸材を塗布した。ハケにより塗布する水準では、ひび割れが表面含浸材で覆われる程度(幅:約20mm)で塗布した(図-4a)。この際、供試体に塗布した総量は約5gで、施工面積を幅20mm長さ200mmとすると面積あたりの塗布量は約1250g/m<sup>2</sup>であった。次に、ひび割れに対してスプレーにより噴射する水準では、ひび割れに沿って2cmあるいは4cm間隔で垂直に噴射した(図-4b)。噴射は1箇所あたり2秒間行った。スプレー噴射の吐出量は0.5g/秒であったため、供試体に噴射した総量は、2cm間隔で噴射した場合で10g、4cm間隔で噴射した場合で5gであった。噴射された表面含浸材はひび割れを中心に約20mmの幅でひび割れから溢れるように充填され、施工面積を幅20mm長さ200mmとすると、面積あたりの塗布量は2cm間隔で約2500g/m<sup>2</sup>、4cm間隔で約1250g/m<sup>2</sup>であった。なお、ひび割れへ表面含浸材を塗布する際には、スプレーの噴射方向の相違の影響を把握するため、ひび割れ面が側面あるいは天端面となるように静置して行った。

下面施工における表面含浸材の浸透性を評価する実験では、供試体の下面からスプレー噴射を2cm間隔で5箇所に対して行い、1箇所あたり2秒間行った。そのため、供試体に噴射した総量は5gで、施工面積は幅20mm長さ100mmであったため、面積あたりの塗布量は約25000g/m<sup>2</sup>であった。

## 2.7 塩水噴霧暴露

塩分浸透抵抗性を評価するため、材齢42日から塩水噴霧による暴露を行った。暴露は、20℃、95%RHで3% NaCl水溶液を24時間噴霧した後、20℃、50%RHで60時間乾燥する乾湿繰返し暴露を行った。供試体はひび割れ面が所定の側面あるいは天端面となるように静置した。

