

不飽和浸透流について(1)

広島大学工学部 正 員 三島 隆明
 広島大学工学部 正 員 金丸 昭治
 広島市 正 員 谷本 武士

1、まえがき 雨水の流出機構を解明していくうえで、その浸透機構を正確に把握することは研究の重要な課題である。実際の雨水流出現象においては、比較的流動層が薄い場合のように、土中の空気圧の変動を無視できる場合も少なくないと考えられる。そこで、本研究ではこのように土中の空気圧の変動が無視できる場合の雨水の不飽和浸透機構について、理論的、実験的に究明したのでその結果を述べる。

2、基礎方程式 流動層および水あるいは空気の流動は以下の仮定に従うものとする。①流動層は均一である。②土中の水および空気はそれぞれ連続体を形成して接しており、Darcy則に従って流動する。③雨水浸透中の土中空気圧はほぼ一定値になる。④毛管圧は飽和度の一次関数で表される。このような仮定のもとで、層厚および土の透水係数を用いて無次元化した基礎方程式は、(1)式のように表される。ここで T は時間、 Z は上向に取った距離、 S_w は飽和度、 A は毛管高の無次元量を表す。

$$A \frac{\partial S_w}{\partial T} - A \frac{\partial S_w}{\partial Z} - \left(\frac{\partial S_w}{\partial Z} \right)^2 - S_w \frac{\partial^2 S_w}{\partial Z^2} = 0 \quad \dots (1) \quad S_w = \frac{C_2}{(T+C_1)^{1/3}} - \frac{\{\sqrt{A}(Z+T)+C_3\}^2}{6(T+C_1)} \quad \dots (2)$$

$$I = -Q = (S_{wu} - S_{wl}) \left[1 + \sqrt{\frac{2}{3A} \left\{ \frac{C_2}{(T+C_1)^{1/3}} - \frac{S_{wu}}{T+C_1} \right\}} \right] \quad \dots (3)$$

非線形方程式である(1)式の解の一つとして、(2)式のような解式求められる。ここで、 C_1 、 C_2 、 C_3 は未知数であり、初期条件および境界条件で決まる係数であり、このようにした時の浸透能 I (Z 方向の流量 Q)は(3)式のようにになる。実際に、係数 C_1 、 C_2 、 C_3 を決定する条件としては様々な条件の与え方があるが、飽和度の上限を S_{wu} 、下限を S_{wl} として、 $T=0$ 、 $Z=0$ の時 $S_w=S_{wu}$ 、 $T=0$ の時 $I=I_0$ 、 $T=Te$ の時 $I=S_{wu}-S_{wl}$ と取るのが良いようである。

3、実験装置および実験方法 実験装置は図1に示すように、下端に砂止網を取り付けて下端を大気に開放した塩化ビニルパイプ(内径10cm、高さ215cm)に厚さ200cmまで、マサ土を間隙率が約36.3%になるように一様に詰めただけである。また、このパイプには 飽和度測定用のステンレスボルトが5cm間隔に39組取り付けられている。なお、使用したマサ土の透水係数は $1.23 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 、比重は2.59、有効径は $1.56 \times 10^{-4} \text{mm}$ 、均等係数は1.3であった。

各実験は、まず、所定の飽和度に調整したマサ土をパイプ内にセットし、砂層表面の湛水深を調節(湛水深=1cm)した本体に、定常化させた流量を給水装置から給水し、浸透量の変化を1分間隔で計測すると同時に、ステンレスボルト間の交流電圧の変化を10分間隔で計測して飽和度の変化を求めた。なお、飽和度は、各時刻の貯留量を用いて修正した。

4、結果および考察 砂層の初期状態としては、様々の状態が考えられるが、この実験においては、比較的湿潤な状態(初期飽和度 $S_{w0}=35\%$)に調整した試料と、風乾状態(初期飽和度 $S_{w0}=5\%$)にした試料を用いて実験を行った。各実験の飽和度の時間的変化を

