

大規模土砂生産後の影響を評価する河床変動計算を用いた 実用的な流域土砂動態解析手法

内田太郎・蒲原潤一・松本直樹・桜井 亘

1. はじめに

豪雨や大規模地震によって、多数の斜面崩壊や大規模な深層崩壊が生じ、溪流・河川・ダムなどへの大量の土砂供給がなされるケースがある。本報告では、このような斜面崩壊により大量の土砂が溪流・河川等にもたらされる現象を「大規模土砂生産現象」と呼ぶ¹⁾。

一般的に大規模土砂生産現象は大量の土砂を溪流や河川に貯留するため、流域の土砂動態・環境に長期間（数年～数10年、場合によっては100年以上）大きな影響を及ぼすことがある¹⁾。そのため、大規模土砂生産現象が流域の土砂動態に及ぼす影響を評価・予測することは、流域の土砂管理を考える上でも重要な課題の1つである²⁾。

これまでも、流域の土砂動態を表現する数値計算手法は数多く提案されており、様々な流域に適用され、再現性が確認されてきた³⁾。これまでの流域の土砂動態を数値計算により再現した研究の多くは、①災害を起こすような豪雨時の土砂動態を解析した研究⁴⁾、②中長期の平年的な土砂動態を解析した研究⁵⁾、が大半であり、流域の土砂管理上、重要な期間と考えられる大規模土砂生産後の数年間に着目した研究例は少ない。

そこで、国土技術政策総合研究所砂防研究室では、平成24年度よりプロジェクト研究として、「大規模土砂生産後の流砂系土砂管理のあり方に関する研究」を実施し、土砂生産後の数年間に着目した流域土砂動態の解析を行った。本稿では、この結果を報告する。

2. 検討方針

2.1 基本方針

従来の流域スケールの土砂動態解析例の多くは主要河道のみを計算対象としている^{3)~5)}。一方、近年、斜面・0次谷^{*}における土砂移動現象も考慮した解析手法が提案されてきており⁶⁾、将来的には、河



図-1 大規模土砂生産前後の河床の様子

道のみならず、斜面や0次谷における土砂移動現象も解析に加えることにより、解析の不確実性の減少、計算結果の精度向上が期待される。しかし、現時点においては、多岐にわたる土砂生産現象（表面侵食、斜面崩壊、土石流、溪岸崩壊など）を全て表現することは難しい上、広い範囲を解析対象とした場合、膨大な計算時間が必要となる。そこで、本研究では、従来多く用いられてきた主要河道のみを計算対象とした実用的な解析手法を用いて、大規模土砂生産後の流域の土砂動態に関する解析を試みることにした。

2.2 境界条件

斜面崩壊や土石流などによる生産土砂は出水前に山地流域内の河床に堆積している土砂に比べて細かい粒径である場合が多いため、大規模土砂生産後の溪流や河道内に、大規模土砂生産前に比べて、多くの細粒土砂が存在すると考えられる⁷⁾（図-1）。また、いったん河道内に生産土砂が堆積した場合であっても、その後の出水により細粒分が選択的に流出し、河床の粒径は徐々に粗粒化していくと考えられる。

一方、主要河道のみを計算対象とする場合、図-1に示したような大規模土砂生産現象により生じた土砂の堆積する区間が上流域であり計算対象区間に含まれないこともあるため（図-2の③）、計算対象区間外の上流域の状況変化は計算対象区間に供給する水や土砂の供給条件（量、粒径）としてのみ考慮することが可能である。しかしながら、従来の長期間の流域の土砂動態を解析した計算例のほとんどで土

Practical Numerical Simulation Method for Prolonged Effects of Large Sediment Yield Events on Catchment -Scale Sediment Dynamics using Riverbed Variation Analysis

