

II-217 雨水流動解析モデルの単純化に関する考察

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)熊谷組	正員	松尾新治

1. はじめに 著者らは、模擬斜面を用いた屋内雨水流出実験に基づき、山腹の斜面方向主体の雨水の流動に関する簡易解析法および流域の Lumping 方法について検討してきたが^{1), 2)} これらの結果を踏まえて、新たに、斜面層内の空隙構造をフラクタル的に取扱い、雨水の流動を浸透系と水筋流動系によって構成されると考えた解析モデルについて検討したので、その結果について述べる。

2. 雨水流動現象のモデル化 流域における雨水の流動は、一般に、表層内の流動と、表面流動とに大別されるが、層内流動は、鉛直浸透と側方浸透流とに分けられ、さらに、側方浸透流は水筋に至る流れと水筋における流れとに分けられるものと考える。平均的にみた鉛直方向の浸透は、ある種の連続する空隙が連なった空隙柱を浸透し、湿潤状態にあれば、流動水は、まず表面張力の影響によって吸引力が大きいと考えられるより小さな空隙に優先的に集合するものと考えられ、鉛直方向に浸透して、毛管上昇高以上に達した水は、やはり毛管吸引力の影響を受けて、逐次毛管吸引力の小さい部分への選択的な流動、すなわち、側方浸透流になるものと考えられる。

側方浸透流は、0.5～1m程度で水筋に至るものと考えられるので、流域表層内の流動水は水平床上の浸透域を流動して傾斜を有する水筋に至り、流動して水路へ流出することになり、図-1のようにモデル化される。

このような浸透場の空隙幅分布 $B(y_i)$ は、層厚 d と基準となる透水係数 k_s を用いて無次元化した(1)式のような無次元量を用いて表わすと、(2)式のように表わされる。また、流動がDarcy則に従う毛管水流動でKozeny式³⁾が準用できるものとすれば、透水係数 $K(y_i)$ および毛管水上昇高 $H_c(y_i)$ は(3)および(4)式のように表わされる。

ただし、 x 、 y は水筋流動方向および側方流方向に測った距離、 t は時間、 b は空隙幅、 k は透水係数、 h は水深、 r は降雨強度、 q は単位幅流量、 δ はフラクタル的次數、 σ は表面張力、 ρ は密度、 g は重力加速度、 τ は空隙率、 θ は水筋の傾斜角、 Ck は定係数である。また、添字の j は状態あるいは位置を表わし、 c は毛管量、 p は水筋量、 s は基準量、 u は単位量、 i はブロックの任意点、 o 、 e は鉛直浸透始点および終点、 m は浸透域終端、 a は単位ブロック終端を表わす。

3. 流動の基礎方程式 鉛直浸透に伴う遅れを無視すれば、水筋に達するまでの側方浸透の流動については、 $y=0 \sim y_a$ までに降った雨水が、 $y=y_o \sim y_e$ までの部分を鉛直浸透した後に側方浸

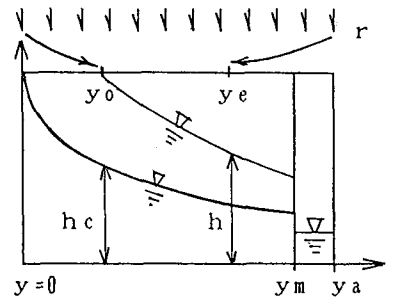


図-1 モデルの概略図

$$\left. \begin{aligned} X_j &= \frac{x_j}{d}, & Y_j &= \frac{y_j}{d}, & T &= \frac{k_s t}{d}, \\ B_j &= \frac{b_j}{d}, & K_j &= \frac{k_j}{k_s}, & H_j &= \frac{h_j}{d}, \\ R &= \frac{r}{k_s}, & Q_j &= \frac{q_j}{k_s d}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{B(Y_i)}{B(Y_m)} = \left(\frac{Y_i}{Y_m} \right)^{\frac{1-\delta}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{K(Y_i)}{K(Y_m)} = \left(\frac{Y_i}{Y_m} \right)^{\frac{3-\delta}{2}} \quad (3)$$

