



Title	溪床変動とダム堆砂からみた土石移動過程と流域特性
Author(s)	坂本, 知己; 新谷, 融
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 41(1), 111-148
Issue Date	1984-03
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/21111">http://hdl.handle.net/2115/21111</a>
Type	bulletin (article)
File Information	41(1)_P111-148.pdf



[Instructions for use](#)

# 溪床変動とダム堆砂からみた 土石移動過程と流域特性\*

坂本知己\*\* 新谷 融\*\*\*

Bed Load Movement and Channel Characteristics based on Channel  
Bed Deformation and Sabo-Dam Reservoir Deposition

By

Tomoki SAKAMOTO\*\* and Tohru ARAYA\*\*\*

## 目 次

はじめに .....	112
I. 研究方法 .....	113
1. 土石移動過程 .....	113
2. 調査方法と対象地 .....	114
(1) 調査方法 .....	114
(2) 調査対象地 .....	116
II. 溪床変動の実態 .....	117
1. 溪床変動の測定 .....	117
2. 横断測線の変化と断面変化量 .....	119
3. 溪床変化量 .....	121
III. 砂防ダム堆砂 .....	122
1. 砂防ダムの概要 .....	122
2. 堆砂勾配と礫径 .....	122
3. 堆砂量 .....	126
IV. 土石移動過程の分析 .....	128
1. 堆積と洗掘 .....	128
2. 溪床変動と土石移動 .....	129
3. ダム堆砂と土石移動 .....	131
V. 土石移動と流域特性 .....	131
1. 土石移動と砂防計画 .....	131
2. 土石移動の不連続性 .....	133
3. 流域特性 .....	135

\* 1983年8月31日受理 Received August 31, 1983.

\*\* 林業試験場北海道支場

\*\* Hokkaido Branch, For. & For. Prod. Res. Inst.

\*\*\* 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.

(1) 最大断面通過量 .....	135
(2) 土石移動の規模と頻度 .....	135
おわりに .....	139
摘 要 .....	140
文 献 .....	141
Summary .....	143

## はじめに

我が国は、暴風・豪雨・豪雪・洪水・高潮・地震・津波・火山噴火などの自然災害<sup>4)</sup>が発生しやすい地理的・社会的条件を有している。とくに近年は、各地で局所的な豪雨によって土石流・山崩れ・がけ崩れ等の土石災害が頻発する傾向が見られる。このため、土石災害の予知・予防技術の早期確立が社会的に要請されている。

一方、近年の流域開発の進展にもなつて道路・宅地などの生活・生産空間が拡大されるとともに、新たなタイプの土石災害の危険性が急増している。これは、近年の開発技術が跋行的に展開しているためであり、また、自然認識の欠如とともに、開発計画における防災技術・計画の位置付けが確立していないことによる。つまり、土石災害を防ぐためには、自然認識、とりわけ土石移動現象の特性(規則性)に対する認識を高め、さらには土石移動が発生する場(空間)の基本的・個別的特性(流域特性)を明らかにすることが不可欠となる。

土石移動現象も自然現象の一種であるから、当然、自然科学の諸法則、とりわけ物理法則に支配されると考えられるが、現状では土石移動現象の特性を物理法則によって表現できる段階に至っていない。まして実地溪流で発生する個々の土石移動現象を物理法則から理論的に予測し、流域特性を説明することは不可能に近い。しかし、現象の理論的な解明がなされていなくとも、土石災害の対策は社会的に要請される。したがって、土石移動現象に関する限られた情報の中から現象の指標を決定・整理し、土石移動現象の規則性と流域特性を推論しなければならない。

本研究は、実地溪流において実施した溪床変動調査と砂防ダム堆砂状況の調査から現象の量的な実態把握と個溪流の特性の表現を試み、防災対策への展開について検討したものである。

本研究に際しては、北海道大学農学部教授東 三郎氏の貴重な助言をいただいた。また、現地調査にあつては、北海道土木部砂防災害課、同旭川土木現業所富良野出張所、国土防災技術株式会社の関係各位から御援助をいただいた。本論に先だち、深謝の意を表する。

## I. 研究方法

### 1. 土石移動過程

一般に溪流・河川で発生する土石移動現象は、浮遊・掃流といった流水の運搬作用を主要因とするものと、土石流などの集合形態のものに分類されているが、実際の差異は必ずしも明確なものではなく、また、単独の移動形態がそれぞれ観察されるわけでもない。前者は、水理学の分野で古くから研究が進められてきたが、後者は、これまで人間の生活・生産活動との関係が薄かったこと、現象が突発的であること、あるいは現象の再現が困難なことなどから、その実態の把握も不十分な段階にある。

土石移動現象の特徴は、堆積現象であることが従来から指摘されてきた<sup>12,22,48)</sup>。そのため多くの研究では、一移動時における土石の移動開始(侵食・洗掘)から堆積までの過程をその対象としていることが多い。たとえば、土石流研究にみられるように、土石移動の発生機構・要因<sup>10,39)</sup>、流動形態・機構<sup>8,44)</sup>、停止(堆積)形態・条件<sup>62,63)</sup>、あるいは工作物との関連を対象とする場合である。また、とくに一洪水時を対象とする土石流出の研究もこれに含まれる。

一方、土石の移動現象に起因するある一定期間の河(溪)床動態の推移を対象とする場合がある。これには、砂防ダム堆砂面の変動、土砂の生産・流出<sup>1,41,46,47,49,50,54,65)</sup>、砂礫堆<sup>36,37)</sup>、河(溪)床変動<sup>23,38,66,68)</sup>などの研究があげられる。これらは、河(溪)床内で繰り返し発生する移動現象を、一連の時系列現象としてとりあつかう点に特徴がある。

砂防計画を立案するにあたっては、流域特性の認識が不可欠であるが、これには、計画対象流域内で発生してきた時系列的な土石移動現象を明らかにすることが必須となる。そのためには、まず、対象現象の時間スケールを明確にしなければならない。砂防計画の時間スケールは、保全(防災)対象側の時間スケールによって規制される。そして対象現象は、その範囲内でとらえられる変化過程や、その範囲内に発生周期をもつ現象となる。

したがって、砂防計画を論ずる場合、対象となる時間スケールは、100年程度である。また、時間スケールによって空間スケールは規制され、一時期の土石移動現象についての空間スケールは、縦断方向に $10^1 \sim 10^3$  m、横断方向に $10^0 \sim 10^2$  m、鉛直的には $10^{-1} \sim 10^1$  mのオーダーである。なお、通常時における浮遊・掃流現象、あるいは、大規模な崩壊現象(眉山の崩壊や大鷲崩れなど)そのものは、別に論じられなければならない。

