

けい酸塩系表面含浸工法におけるひび割れ閉塞効果と凍結融解抵抗性

日本プロロング（株） ○木原 正光 日大生産工 湯浅 昇

日大生産工（学部） 林 宗治 石井 幹太

日本プロロング（株） 鈴木 幸二

1. はじめに

けい酸塩系表面含浸材は、無機系で低環境負荷、かつ長期的にコンクリートの劣化抑制を期待する無機材料の一つとされる。一方で性能に及ぼす影響や適用範囲などについて不明な点が未だ多く、適切な性能評価が必要とされている。

けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指（案）¹⁾によれば、けい酸塩系表面含浸材は、含水下でコンクリート中の水酸化カルシウムと反応し、C-S-Hゲルの生成ならびに材の固化により、コンクリート表層の空げき構造を緻密化改質することで外的因子の侵入を抑制し、更なる水分が供給されると、再度溶解して反応を繰り返すとされ、長期的な効果が期待される。また、コンクリートのひび割れに対しては、けい酸塩系表面含浸材自体またはコンクリートとの反応物がひび割れ内部を充てんすることで止水効果が得られると考えられる。

しかしながら、既往の知見は、メーカー主導の報告に偏り、検証実験が不足し、未だ多くの不透明な点が残っている。評価指標の妥当性ならびに、客観的検証に基づいた有効性の評価が課題となっている。

そこで本研究では、けい酸塩系表面含浸材の効果を評価する試験方法を検討し、明確な判定基準に従い、けい酸塩系表面含浸材の有効性の有無という基本的疑問に対し、ひび割れ閉塞効果ならびに凍結融解抵抗性を検証したものである。

2. ひび割れ閉塞効果に関する検討

(1) 試験体の作製

200×100×100mmの鋼製型枠の中心部に 100×100×100mmのスタイロフォームを設置し、20°Cの恒温室で、表1に示すW/C=60%、スランプ18cmのコンクリートを打設し、材齢1日に脱型した。スタイロフォームを挟んで作製した 100×100×50mmの試験体 2つを一対として、貫通する模擬ひび割れを設けるため、図1に示すように、0.01、

0.03、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30mmの厚みのチップを、左右型枠面の一方の所定位置に配置し、他方の対向面と合わせ、開口両側面をエポキシ樹脂で固定し一体化させた。

試験体外周に高さ125mm のアクリル板を取り付け、天端から25mmの立ち上がりを確保し、図1に示すように上面に水を受けるようにした。

所定のひび割れ幅を設けた試験体に対し、材齢7日目に、塗布仕様として塗布量の異なる 3水準（原液 2回+濃度50% 2回、原液 1回+濃度50% 2回、濃度50% 2回）の塗布方法を設定し、含浸材を塗布した。なお、試験体は同一条件 2個とした。

(2) 試験方法

試験体上部（天端から25mmの立ち上がりで形成した受け皿部）に、100gの水を注水後、1時間観察して流下の有無を記録した。期間は塗布当日から85日間とし、1週あたり5回試験を行った。また、全ての試験体で、7日、14日、21日、35日、42日、49日、56日、70日、77日、84日に、原液1回+濃度50% 1回の含浸材を再塗布した。

流下が認められない場合を「止水」と定義し、判定は「2体とも止水」「1体のみ止水」「2体とも漏水」の、3区分とした。

(3) 試験結果及び考察

表2は、ひび割れ漏水状況を示したものである。0.01mmでは、塗布1日後に 5体で、濃度・塗布条件によらず、21日後に全数（6/6）で止水を確認した。

0.03mmでは、塗布1日後に 3体で、濃度・塗布条件によらず、14日後に全数（6/6）で止水を確認した。

0.05mmでは、塗布1日後に4体で、濃度・塗布条件によらず、35日後に全数（6/6）で止水を確認した。

0.10mmでは、塗布1日後に1体で、85日後に一部（4/6）で止水を確認した。

0.15mmでは、塗布21日後に1体で、85日後に部（3/6）で止水を確認した。

表1 調合表（ひび割れ漏水試験）

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				粗骨材	混和剤 (ml)	練り温 (°C)	スランプ 値 (cm)	空気量 (%)			
	単位水量	セメント	細骨材									
			細目	粗目		15S	303A					
60	185	308	266	496	939	4158	3333	25.7	19.1	4.7		

