

報告 けい酸塩系表面含浸材の性能確認に用いる簡易的な透水性試験方法の開発と性能評価と施工管理への利用

八藤後 友也*1・室谷 満*2・松川 幸男*3・小林 孝一*4

要旨: コンクリートに塗布されるけい酸塩系表面含浸材の性能確認方法の一つに、現場において実施する微破壊原位置試験の透水量試験が提案されている。ここでは非破壊で、水平面だけでなく鉛直面や天井面にも適用でき、試験時間が短縮できる簡易的な透水性試験方法を開発し、けい酸塩系表面含浸材の塗布量や養生条件等の影響を評価する性能評価試験として利用できることを確認した。さらに、実構造物においてけい酸塩系表面含浸材の改質効果を定量的に評価することで、開発した試験方法の実構造物における施工確認方法としての適用性を検証した。検証の結果、実構造物への施工確認方法としても利用できることを確認した。

キーワード: けい酸塩系表面含浸材, 透水性試験, 性能評価, 施工確認

1. はじめに

けい酸塩系表面含浸材は、コンクリート構造物に塗布してコンクリート表層部へ含浸させることで、表層部分の空隙や細孔等を緻密化し、コンクリート構造物の耐久性を向上させる材料である。けい酸塩系表面含浸材は無色透明の液体であり、施工が簡易なことや適用されたコンクリート構造物の美観が変化しないことが特徴で、コンクリート構造物の耐久性向上を目的とした保護材として適用されている¹⁾。

けい酸塩系表面含浸材は、コンクリート組織の改質によりコンクリート表面を保護するため、他の表面保護工法と施工後の性能確認方法が異なるものとなる。土木学会の指針¹⁾においては、現場から採取したコンクリートコアを試験体とする加圧透水性試験あるいは現場において実施する透水量試験の使用が提案されているが、けい酸塩系表面含浸材を適用した実構造物での実証例は少ない。

そこで本研究では、比較的簡易にけい酸塩系表面含浸材によるコンクリート表層部の改質効果を定量化できる透水性試験方法を開発し、実構造物において適用性を検証することとした。

2. 簡易的な透水性試験方法の開発

2.1 供試体概要

表-1は供試体に用いたコンクリートの配合を示す。呼び径125mmのVU管(L=250mm)の中にコンクリートを打設し、その後28日間、室温20℃に保たれた恒温室内で気中養生した。その後VU管の両端を25mmずつ切り落とした上で2等分した供試体(L=100mm)を作製²⁾、変位制御型圧縮試験機を用いて、VU管内のコンクリート試験体を割裂し、ひび割れが発生した試験体を作製した(写真-1)。除荷後に残留するひび割れの幅は、ひび割れなし、0.06mm程度、0.10mm程度、0.15mm程度、の4種類とした。

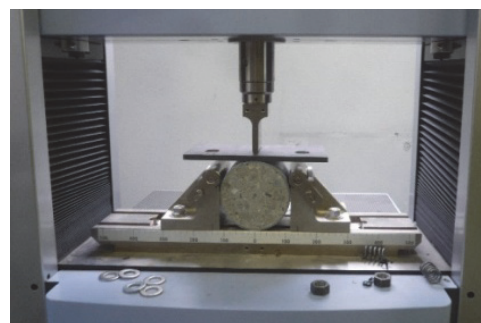


写真-1 ひび割れの導入状況

表-1 供試体に用いたコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)
		W	C	S	G	AE 減水剤	消泡剤		
55	48	180	327	834	911	0.102	0.098	8.0	4.5

*1 岡三リビック (株) リバイブテクノ部 課長代理 工修 (正会員)

*2 (株) アールシージージャパン 代表取締役社長

*3 RCG インナーシール協会 プロジェクトリーダー

*4 岐阜大学 工学部社会基盤工学科教授 博 (工) (正会員)

2.2 実験概要

けい酸塩系表面含浸材の塗布前後に透水性試験を実施した。けい酸塩系表面含浸材は供試体の切断面のうち1面に塗布し²⁾、散水により湿潤状態にある供試体表面に設計塗布量 200g/m²を刷毛で塗布した。また、塗布後は含浸材の養生のため散水による給水養生を行い、90分間は塗布面を湿潤状態に保った。

