

大規模土砂生産後の土砂流出

内田太郎・丹羽 諭・蒲原潤一

1. はじめに

豪雨や大規模地震によって、多数の斜面崩壊が生じ、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。例えば、2011年の台風12号では、紀伊半島で概ね1億 m^3 の斜面崩壊が発生した(図-1)。本報告では、このような斜面崩壊により大量な土砂が溪流・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。

大規模な土砂生産現象はまれな現象であり、規模にもよるが、数年から数100年に1度の現象であると考えられる。そのため、大規模土砂生産現象が一度発生すると、大規模土砂生産現象のない時期に比べて、極めて大量な土砂が溪流・河川等に供給されると考えられる。

また、一般的に、大規模土砂生産時には、溪流・河川における流水の土砂輸送能力は、土砂生産量に比べて小さいため、大量な土砂が溪流や河川に貯留されることになる¹⁾。そのため、大規模土砂生産現象は、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可能性が考えられる。実際、2011年の台風12号により紀伊半島で生じた大量な崩壊土砂は天然ダムを形成するなどし、3年経過した2014年時点でも、溪流や河川内に大量の土砂を残存させており、その管理が課題になっている²⁾。また、これまでも総合的な土砂管理施策の立案において、間欠的に生じる土砂生産現象を考慮することの重要性は指摘されてきた³⁾。

しかし、

(1)大規模土砂生産現象が流域の土砂動態に及ぼす影響およびその評価手法

(2)大規模土砂生産現象後の土砂流出に対する土砂管理手法

については十分に検討されているとは言いがたい。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



図-1 大規模土砂生産現象の例(2011年台風12号による紀伊半島における斜面崩壊による溪流・河川等への土砂供給状況)。いずれの斜面崩壊においても、大量な土砂が斜面および河床に堆積しており、これらの土砂がどのようなタイミングでどの程度の量下流に流下するかを把握することが課題。

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、前記の(1)、(2)の課題に関する検討を進めてきている。本報告では、大規模土砂生産現象が流域の土砂動態に及ぼす影響について、既往研究をレビューした上で、2つの事例研究の成果について報告する。

2. 既往研究のレビュー

2.1 地震による大規模土砂生産現象のレビュー

2.1.1 飛越地震による常願寺川の事例

1858年の飛越地震により、常願寺川流域において発生した鳶崩れ(崩壊土砂量は $1.1\sim 4.1\times 10^8m^3$ と推定されている)は長期間下流域に影響を及ぼしたと考えられている⁴⁾。常願寺川は鳶崩れ発生前は現在より河床が低く、比較的穏やかな川であったと考えられている。一方、鳶崩れ後100年以上にわたり、それ以前と比べて水害が頻発(地震後100年間で127回発生)している。さらに、崩壊から約50年経過した1909年から1941年までの期間においても、下流河道では河床が上昇し続けて、大きいところでは2m程度の河床上昇がみられたことが報告されている⁴⁾。

2.1.2 関東大地震による中川川流域の事例

丹沢山地では1923年の関東大地震により、多数

Prolonged effects of large sediment yield events on sediment dynamics in mountainous catchment

の崩壊が発生した。Koiら(2008)⁵⁾は、丹沢山地内の中川川流域を対象に、崩壊地の分布状況と砂防堰堤の堆砂状況から算出した流出土砂量の関係を分析した。その結果、1956～1993年の期間の流出土砂量の空間分布は、関東大地震により発生した崩壊地分布と関連性が高く、関東大地震以降の降雨で発生した崩壊地面積とは明瞭な相関がみられないことを示した。この結果より、関東大地震による斜面崩壊が地震発生から30～70年経過したのちであっても、流域からの流出土砂量を規定する重要な要因であることが考えられた。

2.1.3 長野県西部地震による王滝川流域の事例

1984年の長野県西部地震により深層崩壊を含む多くの斜面崩壊が発生した。中でも、最大の伝上崩れの崩壊土砂量は約 $3.6 \times 10^7 \text{m}^3$ である⁶⁾。震源域より下流にある牧尾ダムの堆砂量データ⁷⁾によると、ダムへの流入土砂量は地震発生後、顕著に増加し、地震発生年およびその翌年の流入土砂量は、平年(1979年御岳山噴火以前)の約16～17倍となっている。さらに、同データによると地震後少なくとも7年間は、平年に比べて流入土砂量が多い時期が継続しているが、この間の総流入土砂量は崩壊土砂量の20%以下であると考えられる(図-2)。

