

62 流出土石流の規模予測に関する研究

— 全国土石流災害資料の解析 —

京都府立大学農学部 水原邦夫

1. はじめに

流出土石流の規模を予測することは、土石流災害に対する危険区域の設定や土石流対策としての土木工作物の設計・施工に科学的基準を与えるために重要なことである。土石流の規模すなわち土石流による流出土砂量の推定法に関しては、従来より幾つかの方法が提案されているが、これまでのところ一般的に適用できるような手法は確立されていないと言えよう。推定法の1つとして、既存の災害資料に統計的考察を加え、流出土砂量に関わる経験式を導く方法が考えられるが、この場合、資料の絶対数が多いほど予測式の精度が向上することは言を待たないところである。本研究では、建設省河川局砂防部によって一定の基準のもとに、14年間にわたって集積された全国土石流災害資料を解析の対象資料として、土石流による流出土砂量とそれに関わる諸因子との関係について検討・考察を加え、その結果を踏まえて、土石流による流出土砂量の予測式を求めることにした。以下に検討結果の概要について述べる。

2. 解析に用いた土石流災害資料

本解析には、砂防便覧（建設省河川局砂防部編、1979, 1983, 1987年度版）に掲載されている1972～1985年の14年間にわたる全国土石流災害資料を用いた。そのサンプル数は、818個の土石流発生溪流である。また、この中の300溪流については、溪床勾配 15° 以上の流域面積を $1/5000$ あるいは $1/25000$ の地形図で計測しており、後述の解析には主として、この300溪流の資料が用いられている。なお、左記の資料はデータが完備していない部分もあったので、関係府県より提供を受けた災害関連資料を併用している。

3. 解析結果

3. 1 土石流による流出土砂量とその関連因子との関係

(1) 地質別にみた流出土砂量

表-1は、土石流による流出土砂量（堆積土砂量）が土石流発生溪流の地質によって差異を生じるか否かを調べるために、前記の818溪流を7つの地質に区分し、流出土砂量の平均値について比較したものである。この表から分かるように、各地質における全データを基にした流出土砂量の平均値は地質によってかなり異なっているが、流出土砂量の度数分布を調べると、流出土砂量が 10^5 m^3 以上の値となる場合は稀にしか現れないものと考えられるため、この異常値を有するデータを

表-1 土石流による地質別の平均流出土砂量

地 質	溪流数	流出土砂量の 平均値 (m^3)	10^5 m^3 以下の流出 土砂量の平均値 (m^3)
全 地 質	818	25,333	12,126
花 崗 岩	216	15,844	11,218
その他の深成岩	18	12,851	12,851
火山噴出岩	157	22,180	12,333
変 成 岩	106	68,705	13,615
古生層・中生層	137	17,534	12,121
第 三 紀 層	140	15,796	12,784
第 四 紀 層	44	38,407	9,950

除いたものについて再度比較すると、同表の最右欄に示す結果となる。この結果から、地質による顕著な差異はほとんど認められず、流出土砂量の平均値は大体 10^4 m^3 位だといえる。

(2) 流出土砂量と流域面積の関係

図-1は、818 溪流の土石流に関して、その流出土砂量と流域面積の関係を両対数紙上にプロットしたものである。図から明かなように、データはかなり散らばっているものの平均的な傾向として、流域面積が大きくなるに伴い土石流による流出土砂量は増加する傾向が認められる。図中の直線は、次に示す回帰式を描いたものである。

$$V_d = 1.26 \times 10^4 \cdot A^{0.595}$$

ここに、 V_d : 流出土砂量 (m^3)、 A : 流域面積 (km^2)。なお、武居¹⁾は 1972~1977 年の 551 例の土石流に対し、 $V_d = 1.36 \times 10^4 \cdot A^{0.61}$ のような経験式を既に示しているが、サンプル数の増加に伴い、式中の係数が変化していることが分かる。

(3) 流出土砂量と溪床勾配 15° 以上の流域面積の関係

従来の調査結果によると、土石流の発生域は、溪床勾配が 15° 以上の部分であるのが一般的な事実となっている。したがって、土石流による流出土砂量には、上記の谷の出口までの流域面積よりも 15° 以上の溪床勾配を有する部分の流域面積の方がより強く関与しているものと思われる。そこで、この部分の流域面積を計測し終えた計 300 溪流の土石流に関して、両因子の関係を図示すると図-2 のような結果になる。この図に現れた傾向から、溪床勾配 15° 以上の流域面積は流出土砂量と相関関係をもつことがわかり、その関係は次のような回帰式で表される。

$$V_d = 1.15 \times 10^4 \cdot (A_{15})^{0.639}$$

ここに、 A_{15} : 溪床勾配 15° 以上の流域面積 (km^2)。なお、これら 2 つの流域面積の流出土砂量に対する相関関係の強さについて、相関行列による相関係数を比較すると、勾配 15° 以上の流域面積の場合は 0.48、谷の出口までの流域面積の場合は 0.46 となる。この比較から、わずかながらも前者の方が相関が高いといえ、またサンプル数の増加に伴い、その差は強まるものと思われる。

