HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	石れき指標に関する砂防学的研究
Author(s)	東, 三郎
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 40(1), 197-227
Issue Date	1983-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21081
Type	bulletin (article)
File Information	40(1)_P197-227.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

石れき指標に関する砂防学的研究*

東　三郎**

Studies on the Debris Indexes for the Erosion Control Planning*

By

Saburo HIGASHI**

目　次

はじめに …… 197
れき径測定の方法 …… 198
サンプリング …… 200
大れき調査法 …… 202
土石流堆積の特徴 …… 205
大れき占有率の意味 …… 207
土石流現象の見かた …… 210
大れきの移動距離 …… 212
大れきの再移動 …… 215
床固め効果の判定 …… 218
荒廃渓の石れき指標 …… 222
むすび …… 225
参考文献 …… 226
Summary …… 227
Plate (I～IV)

はじめに

渓流の土石移動に対する砂防計画は，不安定な状態にある土石を量的に把握し，流動物に質的検討を加え，施設の構造や配置についても具体的に立てられることになっている。しかし砂防学の対象となる土石とは，いわゆる岩屑 (Debris) といわれる巨石・岩塊・玉石・礫・細礫などの個体群と砂・シルト・粘土などが混合したもので，集団の運動は個々の運動とちがって多様であり，とくに流動物の運動は複雑であり，その規則性についてはまだ十分に解明されているとはいえない。

* 1982年8月31日受理　Received August 31, 1982.

** 北海道大学農学部砂防工学研究室
Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

したがって，荒廃渓流において，砂防の必要性が認められても流動物の本質が明らかにされない限り，地盤の不安定さを物語る地学的情報だけを頼りにしても，個々の構造物設計に高い安全率をかけたり，施設相互の関連性を無視した配置になるだけで不合理な計画に止まらざるをえないのである。これまでの砂防計画をみればわかるように，一般に流動物の質的情報をなんらかの指標として導入されている例は少ない。すなわち，土石流動を抑制する砂防ダムは巨石・岩塊・れき・砂を無差別に特定の場所でひきとめ，土砂量の大小によって評価され，流量調節と同じような見かたをしている。

もっとも最近は土石流の運動にたいして，種々の見解が出されており，質的認識も高まりつつあるが，規模の大小を問わず，その運動過程には先行流（頭部）と後続流があるとしなければならない。たとえば，堆積地形を残す先行流と二次的洗掘地形を残す後続流とでは運動形態が異なるために，前者のみを分析しても全体の運動を解明したことにはならないのである。このような土石流の発生，成長，消滅の過程を認識するのに，じつは砂防ダムの存在が多くの情報をもたらすとみてよいのである。

筆者は，かねてから低ダム群工法を提唱し，土石と水の分散処理を砂防学の方法として検討してきたが，すでに各地の実施状況から，洗掘を抑えて堆積現象をとらえていくなかで，岩屑と水の運動のちがいを区別できるようになり，とくに大れきの移動を人工的に制御することが砂防的手段として有効であり，横工群による河道の安定化が技術的原理であると思うようになった[6]。

また，荒廃渓流の堆積地と樹林の存在から，過去の土石流動の履歴や規模について，時間的・空間的解析を行う方法を提唱してきたが[4]，砂防施設をめぐる新しい土石流動の情報を，巨石の存在からとらえ，砂防効果の判定に適用したいと思い，現地の渓流において検討してきた。ここにその意味と方法について述べてみたい。

この研究に関して，岐阜大学農学部助手木村正信氏に示唆に富む助言を受け，北海道大学大学院農学研究科学生吉田勇氏から諸種の計算過程について援助を受けた。また北海道大学農学部砂防工学研究室の学生諸氏と，現地における観察，討論を重ね，方法について吟味してきた。ようやく第一段階の結論をみるにいたったので，ここに記して謝意を表すしだいである。

れき径測定の方法

荒廃渓流の渓床堆積物は長年月にわたって多様に移動し，現地形を形成しているとみることができる。また，変動過程における洗掘と堆積は不離一体の現象であり，個々の石れきの行動範囲を認知することは困難である。いっぽう，砂防の対象となる巨石と細砂の運動に着目すると，とくに大れきの挙動を無視することはできないはずである。それにもかかわらず，砂防分野における石れき調査の意味づけは不明確であり，その測定法も確立されていない。

土壌学や土質工学の扱っている土の物理的性質は，径2mm以下の細粒物質の含有量と密

接な関係にあるが，径2mm以上の物質は「れき」として区別され，多くの場合対象から外されている[18]。そのほか石れきに注目している研究分野には土木工学系の材料学や地理学・堆積学がある。これらの分野では2mm以上の石れきにたいして，粒径の階級区分を行っているが，河川堆積物を扱う限りにおいては，256mm以上を巨れき (Boulder) とし，おもに拳大以下の石れきに焦点を合わせて論じている[17]。つまり，各専門分野の分類様式には対象物に現実的な意味づけをし，取り扱いの範囲に限界を設けているのである。しかしこれらの方法を急勾配の山間部渓流における岩屑にたいして採用することは無理であるから，砂防問題の処理にはそれにふさわしい尺度を決めることから始めなければならないのである。

また，石れきのサンプリングには，特別の扱いをしなければならない。たとえば細れきや砂・シルトの混合物について一定容量 (1m×1m×1m) を採取し，それを篩分け，各径級ごとに重量百分率で示す方法を採用しようとしても，すでに径1m以上の岩塊がある場合には適用することはできない。したがって，渓床に露出している石れきを一定面積から採取し，篩分けの方法を適用することも考えられるが，この場合も大れきの重量測定は困難であり，細れきとの混合物を重量百分率で表すことは合理的でない。

河村・小沢 (1970)[15] はメッシュを組み，それぞれの交点に当たる部分の石れきを取り出し，三軸長 (長軸 a，中軸 b，短軸 c) を測定し，平均径あるいは中軸長を代表粒径とし，最終的に重量百分率で表示している。この方法も大河川の場合は有効であると思われるが，人力で持ち上げることができないような大れきの多い渓流に適用することはできない。

もっとも砂防学の分野においても，これまで渓床石れきを調査し，荒廃渓流の特性を明らかにしようと試みられた例はある。片岡・原 (1966)[8] は堆積物の粒径分布について，統計処理を行い，石れきの存在を確率論的に扱っている。この場合の測定区は1m四方あるいは2m四方の正方形区画で，3cm以上のれきについて，長径と短径を測定しその平均値をもってれき径としている。この場合の最大れき径は98cmである。もちろんれき径のヒストグラムは，小粒径の度数が多く非対称型になっている。

榎本政雄ら (1967)[3] は河床の石れきを径350mmまで7階級にわけ，15種の岩種に分類している。この場合は，3～5m隔った地点から1m^{3}のサンプルを4分法で採取し，5mm以上のものについて区別し，粒径毎の重量百分率や各岩種の混合率をもとにして，砂れき移動量の推定を試みている。なお，大れきについては，別途に河床の広い範囲にわたって数多く測定したほうがよいとしている。

清水宏 (1982)[25] は渓流の流れの方向あるいはそれと直角方向に測線をとり，一定間隔 (0.5～1.0m) 地点の石れき (50～100個) を採取し，三軸長の平均値を代表粒径として，個数百分率で表す方法をとっている。この場合も，細粒径 (4.76mm以下) の石れきを除外しており，最大粒径は65cm，平均粒径は25cm程度であるから，100cm以上の大れきのあるところでは十分に表現するまでにいたっていない。建設省松本砂防工事事務所 (1982)[12] は，土石流の堆積構造をみ

るために，1 m 四方の区画から表面と下層の砂れきについて粒度分析を行っているが，5 cm 以上のれきについては別扱いにしている。

木村正信ら (1981)[13] は河川の上下流における石れきの状態を比較するのに，清水のとった方法が適しているとし，扇状地の砂防工事区間における 1 cm 以上の石れきについて測定し，区間ごとにれき径を比較し土石の移動傾向を調べている。このように砂防学の石れきにたいする見かたには独自の手法があるわけではなく，すべて地理学の方法に準じているのである。そこで，改めて地理学分野のとっている方法に目を向けると，つぎのような事例が浮び上ってくる。

地理学では一般的河川を対象にして相当の隔りのある場所の石れき分布について，れき径による表現方法をとっている。たとえば中山正民 (1952)[9] は流れに沿って長さ 100 m，幅 50 m の区間から，目立って大きな石れき 50 個を採り，三軸長測定後，楕円体の体積に換算し，さらに大型の石れきから上位 30 個をとり出して平均し，その地点の大れきの平均体積としている[19]。この方法は，各河川ごとに，2～5 km 隔った地点のれき径を比較し，上流から下流へ漸減する直線関係のあることを示しているが，この場合の最大れきは 10^5 cc であるから径 57.6 cm ということになる。

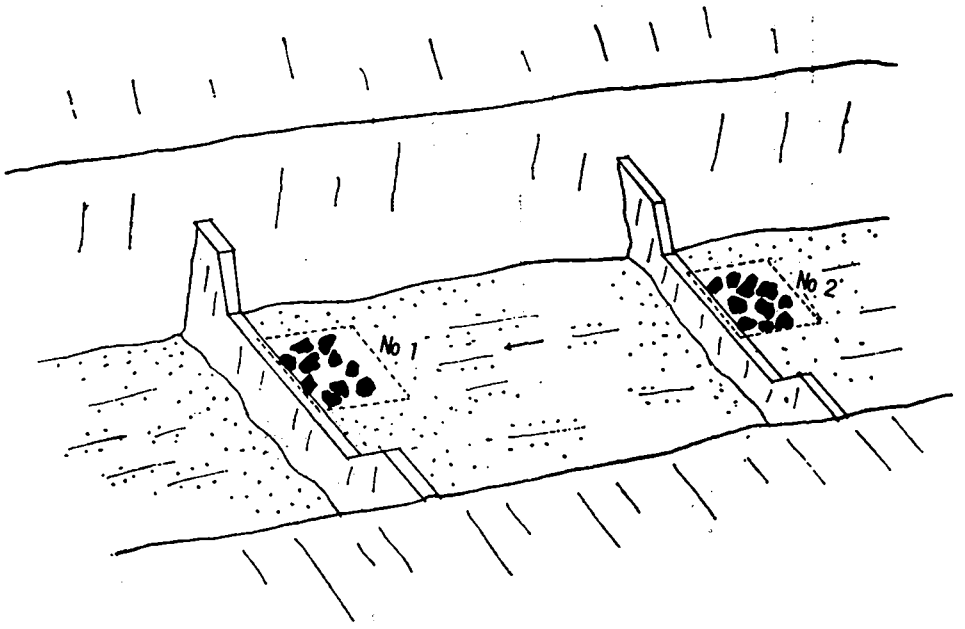
Bluck (1964)[2] は 100 ヤードごとに 25 平方ヤードの区画を設け，大径のものから 10 個の石れきを採り，中軸長を求め，それをもとにして，扇状地の石れき分布について 200～500 m ごとに比較している。この場合の最大径は約 150 cm であるが，測定値の処理は球形を基準にして，その変形度合で示し，採取位置ごとの変形値の個数百分率で表している。

このように，各種の石れき調査法が実施されてきたが，いずれも特定の目的に沿った手段を用いており，必ずしも広い範囲の適用性をもっているとはいえない。とくに大れきの処理については測定も困難であるために，砂防計画に必要であるはずの現地情報が，合理的に把握できないという状態に止っている。そこで筆者は，砂防効果の客観性と低ダム群工法の可能性を明確にするための一手段として，石れき指標の情報化について考察し，ひとつの提案を試みたのである。

サンプリング

筆者が治山・砂防工事現場で経験したところによると，生々しい荒廃状況を呈している堆積地ではれき径 40～120 cm の岩塊群が主役をなしているように見える。まれに 200 cm 以上の巨大な岩塊もみかけるが，集団として存在する例はまれである。また，砂防施設に大量の土砂が押し寄せて形成された堆積地では径 20～50 cm の石れきが目立って多いようである。

すなわち大径の石れきは相対的に大出水に伴って移動するから，特定区間に存在する大径の石れき（以後大れきと称する）は砂防的指標になると考えられた。そこで 図-1 に示すように床固工によって洗掘を規制された区間に測定区を設け，一定個数の大れきを選定し情報源とした。すなわち測定区 100 m^2 (10 m×10 m) 区画にある 10 個の大れきについて，長軸と短軸を測定し，その平均径をもとにして計算すれば，きわめて簡単に堆積物（かつての流動物）の個性を