試験の流れを図-1に示す。ひび割れを導入した試験体に塗布前の透水性試験を実施し、その後けい酸塩系表面含浸材を塗布した。使用したけい酸塩系表面含浸材は、けい酸ナトリウムとけい酸カリウムを混合したけい酸塩を主成分とし、けい酸塩がコロイド粒子状の材料を用いた。けい酸塩系表面含浸材を塗布後、室温 20℃に保たれた恒温室内で28日間の気中養生を行い、塗布後の透水性試験を実施した。なお、けい酸塩系表面含浸材は、塗布後の日数の経過につれて効果が高まるものであるため、塗布後の透水性試験は、塗布後28日の気中養生後に実施することとした。

塗布前後に実施した、簡易的な透水性試験方法の概要を図-2、試験状況を写真-2に示す。試験体に漏斗をシリコンにより設置し、メスピペットを接続した。

透水性試験時には、透水量と透水時間をメスピペットによる目視とストップウォッチにより計測した。試験時間は、「透水量 3ml 到達時」または「透水時間 1 時間経過時」までのどちらか早い方の時間を標準とした。

透水性試験終了後、透水量と透水時間から式(1)によって、「擬似透水係数」を算出した。ここで求める透水係数は、試験中に供試体に作用する水頭が一定でなく、一般の「透水試験」で求める透水係数とは試験条件等が異なるため、便宜的に「擬似透水係数」と呼ぶこととした。

$$k = \frac{a * L}{A(t_2 - t_1)} \log_e \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

ここに

- k : 擬似透水係数 (cm/s),
- a : メスピペットの断面積 (cm²),
- L : 供試体の厚さ (cm),
- A : 試験面の断面積 (cm²),
- t₂ : 終了時の時間 (s),
- t₁ : 開始時の時間 (s),
- h₂ : 終了時の水頭高さ (cm),
- h₁ : 開始時の水頭高さ (およそ 36cm),

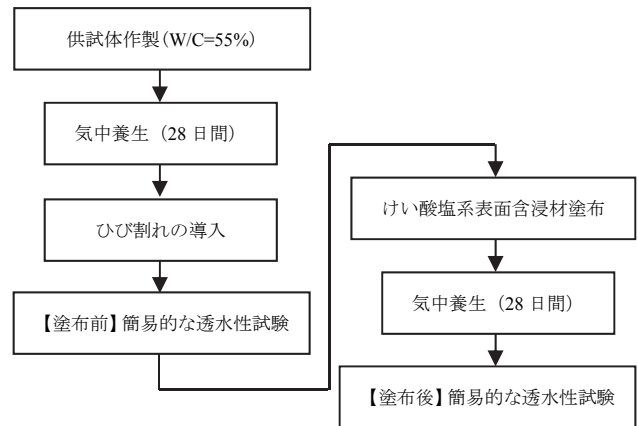


図-1 試験の流れ

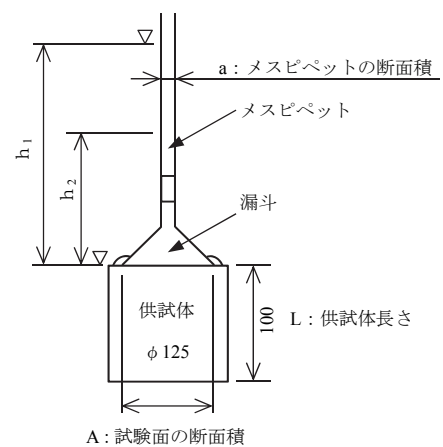


図-2 簡易的な透水性試験方法の概要

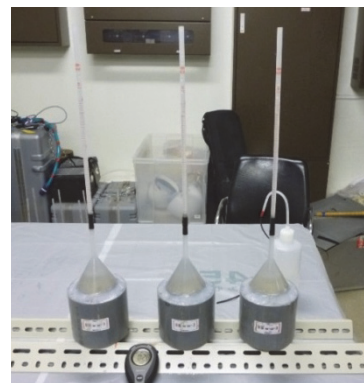


写真-2 簡易的な透水性試験の実施状況

2.3 実験結果および考察

図-3に試験の結果を示す。塗布前の試験結果は塗りつぶした記号、塗布後の試験結果は白抜きの記号である。また、塗布前と塗布後の平均値の近似線を示す。ひび割れの有無にかかわらず、全ての試験体において塗布後の擬似透水係数が低下する効果が確認できた。

