

結晶増殖材を用いたモルタル及びコンクリートの諸特性に関する実験

(財)首都高速道路技術センター 正会員 ○窪田裕一
 法政大学 フェロー 満木泰郎
 MCR 科学技研 中村行伸

1. はじめに

21 世紀は「ストックメンテナンスの世紀」とも言われており、これまでに蓄積されたコンクリート構造物の劣化状況を把握し得る新技術や初期機能回復に資する補修技術の確立が急務となっている。コンクリートの劣化現象は、コンクリート内に水や有害物質が浸入して鉄筋を腐食させたり、コンクリートそのものの性質を低下させていることが主な原因である。

本研究は、コンクリートの劣化を抑制する補修工法（改質工法）の一つとして、触媒性物質を含むセメント結晶増殖材の止水効果、触媒性物質の添加量が強度に与える影響についての検討を行った。そして触媒性物質によって生成された結晶生成状況を SEM で観察を行った。

2. 使用材料

(1) 結晶増殖材

使用した結晶増殖材は、普通ポルトランドセメント、触媒性化合物およびシリカサンドの 3 成分から成る無機質粉体である（以下：XC と呼ぶ）。

XC と水を練り混ぜペースト状にしたものをコンクリート表面に塗布することで、触媒化合物が浸透拡散作用によりコンクリート内部に深くカルシウムを運び、水で満たされた毛細管空隙や微細ひび割れ面に珪酸カルシウム水和物などのセメント結晶を生成させてコンクリート躯体の緻密化を図る。

施工例として、XC を付与した面から 8cm、85cm の位置で観察を行なった結晶生成状況を図 1, 2 に示す。結晶生成は、XC を付与した面に近い方が多く確認できた。

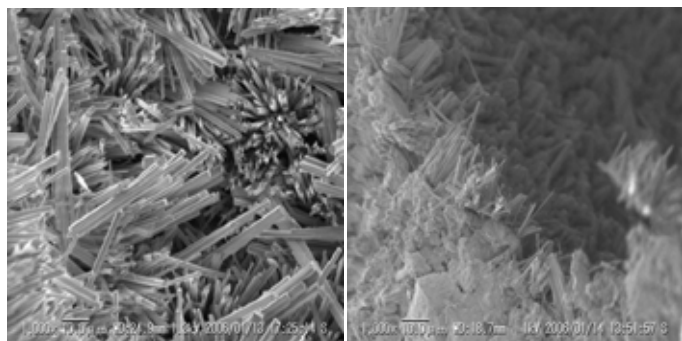


図 1. 表層から 8 cm

図 2. 表層から 85 cm

3. 実験概要

(1) XC 塗布有無・打継目処理有無による透水試験

H 220cm × B 1000cm × L300cm の型枠を作製し、1 層目を 200cm、2 層目を 20cm とし、打継目の処理：有・無に分けコンクリートの打設を行った。その後、打継目部に XC 塗布有・無に分け、3 ヶ月・12 ヶ月後に打継目部をコアサンプリングした。実験に使用した供試体は、φ 75 × 100mm とし、No. 1 ~ No. 4 の各々 3 本、計 12 本を用いて実験を行った。そして、供試体を透水試験機にかけ、水圧は 0.9 ~ 1.0 (MPa) とした。単位時間あたりに供試体を通過した水の質量を透水量 Q (m/sec) とし、コンクリートの透水係数 K (m/sec) を Darcy 則 (1) 式により算出した。

$$Q = K \times A \times \left(\frac{P}{h} \right) \times \left(\frac{1}{r_0} \right) \quad \dots (1)$$

ここに、

K ：透水係数 (m/sec), r_0 ：水の密度 (0.001 kg/m³)

h ：試験体の長さ (m) P ：水圧 (kg/m²)

A ：試験体の断面積 (m²)

