

## 第3章 愛媛県における小流域の砂防ダム堆砂データによる流出土砂量の予測

### 3.1 概説

山地地域から流出する土砂量を予測する式の導出は、砂防計画の立案等にとって基本的な課題であり、多くの研究がなされている。

しかし、流出土砂量は、集水面積、地質、地形、植生、気候や河道条件など、多くのパラメーターに支配されるため、流域の特性により、その値に大差が生じ、一般性にかけるものとされ、また、資料の多くが大流域面積で得られており、愛媛県の土石流危険渓流の90%が1.0km<sup>2</sup>以下であるところから、それらの式は適用不可能と考えられる。

本項では、愛媛県の土石流危険渓流調査により得られた、砂防ダムの堆砂量データを使用し、重回帰分析の方法により、流出土砂量を予測する経験式の導出及び地質など関係要因の定量的評価を行った。

日本の貯水ダムや砂防ダムの堆砂データを使用し、複数の説明変数による流出土砂量の予測式が重回帰分析により、提示されている。

代表的な予測式としては、村野式(1967)、江崎式(1966)が挙げられる。

村野式(1967)は、流域面積、年平均雨量、流域平均高度、起伏量比を使用し、地質別に回帰分析を行い、いくつかの地質条件に関してはかなり良い相関が得られている。

江崎式(1966)は、洪水流量の総量、貯水池上流端付近の河床勾配、崩壊地の平均勾配、崩壊地の面積および流域面積を組み合わせた説明変数によっており、崩壊地からの土砂流入の重要さを指摘しているのが特徴である。

重回帰分析は、目的変数との因果関係の存在が明らかで、内部相関のない、できるかぎり少数の説明変数を使用することを原則とする。

本項では、平均溪床勾配、降雨量、流域面積を変数とし、地質帯毎に回帰式を求めることとする。

溪床勾配は、流域の最大比高を主流路長で割った値とし、降雨要因は、土砂流出の大部分を引き起こしている一定強度以上の豪雨の雨量を使用する。

砂防ダム堆砂量には、浮遊物質の大部分が含まれていない。掃流砂の全てを捕捉しているわけではないし、その捕捉率はダムの貯砂容量に依存する、などの問題が避け難く存在する。したがって、砂防ダム堆砂データを使用して得た統計的な経験式は、流出土砂量の全体を与えるものではないし、その適用範囲も限られるが、数多くのデータから、高い相関が得られれば、説明変数に採り上げた要因の妥当性は認められると考えられる。

### 3.2 流出土砂量算定要因

山地流域における土砂の生産と流出の過程に関わる要因には、崩壊発生及び土砂運搬の外力として作用する降雨の強度、崩壊発生と土砂運動を規定する地表面傾斜を主とする地形量、およびこれら作用力に対する抵抗性を示す地質、地被条件を挙げることができる。

ここでは、マクロ的な観点から、流域の諸特性値と流出土砂量との関係を求めることを目的としているので、降雨、地形、地質についての流域平均値あるいは、代表値を説明変数として用いることとする。

流出土砂量を与える値としては、砂防ダム施工年度から、平成12年12月までの堆砂の測量値を使用する。数年間に渡り、1年毎の堆砂測量が行われていれば、より高い相関関係が求められると考えられるが、1年毎の測量は行われていないため、総堆砂量で評価する。

一般的に、堆砂の大部分は、豪雨のあった年度に生じており、斜面崩壊、土石流による土砂生産は、ある強度以上の豪雨によって生じる。また河床部の不安定堆積物の流送も、大規模な出水時に主として行われる。

そこで、降雨強度の土砂生産・流出への関わりを明らかにするために、施工時からの堆砂量を流域面積で除した、比堆砂量（流域1km<sup>2</sup>あたり堆砂量）を目的変数として回帰分析を行う。なお、満砂したダムは満砂時期不明のため対象外とする。

愛媛県各観測所のアメダスによる時間雨量のデータは、1979年以降のものであるため、降雨強度との関係を明らかにするために、堆砂量も1979年以降に施工されたダムのもので検討を行う。