ひび割れを導入した供試体については、ひび割れ幅が大きいコンクリートほど擬似透水係数の低下の程度が大きい傾向にあり、ひび割れ閉塞の効果が大きいという結

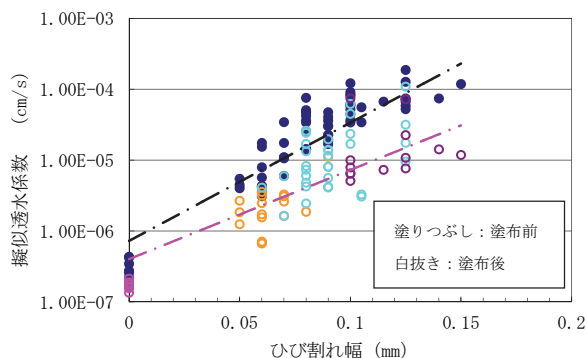


図-3 簡易な透水性試験の試験結果

果になった。一方、ひび割れを導入していない供試体についても疑似透水係数が低下しており、けい酸塩系表面含浸材により、コンクリート表層組織が緻密化され、改質されていることがうかがわれる。

以上から、簡易な透水性試験方法によって、コンクリートのひび割れの有無にかかわらず、けい酸塩系表面含浸材の性能/効果の確認を定性的に実施できるものと考え、次章以降ではこの方法を用いて、含浸材の性能評価および施工確認を実施することとした。

3. けい酸塩系表面含浸材の性能評価試験への利用

3.1 実験概要

けい酸塩系表面含浸材は、その成分や量、副成分の有無、コンクリートの品質等により各材料で塗布量や養生条件が違う材料である。

そこで、前節で確立したけい酸塩系表面含浸材の簡易な透水性試験方法を用いて、ひび割れが発生した試験体に対して塗布量や養生条件を変化させ、けい酸塩系表面含浸材の最適な塗布条件を確認することとした。供試体は前節で使用した、呼び径 125mm の VU 管を用いて作製した供試体 (L=100mm) と同じものを作製し、変位制御型圧縮試験機を用いて、VU 管内のコンクリート試験体を割裂した。使用したけい酸塩系表面含浸材は、けい酸ナトリウムとけい酸カリウムを混合したけい酸塩を主成分とし、けい酸塩がコロイド粒子状の材料を用いた。

3.2 塗布量の影響

塗布量を 120g/m²、200g/m²、280g/m² の 3 種類、ひび割れ幅をひび割れなし、ひび割れ小 (幅 0.06 mm 程度)、ひび割れ中 (幅 0.10 mm 程度)、ひび割れ大 (幅 0.15 mm 程度) の 4 種類を組み合わせると、計 10 種類の供試体を作製した。

供試体の一覧を表-2、養生条件などを示した試験の流れを図-4に示す。前節と同様に供試体の作製後、室温 20℃に保たれた恒温室内で 28 日間の気中養生を行い、ひび割れの導入後に塗布前の透水性試験を実施した。そ

の後、3種類の塗布量でけい酸塩系表面含浸材を塗布し、室温 20℃に保たれた恒温室内で 28 日間の気中養生を行い、塗布後の透水性試験を実施した。

透水性試験を実施した試験結果を図-5に示す。

この結果、けい酸塩系表面含浸材の標準的な塗布量³⁾である 200~300 g/m²に対し、塗布量が 120g/m²であっても耐透水性の向上程度は同程度であることが確認できた。

表-2 供試体の一覧

供試体 No	ひび割れ幅	塗布量
O I	ひび割れなし	120 g/m ²
O II		200 g/m ²
O III		280 g/m ²
A I	ひび割れ小 (幅 0.06mm 程度)	120 g/m ²
A II		200 g/m ²
B I	ひび割れ中 (幅 0.10mm 程度)	120 g/m ²
B II		200 g/m ²
B III		280 g/m ²
C II	ひび割れ大 (幅 0.15mm 程度)	200 g/m ²
C III		280 g/m ²

