

施工時にシラン系表面含浸材の含浸深さを非破壊で管理する方法の開発に向けての基礎実験

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○遠藤 裕丈
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 安中新太郎

北海道の道路橋では、コンクリートの凍・塩害抑制対策としてシラン系表面含浸材が広く使用されている。現場施工で管理されるのは主に塗布量で、部材における含浸深さ（吸水防止層の厚さ）は直接的には管理されていない。含浸深さは部材からコアを採取することで把握できるものの、部材の損傷や、多大な時間・労力を要する等、効率的な管理方法とは言い難い。そこで、実際の工事で使用されたコンクリートを使用し、シラン系表面含浸材の大凡の含浸深さを非破壊で簡易に管理・把握できる技術の開発に向けての基礎実験を行った。その結果、検討している技術が、現場でも簡易に管理・把握できるものである可能性が示された。

キーワード：シラン系表面含浸材、含浸深さ、非破壊、管理

1. はじめに

冬期に凍結防止剤が散布される北海道の道路橋では、コンクリートの凍・塩害抑制対策として、コンクリート表層に水や塩化物イオンの侵入抑制機能を付与するシラン系表面含浸材（以下、シランと記す）が広く使用されている¹⁾。シランを適切に塗布することで、少なくとも10年以上、効果が持続することも確認されている²⁾。

ただし、高い効果を得るには適切な材料を選定し、深く含浸させて厚い吸水防止層を形成させる必要がある。しかし、施工時に管理されるのは主に塗布量で、部材における含浸深さ（吸水防止層の厚さ）は直接的には管理されていない。含浸深さの把握には、一般に部材からコアを採取し、コアに水を噴霧する方法がとられているが、部材や鉄筋の損傷や、作業に多大な時間と労力を要するといった課題があるため、効率的な方法とは言い難い。

写真-1に示すように、シランは深さ方向に加えてコンクリート表面に沿った方向（以下、表面方向と記す）へ

も含浸する特徴がある。このことに着目し、著者らは図-1に示すように、コンクリート表面の一部に無塗布範囲を設け、表面方向への含浸距離を外観目視で把握することにより、部材への含浸状況や含浸深さを、工事期間中に非破壊で簡易に管理・把握できる技術の開発に取り組んでいる³⁾。

その一環として、図-1の概念の妥当性を現場で検証するため、実際の工事で使用されたコンクリートを用いた基礎実験を行った。

2. 実験概要

(1) コンクリート配合・材料

ここでは、北海道喜茂別町内（図-2）の道路橋で行われた地覆打換え工事で使用されたコンクリートの一部を実験に供した。表-1にコンクリート配合を示す。水セメント比は54.1%で、セメントの種類は早強ポルトランド

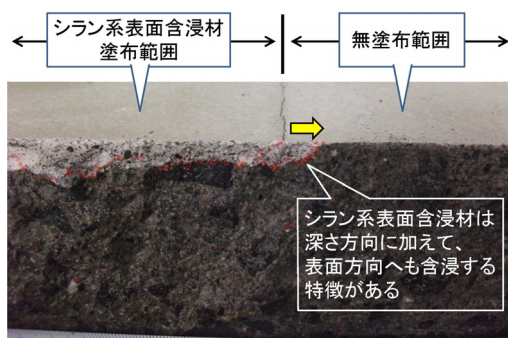


写真-1 シラン含浸状況の一例（割裂面に水を噴霧）

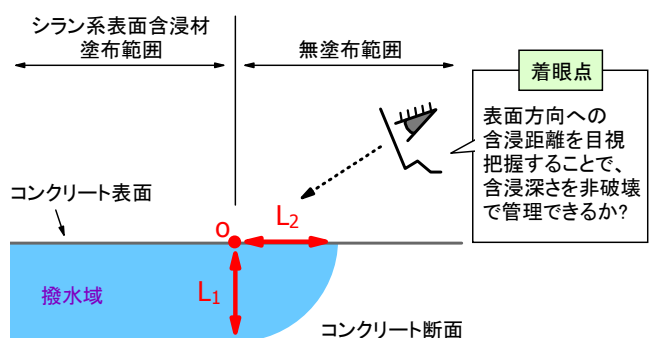


図-1 本研究のねらい



図-2 喜茂別町の位置

表-1 コンクリート配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						
		水	セメント	膨張材	細骨材		粗骨材	
					(1)	(2)	(3)	(4)
54.1	41.8	160	296	20	538	231	650	433