図—1 測定区の選定
Fig. 1. Selection of survey plots

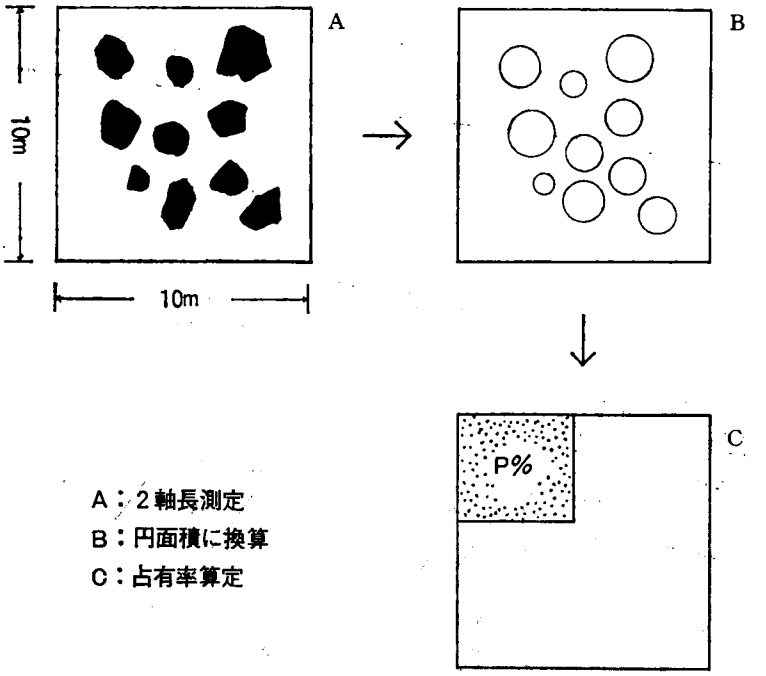
表現できるだろうとひとつの仮説を立てた。前述したように各調査法では三軸長を測定しているが，実際には大れきを持ち上げてその厚みを測定することはできないから，二軸から求めた平均径をもとにして円面積に換算し，10個の石れき断面積の合計を，図-2に示すように区画100 m² との面積比率によって大れき占有率 (p%) として表現することにした。

林学の林分材積測定法には標本調査法が行われている。これは標準地から面積抽出によって得た標本の胸高直径を計測し，いわゆる胸高断面積を求め，樹高と関係づけて材積を推定しているのである[11]。

筆者の提唱する石れき調査の方法も，この抽出法に類似しているが，異なる点は大きいれきから順次10個を選択していることである。

自然の渓床石れきは大小さまざまの複雑さで存在しているから，一定数のサンプリングによって平均値を求めても，ばらつきが大きく，各測定区の平均値を比較しても意味のない場合が多い。統計処理の概念によると変動係数が大きく，有意差が認められないということになるからである。また，大れきと小れきの質的差異にも注目しなければならない。たとえば平均直径80 cm の大れきの断面積は1,600 π cm² であり，平均直径10 cm の石れきの断面積は25 π cm² であるから，前者は後者の64倍の断面積をもっていることになる。したがって，50～100個のサンプリングのうちで，わずかに1個の大れき (直径80 cm) が含まれるだけで他の小れき集団に及ぼす影響は大きい。

砂防の対象である土石流動には，上記のような大れきの存在を無視することはできないの



図—2　大れき占有率の算定 (A→B→C)

Fig. 2.　The calculation of the area ratio of boulders

であるから，積極的に大れきの集合状態に着目し，あわせて測定作業を簡単な形で整え，調査法の一般化をはかるために，わずかに10個の大れきにしぼって検討することにしたのである。

大れき調査法

石れき調査は，「物言わぬ石に何かを語らせよう」とする一手段であるから，その前提となる調査の目的を明確にしておかなければならない。岩石の風化にはそれぞれの特性があり，極端に細粒化するものと徐々に磨耗して小さくなるものとがあるが，一般に山間部のものは角ばって大型であり，平野部にあるものほど丸味を帯びて小粒である。その変形度について研究したものもあるが[16]，現実的な時間単位でしかも具体的な問題として解釈しようとする場合には，その動的過程についても細かく吟味しなければ，確実なことはつかめない。とくに渓床石れきは堆積地形と同じようにいずれも過去に運搬された結果を示すものであるから，明確な目的意識がなければ，正しい情報はえられないのである。

これまでの砂防調査においても，流域特性の表現要素として，れき径測定の重要性があげられ[19,23]，れきの配列と含有率によって，土石流堆積物と掃流堆積物を比較したり[24,27]，大れきの有無により，土石流の危険性を知る指標とするなどの提案がなされている。しかし，いずれも適用例は少なく，一般化されているわけではない。ただ，最近の松本砂防工事事務所調査資料 (1982)[12] のなかに，堆積地の構造について，「表面と内部の粒度の差異は，50 cm 以上の巨礫

の比率に最もよく反映し，この比率は内部より表面の方で大きい」という重要な報告がみられる。

砂防学的立場の大れき調査法は，たとえば雨量計による降雨量の測定や，温度計による気温の観測のように，きわめて単純な測定法であるが，客観性のある測定値を得られるために，複雑なシステムによって細かく分析的にとらえる方法よりもすぐれているということができる。

本調査法はつぎのような目的で適用されると有効であると思われる。

1) 砂防対象地ごとにあるいは地区別に，渓床石れきを比較する場合。

2) 上流・中流・下流ごとの粒径比較，崖錐堆積物・渓床堆積物・扇状地堆積物を比較する場合。

3) 同一施工年代の砂防施設による土石移動の変化を知る場合。

4) 土石流堆積物の組成，低ダム群による土石流の分散効果を判定する場合。

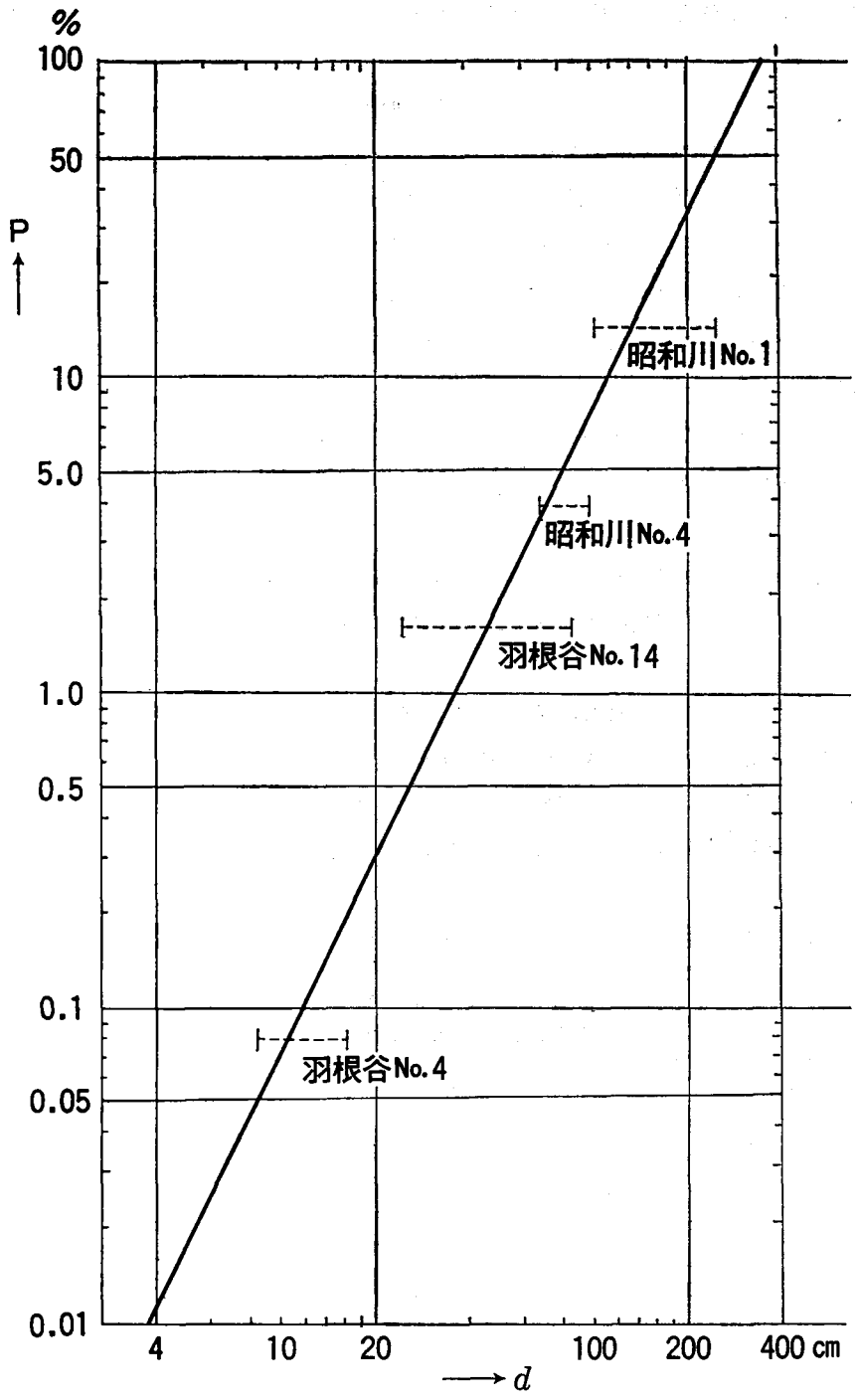
また測定区の位置や箇所数は上記の目的に沿って決定されることになる。たとえば[1] A, B 両渓流に共通している堆積地形あるいは段丘地形を選定する場合，2) 各渓流の特異地点をとる場合，3) 同一年代の床固工群の各天端付近，4) 個々の砂防ダム天端と前庭部，5) 砂防ダム堆積地の各位置などである。

各測定区のデータは，計算の結果，表-1 に示すように大れき占有率 (p%)，平均れき径 (d cm)，標準偏差 (S cm)，変動係数 (c%)，最大れき径 (D cm) の順に整理される。計算過程については 写真-1 に例としてあげた。平均れき径 (d) と大れき占有率 (p) の関係は 図-3 に示すように，$p(\%)=10\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2/10\times10$ となる。ここではれき径 4 cm から径 400 cm までを，しかも各粒径が均一の場合すなわち「粒揃い」の状態で表してある。実際の渓床石れきは大小さまざまのれき径からなっているから，ひとつの大れき占有率にたいして，それを生み出したれき径範

表—1　測定結果整理表

Table 1.　Investigation form

river	torrent	plot	area ratio of boulders	mean particle size	standard deviation	coefficient of variation	maximum particle size
河川	渓流	測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					



図—3 平均れき径 (d cm) と大れき占有率 (p%) の関係

Fig. 3. Relation between the mean particle size and the area ratio of boulders

囲は直線の左右にばらまかれ多様になる。

この図では，れき径 360 cm の場合，大れき占有率 101.79% となり，測定区全面積を上まわることになる。実際には，このような大れきが 10 個も存在するようなことはないから，本論でとり上げる対象にはならない。またれき径 2 cm 以下の細れきについては，別の測定法によらなければならないし，すでに多くの方法が適用されているから，ここでは範囲外とする。ちなみにれき径 2.0 m，1.0 m，0.5 m の大れき占有率を示すと，31.42%，7.85%，1.96% である。

土石流堆積の特徴

羊蹄山青木の沢において 1972 年以降実施されつつある土石流防止工事のうち，1977 年の渓床拡幅処理は，土石流の運動過程を知るひとつの大型実験装置であるとみてよいだろう。すなわち当初 5～8 m の狭い渓幅であった渓床は，40 m 間隔で床固工 4 基が有機的に配置され，25～30 m に拡幅された低ダム群空間になったのである[6]。

1979 年 10 月 4 日集中豪雨によって，予想された土石流が発生し，写真-2 にみるようにこの低ダム群の上に堆積した。馬場仁志 (1979)[1] の調査結果によると，低ダム群とその上流部の堆積土石量は 2,250 m^3 であった。流れに沿って 10 m 区間ごとに測定したところによると，表-2 に示すように，1 群 4 基の床固工のうち，最下流の 1 号床固工から 190 m 上流まで堆積していることがわかった。なお，1 号床固工の前庭部は，施工直後状態と変わっていないことから，この土石流は低ダム群区間において先行流 (頭部) が分解し，後続流は分散流下して洗掘力が減殺されたとみることができる。また，最上流に位置している 4 号床固工の影響範囲をどの程度見積るべきかはっきりしないが，少なくともこの低ダム群の基準間隔である 40 m に見合う区間には抑止効果があったものと判断された。

堆積量は，床固工の天端 10 m 区間とそれに続く上流部 10 m 区間に多い傾向があり，総体的にみると，3 号床固工が最も多く，ついで 2 号床固工，4 号床固工，1 号床固工の順になっている。

外観上れき径の大きい堆積物は 4 号床固工においてみられ，対照的に 1 号床固工のれき径は小さかった。この関係を筆者の提唱する大れき占有率で示すと，図-4 のように表される。この図は 10 m 区間ごとの大れき占有率を示している。折線 (実線) で連ねているように，大れき占有率は上流から下流に向って波型を呈して減衰している。しかし，床固工の天端 10 m 区間の大れき占有率は，5.43 から 1.07 へとほぼ直線的な関係で減少している。