*土木用語解説：0次谷

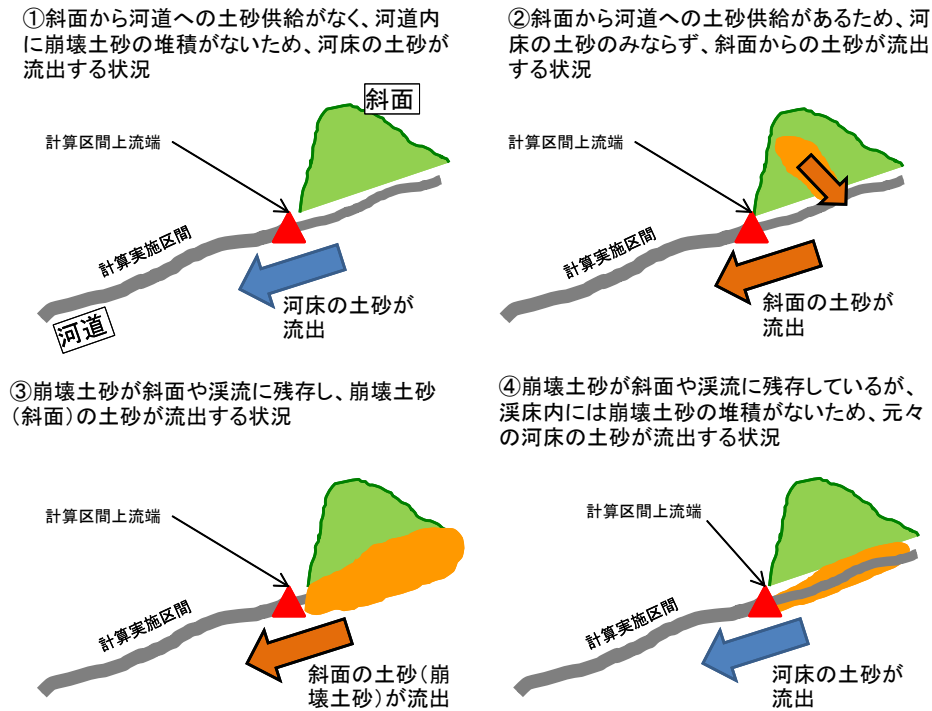


図-2 本研究で想定した土砂流出のパターン

砂の供給条件（量，粒径）を時間的に変化させていない^{3), 5)}。そこで、本研究では、主要河道のみを計算対象とした場合であっても土砂の供給条件を時間的に変化させることにより、大規模土砂生産後の流域の土砂動態が表現できるかどうかについて検討を行うこととした。

2.3 想定される状況と土砂供給シナリオ

本研究では、上流域の状況として図-2に示す4つのパターンを想定した。状況①、②は、大規模土砂生産前あるいは大規模土砂生産から相当程度年数が経過した後の状況を想定し、状況③、④は大規模土砂生産直後の状況を想定している（図-2）。さらに、大規模土砂生産時も状況①、②のいずれかで想定できると仮定した。

その上で、大規模土砂生産現象にともなう状況の変化について以下の5つのシナリオを想定した（図-3）。

シナリオA；大規模土砂生産時に限らず、中小出水も含めて、出水時は上流域において斜面崩壊や侵食による斜面から河道への十分な土砂供給があり、上流域からの土砂流出は斜面から供給された土砂の流出が支配的（状況②または③）

シナリオB；大規模土砂生産があったとしても、斜面から河道への土砂供給は限定的であり、上流域からの土砂流出は常に土砂生産前に河床に堆積していた土砂の再移動によるものが支配的

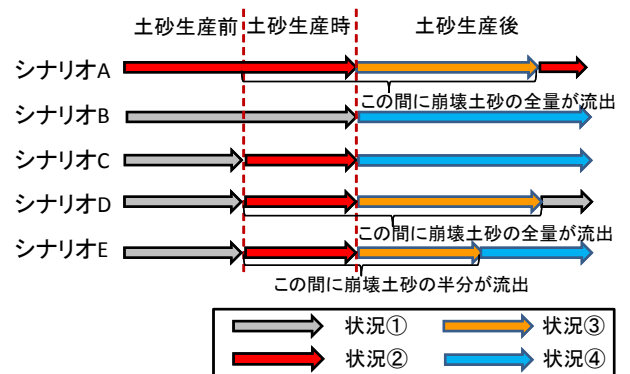


図-3 計算シナリオ

（状況①または④）

シナリオC；大規模土砂生産時には斜面から河道への土砂供給が生じる（状況②）が、その後、斜面等には崩壊土砂が残存しているものの、上流域の河床は速やかに土砂生産前の状態に戻る（状況④）

シナリオD；大規模土砂生産時には斜面から河道への土砂供給が生じる（状況②）。その後、大規模土砂生産時に生じた崩壊土砂の全量が流出するまで、上流域の河床には崩壊土砂が残留し、流出する（状況③）が、全量流出した後は、斜面からの新たな土砂供給がないため上流域の河床は土砂生産前の状態に戻る（状況①）

シナリオE；大規模土砂生産時には斜面から河道への土砂供給が生じる（状況②）。その後、大規模

土砂生産時に生じた崩壊土砂の半分が流出するまで、上流域の河床には崩壊土砂が残留する(状況③)が、半分が流出した後は斜面等には崩壊土砂が残存しているものの、上流域の河床は土砂生産前の状態に戻る(状況④)

