

W/C の大きなセメントペーストを用いた表面含浸材の改質メカニズムに関する一考察

名古屋工業大学大学院 正会員 ○吉田 亮

元名古屋工業大学 元学生会員 菅沼 美紀

1. はじめに

表面含浸工法は、その優れた作業性・経済性から、コンクリート構造物の補修・予防保全の技術として注目を集めている¹⁾。表面含浸材はシラン系とケイ酸塩系に大別され、後者は表層組織を緻密化することで、劣化因子の侵入を抑制するとされている。しかし、酸性雨などにより、カルシウム(Ca)が溶脱するなどの経年劣化を受けた既設構造物における、表面含浸材の改質メカニズムの詳細は明らかではない。

本研究では、既設構造物を想定し、Ca 分を補うケイ酸塩含浸材を対象として、水セメント比の大きなセメントペーストを用いることで水和物の観察を容易とし、塗布方法の違いが含浸材の改質効果に与える影響とそのメカニズムについて検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および供試体の作製

ホワイトセメント、AE 減水剤、増粘材、消泡剤を使用し、W/C=1.0 のセメントペースト供試体を作製した。その後、材齢 28 日まで、Ca 溶脱の劣化を施すために、養生水が塩基性 (pH9 程度) を示すごとに養生水 (水道水) の交換を行った。養生後、10×10×100 mm の供試体を各種評価試験に要する大きさ (10×10×<10 or 15 > mm) に切断し、表面の研磨により粗さを整えた。なお供試体の調湿を、塗布前は 20□, R.H.100%で、塗布後は R.H.60%のデシケータ内で行った。

含浸材は、コロイダルシリカ (CS : pH 11.5, 粒径 10~15nm, 含有量質量比 25%) を主成分とする水溶液 (以下、改質材) と水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) 飽和水溶液 (以下、改質水) を使用した。

2.2 塗布方法

表-1 に塗布方法の概要を示す。塗布方法は、含浸材の塗布回数 (1- : 一回塗り, 2- : 二回塗り), 含浸材溶液の混合 (a : 混合塗り, b : 別塗り), 塗布時の散水の有無 (有り : w), 含浸材の濃度 (濃度 1; 改質水:改質材=1:1, 濃度 2; 0.5:0.5, 濃度 3; 0.5:1) の 4 項目をパラメータとして 24 種類の組み合わせを検討した。

2.3 各種評価試験

塗布後 7 日, 28 日において各種評価試験を行った。含浸材の改質効果を評価する試験として、ビッカース硬さ試験, 吸水試験を行った。また、改質メカニズムの検証では、含浸材の改質深さを測定するために電子線マクロアナライザ (EPMA) 試験, 走査型電子顕微鏡 (SEM) による水和物の形状の観察, 水和物の組成を分析する X 線回折 (XRD) などを行った。

3. 塗布方法が改質効果に与える影響

図-1 に塗布後 7 日におけるビッカース硬さ試験の結果を示す。図では比較しやすいように 12 種類の塗布方法の結果を抽出した。硬度は、一回塗りでは別塗りの方が、別塗りでは二回塗りの方が大きくなった。また、二回塗り・別塗りでは、いずれの濃度においても

表-1 塗布工程の概要

塗布工法	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
N					
1-a	混合材				
1-aw		散水			
1-b	改質材	改質水			
1-bw		散水→改質水	散水		
2-a	混合材	混合材			
2-aw		散水→混合材	散水		
2-b	改質材	改質水→改質材	改質水		
2-bw		散水→改質水	散水→改質材	散水→改質水	散水

※混合材は、混合後 3 日以上経過した時点で使用

※塗布量は改質材・改質水は全量で 100 g/m², 散水は表面が濡れる程度

※複数作業日の「→」前後の塗布間隔は 6 時間である

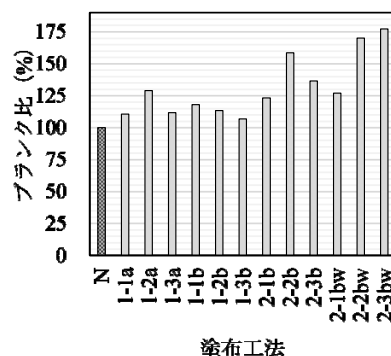


図-1 ビッカース硬さ試験結果

キーワード：ケイ酸, 水和物, コロイダルシリカ, SEM, XRD, ビッカース硬さ

連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院 TEL 052-735-5125

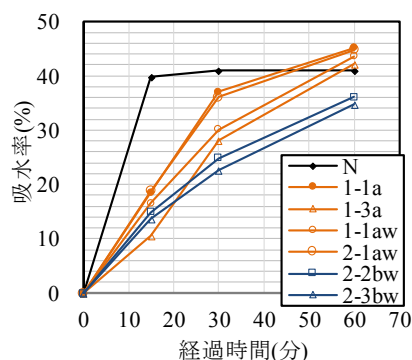


図-2 吸水性状

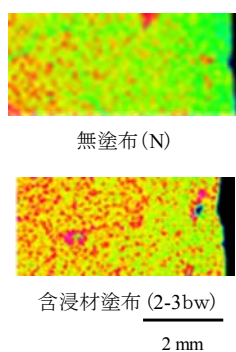


図-3 Ca 濃度分布 (EPMA)

