

実験斜面における流出計算について

北海道開発局 開発土木研究所 ○ 市川 嘉輝
北海道大学 工学部 清水 康行

1. はじめに 降雨が土層に浸透し流出した水や地表面を流れ流入する水が河川に与える影響は大きい。著者¹⁾らは平成4年度に室内で可傾斜水路を用いた雨水浸透流出実験を行った。本研究ではこの中より大きさの違う二種類の降雨強度について考えた(表-1)。実験の中で降雨量の多かったケースでは、土層が飽和した後に表面流出の発生が見られた。実験結果に基づき Richards の式を用いた二次元斜面流出モデルを今年度は土層の深度方向に積分し、斜面流下方向のみの一次元斜面流出モデルの作成を行った。また表面流出については二次元流出計算と同じ手法を用いた。

表-1 実験条件

	降雨強度 (mm/hr)	水路勾配	降雨時間 (hr)
Run1	10.58	1/5	6.0
Run2	30.23	1/5	4.5

2. モデル基礎式 これまで二次元斜面における中間流出モデルは(1)の Richards の式等の基礎式を用い計算を行った。本研究では深度方向を積分することで計算の簡略化を行い、計算範囲を流域面へ広げることを目的とし、式の一次元化を行った。

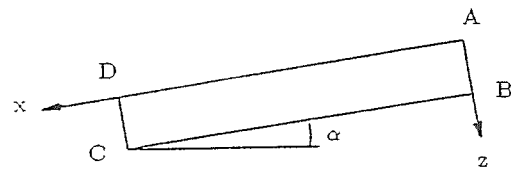


図-1 計算座標図

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$V_x = -K_x \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad V_z = -K_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2-1, 2)$$

$$\phi = \psi - x \sin \alpha - z \cos \alpha \quad (3)$$

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{a^2}{a^2 + \psi^2} \right) + \theta_r \quad (4)$$

$$K = K_s \left(\frac{a^2}{a^2 - \psi^2} \right)^\beta \quad (5)$$

x は斜面流下方向成分、 z は流下方向の鉛直下方向成分、 V_x, V_z はそれぞれ x, z 方向成分への流速、 t は時間、 ψ はサクシオン、 θ は体積含水率、 ϕ は全水頭、 α は水路勾配、 θ_s は飽和含水率、 θ_r は水の移動がないと思われる含水率、 K は不飽和透水係数、 K_s は飽和透水係数、 β は不飽和領域における透水性の程度を表す。

一次元斜面流出モデルは土層の z 軸方向に水分の分布形はないと仮定した藤田らの手法を用いた。

$$DC \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} = - \frac{\partial q_x}{\partial x} + r * \cos \alpha \quad (6)$$

$$q_x = K_s \left(\frac{a^2}{a^2 + \bar{\psi}^2} \right)^\beta \left(\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial x} - \sin \alpha \right) \quad (8)$$

(6) 式中の C は(4)式を用い、 q_x は(2-1),(3),(5) この時の境界条件は、次のように流速で与える。
式を用いそれぞれ以下のように表す。

$$C = \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial \bar{\psi}} = 2(\theta_s - \theta_r) a^2 \frac{|\bar{\psi}|}{(a^2 + \bar{\psi}^2)^2} \quad (7)$$

$$V_x = 0 (x = 0), \quad \frac{\partial V_x}{\partial x} = 0 (x = x) \quad (9)$$

式の中に示されている $\bar{\psi}, \bar{\theta}$ はサクシオンと体積含水

率の z 軸方向での平均値であり次の二式に示す。

$$\bar{\psi} = \frac{1}{D} \int_0^D \psi dz, \quad \bar{\theta} = \frac{1}{D} \int_0^D \theta dz \quad (10)(11)$$

ここで、 D は土層 z 軸方向長、 q_z は土層内単位幅流量、 r は降雨量である。

表面流出の計算は二次元流出モデルと同じく (12) 式の拡散方程式を用いた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + Cw_o \frac{\partial h}{\partial x} - r * \cos \alpha = K_o \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (12)$$

