

崩壊土砂の流動化量に関する一考察

内田太郎* 岡本 敦**

1. はじめに

斜面崩壊により発生した土砂の多くは、斜面直下に堆積する場合が多い¹⁾。しかし、場合によっては、崩壊土砂の一部または大半が流動化するなどして、崩壊土砂が長距離流下することがある²⁾ (写真-1)。これまでも、崩壊土砂の流下範囲については、崩壊土砂量と等価摩擦係数(崩壊土砂が流下した比高を流下した水平距離で除した値)の関係について検討が行われ、崩壊土砂量が多いほど、等価摩擦係数が小さくなる(崩壊土砂が遠くまで到達するようになる)ことが明らかにされてきている³⁾。その上で、近年、崩壊土砂がそのまま流下した場合や崩壊した土砂が土石流として流下した場合の数値計算手法も提案されてきた^{4), 5)}。

しかしながら、崩壊土砂のうち、どの程度の割合が流動化するかに十分に把握されているとは言い難い。その結果、深層崩壊など規模の大きい崩壊に対して対策を立案する場合において、想定される崩壊土砂の全てが流動化して下流にもたらされると考えるなど、過大な現象を想定するおそれがある。

そこで、近年発生した深層崩壊を対象に流動化した土砂量を算出し、流動化土砂量を規定する要因について調べた。ここでは、上述の崩壊土砂量と等価摩擦係数に関係があることから、崩壊規模が崩壊土砂の流動化に及ぼす影響を検討した。また、既往研究⁶⁾において、地震により生じた崩壊土砂の到達距離に影響するとされた斜面から溪流に崩壊土砂が流れ込む角度(以下、「合流角度」と呼ぶ: 図-2参照)や合流後の河床勾配についても、崩壊土砂の流動化に及ぼす影響を検討した。さらに、流動化には地下水量も影響すると考えられるが、地下水量のデータを得ることは困難であるため、ここでは、降水量について影響を検討した。

2. 調査方法

2.1 対象とした崩壊

本調査では、地震による崩壊は除き、流動化のおそれが高いと考えられる豪雨により生じた深層崩壊を対象とした。ここでは、2004年8月の台風10号

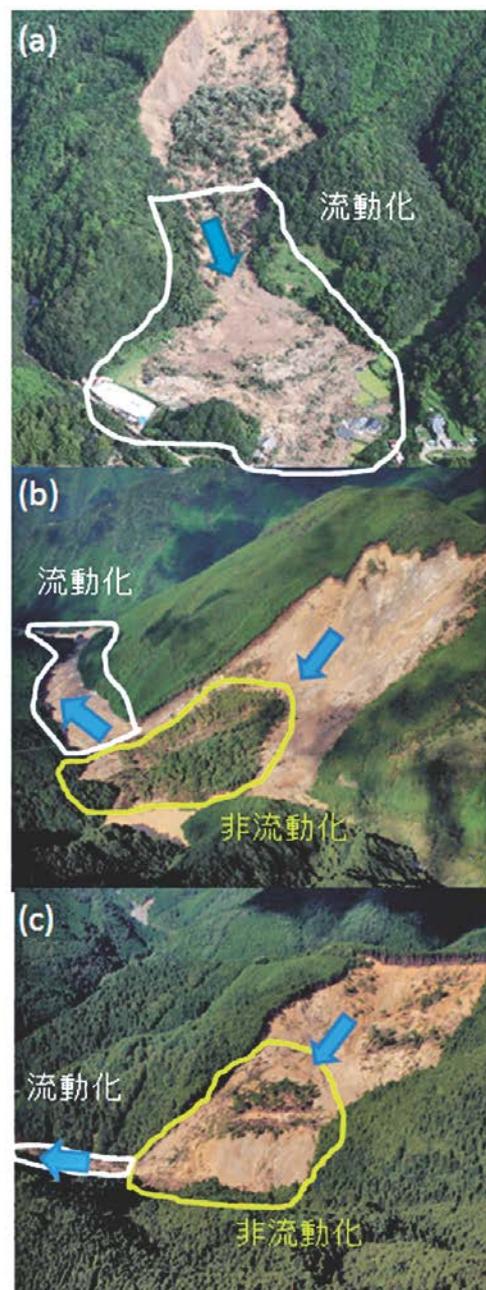


写真-1 (a)崩壊土砂の大半が流動化した事例(2012年和歌山県伏菟野)、(b)崩壊土砂の一部のみが流動化した事例(2012年和歌山県熊野)、(c)崩壊土砂の大半が流動化しなかった事例(2012年奈良県北侯)