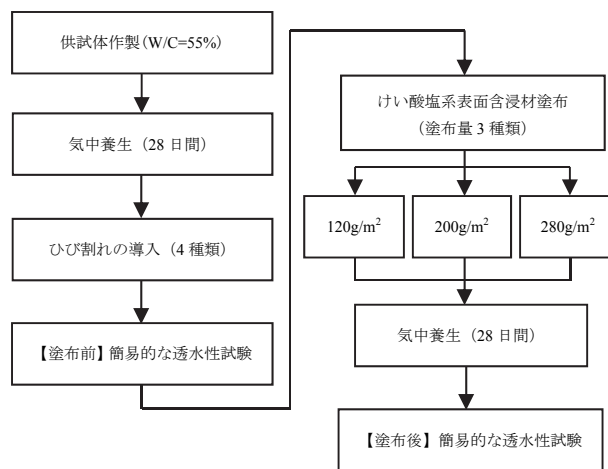


図-4 塗布量の影響 試験の流れ

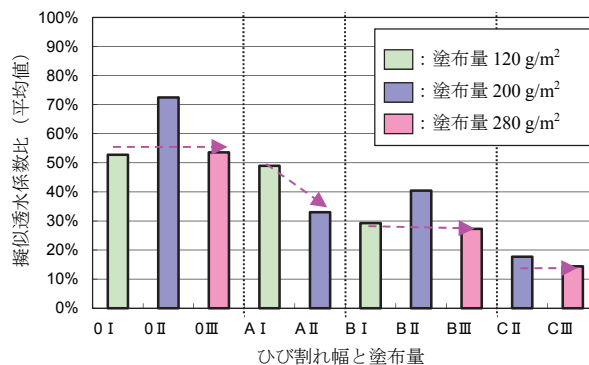


図-5 塗布量の影響 試験結果

ただし、実構造物へ塗布する場合には、場所によって濃淡が生じるなどの施工誤差が考えられるため、本試験で使用したけい酸塩系表面含浸材の塗布量は、安全側を取り 200g/m²とするのが適切であると考えた。また、前節での結果と同様、ひび割れ幅の大きい方が、改質効果が高いことが確認できた。

3.3 養生条件の影響

前節と同様のひび割れ幅と塗布量の組合せに加えて、養生条件として塗布前のコンクリート表層部の湿潤状態 2 種類と塗布後の養生時間 2 種類を組み合わせ、計 16 種類の供試体を作製した。供試体の一覧を表-3、養生条件などを示した試験の流れを図-6に示す。前節と同様に供試体の作製後、室温 20℃に保たれた恒温室内で 28 日間の気中養生を行い、ひび割れの導入後に塗布前の透水性試験を実施した。その後、塗布前のコンクリート表層部を気乾状態、散水した湿潤状態の 2 種類とし、3 種類の塗布量でけい酸塩系表面含浸材を塗布した。なお、塗布後の養生条件は、散水による給水養生を行い、90 分間の湿潤状態と 3 日間の湿潤状態とした。湿潤養生後に、室温 20℃に保たれた恒温室内で 28 日間の気中養生を行い、塗布後の透水性試験を実施した。

透水性試験を実施した試験結果を図-7に示す。

塗布前のコンクリート表層部状態は湿潤状態である方が、より大きな改質効果を得られることが確認できた。また、塗布後は湿潤養生の時間が長いほど、より大きな改質効果を得られることが確認できた。これは、本試験で使用した材料が反応型けい酸塩系表面含浸材であるため、水が介在する状態において改質効果を発揮するための反応が生じていることが影響していると考えられる。