備考：セメントは早強ポルトランドセメントを使用

- (1)は、喜茂別町産砕砂（密度2.65g/cm³、粒径5mm以下）
- (2)は、共和町産陸砂（密度2.65g/cm³、粒径1.2mm以下）
- (3)は、喜茂別町産砕石（密度2.68g/cm³、粒径5～20mm）
- (4)は、喜茂別町産砕石（密度2.68g/cm³、粒径20～40mm）

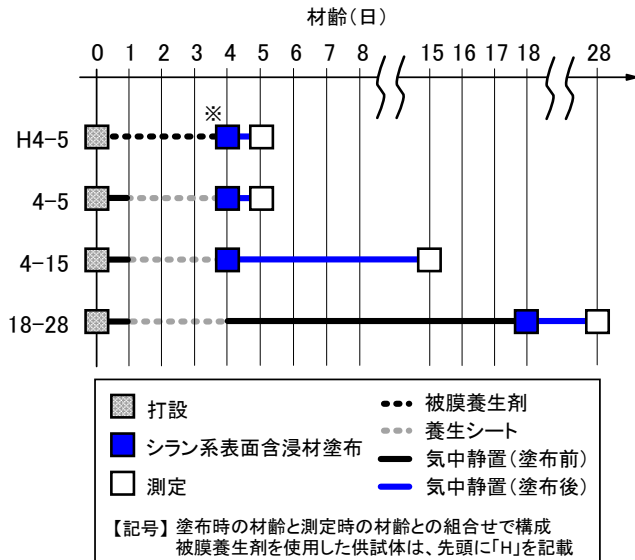


図-3 作業工程

セメントである。細骨材は喜茂別町産の砕砂（密度2.69g/cm³）と共和町産の陸砂（密度2.58g/cm³）、粗骨材は喜茂別町産の砕石（密度2.65g/cm³）である。粗骨材の最大粒径は40mmである。打設時期は2016年6月である。

(2) 作業工程・測定

打設、養生、シランの塗布は工事現場ヤード内で行った。供試体の寸法は100mm×100mm×400mmとした。種々の作業工程の下で図-1の概念の妥当性を調べるため、作業工程は図-3のように4パターンを設定した。

養生方法は、被膜養生剤（打設後の水分蒸発を防ぐ目的でコンクリート表面に噴霧される液状物）を施す方法と、養生シートで供試体を覆う方法の2通りとした。なお、現場での地覆打換え工事では、養生シートが使用さ