$$V_o = D_o h^m I_o^j \quad (13)$$

$$Cw_o = V_o(1+m), \quad K_o = \frac{V_o h^j}{I_o} \quad (14)(15)$$

ここで、 h は水深、 V_o マニングの流速式、よって D_o, m, j は1/粗度係数, 2/3, 1/2、 I_o は河床勾配。

3. 計算結果と考察 本研究において土層内には深度方向に水分の分布はないものと考え積分し、 x 方向のみの浸透流出計算を行った。計算条件は実験条件と同じとし、その他計算に必要なパラメータとして粗度係数 $I_o = 0.01$ 、 $\theta_r = 0.07$ 、 $\theta_s = 0.44$ 、このほかに Run1 では $K_s = 0.8 \times 10^{-2} (cm/sec)$ 、 $\beta = 2.0$ 、を用い、Run2 では二次元計算のとき、 $K_s = 1.5 \times 10^{-2} (cm/sec)$ 、 $\beta = 10.0$ 、一次元計算のとき、 $K_s = 1.9 \times 10^{-2} (cm/sec)$ 、 $\beta = 4.0$ を用いた。中間流出および表面流出の計算はともに土層を x 方向に 20 分割し、クランク・ニコルソン法による差分を用いた計算を行った。図-2、図-3 に降雨強度 r と流出量 q の時間変化を示す。これらの図における点線は実験値、破線は二次元計算値、実線は一次元計算値を表す。

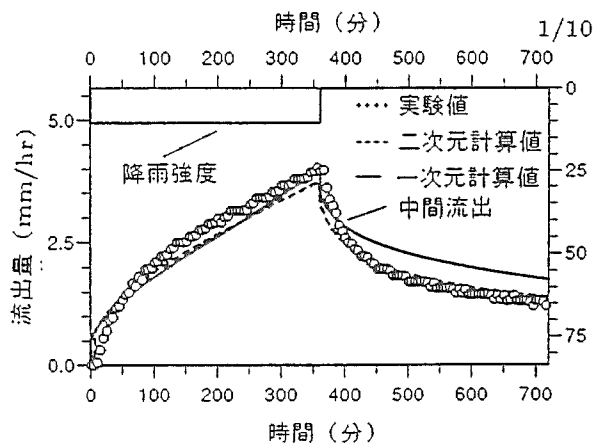


図-2 降雨強度 r と流出量 q の時間変化図 Run1

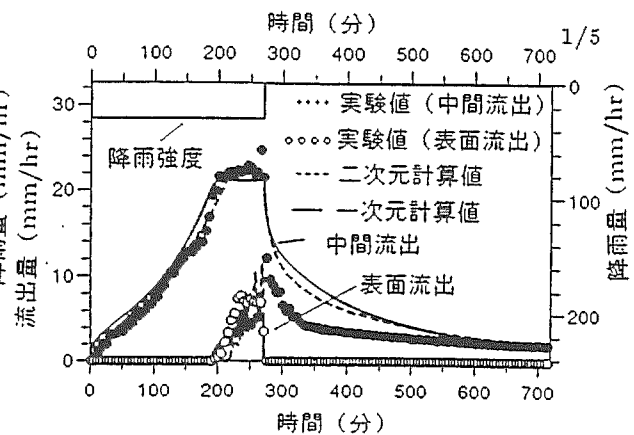


図-3 降雨強度 r と流出量 q の時間変化図 Run2

Run1 の計算条件では二次元計算と一次元計算の双方の値とも実験値と比較して大きなずれはないようである。しかしながら、二次元計算では実験値の流出のピークには達していないものの、降雨停止後の流出量は実験値にごく近い値をとっている。また、一次元計算ではその逆の現象を示している。Run2 の実験条件では二次元計算と一次元計算に用いたパラメータのうち透水性の程度を表す β と飽和透水係数の K_s にズレが生じた。特に β の値の違いが大きく流出分布がないものと考えた場合と、二次元で水の動きを考えた場合では浸透性の程度は違ってくるようである。この傾向は Run1 と Run2 より、降雨強度が大きく流出量が多いほどよく見られるようである。

4. おわりに 本研究では、これまで行ってきた二次元計算を深度方向である z 軸方向を積分する事によって一次元計算式を導き出し、これらの計算結果を実験値とともに比較検討を行った。計算結果にはそれほど大きな差はなく、今回行った水路実験程度の中間流出の計算には一次元計算でも支障はないと思われる。しかしながら、二次元計算と一次元計算では多少パラメータの違いが出た。パラメータのずれとともに、更に一般的なモデル開発を今後の課題とする。

<参考文献> 1) 市川嘉輝、山本太郎他:地下水流を考慮した流出モデルに関する研究, 1993, 北海道支部論文, 第 49 号

キーワード: 中間流、表面流、Richards