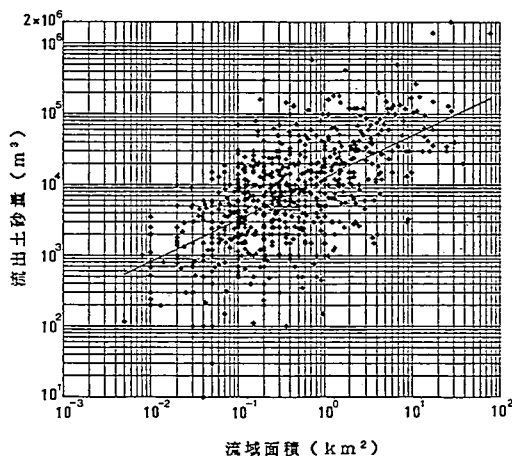


図-1 流出土砂量と流域面積の関係

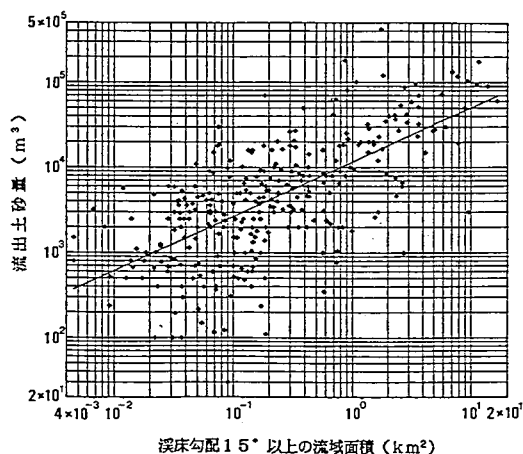


図-2 流出土砂量と溪床勾配 15° 以上の流域面積の関係

(4) 流出土砂量と最大洪水流量の関係

サンプル数300 溪流における土石流を対象として、土石流による流出土砂量と最大洪水流量の関係を図示したものが図-3である。図から分かるように、データは散らばっているものの最大洪水流量の増加に伴い、流出土砂量は大きくなる傾向が認められる。両因子の間の相関係数は0.56で比較的相関は良く、その回帰式は次のとおりである。

$$V_d = 1.42 \times 10^3 \cdot (Q_{max})^{0.701}$$

ここに、 Q_{max} : 最大洪水流量 (m^3/sec)。

このように、最大洪水流量が流出土砂量と比較的高い相関を有する理由として、溪床の不安定堆積物の始動が出水ピーク時の流出水量に起因すること、および土石流の土砂運搬能力が後続流の流量に支配されることなどを意味していると思われる。

(5) 流出土砂量と崩壊土量の関係

図-4は、流出土砂量と崩壊土量の関係を示したものである。両因子の間の相関係数は0.81となり、相関性はこれまでの関連因子の中で最も高い。これは山腹崩壊土砂の流動化に伴う土石流の特性を表しているものと思われ、解析に用いた資料の中にいわゆる崩壊型土石流のデータが数多く含まれていることを意味している。なお、図中に示す回帰式は次式で表される。

$$V_d = 13.7 \cdot (V_s)^{0.865}$$

ここに、 V_s は崩壊土量 (m^3) である。

3. 2 土石流による流出土砂量の予測式

前項で述べたように、土石流による流出土砂量には溪床勾配 15° 以上の流域面積 (A_{15})、最大洪水流量 (Q_{max})、崩壊土量 (V_s) がそれぞれ比較的高い相関性を示すことが分かった。したがって、土石流の規模予測には、これらの1因子との相関関係つまり上記のような単回帰式を用いることによってもある程度の信頼性をもつ値が得られるものと考えられる。しかしながら、土石流は多種多様な素因・誘因が相互に関連し合って、発生一流下・堆積の過程をたどる自然現象であるので、流出土砂量の推定に当たっては、関連因子の数を増やすほど予測式の適合状況は向上すると考えるのが妥当なところである。このような観点から、多変量解析の手法を用いて流出土砂量の予測式を以下に求めてみた。

予測式を作成する場合には、その実用性の面からみて、説明変数として採り上げるべき関連因子のデータが確実に得られること、予測式がある程度、物理的な意味をもった形をしていることなどが必須の要件となる。上記の関連諸因子のうち崩壊土量については、崩壊土量そのものの確実な予測手法