床固工の天端付近は半永久的に洗掘されないという条件をもっており，そこに堆積している土石は，明らかに上流から移動してきたものであるということができる。したがって渓幅がほぼ一定 (25.0 m) であり，天端間隔が一定 (40.0 m) でしかも天端を連ねた勾配が一定 (15%) であるという人工的に改造された階段状の流路において，土石流動体は完全に分解し，上流部より徐々に大れきを残置させたと解釈することができる。

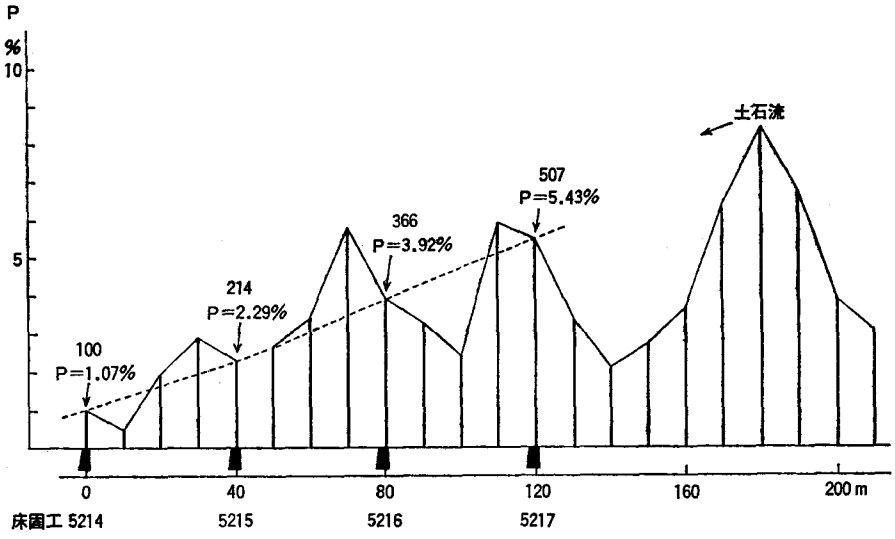
表—2　羊蹄山青木の沢の土石流堆積 (1979年10月4日)

Table 2. The deposit of debris flow in Aokinosawa at Mt. Yotei (Oct. 4, 1979)

plot	width of torrent	amount of deposits	investigation of boulders					groundsel
			大れき調査					
測定区間 (m)	渓幅 (m)	土砂堆積量 (m^3)	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)	床固工
210~220	7.5~ 8.5	0	3.06	62.4	18.1	29	106	
200~210	8.5~ 9.0	0	3.88	70.3	29.5	42	142	
190~200	9.0~12.5	0	6.73	92.6	44.5	48	209	
180~190	12.5~17.5	21	8.41	103.5	25.9	25	163	
170~180	17.5~17.5	46	6.42	90.4	23.4	26	141	
160~170	17.5~20.5	34	3.60	67.7	20.7	31	104	
150~160	20.5~22.0	97	2.72	58.9	11.7	20	76	
140~150	22.0~22.0	116	2.16	52.5	5.9	11	65	
130~140	22.0~25.0	148	3.42	66.0	16.4	25	98	
120~130	25.0~26.0	191	5.43	83.2	19.9	24	118	4号
110~120	25.0~24.0	31	5.90	86.7	9.6	11	100	
100~110	24.0~22.5	100	2.51	56.6	14.0	25	88	
90~100	22.5~25.0	306	3.28	64.6	20.0	31	110	
80~ 90	25.0~25.0	339	3.92	70.7	17.4	25	93	3号
70~ 80	25.0~23.0	79	5.81	86.0	8.2	10	100	
60~ 70	23.0~24.0	88	3.42	66.0	10.8	16	81	
50~ 60	24.0~24.5	228	2.62	57.8	7.6	13	70	
40~ 50	24.5~25.0	277	2.29	54.0	7.0	13	66	2号
30~ 40	25.0~26.5	39	2.87	60.5	10.6	18	83	
20~ 30	26.5~25.0	34	1.97	50.1	7.7	15	62	
10~ 20	25.0~24.0	27	0.48	24.8	4.7	19	37	
0~ 10	24.0~26.0	49	1.07	37.0	9.0	24	55	1号
−10~ 0	26.0~18.5	0						
−20~−10	18.5~16.5	0						

なお，図にあらわれたところでは，床固工前庭部の大れき占有率は高くなっている。前庭部の堆積量は，床固工天端の堆積量に比べると少なくなっているが，堆積物れき径は大きい。この低ダム群区間の渓床は施工後平滑な渓床に仕上げられており，なお，土石流発生後洗掘された形跡はないから，天端をのりこえた大れきが流動体から解放されて停滞することになったものと思われる。このような傾向について筆者は「越流滞積」[5] の語を当てたこともあったが，あながち誤りではないということができる。

大れき占有率を指標として，計画空間において発生した土石流を検討すると，目前の堆積



図—4 青木の沢, 1979 年土石流堆積地の大れき占有率 (最下流 1 号床固工)

Fig. 4. The area ratio of boulders in Aokinosawa at Mt. Yotei (1979)

物をたんに量としてみるだけでなく，岩屑の内容にまで触れることになり，ひとつの情報が得られると思われる。

もともと低ダム群工法の主眼は流動土石の分散処理にあるから，大れきの移動が抑止されるほど高い効果があらわれることになる。したがってここに提唱した大れき調査法により質的変化を指数的に表現できるようになれば，複数の砂防施設を配置して，人工的な安定空間を造成する防災的意味も明確になり，なおその空間を増大することにも社会・経済的な価値が見出されると思われるのである。

大れき占有率の意味

木村正信ら (1981)[12] は養老山系の扇状地において，羽根谷，般若谷，小倉谷の渓床石れきについて調べ，100 余年に及ぶ砂防事業によって設けられた構造物と土石移動の関係について論じている。この場合のサンプリングには，いわゆる線格子法を適用し直径 1 cm 以上の石れき 50 個を採取している。試料の中軸長によって最大粒径，平均粒径，最小粒径を求め，ついで個数百分率によって粒径分布を算出し，地点ごとの比較を行い考察を加えている。

それによると「山間部および扇頂の河床は細粒物質から大径の礫までを含む，不均一な粒径の石礫で構成され，一方，流路工区間では比較的均一な細粒物質が集積していると考えられ，粒径分布に関して，扇頂を境に河川の上下流で急激な変化を生じていることが明らかである。」と述べている。ちなみに，この調査では，流路工区間の最大粒径が 10～20 cm，平均粒径が 2～6 cm であるのにたいして，山間部および扇頂では最大粒径 30～85 cm，平均粒径 6～17 cm となっており，当然のように山間部および扇頂部の石れきが大きく，また，平均粒径にたいするば

らつきも大きくなっている。

筆者は，許しを得て，この調査資料から大れき占有率 (p%) の計算を行った。その結果，羽根谷では 0.08～1.65%，般若谷では 0.03～1.60%，小倉谷では 0.11～1.93% となった。たま，全般的に下流部の流路工区間の p は小さく，山間部の p は大きい値になり，木村らの述べている結論と同じようになった。参考までに羽根谷の大れき調査結果を表-3 にまとめてかかげた。

石れき調査の場合，サンプリングの個数を多くすれば全体の精度が高まるという関係はないばかりか，個数が多くなれば測定作業に多くの労力を要し，簡単に情報を集めることはできない。そこで大れきに着目して，この種の指標価値を確かめるために，木村らの資料をさらに分析してみた。

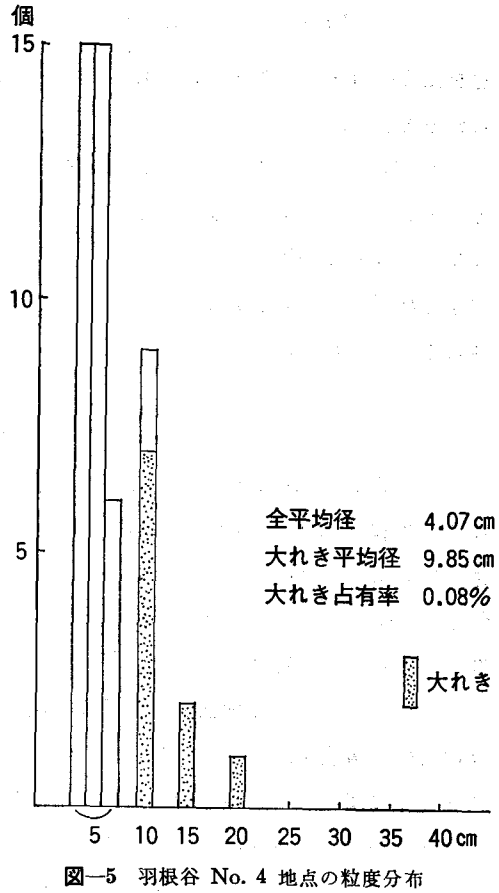
試みに羽根谷の No. 4 (流路工区間) と No. 14 (山間部) を選び，サンプル 50 個について径級区分を行い，大れき占有率と対比しながら考察してみた。図-5 は羽根谷の No. 4，図-6 は同じく No. 14 地点における 5 cm 括約の度数分布図である。なお，ヒストグラムのなかでマークした部分を大れき 10 個分として示した。

図-5 によって No. 4 地点の径級区分をみると，径 5 cm のものが 72% を占めている。この場合大れきといっても 10～20 cm であ

表—3　羽根谷の大れき調査結果

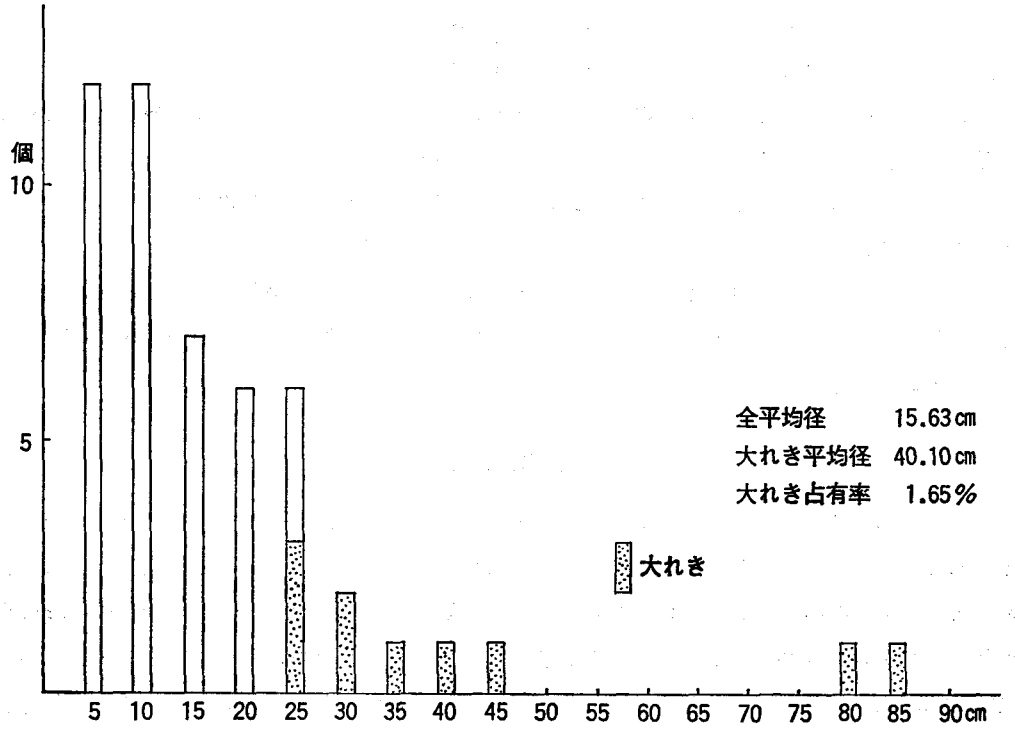
Table 3. Investigation of boulders in Hanedani

測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
1	0.12	11.95	2.7	23	18.0
2	0.13	11.85	1.5	13	15.5
3	0.10	11.20	1.8	16	15.5
4	0.08	9.85	3.3	34	16.0
5	0.09	9.95	3.4	34	16.5
6	0.07	9.15	1.5	16	13.0
7	0.18	14.75	2.2	15	17.5
8	0.09	10.20	2.6	26	15.5
9	0.05	7.80	2.4	31	13.5
10	0.07	9.10	1.6	18	11.5
11	0.14	12.95	3.6	28	20.0
12	0.11	11.70	2.4	21	15.5
13	0.32	19.20	6.4	33	35.5
14	1.65	40.10	23.2	58	85.0
15	0.32	20.10	2.7	14	26.0
16	1.05	35.10	10.8	31	58.0



図—5　羽根谷 No. 4 地点の粒度分布

Fig. 5. The distribution of the particle sizes in No. 4 plot at Hanedani



図—6 羽根谷 No. 14 地点の粒度分布

Fig. 6. The distribution of the particle sizes in No. 14 plot at Hanedani

る。したがって全50個の平均径は4.07 cmと小さく，大径の順に10個をとるとその平均径は9.85 cmとなる。全平均径に比べると大れき平均径は約2.5倍の大きさとなるが，大れき占有率(p%)は0.08%であまり大きくない。