Crack-Closing Effect and Freeze-Thaw Resistance of Silicate-Based Surface

-Impregnation for Concrete-

○ Masamitsu Kihara¹, Noboru Yuasa², Shuji Hayashi², Kanta Ishii², Koji Suzuki¹

¹ Nihon Prolong Co. Ltd. Japan

² College of Industrial Technology, Nihon University, Japan

0.20mmでは、塗布49日後に1体で、85日後に一部(2/6)で止水を確認した。

0.25mmでは、塗布70日後に1体で、85日後に一部(3/6)で止水を確認した。

0.30mmでは、塗布49日後に1体で、85日後に一部(4/6)で止水を確認した。

時間の経過に伴い、ひび割れは段階的に閉塞する傾向を示し、ひび割れ幅0.05mm以下では試験体

全数で止水を確認した。一方で、幅0.10mm以上では止水したものと止水しなかった試験体が混在した。

また、今回の試験の範囲内では、明確な含浸材材料濃度・塗布方法の違いが結果に及ぼす影響は確認できなかったものの、原液+濃度50%2回は、濃度50%2回よりも若干効果があるとも思えた。

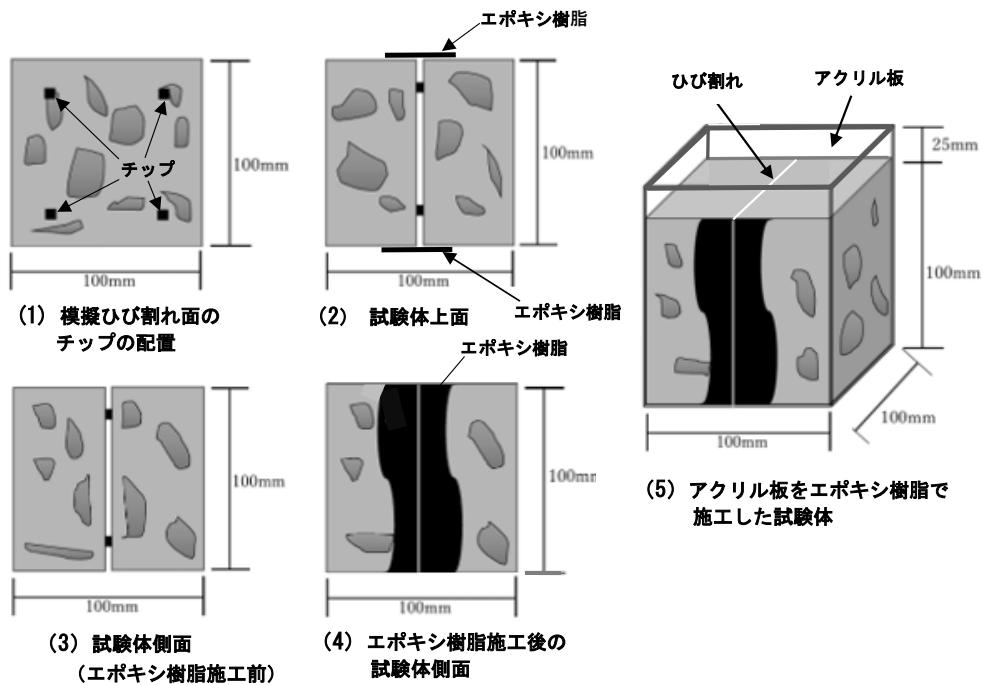


図1 ひび割れ漏水試験体

表2 ひび割れ漏水状況

ひび割れ幅 (mm)	塗布仕様	塗布してからの日数 (day)											
		7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84 85
0.01	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.03	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.05	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.1	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.15	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.2	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.25	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.3	原液 2回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	原液 1回 + 濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	濃度50%2回	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

* 縦線は含浸材を再塗布した日

* ————— 2体とも止水

----- 1体のみ止水

..... 2体とも漏水

3. 凍結融解抵抗性に関する検討

(1) 試験体の作製

$\phi 150 \times 75 \text{ mm}$ の円柱型枠を用い、図2に示すように、くぼみ形状が得られるよう上部中央に $\phi 75 \times 37.5 \text{ mm}$ のスタイルフォームを設置して、図2に示すようにくぼみ形状を形成した。

20 °Cの恒温室にて、表3に示す3水準の水セメント比 (W/C=40%、60%、80%) のコンクリートを打設し、材齢7日で脱型した。

図3に示す条件で、材齢28~42日にかけて、試験体を水中で養生して飽水状態としたものと、20°C R.H 60% の恒温恒湿室で乾燥したものとを設定し、含水状態を2水準とした。