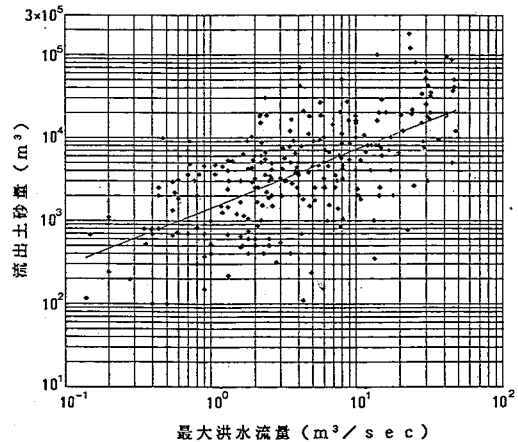


図-3 流出土砂量と最大洪水流量の関係

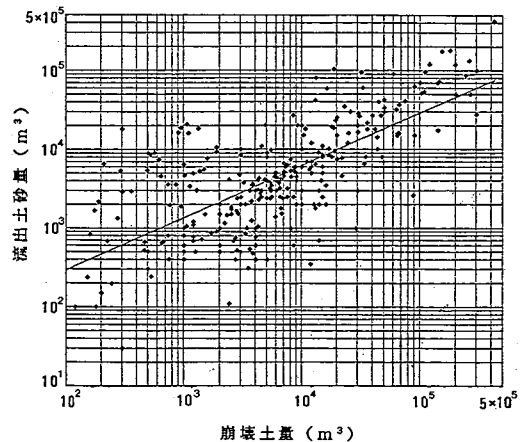


図-4 流出土砂量と崩壊土量の関係

が現在のところ確立されていないため、予測式の説明変数として用いることは不適切と考えられる。

そこで、ここでは説明変数として、溪床勾配15°

以上の流域面積、最大洪水流量および起伏量比を採り上げることにした。なお、起伏量比と流出土砂量との相関性は低いということが認められたが、土石流による土砂の下方移動に関わる因子として、敢えて採り上げることにした。この3因子のうち、最大洪水流量は他の2因子と性質を異にしたものであるが、土石流は誘因なしでは、つまり降雨が与えられない限り発生しないため、この因子を予測式に導入しないわけにはいかないものと考えられる。

さて、予測式の数式モデルとして乗法モデルを適用することにし、前述の300 溪流の土石流資料を基に重回帰分析を行ったところ、次に示す予測式が得られた。

$$V_d = 4250 (R_o)^{0.292} \cdot (A_{15})^{0.268} \cdot (Q_{max})^{0.518}$$

ここに、 R_o ：起伏量比。本式のF検定の結果では、危険率5%の水準で有意であり、また、重相関係数0.662、寄与率0.439となった。図-5には、予測値と実測値の比較を示した。

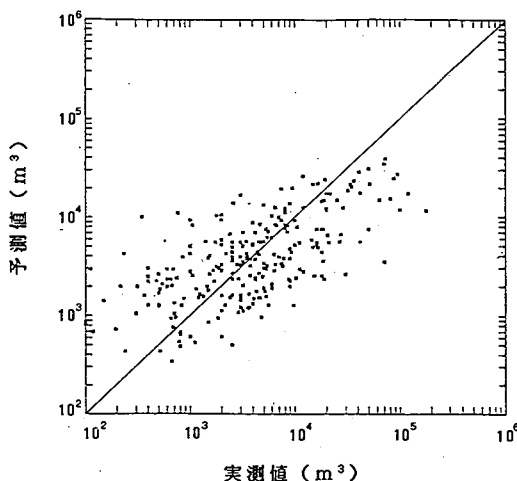


図-5 予測値と実測値の比較

4. 結語

以上要するに、既往の実績をもとに統計的手法を用いて、土石流の規模に関連する因子を抽出し、流出土砂量の予測に関して検討・考察を加え、その予測式を導くことができた。今後、更に資料収集を図るとともに確率論的考察を踏まえた予測式へと発展させたい。最後に、資料収集にご協力を賜った府県土木部、建設省砂防部の関係各位および資料整理・図面作成などで常にご協力を頂いた当時京都府立大学農学部4 回生で現在京都府庁農林部の滝本起代氏に対して深謝する。なお、本研究の一部は、文部省科学研究費補助金重点領域研究(1)「土石流の発生及び規模の予測に関する研究」(研究代表者、名古屋大学、片岡 順)の援助を受けた。ここに、記して感謝の意を表す。

引用文献 1) 芦田和男編(1985); 扇状地の土砂災害, PP.164-170, 古今書院。