つぎに図-6によってNo. 14地点の径級区分をみると，径20 cm以下のものが74%を占め，大れきとして大径のものから10個選ぶと，大は85 cmから小は25 cmまでとなる。本来ばらつきの多いサンプルであるから，全平均は15.63 cmと見掛けより小さくなり，大れきだけの平均をとっても40.10 cmとなって，80 cm，85 cmの大径を含む母集団のイメージとはかけはなれた数値を示している。

いっぽう大れき占有率(p%)をもとにして，場所ごとの比較をすると，量的表現に質的意味が加味されて理解しやすくなっているとみることができる。No. 14地点のpは1.65%で，さきにあげた流路工区間No. 4地点の大れき占有率0.08%の20倍以上の大きさになっている。これは両地点(No. 14/No. 4)の全平均径が3.8倍，大れき平均径が4.1倍であるのに比べると，はるかに大きな較差であり，実態のちがいを関係づけていると思われる。

参考までに，般若谷および小倉谷の山間部の径級区分と大れき占有率の関係をみると，般若谷No. 19地点では，径15 cmまでが全体の68%を占め，全平均径が14.52 cmであるのにたいして，大れき平均径は40.45 cmで約2.8倍，大れき占有率(p)は1.60%である。また，小

倉谷では，径20 cm未満のものが全体の80%を占め，全平均径が15.12 cmであるのにたいして，大れき平均径は46.45 cmで約3.1倍，大れき占有率(p)は1.93%である。

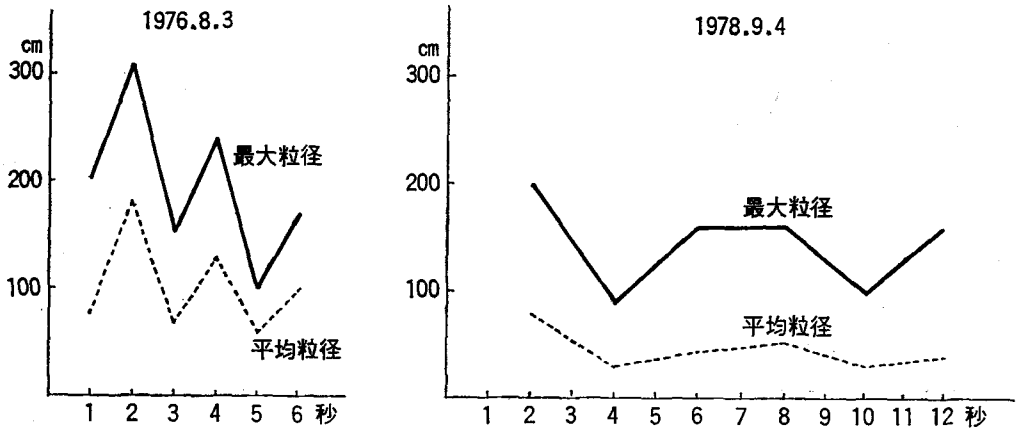
このようにみてくると3渓流の石れき分布傾向は似通っており，とくに羽根谷と般若谷は同じような状態を示している。小倉谷の石れきは山間部においてやや大きいことがうかがわれるが，流路区間における大れき占有率(p)は0.11～0.28%で他の2渓流の0.03～0.13%よりも大きくなっている。

以上は筆者の大れき調査法にもとづく解釈であるが，木村らの推論と対立するような点はない。したがって調査上きわめて簡便な大れき占有率をもとにして砂防施設の影響を検討することが可能になると思われるのである。

土石流現象の見かた

実際に掃流現象や土石流現象を区別したり，石れきの移動速度を測定することは困難である。したがって，豪雨後の渓床変化および大れきの堆積状況を水と土石の運動結果であると認めたとしても，個々の石れきの移動距離について正確につかむことはできない。建設省(1975)[10]が行った焼岳の上々堀沢における土石流調査によると，先端れき群の最大粒径は138 cm，平均粒径は42.5 cmである。この資料から大れき占有率を計算すると3.04%になる。その後，建設省(1980)[11]は，床固工を越流する土石流の粒度組成を調べ，図-7のように時間的推移について報告している。これによると，先行流を構成している石れきは，時間がたつにつれて小粒になる傾向が示されている。また，小刻みの波型と大きな波長の変化もあらわれているが，これは土石流の段波的性格や大れき混合条件が一様でないために起こるものと考えられる。

このように大れきは大出水時の集合運搬によるということになるが，大規模な土石流ほど大型の先行流(頭部)と持続性の大きい後続流からなるとすれば，先発の土石流が起こったあと



図—7　土石流の粒径の時間的変化(建設省，1980)

Fig. 7.　The transition of the particle sizes of debris flows in Yakedake

に後続流による2次，3次の中小型土石流が発生することも考慮しておかなければならない。

ひとつの事例として有珠北外輪山を源とする昭和川に設けられた床固工群の土石流制御の効果について検討してみたい。吉田勇 (1983)[29] は 1981 年 8 月の集中豪雨に際して流出した土砂量調査のうち，昭和川については，とくに豪雨前に竣功していた6基の床固工群において，筆者の提唱する大れき調査を行っている。

この渓流の調査区間は全長約 150 m で，その間に 20～35 m 間隔で6基の床固工が設けられ，渓幅は約 10 m に改造されている。渓床勾配は 5～6%，上流端は治山作業道で中断されているが，その上流に細いガリーが続き，下流部も狭いV字谷になって，床固工設置区間だけが相対的な拡幅部になっている。

豪雨後，道路を乗り越えた土石は，これらの床固工群に 0.4～1.5 m の厚さで堆積したのである。最下流の7号床固工の前庭部は，施工前の状況に比べ，やや洗掘されているようであるが，とくに土石の堆積は認められない。すなわち，上流からの流動土石は，ほとんど7号床固工までの施工区間に堆積したものと判断される。

大れき調査の結果は表-4 に示すとおりである。このなかから大れき占有率 (p) をとり出してみると，上流から 14.80%，9.61%，8.78%，3.89%，4.72%，1.66%，2.86% となる。その比率をみるために最上流を 100 とし，図-8 に示すと上流から順次下流に向って，65, 59, 26, 32, 11, 19 の割合で波型を呈して減少している。

かりにこの図の折線が示す急減後の低位置において，土石流動に変化があったものとすると，図中4箇所の変化点が認められる。初回の土石流頭部の影響圏を No. 1 床固工と No. 2 床固工であったとすると，後続流による土石運搬の経過は2次，3次，4次と波状攻撃的に繰り返され波及していったとみることができる。ただし，この判断は，土石流頭部には相対的に大径の石れきが多く含まれているという前提に立ったものである。

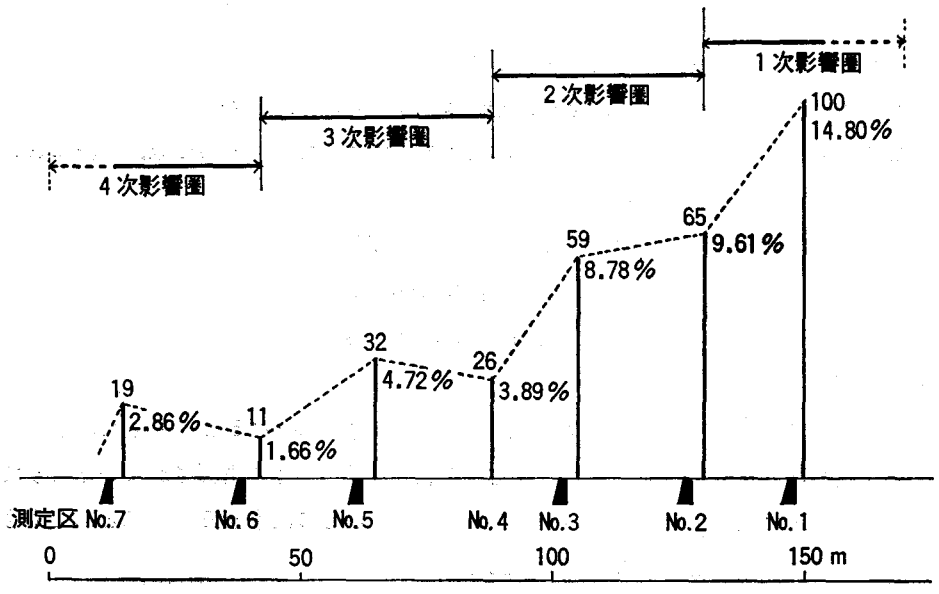
写真-3 に示すように測定区は床固工天端によって洗掘されない状態になっているから，こ

表—4 昭和川大れき調査結果 (1982 年 7 月)

Table 4. Investigation of boulders in Showagawa (Jul. 1982)

測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
1	14.80	134.0	31,517	0.235	200.0
2	9.61	108.0	25,298	0.234	150.0
3	8.78	100.5	34,597	0.344	185.0
4*	3.89	70.3	5,062	0.072	75.0
5	4.72	73.3	26,772	0.365	140.0
6	1.66	45.0	9,647	0.214	60.0
7	2.86	59.3	11,965	0.201	85.0

* 測定区を床固工下流部にとった。



図—8　昭和川大れき占有率の推移

Fig. 8.　The change of the area ratio of boulders in Showagawa

の区間で新しく土石流が成長するような条件，すなわち土石の供給はなかったはずである。したがって副次的な土石流は，先発の土石流の材料を後続流が順送りに運搬したとみてよいだろう。ここでは，2次，3次の土石移動の距離が40～50 m に止っている。これはかねて筆者の提唱している低ダム群工法のダム間隔[5]と同じ値であり，興味深い一致点であるといわなければならない。

このような波状攻撃的な移動傾向に関して，青木の沢における1979年土石流について，再び大れき占有率のパターン(図-4 前出)をみると，この場合には大小5個のピークをもった波型が認められる。これは先発の土石流頭部が施工区間の上流で停止し，2次，3次，4次，5次の土石流が相対的な大れきを運搬した結果であると考えられるのである。このような見かたはもっぱら大れき占有率を指標とした場合であるが，この種の運動について，ひとつの情報をもたらすものと思われるので，さらに多くの事例について確かめる必要がある。

大れきの移動距離

有珠山は1977年噴火後，火口原における約180 m の新山隆起があって，北外輪山が北東方向へ約170 m 押し出されたために，外輪山斜面が不安定になり，地震のたびに岩塊が崩落し，降雨に伴って土石流が発生している。とくに小有珠川の溶岩滝付近は地盤の変動が著しく，岩塊の崩落と流出が続いている。

小有珠川の下流扇状地には温泉市街地の諸施設が多く，土石流災害の危険性が高いとされ，早くから砂防ダムや床固工，さらに泥流誘導路が設けられていたために，1981年8月の集中豪

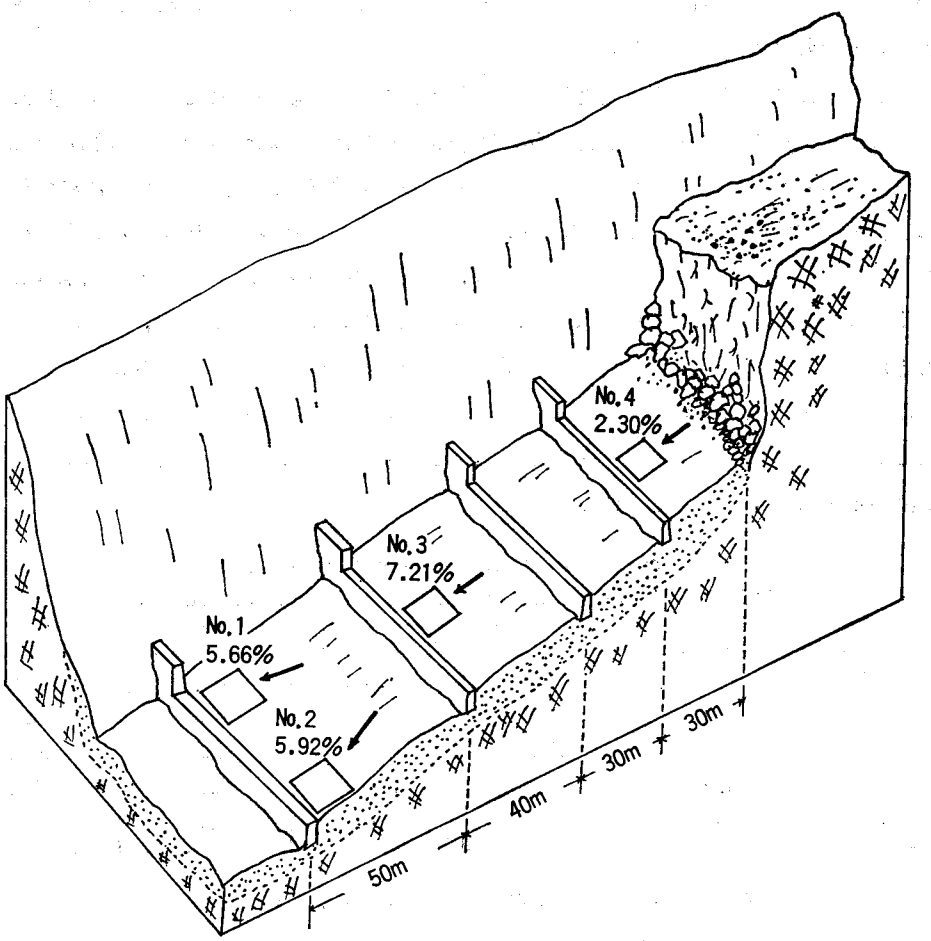
雨に際して直接的被害をみることはなかった。しかし渓床に散乱し堆積している岩塊について大れき調査の要領で測定してみると表-5のような結果になりつぎのようなことが推論される。

