

微生物を用いたコンクリートのひび割れ修復技術の開発

埼玉大学大学院 学生会員 ○川名 梨香子 房 捷

埼玉大学大学院 正会員 饒 堯

埼玉大学大学院 フェロー会員 睦好宏史

1. はじめに

既設コンクリート構造物のひび割れ修復技術の一つとして、微生物を用いたコンクリートのひび割れ補修工法が注目されている。図-1で示すように微生物、栄養源、Ca源で構成されたグラウトをひび割れへ注入することによって微生物から代謝された二酸化炭素(CO_2)とコンクリートから放出されたカルシウムイオン(Ca^{2+})の反応によって、ひび割れ表面で炭酸カルシウム(CaCO_3)を析出することでひび割れを閉塞させる方法である。今年度は好アルカリ細菌である“*Bacillus subtilis*” (以下、納豆菌)と“*Bacillus halodurans*” (以下、バチルス菌)を採用し、最適な栄養源の配合を用いた修復剤注入試験を行い、ひび割れ修復能力を明らかにした。さらに昨年度に引き続き Yeast (以下、イースト菌)を用いた修復剤の濃度変化による pH の調節を行い、 CaCO_3 を多量に析出する配合を明らかにした。



図-1 微生物によるひび割れ修復原理

2. 実験

(1) 修復剤の配合と供試体注入試験

表-1,2 はひび割れ修復剤として用いる菌種、栄養源、Ca源の配合を示したものである。栄養源は cyclodextrin methyl β -CD, k-100 とアルカリ性の液体 LB 培地であり、イースト菌の場合のみスクロースを用いた。また Ca源を補うために全ての配合において、酢酸カルシウム $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$ を採用した。注入試験用コンクリート製供試体は直径 50mm、高さ 70mm の円柱形で、幅 0.2~0.4mm のひび割れを人為的に作製して修復剤をひび割れ間に 1 日 1 回 10mL の注入を 2 週間行った。

表-1 バチルス菌および納豆菌を用いた配合

サンプル	cyclodextrin		水	菌液	酢酸カルシウム
	methyl β -CD	k-100			
1	5.0g	—	5.0g	2.0g	0.088g
2	—	2.0g	8.0g		

表-2 イースト菌を用いた配合(水 1.0L あたり)

Group	トリス緩衝液	イースト菌	酢酸カルシウム	スクロース
A	5.0g	3.0g	8.8g	34.2g
	6.0g			
B	4.0g			
	5.0g			
C	6.0g			
	5.0g			
D	4.0g			
E	6.0g	6.0g		
Reference	6.0g	3.0g		

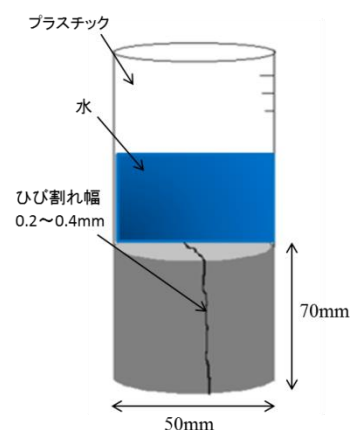


図-2 修復注入試験で用いた供試体

(2) 透水試験

ひび割れの閉塞率を定量的に求めるため、修復前後の透水試験を行った。すなわち、図-2に示すように水をひび割れへ注入し、供試体表面からの水位が 9~1cm になるまでの時間を計測した。ひび割れ修復前、後の透水時間をそれぞれ t_1 、 t_2 として、ひび割れ閉塞率 (t_1/t_2) を算出した。一方、イースト菌による修復剤で

キーワード：ひび割れ修復、微生物、透水試験

住所：〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 TEL: 048-8458-3565 埼玉大学大学院建設材料工学研究室

はひび割れの修復前, 後の透水係数をそれぞれ k_1 , k_2 として, 修復率 w を式(1)により計算した.

$$w = \frac{k_1 - k_2}{k_1} \times 100 [\%] \quad (1)$$

ここに, k_1 : 修復前の透水時間, k_2 : 修復後の透水時間, w : ひび割れ修復率とした.

