

微生物代謝による炭酸カルシウム析出解析モデルの構築

香川大学 賛助会員 ○榊原洋子 正会員 岡崎慎一郎
愛媛大学 フェロー会員 氏家勲 正会員 河合慶有

1. はじめに

戦後の復興から高度経済成長期にかけて建設された橋梁は、老朽化が顕著となっている。これらに対する補修や補強が必要とされる一方で、その費用は非常に限られたものとなっている。

コンクリート橋梁における高欄と床版の間は間隙が生じやすく、その部分からの雨水の漏出が発生するが、コンクリートの劣化には直接関与しないため、直ちに補修は要さないものの、予期しない箇所への水回りによる局部的な劣化の促進や、漏水の第三者への影響があり、間隙を充てんするなどの補修が必要である。従来の充填工法による補修では、対象箇所が広大なために莫大なコストを要すうえ、施工時の無機材料の漏出や独特な臭いによる環境負荷の問題もある。

そこで、環境に負荷を与えないバイオグラウトを利用した、炭酸カルシウムによる間隙充填工法が注目されている。本研究では、バイオグラウトから炭酸カルシウムを多量に発生させることが可能なグラウトの配合の検討を行うため、地球化学コードである PHREEQC¹⁾を用いて、炭酸カルシウムの析出解析モデルの構築を行うものである。

2. 解析モデルと解析対象

2. 1 地球化学コード

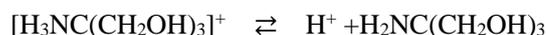
本研究では、PHREEQC を用いた。これは、USGS (United States Geological Survey, アメリカ地質調査所) により開発された地球化学コードであり、水溶液中における地球化学計算を行うために開発されたプログラムである。溶液の pH 変化、炭酸カルシウムの結晶別の析出の追跡が可能である。

2. 2 解析対象

対象とするバイオグラウトは、既存の研究報告を参考にし、決定した。ここで、バイオグラウトには、pH の急激な変化を緩和する目的で緩衝剤が添加されており、実験にて選択された緩衝剤は、トリスヒドロキシメチルアミノメタン (以後、トリス) であった。この物質は PHREEQC の database シートに定義されていなかったため、緩衝剤のモデル化にする検討を行った。

2. 3 緩衝剤のモデル化

緩衝作用に関連した反応は、



となる。本来であれば、トリスに関する熱力学的パラメータを取得し、定義すべきであるが、公開されているデータが極めて少なかった。そこで、上記の反応を参考に、酸化数が-3 である窒素原子を、疑似的なトリスのモデルとして採用することとした。

また、微生物代謝による二酸化炭素の生成とグラウト中への溶存は、解析上、二酸化炭素を溶液中に強制的に溶存させることによりモデル化した。

3. 解析の妥当性検証のための実験

3. 1 バイオグラウトの配合条件

解析結果と実験結果を比較するため、以下の配合条件を設定した (表-1)。

トリスは 0.3mol/L および 0.75mol/L を用意し、pH が 9.0 になるように、グラウトに硝酸を加えて調整した。その溶液を最大容積 50ml のコニカルチューブに 40ml だけ採取し、ドライイーストの栄養源として D-グルコースを 0.4mol/L 加えた。また、カルシウム源として乳酸カルシウムを 0.2mol/L 加えた。その後、ドライイースト 0.24 g を入れ、攪拌したのち、恒温槽 25°C および 40°C に設定したブロックヒーター中に静置させ、24 時間毎に pH 計で溶液の pH を測定した。

3. 2 析出した炭酸カルシウムの定量

炭酸カルシウムの定量方法は以下のとおりである。ろ紙 No.5C にて析出物ならびにドライイーストを吸引ろ過し、析出物を蒸留水で十分に洗浄した。よく洗浄したコニカルチューブとともに 100°C に設定した乾燥炉に入れ、24 時間乾燥させた。その後、電子天秤にて質量を測定した。

3. 3 実験結果

図-1 に、各配合における炭酸カルシウム析出量を示す。D 配合の 48 時間以降において多量の炭酸カルシウムの析出を確認した。また、E 配合および F 配合では析出を確認できなかった。析出物を XRD にて分析を行ったところ、カルサイトであることを確認した。

表-2 実験条件

A : 0.3mol/L トリス硝酸緩衝液+0.2mol/L 乳酸カルシウム+イースト菌+グルコース, 25°C
B : 0.3mol/L トリス硝酸緩衝液+0.2mol/L 乳酸カルシウム+イースト菌+グルコース, 40°C
C : 0.75mol/L トリス硝酸緩衝液+0.2mol/L 乳酸カルシウム+イースト菌+グルコース, 25°C
D : 0.75mol/L トリス硝酸緩衝液+0.2mol/L 乳酸カルシウム+イースト菌+グルコース, 40°C
E : 蒸留水+0.2mol/L 乳酸カルシウム+イースト菌+グルコース, 25°C
F : 蒸留水+0.2mol/L 乳酸カルシウム+イースト菌+グルコース, 40°C

