

◆ 特集：国土交通省国土技術研究会 ◆

## 山地流域における土砂生産予測手法の研究

河川局砂防部砂防計画課  
 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム  
 北海道開発局建設部河川計画課  
 各地方整備局河川部河川計画課  
 内閣府沖縄総合事務局開発建設部河川課

### 1. はじめに

流砂系においては、土砂や洪水の氾濫、ダム貯水池における堆砂、河床低下に伴う人工構造物の基礎部損傷、海岸侵食等に見られるような土砂問題が発生している。このような土砂問題を解決するために、河川審議会総合土砂管理小委員会（平成9年～10年度）では総合的な土砂管理の考え方について議論され、土砂管理上の課題の一つとして、土砂の生産・流出過程の把握が不十分であるために、土砂移動に関する予知・予測が困難であることが指摘された<sup>1)</sup>。

平成11年から15年にかけて実施してきた国土技術研究会指定課題「流砂系における土砂移動実態に関する研究」は、流域全域における土砂モニタリングの実施により、土砂移動の実態を量・質・時間的に流砂系一貫として明らかにしてきた。しかし、前述の研究においても、山地流域における土砂生産量推定精度の向上と山地河川流量の推定精度の向上が課題として残された<sup>2)</sup>。

今後立案する砂防基本計画においては計画の客観性と合理性が強く求められる。砂防基本計画の立案は生産土砂量の想定が基本であるため、砂防事業が主として対象とする山地流域において生産土砂量の推定精度の向上が必要とされている。また、山地流域内で生産された土砂は、山地河川の流量に応じて運搬されることから、山地河川による流出土砂量の推定精度は、山地河川流量予測精度に大きく依存するとともに、その推定精度の向上が必要とされている。

本研究では、山地流域を対象として、地形・地質等の情報に基づいた土砂生産モデルによって合理的かつ客観的に短期および中・長期の生産土砂

量と土砂供給タイミングを推定する手法を開発することによって、土砂ハイドログラフ設定のための境界条件の与え方を開発する。そして、地質毎の崩壊・土石流による土砂生産タイミングやタイプ等を類型化し、過去の災害事例が乏しい流域や、調査をあまり行うことができない流域において、地質、地形毎に崩壊・土石流による土砂生産タイミング、タイプ等を適切に想定可能な手法を開発することを目的とする。

### 2. 山地流域における土砂生産予測手法の研究手法

砂防基本計画を策定するために生産土砂量を推定する場合には、まず、流域における土砂移動実績に基づく計画シナリオを定め、そのシナリオによる場合の生産土砂量を推定する。通常、計画シナリオは、短期・中期・長期に分けて作られる。ここで短期とは計画規模の一連の降雨に対するもの、中期とは短期の降雨とともに発生する土砂量の影響期間（数年間程度）に対するもの、そして、長期とは短期・中期を除いた数十年間程度またはそれ以上の期間に対するシナリオを指す。

前述のとおり、本研究では、生産土砂量を土砂移動現象を物理的にモデル化することによって求めようとしている。そのためには、モデル化する現象を特定しなければならない。それぞれのシナリオには様々な土砂移動現象が含まれる。しかし、多岐にわたる現象全てについてモデル化することは困難であり、それぞれのシナリオで想定する支配的な土砂移動現象をある程度限定する必要がある。そこで、本研究では、短期のシナリオにおける計画規模の降雨時に支配的な土砂移動現象として斜面崩壊を、中・長期のシナリオにおける経年的に継続する支配的な土砂移動現象として主に渓床・溪岸侵食を、想定することとした。

