

24 土 砂 生 産 モ デ ル の 一 試 案

勸砂防・地すべり技術センター ○山下伸太郎、 黒川 興及
宮本 邦明、 小菅 尉多
ア ジ ア 航 測 株式会社 小西 啓一

1. は じ め に

合理的な砂防計画を立案するためには、対象とする流域内の土砂を上流から下流（あるいは河口）まで連続的に追跡する必要がある。そして、流域の土砂動態は①山腹斜面崩壊、②河道の側岸侵食、③河床変動等を組み合わせて考えられる。近年のコンピュータ利用の一般化にともない、数値シミュレーションによる河床変動計算が砂防計画の一検討手法として用いられるようになってきている。この河床変動計算を用いることを前提とすると、ただ単に山腹斜面崩壊および側岸侵食発生の“場”とその総量だけではなくそれらを時系列として知る必要がある。そのためには、土砂生産の起こる場の強弱による外力に対する反応の差異を考慮しなければならない。そこで、本報告では、とくに山腹斜面の表層崩壊を取り上げ、地表から得られる情報の解析による崩壊特性の把握とそれにもとづく崩壊土砂量の時系列算定手法の検討を行い、渡良瀬川支川の松木川流域において本モデルの適用を試みた。

2. 土砂生産モデルの基本的な考え方

本モデルは、砂防計画の立案に数値シミュレーションによる河床変動計算を用いることを前提に、それに必要な給砂条件を与えるためのモデルである。また、ここで対象とする崩壊現象は、豪雨時にクローンの破壊基準によって起こる表層崩壊である。

従来、計画降雨に対する崩壊土砂量はその総量のみを取り扱っており、時系列としての量は考慮されていない。また、崩壊の場の特定や土砂量算定の過程には技術者の経験的判断によるところも多い。立案される砂防計画は一般的に得られる資料から客観的かつ定量的に崩壊土砂量を算出することができれば好都合であり、将来調査が進んで情報量が増せばそれを直ちに計画に反映させることができる柔軟性を持っていればよい。そこで、現在の地表の状況がこれまでの土砂移動の結果を反映しているという見地から、崩壊のし易さし難さといった斜面の有する場の特性を地表データから推察することが可能と考えた。つまり、地形図・空中写真等から得られる地表データから客観的に崩壊特性の差異を把握し、それにもとづいて場を区分する。そして、崩壊土砂量の時系列算出のために必要な浸透流解析および斜面安定解析に必要なパラメータをその場の持つ特性から推察することとした。また、砂防計画上、新たな情報や変化があればそれを迅速に組み入れられるように流域の情報をデータ・ベース化し検討を行うこととした。以上から、本モデル作成上の基本的な考え方は以下のとおりである。

- ① 河床変動計算に組み込み易いモデルである。
- ② 必要な精度を保ちつつ、できるだけ簡略なモデルである。
- ③ 検討過程の作業をできるだけルーチン化し特殊な経験・技能を必要としない。
- ③ 土砂生産に関与していると考えられる情報はできるだけ地表面から得られる情報とする。
- ④ 新たな情報が加われば、それに対応して更に詳細な検討や解析的手法を導入できる。
- ⑤ 対象流域に変化があれば、それを砂防計画に反映し易い。

3. 検 討 方 法

(1) 単元斜面の考え方

河床変動計算を考えた場合、単元斜面が河道の計算区間と直結していれば横流入の形で容易に土砂供給を考えることができる。そこで、単元斜面を河床変動計算区間のもつ流域で考えることとした（図-1）。そして流域の情報は全てこれを単元にデータ・ベース化する。また、すべての単元斜面で生産された土砂は、河道に直接流入するものとし、河道に供給された土砂の動態は河床変動計算により追跡することになる。ここでは、河床勾配が 20° 以下のところまでを河道とし、河床勾配が 20° 以上の流域は山腹斜面と定義する。したがって、河床勾配が 20° 以上の流域で生産された土砂はこの河道の上流端に供給される。