なお、これまでの研究例の多くは、シナリオAまたはBの場合が大半であり、シナリオBが最も一般的に用いられている。

3. 解析方法

3.1 検討対象と解析手法

解析は図-4に示す流域面積約1200km²の流域を対象とした。本検討対象流域では大規模な土砂生産が2度生じた。最初の土砂生産(約500万m³)の3年後に次の土砂生産(約300万m³)が生じた。また、同流域では、流域末端の貯水池において、堆砂測量が行われており、本研究では堆砂測量結果より流量を推定した。

本解析では、図-4に示すように上流域を含む主要河道(集水面積が概ね40km²以上の区間)をモデル化し、掃流砂および浮遊砂を対象に1次元の河床変動計算を行った。なお、計算区間内には大規模な湛水池を含まないようにし、湛水池(図-4中の黒丸)の上流域は計算区間から除外した。河道はレーザープロファイラによる測量結果を用いて100m間隔でモデル化した。

水の計算は不等流計算とした。流砂量計算は掃流砂および浮遊砂の混合粒径とし、10段階に分割して計算した。掃流砂は平衡状態とし、流砂量式は芦田・道上の式を用いた。浮遊砂は浮上量と沈降量を考慮し、輸送方程式により浮遊砂量を算定した。基準面濃度は芦田・道上の式、沈降速度はRubeyの式により算定した。また、河床には50cm(最大粒径程度)の交換層を設定した。計算初期の河床の粒度分布は、支川ごとに調査結果に基づき設定した。

ハイドログラフは、流域内の流量観測点(図-4参照)の流量が再現できるように、降雨の空間分布を考慮し流出解析により与えた。水の流下幅は、レジーム則により算出し、河道幅がレジーム則より算出した水の流下幅を上回る場合は、河道幅を水の流下幅とした。また、河床変動が生じる幅はレーザープロファイラによる測量結果をもとに高水敷を除くように設定した。

長期間の河床変動計算を行うためには膨大な計

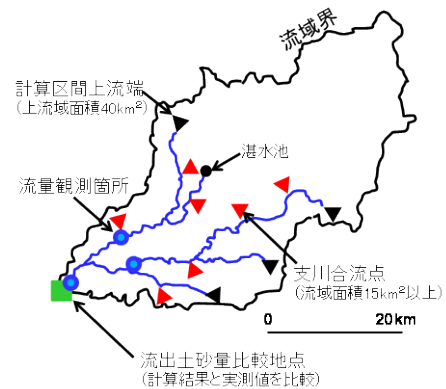


図-4 解析対象流域(青線は河床変動計算実施河道)

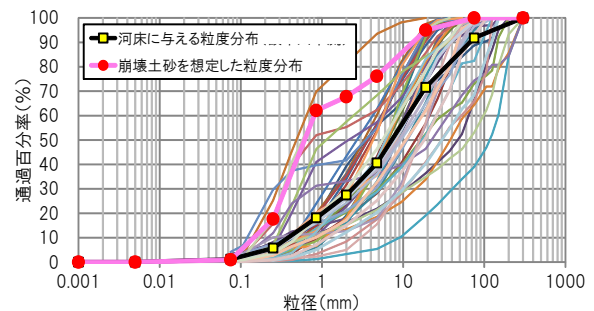


図-5 解析に用いた粒度分布(図中の細い線は各調査地点の粒度分布)

算時間を要することが想定されることから、流域末端の流砂の主成分であるシルト分が全川の移動する期間を計算対象とした。土砂移動の有無の判定には修正エギアザロフ式を用いた。検討の結果、流域末端で流量20m³/sを超えると全川のシルト分が移動することが確認されたため、流域末端の流量20m³/sを超える期間を計算対象とした。

3.2 土砂供給シナリオ

本解析では、計算区間の河道(図-4中の青実線)の上流端(図-4中の黒三角)および計算区間に流入する支川のうち、流域面積が15km²以上の支川と計算区間の河道の合流点(図-4中の赤三角)から土砂の供給を行った。供給のシナリオは2節で示した5シナリオとした。本研究では、図-2に示す状況によらず、供給地点の直上流の水量に基づく平衡流砂量を供給した。その際、図-2で示す状況①、④は河床材料の粒度分布を、状況②、③は崩壊土砂粒度分布を用いてそれぞれ上流端の土砂供給量の時系列データを設定した。また、崩壊土砂の粒径は、上流域の堆積物の粒度分布のうち、大規模土砂生産時の流況による平衡給砂量を実測と同程度となった粒度分布を用いた(図-5参照)。