Study on Prediction Method of Sediment Yield in Mountainous Basins

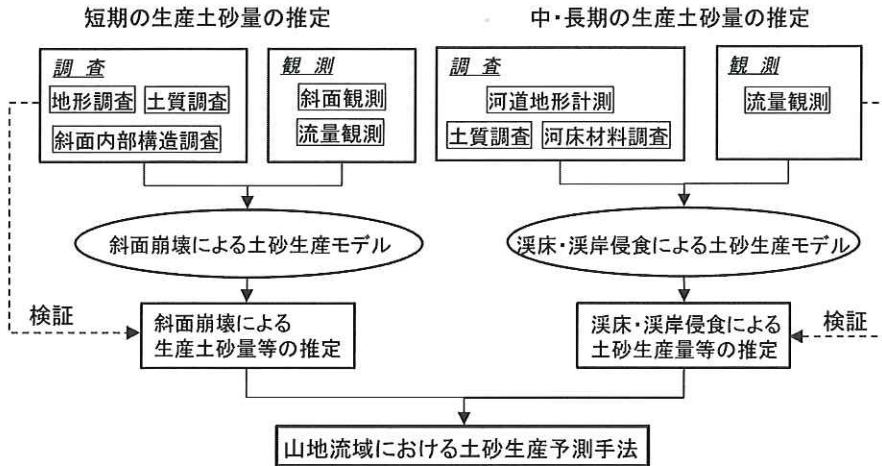


図-1 山地流域における土砂生産予測手法の研究フロー

そこで、以下では、斜面崩壊現象が支配的な土砂移動現象であると考えられる短期の土砂生産と、渓床・溪岸侵食が支配的な土砂移動現象であると考えられる中・長期の土砂生産の2通りに分けて研究を進めることとする。

図1に、短期と中・長期の土砂生産予測方法の研究フローを示す。

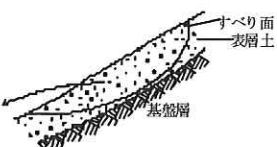
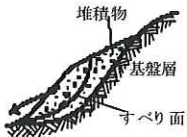
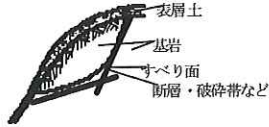
土砂移動現象を物理的にシミュレートするためには、土砂移動現象が起きる場の状態に関する情報、すなわち、地形・土質・水文特性等に関する情報が必要となる。そのため、まず、地形・土質等に関する基礎的な調査を行うとともに、流量観測や斜面観測等を実施し、対象とする斜面や流域

の水文特性および斜面の土質特性を把握する。

次に、短期および中・長期の土砂生産を推定するため、それぞれ対象とする土砂移動現象の物理モデルに調査・観測の結果得られた情報を入力し、計算を実施する。

計算結果は、その再現性を検証する。渓床・溪岸侵食を予測する中・長期の土砂生産予測の場合は、調査・観測期間中の大きな出水の際の河道地形変化を精密に計測した結果を再現対象とする。一方、斜面崩壊を予測する短期の土砂生産予測の場合、研究実施期間中に斜面崩壊が発生する保証が無い場合、過去の事例の再現、崩壊の前兆現象と考えられる斜面の微小な変形の再現、または、

表-1 短期の土砂生産現象の分類

表層崩壊	中規模崩壊	大規模崩壊
<p>表層の風化土層と基岩との間の面を境界として表土層が崩壊するものである。個々の規模は小さく、崩壊の深さも数10cm～2m程度であるが、発生数が多い。花崗岩地帯に多く、長さ、幅とも小規模で、表層土層も比較的薄い斜面であることが多い。</p> 	<p>過去の大規模な火砕流堆積物により形成された斜面や、基岩が認められないほど強度に風化が進行した斜面において発生する崩壊である。個々の規模は大きく、崩壊の深さも大きい。発生頻度は低い。たとえば火山噴出物地帯が挙げられ、長さ、幅とも大規模で、斜面表面から基岩までが深い急峻な斜面で発生することが多い。</p> 	<p>基岩内部で崩壊が発生するものである。個々の規模は極めて大きく崩壊の深さも大きい。発生頻度は低い。第三紀層、破碎帯等の堆積岩地帯に多く、長さ、幅の大きい斜面で発生することが多い。</p> 

\*表中の図は参考文献<sup>3)</sup>より抜粋

斜面内の土壌水分移動状況の再現等を通して検証を行う。

以下、短期と中・長期の土砂生産予測手法に関する研究についてさらに詳しく説明するとともに、調査・観測事例を紹介する。

### 3. 短期の土砂生産予測手法に関する研究方法

#### 3.1 短期の土砂生産予測手法に関する研究のための研究対象箇所を選定

短期の生産土砂量を推定する場合に主に考慮する現象は、計画規模の降雨時に流域内で発生する斜面崩壊である。ここでは、斜面崩壊は、その規模、崩壊機構等の観点から表-1に示すとおり表層崩壊、中規模崩壊、大規模崩壊、の3通りに分類し、取り扱うこととした。