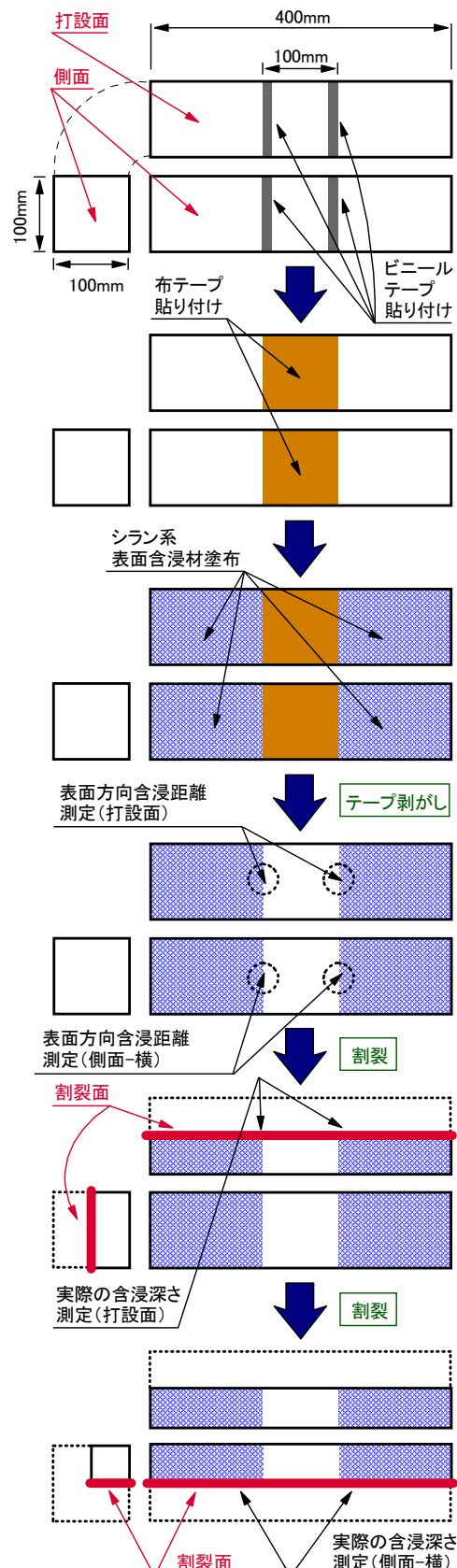


図-4 ケース1におけるシラン塗布および測定手順

れている。養生は3日間行い、被膜養生剤はシラン塗布前にブラシやディスクサンダー等で除去した。

シランの塗布は、養生終了直後もしくは養生終了から約2週間後に行った。図-4、5にシランの塗布手順を示す。

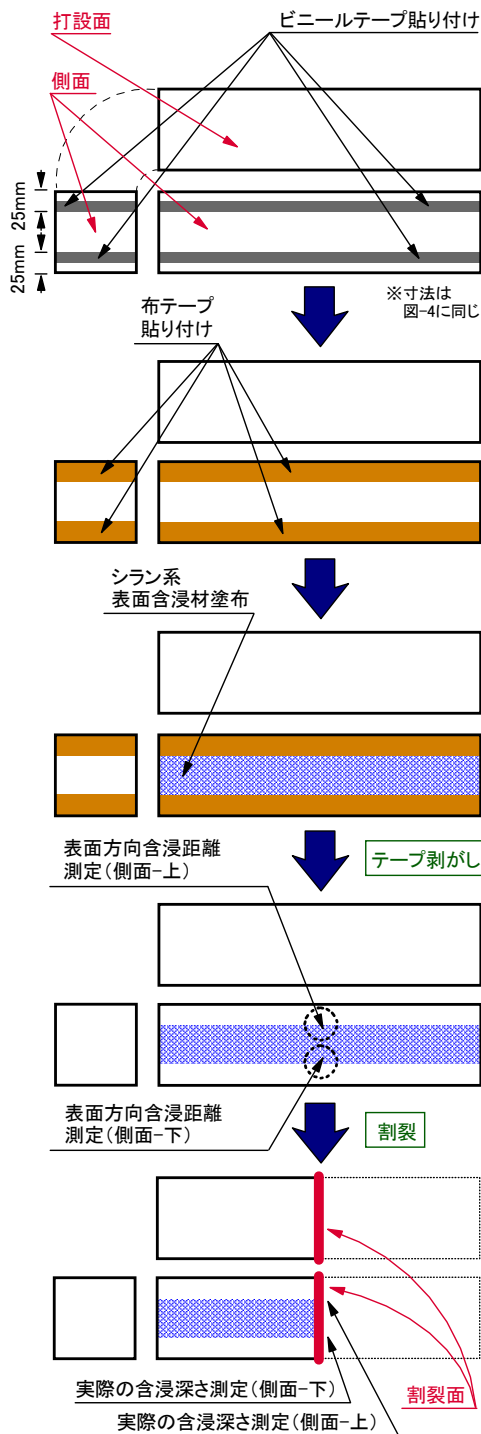


図-5 ケース2におけるシラン塗布および測定手順

ここでは塗布面の向きおよび表面方向の向きにも着目し、2種類の供試体を作製した。ケース1として測定する含浸距離（図-1の L_2 に対応）を打設面および側面の供試体軸方向（以下、側面-横と記す）としたもの、ケース2として測定する含浸距離を側面の上下方向（以下、それぞれ、側面-上、側面-下と記す）としたものをそれぞれ準備した。無塗布の範囲をテープで覆った後、所定の塗布面にシランを塗布した。写真-2、3に塗布状況を示す。シランは地覆打換え工事で使用されたものと同じ製品を使用した。このシランは無溶剤系で、北海道開発局道路設計



