

シラン系表面含浸材の含浸性状とコンクリートの品質との関係

Relations between permeability of surface penetrate materials (silane type) and concrete quality

寒地土木研究所 ○正 員 遠藤 裕丈 (Hirotake ENDOH)

寒地土木研究所 正 員 田口 史雄 (Fumio TAGUCHI)

1. はじめに

寒冷地の道路橋は、凍害単独および塩害との複合劣化の被害を受けやすい厳しい環境下に曝されている。これらの被害は、コンクリートの劣化による耐久性の低下や鉄筋腐食の加速化を引き起こすことから、寒冷地では特に留意する必要がある。その重要性は広く認識されており、劣化メカニズムの解明、予測、対策に関する研究が進められている。

北海道内の国道に架かる橋長 15m 以上のコンクリート橋の数は、高規格幹線道を含め、平成 17 年 4 月の段階で約 820 橋、総延長で約 62km に及ぶ¹⁾。また、鋼橋においても地覆、面壁、床版にコンクリートが使用されているケースは多く、さらに下部工の大部分もコンクリートである。これら多くのコンクリート構造物の更新に際しては財源の確保が必要であるが、昨今の財政事情は厳しい状況下にある。その一方で、維持管理を十分に行うことで、長期にわたって供用することが可能な例も示されている²⁾。今後は、効果の持続性と経済性をあわせ持つ劣化抑制工法の適用など予防保全型の維持管理を図り、道路橋を永く使いこなしてライフサイクルコストの削減に努める姿勢が重要となる。

劣化抑制工法の一つに、表面含浸工法がある。これは、塗装や被覆材とは異なり、コンクリートの表層に特殊な機能を持つ成分を含浸させて、表層の品質を集中的に高め、水や塩分の浸入を抑制する工法である。施工費が比較的安価で工期が短く、構造物の質感を変化させない等の長所がある。近年、寒冷地でも、予防保全の観点から効果を期待して道路橋の地覆、面壁に施工される事例が増えている。筆者らも、性能照査方法の確立に向けて、施工後の道路橋にて追跡調査を行っている³⁾。

表面含浸材の効果持続を期待するには、劣化因子の浸入抑制力は勿論だが、表面含浸材の含浸深さは大きい方が有効である。しかし、含浸深さの確認は削孔を伴うため、実施工で行われる例は殆どない。このことから、施工前に含浸性を予測・把握できることが望ましい。そのためには、含浸性に及ぼすコンクリートの品質の影響を明らかにする必要があるが、これに関するデータは少ない。

そこで、本論ではコンクリートの品質ならびに施工面の垂直・水平の違いに着目し、含浸性との関係について基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

2.1 目的

本論の目的は、表面含浸材の含浸性とコンクリートの品質との関係の検討である。本論では、全般的な傾向を

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	セメント	単位量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
35	41	普通	152	434	704	1052
40	42		149	373	746	1069
45	43		145	322	786	1081
50	44		140	280	825	1090
55	45		139	253	855	1085
35	41	高炉	152	434	699	1044
40	42		149	373	741	1063
45	43		145	322	782	1076
50	44		140	280	822	1086
55	45		139	253	852	1081

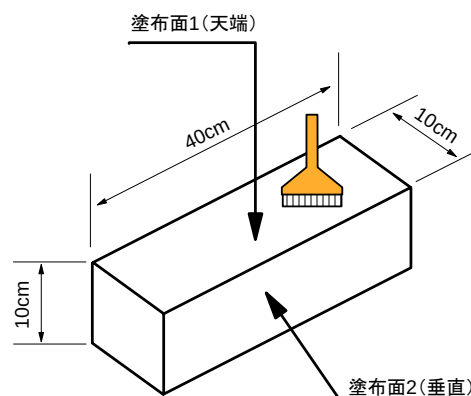


図-1 表面含浸材の塗布方法

把握する観点から、1 種類の表面含浸材ではなく、市販されている製品をいくつか選定しているが、製品同士の優劣の比較は目的ではない。

2.2 コンクリートの配合

表-1 にコンクリートの配合を示す。水セメント比は、35、40、45、50、55%の5水準とした。セメントは、北海道内において広く使用されている普通ポルトランドセメント（以下、普通ポルトと記）と高炉セメントB種（以下、高炉B種と記）の2種類を使用した。細骨材は除塩処理済の苫小牧市錦岡産の海砂（密度 2.70g/cm³）、粗骨材は小樽市見晴産の砕石（密度 2.67g/cm³、最大寸法 25mm）を使用した。