かつて、橋本(1956)<sup>12)</sup>は、急流荒廃河川の特性的について「特性といっても、おそらくこれは水源から生産され、流出される土石の量と質、ならびに河川のもつ自然の形態とによって自ら左右されるであろう流出土石の移動機構によるもので、水源で生産された土石が途中堆積洗掘をくりかえし、量的にも質的にもいろいろの変化を与えつつ移動し、いかにして海まで達するかという現象を探究することによりはじめて解明しうる問題である。」と述べた。そして、「急流荒廃河川の処理にあたり、その根底となるものは、流出土石の移動機構である。」とした。

橋本のいう「移動機構」も空間と時間のスケールを規定することによって、その対象がより明確になる。すなわち、砂防のスケールでとらえた土石の移動機構は、洗掘と堆積を繰り返す溪床堆積土石の移動過程<sup>3,4,26,57,58,60,64</sup>)に他ならず、それが、本研究で対象とする現象である。

砂防計画の基本としては、流域からの流出土砂量の把握以前に、流出にいたる溪間部における土石移動過程の把握が問題となる。この土石移動過程こそが流域特性に他ならないが、その実態の把握・表現方法はいまだ確立されたものではない。

土石移動過程の概念を砂防上明確に位置付けたのは、新谷(1971)<sup>9)</sup>が最初であり、土石移動過程を「過去の一時点から現在の一時点にいたる土石移動のくりかえし(変化)」とした。つまり、個々の土石移動を、土石移動過程の一部として位置付けることは、最終的には溪床に存在する堆積土石の量と質の変化を、たとえば列車のダイヤグラムのように、時間的に位置的に個々の流れとして把握することである。

新谷の研究では、土石移動過程を、形成年代によって区分した溪床堆積地の距離的・時間的な分布によって表現した。そして、溪床堆積地の分布から、交互型、前進型、後退型、一律型といった土石移動のタイプを推測し、その規則性が流域特性を表現するものとして位置付けた。ただ、この段階では量的な検討までは及ばなかった。その後、笹ら<sup>68)</sup>によって、形成年代別溪床堆積地の分布図には、堆積地の大きさが加えられたが、本質的には新たな解析はなされていない。

一方、清水(1982)<sup>60,61)</sup>は、安定期間、滞留期間として意味付けた土石の堆積期間と、これに対応する堆積土石量(安定土石量、滞留土石量)との関連から、ポテンシャル曲線を求め、この曲線形から、移動規模連続型、移動規模不連続型といった流域特性の表現法を提案した。この場合、新谷と同様に形成年代別堆積地の区分を基本としながらも、土石移動過程のうち、土石の移動そのものより、とくに溪床堆積土石の停止(堆積)から再移動(洗掘)までの時間とその土石量を対象としている。

以上のように、土石移動過程の概念は、荒廃溪流における土石移動実態の新しい認識方法であり、個々の土石移動現象を、人間の生活に対応する時間スケール(50~100年)内での、土地の変化過程の一つとしてとらえることによって、対象現象を明確にしようとしたものである。そして、これは、土石の溪床停止(堆積)期間をも対象としている点において特徴的である。

本研究における土石移動実態に対する認識方法もこれに属し、土石移動過程を把握することを主眼としている。そして、土石移動過程の把握は、現象の認識にとどまらず、砂防計画に不可欠な流域特性の把握につながると考えられる。

## 2. 調査方法と対象地

### (1) 調査方法

実際に流下・移動中の土石移動現象を直接の調査対象とすることは、危険がともなうと同

時に、現象を個々に分離抽出することができないことから極めて困難である。そこで、筆者らは、砂防計画対象となる100年程度の時間スケールで生じ得る溪床変動を調査の対象とすることとした。

ここで溪床変動とは、土石移動現象がもたらす溪床形態の変化である。そして、溪床形態の変化とは、従来から河川工学の分野で研究された緩流河川の移動床<sup>11,24)</sup>に関するものではなく、土石移動時に形成されたいわゆる土石流堆積が、次の土石移動時には変形・消滅し、新たな溪床形態を現出するような変化をさしている。たとえば、砂防ダム堆砂面の変化や、溪床堆積土石が生成・段丘化していく過程があげられる。これらは、荒廃溪流特有の土石移動現象の規模、質を反映している。

筆者らの行ってきた溪床変動調査は、主に、定点測量による狭義の溪床変動調査、砂防ダム堆砂状況調査、溪床堆積地の調査などである (Table 1)。

Table 1. Methods of channel bed movement survey

Method	Type	Scale of volume	Survey times	Limit
Cross sectional levelling of channel-bed fluctuation	• debris flow	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	• continual	• survey period
Measurement of sabo-dam deposition • materials • volume • configuration	• traction	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	• continual	• full deposits (before debris flows flowed over)
	• debris flow		• once	
Survey of channel deposits • distribution • volume • age	• debris flow	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup>	• once	• tree age on the deposits (survival time span of deposits)

砂防ダム堆積土石には、自然溪床の調査ではとらえられない細粒物質が含まれ、このことは、通常の流水による浮流、掃流といった土石移動が生じている溪流で顕著となる。

溪床変動調査は継続調査であり、堆積地調査は一時点における調査である。そして、溪床変動調査は、調査対象期間に限定されるのに対し、堆積地調査では、溪床堆積地の時間情報 (同齢林分の樹木年輪数) から過去50~100年間を対象とすることが可能である<sup>2,14)</sup>。また、ダム堆砂状況調査による方法は、砂防ダムの竣工年が時間情報の基準となる。

溪床変動調査では、対象期間中の個々の土石移動に対応した溪床の変化をとらえることが可能である。一方、過去の相対的に小規模な土石移動現象は、堆積地として痕跡をとどめることは少なく、堆積地調査によって大小個々の土石移動現象をすべて再現することは困難である。

溪床変動調査では洗掘現象と堆積現象を対象とするが、堆積地調査から洗掘現象を量的にとり出すことは困難である。また同様に、砂防ダム堆砂状況調査は、本来、洗掘現象を対象と

していない。

溪床堆積地の形成年代別区分を基本とする堆積地調査は、土石移動過程把握の面から最近展開されてきた方法である。これに対し、実地溪流における調査としては、従来、実地測量による溪床変動調査、ダム堆砂面変動調査が中心であった。この方法では、上述のように、対象とした時点以後の変化、しかも測量区間のみの変化を知るだけであるため、時間的にも距離的にも制限され、土石移動過程との関連は議論されなかった。