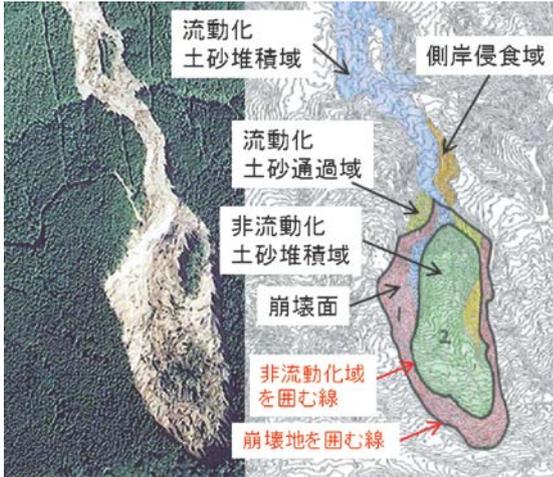


図-1 崩壊地、流動化域、非流動化域の判読例（2005年宮崎県七瀬谷）(右) 崩壊後の空中写真、(左) 判読結果

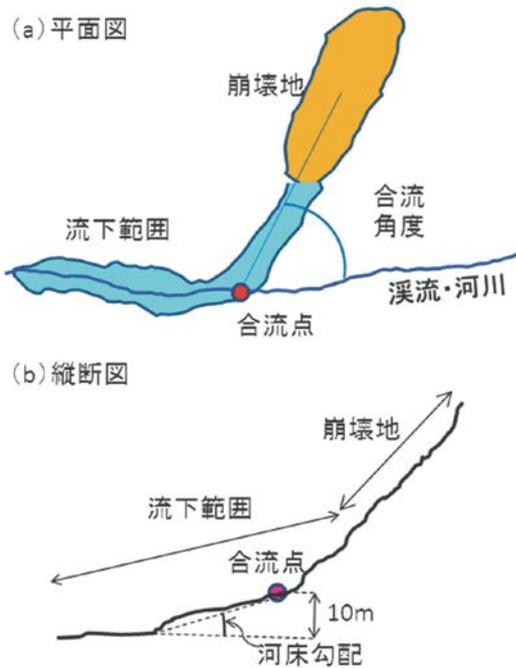


図-2 合流角度、河床勾配の概念図

による徳島県那賀川流域の4崩壊、2005年9月の台風14号による宮崎県鱈塚山地における8崩壊、2011年9月の台風12号による奈良県、和歌山県における7崩壊の計19崩壊を対象とした。いずれの崩壊も、崩壊後に航空レーザープロファイラによる地形測量が行われている。崩壊土砂量は、約3万 m^3 から940万 m^3 の範囲であり、10万 m^3 以下が2事例、10万～100万 m^3 以下が14事例、100万 m^3 以上が3事例である。

2.2 流動化・非流動化土砂量の算出

はじめに、崩壊地の範囲、流動化土砂および非流動化土砂の堆積範囲について、崩壊後の空中写真を用いて判読した。非流動化土砂は、崩壊発生後の

空中写真撮影時点で、地表流等による流動の痕跡がなく、塊として残存している土砂として、堆積範囲を判読した。その上で、流動化土砂は、崩壊土砂のうち非流動化土砂を除く部分とした(図-1参照)。その上で、崩壊前後の地形データ(崩壊前は、空中写真測量、崩壊後はレーザープロファイラデータ)を用いて、崩壊土砂量、非流動化土砂量を算出し、崩壊土砂量から非流動化土砂量を引いて、流動化土砂量を算出した。その上で、流動化土砂量を崩壊土砂量で除して、流動化率を算出した。

