

不飽和浸透流について(2)

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
 (株)間 組 山 本 森一郎

1. はじめに 雨水の浸透現象は一般に不飽和浸透流になり、浸透現象の進行に伴って土中の空気圧が時間的に上昇する場合と空気圧の変動が無視出来る場合とがある。後者の場合には、浸潤面の飽和度分布とその流動の連続性に着目して解析することが出来る現象もある。¹⁾ また、前者については数値解析法により解析することもできるが、計算上の安定性の問題等があり、²⁾ 十分な結果は得られていない。

そこで、本研究では、雨水の鉛直不飽和浸透現象の解析が容易である平均的な取扱いによって検討した結果について述べる。

2. 基礎的考察 地中への雨水の浸透現象のスケールを拡大し、現象場および流動を以下のような一次元の鉛直浸透現象として巨視的にモデル化すると、初期の飽和度分布が単純で、しかも十分な給水状態下における現象を比較的容易に解析することが出来る。

① 浸透層は均一である。 ② 層内の浸透水および空気は連続状態を保って流動する。 ③ 浸透流は、Darcy則に従う鉛直一次元流である。

浸潤面上端より上部の飽和度 S は上限値 S_u で、また、透水係数も k_{wu} で一定状態になる。 ⑤ 層内の空気圧 h_A (水頭表示)と水圧 h_w および毛管圧 h_c は、常に釣り合い状態を保っている。

このようにモデル化した場合の鉛直一次元浸透流は飽和浸透流的な流動になると考えられるが、このような流動に関する連続方程式、運動方程式および状態方程式を、透水係数 k_{wu} および層厚 d で無次元化して整理した無次元流動式は以下のようになる。

(I) 空気圧 H_A が一定の場合

$$T = C_1 \times \{ (1-Z) - C_2 \times \log \{ 1 + (1-Z) \div C_2 \} \} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$I = 1 + C_2 \div (1-Z) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$C_1 = S_u - S_o, \quad C_2 = H_s + H_{cu} - H_{Ao} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $T = k_{wu}t/nd$, $Z = z/d$, $H = h/d$, $I = i/k_{wu}$, t は時間、 z は距離(上方向为正)、 n は空隙率、

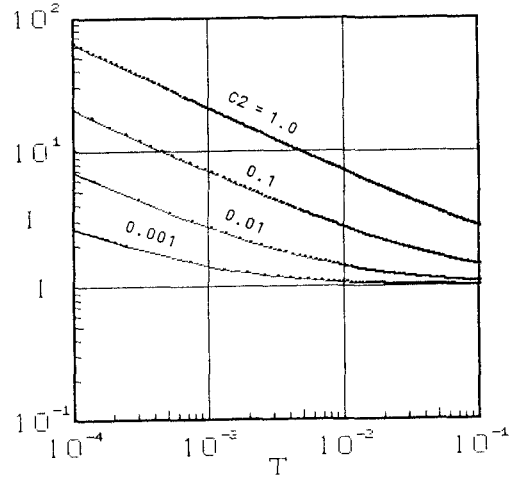


図1 (a) 空気圧が一定の場合 ($C_1 = 0.8$)

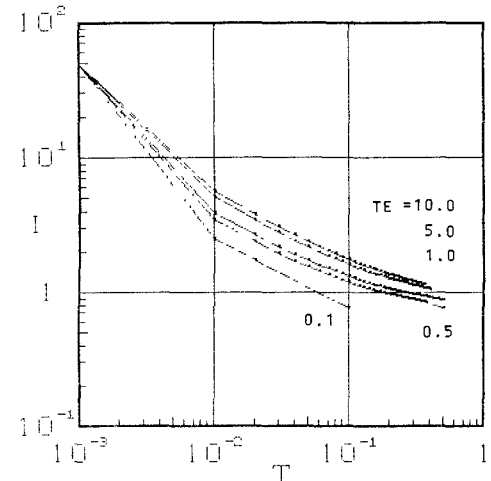


図1 (b) 空気圧が一定の場合 ($C_1 = 0.8$, $I_o = 50$, $A' = 10$)

i は浸透速度、 $\log$ は自然対数、添字のuは上限値、
oは初期状態、sは層上端における量を表す。

(II) 空気圧 H_A が変化する場合

空気圧の時間的変化を双曲線関数で近似すること
すると、

$$Z = 1 - \left[2 \div C_1 \times \left\{ (C'_2 - A) \times T \right. \right. \\ \left. \left. + A \cdot B \times \log (T \div B + 1) \right\} \right]^{1/2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$I = 1 + \left\{ C'_2 - 1 - A \cdot T \div (T + B) \right\} \\ \div (1 - Z) \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$C'_2 = H_s + H_{cu} + 1 \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここに、A, Bは空気圧の変化特性を表す係数である。

