

固化型けい酸塩系表面含浸材によるセメントペーストの組織変化

金沢大学 学生会員 ○室谷 卓実
金沢大学 正会員 五十嵐 心一

1. 序論

表面保護工法の1つである表面含浸工法の適用にあたっては、目的とする改質効果に応じて表面含浸材を選択する必要があるが、その改質効果は基本的に表層部の組織変化によりもたらされる。よって、表面含浸工法の適用による組織変化を明らかにすることは、適切な含浸材の選択のための重要な判断根拠となる。

本研究においては、従来検討事例の少ない固化型けい酸塩系表面含浸材の改質効果を反応型けい酸塩系表面含浸材と比較しながら、微視的構造の変化の観点から論ずることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 使用材料および供試体の作製

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm^3 ，比表面積 $3310\text{cm}^2/\text{g}$ ）を使用した。表面含浸材はけい酸リチウム（密度 1.20g/cm^3 ，固形分率 23%）を主成分とする固化型けい酸塩系表面含浸材を使用した。JIS R 5201 に準じて水セメント比が 0.5 のセメントペースト円柱供試体（直径 100mm，高さ 200mm）を作製した。打ち込み後 24 時間にて脱型し、水中養生（ 20°C ）を行った。材齢 28 日にて、供試体中央部から直径 100mm，高さ 50mm の円板状供試体を切り出し、含浸材製造業者の指定する仕様に従って含浸材を切断面に塗布した。塗布完了後、含浸材の反応を促すために所定の材齢まで気中養生（相対湿度 60%）を行った。また、比較のために含浸処理を施さずに気中養生を行った原状供試体および仕様に

従って反応型けい酸塩系表面含浸材を塗布した後、湿空養生（相対湿度 80%以上）を行った供試体も作製した。以上の供試体作製工程を表-1 に示す。

2.2 微小硬度試験

材齢 42，56 および 91 日にて 2.1 で作製した円板状供試体の中央部から $20\text{mm}\times 20\text{mm}$ 四方の試料を含浸深さ方向に切り出した。表面を研磨し、JIS Z 2244 に準じて微小硬度試験を行った。押し込み荷重は 0.98N とし、ビッカース圧子の押し込み位置を含浸深さ方向に変化させて測定を行った。固化型原状供試体および反応型基準供試体については、表面の影響を受けない位置における微小硬度を測定した。

2.3 画像解析

(1) 電子顕微鏡試料の作製

所定材齢にて供試体塗布面および内部から試料を切り出し、エタノールによる傾斜溶媒置換により内部水分を除去した。さらに t-ブチルアルコールとエタノールによる傾斜溶媒置換を行った。その後、凍結真空乾燥装置により乾燥処理を行い、真空樹脂含浸装置を用いてエポキシ樹脂を含浸させた。樹脂の硬化後、試料観察面を研磨し、金-パラジウム蒸着を行い反射電子像観察試料とした。

表-1 供試体作製工程

供試体種類	材 齢（ 日）			
	28	42	56	91
固化型原状供試体	水中養生		気中養生	
固化型塗布供試体	水中養生+塗布		気中養生	
反応型基準供試体	水中養生			
反応型塗布供試体	水中養生+塗布		湿空養生	