しかしながら、実地測量による継続的な溪床変動調査、砂防ダム堆砂状況の調査は、砂防調査の基礎であり、その結果から、個々の土石移動を土石移動過程の一部としてあらためて位置付けることが可能である。本研究では定点測量による溪床変動調査と砂防ダム堆砂状況調査を利用して、土石移動過程の量的把握と表現方法を検討した。

## (2) 調査対象地

研究対象溪流は、石狩川水系空知川支流ヌッカクシ富良野川で、北海道内有数の火山性荒廃溪流である (Fig. 1)\*。今回の調査対象区間は、そのうち5号ダム (D-5) より上流 (平均溪床勾配: 12.3%, 流域面積: 7.72 km<sup>2</sup>) である。通常、流水の観察されるのは、凌雲ダム (D-R) より下流からである。また、観測期間中、融雪時に集合的な土石移動の発生はみられなかった。

なお、調査対象区間には、土石供給源となるような山腹崩壊地はなく、また、横方向の土

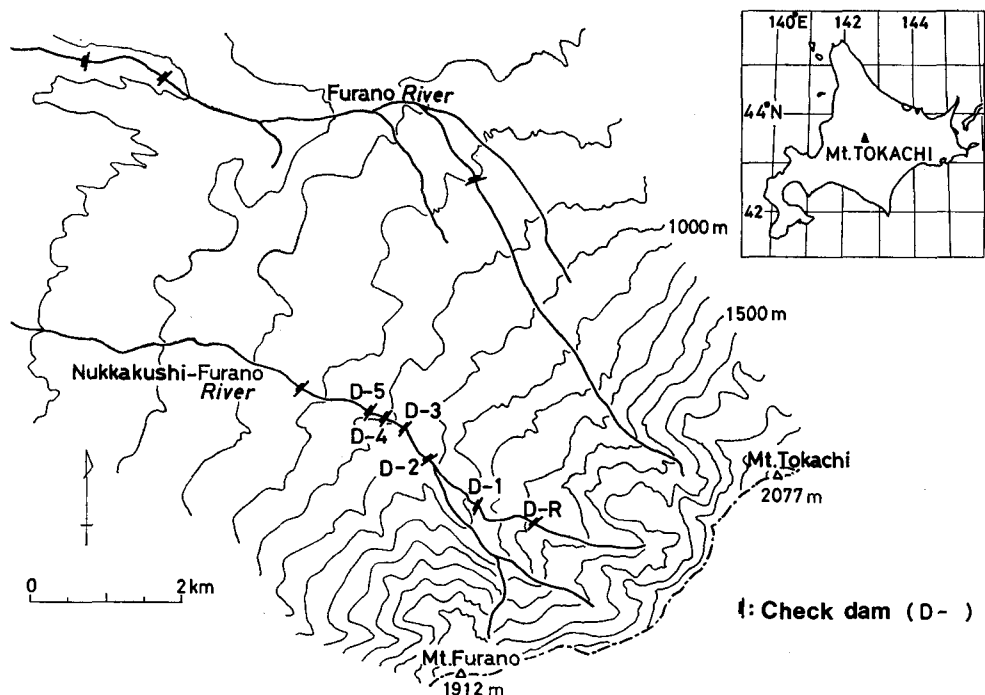


Fig. 1. Locality of the Nukkakushi-Furano River.

\* 調査終了後、2号ダム (D-2) と3号ダム (D-3) の間に新たに砂防ダムが築設された。

石移動は谷壁によって規制されている。さらに2号ダム (D-2) 上流で合流する三峰山沢からは、調査期間中まとまった土石流出は発生していないことが、河畔林の状況から判断された。したがって、本流の縦断方向 (上流から下流) の土石移動を中心に論じることとした。

## II. 渓床変動の実態

### 1. 渓床変動の測定

ヌッカクシ富良野川では渓床変動を量的に把握するために、定点による縦横断測量が2区間で実施されてきた<sup>9,45,69)</sup> (Fig. 2, Table 2)。一つは、1号ダム (H: 10 m, L: 75 m) から法華滝までの約 450 m の S-I 区間 (元平均渓床勾配: 1/9) で、1972 年から観測されている。法華滝の上流には、岩盤露出地帯が約 320 m 続き、その間に雄摩滝、勝鬘滝がある。そして、勝鬘滝の上流 320 m には凌雲ダム (H: 12 m, L: 72 m) が設置されている。

もう一つの渓床変動調査区間は、この凌雲ダムより上流約 660 m の S-R 区間 (元平均渓床勾配: 1/9.3) で、1974 年から実施されている。凌雲ダム上流約 1,400 m の地点には、現在も

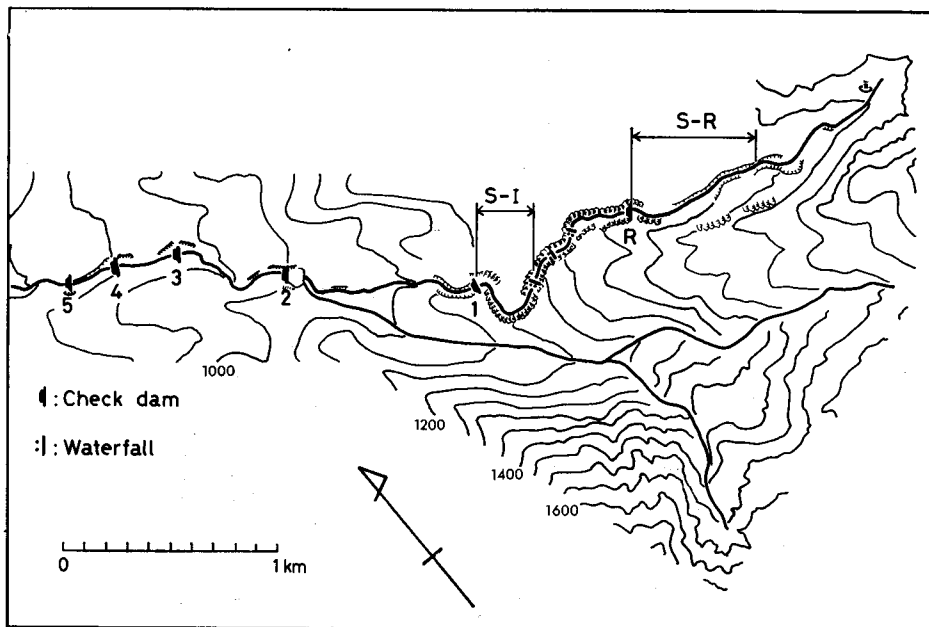


Fig. 2. Surveyed area of Nukkakushi-Furano River.