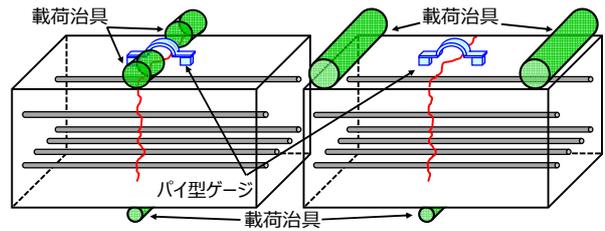


図-2 ひび割れ導入方法

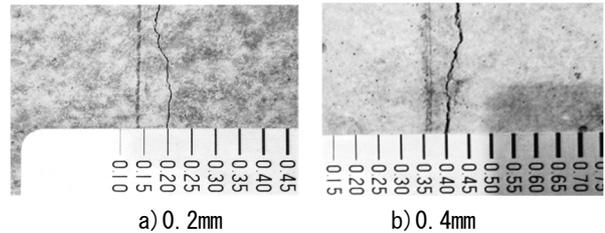


図-3 供試体ひび割れ面に導入したひび割れ状況

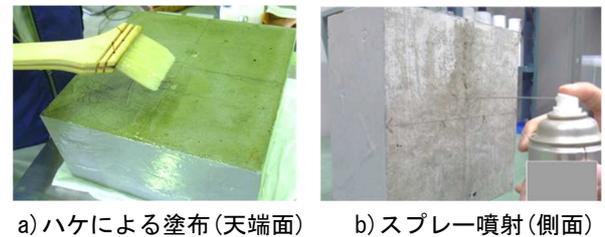


図-4 表面含浸材の施工状況

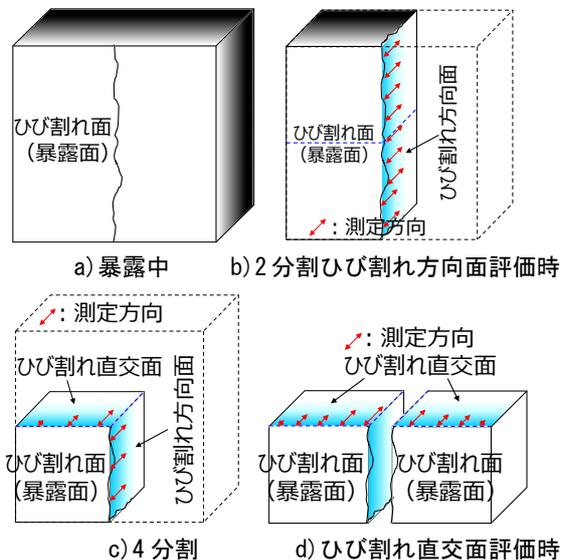


図-5 評価方法

暴露期間は全ての水準で4週間とし、“0.2-無塗布”、“0.2-ハケ”および“0.2-噴射2cm”は12週、“0.2-無塗布”、“0.2-ハケ”、“0.2-噴射2cm”、“0.2-噴射-2cm天”および“ハケ-後0.2”は24週間とした。

## 3. 測定概要

図-5に評価方法の概要を示す。暴露が終了した供試体は、ひび割れに沿って割裂し(図-5b)、さらにひび割

れの直交方向で割裂した(図-5c)。表面含浸材の含浸深さや塩分浸透深さは、4分割した供試体の割裂面を用いて評価した。

### 3.1 表面含浸材の含浸深さおよび塩分浸透深さ

表面含浸材の含浸深さは、4分割した供試体の断面に対して水を噴霧し、撥水した箇所について、ひび割れ面からの深さを測定した(図-6a)。下面からの表面含浸材の浸透性を評価する実験では、表面含浸材を噴射して1週間後に拘束治具を解体し、割裂面に水を噴霧し、撥水した箇所について、下面からの深さを測定した。

塩分浸透深さは、4分割した供試体の表面含浸材が浸透した撥水箇所に対して0.1Nの硝酸銀水溶液を噴霧した。硝酸銀水溶液の噴霧の結果、塩分浸透がないと判断できる赤褐色領域がまばらではあるが判定できた。そのため、赤褐色に呈色しなかった領域を塩分浸透箇所と扱い、ひび割れ面からの深さを測定した(図-6b)。

含浸深さおよび浸透深さの評価は、1面に対して9箇所行い、供試体2個から得られた結果を平均した。

## 4. 実験結果

### 4.1 表面含浸材の含浸深さ

ひび割れ直交面で計測した表面含浸材の含浸深さについて、図-7に暴露4週の結果を示す。図中横軸の0cmはひび割れ位置を示す。表面含浸材の塗布方法の影響について、ひび割れ幅0.2mmの水準で比較する。ひび割れ導入前に表面含浸材を塗布した“ハケ-後0.2”は平均3.3mmと一様に含浸していた。これに対して、ひび割れ部にハケで塗布した“0.2-ハケ”はひび割れ位置で11.5mm、2cm間隔で噴射した“0.2-噴射-2cm”は18.0mmとなり、ハケによる塗布でもひび割れ内部へ含浸するものの、噴射による力がかかるとより含浸し易いことがわかる。次に、スプレーにより噴射する場合の補修方法について、“0.2-噴射-2cm”を基準に、ひび割れ幅、噴射間隔および塗布方向について比較する。ひび割れ幅が0.4mmの“0.4-噴射-2cm”は、ひび割れ部の含浸深さが49.0mmと最も大きくなった。これは、開口が大きいため、物理的に含浸材が浸透しやすくなったと推察する。噴射間隔は2cm間隔の“0.2-噴射-2cm”と4cm間隔の“0.2-噴射-4cm”は同程度であった。これは、噴射間隔が2cmと4cmとでは浸透深さ方向に対する浸透力には影響がなかったためと推察される。噴射する際の塗布方向は、側面に対して行う“0.2-噴射-2cm”よりも天端面に対して行う“0.2-噴射-2cm-天”の方が含浸深さは一様に大きくなった。これは、重力の影響を受けて、天端面の方がより浸透しやすい環境であったと推察される。

