

枯草菌の代謝を用いたカプセル中の炭酸カルシウム析出過程の検討

愛媛大学大学院 学生会員 ○奥野宙

愛媛大学大学院 正会員 河合慶有 正会員 氏家勲

1. はじめに

コンクリート構造物は使用状態においてひび割れの発生を避けることは難しい。ひび割れの存在は使用性や耐久性に影響を及ぼすため、早期のひび割れ補修が必要である。従来、ひび割れ補修材には有機系及び無機系材料が使用されているが、湿潤面での接着性の低下や外部に流失した際の環境への影響などが懸念される。近年では、微生物や酵素の代謝を利用してひび割れ補修を行うバイオ補修材の研究が進められており、既往の研究ではイースト菌を用いたバイオ補修材を漏水箇所を模擬したコンクリートの間隙に適用することで、漏水抑制効果が得られることが報告されている¹⁾。しかし、バイオ補修材をひび割れに注入する必要があるため、ひび割れ発生から補修を実施するまでにはある程度の時間を要する。これに対して本研究では、ひび割れ発生に伴い補修効果が発揮される微生物を用いた自己治癒補修材の開発を目的として検討を行った。ひび割れの発生に伴い酸素が供給される状態で微生物の代謝活動が行われることを想定し、コンクリート中のアルカリ環境での活動が可能な微生物として好気性の枯草菌を選定した。また、微生物及び有機栄養源を混入したアルギン酸を用いたカプセルを作製し、アルカリ環境下における炭酸カルシウムの析出過程について検討した。

2. 実験概要

(1) カプセル作製方法

本研究におけるカプセルは、アルギン酸ナトリウムとカルシウムイオンのイオン架橋によって生成されるアルギン酸カルシウムを用いて作製した。作製されたアルギン酸カルシウムはゲル被膜内に、微生物及び有機栄養源を閉じ込めることができる。また、高分子膜であるためイオンの移動が可能である。図1のような装置を用いてカプセルを作製した。アルギン酸ナトリウム水溶液には微生物と有機栄養源としてグルコースを混入し、それをカルシウムイオンとして用いる酢酸カルシウム水溶液に垂らしカプセルを作製した。本研究では枯草菌として、miyagino (N1), bamdou21-2 (N2), bandou23-5-2 (N3), goka4-3 (N4) の4種類を用いた。

(2) 析出試験概要

枯草菌は培養して1日後の培養液を使用した。表1に構成材料の濃度を示す。枯草菌の培養液を溶媒としてアルギン酸ナトリウム水溶液を質量パーセント濃度 1%で作製した。また、有機栄養源としてグルコース

0.4mol/Lを添加し溶解させた。別途、pHの調整していない酢酸カルシウム水溶液 0.2mol/Lを作製した。その溶液の上部から枯草菌と有機栄養源を混入したアルギン酸ナトリウム水溶液を垂らし、約 60mL 分のカプセルを作製した。その後、アルカリ緩衝作用を持つ Tris 緩衝溶液 0.1mol/L を作製し pH を 9.0 に調整した。また、その溶液に酢酸カルシウム 0.2mol/L を添加し溶解させた。その後、ビーカーに水溶液を測りとり、480mL 入れ、作製したカプセルを浸せきさせて析出試験を行った。なお、納豆菌の代謝に酸素が必要であるため、ビーカーの底からポンプを用いてエアレーションを行い、溶液中の pH 及びカルシウムイオン濃度を測定した。

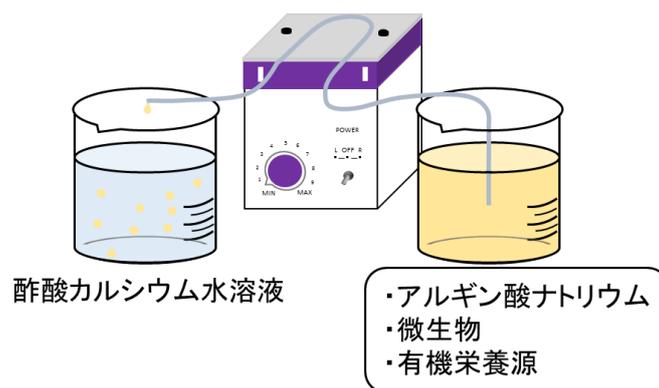


図1 カプセル作製装置

表1 構成材料の濃度

アルギン酸ナトリウム	グルコース	酢酸カルシウム	Tris緩衝溶液
%	mol/L	mol/L	mol/L
1.0	0.4	0.2	0.1

3. 実験結果および考察

(1) pH 及びカルシウムイオン濃度の変化

図 2 に pH 及びカルシウムイオン濃度の変化を示す。溶液中の pH 変化をみると、試験開始後に徐々に低下していき、10 日後には種類によって異なるが、約 7.0~7.5 まで低下している。これはカプセル内の枯草菌の代謝に伴い、炭酸イオンが高分子膜内から拡散し pH が低下したためと考えられる。また、カルシウムイオン濃度の変化をみると、pH と同様に 3 日後には明確に減少していることがわかる。これは溶液中のカルシウムイオンと枯草菌の代謝によって排出された炭酸イオンが反応し、炭酸カルシウムが析出したためと推察される。