Table 2. Outline of surveyed sections (by cross-sectional levelling)

Section	Survey period	Length (m)	Width (m)	Slope
S-R	1974~1981	660	13.2~66.0	1/11
S-I	1972~1981	450	14.0~38.5	1/11



噴気活動中の安政火口があり、本流域最大の土石生産源となっている（凌雲ダムと安政火口との間に工作物はない）。

1号ダムの堆砂面は、1971年に水通し天端に達している。また、凌雲ダムの堆砂面は、1979年10月時点で水通し天端下約2.7mに達した。両観測区間とも、基準点をダム天端に設けた12本の横断測線（測線間隔S-R: 31~89m, S-I: 25~60m）によって溪床変動が測定された\*。

Table 3. Survey period and debris flow occurrence

Survey period	Occurrence	Code	
		S-I	S-R
1972. 8. ~1972. 10	1972	I-72-1	—
~1973. 6	1972. 10	I-72-2	—
~1973. 9	1973. 8	I-73-1	—
~1974. 7	1973. 9	I-73-2	—
~1974. 8	1974. 7	I-74-1	R-74-1
~1975. 7	1974. 9	I-74-2	R-74-2
~1975. 8	1975	I-75-1	—
~1976. 7	1975. 8	I-75-2	R-75
~1977. 9	1976		R-76
~1978. 7	1977		R-77
~1979. 8	1978		R-78
~1980. 7	1979. 10		R-79
~1981.		I-80	R-80

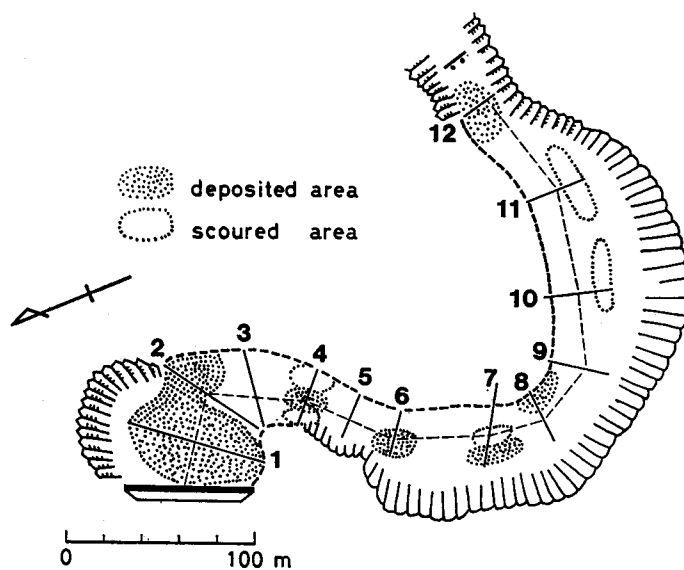


Fig. 3. An example of scoured and deposited area (S-I: 1972. 10).

\* S-Rについて：1974年7月、8月の測量時点では、凌雲ダムは工事中であり、測線を砂防ダム天端につないだのは1975年になってからである。また、line 1, 2もこの時設定された。

S-I では1972年以降1981年までに9回、S-Rでは1974年以降8回の溪床変動が観測されている (Table 3)。

Fig. 3は、1972年の土石移動 (I-72-2) の際に生じた堆積域と洗掘域のS-Iにおける例である。Fig. 4には、そのうちline 4付近における平面的な変化と縦断的な変化について模式的なスケッチで示してある。旧流路上に生じた小規模な土石の堆積は、溪床内に部分的な流路変化をもたらした。このように、溪床幅に比較して小規模な土石移動が生じた場合、溪床内に流路変動をもたらし、一断面上に堆積と洗掘が生じることが多かった。

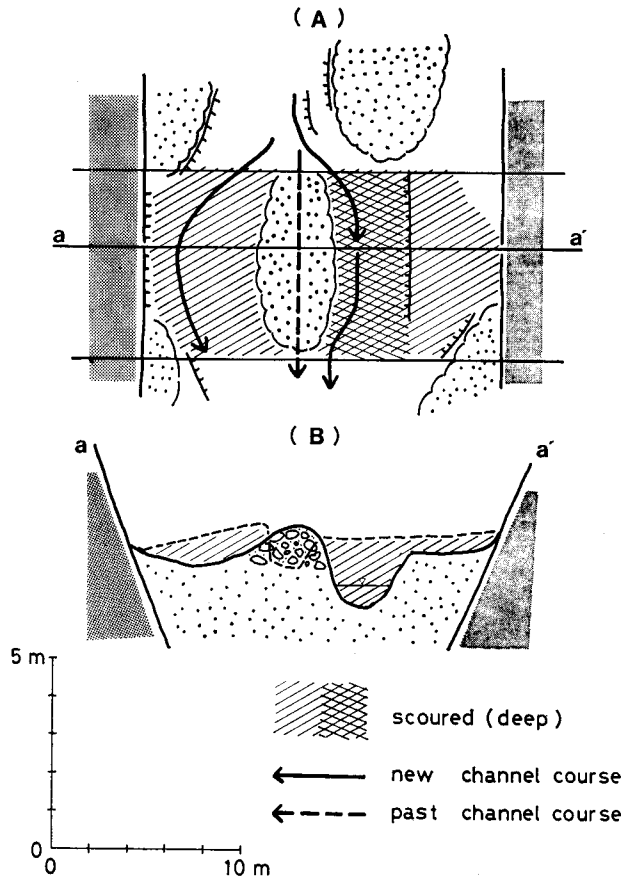


Fig. 4. Changes of channel bed at line 4 (S-I: 1972. 10).  
A: plain. B: cross section.

## 2. 横断測線の変化と断面変化量

Fig. 5は、溪床横断測線の変化例として、S-Iのline 4の1972年から1974年までの変動を示したものである。1973年6月から1973年9月にかけて溪床は部分的には3m以上の上昇が認められた。溪床の上昇は堆積を、下降は洗掘を意味する。また、1測線上で洗掘と堆積が同時に発生している場合もあり、溪床横断形の凹凸の程度も一様ではない。

1 測線上で、洗掘・堆積の両現象が生じることは、溪床変動を縦断的变化として、2 次元的に平均溪床高あるいは最深溪床高の変化として把握することの過誤を示している。そこで各測線における洗掘・堆積の区分は、変化前後の2本の測線で囲まれた各断面の面積変化量——断面変化量 (*DA*: Deformation area in cross-section)——で表わすこととした (Fig. 6)。

ただし、1 測線上に洗掘と堆積が同量に生じた場合、断面変化量 *DA* が収支的な変化量であるため、相殺されることがあるが、便宜上、断面変化量 *DA* の正負によって現象を相対的に堆積と洗掘に区分した。

Table 4 は、以上のようにして求めた断面変化量 *DA* と平均変動高について、各土石移動

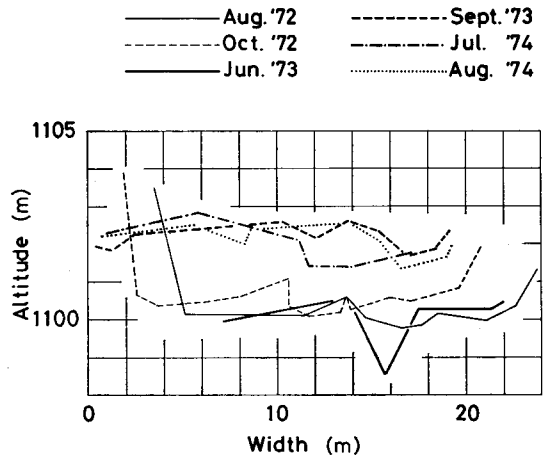


Fig. 5. Fluctuation of a channel-bed measured by cross-sectional levelling (S-I, line 4).

