

愛媛大学大学院 学生会員 ○杉本 知弘
 愛媛大学大学院 学生会員 林 和幸
 愛媛大学大学院 正会員 木下 尚樹
 愛媛大学大学院 正会員 安原 英明
 愛媛大学大学院 正会員 岡村 未対

1. はじめに

土中微生物の代謝活動を利用し、炭酸カルシウムを析出させることで、砂の透水性を 1/10 にさせることができる¹⁾。しかしながら、炭酸カルシウムの析出量と砂の透水性の關係に着目した研究はほとんどない。そこで本研究では、炭酸カルシウムの析出量と透水係数の關係を明らかにすることを目的として炭酸カルシウムの析出量を変えた砂試料の透水試験を行った。また化学反応の進行に伴う砂の透水性の変化について、物質輸送解析を行い、解析の適用性を検討した。

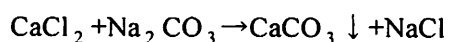
2. 実験概要

表-1 実験条件

	炭酸ナトリウム含有量(%)	塩化カルシウム水溶液(moi/l)	相対密度(%)
case1	0	0	50
case2	2	0.7	50
case3	5	1.7	50

本研究では、式(1)に示す化学反応式に着目し、あらかじめ粉末の炭酸ナトリウムを均一に混合した豊浦砂に塩化カルシウム水溶液を 120ml 通水して砂供試

体中に炭酸カルシウムを析出させた。炭酸カルシウムの析出量は、砂に混ぜる炭酸ナトリウム質量と塩化カルシウム水溶液の濃度によって調節した。配合条件、および砂供試体の相対密度を表-1 に示す。なお、化学反応の副産物である塩化ナトリウムは水溶性が高いため透水試験前に蒸留水を通水して排出する。



透水試験装置を図-1 に示す。水頭差はボイリング現象が起るのを防ぐために 5cm と小さくした。供試体は各実験ケースで 5 つ用意し、それぞれ 0, 6, 12, 18, 24 時間養生後に透水試験を行い、経過時間と透水係数の關係を求めた。供試体は寸法 $\phi 5\text{cm} \times \text{H}5\text{cm}$ になるように空中落下法によって作成した。なお、本研究では炭酸ナトリウム混合による砂供試体の透水性の変化を確認することを目的として、豊浦砂と炭酸ナトリウムを混合させたケースについて実験を行った。その結果、豊浦砂のみの

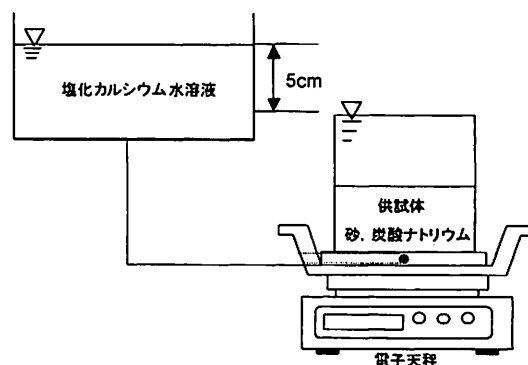


図-1 実験装置概要

ケースでは $5.43 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 、豊浦砂に炭酸ナトリウムを混合したケースでは $7.27 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ となり、炭酸ナトリウム粉末の混合は、透水性に大きな影響を及ぼさないことを確認している。

3. 物質輸送解析

本研究では、間隙水中の元素濃度から鉱物の溶解・沈殿を考慮した移流拡方程式を支配方程式とした物質輸送解析を実施した。主なパラメーターは絶対透過率、土粒子密度、間隙率であり、絶対透過率は実験で得た透水係数を変換式によって導出した。土粒子密度は 2.64 g/cm^3 、間隙率は 0.44 とした。本解析では、炭酸カルシウムの析出による間隙構造の変化を再現できる解析モデルを適用するため、透水性の経時変化を評価できる。なお、case3 では炭酸ナトリウム、塩化カルシウムともに高濃度であるため、現行の解析モデルでは計算できないにために行わないことにした。