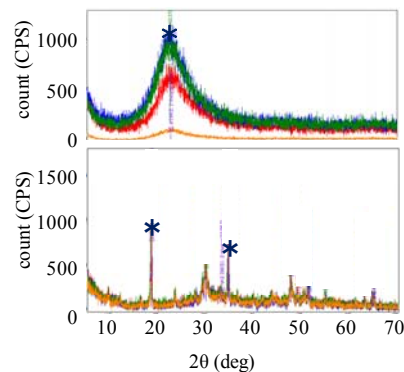
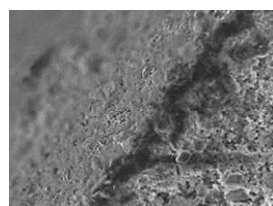
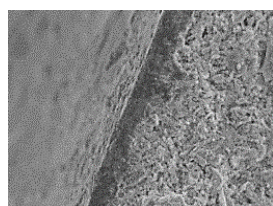


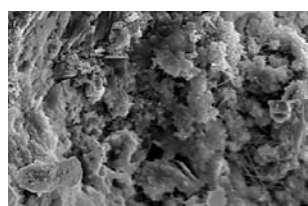
図-4 回折チャート (XRD)



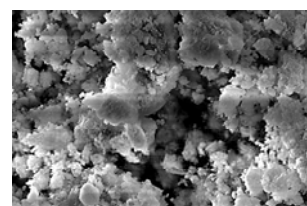
混合塗り (600 倍)



別塗り (600 倍)



無塗布 (2500 倍)



含浸材塗布 (2500 倍)

図-5 SEM による観察画像

散水有りの方が大きく、さらに、二回塗り・別塗り・散水有りでは、濃度3において最も硬度が上昇した。

図-2 に吸水試験の結果を示す。ここでは、吸水速度が無塗布(N)より半減した塗布方法を抽出した。60 分間の吸水率が減少した塗布方法は、ビッカース硬さ試験と同様の結果であった。初期の吸水速度の低下は、しきい空げき（入口）径が小さくなったこと、そして吸水率の減少は、組織の緻密化を示唆している。

4. 塗布方法が改質メカニズムに与える影響

図-3 に無塗布と最も改質効果が大かった塗布方法(2-3bw)による供試体の元素(Ca)濃度分布を示す。図は、右端が塗布表面である。無塗布では、表面から深さ約 2 mm の領域において、供試体の中央(図の左端)に比べ Ca の濃度が小さく、劣化領域が認められる。一方で、含浸材を塗布した供試体では、この領域でも中央と濃度が概ね等しくなっており、空げきの内部で水和物が生成していることが示唆された。

図-4 に粉末 XRD により得た、塗布面近傍の回折チャートを示す。混合塗りではケイ酸ガラスが生成し、別塗りではケイ酸塩水和物が生成していることが確認された。

図-5 に SEM により観察された画像を示す。混合塗りでは塗布面が凹凸であり、別塗りでは平滑であることがわかる。前述の XRD による化学組成とあわせて考えると、混合塗りでは、改質材と改質水は混合した時点より反応が開始され、混合材は塗布面より内部に浸透

しにくく、塗布面にケイ酸ガラスが析出した。一方、別塗りでは、改質材と改質水が空げきの内部に浸透した後に反応し、内部でケイ酸塩水和物が生成した。

表面より深さ 1~2 mm の領域では無塗布と比較して、含浸材(別塗り)を塗布することで大小の粒状結晶が連なって密に生成していることが観察された。また、含浸材の濃度により水和物の量や大きさに相違があることを、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が少ない場合には、無塗布と同様の針状結晶が見られ、含浸材による水和物が十分に生成されていない様子が観察された。

このような水和物の位置・量・大きさ・種類が硬化体物性(改質効果)に影響を与えていると示唆された。

5. まとめ

本研究は、 $\text{W/C}=1.0$ のセメントペーストを用いて、水和物の観察を行うことで、表面含浸材の塗布方法による改質メカニズムの違いを検討した。

濃度を小さくした含浸材溶液(改質材と改質水)を混合せず別々に、少量ずつ塗り重ねることで、より内部まで浸透し、水和物が密に生成することが確認できた。実構造物など Ca 溶脱が想定される場合には、十分な $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と散水養生を与えることが重要である。

謝辞：本研究は、豊橋市イノベーション創出等支援事業の助成、三信建材工業株式会社、日研株式会社の協力を受け実施した。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法的设计施工指針(案), コンクリートライブラリー137, 2012.7