

異なる微生物を用いたひび割れ補修剤の補修効果の実験的研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○川名 梨香子
 東京大学大学院 学生会員 房 捷
 埼玉大学大学院 正会員 欒 堯
 埼玉大学大学院 フェロー会員 睦好 宏史

1. はじめに

コンクリート構造物に発生するひび割れは有害物質の侵入を加速させ、耐久性の低下をもたらす。従来修復工法として様々な修復剤の注入が行われているが、近年、微生物を用いた新たな修復手法が提案されている。この手法では微生物の代謝産物である二酸化炭素とひび割れ中のカルシウムイオンが反応し、生成された炭酸カルシウムによってひび割れを塞ぐことができる。またより良い補修効果を得るため、アルカリ性であるコンクリート中に長時間生存できる微生物の使用が必要と考えられる。本研究ではパンの原材料であるイースト菌、土壌中に多く存在する好アルカリのバチルス菌をそれぞれ用いて修復剤を調製した。更に割裂ひび割れを有する供試体の修復試験を行い、各々の修復能力を比較した。さらに、ASR 促進試験によって発生したひび割れの供試体(以下、ASR 供試体)における修復効果の検証も試みた。

2. 実験概要

(1) 割裂ひび割れ供試体の修復

表-1は修復剤の菌種、栄養源、カルシウム源、培養条件を示している。バチルス菌を用いた修復剤はバチルス菌を含んだ原液にペプトン、肉エキス等を加え、9倍の水で希釈し、調製した。その後、30℃に設定した培養器に入れ、48時間培養を行なった。一方、イースト菌を含んだ修復剤は市販のドライイーストを用い、スクロースを栄養源、酢酸カルシウムをカルシウム源として調製し、pHの急速な低下を防止するためにトリス緩衝液も混入した。イースト菌はすぐに活性するため、調製直後に供試体へ注入した。注入試験用の供試体は直径50mm、高さ70mmの円柱形モルタルを用い、幅0.15mm~0.3mmのひび割れを割裂引張試験で導入した。修復剤の注入は供試体の上面からひび割れ間に

2日に1回の頻度で、1週間行った。析出した炭酸カルシウムによるひび割れの修復効果を評価するため、修復前後の透水試験を行なった。すなわち、図-1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9.0~1.0cmと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、修復率(t_1/t_2)を算出した。

表-1 割裂ひび割れ供試体の修復剤の配合条件

修復剤	微生物	栄養源	培養条件
バチルス菌	原液 100mL	ペプトン 5.0g 肉エキス 3.0g 炭酸水素ナトリウム 0.42g 炭酸ナトリウム 0.53g	30℃, 48時間
イースト菌	ドライイースト 6.0g	スクロース 34.2g 酢酸カルシウム 8.8g トリス緩衝液(pH9.0) 6.0g	調製後すぐに注入

※注：修復剤 1L に対する量を示している。

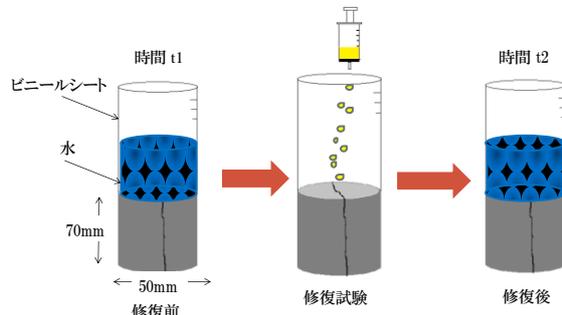


図-1 修復剤の注入および透水試験

(2) ASR 供試体の修復

ASR 供試体はアルカリ反応性骨材を用い、40mm×40mm×80mmの角柱形モルタルを作製し、ASTM 1260に準じて10日間の促進試験を行った。促進試験後、供試体の表面に亀甲状のひび割れが目視で確認できた。修復剤は表-2に示すように、A、B、Cという3つのグループに分けた。グループB、Cでは表-1に示した栄養源に加え、よりバチルス菌を活性化させるために、尿素と酢酸カルシウムを加えた。前述の割裂ひび割れ供試体と同様に、修復剤を供試体の上面から2日に1回の頻度で、1週間注入を行った。図-2は吸水試験