現時点で、短期の土砂生産予測手法の研究のために調査観測が始まっている箇所は後述する広島事例しかない。今後研究を進めるにあたっては、これら3種類の崩壊に対する研究対象箇所を、全国の地方整備局等の直轄事業管内等から選定する必要がある。選定に当たっては、既往の斜面崩壊発生状況、地質区分、地形などを考慮して具体的に選定してゆく予定である。

次項では、既に調査・観測が始まっている広島における調査・観測事例について紹介する。

#### 3.2 短期の土砂生産予測手法の開発に必要な調査・観測（表層崩壊を対象とする場合）

短期の土砂生産現象として、斜面表層の風化土層の崩壊（表層崩壊）を想定することから、調査・観測は、表層崩壊の発生特性を把握し、別途定める斜面崩壊発生モデルの検証を行うことを目

的として実施する。調査・観測イメージを図-2に示す。対象斜面において、表層崩壊の主たる素因である風化土層深や土質特性を調査するとともに、誘因と考えられる土層中の水分状態の観測を行い、あわせて、崩壊の前兆現象と考えられる斜面の変位を計測する。

ここで紹介する観測対象流域「荒谷右支川」（広島県広島市佐伯区）は、風化花崗岩斜面から構成された比較的起伏のゆるやかな山地の流域である。対象流域内の山地斜面の基岩は広島風化花崗岩であり、風化したマサ土がその上を覆っている。集水面積12,440m<sup>2</sup>、平均傾斜角29°の小流域である（写真-1）。想定される斜面崩壊の形態は表層崩壊である。平成11年6月29日の広島豪雨災害の際には、流域内で実際に表層崩壊が発生している。この観測対象流域の地形と観測機器設置状況を図-3に示す。

表層崩壊は、基岩上の薄い表土層へ雨水が浸透



写真-1 荒谷右支川の空中写真  
(平成11年6月30日撮影)

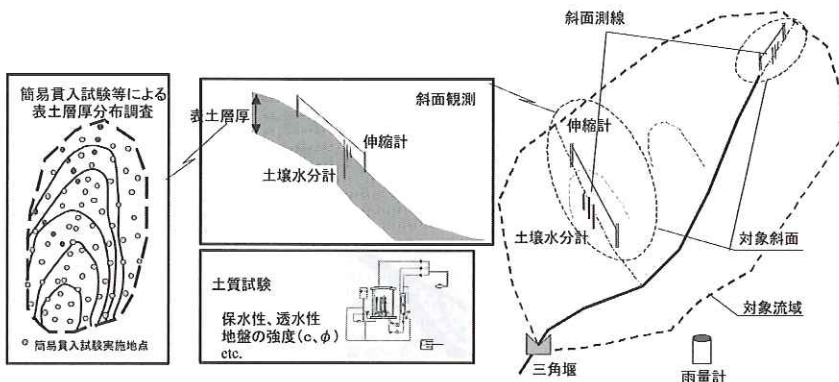


図-2 表層崩壊を対象とした土砂生産予測の研究のための調査・観測イメージ

し、基岩と表土層の境目をすべり面として発生する崩壊である。そのような崩壊の発生モデルを作成し、検証するデータをとるためには、表層の風化土層深の分布を把握し、表土層内の土壤水分量の変化を観測することが必要である。

風化土層深は簡易貫入試験によって求めた。「荒谷右支川」流域において実施した簡易貫入試験の結果の一部を図-4に示す。測線上をほぼ10m毎に簡易貫入試験を行い、断面図を作成した。なお、ここに示す断面測線の位置は、図-3中に図示した。図-3に示した測線区間においては、表層土と考えられる  $N_d < 5$  の土層の厚さは、数十cm～2m程度であった。

次に、この風化土層中の土壤水分状態を観測するため、テンシオメータを設置した。テンシオメータの設置数および深度は、図-3に示した通りである。

平成16年8月30日、台風16号に伴い、観測対象斜面の雨量計で100mmの降雨が記録された。その際にT1、T4において得られた土壤水分の観測結果を図-5に示す。T1、T4とも最も深い位置に設置されたテンシオメータは、簡易貫入試験によって基岩であると判定された深さとほぼ同じ深さに設置されている。なお、T1の15cm深のデータと、T2の全深度のデータは測定器の動作不良のため正常に得られなかった。