ひび割れ直交面で計測した表面含浸材の含浸深さについて、暴露12週の結果を図-8に、暴露24週の結果



a) 水による撥水状況 b) 硝酸銀水溶液噴霧状況

図-6 深さ評価状況例

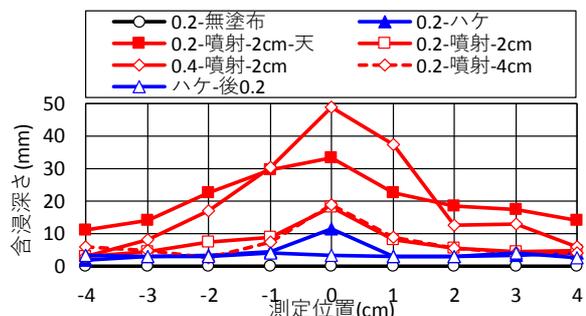


図-7 表面含浸材含浸深さ(暴露4週, ひび割れ直交面)

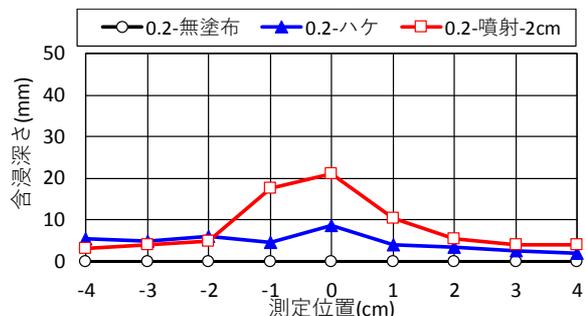


図-8 表面含浸材含浸深さ(暴露12週, ひび割れ直交面)

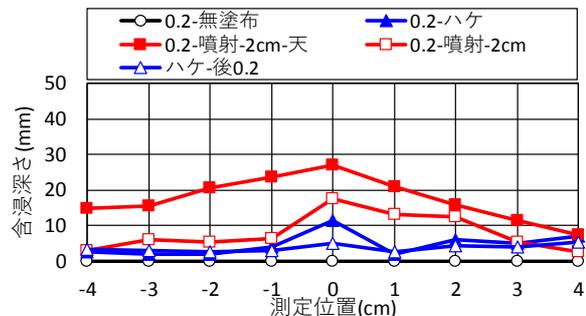


図-9 表面含浸材含浸深さ(暴露24週, ひび割れ直交面)

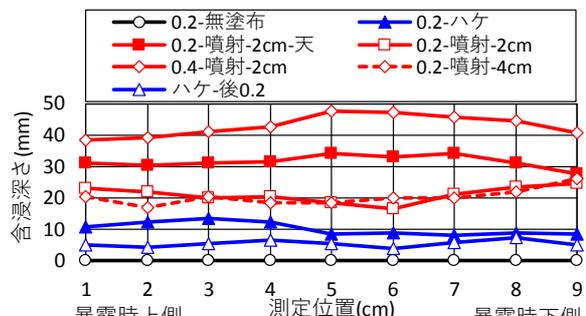


図-10 表面含浸材含浸深さ(暴露4週, ひび割れ方向面)

を図-9に示す。含浸深さは暴露期間に関わらず水準毎で同様な結果を示しており、表面含浸材の施工精度のば

らつきがなく安定していた。また、塩水噴霧暴露を経ても撥水効果を保有していることがわかった。

図-10 に暴露 4 週におけるひび割れ方向面の表面含浸材の含浸深さを示す。ひび割れ方向面の含浸深さは、図-7 で示したひび割れ位置の含浸深さの値と同程度でかつ一様で、暴露期間に関わらず同様な傾向であった。そのため、ひび割れは供試体に対して一様に導入されていたと推察される。次に噴射間隔について、2cm と 4cm とで同程度であった。これは、表面含浸材が深さ方向とひび割れ方向に広がりながら充填され、噴射間隔が 4cm でも一様に撥水層を形成できたものと推察される。

