

神戸大学工学部 正員 田中 茂

全上 学生員 ○八束 正司夫

神戸工業高校 正員 楠 弘毅

1 緒言

透水係数を異にする二層をとり、透水係数の大きい土層がその小さい土層の上にのっている場合とその逆の場合とをとり扱った。このような土層に降雨が浸透する問題をとりあげて論ずる。上のような土層に強雨や弱雨が浸透する問題を以前に田中が土粒子間隙空気が圧縮せられるこことを考慮に入れて理論的にとり扱つたが未発表であるのでこの機会に論じ、しかも後に、(1) (2) (3) な三種類の土について浸透の実験を行い、間隙空気が圧縮される状態、浸透水の貯留が行われる状態などを明らかにしたことなどを述べる。次に理論と実験との適合性を検討した。また、不飽和浸透の様相を明らかにし、どの時の Soil suction と空気の圧縮の実状を求めた。

2 理論的考察

A 上層粗粒土、下層細粒土の場合に強雨の降り時の浸透 (上層厚さ L_1 、下層厚さ $L - L_1$ の場合)

地表面に一定水深 h_{ap} があり、
粒子間隙にあつた空気が極めて
容易に逃げず、Wetting front の下部
の空気が圧縮されると考えよ。

Wetting front が上層土内にある
時は (図-1 を参照)

$0 \leq z \leq L_1$ の範囲で、 $d\phi/dz$
を流れのポテンシャル勾配とする
と、 $\frac{d\phi}{dz} = 1 + \frac{h_e}{z}$ (1)

ここで

$$h_e = h_o + h_{ai} - h_m - h_w \quad (2)$$

ただし

h_{ai} : 上層内における Wetting front の前線で含水率の異なることにより生ずる吸引力を水頭で表わしたもの。

h_w : 間隙空気圧を水頭で表わしたもの。

h_m : 浸潤領域における浸潤にともづく圧力ポテンシャルの損失を水頭で表わしたもの。

h_o : 地表面上の湛水深。

Darcy の法則より $(\frac{dQ}{dt})$ を単位面積当たりの流量即ち平均流速とすると、

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right) = k_e \frac{d\phi}{dz} \quad (3)$$

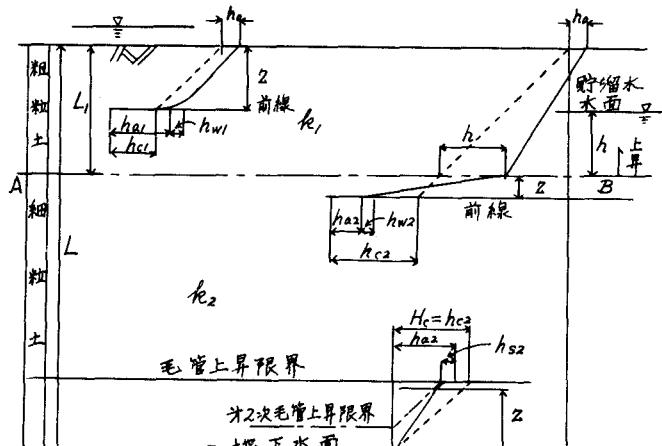


図-1

いま、 n_1 : 上層土の間隙率

S : 浸潤後の飽和度 S_2 から浸潤直前のそれ S_1 を引いた値とする。

$$\frac{dz}{dt} = k_1 \left(1 + \frac{h_t}{z} \right) \frac{1}{n_1 S} \quad (4)$$

これより

$$t = \frac{h_t S}{k_1} \left(-h_t \log \frac{z+h_t}{h_t} + z \right) \quad (5)$$

次に *wetting front* が上下両層の境界面 A B を通つて下層に進んだ時は、新らしく面 A B から鉛直下向きに Z 軸をとり、front の面に到達した瞬間から時間 t を測るものとすると、

$$t = 0 :$$

断面 A B の単位面積当たりこれに流入する流量は、

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_1 = k_1 \left(1 + \frac{h_0}{L_1} \right) \quad (6)$$

一方、同じ面から第2層へ流出する単位面積当たりの流量は、

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_2 = \infty \quad (7)$$

次に $t = t$:

この時は、

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_1 = k_1 \frac{h_0 + L_1 - h}{L_1} = k_1 \left(1 - \frac{h-h_0}{L_1} \right) \quad (8)$$

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_2 = k_1 \left(1 + \frac{h + h_{c2} - h_{a2} - h_{w2}}{z} \right) \quad (9)$$

