

18 土砂生産モデルの一試案（２）

崩砂防・地すべり技術センター ○大原 正則，黒川 興及
建設省関東地方建設局 西本 晴男

１．はじめに

土砂の流出に伴う災害を防止し、適正な河道の維持を図るためには、対象とする流域内に発生する崩壊の抑止あるいは抑制を行い、同時に河道内土砂移動のコントロールを行う必要がある。これらを実施するために、従来は技術者の経験的判断に基づいて対策工の配置を行ってきた。

最近では貯水池内の堆砂・濁水問題、河床変動あるいは海岸線の後退等が問題となっている。これらの問題を解明するためには、一洪水期間中における土砂の生産・移動だけでなく、洪水後の土砂移動および洪水時の粒径別の土砂輸送量により検討を行う必要がある。このような観点から、土砂移動現象に関して調査・研究が進められてきており、現在では河床変動計算を用いて上流から下流（河口）まで土砂の移動を追跡することが可能となってきた。ところがこの河床変動計算を用いて河道内の土砂移動を検討するには、山腹および溪岸からの給砂条件が必要となるが、従来の手法では給砂条件を降雨時系列に対応させて与えることはできず、河床変動計算が必要とする山腹斜面の土砂生産モデルが必要であると考えた。

本報告は、昨年度に引き続き上述の目的を満たす土砂生産モデルについてさらに検討を加えたものである。

２．給砂条件の問題点の整理

河床変動計算の給砂条件を満たす土砂生産モデルの基本方針を検討するにあたり、河床変動計算が必要とする給砂条件を示す。

- (1) 河床変動計算により、土砂移動状況を再現するためには給砂地点・給砂の時系列を降雨外力に対応したものとする必要がある。
- (2) 河床変動計算により、粒径別の土砂移動現象を検討するためには給砂条件も粒径別に与えなければならない。

これらの給砂条件の内、給砂条件に粒度分布を与えることは、現在行われている手法（経験的判断による手法・統計的手法・斜面崩壊モデルとしての浸透流解析）どの手法であっても、現地調査により対象流域内の地質・風化の程度を考慮し与えざるを得ない。そこで、ここでは、(1)の給砂条件に対し現在行われている手法の問題点を示す。

- (1) 経験的判断による場合、降雨期間中の崩壊土砂量が推定されるのみである。給砂地点については現地調査により斜面崩壊発生箇所を抽出することで行われ、その抽出に対しては、特殊な経験・技能を必要とし、対象とする流域が広くなると調査にかなりの時間を必要とする。崩壊のは、降雨のピーク前後で発生することが知られているが、その時系列を、ハイトグラフに対応させて与えることはできない。
- (2) 統計手法による場合、崩壊現象を支配している力学的なものが関係しておらず、崩壊土砂量は自然現象との対応がつかない。給砂地点は、統計処理で対象とする流域が大きくなると崩壊斜面の特

定ができず曖昧になってしまう。また、給砂の時系列は、自然現象との対応が考慮されていないため、ハイトグラフと対応させることはできない。

- (3) 浸透流解析による場合、力学的に解析するため、比較的忠実に崩壊現象を表すことができ、給砂地点・給砂のタイミングについては、解析に必要な斜面の物理定数（内部摩擦角・粘着力・透水係数）の空間分布に関する情報の蓄積が極めて少ない点および崩壊現象に大きく係わっていると推定される雨水の地下への浸透量、境界条件としての不透水層の地層の形状など不明な点が多く実用上まだまだ問題が多い。また、給砂の時系列を降雨外力に対応させるためには、もともと浸透流解析には崩壊土砂量に算出の概念がないためモデルの改良が必要となる。

以上より、現時点で考えられる河床変動計算の給砂条件を満たす土砂生産モデルは、次のように考えられる。

- (1) 給砂条件を粒径別に与えるためには、現地調査により対象流域内の地質および風化の程度を考慮し、粒度試験により判断せざるを得ない。
- (2) 給砂地点の設定あるいは給砂の時系列を降雨外力により対応させるためには、統計的手法では前述のとおりできないため、経験的手法を整理し、不足する項目を他のモデルで補うか、浸透流解析が要求するデータをそろえてこれにより行うしかない。ここで、河床変動計算の目的として上流から下流までの土砂移動を追跡することであるので、浸透流解析で給砂条件を与えようとすれば必要とする物理定数が膨大になり現実的には不可能である。そこで、ここでは経験的手法を整理し、他のモデルで補うことにより河床変動計算の給砂条件を満たす土砂生産モデルの構築を検討する。

