

山地小流域の流出特性に与える地形特性の効果

中央大学大学院 学生員○大原 憲明
西日本旅客鉄道㈱ 正員 尾崎 宏

中央大学理工学部 正員 池永 均, 山田 正
北見工業大学工学部 正員 内島 邦秀

1. 研究概要: 本研究は山地小流域(0次谷)の流出特性に地形特性がどのように効いているかを明らかにする目的で行われたものである。対象とした小流域は、長野県佐久にある中央大学春日小試験地(千曲川源流部、流域面積 $=0.38\text{km}^2$)である。

2. 流域のモデル化: 図1は本研究で用いたモデルの模式図である。

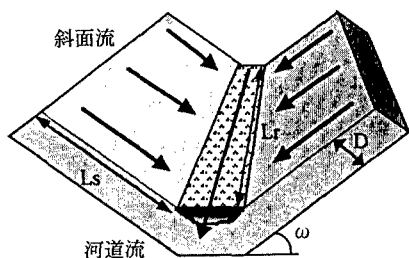


図1 モデルの模式図

斜面流・河道流の2つの段階に分けKinematic wave法により流出解析を行った。基礎式となるKinematic wave方程式は、平均流速 v に関する一般的な表示($v=n^{-1}h^m i^p$)を用いて書き表すと次のようになる。

$$n^{\frac{1}{m+1}} i^{\frac{p}{m+1}} \frac{\partial}{\partial t} q^{\frac{1}{m+1}} + \frac{\partial q}{\partial x} = u(t) \quad (1)$$

流出が河道及び河道近傍の湿潤領域からのものとする³⁾と(1)式は次のようになる。

$$\frac{\partial q_*}{\partial t} = (m+1) \gamma^{\frac{1}{m+1}} q_*^{\frac{m}{m+1}} (r(t) - q_*) \quad (2)$$

$$\text{ただし } \gamma = \frac{i^p}{nL} \quad (3)$$

本研究では(2)・(3)式が基礎式となる。一方雨水が土壌の毛管力に支えられ、直接流出に寄与しない累積降雨量を保水能、それが流域全体に占める割合を保水能分布と定義する²⁾。保水能分布の算出方法は図2のように総降雨

量と総損失流量との関係に(4)式をあてはめ、最小二乗法により係数 a, b を決定する。

$$Q_l = a \tanh(bR) \quad (4)$$

このとき保水能分布は次の式で表される。

$$S(h) = (1-ab)\delta(h) + 2ab^2 \frac{\sinh(bh)}{\cosh^3(bh)} \quad (5)$$

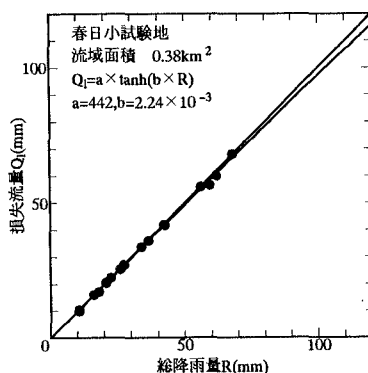


図2 総降雨と総損失量

3. 斜面流における等価粗度の検討: 斜面流の等価粗度 n と土壌特性との関係はすでに山田ら²⁾によって明らかにされているが、ここではそれを拡張して扱った。飽和不飽和中間流全体を支配する方程式(Richardsの式)は土層厚に比較し斜面長が長いとき鈴木ら³⁾により次のように導出されている。

$$Dw \frac{\partial \bar{S}_e}{\partial t} = -DK_s \sin \omega \frac{\partial}{\partial x} \bar{S}_e^\beta - E \cos \omega \quad (6)$$

ただし、 E : 蒸発散強度、 S_e : z 方向平均有効飽和度、 w : 有効間隙率、 D : 表層土層厚、 K_s : 飽和透水係数、 ω : 斜面勾配。これはKinematic waveの式形になっていることが分かる。次に、不飽和領域に拡張されたダルシー則を窪田ら³⁾にならない簡易化すると次式となる。

$$q = K_s \bar{S}_e^\beta D \sin \omega \quad (7)$$

(7)式を(6)式へ代入すると次のようになる。

キーワード: 山地小流域、地形特性、中間流、等価粗度、土壌特性

連絡先: 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 (03-3817-1807)

$$D^{\frac{\beta-1}{\beta}} w K_s^{-\frac{1}{\beta}} (\sin \omega)^{-\frac{1}{\beta}} \frac{\partial}{\partial t} q^{\frac{1}{\beta}} + \frac{\partial q}{\partial x} = -E \cos \omega \quad (8)$$