図-5によれば、浅い位置に設置されたテンシオメータから順に土壤水分量が増加していることが分かる。雨水が斜面内を鉛直浸透している状況がとらえられているものと考えられる。一方、基岩上に飽和帯が形成され、そこに斜面下方に向かう流れとして発生する飽和側方流がこの場合には発生していなかったようである。斜面下方に位置するT4の深い位置のセンサーでは、斜面上方の測点T1で基岩にまで鉛直浸透水が到達した8月30日20時以降、単調に値が減少を続けており、斜面上方からの側方流で水が供給されているようには見えないからである。

今後この観測地においては、さらに斜面内部の土壤水分の移動特性を明らかにするとともに、降雨時の斜面変位等の実態についても明らかにするため、大規模な降雨時のデータが得られるようさらに観測を続ける予定である。

本研究で用いる表層崩壊の発生モデルは、斜面表土層の不飽和浸透特性や土質特性を反映し、流

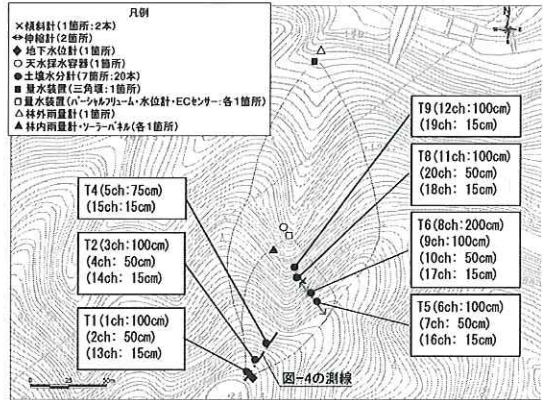


図-3 「荒谷右支川」における観測機器配置図

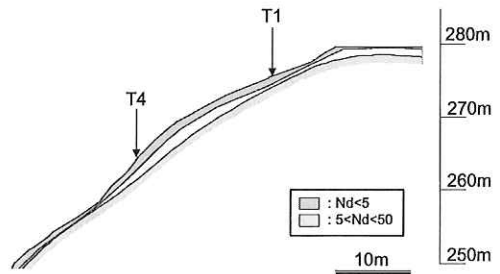


図-4 表土層深分布 (図3に示す測線の断面図) 図中のT1, T4は、土壤水分計の設置地点を示す。

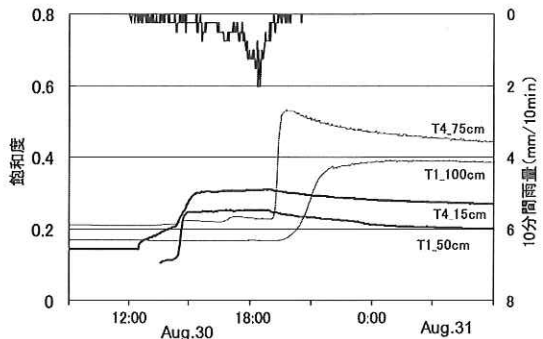


図-5 降雨時の土壤水分状態の時間変化 (図3に示す3箇所)のテンシオメータのデータから作成)

域内の空間的な斜面形状、土層深分布を考慮した物理的なモデルとする。モデルの詳細な仕様については、既往の研究事例<sup>4)</sup>やこれまでに観測で得られた結果等も反映させ、現地に適合性の高いものとするようにしたい。今後の課題である。

また、今後、全国の各地方整備局の管内で、表層崩壊、中規模崩壊、大規模崩壊の発生が予想される観測地を選定し、全国的に短期の土砂生産予測に関する研究を進めて行きたい。中規模および大規模崩壊を対象とした調査・観測事例について

は別の機会に紹介することとした。

#### 4. 中・長期の土砂生産予測手法に関する研究の進め方

##### 4.1 中・長期の土砂生産予測手法に関する研究のための研究対象箇所を選定

中・長期の土砂生産予測手法に関する研究のための研究対象箇所の選定にあたっては、中・古生層の堆積岩地帯等において過去大規模な斜面崩壊が起り、不安定な土砂が河道に堆積しており、今後侵食を受け易いと考えられる流域や、火山地帯で侵食を受けやすい堆積物が厚く存在している流域内の河道部分を選ぶ。今後、本研究における渓床・渓岸侵食の対象箇所を、全国の地方整備局等の直轄事業管内等から選定する必要がある。

