

フライアッシュ混入セメントペーストに対するけい酸塩系表面含浸材の改質効果

金沢大学大学院	学生会員	○小出	至也
金沢大学大学院	学生会員	渡辺	晋吾
金沢大学理工学域	正会員	五十嵐	心一

1. 序論

けい酸塩系表面含浸材によるコンクリート表面からの劣化因子の侵入の抑制は、コンクリート中の水酸化カルシウムとの反応により C-S-H を生成し、表層組織を緻密化することによりもたらされる。また、施工が容易で、安価であるという理由から広く用いられるようになっている。しかしその一方において、反応の対象が水酸化カルシウムであるため、一般に中性化の進行しているコンクリートや鉱物質混和材を使用しているコンクリートに対しては、十分な改質効果は得られないと考えられている。しかし、環境負荷通減の機運の高まりとともに、今後ますます使用が増えると予想される混和材使用コンクリートへの適用の可能性を明確にすることは重大な意義を有す。

本研究においては、フライアッシュ混入セメントペーストに対する含浸材の改質効果を、内部組織変化の観点から明らかにす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。けい酸塩系表面含浸材はけい酸ナトリウムおよびけい酸カリウムを主成分とする反応型表面含浸材を使用した。JIS R 5201 に準じて水結合材比が 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。フライアッシュ混入量はセメント質量の 20%置換とし

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、所定の仕様に従ってけい酸塩系表面含浸材を円柱供試体に塗布した。また、円板状供試体を飽和水酸化カルシウム水溶液に 24 時間の浸漬を行い、その後同様に含浸材の塗布を行った供試体（以下、CH 浸漬後塗布供試体とする）も作製した。塗布完了後、含浸材の反応を促すために所定の材齢まで湿空養生（相対湿度 80%）を行った。また、比較のために含浸材処理を施さずに水中養生を継続し供試体も作製した。

2.2 微小硬度試験

表面含浸材塗布後の湿空養生期間 14,28 および 63 日（供試体の材齢 42, 56 および 91 日）にて $20\times 20\text{mm}$ の試料を含浸深さ方向に切り出した。耐水研磨紙を用いて切断面を研磨し、JIS Z 2244 に準じて微小硬度試験（ビッカース硬さ）を行った。押し込み荷重は 0.098N 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。また、水中養生供試体についてはバルクセメントペースト部（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から試料を切り出し、エタノールに 24 時間以上浸漬し、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

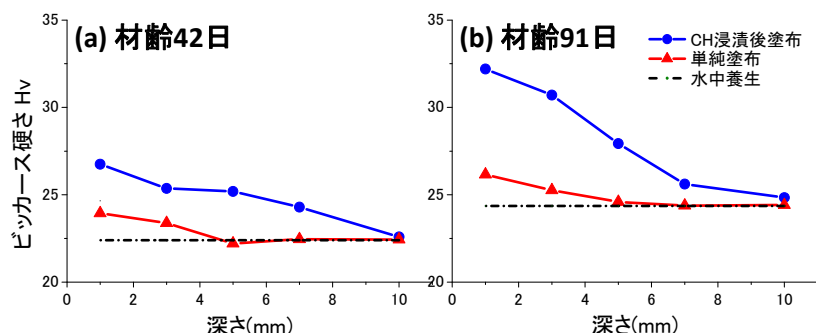


図 - 1 微小硬度試験結果

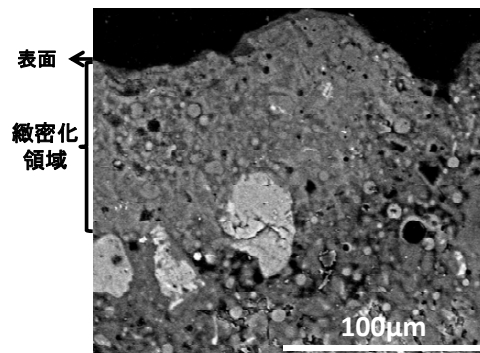


写真 - 1 表層部 SEM 画像

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を行った後、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、耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーを用い試料観察面を注意深く研磨し、金-パラジウム蒸着を行い反射電子像観察試料とした。

(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分解能以上の毛細管空隙(以後、粗大毛細管空隙と称す)を抽出した。求めた粗大毛細管空隙を面積の等しい円に置換し、それらを円相当径の順に並べ替えて粗大毛細管空隙径分布を求めた。