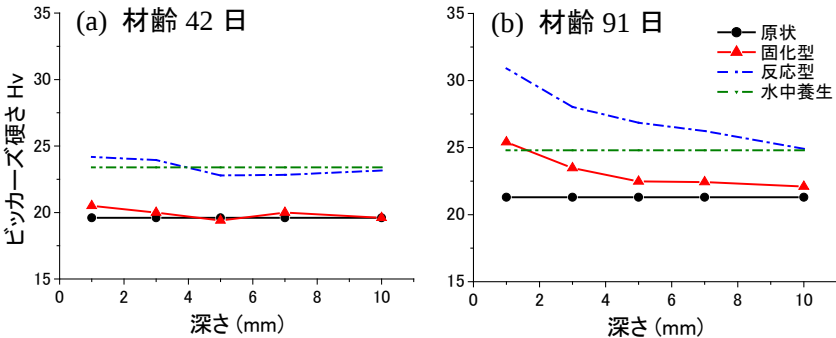


図-1 微小硬度試験結果

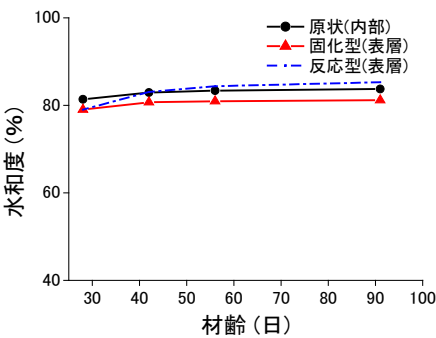


図-2 水和度の変化

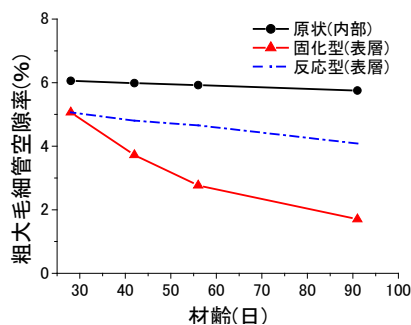


図-3 粗大毛細管空隙率の変化

(2) 反射電子像の取得

観察倍率 500 倍にて研磨面の反射電子像を取得した。取り込んだ反射電子像に対してグレースケールに基づく 2 値化処理を施し、未水和セメントおよび粗大毛細管空隙を抽出した。なお固化型塗布供試体および固化型原状供試体に対する乾燥養生により、供試体中に微細ひび割れが発生するが、これを手動処理により除去して粗大毛細管空隙を抽出した。未水和セメントおよび粗大毛細管空隙の体積率から、水和度および粗大毛細管空隙径分布を求めた。

3. 結果および考察

図-1 に微小硬度試験の結果を示す。材齢の進行にともない表層部の微小硬度の増大が確認され、また塗布供試体と無塗布供試体の微小硬度の差が大きくなっている。長期材齢では表層部の 3mm 程度の範囲において組織が緻密化されているようである。反応型と比較すると、材齢 42 日では同程度の改質深さであるが、長期材齢においては固化型のほうが反応型より改質範囲が狭い。これは、固化型表面含浸材の乾燥およびそれに伴う固化により内部への浸透が制限されたためと考えられる。

図-2 に画像解析より算出した水和度を示す。概して水和度の変化は極めて小さい反応型は湿気養生を行っているのに対し、固化型は気中養生を行っている。このため、セメントの水和反応に必要な水分の供給がなされず、反応型と比べると水和度の変化はさらに小さくなっている。

図-3 に粗大毛細管空隙率の変化を示す。固化型表面含浸材を塗布した表層部は内部と比べて粗大毛細管空隙率の変化が大きい。図-2 に示したようにセメントの水和はほとんど進行していないので、含浸材の反応により空隙に含浸材の固化物が充填されたためと考えられる。また、反応型より固化型の方が材齢

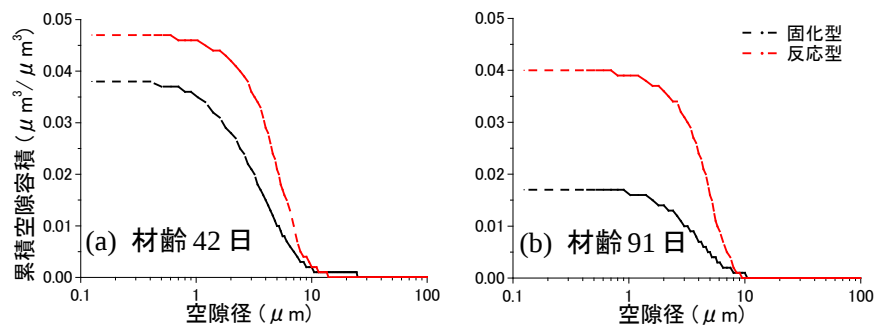


図-4 表層部の粗大毛細管空隙径分布

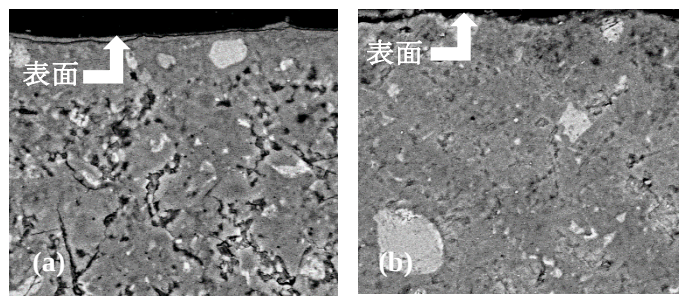


写真-1 表層の SEM 像 (材齢 91 日) 100μm

の進行にともなう粗大毛細管空隙率の変化が大きいことがわかる。

図-4 に粗大毛細管空隙径分布を示す。いずれの材齢においても粗大毛細管空隙率は固化型表面含浸材を使用した方が小さく、特に材齢 91 日においてその差は顕著である。また、空隙径分布も異なり固化型は反応型と比べて 2μm から 10μm 程度の大きな径の空隙が少ない。これより、反応型より固化型の方が粗大毛細管空隙の空隙充填効果に優れていることは明らかであり、実際、写真-1 に示すように空隙の残存状態は大きく異なっていた。

固化型けい酸塩系表面含浸材は反応型けい酸塩系表面含浸材とは異なり、含浸材自身の充填とその乾燥固化が改質機構である。よって大きな空隙であっても含浸材が侵入する限りは充填効果が期待できると考えられる。

4. 結論

固化型けい酸塩系表面含浸材は適切な含浸処理がなされるならば、表層の空隙の充填性に優れ、比較的粗大な空隙減少させることが可能である。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(A), 課題番号: 23246081, 基盤研究(c), 課題番号: 21560482)の交付を受けて執り行われたものである。ここに記して深甚の謝意を表す。