

吹付けコンクリートへのひび割れ自己治癒機能の付与を目的としたバクテリアの増殖性に関する検討

日本大学大学院
戸田建設株式会社
日本大学
同

学生会員
正会員
非会員
同

○川崎 浩長
大橋 英紀
春木 満
Sanjay PAREEK

1. はじめに

自己治癒コンクリートは、供用期間中の人手を要する補修が困難なコンクリート構造物への適用が非常に有効である。そこで本研究では、トンネルに使用する吹付けコンクリートにバクテリアによるひび割れ自己治癒機能を付与することを目指し、バクテリアの増殖性に対する急結剤添加が及ぼす影響について検討を実施した。

2. 実験詳細

2. 1 実験概要

コンクリート等のひび割れ内部への水分供給による間隙水の pH 低下を想定した既往の培養実験¹⁾では、低下前とした pH 12 ではバクテリアは活動せず低下中の pH 11, 10 では増殖が確認された。そこで本研究では漏水によるさらなる低下を想定し pH 9 の培地を使用した。pH 9 におけるバクテリアの増殖性を確認するとともに、2 種類の急結剤を添加したサンプルを用意し増殖性への影響を検討した。

2. 2 使用材料

本研究には、バクテリアとその栄養分である乳酸カルシウムに変化するポリ乳酸を混合した混和材（以下、HA）、菌や細胞の培養に広く用いられる LB 培地、2 種類のコンクリート用急結剤（以下、L 及び P）を用いた。本研究に用いた HA を図-1 に示す。既往の研究¹⁾で用いた改良型の混和材である。これに含まれるバクテリアは好気性かつ好アルカリ性である枯草菌の一種(Bacillus 属の一種)であり、芽胞の形で添加されている。用いた急結剤の概要を表-1 に示す。急結剤には、液体急結剤（主剤）と粉体助剤から成る急結剤 L と粉体急結剤 P の 2 種類を使用した。



図-1 バクテリアを含む混和材（HA）

表-1 急結剤の概要

種類	密度 (g/cm ³)	主成分
L(主剤)	1.35	アルミニウム水溶性塩
L(助剤)	2.86	カルシウムアルミネート系
P	2.64	カルシウムアルミネート系

2. 3 実験方法

試験管に LB 培地を 5mL、HA を 0.02g、急結剤 L あるいは P をとりサンプルとし、図-2 に示すように試験管を設置した濁度計を取り付けた中型恒温振とう培養機を用いて振とう培養を行った。急結剤の添加量は、L は主剤 0.01g-助剤 0.005g (1L)、0.02g-0.01g (2L)、P は 0.01g (1P)、0.02g (2P) とした。なお、LB 培地と HA のみのサンプルは LH と表記する。バクテリアの増殖によりサンプルが白濁するため、同時に濁度計により濁度 (OD₆₀₀) を測定した。条件ごとにサンプルを 3 本ずつ用意してその濁度の平均値を算出した。



図-2 中型恒温振とう培養機

キーワード 吹付けコンクリート、急結剤、バクテリア、微生物、ひび割れ、自己治癒
連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学工学部 TEL 024-956-8747

3. 実験結果

3. 1 LB 培地と HA のみ及び急結剤 L を添加した場合

LH と 1L, 2L の時間の経過に伴う濁度の変化を図-3 に示す。LH の 3 サンプル全てにおいて約 24 時間後に濁度計が測定可能な最大値である 2.55 に達した。約 36 時間まではさらなる増殖をしたあるいはこれ以上細菌が増殖しない定常期にあったと考えられる。急結剤 L について、1L, 2L の順で増殖に遅延が見られるのは、急結剤の濃度が高く、芽胞からの増殖開始に与える影響が大きいためと考えられる。しかしながら 1L, 2L の最大濁度はそれぞれ 2.49, 2.41 であり細菌は十分に増殖したと言える。以上より、急結剤 L の添加は細菌の増殖開始を遅延させるものの十分な増殖が確認できたことから吹付けコンクリート中でもひび割れを治癒することが期待できる。