3. 山腹からの土砂生産モデルの検討

山腹からの土砂生産をモデル化するために、次の検討を行った。

- (1) 技術者が経験により崩壊発生の可能性を判断してきた項目を、システムティックに整理することにより、給砂地点の設定を行う。現地で技術者が得られる情報は、地形形状・斜面勾配・植生・地質でありこれらは地表面から得られるデータである。これらの情報は、現在どのような流域においても空中写真・地形図・植生図・地質図から得られる情報である。

地形形状は現在の地形に至るまでの土砂生産の過程を表しているばかりでなく、現在の侵食のステージを表現している。このステージにおける斜面を観察する事により、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。地質は風化のし易さ、崩壊層の土質的性状等に影響を及ぼしているものと考えられる。また、植生は水の透水性、粘着力等に影響を及ぼしているものと考えられる。しかしながら、これら地表から得られる情報だけでは当然のことではあるが、これらの各因子が崩壊現象に対しどの程度寄与しているのか、また各物理定数がどのような形で干渉しあっているのか見出すことはできない。したがって、現段階ではこれらの物理定数の関係は取り合えずブラックボックスとし、これらが組合わさった結果どうなっているのかを、ステージを表現する地形形状等各因子の分布と流域に分布する崩壊地の状況とを対応させることで、ある単元流域の崩壊のしやすさ（以下これを崩壊ポテンシャルと称す。）を評価する。これは従来、技術者の経験より推測された崩壊発生の可能性に係わる判断を、技術者が現地で受ける斜面の状況を観察することにより行っていたものに相当すると推測される。また、流域内に分布する同程度の崩壊ポテンシャルを有する単元流域の集合体とその性質（斜面勾配・植生・地質、粘着力・内部摩擦角・透水係数等の分布形）

を一つの 카테고리 (以下これを 카테고리 と称す。) と定義する。

- (2) 給砂の時系列は、斜面の物理特性あるいは崩壊に関与するその他の要因を、崩壊ポテンシャルから推測し各 카테고리 毎に分布をもたせ斜面の安定解析に適用することでモデル化ができる。(斜面崩壊モデル)

また、斜面の物理特性に関する情報の蓄積が行われれば、崩壊発生場所の特定は、崩壊ポテンシャルから評価するのではなく、物理モデルとして構築することが可能となることが予想される。今回検討されたシステムの情報がモデル構築の際、データベースとして利用できるように整理する必要がある。

4. 山腹斜面からの土砂生産モデルの検討

山腹斜面からの土砂生産モデルとして、崩壊ポテンシャルの評価手法・斜面崩壊モデルについて示す。

4. 1 崩壊ポテンシャルの評価

- (1) 流域形状に関する評価は、一次谷および各溪流の合流点毎計算点を設け(図-1)流域形状係数と単位面積当たりの次数別の谷の個数を計算して行う。流域の地形形状は、流域を構成する1次谷の集合の仕方あるいは、その1次谷の形状により決定されるものとし、これを単元流域として考えた。

- (2) 単元流域内の個々の斜面の力学的性質の分布は、河道に沿って等間隔(今回は100mピッチ)に区分した個々の斜面の勾配分布を計算地点毎に集計して評価する。

- (3) 崩壊現象に関与する土質的性状の分布は、個々の斜面の植生・地質の分布に代表させて、を計算地点毎に集計して評価する。

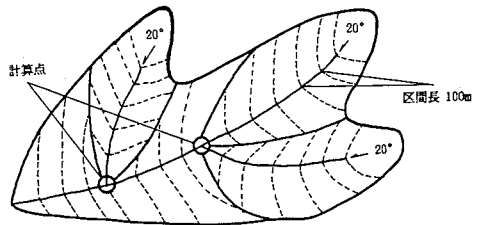


図-1 計算地点概念図

- (4) 単元流域の崩壊のしやすさを、単元流域毎に分布する各因子と現在単元流域に分布する崩壊個数および崩壊面積率より評価する。この結果、同一の分布形と判断される単元流域をグループに統合して、同程度の崩壊ポテンシャルを有している集合体とみなし、これを以下これを 카테고리 とする。

