

愛媛大学農学部 正員 小川 滋

1. まえがき

山地における出水解析は、その目的によって方法も異なると考えられるが、出水現象を一般化するためには、ある程度の物理性が要求されるであらう。現在までの出水解析は、とくにハイドログラフとのシミュレーションのみに重点がなされておられ、物理性についての検討が欠けていた傾向がある。そこで、ここでは、出水解析にもちいられるパラメーターとしては、意味のばらつきを少なくする kinematic wave 法を山地小流域の出水解析に適用し、パラメーターの吟味をふまえて、出水機構について考察するものである。

2. kinematic wave 法による従来の出水解析

山地斜面における流水を、kinematic wave 法であらわせば、連続の式(1)、運動の式(2)はつぎのようである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad (1) \quad h = K q^p \quad (2)$$

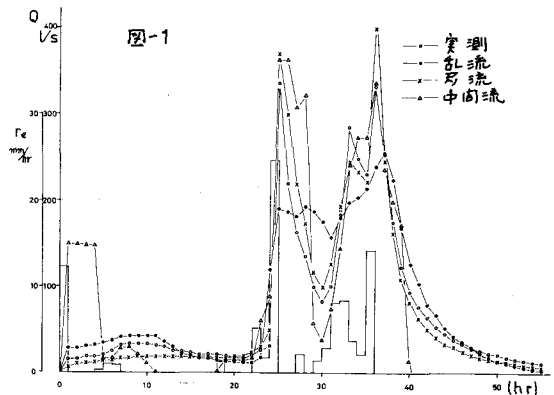
ここで、 h ；水深、 q ；単位巾あたり流量、 r_e ；有効雨量強度、 K, p ；流水の抵抗則によって決まる定数である。従来の出水解析にもちいられている抵抗則は、表面流としての Manning 則であり、 $p = 3/5$ 、 $K = (N/\sqrt{\sin \theta})^p$ (N ；Manning の粗度係数、 $\sin \theta$ ；斜面勾配)で与えられる。実河川流域への適用では、 $N = 1 \sim 1.5$ が多く、実験斜面における解析では、 $N = 0.1 \sim 0.4$ 程度がえられている²⁾。実河川流域における N の値は、ハイドログラフとのシミュレーションの結果えられた値であり、水理学的根拠はない。 N の水理実験的な値としては、草生水路やガラスウールで被覆された斜面の流水に対して計測された $N = 0.4$ があるだけである。この値にしても、水理学的意味は Manning-Strickler 式の粗度高さの対応を考えると全くその意味は不明確である。また、表面流としての層流則をもちえば、 $p = 1/3$ 、 $K = (\frac{\gamma \nu}{g \sin \theta})^p$ (ν ；動粘性係数、 γ ；摩擦抵抗係数)で与えられる。水理学的には、 $\gamma = 3$ であるが、水理実験的には、 $\gamma = 3 \sim 7.5$ (粗面)と示されている³⁾。このモデルは、土砂侵食の研究で多くもちいられており、実験斜面の流水で $\gamma = 10^2 \sim 10^3$ がえられているが、実河川での解析は少ない。中間流として Darcy 則をもちえば、 $p = 1$ 、 $K = (k \sin \theta)^{-1}$ (k ；透水係数)で与えられる。出水解析として、このモデルのみでの解析例はなく、斜面崩壊などの実験でもちいられている。 k は普通実験的に求められる。

表-1

3. 試験流域への適用

試験流域は、農林省林業試験場岡山県産の口山南谷(22ha)、同北谷(17ha)で平均斜面勾配は、それぞれ、0.345、0.370 である。26 出水資料について、上述の3種類のモデルを適用して計算をふしたが、1例を示すと、図-1 のようである。計算の結果えられた各抵抗パラメーター値と水理実験などえられている値を比較すると、表-1 のようである。中間流を除いて、ほとんど、計算値の水理学的意味はなりようである。斜面下流端における計算上の Reynolds 数は、 10^3 以下で、一応層流域に入っているが、流量と水深が対応で、例えば、最大水深 5cm に対し、流速 0.8 cm/s の計算値がえられなど、地表面の流水とは、常識的に考えられぬ関係を与える。なお、中間流モデルについては、

モ デ ル	計算値	実験値
乱流(ManningのN)(ms)	$10.3(10^2 \sim 10^3)$	$0.4(10^{-1})$
層流(摩擦抵抗係数 γ)	$5.9 \times 10^3(10^2)$	$10^3(10^{-1} \sim 10^0)$
中間流(透水係数 k)(cm/s) $k_0 = k/E_0$ (E_0 ；有効孔隙)	$19(10^{-1} \sim 10^0)$ (k_0)	$0.03(10^{-2})$