3. 実験結果

図-3 はそれぞれの供試体について修復倍率(t_2/t_1)を示した透水試験結果である. バチルス菌+液体 LB 培地の修復剤が最も高くなった. また, ひび割れ表面で白い沈殿を析出させた試料による熱分析結果を図-4 に示す. LB 培地+バチルス菌は CaCO_3 である可能性が高く, k-100+バチルス菌ではサイクロデキストリンの沈殿物であると判明した. また透水試験では沈殿物が少量のため閉塞率が低かった. 一方, イースト菌修復剤の pH 測定試験では pH が 7.5 以上を保ち, CaCO_3 を析出させる配合を得た. 図 6 で示した通り, 透水試験では表-2 のグループ E の配合が去年の Reference を上回り, 最も修復率が高くなった. 以上より, イースト菌修復剤がより扱いやすく, 炭酸カルシウムを多く析出することが明らかとなった.

4. 結論

本研究は, コンクリートのひび割れの修復材料として微生物を用いた炭酸カルシウム析出方法による修復剤の効果と配合を明らかにしようとしたものである.

- 1) 納豆菌とバチルス菌による修復剤ではひび割れに CaCO_3 を析出させることができなかった. 配合と細菌の培養条件を再検討する必要がある.
- 2) イースト菌によるグラウトでは pH 条件を満たす CaCO_3 が多析出可能な配合を得ることができたので今後は実環境下を考慮した実験を行うことで析出物の安定性を検討する.

謝辞

本研究を行うにあたって, 埼玉大学理学部の朝井計準教授, (株)ファインテックの横山泰啓氏, (一社)強化プラスチック協会の角田敦氏に多大なご協力を頂いた. ここに記して謝意を表する.

(3) 析出物の熱分析

修復剤の注入により, ひび割れ表面に析出した物質を採取し, 分解温度を測定することで成分を特定した. CaCO_3 の分解温度である $650 \sim 800^\circ\text{C}$ 付近について, それぞれの供試体のサンプルについて熱分析を行った.

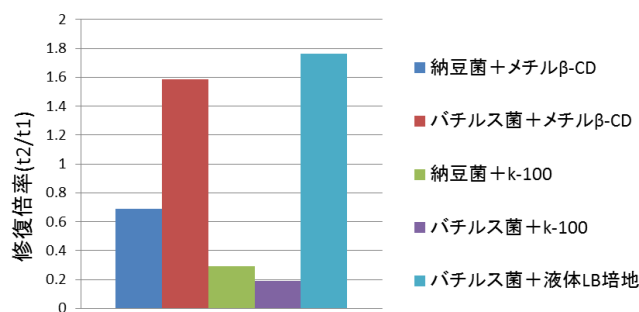


図-3 透水結果

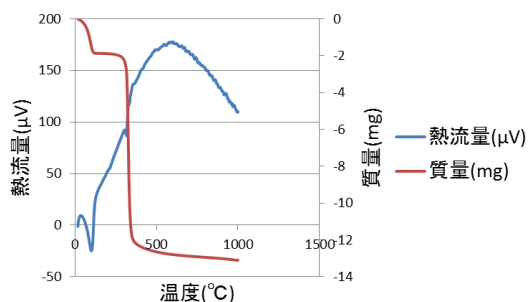


図-4 バチルス菌+液体 LB 培地 熱分析結果

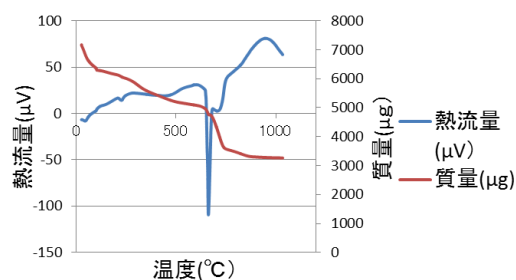


図-5 バチルス菌+k-100 熱分析結果

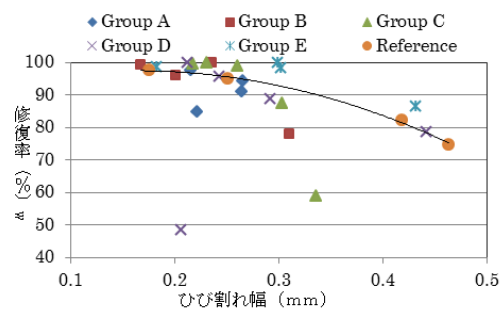


図-6 透水係数による修復率