さらに、材齢42日にそれぞれの半分の試験体を含浸材へ24時間浸漬させた後、材齢56日まで20°C R.H 60% の恒温恒湿室で気中養生した。

以上の手順により、試験体は、W:水中養生無処理、WE:水中養生+含浸材処理、D:乾燥養生無処理、DE:乾燥養生+含浸材処理の4条件となる。

(2) 試験方法

試験体のくぼみ上部にスケーリング片確保のための網を設置した後、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、B法（気中凍結・水中融解）で180回の凍結融解サイクル数を行い、所定サイクル数ごとに、本体質量、くぼみ内のスケーリング質量および超音波伝播速度を測定した。

(3) 試験の結果及び考察

図4は、凍結融解サイクル数と質量変化率の関係を示したものである。W/C=40%では、Wは80サイクルで膨張破壊、続いてWEが85サイクルで膨張破壊し、質量変化率はWが-15.0%であった。

W/C=60%では、Wが85サイクルで膨張破壊し、質量変化率はWが-2.0%であった。

W/C=80%では、Wが50サイクルで膨張破壊、続いてDEが120サイクルで膨張破壊し、質量変化率はWが-23.1%、WEが-3.6%、Dが-17.4%、となった。

超音波電波速度試験位置

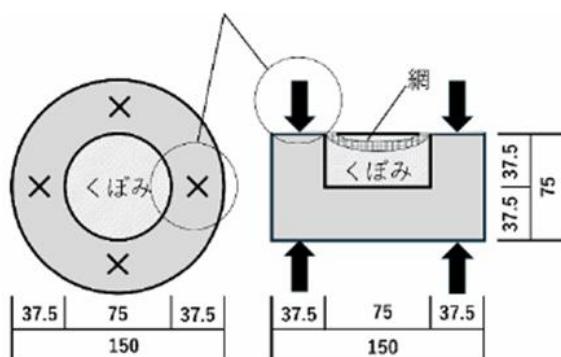


図2 試験体概要

表3 調合表（凍結融解試験）

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					練り温 (°C)	スランプ 値 (cm)	空気量 (%)			
	単位水量	セメント	細骨材		粗骨材						
			細目	粗目							
80	220	275	269	502	956	24.0	8.5	1.0			
60	230	383	253	471	892	23.0	5.5	0.6			
40	260	650	179	334	821	23.0	4.0	0.8			

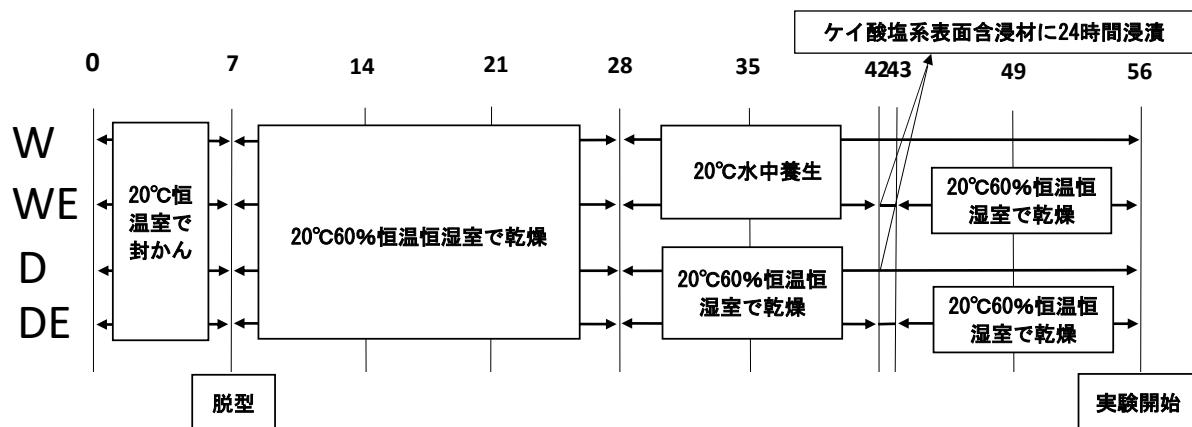


図3 試験体の処理・養生

含浸材処理試験体(WE・DE)は、W/Cに関わらず、それぞれの無処理試験体に比し、スケーリングが少なかった。この効果はW/Cが大きいほど明確であった。

図5は、凍結融解サイクル数と超音波電波速度の関係を示したものである。W/C=40%では、Wは90サイクル時に0.5(km/sec)、WEは90サイクル時に0.5(km/sec)、Dは180サイクル時に3.5(km/sec)、DEは180サイクル時に4.5(km/sec)となつた。

W/C=60%では、Wは90サイクル時に0.5(km/sec)、WEは120サイクル時に0.9(km/sec)、Dは180サイクル時に1.4(km/sec)、DEは180サイクル時に2.2(km/sec)となつた。

