Ⅲ－5　山地小流域の出水特性に関する研究（5）
― 出水モデルについて ―

九大　工　正員　篠原謹爾
同　平野宗夫
同　○小川　滋

1. まえがき

山地における出水現象は，入力である降雨が，山地を媒体として出力である流量へと変換される現象と考えることができる。それゆえ，出水の特性は，山地の特性をあらわしているものと考えてよいであろう。しかしながら，複雑な山地をそのまま出水モデルに組入れることは不可能に近い。そこで，従来の Kinematic wave 法による出水モデルを山地の小流域に適用し，山地の特性，出水現象の特性をあらわす parameter について考察し，より合理的な出水モデルを作成した。

2. Kinematic wave 法によるモデル

流域を斜面長L，勾配 $\sin\theta$，巾Bをもつ矩形流域におきかえると，Kinematic wave 法による斜面の流水の運動の式，連続の式は次のようにあらわされる。

$$h = k q^{p} \qquad \text{――― (1)} \qquad\qquad \frac{\partial(\gamma h)}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \cdot \cos\theta \qquad \text{――― (2)}$$

ここで，$r_e \cdot \cos\theta$；斜面に補正された有効雨量強度，q；単位巾あたりの流量，h；水深，γ；表層有効空隙率，すなわち，$\gamma = 1$ のとき表面の流れと考え，抵抗に manning 則をもちいると，$p = 3/5$，$k = (N/\sin\theta)^{3/5}$ であり，$\gamma = \gamma_0 (<1)$ のときは，表層内の流れと考え，Darcy 則をもちいると，$p = 1$，$k = 1/K\sin\theta$（K；透水係数）となる。また，このモデルは，$p = 1$ のとき層流，$p = 3/5$ のとき乱流であり，その間の遷移流についても考えることができる。なお，河道については，一様な横流入量 q をもつ表面の流れである。

3. 適用と結果

適用は，農林省林業試験場，岡山県竜の口山森林理水試験地南谷流域で，全流域を一つの矩形流域とし，中央に河道を通したモデル流域を作成した。[1] 解析諸元は，表－1に示すようであるが，有効降雨については，著者らが，この流域でもとめた雨量強度を考慮した浸透損失式をもちいて算定した。[2] モデルは，表面流，表層内流れ，それぞれについておこない，計算は，特性曲線法をもちいた。なお，計算対象出水は，1937～1958年の記録より選んだ13個の出水である。結果の一部を図－1～3に示す。それぞれのモデルの計算方法と結果は，

1) 表面流モデル（$\gamma = 1$，$p = 3/5$）；parameter として，$k = (N/\sqrt{\sin\theta})$ をもちいて，実測ピーク流量値に適合する k を決める。すなわち，$\sin\theta$ を一定として，N（等価粗度係数）を各出水について求めると，N＝4～10となり，大流域の従来求められたNの値に比して非常に大きな値をとり，バラツキも大きい。ハイドログラフの形としては，かなりの程度まで近似できる。

2) 表層流モデル（$\gamma = \gamma_0$，$p = 1$）；parameter として，$k = K\sin\theta/\gamma_0$ をもちいて，ピーク流量に適合させる方法で計算した。この場合，γ_0 がわからないので K/γ_0 が一諸になって parameter となる。結果は $K/\gamma_0 = 0.01 \sim 0.03$ でバラツキは，かなり小さかった。しかし，実則ハイドログラフの形とは，全く適合しなくなる。

表－1

解析諸元	
面積（m^2）	226110
矩形流路長（m）	516
矩形巾（m）	438
斜面勾配（$\sin\theta$）	0.345
流路勾配（$\sin\theta'$）	0.176
流路長（m）	524
斜面長（½ km）	233.6
流路 n	0.076

ここで，指数Pは，従来いわれているように，出水の非線型性の程度を示すものであることは，容易にわかる。すなわち，P＝1で線型となり，この結果は2)でのべたようにハイドログラフの形が異ってくるからである。また，この結果をみるかぎりでは，さらに非線型の強いものと考えられる。次にN，K/γ_0 はいずれも，ピーク流量値，到達時間に関係する parameter であり，物理的には，表層付近の状態を示すものと考えられるが，Nの値にみら

れるように，もはや物理的意味は，なくなってしまっているようである。いずれにせよ，比較的ハイドログラフとの適合のよい表面流モデルにおいて，この流域に適合するN値を決めることはできなかった。さらに，表面流モデルの解析結果によると，ほとんどすべて，ピークまでの降雨による斜面流下流量qが，斜面下流端まで到達していない。その結果，ピークが偏平な形となり，それに応じて，てい減部もまた減水が早くなってきている。この傾向は，(2)式の運動方程式をもちいるかぎりかわらない。これらの問題を改良するには，kとpが相互に関係するようなモデルを考える必要がある。

