

25 浸透流解析を用いた土砂生産モデルと砂防計画への適用 — 春木川における検討 —

助砂防・地すべり技術センター ○渡部康弘、松村和樹
建設省富士川砂防工事事務所 久保田哲也
株式会社 コルバック 坂場義雄

1. はじめに

現行の砂防計画では計画で扱う土砂量を経験的・統計的手法で求めているが、土砂生産は崩壊履歴や雨量によって変化するものである。一方、各種の調査法の発達やコンピューター能力の向上などによりここ2、3年の間に土砂生産機構がより理論的な物理手法で取り扱えるようになって来ている。

本報はこのような物理的な手法を用いた土砂生産モデルを作成し、昭和57年災害時の土砂生産との比較を行い、計画降雨時の計画生産土砂量を推定した。

対象とした流域は富士川水系早川右支川の春木川で、流域面積20.8km²、流路延長9.05kmの荒廃河川である。春木川は糸魚川—静岡構造線の西縁にあたり、本流域は急峻な山岳地形を呈し、七面山の大規模崩壊がある。地質は春木川左岸側は古第三紀層である瀬戸川層が、春木川右岸側は新第三紀層である楡形山層が分布している。

2. 崩壊特性

昭和57年8月の台風10号による災害時での崩壊特性について述べる。

2.1 降雨特性

春木川流域の平均連続雨量は648mmであり、図-1に示す地質・標高別にみた連続雨量の関係から、雨は楡形山層よりも瀬戸川層に、標高の高い所に多く降っていることがわかる。

2.2 崩壊特性

新規崩壊について崩壊地面積・平均傾斜・標高と崩壊個数との関係を図-2に示す。

これから次のことが言える。

- ・崩壊地面積は200m²以下のものが多く、全体の8割を占める。
- ・瀬戸川層は45°～50°の傾斜での崩壊が多く、楡形山層は40°～45°の傾斜での崩壊が多い。
- ・標高別では瀬戸川層は1100～1300m、楡形山層は900～1100mで崩壊が多く発生している。

図-3は新規崩壊について崩壊面積率と雨量の関係を示したもので、データ数も少なくばらつきもあって明確な対応関係はないようである。

3. 浸透流解析による土砂生産モデル

土砂生産には表層崩壊、溪岸崩壊、土石流、地すべり、大規模崩壊等によるものがあるが、本報ではこのうちの表層崩壊を対象とする。

3.1 予備的検討

3.1.1 土質特性

流域内の4ヵ所（瀬戸川層3ヵ所、楡形山層1ヵ所）でカット面から試料をサンプリングした後、室内土質試験を行って土質定数を次のように設定した。

土の単位体積重量：湿潤 $\gamma_t = 1.9 \text{ t/m}^3$ 、飽和 $\gamma_{sat} = 2.0 \text{ t/m}^3$ 、水中 $\gamma_w = 1.0 \text{ t/m}^3$

有効間隙率： $\lambda = 0.35$ 、透水係数： $k = 10^{-3} \text{ cm/s}$ 、粘着力： $c = 0.5 \sim 1.0 \text{ t/m}^2$ 、内部摩擦角： $\phi = 25^\circ$

3.1.2 有限要素法による飽和・不飽和浸透流解析

降雨の地下への浸透がどの程度の時間オーダーであるか調べるためにFEMによる飽和・不飽和浸透流解析を行った結果、

- ① 上記土質定数のもとでは降雨に対して地ト水位上昇は表層厚1mあたり半日程度遅れることがわかり、崩壊が生じるタイミングが降雨中かあるいは降雨終了直後であることからすると飽和・不飽和浸透流解析の結果をそのまま使用することは適当でない
- ② 実際の斜面の表層は一様均質でなく、また微細なクラックや小動物による穴などの存在によってみかけ上の透水係数が大きくなっている（パイプ流的な流れが支配的）

