

納豆菌とアルギン酸を用いたグラウト材のひび割れ補修効果の検討

愛媛大学大学院 非会員 ○井手昌彦

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

近年、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いる。奥野らの研究¹⁾より、好気性微生物の納豆菌とアルギン酸カルシウムの高分子膜カプセルを用いた析出試験より、アルカリ環境における炭酸カルシウムの析出が確認されている。自然由来のアルギン酸ナトリウムは抱水性を有する高分子であり、水溶液の粘度は濃度などにより異なる。また、アルギン酸ナトリウムの水溶液をひび割れ補修用のグラウト材として使用することで、ひび割れ表面のカルシウムイオンと反応し、アルギン酸カルシウムから成る高分子被膜をひび割れ中に形成させることが可能であると考えられる。このような背景の下、本研究では、適切に粘度を調整したグラウト材をひび割れ部の深部まで注入するとともに納豆菌及び栄養源をひび割れ内部に封じ込める方法に着目して検討を行った。また、微生物には嫌気性微生物と好気性微生物の2種類が存在し、前者は貧酸素環境において代謝を行うことができる一方、後者は代謝活性に酸素を必要とする点が主な相違点である。本研究では、常時溶存酸素が供給される干満帯環境におけるひび割れ補修を想定し、好気性微生物である納豆菌を選定した。以上のような背景から、本研究ではアルギン酸ナトリウムと納豆菌を用いたグラウト補修材の乾湿作用下におけるひび割れ補修効果について検討した。

2. 実験概要

本検討ではモルタルを用いて作製した $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ の円柱供試体を対象としてひび割れ補修効果の検討を行った。なお、水セメント比は50%とした。各供試体は、翌日に脱型し材齢30日まで封緘養生を行った。養生後、割裂ひび割れ(0.2~0.5mm)を導入した。試験手順として、まずグラウト注入前の供試体をマイクロスコップで観察し、ひび割れ幅を測定した後、透水試験を実施した。次に納豆菌を培養し、代謝活性を溶存酸素濃度測定により確認した後、グラウト材を作製した。表1にグラウト材

表1 グラウト材の構成材料

	グラウト名	アルギン酸ナトリウム	グルコース	Tris緩衝溶液
		%	mol/L	mol/L
納豆菌	0.7-N1-G1-T0	0.7	0.4	-
	1.0-N1-G1-T0	1.0	0.4	-
	1.0-N1-G1-T1	1.0	0.4	0.10
	1.0-N1-G2-T0	1.0	0.8	-
	1.0-N1-G2-T1	1.0	0.8	0.10
	1.5-N1-G1-T0	1.5	0.4	-
	1.5-N1-G1-T1	1.5	0.4	0.10
	1.5-N1-G2-T0	1.5	0.8	-
	1.5-N1-G2-T1	1.5	0.8	0.10
水	1.0-W-G1-T0	1.0	0.4	-
	1.5-W-G1-T0	1.5	0.4	-
	1.0-W-G0-T0	1.0	-	-
	1.5-W-G0-T0	1.5	-	-

の構成材料ごとの濃度を示す。その後、供試体のひび割れ部にグラウト材を注入した。なお、グラウト材の注入量は10mlとした。24時間後に塩水(濃度3%)または蒸留水を用いて、乾湿繰り返し試験を行った。その後、マイクロスコップによる観察、FT-IR分析、FE-SEMによる観察、及び透水試験を行い、グラウト材による補修効果を評価した。なお、乾湿繰り返し試験は12時間乾燥と12時間湿潤を1サイクルとして行った。

3. 実験結果及び考察

(1) マイクロスコップによる観察

図1にグラウト注入前、乾湿繰り返し1週間後、及び乾湿繰り返し2週間後のグラウトを注入した面のひび割れ部の様子を示す。なお、図1は塩水を用いた乾湿繰り返し試験の結果である。乾湿繰り返し試験を開始してから1週間後のグラウト材(1.5-N1-G1-T0)では、白色の析出物が明確に確認できる。また、納豆菌を混入していないグラウト材(1.5-W-G0-T0)については、2週間の乾湿繰り返し後も白色の析出物は確認されなかった。以上のことから、ひび割れ部の白色の析出物は納豆菌の代謝活動によって析出されたものと推察される。

(2) FT-IR分析

図2にグラウト材を注入した面のひび割れ部から白色の析出物を採取し、FT-IRにより分析をした結果を

示す. FT-IR 分析はスペクトルのピークによって有機化合物や無機化合物などの構造推定を行うことができる. 炭酸カルシウムのスペクトルのピークは, wavenumbers が 872 (cm⁻¹)にも存在しており, 試料のスペクトルでも同様のピークが存在することから, 炭酸カルシウムの存在を示唆する結果といえる.

(3) FE-SEM による観察

グラウト材を注入した面のひび割れ部から白色の析出物を含むゲル被膜を採取し, FE-SEM を用いて観察した. 図 3 に FE-SEM の画像を示す. 画像 A より最大約 10μm の結晶の存在が確認できる. 特に画像 D では, これらの結晶の近傍に 1.8μm 程度の納豆菌を確認することができる. これらの結果は納豆菌の代謝によってゲル被膜中に炭酸カルシウムが析出されたことを裏付ける結果といえる.