次項では、現時点で調査・観測が始まっている天竜川水系与田切川上流部における調査・観測事例について紹介する。

##### 4.2 中・長期の土砂生産予測手法の開発に必要な調査・観測

中・長期の土砂生産現象として、渓床・渓岸侵食を想定していることから、調査・観測は、渓床・渓岸侵食の特性を把握し、別途定める渓床・渓岸侵食モデルの検証を行うことを目的として実施する。調査・観測イメージを図-6に示す。ここで行う調査・観測とは、対象流域内の河道区間に対して、出水の前後に河道地形計測を実施することにより、渓床・渓岸侵食量を精密に求めるとともに、流量観測することによって、計測された渓床・渓岸侵食をもたらした出水の流量を求めるといったものである。

ここで紹介する観測対象流域「与田切川オンボロ沢」(長野県上伊那郡飯島町)は、天竜川の支川の一つであり、木曾山脈の南駒ヶ岳に源を発する溪流である。その上流域には百間ナギの大崩壊地があり、土砂生産の活発な溪流である。

およそ2kmのオンボロ沢の河道区間を対象として、2004年6月と11月に航空レーザー計測<sup>5)</sup>を実施した。この期間(2004年6月1日～10月31日)、同沢に近い黒覆山の雨量観測点では、総雨量1,353mm(但し8月25日～30日は欠測)を記録し、日雨量が100mmを超えた日は3日であった。この降雨の結果、流域内では、渓床・渓岸侵食が発生したことが確認されているため、2004年6月の標高データと11月の標高データの差分を取

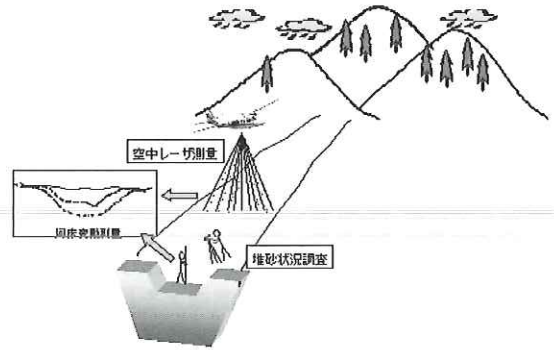


図-6 中・長期の生産土砂量(渓床・渓岸侵食量)推定手法研究のための調査・観測のイメージ

ることにより、この期間に発生した渓床・渓岸侵食を面的かつ定量的に評価した。2004年6月～11月にかけての標高データの差分値を図-7に示す。図-7a)は堆積、図-7b)は侵食で、濃い部分が変動が大きかったことを示す。ここで検討した河道区間内について、2004年6月から11月にかけての変動量を全区間で積分すると、堆積量51,400m<sup>3</sup>、侵食量28,200m<sup>3</sup>となり、トータルで23,200m<sup>3</sup>の堆積となる。上流部の勾配の急な区間においては、侵食傾向にあるものの、河道区間全般で見ると、今年の雨に対する出水では土砂が堆積する傾向にあったことが分かる。今後さらに精査が必要であるが、この傾向は現地調査の結果とほぼ調和的であった。

また、図-7中に位置を示した横断測線における河道断面形状の変化を図-8に示す。左岸側が大きく渓岸崩壊し、数m後退していることが分かる。一方、この左岸の侵食された箇所を除くとその他の部分では2時期の河道断面はよく一致しており、十分に良い精度で渓岸侵食が計測されていると考えられる。

今回、オンボロ沢で示した調査事例に関しては、まだ、詳細を検討中であり、大きく地形が変化した箇所についてののみ検討結果を示した。より小規模な渓岸侵食、渓床侵食(堆積)がどこまで有意に把握できるか今後も検討を継続したい。また、ここで得られた地形変化データは、今後検討する渓床・渓岸侵食モデルの計算結果の検証データとして用いる予定である。

本研究で用いる渓床・渓岸侵食モデルは、研究実施対象溪流のある区間の渓床、渓岸について、計画の対象とする降雨のハイトグラフから推定されたハイドログラフを用いて掃流力等の水理計算を行うことによって、渓床と渓岸の侵食量を評

