

九州大学 工学部 正員 ○平野 宗夫

九州大学 農学部 正員 小川 滋

九州大学 大学院 学生員 木川 良二

1. まえがき

河川の流域は斜面要素と河道要素から構成されており、降雨から流出への変換過程において、それらの長さ、勾配、粗度などの平均値が主要な役割をはたすのはもちろんであるが、それらの諸量の平均値からの偏差の分布状態も、流出過程に重要な影響を与えるものと考えられる。このうち、河道網における諸量のバラツキを流出解析に導入する試みは最近いくつかなされているが、本研究においては、河道の最上流部の斜面について、斜面長 $\times$ 到達時間のバラツキを考慮した流出解析法を導びき、試験地に適用して若干の考察を行ったものである。

2. 流出の計算式

斜面において、水深を h 、単位幅当りの流出量を q 、有効降雨強度を r_e とすると、雨水流の連続の式は(1)式で与えられる。また、運動方程式は(2)式で与えられるものとする。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad \text{-----(1)}$$

$$h = K q^P \quad \text{-----(2)}$$

これらの式の解は周知のように、特性曲線

$$l = \frac{1}{K^P} \int_0^T q^{1-P} dt \quad \text{-----(3)}$$

上において、 $q^P = \frac{1}{K} \int_0^T r_e(t-\tau) d\tau$ -----(4)

ここに、 T は斜面上流端より l だけ離れた斜面末端までの雨水の到達時間である。

式(3)および(4)より、時刻 t に、長さ l 、到達時間 T の斜面から流出してくる量 $q(t)$ は、

$$q(t) = \frac{1}{K^P} \left[\int_0^T r_e(t-\tau) d\tau \right]^{\frac{1}{P}} \quad \text{-----(5)}$$

したがって、 $l = \frac{1}{PK^P} \int_0^T \left[\int_u^T r_e(t-\tau) d\tau \right]^{\frac{1-P}{P}} du$ -----(6)

上記の2式より K を消去すると、

$$q(t) = P \cdot l \left[\int_0^T r_e(t-\tau) d\tau \right] / \int_0^T \left[\int_u^T r_e(t-\tau) d\tau \right]^{\frac{1-P}{P}} du \quad \text{-----(7)}$$

時刻 t における河道の流量 $Q(t)$ は、河道要素を斜面要素に対して無視すると、

$$Q(t) = \sum q \cdot b = \sum R(t, T) \cdot l \cdot b \quad \text{-----(8)}$$

ここに、 $R(t, T) = P \left[\int_0^T r_e(t-\tau) d\tau \right] / \int_0^T \left[\int_u^T r_e(t-\tau) d\tau \right]^{\frac{1-P}{P}} du$

b は長さ l 、到達時間 T の斜面の幅である。ここで、 lb は到達時間が T の斜面の面積であるから、これを流域面積 A で割った lb/A は到達時間 T の確率密度 $\varphi(T)$ とみなすことができる。従って、式(8)は、

$$Q(t) = A \int_0^\infty \varphi(T) R(t, T) dT \quad \text{-----(9)}$$

ここに、 $\int_0^\infty \varphi(T) dT = 1$

なお $P=1$ の場合(すなわち、雨水流がDarcy則に従う場合)には $R(t, T) = \int_0^T r_e(t-\tau) d\tau / T$ となるから、上式は

$$Q(t) = A \int_0^\infty \frac{\varphi(T)}{T} \left[\int_0^T r_e(t-\tau) d\tau \right] dT = A \int_0^\infty P(\tau) \cdot r_e(t-\tau) d\tau \quad \text{-----(10)}$$

ここに、 $P(\tau) = \int_t^\infty \frac{\varphi(T)}{T} dT$

となるが、これは単位図にはかならない。したがって、斜面における単位図は、到達時間の分布を表現したものとみなされる。なお、式(9)は l と K の分布(正確には lK^P の分布)を T の分布におきかえたものであるが、

$P=1$ の場合には、 T は降雨に無関係なので問題はない。しかし、 $P \neq 1$ の場合には、 T は降雨の強度と分布により変化し、そのままでは考えにくい。そこで単位降雨強度 r_0 が長時間降り続く場合の到達時間 T_0 とその分布を考慮して、式(6)より、

$$T_0 = r_0^{P-1} \left\{ \int_0^T \left[\int_u^T r_0(t-u) dt \right]^{\frac{1-P}{P}} du \right\}^P \quad \text{----- (11)}$$

