

神戸大学工学部 正員 川谷 健
神戸大学大学院 〇学生員 能勢 国昭

1. はじめに 流出解析での有効雨量の算定, 地下水の水収支の検討, 盛土内の浸透水の排除計画作成などにおいて, その基礎資料を得るために浸透能の現場測定は重要である。浸透能は地域的にも著しく異なるので, 多数の地点で測定する必要がある。したがって, 簡便な貯水型円筒浸透計が用いられることが多い。ふつう, この型式の浸透計は2重の円筒からなっており, 浸透水が横方向へ流出するのを少なくするように配慮されている。しかしながら, 山地など地表の条件が複雑なところでは, ただ1つの円筒からなる浸透計を用いることが多い。このような場合, 測定された浸透能は, 浸透水が球根状にひろがること, また円筒内に一定の水位を保って測定すること, などの理由から, 真の浸透能と比較すれば過大な値となる。

ここでは, 円筒浸透計による浸透能の測定値から真の浸透能を推定するための指針として, 有限要素法を用いて鉛直一次元浸透流と軸対称浸透流の解析を行った。その結果について報告する。

2. 数値計算の手法と計算条件 飽和・不飽和土中の浸透流は, もっとも一般的に,

$$\left(C + \frac{\theta}{n} S_s\right) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_r K_s \frac{\partial \psi}{\partial x_j} + K_r K_{r3}\right) \dots\dots (1)$$

で表わされる⁽¹⁾。ここに, ψ は圧力水頭, S_s は比貯留係数, θ は持積含水率 ($= n S_w$, S_w は飽和度), C は比水分容量 ($= \partial \theta / \partial \psi$), n は空隙率, K_s は飽和時の土の透水係数, K_r は相対透水係数 (relative Conductivity) である。式(1)を Galerkin 法によって離散化し, 有限要素法によって数値解析を行った。離散化の過程などについては参考文献(1)に詳しく述べられている。

飽和・不飽和土中の浸透流の解析を行うためには, 解析の対象となる土について, 飽和度 (S_w) と相対透水係数 (K_r) および間隙水圧 (ψ) の間の関係を知らねばならない。これらの関係式が, 吸水過程であるか排水過程であるかによって異なること, あるいは両過程の履歴によって異なることは, よく知られているとおりである。排水過程にある場合には, $S_w - K_r - \psi$ の関係は R.H. Brooks & A.T. Corey によって次のように与えられている⁽²⁾。あるいは, 有効飽和度 (S_e) を

$$S_e \equiv (S_w - S_r) / (1 - S_r) \quad \text{と定義すると} \quad (S = K_r,$$

S_r は residual saturation), K_r と S_e の関係は

$$K_r = (S_e)^2; \quad n = (2 + 3\lambda) / \lambda$$

で与えられる。ここに, λ は pore-size distribution index である。また,

$$\psi \text{ と } S_e \text{ の関係は, } S_e = (\psi_b / \psi)^\lambda$$

で表わされる。ここに, ψ_b は bubbling pressure である。本解析でとり扱う流れは吸水過程であるが, 上式の関係が成り立つものとして計算を行った。

解析の領域, 要素分割, 境界条件などの概略を図-1に示す。鉛直一次元の浸透流 (以下, CASE I と呼ぶ) の解析では, 地表面はつね

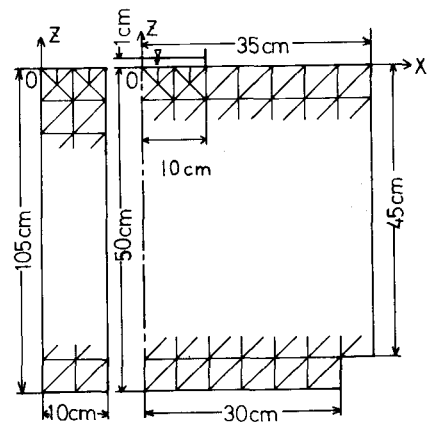


図-1

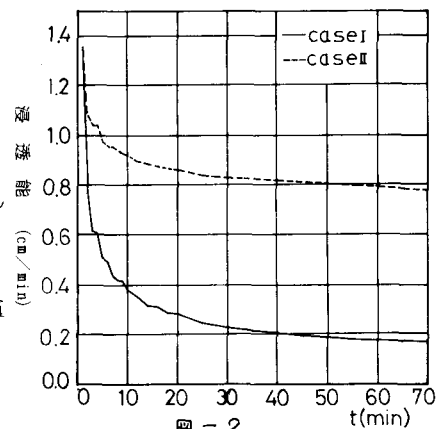


図-2

に飽和状態とした。すなわち、 $S_r=1$ (および $\psi=0$) とし、 $\alpha=0$ とした。軸対称の浸透流 (以下、CASE II と呼ぶ) では、現場測定状況を考慮し、円筒内の湛水深を 1 cm とし、また円筒の半径を 10 cm とした。初期の飽和度は、CASE I, II とともに全領域にわたって一様に $S_r=50\%$ とした。その他、 $\lambda=1.8$, $S_r=27\%$, $\phi=0.47$, $\psi_0=-150$ cm を用いた。これらの値は、参考文献 (2) によれば、シルトロームに相当する。飽和時の透水係数は、土が均質、等方性であるとして、 $k^s=10^{-3}$ cm/s とした。