このように、本研究で開発した簡易的な透水試験方法によって、けい酸塩系表面含浸材の改質効果を、ある程度定量的に評価可能であることが判った。

表-3 供試体の一覧

供試体 No	ひび割れ幅	塗布量	養生条件	
			塗布前	塗布後
A I ww	小 (0.06mm 程度)	120g /m ²	湿潤	湿潤 90 分
A I wLW			湿潤	湿潤 3 日
A II ww		200 g/m ²	湿潤	湿潤 90 分
A II wLW			湿潤	湿潤 3 日
B I ww	中 (0.10mm 程度)	120 g/m ²	湿潤	湿潤 90 分
B I wLW			湿潤	湿潤 3 日
B II dw		200 g/m ²	気乾	湿潤 90 分
B II ww			湿潤	湿潤 90 分
B II wLW			湿潤	湿潤 3 日
B III dw		280 g/m ²	気乾	湿潤 90 分
B III ww			湿潤	湿潤 90 分
B III wLW			湿潤	湿潤 3 日
C II ww		大 (0.15mm 程度)	200 g/m ²	湿潤
C II wLW	湿潤			湿潤 3 日
C III ww	280 g/m ²		湿潤	湿潤 90 分
C III wLW			湿潤	湿潤 3 日

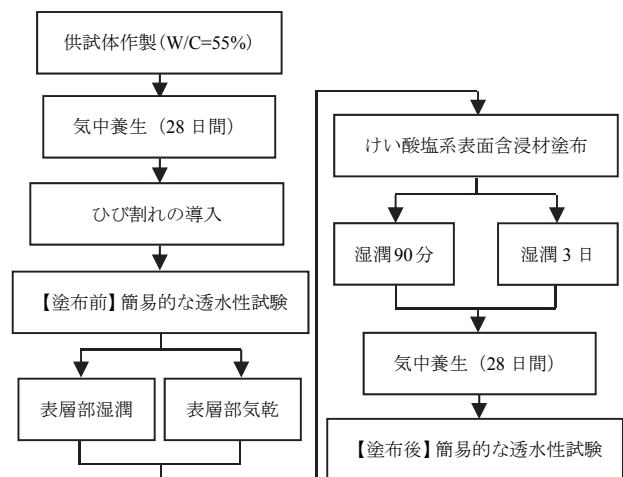


図-6 養生条件の影響 試験の流れ

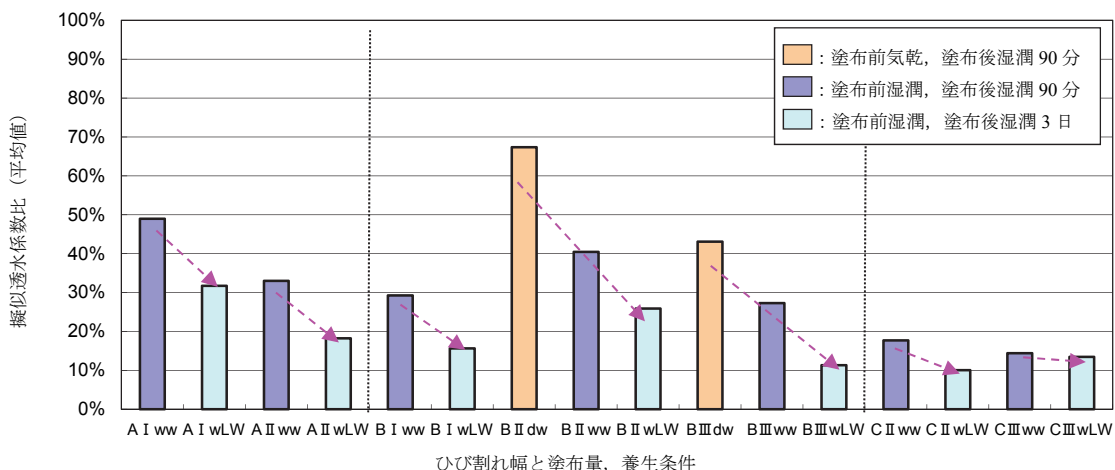


図-7 養生条件の影響 試験結果

4. 実構造物への適用

4.1 試験概要

室内試験において開発した簡易的な透水性試験方法を用いて、実構造物においてけい酸塩系表面含浸材の改質効果を定量的に評価することで、本試験方法の施工確認方法としての適用性を検証した。実構造物へ適用する場合の主な流れを図-8に示す。