2.3 要因データの整理

本調査では、崩壊土砂の流動化に及ぼしうる要因として、崩壊土砂量、平均崩壊深、合流角度、河床勾配、降雨量について整理した。平均崩壊深は、崩壊土砂量を崩壊面積で除して求めた。また、合流角度は図-2に示すように、斜面から流下した土砂が溪流・河川に流入した際の斜面における流下方向と、溪流・河川の流下方向のなす角とした。河床勾配は合流点より下流の河床勾配とし、ここでは、河床の標高が、合流点より10m低くなるまでの平均勾配として求めた(図-2b)。また、降雨量については、崩壊を発生させた降雨イベント中の最大時間雨量と最大24時間雨量を崩壊地から最も近いアメダスのデータを用いて求めた。

3. 結果

3.1 崩壊規模と流動化の関係

図-3(a)、(b)に崩壊土砂量、平均崩壊深と流動化率の関係をそれぞれ示した。なお、図中で流動化率が負の値になっている事例は、空中写真および地形データから求めた非流動化土砂量が崩壊土砂量を上回っていることを示しており、計測の誤差および崩壊以前に比べて崩壊後に土砂の空隙率が增大したことによる可能性が考えられる。

崩壊土砂量と流動化率の間には明瞭な相関は見られないものの、全体的に崩壊土砂量が増大するに従い、流動化率は低下した。崩壊土砂量が100万 m^3 を超えるような崩壊では流動化率は20%を超えるような事例は今回の調査対象の中では見られなかった。結果的に今回の19事例のうちでは、流動化土砂量が約70万 m^3 の事例が最大であった。また、流動化土砂量が負の値となった3事例を除くと、流動化土砂量は16事例中13事例で概ね10万～70万 m^3 の範囲におさまっており、崩壊土砂量は最大と最小で

