

## 2011年台風12号における降雨量と斜面崩壊特性

内田太郎\* 佐藤 匠\*\* 水野正樹\*\*\* 林 真一郎\*\*\*\* 岡本 敦\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

2011年の台風12号は、非常に大量な降雨を紀伊半島を中心にもたらし甚大な被害を引き起こした。この降雨により、広域で多数の斜面崩壊が生じた。中でも紀伊半島では、非常に大規模な斜面崩壊が発生し、天然ダムを形成するなど甚大な被害が生じた。

これまで、斜面崩壊と降雨量の関係については、様々な解析が行われ、降雨量が斜面崩壊発生に及ぼす影響について、研究が行われてきた<sup>1)</sup>。その結果、斜面崩壊をコントロールする降雨指標（例えば、短時間降雨強度、積算降雨量、実効雨量、降雨の履歴順位）に関する研究が進められてきており<sup>2)</sup>、これらの研究では、降雨指標が大きくなるに従い、斜面崩壊は起きやすくなることが示されてきた。さて、降雨量が大きくなればなるほど斜面崩壊の規模や頻度が大きくなるのだろうか。斜面崩壊の規模は、斜面の規模を上回ることはあり得ないし、斜面崩壊の数も斜面の数を上回ることにはあり得ない。このことから類推するに、降雨量が大きくなると斜面崩壊の規模や頻度が大きくなるものの、ある程度以上降雨量が大きくなると、斜面崩壊の規模や頻度が頭打ちになる可能性が考えられる。

以前は空間分解能の高い雨量分布のデータを得ることが困難であったが、レーダー雨量計の整備により、比較的高空間分解能の雨量データが近年得られるようになった。そこで、本報告では、近年の中でも、非常に多くの斜面崩壊が発生し、規模が大きい崩壊が多発した、2011年の台風12号による斜面崩壊の分布状況をもとに、降雨量が斜面崩壊の規模や頻度に及ぼす影響を分析した。

## 2. データと検討手法

## 2.1 崩壊地に関するデータ

国土技術政策総合研究所砂防研究室では、2011年台風12号後に撮影された図-1に示す範囲

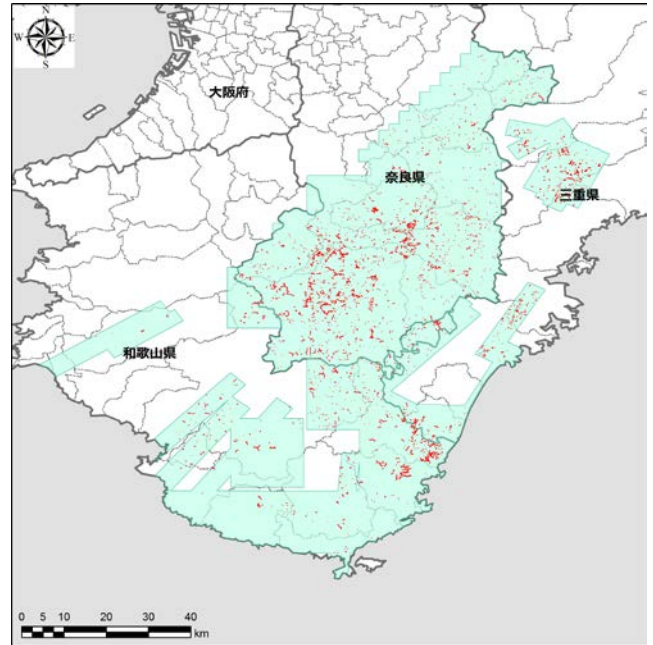


図-1 写真判読エリア及び崩壊地分布

の空中写真、衛星画像を用いて、緊急的に崩壊地の判読を行った<sup>3)</sup>。判読した範囲の面積は約4,800km<sup>2</sup>である。崩壊地の判読にあたっては、崩壊主部と流下域、堆積域を区分して判読を行った。その上で、崩壊主部について、ポリゴンデータを作成した。本報告では、この緊急的に実施された判読結果を用いたため、多少の誤判読、判読漏れが含まれている可能性が考えられるが、本報告で示したような降雨量と斜面崩壊の関係の全般的な傾向には大きな影響を及ぼさないと考えた。