2.1.4 その他の地震による事例

ニュージーランドで1929年に発生した地震では、約92km²の流域内に $3.8 \times 10^7 \text{m}^3$ の土砂が生産され、50年後にも半分の土砂が流域内に貯留されていると報告されている⁸⁾。また、台湾で1999年に生じた集集地震では20,000箇所以上の斜面崩壊が発生した。このとき、地震直後から、震源域の下流では、浮遊砂濃度が急激に上昇し、最大5倍程度地震以前に比べて大きくなったことが報告されている⁹⁾。さらに、この事例では、地震後6年間、浮遊砂濃度が

高い状態が継続した後、概ね地震以前の状態に戻たとされている。

2.2 豪雨による大規模土砂生産現象のレビュー

2.2.1 中川川流域の事例

Koiら⁵⁾が検討した中川川流域では、1972年の豪雨(山北災害)によっても多数の斜面崩壊が発生している。山北災害の方が近年であるにも関わらず、崩壊土砂量の総量が関東大地震より小さいため、山北災害時の斜面崩壊が流域からの流出土砂量に及ぼす影響は顕著ではないことが報告されている⁵⁾。

2.2.2 渡川流域の事例

厚井(2009)¹⁰⁾は、宮崎県渡川流域の土砂収支について検討を行った。渡川流域は、1954年から2006年の間に、連続雨量1,000mmを超えるような豪雨が10回発生し、うち4回は斜面崩壊が確認されている。同流域の斜面崩壊発生年および崩壊発生後の2～8年間の流出土砂量は大きかった。この土砂流出が活発な期間(計15年間)の流出土砂量は、全期間(52年間)の流出土砂量の82%を占める。これに基づき、豪雨の発生頻度の高い流域では、斜面崩壊により河道に供給された土砂が崩壊後数年で流出してしまうこと、流域からの流出土砂量は斜面から河道への土砂供給量によって制約されていることが考えられることが報告されている¹⁰⁾。

2.2.3 宮川流域の事例

三重県の宮川流域においては、1965年から2000年までの35年間で斜面崩壊による生産土砂量は $4.3 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、この間の宮川ダムの堆砂量は、同じ期間の斜面崩壊による生産土砂量の約80%に達する¹¹⁾。また、宮川流域では2004年の台風21号により斜面崩壊が多発した。2004年の宮川ダムへの流入土砂量は平年の約8倍であったが、2年後の流入土砂量はほぼ平年並みであった¹²⁾。

3. 事例の分析

3.1 川辺川の土砂収支

本報告では、川辺川流域のうち、朴木砂防堰堤より上流の97km²を対象に検討を行った。朴木砂防堰堤は川辺川本川に位置し、不透過型で容量は $1.1 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、2012年時点で未満砂であった。同流域には、この他に11基の砂防堰堤が設置されている。本報告では、川辺川ダム砂防事務所のデータ(砂防堰堤の堆砂測量結果)に、国総研でデータを追加し、検討を行った。また、本報告では、崩壊

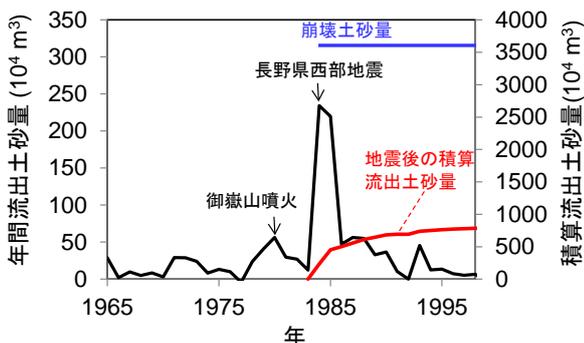


図-2 牧尾ダムの流入土砂量の経年変化
 図中の崩壊土砂量は、伝上崩れの崩壊土砂量を参考に示した。実際には、地震前後においても伝上崩れ以外の崩壊があったと考えられる。