#### 4.2 塩分浸透深さ

ひび割れ直交面で計測した塩分浸透深さについて、図-11 に暴露 4 週の結果を示す。図中横軸の 0cm はひび割れ位置を示す。表面含浸材の塗布方法の影響について、ひび割れ幅 0.2mm の水準と比較する。ひび割れ導入前に表面含浸材を塗布した“ハケ-後 0.2”はひび割れ位置で 52.0mm と大きく浸透していた。これは、浸透箇所に対する浸透可能な領域の割合について、無塗布は面で浸透するが“ハケ-後 0.2”はひび割れ部のみから浸透する形となり、毛細管現象のように浸透の駆動力が卓越して大きくなったものと推察される。次に、“ハケ-後 0.2”に対して、ひび割れ部にハケで塗布した“0.2-ハケ”および 2cm 間隔で噴射した“0.2-噴射-2cm”は何れも 0.0mm となった。しかしながら、暴露 12 週の結果(図-12)から、ひび割れ部にハケで塗布した“0.2-ハケ”の浸透深さは、ひび割れ位置で 32mm であった。一方で、2cm 間隔で噴射した“0.2-噴射-2cm”は浸透深さが 0.0mm であった。さらに、暴露 24 週の結果(図-13)から、2cm 間隔で噴射した“0.2-噴射-2cm”は浸透深さが 0.0mm であるのに対して、他の水準はひび割れ部で 80mm に達し、ひび割れ直角方向にも広がっていた。これは、図-7~図-9 の表面含浸材の含浸深さの結果から、“0.2-噴射-2cm”は含浸深さが約 20mm であり、“0.2-ハケ”の約 10mm の 2 倍と大きい。そのため、表面含浸材が表面のみならずひび割れ内部に対してより含浸したことで、コンクリートとしての固体の表面張力が内部まで低い状態となるため、塩水とコンクリートとの接触角が大きくなる撥水効果が付与され、塩水がひび割れ内部へ浸入することを抑制したものと推察される。また、“0.2-ハケ”では含浸深さが浅く、継続的に供給される塩水の一部が含浸深さを越えた範囲へ徐々に浸透したものと考えられる。

図-11 からひび割れにスプレーにより噴射する場合の補修方法について、“0.2-噴射-2cm”を基準に、ひび割れ幅、噴射間隔および塗布方向について比較する。ひび割れ幅が 0.4mm の“0.4-噴射-2cm”は、浸透深さが 76.0mm と大きくなった。“0.4-噴射-2cm”は表面含浸材が水準の

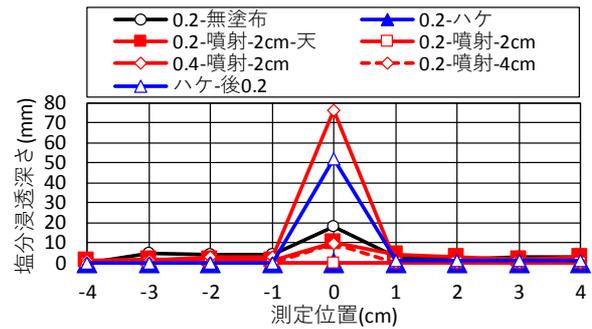


図-11 塩分浸透深さ (暴露 4 週, ひび割れ直交面)