調査の結果、施工年度の不明なダムが多く、1979年以降のもので、施工年度、堆砂量の明確なダムは、領家花崗岩類（東予地域陸地部）データ数7、領家花崗岩類（東予地域島嶼部）データ数8、秩父三宝山層群（南予地域）データ数7、三波川帯（中予地域）データ数6の合計28箇所であった。

表1.1に対象砂防ダム流域の地形量・地質及びダム施工年度から2000年12月までの24時間雨量（100mm以上）を、図1.1に雨量観測所と、データ分析箇所を示す。

表 1.1 砂防ダム流域の地形量・地質

地域名	ダム施工 年度(年)	1km <sup>2</sup> 当堆砂量 (m <sup>3</sup> /k m <sup>2</sup> )	24時間雨量(m m) (100mm以上)	流域面積 (k m <sup>2</sup> )	渓床勾配 (度)	地質帯
朝倉村	1989	8278	1835	0.23	12	領家花崗岩類 (花崗岩)
	1979	9112	2927	1.51	13	
玉川町	1989	5761	1835	0.12	6	
	1979	25540	2927	0.18	7	
	1993	4715	1416	0.16	14	
大西町	1979	56112	2927	0.53	15	
菊間町	1987	9420	2014	0.84	9	
上浦町	1980	8484	911	0.12	24	
伯方町	1983	6084	671	0.20	18	
大三島町	1978	7031	1040	0.97	17	
	1988	3535	372	0.16	16	
	1988	8572	372	0.07	24	
	1989	1181	372	0.53	18	
	1996	200	134	0.14	16	
吉海町	1998	150	134	0.16	14	
久万町	1991	828	2636	1.34	7	三波川帯 (緑色片岩)
	1993	910	2353	4.79	10	
	1984	2272	3803	1.86	15	
美川村	1987	1092	3577	2.13	12	
	1993	889	2353	1.53	10	
宇和町	1994	774	1851	0.68	17	秩父三宝山層群 (砂岩・頁岩)
野村町	1993	3192	2580	0.08	6	
城川町	1997	2475	1126	0.25	20	
	1994	2346	1851	0.25	13	
	1980	3540	5793	0.91	14	
	1998	704	850	0.30	9	
	1979	4137	6270	0.80	16	

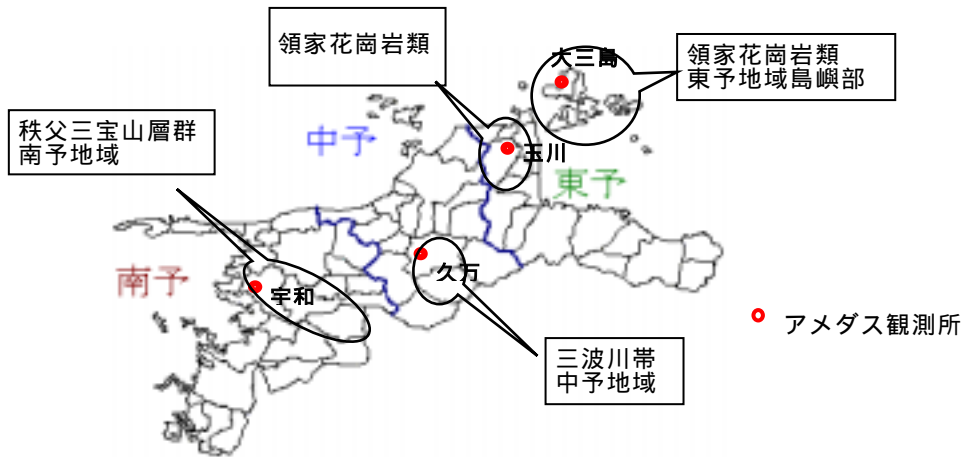


図 1.1 雨量観測所と、データ分析箇所

降雨量は、分析可能なデータを地質帯毎に整理し、それぞれの地域に最も近い観測所の降雨データを使用するという簡易な方法により、領家花崗岩類(東予地域島嶼部)は大三島観測所、領家花崗岩類(東予陸地部)は玉川観測所、三波川帯(中予地域)は、久万観測所、秩父三宝山層群(南予地域)は宇和観測所のデータを使用した。