2.3 供試体

供試体の寸法は 10×10×40cm とした。材齢 3 日まで養生マットに見立てた湿った麻布で供試体全体を覆った後、材齢 14 日まで温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室に

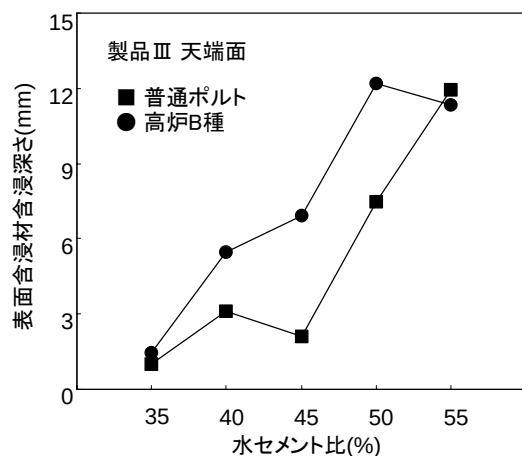
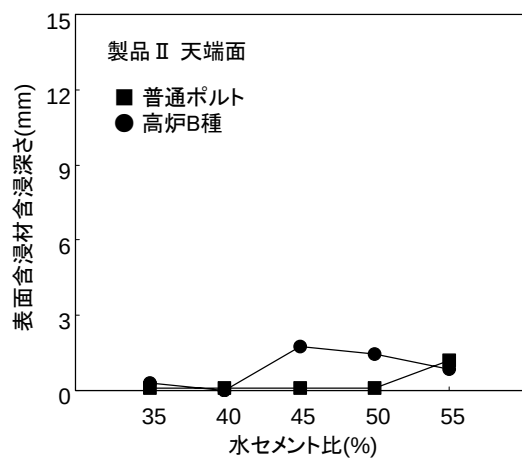
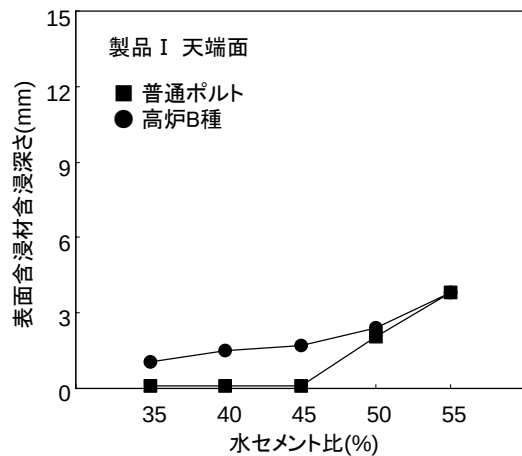


図-2 含浸深さの測定結果（天端面）

静置した。

2.4 表面含浸材

表面含浸材は現在 100 種類以上の製品が市販されている。本論では、既往の実験³⁾において凍害の一現象であるスケリング抵抗性ならびに遮塩性が比較的良好と見受けられた 3 種類を代表して選定した。いずれも撥水機能を有するシラン系表面含浸材で、3 種類の内訳は、水系が 1 種類（製品Ⅰと記）、溶剤系が 1 種類（製品Ⅱと記）、無溶剤系が 1 種類（製品Ⅲと記）である。製品Ⅰと製品Ⅲはシロキサン成分（粘性が高く、揮発を抑える特徴と

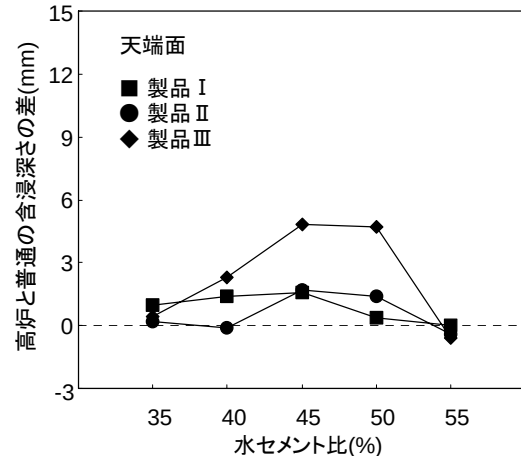


図-3 高炉B種と普通ポルトにおける含浸深さの差

有する）が調査されている。

2.5 実験方法

表面含浸材の塗布は材齢 14 日に行った。ここでは、道路橋の地覆と面壁の天端面および壁面（側面）に適用することを想定し、図-1 に示すように、供試体の天端面と垂直面の 2 面に塗布した。塗布は、各製品の製造メーカーが指定する方法に基づいて、塗布量 200～400g/m² の範囲で行った。作業は、水分計を用いてコンクリート表面の水分率が 5%以下であることを確認し、刷毛により行った。

