

II-121 降雨終了後の流出について

広島大学工学部 正員 金丸昭治
〃 〃 〇 三島隆明

水資源の困乏あるいは河川の汚濁防止が近年社会的な要求となってきたが、これに対する有効な対策を立案するためには、まず雨水の流出現象、とくに年周生起率の高い中間流出以降の流出現象を解明することが必要であろう。そこで、既に発表したように¹⁾、透水係数の異なる模型斜面を想定し、この斜面からの流出のうちで表面流出を生じない流量減衰部すなわち中間流出以降の流出現象について考察を行なった。まず、現象を概念的に把握するために水面の変化を考えてみると、斜面からの流出に伴う水面の移動は一般に図-1に示すようにI期間すなわち中間流出期間を経てII期間すなわち地下水流出期間へと移動して消滅するものと考えられる。そこで、雨水の流動はDarcy則に従うものとし、また層厚に比して斜面長が十分長く下流端の影響が無視できるものとするれば、各期間における流動の基礎方程式は以下のように表わされる。ただし、以下の各式および図に出てくる記号はそれぞれ次の事項を表わしている。
 x : 斜面方向の距離、 L : 斜面長、 B : 斜面幅、 θ : 斜面傾斜角、 h : 斜面に直角な方向の水深、 D_{10} , D_{60} : 10%, 60% 試料粒径、 k_1 , k_2 : 上下層の透水係数、 η_1 , η_2 : 上下層の有効空隙率、 η'_1 , η'_2 : 上下層の空隙率、 C_1 , C_2 : 上下層厚、 $A_1 = k_2 \sin \theta / \eta_2$, $A_2 = k_1 \sin \theta / \eta_1$, $B_1 = k_2 \cos \theta / \eta_2$, $B_2 = k_1 \cos \theta / \eta_1$, $B_3 = (k_2 - k_1) \cos \theta C_2 / \eta_1$, $x_a(t)$: 両層境界面における水面の位置、 $x_b(t)$: 下層内上流端の位置、 Q_1 , Q_2 , Q : 上下層および合計単位幅流量、 Q'_1 , Q'_2 , Q' : 上下層および合計単位面積当り流量、 R : 降雨強度、 t : 時間、また F_L , F_b , J_L , M_L , N_L , P_L , R_L , β_L , U_L ($L=1, \dots$): 水文、地形、地質要素によ

って決まる定数とする。

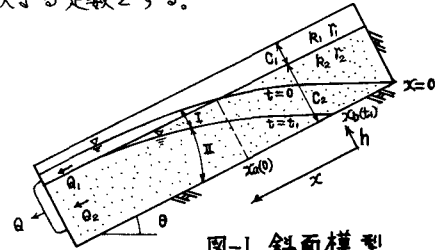


図-1 斜面模型

A) I 期間の現象について、

このI期間においては、 $x_a(t)$ の上下流で基礎方程式が異なるので $x_a(t)$ の上下流に分けて考える。

Q) $x_a(t)$ より上流域について、

$$\text{運動方程式: } Q = k_2 h \left(\sin \theta - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$\text{連続方程式: } \eta_2 \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

この(1)(2)式において、 $\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2$ の項を無視して $X = x - A_1 t$, $T = t$ なる変数変換を行なえば、上式は、

$$\frac{\partial h}{\partial T} = B_1 h \frac{\partial h}{\partial X} \quad (3)$$

となる。そこで、 $h(X, T) = G(T) G_2(X)$ において解を求め、さらに境界・初期条件として、

$$\left. \begin{array}{l} 1) \ x = 0, \ t = 0 \text{ で } h = 0 \\ 2) \ x = 0, \ t = 0 \text{ で } \frac{\partial h}{\partial x} = \tan \theta \\ 3) \ x = x_a(0), \ t = 0 \text{ で } h = C_2 \end{array} \right\} \quad (4)$$

を与えて解き元の変数で表わすと、一般に、

$$h(x, t) = \frac{1}{t + F_1} \left\{ -\frac{1}{B_1} (x - A_1 t)^2 + F_2 (x - A_1 t) \right\} \quad (5)$$

となる。また、 $x_a(t)$ および $x_b(t)$ は、

$$x_a(t) = A_1 t + J_1 + \sqrt{J_2 t + J_3} \quad (6)$$

$$x_b(t) = A_1 t \quad (7)$$

と表わされる。さらに、(5)式に $x = L$, $h = C_2$ を代入して、 $x_a(t)$ が下流端に到達する時間すなわち中間流出の終了する時間 t_1 を求めることがで

きる。また、 $x_a(t)$ より下流域においてはつぎのようになる。

b) $x_a(t)$ より下流域について、

運動方程式: $Q = Q_1 + Q_2$

$$= \{k_1(h - C_2) + k_2 C_2\} (A \sin \theta - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x}) \quad \text{---- (8)}$$

$$\text{連続方程式: } \gamma_1 \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Q_1 + Q_2) = 0 \quad \text{--- (9)}$$