次に、作成したポリゴンデータを用いて崩壊面積をGIS上で算出した。その上で、式(1)に示すGuzzetti et al. (2009)<sup>4)</sup>による崩壊面積と崩壊土砂量の関係を用いて、崩壊地ごとの崩壊土砂量を算出した。

$$V_L = 0.074 A_L^{1.45} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $V_L$ は崩壊土砂量[m<sup>3</sup>]、 $A_L$ は崩壊面積[m<sup>2</sup>]である。なお、Guzzetti et al. (2009)は、世界各地の崩壊土砂量が数m<sup>3</sup>から数10億m<sup>3</sup>までの677事例の崩壊面積と崩壊土砂量を基に崩壊面積と崩壊土砂量の関係に関する経験式を求めた。ただし、国土交通省による土砂災害防止法に基づ

The role of rainfall magnitude on landslide characteristics triggered by Typhoon Tales, 2011.

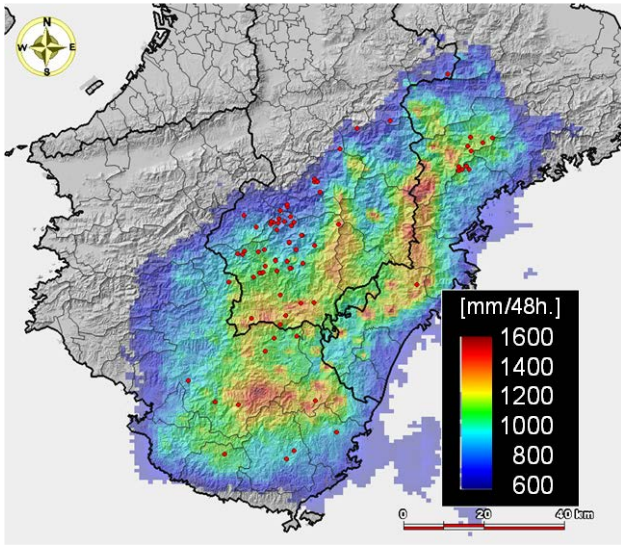


図-2 最大48時間雨量と崩壊土砂量10万m<sup>3</sup>以上の崩壊地(赤丸)の分布状況

く緊急調査が実施された5箇所については、現地調査による崩壊土砂量を用いた。

## 2.2 降雨データの整理

降雨は気象庁による1kmメッシュの解析雨量を用いた。用いた期間は、2011年の8月30日0:00から9月7日23:00までである。メッシュごとに、期間内の連続最大1時間、6時間、24時間、48時間雨量を算出した。

図-2に、最大48時間雨量の分布状況と崩壊土砂量10万m<sup>3</sup>以上の崩壊地の位置を示した。なお、

内田ら(2012)<sup>5)</sup>は、深層崩壊の発生の有無を表現する降雨指標として、48時間雨量が適当であることを示したことに基づき、ここでも48時間雨量を用いた。

## 2.3 分析手法

本報告では、最大1、6、24、48時間雨量と相対的な斜面崩壊密度の関係を示した。ここでいう相対的な崩壊密度とは、ある雨量(r)の領域に属する崩壊地の数(n(r))を雨量rの領域の面積(a(r))で除した崩壊密度(n(r)/a(r))を、全調査対象領域の崩壊地数を(N)を全調査対象面積(A(=4,800km<sup>2</sup>))で除した平均密度(N/A)で除した値((n(r)×A)/(N×a(r)))とした。本研究では、崩壊を崩壊土砂量により4段階に分類し、相対的な崩壊密度を算出した。すなわち、相対的な崩壊密度が1を上回る場合、当該雨量の領域で、当該規模の崩壊密度が調査領域の平均密度より大きいことを示している。また、当該雨量域の面積が全調査領域の面積の1%以下の場合、相対的な崩壊密度の算出結果の信頼性が低いと考え、分析には用いなかった。