4. 実験結果

case2 と case3 の各計測時間における透水係数を図-2 に、case2 の透水係数と解析結果を図-3 に示す。case2 で養生開始から 12 時間経過した時点で透水係数が当初と比べ約 50%低下し、それ以降は緩やかな低下傾向を示した。また、case3 においては養生開始から 12 時間経過した時点で透水係数が当初の 1/10 にまで低下した。それ以降は case2 と同様に極めて緩やかな低下傾向を示した。このことから炭酸カルシウムの析出、定着は約 12 時間までに行われていること、および析出量が多いほど透水係数が低下することがわかる。また炭酸カルシウムの析出質量および炭酸カルシウムの密度(2.71g/cm³)から間隙充填率を求めたところ、case2 では析出量が 2.90g となり、これは間隙の約 2.5%を充填し、同様に case3 では析出量が 7.24g となり、これは間隙の約 6%充填している。

また、case2 を対象とした解析結果では、24 時間経過するまでの透水係数については概ね実測値を再現している。しかしながら、実測値が 24 時間経過時点で定常状態になっている一方、解析では一定の割合で減少を続けており、長い時間を対象とした実験と解析を行う等、今後検討が必要である。

実験結果の妥当性を検討するため、式(3)で示した Carman-Kozeny の経験則²⁾を用いて透水係数を算出し、実験結果との比較を行った。実験結果と数値計算結果の透水係数を表-2 に示す。

$$k = k_i \frac{(1-\phi_i)^2}{(1-\phi)^2} \left(\frac{\phi}{\phi_i}\right)^3 \quad (2)$$

ϕ_i は初期の間隙率、 ϕ は炭酸カルシウム析出後の間隙率、 k_i は初期の透水係数である。 ϕ は炭酸カルシウムの析出質量および炭酸カルシウムの密度から算出した。case2 では炭酸カルシウム case2 では類似した数値を示しているものの、case3 では多少の違いが見られたが十分な妥当性が検証することができた。

5 まとめ

本研究では炭酸カルシウムの析出量と透水性の関係、および解析モデルの妥当性を検討する目的で実験を行った。その結果、炭酸カルシウムが間隙の約 2.5%充填することで透水係数は半分に、約 6%充填することで 1/10 下げることができた。また、case2 を対象とした物質輸送解析では、透水係数の経時変化を概ね再現でき、経験側に基づく検討の結果実測値の妥当性も検討できた。今後は高濃度の溶液、及び長い経過時間を対象とした解析の適用性について検討していく必要がある。

参考文献

- 1)川崎了：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，pp.2-12,2006.
- 2)Bear：Transport in porous media, Elsevier, 764 pp,1972.

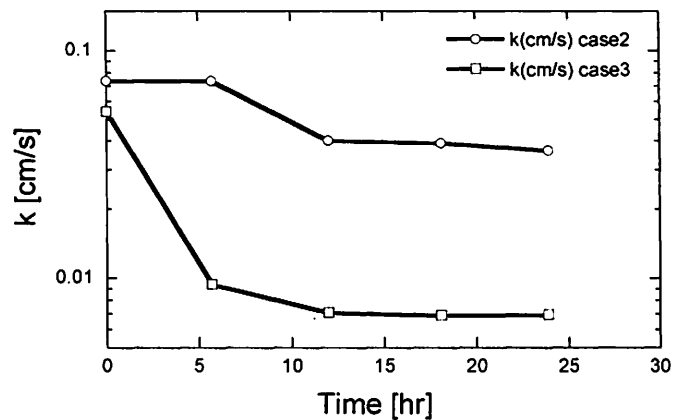


図-2 各計測時間における透水係数

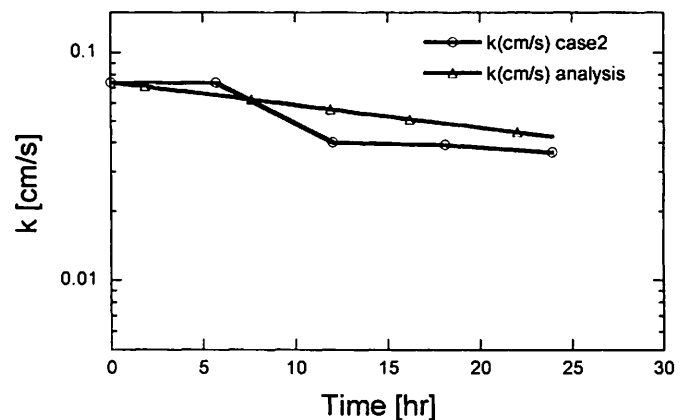


図-3 case2 の透水係数と解析結果

表-2 実験結果と数値計算結果の透水係数

	実験値(cm/s)	数値計算値(cm/s)
case2	3.65E-02	3.96E-02
case3	6.94E-03	1.68E-02