

# 扇状地における土砂災害の実態に関する研究

—主として、土石流による土砂の流出と堆積の特性について—

水原邦夫\*・武居有恒\*\*

KUNIO MIZUHARA\* and ARITSUNE TAKEI\*\*

Studies on the actual conditions of sediment disaster on alluvial fan  
—Properties of sediment transport and deposit by debris flow—

**要旨：**わが国における土石流災害の実態を明らかにし、その危険区域の判定基準に科学的根拠を与えることを目的として、既往災害資料の整理・解析を行った。

まず、最近の土石流災害に関する全国資料を用い、地質別の土石流発生率、土石流発生溪流の流域面積とその土砂氾濫堆積面積、堆積土砂量、流出石礫の最大粒径について整理・検討し、それらの平均的特性を明確にした。

次に、土砂害多発地帯である花崗岩と変成岩の両地帯に焦点を合わせ、現地調査、既存資料、地形図などをもとにして、土石流の流下距離、停止勾配、堆積勾配、停止堆積長、分散、表面石礫の分布特性について詳細に検討・考察した。その結果、土石流危険区域の設定に当って有効と思われる知見が種々得られた。

## 全国土石流災害資料よりみた土砂流出の実態

わが国においては、その自然的・社会的条件などにより土砂流出に基づく災害とりわけ土石流災害がしばしば発生している。そのため従来より、防災・減災の立場から種々の調査が行われ有益な資料も得られているが、こと災害現場に関する資料はその性質上以外と数少なく、また系統的なものではなかった。しかし、最近になってようやく系統的な調査が全国的に行われるようになり、それに伴い災害資料もかなり整備されてきている。

ここでは、1972年から1977年までの6ヶ年間における土石流災害の調査資料（建設省砂防部編・砂防便覧<sup>1)</sup>に集録）をもとにして、まず全国的にみた土砂流出の実態に関して検討・考察を行う。用いた資料は、その性質上精度等に多少問題があると思われるが、現実に

発生した土石流災害に関する全国資料として重要な意味を持っている。したがって、この資料を解析することによりわが国における土石流災害の実態に関して、その平均的な特性を把握できるものと思われる。

### 1. 地質別、土石流発生率

土石流災害の直接原因は言うまでもなく流出土砂であり、流出土砂の多寡はその流域の種々の立地条件と密接な関係にある。これらの条件として、流域の地質地形・気候および植生等があげられるが、ここでは後の解析との関連上、比較的資料が整っている地質条件だけを採り上げて、土石流災害との対応関係をまず検討する。すなわち、地質は谷頭・溪岸崩壊の難易、風化・侵食による溪床への土砂供給速度に関係し、ひいては土石流の発生に大きな影響を与えるものと考えられるからである。

さて、わが国のように地質分布の変化に富んだ国で

\* 京都府立大学農学部砂防工学研究室

Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

\*\* 京都大学農学部砂防工学研究室

Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan.

昭和57年7月10日受理

Table 1. Classification by geology of mountain streams caused sediment disasters between 1972 and 1977 year. Their drainage area are limited to less than 10 km<sup>2</sup>.

Geology	Number of streams	Percentage against total
Granite	146	28.9
The other plutonic rocks	9	1.8
Volcanic ejecta	68	13.4
Metamorphic rocks	92	18.2
Paleozoic and mesozoic strata	81	16.0
Tertiary strata	68	13.4
Quaternary strata	42	8.3
Total	506	100.0

は、流域を構成する代表地質のとり方および地質区分の方法が問題となるが、ここでは前述の災害資料に基づき、地質を花崗岩、その他深成岩、火山噴出岩、変成岩、古・中生層、第三紀層、第四紀層の7つに分類して比較研究する。

表-1は先に述べた期間において、土石流が発生した流域面積 10 km<sup>2</sup> 以下の溪流（総数 506）を対象として、地質区分毎の土石流発生率を示したものである。図から明らかなように、土石流は花崗岩地帯の溪流で最も多く発生し、次いで変成岩、古・中生層、火山噴出岩、第三紀層、第四紀層、その他深成岩地帯の順となっている。このことは条件さえ整えば、どの地質においても土石流が発生する可能性を有していることを意味している。しかしながら、花崗岩と変成岩の両地帯における発生率が全体の約50%を占めるという事実は注目し得る。これは、この両地帯の母岩の風化のし易さや断層線・破碎帯の存在による岩石強度の低下が関係しているものと思われる。なお、花崗岩および変成岩の地質を有する溪流（総数238）のうち、その95%が西日本に位置することから、台風・梅雨前線に基づく豪雨の地域的頻度分布も相関連しているものと推察される。

2. 土石流発生溪流の流域面積と土砂氾濫堆積面積

土石流災害を防止・軽減する場合、その前提として現実の土石流がどれ位の流域面積をもつ溪流で発生し、その結果、土砂の氾濫堆積面積はどれ位の大きさとなっているかを知ることが肝要である。図-1は全国資料をもとに、土石流が発生した溪流の流域面積（10 km<sup>2</sup> 以下）の頻度分布を示したものである。この図より、

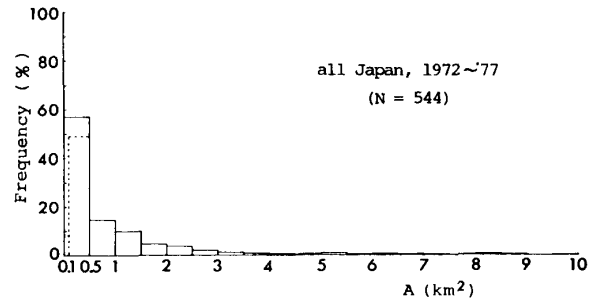


Fig. 1. Frequency distribution of drainage area of mountain streams occurred debris flow.

