

16 土石流ピーク流量の推定方法に関する研究

京都大学農学部 ○欧 国強 小橋澄治 水山高久

1. まえがき

土石流ピーク流量は土石流対策計画を策定するに当たり最も重要な要素の1つである。しかし、現段階では精度良く見積もる方法は確立されていない。著者らは日本・中国およびその他の既往資料（観測資料・調査資料と実験資料）^{1)~6)} などから、推定の比較的容易な土石流の総流出量から土石流のピーク流量を推定する方法を研究した。

2. 流域の特性

本文で資料を使用した土石流渓流は15渓流で、中国雲南省の蔣家溝(34.92km²)・渾水溝(4.37km²)、日本桜島の野尻川(2.99km²)・持木川(1.61km²)・春松川(2.09km²)・第一古里川(0.86km²)・有村川(3.65km²)・黒神川(9.80km²)、焼岳上々堀沢(0.30km²)、滑川(3.46km²)、十勝岳、有珠山(0.8~0.9km²)、アメリカのセントヘレンズ、コロンビアのネバデルルイス及びカナダの渓流である。これらの流域はすべて環太平洋地域に分布していて、流域面積は最大が約35km²、最小が0.3km²程度である。火山性渓流が多いが、森林地域における土石流渓流（例えば、渾水溝の植物被覆度は88.3%）や裸地における土石流渓流（例えば、蔣家溝の植物被覆度は11.6%）もある。

3. 土石流の特性

土石流の特性については、発生頻度と流体特性の2つの点から考えられる。

3. 1 土石流の発生頻度

3. 1. 1 高頻度:土石流が年間に数回かそれ以上に発生する渓流を高頻度渓流と定義される。これに合う渓流は蔣家溝をはじめ8渓流（蔣家溝・渾水溝・及び桜島地域における6の渓流）である。

3. 1. 2 低頻度:土石流が1年か数年間に1回以下発生する渓流を低頻度渓流と呼ばれる。このような渓流は焼岳上々堀沢をはじめ7渓流である。

3. 2 土石流の流体特性

土石流の流体特性は、土砂の粒径に着目すれば大別として、泥分の多い（火山泥流も含む）もの（いわゆる泥流）と石礫の多いものの2種類に分けることができる。焼岳上々堀沢・滑川・カナダの渓流で発生した土石流と水路実験の土石流は礫質の多い土石流で、その他の12渓流で発生した土石流は泥質の多い土石流である。

4. 土石流ピーク流量と総流出量の関係

本文で使用したデータのサンプル数は全部で238で、そのうち212が現場での実測値で、残りの26が実験値と推定値である。データの範囲は土石流ピーク流量が0.0027~29,000m³/sで、総流出量が0.0243~7.6×10⁷m³である。

4. 1 土石流発生頻度によるピーク流量と総流出量の関係（図-1）

4. 1. 1 高頻度の場合

サンプル数は184で、回帰式と相関係数(R)は

$$Q_P = 0.00732 Q_T^{0.884} \quad (R = 0.841) \quad (1)$$

である。

ここで、 Q_P :土石流ピーク流量 (m^3/s) で、 Q_T :土石流総流出量 (m^3) である。

4. 1. 2 低頻度の場合

サンプル数は34で、回帰式と相関係数は

$$Q_P = 1.166 Q_T^{0.514} \quad (R = 0.936) \quad (2)$$

である。

4. 2 土石流流体の特性に基づきピーク流量と総流出量の関係 (図-2)

4. 2. 1 泥質の含有量が多い場合

サンプル数は189で、回帰式と相関係数は

$$Q_P = 0.0188 Q_T^{0.790} \quad (R = 0.842) \quad (3)$$

である。

4. 2. 2 礫質の含有量が多い場合

サンプル数は49で、回帰式と相関係数は

$$Q_P = 0.135 Q_T^{0.780} \quad (R = 0.994) \quad (4)$$

である。

5. 考察

以上、土石流の発生頻度と流体の特性に着目して、いくつかの回帰式が得られ、かついずれも強い相関を持っていることがわかった。図-1と図-2より、低頻度の土石流と礫質の土石流、また、高頻度の土石流と泥質の土石流はそれぞれ類似した傾向を持ち、前者は後者よりもピーク流量が大きくなることと、規模(総流出量)が大きくなると、両者のピーク流量の差は小さくなることもわかった。この差の原因を定量的に解明することは現段階ではできない。ここでは、定性的に検討してみる。