## 3. 降雨量と崩壊規模・頻度の関係

図-3aに示したように、最大1時間雨量と相対的な崩壊密度は崩壊規模によらず明瞭な関係はみられなかった。次に、最大6時間雨量を対象とした

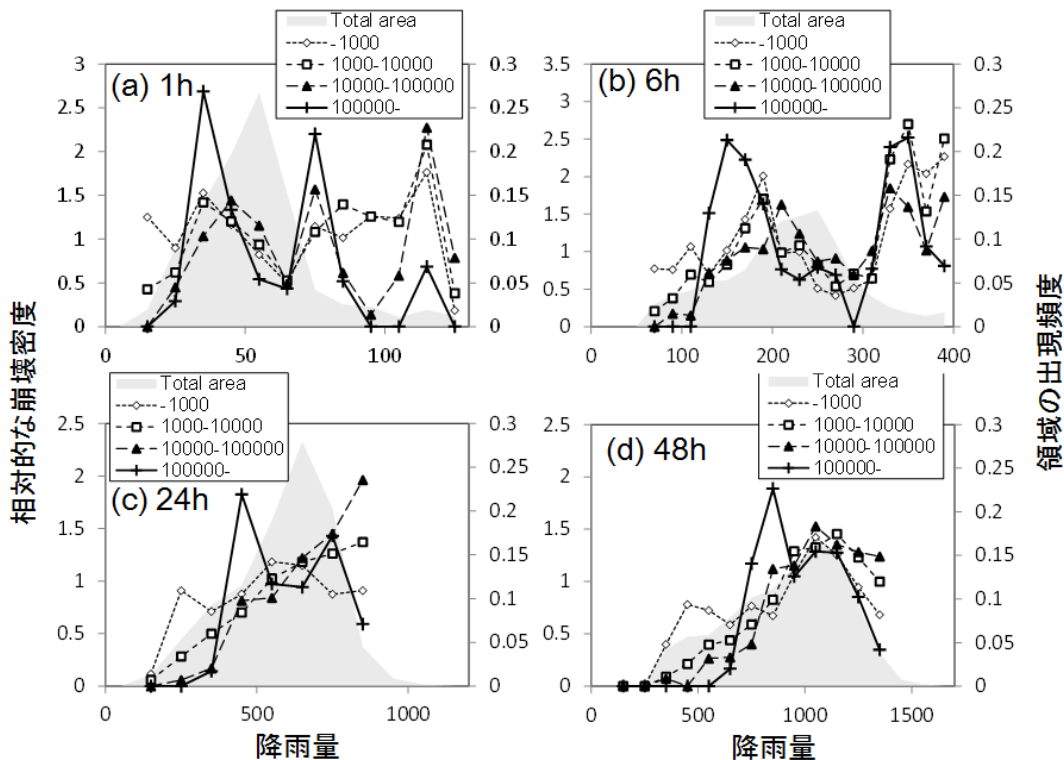


図-3 最大1、6、24、48時間雨量と斜面崩壊の相対的な崩壊密度の関係、凡例の数字は崩壊土砂量(m<sup>3</sup>)