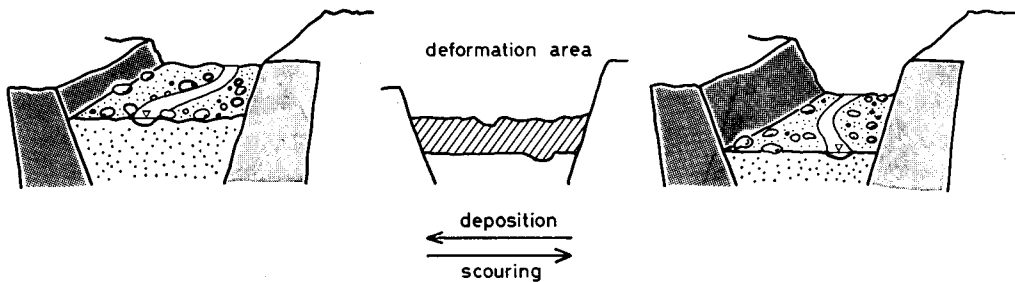


Fig. 6. Channel bed deformation and deformation area.

Table 4. Deformation area in cross section and deformation height of average bed level (Maxima of the absolute value)

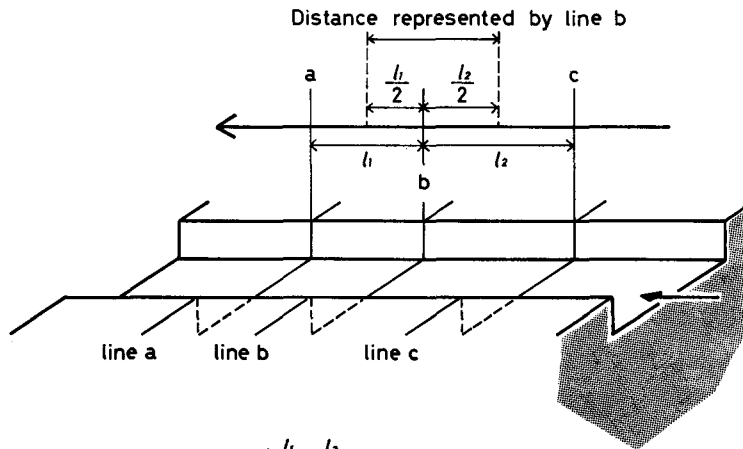
Survey period	1972.8 ~'72.10	~'73.6	~'73.9	~'74.7	~'74.8	~'75.7	~'75.8	~'76.7	~'77.9	~'78.7	~'79.8	~'80.7	~'81
S-R	Code	—	—	—	R-74 -1	R-74 -2	—	R-75	R-76	R-77	R-78	R-79	R-80
	<i>DA</i>				13	84		81	-58	12	36	30	
	<i>DH</i>				0.4	2.2		-2.2	-1.5	0.3	0.3	0.8	
S-I	Code	I-72 -1	I-72 -2	I-73 -1	I-73 -2	I-74 -1	I-74 -2	I-75 -1	I-75 -2	—	—	—	I-80
	<i>DA</i>	32	18	48	-6	7	36	-15	9				
	<i>DH</i>	0.4	0.3	1.4	-0.2	-0.3	1.3	-0.7	-0.4				

*DA*: Deformation area in cross section (m<sup>2</sup>).  
*DH*: Deformation height of average bed level (m).

時毎に、絶対値の最大値を示したものである。平均変動高とは、断面変化量  $DA$  を溪床幅\* で除した値である。S-R で発生した土石移動は、断面変化量  $DA$  が最大で  $12\sim 84\text{ m}^2$ 、S-I では  $6\sim 48\text{ m}^2$  の断面変化をもたらした。また、平均変動高でみれば、S-R で  $0.3\sim 2.2\text{ m}$ 、S-I では  $0.2\sim 1.4\text{ m}$  となった。

### 3. 溪床変化量

断面変化量  $DA$  は、各溪床横断測線における 2次元の相対的な変化量を示すが、この値によって各測線間の 3次元的な変化量を代表させた。すなわち、Fig. 7 に示したように、各測線の隣合う測線との中間までの範囲を各測線代表区間とし、各測線における断面変化量  $DA$  とその測線代表区間長との積を、溪床変化量 ( $DV$ : Deformation volume) とした。



$$DV_b = DA_b \cdot \left( \frac{l_1}{2} + \frac{l_2}{2} \right)$$

Fig. 7. Calculation of deformation volume ( $DV$ ).

$DV$ : deformation volume.

$DA$ : deformation area in cross section.

ここで、2測線の断面変化量の平均値と2測線間の距離との積によって溪床変化量を求めなかった理由は、片方の測線で洗掘が、もう一方で堆積が生じた場合、各測線でとらえられた堆積・洗掘の現象は表現されず、その区間の変化量が相殺され、場合によってはほとんど零になるからである。もちろん、図示した方法においても、たとえば、line a と line b とで堆積(洗掘)が生じながら、line a-b 間に小規模な洗掘(堆積)が生じた場合、現象が誤って表現されることになるが、観測期間中にこのような短い範囲での堆積・洗掘現象は生じなかった。

Fig. 8 は、S-I で発生した土石移動 (I-72-2) について、縦軸に各測線の断面変化量  $DA$  を、横軸に各測線で代表される範囲を示した例である。ここで各長方形の面積は、各測線代表区間の溪床変化量  $DV$  を示すこととなる。ここにみるように、測量区間は堆積区間と洗掘区間とに