(4) 透水試験

表 2 は 10 分間の透水試験 (透水圧 25kPa) 前後の透水量の平均値を示している. 全 14 供試体うち, 9 供試体の補修後の透水量が 0 となり, 顕著な止水効果がみられた. この結果は, 納豆菌を混入したグラウト材を用いた供試体で明確に認められる. また, 納豆菌を混入していないグラウト材 (1.5-W-G0-T0) においても, 透水量は平均で約 70.0%減少している. すなわち, アルギン酸カルシウムのゲル被膜のみであっても水分を吸収し, 膨張することによる止水効果が一定程度得られると推察される. さらに 1.5-N1-G1-T0 及び 1.5-N1-G1-T1 では, 納豆菌の代謝によって析出した炭酸カルシウムがひび割れを閉塞し透水量の低下に寄与したことが示唆される.

4. まとめ

(1) マイクロ스코ープによる観察, FT-IR 分析, FE-SEM による観察の結果より, 0.2 から 0.5mm のひび割れ中に形成したアルギン酸カルシウムのゲル被膜中に, 納豆菌の代謝活性により炭酸カルシウムが析出されることが判明した. これは塩水及び蒸留水を用いて行った乾湿作用下において 1 週間後には明確に確認された.

(2) 納豆菌を混入したグラウト材により補修した供試体に対して透水試験を実施し, アルギン酸のゲル被膜中に炭酸カルシウムが析出されることにより, 透水量の著しい低下が確認された. なお, 納豆菌を混入していないアルギン酸を用いたグラウト材においても止水効果は一定程度認められるが, 微生物代謝により炭酸カルシウムが析出されることで, 止水効果がさらに高まることが示唆される.

参考文献

- 1) 奥野ら: 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, 土木学会四国支部技術研究発表会, V-3, 平成 29 年 5 月

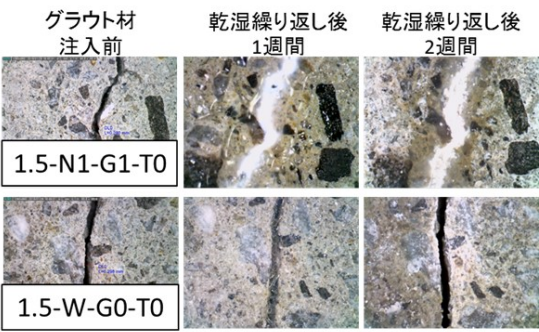


図 1 マイクロ스코ープの写真

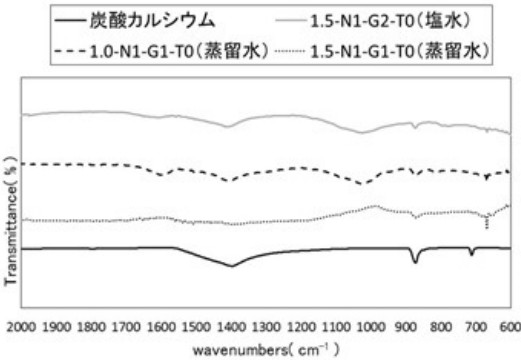


図 2 FT-IR の結果

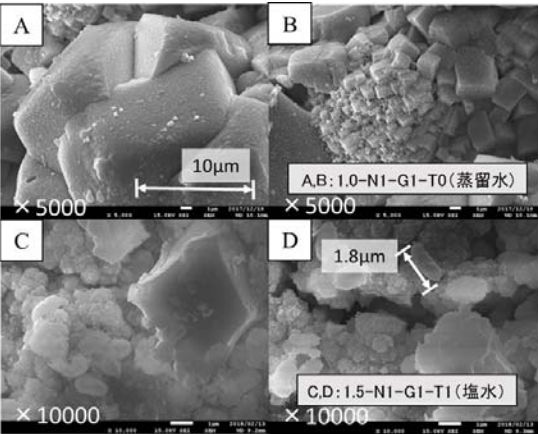


図 3 FE-SEM の結果

表 2 透水試験の結果

グラウト材名	供試体No.	透水量 (ml/s)		平均ひび割れ幅 (mm)
		補修前	補修後	
1.5-N1-G1-T0	1	1.69	0.00	0.295
	2	4.26	0.00	0.351
	3	6.40	0.00	0.308
1.5-N1-G1-T1	4	1.93	0.00	0.220
	5	4.14	0.00	0.267
	6	8.41	0.00	0.364
1.5-N1-G2-T0	7	1.91	0.00	0.277
	8	3.97	0.29	0.479
	9	7.02	0.00	0.422
1.5-N1-G2-T1	10	4.24	1.41	0.379
	11	5.03	0.00	0.494
	12	6.85	3.84	0.416
1.5-W-G0-T0	13	2.83	0.96	0.509
	14	2.31	0.60	0.329