写真-2 テープ貼りおよび塗布状況（ケース1）



写真-3 塗布状況（ケース2）



写真-4 塗布後の気中静置状況

要領の仕様¹⁾を満たしている。塗布量は 400g/m^2 である。

塗布の翌日にテープを剥がし、1日もしくは約10日間、現場と同じ気中環境下に曝した後（写真-4）、表面方向含浸距離（図-1の L_2 ）を調べた。写真-5に示すように、塗布/無塗布の境界近傍の無塗布範囲側の一部をディスクサンダーで10秒間ほどケレン処理を施し、表面薄層を

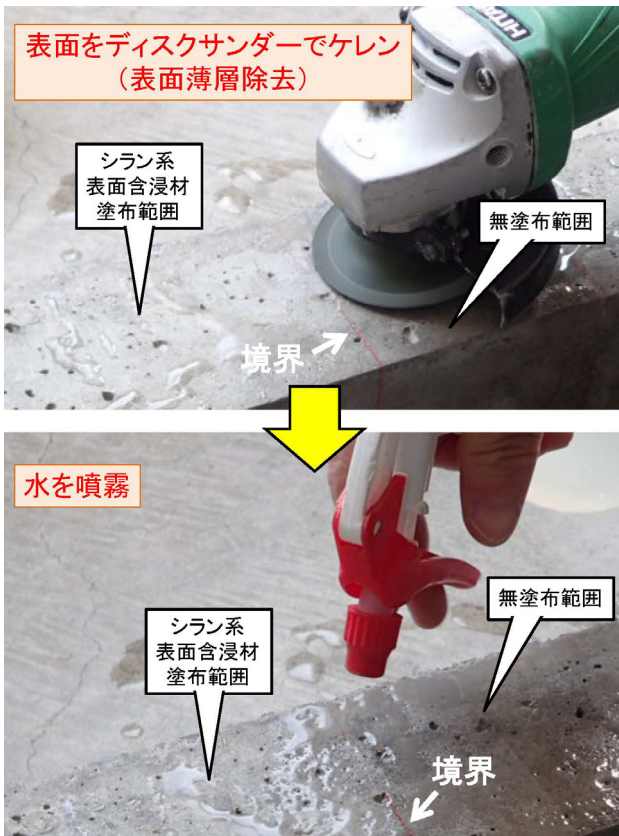


写真-5 表面方向含浸距離の測定状況 (ケース1)

除去した後、水を噴霧して撥水を呈した範囲を外観目視で調べ、この範囲をシランの含浸部分と捉えて、表面方向含浸距離を測定した。次に、供試体を割裂して、割裂面に水を噴霧して実際の含浸深さ (図-1の L_1) を測定し、表面方向含浸距離の測定結果との比較を行った。いずれも測定は5回行い、その平均を測定値とした。割裂する位置は図-4、5に示す通りである。

3. 実験結果・考察

(1) 表面方向含浸距離・実際の含浸深さ

ケース1の打設面および側面-横における表面方向含浸距離と含浸深さの関係を図-6、7に示す。全体的に、表面方向含浸距離が大きい供試体は、含浸深さも大きい傾向にあった。その一方で、打設面に塗布した供試体の一部では、表面方向含浸距離が含浸深さよりも最大で約4倍大きい結果も示された。また、縦軸に示す含浸深さに着目すると、打設面では最大3~4mmであったのに対し、側面では最大8mm程度となり、含浸深さは側面の方が大きかった。

このような結果は、ブリーディングの影響によるものとみられる。一般に、打設面の直下にはブリーディング水の滞留による脆弱層が形成されやすく、一部のシランはこの層を介して表面方向へ大きく含浸している³⁾こと

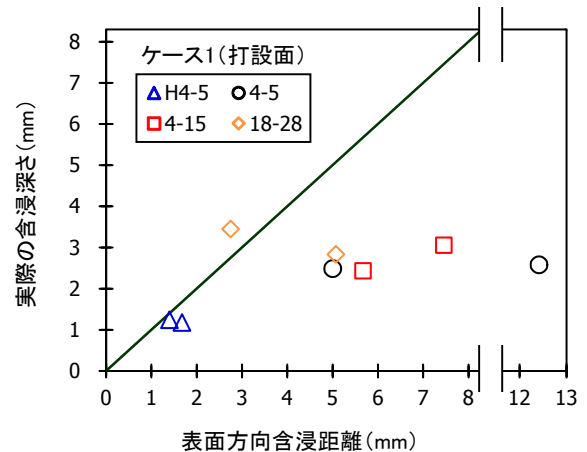


図-6 表面方向含浸距離と実際の含浸深さの関係 (ケース1、打設面)

