

流域管理システム（仮称）の検討・開発についてー六甲山系住吉川を事例に

国土交通省 北陸地方整備局 神通川水系砂防事務所
財団法人 砂防フロンティア整備推進機構
八千代エンジニアリング株式会社
京都大学大学院 農学研究科

○富田陽子
森俊勇・宮貴大
武蔵由育・鈴木伴征
水山高久

1. はじめに

六甲山系は、過去にほぼ全山が禿しゃ地（無立木地）になった時代があり、豪雨による土砂災害も経験している（S13, S36, S42）。その復旧・復興の柱の1つとして、砂防施設の整備と砂防指定地や保安林の指定による山地の土地利用の制限があった。しかし市街化圧力の強い地域であり、民有地については必ずしも市街化を食い止めることが出来なかった。

「都市山麓グリーンベルト」は、都市計画法により「防砂の施設」として位置づけられ、流域管理の視点も含め山地が緑地として保全されていくことが期待できるようになった。本研究は、砂防施設による土砂流出量の変化に加え、都市山麓グリーンベルトの整備・維持による日常的な降雨による流域からの土

砂の流出量の変化を予測し、砂防施設の改修（たとえばスリット化）や除石等の維持作業を行うことによる平常時を含めた最適な流域管理に資すること、現在計測しているデータと流域管理計画との関連を明らかにし、流域管理行為をなすために計測すべきデータを明確にすることを目的に、流域管理計画の策定を支援する「流域管理システム（仮称）」を検討・開発するものである。

2. 流域管理システム*の概要

「流域管理システム」は、過去に提案した「砂防施設計画策定支援システム（CASFPS）」*1に降雨流出過程および土砂生産・流出過程の解析モデルを加え、図-1 に示すように流出解析モデル、土砂流出計算モデル、河床変動解析モデルの3つの解析モデルを統合して構築した。

地形は図-2 に示すように斜面部、谷部、河道部の3通りに区分し、斜面部から谷部、谷部から河道部、河道部の流域上流端から下流端までの水・土砂の移動を追跡可能なモデルとした。

流出解析モデルは、表面流・中間流統合型 kinematic wave モデル*2により構築した。初期降雨損失を表現できるようにするため2層の中間流層からなるモデルとし、斜面部について基礎式は(1)および(2)のようになる。谷部については式(1)の右辺の r を斜面部から流出する流量に置き換えて適用することにより同様に表される。斜面部および谷部は縦断方向に10m程度の間隔で分割しLax-Wendroff法を用いて差分を求める。

土砂流出解析モデルは、斜面部および谷部に移動可能な土砂量と粒度分布を初期条件として与え、流出解析と同じ斜面部および谷部の縦断方向の各分割において流砂量と移動可能土砂量の変化を算出する。斜面部における基礎式は(3)に示す通りであり、谷部においては左辺の L_v を谷幅に、右辺の Δv を斜面からの流出土砂量に置き換えて同様に表される。流砂量は、芦田・高橋・水山による掃流砂量式および芦田・道上による浮遊砂量式を用いて算出する。谷部については、土石流の発生条件に関する高橋(1977)の研究*3を参考に、式(4)の条件を満たす場合には土石流が発生するものとし高橋の土石流土砂濃度式を用いて流砂量を算出する。

* 特許出願中（特願 2012-92191）

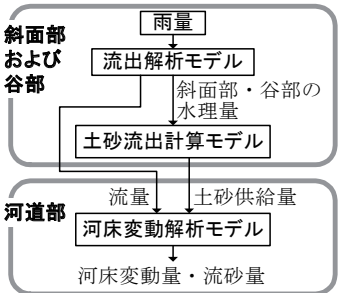


図-1 流域管理システムの概念図

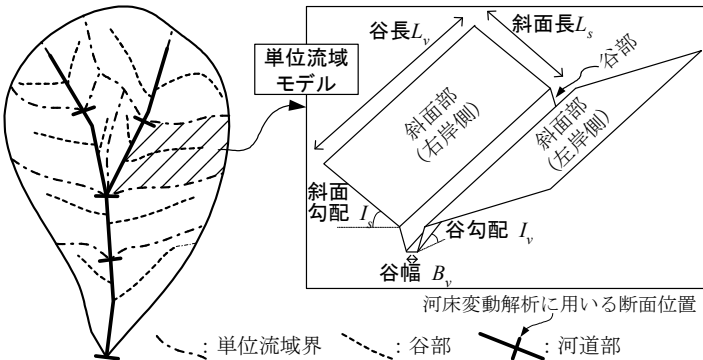


図-2 流域管理システムにおける地形モデル化の概念図

$$\frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q_{ws}}{\partial x} = r \tag{1}$$