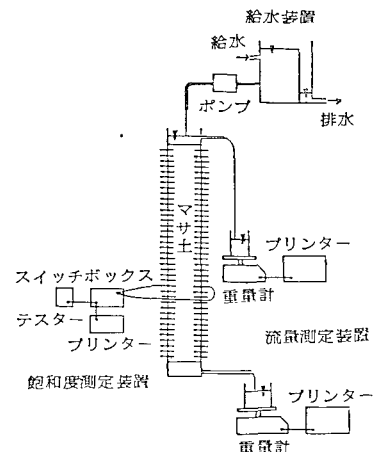


図1 実験装置

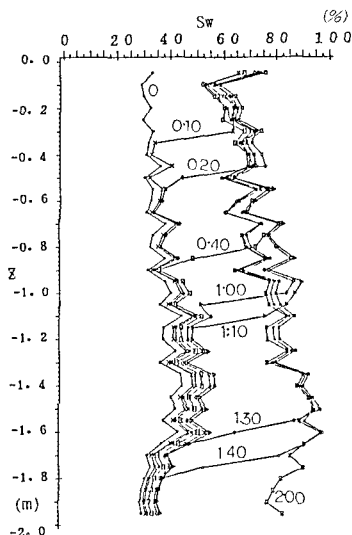
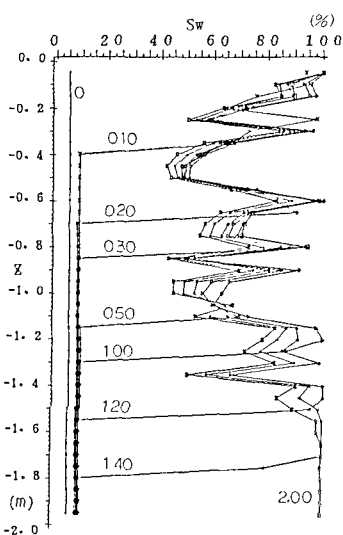
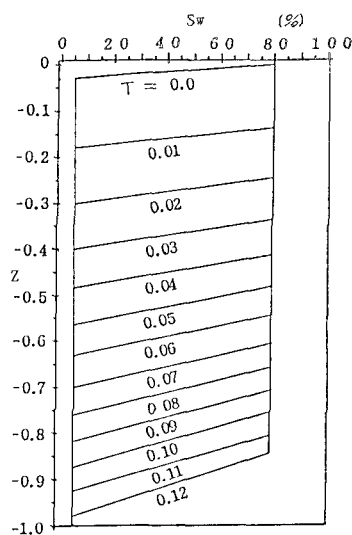
図2 飽和度の時間的変化($S_{w0} = 3.5\%$)図3 飽和度の時間的変化($S_{w0} = 5\%$)

図4 試算による飽和度の時間的変化

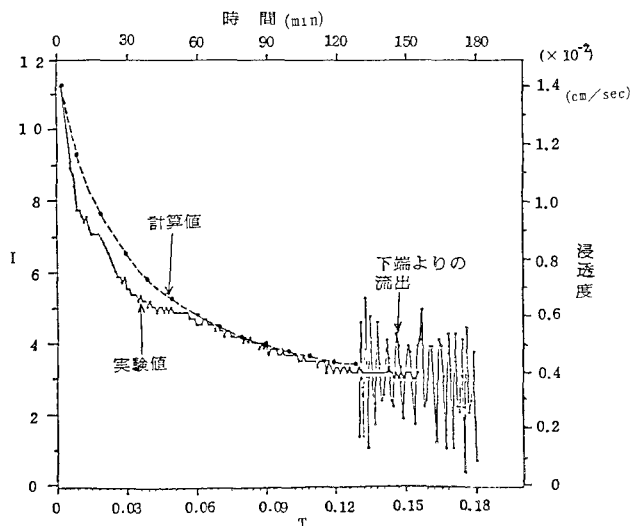
示したものが図2および図3である。図からわかるように、浸透初期における飽和度分布に多少のちがいは見られるが、浸潤の様相に関しては初期の飽和度分布に関係なく、同様な変化をしており、浸潤速度もほぼ同じ程度の値になっている。

図4は $S_{w0} = 5\%$ に対応した試算値として、前述のパラメータ値をえれぞれ、 $S_{wL} = 0.05$ 、 $S_{wU} = 0.8$ 、 $T_e = 30$ 、 $I_s = 13$ 、 $A = 1.5$ を採用して計算した結果である。図2あるいは図3と図4を比較してわかるように、 $t = 10 \text{ min}$ 或 $T = 0.01$ 、 $t = 1 \text{ h } 40 \text{ min}$ 或 $T = 0.10$ に対応しており、両者の変化傾向はほぼ同じであるが、浸透が底面に近づくにつれて、分布の傾向に差が出てくる。この原因は、特に、

浸潤面が下端に近づいた状態では解析仮定③からはずれた状態、すなわち空気圧が変動するためと考えられる。

図5は図4に飽和度分布を示した実験の浸透度と、試算による浸透度を比較した図である。これより、全般的な変化傾向は、ほぼ一致していると見てよい。特に透水係数の実測の正確値が求めにくいことと、試料の均一なセットが完全には出来にくいということを考慮すると、この程度の差はやむを得ないと思われる。なお、実測値については、 $t = 130 \text{ 分}$ で、下流端からの流出が、始まっているが、このように振動しているのは、下流端水面の表面張力の影響である。

5. あとがき 本研究で、土中空氣の圧縮性を無視できる状態における不飽和浸透機構についての基本的な把握ができたので、今後、より現実に近い状態での不飽和浸透現象について検討していく予定である。

図5 実験($S_{w0} = 5\%$)と試算の浸透度の時間的変化の比較