全溪流の92%が流域面積 3 km<sup>2</sup> 以下であること、また流域面積 0.5 km<sup>2</sup> 以下の溪流が最頻値を示すことがその特徴として見出せる。この事実は、土石流が1次谷および2次谷程度の山地小溪流で生じていることを意味しており、防災計画における対象流域の面積決定に当たって参考にならう。

次に同じ資料をもとに、危険区域としての土砂氾濫堆積面積 (A<sub>s</sub>) の流域面積 (A) に対する比について整理したものが図-2.1であり、A<sub>s</sub>/A は1~5%の範囲で最頻値をとることがわかる。また、土石流発生件

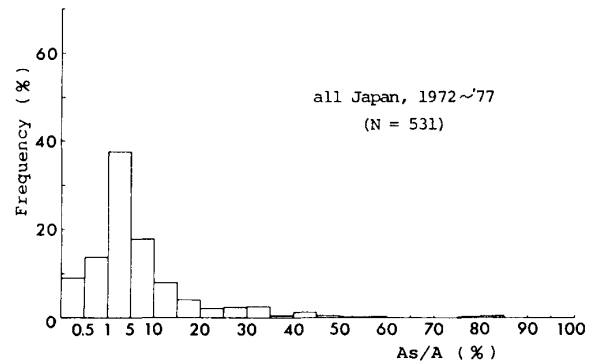


Fig. 2-1. Frequency distribution of the ratio of depositing-flooding area to drainage area. (the whole geology)

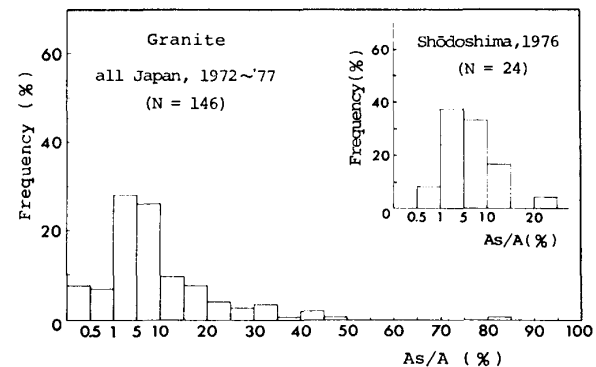


Fig. 2-2. Frequency distribution of the ratio of depositing-flooding area to drainage area at granite zone.

数の多い花崗岩と変成岩地帯に関して整理すると、図-2.2, 2.3 に示すように結果となり、全国的にも個々の地域に対しても前と同様、 $A_s/A$  は1~5%の範囲で最頻値を示している。なお、他の地質についても全く同じ傾向であった。図中、花崗岩地帯においては5~10%の範囲にも大きな頻度を占めているが、これは花崗岩地帯で形成される谷の扇状地形や土石流の性質が影響しているものと思われる。以上の結果は土石流による危険区域の大きさを決定する際に、一つの平均的な目安になるものと考えられよう。

3. 土石流による堆積土砂量

土石流災害に対する危険区域を設定したりあるいは施設計画を立てる場合には、流出土砂量の予測が必要

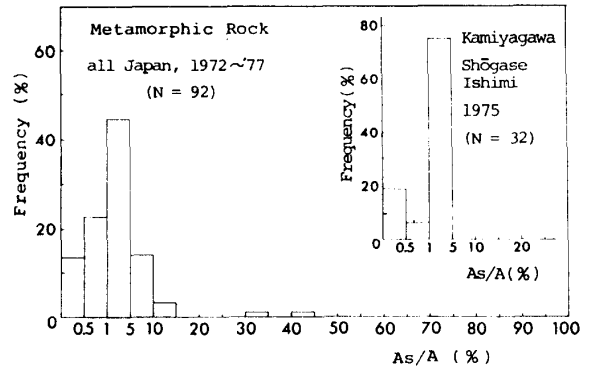


Fig. 2-3. Frequency distribution of the ratio of depositing-flooding area to drainage area at metamorphic rocks zone.

流域面積 km <sup>2</sup>		.032 .056 .10 .178 .316 .562 1.00 1.78 3.16 5.62 10.0 17.8 31.6 56.2																
		階級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
堆積土砂量 m <sup>3</sup>	階級	計	551	15	13	13	95	115	74	56	75	37	25	14	11	5	2	1
	×10 <sup>2</sup>	1	8	1	1	1	2	2	0	1								
3.16	2	15	1	2	0	5	2	1	2	1								
5.62	3	18	3	1	3	6	4	0	1	0								
×10 <sup>3</sup>	4	43	4	1	1	7	14	8	4	3	1							
1.00	5	61	2	3	2	16	14	8	4	10	2							
1.78	6	66	4	3	2	8	22	12	8	3	3	1						
3.16	7	76		1	2	19	22	12	7	6	6	1						
5.62	8	87		1	2	18	14	10	14	15	5	6	1	1				
×10 <sup>4</sup>	9	74				10	13	11	6	15	9	3	3	2	1	1		
1.00	10	45				2	3	8	3	13	8	2	2	3	0	1		
1.78	11	21				2	2	1	1	6	1	7	1	0	0			
3.16	12	25					1	3	3	3	2	4	5	3	1			
5.62	13	7					1	0	1	0	0	1	1	1	2			
×10 <sup>5</sup>	14	1										1						
1.00	15	1							1									
1.78	16	2												1			1	
3.16	17	1													1			

Fig. 3. Relationship between the amounts of transported debris and drainage area (caused disasters between 1972 and 1977 year)

number in each column shows frequency  
 histogram shows percentage against total(total 551)  
 2.5% per 1 line (column of total), 0.5% per 1 line (individual column)

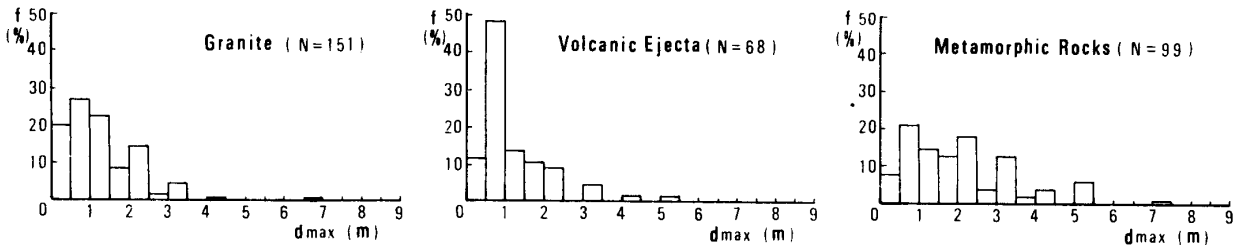


Fig. 4. Frequency distribution of maximum gravel size (caused disasters between 1972 and 1977 year).

