

中央大学理工学部 学生員○大原 憲明 中央大学理工学部 正員 池永 均, 山田 正
中央大学大学院 学生員 尾崎 宏 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)の流出特性と地形特性の関係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、長野県佐久の春日小試験地(千曲川源流部、流域面積=0.38km²、以下試験地と呼ぶ)である。

2. 河道流における底面粗度の検討

討:著者らは河道中央部に沿って河床縦断形状を測定した。図1は河床波のスペクトル特性を示したものである。この図からスペクトルは基本波の整数倍の卓越波長が存在し、高波数部分において波数の-2乗で減衰している。この結果は著者の前報²⁾と同様の結果であり、山地河川に共通な特性であることが分かる。

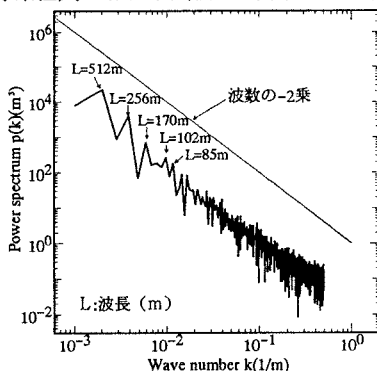


図1 河床波のスペクトル特性

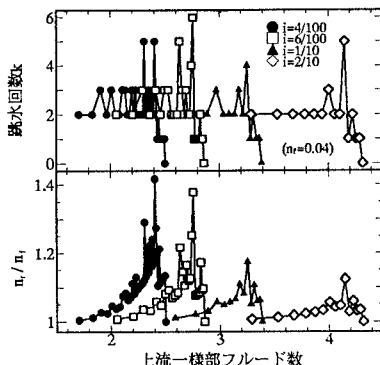


図2 跳水回数と跳水を考慮したときの底面粗度の増加率

また跳水によるエネルギー損失を考慮した付加的なマンニングの粗度係数 n_i を求めた¹⁾。図2は跳水回数と跳水を考慮したときの底面粗度の増加率を示しており、最大で約1.4倍増加していることが分かる。

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³⁾によって議論されているが、ここではさらに厳密に扱った。斜面流の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(1)式となる。一方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、(2)式(E :蒸発散強度、 S_z : 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)のように示され、非線形のKinematic waveの式形になることが、鈴木ら⁴⁾により導出されている。次に、不飽和領域に拡張されたダルシー則を窪田ら⁴⁾にならい簡易化すると(3)式となる。(3)式を(2)式へ代入すると(4)式を得る。(1)式と(4)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(4)式を比較する事により、(5)式と(6)式が導かれる。(6)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、中間流の不飽和性によって説明されることが明らかになった。

4. 流出解析:図3は本研究で用いたモデルの模式図である。斜面流には(6)式から得られる等価粗度を与え、河道流には跳水の影

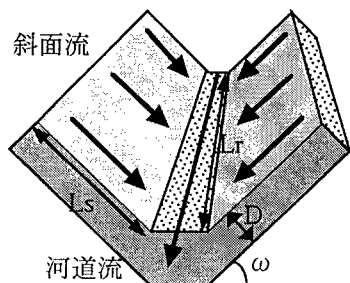


図3 モデルの模式図

表 本研究で用いる基礎式

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

$$Dw \frac{\partial \bar{S}_e}{\partial t} = -DK_s \sin \omega \frac{\partial \bar{S}_e}{\partial x} - E \cos \omega \quad (2)$$

$$q = K_s \bar{S}_e^\beta D \sin \omega \quad (3)$$

$$D^{\frac{\beta-1}{\beta}} w K_s^{-\frac{1}{\beta}} (\sin \omega)^{-\frac{1}{\beta}} \frac{\partial}{\partial t} q^{\frac{1}{\beta}} + \frac{\partial q}{\partial x} = -E \cos \omega \quad (4)$$

$$\beta = m + 1 \quad (5)$$

$$n = \frac{D^{\beta-1} w^\beta}{K_s} \quad (6)$$

$$Q_i = a \tanh(bR) \quad (7)$$

$$S(h) = (1-ab)\delta(h) + 2ab^2 \frac{\sinh(bh)}{\cosh^3(bh)} \quad (8)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = (m+1) \gamma^{\frac{1}{m+1}} q^{\frac{m}{m+1}} (r(t) - q), \quad \gamma = \frac{i^p}{nL} \quad (9)$$

響を考慮した底面粗度を与えた。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(図4)。図5は総降雨量と流出率を示している。図より流出率は0.01~0.1と非常に小さいことが分かる。次に雨水が土壤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。保水能分布の算出方法は図6のように総降雨量と総損失流量との関係に(7)式をあてはめ、最小二乗法により係数a, bを決定する。このとき保水能分布は(8)式で表される。流出が河道及び河道

