

土壌水分流動の二次元解析と考察

京都大学防災研究所 正会員 岡 太郎

1. まえがき 不浸透域の増大に伴う浸透能曲線の変化と不飽和浸透流の二次元解析をとおして検討したのでその結果を述べる。

2. 土壌水分流動の二次元解析 鉛直二次元断面における雨水浸透及び土壌水分流動は Richards の式(1)を用いて数値的に解析しうる¹⁾。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \right] + \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\psi)}{\partial z} \right] \quad (1)$$

ここで、 ψ : 圧力水頭, $K(\psi)$: 透水係数, $C(\psi)$: specific moisture capacity, t : 時間, x : 水平座標, z : 上向き正の鉛直座標。図1の領域について解析する場合の境界条件は次のとおりである。AB, CD, EF上では $q_z = 0$, BC, AF上では $q_z = 0$, ED上では $q = \pm R$, ここで q は単位面積当りの浸透量, R は, $R > 0$ のとき蒸発強度, $R \leq 0$ のとき降雨強度, ただし ED 上で $\psi = 0$ に達した後は土壌表面上で表面流が発生するとして, $\psi_{ED} = 0$, $\theta_{ED} = \theta_{sat}$ となる。
 θ : 土壌水分量, θ_{sat} : 飽和土壌水分量。

3. 解析条件 ここでは図1に示す領域において不浸透域が存在しない場合, 不浸透域が10cm及び20cmの3ケースについて計算を行った。なお, 浸透能曲線は境界・初期条件によって影響を受けるが, 予備計算により計算時間内には土