(2) 主触媒と補助触媒による強度特性実験

本実験における配合は、水：セメント：細骨材 = 13：20：40 とし、W/C = 65% とした。セメントに対して主触媒の添加量を各 20, 50, 100, 150ppm とし、主触媒に対し、補助触媒の添加量を各 0 倍、2.5 倍、5.0 倍、7.5 倍、10.0 倍、12.5 倍とした。

モルタルミキサーで練り混ぜ後、フロー値を測定し 40 × 40 × 160 (mm) のモルタル供試体を作製した。そして、各添加量別に水中養生を行い、圧縮試験・曲げ試験を材齢 14, 28, 91 日で行なった。

(3) SEM による結晶生成確認観察

SEM (走査型電子顕微鏡) を用いて、XC 塗布後 3 ヶ月・12 ヶ月で結晶生成観察を行った。どの程度、緻密になったかを調べ、耐久性向上が図れたかを確認する。供試体は、透水試験終了後、打継目部のコンクリートを用いて観察を行った。

Key word：劣化抑制，結晶増殖，緻密化，透水，止水性能，SEM

(財)首都高速道路技術センター 東京都虎ノ門 3-10-11 虎ノ門 P F ビル TEL 03-3578-5752 (元法政大学大学院)

3. 実験結果及び考察

(1) XC 塗布有無・打継目処理有無による透水試験結果

透水係数は、時間と共に減少し、XC 塗布しているものの方が小さい傾向が見られた。また、3 ヶ月と 12 ヶ月の透水係数を比べると 12 ヶ月の方が小さい傾向が見られた。(図 3,4) 各供試体の打継目部の回復を表すのに N o.3 (打継目処理無・XC 塗布無) を 1.0 とし、XC 塗布効果によってどの程度改善されたかを算出した。今回の実験において、初期透水係数から変化率が安定した時点 (165h, 242h) を評価点とした。改善値は、XC 塗布後 3 ヶ月、12 ヶ月共に「塗布:有・打継目処理:有」「塗布:有・打継目処理:無」「塗布:無・打継目処理:有」の順で改善率が大きかった(表-1)。XC を塗布したものは、打継目処理の有無に対応した供試体において改善効果が顕著に現れている。透水係数の測定から XC の塗布効果を判断すると、材齢 3 ヶ月では N o.1 と N o.3 を比較すると 0.61:1.00 とあまり差が生じてないが XC 塗布後 12 ヶ月では 0.18:1.00 と大幅に回復を示した。これらは、XC 塗布効果が現れており止水効果は十分であったと考えられる。

(2) 主触媒と補助触媒による強度特性試験結果

主触媒・補助触媒が共に無添加である供試体を基準とした補助触媒混合比と圧縮強度増加率の関係を図 5 に示す。主触媒が 20ppm では、主触媒と補助触媒の比率が 2:15、50ppm, 100ppm, 150ppm では 2:5 において増加率が最も大きいということが確認でき、触媒効果によって細孔内部に結晶が増殖し、緻密化したものと考えられる。以上の結果から最適混合率および濃度が存在することが確認できた。

(3) SEM による結晶生成確認観察

走査型電子顕微鏡 (SEM) で結晶生成確認観察を行なった。倍率 50 倍でコンクリート表面を観察し、空隙に焦点をあて、倍率 1000 倍で観察を行なった。結晶増殖材塗布後 3・12 ヶ月後の結晶生成状況を図 6.7 に示す。触媒が両方無添加におけるモルタルの状況を図 8 に示し、主触媒と補助触媒を混入させたモルタル (混合比 2:5, 主触媒 100ppm) を図 9 に示す。空隙及び毛细管空隙内に C-S-H 系結晶と予測される針状結晶が確認された。

3. 結論

XC を塗布することで、経過時間と共に打継目部が緻密化し十分な止水効果と改善値を得ることができた。また、透水試験後の供試体では、結晶が顕著に確認することができた。このことから結晶化の促進には水が重要な役割を果たすことがわかった。そして、結晶増殖材は、地下構造物などで、十分効果を発揮できるということが予測できる。