$$H_c(Y_i) = \frac{\sigma}{\rho} \left(\frac{2Ck}{g\nu} \right)^{1/2} \left[\frac{3-\delta}{K(Y_m)} \cdot \left\{ (\gamma-1) \frac{Y_a}{Y_m} + 1 \right\} \cdot \frac{Y_m}{Y_i} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} R \cdot Y_a &= \int_{y_0}^{y_e} K(Y) dY \\ B(Y) \frac{\partial H}{\partial T} + B_u \frac{\partial Q}{\partial Y} \\ &= B_u \cdot K(Y) \quad (Y_0 \leq Y \leq Y_e), \\ \text{or } &= 0 \quad (Y_e \leq Y \leq Y_m) \\ Q &= K(Y) \cdot H \frac{\partial}{\partial Y} (H - H_c) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} Y &= Y_0, \quad H = d, \\ \left(\frac{\partial H}{\partial Y} \right)_{Y=Y_0} &= \left(\frac{\partial H_c}{\partial Y} \right)_{Y=Y_0} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$R \cdot Y_a - \int_{y_0}^{y_m} K(Y) dY \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_p \frac{\partial H_p}{\partial T} + \frac{\partial Q_p}{\partial X} &= \frac{Q}{B_p} \\ Q_p &= K_p \cdot H_p \left(\sin \theta - \cos \theta \frac{\partial H_p}{\partial X} \right) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

透し、その流動は(5)式のようになり、(6)式のような上流側境界条件のもとにその解を求める。

また、層内流動分を超えた(7)式のような余剰分は直接表面流となって水路に流出する。

一方、側方浸透して水筋に到達した流れは、水筋の流動となつて(8)式に従つて流動することになる。

4. 適合性の検討 このモデル

では、 δ , Y_a , $B(y_m)$, $K(y_m)$, K_p , B_p などがパラメータになるが、図-2および図-3は、既往の実験、実測^{1), 4)}を用いてモデルの適合性を検討した結果である。

図-2は、模擬斜面(斜面長 $l=14m$, 斜面勾配 $\tan \theta = 1/6$, 層厚 $d=25cm$, 空隙率 $\gamma=41\%$, 試料: 真砂土)の降雨流出実験の代表的な実験値と計算値を比較したものである。図から判るように、十分な適合性があることが認められる。なお、試算の結果、

この場合の $\delta=1.8$, $b(y_m)=1.9cm$, $k(y_m)=0.01cm/s$, $k_p=5cm/s$, $b_p=5cm$, $\gamma=45\%$ あった。

図-3は、流域面積 $A=19.2ha$, $\tan \theta=0.64$ の山地小流域における比較的規模の大きい代表出水に対するものの比較であり、 $d=40cm$ して、他のパラメータは実験値の場合と同じ値を用いて計算した結果である。この場合も良好な適合性が認められる。このことは、表層土の性状が類似しておれば、このモデルでは流域規模に関わりなく、ほぼ同程度のパラメータで同定出来ることを示しており、興味深い点である。

5. あとがき 雨水流出解析モデルの単純化を目標にして、空隙体の分布を仮定したこのモデルは、十分な適合性があることが判った。今後、他の実測試料についても詳細な検討を行なっていく予定である。

参考文献 1) 三島・金丸・常松: 雨水流出現象のモデル化, 広大工学部報, 第39巻 pp. 39-51, 1990.

2) 三島・金丸: 山地小流域のLumpingに関する考察, 第46回年講, pp. 128-129, 1991

3) Kozney, J.: Über Grund wasserbewegung, W. W. 22, pp. 67-86, 1927.

4) 金丸・三島・山元・斉藤: 山地小流域の雨水流出特性の変化について, 第44回中四年講, 1992

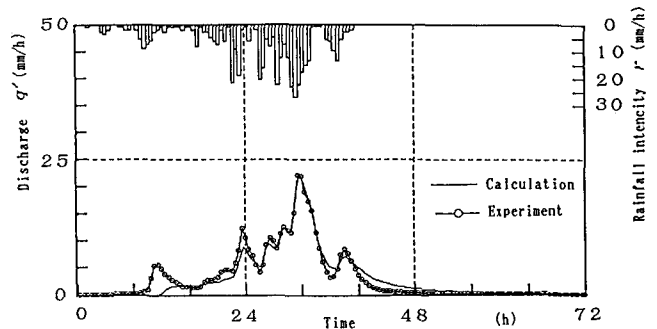


図-2 ハイドログラフの比較(実験)

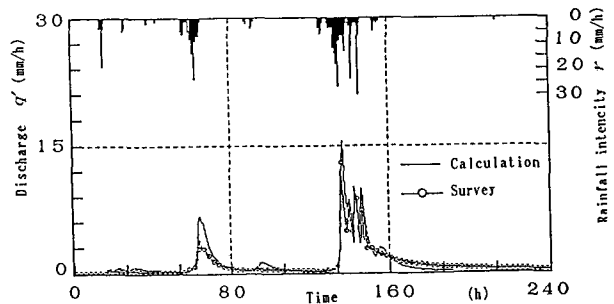


図-3 ハイドログラフの比較(実測, 1991.6/29~7/8)