

II-26 流域地形・表層特性による流出寄与域の変化について

北海道大学大学院 学生員 洪 延芳
山梨大学工学部 正員 砂田憲吾

1. はじめに

流出解析では量的な把握と共に現象の物理過程を十分反映する必要がある。現象に注目して、これまでに流出寄与域の有用な概念が提示され実証されている。この概念は流域斜面表層内の飽和域の変化とそれに対応する表面流の挙動により説明されるが、それらは流域の形状・斜面長・こう配など斜面特性の空間分布に支配される。本研究は流域斜面の実地形をより忠実に考慮して、表面流・中間流統合の力学モデルを実流域に適用し、特に表層透水係数・表層厚の変化による流出への影響を調べ、流出寄与域の発生とその変動を考察したものである。

2. 台形斜面を要素とする表面流・中間流統合モデル

等高線を根拠とする流域斜面の台形分割モデルはすでに発表¹⁾している
のでここではその概要を示す。一定こう配、台形斜面上の kinematic wave
モデルにおける基礎方程式は(1)、(2)式で与えられる。ここに、 t : 時間、
 h : 水深、 x : 上流側からの距離、 $b(x)$: 斜面幅、 $r_e(t)$: 有効降雨強度、
 $\alpha \cdot m$: 流れに関する定数で、表面流(Manning型)は(3)式、早い中間流(
Darcy 型)は(4)式のような内容を持つ。ここに、 Q_s : 斜面こう配、 η_s : 斜
面の等価粗度、 k : 表層土の透水係数、 λ : 有効空隙率である。以下の中
間流では見掛けの水深 h' (5)式、見掛けの透水係数 k' (6)式、表層厚 d
で議論する。(1)式、(2)式における特性微分方程式は(7)式、(8)式で与えられる。

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

$$q = \alpha h^m \quad (2)$$

$$\alpha = \sqrt{\sin Q_s} / \eta_s, \quad m = 5/3 \quad (3)$$

$$\alpha = k \sin Q_s, \quad m = 1 \quad (4)$$

$$h \lambda = h' \quad (5)$$

$$k / \lambda = k' \quad (6)$$

$$\frac{dh}{dt} = \alpha m h^{m-1} \quad (7)$$

$$\frac{dh'}{dt} = r_e(t) + \alpha c h'^m \quad (8)$$

$$r_e^* = r_e(t) + \alpha c d^m - \frac{d-h_0}{\Delta t} \quad (9)$$

ここに、 $c = \frac{1}{b(x)} \frac{db(x)}{dx}$ である。斜面形状により表層からの浸出、あるいは表面流から表層へのしみこみも考慮して、表面流への有効供給強度(r_e^* 、(9)式の r_e に相当)は(9)式になる。ここに、 d : 表層厚、 h_0 : t 前の水深である。

3. 実流域への適用と流出特性の検討

流域面積 0.184 km² の荒川²⁾ 試験地に対し台形斜面へ分割する。要素の(上・下)幅: 斜面長は30~115 m程度、こう配は0.3~0.6程度である。分割斜面の上・下流端は平行辺で近似する。観測された流量のうち、流量減水部こう配急変点法に基づいて基底流出を分離し、直接流出率を決め、これに見合うように表層からより深層への浸透率を決める。

(1) 表層厚(d)と透水係数(k)の変化による流出特性の変化

図1は表層厚(d)を固定し、透水係数(k)を変化させた場合の一例である。この例では表面流が全直接流出の λ 以下である。ほぼ観測ハイドログラフを再現し得るが増水部・減水部の多少の不一致は前に述べた深層への浸透率の仮定(中間流水深に比例)とも関連していると考えられる。また k が大きいほど流出が早くなる傾向を取ることがわかる。

同じ k に対し、 d を変化させる一例は図2で示す。 $d=14, 18$ (cm)の場合、ほぼ同じハイドログラフを得ることがわかる。これは

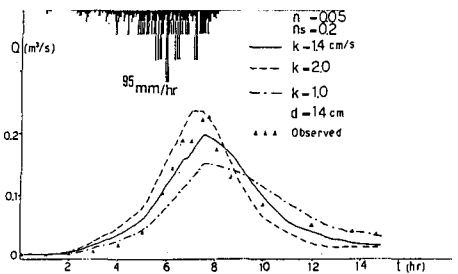


図1 透水係数の違いによる流出への影響

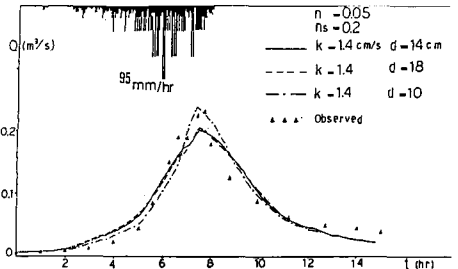


図2 表層厚の違いによる流出への影響

同じ透水係数に対し斜面の飽和域の範囲が多少違ってても全流域において表面流を発生する斜面は同じ、そのほかの斜面は地形形状の効果により表面流を発生していないと考えられる。表層厚がある程度以下の値になると急激に表面流を発生する斜面が増え、表層飽和の範囲が拡大する。その結果はより鋭い流量ピークをもたらす。

