

炭酸カルシウム析出によるコンクリートの間隙閉塞モデル

香川大学 賛助会員 ○我部山喜弘 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

高速道路橋など、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。この漏水自体は、ただちにコンクリート内部の鉄筋腐食などの劣化には直接関与せず、積極的には補修がなされないのが一般的ではあるものの、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有機溶剤のにお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、道路橋の高欄と床版の間に生じる間隙からの漏水の、バイオグラウトによる補修に関する数理モデルの構築を行い、間隙の閉塞に要するグラウトの通水時間や、通水量を検討するための基礎的な検討を行うものである。

2. 解析対象と数理モデルの概要

解析対象は、図-2 に示す模擬間隙試験体における、炭酸カルシウムによる間隙充填現象である。

解析の概要は以下のとおりである。

本数値モデルでは、

1. 微生物による炭酸カルシウム生成パート
 2. 間隙に付着し成長する結晶成長パート
- それぞれ、別箇に検討することとした。

微生物による炭酸カルシウム生成パートでは、地球科学コード PHREEQC¹⁾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。

結晶成長パートでは、セメントの結晶成長の知見を利用してモデルを作成した。

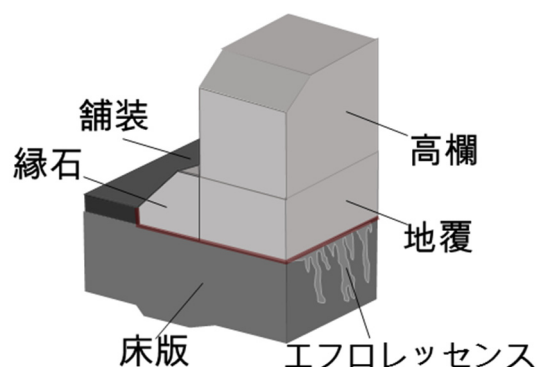


図-1 橋梁での漏水の概要

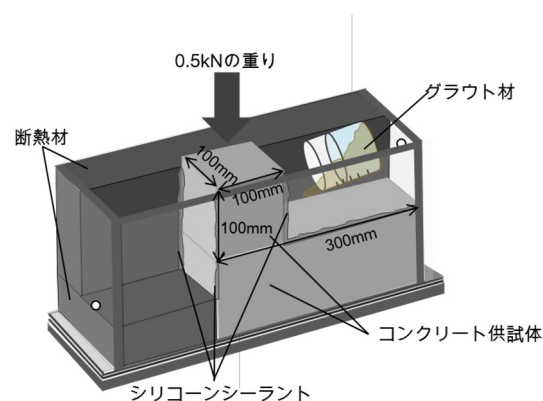


図-2 模擬漏水装置の概要

3. 炭酸カルシウム生成パート

対象とするバイオグラウトは、愛媛大学チームの研究報告を参考にし、決定した。

実際のグラウトには、トリス緩衝液、酢酸カルシウム、イースト菌、グルコースが含まれているが、系の簡素化のため、緩衝剤、酢酸カルシウムを初期の溶液に溶存させ、二酸化炭素を強制的に溶存させることで、微生物代謝のモデル化を行った。ここで、緩衝剤については、データベースが存在しなかったため、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。

また、微生物の生成・死滅は考えず、計算上の1ス

テップに二酸化炭素を液体に強制的に溶存させ、炭酸カルシウム結晶である、カルサイトとアラゴナイトの生成量を確認する。なお、溶液の初期条件を、pH を 9.0、カルシウムイオンを 200mmol/L、トリスを 750mmol/L とした。

4. 炭酸カルシウム生成パート

炭酸カルシウムの結晶成長パートでは、平面反応の動力学を参考としたセメントの水和反応モデルを利用した。炭酸カルシウムの生成・付着速度は生成層厚さ ξ に反比例するとした場合、偏微分方程式が立脚されるが、これを解くと、比例係数を k 、時刻を t として、以下ようになる。

$$\xi = \sqrt{2kt}$$

なお、比例係数 k は温度、溶液中の炭酸カルシウム結晶量、補修対象箇所の面積に依存。ただし、溶液中の炭酸カルシウム量は、層の生成に影響を受けないほど十分存在すると仮定する。