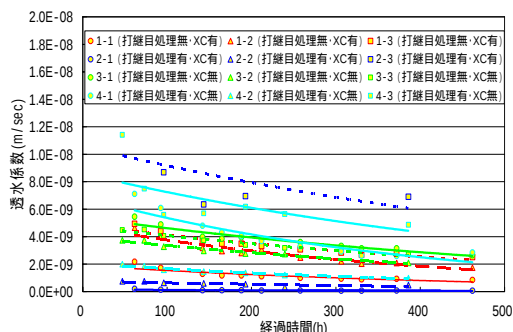


図 3. 経過時間-透水係数(塗布後 3 ヶ月)

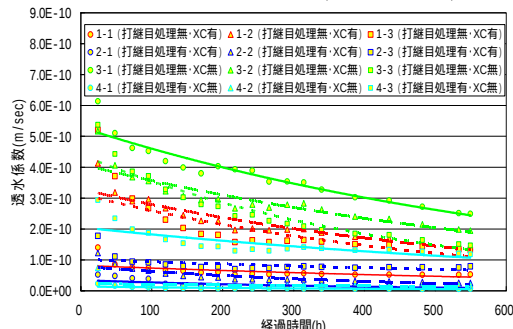


図 4. 経過時間-透水係数(塗布後 12 ヶ月)

表-1 改善値の比較 (XC 塗布後 3・12 ヶ月)

No	番号	XC 塗布	打継目処理	平均値 (cm/sec)		改善値	
				3ヶ月	12ヶ月	3ヶ月	12ヶ月
1	1-1	有	無	2.58E-09	5.50E-11	0.61	0.18
	1-2						
	1-3						
2	2-1	有	有	3.70E-10	4.20E-11	0.09	0.14
	2-2						
	2-3						
3	3-1	無	無	4.21E-09	3.05E-11	1.00	1.00
	3-2						
	3-3						
4	4-1	無	有	3.90E-09	1.35E-10	0.93	0.44
	4-2						
	4-3						

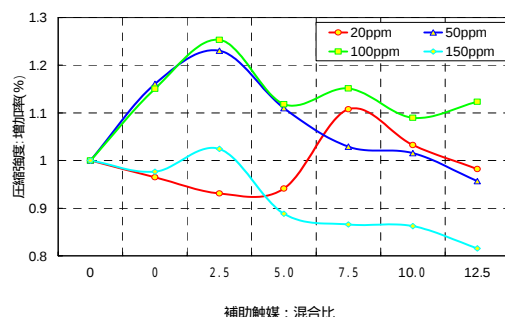


図 5. 補助触媒混合比 - 圧縮強度増加率

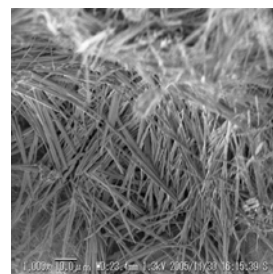
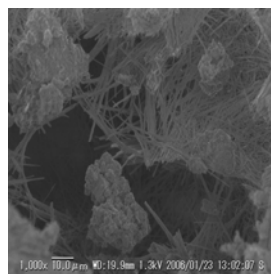


図 6. 結晶増殖材塗布(3 ヶ月後) 図 7. 結晶増殖材塗布(12 ヶ月後)

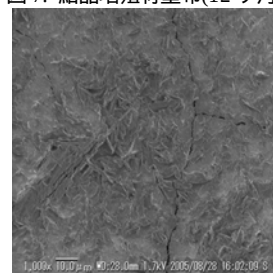
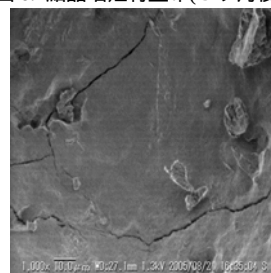


図 8. 触媒添加無

図 9. 触媒添加有