

6 土石流による流出土砂量の子測に関する研究

—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

土石流災害に対する危険区域の大きさを定めたり、あるいは土石流対策としての土木工作物を設計施工する場合に、当該溪流において発生し流下してくるであろう土石流の規模を科学的根拠に基づいて推定することが必要不可欠なことである。土石流の規模とは、土石流としての総流出土砂量または土石流ピーク流量という二つの意味を有しているが、土石流現象が複雑なものであるため、それらの子測そのものについては研究面で立ち遅れている。前者の土石流という運動形態で流出してくる土砂量の推定法に関しては、従来より二、三の方法が提案されているが、これらには一長一短があって、現在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、実際に流出してきた土石流による土砂量を基に今後の流出土砂量を子測する方法、つまり現在まで蓄積された実際の事例を分析し、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、事例の数が多いほど、求められた子測式の精度が向上することは言うまでもない。前報では、全国で発生した300個の土石流発生事例を基にした解析結果を報告したが、ここでは、674個の実例を解析対象資料として、土石流による総流出土砂量と流域特性との関連について検討を加え、その結果を踏まえて、土石流による流出土砂量子測の回帰式を求めることにした。

2. 解析対象資料

本解析には、1972年から1985年までの14年間にわたる土石流災害の全国的な資料（砂防便覧、1979、1983、1987年度版）を主として用いた。現実には発生した土石流の実測資料を同一様式で収録したものは他に類がなく、土石流についての一般的な性質を見出そうとした場合には非常に役立つ資料と言える。そのサンプルの総数は、884個の土石流発生溪流で、また、この中の674溪流については、谷の出口までの流域面積および深床勾配 15° 以上での流域面積を $1/5000$ あるいは $1/25000$ の地形図で計測した。後述の解析には主として、この中から異常値を有する資料を除いた663溪流の資料が用いられている。なお、砂防便覧で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た。

3. 解析結果

3. 1 土石流による流出土砂量と流域特性因子の關係

土石流の規模に関わる流域特性因子として、そのデータが比較的収集し易くまたは整っている起伏量比、谷の出口までの流域面積、深床勾配 15° 以上での流域面積、最大洪水流量および崩壊土量を上記の資料から取り出し、これらの因子と土石流による流出土砂量（堆積土砂量）との関連を、先ず検討する。

(1) 起伏量比と流出土砂量の關係

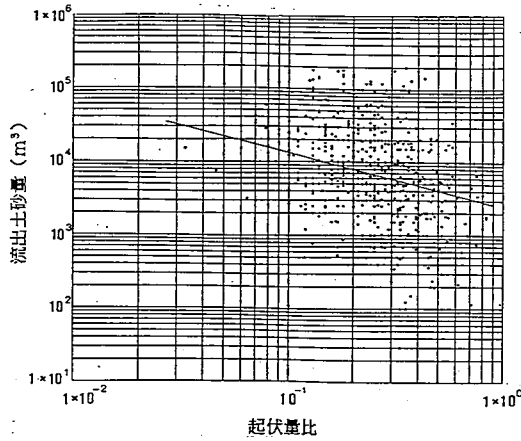


図-1 起伏量比と流出土砂量の関係

図-1は、663個の土石流発生溪流に関して、その流出土砂量と起伏量比の関係を描いたものである。プロットは散らばっており、両因子の間には明確な関係の存在を認め難いが、概観して起伏量比の増大に伴い流出土砂量は減少する傾向が図から読み取れる。起伏量比は土砂の下方移動に関わる因子であり、一般にその値が大であるほど土石流が発生し易く、流出土砂量も増大すると考えられるが、相反する結果となるのは次のような理由に基づくものと思われる。同じ個数の土石流発生溪流の流域面積とその起伏量比の関係をみると、図-2に示すように流域面積が小さい溪流ほど起伏量比は増大する傾向にある。一方、流域面積は後述するように流出土砂量とは正の相関を示す。したがって、起伏量比が増大するに伴い流域面積は減少するので、その結果として起伏量比と流出土砂量は負の相関を示すと思われる。

(2) 谷の出口までの流域面積と流出土砂量の関係

図-3は、663個の土石流発生溪流に関して、その流出土砂量と谷の出口までの流域面積との関係を両対数紙上に示したものである。この図から明かなように、プロットは散らばっているものの平均的な傾向として、流域面積が大きいほど土石流による流出土砂量は増大するという傾向が認められる。なおこの図中に示す直線は、次に示す回帰式を描いたものである。

$$Vd = 1.14 \times 10^4 \cdot A^{0.583}$$

ここに、 Vd : 流出土砂量 (m^3)、 A : 谷の出口までの流域面積 (km^2)。

(3) 溪床勾配15°以上の流域面積と流出土砂量の関係

土石流の発生機構に関する既往の調査研究結果によると、土石流は、溪床勾配が15°以上の谷で発生することが明らかにされている。したがって、上で検討した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、流出土砂量により強く関与しているかも知れないと考えられる。そこで、上記と同じ663溪流における土石流に関して、その流出土砂量と溪床勾配15°

