

微生物を添加した自己治癒コンクリートのひび割れ閉塞に関する基礎的検討

戸田建設株式会社 ○正会員 大橋 英紀

日本大学 非会員 川崎 浩長 非会員 Sanjay Pareek

デルフト工科大学 非会員 Henk Jonkers

1. はじめに

コンクリート構造物のひび割れ補修方法に関しては、様々な検討や研究・開発が進められている。

筆者らは、特定の微生物を添加した自己治癒コンクリートを実構造物へ適用することを目的とし、各種検討を行っている。本稿はその基礎研究として、微生物を添加したモルタルによるひび割れ閉塞効果を把握するために行った試験について報告する。

2. 自己治癒のメカニズム

2. 1 試験に用いた微生物

本試験に用いた微生物¹⁾²⁾は、好気性かつ好アルカリ性の微生物である枯草菌（Bacillus 属の一種）の一種である。これに乳酸カルシウムを混合し練混ぜ、生分解性プラスチックで被覆し、固化している（写真-1）。微生物はコンクリート中などの pH=12~13 の強アルカリ環境下で生存可能であり、0~80℃の温度に耐えられることを確認している。密度は 1.0~1.5g/cm³ 程度である。

2. 2 ひび割れ閉塞のメカニズム

以下に、微生物を添加したコンクリートのひび割れ閉塞のメカニズムを示す。

- (1) コンクリート製造時に微生物を添加し練混ぜる。
- (2) コンクリート硬化後、微生物を被覆している生分解性プラスチックがセメント水和物である水酸化カルシウムにより徐々に脆くなる。
- (3) ひび割れ発生により、ひび割れ面に存在する微生物に酸素および水が供給され、活動を開始する。
- (4) 微生物は乳酸カルシウム（Ca(C₃H₅O₃)₂）を分解し、炭酸カルシウム（CaCO₃）、二酸化炭素（CO₂）および水（H₂O）を生成する。
- (5) 微生物が生成した炭酸カルシウムにより、コンクリート中のひび割れが閉塞する。
- (6) ひび割れ閉塞後、水・酸素の供給が遮断され、微生物は活動を休止する。再度ひび割れが発生し水・酸素が供給されると、微生物は再び活動を開始する。

3. 試験概要

3. 1 使用材料および配合

表-1 に本試験に用いたモルタルの使用材料、表-2 に配合を示す。

モルタルの配合は W/C=55% とし、微生物はモルタル 1m³ 当り 0.0, 2.5, 5.0, 7.5kg 外割で添加した。



写真-1 本研究に用いた微生物

表-1 使用材料

分類(記号)	使用材料	詳細
水 (W)	上水道水	郡山市上水道水
セメント (C)	普通ポルトランド	密度 3.16g/cm ³
細骨材 (S)	5号硅砂	絶乾密度 2.62g/cm ³
混和材 (Ba)	微生物	枯草菌の一種

表-2 配合

No.	配合名	W/C (%)	単位量(kg/m ³)			Ba(外割) (kg/m ³)
			W	C	S	
1	Ba=0.0 kg/m ³	55	281	511	1415	0.0
2	Ba=2.5 kg/m ³					2.5
3	Ba=5.0 kg/m ³					5.0
4	Ba=7.5 kg/m ³					7.5

表-3 試験項目

試験項目	規格等	詳細
モルタルフロー	JIS R 5201	15 打フロー
空気量	JIS A 1171	空気室圧力方法
圧縮強度	JIS A 1108	封緘養生 2 日後、標準水中養生、養生期間：4, 8 週
通水試験	-	封緘養生 2 日、標準水中養生 26 日 7 日気中養生後試験開始 試験材齢：0, 1, 2, 3, 4, 5 週 ひび割れ通水量の変化率を測定

キーワード 自己治癒, ひび割れ, 微生物, 通水試験

連絡先 〒104-0031 東京都中央区京橋 1-18-1 戸田建設(株) 技術開発センター TEL03-3535-2641

3. 2 試験概要

表-3 に試験項目を示す。本試験では、φ50×100mm の円柱供試体を使用した。

圧縮強度試験は、打設後 2 日間 20°C、90%Rh で養生し、脱型後、材齢 28、56 日まで 20°C 水中養生を行い、実施した。

写真-2 に試験体概要を示す。通水試験用供試体は圧縮強度試験と同様に打設後 28 日まで養生を行い、その後の 7 日間の気中養生中に試験体を作製した。試験体は初めに、割裂引張強度試験方法 (JIS A 1113) に準拠し、円柱供試体にひび割れを導入した。その後、側面を塞ぎ、ひび割れ幅が動かないようステンレスバンドで固定し、試験体上面に塩ビ管を接続した。