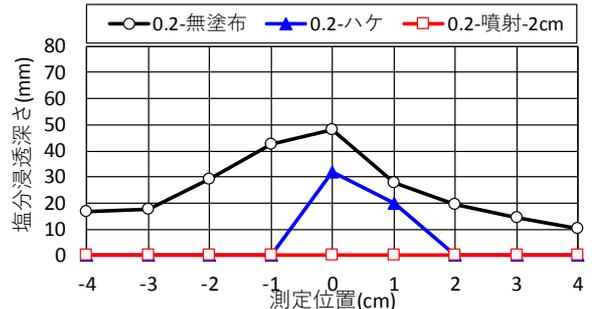


図-12 塩分浸透深さ (暴露 12 週, ひび割れ直交面)

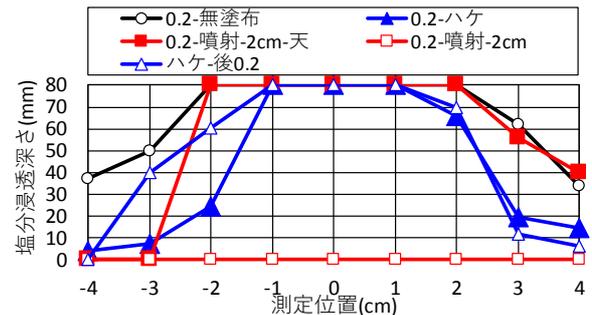


図-13 塩分浸透深さ (暴露 24 週, ひび割れ直交面)

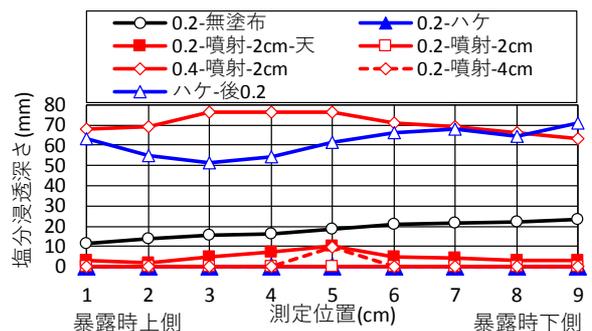


図-14 塩分浸透深さ (暴露 4 週, ひび割れ方向面)

中で最も含浸していたが、ひび割れ幅が 0.4mm の場合には、コンクリートの表面張力の低下による塩水の浸透抑制効果が発揮できないことが分かる。噴射間隔について、4cm 間隔で噴射した“0.2-噴射-4cm”はひび割れ部で塩分が浸透する結果であった。そのため、噴射間隔が大きくなると、含浸材の濃度が一様ではなくなり、塩分の浸透抑制効果にむらが発生した可能性が示唆される。噴射する際の塗布方向は、側面に対して行う“0.2-噴射-2cm”よ

りも天端面に対して行う“0.2-噴射-2cm-天”の方が、大きくなる結果であった。これは、ひび割れ面が水平面の場合、暴露中の塩水が天端面に湛水し易く、かつ重力の影響を受けてひび割れの深さ方向に浸透し易くなったことなどが影響したものと推察される。また、本試験では供試体の暴露面以外をエポキシ樹脂にて覆ったため、湛水した塩水がひび割れ内部へのみ浸透したことも影響したと考えられる。したがって、スプレー噴射によってひび割れ補修を行った場合、塩水が湛水する条件下では有効ではないが、壁高欄に発生するひび割れは天端面および両側面にひび割れを有するため、塩水が湛水する環境ではないと想定される。

図-14 に暴露 4 週におけるひび割れ方向面の塩分の浸透深さの結果を示す。ひび割れ方向面の塩分浸透深さは、図-11 で示したひび割れ位置の浸透深さの値と同程度でかつ一様であった。この傾向は、暴露期間に関わらず同様な傾向であった。そのため、ひび割れは供試体に対して一様に導入されていたと推察される。また、4cm 間隔で噴射した“0.2-噴射-4cm”は、一部で 9.5mm と塩分が浸透していた。これは、図-10 より表面含浸材の含浸深さが一様であったものの、噴射間隔が 4cm の場合には含浸材の濃度が一様ではなく、塩分の浸透抑制効果にむらが発生していた結果であると推察される。