本調査地は，写真-4でわかるように高さ約10 mの溶岩滝が，非侵食面となっているのであるが，さきに述べたようにこの滝の本体が崩壊しているのである。滝の上流から流下するも

表—5 小有珠川大れき調査 (1982年7月)

Table 5. Investigation of boulders in Kousugawa (Jul. 1982)

測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
1	5.66	83.5	16,211	0.194	110.0
2	5.92	85.0	18.447	0.217	125.0
3	7.21	85.3	46,165	0.542	185.0
4	2.30	49.5	23,148	0.468	85.0



図—9 小有珠川における大れき調査測定区

Fig. 9. The survey plots of the area ratio of boulders in Kousugawa

のは水と火山砂れきであるから，滝の下流へは崩落した岩塊が流出していることになる。渓床には30～50 m 間隔で4基の鋼製自在枠の床固工が設置され，渓床勾配は11% である。

大れき測定区を模式的に示すと 図-9 のようにあらわされる。いま，大れき占有率 (p) を図上に示すと，No. 3 が 7.21% で最も大きく，No. 2 の 5.92%，No. 1 の 5.66% がこれにつぎ，No. 4 は 2.30% で相対的に低い値になっている。

滝の上流から押し寄せた火山砂れきを主体とする泥流が，滝の下の溶岩塊を巻きこんで土石流となって流下したことは容易に想像されるところである。しかし，その土石流の頭部は2基の床固工を通過し，ついに3基目の床固工の天端で分解したものと解釈される。後続流は左岸と右岸寄りに偏流し，2次，3次の土石流は4基目の床固工天端において分解したと考えられる。それより下流部に流下した石れきが少ないことからみても，これらの4基の床固工群が，大れきの移動を十分に抑止していると判断される。なお，大れきの移動距離は滝の下から約150 m 程度で，このように渓床が人工的に平底になったところでは，比較的小規模な運動しかできないといわなければならない。

同じようなことが，豊平川支流盤の沢の源流部において観察された。ここは山間部の古い扇状堆積地で，その構成材料は岩塊の多い崖錐堆積物である。1981年8月の豪雨に際して，林道終点付近の堆積地は著しく乱されている。40% 以上の急勾配をなす渓床堆積物から押し出され，下流の渓床に堆積した土砂量は 3,400 m^3 である。これらの堆積物にたいして大れき調査の要領で測定してみると，表-6 に示すように，No. 1～No. 4 の測定区の大れき占有率は，上流から No. 1: 4.25%，No. 2: 8.34%，No. 3: 4.06%，No. 4: 3.48% となり，No. 2 において最も大きかった。なお，No. 2 測定区の堆積状況は 写真-5 に示すとおりである。これは先発の土石流が傾斜変換点より 60 m の下流位置にある No. 2 地点で分解したことを示し，大れきの移動距離があまり大きくないことを物語っている。No. 3，No. 4 は後続流による2次，3次の土石流が堆積したものと考えられる。

表—6　盤の沢大れき調査結果 (1982年7月)

Table 6.　Investigation of boulders in Bannosawa (Jul. 1982)

測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
1	4.25	71.0	20,111	0.283	105.0
2	8.34	100.5	23,857	0.237	160.0
3	4.06	70.8	13,232	0.187	80.0
4	3.48	64.5	13,683	0.212	95.0

以上，昭和川 (前章)，小有珠川，盤の沢の大れきの移動距離をみると，土石流発生に伴う大れきの移動距離は，単元的には 50～100 m であると推察される。このような見かたをすると，大規模に起こった土石移動は，大小数次の土石流が繰り返された結果であり，それを抑制する

ためには，渓床に小刻みの非侵食面を配置することが効果的であると考えられるのである。

大れきの再移動

低ダム群が設置されると，少なくともその区間の縦侵食は天端で抑えられる。しかし，天端から上に突出している堆積物は，上流からの流下水によって運搬される可能性をもっている。つまり土石は再移動することになるが，これは流量，土砂量の供給状態によって異なる。

さきに青木の沢における1979年10月4日の土石流堆積に関して，大れきの滞留傾向を述べたが，1981年8月再び土石流が発生しているので大れきの再移動について考察してみる。ここでは1981年8月22日14時30分から23日9時までの間に133 mmの降雨があり，とくに23日4時30分から7時20分まで約3時間に52 mmの集中豪雨となり，再び大規模な土石流が発生している。前回の堆積土砂量は2,250 m³であったのにたいして，今回は9,700 m³であるから，規模的には約4.3倍の大きさである。

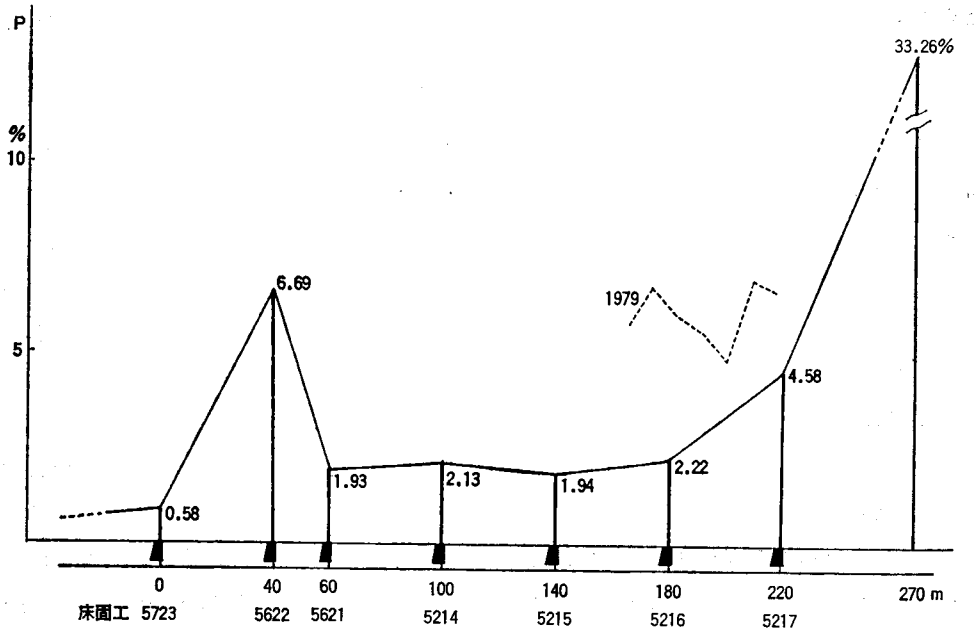
そこで，堆積物の大れきについて調査したところ，表-7のように要約され，図-10のようにあらわされた。図に示した最上流の床固工より50 m上流には，径100～335 cmの巨石が累積し，その大れき占有率は33.26%という大きな値になった。これらの巨石群が渓幅20 mの位置に滞留するためには，上流部の崩壊や土石流動が数回繰り返されたとみなければならないだろう。そして，ある時点でダムアップして蓄えられたエネルギーがいっきに吐き出されたものと考えられるのである。

最上流の床固工では，大れき占有率が4.58%と極端に小さくなり，下流にいくにしたがっ

表—7 羊蹄山青木の沢大れき調査結果 (1982年8月)

Table. 7. Investigation of boulders in Aokinosawa (Aug. 1981)

測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
1	33.26	193.5	73,788	38.1	335.0
2	4.58	74.5	17,865	24.0	115.0
3	2.22	50.5	17,562	34.8	80.0
4	1.94	43.0	26,162	60.8	115.0
5	2.13	48.5	19,868	41.0	95.0
6	1.93	48.5	10,814	22.3	65.0
7	6.69	86.0	35,340	41.1	150.0
8	0.85	32.0	8,233	25.7	45.0
9	4.79	75.5	20,877	27.7	125.0
10	3.25	63.0	13,581	21.6	100.0
11	6.28	87.5	19,472	22.3	130.0
12	6.89	92.0	18,589	20.2	120.0
13	6.45	90.0	11,304	12.6	105.0
14	2.15	52.0	6,325	12.2	65.0



図—10　青木の沢土石流堆積 (1981)

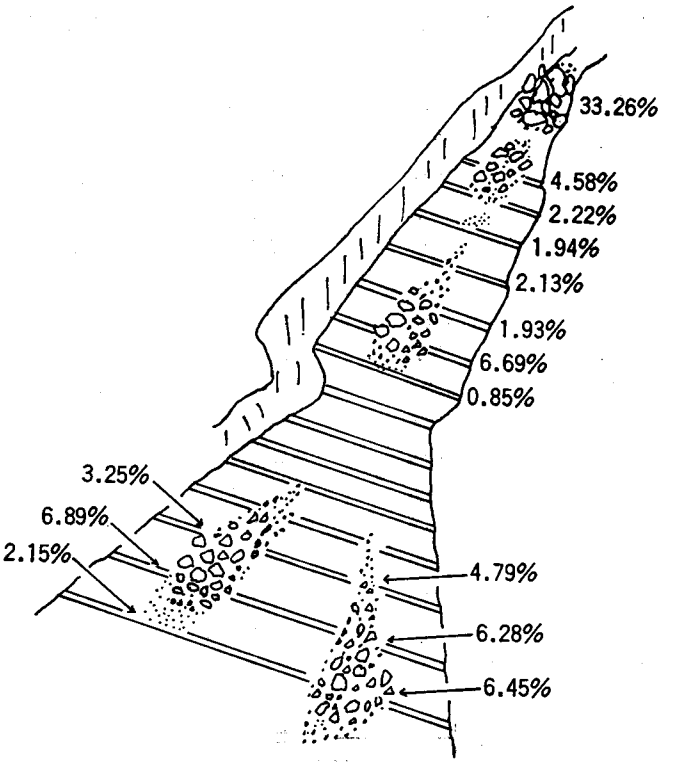
Fig. 10.　The deposit of 1981 mudflow in Aokinosawa

て，さらに半分以下に減少している。1979年の土石流では，図-4 (前出) で示したように，上流部の床固工付近では5.0～6.0% であったが，今回の土石流ではそれらの大れき群は失なわれている。しかし，上流から6基目の床固工には，大れき占有率が6.69% と大きくなって，上流側の約3倍の値である。

この変化は上流部の大規模土石流頭部が分解したあと，強力な後続流によって1979年当時の大れきが運搬され，この位置に堆積したものと考えられる。このような見かたをすると，この流路区間での大れき移動距離は150～180 m であったことになる。自然状態では洗掘と堆積は，時間的に場所的にみて複雑にからまり合って起こっているはずであるが，ここではいちおう洗掘現象が制約されているから，土石の運動も抑制されるものとみてよいだろう。

なお 図-11 に模式的に示したように，下流の土石分散空間の大れき分布をみると，大れき占有率 6.28, 6.89% というこの扇状地では大きい値を示しているところがある。本地区の治山工事は1972年から実施され，当初扇頂部に大れきが氾濫堆積していた。1979年土石流発生の際は，この付近の土石は移動しなかったが，1981年の場合は，図のように著しい移動が起こったのである。大れき占有率をさきの峡谷部のそれと比較すると，ほぼ同じ程度である。すなわち，扇頂部の大れきが再移動したとみることができる。そしてその移動距離はやはり150～180 m であった。つまり相当に大きな土石流発生の際の移動距離が150～180 m であったということになる。この値は，今後の扇状地防災にとって重要な情報になると思われる。

青木の沢に隣接している藤田の沢は，すでに100 m 以上の深さに侵食された谷地形をもっ



図—11 青木の沢模式図

Fig. 11. The sketch map of Aokinosawa

ている。ここでは縦侵食を防止するため，1972年から床固工が設けられているが，とくに1976年から合流点上流部において，40 m ピッチで低ダム群が施工されている。