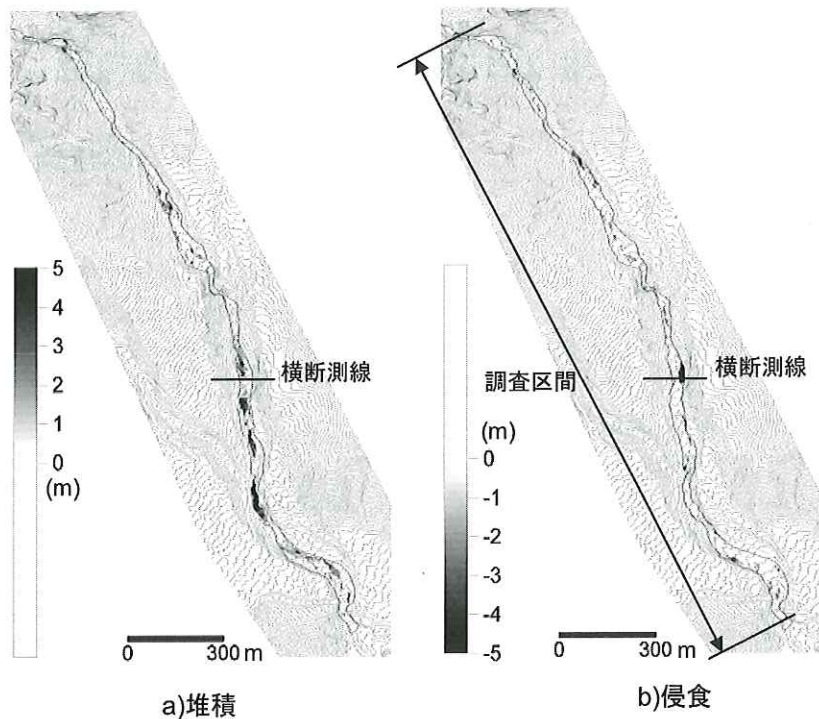


図-7 オンボロ沢における2004年6月から11月にかけての河床変動

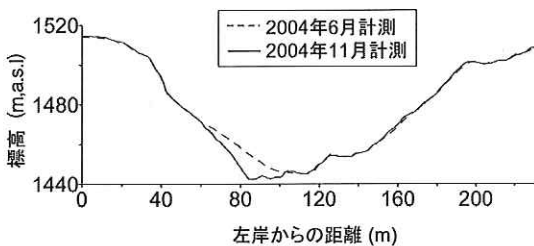


図-8 横断測線における河道断面図

価するものである。対象溪流において降雨から流量を予測するモデルと併せて検討してゆく予定である。

今後、全国の各地方整備局の管内で、渓床・渓岸侵食を調査・観測するのに適した溪流を選定し、全国的に中・長期の土砂生産予測に関する研究を進めて行きたい。

#### 4. おわりに

本研究は、今年度から平成18年度まで実施する計画で始まった。初年度ということもあり、本格的なデータ解析等まで行うことができず、一部始まっている調査・観測事例を紹介することとした。今後、データ解析までも含めて研究の進捗を早め

て行きたい。

本研究が対象とする範囲は山地の源頭部であるので、調査・観測には、非常な困難が伴うことが予想される。今後は、次年度から本格的にスタートする現地調査・観測に向けて早急に体制を整え、担当部局が十分な情報交換と議論を行い、山地流域の土砂生産予測手法の開発に努力したい。

#### 参考文献

- 1) 河川審議会総合政策委員会総合土砂管理小委員会 (1999)：「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」報告, 1998
- 2) 国土交通省河川局砂防部砂防計画課ほか：流砂系における土砂移動実態に関する研究, 第57回国土交通省技術研究会指定課題論文集, 2003
- 3) 小橋澄治：山地保全学, 文永堂出版, 280p.
- 4) たとえば、建設省土木研究所砂防部砂防研究室：土砂災害危険度予測システムの開発に関する研究, 土木研究所資料第2745号
- 5) たとえば、仲野公章ほか：2000年有珠山噴火時におけるヘリコプター搭載レーザースキャナーによる地形変化測定, 砂防学会誌, Vol. 53, No.6, p.88-94

〈文責〉 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ  
 火山・土石流チーム 笹原克夫  
 同 山越隆雄