\* この場合の溪床幅とは、各測線において調査期間中、何らかの溪床変動のあった横断的な範囲を意味する。

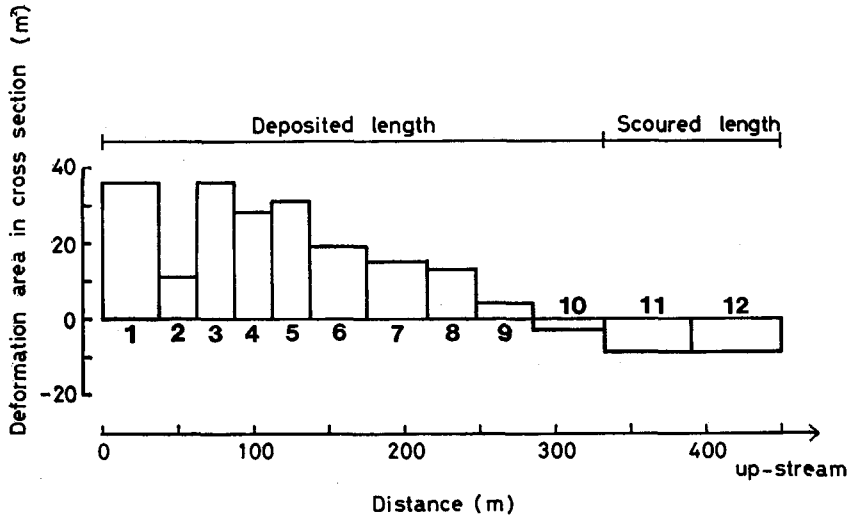


Fig. 8. An example of distribution of deformation area in cross section.

区分されるのであるが、堆積区間、洗掘区間が連続している場合は、各測線代表区間の合計を堆積区間長、洗掘区間長とした。

Table 5 は、以上のようにして求めた溪床変化量  $DV$  と堆積・洗掘区間長を示したものである。溪床変化量については測量区間での合計値で、また、堆積・洗掘区間長は各々の最長値で示してある。溪床変化量  $DV$  は、S-R では堆積量：9,000～20,000  $m^3$ 、洗掘量：200～10,000  $m^3$  となり、S-I では、堆積量：400～6,000  $m^3$ 、洗掘量：500～1,000  $m^3$  となった。また、堆積・洗掘区間長については、S-R が、堆積区間長：40～270 m、洗掘区間長：50～470 m であり、S-I では、堆積区間長：50～290 m、洗掘区間長：60～180 m であった。

### III. 砂防ダム堆砂

#### 1. 砂防ダムの概要

砂防ダム堆砂状況調査を、凌雲ダム (D-R) と1～5号ダム (D-1～D-5) の6基の砂防ダムにおいて実施した。Table 6 に各砂防ダムの概要を示したが、堤高：8.0～12.0 m、堤長：72.0～129.0 m、計画貯砂量：19,000～63,000  $m^3$  となっている。また、各砂防ダムは、250～1,200 mの間隔で、D-Rを除き、順次上流より施工されている。なお、D-Rを除く各砂防ダムの堆砂面は、竣工後3～5年で水通し天端に達している(以下「満砂」)。

#### 2. 堆砂勾配と礫径

Table 7 は1980年7月時点の各砂防ダムの堆砂状況を、Fig. 9 は縦断的な堆砂状況を示したものである。堆砂量は、堆砂域と堆砂勾配から12,000～40,000  $m^3$  と算出された。

D-2～D-5の堆砂面は、堆砂勾配、堆積材料によって、ダム直上流の緩勾配区域(堆砂勾配：1/56～1/21)とその上流側の急勾配区域(堆砂勾配：1/13～1/11)の2区域に区分された。

Table 5. Deformation volume and deposited and scoured length

Survey period		1972.8 ~'72.10	~'73.6	~'73.9	~'74.7	~'74.8	~'75.7	~'75.8	~'76.7	~'77.9	~'78.7	~'79.8	~'80.7	~'81.
S-R	Code	—	—	—	—	R-74-1	R-74-2	—	R-75	R-76	R-77	R-78	R-79	R-80
	DV-Deposition (total) m <sup>3</sup>					3,300	20,000		8,300	1,900	900	3,100	1,300	2,300
	DV-Scouring (total) m <sup>3</sup>					200	2,300		10,100	5,100	1,000	500	1,000	2,400
	Deposited length (max.) m					200	270		190	190	85	225	40	140
	Scoured length (max.) m					75	50		470	230	140	90	200	100
S-I	Code	I-72-1	I-72-2	I-73-1	I-73-2	I-74-1	I-74-2	I-75-1	I-75-2	—	—	—	—	I-80
	DV-Deposition (total) m <sup>3</sup>	1,200	1,400	4,000	400	500	5,900	1,100	700					700
	DV-Scouring (total) m <sup>3</sup>	1,200	900	700	500	600	1,200	1,100	1,000					1,300
	Deposited length (max.) m	145	90	250	80	65	285	65	50					65
	Scoured length (max.) m	90	175	60	75	70	165	160	90					150

DV: Deformation volume.

河床変動とダム堆砂からみた土石移動過程と流域特性 (坂本・新谷)

Table 6. Outline of sabo-dams

Dam designation	Constructed year	Height (m)	Length (m)	Watershed area (km <sup>2</sup> )	Distance from the next dam above (m)	Channel-bed slope	Design-accumulating gradient	Sediment capacity (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
D-R	1974	12.0	72	1.83	—	1/9.3	1/15	58
D-1	1967	10.0	75	2.07	1,200	1/9	1/13	30
D-2	1969	12.0	101	6.98	950	1/10	1/15	63
D-3	1970	12.0	126	7.52	600	1/10	2/15	53
D-4	1971	8.0	82	7.62	300	1/10	1/15	19
D-5	1973	8.0	129	7.72	250	1/10	1/15	19

Table 7. Outline of deposits behind sabo-dams

Dam	Volume of deposited sediment (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Depositing period**	Deposits width (max.) (m)	Length of gentle slope deposits (m)	Deposit slope		Grain size of boulders			
					lower part (gentle)	upper part (steep)	max.		medium	
							gentle (cm)	steep (cm)	gentle (cm)	steep (cm)
D-R	18 (40)*	1974~	39	—	—	1/11	26		8.3	
D-1	28	1967~71	66	—	—	1/11	88		3.7	
D-2	33	1969~73	81	128	1/21	1/13	53	69	2.3	9.0
D-3	21	1970~75	87	82	1/40	1/13	26	99	2.7	29.3
D-4	12	1971~75	59	37	1/38	1/11	19	118	3.3	13.7
D-5	6 (12)*	1973~76	35	46	1/56	1/13	24	130	2.3	28.3

\* containing the volume that deposited before the construction of sabo-dams.

\*\* until the deposits reached the tops of the sabo-dams.