コンクリート表層部が湿潤状態にあるコンクリート表面に、けい酸ナトリウムとけい酸カリウムを混合したけい酸塩を主成分とし、けい酸塩がコロイド粒子状のけい酸塩系表面含浸材 220g/m² を噴霧器で塗布した。また、塗布後は含浸材の養生のために 90 分間は塗布面を湿潤状態に保った。

4.2 透水性試験の方法

実構造物へ適用する簡易的な透水性試験の方法を以下に示す。

- (1) 透水性試験は、同じ計測位置において含浸材の施工前（含浸前）と施工後（含浸後）に実施し、施工後においては、施工後 28 日以上経過した後に実施する。
- (2) 計測装置として、図-9～図-11 に示すように、実施箇所に適合する透水性試験装置を速硬化のパテ状シリコンを用いて取り付ける⁴⁾。
- (3) 透水性試験を開始する前に、試験を実施するコンクリート表層部の飽和度を出来るだけ高め、定常状態で試験を実施するため、試験装置に水頭を作用させ、120 分の予備通水を行う。
- (4) 120 分の予備通水計測確認の後で、コンクリート表面に 36cm の水頭圧が作用するように、計測用メスピペットの高さを調整する。
- (5) 本試験では、透水量と透水時間をメスピペットによる目視とストップウォッチにより確認する。「透水量

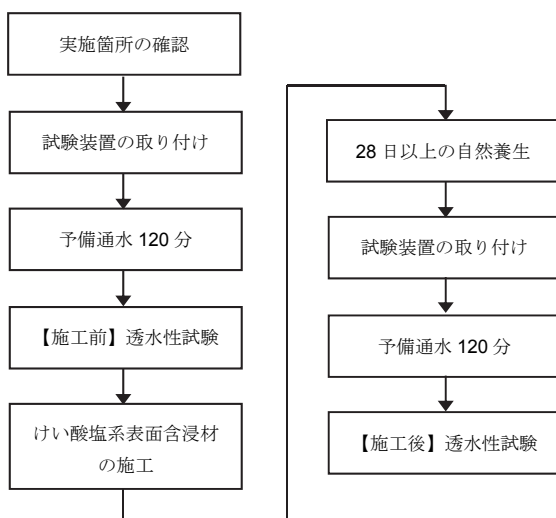


図-8 実構造物への適用の主な流れ

3ml 到達時」または「透水時間 1 時間経過時」までのどちらか早い方の時間を用いる。

- (6) 同一箇所における 1 回の試験（施工前、施工後）は、1 回計測（繰り返しは実施しない）とする。
- (7) 測定した透水量、透水時間から式(1)によって、擬似透水係数を算出する。

4.3 結果および考察

1969 年竣工の A 橋の PC 主桁側面の 3 箇所に応用した際の実施状況を写真-3 に、試験結果を図-12 に示す。また、1975 年竣工の B 橋の RC 橋脚の張出し部下面の 3 箇所に適用した際の実施状況を写真-4 に、試験結果を図-13 に示す。なお、いずれの試験箇所も目視で視認可能なひび割れは存在していなかった。