2.4 示差走査熱量測定

所定材齢にて、含浸材塗布供試体の所定の深さから試料を取出し、示差走査熱量測定を行った。水酸化カルシウム吸熱ピーク面積からセメントペースト中の水酸化カルシウム量を求めた。

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う硬度の増加が確認された。また、塗布供試体の塗布面に近いほど微小硬度は大きく、内部に向かうにつれて値は減少していく。そしてある深さ以上で水中養生供試体と同程度の値となる傾向が認められる。いずれの材齢においても CH 浸漬後塗布供試体の微小硬度が最も大きく、また単純に水和反応を継続させたものよりも大きな微小硬度を示す範囲は、CH 浸漬後塗布供試体の方が大きい。

図-2 に粗大毛細管空隙径分布を示す。塗布面では、いずれの塗布供試体とも、粗大毛細管空隙率は水中養生供試体よりも小さい。特に CH 浸漬後塗布供試体では粗大毛細管空隙率は 1/2 以下にまで低下し、緻密な組織を形成している (写真-1)。一方深さ 5mm においては、単純塗布、および水中養生供試体はほぼ同程度の空隙率、空隙径分布を示している。しかしこの場合も CH 浸漬後塗布供試体は粗大毛細管空隙率が小さく、図-1 の微小硬度の結果とも一致している。

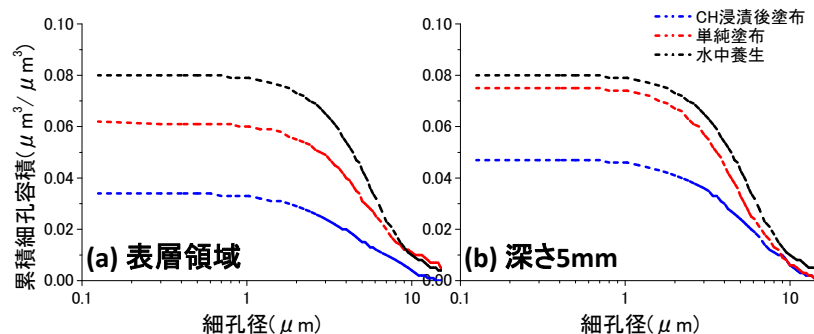


図 - 2 粗大毛細管空隙径分布 (塗布後 14 日 ; 材齢 42 日)

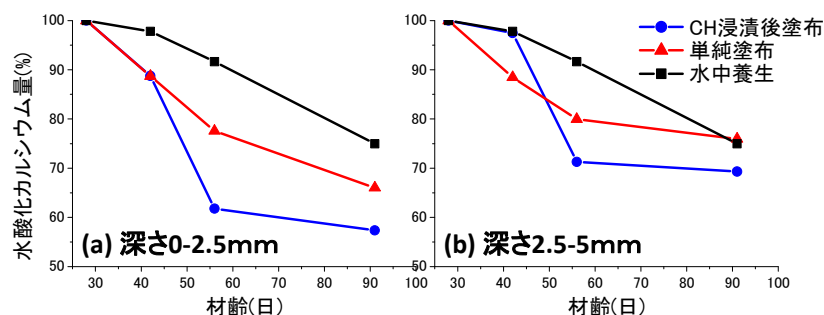


図 - 3 水酸化カルシウム量の変化

図-3 に材齢 28 日における水酸化カルシウム量を基準とした水酸化カルシウム量の変化を示す。水中養生供試体はポズラン反応の進行により、水酸化カルシウムは減少していく。これに対して、単純塗布供試体はそれよりも大きな割合で水酸化カルシウムが減少し、けい酸塩系表面含浸材との反応が進行していることがうかがえる。一方、CH 浸漬後塗布供試体においては、材齢 56 日に急激に水酸化カルシウム量が減少している。CH 浸漬後塗布供試体は事前に水酸化カルシウムを供給したことで、含浸材の反応が活性化して、より消費量が大きくなったと考えられる。しかし、初期の水酸化カルシウム量によらず、塗布供試体の両者において、材齢 56 日以降の減少割合は小さい。

4. 結論

けい酸塩系表面含浸材をフライアッシュ混入セメントペーストに塗布した場合でも、表層部において、水中養生を継続した供試体よりも若干緻密な組織が形成される。しかし、水酸化カルシウム溶液に浸漬した後に含浸処理を行うことによって、より表層組織が緻密化し、その改質範囲も深くなることが確認された。

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)の交付を受けたものである。ここに記し謝意を表す。