4. 2 斜面崩壊モデル

各 카테고리 に含まれる斜面毎に降雨時系列に対応した崩壊土砂量と崩壊発生のタイミングを与えるために斜面崩壊モデルを構築した。モデルの概要を次に示す。

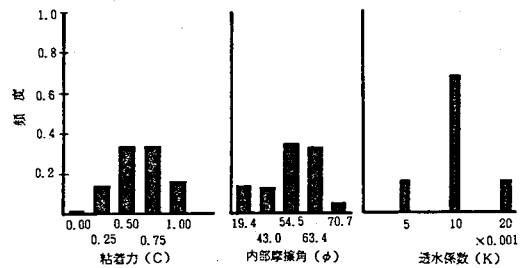
- (1) 崩壊発生のタイミングは無限長斜面の安定解析式により安全率が1を下回った時とする。
- (2) 安定解析を行う際のパラメータは各々の性質を考えて、表-1に示すように分類し数値を設定する。
- ① r_{sat} , r_t , D 今後調査が進めば、カテゴリごとに平均値と分布形をもつ可能性があるが、ここでは対象流域内で一定とし、一般的な値とする。
 - ② f , r_f これらの定数は植生、地質等のカテゴリの持つ特性によって決定されるものだが、現段階では理論的な推定を行えるにいたっていない。そのため、ここでは仮定値を用いた。
 - ③ ϕ 斜面勾配の分布形と斜面の安定解析により分布形をもたせて与える。
 - ④ C , k これらの平均値および分布形は、植生・地質・地形に関与していると考えられるが、現在のところ有効な手法がないので正規分布であると仮定し、各カテゴリ毎にトライアル計

算を行い、実際の流域内の崩壊面積率・崩壊場所と比較し平均値を設定して分布形をもたせ与える。

- (3) 安定解析を行う際の浸透水位は、斜面に降った雨は損失および表面流により流出するもの以外が即時に不透水層に達し水位を形成するものとして、ダルシー則により計算を行う。
- (4) 降雨時系列に伴う崩壊土砂量の時系列は、単元流域に含まれる勾配区分された斜面毎にパラメータ（表－１）の組合せを与え、各々の斜面に対し降雨時系列の各時間毎に安定解析を繰り返し計算を行う。その結果、降雨時系列に伴う崩壊土砂量の時系列が与えられる。

表－１ 各パラメータのカテゴリに対する性質

カテゴリに対する性質	記号	数値	単位
カテゴリに関与せず、対象流域全体で一定の平均値のみをもつ	D	崩壊層厚（崩壊深）	1.0 (m)
	γ_{sat}	土の飽和単位体積重量	2.0 (t/m ³)
	γ_s	湿潤土の単位体積重量	1.5 "
	γ_w	水の単位体積重量	1.0 "
各カテゴリごとに特有の平均値を持つが分布形は持たない	f	流出率	0.95 —
	r f	損失雨量	0.0 —
各カテゴリ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－２に一例を示す
	ϕ	土の内部摩擦角	
	K	透水係数	
カテゴリにも支配されるが、単元流域ごとに分布形を持つ	θ	斜面勾配	単元斜面の勾配分布を与える



図－２ c, ϕ , k の分布形の一例

5. モデル流域での試算

渡良瀬川支川松木川流域をモデル流域として表層崩壊モデルの試算を行った。試算条件を次に示す。

- (1) 設定外力は、昭和57年9月の台風10号とした。
- (2) 崩壊により発生する土砂に粒度分布を持たせるために、松木川流域内17箇所の斜面で粒度試験を行った。これを用いて、各斜面から発生する崩壊土砂量に粒度分布をもたせた。
- (3) 実績降雨に対応した流出土砂量の観測結果がないため、表層崩壊モデルの適用性はカテゴリー毎に現在の崩壊の分布特性とシミュレーションの結果得られる崩壊の分布特性から判断した。

6. おわりに

今回の報告では、山腹からの土砂生産を河床変動計算が必要とする給砂条件を与えるモデルとなるように検討を行なった。しかし、現段階ではこの土砂生産モデルを検証するのに必要な調査データが十分でないことや、モデルの中では技術者の経験的判断による部分もまだ多く含まれており、物理モデルとしてははまだまだ十分と言いきれない。さらにこのモデルの充実を図るためには、検証データの蓄積と次の検討を行なう必要がある。

- (1) 斜面安定解析に寄与するパラメータとカテゴリの指標との関係を明確にする。
- (2) 土砂生産モデルとして、山腹斜面からだけの土砂生産だけでなく、側岸浸食に伴う土砂生産に対しても山腹斜面と同程度の精度を持ったモデルを構築する必要がある。
- (3) 斜面崩壊土砂量の粒度分布のモデル化

また、今後流域一貫とした土砂管理を行っていくためには、土砂生産モデル・土砂移動モデルだけでなくこれらモデルに大きく関与する降雨外力の与え方についてもモデル化のための検討を進めていく必要があろう。