

45 土石流対策工への試案

京都府立大学 農学部 ○小川恒一 水原邦夫 大手桂二

1. まえがき

土石流対策工を考える場合、工法は土石流の流動特性を考慮し、その機能評価が数量化されることが望ましい。

従来の砂防ダムを土石流対策工として採用した場合、その機能評価が数量化できるのは貯砂量についてであり、他の機能については定性的な期待機能としてしか評価されていない。したがって、土石流の流送土砂量に対して十分な空き容量を持つダムは対策工として有効であるが、満砂または未満砂でも空き容量少ないダムは有効ではないとされている。そのため、最近では土石流対策工として、発生時まで空き容量を確保できるよう配慮したオープン形式の砂防ダムが試験施工されている。これらの土石流対策工に関するStrategyは土石流のもつ流送土砂容量に見合うだけの容積をもった貯砂空間を計画することにある。つまり、従来の土石流対策工のStrategyは、土石流の流送土砂量という容量に対して貯砂空間という容器で対処しようとするものである。

砂防の目的は土砂災害を防止・軽減することにある。発生した土石流の流態を災害が生じないような流態に変えることができれば防止の目的を、災害の程度を小さくできるような流態に変えることができれば軽減の目的を果たせるとみてよいであろう。この目的達成は、土石流の流態を変えること、すなわち、災害が生じるであろう土石流の流態を災害が生じないような流態に変える、というStrategyでも果たせるであろう。必ずしも土石流全体を止めてしまうことだけが防災目的達成のStrategyではなく、土石流の流態から災害要因だけを取り除くことを考えてもよいであろう。

2. 土石流の流動特性

土石流対策工のStrategyを、流態を変えるということにすると、そのTacticsの決定にあたっては土石流の流動特性の理解が不可欠となる。ここで土石流の流動観測データを整理してその流動特性を考察する。

2.1 流動過程の観測データ

Fig.1 は1983年に焼岳の上ヶ掘沢で発生した3波の土石流の正規化かつ平滑化した流動過程の記述である。正規化は、縦軸が計測量の最大値を1とし、横軸が計測時間を1として、また平滑化は、3波の正規化データを一つの正規化座標にプロットして、時間の移動

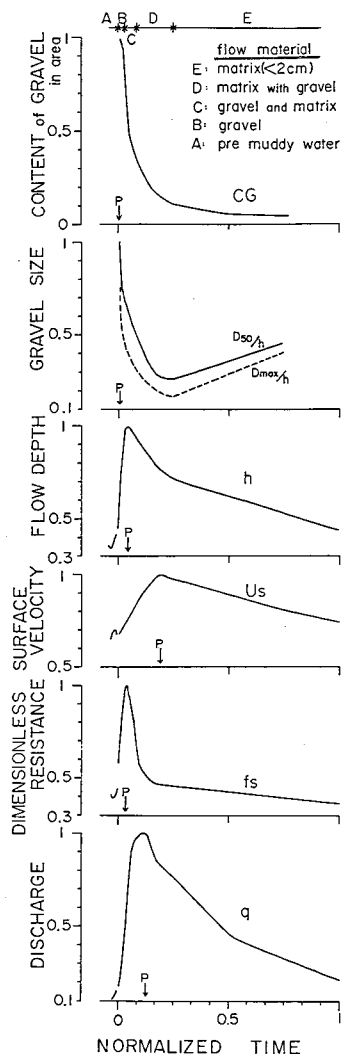


Fig.1 土石流の流動特性

平均処理を用いて実行した。同図は、3波の土石流のデータを合成して得た不規則変動する土石流流動過程のトレンド成分とみなせ、土石流の流動特性を平均的に示している。特徴の一つは、各計測量のピークの出現時刻が一致していないことにある。これは土石流の構成材料が変化しているために流れの力学特性が変化していることによると考えられる。中でも流れの先頭部分の石レキ(B)の面積濃度と石レキ径の大きさが特徴的である。そこで、この部分に着目して、これを土石流の先頭石レキ群(B)と呼ぶことにし、流れへの作用を考察する。