$$q_{ws} = \begin{cases} \frac{k_{ps2} \cdot I_s}{\gamma} h_s & (h_s < d_{ps2}) \\ \frac{k_{ps1} \cdot I_s}{\gamma} (h_s - d_{ps2}) & (d_{ps2} < h_s \leq d_{ps1} + d_{ps2}) \\ \frac{I_s^{1/2}}{n_s} (h_s - d_{ps1} - d_{ps2})^{5/3} + \frac{k_{ps1} \cdot I_s}{\gamma} d_{ps1} + \frac{k_{ps2} \cdot I_s}{\gamma} d_{ps2} & (d_{ps1} + d_{ps2} < h_s) \end{cases} \tag{2}$$

h_s : 斜面水深, q_{ws} : 斜面単位幅流量, r : 雨量, I_s : 斜面勾配、 n_s : 斜面におけるマンニングの粗度係数、 d_{ps1} : みかけの斜面中間流上層厚, d_{ps2} : みかけの斜面中間流下層厚, k_{ps1} : 斜面中間流上層の透水係数, k_{ps2} : 斜面中間流下層の透水係数, γ : 土層の有効空隙率

$$\frac{\partial V_{ls}}{\partial t} + \frac{L_v}{(1-\lambda)} \frac{\partial q_{ls}}{\partial x} = \Delta v \tag{3}$$

V_{ls} : 斜面上の移動可能な土砂量, λ : 空隙率, L_v : 谷長, q_{ls} : 斜面単位幅流砂量

$$I_v \geq \frac{C_* (\sigma - \rho)}{C_* (\sigma - \rho) + \rho (1 + h_{v0}/d_m)} \tan \phi \tag{4}$$

I_v : 谷勾配, C_* : 堆積土砂濃度, σ : 砂礫の密度, ρ : 水の密度, h_{v0} : 谷部における表面流の水深, d_m : 谷部の平均粒径, ϕ : 内部摩擦角

河床変動解析は、流出解析モデルで算出された河道流量、土砂流出計算モデルで算出された河道への土砂供給量を与え、水面形計算に不等流計算を用いた河床変動解析手法^{*1,4}により、流域下流端までの土砂移動を追跡するモデルとした。

3. 流出解析モデルの検証

本研究では、従来は初期損失雨量と一次流出率で表される損失雨量について、中間流層を2層とすることによる表現を試みた。本稿では、中間流層の下層の層厚および透水係数を変化させた場合の解析結果を示す。

検証対象は、図-3に示す六甲山系住吉川流域(流域面積 11.16 km²)である。雨量は荒神山観測所の5分間隔雨量を用いた。解析結果の流量は、西滝ヶ谷堰堤地点(流域面積 1.4 km²)および白鶴堰堤地点(流域面積 11.0 km²)における観測流量との比較を行った。

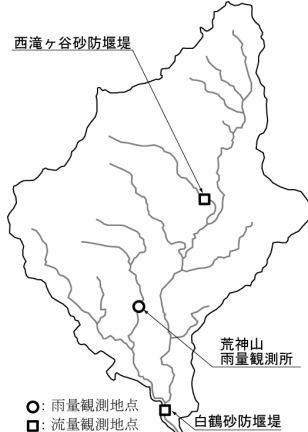


図-3 検証計算対象流域の概要

解析ケースを表-1に示す。Case-0は従来の初期損失雨量と一次流出率を用いたケースであり、中間流層は上層の1層のみが設定されている。再現性が良好となる条件として斜面部の層厚 0.15m、透水係数 0.0008m/s とし、谷部は中間流を考慮せず表流水のみ解析する条件とした。Case-1~4では中間流層の下層について層厚を上層と同じとし、透水係数を変化させた。

図-4に平成16年10月19日に発生した総雨量 206mmの降雨を対象とした解析結果を示す。図-4(a)では、中間流下層の透水係数を上層より1オーダー小さい 0.00008m/s とした場合に、流量が立ち上がるまで(10/20 12:00 まで)の解析結果が実測値に適合している。

