

## 1. はじめに

土砂災害が発生した際に、その災害を引き起した現象の規模がどのくらいの頻度で発生する現象か評価することは、情報提供等の点から重要である。

そこで、本研究では、全国で発生したのがけ崩れのデータを基に、土砂移動現象の規模と頻度の関係を整理し、規模と頻度の関係の定式化を試みた。規模としては崩壊土砂量を、頻度としては累積頻度および非累積頻度を取り、規模・頻度分布を作成し、全国のがけ崩れ現象に対しても冪乗則が成立つことを示した。また、後述する式 (1) における指数が既往の研究結果とほぼ同様の値であることを示した。

## 2. 既往研究

山地の土砂移動現象は、地震のような自然現象と同じく、規模の大きなものは発生頻度が小さく、規模の小さなものは発生頻度が大きいと言われている。

例えば、羽田野 (1968) は、地すべり性大規模崩壊の崩壊土砂量および崩壊面積と累積頻度との関係を規模・頻度分布 (magnitude-frequency distribution) として表現し、式 (1) のような冪乗則 (power-law) が成立つことを示した。

$$N \sim M^{-\beta} \quad (1)$$

ここに、 $N$  は頻度、 $M$  は規模、 $\beta$  はパラメータ、 $\sim$  は比例していることを表している。この関係は、地震の規模と頻度を表す Gutenberg-Richter 式と式の形が同じである。N.Hovius et al (1997) は、New Zealand の Southern Alps における 60 年間の空中写真を用いて、Verns(1978)が定義した崩壊、土石流、地すべり等を含む Landslides を空中写真判読によって抽出し、崩壊面積と頻度の間に冪乗則が成立つことを示している。同様に、世界の様々な場所で、Landslides や落石等に対して崩壊面積と頻度あるいは崩壊土砂量と頻度の関係に冪乗則が成立することが示されている (例えば、C.Dussauge, 2003; J.D.Peller et al, 1997; F.Guzzetti et al, 2002)。また、J.D.Pelletier et al (1997) は、降雨や地震の種類によらず、土砂移動現象の規模・頻度分布は冪乗則が成立つことを示している。

日本の事例としては、平野ほか (1989) が、六甲山地の表層崩壊 (がけ崩れ) と紀伊山地の十津川災害と有田川災害で発生した地すべり性崩壊に対して、規模・頻度分布を考察しており、同様の結果を得ている。

以上の研究において、頻度として累積頻度 (cumulative

frequency) を取っているものが多い。しかし、C.P.Stark et al(2001)は、J.D.Peller et al(1997)の検討結果を踏まえ、頻度としては、非累積頻度 (noncumulative frequency) を取ったほうが良いと指摘している。

## 3. 使用したデータと解析方法

使用したデータは、昭和 44 年から平成 7 年までに建設省土木研究所が都道府県に依頼して収集したのがけ崩れ災害のデータである (建設省、1999)。本研究では、これらのデータベースから、崩壊規模に関する必要項目がすべて記載されており、かつ発生原因が台風等の雨に起因するものを抽出し、8280 件のデータを解析に用いた。

既往の研究では、規模は崩壊面積 (例えば、N.Hovius et al, 1997) または崩壊土砂量 (例えば、C.Dussauge, 2003) としている。上記のデータベースには、崩壊面積の項目が無く、崩壊土砂量の項目があるため、本研究では、式 (1) の規模として、崩壊土砂量を用いた。

累積頻度  $N(>V)$  は、ある崩壊土砂量  $V$  より大きな崩壊土砂量の事例数として算出した。また、非累積頻度による規模・頻度分布の作成にあたり、平野ほか (1989) が用いた方法に倣い、横軸は崩壊土砂量  $V$  の常用対数  $X = \log_{10} V$ 、縦軸は崩壊土砂量が  $V$  と  $V + \Delta V (= \sqrt{10} \cdot V)$  との間に含まれる事例数とした。ただし、崩壊地の事例数  $N$  は区間幅

$$\Delta X = \Delta(\log_{10} V) = \log_{10}(V + \Delta V) - \log_{10} V = 0.5$$

に対する移動平均のかたちで求めている。

## 4. 結果

図 1 は、崩壊土砂量のヒストグラムである。区間は  $500\text{m}^3$  であり、各区間の左端の値に等しいものはその区間に属し、右端の値のものは含んでいない。 $500\text{m}^3$  未満の区間には、7327 個のデータが属している。これをみると、崩壊土砂量が大きいくほど頻度が小さいことがわかる。

図 2 は、崩壊土砂量と、2. に示した方法に従って算出した累積頻度との関係を、常用対数を両軸として表現したものである。これに直線を引きその傾きを求めると、式(1)の指数を表していることになり、 $\beta$  は 1.13 として算出された。但し崩壊土砂量が  $200\text{m}^3$  より小さな領域及び  $5000\text{m}^3$  より大きな領域では、冪乗則には従っていない。

図 3 は、縦軸を 2. の方法で算出した非累積頻度として常用対数で両軸を表現したものである。同様に、指数を求めると、 $\beta$  は 0.95 として算出された。冪乗則が従う領域は