時々刻々と炭酸カルシウムにより充填される間隙のモデルについて、間隙幅を w 、初期の間隙幅を w_0 、間隙の透水係数を K_w とすると、

$$K_w = \frac{w^2}{12\mu} = \frac{(w_0 - 2\xi)^2}{12\mu} = \frac{(w_0 - 2\sqrt{2kt})^2}{12\mu}$$

となる。また、間隙を透過する流体の、単位時間に流下する流量の低下率は、補修前の透水係数を K_{w0} として、以下ようになる。

$$K_w/K_{w0} = \frac{(w_0 - 2\sqrt{2kt})^2}{w_0^2}$$

3. 解析結果

3. 1 結晶成長パート

図-3 に、地球科学コードによって計算されたグラウトの pH 変化を示す。二酸化炭素の溶存量が大きくなると pH が減少し、トリスのモデルによって pH の減少傾向が全体的に緩やかとなっている。また、温度の増加により pH の減少の傾向が緩やかとなった。

図-4 に、二酸化炭素の溶存量と炭酸カルシウムの析出量の関係を示す。析出したのはカルサイトのみであり、アラゴナイトは析出されなかった。ある程度の二酸化炭素の溶存で、pH が低下したため、炭酸カルシウムの析出は頭打ちとなる。最終的な析出量は、温

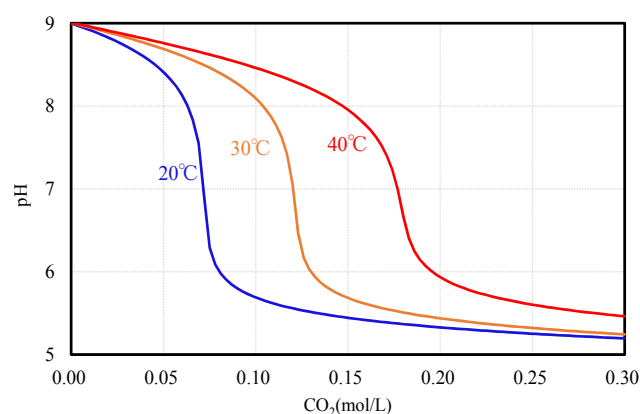


図-3 pH 変化

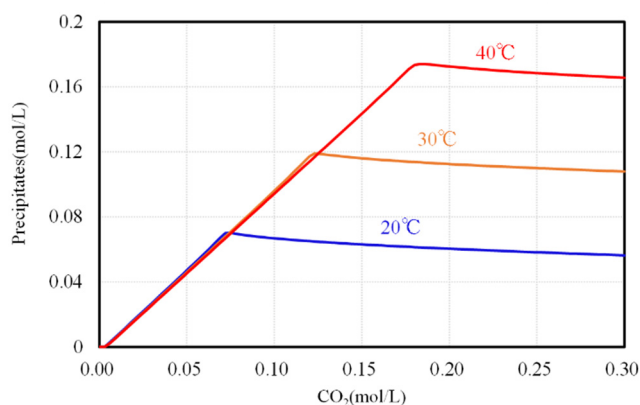


図-4 カルサイトの析出量

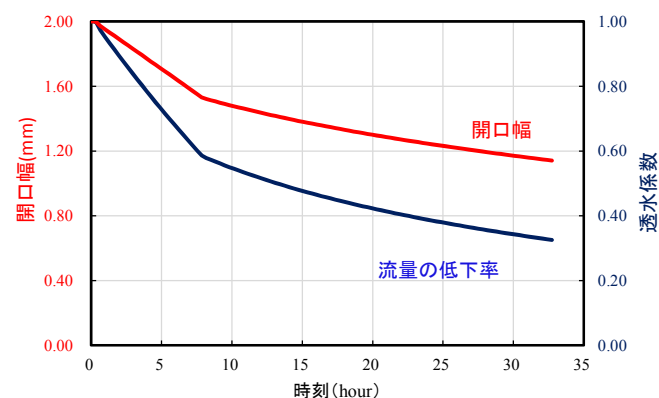


図-5 開口幅と流量の変化率の経時変化

度の増加に伴い、pH の低下がゆるやかであったためか増加する傾向にあった。

3. 2 結晶成長パート

図-5 に、結晶成長パートでの開口幅の経時変化と、流量の低下率の変化を示す。今後、実験値との比較を行いたい。

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