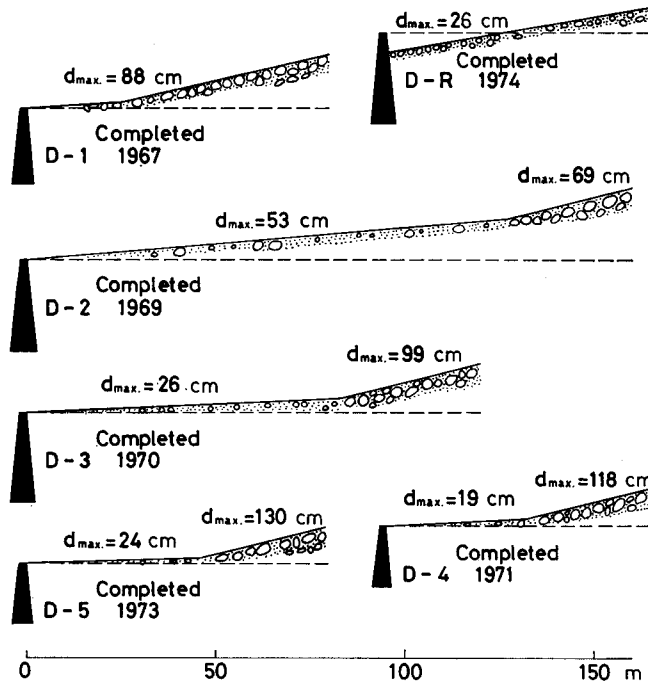
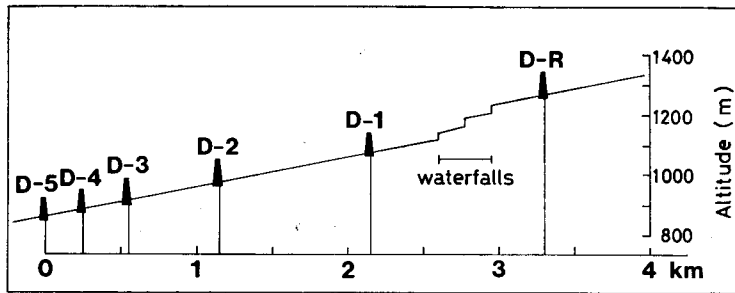


Fig. 9. Configuration of the deposits behind sabo-dams.

ダムの天端から両区域の境界までの距離は、各ダム堆砂域によって異なり、最短がD-4堆砂域における37mで、最長はD-2堆砂域における128mであった。

いま堆積材料の差異を比較検討するため、各砂防ダムの堆砂域に10m×10mの方形区を標準地として設定し、その中の表面礫を礫径の大きい方から10個測定した。また、方形区の一辺を利用して、30cmピッチの線格子法により33個の礫を測定した。いずれの場合も礫径は、3方向の長さ(長径、中径、短径)の算術平均値をとった。

Fig. 10は、各方形区の上位10礫について、最大、平均、最小の礫径で示したものである。D-2～D-5の堆砂面について、平均値で比較すると、緩勾配区域:16～23cm、急勾配区域:53～101cmとなっている。堆砂面の区分が明確でないD-R、D-1の堆砂面についてみると、D-Rが緩勾配区域型であり、D-1は急勾配区域型となる。



礫構成による堆砂面の区分は、線格子法による礫のサンプリング結果においても示される(Fig.11)。すなわち、D-2~D-5の緩勾配区域は、10数cmの礫を混えた砂を中心とする堆砂面であり、急勾配区域は数10cmの礫が集合的に堆積している。この場合、D-R、D-1の堆砂面の礫構成は、先の2区分の中間的なものであるが、D-Rは緩勾配区域型に、D-1は急勾配区域型に近い。

3. 堆砂量

Table 8は、D-2~D-5の堆砂量について段階区分したものである。堆砂量Aは、1980年7月の堆砂量、堆砂量Bは満砂時点での堆砂量、堆砂量Cは満砂以後の堆砂量を示している。堆砂量Bは、現在のダム直上流域の緩勾配を満砂時点での堆砂勾配の基準として算出した。堆砂量Cは、土石越流が可能になってからの堆積量であり、堆積材料が満砂以前のものと質的に異なることから区別した。すなわち、小粒径の土石が越流可能となっているために、堆積の中心は先述の礫径数10cmの大礫の集合である。

現在の堆砂量のうち大半は満砂時までの堆砂量で占められており、全体の75~90%に相当する。このことは、年平均堆積量についても同様であり、満砂後の年平均堆積量は、満砂前の年平均堆砂量の18~43%となっている。

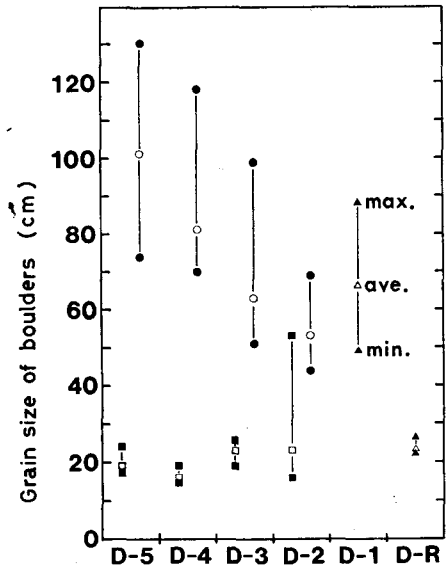


Fig. 10. Distribution of the grain size of boulders on the deposits behind the sabo-dams (by top ten sampling in 10 m×10 m).  
 ●○: steep ■□: gentle ▲△: undivided

Table 8. Volume of deposits

Dam	A: Construction ~			B: before the deposits	
	a Deposited volume (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	b Period year	c Average deposited volume (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /y)	a Deposited volume (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ba/Aa (%)
D-2	33	11 '69~'80	3.0	27	82
D-3	21	10 '70~'80	2.1	19	90
D-4	12	9 '71~'80	1.3	9	75
D-5	6	7 '73~'80	0.9	5	83

\* except the period, '78~'80, because of no change.