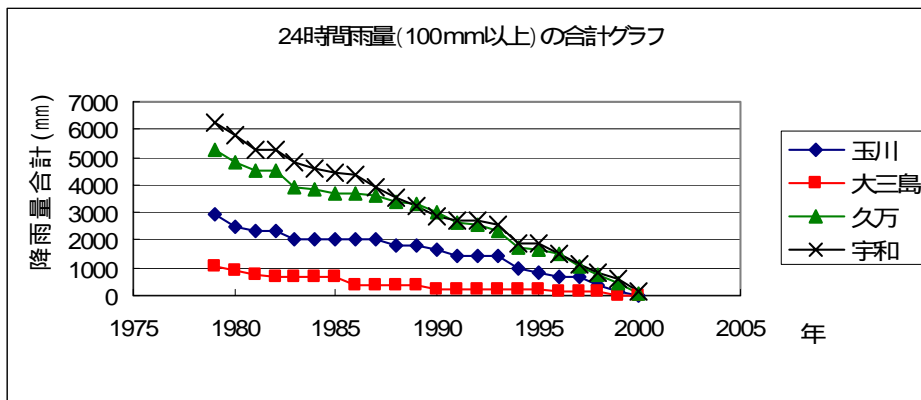


図 1.2 1979年～2000年までの100mm以上の24時間雨量の合計

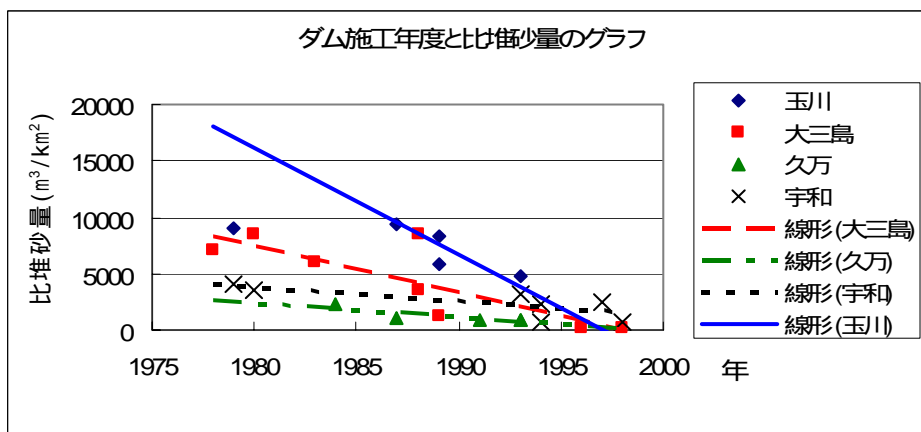


図 1.3 ダム施工年度と比堆砂量のグラフ

愛媛県の過去の災害を見てみると、最大時間雨量 20mm 程度で災害が発生している箇所が認められ、土砂移動の可能性が考えられるため、最大時間雨量 20mm 以上の場合の 3 時間雨量、6 時間雨量及び 24 時間雨量のダム施工年度からの合計雨量を求め、各時間内降雨量と、比堆砂量との単相関分析を行った結果、相関は 24 時間雨量が最も高かったため、この降雨量を採用する。

次に、しきい値を順次大きくして、降雨量がそれに達しないデータは除いていくという方法で相関分析を行った結果、24 時間雨量が 100mm 以上とした時、相関が最も高いということが示された。図 1.2 に 1979 年～2000 年までの 100mm 以上の 24 時間雨量の合計のグラフを示す。