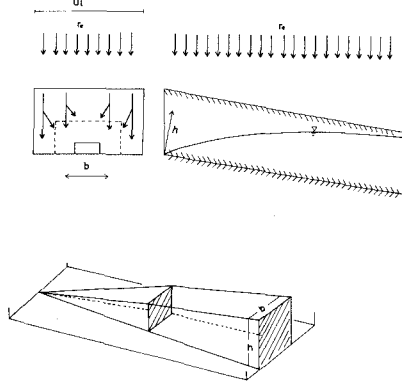


運動の式が線形となるため、図-1をみてもわかるようにハイドログラフの適合が全くふたなりである。以上の結果によると、3種類のモデルとも出水解析として、水理的根拠のあるモデルとはいえないであろう。

4. 出水機構と出水モデル

図-2

山地における出水の場合は、地表面付近であり、地表面付近の特性は、表層部(活性層)の有効孔隙、層の厚さ、透水性などとして考えらる。これらの特性は、一般に不均一で、平面的な分布も一様でない。それゆえ、斜面全体にわたって流水が一樣に生起しているとは考えられぬ。とくに、山林地表層の浸透能は、 $100 \sim 300 \text{ mm/hr}$ 程度であることが明らかにされている⁴⁾ので、地表面全体にわたって表面流が生起しているとは考えられぬであろう。そこで、地表面に到達した雨水は、活性層内で下方浸透もふこなうが、斜面全体にわたって透水性は、一様ではあるから、下方への透水性の悪いところでは、側方流をふこし、斜面下流方向における透水性のよいところに集中して流下するであろう。この径路が、「水みち」と考えらる。また、このような「水みち」は、活性層から深く、不透水性の層が下層にある場合には、表面に出たりするであろうし、流下途中に下層に浸透して地下水流になったりする流水であると考えらる。これは、山林地で降雨期間中に、観察されることがあるが、実際の挙動については、その非定常性のため研究は進んでいないようである。ここでは、これを以下のようにモデル化する。まず、「水みち」が活性層内で、図-2のように形成されるとき、斜面の横方向、縦方向に発達する飽和の流れとする。図-2において、断面形状を矩形として、有効幅(b_*)は、有効水深(h_*)との関係で、 $b_* = \alpha' h_*^m$ であらわされるものとし、 α' も h_* の関数であると考え、 $\alpha' = \alpha h_*^m$ (α, m : 定数)とみると、有効断面積(A_*)は、 $A_* = b_* h_* = \alpha h_*^{m+2}$ となる。さらに、「水みち」は、中間流として、Darcy則を適用すると、実流速(V_*)は、 $V_* = k_0 \sin \theta$ (k_0 : 実流速にみける透水係数)であらわされる。ここで、活性層内の透水係数は、下層から上層に向って大きくなると考えらるから、透水係数も深さ方向、すなわち h_* の関数と考えらることにより、 $k_0 = \beta h_*^n$ (β, n : 定数)とみる。以上により、運動の式は、

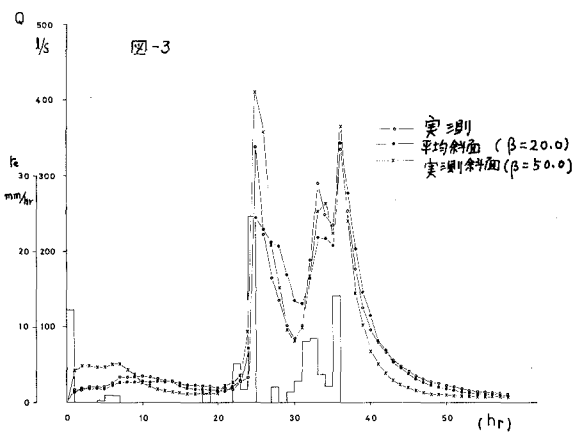


$$A_* = K Q^p, \quad (K = \alpha (1/\alpha \beta \sin \theta)^p, \quad p = m+2/(m+n+2)) \quad (3)$$

であらわされることになる。また、連続の式は、そのような「水みち」を形成する単位斜面積(U_d)について、

$$\frac{\partial A_*}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = U_d \cdot U_d \quad (4)$$

(3)(4)式で示される基礎式について、試験流域に適用した結果は、図-3に示すように、 $p = 0.447$, $\alpha = 13$, $\beta = 33$ (平均)で、ハイドログラフの適合がよく、さらに、透水係数の計算上の値も、ほぼ各断面内にあった。なお、図-3に示す実験斜面とは、地形図上にあり、代表的な斜面形を計測して斜面の流水を計算したものである。さらに、 K , p のなかに含まれるパラメータの意義については、実験的に検討中である。



引用文献 1) 例20, 竹内吉利, 「特性曲線法を利用した流出解析」に於ける考察; 流出機構のモデルの統合化に関する研究(特研報告書) 2) 例20, 吉野, 降雨流出に於ける物理的現象とその解析, 29周年誌 3) 土屋, 地面浸食に於ける二つの水理学的考察, 土壌集59号, 4) 村井孝博, 林地の水不保土環境保全機能に関する研究(1), 特研報告274.