

液固比バッチ試験による土壌のアルカリ緩衝評価及び地盤内拡散予測

(株)大林組 (正)○森下智貴・(正)三浦俊彦・(正)諸富鉄之助・渡辺和博
(国研)国立環境研究所 (正)肴倉宏史

1. はじめに

現場における建設発生土は、処分場容量のひっ迫や処分費用の削減のために盛土材等の土木資材として有効利用される。発生土を利用するには強度品質を満足する必要があるため、石灰・セメントによる安定処理が施され、改良土として利用される。改良土を盛土として施工した場合、石灰・セメントは高アルカリであるため、降雨等による周辺環境への流出が懸念される。このような環境リスクへの適切な対策を講じるために、アルカリがどれだけ溶出するか(発生源評価)¹⁾、地山でどのくらい拡散するか(拡散評価)を根拠づけて検討することが重要であると考える。朝倉ら(1999)は、土壌とアルカリの反応を平衡定数で整理しており、土壌のアルカリ緩衝を定量化して検討することを提案している²⁾。本研究は、地山の拡散評価を目的として、液固比バッチ試験により土壌のアルカリ緩衝を吸着等温線で評価した。また、得られた吸着パラメータを使用して移流分散解析を行いカラム通水試験の結果と比較して、その妥当性を評価した。

2. 実験

2.1 材料 アルカリ溶液の pH は改良土からの溶出を想定して $\text{Ca}(\text{OH})_2$ で調整した。土壌は鹿沼土とマサ土を使用した。

2.2 液固比バッチ試験 250 mL のポリ容器に pH 9, 10, 11, 12, 12.5 (飽和溶液) に調整したアルカリ溶液を 100 mL 注水した後、液固比が 1~100 となるよう土壌を添加し、6 時間振とう後の懸濁状態の試料の pH を測定した。試験中に溶液の大気中和がないことを確認するため土壌なしでも試験を実施した。初期 pH と平衡 pH を水酸化物イオン濃度に換算して 1 式により土壌への水酸化物イオン吸着量を計算した。

$$q = ([\text{OH}^-]_{\text{in}} - [\text{OH}^-]_{\text{eq}}) \times V/M \quad 1 \text{ 式}$$

q : 水酸化物イオン吸着量 (mg/kg), $[\text{OH}^-]_{\text{in}}$: 初期 pH の水酸化物イオン濃度 (mg/m³), $[\text{OH}^-]_{\text{eq}}$: 平衡 pH

の水酸化物イオン濃度 (mg/m³), M : 試料質量 (kg), V : 溶液量 (m³)

2.3 カラム通水試験 試料は直径 5 cm のアクリル製カラムに高さ 10 cm で締め付けた (表 1)。通水するアルカリ溶液は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ で pH 11.7~12 に調整し、ナイロン製のバックに入れた。大気による中和を避けるために試験開始前にバック、チューブ内の空気を抜いた。通水はカラムの下部から上方向にチューブポンプを用いて 15 mL/h で実施した。通水後の浸出水を適宜採取し、pH を測定した。

表 1 カラム試験の条件

定数	鹿沼土	マサ土
乾燥密度 (kg/m ³)	473	1692
間隙率 (%)	82	36

3. 実験結果

3.1 液固比バッチ試験結果 図 1 に得られた平衡 OH⁻濃度と OH⁻吸着量の関係、および Freundlich 型の等温吸着線 (2 式) による近似曲線を示す。両試料とも平衡濃度が pH 7 未満では平衡濃度に対して吸着されるアルカリ量が比較的高く、勾配が急であったが、pH 7 以上では勾配が緩やかとなった。平衡 pH が 7 以上となるのは、主に初期 pH 11 以上の溶液が中和された結果である。改良土から溶出するアルカリ溶液は pH 12.5 程度であるため¹⁾、この範囲の近似曲線から得られたパラメータ (K_d , β) で改良土からのアルカリ拡散を解析することは妥当であると判断した。得られた K_d , β を表 2 に示す。

$$q = K_d \times C^\beta \quad 2 \text{ 式}$$

q : 吸着量 (mg/kg), K_d : 分配係数 (m^{3β}/kg^β), C : 平衡濃度 (mg/m³), β : 定数

3.2 カラム通水試験 カラム試験は締め付けた土にアルカリを連続的に通水するため、液固比バッチ試験に比べて比較的現場に近い試験である。図 2 のプロットがカラム通水試験の結果を示している。浸出水の pH が上昇し始めたのは鹿沼土、マサ土でそれぞれ 500, 50 時間後経過後であった。液固比バッチ試験で

キーワード 改良土, アルカリ, 環境リスク, 吸着等温線, 移流分散解析

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-6-40 大林組技術研究所 TEL 042-495-1023