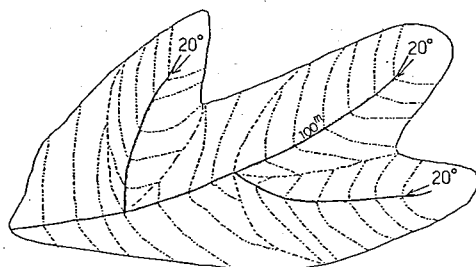


図-1 単元斜面分割概念図

(2) 地表データの持つ意味とカテゴリー区分

崩壊現象は、地形・地質・植生等の様々な因子が組み合わさった結果起こる現象であると言える。地質は風化のし易さ、崩壊層の土質的性状等に影響をおよぼしていると考えられ、地形はその場の力学的性質や透水性を反映していると考えられる。また、植生は水の浸透性、粘着力のに影響をおよぼしていると思われる。しかし、これらの各因子が崩壊現象に対してどの程度寄与している

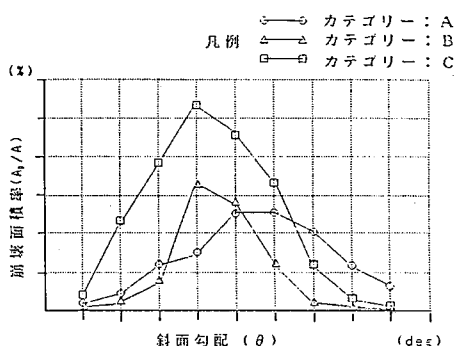


図-2 崩壊特性とカテゴリー区分の一例

のかを見出すことは現時点では不可能に近い。したがって、これらの因子の関係は取りあえずブラックボックスとして、それらの組み合わせた結果がどうなっているのかの検討を行う。そこで、単元斜面（あるいはある単元斜面の集まり）ごとにこれらの因子の組み合わせとその結果として起こりうる崩壊の特性を予測・集計し、各因子の組み合わせの結果、同様の崩壊特性を持っているものを分類する。そして、分類された単元斜面の集まりは同一の崩壊ポテンシャル（以下これをカテゴリーと呼ぶ）を持つと考える。例えば、崩壊特性として斜面勾配区分毎の崩壊面積率を取り上げれば図-2のようになるであろう。つまり、カテゴリーが異なれば、外力（降雨）に対する反応（崩壊のタイミングと絶対量）が異なることになる。

(3) パラメータの特性

同一カテゴリーに区分された斜面を考えた場合、同様な斜面と思われても崩壊する場所としない場所がある。これは、地下水や材料の不均一等の影響によるものと考えられが、ここでは、この現象を斜面安定に関わるパラメータが斜面に一樣な平均値のみではなく、平均値と分布形を持っておりこれらのパラメータの相互の組み合わせの結果、弱部から崩壊が起きるためと考える。また、地形、地質、植生等の因子はそれぞれ何らかのパラメータに影響をおよぼしている。よって、パラメータはこれらの因子が組み合わせた結果として推察されるべきものである。

(4) 崩壊量およびタイミングの与え方

単元斜面があるカテゴリーに区分されるとそれに対応したパラメータが決まる。同一の斜面のなかでは c 、 ϕ 、 k 、 θ の組み合わせをもつ部分がランダムに分布していると考え、組み合わせの占める面積率のみで評価する。つまり、ある降雨強度を与えた場合、浸透流解析による浸透水位に対する斜面安定解析の結果、安全率が1未満となった c 、 ϕ 、 k 、 θ の組み合わせの占める面積が崩壊する。以下、降雨強度毎に計算を繰り返せば、一連の降雨に対する崩壊土砂量の時系列が求まる。

4. モデル流域への適用

以上の土砂生産モデルを渡良瀬川支川松木川流域を例にとり、昭和57年9月の台風10号の降雨パターン（最大時間雨量45mm）を与えた場合の崩壊土砂量を試算した。

(1) 浸透水位計算および斜面安定解析

斜面に降った雨は即時に不透水層に達し水位を形成すると考える。ここでは、斜面下端の定常状態の浸透水位が崩壊に寄与する水位として、ダルシー則により計算を行った。

$$h = q / (i k), \quad q = L(r - r_r)(1 - f)$$

ここに、 i : 斜面勾配 ($= \tan \theta$)、 k : 透水係数、 h : 浸透水位、 q : 単位幅流量、 L : 単元斜面の斜面長、 r : 雨量強度、 r_r : 損失雨量、 f : 浸透水位形成に寄与しない雨水の流出率（表面流出、地下浸透等）である。

