

緩衝能を持つ関東ロームへの石灰溶液の浸透

Percolation of Lime Solution into Kanto-Loam Soil with Buffering Capacity

○陳 代文 藤木君佳 取出伸夫
Daiwen Chen Kimika Fujiki Nobuo Toride

1. はじめに 石灰系固化材により脱水処理した建設汚泥(処理土)は、埋設に再利用される。しかし処理土は強アルカリ性であるため、周辺地域へのアルカリ成分溶出を抑制する必要がある。そこで、埋設現場に分布し、緩衝能を持つ関東ロームを敷土にした埋設方法が提案されている。本研究では、関東ロームと石灰溶液の混合実験および土カラムへの飽和浸透実験を行い、 Ca^{2+} の移動過程に対して、 Ca^{2+} と H^+ の交換吸着とみなして移流分散式(CDE)を適用し、土中溶液のpH変化の予測を試みた。

2.1 混合実験 200 ml の石灰溶液(4.3 mmol/L, pH = 11.93)に対して関東ローム(乾土量 3,6,12,18,21g)を加えてよく混合し、上澄み液のpHの経時変化を測定した。

2.2 浸透実験 内径 4.5 cm, 長さ 20 cm のカラムに、2 mm 篩を通過した茨城県鹿島市の関東ロームを乾燥密度 $\rho_s = 0.53 \text{ g/cm}^3$ で充填した。試料を蒸留水で毛管飽和した後、石灰溶液をマリOTT管により50cmの水頭差を与えて浸透させた。そして、流出液量と流出液のpHとEC、カラム内のECと土中水圧力を連続測定した。

3. 結果と考察 Fig.1 は、混合実験の上澄み液のpH変化である。土の量が多いほどpHは低下し、平衡には50 h程度の時間を要する。このpHの低下が、pH依存荷電の H^+ と Ca^{2+} の交換吸着により生じたと仮定した。

$\text{Soil} \cdot 2\text{OH} + \text{Ca}^{2+} \rightleftharpoons \text{Soil} \cdot 2\text{O-Ca} + 2\text{H}^+$
このとき、 Ca^{2+} の吸着による H^+ の濃度変化 $\Delta[\text{H}^+]$ は、 Ca^{2+} 濃度の変化量に等しい。

$$\Delta[\text{H}^+] = 2\Delta C_{\text{Ca}} = 2(C_{\text{Ca},0} - C_{\text{Ca}}) \quad (1)$$

ここで、下添え字0は初期濃度を示す。初期溶液がpH=7のとき、土中溶液のpHは、(1)式に基づき次式で与えられる。

$$\text{pH} = -\log \left\{ \frac{10^{-14.0}}{2C_{\text{Ca}} + 10^{-7.0}} \right\} \quad (2)$$

Fig.2 は、(2)式よりpHから Ca^{2+} 濃度、また濃度変化から吸着量 Q_{Ca} 求めた Ca^{2+} 吸着線である。

Fig.3は、浸透実験の流出液のpH変化である。関東ロームの緩衝能は約40PV(ポアボリューム)の石灰溶液の浸透で急速に失われ、pHは急上昇した。Fig.4は、流出液の相対ECとpHの関係である。Fig.5は、土中溶液中の陽イオンが Ca^{2+} と H^+ のみであると仮定し、測定したEC値から推定したカラム内の Ca^{2+} 濃度分布の変化である。また、Fig.4のECとpHの関係が土中溶液にも適用できると仮定して推定したカラム内のpH分布の変化をFig.6に示す。石灰溶液の浸透に伴い Ca^{2+} が浸透前線で吸着し、pHの急勾配な前線が形成されることがわかる。

このような石灰溶液の浸透過程における Ca^{2+} の移動に対して、CDEを適用した。

$$\frac{\partial C_{\text{Ca}}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_{\text{Ca}}}{\partial z^2} - \frac{J_w}{\theta} \frac{\partial C_{\text{Ca}}}{\partial z} - \frac{\rho_s}{\theta} \frac{\partial Q_{\text{Ca}}}{\partial t} \quad (3)$$

ここで、水分フラックス J_w は実測値を与え、間隙流速を v として分散係数は $D=v$ で与えた(分散長 $\lambda = 1 \text{ cm}$)。 Ca^{2+} 吸着量 Q_{Ca} は、Fig.2の吸着線を考慮して、フロインドリッヒ式に基づく速度式で与えた。

$$\frac{\partial Q_{Ca}}{\partial t} = \alpha(K_d C_{Ca}^\beta - Q_{Ca}) \quad (4)$$