(1)式と(8)式は、斜面における中間流を異なる視点から眺めたものに他ならない。(1)式と(8)式を比較する事により、(9)式と(10)式が導かれる。

$$\beta = m + 1, p = 1 \quad (9)$$

$$n = \frac{D^{\beta-1} w^{\beta}}{K_s} \quad (10)$$

(10)式より従来実測に合うように決定されてきた等価粗度係数 n は、流域の表層土層厚 D 、飽和透水係数 K_s 、有効間隙率 w により決定される。以上のことから、Kinematic wave方程式の非線形性は、中間流の不飽和特性によって説明されることが明らかになった。

4. 地形特性の導入：流出解析で用いた地形特性パラメータは表のようになる。

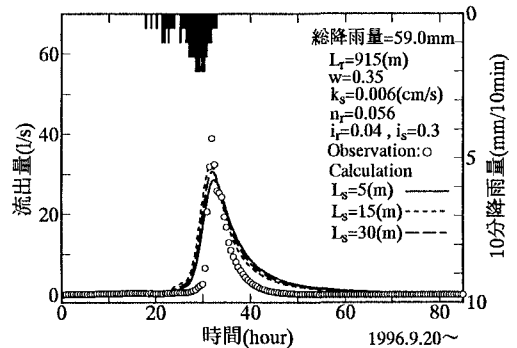
表 地形特性を表す各パラメータの数値

	パラメータ名	記号	数 値	備 考
斜面等価粗度	斜面長	L_s	5.15, 30(m)	変 化
	斜面勾配	i_s	0.3	地形図
	表層土層厚	D	30(cm)	ボーリング調査
	有効間隙率	w	0.35	
河道流	飽和透水係数	K_s	0.006(cm/s)	河床形状測定結果
	河道長	L_r	915(m)	
	河床勾配	i_r	0.04	
	河床粗度	n_r	0.056	

※透水性の減少を表す無次元パラメータ $\beta=5$ とした。

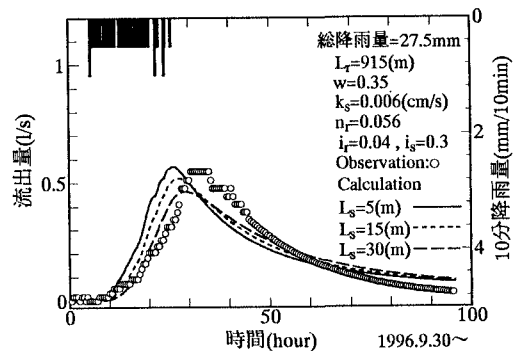
斜面の土壌特性の特定のために河道近傍においてボーリング調査を行った。その結果より表層土層厚 $D=30$ (cm)となり、その土質が砂まじり粘土であることから飽和透水係数、有効間隙率を推定した。以上より(10)式から等価粗度係数は $n_s=0.7$ と決定できる。斜面勾配は地形図より、河道距離・勾配は測定結果より定まる。河道流における底面粗度は跳水の影響を考慮した値を用いる¹⁾。また流出寄与域は変動すると考えられるので斜面長は変化させた。なお直接流出の分離は、ハイドログラフの減水曲線のexponential勾配を利用して求めた。

5. 解析結果：図3, 4は流出計算結果を示している。総降雨量が多い場合(図3)、少ない場合(図4)ともに斜面長を変化させることにより



春日小試験地(流域面積=0.38km²)

図3 流出計算結果(大降雨時)



春日小試験地(流域面積=0.38km²)

図4 流出計算結果(小降雨時)

計算値は観測値よく再現している。つまり地形特性を考慮することにより解析結果により精度が得られることがわかる。また図3, 4から斜面長が短くなるほどピーク流量は大きくなりピーク時間は早くなる。等価粗度と斜面勾配が流域固有の値であることから、(3)式に(10)式を代入した次式が流域の流出特性を表すパラメータとなる。

$$\gamma = \frac{i K_s}{D^{\beta-1} w^{\beta} L} \quad (11)$$

つまり、流出特性は勾配 i 、斜面長 L 、表層土層厚 D 、飽和透水係数 K_s 、有効間隙率 w 、透水性の減少の程度を表す無次元パラメータ β 、および保水能分布を決めるパラメータ a, b によって支配される。

参考文献 1) 山田正, 池内正幸, 堀江良徳: 第38回年次学術講演会講演概要集第2部, 1984.

2) 嶋田啓一, 山田正, 藤田睦博: 第33回水理講演会論文集, 1989. 3) 塚本義則: 森林水文学, 文永堂出版, pp108-119, 192-193, 1992.