ことなどから、FEMによる飽和・不飽和浸透流解析のように時間もコストもかかる解析を使用することは少々無駄があるように思われる。

3.1.3 土砂生産モデル

山腹における土砂生産モデル作成のフローチャートを図-4に示す。モデルは土砂生産の場として単位斜面を抽出、個々の斜面をデジタイザーを使って計測して斜面の要因別分類を行い、モデル斜面を対象として浸透流解析・斜面安定解析を行って、崩壊の発生非発生を把握する降雨・浸透・斜面安定の物理モデルである。

a) 降雨

降雨の地中への浸透は川上が提唱する流出率を用いて次式で求める。

$$R_e = 15.7 \times R / R_t^{3/4} \quad \text{、ここで } R_e: \text{浸透量、} R: \text{降雨量、} R_t: \text{累加雨量}$$

b) 差分法による2次元飽和浸透流解析

沖村他の提案した山地斜面の浸透流解析モデルを用いた。

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = r \quad \begin{array}{l} \lambda: \text{有効間隙率、} \quad h: \text{みかけの浸透水位(m)} \\ q_x: \text{単位時間あたりの単位幅流量(m}^3/\text{h} \cdot \text{r)} \\ r: \text{有効降雨強度(m/h} \cdot \text{r)} \\ I: \text{動水勾配、} \quad k: \text{透水係数(m/h} \cdot \text{r)} \end{array}$$

$$q_x = h k I_x$$

$$q_y = h k I_y$$

解析上の前提条件は次の通りである。

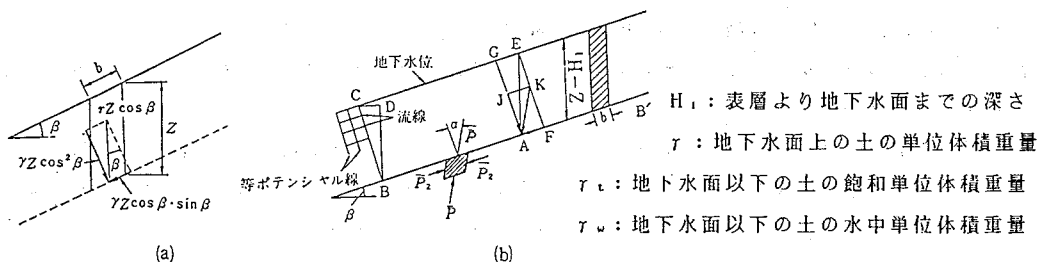
- i) 浸透量はすべてただちに基盤岩に達し、浸透水面を形成する
- ii) 初期動水勾配Iは各格子点間の基岩標高より得られる基岩勾配とする
- iii) 透水係数k、有効間隙率λ、有効降雨rはすべての格子点で一様とする

浸透流解析はすべての単位斜面（斜面数937）について行うのではなく、要因別に分類したモデル斜面（斜面数48）で2次元解析を行った。具体的には図-5に示すように形状別に求めた浸透流解析結果と地域特性を考慮して求めた単元流域の浸透量から、モデル斜面の地下水深を求めた。

c) 斜面安定解析

すべり面が任意の形状で不静定内力が無視できない場合ヤンプ法が適するが、表層崩壊ではすべり面に比較して崩壊深が非常に小さく、表層土層と基盤岩との境界面が潜在的な破壊面となることが考えられるので、斜面の安定解析は以下に示す平面すべり法によるものとした。

$$F_s = \frac{c + \{ r H_1 + r_w (Z - H_1) \} \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{\{ r H_1 + r_w (Z - H_1) \} \cos \beta \cdot \sin \phi}$$



4. モデルによるシミュレーション

4.1 昭和57年災害でのシミュレーション

昭和57年災害時の降雨（流域平均雨量648mm）を与え、雨の降り始めから44時間後、60時間後、降り終わりの72時間後について計算を行った。この結果、各单元流域の崩壊発生の実績とシミュレーション結果では崩壊発生斜面数でみだ的中率は流域平均で88%となっており、かなり高いものとなった。しかし、崩壊場所も一致したものの割合は33%である。