図 1.3 にダム施工年度と、比堆砂量の関係のグラフを示す。

図 1.2、図 1.3 から、降雨量と比堆砂量の関係は、明らかであるが、玉川・大三島の降雨量と、久万・宇和の降雨量を比較すると、久万・宇和の降雨量は、玉川・大三島のそれに対して 2 倍近い量である。

一方比堆砂量は、降雨量に対し逆の傾向が見られる。

このことは、降雨以外の要因として、地質特性によるものが大きいと考えられ、マサ土は、他の地質に比べ少量の降雨で、下流に流出することを示している。

比堆砂量は地形量および降雨量及び平均溪床勾配の関数で表されるものとし、地質帯毎に回帰モデルを

$V = a + b \cdot r_{24} + c \cdot A + d \cdot I \cdots \cdots (1)$  で与える。

ここに  $V$  は比堆砂量 ( $m^3/km^2$ )、 $r_{24}$  は降雨量 (mm)、 $I$  は溪床平均勾配 ( $^\circ$ ) である。未知量は  $a, b, c, d$  であり、最小二乗法によりこれらの値を決定する。

### 3.3 回帰分析結果

表 1.1 に示した砂防ダムについての 28 の堆砂データを使用し、式 (1) の回帰モデルによる重回帰分析によって、比堆砂量を地形、降雨から求める式を導いた。

その結果それぞれの地質帯毎の回帰式が表 2.1 で示され、比堆砂量の実測値と表 2.1 の式による計算値との比較を図 2.1～図 2.4 に示した。決定係数  $R^2$  は、0.78 以上であり、比堆砂量の約 80% 以上がこれらの 3 要因によって説明されると考えられる。

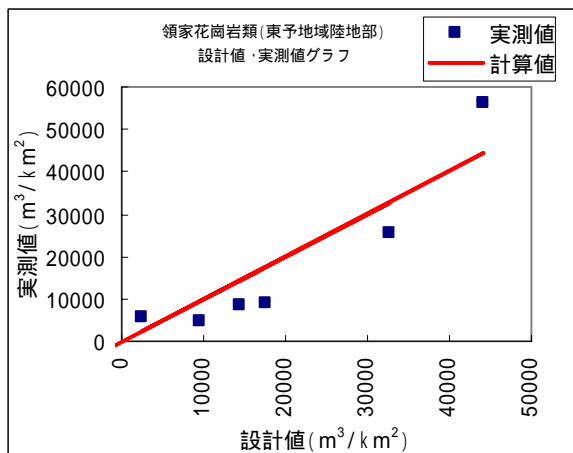


図 2.1 領家花崗岩類 (東予陸地)

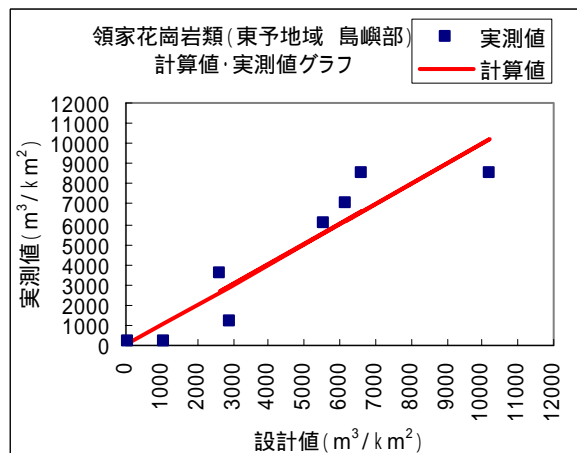


図 2.2 領家花崗岩類 (東予島嶼)