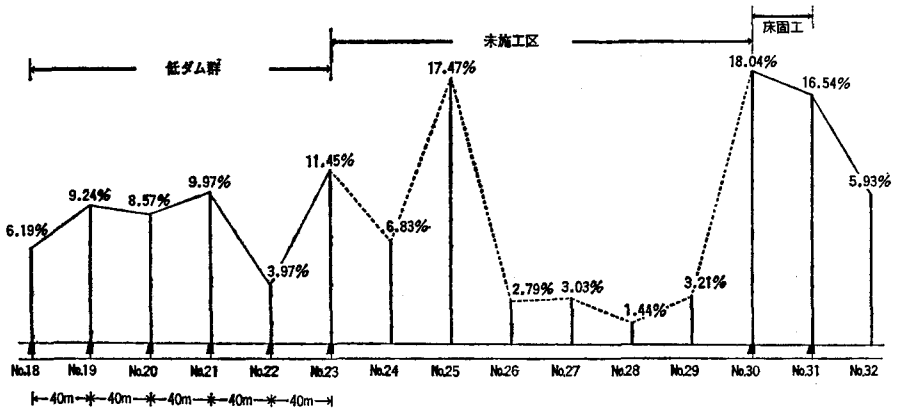
1981年の豪雨に際して，ここでも大規模な土石流が発生している[14]。表-8，図-12は合流点より上流部の低ダム群とそれに連なる未施工区の大れき占有率を示したものである。これによると，未施工区の大れき占有率には1.44%から17.47%と12.5倍の開きがみられる。これは上流の床固工によって大れきの流動が抑止され，かわって後続流が著しい洗掘作用を行って，大れきをこの位置に運び累積させたものと思われる。その移動距離は160 mであり，さきに述べた青木の沢の場合と似通っている。

低ダム群施工区における大れき占有率は，下流にいくにしたがって大小の波を描きながら減少している。施工区間の渓幅は15 m，合流点付近は35 m，それより下流は10 m前後である。このように比較的狭い渓床に，平均れき径100 cm，最大れき径190 cmの大れきが分散して停滞することは，群構成の床固工天端の有効な働きであるとみることができる。また，ここには示さなかったが，下流の狭い渓幅の施工区間の大れき占有率は約3.0%と小さくなり，安定した様相を呈している。しかし，これらの大れきは細粒土砂の存在，または供給状態によって，

表—8　羊蹄山藤田の沢大れき調査結果 (1981年9月)

Table 8. Investigation of boulders in Fujitanosawa (Aug. 1981)

測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
18	6.19	87.5	15,679	17.9	105.0
19	9.24	102.0	31,816	38.1	175.0
20	8.57	100.0	31,885	31.9	185.0
21	9.97	108.0	33,764	31.3	190.0
22	3.97	70.0	13,333	19.0	90.0
23	11.45	117.0	31,464	26.9	180.0
24	6.83	90.5	23,623	26.1	145.0
25	17.47	138.5	58,357	42.1	270.0
26	2.79	58.5	11,797	20.2	75.0
27	3.03	57.5	24,861	43.2	125.0
28	1.44	41.0	12,867	31.4	60.0
29	3.21	63.5	7,472	11.8	75.0
30	18.04	149.0	29,326	19.7	220.0
31	16.54	140.0	40,277	28.8	225.0
32	5.93	86.0	12,867	15.0	110.0



図—12　藤田の沢土石流堆積

Fig. 12. The deposit of 1981 mudflow in Fujitanosawa

多様な再移動を起こすものと思われる。

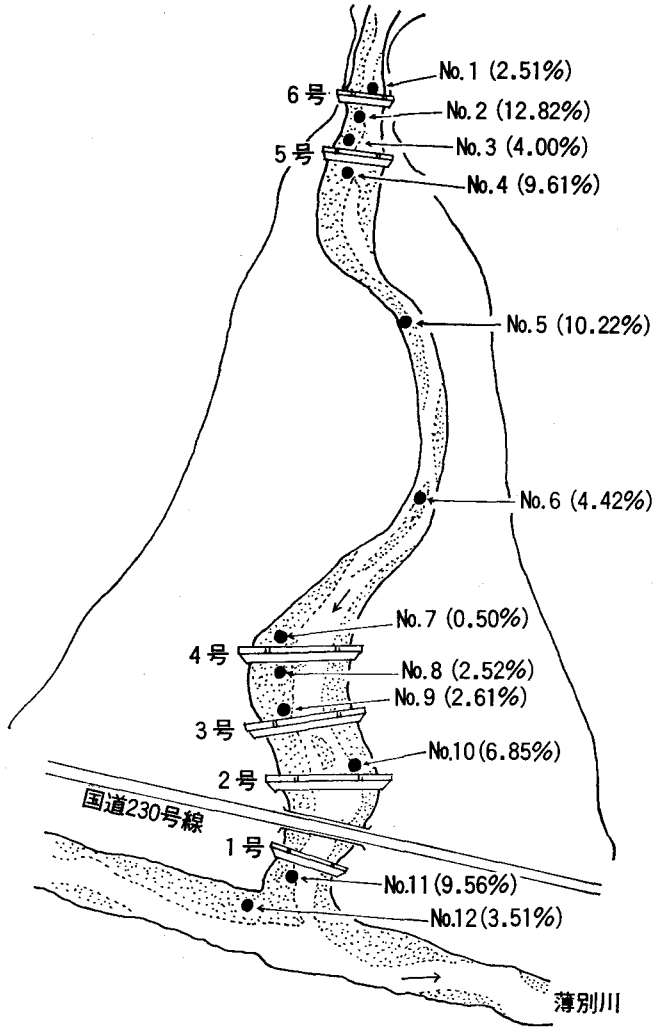
床固め効果の判定

札幌市豊平川支流薄別川に，通称宝来沢という山間部の堆積扇状地がある。水源は無意根岳 (1,460 m) で，流域面積は約 1,000 ha あり，諸所に鉱化変質地帯の地すべり地がある。この扇状地においては 20～30 年ごとに土石流が発生したということが，堆積地の樹林の年代解析によって明らかにされている[22]。1973 年以降，この扇状地を横断している国道 230 号線を保全対象

として，定山渓営林署によって治山工事がすすめられてきたが，本地区では，とくに筆者の提唱してきた低ダム群工法が試験的に採用され，薄別川本流との合流点付近から実施されている。

現在6基の床固工が図-13のように配置されている。これまでに2回の豪雨，すなわち，1975年，1981年に北海道では稀にみる大雨に見舞われたが，結果的にみて著しい土石流災害は起こらなかったのである。このように砂防的機能が発揮されて無災害に終ると，その功績が賛えられることもなければ，工法にたいする評価もなされないのが一般的傾向である。無災害に終ったことは当然のことであるとしても，技術的可能性を確かめる手段として，将来の防災対策のためにも効果判定の方法が案出されなければならない。

これまでの砂防をめぐる効果判定は，ひき止める土砂量の大小によって論じられるために，



図—13 宝来沢大れき調査測定区

Fig. 13. The survey plots of the area ratio of boulders in Horaizawa

床固工のような低構造物にたいしては正当な評価がなされていない。しかし，現実問題として，土石流動の激しい扇状地において，床固工が有機的に配置され，群として河道空間を整備すると，流動する岩屑に篩分け作用が起こり，土石流の運動に質的変化がみられるのである。

この点について，大れき調査法を適用すると，図に示した床固工の天端付近と前庭部における測定結果は 表-9 のようになる。

5号床固工，6号床固工は扇頂部に設置されているから，上流からの水および土砂はすべてここを通過することになる。そこで1981年豪雨による渓床変動を大れき占有率でみると，最上流の6号床固工の天端付近の No. 1 測定区は 2.51% (写真-7)，前庭部の No. 2 測定区は 12.82% (写真-8) で両者のあいだには約5倍の開きがあった。また，上流から2番目に位置している5号床固工では，天端付近の No. 3 測定区が 4.00%，前庭部の No. 4 測定区が 9.61% で約2.5倍の開きをもっていることがわかった。

このように天端を境にしてみられる大れき占有率の差はそれぞれの堆積物の質，あるいは到達理由のちがいによるものと考えられる。すなわち，天端付近の大れきは明らかに上流から運搬されてきたものであり，前庭部の大れきは床固工を施工する以前に存在した古い時代の堆積物が，渓床洗掘によって露出したものであると判断されるのである。

今回の土石流が，最下流の1号床固工に達していないことは，現地の微地形を観察することによっても明らかであるが，この床固工の前庭部にとった No. 11 測定区ではその大れき占有率が 9.56% と高いことからみてもわかるように，5号，6号床固工と同じように渓床が洗掘されて古い堆積物が露出したと考えられるのである。また自然のまま狭い流路形態を呈している No. 5 測定区の 10.22% も，ほとんど移動しなかった大れきの集合状態であり，その付近で

表—9　宝来沢大れき調査結果 (1982年7月)

Table 9.　Investigation of boulders in Horaizawa (Jul. 1982)

測定区 No.	大れき占有率 (p%)	平均れき径 (d cm)	標準偏差 (S cm)	変動係数 (c%)	最大れき径 (D cm)
1	2.51	56.3	6,264	11.1	80.0
2	12.82	123.0	36,378	29.6	250.0
3	4.00	69.8	15,875	22.8	140.0
4	9.61	109.0	19,692	18.1	210.0
5	10.22	112.0	22,877	20.4	210.0
6	4.42	74.0	13,028	17.6	150.0
7	0.50	25.0	3,367	13.5	35.0
8	2.52	55.3	13,147	23.8	110.0
9	2.61	56.8	10,869	19.2	95.0
10	6.85	92.0	16,783	18.2	155.0
11	9.56	109.8	11,634	10.6	140.0
12	3.51	66.5	7,656	11.5	100.0

洗掘され運搬された大れきは No. 6 測定区の 4.42% になっている。さらに下流へ流出した細粒土砂は No. 7 測定区の 0.50% となり (写真-9), かろうじて 4 号床固工をのり越え, 3 号床固工付近に滞留した土石は, No. 8 測定区の 2.52% (写真-10), No. 9 測定区の 2.61% となって各地点の特徴をみることができる。

床固工は渓床洗掘を防ぎ, 現渓床を維持するという機能をもっているとされている。したがって床固工が群構成で設置されると古い堆積物の掘り起こしは抑制されるから, 河道空間は安定することになる。かりに, 大型ダム (高堰堤) で流出土砂を抑えるとすると, 大れきや細粒土砂を無差別的に貯留することになり, その反面, 前庭部において著しい洗掘現象をひき起こし, 下流に向って大量の土石を吐き出す結果となり不安定な要素を増加させ, 砂防本来の主旨と対立する結果を生むことになる。

幸いにして 1975 年に土石流が発生した際も, これにまつわる災害は起こらなかった。その時の堆積地には, すでにヤナギ類, ハンノキ類が自生し, いちおう安定状態に達していることを物語っている。その当時の堆積状況について, No. 10 測定区の大れき占有率をみると, 6.85% で相当に大きな値を示しているが, 3 号床固工と 4 号床固工が施工されていなかった時点における大れきの移動現象を示すものと考えられる。

清水宏ら (1982)[26] は富士川流域春木川の堆積地調査のなかで, れき径とれきの配列を調べ砂防ダム堆砂面の最大れき径は 367～490 mm であるのにたいしてダム下流側は 1,067～1,767 mm であり, これらの大れきが砂防ダムの前庭部と渓流の狭さく部に多いと述べている。

土石流は狭い流路内にとじこめると, どこまでも流動性を保持しつづける。有珠山南麓泉一の沢における 1978 年 10 月 16 日の土石流は, 約 1 km にわたって 40 m 間隔で設けられた床固工群を流れて, 写真-6 にみるようにかつて土石の氾濫原であった農地に広く分散堆積した。ここでは土地所有者の協力が得られず, 上流部に遊砂地を設けることができなかったために, 床固工群の水通し幅が狭く, 微粒子火山灰にもまれた大れきがはるかに下方まで運び出されたのである。ちなみに, この大れき占有率 (写真判読) をみると 5.85% になっている。これは, 上流の床固工に残された堆積物の大れき占有率 6.06% とほぼ同じ値である。上流部において床固工天端から離れた位置では残されている大れきが比較的少ない。それは粘性の高い泥流によって運び出された結果である。

焼岳や桜島の狭い流路 (幅 10～20 m) で起こる土石流頭部の動態は, 最近 VTR によって記録されている。これをみると, 狭い流路内において大れきに行く手を阻まれ, もまれながら中央部が盛り上って流れている。この増大する頭部のエネルギーを減殺するためには, 横方向に分散させ, 後続流の行動を解放することが必要である。

高ダムのように大落差をもつ縦方向の処理では, いったん前庭部に崩落した岩塊が後続流によって再び活動することになり, 長大な床固工群の天端による大れきの分散と流水の誘導にみるような効果を期待することはできない。つまり, 確実な床固め効果とは, 河道が安定し,

土石の移動が少なくなり，流水が安全に運動するという空間的な見かたによって判定しなければならないのである。その意味において，無差別に土石の移動を制限するよりも，大れきの移動を抑制するという意識的行動は合理的であるということができる。

