

NaCl 溶液の飽和浸透に伴うベントナイトの透水性変化

Response of saturated hydraulic conductivity of bentonite to NaCl solutions

高木恭平¹・田口明伸²・宮本英揮¹

¹佐賀大学農学部 ・ ²日化エンジニアリング株式会社

要旨

難透水性土壌の飽和透水係数(K_s)の測定法として、加圧型透水試験法を開発し、同法を用いたリーチング実験により、Na 飽和ベントナイト・砂混合土の飽和透水係数(K_s)と溶液濃度(C)との関係を調べた。加圧型試験器を適用し、 K_s の測定下限値を $10^{-4} \text{ cm d}^{-1}$ のオーダーまで測定した結果、広範な領域における K_s - C 関係と、動水勾配(i)によって生じ得る除塩効率の差異とを明らかにすることができた。

キーワード: 飽和透水係数, 溶液濃度, ベントナイト

Key words : Saturated hydraulic conductivity, Concentration, Bentonite

1. はじめに

東日本大震災の大津波によって、多量の海水が浸入した塩害農地の除塩が試みられているが、耕盤層以深の塩分濃度が低下しにくい事例が報告されている¹⁾。一般に、土壌の透水性は土の交換性 Na 率が高いほど、また土中溶液濃度(C)が低いほど低下する²⁾。濃度の低下に伴う透水性低下によって、塩分の輸送形態が一変する可能性があるため³⁾、土中の塩分動態を明らかにするためには、透水性と土中溶液濃度との関係を明らかにすることが必要である。しかし、Na 粘土のように難透水性を示す土壌については、伝統的な定水頭法³⁾を用いて透水性を測定することは困難である。本研究では、難透水性土壌の飽和透水係数(K_s)の測定法として加圧型透水試験法を開発し、高膨潤性のベントナイトを供試土として、同法を用いたリーチング実験を行うことにより、 K_s と C との関係を調べた。

2. 方法

ベントナイト(クニゲル V1)と豊浦標準砂とを重量比 20 : 80 で混合し、供試土とした。アクリル製円筒カラム(内径 4.56 cm)に高さ 3 cm の豊浦標準砂、2 cm の供試土、1 cm の豊浦標準砂の順に充填し、供試土層の中間高さに 4 極 EC センサーを設置した。マリョット管を用いて、カラム下端から 0.5 M の NaCl 溶液を毛管飽和させた。動水勾配(i)が 10 となるようにマリョット管の空気侵入口を加圧して 4 ポアボリューム(PV)の同一溶液をカラム上端から飽

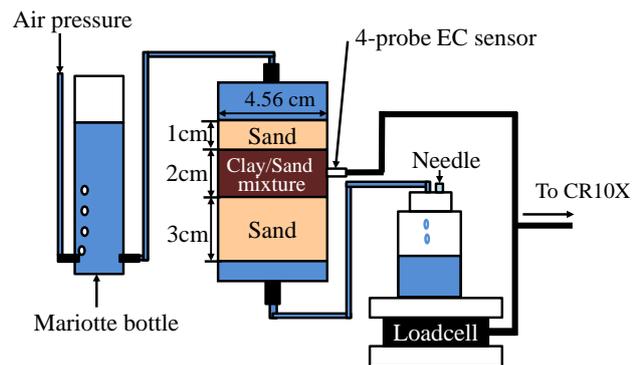


Fig.1 実験の概略図

和浸透させた後、マリョット管内の溶液を 0.05 M に交換し、カラム上端から同一動水勾配で浸透させた。CR10X データロガー(Campbell Scientific 社)に接続した 4 極 EC センサーを用いてバルク電気伝導度(σ_b)、また、ロードセルを用いてカラム下端からの積算排出水量をそれぞれ連続測定した。積算排出水量から水分フラックス(J_w)を求め、Darcy 則より、リーチング過程における飽和透水係数(K_s)の経時変化を算出した。また、0.05 M 溶液の浸透開始から 24 h 後に、 $i = 100$ または 400 となるようにマリョット管内を加圧した場合についても、同一浸透実験を反復した。