図-1

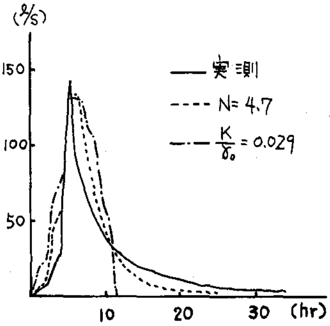


図-2

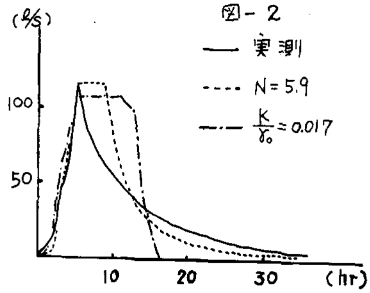
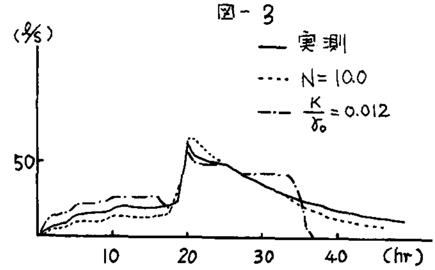


図-3



4. 改良モデル

上述の考え方にそうモデルを作成するため，図-4に示すように，斜面流域をさらに単位斜面に分割して考えることにする。単位斜面の中央には河道と同じように水みちをもっているとする。単位斜面に降った雨は，水みちに集中して流れるものとする，その水みちの断面は，水深(h)，巾(b)の関係で，$b=ah^{\alpha}$（aを定数として）であらわされるものとする。さて，水みち断面を三角形とすると，連続の式，運動の式は次のようにあらわされる。

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=r_e'\cdot \ell \qquad \text{——(3)}$$

$$Q=0.630\sqrt{\sin\theta}\cdot a/N \times h^{\frac{5}{3}+\alpha}\left(1+\frac{h^{2(1-\alpha)}}{a^2}\right)^{-\frac{1}{3}} \qquad \text{—(4)}$$

ここで，$A=ah^{1+\alpha}$，ℓ；単位斜面巾，Q；水みち流量，$r_e'=r_e\cdot\cos\theta$，$k=0.630\sqrt{\sin\theta}/N$ とおくと，(3)，(4)式より，

$$a(1+\alpha)h^{\alpha}\frac{\partial h}{\partial t}+k\cdot a\left\{\left(\frac{5}{3}+\alpha\right)h^{\frac{2}{3}+\alpha}\left(1+\frac{h^{2(1-\alpha)}}{a^2}\right)^{-\frac{1}{3}}+h^{\frac{5}{3}+\alpha}\left[-\frac{1}{3}\left(1+\frac{h^{2(1-\alpha)}}{a^2}\right)^{-\frac{4}{3}}\left(\frac{h^{1-2\alpha}}{a^2}\right)\right]\right\}\frac{\partial h}{\partial x}=r_e'\cdot\ell \qquad \text{—(5)}$$

ここで，$a(1+\alpha)h^{\alpha}=g'(h)$，$\frac{\partial h}{\partial x}$の係数を$f'(h)$とおくと，特性方程式は，$dt/g'(h)=dx/f'(h)=dh/r_e'\cdot\ell$ より

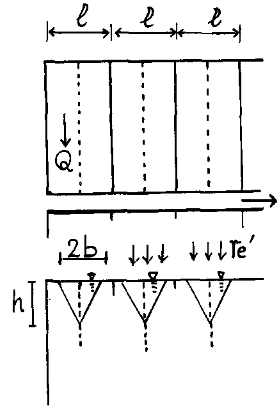
$$\int_{\tau}^{t}g'(h)\,dh=r_e'\cdot\ell\,dt \text{ より，} \quad h_t^{1+\alpha}=\frac{r_e'\cdot\ell\cdot\Delta t}{a}+ah_{\tau}^{1+\alpha} \qquad \text{-(6)}$$

$$\text{又，}\int_{\tau}^{t}f'(h)\,dh=r_e'\cdot\ell\cdot dx \text{ より，} \quad Q_t=r_e'\cdot\ell\cdot\Delta x+Q_{\tau} \qquad \text{-(7)}$$

(6)，(7)式をもちいて，流量を計算していくことができる。

さらに河道については，単位斜面で一様な横流量に近似して（Q/ℓ）として，計算する。すなわち，bとhの関係は，その表面の特性を示すこととなり，(2) (2)式でのkとpに関係することになる。例えば$\alpha=0$のときは，矩形と考えられる，透水性が悪いところでは，水深に比し，巾は広くなると考えられる。しかしながら，単位斜面巾，a，αの決め方には，さらに検討の余地があるであろう。現在，trial 的に計算中である。なお，計算はすべて九大大型電算機 FACOM 230-60 によった。

図-4



引用文献

1) 篠原，遠藤，小川；"雨水流のモデルによる山地小流域の流出解析" 新砂防

2) 篠原，小川，杉山；"山地小流域の出水特性に関する研究(3)" S.48. 土木学会年講