(2) FT-IR の分析結果

図 3 にフーリエ変換赤外分光光度計の測定結果を示す。なお、析出試験の 7 日後に採取したカプセルを用いて、24 時間以上 40°C の乾燥炉で乾燥させた試料を分析に用いた。測定結果をみると、炭酸カルシウムの波形のピークと同様のピークが全ての試料で得られたため、カプセル表面に析出した結晶が炭酸カルシウムであることを同定した。

(3) FE-SEM の観察結果

図 4 に電界放出型走査電子顕微鏡で観察したカプセル表面層の画像を示す。なお、菌種は N1 であり、24 時間以上 40°C の乾燥炉で乾燥させたカプセルを対象とした。作製直後の A の画像では析出物が確認されなかったが、pH の低下及びカルシウムイオン濃度の減少が確認された 3 日目以降の画像 B, C 及び D では炭酸カルシウムの結晶が増大していくことが様子が観察された。特に、7 日後には結晶の大きさが 10 μm 程度に増大していることが確認された。

4. まとめ

枯草菌及び有機栄養源を混入したカプセルを用いてアルカリ環境下での炭酸カルシウムの析出が確認された。特に、アルカリ溶液中の浸せき時間が長くなるほど炭酸カルシウムの結晶が増大していくことが示唆される。今後の課題として、コンクリートに練り混ぜるカプセルの量とひび割れ閉塞効果及び漏水抑制効果について検討する予定である。

参考文献

- 1) 久保ら:微生物を利用した補修工法における多析出可能な配合の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1948-1953, 2014

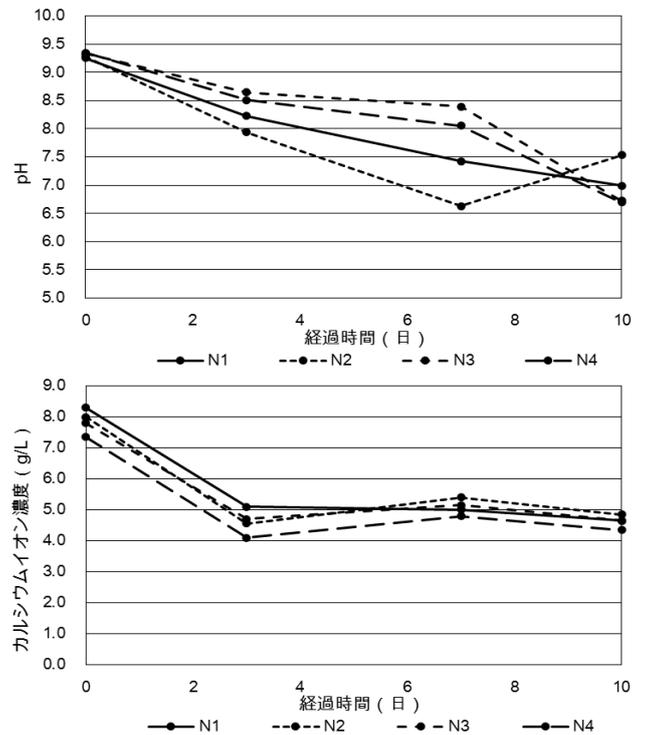


図 2 pH 及びカルシウムイオン濃度の変化
(上: pH, 下: カルシウムイオン濃度)

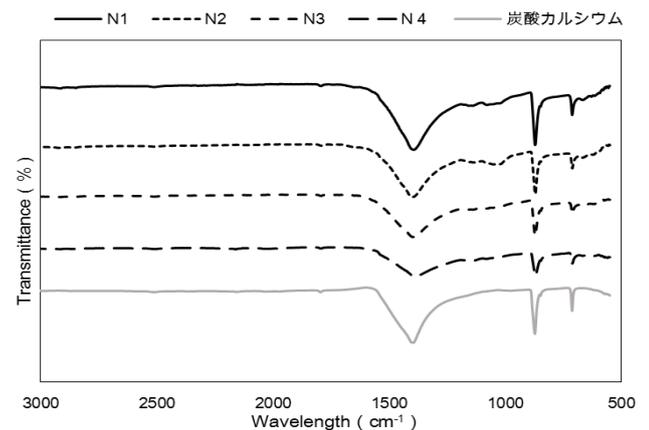


図 3 FT-IR の測定結果

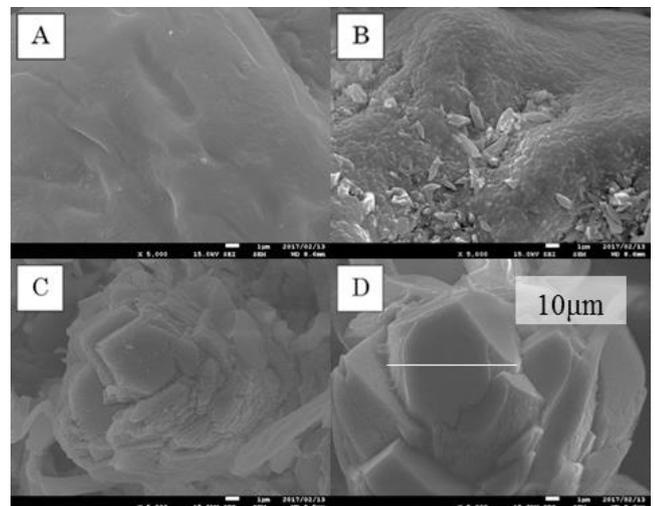


図 4 FE-SEM 画像 (A: 作製直後, B: 3 日後, C: 5 日後, D: 7 日後)