地分布図を用い、現地調査結果等に基づき求めた崩壊面積と崩壊土砂量の関係式から、崩壊土砂量を算出した。

川辺川流域では、対象期間に比較的大規模な土砂生産現象が3回（1982，2004，2005）発生している。大規模土砂生産現象が生じた3つの年はいずれも朴木堰堤の堆積土砂変化量が大きい（図-3）。このうち、1982年の崩壊土砂量が比較的小さかったためか、1983年以降の朴木堰堤の堆積土砂変化量はほぼ平年並みであった（図-3bの黒線）。一方、2004、2005年の大規模土砂生産現象の後の5年間は朴木堰堤への流入土砂量が比較的大きい時期が継続している。また、この2004、2005年の斜面崩壊による生産土砂量の2010年までの土砂収支を見ると、朴木堰堤までに12%の土砂が達し、35%の土砂が朴木堰堤以外の砂防堰堤に捕捉されており、残りの半分程度が河道または斜面に堆積していると考えられた。

3.2 一迫川の土砂収支

北上川水系一迫川の花山ダム上流の127km²を対象に検討を行った。一迫川流域は、2008年の岩手・宮城内陸地震で多数の崩壊が発生し、大小6箇所の天然ダムが生じている。本研究では、東北地方整備局と宮城県のデータに国総研でデータを追加し、検討を行った。本報告では、川辺川と同様な手法で

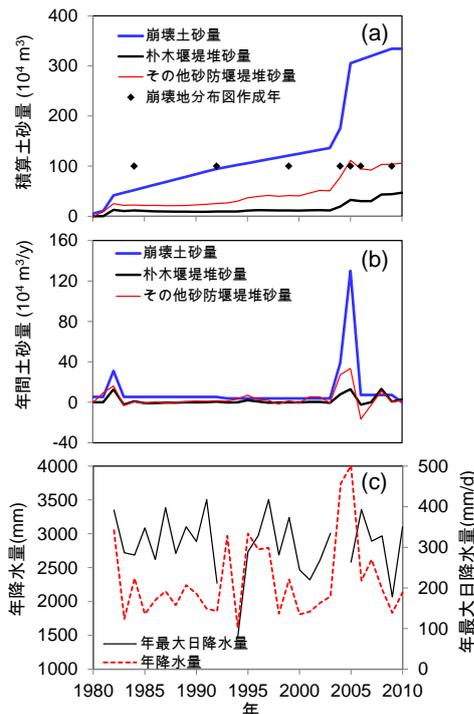


図-3 川辺川における土砂収支 (a及びb) と開持観測所における降水量の経年変化

斜面崩壊による崩壊土砂量を算出した。さらに、同流域では、レーザープロファイラによる地形測量が地震後3時期行われており、このデータも用いた。

図-4に示したように一迫川流域では、検討対象期間（15年間）の崩壊土砂量のうち、90%が地震にともない発生したと考えられ、地震が発生した2008年の崩壊土砂量は地震以前における1年あたりの平均の崩壊土砂量の約300倍にも達した。

花山ダムの堆積土砂変化量も2008年は大きく、地震以前における平均値の約11倍であった。しかし、地震の翌年の2009年の堆積土砂変化量は小さく、2011年までむしろ地震前より小さい傾向にあった。これは、流域内に生じた天然ダム上流の湛水池内に土砂が堆積したことによる可能性が考えられる。同様な現象は、ニュージーランド等でも報告されている⁸⁾。一方、2012年の花山ダムの堆積土砂変化量は、2008年に匹敵するほど大きい。これは、豪雨により花山ダムより約20km上流に位置する湯浜地区等の天然ダムにおいて大規模な越流侵食が生じたため、天然ダムを構成していた土砂および上流湛水池内に堆積していた土砂が流出したためと考えられる。

また、地震により生じた斜面崩壊による生産土砂量に対する土砂収支を見ると、2008～2012年の5年間で花山ダムまで達した土砂は2.5%であり、大量な土砂が流域内に貯留されていると考えられる。また、レーザープロファイラデータから、流域内の土砂の60%が河床に、40%が斜面に堆積していると考えられた。

4. まとめ

前章で示した2事例について、定性的な傾向は2章で示したレビューの結果と一致した。レビューおよび2つの事例研究からわかったことを以下にまとめる。

- ① 地震による大規模土砂生産現象は、数10年以上の長期間にわたって流域の土砂動態に影響を及ぼすことがある。
- ② 豪雨による大規模土砂生産現象が長期的な流域の土砂動態に及ぼす影響については必ずしも明瞭でない場合が多く、斜面崩壊が流域からの流出土砂量に影響する期間は、長くても数年程度のことが多い。
- ③ 豪雨による大規模土砂生産現象の影響が小さい