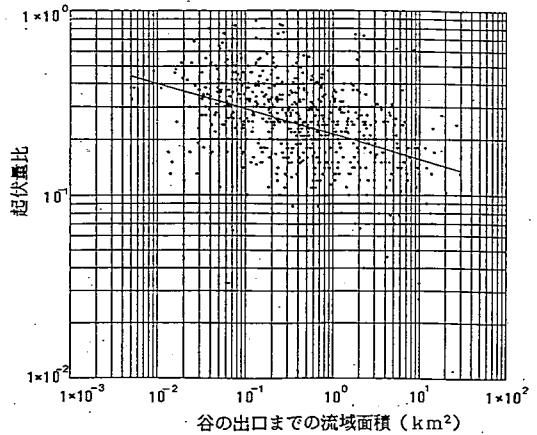


図-2 流域面積と起伏量比の関係

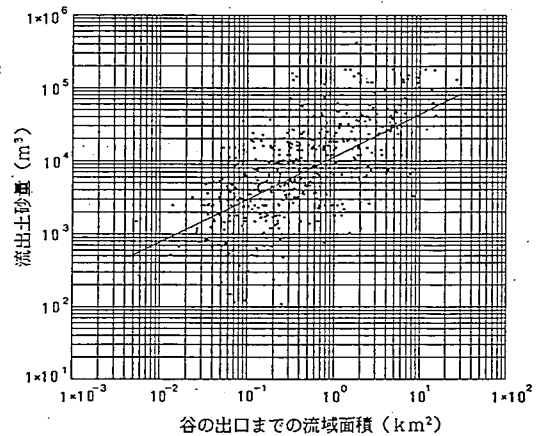


図-3 谷の出口までの流域面積と流出土砂量の関係

以上での流域面積の関係をみると、図-4に示すような結果になる。この図から分かるように、溪床勾配15°以上での流域面積は流出土砂量と正の相関関係を持つことが認められる。両因子の関係を回帰式で表すと次式が得られる。

$$Vd = 1.46 \times 10^4 \cdot (A_{15})^{0.563}$$

ここに、 A_{15} ：溪床勾配15°以上での流域面積。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、相関係数を比較すると、勾配15°以上の流域面積の場合は0.54、谷の出口までの流域面積の場合は0.58となっており、相関の強さの度合はあまり差がないという結果になっている。

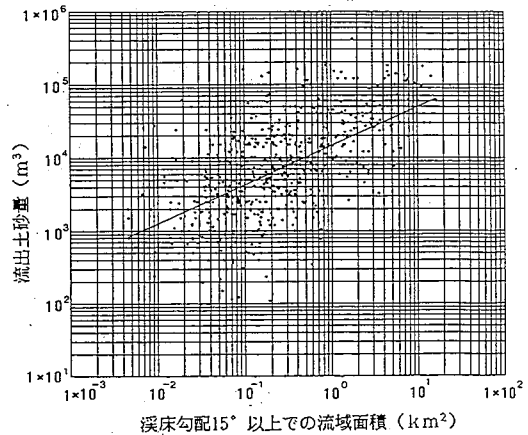


図-4 溪床勾配15°以上での流域面積と流出土砂量の関係

(4) 最大洪水流量と流出土砂量の関係

図-5は、上と同じ663溪流において発生した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描いたものである。この図から明らかなように、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。プロットに散らばりが認められるが、上記の3因子に比べて相関は強く、相関係数は0.61となる。図中の直線は次の回帰式を描いたものである。

$$Vd = 2.10 \times 10^3 \cdot (Q_{max})^{0.620}$$

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は、溪床の不安定堆積物の流動開始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の大小に支配されることなどを意味していると思われる。

(5) 崩壊土量と流出土砂量の関係

図-6は、上と同一の資料をもとに、崩壊土量と流出土砂量の間には相関係数0.80という強い正の相関が存在している。このように、崩壊土量がこれまでの関連因子に比べて最も強い相関を示すのは、解析に用いた資料の中に、