不可欠であるが、流出土砂量には種々の要因が関係するため、その適確な予測は一般に困難である。

そこで、既往災害における堆積土砂量と流域面積の関係を全国資料をもとに整理すると図-3<sup>2)</sup>のようになる。図中、流域面積 0.1~1.0 km<sup>2</sup> における堆積土砂量 1,000~30,000 m<sup>3</sup> の部分においてかなりの頻度が認められ、また流域面積 1~3 km<sup>2</sup>、堆積土砂量 20,000~50,000 m<sup>3</sup> の部分においても高い頻度が認められる。この事実をその流域面積から考えると、前者はいわゆる土石流的な土砂移動現象、後者は掃流的な土砂移動をも含む現象に基づく結果を示しているものと思われる。堆積土砂量の多寡は雨量、溪床堆積物の量、地形条件などの差異に関係していると推察されるが、いずれにしても甚大な被害を与える土石流の堆積土砂量は大体 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> のオーダーといえよう。なお、図からもほぼ予想できることであるが、地質別に堆積土砂量と流域面積の関係を調べると、ほとんどの場合その相関係数は0.5近くであり、両者の間には積極的な相関は認められない。

#### 4. 地質別、流出石礫の最大粒径

土石流の堆積場（扇状地、谷底平野）へ流出してくる土砂石礫の粒度構成、特にその中の最大粒径は流速とともに土石流の破壊力を左右するものであり、したがって防災構造物の設計などにとっても重要な調査研究項目である。現実の土石流災害において、その堆積の場で見られる最大粒径は溪流の地形・地質条件あるいは土砂移動現象の規模や差異などに関係するものと考えられるが、ここでは平均的な傾向を把握するために地質別に最大粒径に関して全国資料の整理・検討を行う。

図-4には、その例として花崗岩、火山噴出岩、変成岩地帯における最大粒径の頻度分布を示す。これらの図からも分かるように、分布形状は他の地質をも含めてそれぞれ異なった様相を呈しているが、最大粒径の最頻値は第四紀層地帯を除く他のすべての地質に対して 0.5~1.0 m、第四紀層に対して 0~0.5 m となる。また平均値に関しては、最大が変成岩地帯の 1.9 m、

次いで第三紀層地帯の 1.8 m、花崗岩、火山噴出岩、古・中生層地帯の 1.1 m、第四紀層地帯の 0.6 m となっている。

#### 花崗岩および変成岩地帯での土砂堆積の検討

前節では、最近の土石流災害に関して土砂流出の実態を全国的視野から検討し、その平均的な特性を種々明らかにしてきた。ここでは比較的資料が完備し、かつ土砂害多発地域である花崗岩と変成岩の両地帯に焦点を合わせ、そこでの土砂流出の実態について更に詳細に検討・考察する。

解析の対象とした溪流は、1967年8月の羽越豪雨時に土石流災害を生じた荒川流域（花崗岩）、1975年8月の台風5号時に同災害を受けた仁淀川上流域（変成岩）、1976年9月の台風17号時に同災害を生じた吉野川上流域（変成岩）および小豆島（花崗岩）における諸溪流である。なお以下の解析を行うに当たり、これらの災害に関連した既存資料および災害前後の航空写真を移写した地形図（縮尺1/1000, 1/5000）などを用い、解析に必要な因子を抽出・計測するとともに可能な限り現地踏査を行った。

##### 1. 土石流の流下距離

土石流の流下距離を知ることは、後述の停止・堆積条件の検討とともに防災構造物の設置場所や避難体制を考える上で重要なことである。さて、従来の調査研究により土石流の発生・流下・堆積の三区域に関する溪流の縦断勾配については、ある範囲をもって明らかにされている。したがって、地形条件から発生域と堆積域が決まれば流下距離はほぼ分かるわけであるが、発生地点が容易に決められないため、実際の土石流の流下距離がどれ位の長さであるかについてはほとんど明らかにされていない。

一般に、土石流発生溪流を調査すると、ほとんどの場合その谷頭には一個あるいは複数個の崩壊が生じており、それらの崩壊が土石流発生の誘因であるとみなされることが多い。そこで、ここでは発生後の航空写真を移写した地形図をもとに、土石流発生に最も関

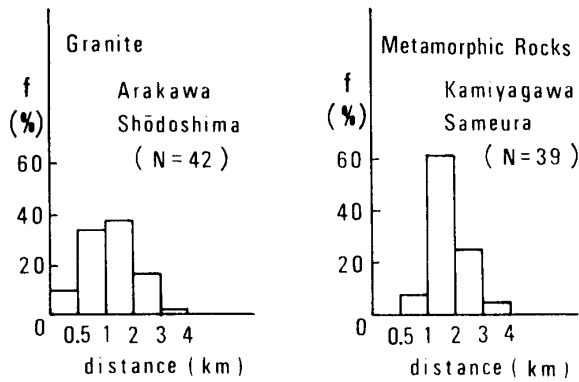


Fig. 5. Frequency distribution of flowing-through distance of debris flow.