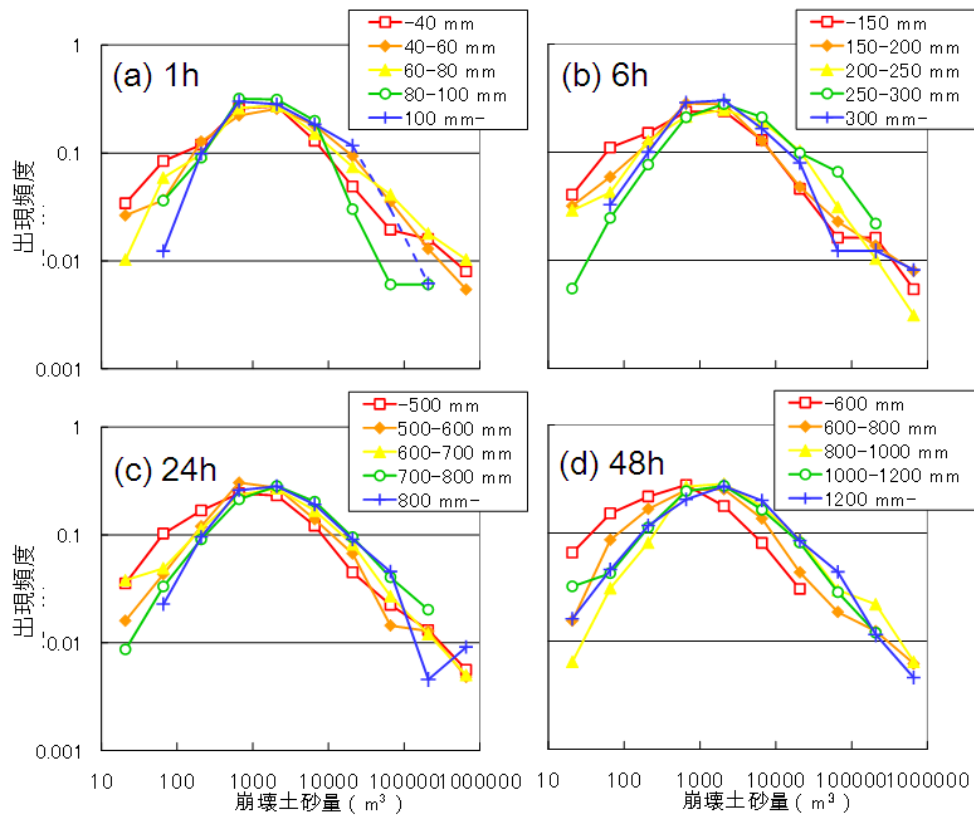


図-4 最大1、6、24、48時間雨量と崩壊土砂量と出現頻度の関係

場合、1時間雨量同様、雨量の増大にともない、崩壊密度が増加する傾向は顕著でなかった。

また、24時間雨量を対象としたとき、崩壊土砂量が1000～1万、1万～10万 $m^3$ の場合は、雨量の増大にともない崩壊密度が増加する明瞭な傾向が確認された(図-3c)。また、崩壊土砂量が1000 $m^3$ 以下、10万 $m^3$ 以上のケースについても、概ね、雨量に増加にともない崩壊密度は増加した。ただし、24時間雨量が500mmを超える範囲だけを見た場合、明瞭な相関が見られなかった。

48時間雨量を対象とした場合、崩壊土砂量によらず、雨量の増加にともない崩壊密度が増加した(図-3d)。雨量と崩壊密度の相関係数はいずれの崩壊規模に関しても0.6以上であった。ただし、48時間雨量が1000mmを超えるようになると、雨量の増加にともなう崩壊密度の増加傾向は小さくなった。また、崩壊土砂量が大きくなるに従い、崩壊密度が0付近から急激に立ち上がる値は大きくなった。すなわち、崩壊土砂量1000 $m^3$ 以下では雨量が300 mm、1000～1万 $m^3$ では400 mm、1万～10万 $m^3$ は500 mm、10万 $m^3$ 以上では600 mmより小さい場合、密度は概ね0であった。

#### 4. 降雨量と崩壊土砂量の関係

図-4には 最大1、6、24、48時間雨量と崩壊土砂量と出現頻度(ある降雨量域で発生した総崩壊数に対するある規模の崩壊数の割合)の関係を示した。図に示したように、崩壊土砂量の最頻値より、崩壊土砂量の大きい範囲では、崩壊土砂量と出現頻度の関係は両対数グラフ上で概ね傾きが負の直線関係にあった。一方、最頻値より崩壊土砂量が小さい範囲は、判読漏れなど精度に問題がある可能性が考えられるので、以下の検討では、最頻値より大きい範囲の崩壊土砂量-出現頻度関係について着目することとした。

最大1時間雨量でデータを分類した場合(図-4a)、1時間雨量の増加により、崩壊土砂量-出現頻度関係が図上の上側に位置する(規模の大きい崩壊の頻度が大きくなる)ような傾向はみられなかった。6時間雨量でデータを分類した場合でも、崩壊土砂量-出現頻度関係と雨量に明らかな関係が見られなかった(図-4b)。

