

炭酸カルシウムに及ぼすバイオグラウトの配合要因に関する検討

愛媛大学 学生会員 ○久保郁貴 正会員 氏家勲 正会員 河合慶有
松山聖陵高等学校 矢野元智也

1. はじめに

我が国の社会基盤施設には主として鉄筋コンクリート構造が用いられている。その中には、不十分な施工が行われ、結果としてかぶりコンクリートに粗大な空隙を持つものも少なくない。しかし、入念な施工計画により高品質な施工が行われた場合でも、橋梁の高欄と床版との打継部には微少な間隙が存在する。降雨時にはその間隙から漏水し、排水溝から排水されない雨水が橋梁の上部工から直接流出するため、早急に補修等の対策を行う必要がある。本研究では、漏水個所の補修材としてバイオグラウトを用いるために、炭酸カルシウムの結晶による析出に及ぼす配合要因を把握することを目的とし、炭酸カルシウムの析出量が増加する配合条件について検討した。

2. 実験概要

2.1 グラウトの選定

バイオグラウトにより炭酸カルシウムが析出するためにはカルシウムイオンおよび炭酸イオンが必要である。また、炭酸カルシウムの生成を促進するため、アルカリ緩衝溶液を用いた。各構成材料を以下に示す。

(1) カルシウム源

バイオグラウトに用いるカルシウム源として必要な条件として、溶解度が高いこと、安価であること、取り扱いや入手が容易であることなどが挙げられる。そこで本研究では、それらの条件を満たす酢酸カルシウムをカルシウム源として用いた。なお、塩化カルシウムを使用した場合、塩化物イオンによりコンクリート中の鉄筋腐食を引き起こす可能性があるため、酢酸カルシウムを選定した。

(2) 炭酸イオン源

炭酸イオン源には、微生物または酵素の代謝活性で生じる二酸化炭素を利用する。微生物には市販のドライイーストを用い、栄養源にはスクロースを用いた。

(3) アルカリ緩衝溶液

グラウト中のpHが低下すると炭酸カルシウムの析出が持続されない。そのため、本研究においては溶液中のpHを7.5以上に制御するため、アルカリ緩衝機能を有する溶液を使用した。溶液には、生化学分野で一般的に用いられているTris緩衝溶液を用いた。なお、溶液のpHは9.0に調節した。

2.2 遠沈管析出試験

本研究では、遠沈管を用いて炭酸カルシウム析出試験を実施し、より多くの析出量および高い析出率が得られる配合を検討した。析出率については、以下の式より算出した。

$$P_{cal} = \frac{x(g)}{Q(\text{mol/L}) \times m(L) \times M(\text{g/mol})} \times 100(\%) \quad (1)$$

ここで、 P_{cal} ：析出率(%), x ：炭酸カルシウムの析出量(g), Q ：酢酸カルシウムの濃度(mol/L), m ：溶液量(g), M ：炭酸カルシウムの分子量(100.09)である。グラウトの作製手順を以下に示す。蒸発皿に必要量のイースト菌、酢酸カルシウムおよびスクロースの試料を取り分けた後、ビーカーにそれぞれの試料を入れ、Tris緩衝溶液を少しずつ加えながら攪拌機で溶解させる。その後、40mlの溶液になるようにTris緩衝溶液を加え、さらに攪拌する。析出量の測定のため、カルシウム源を混合しない溶液を別途作製し、試験用グラウトの反応終了後に析出物を濾過した際に、カルシウム源を混合しない溶液も同様に濾過する。両者より得られた濾過物を乾燥炉(60℃)で乾燥させた後、乾燥後の試料の差より析出量を算出した。

3. 析出試験結果

3.1 高濃度バイオグラウトの析出試験結果

本研究で用いた配合を表 1 に示す。なお、Tris 緩衝溶液の濃度は、0.1mol/L とした。

表 1 高濃度バイオグラウトの配合条件

配合ケース	ドライースト(g/L)	スクロース(mol/L)	酢酸カルシウム(mol/L)
A1	3.0	0.10	0.05
A2	6.0	0.20	0.10
A3	9.0	0.30	0.15
A4	12.0	0.40	0.20