ちなみに，有珠山大有珠川のスリットダムにひきとめられた1981年8月23日の土石流堆積物の大れき占有率をみると，ダムに捕捉された部分は9.05%，ダムより50m上流部では5.72%，ダムより50m下流部では5.26%であった[28]。

荒廃渓の石れき指標

治山・砂防事業の対象となる渓流の荒廃状況は，一般に植生が無く，土石が裸地状に堆積している場所の大小によって示される。すなわち，人間の生活にとって有害であると思われる不安定な土砂石の挙動をとらえることによって，砂防計画の基準にしてきたのである。なかでも砂防施設の構造的問題に関しては，土砂量と石れきの大小から理論的根拠がひき出されてきたが，ひとつの渓流にたいして，歴史的な見かたや立体的な把握，さらに構造物の機能についてまだ十分な連係はみいだされていない。

筆者は，土石の堆積地と木本群落の時間的・空間的関係を，客観的に判断できるように研究[4]してきたが，今回の大れき調査法はとくに大れきの挙動を知ることによって，土石の移動現象と砂防施設の機能を明らかにできるものとしてきたのである。いま，これらの動的情報を石れき指標(Debris index)によって求めうることを述べ，本論文の結論にしたい。

柿徳市(1941)[7]は渓床の石れきに関して，砂防学的立場から『渓床にある石礫の大きさは通例上流ほど大きく，下流に到るに従って小さくなる。而してその絶対的の大きさは水源地方の地質，渓床勾配，山津波(土石流)の有無及びその規模等に影響せられる。従って渓流工事の計画，工作物の設計に当たってはこの砂礫の大きさを知ることが極めて肝要である(原文)』と述べ，表-10のように荒廃渓の分類を行っている。

表—10　荒廃渓の分類(柿 1941)

Table 10. The classification of devastated rivers (KAKI 1941)

torrent	particle size of debris	slope of stream bed	geology	note
荒廃渓	砂礫の大さき	渓床勾配	地　　質	摘　　要*)
大転石川	100cm以上	1/15以上	新火山岩類(安山岩塊) 花崗岩，古生層，中生層	大規模の山津波発生す。 高山地渓に相当す
玉石川	10~100cm	1/30内外	古生層，中生層，第三紀層	中山地渓に相当す
礫川	3~10cm	1/50内外	第三紀層，洪積層	丘陵地渓に相当す
砂利川	0.2~3cm	1/100内外	洪積層，沖積層	堆積地渓に相当す
砂川	0.2cm以下	1/150内外	花崗岩禿赭地，火山灰堆積地(シラス層)	天井川に多い

*) 地形的要素を入れた柿氏独自の分類である。

この表には，地形・地質と砂れき径の関係がよく表現され，砂防の対象渓流の概要をおさえるのに適していると思われる。しかし，砂れき径の表示法は示されていないために，測定者の個人差が大きくなり，実際のダム天端厚の決定にも支障があると思われる。

筆者の提唱してきた大れき調査法によると，砂れき径 100 cm の場合，その 10 個分を集めた大れき占有率 (p) は 7.85% となるから，この値が，柿氏のいう大転石川と玉石川の境界になるのである。柿氏の発表年代である 1941 年から 40 年たった現在，全国各地ともに土地利用は拡大され，高山地渓に生活空間が入りこみ，土石流の危険性は高まっている。その意味では，大転石川の防災的対応が必要となり，とくに有珠山，羊蹄山，富士山，桜島などの火山山麓における大れき処理も日常的な重要事項になってきた。

そこで本論に述べてきた大れき占有率 (p) を中心に，各調査地ごとにまとめてみると，表-11 のようにあらわされる。表には便宜上本研究を始めて以来，直接測定したものと，考察の

表—11 大れき占有率の比較

Table 11. Comparative study of the area ratio of boulders

渓流	測定区数	大れき占有率 (%)			備考
		最大	最小	平均	
羊蹄山青木の沢	22	8.41	0.48	3.73	1979年土石流，馬場[1] 資料より
養老山系羽根谷	16	1.65	0.07	0.29	木村[13] 資料より
養老山系般若谷	19	1.60	0.03	0.34	
養老山系小倉谷	21	1.93	0.11	0.70	
有珠山昭和川	7	14.80	1.66	6.62	1981年土石流
有珠山小有珠川	4	7.21	2.30	5.27	〃
豊平川盤の沢	4	8.34	3.48	5.03	1981年土石流
羊蹄山青木の沢	14	33.26	0.85	5.96	1981年土石流
羊蹄山藤田の沢	34	18.04	1.44	8.78	〃
薄別川宝来沢	12	10.22	0.50	5.76	1981年土石流
羊蹄山模範林の沢	13	9.03	0.46	4.24	国土防災 K.K.[14] 資料より
日光市大谷川上流	13	12.19	3.85	6.26	山田 孝 1982年8月調査
日光市大谷川下流	13	9.44	3.19	5.90	〃
日光市稲荷川	10	7.42	1.13	3.63	〃
鹿角市澄川温泉	1	8.33	—	8.33	鉱化変質帯地すべり地
十和田，大川岱	2	0.51	0.43	0.47	地すべり地下流
米代川水系 粕毛川上流	1	7.07	—	7.07	
同 上，下 流	1	0.74	—	0.74	素波里ダム流入口
豊平川野々沢川	2	1.52	1.12	1.32	1981年土石流，写真判読
有珠山泉一の沢	2	6.06	5.85	5.96	1978年土石流，写真判読
有珠山大有珠川	6	9.05	4.46	6.61	1981年8月23日土石流，吉田[28] 資料より

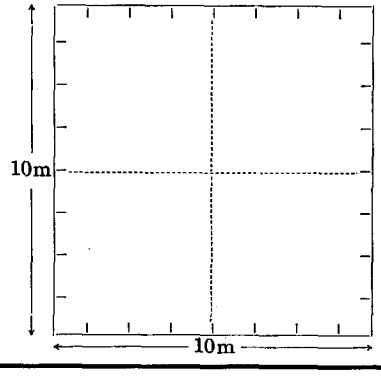
過程で写真記録から判読したものとを記載してある。なお，比較しやすいように，単純計算により，各地ごとに大れき占有率の平均値を示してある。この平均値をみると，今回研究の対象となった荒廃渓流における大れき占有率は，6.0% 前後が多いことがわかる。6.0% という値は，れき径 87 cm の粒揃い10個分に相当する。これらは安山岩塊の流出している渓流であり，対照的に，地すべり地や旧扇状地の場合には，1.0% 前後の値となっている。もっとも，風化しやすい岩石（泥岩，蛇紋岩）の場合には，大れき占有率は位置ごとに極端な差があり，また，時間経過とともに小さくなる。

しかし，砂防ダムはこのような変化に富む渓流を対象にしながら，ほとんどの場合天端厚

表—12　渓床石れき調査表
Table 12.　Matters for investigation

△ 調査年月日
△ 調 査 者
△ 調 査 地　　Photo No.
　　水 系　河 川　支 流　支 渓
△ 地　　質　古生層　白亜紀　三紀層　洪積層　沖積層　火山地帯
△ 地　　形　渓床拡幅部（渓床堆積地），洪積段丘，土石流段丘，砂防ダム天端
△ 勾　　配　1% 以下，2～5%，6～10%，11% 以上
△ 主要堆積物の組成　玉石，れき，砂，粘土，火山灰
△ 堆積土石量　長　m×幅　m×厚　m＝量　m^3
△ 植　　生　○木　本—樹種—樹齢　（群生／散生／孤立木）
　　○ササ類　（密生／疎生）
　　○草　本　（密生／疎生）
△ 砂防施設　（堰堤，谷止工，床固工，帯工）（単独／群）
△ 大れき分布　（1～10）（集合／散在）
△ れ き 径　（単位 cm）　（円れき，角れき）

1＿＿．＿＿　6＿＿．＿＿
2＿＿．＿＿　7＿＿．＿＿
3＿＿．＿＿　8＿＿．＿＿
4＿＿．＿＿　9＿＿．＿＿
5＿＿．＿＿　10＿＿．＿＿



は1.0 m～2.0 m であり、砂れき径との密接な関係はみられず，おもに土砂量あるいは土圧との関係で決定されている。しかも群構成の床固工群，あるいは階段ダムの場合にも，画一的な天端厚で設計されているが，筆者が各地の低ダム群施工地の大れき移動と天端損傷の関係を調べたところでは，土石流頭部の分解促進を主眼として設計された床固工は，大れきの衝撃力をあまり大きく受けていないということができる。すなわち，土石流発生後の天端には目立った損傷は認められないのである。また施工区間に分散堆積している堆積物のれき径は，一般に下流側において小径となっており，土石流の運動に質的変化が起こっていることがわかる。

これらのことから，大れきの挙動を新しい視点でとらえ，安定した河道空間を造成することを，砂防計画の中心にすえることができると思われるのである。換言すれば，土石流の質を人工的に変化させることが，砂防技術の原理であるということになる。その意味において大れき占有率を石れき指標として有効に情報化することは可能である。

本調査法の客観性については，測定区の選定と大れきの順位決定にかかわるところが大きいが，上記のように単純な手法であるから，目的さえ明確であれば，個人差を小さくすることができるものと思われる。もちろんこれらの調査結果は他の情報と合わせることによって，砂防学的認識が高められることになる。したがって現地調査の際には各種の事項を記載しておく必要がある。たとえば表-12 に示すような調査表を用意しておくと周辺の情報と関連づけることができる。

なお，測定区に予め基準尺を置き，写真撮影によって全貌を記録すると，後日判読して測定値を求めることができる。この方法は，過去の多くの現地写真から土石流動の形跡を探る場合の有効な手段となる。

むすび

砂防計画をたてる場合，現地の石れきの存在を無視することはできないが，これまで石れきに関する十分な情報化はなされていないようである。これは，一般に土石に対しては土木材料としての利用的立場や，植物生存の立地条件を分析する土壌学的視点で認識されているだけで，砂防学における時間的・空間的判別基準がつくられていなかったためである。

筆者は，荒廃渓流の堆積地にたいして，樹木年輪や降下火山灰などの時間的情報を入れて，その微地形のもつ歴史的意味と空間的関係を判別し，防災対策の基礎資料にすることを提唱してきた。本論文はさらに一歩すすんで，現地の石れきに情報を求めようとしたのである。すなわちこんにち各地に設置されている治山・砂防施設をいわゆる Temporary Base Level (床固工天端) として最近の土石移動について探ることにした。

この調査は場所や物の性質上，測定手段が簡便でなければならないし，しかもより具体的な情報をひき出せなければ現地で適用することはむずかしい。したがって砂防学のとるべき立場を明確にする意味において，大れきの挙動に焦点を合わせ，最終的に大れき占有率を指標と

して現地の比較検討に利用したのである。無数に近い石れきを対象にした具体的な測定作業には，個人差が伴うとしなければならないが，測定区 100 m² (10 m×10 m) のなかから大れき10個を選定する場合ほぼ共通した行動となり近似した結果が得られると思われる。もちろん，測定区の選定は合議のうえそれぞれの目的に沿い，砂防計画全体における位置づけがなされなければならない。

従来の石れき調査の資料は，最終的に平均粒径，最大粒径，粒径区分などの表現で用いられているが，そのいずれも多くの労力を払って得たにもかかわらず的確な論理を組み立てるまでにいたっていない。

しかし，砂防学が土石の動態を対象とする限り，地学的スケールとは異なる現実的なスケールでの解釈が必要であり，石れき指標の情報化が重要なポイントになる。

この方法は各地の荒廃状況の比較や砂れき移動の把握，砂防施設の効果判定に有効性を発揮すると思われるが，他の現場情報と結合させると客観性の高い自然認識の方法へと発展させることができる。

参 考 文 献

1) 馬場仁志：渓流拡幅部における土石流の分散現象に関する考察．北大農卒論，1980.
2) BLUCK, B. J.: Sedimentation of an Alluvial Fan in Southern Nevada. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 34, No. 2, pp. 395–400, 1964.
3) 榎本政雄，佐藤昭夫，山本兼次，岡田勝彦：神通川流域における河床堆積砂礫岩種別分類 (第1報)—砂礫流出比計算の一方法—．新砂防，67, pp. 9–20, 1967.
4) 東 三郎：地表変動論—植生判別による環境把握—．北海道大学図書刊行会，1979.
5) 東 三郎：低ダム群工法の原理と効用に関する実証的研究．文部省科研費報告書，1980.
6) 東 三郎：低ダム群工法—土砂害予防の論理—．北海道大学図書刊行会，1982.
7) 柿 徳市：治水砂防工学．土木技術社，1941.
8) 片岡 孝，原 敏夫：渓床堆積物の粒径分布解析．新砂防，63, pp. 8–15, 1966.
9) 建設省土木研究所：扇状地における土砂害危険度調査の一手法．土木研究所資料，1267号，1977.
10) 建設省松本砂防工事事務所：焼岳・浦川における土石流調査関係資料集．技術資料，No. 5, 1975.
11) 建設省松本砂防工事事務所：焼岳・浦川における土石流調査関係資料集，V．技術資料，No 13, 1980.
12) 建設省松本砂防工事事務所：焼岳・浦川における土石流調査関係資料集，VII．技術資料，No. 15, 1982.
13) 木村正信，綱本皓二，市岡三明：河床礫の粒径特性からみた扇状地の土砂移動．岐阜大学農学部研究報告，45, pp. 67–75, 1981.
14) 国土防災技術株式会社：昭和56年度・羊蹄山山麓の土石流と治山効果に関する解析業務報告書．倶知安営林署管内羊蹄山 (道有林)，1982.
15) 河村三郎，小沢功一：山地河川における河床材料のサンプリング方法と粒度分布．土木学会誌，55–12, pp. 53–58, 1970.
16) 町田 貞編著：自然地理調査法．古今書院，1968.
17) 三野与吉編：自然地理調査法．朝倉書店，8版，1975.
18) 最上武雄監修：土の工学的分類とその利用．鹿島出版会，1979.
19) 中山政一：砂防(土砂災害防止)調査，応用地学ノート．pp. 219–235, 国際航業株式会社 地質・海洋事業部，1980.
20) 中山正民：河川礫の大きさの分布に関する研究．地理評，25–10, pp. 401–408, 1952.

