

粗粒間隙系の低水分領域における液状水の圧力伝達について Pressure transmission of liquid water in film stage in coarse porous media

○青木信也*, 粟生田忠雄**
AOKI Shinya, AODA Tadao

1. 研究目的

不飽和浸透流の支配方程式は、拡張 Darcy 則である。拡張 Darcy 則では、同じ不飽和領域においても高水分領域（毛管領域）と低水分領域（リング水・吸着水のみ）の区別無く、水の相に注意が向いていないため、溶質移動の可能な圧力範囲の解明等の課題が残されている。

そこで本研究では、低水分領域における液状水の移動と圧力伝達を温度・湿度・濃度を制御した条件下で測定した。同時に、低水分領域での拡張 Darcy 式(1)を

$$q = -ki \quad \dots(1)$$

とする。ここに、 q :フラックス、 k :液相水の不飽和透水係数、 i :動水勾配(全水頭勾配)である。

2. 実験方法

実験装置の材料と概略図を図 1 に示す。

供試材料：平均 1.0mm 径のガラスビーズで、乾燥密度は 1.488g/cm³、これを内径 50mm 高さ 50mm のカラムに充填して 60.5cm 積み上げて供試土柱とした。この供試土柱を温度調節可能なインキュベータ内に設置した。上部境界条件は大気圧で、下部境界条件は自由水面の上下で供試土柱の圧力を制御した。

実験方法は以下の三段階である。

実験①：排水・吸水過程の圧力水頭・水分の連続測定

実験②：温度が変化する過程で圧力水頭・水分の連続測定

実験③：食塩水吸水過程の EC 測定

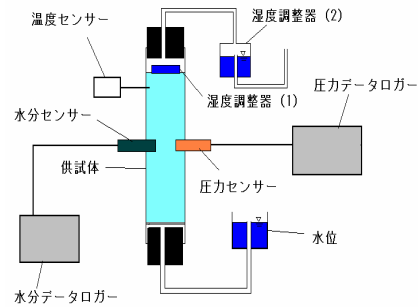


図 1 水分・負圧同時測定システムの概念図

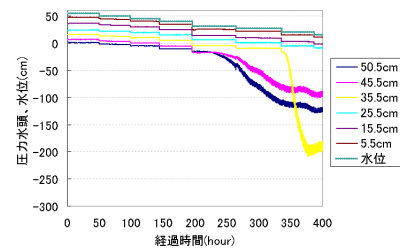


図 2 排水過程の圧力水頭変動(0-400 時間)

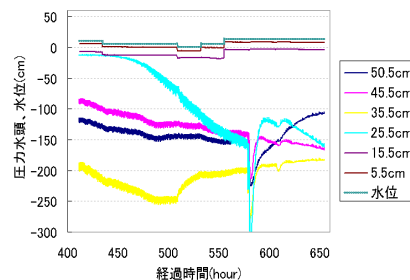


図 3 排水・吸水・温度変化過程の圧力水頭変動(400-660 時間)

3. 結果と考察

① 排水・吸水過程の負圧及び水分測定

試料下端を 0cm（基準高さ）とし、それより上を正とする。自由水面の位置と圧力水頭の経時変化を図 2、図 3 に示す。

各測点で飽和から約-12cm まで自由水面の変化に追従し静水圧分布を示すが、更に水位を

下げると高い位置の測点から水位の変化を捉えずに圧力水頭が減少した。

② 温度を変えた負圧測定

実験開始から 580 時間にインキュベータ内温度を 4℃から 15℃に上げると、負圧が急激に増大し、その後もとに戻った。606.75 時間に 15℃から 20℃に上げると、若干の負圧変化が見られたが、変動の傾向は変わらなかった。

全測点の自由水面からの高さや圧力水頭との関係を図 4 に示す。自由水面からの高さが約 12cm 以上の領域では、静水圧分布を示さなかった。

水分量の変化を図 5 に示す。水分量は、低水分領域ではほぼ一定となったが、微小な増減が見られた。供試土柱 45.5cm 高さの測点では 195 時間、35.5cm の測点は 335.5 時間、25.5cm の測点は 411 時間、15.5cm の測点は 508.5 時間でそれぞれ急激に水分が減少した。水位を再び上げると、555 時間で 15.5cm の位置で水分が上昇した。一方、各測点の水分は温度変化の影響をほとんど受けなかった。

③ EC 測定の結果

脱塩水をすべて排水した状態で、濃度 23% の食塩水を供試土柱下端より吸水させた。電圧の経時変化を図 6 に示す。自由水面を 2.5cm にすると下端から 5.5cm の測点で急激に電圧が上昇した。実験開始から 723 時間に水位を 10.5cm にすると、下端から 15.5cm 高さの測点で毛管上昇による食塩水の移動で電圧がゆっくり上昇した。下端からの高さが 25.5cm、35.5cm、45.5cm の測点では食塩水の上方移動の影響を受けず電圧の変化はなかった。

4. まとめ

①・②の実験より、試料の毛管上昇限界より上部の低水分領域においては、圧力水頭の変化は静水圧分布を示さないこと、③の実験より、リング水・吸着水を介した液状水の相互移動が

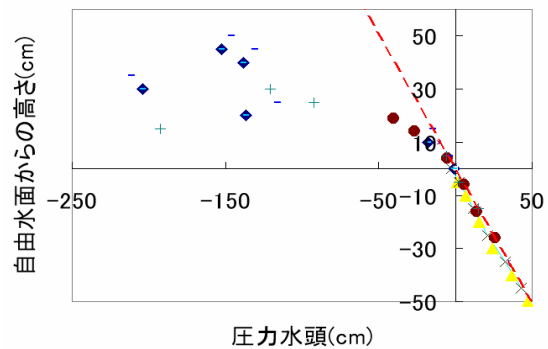


図 4 自由水面からの高さや圧力水頭

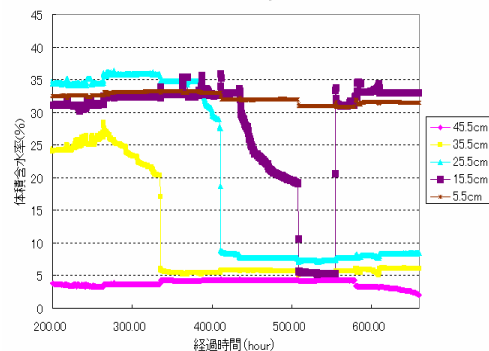


図 5 水分量測定結果

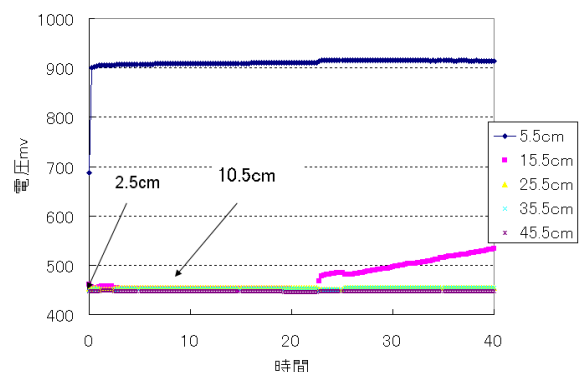


図 6 EC 測定結果

起きないことが確認された。つまり、毛管上昇高さ以上の低水分領域では水理学的な連続性が無いことが判断できた。

土壌の塩類化など溶質移動の研究で、拡張 Darcy 則を用いる際、粗粒間隙系の不飽和の低水分領域における液相水は相互に水圧を伝達しないことに留意すべきであると考えられる。