

気相の封入過程の違いが準飽和透水係数に与える影響

Influence of Different Process of Air Entrapment on Quasi-Saturated Hydraulic Conductivity

○福間大起・中村公人・濱 武英

FUKUMA Hiroki, NAKAMURA Kimihito, HAMA Takehide

1.はじめに 実験室における多孔質体の透水試験は、一般的に水浸減圧による飽和状態で行われるが、見かけの飽和状態にある土壤は多くの場合封入空気を含む(準飽和状態)。空気が封入する過程はしばしば浸潤のような非平衡過程を経て、排水・吸水主曲線の外側の水分状態になる(Fig. 1)。このときの透水係数は、圧力水頭の関数として表現できず、気相率の関数として表現することになる。これまでにいくつかの経験式が提案されてきたが(例えば, Faybishenko, 1995), これらの式では透水係数と気相率の関係は一本の曲線で与えられる。一方, 砂質土において一本の曲線に乗らない例も報告されている(Marias, 2013)。この原因としては気相が占める間隙の大きさや位置が異なることが影響していると考えられるもの

の、その違いが透水係数に与える影響についての研究はほとんど行われていない。そこで本報告では、気相が占める間隙の大きさや位置が異なると考えられる準飽和状態における透水係数と気相率の関係を比較し、その違いについて考察した。

2.材料と方法 多孔質体試料を3つ作成した。多孔質体として、8号ケイ砂の75 μm 残留分を使用した。土粒子径は最大で425 μm 以下であった。これを直径48mm, 高さ88mmのアクリル円筒に水締めで充填した。試料上下のフィルターには、穴あき真鍮板に72 μm のナイロンメッシュを貼り付けたものを使用した。二酸化炭素を十分通気してから毛管飽和させ、脱気水を一晚通水することでほぼ完全な飽和状態を得た。その後、砂柱法で試料下端に圧力水頭 $h = -10\text{ cm}$ を与え、24時間以上静置した。続いて、試料下方を大気に開放し、試料上端の水深を2cmに保ちながら浸潤を行い、10分通水した後の透水係数を定水位法で測定した(砂柱法による制御群)。その後、圧力水頭 $h = -20, -30, -40, -50, -60, -70, -90\text{ cm}$ についても同様の透水試験を行った。この制御群は浸潤を行う時点で圧力水頭に応じた間隙がすでに飽和状態であるため、浸潤により空気が封入される間隙は制限されると考えられる。次に、同じ試料を60 $^{\circ}\text{C}$ で48時間以上通気して乾燥させた後に、同様の方法で浸潤を行い、脱気水を通過させながら飽和状態に達するまで透水試験を繰り返し行った(脱気水による制御群)。この制御群は浸潤を行う

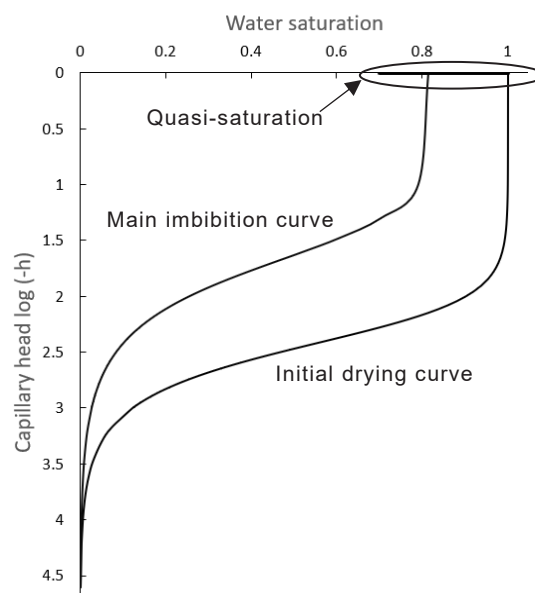


Fig. 1 初期乾燥曲線, 主吸水曲線と準飽和状態(楕円部分) Initial drying curve, main imbibition curve, and range of quasi-saturation (ellipse)