W/C=80%では、Wは50サイクル時に0.5(km/sec)、WEは150サイクル時に1.7(km/sec)、Dは150サイクル時に1.3(km/sec)、DEは120サイクル時に1.5(km/sec)となつた。

含浸材処理試験体(WE・DE)は、無処理試験体に対し、どのW/Cにおいても、超音波速度の低下を抑制させる傾向を示した。

4. まとめ

けい酸塩系表面含浸材の効果を、ひび割れ漏水効果と凍結融解抵抗性の観点から検証した結果は、以下の通りである。

- (1) けい酸塩系表面含浸材塗布により、ひび割れ幅0.05mm以下のひび割れに対して止水が確認された。ひび割れ幅0.10mm～0.30mmでは、止水を確認できたものと確認できなかつたものがあつた。
- (2) 本設定条件の範囲では、含浸材濃度や塗布方法の違いによる止水効果の差は、明確でなかつた。
- (3) けい酸塩系表面含浸材塗布による、凍結融解作用に対するスケーリング抑制効果を確認した。
- (4) けい酸塩系表面含浸材塗布により、凍結融解作用に対する超音波速度の低下が抑制されていることを確認した。

参考文献:

- 1) 土木学会 コンクリートライブリー137
けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)

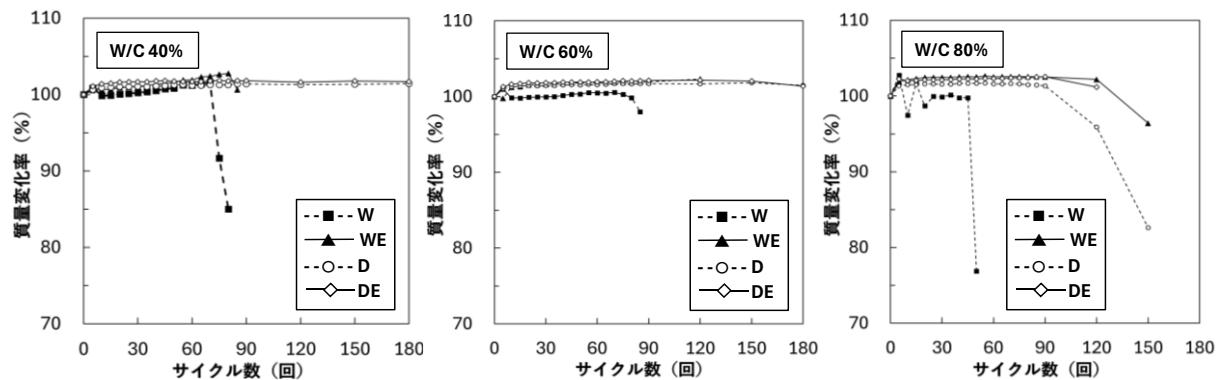


図4 凍結融解サイクル数と質量変化率の関係

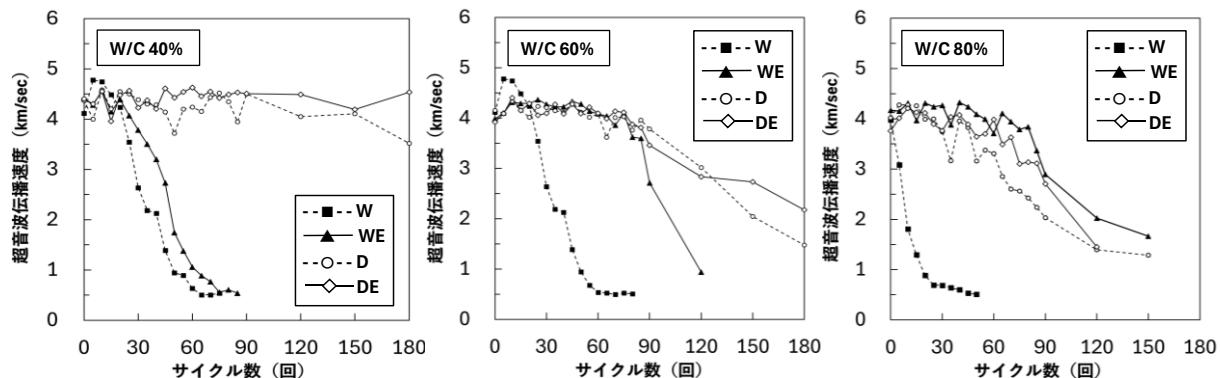


図5 凍結融解サイクル数と超音波電波速度の関係