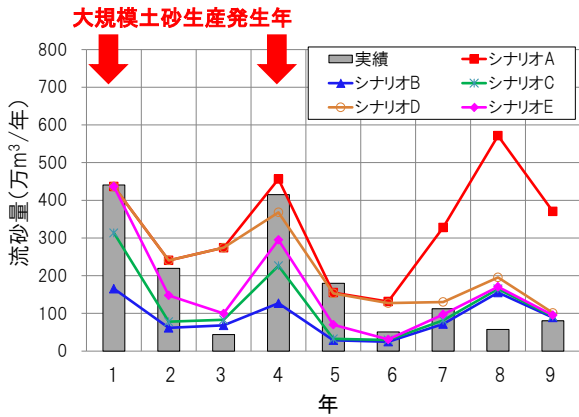


図-6 実測と計算結果の流砂量の比較

4. 結果とまとめ

実測と計算結果の流砂量の比較を図-6に示す。図に示したように、シナリオAでは、大規模土砂生産現象があった年（以下「生産年」という。）やその翌年は実測と計算結果は概ね一致したが、生産年から2年目以降は計算結果が実測を大幅に上回り、最大10倍近い差が生じた。一方、シナリオBでは、生産年の流出土砂量の計算結果は実績の40%以下であり、過小評価となった。また、生産年の翌年も大幅に過小評価となった。一方、生産年から2年目以降はシナリオAに比べて、再現性は向上した。以上のように、上流域の状況変化を考慮していないシナリオA、Bでは、大規模土砂生産後の数年間の土砂動態を適切に再現できないと言える。

一方、シナリオCの場合、生産年の計算結果はシナリオBに比べると実績に近づいたものの、やや過小評価である。また、生産年の翌年はシナリオBと同様、大幅に過小評価となった。このことは、大規模土砂生産の影響が土砂生産を引き起こした降雨時のみならず、当該降雨後もある程度の期間は継続することを示している。

さらに、シナリオDは生産年やその翌年では実測と計算結果は概ね一致したが、生産年から2年目の

計算結果はシナリオAと同様に大幅に過大評価となっている。なお、3年目以降は比較的良く再現されている。最後にシナリオEは、シナリオDと比べた場合に、2度目の生産年の評価がやや過小になっているものの、生産年から2年目の計算結果はシナリオDに比べて、大幅に向上した、

以上のように、上流域の状況変化を考慮し、土砂の供給条件を時間とともに変化させることにより、主要河道のみを計算対象とした場合であっても大規模土砂生産後の流域の土砂動態をある程度表現できることを示した。特に、大量な細粒土砂が上流域に貯留される状況を適切に考慮することが重要であると考えられた。一方、大規模土砂生産現象の影響は、生産土砂量によって影響期間が大幅に異なることが示されてきている¹⁾。また、土砂生産後に生じる降雨規模によっても大規模土砂生産の影響が異なる可能性が高い。今後は土砂の供給条件について検討を加え、幅広い現象に適用可能な供給条件設定手法の提案を目指したい。

参考文献

- 1) 内田太郎ら：大規模土砂生産後の土砂流出、土木技術資料、第56巻、第10号、pp.24~27、2014
- 2) 末次忠司ら：土砂管理施策のためのキーノート、国土技術政策総合研究所資料、第231号、2005
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0231.htm>
- 3) 例えば、江頭進治・松木敬：河道貯留土砂を対象とした流出、土砂の予測法、水工学論文集、第44巻、pp.735~740、2000
- 4) 例えば、柵木敏仁ら：土砂生産のタイミングを考慮した土砂生産・流出に関する研究、砂防学会誌、第59巻、第5号、pp.15~22、2007
- 5) 例えば、福嶋 彩ら：流砂系を一貫して扱う地形変化推定モデルの開発と安倍川流砂系への適用、土木技術資料、第46巻、第2号、pp.50~53、2004
- 6) 例えば、富田陽子ら：流域管理システム(WMS)のための土砂流出計算モデルと河床変動計算モデルの作成、砂防学会誌、第66巻、第5号、pp.3~12、2014

内田太郎



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室 主任研究官
Taro UCHIDA

蒲原潤一



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室室長、現 長野県
Jun'ichi KANBARA

松本直樹



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室 研究官
Naoki MATSUMOTO

桜井 亘



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室室長
Wataru SAKURAI