*京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

キーワード: 封入空気, 透水係数, 間隙構造

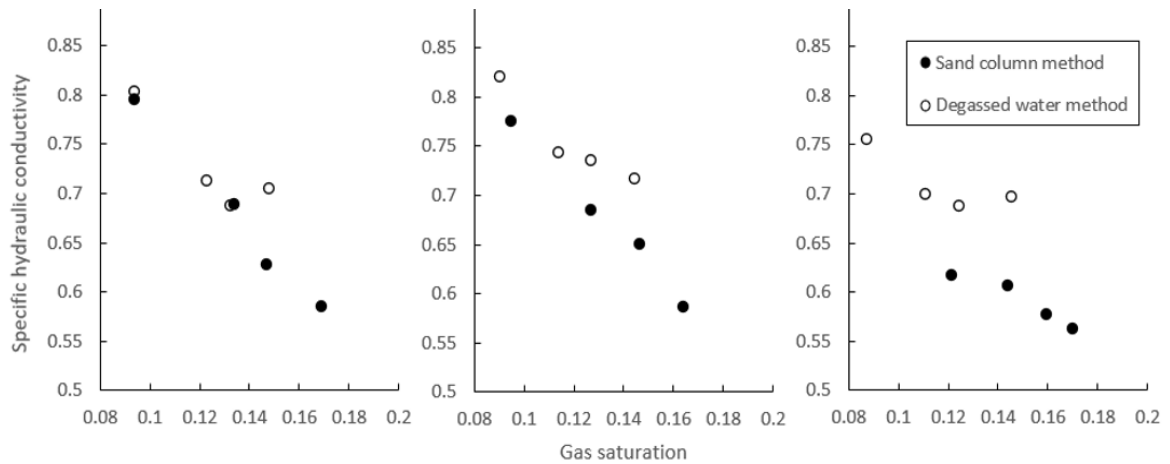


Fig. 2 各試料の比透水係数と気相飽和度の関係（黒点：砂柱法による制御群，白点：脱気水による制御群） Relationship between gas saturation and specific hydraulic conductivity (black: sand column method, white: degassed water)

時点ではほぼすべての間隙が不飽和状態であるため，空気はほぼすべての間隙で封入される可能性があると考えられる。

3.結果 各試料における実験結果を **Fig. 2** に示す．縦軸の比透水係数は完全飽和状態の透水係数に対する比の値である．脱気水による気相率制御群と砂柱法による気相率制御群における比透水係数と気相飽和度の関係は，気相飽和度が 0.1 を下回るとほとんど同じであるが (**Fig. 2** では省略している)，0.1 以上では，脱気水で気相飽和度の制御を行ったときの透水係数が大きくなる傾向が見られる．この関係の再現性を確かめるために，同じ試料で制御の順序のみを入れ変えて，気相飽和度が 0.1 以上の領域において再実験を行ったが，このときも同様の傾向を示した．また，すべての試料において，砂柱法による制御群で $h = -90$ cm としたときに最も多くの空気が封入され，その時の飽和度は 0.16~0.18 となった．

4.考察 脱気水による制御群は，浸潤前は乾燥状態であり，ほとんどすべての間隙で封入空気が発生しうる．一方で，砂柱法による制御群では，気相となる部分は，与えられた圧力水頭に対応する間隙半径よりも大きな間隙が大部分であると考えられる．さらに，浸潤前に水で満たされた間隙が浸潤時の空気の移動を妨げ，それにより封入空気が発生しやすくなる．よって，気相率が同じであるならば，脱気水による制御群と比較して砂柱法による制御群では大きな間隙を占める封入空気の割合が多く，その結果，透水係数が小さくなったと考えられる．両者の透水係数は気相飽和度が小さくなるにつれ一致する傾向が見られる．脱気水で気相を溶解させた場合，間隙径に空間的相関がないとすると，気相が溶解する速度は概ね気相の表面積に比例すると予想されるため，溶解が進むと，封入空気は大きな間隙のみに存在することになる．よって，脱気水による制御を行った場合でも，溶解が進むと砂柱法による制御群と同様の値になったと考えられる．

参考文献

Faybishenko(1995) Hydraulic Behavior of Quasi-Saturated Soils in the Presence of Entrapped Air: Laboratory Experiments *Water Resources Research* 31(10): 2421-35

Marinas et al.(2013) Changes in Entrapped Gas Content and Hydraulic Conductivity with Pressure *Ground Water* 51(1): 41-50