図2の場合と同様になっている。

5. 考察とまとめ

図2の結果を既往の研究と比較する。表1は、C.Dussauge(2003)が、既往の研究による累積頻度と崩壊土砂量の関係性をまとめたものである。5行目以降は空中写真のデータを使用しているため、崩壊土砂量の欄は空白である。5行目以降の指数は、崩壊面積による指数を、N.Hovius et al(1997)が示している崩壊土砂量 $V$ と崩壊面積 $A$ の関係、すなわち $V \sim A^{1.5}$ を用いて崩壊土砂量の指数に換算している。本研究において、扱っている現象の規模はやや小さい範囲であるものの、指数は1.13となっており、既往の研究と同様な結果を得ていることが分かる。

図2の勾配が小さな平らの領域および図3のピークより横軸が小さな領域と冪乗則に従う領域について、C.P.Stark et al(2001)はピークが空中写真の精度と等しく、ピーク以下では十分にデータが取れていないとしている。また、J.D.Pelletier et al(1997)は、安定性に卓越するパラメータの違いや水系網の影響ではないかと考察している。

一方、本研究では実測のデータを用いたため、ピークは必ずしも観測の精度によって現れるわけではない。また、がけ崩れでは水系網が大きく影響するとは考えにくい。

以上のように、土砂移動現象に対して、規模・頻度分布を冪乗則で表現する場合には、対象とする現象の標準的な規模に応じて適用できる領域が限定される可能性がある。精度を上げるには、データの蓄積と地形条件や崩壊過程に関する情報を加味する必要があると考えられる。

本研究において、全国のがけ崩れのデータを用いて、世界各地の様々な土砂移動現象と同様の規模と頻度の関係性が得られたため、規模・頻度分布による表現は、土砂移動現象を統一的に表現できる可能性があることを示すことができた。

参考文献

建設省河川局 砂防部急傾斜地保全課他、土木研究所資料第3651号、1999

羽田野誠一、1968、第5回災害科学総合シンポジウム、p.209-210

平野昌繁ほか、地形、第10巻第2号、p.95-111

C.Dussauge, J. Geophy. Research, Vol.108, No.B6, 2286, 2003

F.Guzzetti et al, 2002, Earth and Planetary Science Letters 195,

p.169-183

N.Hovius et al, Geology, Vol.25, No.3, p.231-234, 1997

J.D.Pelletier et al, 1997, Eng. Geology, vol.48, p.255-268

C.P.Stark et al, J.Geophy. Research Letters, Vol.28, No.6, p.1091-1094, 2001

Vernes,D.J., Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, p.11-33,1978, 2001

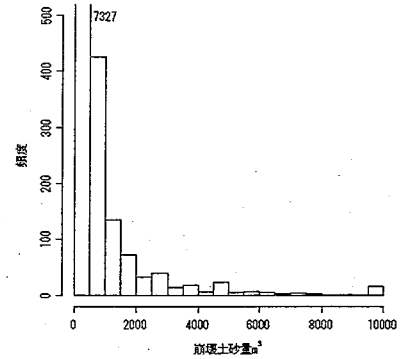


図1 崩壊土砂量のヒストグラム

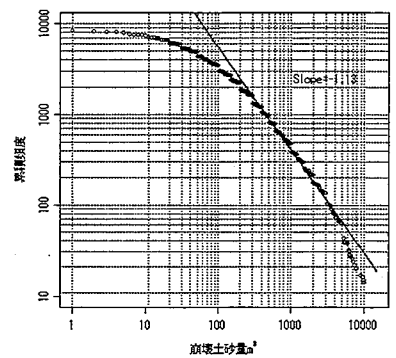


図2 崩壊土砂量と累積頻度の関係

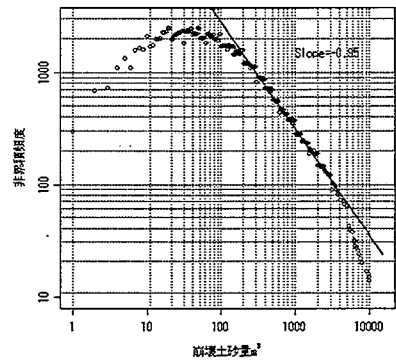


図3 崩壊土砂量と非累積頻度の関係

表1 様々な Landslides による崩壊土砂量分布の特徴 (C.Dussauge,2003 を一部修正)

Site	Geological Setting	N	V,m3	$\beta$
Southern Alps,NewZealand	35°mean slope	4,984	$10^6 - 3 \times 10^7$	0.8
		650	$3 \times 10^4 - 3 \times 10^7$	0.66
Akaishi Mountains,Japan	nonvertical slope	3,243	$10^4 - 10^6$	0.64
Akaishi Mountains,Japan	nonvertical slope	3,243	$10^4 - 10^6$	1.25
Challana Valley,Bolivian Andes	nonvertical slope	1,130		1.07
Challana Valley,Bolivian Andes	nonvertical slope	1,130		1.25
Northridge, California, earthquake triggered	unconsolidated earth and debris materia	11,000		0.86
Northridge, California, earthquake triggered	unconsolidated earth and debris materia	11,000		1.07
Eden Canyon, USA	10-35° slope unconsolidated materials	709		1.4

All the exponent values are for the cumulative volume distributions.  
The last five rows correspond to catalogs of landslides on medium slope that provide only surface estimate measured by aerial photography.