与したと思われる個所の崩壊を選定し、その地点から谷の出口における堆積域の上流端までの水平距離を流下距離とみなすことにする。

図-5は花崗岩地帯（荒川・小豆島）と変成岩地帯（仁淀川・吉野川上流）における土石流の流下距離の頻度分布を示したものである。図から、流下距離の最頻値は両地帯とも1~2kmであり、かつ花崗岩地帯では0.5~2kmが約70%、変成岩地帯では1~2kmが約60%占めていることが分かる。もし、土石流による単位流路長当りの侵食量が分かれば、この結果は流出土砂量を予測するに際して、一つの手助けとなる。

## 2. 土石流の停止勾配

土石流がどのような条件のもとで停止・堆積するかを解明することは、危険区域を設定する上で不可欠なことである。停止・堆積の条件の一つとして溪床勾配が挙げられ、現在までの調査結果によると、その値は一般に $4^{\circ}\sim 10^{\circ}$ の範囲となっており一定ではない。これは個々の溪流における土石流堆積域上流部の溪床勾配の差異によるものと思われる。

土石流発生溪流を踏査すると、大量の土砂堆積は一般に谷の出口部に見られるが、中流部においても小規

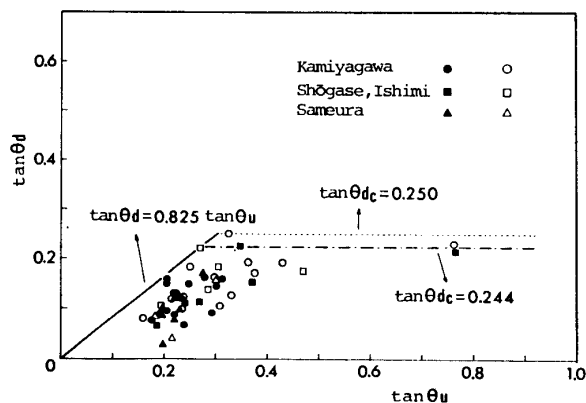


Fig. 6. Original bed slope related to debris flow stoppage.

模ながら堆積が生じている場合もある。この堆積個所は土石流発生前後の航空写真を図化した縦断面図より検討すると勾配が急変している地点に相当し、その堆積面は勾配変化点上下流にわたっている場合が多い。

図-6は仁淀川と吉野川上流の土石流発生溪流の堆積部における勾配変化点下流側元溪床勾配 ( $\theta_d$ ) と上流側のそれ ( $\theta_u$ ) の関係を示したものである。図より、谷の出口部では  $\tan \theta_d < 0.244$ 、中流部では  $\tan \theta_d < 0.250$  で停止・堆積している。これは小豆島の場合でもほぼ同様であった<sup>3)</sup>。ところで、勾配変化点下流側での停止勾配は上流側勾配の大きさに関係するものと考えられるから、土石流停止の勾配比について図を見ると、 $\tan \theta_d / \tan \theta_u < 0.825$  となる。これは高橋ら<sup>4)</sup>の停止勾配条件式  $\tan \theta_d / \tan \theta_u < \tan \alpha / \tan \phi$  に相当し、式中の  $\tan \alpha = 0.6$ 、 $\tan \phi = 0.727$  とすると上の結果と一致する。なお、 $\alpha$ : 土石流体を構成する粒子の動摩擦角に相当する角、 $\phi$ : 堆積層の静止摩擦角である。以上のことから、谷の出口部での土石流停止の勾配条件として、 $\tan \theta_d < 0.244$  と  $\tan \theta_d / \tan \theta_u < 0.825$  の2つが考えられる。

## 3. 土石流の堆積勾配

土石流堆積物の流下方向の表面勾配つまり堆積勾配には、土石流の流量、濃度、含有石礫の粒径および地形などの因子が関係するものと考えられる。しかし、これら関連因子の実態資料をすべて得ることは実際上不可能なので、ここでは比較的得られ易い元溪床勾配をもとに土石流の堆積勾配を検討する。

仁淀川および吉野川上流の土石流発生溪流を対象として、前述の方法により得られた縦断面図から、堆積部の勾配変化点下流および上流の元溪床勾配 ( $\theta_d$  および  $\theta_u$ ) と堆積勾配 ( $\gamma$ ) を求め、それらより堆積勾配比 [ $2\gamma / (\theta_d + \theta_u)$ ] と元溪床勾配比 ( $\theta_d / \theta_u$ ) の関係について整理すると図-7となる。図において同じ勾配比のもと

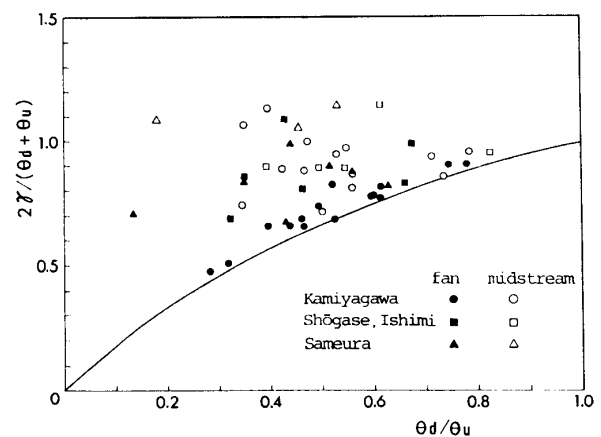


Fig. 7. Surface gradient of debris flow deposits.

では、谷の出口部での堆積勾配は中流部でのそれに比べて幾分小さな値となっているが、これは谷壁による拘束力の影響がなくなるためと考えられる。また土石流量、地形条件などの差異に原因してか、プロットは散らばり両者の関係は明確でないが、堆積勾配は平均的には、谷の出口部に対して  $\gamma \doteq 0.8[(\theta_d + \theta_u)/2]$ 、谷の中流部に対して  $\gamma \doteq 0.95[(\theta_d + \theta_u)/2]$  として整理できる。なお図中の包絡線は、各勾配比について堆積勾配と勾配変化点下流側の元溪床勾配とが等しいという条件から得られたものである。以上の結果は他の地域についても検討する必要があるが、土石流の堆積勾配の推算式として有効であろう。

4. 土石流の停止堆積長

土石流の停止堆積長は、危険区域を設定する上で重要な一項目であるという観点から、従来より2, 3の研究<sup>5), 6)</sup> がなされているが十分であるとは言い難い。ここでは、高橋らの研究<sup>4)</sup> を参考にして停止堆積長に関する理論的考察を行い、それを実態資料より検証する。

