

名古屋大学大学院 学生員 ○片山 正巳

同 工学部 正会員 高木 不折

同 同 正会員 松林 宇一郎

1 概説

河川流域は複雑に分布する山腹斜面と河道との集合体からなるものと考えられ、河川に現れれる水は、このような流域において様々な変換を受けてきたものと解釈される。それだけに流出現象の解明にあたり、流域構造がどのように流出に関与するのかを明らかにすることは重要な課題である。そこで本文では中間流出を対象に、まず到達時間の分布をもとに降雨流出応答関数を導き、そしてこの応答関数に及ぼす到達時間の分布、とくに斜面長、勾配などの地形特性の分布の影響について述べる。

2 降雨流出応答関数の誘導およびその特性

流域内に分布する各山腹斜面での流れを Darcy 型中間流と考え、図1に示すような一次元透水層として表現すると、連続式、Darcy 則よりつぎの基礎方程式が得られる。

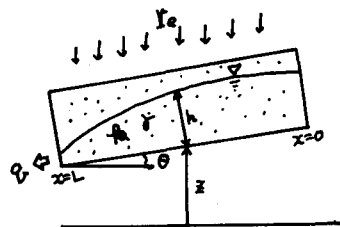


図1 中間流モデル

$$\gamma \frac{\partial h}{\partial t} - h \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} + h (\sin \theta - \frac{\partial h}{\partial x} \cos \theta) \frac{\partial h}{\partial x} = I_a \cos \theta \quad (1)$$

こゝに、 h : 水深、 I_a : 有効雨量強度、 h : 透水係数、 γ : 有効間格キ率、 θ : 透水層傾斜角。しかし実際の山腹斜面では、斜面勾配が大きき左辺第3項の水深勾配 $\frac{\partial h}{\partial x} \cos \theta$ は斜面勾配に比べ無視でき、また拡散項をも無視すると(1)式は結局

$$\gamma \frac{\partial h}{\partial t} + h \sin \theta \frac{\partial h}{\partial x} = I_a \cos \theta \quad (2)$$

となる。松林の研究¹⁾によると、このような単純化は移流現象が卓越する領域でのみ可能であるが、実際の山地流域では松林の拡散なうへに糸の非線型効果を表わすパラメータ β は小さいと考えられ、この単純化は可能であろう。

つぎに単位図を雨水の到達時間を用いて表現してみよう。流域末端の流出流量 Q は、到達時間 T の確率密度関数 $f(T)$ を用いて

$$Q(t) = \int_0^t f(T) I_a (t-T) dT \quad (3)$$

$$\int_0^\infty f(T) dT = 1 \quad (4)$$

と表わすことができる。こゝに S は流域面積である。(3)式のように表現されることから、 $f(T)$ は瞬間単位図に相当することがわかるだろう。ところでこの $f(T)$ は、河道効果を無視し(2)式のように表現される山腹斜面からの流れが直接流域下流端に現れれるとすると

$$f(T) = \int_T^\infty \frac{q(T_s)}{T_s} dT_s \quad (5) \quad \text{こゝに} \quad \int_0^\infty q(T_s) dT_s = 1$$

と表される。ここに T_s は斜面長 L の斜面の上流端から下流端までの到達時間で(6)式のように書け
 $g(T_s)$ は T_s の確率密度関数である。

$$T_s = \frac{L}{B \sin \theta / \gamma} \quad (6)$$

ところで筆者等が地形解析をしてきたところ、実際の流域では斜面長 L 、勾配 $\sin \theta$ および $L/\sin \theta$ は対数正規分布を示すようである。そこで T_s の分布を対数正規分布とし $\ln T_s$ の平均値を $\ln \bar{T}$ 、分散を σ_T^2 と

すると(6)式の瞬間単位図は

$$f(T) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma_T} \exp\left(-\frac{\Delta_T^2}{2}\right) \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \operatorname{erf}(-x) \right\} & (x \leq 0) \\ \frac{1}{\sigma_T} \exp\left(-\frac{\Delta_T^2}{2}\right) \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \operatorname{erf}(x) \right\} & (x \geq 0) \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{ここで } x = \frac{\ln T / \bar{T} - \Delta_T^2}{\sqrt{2} \sigma_T} \quad (8) \quad \operatorname{erf}(x) = \int_0^x e^{-u^2} du \quad (9)$$

となる。(7)式は誤差関数を含んだ形ではあるが、一応、関数として瞬間単位図を表わすことができた。図2は $\ln \bar{T}$ (T の単位は hour)、 σ_T^2 をパラメータとして $f(T)$ を描いたものである。これを見ると σ_T^2 が大きい程、ピークが大きく低減が著しいことがわかる。また $\sigma_T^2=1.0$ を中心に指数低減性が強いことわかるだろう。そこで(7)式のかかりに $f(T)$ を

$$f(T) = \lambda \exp(-\lambda T) \quad (10) \quad \lambda = \frac{1}{\sigma_T} \exp\left(-\frac{\Delta_T^2}{2}\right) \quad (11)$$

と簡単な指数低減として表わすことを考えてみた。図3は(7)、(10)式をそれぞれたまたみ積分して得た単位時間1時間の単位図を示したものである。これを見るとピークは一致し、上昇部も低減部もよい近似を示すことがわかる。以上ことは複雑に分布する斜面から集められた流出の挙動が(10)式のような簡単な指数低減の単位図で表わされ、またその低減係数は(11)式のように地形特性の分布によって得られることを示している。

3 今後の方針

現在、長良川上流の高鷲、剣流域について詳細な地形解析を行なっており、得られる斜面長、勾配の分布をもとに、更ハイドログラフから求めた単位図を検討していきたいと考えている。また流出水が流下していくうちにどのような平均化を受けていくのか検討を加えていきたい。

4 参考文献

(1) 高木 不折、松林 宇一郎：通い中間流出、地下水流出の非線形性について、土木学会論文報告集第283号

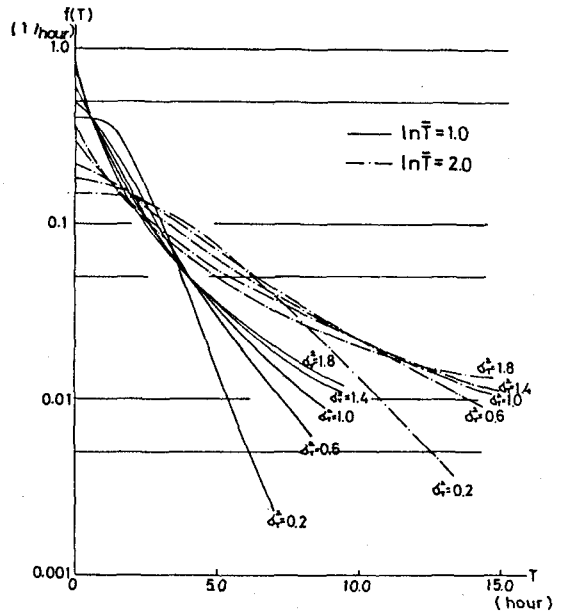


図2 瞬間単位図

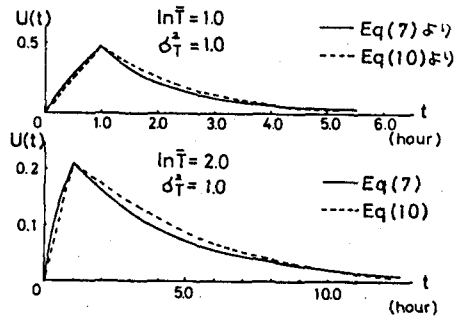


図3 単位図の近似