一方、透水係数を小さくすることによりピーク流量は実測流量と比較して小さくなる。これは降雨が中間流層の下層に貯留される効果が過大になっているためと考えられることから、中間流下層の層厚を小さくした Case-5~6 の解析を行った。この場合の解析結果は図-4(b)に示すようになり、中間流下層の層厚を 0.05m とした Case-6 で実測流量に近い解析結果となった。

Case-6 の解析結果は初期損失雨量と一次流出率を用いた Case-0 に近いものとなり、解析結果の精度向上には至っていないものの、中間流層を2層とし、下層の透水係数を小さくすることで損失雨量の効果を表せることが明らかとなった。

4. おわりに

本稿では、流域管理システムとして構築した解析モデルのうち、流出解析モデルについて中間流層を2層とすることにより、損失雨量の効果を表すことが可能であることを示した。

今後、土砂動態の検証計算を行った上で、構築したモデルを用いて砂防施設効果や除石による効果の検討を行い、研究発表会において報告する予定である。

表-1 流出解析モデルの検証計算ケース

項 目		Case-0	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
斜面部	上層 透水係数 k_{ps1} (m/s)	0.0008						
	中間層厚 d_{ps1}^{**} (m)	0.15						
	下層 透水係数 k_{ps2} (m/s)	—	0.0	0.0004	0.0002	0.00008		
	中間層厚 d_{ps2}^{**} (m)	—	0.0	0.15	0.15	0.15	0.10	0.05
谷部	表層 等価粗度係数 n_s	0.4						
	表層 等価粗度係数 n_v	0.4						
空隙率 γ		0.4						
初期損失雨量 r_{loss} (mm)		50	—	—	—	—	—	—
一次流出率 f		0.1	—	—	—	—	—	—

※ 層厚はみかけの(空隙分の)厚さである。

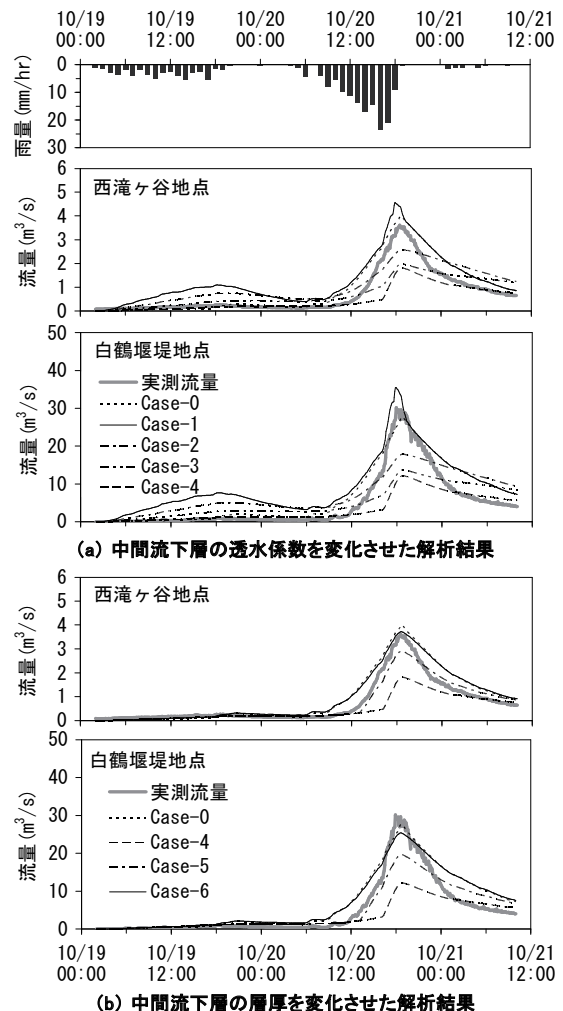


図-4 流出解析モデルの検証計算結果

*1 水山高久・富田陽子・井戸清雄・藤田正治(1998):砂防施設計画策定支援システム-六甲山住吉川を事例とする研究-, 砂防学会誌, Vol.50, No.6, p.40-43

*2 高棟琢馬・椎葉充晴(1981):Kinematic Wave 法への集中効果の導入, 京都大学防災研究所年報, 第24号 B-2, p.159-170

*3 高橋保(1977):土石流の発生と流動に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第20号 B-2, p.405-435

*4 大久保駿・水山高久・蒲正之・井戸清雄(1997):連続するスリット砂防ダムの土砂調節効果, 砂防学会誌, Vol.50, No.2, pp.14-19