勾配変化ならびに拡幅を伴う水路での土石流の停止堆積をモデル化して、図-8に示すような堆積形状になったものとする。図より、石礫の保存則から次式が導かれる。

$$1/6 X^2 B_u [(2+z)M + 3N] C_* = B_u q_i t C_u \dots\dots(1)$$

$$M = \tan(\gamma - \theta_d) / [\tan(\gamma - \theta_d) \tan(\theta_u - \theta_d) + 1]$$

$$N = M^2 / [\tan \delta \cos^2(\theta_u - \theta_d) + 1]$$

$$z = B_d / B_u$$

ここに、 $X$ : 勾配変化点から堆積終了点までの斜距離、 $C_*$ : 堆積層の石礫の容積濃度、 $C_u$ : 土石流の容積濃度、 $q_i$ : 土石流の単位幅流量、 $t$ : 時間、 $\delta$ : 土石流堆積物の上流面が水路床となす角度である。

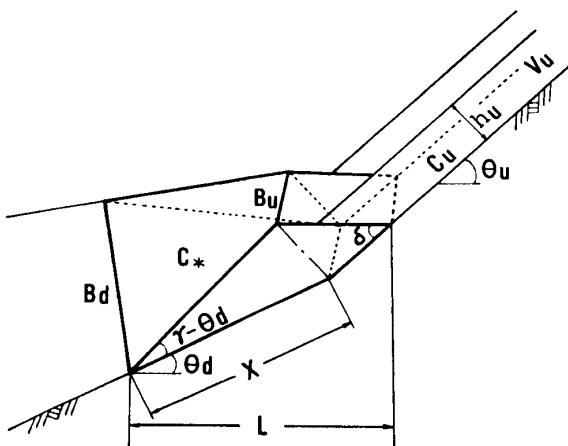


Fig. 8. Model on stoppage and deposition of debris flow.

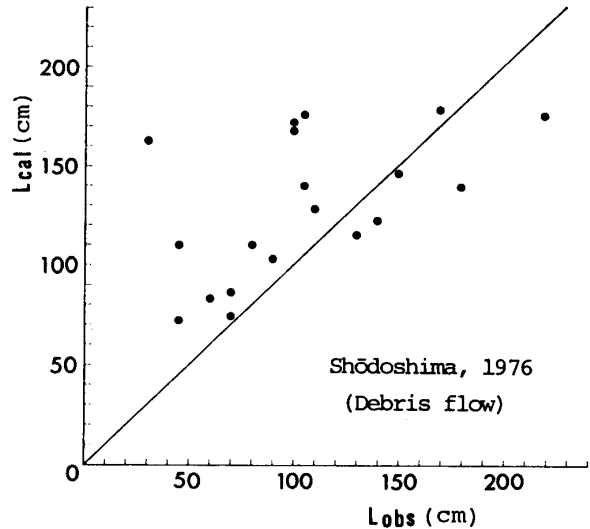


Fig. 9. Comparisons between the calculated values and the measured ones.

停止堆積長 ( $L$ ) は、

$$L = XD \dots\dots(2)$$

$$D = \cos \theta_d + M / [\tan \delta \cos(\theta_u - \theta_d)]$$

であるから、(1), (2)式より、

$$L = D \sqrt{6 C_u q_i t / C_* [(2+z)M + 3N]} \dots\dots(3)$$

となる。

図-9は小豆島における土石流調査資料<sup>9)</sup> を用いて、(3)式より求めた計算値と実測値を比較したものである。計算値は実測値にほぼ一致し、また安全側に計算され得る場合が多いことが分るが、他の例についても更に検討する必要がある。なお計算に当って、 $\gamma$  は3で記した式から求め、 $\delta$  は高橋らの実験を参考に  $25^\circ$  とし、 $Z$  は実測値を用いている。ただし上記の資料の中で、土砂流として識別されたものに対しては、(3)式の適合性はほとんど認められなかった。

5. 土石流の分散方向と氾濫・堆積幅

土石流の分散の方向とその結果として形成される氾濫・堆積幅には、堆積場の地形がある程度関与しているものと考えられる。そこで、堆積場の地形を扇状地タイプと谷底平野タイプとに大別し、前者に対しては荒川・小豆島にみられる土石流発生溪流、後者に対しては仁淀川・吉野川上流における同溪流を例に採り、検討を行う。

図-10.1, 10.2は、航空写真から作成した氾濫・堆積実績図を用いて、堆積(分散)開始点、堆積終了点(最大氾濫・堆積幅部) およびその中間点において発生前の流路に直角方向の測線を引き、それぞれに対する左右兩岸横断勾配と同氾濫・堆積幅を求め、それらをもとに横断勾配比 ( $\theta_g/\theta_s$ ) と氾濫・堆積幅比 ( $B_s/B_g$ ) の

