

## バイオ材料の炭酸カルシウム析出過程に及ぼす温度の影響

愛媛大学大学院 学生会員 ○山本 沙也 非会員 Prima Yane Putri  
愛媛大学大学院 正会員 氏家 勲 正会員 河合 慶有

### 1. はじめに

従来、コンクリート構造物に発生したひび割れの補修には有機系材料(樹脂系材料)及び無機系材料(セメント系材料)が使用されている。しかし、欠陥部が広範囲に存在する場合や環境への配慮から漏水箇所の補修には不向きであると考えられる。近年、微生物代謝を利用したバイオ材料による漏水箇所の補修に関する研究が進められている<sup>1)2)</sup>。バイオ材料とは、微生物代謝によって生成される二酸化炭素と材料中に混入したカルシウム源により析出される  $\text{CaCO}_3$  を利用して漏水箇所の補修を行うものである。既往の研究<sup>2)</sup>より、微生物にイースト菌、栄養源にグルコースを用いた配合の検討において 24 時間以内に  $\text{CaCO}_3$  の析出が可能な配合が確認されている。また、実施工では様々な温度環境で使用されることが想定されるため、本研究ではこれらの材料を用いたグラウト材の  $\text{CaCO}_3$  析出過程に及ぼす温度の影響を検討した。

### 2. 実験概要

本研究で検討したバイオ材料は、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。カルシウム源には酢酸カルシウムを使用し、グラウト中の pH 環境を調節するため初期 pH8.0 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。今回は温度の影響を検討するため、配合はドライイーストは 9.0g/L、グルコースは 0.10mol/L、酢酸カルシウムは 0.05mol/L の 1 ケースとした。また、析出試験は温度が 10, 20, 30°C の 3 水準に設定されたインキュベーターを用いて実施した。

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、酢酸カルシウム及びグルコースの試料を取り分けた後、ビーカーに 60ml 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。その後 30ml ずつ、2 本の試験管に取り分けた。取り分けた試験管はインキュベーター内に静置し、グラウト作製から 12 時間ごとの  $\text{Ca}^{2+}$  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。

表-1 配合表

ケース	ドライイースト (g/L)	グルコース (mol/L)	酢酸カルシウム (mol/L)	Tris 緩衝溶液		温度 (°C)
				pH	(mol/L)	
A	9.0	0.1	0.05	8.0	0.5	10
B						20
C						30

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 イースト菌の代謝と pH 変化

図-1 に、ケース A~C のグラウト作製から 72 時間後までの各温度環境において測定された pH の経時変化を示す。この結果よりケース A~C すべてにおいてグラウト作製から 72 時間経過後まで、pH は継続的に低下していることが確認できる。また 72 時間経過後の pH は A(7.79), B(7.59), C(6.43)となっており、温度環境によって pH の値が異なっている。特にケース A では他の温度環境に比べて pH が初期値から低下していないことが分かる。一方、ケース C では温度が高くなると pH の低下が早くなっていることが分かる。この結果より、温度が高くなるとイースト菌の代謝が活性化され、生成される  $\text{CO}_3^{2-}$  の量が増えたため pH が著しく低下したと考えられる。

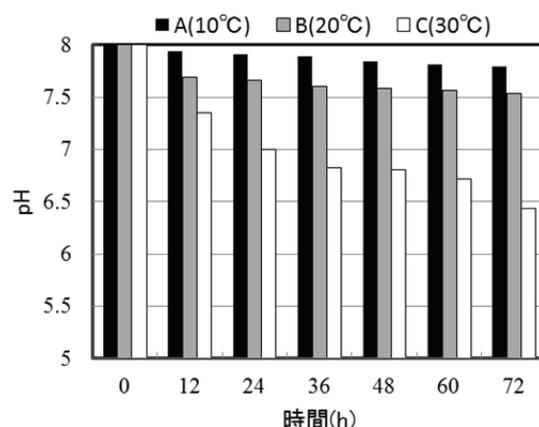


図-1 pH の経時変化 (A~C)

### 3.2 CaCO<sub>3</sub>の析出過程に及ぼす温度の影響

CaCO<sub>3</sub>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CaCO<sub>3</sub>の析出率を推定した。また、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CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>濃度をpHの値から算出した。CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>濃度の算出方法を以下の式(1)に示す。

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

ここで、pH:測定値、pKa:酸解離定数:8.48(10°C), 8.2(20°C), 8.48(30°C)<sup>3)</sup>, [B<sup>-</sup>]:塩の濃度(mol/L), [BH<sup>+</sup>]:酸の濃度(mol/L), [H<sup>+</sup>]:H<sup>+</sup>濃度(mol/L)である。