3. 計算結果 CASE I と CASE II の浸透能 (それぞれ、 f_I , f_{II} とする) の経時変化を図-2 に示す。浸透開始 1 分後 ($t=1$ 分) の浸透能は、 f_I , f_{II} とともに 1.36 cm/min である。時間の経過とともに、両者の差は大きくなり、 $t=60$ 分では $f_I=1.8$ mm/min, $f_{II}=8.0$ mm/min である。図-3 は CASE II について、 $t=10$ 分、30 分、60 分、75 分での全水頭 ($h=\psi+\alpha$) の分布である。

$h=-50$ cm および -100 cm の等水頭線は $t=30$ 分以後ほとんど移動していない。また、 $h=-150$ cm 以下の領域は $t=30$ 分以後飽和になっている (図-3 で、破線は $t=30$ 分のときの飽和-不飽和域の境界をあらわす)。したがって、例えば $t=60$ 分における浸透能の比 (f_I/f_{II}) は、一次元浸透流と軸対称流との地面近傍の全水頭 h の分布の相違によって左右される部分が大きいと考えられる。すなわち、土が均質で等方性であり、円筒浸透計の直径が 20 cm であれば、真の最終浸透能は、円筒浸透計によって測定された値の約 $1/4$ ($f_I/f_{II}=0.23$) としてよいと考えられる。

図-4 と図-5 は、CASE I および CASE II の浸透能 f

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\beta t} \quad \dots (2) \quad \text{および}$$

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\beta \sqrt{t}} \quad \dots (3)$$

にしたがって整理したものである。ここに、 f は浸透開始後 t 分における浸透能、 f_0 は初期浸透能、 f_c は最終浸透能、 β および γ は土によって定まる定数である。数値計算結果では、浸透能の経時変化は、式 (3) によって、式 (2) によるよりはせやうまく表わせるようである。

参考文献

- (1) Neuman, S. P.; Saturated Unsaturated Seepage by Finite Elements, ASCE, HY. Vol. 99, No. 12, P. 2233~2250, 1973
- (2) Brooks, R. H. & A. T. Corey; Properties of Porous Media Affecting Fluid Flow, ASCE, IR, Vol. 92, No. 2, P. 61~88, 1966

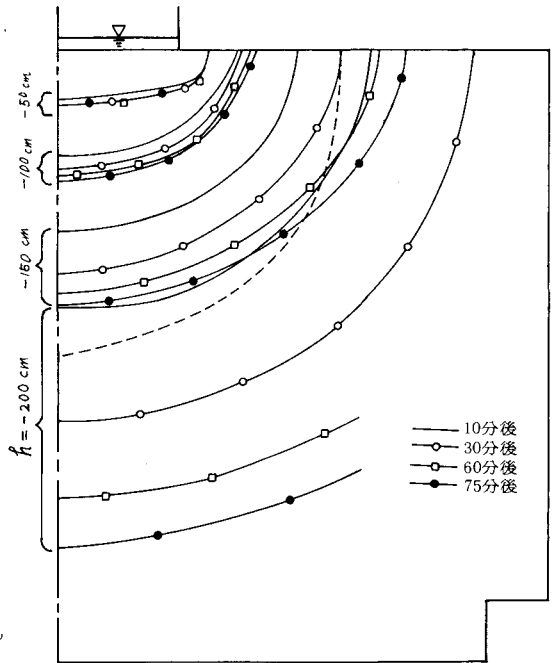


図-3

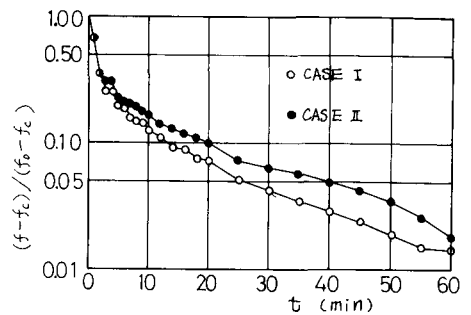


図-4

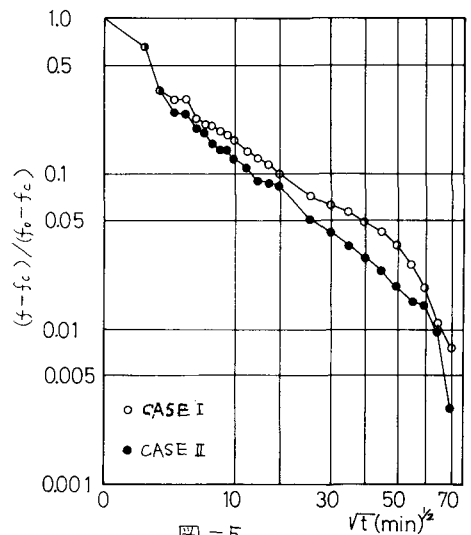


図-5