塗布後、引き続き恒温恒湿室で 14 日間の静置期間をとってから、供試体をカッターで切断し、墨汁を含ませた水を切断面（10×10cm）に吹きかけ、黒く着色しなかった範囲を含浸域と判断し、含浸深さを測定した。深さの測定は、切断面の天端側と垂直側の 2 辺においてそれぞれ行った。各辺とも、縁端部から 1、3、5、7、9cm の 5 箇所でノギスを用いて測定し、その平均値を含浸深さとした。

3. 実験結果・考察

3.1 天端面

(1) 水セメント比の影響

図-2 に測定結果を示す。水セメント比 55%では、最大で 12mm の含浸深さが確認された。全般的にみると、水セメント比と含浸深さは概ね比例関係にあり、水セメント比が低下すると、含浸深さは小さくなる傾向が示された。これは、水セメント比の低下によって、コンクリート組織の密実性が高まり、同時に物質の透過性も小さくなったことで、表面含浸材の含浸性も低下したと考えられる。

このことから、水セメント比と含浸性は密接な関係にあることが明らかとなった。コンクリートの品質は練混ぜ性状によっても異なるため一概には言えないが、水セメント比が小さい部材に表面含浸材を施工する場合、施工前に実構造物と同配合のテストピースを作製し、前もって含浸性を確認しておくことが望ましいと言える。

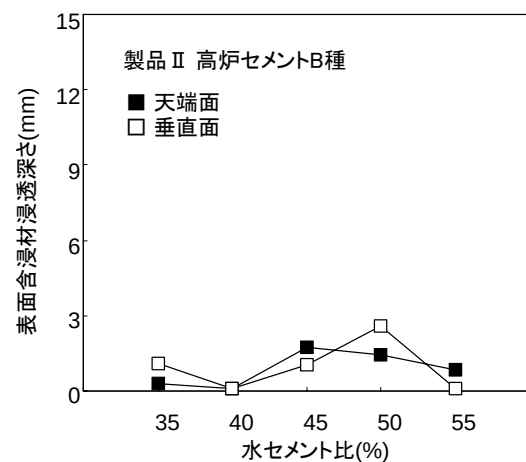
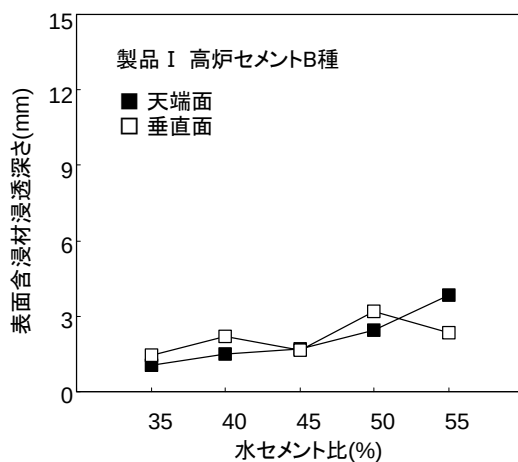
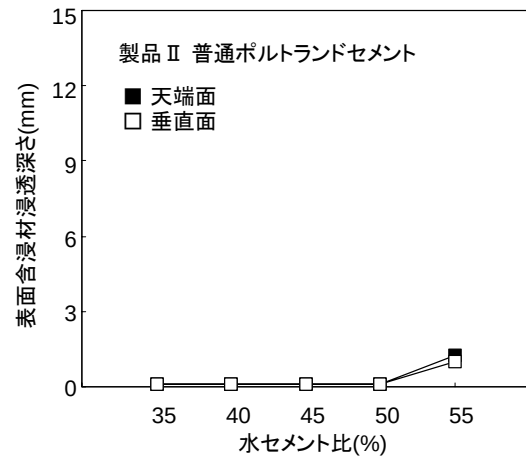
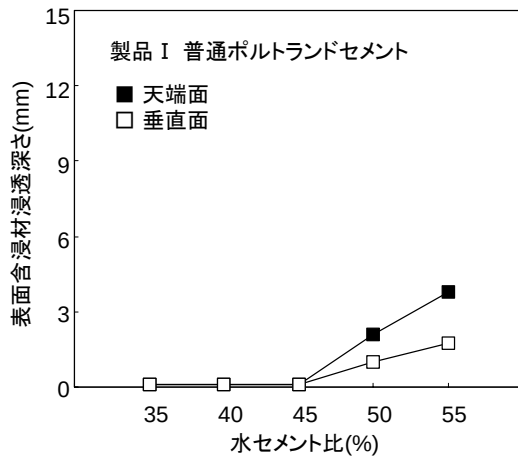