写真-3 に通水試験状況を示す。

通水試験は文献⑨を参考とし、気中養生終了後に開始した。試験体上面に水頭差 50mm 一定となるよう水を滞留させ、ひび割れ面を通り試験体底面へと通水する 1 分当りの水量を測定した。試験サイクルは、微生物に十分な水分と酸素を供給するため、水中養生 (20°C) 3 日、気中養生 (35°C, 40%Rh) 3 日、試験 1 日とした。

本試験においてはひび割れ幅の制御が困難なため、1 水準当りの試験体数は、ひび割れ幅のばらつきを考慮し 15 本とした。

4. 結果および考察

表-4 にフレッシュ性状を、表-5 に材齢 28 日、56 日におけるモルタル圧縮強度試験の結果を示す。

フレッシュ性状は微生物の添加量に関わらず、ばらつきの範囲内であった。モルタル圧縮強度は微生物添加の有無による変化、および添加量を増加させることによる変化は見られなかった。

図-1 に通水試験の結果を示す。

試験開始 2 週間後、微生物を添加した試験体の通水量が大きく低下していることが確認できた。試験開始 5 週間後の通水量は、微生物の添加量が 0.0、2.5、5.0、7.5kg/m³ の場合、それぞれ 18.1、38.3、43.7、39.3%減少した。

これらの結果より、微生物添加の有無による通水量の差を確認することができた。なお、本試験の範囲では、通水量の変化率は微生物の添加量による差が確認できなかった。

5. まとめ

特定の微生物を添加したモルタルのひび割れ閉塞効果を把握するため、実施した試験により得られた知見を以下に示す。

- (1) 微生物の添加によるモルタルの圧縮強度への影響は小さいことを確認した。
- (2) ひび割れを流下する通水量は、微生物を添加することにより減少する傾向が見られた。
- (3) 本試験の範囲では、ひび割れ閉塞効果は微生物添加量の変化による影響が小さいことを確認した。

参考文献

- 1) Henk M Jonkers : Self-healing Concrete: A Biological Approach, Self-healing Materials (An Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science), Springer Series in Materials Science, pp.195-204, 2007
- 2) Henk M Jonkers et al : Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete, Ecological Engineering, pp.230-235, 2010
- 3) 根本 雅俊, 藤原 浩巳, 丸岡正知, 小早川 真 : クリンカー骨材を用いたモルタルおよびコンクリートの基本性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.351-356, 2016



写真-2 試験体概要 写真-3 通水試験状況

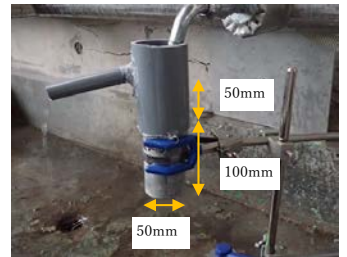


表-4 フレッシュ性状結果

	15 打フロー (mm)	空気量 (%)
Ba=0.0kg/m ³	178.0	7.2
Ba=2.5kg/m ³	185.5	7.2
Ba=5.0kg/m ³	163.0	7.5
Ba=7.5kg/m ³	171.5	6.0

表-5 圧縮強度試験結果

	圧縮強度(N/mm ²) () 内標準偏差	
	材齢 28 日	材齢 56 日
Ba=0.0kg/m ³	21.1(3.9)	28.8(1.7)
Ba=2.5kg/m ³	21.2(1.2)	29.5(3.3)
Ba=5.0kg/m ³	21.3(7.2)	29.2(1.6)
Ba=7.5kg/m ³	24.6(2.8)	31.1(0.9)

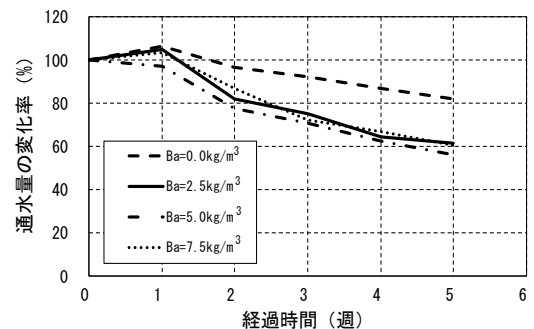


図-1 通水試験結果



写真-4 試験体閉塞状況