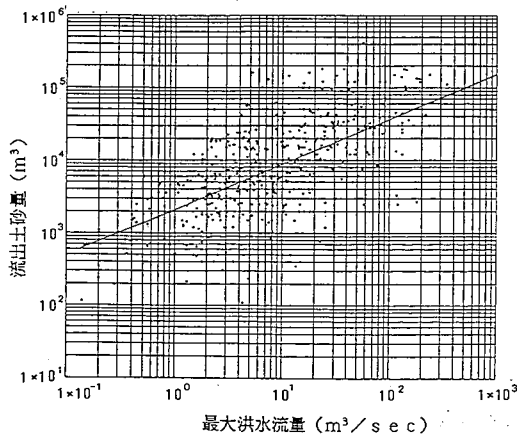


図-5 最大洪水流量と流出土砂量の関係

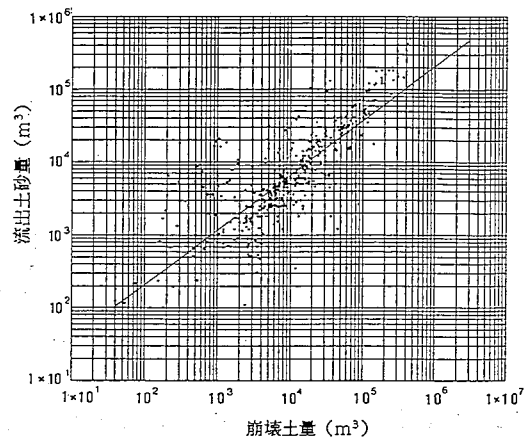


図-6 崩壊土量と流出土砂量の関係

斜面崩壊土砂の流動化を発生の原因とするいわゆる崩壊型土石流のデータが数多く含まれていたから
だと思われる。なお、図中に示す回帰式は次式で与えられる。

$$V_d = 6.59 \times (V_s)^{0.750}$$

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

前項での検討結果から分かるように、土石流による流出土砂量には、谷の出口までの流域面積 (A)、
、溪床勾配 15° 以上の流域面積 (A_{15})、最大洪水流量 (Q_{max})、および崩壊土量 (V_s) が比較的高い相関を示している。したがって、土石流の規模を予測するに当たって、最も単純に1つの要因との相関関係を検討することにより得られた前記の単回帰式を適用することによって、ある程度の信頼性をもつ推定値が得られるものと考えられる。しかしながら、土石流は種々様々な要因が相互に関連し合っ
て、発生し流下、堆積していく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、予測式の適合度は向上すると考えられる。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求めてみることにした。

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要条件になる。上記の関連諸因子のうち崩壊土量については、それ自身を予測しなければならず、したがって、予測式の説明変数として用いることは不適切だと判断される。また、流域面積については、流出土砂量との相関の強さは両者殆ど同じであるが、溪床勾配 15° 以上での流域面積の方が物理性を備えた因子と考えられる。そこで、ここでは説明変数として、溪床勾配 15° 以上の流域面積および最大洪水流量を採り上げることにした。なお、最大洪水流量は降雨強度を与えてラショナル式により求められた推定値で、他の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、特に降雨が与えられない限り発生しないため、この因子の予測式への導入は不可欠であると考えられる。

予測式の数式モデルとして加法モデルと乗法モデルがあるが、ここでは乗法モデルを適用することにし、前述の663深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。

$$V_d = 3670 \cdot (A_{15})^{0.176} \cdot (Q_{max})^{0.463}$$

なお、この予測式のF検定の結果では、危険率5%の水準で有意である。また、重相関係数0.627、寄与率0.393となった。図-7には、予測値と実測値の比較を示した。

4. おわりに

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、平均的な流出土砂量に関する予測式を導いた。この式形には、2つの説明変数がともに流域面積の関数であるという問題点が含まれている。なお、地質別の予測式も得られている。今後、更に確率的考察を踏まえた予測式へと発展させたい。

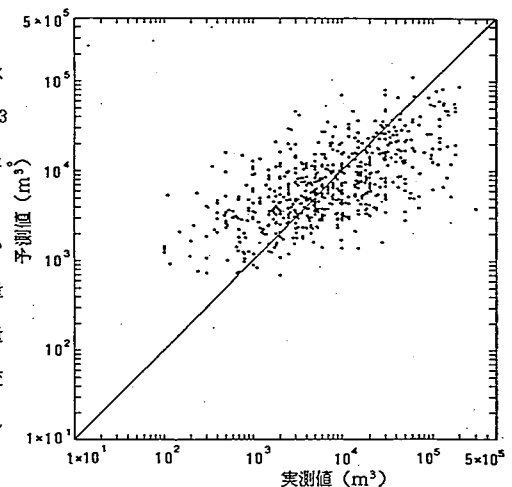


図-7 実測値と予測値の比較