3. 試算結果 図1(a)は、(I)の場合、
すなわち $H_A = \text{const.}$ の場合の計算結果の一例を、ま
た、(b)は比較のために、同程度の状態について解
析的な方法で計算した結果の一例を示したものである
(参考文献1)参照；I。初期浸透速度、 A' は係数、
 T_E は定常到達時間)。

両図を比較して分るように、本研究で求めた(a)
の方が定常浸透状態への遷滅がスムーズであり、これ
までに行った一部の実験からも、適合性がより高いこ
とが確められた。また、図1(a)から分るように、
 C_2 が大、すなわち毛管力、あるいは湛水深が大き
くなるほど浸透速度は大きくなるが、最終浸透能に達
する以前に浸潤面が下端に到達するという結果、および
 C_1 が大、すなわち初期状態が乾燥しているほど、浸
透速度が大きくなるという結果が得られたが、これら
は、ともに納得のいく結果である。

図2は、(II)の場合の計算結果の一部で、パラメ
ータA, B, C_1 , C'_2 の違いによる浸透速度の変化
性状について比較した例を示したものである。 C_1 の
影響度については、(I)の場合と同様である。

一方、A, B, C'_2 の影響度について見ると、A, Bは層内の空気の閉塞程度を表す一つの指標であり、
Aは浸透層の最終浸透圧に相当する値、またBは特に浸透初期の空気圧の増加に関係深い係数である。図2
からも分るように、Aが大きくなる程、あるいはB, C'_2 が小さくなる程、層内の空気は閉塞され易くなり、
浸透速度は急速に低下した後、再び回復して最終浸透能に漸近する傾向を示すが、最終浸透能に達する以前
に浸潤面が下端に到達するケースも多い。このような変化傾向は従来おこなってきた実験においても認めら
れる傾向であり興味深い結果である。

4. あとがき 地表面湛水状態における浸透現象について一応の所見が得られた。これらの結果を
もとに、今後、詳細な実験による検証を行っていく予定である。

参考文献 1) 三島・金丸：第41回年講、 2) 三島・金丸：第37回中四年講

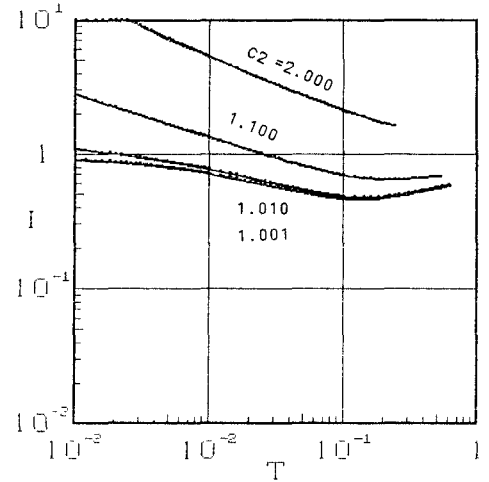


図2(a) 空気圧が変化する場合
($A=0.5$, $B=0.1$, $C_1=0.8$)

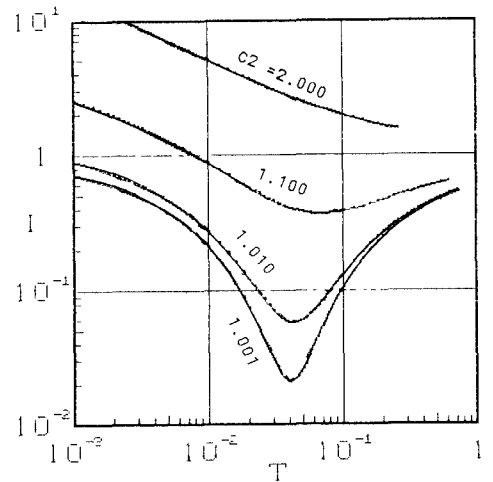


図2(b) 空気圧が変化する場合
($A=0.5$, $B=0.03$, $C_1=0.8$)