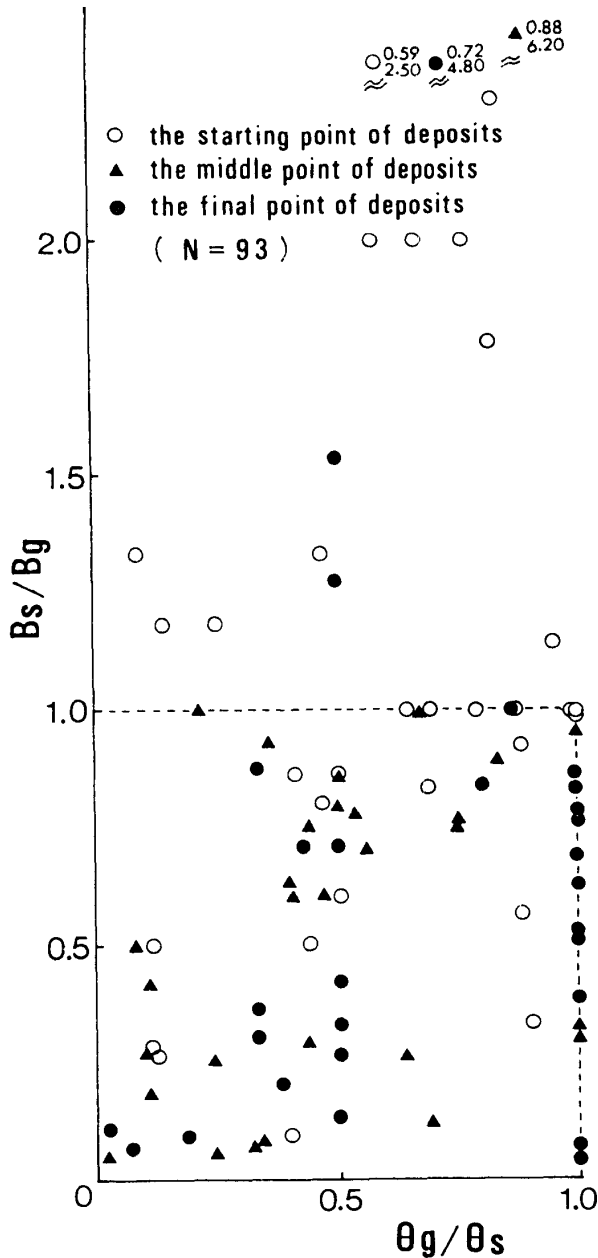


Fig. 10-1.

Fig. 10-1. Relationship between  $\theta_g/\theta_s$  and  $B_s/B_g$  at the depositing places of debris flow similar to alluvial fan (Arakawa, Shodoshima Is.).

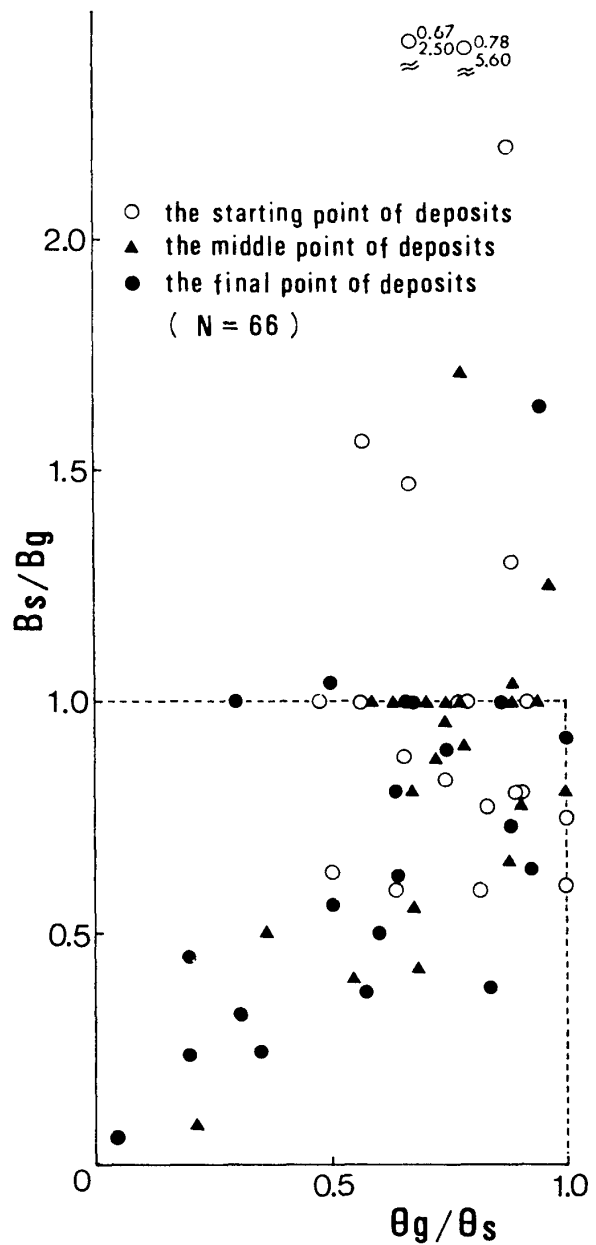


Fig. 10-2.

Fig. 10-2. Relationship between  $\theta_g/\theta_s$  and  $B_s/B_g$  at the depositing places of debris flow similar to valley plain (the upper watershed of the Niyodo and Yoshino River).

関係を示したものである。ここに、 $\theta_g, \theta_s$ : それぞれ緩勾配角岸と急勾配角岸側の横断勾配、 $B_s, B_g$ : それぞれ急勾配角岸と緩勾配角岸側の流路中心からの氾濫・堆積幅である。

図から明らかなように、堆積地形の両タイプとも全プロットの約8割が  $0 < B_s/B_g \leq 1$  の範囲に包含されており、また特に谷底平野タイプの場合には、 $\theta_g/\theta_s$  が増加するにつれて  $B_s/B_g$  も大きくなる傾向が認められる。これは、土石流が堆積場において横断勾配の緩やかな方向へ分散し堆積することを意味している。

なお、 $B_s/B_g > 1$  の部分、つまり急勾配角岸により広く氾濫・堆積した部分については、堆積開始点のプロットがほとんどを占めており、堆積開始点においては横断勾配以外の因子、例えば流路の屈曲角に伴う土石流の直進性などの影響がより強いものと考えられる。

一般に、土石流がその堆積場において分散し堆積するのは、谷の出口から下流にかけて横断勾配が漸次緩傾斜となり地形的制約が解かれるためと解釈される。そこで、横断勾配の変化を前と同様、左右両岸別に谷の出口（堆積開始点）の横断勾配 ( $\theta_w'$ ) に対する堆積

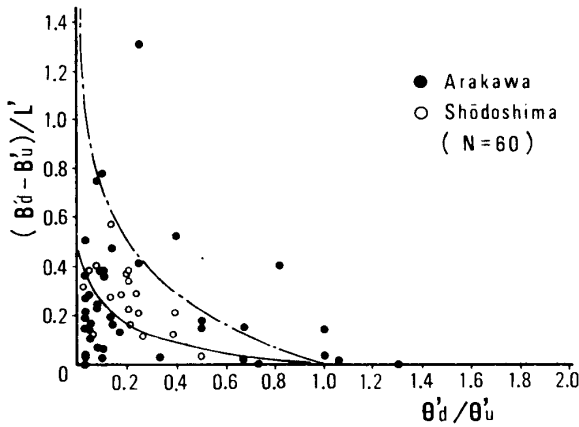


Fig. 11-1.