図-4 天端面と垂直面の比較（製品Ⅰ）

図-5 天端面と垂直面の比較（製品Ⅱ）

(2) セメントの種類の影響

次に、普通ポルトと高炉B種の含浸深さを比較する。

図-2 をみると、水セメント比 55%は、いずれの製品も同程度の値となっている。55%以下においては、普通ポルトは製品Ⅱが50%、製品Ⅰは45%で1mm未満の微小値、製品Ⅲは45%で2mmの値を示し、それ以降は概ね一定となっている。それに対して高炉B種は、45%ではいずれの製品も2~6mm含浸しており、さらに製品Ⅰ、製品Ⅲは、35%においても含浸が認められる。

図-3 は、高炉B種と普通ポルトの含浸深さの差を調べたものである。マイナスは普通ポルトの方が深く含浸していることを表している。全般的に見ると、水セメント比 55%と 35%はほとんど差がなく、45%で差が最も広がっている傾向にある。絶対量は製品によって異なるが、高炉B種の方が含浸深さは大きい結果が示された。一般に、高炉セメントを用いたコンクリートは初期強度が小さく、長期強度は大きいとされており⁴⁾、塗布を行った材齢 14 日においては、普通ポルトに比べ、高炉B種の方が密実性は小さく、比較的含浸しやすい状態にあったと推察される。

これらのことから、表面含浸材の施工に際しては、水セメント比に加え、使用されたセメントの種類も事前に確認することが大切と言える。今回の実験では、若材齢

時の含浸性についての特徴は把握できたが、今後はさらに細孔量との関係や長期材齢時の含浸性についても詳細に検討していきたい。

3.2 垂直面

図-4~6 に天端面と垂直面の含浸深さの比較を示す。垂直面、天端面とも概ね含浸性は類似しており、水セメント比が大きいほど、また、高炉B種を用いた方が含浸しやすい結果となっている。製品Ⅱでは、水セメント比 50%から 55%にかけて、高炉B種の垂直面の含浸深さが極端に低下しているが、この理由については不明で今後検討が必要である。

ここで、垂直面の含浸深さに着目する。普通ポルトの場合、製品Ⅰと製品Ⅲは、水セメント比 50、55%において天端面よりも小さい値となっている。一方、高炉B種の場合、製品Ⅰと製品Ⅱでは明瞭な差が見受けられないが、製品Ⅲは普通ポルトと同じ傾向を示している。表面含浸材の塗布は、塗布面積から必要な塗布量を計算し、確実に行っている。このことから、垂直面においては本来コンクリートに含浸するはずの表面含浸材の一部が塗布中もしくは塗布後に液だれを起こした可能性が考えられる。

3.3 天端面と垂直面の含浸深さの関係

図-7 は、天端面と垂直面の含浸深さの関係を整理した

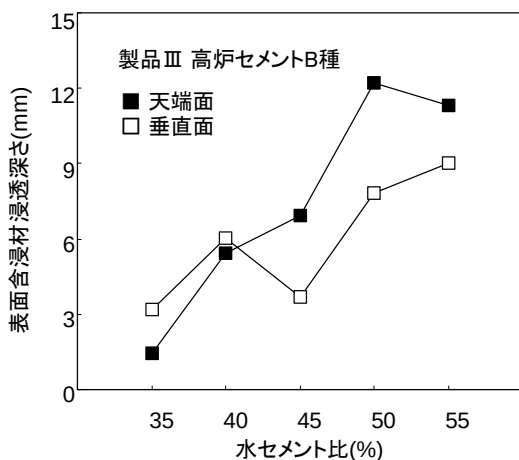
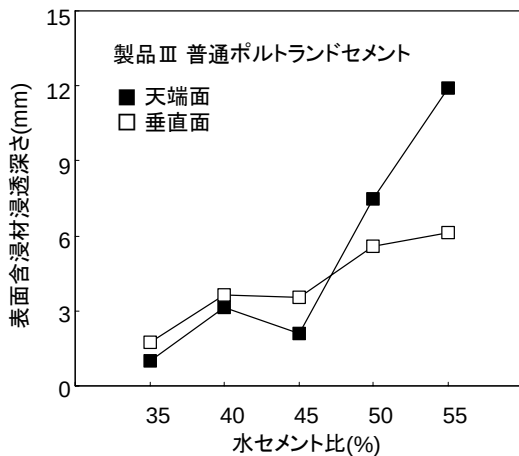