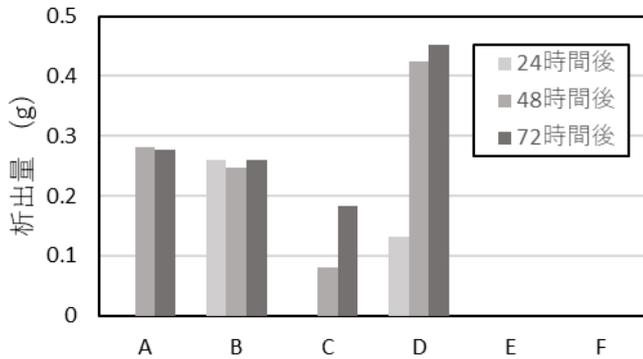


図-1 炭酸カルシウムの析出量

4. 解析結果の妥当性の検証

図-2～図-5に、横軸をグラウト溶液のpHとし、縦軸を析出した炭酸カルシウムの量(mol/L)としたものを示す。解析ではカルサイトのみ析出であり、アラゴナイトの析出は見られず、実験と同じ傾向となった。炭酸カルシウムの析出量は、A配合に乖離がみられるものの、実験値と解析値は概ね一致した。E配合およびFについては、図示していないが、シミュレーションからはカルサイト、アラゴナイトどちらも析出しない結果を得ており、実験と同じ傾向を得た。

今回は、溶液中が平衡状態であることを仮定した解析にとどまっている。今後、炭酸カルシウム析出の反応速度式を考慮することで、炭酸カルシウムの析出量の時刻歴変化を追跡したい。

謝辞：本研究はJSPS 科研費基盤研究（B）課題番号15H04025によって実施された。ここに謝意を記す。

参考文献：

- 1) 所 千晴:初心者のための PHREEQC による反応解析入門, R&D 支援センター, 133p, 2017

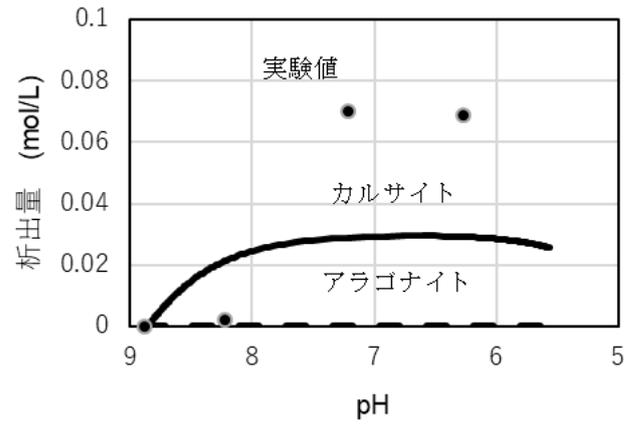


図-2 実験値と解析結果 (A 配合)

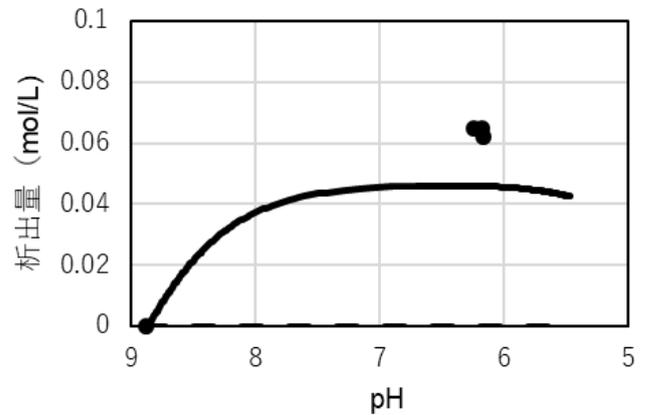


図-3 実験値と解析結果 (B 配合)

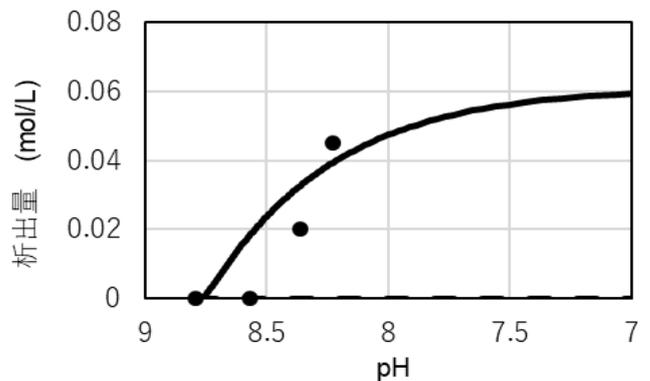


図-4 実験値と解析結果 (C 配合)

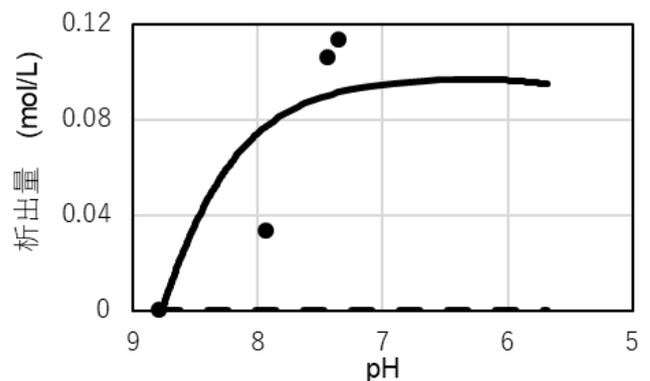


図-5 実験値と解析結果 (D 配合)