一方、24時間雨量でデータを分類した場合、差は小さいものの、24時間雨量が最も小さい500mm以下のデータで、崩壊規模が大きいときの出現頻度が最も小さかった。次いで、雨量が500～600mmの場合の出現頻度が小さかった(図-4c)。さらに、雨量が600～700mmのときの

崩壊土砂量－出現頻度関係は500～600mmの関係のやや上側に位置し、雨量700～800mm、800mm以上の崩壊土砂量－出現頻度関係が図上で最も上側に位置したものの、雨量が700mm以上の2つの崩壊土砂量－出現頻度関係の間には明瞭な差はみられなかった。

さらに、48時間雨量でデータを分類した場合、雨量が600mm以下の場合の規模の大きい崩壊の出現頻度が最も小さく、次いで、600～800mmの規模の大きい崩壊の出現頻度が小さかった。48時間雨量が800mm以上の3つの崩壊土砂量－出現頻度関係は、600～800mmより規模の大きい出現頻度は高かったものの、雨量が800mm以上の3つの崩壊土砂量－出現頻度関係の間には明瞭な差はみられなかった。

## 5. まとめ

2011年の台風12号による斜面崩壊と降雨量の間を分析した。台風12号による斜面崩壊においては、

- ① 最大1時間雨量、6時間雨量などの短時間の雨量は、降雨が長時間継続した今回の事例では、崩壊密度や規模と明瞭な相関は見られなかった。
- ② 最大24時間雨量、48時間雨量などの長時間の雨量は、比較的小規模な斜面崩壊の密度と相関が見られた。
- ③ しかし、崩壊土砂量10万m<sup>3</sup>を超える大規模な斜面崩壊については、長時間の雨量であっても、小規模な崩壊に比べて、崩壊密度と明瞭な相関は見られなかった。
- ④ 特に、雨量が非常に大きい範囲（48時間雨量で1000mmを超える範囲）では、長期間の雨量は崩壊密度と規模と相関は見られなかった。

以上の結果、雨量がある一定量以下の範囲では、雨量が大きくなればなるほど大規模な崩壊の発生確率は増大することが分かった。しかし、今回の台風12号のように、雨量が非常に大きい場合、冒頭で述べたように「雨量が大きくなればなるほど、斜面崩壊の頻度（密度）や規模が大きくなるわけではない」ことが分かった。このことは、斜面崩壊、特に規模の大きい斜面崩壊（深層崩壊など）は、降雨量が発生に重要な影響を及ぼすものの、降雨以外の要因（例えば、地形や地質などの素因）の影響も大きいことによると考えられる。すなわち、素因による制約により、降雨量が大きくなったとしても必ずしも、崩壊の頻度（密度）や規模が単調に増大しない可能性が考えられる。今後、素因と誘因の影響度を定量化していく手法などの検討が重要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 例えば、Murakami, Y., Shimizu, O., Sato, H., and Yamada, T. Sediment-related disaster caused by Typhoon 0310 Etau in Hidaka Region of Hokkaido, Japan, Int. J. Erosion Cont. Eng., Vol. 1, pp.30-37, 2009
- 2) 例えば、野呂智之、倉本和正、小山内信智：土砂災害発生危険基準線に対する客観的な設定手法の有効性、土木技術資料、第47巻、第4号、pp.26～31、2005
- 3) 森山裕二、岡本 敦、水野正樹、内田太郎、林 真一郎、石塚忠範：2011年台風12号による紀伊半島における土砂災害の速報、土木技術資料、第53巻、第12号、pp.4～7、2011
- 4) Guzzetti F. Ardizzone F., Cardinali M., Rossi M. and Valigi D, Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 279, pp. 222-229, 2011
- 5) 内田太郎、岡本 敦、佐藤 匠、水野正樹、倉本和正：深層崩壊発生降雨の特徴、京都大学防災研究所「深層崩壊の実態、予測、対応」講演要旨集、pp.64～68、2012

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

佐藤 匠\*\*



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 部外研究員  
Takumi SATO

水野正樹\*\*\*



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  
Masaki MIZUNO

林 真一郎\*\*\*\*



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 研究官  
Shin-ichiro HAYASHI

岡本 敦\*\*\*\*\*



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