上述の土石流の $Q_P \sim Q_T$ 関係の差は土石流発生源の状況、発生機構によるものと考えられる。すなわち、低頻度の場合には土石流発生源では長期間の間に固体物質がたくさん蓄積される一方、流水の作用によって小さな粒子が普段水の流れに取り込まれて流出するので残された固体物質は細粒分が少なくなり礫質となる。したがって、低頻度土石流と礫質土石流の $Q_P \sim Q_T$ 変化傾向はよく似かよってくる。このタイプの土石流は発生しにくく、低頻度の大雨が降ると多量の礫質(大雨の際にある程度の規模の崩壊が短時間に起きる可能性も高い)が流れに取り込まれて、ピーク流量の大きい土石流が形成される。しかし、大雨のピークが過ぎると流水の掃流力が減少し、また、礫の間隙が大きいので一部の水が浸透流となり、礫が堆積しやすい。したがって、低頻度、礫質の土石流はピーク流量が高いにもかかわらず、土石流の継続時間が比較的短く流量のハイドログラフがやせ型になると考えられる。これに対して、高頻度の場合には土石流の発生源での固体物質の蓄積時間が相対的に短く、貯備している土砂量が少ないが、容易に流動化する微細粒子が多量に存在しているのである程度の雨(必ずしも大雨の必要はない)が降ると土砂が流水に取り込まれて土石流が容易に発生するのではなかろうか。土砂があまり蓄積されていないので、土石流のピーク流量は比較的小さい。

言い換えれば、高頻度、泥質の多い土石流は流量のピークが低頻度、礫質の多い土石流より小さくなるにもかかわらず、前者の継続時間が後者よりも長いので、同じピーク流量の場合には、高頻度、泥流の方が総流出量が大きくなると考えられる。図-3に中国雲南省における蔣家溝・渾水溝及び日本桜島における野尻川・有村川の土石流ピーク流量と継続時間との関係を示す。

一方、土石流の規模がある程度に大きくなる (Q_T が10万~20万 m^3 以上) と両タイプの土石流のピーク流量 (Q_P) の差がほとんどなくなったのは、次のように考えられる。すなわち、低頻度、礫質の土石流にしても高頻度、泥質の土石流にしてもいずれも以下の条件を備える必要がある。まずは多量の可移動の土砂が準備されている (あるいは大規模な崩壊か、地滑りかが発生する) こと。次は大雨が降る (火山火砕流の場合は大きな噴火が発生する) こと。さらに、土石流の発生ができる地形 (主としては溪床勾配) を持っていること。土砂が多量に蓄積している場合、その内部には微細粒子の割合が少なくない。特に、大きな崩壊・地滑り・噴火が発生してから即時に土石流に発達し、あるいは流下している土石流に合流する場合には、微細粒子がもちろん多量に含有されている。低頻度の土石流でも、泥流の形で発生する (図-1、図-2の中、 Q_T が10⁷ m^3 オーダーの火山泥流はこのタイプである)。大きな規模の土石流では、その発生源の状況 (固体物質の生産・蓄積・性格・量など) と発生機構 (大雨あるいは大噴火により、多量の土砂が挙動され、ある程度の勾配を有する溪床を流下し、大きなピーク流量と総流出量をつくってくる) が大体同じであると考えられる。

6. あとがき

本文では、多量の幅広い現場観測データ・調査推定データ・水路実験データを用いて非線形回帰分析を通じて土石流のピーク流量 (Q_P) と総流出量 (Q_T) との関係を検討した。結果として、土石流をいくつかのタイプに分けて、各タイプに関する予測式が得られた。いずれのタイプでも Q_P と Q_T の間に、かなり高い相関性があることがわかった。土石流の発生頻度によって、高頻度土石流 ((1) 式) と低頻度土石流 ((2) 式) に分類された。次に、土石流の流体の特性によって、泥質土石流 (泥流) ((3) 式) と礫質土石流 ((4) 式) のタイプに分けられた。また、各タイプの $Q_P \sim Q_T$ 関係の差の理由に関しては、土石流の発生源地の状況 (特に土砂の蓄積・供給など) と発生機構から討議された。これと同時に、低頻度土石流と礫質土石流、高頻度土石流と泥質土石流の $Q_P \sim Q_T$ 関係はそれぞれよく似かよっていることが指摘され説明された。さらに、特に大規模な場合 (Q_T が10万~20万 m^3 以上) には、各タイプの土石流の $Q_P \sim Q_T$ 関係の差はだんだん小さくなることと、低頻度であるが泥流を呈していることが考察された。

参考文献

- 1) 欧国強、唐邦興、小橋澄治、水山高久 (1991) : 土石流ピーク流量の統計的予測に関する研究新砂防 (投稿中)
- 2) 水山高久 (1990) : 土石流ピーク流量の経験的予測、文部省科学研究費重点領域研究「自然災害の予測と防災力」研究成果、土石流の発生及び規模の予測に関する研究PP54~57
- 3) 諏訪浩 (1990) : 土石流のピーク流量と総流出量、文部省科学研究費重点領域研究「自然災害の予測と防災力」研究成果、土石流の発生及び規模の予測に関する研究PP58~66
- 4) 水山高久、石川芳治、福本見久: 火山噴火に伴う泥流災害の予測と対策に関する研究、土木研究