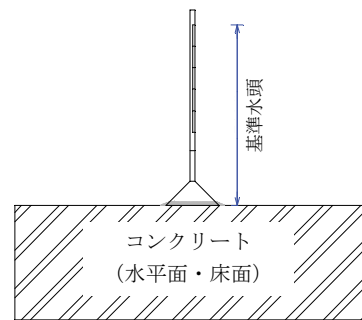


図-9 水平面用透水性試験装置

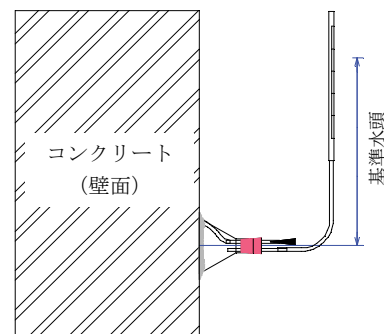


図-10 壁面用透水性試験装置

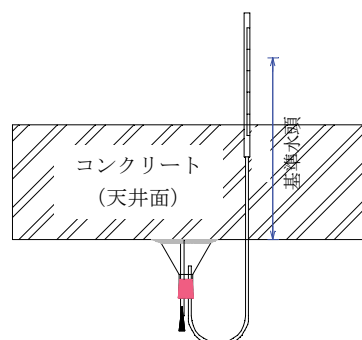


図-11 天井面用透水性試験装置



写真-3 A橋の透水性試験実施状況

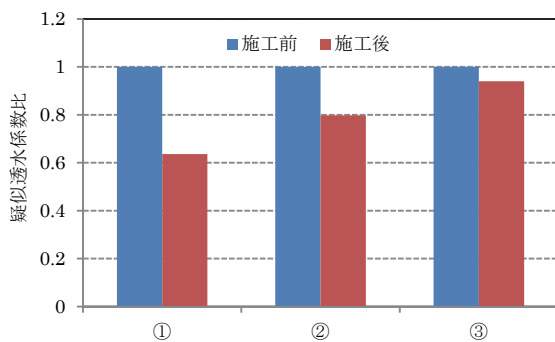


図-12 A橋の透水性試験結果



写真-4 B橋の透水性試験実施状況

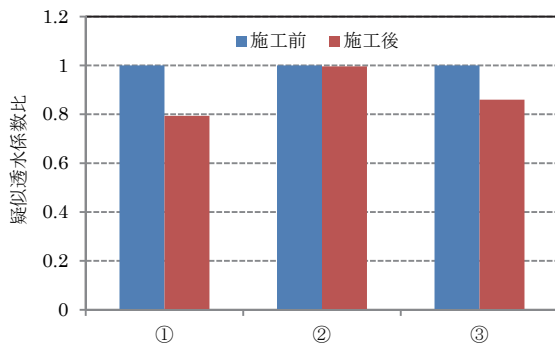


図-13 B橋の透水性試験結果

A橋、B橋ともに、けい酸塩系表面含浸材の適用により疑似透水係数が低下したため、含浸材により表層部の組織が緻密化されたものと判断された。また、本研究で

提案した簡易的な透水性試験を用いることによって、目視では確認が不可能なけい酸塩系表面含浸材の改質効果の確認が実施できることが明らかとなった。さらに、本方法は施工面の向きが横向きや上向きであっても実施可能な、極めて汎用性の高い方法である。ただし、下面(天井面)にこの試験方法を適用するためには、水頭圧をかけるために立ち上げ管の設置スペースが必要であるため、試験の実施場所が限定されることに留意する必要がある。

一方、A橋とB橋の疑似透水係数の改善の程度の違いであるが、低水セメント比の高強度であるために、けい酸塩系表面含浸材の含浸深さが小さく品質改善の程度が小さいと予想されたPC部材の方(A橋)の方が、RC部材(B橋)よりも疑似透水係数の低下が大きかった。この理由は不明であるが、上向き施工であるB橋の場合の方は表面含浸材が含浸しにくかった可能性や、施工時の水分量の違いなどが原因として考えられ、今後、さらに多くの実構造物への適用事例を収集することにより、その原因を解明する予定である。

5. まとめ

本研究では、比較的簡易にけい酸塩系表面含浸材によるコンクリート表層部の改質効果を定量的に評価できる透水性試験方法を開発し、実構造物において適用性を検証した。

- 1) 簡易的な透水性試験方法を開発し、けい酸塩系表面含浸材の改質効果を定量化できる性能確認方法としての可能性が確認できた。
- 2) 透水性試験により、けい酸塩系表面含浸材の性能評価試験への利用として最適な塗布条件が確認できた。
- 3) 実構造物への適用において、壁面や天井面においても適用できる試験装置を開発するとともに、透水性試験を実構造物に用いて、けい酸塩系表面含浸材の劣化物質の侵入抵抗性に対する改質効果の確認が実施できた。

参考文献

- 1) 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)、コンクリートライブラリー137、2012.7
- 2) 土木学会：表面保護工法設計施工指針(案)、コンクリートライブラリー119、2005.4
- 3) RCG インナーシール協会：RCG インナーシール工法適用マニュアル(案)、RCG インナーシール協会、2013.1
- 4) 浅野幸男、加藤久也、六郷恵哲：コンクリート用撥水材の防水効果を現場で簡便に評価するための透水試験方法、コンクリート工学年次論文集、Vol28、No.1、pp.2009-2014、2006.7