4.2 崩壊予測式との比較

早川流域全体での崩壊予測式との比較を表-1に示す。これによると本報による土砂生産モデルの方が崩壊予測式よりも実績に近いことがわかる。

表-1 昭和57年災での新規崩壊地面積の比較

	実績値	浸透流+安定解析	崩壊予測式	備考
瀬戸川層	77,125 m ²	94,250 m ²	132,900 m ²	$Ca/13.42 = 1.977 \times 10^{-4} (648-250)^{1.423}$
楢形山層	18,075	10,400	39,800	$Ca/7.34 = 2.203 \times 10^{-2} (648-250)^{0.535}$
	95,200	104,650	172,700	

4.3 計画規模での土砂生産

計画降雨(150年超過確率で1135mm)で計算を行った結果、崩壊斜面数は365ヵ所と全単位斜面の約4割が崩壊し、このときの生産土砂量は552,500 m³となる。

5. おわりに

本報は土砂生産機構に関して従来の経験的・統計的予測手法から近年急速に進歩が見られる物理手法での検討を行ったものである。その手法を比較的良好なデータが得られている春木川流域に適用したところ、個々の単位斜面で崩壊場所まで特定することは難しいものの、今回の土砂生産モデルによって崩壊数（生産土砂量）を高い精度で把握できる確証を得た。

土砂生産は地形・地質、山体の侵食ステージ、表層土の発達とその構成材料、地状態等に大きく影響を受けるので、計算に用いるパラメータの取り扱いについては今後適用例を増して、総合的に検討されなければならない。このため、他の流域での数多くの適用が望まれる。

— 参考文献 —

- 沖村他：表土層内浸透水のモデルを用いた花崗岩崩壊発生位置予知のための手法、新砂防136、S60.1
- 富士川砂防工事事務所：昭和62年度富士川砂防基本計画検討業務委託報告書、S63.2
- 天竜川上流工事事務所：昭和61年度天竜川上流砂防基本計画検討業務報告書、S62.3
- 土質工学会：不飽和土の工学的性質研究の現代シンポジウム発表論文集、S62.12