式(1)を用いてpHの測定結果から算出したCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>生成量とCa<sup>2+</sup>減少量を図-2~4に示す。既往の研究ではpHがおおよそ7.5を下回ると、CaCO<sub>3</sub>の析出が持続されないことが確認されている<sup>1)</sup>。特に、ケースA及びBでは72時間経過後までのpHの値が7.5以上であったため、CaCO<sub>3</sub>の析出が持続されたと考えられる。一方、ケースCでは、24時間経過後のpHが約7.0となっており、36時間後までにCaCO<sub>3</sub>の析出率はほぼ100%に達していることが確認できる。

また、これらの図よりケースAではケースBと同様に60時間経過後までにCaCO<sub>3</sub>の析出に必要なCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>は生成されているものの、CaCO<sub>3</sub>の析出量が減少していることが分かる。この結果から温度が低くなるほど、CaCO<sub>3</sub>の析出速度が遅くなっていることが確認された。一方、ケースCでは12時間後にはCaCO<sub>3</sub>の析出に必要な量以上のCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>が生成されていることが分かる。このことから、温度が高くなることでCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の生成が促進され、反応の早い段階からCaCO<sub>3</sub>の析出量が多くなったものと考えられる。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。

### 4. 終わりに

温度が30°Cの試験環境では、イースト菌の代謝により生成されるCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の量が増加し、CaCO<sub>3</sub>の析出が促進されることが分かった。一方、10°Cの試験環境では温度がイースト菌の代謝に及ぼす影響は小さいと考えられるが、CaCO<sub>3</sub>の析出速度は遅くなることが確認された。

### 5. 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
- 2) 山本沙也, 久保郁貴, 氏家勲, 河合慶有: 炭酸カルシウムの析出速度及び析出量に及ぼす諸要因に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1585-1590, 2015
- 3) D.D.Perrin, B. Dempsey: 緩衝溶液の選択と応用, 講談社サイエンティフィック, 付録Ⅲ, 1981.

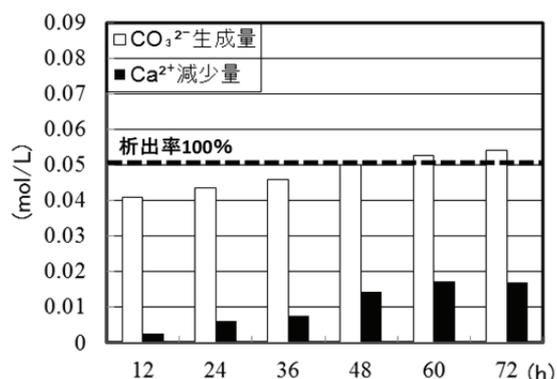


図-2 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>生成量とCa<sup>2+</sup>減少量(10°C)

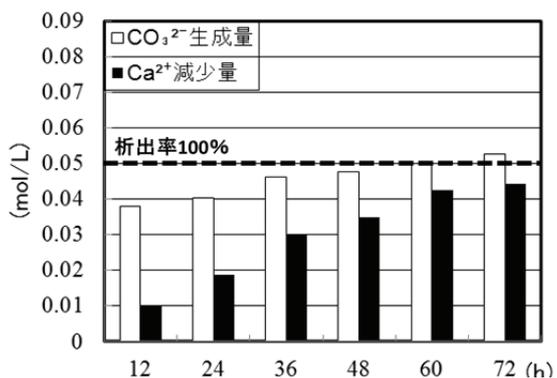


図-3 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>生成量とCa<sup>2+</sup>減少量(20°C)

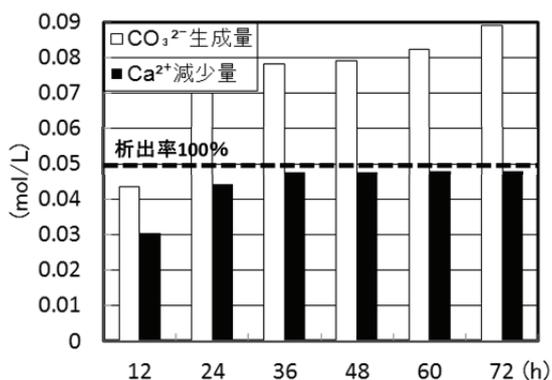


図-4 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>生成量とCa<sup>2+</sup>減少量(30°C)

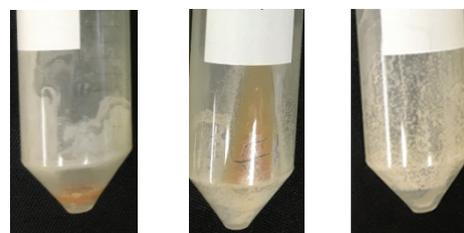


写真-1 24時間後の析出の様子  
(左:A, 中:B, 右:C)