ここに

h : 境界面上に貯留された水深

h_{c2}, h_{a2}, h_{w2} : それぞれ h_{c1}, h_{a1}, h_{w1} に対応する下層の値。

左は右に比して小さい。(8)式の値が(9)式のそれよりは大きいのが普通であるから h は次第に大きくなり、両者の値が一致するまで増加して、ついに h の値にならざるなりにつれて(9)式の値が減少するが故に、(9)式の値はこの値に追従して少しづつ小さくなるために、左の値を少しづつ時間とともに増加することになる。*wetting front* が下方の毛管水帯に追いつき第2層の土の飽和度がほぼ均一になり、 $\left(\frac{dQ}{dt} \right)_1$ の値が一定となると、 $\left(\frac{dQ}{dt} \right)_2$ の値もこれと等しい値で一定となり、これは一定となり貯留水面は一定の高さを保つ。

第2層土内での t と z との関係は前と同様にして、

$$t = \frac{n_2 S}{k_2} \left(-h_t \log \frac{z+h_t}{h_t} + z \right) \quad (10)$$

ただし、

$$h_t = h + h_{c2} - h_{a2} - h_{w2} \quad (11)$$

下層の下部の毛管水帯の下方への運動については次のようである。

図-1 のように $t = t$ のときの *air front* の位置を自由水面から高さ z とすれば、

$$\frac{dZ}{dt} = -k_2 \frac{Z - (H_c - h_{a2} + h_{s2})}{Z} \frac{1}{\pi_2 S} \quad (12)$$

（A. より）

$$t = \frac{\pi_2 S}{k_2} \left[H_c - Z - (H_c - h_{a2} + h_{s2}) \log \frac{h_{a2} - h_{s2}}{Z - (H_c - h_{a2} + h_{s2})} \right] \quad (13)$$

また

$$\frac{dQ}{dt} = k_2 \left(1 - \frac{H_c - h_{a2} + h_{s2}}{Z} \right) \quad (14)$$

B. 上層細粒土、下層粗粒土の場合に強雨の降る時の浸透（上層厚さ L_1 、下層厚さ $L_2 - L_1$ の場合）

Wetting front が第一層中を降

下して図-2 時は（図-2 を参照）。

$0 < z \leq L_1$ の範囲で、 $\frac{dh}{dz}$ を流れのポテンシャル勾配とすると、(1), (2), (3), (4), (5). の諸式がそのままあてはまる。

次に、Wetting front が上下両層の境界面 A-B に達した瞬間の以後は上層中における front が消失してそれは下層中に移る。

そこで、図-1 に示すように、front

が面 A-B に到達した瞬間に、上層中の流れのポテンシャル勾配は図

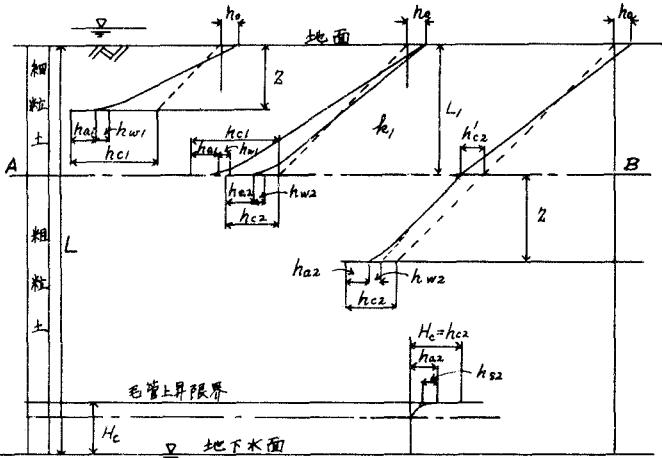


図-2

中の I から II へと移行する。front が下層中に入るとその時の浸透は A-B 面へ上から流入する流量よりも A-B 面の下の土の浸透能が大であるから、この層中では不飽和の浸透となる。A-B 面を境としてその上は飽和、その下は不飽和の浸透であるから、その境界面上の水はその境界面の下の土から h_{c2} (境界面の上下の含水量の差に起因する下層土の Soil suction pressure を水頭で表したもの) に相当する Soil suction をうける。従って、下層土中のある位置 Z (A-B 面より鉛直下方にはかる) に front がある時の関係は、

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_1 = k_1 \frac{h_0 + L_1 + h_{c2}'}{L_1} = k_1 \left(1 + \frac{h_0 + h_{c2}'}{L_1} \right) \quad (15)$$

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_2 = k_2 \text{unsat} \left(1 + \frac{h_{c2} - h_{a2} - h_{w2} - h_{c2}'}{Z} \right) \quad (16)$$

