

## バイオグラウトの炭酸カルシウム析出時間に影響を及ぼす要因の検討

愛媛大学大学院 学生会員 ○山本沙也 正会員 河合慶有 正会員 氏家 勲

### 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、初期欠陥により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。また、入念な施工が行われた場合でも橋梁の高欄と床版との接合部には微細な間隙が生じている。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問題があるため、早急に補修を行う必要がある。

近年、微生物代謝を利用したバイオグラウトによる漏水箇所の補修に関する研究が進められている。バイオグラウトとは、微生物代謝によって生成される二酸化炭素とグラウトに混入した Ca 源により析出される炭酸 Ca を利用して漏水箇所の補修を行うものである。本研究では、バイオグラウトの構成材料が炭酸 Ca の反応初期の析出時間に及ぼす要因の把握を目的として検討を行った。

### 2. 実験概要

本研究で検討したバイオグラウトは、微生物に市販のドライイースト、有機栄養源にはグルコースを用いた。Ca 源には酢酸 Ca を使用し、グラウト中の pH 環境を調節するため初期 pH を 9.0 または 8.0 とした Tris 緩衝溶液を用いて実験を行った。本研究で検討した配合ケースを表 1 に示す。いずれの配合シリーズにおいても、ドライイーストを 3.0g/L とした配合を基準として検討を行った。また、グルコースは 0.10mol/L、酢酸 Ca は 0.05mol/L とした。A シリーズは、Tris 緩衝溶液の初期 pH を 9.0、濃度を 0.1mol/L とし、ドライイーストの量のみを変化させた配合とした。B シリーズは、Tris 緩衝溶液の初期 pH を 8.0 に設定し A シリーズと同様にドライイーストの量を変化させた配合としている。なお、初期 pH を 8.0 に設定した Tris 緩衝溶液の濃度は予備実験において多くの炭酸 Ca の析出が確認された 0.50mol/L とした。

次に、試験管析出試験の概要について示す。蒸発皿にグラウトの配合に必要なドライイースト、酢酸 Ca 及びグルコースの試料を取り分けた後、ビーカーに 80ml の Tris 緩衝溶液を入れ、その後それぞれの試料を少しずつ加えながら攪拌機で溶解させた。

表 1 配合ケース

その後 40ml ずつ、2 本の試験管に取り分けた。取り分けた試験管は 20°C に設定した恒温室に静置し、グラウト作製から 6 時間ごとの Ca<sup>2+</sup>濃度と pH 変化をポータブル水質計及びハンディ型 pH 計を用いて測定した。

配合ケース (初期 pH)	ドライイースト (g/L)	グルコース (mol/L)	酢酸 Ca (mol/L)
A1(9.0),B1(8.0)	3.0	0.10	0.05
A2(9.0),B2(8.0)	4.5		
A3(9.0),B3(8.0)	6.0		
A4(9.0),B4(8.0)	9.0		
A5(9.0),B5(8.0)	12.0		

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 ドライイーストの量が炭酸 Ca の析出時間に及ぼす影響

炭酸 Ca が析出する過程でグラウト中の Ca<sup>2+</sup>濃度は減少するため、本研究では Ca<sup>2+</sup>濃度を測定し炭酸 Ca の析出率を推定した。図 1 及び図 2 に A1～A5 及び B1～B5 の配合におけるグラウト作製から 48 時間後までの各グラウト中において測定された Ca<sup>2+</sup>濃度減少率を示す。これらの結果からグラウト中のドライイーストの量が増加するほど Ca<sup>2+</sup>濃度の減少が早くなることが確認できる。特に、A4 の配合では 12 時間後に約 75%、B4 の配合では 18 時間後に約 80% の Ca<sup>2+</sup>濃度減少率が確認された。また、A1 及び B1 の配合における 24 時間のグラウト中の pH は pH7.69(A1)、pH7.81(B1)であったのに対し、A4 及び B4 の配合は pH6.97(A4)、pH7.57(B4)となっており、グラウト中のドライイーストが増加すると pH の低下も早くなっていた。この結果からドライイーストの量を増やすことで炭酸 Ca の析出に必要な炭酸イオンの生成が早まり炭酸 Ca の析出が促進されたと考えられる。また、A シリーズではグラウト作製から 48 時間後までの Ca<sup>2+</sup>濃度減少率の最

大値が 80%程度であったのに対し、B4, B5 の配合において  $\text{Ca}^{2+}$  濃度減少率が 100%近くに達していることが確認された。

### 3.2 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度減少率と炭酸 Ca の析出過程

アルカリ緩衝作用を考慮した化学平衡式を用いて微生物代謝によって生成された炭酸イオン濃度を推定した。また、炭酸 Ca として析出したと考えられる炭酸イオン濃度を  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の測定値から推定した。炭酸イオン濃度の算出方法を以下の式に示す。

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log\left(\frac{[\text{B}]-\text{X}}{[\text{BH}^+] + \text{X}}\right) \quad (1)$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 1/2[\text{H}^+] \quad (2)$$