(2) 流出寄与域の変動

全斜面で同一の k , d を用いる変動飽和域の分布の例を図3に示す。右図のわずが流路上流部の限られているところしか飽和域が発生しない場合に対し左図では k , d も小さくさせる場合は表面流を発生する斜面が多くなり、範囲も拡大することがわかる。微小河道を無視して斜面にとったところ(NO.14, NO.16)での大規模の飽和域が生じていることから表面流、水みち流の発生が流域斜面の地形形状、こう配、斜面長さなどに大きく左右されることが考えられる。また発散斜面および斜面長が短い収束斜面においては飽和域は発生しにくいこともわかる。

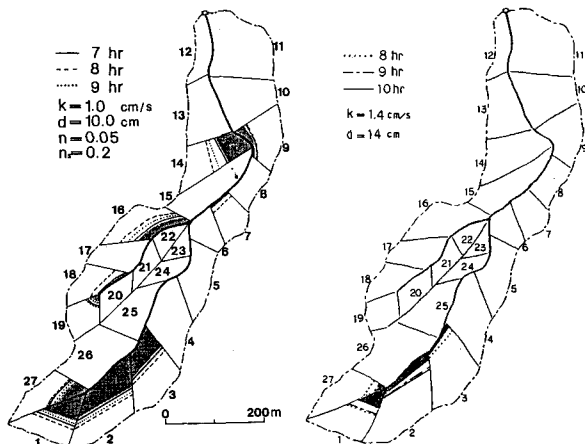


図3 変動飽和域の分布

同じ長 (d) による飽和域の時間変化を比較する(図4)。透水係数と表層厚の減少と共に最大飽和域は増大する傾向がある。一方 k が大きくなるほどより早期に飽和域を生じさせる傾向も知れる。降雨終了後は表層中間流の水面形がそのまま一定伝播速度をもて

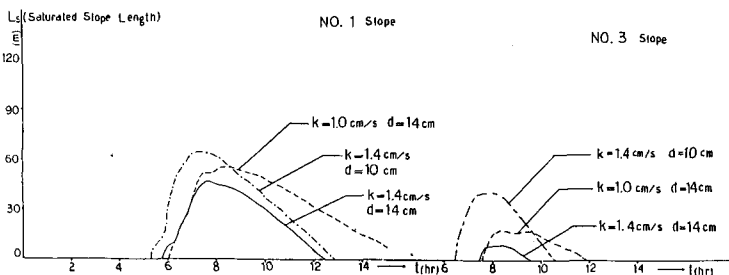


図4 斜面飽和域の時間変化

流下するため飽和域は直線で減少する。斜面形状が比較的小さい NO.3 斜面では表層からの浸出が少ないため、飽和域の上流に拡大することができなく、ピーク付近が鈍い形を示している。

(3) 他の流出資料による検証

得られた結果から代表パラメータ(表層透水係数・表層厚)を同流域の小洪水に適用した結果、ほぼ同じ最適値が得られた。また中間流のみにより観測ハイドログラフを基本的に再現できることがわかる(図5)。

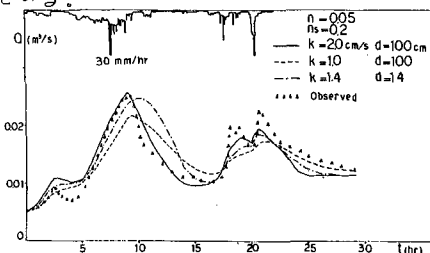


図5 小洪水へのパラメータの適用

4. まとめ

本研究では流出過程に大きく関与する斜面地形特性(斜面長・斜面形状・こう配等)をより忠実に考慮して表面流・中間流の統合数値モデルを構成し、表層透水係数・表層厚の変化が流出現象におよぼす影響を検討した。その結果、それらは飽和域の発生・拡大・縮小に大きく関与することがわかる。推定された流出寄与域の時間的・空間的分布が提示され、その特徴は従来の観測結果をよく説明する。なお対象山地流域において、中・小洪水における表面流出の割合はかなり少ないものと考えられる。こゝで展開されたモデルは地下水流出過程と結合させれば、より完全な流出モデルとして構成し得るものと考えている。

[参考文献] 1) 砂田・洪・流域斜面特性の分布が直接流出に及ぼす影響, 第30回水理講演会論文集, 1986.

2) 荒川試験地水文観測資料, 京大防災研究所水資源研究センター, 1976.