2. 2 先頭石レキ群(B)の動的閉塞作用

Fig. 1で、先頭石レキ群(B)に相当するところの無次元抵抗値をみると、その後方に比較して随分と大きく、先頭石レキ群(B)は流れ難い性質を持つことを示している。さらに表面流速を調べてみると、先頭石レキ群(B)は遅く、その後方は速い。その結果、速度差の分だけ流れは貯留されるような格好となりヘッド部の盛り上がり形成する。このためピーク流量は先頭石レキ群(B)の後方で出現している。このように先頭石レキ群(B)の移動しながらの閉塞作用を動的閉塞作用と呼ぶことにする。先頭石レキ群が後続部を動的に閉塞する作用を持つとすれば、相対的に後続部はその反作用として前方に位置する石レキ群を押す作用を持つことになるであろう。これは土石流の流動距離を大きくする原因の一つになると考える。このように先頭石レキ群(B)は土石流現象の特徴であるばかりでなく、土石流の災害要因としても大きなウェイトを占めているとみなせる。したがって問題の先頭石レキ群(B)を流れから分離することができれば、土石流から重要な災害要因を取り除いた流れが実現することになるであろう。流態を変えるというStrategy達成のTacticsは先頭石レキ群の動的閉塞作用を流れから解放することに決定する。そのPracticeには2つの方法が考えられる。一つは動的閉塞を静的に変えること、つまり石レキ群が集合したまま停止せしめることであり、もう一つは動態のまま閉塞を解くこと、すなわち集合した石レキ群の分散を計ることである。どちらの場合にも先頭石レキ群と後続流との分離を計った後、石レキ群と後続流が再び合体することのないように後続流の流路を確保、規定しなければならないであろう。ここでは前者について考える。そのために石レキの動的性質を検討する。

2. 3 粒状体の動特性

石レキ群を粒状体の集まりとみなせば、先頭石レキ群の動的特性は粒状体の動特性として理解できるであろう。粒子の集合体では粒子同士の接触や衝突によって応力が横方向に分散されるために、動態での粒状体はそのみかけの容積を大きくしようとする性質がある。一種のDilatancyである。Dilatatant状態では粒子と粒子の接触が時空間的に少なくなるために変形に対する抵抗が小さくなり、流動が継続する一因となる。一方、壁で拘束された粒状体にはArch actionが生じる。これは横方向に分散された力や接触応力が壁に伝はんし、支えられるために生じると考えられている。このArch actionは流れに対する抵抗となるが、直接的には粒子にのみ作用し、壁の間隔が狭いほど強く作用する。したがって、Dilatancyを拘束し、Arch actionを促進すると、粒子は集合したまま運動の自由を失い静態に変わると予測される。

3. Accelerant arch action 工と System 工法

粒状体のDilatancyを拘束しArch actionを促進する工作物として、写真1.に示すような下流方

向に流路幅が狭く成るよう流向に対して斜めに配置した二つの壁から成る工作物を考えた。壁の天端は上流に向けて逆勾配とし兩岸寄りに遊び空間を設けて後続流の流路として確保する。この二つの壁をA-A-A工と呼ぶことにする。A-A-A工の下流に水通し幅の狭い主堤を設け流量の一時貯留を計り流出量を制御する。貯留による高水位により単位幅あたりの流下エネルギーが増大するから、これに対処するために副堤と垂直壁の水通し幅を二段階に広げエネルギーを減少せしめることを計る。

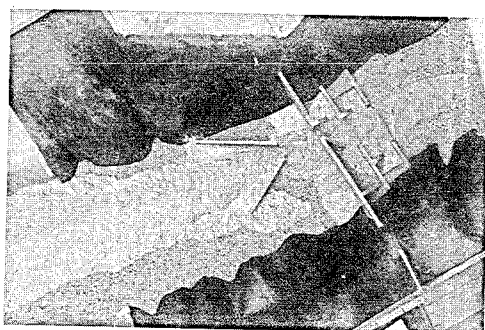


写真1 A-A-A工と実験土石流

3. 1 実験データ

実験は能郷谷の1号堰堤と2号堰堤の間の流路模型(1/200)に容積濃度 $C_d=0.3$ 、最大粒径5mm(ϕ -scale: -2.32)、流量45litter,を与えて行った。Fig.2とFig.3は、それぞれA-A-A工の直上流と垂直壁水通しでの砂レキの容積濃度 C_d 、と(ϕ -scale)粒径の変化を示した。これによると全体的に低濃度化、細粒化を生じているが、先頭石レキ群(B)に相当する部分での変化、 C_d の減少と砂レキ径の細粒化が顕著である。