ここで、pH:測定値、pKa:酸解離定数(Tris 緩衝溶液: 8.2, 20°C), [B]:塩の濃度(mol/L),  $[\text{BH}^+]$ :酸の濃度(mol/L),  $[\text{H}^+]$ :水素イオン濃度(mol/L)である。A4 及び B4 の配合を用いて Tris 緩衝溶液の初期 pH 及び濃度の違いが炭酸 Ca の析出時間に及ぼす影響について検討を行った。

図 3 に A4 及び B4 の配合における炭酸イオン濃度の経時変化を示す。この図より初期 pH9.0 の Tris 緩衝溶液を用いた A4 の配合ではグラウト作製から 24 時間後まで両者の炭酸イオン濃度は同程度となっており、作製後 6 時間で炭酸 Ca が析出されていることが分かる。この結果は試験管に付着した析出物の様子(写真 1)においても明確に確認されている。一方、初期 pH8.0 とした B4 の配合では、グラウト作製から 6 時間後において両者の値に約 0.017mol/L の差が生じており、この差は時間の経過とともに小さくなっていることが分かる。このことから B4 の配合では、A4 の配合と比較して、pH の低下に伴い炭酸イオンが生成された後グラウト中の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が減少するまでに要する時間は遅いものの、時間の経過に伴い Ca 源の大部分が炭酸 Ca として析出することが可能であることが確認された。

### 4. 終わりに

グラウト中に混入するドライイーストの量、Tris 緩衝溶液の初期 pH 及び濃度の違いによって炭酸 Ca の析出時間が異なることが確認された。特に、初期 pH9.0、濃度 0.1mol/L の Tris 緩衝溶液を用いることでグラウト作製から 6 時間で明確な炭酸 Ca の析出が確認された。また、初期 pH8.0、濃度 0.5mol/L の Tris 緩衝溶液を用いることでグラウト作製から 48 時間後まで炭酸 Ca の析出が持続し炭酸 Ca の大部分が消費されることが分かった。

### 参考文献

- 1) 久保郁貴, 矢野元智也, 氏家勲, 河合慶有: 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

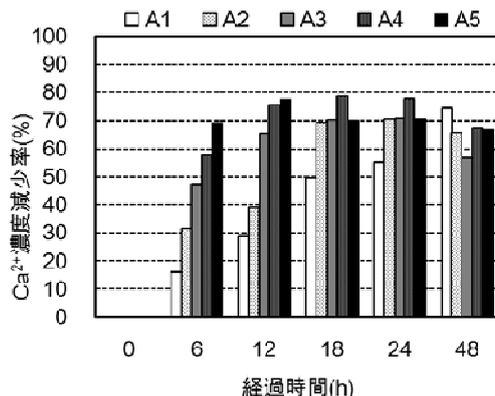


図 1  $\text{Ca}^{2+}$  濃度減少率 (A1~A5)

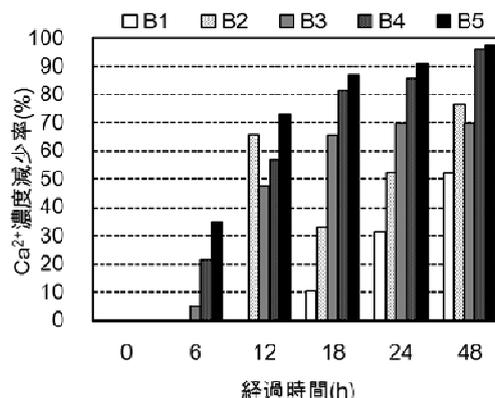


図 2  $\text{Ca}^{2+}$  濃度減少率 (B1~B5)

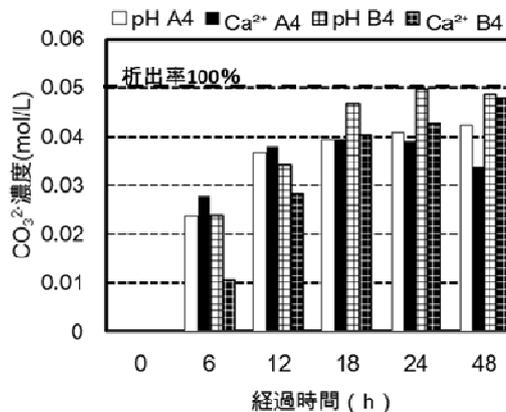


図 3  $\text{CO}_3^{2-}$  濃度 (A4, B4)

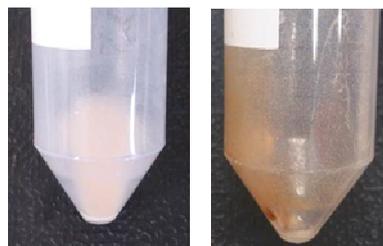


写真 1 6 時間後の炭酸 Ca の析出の様子 (左: A4, 右: B4)