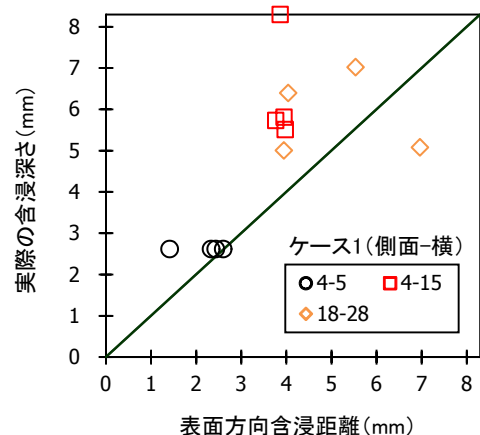


図-7 表面方向含浸距離と実際の含浸深さの関係 (ケース1、側面-横)

が考えられる。

また、打設面上にはブリーディングの発生に伴い、コンクリート内部から微細な粒子が浮上し、レイタンスが形成されやすい。このレイタンスはシランの含浸を阻害しやすい⁴⁾とされており、実験結果と符号している。

ここで、側面の測定結果に目を移してみる。図-8はケース2の側面-上、側面-下における表面方向含浸距離と含浸深さの関係を示している。この中では、含浸深さより表面方向含浸距離が小さい傾向を示したデータも一部みられたものの (括弧で示した点)、表面方向含浸距離と含浸深さは概ね良好な対応となっていた。さらに、表面方向の上下、横といった向きの影響については、一般的に有意な評価とまでは言えないが、今回の実験の範囲では横方向が評価に適する結果となった (図-7、8)。

今回の実験では、打設面において、打設後の水分蒸発を防ぐ機能を有する被膜養生剤の使用の有無による比較を行っている。図-6のH4-5 (被膜養生剤使用) と4-5 (養生シート使用) を比較すると、含浸深さはH4-5の方が小さい。ここで、シラン塗布時の打設面の表面水分率を確認すると、写真-6に示すように、被膜養生剤を使用

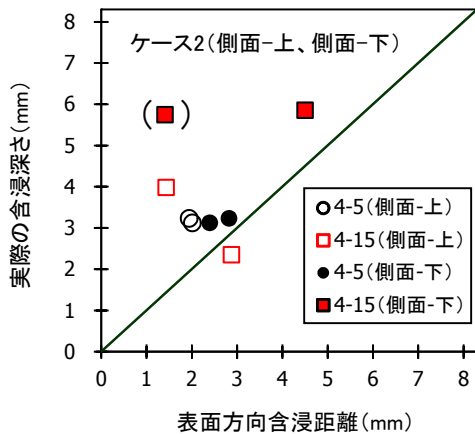


図-8 表面方向含浸距離と実際の含浸深さの関係
(ケース2、側面-上、側面-下)

H4-5 (被膜養生剤)

4-5 (養生シート)



写真-6 シラン塗布時の打設面における表面水分率
(ケース1、H4-5 : 8.4%、4-5 : 5.3%)

した方が大きい値を示していた。

シランの主成分は水との反応性に富むため、シランを塗布する際の表面含水率は小さい方が望ましい⁴⁾とされている。H4-5における含浸深さが4-5よりも小さかった理由の一つが、表面水分率が相対的に大きかったためと考えられる。また、被膜養生剤を使用したH4-5の表面をみると、養生シートを使用した4-5に比べると一部がやや濃い灰色を呈している。これは、シラン塗布前に被膜養生剤の除去作業は行ったものの一部が残存し、これがシランの含浸に影響を及ぼしたことも考えられる。H4-5の表面方向含浸距離も、4-5より小さな値となっている。

以上の結果から、表面方向含浸距離は含浸深さを非破壊で簡易に管理・把握するための指標として扱うことができる可能性がみえてきた。またその一方で、測定の方法や方法について留意すべき点や改良すべき課題も見出された。