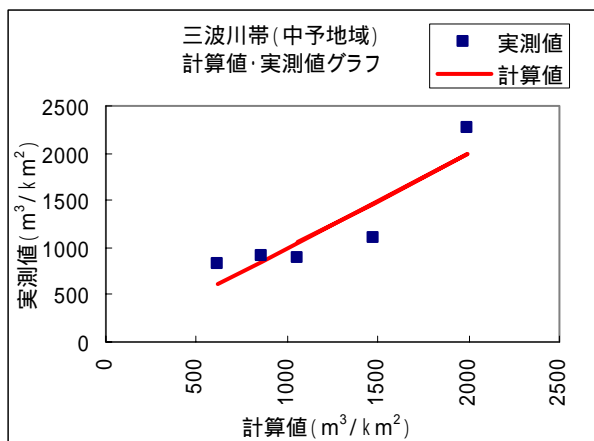


図 2.3 三波川帯 (中予地域)  
設計値・実測値グラフ

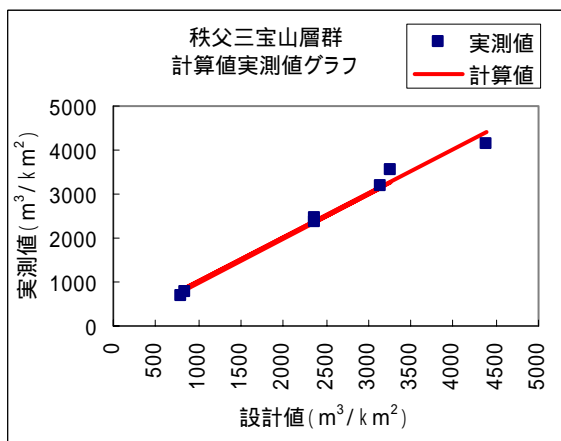


図 2.4 秩父三宝山層群 (南予地域)  
設計値・実測値グラフ

表 2.1 地質帯毎の回帰式

地質帯	地域	回帰式	決定係数 R <sup>2</sup>
領家花崗岩類	東予地域陸地部	$V = -58712.953 + 26.857 \times r_{24} - 22381.144A + 2411.999 \times I$	0.78
	東予地域島嶼部	$V = -7252.738 + 6.789 \times r_{24} - 1847.999 \times A + 478.961 \times I$	0.86
三波川帯	中予地域	$V = -710.600 + 0.109 \times r_{24} - 60.836 \times A + 160.214 \times I$	0.80
秩父三宝山層群	南予地域	$V = 452.680 + 0.951 \times r_{24} - 4481.080 \times A + 98.188 \times I$	0.98

表 2.1 の回帰式より、地質帯毎に、同様な傾向が見られる。比堆砂量は、24 時間降雨量に伴い増加し、流域面積の増大により減少し、平均溪床勾配が急勾配になるにつれ増大する傾向が見られる。

ダム計画を行なう流域の過去 10～20 年間の 24 時間雨量 100mm 以上のデータを収集し、これらの回帰式に代入することにより、降雨調査期間の流出土砂量の算定が可能であり、総降雨量の合計年数で除すれば、その溪流での年平均流出土砂量の算定が可能である。水系砂防計画を行なう際、流域全体の土砂整備計画を行なう必要があるが、全ての支川溪流の調査を行うことは、非常に困難である。個々の小溪流の 1 年間の流出土砂量の算定予測が行えれば、時系列的に流域全体の土砂整備計画を行なうことが可能である。

### 3.4 まとめ

砂防ダムの比堆砂量を目的変数とした重回帰分析により、小溪流における流出土砂量を予測する回帰式を導いた。主説明変数は、外力強度を表す降雨量、重力成分の大きさを決める溪床勾配、流出抵抗力を示す流域面積である。決定係数はほぼ 0.8 であり、これら 3 要因によって、大部分を説明することができる。

山地流域における土砂の生産、流出の現象は非常に複雑で予測し難い。特に山腹斜面における土砂生産の過程は、理論的扱いの最も困難な部分である。斜面安定の式などを使用するとしても、広い流域全体について土層の条件を詳細に与えることはほぼ不可能であるといったことから、大きな仮定を与えたり確率的な扱いをするというようになり、物理的な論拠が希薄となっている。

統計的経験式を求めるという初歩的な方法であっても、因果関係の明確な説明変数による回帰モデルを使用して高い相関関係が得られれば、適用に限界があるものの、一つの実用的手段として利用可能だと考えられる。