となるので、上式より任意の降雨分布の際の T に対する T_0 を求め、その T_0 に対する確率密度を用いれば Q の分布を考えたのと同じことになる。

3. 流出試験地への適用

岡山県竜ノ口森林理水試験地に上記の計算法を適用してみよう。同試験地は流域面積 $A = 0.226 \text{ km}^2$ で図-1 のような形をしている。まず、1/2000 地形図上において、河道にそって等間隔 (40 m 毎) に点を取り、その点より斜面上の等高線に直交するように分水界まで線を引き、その長さ l を測定して Hazen 線の上にプロットすると図-2 のようである。図より、 l の分布は標準偏差 $\sigma = 2$ の対数正規に近いことがわかる。また、 K の分布は不明であるが、到達時間 T は斜面長さ l に密接な関係があるから、 T_0 ($P=1$ の場合には $T_0=T$) の分布 $\varphi(T_0)$ を正規分布と仮定する。従って、流出解析に当っては、適当な単位降雨 r_0 を与え、 T_0 の平均値 $\bar{T}_0$ (またはモード T_m) と分散 σ^2 を仮定して流出量を計算し、実測流量に適合するような $\bar{T}_0$ (または T_m) と σ を決めればよい。

$P=1$ とした場合と $P=0.6$ (Manning 則) とした場合の計算例を示すと図-3 のようである。実測値との適合性は $P=0.6$ の方がよいようであり、流出の非線型性を示している。また、いずれの場合にも $\sigma=2$ 附近でもっともよく合っており、 T の分布と地形図から求めた斜面長さ l の分布がほぼ等しいという興味ある結果が得られた。

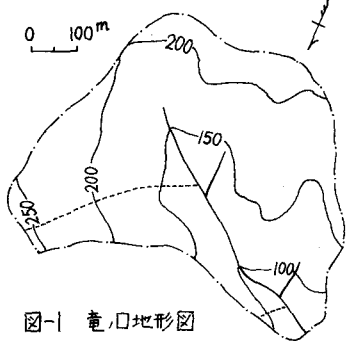


図-1 竜ノ口地形図

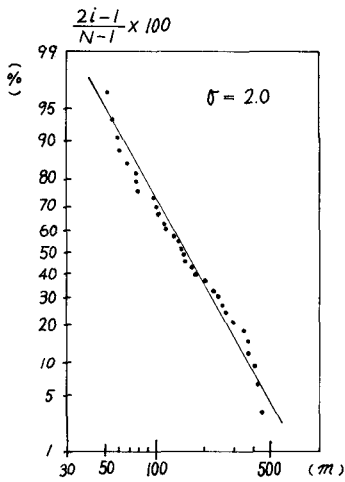


図-2 斜面長さ(l)のハーゼンプロット図

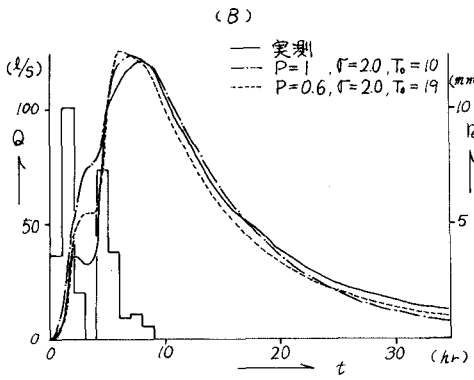
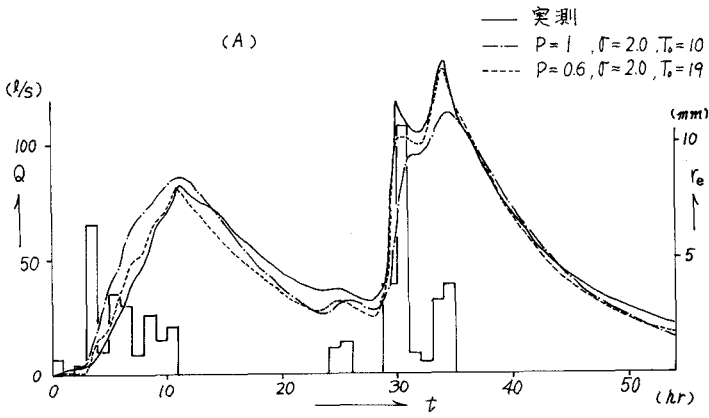


図-3 計算流量と実測流量の比較

参考文献
 1) 椿, 竹石;
 筑後川の流域流出解析
 について,
 土木学会西部支部研究
 発表会論文集
 昭.48.2
 2) 石原, 小葉竹;
 河道系における洪水の集
 中過程,
 オ10回災害科学総合シ
 ンポジウム講演論文集
 昭.48.10