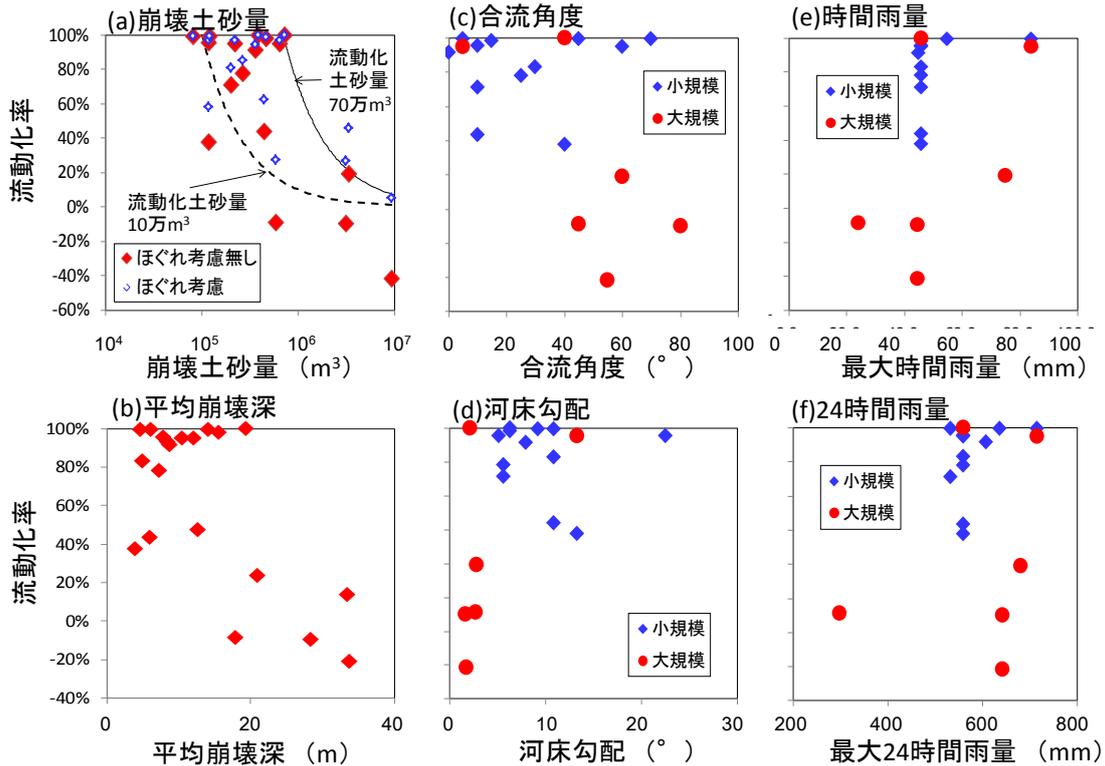


図-3 (a)崩壊土砂量、(b)平均崩壊深、(c)合流角度、(d)河床勾配、(e)最大時間雨量、(f)最大24時間雨量と崩壊土砂の流動化率の関係、図中の大規模は崩壊土砂量が 50万m^3 以上の崩壊、小規模は崩壊土砂量が 50万m^3 以下の崩壊 (a)の中には、崩壊後、見かけの土砂量が1.5倍になるケースを「ほぐれ考慮」として示した。

15倍程度異なることに比べると、流動化土砂量の最大と最小の幅は小さかった。

また、流動化率は、平均崩壊深が増大するに従い、徐々に低下する傾向が見られた。特に、平均崩壊深が 20m を超えるような事例では、顕著に流動化率が低かった。

3.2 地形と流動化の関係

図-3(c)、(d)に合流角度、河床勾配と流動化率の関係をそれぞれ示した。図-3(c)に示したように、合流角度 45° 以下の場合、崩壊土砂量が 50万m^3 以上の規模が大きい場合(図-3の「大規模」)であっても、 100% 近く流動化する場合がある。一方で、崩壊土砂量が 50万m^3 以上で、合流角度 45° 以上の場合、該当する4事例で全て流動化率は 20% 以下であった。従来、合流角度が増大するに従い、流動化が生じにくいという指摘があったが、崩壊土砂量が 50万m^3 以下の場合、合流角度が増大するに従い、流動化率が小さくなるような明瞭な関係は見られなかった。

また、河床勾配と流動化率の関係において、崩壊土砂量が 50万m^3 以下の場合に河床勾配が増大するに従い、流動化率が大きくなるような明瞭な関係

は見られなかった。一方、崩壊土砂量が 50万m^3 以上で流動化率が 20% 以下と低い4事例はいずれも河床勾配が、概ね 6° 以下の比較的勾配の緩い区間で生じていた。ただし、河床勾配が約 4° で崩壊土砂量が 50万m^3 以上であってもほぼ全量、流動化した事例もあった。この事例は、2005年に宮崎県鰐塚山地の天神山で生じた崩壊であり、この事例の場合、崩壊下端と河床の比高が大きく、斜面を流動化して流下した後に、河川に流入しており、合流角度、河床勾配が流動化率に影響を及ぼさなかったものと考えられる。

3.3 降雨量と流動化の関係

図-3(e)、(f)に示したように、降雨量と流動化率の間には明瞭な傾向は見られなかった。これは、崩壊土砂の流動化に及ぼす降雨量の影響が小さい可能性を示しているが、今回の事例がいずれも台風による豪雨時に発生しており、降雨量自体の違いが小さかったことに起因する可能性があり、さらなる検討が必要であると考えられる。

3.4 崩壊土砂の流動化を規定する要因

崩壊深が深く、崩壊土砂量が多い崩壊では、合流角度、河床勾配によらず、多くの場合で流動化

率は低くなる傾向があった。本調査では、流動化土砂量は、崩壊土砂量から非流動化土砂量を差し引いて求めた。一方、非流動化土砂量は、見かけ上崩壊前の土砂量（空隙込み）より大きくなる（いわゆる、ほぐれる）可能性が考えられることから、実際の流動化土砂量は、今回の算出値より大きい可能性が考えられる。ここで、崩壊前の見かけの土砂量（空隙込み）に比べて、崩壊後の見かけの土砂量は5割程度大きくなったと仮定した場合の結果を図-3(a)に併記した。この結果、流動化土砂量が150万 m^3 の事例が1事例見られたものの、それ以外の事例はほぼ流動化土砂量は10～70万 m^3 であった。このことから、ほぐれの影響は前節までの結果に及ぼす影響は小さいと考えられる。