3. 結果と考察

0.05 M 溶液の浸透とともに、 J_w は 2 ~ 3 オーダー低下した(Fig.2)。24 h 後に $i = 100$ または 400 となるように加圧した場合は、 i の増加直後に J_w が一時的に増大したが(Fig.2)、それらを除けば、どの実験の J_w も、0.05 M 溶液を浸透させた直後に急減した後、溶液の浸透とともに $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ cm d}^{-1}$ のオーダーに漸減した(Fig.2)。 i が大きい条件ほど J_w は大きい値に収斂した。

i の大小によって、積算排出ポアボリュームに対する K_s の低下率に差異が認められた(Fig.3)。 J_w と同様に、 K_s も 0.05 M 溶液の浸透とともに $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ cm d}^{-1}$ のオーダーまで低下した(Fig.3)。ただし、 K_s 値は i が大きい条件ほど小さい。 σ_b の低下率にも i による差異が認められた(Fig.3)。 K_s と同様に σ_b も 0.05 M 溶液の浸透とともに大きく低下し、両者の連動性が確認された。これは、粘土の膨潤による透水性低下現象の典型例である²⁾。4PV 以内に σ_b は収斂しなかったが、同一ポアボリュームで σ_b 値を比較すると、 i が大きい条件ほど小さい。 σ_b は C の関数である。そのため、 i が大きい、すなわち J_w が大きい条件ほど除塩効率が高いと考えられる。

3 ~ 4PV 後に σ_b が一定になったと仮定し、 σ_b からカラム内部の C を推定し、それらを K_s と関連付けた(Fig.4)。除塩効率が低く、十分に C が低下しなかった低 i 条件では、 C を過小評価したと考えられるものの、 K_s は C の低下とともに低下する傾向が認められた。定水頭法により、同一試料による透水実験を行った宮本・取出(2000)²⁾は、 $10^{-2} \text{ cm d}^{-1}$ 以下のオーダーの K_s を測定できなかったが、本研究では、それより 2 オーダー低い領域まで測定できた。 C の推定法については検討の余地が残るものの、広範な領域における K_s - C 関係を測定できた意義は大きいと考える。

4. おわりに

本研究により、 K_s が $10^{-4} \text{ cm d}^{-1}$ のオーダーの難透水性土壌の K_s 測定法としての加圧型透水試験器の有効性と、それに基づく K_s - C 関係を明らかにすることができた。実験条件は少ないものの、 i によって除塩効率に差異が生じ得ることが示されたことは、耕盤層以深の除塩が進まない問題¹⁾との関連性を示唆するものであろう。今後は、宮城県東松島市大曲地区の津波被災農地土壌を供試材料として同一実験を行ない、 K_s - C 関係を詳しく調べる予定である。

引用文献: 1)鈴木(2013): 農業農村工学会 土壌物理研究部会研究集会要旨集, 18 - 19.,

2)宮本・取出(2000): 佐賀大学農学部彙報, 85, 63 - 79., 3)宮本・取出(2004): 農業土木学会論文集, 230: 37 - 45.

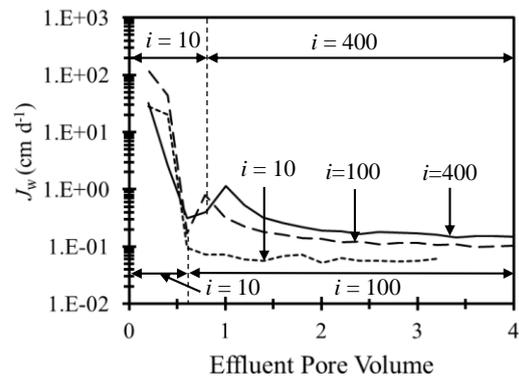


Fig.2 0.05 M 溶液浸透時の積算排出ポアボリュームに対する水分フラックス(J_w)の変化

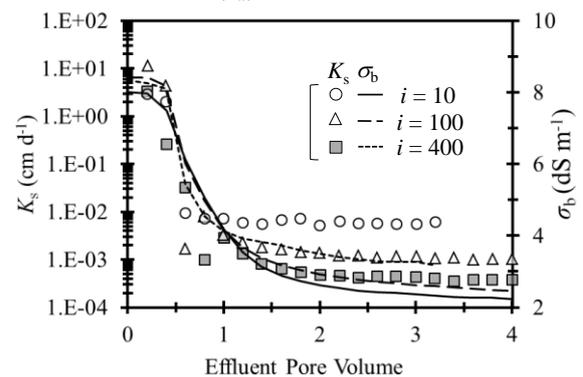


Fig.3 0.05 M 溶液浸透時の積算排出ポアボリュームに対する飽和透水係数(K_s)およびバルク電気伝導度(σ_b)の変化

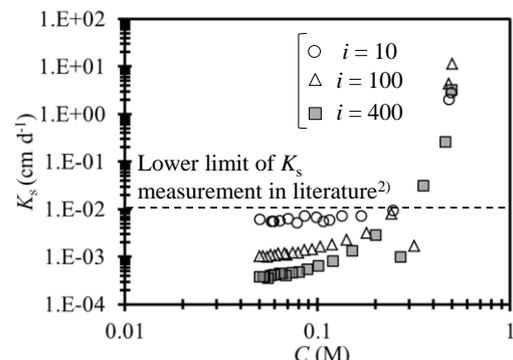


Fig.4 土中溶液濃度(C)と飽和透水係数(K_s)との関係