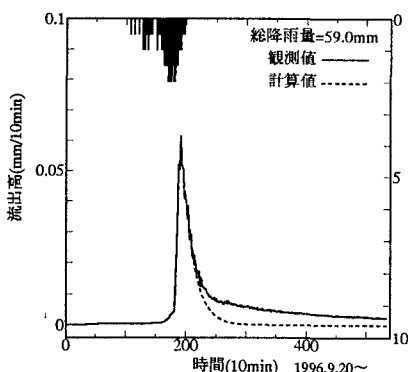


図4 降雨量と流出高の時系列

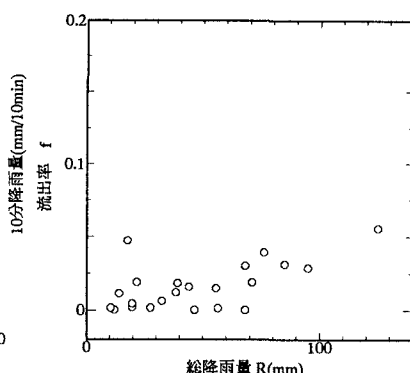


図5 総降雨量と流出率の関係

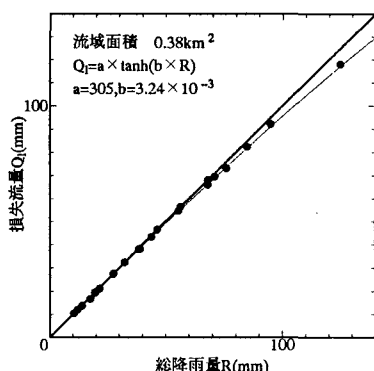


図6 総降雨量と総損失流量の関係

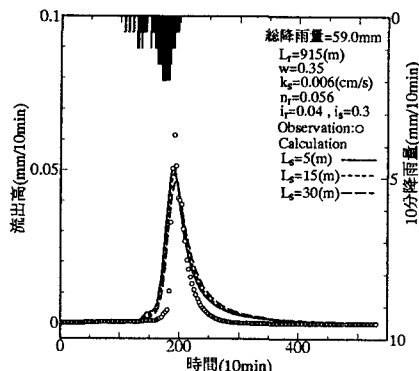


図7 流出計算結果(大降雨時)

近傍の湿润領域からのものとする³⁾と(1)式は(9)式となる。本研究では(9)式が基礎式となる。地形特性としては地形図より斜面勾配は $i_s=0.3$ である。河道距離・勾配は測定結果より $L_r=915(m)$, $i_r=0.04$ であり、底面粗度は2節より跳水を考慮して $n_r=0.04 \times 1.4=0.056$ である。斜面の土壤特性は現地観測の結果より表層土層厚 $D=30(cm)$ とし、砂まじり粘土層であることから飽和透水係数 $K_s=6.0 \times 10^{-3}(cm/s)$, 有効間隙率 $w=0.35$ とした。以上より3節の(6)式から等価粗度係数は $n_s=0.7$ と決定できる。

5. 解析結果: 図7, 8は斜面長 L_s を変化させた場合の流出計算結果を示す。総降雨量が多い降雨(図7)、少ない降雨(図8)ともに斜面長を変化させることにより計算値は観測値と一致している。3節より土壤特性によって(飽和透水係数と有効間隙率に適切な値を与える

ことにより)等価粗度 n が決まることから、地形特性を考慮することにより解析結果に良い精度が得られることがわかった。また図7, 8から斜面長が短くなるほどピーク流量は大きくなる。等価粗度と斜面勾配が流域固有の値であることから、(9)式の $\gamma = \frac{i^p}{nL}$ が流域の流出特性を表すパラメータとなる。

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)池永均, 山田正, 鍋田博之, 内島邦秀, 田辺光一, 尾崎宏:第23回関東支部技術研究発表会講演概要集, 1996. 3)嶋田啓一, 山田正, 藤田陸博:第33回水理講演会論文集, 1989. 4)塚本義則:森林水文学, 文永堂出版, pp108-119, 192-193, 1992.

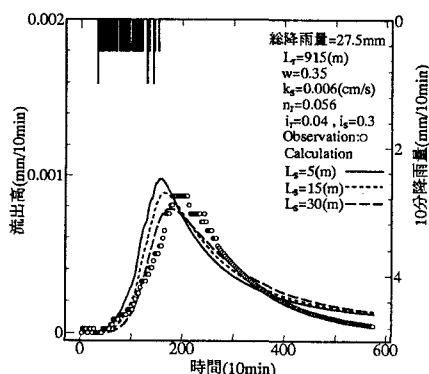


図8 流出計算結果(小降雨時)