(2) 測定方法に関する考察

写真-7は供試体(ケース1、塗布面は側面、作業工程は18-28)の割裂面に水を噴霧し、シランの含浸状況を調べたときの様子である。塗布したシランは、深さ方向

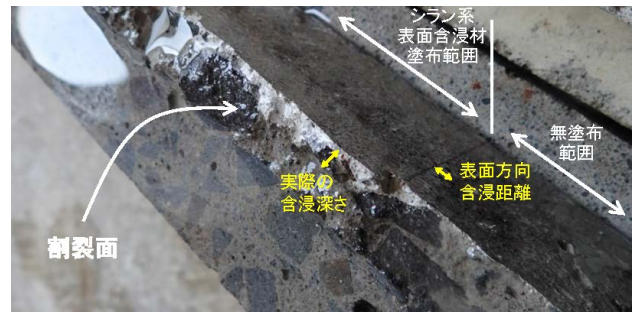


写真-7 割裂面に水を噴霧したときの状況
(ケース1、側面-横、18-28)

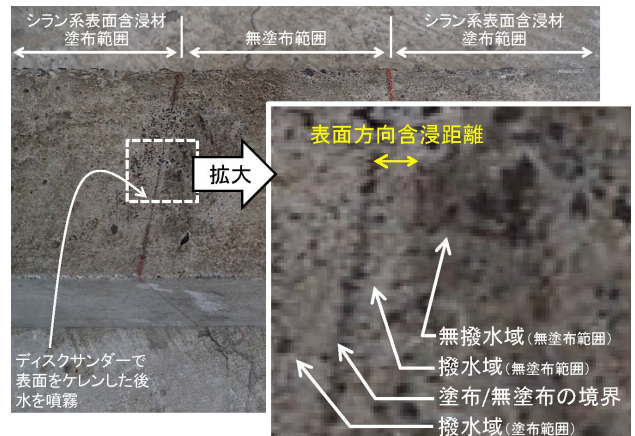


写真-8 表面方向含浸距離の測定状況
(ケース1、打設面、18-28)

へはもちろんのこと、表面方向へも含浸していることがわかる。

写真-8は表面方向含浸距離を調べるため、塗布/無塗布の境界近傍の表面をディスクサンダーでケレンし、水を噴霧したときの状況である(ケース1、塗布面は打設面、作業工程は18-28)。ケレンは破線で囲った枠内に対して行っている。枠内を拡大した写真の無塗布範囲に着目すると、塗布/無塗布の境界から無塗布範囲に向かって撥水域が広がっており、シランが表面方向へ含浸していることがわかる。しかしながら、撥水域と無撥水域の色の違いの鮮明さは、写真-7で示した割裂面に比べると劣る。

ここで、ケレン、割裂の違いによる吸水防止層(撥水域)の見え方について別途実験を行った。同施工現場で側面全体にシランを塗布したφ10×20cmのコンクリート供試体を作製し(配合は表-1に同じ)、カッターによる切り込みを入れ、さらに割裂することにより、ケレン後の表面に見立てたカッター切断面と割裂面を形成した。そして、それぞれの面に水を噴霧し、吸水防止層の見え方を比較した。図-9に切断および割裂の手順、写真-9に吸水防止層の見え方の比較を示す。

吸水防止層の厚さを測定したところ、カッター切断面は8.4mm、割裂面は10.2mmとなり(測定値はいずれも測定5回の平均)双方とも概ね10mm前後の値を示した一方、見え方については、割裂面は吸水防止層がくっきり見え