キーワード：ひび割れ、補修剤、微生物、ASR

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

の概要を示している。供試体を逆さに設置し、水位の変化量を測定することで、修復後の効果を評価した。累積吸水量は以下の式で求められる。吸水量が少ないほど、修復効果があるということを示す。また比較のため、修復を施していない ASR 供試体にも吸水試験を行った。そのグループ名は標準とする。

$$i = \frac{m_1 - m_0}{A} \times \frac{1}{\sigma}$$

ここに、 i ：累積吸水量(mm)， m_0, m_1 ：吸水試験前後の供試体の質量(g)， A ：供試体の底面積(mm²)， σ ：水の密度(g/mm³)

表-2 ASR 供試体に対する修復剤の配合条件

グループ	微生物	栄養源	培養条件
A	ドライイースト 3.0g	スクロース 34.2g 酢酸カルシウム 8.8g トリス緩衝液(pH9.0) 6.0g	調製後すぐに注入
B	原液 100mL	表1のパチルス菌の栄養源 + 尿素 3.0g 酢酸カルシウム 8.8g	30℃, 48時間
C		表1のパチルス菌の栄養源 + 尿素 4.5g 酢酸カルシウム 13.4g	



図-2 ASR 供試体における吸水試験の概要

3. 実験結果

図-3 に割裂ひび割れ供試体の修復率を示す。いずれの修復剤においても、修復率が 1.0 より大きく、修復効果があることが明らかとなった。さらにひび割れ幅が小さい場合は修復率が大きくなり、特にひび割れ幅が 0.25mm 以下において、パチルス菌による修復効果が著しくなることが明らかとなった。また、図-4 は ASR 供試体の吸水試験結果を示している。2 つの修復剤は共に標準供試体と比較してひび割れの修復効果があると明らかになったが、パチルス菌とイースト菌では吸水量の差はさほど見られなかった。図-5 は光学顕微鏡で観察した修復前後のひび割れの様子を示す。析出物によるひび割れの閉塞が確認できた。今後、ASR の促進速度の観察と合わせて、長期的な修復試験を継続することが必要と考えている。

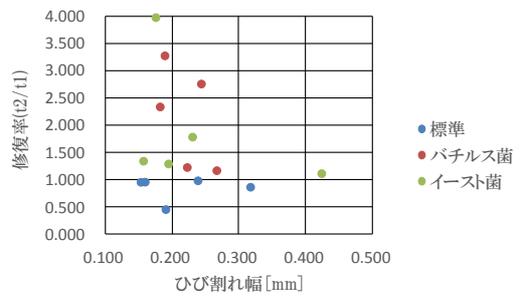


図-3 ひび割れ幅と修復倍率(t2/t1)の関係

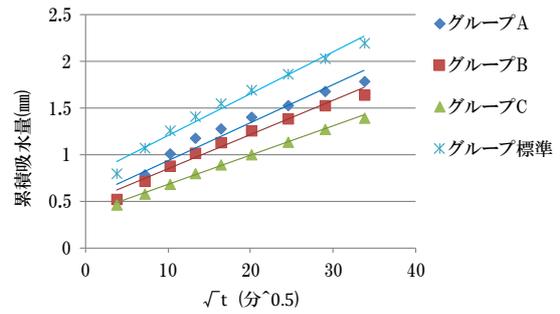


図-4 ASR 供試体に対する吸水試験の結果

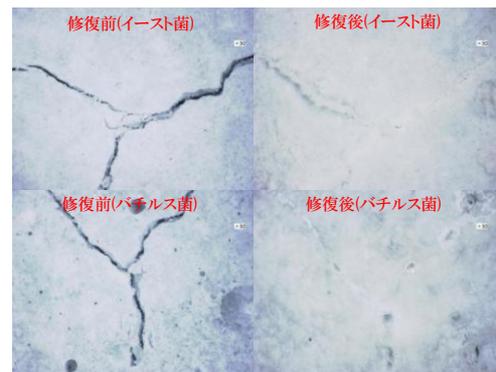


図-5 ASR 供試体の修復状況

4. 結論

本研究では割裂ひび割れ、ASR 促進試験によって発生したひび割れのモルタル供試体に対して、イースト菌、パチルス菌をそれぞれ用いた修復剤の修復効果について実験を行った。その結果、いずれの修復剤においても注入後のひび割れに炭酸カルシウムの析出が確認でき、透水量・吸水量が低下する傾向が明らかとなった。今後、2 つの修復剤の効果の違いを検証し、長期的な修復効果を明らかにする必要があると考える。

謝辞

本研究を行うにあたって、前田建設工業(株)、(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。