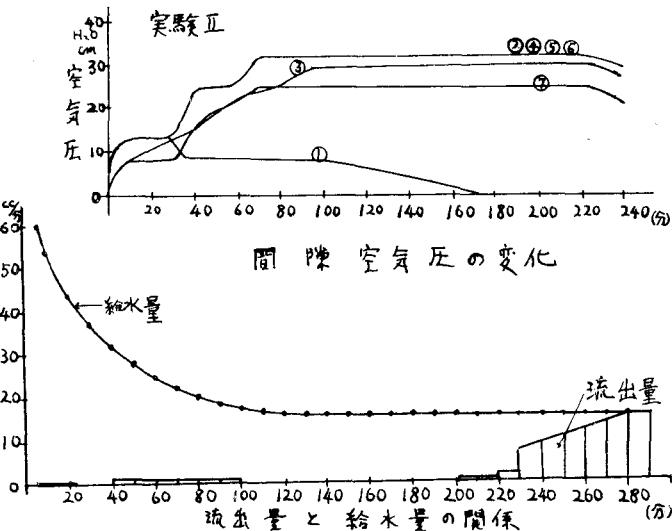
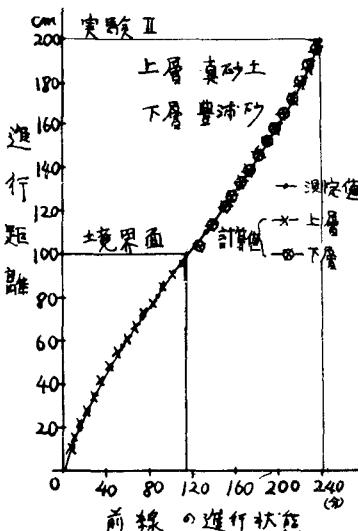
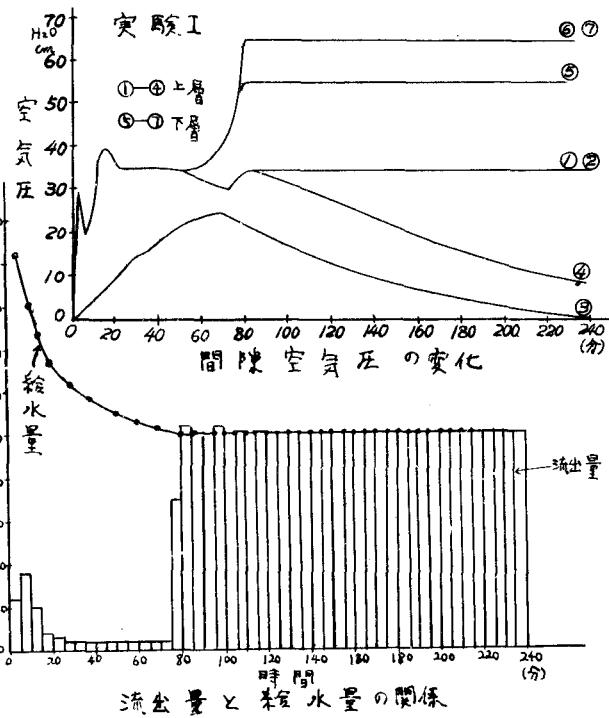
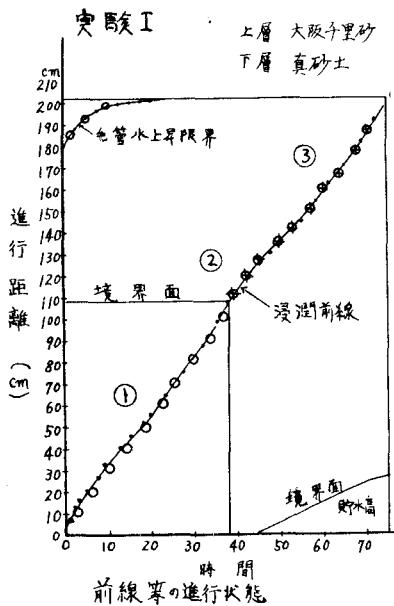
ここで

h_{c2}' は front に作用する下層土の Soil suction を水頭で表したもの。

$k_2 \text{unsat}$ はこの時の不飽和度に対応する下層の透水係数である。

下層土下部の毛管水帯の運動に関しては A の場合と同様な関係が成立する。また、下層土中の Wetting front が毛管水帯に追いつく時の有様は A の場合と様相を異にする。

3 実験とその結果



前報(田中・飯田: 空気の圧縮を考慮した地中への浸透速度に関する研究, 第10回水理講演会講演集)に用いた実験装置を用いて実験を行った。二層土を対象として、長さ 220 cm の 1/2 のところを境界として上層土と下層土とに分け実験を行った。実験に使用した材料は第1回の実験として上層は砂(大阪千里砂), 下層は真砂土を行ひ, 第2回の実験としては上層-真砂土, 下層-豊浦砂で行った。各々の実験との他行なつた実験について詳組は講演時のべる。