5) O. Hungr, and G.C.Morgan, and R.Kellerhals: Quantitative analysis of debris torrent hazard for design of remedial measures, CAN. GEOTECH. J. VOL21, 1984, pp663-668

6) Mizuyama, T, and Hu Pinghua: Development and Deformation of Debris Flow, Proc of the Japan-China Symposium on Landslides and Debris Flow, Niigata & Tokyo, Japan, 1989, pp217-222

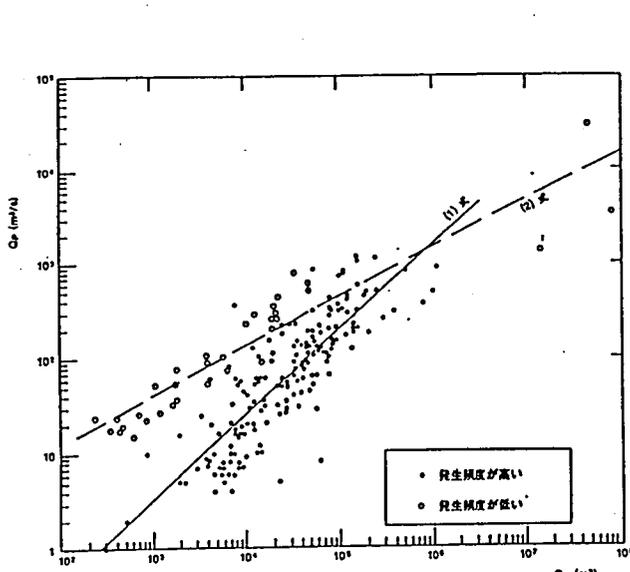


図1. 発生頻度による土石流のピーク流量 (Q_p) と総流出量 (Q_T) の関係

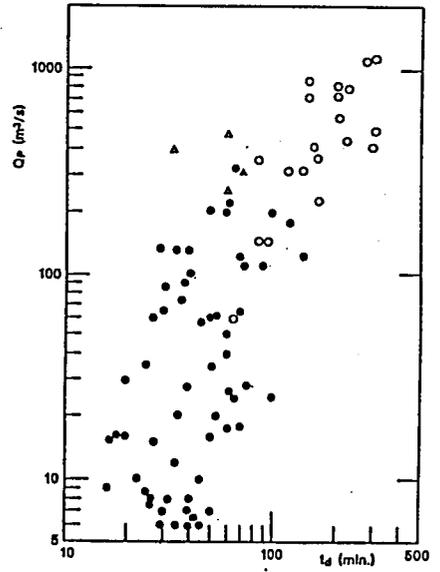


図3. 土石流ピーク流量 (Q_p) と持続時間 (t_d) の関係
 ● 潭水溝 (中国雲南) ○ 前家溝 (中国雲南)
 ▲ 野尻川 (日本松島) ▲ 有村川 (日本松島)

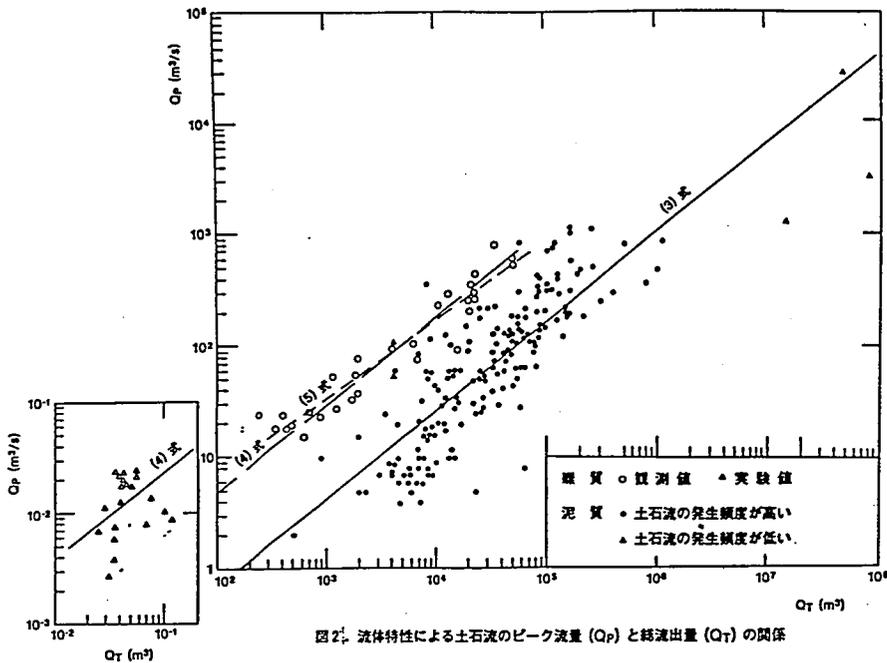


図2. 流体特性による土石流のピーク流量 (Q_p) と総流出量 (Q_T) の関係