図-6 天端面と垂直面の比較（製品Ⅲ）

ものである。天端面の含浸深さを x (mm)、垂直面の含浸深さを y (mm) とすると、 $y=0.62x+0.55$ ($R^2=0.8396$) の回帰直線が得られ、垂直面の含浸深さはやはり天端面に比べると小さくなる傾向が確認された。今回使用した3製品に限定すると、天端面の含浸深さが3~12mmの範囲においては、垂直面の含浸深さはその約0.6倍であり、垂直面への施工に際しては液だれに対する留意が必要と言える。

3.3 施工に関する考察

北海道開発局道路橋設計施工要領では、水セメント比について、内陸部の鉄筋構造物は最大で55%、他の代表的な構造物は45~55%の範囲で最大値を規定している⁵⁾。塗布材齢、セメントの種類、製品にもよるが、水セメント比45~55%においては良好な含浸性が得られる可能性は高いことが本論で確認された。しかしながら、現実性を重視すると、実構造物と同配合のテストピースを作製し、施工前に含浸性を確認しておくことが望ましいと考えられる。

4. まとめ

本論では、表面含浸材の効果を期待する上で重要な指標の1つである含浸深さに着目し、表面含浸材の施工計画の策定に資するデータを得るため、含浸性に及ぼすコンクリートの品質の影響について基礎的な検討を行った。

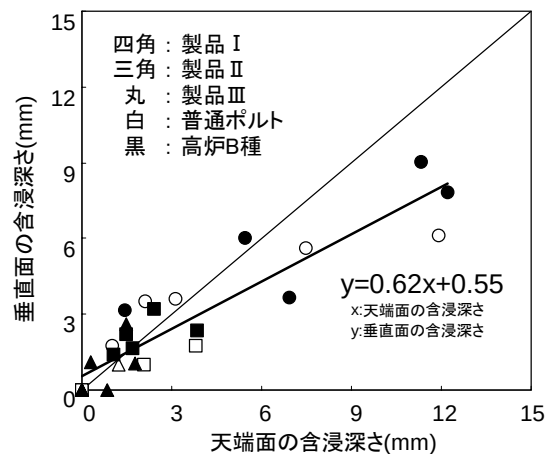


図-7 天端面と垂直面の含浸深さの関係

本論で得られた検討の結果をまとめると、以下の通りとなる。

- 1) 表面含浸材の含浸性は、水セメント比と比例関係にあった。
- 2) 若材齢においては、高炉B種の方が含浸しやすい。
- 3) 施工に際しては、実構造物と同配合のテストピースを作製し、含浸性を事前に確認しておくことが望ましい。
- 4) 垂直面の含浸深さは、天端面よりも小さく表れる傾向にあり、施工にあたっては液だれに留意する必要がある。本論で用いた3製品においては、垂直面の含浸深さが3~12mmの場合、天端面の含浸深さはその約0.6倍であった。

謝 辞

今回の実験にあたりまして、表面含浸材を提供いただきました各製品のメーカーの皆様に対し、厚く御礼申し上げます。

また、配合計算、材料計量、練混ぜ、供試体作製にあたっては、寒地土木研究所にてインターンシップ実習を受講した室蘭工業大学建設システム工学科3年小柳良太君に労力を提供していただきました。末筆ではありますが、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 橋梁、トンネル、立体横断施設、覆道等現況調査、平成17年4月1日現在、北海道開発局
- 2) 橋梁マネジメント現場支援セミナーテキスト、国土交通省北海道開発局、pp.1-4、平成18年10月
- 3) 遠藤裕丈・田口史雄・谷本俊充・小野俊博：シラン系表面含浸材によるコンクリートのスケーリング抑制対策に関する研究－試験施工1年目の評価－、寒地土木研究所月報第640号、pp.10-20、2006.9
- 4) コンクリート技術の要点99、日本コンクリート工学会、pp.9、1999.9
- 5) 平成18年度北海道開発局道路橋設計施工要領、第2編コンクリート、3-コ2-4~3-コ2-6