21) 西沢正久： 森林測定法. 地球出版社, 1959.
22) 笹 賀一郎： 扇状堆積地の土砂害防止に関する基礎的研究. 北大農演報, 36, 2, pp. 317-386, 1979.
23) 島 博保, 奥園誠之, 今村遼平： 土木技術者のための現地踏査. 鹿島出版会, 1981.
24) 清水 宏： 治山計画のための渓流調査方法. 第20回治山研究発表会論文集, pp. 197-208, 1980.
25) 清水 宏： 線格子法による河床礫の分布特性の解析. 新砂防, 122, pp. 27-35, 1982.
26) 清水 宏, 馬場仁志, 東 三郎： 富士川流域春木川における堆積地の変遷. 北大農演報, 39, 1, pp. 55-94, 1982.
27) 武居有恒監修： 地すべり・崩壊・土石流—予防と対策—. 鹿島出版会, 1980.
28) 吉田 勇, 西真佐人, 新谷 融, 東 三郎： 有珠山大有珠川における土石流出とスリットダム (1979, 7-1981, 8). 日林北支講, 30, pp. 262-264, 1981.
29) 吉田 勇： 有珠山における砂防対策に関する研究. 北大・院・修論, 1983.

Summary

The debris indexes are essential information for the erosion control planning on alluvial fans and in torrential rivers. In this paper, a method of investigation was discussed.

In each survey plot the major and miner axes of the ten largest particles were measured from an area of 100 sq. meters. These particle sizes were calculated in area of a cyclic section, and they were named the area ratio of boulders. The values are expressed as a percentage of gathering ten cyclic areas in the survey plot.

The area ratio of boulders on the upstream was larger than that on the downstream. The difference of the ratio in mudflow phases is brought about by selective sorting. The transition of the ratio indicates the wavelike pattern for movement of the mudflow. Although this viewpoint relys on the premise that the head of mudflow has the largest boulder. The minor mudflows occure when the succeeding flows scoure the new deposits.

The groundsels have the function of checking large boulders and prevent undercutting in the stream bed. Therefore, the debris indexes in the area, where the facilities are constructed, are useful for qualitative analysis of the deposits in the erosion control planning.

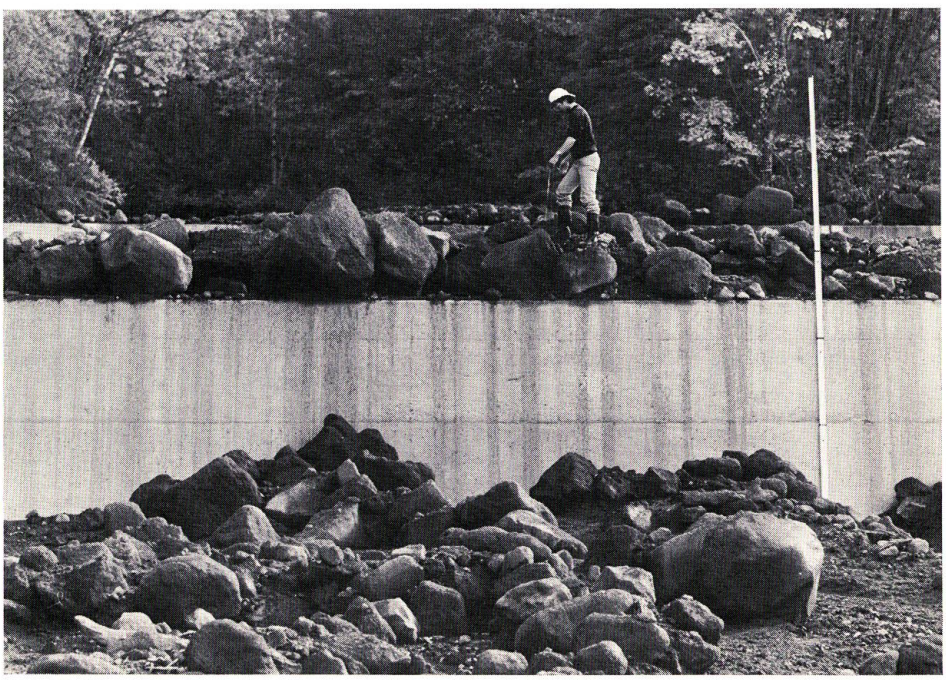
オオウス スリット ウエ 81,8,23

No	A	B	X	X^2	(X/2)^2(m^2)
1	240	80	160.0	25600.000	0.6400
2	180	100	140.0	19600.000	0.4900
3	160	90	125.0	15625.000	0.3906
4	130	80	105.0	11025.000	0.2756
5	140	60	100.0	10000.000	0.2500
6	150	30	90.0	8100.000	0.2025
7	100	60	80.0	6400.000	0.1600
8	100	60	80.0	6400.000	0.1600
9	110	40	75.0	5625.000	0.1406
10	100	40	70.0	4900.000	0.1225
TOTAL			1025.0	113275.000	2.8319

ｻｲﾀﾞｲ ﾘｭｳｹｲ ﾊ 160.0 cm
ﾍｲｷﾝ ﾘｭｳｹｲ ﾊ 102.5 cm
ﾋｮｳｼﾞｭﾝ ﾍﾝｻ S= 30.208 cm
ﾍﾝﾄﾞｳ ｹｲｽｳ ﾊ 29.5
ﾀｲﾚｷ ｾﾝｲﾘｭｳﾘｮｳ ﾊ 8.90 %

写真—1 計 算 過 程

Photo 1. The calculation processes



写真—2 羊蹄山青木の沢，1979年土石流堆積状況

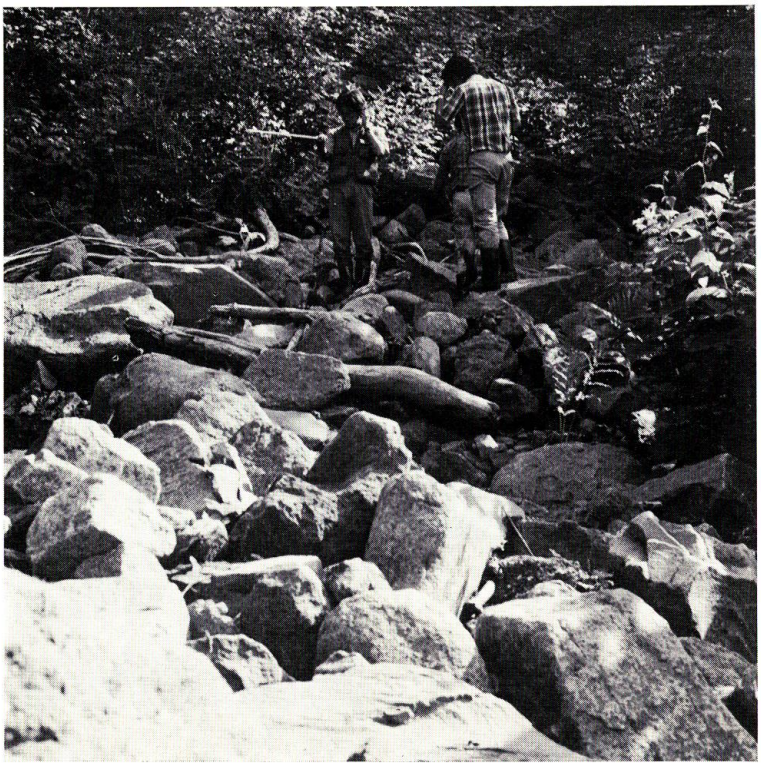
Photo 2. The deposit of 1979 mudflow in Aokinosawa

写真—3　有珠山昭和川, 1981 年土石流堆積状況

Photo 3.　The deposit of 1981 mudflow in Showagawa

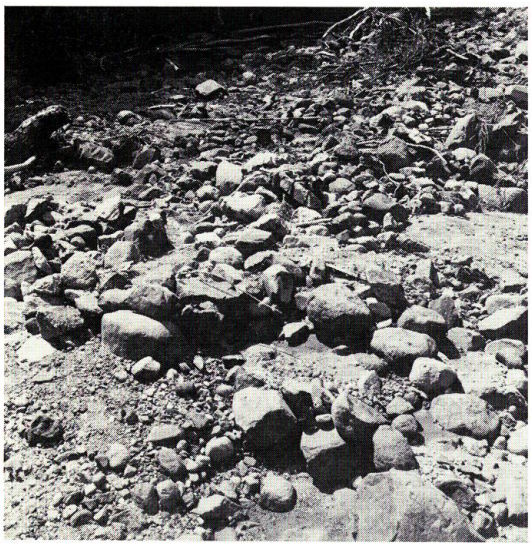
写真—4　有珠山小有珠川の床固め効果 (1982 年 8 月)

Photo 4.　The arresting effect on the stream bed in Kousugawa



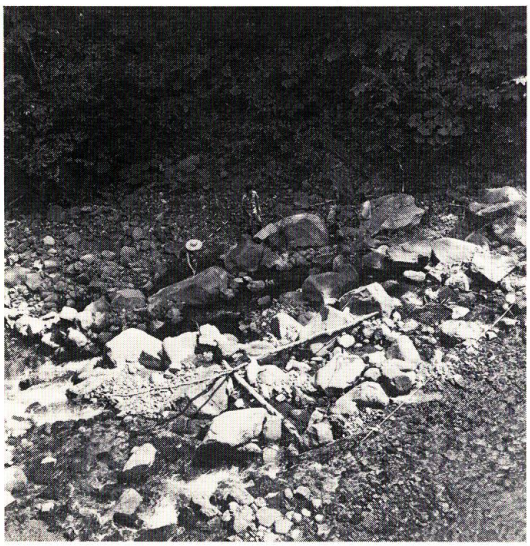
写真—5 豊平川支流盤の沢源流部の崩落土石の堆積状況 (1982 年 7 月)
Photo 5. The deposit of boulders in Bannosawa (Jul. 1982)

写真—6 有珠山泉一の沢 1978 年土石流の氾濫堆積
Photo 6. The deposit of 1978 mudflow in Izumiichnosawa at Mt. Usu



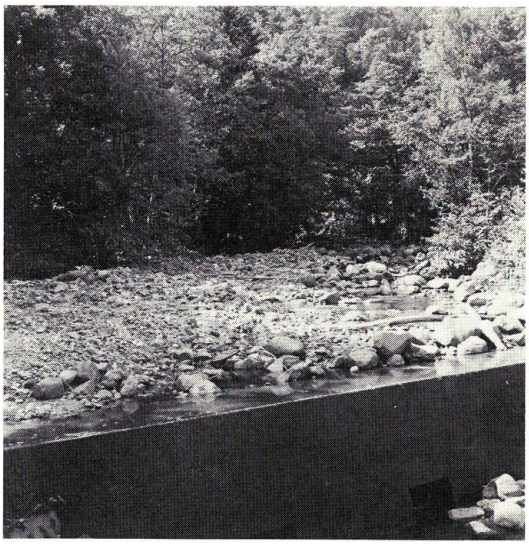
写真—7 宝来沢6号床固工の堆積状況
(大れき占有率2.51%, 1982年
7月)

Photo 7. The deposit on No. 6 groundsel
(p: 2.51%)



写真—8 同前, 床固工前庭部の大転石
(大れき占有率12.82%)

Photo 8. Large boulders on the front of
No. 6 groundsel (p: 12.82%)



写真—9 同前4号床固工の堆積状況
(大れき占有率0.50%)

Photo 9. The deposit on the No. 4
groundsel (p: 0.50%)

写真—10 同前4号床固工前庭部の堆積状況
(大れき占有率2.52%)

Photo 10. The deposit on the front of
No. 4 groundsel (p: 2.52%)