この(8)(9)式について、a)の場合と同様に変数変換すると、

$$\frac{\partial H}{\partial T} = H \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} \quad \text{ただし } H = B_2 h + B_3 \quad \text{---- (10)}$$

と表わされ、境界・初期条件として、

- 4) $x = x_a(0), t = 0$ で $h = C_2$
- 5) $x = L, t = 0$ で $h = h(L, 0)$
- 6) $x = L, t = t_1$ で $h = C_2$

を用いて解き元の変数で表わすと、一般に、

$$h(x, t) = N_1 + \frac{1}{t + N_2} \left\{ -\frac{1}{B_2} (x - A_2 t)^2 + N_3 (x - A_2 t) + N_4 \right\} \quad \text{---- (12)}$$

となる。したがって、中間流出時の上層の単位面積当り流量 Q'_1 は一般に、

$$Q'_1 = \frac{1}{B} k_1 h (A \sin \theta - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x}) = P_1 t + P_2 + \frac{P_3}{t + F_1} + \frac{P_4}{(t + F_1)^2} \quad \text{---- (13)}$$

また、下層の単位面積当り流量 Q'_2 は、

$$Q'_2 = \frac{1}{B} k_2 C_2 (A \sin \theta - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x}) = R_1 + \frac{R_2}{t + F_1} \quad \text{---- (14)}$$

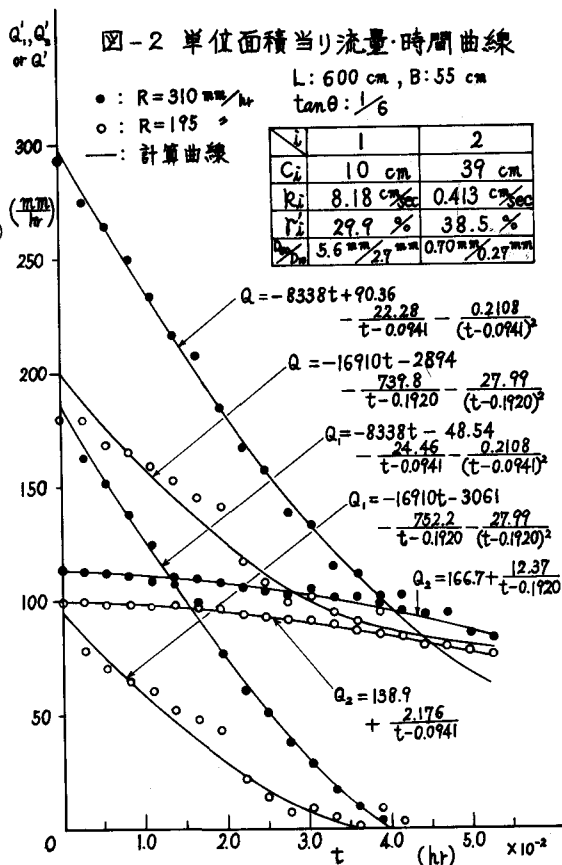
となり、実際の流域において測定可能な流量 Q' は一般に、 $Q' = S_1 t + S_2 + \frac{S_3}{t + F_1} + \frac{S_4}{(t + F_1)^2}$... (15) と表わされる。

次にIIの期間の現象について述べる。

B) II期間の現象について、

この期間における運動および連続の方程式は(1)、(2)式で表わされ、境界条件として、

- 7) $x = x_b(t_1), t = t_1$ で $h = 0$
- 8) $x = x_b(t_1), t = t_1$ で $\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{F_2}{t_1 + F_1}$
- 9) $x = L, t = t_1$ で $h = C_2$



を用いて解くと、水深および流量の一般式は、

$$h(x, t) = \frac{1}{t + U_1} \left\{ -\frac{1}{B_1} (x - A_1 t)^2 + U_2 (x - A_1 t) + U_3 \right\} \quad \text{--- (17)}$$

$$Q'_2 = T_1 t + T_2 + \frac{T_3}{t + T_3} + \frac{T_4}{(t + T_3)^2} \quad \text{---- (18)}$$

と表わされる。

以上の考察から明らかなように、単一流域からの中間流出時以降の流出現象は一般に(15)式で表わされるが、中間流出時と地下水流出時とは曲線の変化率が異なっている。また、中間流出時における地下水流出成分は、地下水流出になった後の流出曲線とは必ずしも一致しない。

以上の考察の実証として現在二層斜面の屋内模型実験を継続中であるが、現在までに得られた中間流出時の一部のデータについて試算した曲線を図-2に示す。

今後(15)式を基本にした流域の評価法等について検討していく予定である。

参考文献 1) 金丸三郎: 流量減衰率の特性に関する考察, 土木学会第25回年次学術講演会講演集第2部, 昭45.