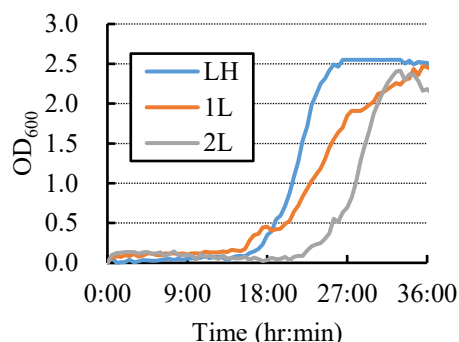


図-3 LH と 1L, 2L の濁度

3. 2 LH の培養角度を変えた場合及び急結剤 P を添加した場合

LH の試験管の設置角度の違いによる濁度と 1P, 2P の濁度の変化を図-4 に示す。LH (LH30°と同様) 及び 1L, 2L は攪拌を効率よく行うため試験管を 30°に倒して培養を行ったが、急結剤 P 添加時には急結剤粒子が試験管上部内壁に付着したため 45°にて実験を行った。LH を用いて角度の違いによる濁度の変化を比較した結果、45°では攪拌性が低下し細菌が培地下部に集中したことで対数増殖期である約 13 時間までは濁度の上昇として感知されやすくなった。急結剤 P については、1P, 2P とともに LH に対して明確な遅延は認められなかった。1P, 2P の最大濁度はそれぞれ 0.99, 1.36 であった。これは試験管内に急結剤の沈殿が見られ濁度の低下が起こり、見かけの濁度から急結剤の濁度が差し引かれたことが原因と考えられる。以上のことから L のような増殖開始の遅延を引き起こす可能性は低いものの、沈殿の影響を受けるため P の場合は細菌による濁度の上昇を正確に捉えることができなかった。しかしながら同様の性質を持つ細菌を用いた研究²⁾では、OD₆₀₀ が 0.8 程度でも十分に増殖して炭酸カルシウムを生成し、コンクリートの微細ひび割れを閉塞したことが報告されているため、P を添加した場合においても吹付けコンクリート中でひび割れを治癒することが期待できる。

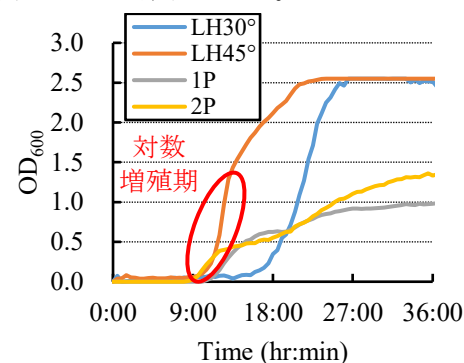


図-4 LH の角度比較と 1P 及び 2P の濁度

4. まとめ

吹付けコンクリートに細菌によるひび割れ自己治癒機能を付与することを目指し、細菌の増殖性に対する急結剤添加が及ぼす影響を調査するため実施した本培養実験により得られた主な知見を以下に示す。

- 1) pH 9 では急結剤添加の有無に関わらず細菌の増殖による濁度の増加を確認できた。しかしながら、濁度は攪拌の過不足による添加剤の粒子の試験管上部内壁への付着や沈殿の影響を受ける。
 - 2) 急結剤 L について、添加量の増加に伴い増殖開始に遅延が見られたが濁度は増加し細菌が十分に増殖したと言える。
 - 3) 急結剤 P について、添加の有無及び量による増殖の遅延は認められなかった。急結剤の沈殿により正確な濁度増加を捉えられなかったものの先行研究により微細ひび割れを治癒するには十分に増殖することが期待できる。
- 以上より、本研究で用いた 2 種類の急結剤の添加は細菌の増殖性には大きく影響せず、吹付けコンクリートへの細菌によるひび割れ自己治癒機能の付与の実現が期待できる。

参考文献

- 1) 川崎浩長, Sanjay PAREEK, 大橋英紀, 春木満: バクテリアを含む改良型の粒を用いた pH 条件による繁殖性と添加量によるモルタルのひび割れ治癒性能の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1126-1131, 2022
- 2) T. K. Sharma et al.: Alkaliphilic Bacillus species show potential application in concrete crack repair by virtue of rapid spore production and germination then extracellular calcite formation, Journal of Applied Microbiology, pp.1-12, Feb. 2017