

II-13

丘陵地斜面における macropores と雨水浸透(2)

京都大学 防災研究所 正会員 岡 太郎

1. まえがき 丘陵地斜面の土層には macropores が分布しており、雨水流出現象に影響を及ぼしている。ここでは、京都市西部谷田川流域における現地調査・土壌物理実験及び雨水浸透機構に関する基礎的検討結果について述べる。

2. 現地調査と土壌物理実験

(1) 間隙の分類 土壌間隙の分類・名称については多くの意見がある<sup>1)</sup>が、ここでは土粒子の配列・接触にもとづく土壌固有の間隙(matrix pores)と小動物や根腐れなどによって形成される大間隙(macropores)とに二分して考えることにする<sup>2)</sup>。また、大間隙を、目視観測によってその形状・分布が測定可能な coarse-macropores と目視観測が不可能な直径が約 5mm 以下の fine-macropores に分類する。

(2) Fine-macropores の調査 丘陵地斜面で fine-macropore の分布・形状を測定することは、極めて困難である。ここでは、次のようにして、定量的に表すことを試みた。まず、目視観察によって macropores の認められない土壌に内径 4.3cm、深さ 5cm の小サンプラーを打込み間隙率を測定する。次に、砂置換法(直径約 30cm、深さ約 20cm)により coarse-macropores が認められない部分の間隙率を測定する。ここで、小サンプラーを用いて得られた間隙率を matrix pores、砂置換法により得られた間隙率を matrix pores と fine-macropores によるものとみなす。谷田川流域の表層土について得られた測定結果を図 1 に示す。同図より fine-macropores は全体積の 7.8% ということになる。

(3) 土壌物理実験 代表的な表層土の粒度・比重試験より、この土壌は粘土ローム又は砂質粘土ロームに属し、その比重は 2.666 であることが明らかになった。次に、土柱法により土壌水分特性曲線  $(\theta(\psi))$ 、浸潤法により土壌水分拡散係数  $(D(\theta))$ ・不飽和透水係数  $(K(\theta))$  を求めた。図 2 の曲線は、攪乱試料について得られたものであるがこの場合の間隙率は 0.54~0.55 であったので、matrix-pore のみの土壌の試験結果であることとみなすことができる。

3. Fine-macropores を有する土壌体への雨水浸透

(1) 解析モデル Fine-macropores の形状・分布が未定であるので、ここでは図 3 のように幅が 1mm の亀裂が平行に分布しているものとみなすとともに、この流れを不飽和流としてモデル化を行う。なお、fine-macropore の  $\theta(\psi)$ 、 $K(\theta)$  は次のようにして推定した。まず、この間隙中の雨水流を直径 1mm の毛細管の粘性流とみなし、飽和透水係数  $(K_0 = 27.8 \text{ cm/s})$  と毛管上昇高  $(h_t = 2.98 \text{ cm})$  を求める。つぎに、(1)、(2)式を用いて  $\theta(\psi)$ 、 $K(\theta)$  を近似する<sup>3)</sup>。

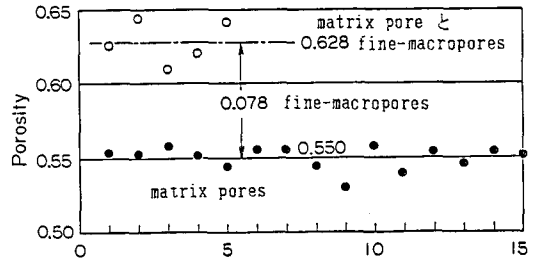


図 1 間隙率の測定結果

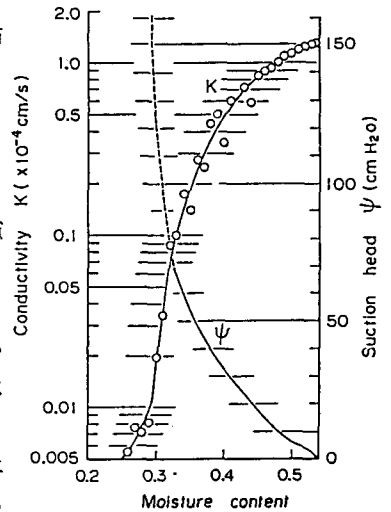


図 2 土壌水分特性

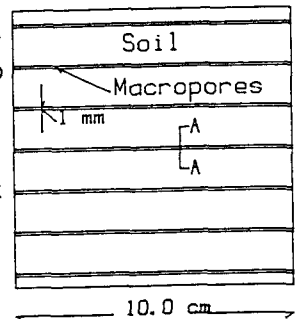


図 3 間隙のモデル(水平)

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta - \theta_r} = \frac{a}{a+c(-\psi)^b} \quad (1) \quad \frac{K}{K_0} = \left[ \frac{a}{a+c(-\psi)^b} \right]^N \quad (2)$$