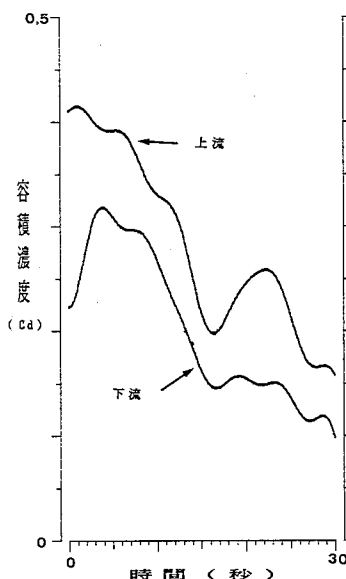


Fig.2 容積濃度の変化

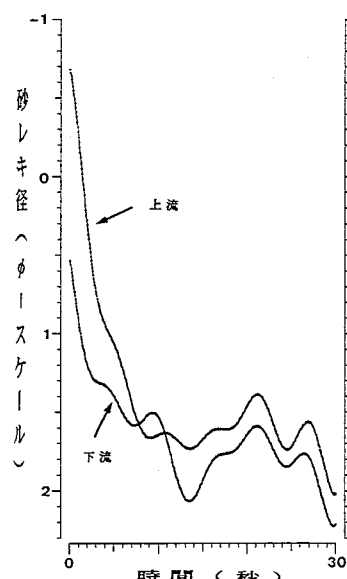


Fig.3 砂レキ径の変化

3. 2 A-A-A 工の機能

A-A-A工は、土石流の石レキのより容積濃度の高い、石レキ径の大きなところで選択的に機能するであり、動態に対してフィルタ的な挙動をする。したがって、この工作物は新規の対策計画のほかに、既設の砂防ダム(満砂、空き容量の少ない未満砂状態)にオプション工として計画すると、石レキの捕獲機能が砂防ダム袖部の保工機能として働くであろうと期待される。既設の砂防ダムが造った緩傾斜、幅広い空間を利用して工作物をシステム化することを考えるのも有効であろう。

4. システム解析法による対策工の機能評価

土石流のような複雑な流れと複数の工作物からなる工法の応答関係を個々バラバラにして調べるのは不経済であるから、対策工の機能をブラック・ボックスとしてその入・出力をシステム解析することにより求めることにする。

4. 1 線形システム解析

対策工上流でのデータを入力 $x(t)$ 、対策工を経た下流でのデータを出力 $y(t)$ 、システムの伝達関数を $h(t)$ ：これを対策工の機能とみる：としてこの線形システムは、

$$y(t) = \int h(\tau) \cdot x(t-\tau) d\tau$$

で表せる。この両辺をフーリエ変換すると、

$$Y(f) = H(f) \cdot X(f)$$

ここに、 $[X, H, Y]$ はそれぞれ x, h, y のフーリエ変換を表す] となり、対策工の機能は、

$$h(t) = F^{-1}[(Y(f)/X(f))]$$

で評価される。ここに、 $F^{-1}[\]$ は逆フーリエ変換を表す。

4. 2 線形システム解析によるシュミレーション

システム解析による対策工の機能評価の方法には、入・出力の取り方によって、① 対策工の上流でのデータを入力に、下流でのデータを出力にとる。② 対策工の施工前のデータを入力に、施工後のデータを出力にとる。③ ある流れの前後での河床変動データを入・出力にとる。などによってそれぞれの伝達関数を得ておけば想定される入力に対して対策工の挙動がシュミレーション可能となる。

4. 3 A-A-A 工による容積濃度と粒径変化の線形システム解析

Fig.4 は上段がA-A-A 工へ流入する前の砂レキの容積濃度変化の時系列、下段が流出後のそれである。これらより伝達関数を求めると、中段のようになる。同様に粒径の変化に関して示したものが Fig.5 である。上段のデータを各々の伝達関数に通すとそれぞれ下段のデータを得る。このようにして入出力関係の伝達関数で土石流対策工の機能の評価をすることができる。仮にある砂防施設に関してその伝達関数が既知であれば、入力（上流側、施工前の流れのデータ）をこれに通せば出力（下流側、施工後の流れの情報）を得ることができ、土石流対策のシュミレーションも可能となるであろう。

5. おわりに

土石流のような現象にたいして、線形性でどこまで良い近似ができるか不明であるが、適応度を問題にすれば高次の線形解析や非線形解析の採用も考えられる。また、対策工法については機能上の問題しか取り扱っていない。強度に関する問題は定性的考察のみである。

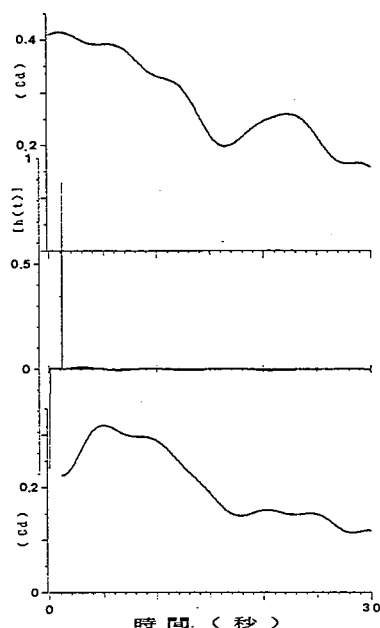


Fig.4 対容積濃度機能

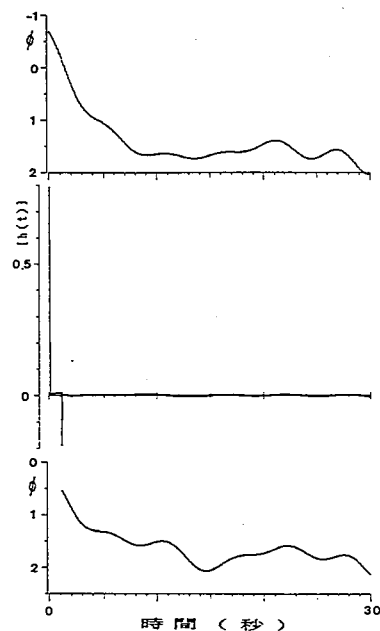


Fig.5 対砂レキ径機能