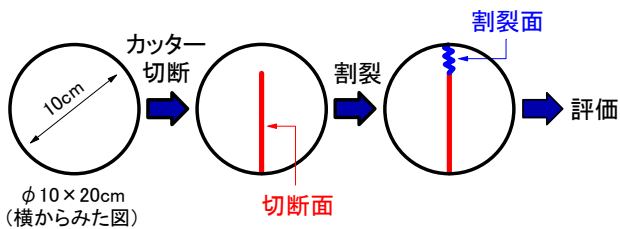


図-9 カッター切断および割裂の手順

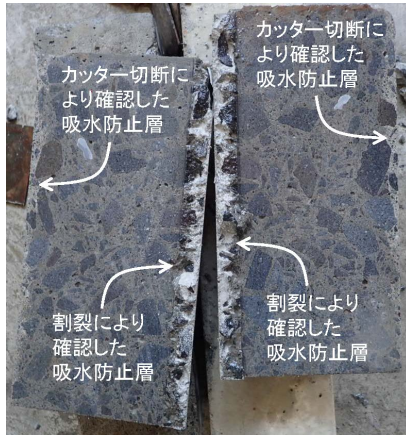


写真-9 吸水防止層の見え方の比較

るのに対し、カッター切断面は鮮明さがやや劣る。シラン成分のアルキル基は120°C以上の温度で分解が進行する⁹⁾ことが知られており、切断時の摩擦熱によってアルキル基の一部が分解したために、吸水防止層が見えにくくなったものと考えられる。

この実験では、表面方向含浸距離を確認するためにディスクサンダーを使用しているが、ケレン時の摩擦熱の影響により、表面方向に形成された撥水域がやや見えにくくなる場合もあることに留意する必要があることがわかった。今後は、表面に熱を加えることなく、表面方向の含浸距離を簡易に測定できる方法についても検討していきたい。

4. まとめ

表面に塗布したシランが、深さ方向に加え表面方向へも含浸する特徴があることに着目し、外観目視で部材への含浸状況や含浸深さを管理・把握できる技術の開発に向け、実際の施工現場での基礎実験を行った。

本論文の範囲で、技術の概念の妥当性に関し、施工現場で得られた知見をまとめると、以下のようになる。

- (1) 表面方向含浸距離が大きいものは、実際の含浸深さも大きい傾向にあった。
- (2) ブリーディング水の滞留により、シランが含浸しやすい脆弱層が表面直下に形成されやすい打設面では、表面方向含浸距離が実際の含浸深さより大きくなることもある。

- (3) 被膜養生剤を使用した際の実際の含浸深さは小さく、表面方向含浸距離も同様の傾向を示した。
- (4) 塗布面が側面の場合、実際の含浸深さの非破壊管理に必要な表面方向含浸距離の評価に及ぼす表面方向の向きは、横方向が適していた。
- (5) 表面方向含浸距離の評価においては、ケレン時の摩擦熱の影響により、撥水域がやや見えにくくなる場合があることに留意する必要がある。

5. 今後の課題

データが少なく、ばらつきも多少あるものの、今回の実験において、現場でも簡易に管理・把握できる可能性が示された。図-1の概念は工事期間中に含浸深さを部位ごとに非破壊で簡易に管理・把握できる上、管理終了後は無塗布範囲にシランを塗布することで完成した部材を発注者に引き渡せることから有用性は高いと考える。

今後も実用化に向けてデータ蓄積を図るとともに、熱を加えることなく表面方向含浸距離を簡易に測定できる方法や、実際の部材での適用性についても検討していきたい。

謝辞： 研究の趣旨をご理解の上で、工事現場ヤード内での実験をご了承いただいた北海道開発局小樽開発建設部 倶知安開発事務所、ならびに、道路橋地覆打換え工事の施工現場において実験にご協力いただいた阿部建設(株) に対し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 北海道開発局道路設計要領、第3集橋梁、第2編コンクリート、参考資料 B「道路橋での表面含浸材の適用にあたっての留意事項」
- 2) 遠藤裕丈、島多昭典：寒冷環境下における約10年間のシラン系表面含浸材の効果に関する追跡調査、第58回(平成26年度)北海道開発技術研究発表会発表概要集、2015.2
- 3) 遠藤裕丈、安中新太郎、林大介、室野井敏之：シラン系表面含浸材の含浸深さを非破壊で管理する技術の開発に向けての基礎的研究、寒地土木研究所月報「寒地土木技術研究」、No.765、2016.2
- 4) 土木学会：表面保護工設計施工指針(案) [工種別マニュアル編]、コンクリートライブラリー119、pp.172-173、2005.4
- 5) 荒瀬晃、増田弦、伊藤昌明、伊藤光臣、鈴木章：トリアルキルボランの極性化合物存在下での熱分解反応、日本化学会誌、Vol.1972、No.2、pp.395-401、1972.