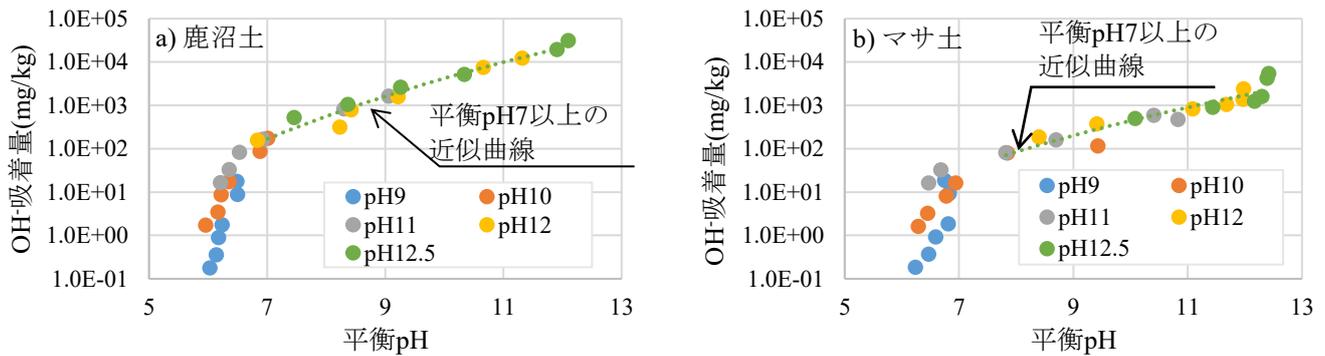


図1 アルカリの吸着等温線 a) 鹿沼土, b) マサ土

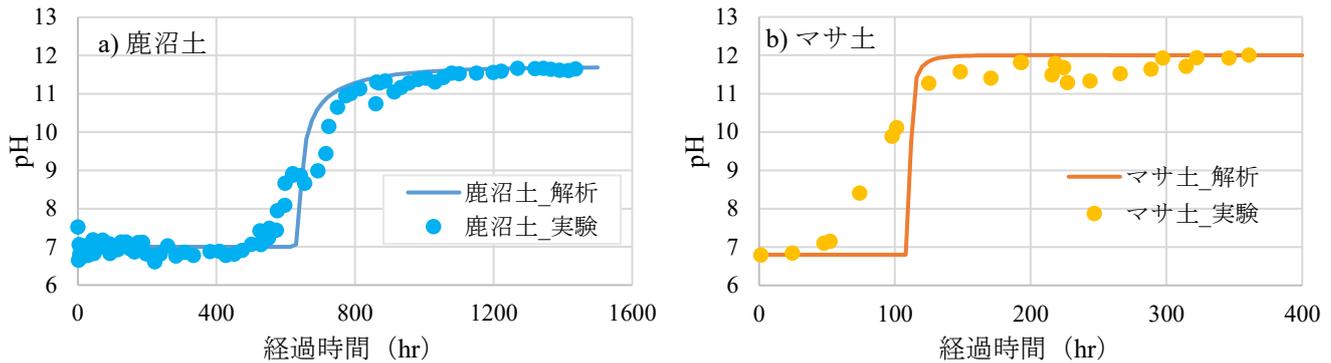


図2 カラム試験及び解析による計算結果 a) 鹿沼土, b) マサ土

取得した K_d , β で地盤のアルカリ挙動を解析するため、表2の値で3式、4式に示す移流分散方程式を差分法で解いて図2に実線で示した。解析は水酸化物イオン濃度で計算して、その結果をpHに換算した。

$$R_d \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \quad 3 \text{ 式}$$

$$R_d = 1 + \frac{\rho_d}{n_e} K_d \beta C^{\beta-1} \quad 4 \text{ 式}$$

R_d : 遅延係数, t : 時間 (s) C : 濃度 (mg/m^3) D : 拡散係数 (m^2/s), x : 距離 (m), v : 実流速 (m/s), n_e : 有効間隙率, ρ_d : 乾燥密度 (kg/m^3)

両試料とも解析値と実験値は概ね一致していた。pHが上昇し始める時間は実験値の方が早く、解析値はpH 9~10未満でアルカリの吸着量を過剰に評価した。この原因は、液固比バッチ試験は振とう操作によりアルカリと土壌が十分に接触するが、カラム通水試験は水の流れが考慮されることから、アルカリと土壌の接触機会が比較的減減されるためであると考えられる。しかし、解析値は土壌による相違やカラムの物理パラメータを概ね反映できていることから、現場における改良土からのアルカリ溶出に対する地盤中の拡散移動に対しては傾向を十分評価でき、モニタリングを併用して管理することで精度の高いリスクマネジメントが可能であると考えられる。

表2 解析パラメータ

定数	鹿沼土	マサ土
通水 pH	11.7	12.0
初期 pH*	7.0	6.8
ダルシー流速 v' (m/s)	2.46E-06	2.59E-06
有効間隙率 n_e (%)	82	36
分散長 L (m)	0.01	0.01
拡散係数 D (m^2/s)	3.20E-08	7.39E-08
分配係数 K_d ($\text{m}^3/\text{kg}^\beta$)	0.0525	0.0021
定数 β	0.41	0.28

*初期 pH はカラム試験の初期値を採用した

4. 結論

- 1) アルカリの土壌による緩衝効果は液固比バッチ試験による吸着等温線で評価できた。
- 2) 液固比バッチ試験で得られた K_d と β を使用した解析でカラム試験の結果を概ね再現できた。
- 3) 本手法を使用して現場における地盤中のアルカリ拡散を予測することで、アルカリに起因する環境リスクを定量的に評価することができる。

参考文献

- 1) 諸富ら：石灰・セメント改良土のアルカリ拡散評価，大林組技術研究所報，No.84，2020。
- 2) 朝倉ら：土壌によるアルカリ性溶液中和に関する研究，衛生工学シンポジウム論文集，7，pp.70-75，1999。