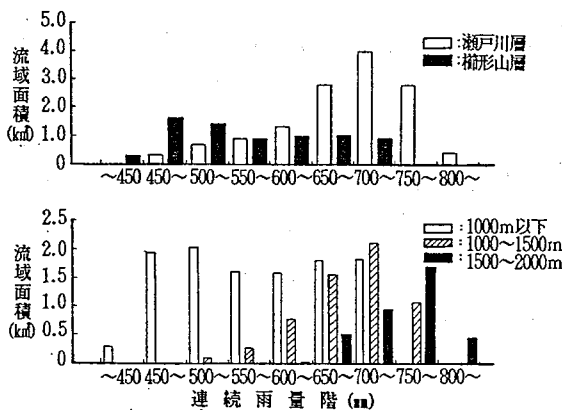


図-1 連続雨量からみた降雨特性

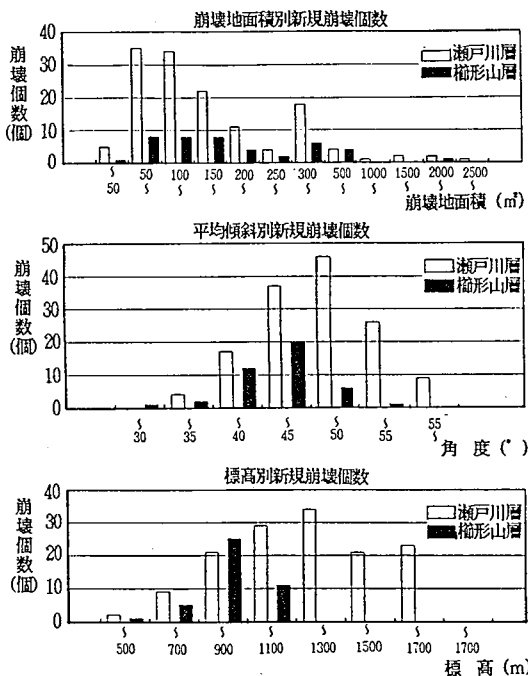


図-2 崩壊地面積・平均傾斜・標高別の崩壊個数

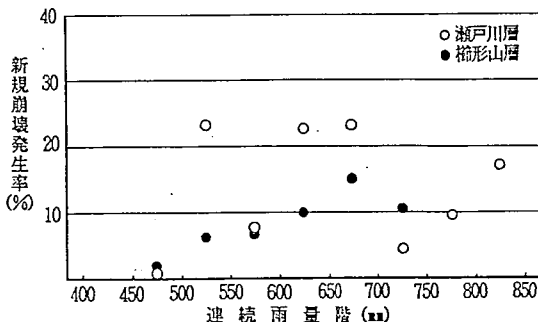


図-3 崩壊面積率と雨量との関係

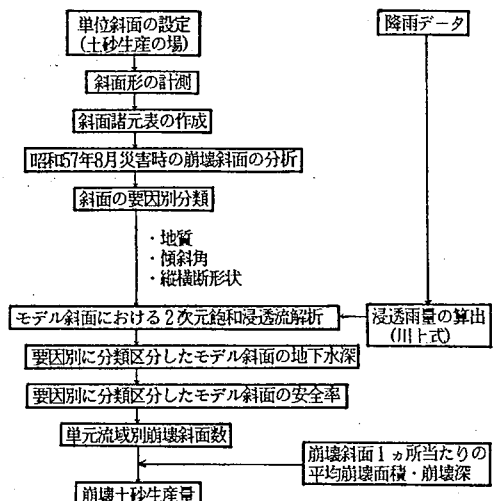


図-4 土砂生産モデル作成のためのフローチャート

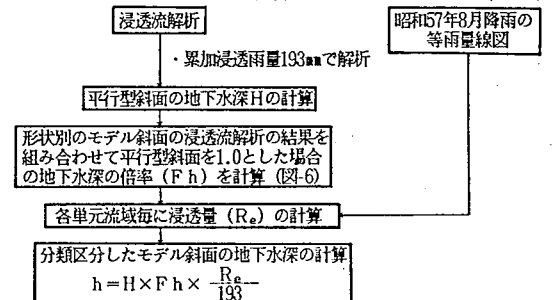


図-5 形状別に区分したモデル斜面の地下水深算定方法

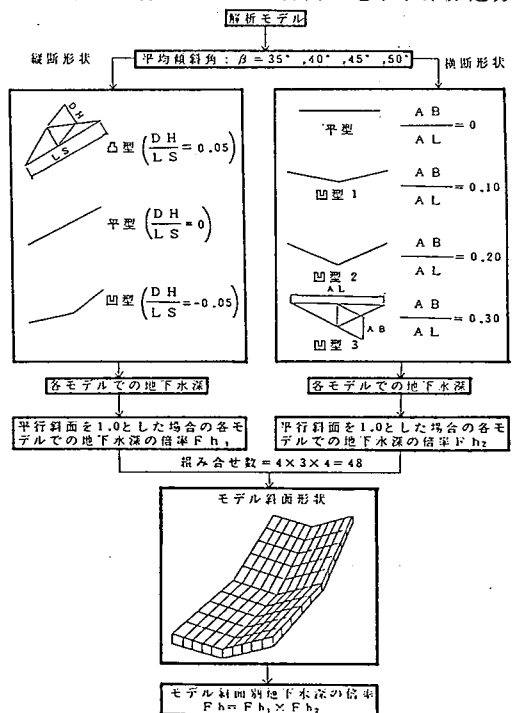


図-6 モデル斜面別地下水深の倍率 F_h の算定方法