表 1 の配合ケースを用いて遠沈管析出試験を行ったところ、グラウトの各構成材料の濃度が高くなるほど炭酸カルシウムの析出量が減少した。この要因として、試験の早い段階でグラウト中の pH が低下したことが確認されたことから、各構成材料の濃度を高くしたことにより、微生物の代謝活性によって生じる炭酸イオンの生成量が増加したことが挙げられる。そのため、これらの配合ケースでは炭酸カルシウムの生成が持続されなかったと考えられる。そこで溶液中の pH 低下を制御するため Tris 緩衝溶液の濃度を高くしたバイオグラウトを作製し遠沈管試験を行った。なお、緩衝溶液の pH は 9.0 に調節した。

3.2 Tris 緩衝溶液の濃度の影響

表 1 の配合ケースを用いて、Tris 緩衝溶液の濃度を 0.1, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0mol/L とした計 20 ケースのグラウトを作製し遠沈管析出試験を行った。炭酸カルシウムの析出量を図 1、析出率を図 2 に示す。図 1 より Tris 緩衝溶液の濃度を高くすることで炭酸カルシウムの析出量が増加するケースが確認された。特に、A4 のケースで Tris 緩衝溶液の濃度を 0.5mol/L とした配合において析出量の著しい増加を確認した。また、A4 の配合は式 (1)より算出した析出率も高く、漏水箇所に適用する補修材に資する配合を見出すことができた。これより、各構成材料の濃度によって Tris 緩衝溶液の濃度を調整することで炭酸カルシウムの析出量を増加可能であることがわかった。

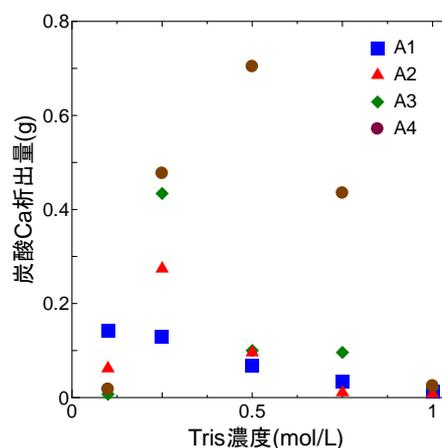


図 1 析出量

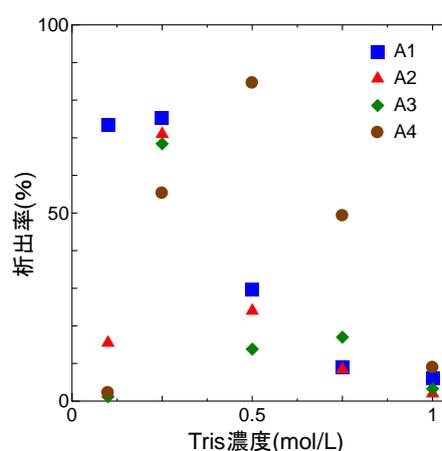


図 2 析出率

4. まとめ

バイオグラウトにおける炭酸カルシウムの結晶による析出量は、Tris 緩衝溶液の濃度に影響されることが確認された。また、各構成材料の濃度によって Tris 緩衝溶液の濃度を適切に調整することで炭酸カルシウムの析出量を増加可能であることがわかった。今後の検討課題としては、高濃度バイオグラウトにおける炭酸カルシウムの析出に要する時間短縮等が挙げられる。

5. 参考文献

- 1) 川崎了ほか：微生物の代謝活動により固化する新しいグラウトに関する基礎的研究，応用地質，Vol.47，No.1，pp2-12，2006.4
- 2) 松下ゆかり，岡崎慎一郎，安原英明，氏家勲：微生物代謝を利用したコンクリートのひび割れ補修工法の開発，日本コンクリート工学学会コンクリート工学年次論文集，第 32 巻，1 号，2010，pp1589-1594