斜面安定解析は無限長斜面の安定解析式を用いた。

$$F = \frac{c + \{(r_{sat} - r_w)h + r_r(D - h)\} \cos \theta \tan \phi}{\{(r_{sat}h + r_r(D - h)) \sin \theta}$$

ここに、 r_{sat} : 土の飽和単位体積重量、 r_r : 湿潤土の単位体積重量、 r_w : 水の単位体積重量、 D : 崩壊層厚（崩壊深）、 c : 土の粘着力、 ϕ : 土の内部摩擦角、 θ : 斜面勾配、 F : 安全率である。

(2) カテゴリー区分結果とパラメータの設定

これまで述べた手法に従って検討したカテゴリー区分を図-3に示した。また、図-4に各カテゴリーの斜面勾配区分別崩壊面積率を示した。ここで、勾配区分1: $0 \sim 20^\circ$ 2: $20 \sim 30^\circ$ 3: $30 \sim 40^\circ$ 4: $40 \sim 50^\circ$ 5: $50^\circ \sim$ である。図-4を見るとカテゴリーごとにその斜面勾配から見た崩壊特性が異なっていることがわかる。

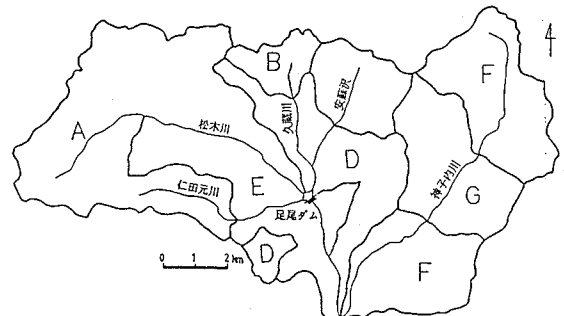


図-3 カテゴリー区分図

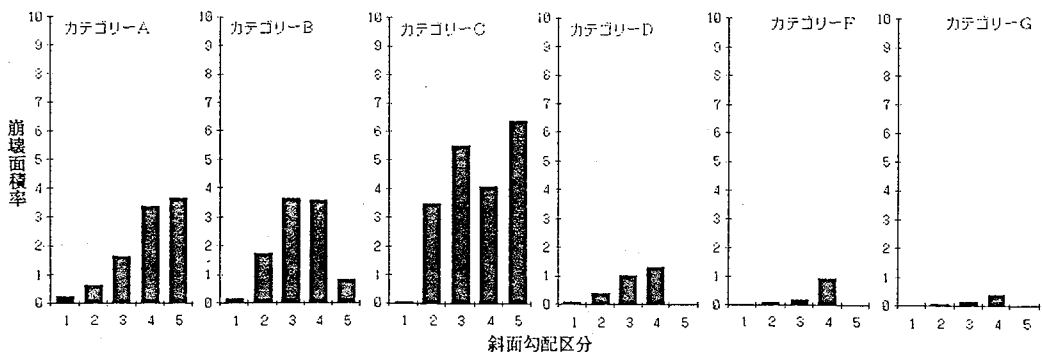


図-4 斜面勾配区分毎の崩壊面積率（実績値）

以下、このカテゴリー区分に従ってパラメータの設定を行った。表-1 および図-5 に計算に用いたパラメータと分布形の一例を示した。ここで、 ϕ はカテゴリーごとに集計された斜面勾配区分の分布形を与えた。また、 c と k はそれぞれ正規分布と対数正規分布を仮定し、個々のカテゴリーにおける斜面勾配区分別崩壊面積率の分布形と各カテゴリー相互の相対的な分布量が実績値（図-4）と概略一致するように平均値を設定した。