Fig. 11-1. Relationship between cross-grade ratio of the bank and widening rate of depositing-flooding width at the depositing places of debris flow similar to alluvial fan.

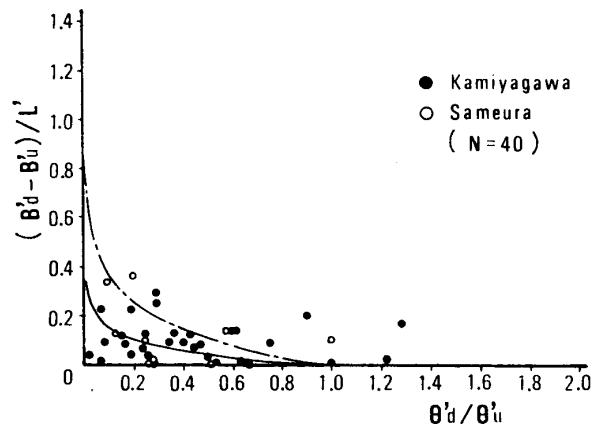


Fig. 11-2.

Fig. 11-2. Relationship between cross-grade ratio of the bank and widening rate of depositing-flooding width at the depositing places of debris flow similar to valley plain.

終了点での横断勾配 ( $\theta'_d$ ) の比 ( $\theta'_d/\theta'_u$ ) で表し、これと氾濫・堆積幅の拡幅率  $((B'_d - B'_u)/L')$  との関係を両堆積地形について整理したものを図-11.1, 11.2に掲げる。ここに、 $B'_u$ ,  $B'_d$ : それぞれ堆積開始点と同終了点での氾濫・堆積幅、 $L'$ : 両地点間の流路長である。

図から近似的には、 $\theta'_d/\theta'_u$  が減少するにしたがい  $(B'_d - B'_u)/L'$  は増加する傾向が読みとれる。つまり、堆積開始点の横断勾配に対して堆積終了点の同勾配が緩くなるほど、氾濫・堆積幅はより大きくなると解釈される。両因子の間に積極的な相関はあまり認められないが、試みにその関係を堆積地形のタイプ別に求めたものを次に示す。

扇状地タイプ;  $y = -0.237 \log x$

$$(y_{95\%} = -0.728 \log x)$$

谷底平野タイプ;  $y = -0.143 \log x$

$$(y_{95\%} = -0.300 \log x)$$

ここで、 $x$ :  $\theta'_d/\theta'_u$ ,  $y$ :  $(B'_d - B'_u)/L'$ ,  $y_{95\%}$ :  $y$  の推定値の95%信頼限界の上限。これらの式は、図においてそれぞれ実線と破線で示されている。

### 6. 土石流堆積物の表面石礫径の場所的分布特性

土石流体を構成する個々の石礫の堆積場における停止位置は、土石流の物理的性質、継続時間、堆積場の地形条件などに左右されると思われるが、その中で大きな破壊力を有する巨礫の停止位置を知ることは、危険区域内での最重要区域を設定するに際して有効となる。そのような観点から、ここでは石礫型土石流（いわゆる分散力で石礫を保持して流れる土石流）を対象として、その堆積物の表面石礫の粒径と停止場所との関係を検討した一例を示す。

調査対象溪流は、吉野川上流の早明浦ダム湛水池上

流端付近で合流する一支流（流域面積: 0.74 km<sup>2</sup>, 平均勾配 25°, 流路長: 1.05 km, 地質: 三波川変成帯）である。当溪流は1976年9月の台風17号時に土石流が発生し、その前後に撮影された航空写真を図化すると図-12のようになり、扇頂角約 86°, 扇面および扇頂部上流の渓床面積は発生前に比べて、それぞれ約 7 倍と約 1.6 倍に拡大している。なお、調査は土石流発生後ほぼ 5 年経過した1981年8月に行ったので、発生直後の状況を航空写真の解析結果（上述の平面形状の他に縦断形状の変化をも含む）から把握するとともに、調査時点における堆積状況が発生直後と大幅に変化していないことを現地での測量および聞き込みなどから確認した。調査に当っては、長軸 15 cm 以上の石礫を全数測定し、3 軸長の 3 乗根を石礫の径とした。

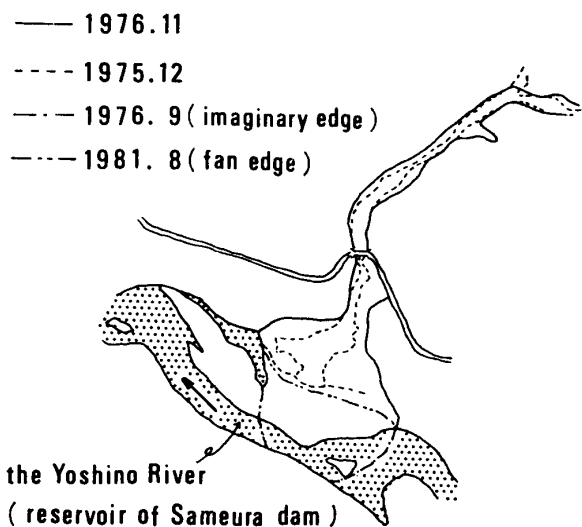


Fig. 12. Plane change of depositing place before and after the occurrence of debris flow.



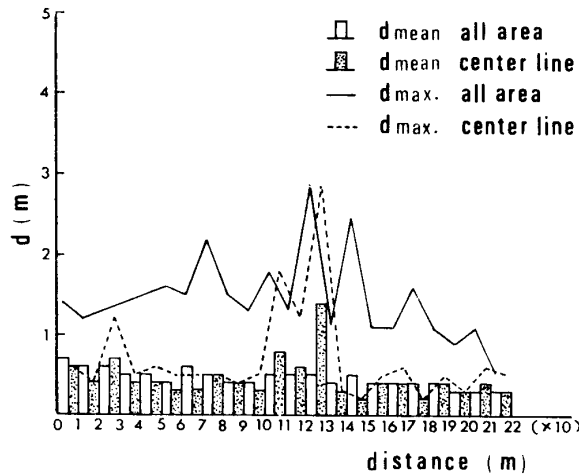


Fig. 13. Gravel size distribution along the direction of debris flow at the depositing place.