規模の大きい崩壊による崩壊土砂の流動化率が低い原因として、崩壊土砂量が大きくなったとしても、十分な水が無く、流動化する土砂量が制約される可能性が指摘できる。実際、岩盤の深い部分では表面付近に比べて間隙率が低く⁷⁾、崩壊深が大きいほど、崩壊土砂の含水率が小さくとなると考えられる。

しかしながら、合流角度が小さく、河床勾配（または、崩壊地直下の斜面勾配）が大きい場合、大規模崩壊といえども、ほぼ全ての土砂が流動化する場合もあった。このことから、大規模な崩壊の流動化率には、合流角度、河床勾配が影響することが考えられる。ただし、現時点では大規模な崩壊の事例数が少なく、さらなる調査が必要である。

4. おわりに

本調査では、過去の深層崩壊により生じた崩壊土砂の流動化の実態について調べた。その結果、崩壊深が深く、崩壊土砂量が大きい崩壊では、多くの場合流動化率は低く、崩壊土砂量が100万 m^3 を越え、流動化土砂量は70万 m^3 程度であった。すなわち、深層崩壊のように規模の大きい崩壊では、必ずしも全ての崩壊土砂が流動化するわけではないことが示された。また、今回調査した19事例では、概ね流動化土砂量は10～70万 m^3 の範囲であり、今後、深層崩壊による土砂の流下を対象に、ハード対策を立案する場合の目安になると考えられる。一方で、本調査の結果からは、崩壊土砂量が数100万 m^3 程度

の非常に大規模な崩壊では大半の土砂（崩壊土砂量から10～70万 m^3 を差し引いた土砂量）は流動化しないため、河道閉塞を生じさせるリスクが高く、河道閉塞に対する対応を考える必要性が高いといえよう。実際、2012年の台風12号で紀伊半島において緊急調査が実施された河道閉塞の5事例は、いずれも崩壊土砂量が50万 m^3 を越える大規模なものであった。本報告は19事例という限られた数の崩壊を対象に実施したものであり、今後事例を積み重ねていく必要がある。

参考文献

- 1) 小山内信智、富田陽子、秋山一弥、松下智祥：がけ崩れ災害の実態、国土技術政策総合研究所資料、No.530、2009。
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0530.htm>
- 2) 白杵伸浩、田中義成、水山高久：移動距離の長い地すべりの実態、砂防学会誌、57(5)、pp.47～52、2005。
- 3) Nishiguchi, Y., Uchida, T., Takezawa, N., Ishizuka, T., Mizuyama, T. Runout characteristics and grain size distribution of large-scale debris flows triggered by deep catastrophic landslides, Int. J. Erosion Cont. Eng., 5, pp. 16～26, 2012.
- 4) 武蔵由育、山崎美穂、水山高久、小杉賢一朗：崩壊土砂の運動のシミュレーション手法に関する研究、砂防学会誌、64(3)、pp.37～45、2011。
- 5) 石塚忠範、山越隆雄、内田太郎、西口幸希：深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル(案)、土木研究所資料、No.4240、2012。
- 6) 石川芳治：地震による土石流発生に係わる地形、地質条件、砂防学会誌、51(5)、pp.35～42、1999。
- 7) 例えば、西口幸希、内田太郎、石塚忠範、里深好文、中谷加奈：細粒土砂の挙動に着目した大規模土石流の流下過程に関する数値シミュレーション、64(3)、pp.11～20、2011。

内田太郎*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室主任研究官
Taro UCHIDA

岡本 敦**



国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課地震・火山砂防室長（前国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室長）
Atsushi OKAMOTO