#### 4.3 下面施工における表面含浸材の浸透性

図-15 に、幅 0.1mm のひび割れに対して下面からスプレー噴射した“0.1-噴射-2cm 下”の含浸深さ試験結果を示す。結果から、含浸深さは 35mm であり、図-7～図-9 で示した“0.2-噴射-2cm”の約 20mm よりも大きくなる結果であった。これは、下面からの施工であっても、スプレーによる噴射作用によってひび割れ内部へ直接塗布することができたこと、ひび割れ幅が“0.2-噴射-2cm”よりも“0.1-噴射-2cm 下”の方が小さくなるため、毛細管現象の駆動力が大きくなり、表面含浸材の浸透する駆動力が大きくなったことが影響したものと考えられる。したがって、表面含浸材をスプレー噴射する手法は、施工方向に関わらず、ひび割れ幅が補修の閾となる 0.2mm 以下の 0.1mm の場合でも、ひび割れ内部へ表面含浸材を塗布することが可能であると判断できる。

#### 5. まとめ

ひび割れに対してシラン系表面含浸材を塗布あるいは噴射する方法が、塩分浸透を抑制する効果について把握した。検討から得られた結果を以下に示す。

- (1) 幅が 0.2mm のひび割れに対して、表面含浸材をハケにより塗布すると、塩水噴霧暴露 4 週では塩分の浸透を抑制するが、それ以降の暴露において塩分の浸

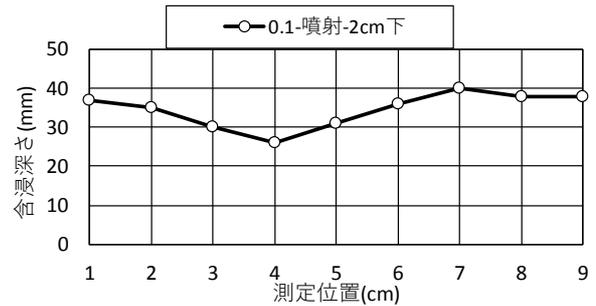


図-15 “0.1-噴射-2cm 下”の表面含浸材含浸深さ

透を確認した。一方、表面含浸材をスプレー噴射する場合、塩水噴霧暴露 24 週時点で、塩分は全く浸透しておらず、ハケによる塗布よりも遮塩効果は高かった。

- (2) 表面含浸材をスプレー噴射する場合、噴射の間隔は 4cm よりも 2cm の方が、ひび割れ幅は 0.4mm よりも 0.2mm の方が、天端面より側面の方が、塩分の浸透を抑制した。
- (3) 表面含浸材をスプレー噴射する場合、下面からの施工であっても表面含浸材はひび割れ内部に含浸した。また、ひび割れ幅が 0.1mm の場合でも表面含浸材はひび割れ内部に含浸した。

以上より、材齢初期に発生した約 0.1mm の幅のひび割れに対して、シラン系表面含浸材をスプレーにより噴射する手法で補修すれば、施工方向に関わらず含浸させることができるため、それ以降の塩分の浸透を抑制でき、本材料はひび割れを拘束することもないため、収縮に伴う新たなひび割れの発生の懸念もなく、仮にひび割れ幅が進展し補修を行う時期を迎えても、エポキシ樹脂の加圧注入により補修が可能な材料であるため、耐久性の観点で有効な手段になると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 久保善司, 阿部花香, 菊地創太: ひび割れ部におけるシラン系含浸材の適用に関する実験的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-217, pp.433-434, 2016.9
- 2) 東 洋輔, 本荘清司, 高橋謙一, 原 健悟, 宮里心一: ひび割れに対するシラン系表面含浸材の適用方法の検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.18, pp.109-114, 2018.10
- 3) 本荘清司, 宮里心一, 長瀬竜也: シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートへの塩化物イオン浸透に関する一考察, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.13, pp.125-130, 2013.11