ここで、 K_d , β , α は定数であり、十分に時間が経過すると、 $Q_{Ca} = K_d C_{Ca}^\beta$ となる。

Fig.2 の実線に示す吸着線($K_d=1.87$, $\beta = 0.3$)と $\alpha = 0.18 \text{ h}^{-1}$ を用いたときのカラム内の Ca^{2+} 濃度分布の計算値を Fig.4 に実線で示す。計算値は実測値の前線位置をほぼ再現している。この Ca^{2+} 濃度の計算値から(2)式に基づき推定した流出液の pH を Fig.3, またカラム内の pH 分布を Fig.6 に実線で併記した。計算値は

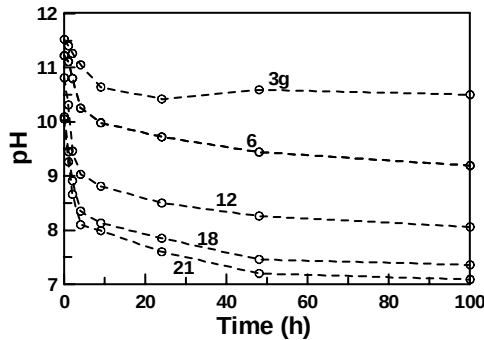


Fig.1 混合実験の上澄み液の pH の時間変化

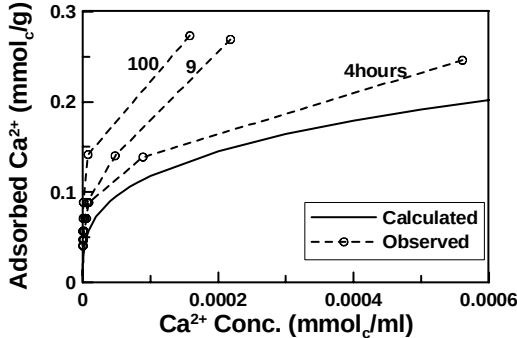


Fig.2 混合実験に基づく Ca^{2+} 吸着線

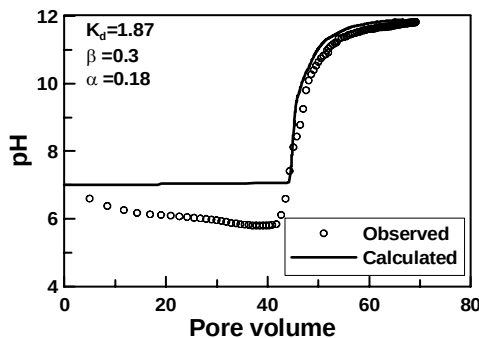


Fig.3 石灰溶液浸透による流出液の pH 変化

実測値の pH の変化をほぼ再現した。濃度変化を最も良く再現する吸着線が、Fig.2 の実測値より吸着量が小さい点は、 Ca^{2+} 濃度を実測することにより、再検討する予定である。

緩衝作用は、pH 依存荷電の pH 変化に伴う荷電量変化、またイオン交換などを考慮したモデルが必要であるが、本研究で用いた単純な Ca^{2+} と H^+ の交換吸着とみなすモデルは、処理土埋設における pH 予測には有用であると考え

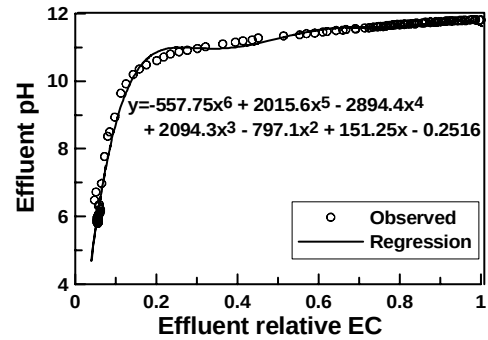


Fig.4 流出液の相対 EC 値と pH の関係

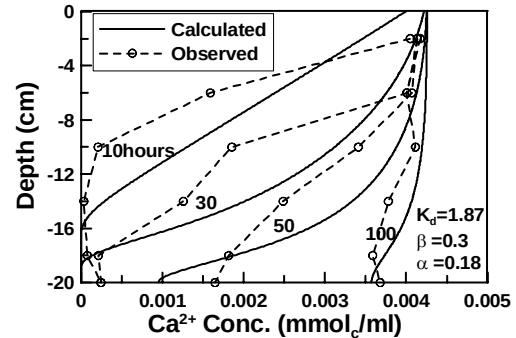


Fig.5 石灰溶液浸透中の Ca^{2+} 濃度分布

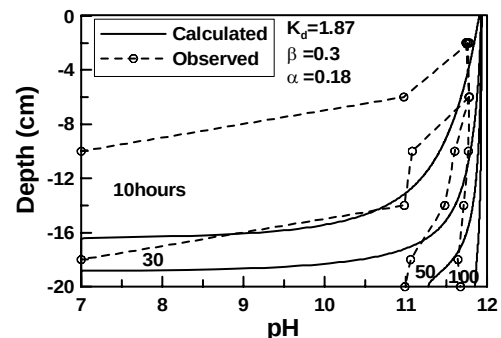


Fig.6 石灰溶液浸透中のカラム内の pH 変化