ここで、 $a=30.0$ ,  $b=2.0$ ,  $c=0.01$ ,  $\theta_0=1.0$ ,  $\theta_r=0.0$ ,  $N=2$ ,  $K_0=27.8\text{cm/s}$ を採用した。

(2)解析結果 解析領域として図3のA-A断面を取り図4(a)のように要素分割した後、Richards式とFEMを用いて解析を進めた。なお、この解析では、枯葉層の厚さを1cm、fine-macroporeの長さを5cmとした。降雨強度100mm/hr,  $\Delta t=0.001\text{sec}$ ,  $\Delta X_{\text{min}}=0.1\text{cm}$ の条件のもとに得られた降雨開始10sec後の流速ベクトルと圧力分布を図4(b)、(c)に示す。なお図4(b)では  $V > 0.05\text{cm/s}$  を  $V = 0.05\text{cm/s}$ として表してある。図4より、地表面に到達した雨水は枯れ葉層を降下した後、そのかなりの部分は高速度で fine-macropore 中を降下するのが認められる。この計算では fine-macropore の底部は7.5secで飽和し、17.1secに全体が充滿した。また、fine-macropore から土壌中へは水平流が卓越している。このように fine-macroporesを有する土壌体の雨水浸透は土壌物理特性より判断される速度よりかなり速い。

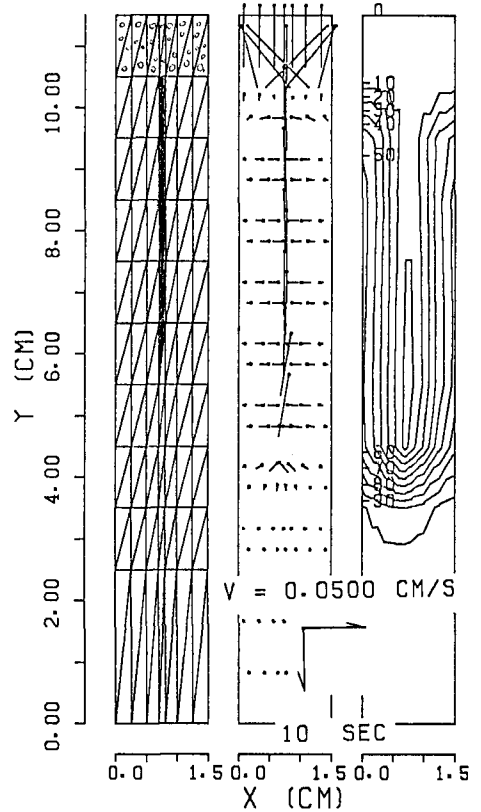
(3)一次元解析結果との比較 Fine-macroporesを含む土壌体への雨水浸透を上述の二次元モデルを用いて解析することは計算コストより問題がある。ここでは雨水浸透の一次元解析を行い、土壌水分分布の近似について検討した。図5に前述の計算結果をx方向に平均して得た土壌水分分布

(macropores)、図2の係数を用いて得た分布(K)、及び

不飽和透水係数を10倍して得た分布( $K*10$ )を示してある。図5より、Kの場合には雨水はほとんど浸透していないのに対し、 $K*10$ と macroporesの場合には深さ9~10cm程度まで浸透しており、 $K*10$ の計算結果が macroporesがある場合の計算結果をかなり良く近似しているのが認められる。

#### 4. まとめ

- (i) 自然丘陵地斜面の土層構成及び雨水浸透現象が coarse- と fine-macroporesを考慮することによって、かなりうまく表せる。
- (ii) Fine-macropores を含む土壌体への雨水浸透モデルを提示した。このモデルは従来のモデル<sup>4)</sup>では不可能であった macropores が雨水で充滿する現象も取扱える。
- (iii) Fine-macropores を含む土壌体への浸透は一般土壌と同じ形態の鉛直浸透とみなすことができる。coarse-macropores への浸入については前報の取扱いが有用である。



(a)要素分割 (b)流速 (c)圧力

図4 解析結果

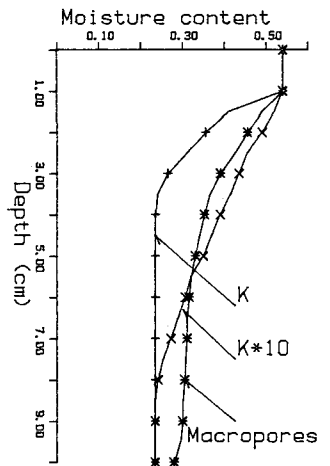


図5 一次元解析結果

参考文献 1)Luxmoore, SSSAJ, Vol. 45, pp. 671-672, 1981. 2)Skopp, SSSAJ, Vol. 45, p. 1246, 1981. 3)Pikul, WRR, Vol. 10, pp. 295-302, 1974. 4)Germann, WRR, Vol. 21, pp. 990-996, 1985.