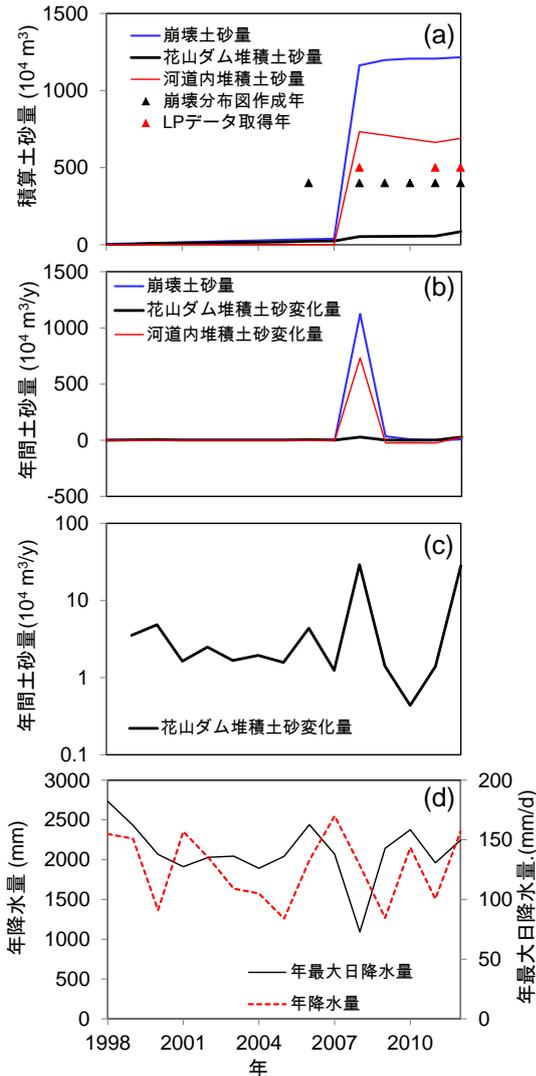


図-4 一迫川における土砂収支 (a~c) と駒ノ湯観測所における降水量の経年変化 (d)

理由としては、崩壊土砂の相当量が土石流等として河道に達することなどにより、当該豪雨期間中またはその後の降雨で速やかに下流に流出する等が考えられた。

- ④ 大規模土砂生産現象の長期間の影響は、天然ダムの有無、天然ダムの安定性が大きな影響を及ぼす。

本報告は各事例を羅列的に整理し、定性的に傾向を把握するにとどまった。また、今回の検討事例で

は、豪雨による生産土砂量は、地震による生産土砂量に比べて、小さかった。このことにより、相対的に地震による大規模土砂生産現象の影響が大きくなった可能性も考えられる。今後は事例を横断的に分析し、大規模土砂生産現象が長期間の流域の土砂動態に及ぼす影響の把握に努めたい。

参考文献

- Guzzetti F. et al. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol.279, pp.222-229, 2011
- 更谷慈禧：崩壊土砂の一元管理と自然との共生、砂防学会誌、第67巻、第1号、pp.1~2、2014
- 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
- 池田暁彦：大規模崩壊地からの土砂流出とその対策、砂防学会誌、第64巻、第3号、pp.57~63、2011
- Koi T. et al. : Prolonged impact of earthquake-induced landslides on sediment yield in a mountain watershed: The Tanzawa region, Japan. *Geomorphology*, Vol.101, pp.692-702, 2009.
- 原義文ら：御嶽山「伝上崩れ」発生後 15 年間の地形変化-2、平成 12 年度砂防学会研究発表会概要集 pp.278~279、2000
- 大串和紀ら：牧尾ダムにおける堆砂問題、農業土木学会会誌、第 63 巻、第 8 号、pp.817~822、1995
- Pearce AJ., Watson AJ. : Effects of earthquake-induced landslides on sediment budget and transport over a 50-yr period, *Geology*, Vol.14, 52-55
- Hovius N. et al. : Prolonged seismically induced erosion and the mass balance of a large earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol.304, pp. 347-355
- 厚井高志：長期ダム堆砂データを用いた山地森林流域における土砂生産・流出に関する研究、東京大学学位論文、2009
- Imaizumi, F., Sidle RC., Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, Japan. *J. Geophys. Res.*, Vol. 112 doi:10.1029/ 2006JF000495、2007
- 黒岩知恵、平松晋也：2004 年台風 21 号による土砂生産と森林施業状態との関係、平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集、pp.490~491、2009

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

丹羽 諭



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 部外研究員
Satoshi NIWA

蒲原 潤一



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長
Jyunichi KANBARA