表-1 各パラメータのカテゴリーに対する性質

カテゴリーに対する性質	記号	数値	単位
カテゴリーに関与せず、対象流域全体で一定の平均値のみをもつ	D	崩壊厚 (崩壊深)	1.0 (m)
	r_{sat}	土の飽和単位体積重量	2.0 (t/m ³)
	r_s	湿潤土の単位体積重量	1.5 "
	r_w	水の単位体積重量	1.0 "
各カテゴリーごとに特有の平均値をもつが分布形は持たない	f	流出率	0.95
	r_r	損失雨量	0.0
各カテゴリーごとに特有の平均値とそれに対する分布形を持つ	c	土の粘着力	図-5に一例
	ϕ	土の内部摩擦角	
	k	透水係数	
カテゴリーにも支配されるが、单元流域毎に分布形をもつ	θ	斜面勾配	单元斜面の勾配分布を与える。

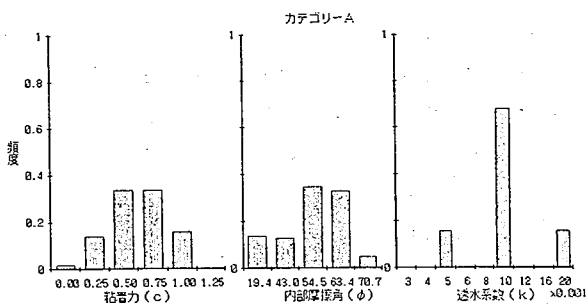


図-5 c、 ϕ 、k の分布形の一例

(3) 計算結果

図-6 に計算による各カテゴリーの斜面勾配別崩壊面積率を示した。また、時系列としての崩壊土砂量を松木川本川について集計した結果を例として図-7 に示した。なお、試算による対象流域の崩壊土砂量の合計は、227,000 m³ であった。

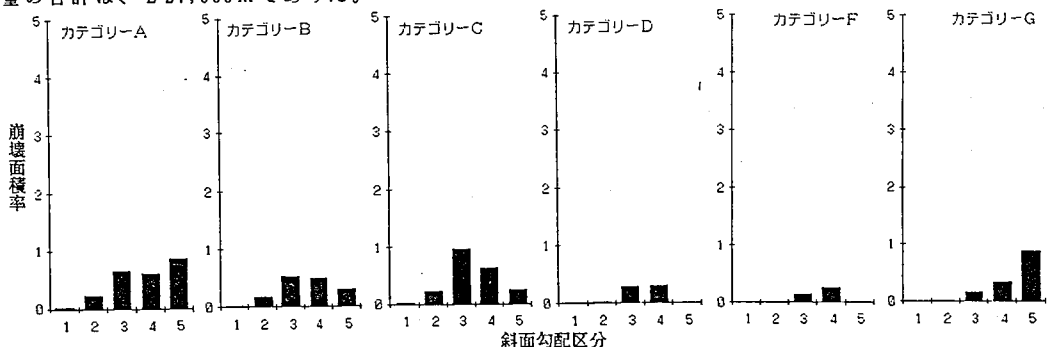


図-6 斜面勾配区分毎の崩壊面積率 (計算値)

5. おわりに

今回の検討ではモデルの基本的な考え方と手法の開発に主眼を置いた。また、崩壊土砂量の絶対量については試算に用いた降雨による実績値が不明のため、本モデル算出された土砂量の検証は行えなかった。しかし、カテゴリーという概念を取り入れ地表データからのみパラメータを設定し、場の違いによる崩壊特性の違いの評価を試みた。本モデルの特徴は、单元斜面に流域の情報を集約してデータ・ベース化することができ、

新しい情報の蓄積や修正を行って、モデルをより発展させ易い点にある。今後は、崩壊土砂量の絶対量検証を含めモデルの特性と実際の砂防計画への適用を検討していく必要があろう。

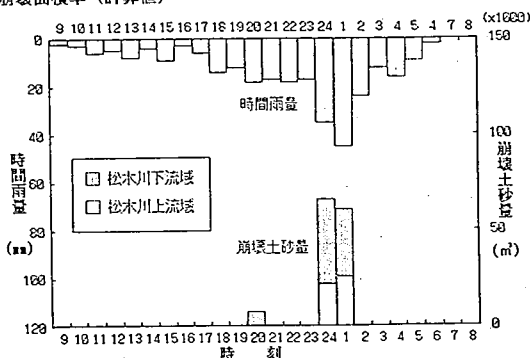


図-7 崩壊土砂量時系列の計算結果 (松木川本川流域)