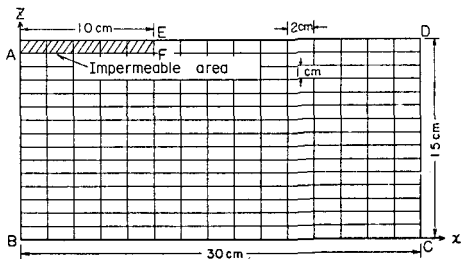


図1 解析領域

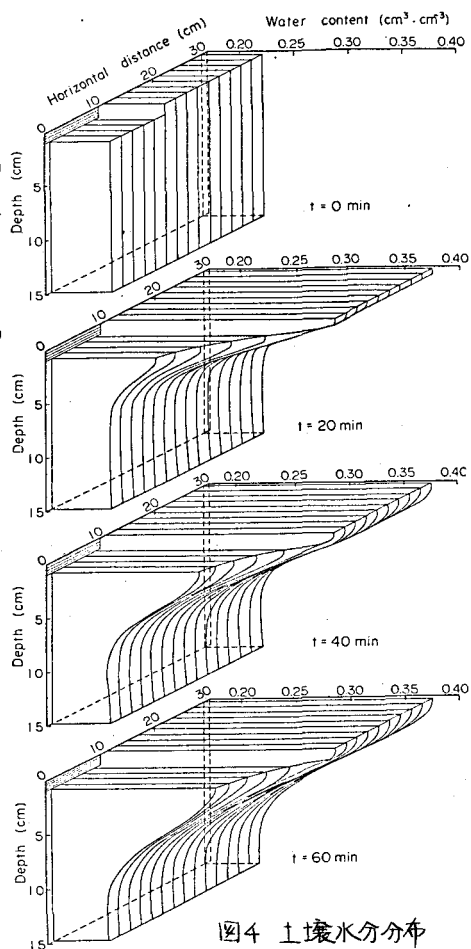


図4 土壌水分分布

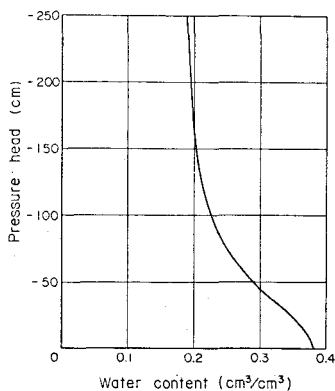


図2 毛管水分曲線

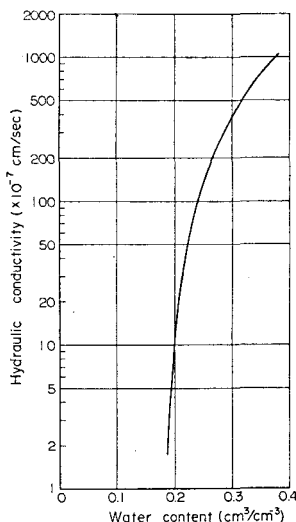


図3 不飽和透水係数

壤水分がBC上には到達しないことを確かめて土壌層の深さを15cmとした。したがって不透層BCの境界条件は計算結果に影響を与えていない。初期条件としては全領域に $\psi = -100\text{cm}$ $\theta = 0.226\text{cm}^3/\text{cm}^3$, $[K(\theta = 0.226) = 5.5 \times 10^{-6}\text{cm/sec}]$ を与えたが、この場合の初期土壌水分の再配分は微小であり、浸透能曲線への影響は無視できる。計算時間は1時間、降雨強度は60mm/hr, $\Delta t = 30\text{sec}$, $\Delta x = 2\text{cm}$, $\Delta z = 1\text{cm}$ として計算を行った。図2, 3に計算に用いた土壌水分特性を示す。

4. 計算結果と考察 図4に不透浸透域が10cmの場合の土壌水分分布を示す。この計算では降雨開始6分後に浸透部の全表面が飽和したが、その後の浸透能の時空間分布を図5に示す。図4, 5より不透浸透域下の領域にかなりの雨水が浸透し、浸透能もその影響を受け不透浸透域近傍で他の領域より大きい値を示している。このように不透浸透域が存在する場合

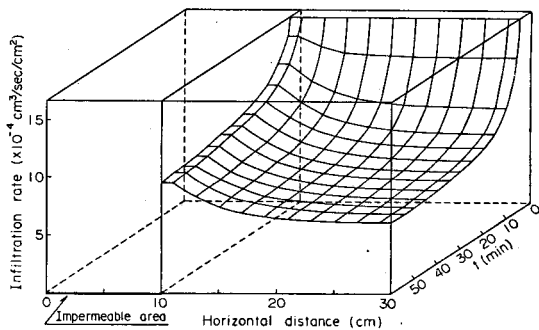


図5 浸透能の分布

には浸透能曲線は場所毎に異なるので、浸透部表面の浸透能の平均値を用いてその領域の巨視的な浸透能を定義する。図6に不透浸透域が0cm(0%), 10cm(33.3%), 20cm(66.7%)の場合の巨視的浸透能曲線を示す。図7にはこれらの浸透能曲線とPhilipの式(2)にあてはめた結果を示してある。

$$I = A t^{\frac{1}{2}} + B \quad \text{----- (2)}$$

ここで、I: 浸透能, A, B: 定数, t: 時間。

図6, 7より次の事項が明らかになる。

(1) これらの計算では表面流発生時刻に差は認められなかったが、不透浸透域が増大するに伴い浸透能は増大する。

(2) 不透浸透域がある場合でも計算時間内の大部分で浸透能は $t^{\frac{1}{2}}$ に比例し、Philipの式がよくあてはまる。

(3) 不透浸透域が存在しない場合の理論的最終浸透能は飽和の透水性係数(K_{sat})と考えられているが、この計算結果によると理論的最終浸透能に達するにはかなりの時間を要するようであり、実用的には K_{sat} よりかなり大きいところに最終浸透能があると考えた方がよいようである。

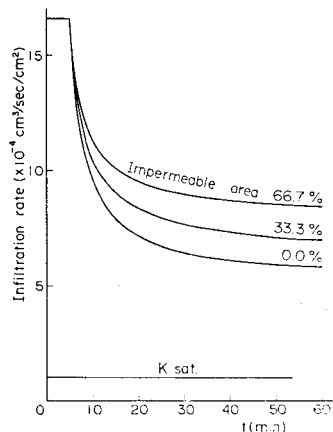


図6 浸透能曲線

1) J. Rubin: Theoretical Analysis of Two-Dimensional, Transient Flow of Water in Unsaturated and Partly Unsaturated Soils, S.S.A. P. vol. 32, No. 5, pp. 607-615, 1967.

2) J.R. Philip: The Theory of Infiltration: 1. The Infiltration Equation and Its Solution, Soil Science, vol. 83, pp. 345-357, 1957.

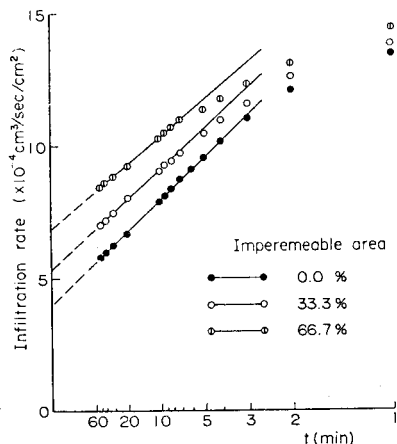


図7 (2)式による浸透能の近似