図-13は、堆積区域の始点から本川合流点に至る測定区間 220 m における石礫の粒径を流下距離に関して整理したものである。堆積部全面の流下方向における平均径については、顕著な傾向が認められないが、溪床中心線上の平均径は距離 120~130 m 付近で最大値を示し、それより下流は上流よりも幾分か小さくなっている。また、堆積部全面の最大径に関して見た場合、170 m 付近まで粒径 1.5 m 位の巨礫が堆積しており、かつ 120~170 m の区間の粒径は 0~120 m のそれよりも大きくなっている。このことから、土石流フロント部は 140~170 m の間で停止し、その後続部が遡上するとともに停止前縁部を乗り越えて堆積した後、含有石礫分の少ない後続流がその堆積面を流れて、細粒部が下流へと押出していったものと推察される。したがって、170 m 付近までを土石流本体の堆積物と考えた場合、その最大径は下流部ほど大きくなる傾向が認められる。これは、土石流フロント部に大礫の集中現象が生じ、その結果として堆積物の表面石礫の流下方向沿い粒径分布にもその影響が現われたものと考えられる。

図-14は、土石流堆積面の各横断測線における粒径分布の代表的なものを示している。これらの図から、距離 0~170 m 付近までは溪床中心線から両岸へ離れるほど、平均径、最大径ともに大きくなる傾向が認められるが、170 m より下流の区間ではそのような傾向はあまり認められない。これは前述したように、土石流本体の停止・堆積現象が生じた後、その堆積面中央部が後続流によってフラッシュされたため、表面石礫の横断方向における粒径分布にもその影響が現われたものと推察される。

最後に、本研究の遂行に当って、資料を提供して頂いた国際航業株式会社 中山政一氏、建設省吉野川砂

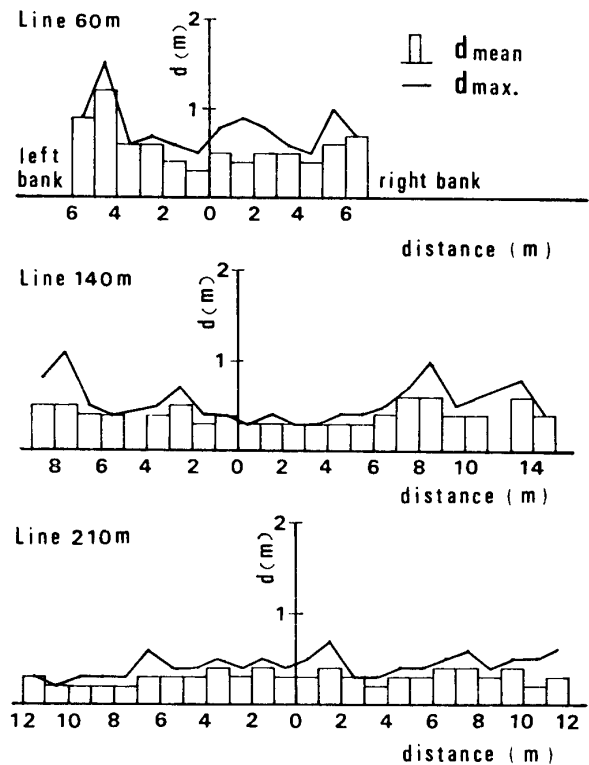


Fig. 14. Gravel size distribution along the transverse direction at the depositing place of debris flow.

防工事事務所の関係各位、また現地調査ならびに資料整理に協力してくれた京都府立大学農学部砂防工学研究室の専攻生 村上清(1980年度)・喜野英次郎(1981年度)の両君に対して深謝の意を表す。なお、本研究は文部省科研費(自然災害特別研究計画研究)「扇状地における洪水・土砂災害の発生とその防止軽減に関する研究」研究代表者 京都大学芦田和男教授、の研究費によりなされた。記して感謝する次第である。

#### 参考および引用文献

- 1) 建設省河川局砂防部編：砂防便覧，全国治水砂防協会，昭53，pp. 52-89.
- 2) 武居有恒監修：地すべり・崩壊・土石流，鹿島出版会，昭55，pp. 18-19.
- 3) 建設省土木研究所，国際航業株式会社：昭和51年度台風17号による土石流災害調査(その1)一土砂害危険区域設定に関する基礎調査一報告書，昭52.3，pp. 17-21.
- 4) 高橋保，吉田等：土石流の停止機構に関する研究(1)一勾配の急変による堆積一，京都大学防災研究所年報，第22号B-2，昭54.4，pp. 315-328.
- 5) 池谷浩，米沢谷誠悦：土石流危険区域設定に関する考察一小豆島災害を例として一，土木技術資料第19巻12号，昭52，pp. 21-27.
- 6) 奥田節夫，土石流研究グループ：土石流の現地調査について，京都大学防災研究所年報，第16号A，昭47，pp. 53-69.

### Summary

In order to make clear the actual conditions of debris flow disasters in our country and give the scientific ground to decision-standards for hazard zone, we arranged a lot of the latest data of sediment disasters and analyzed them.

First, the occurrence frequency of debris flow, drainage area of mountain streams occurred debris flow, depositing-flooding area of debris flow, amounts of transported debris and maximum gravel size were analyzed statistically by the country-wide data of sediment disasters caused between 1972 and 1977 year. As a result of considerations, their average properties

could be found.

Next, focussing on granite and metamorphic rocks zone which debris flow may very possible occur, the flowing-through distance of debris flow, bed slope of debris flow stoppage, surface gradient of deposits, lateral dispersive extent of debris flow and locational distribution of surface gravel size at the depositing place were considered in detail respectively by analyzing the topographical maps based on the aerial photographs before and after the disasters, field investigation and so on. Consequently, we could take many fruitful results for limitation of hazard zone.