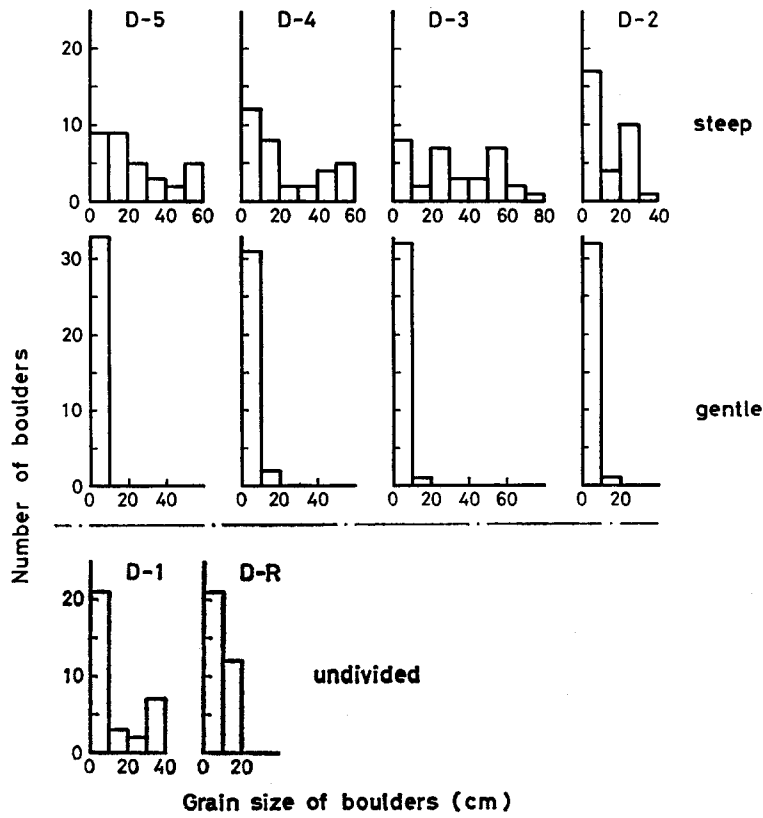


Fig. 11. Distribution of the grain size of boulders on the deposits behind the sabo-dams (by line grid sampling).

behind sabo-dams

reached the tops of sabo-dams		C: after the deposits reached the tops of sabo-dams			
b Period year	c Average deposited volume ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> /y)	a Deposited volume ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> )	b* Period year	c Average deposited volume ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> /y)	Cc/Bc (%)
4 '69~'73	6.8	6	5 '73~'78	1.2	18
5 '70~'75	3.8	2	3 '75~'78	0.7	18
4 '71~'75	2.3	3	3 '75~'78	1.0	43
3 '73~'76	1.7	1	2 '76~'78	0.5	29

## IV. 土石移動過程の分析

## 1. 堆積と洗掘

前章までにおいて、溪床変動の大きさを、各測線毎の断面変化量  $DA$  と溪床変化量  $DV$  とによって表現した結果、溪床変動観測区間は堆積区間と洗掘区間とに区分することができた。

Fig. 12 には、堆積区間と洗掘区間の出現状況を比較したものである。a は S-R における 1975 年 8 月の溪床変動 (R-75), b, c は S-I における 1974 年 7 月, 9 月の溪床変動 (I-74-1, I-74-2) である。a, c は、洗掘・堆積が数本の測線にわたって連続する場合の例である。b は、1~2本の測線毎に交互に出現した場合の例で、この特徴を「位置的交互性」<sup>5,6,69)</sup>と呼んでいる。

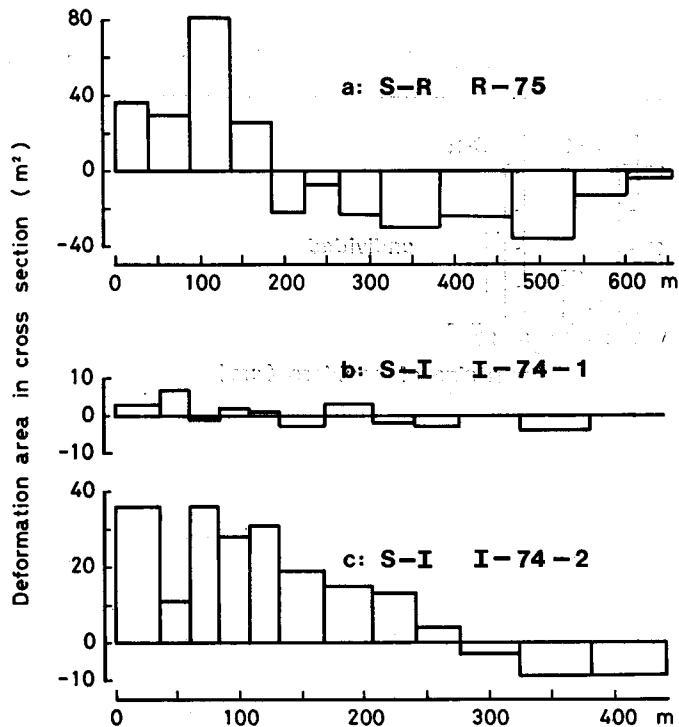


Fig. 12. Typical examples of distribution of deformation area in cross section.

Fig. 13 は、断面変化量  $DA$  の変動を経年的に示した、D-I における代表例である。line 2 は堆積が継続したタイプの例であり、line 11 は洗掘が継続したタイプの例である。また、line 8 は、堆積と洗掘が交互に発生したタイプの例であり、この特徴を「時間的交互性」<sup>5,6,69)</sup>と呼んでいる。

以上述べたように、堆積・洗掘の出現形態の基本型は、空間的には1回の溪床変動時における位置的交互性と、時系列的には繰り返し発生する溪床変動における時間的交互性である<sup>5)</sup>。

渓床変動は、土石移動現象を反映したものであるから、上記の渓床変動の特徴から土石移動形態が類推され、「土石移動の波状形態」<sup>5,6)</sup>が推測されている。これは、橋本(1956)<sup>12)</sup>の「土石の波状移動」と同質のものである。

土石移動の波状形態では、堆積長・洗掘長は波長として、断面変化量  $DA$  は振幅として表現される。S-I 区間と S-R 区間を比較すると、S-R 区間の方が、波長、振幅とも大きな波状形態となる。なお、規模の異なる土石移動現象を比較して時間的交互性を論ずることには無理があり、時間的交互性の解析には、それぞれの規模に応じた波状形態を抽出しなければならない。しかし、大小様々の波が重なった結果である現時点の渓床形態のみから、過去の各波状形態を抽出することは困難であり、継続的な渓床変動調査が不可欠となる。

2. 渓床変動と土石移動

Fig. 14 は、渓床変化量  $DV$  の収支から、土石通過量——断面通過量  $V$ <sup>45,69)</sup>——を算出する方法を示したものである。 $DA_n$  は、横断測線 line  $n$  における断面変化量であり、 $l_n$  は、line  $n$  の代表区間長である。したがって  $DA_n \times l_n$  は、区間  $n$  の渓床変化量となる。 $V_0$  は、砂防ダム地点での断面通過量であるが、 $V_n \leq 0$  となることは不合理であるため、 $V_0 \geq 0$  となる。以上の仮定のもとに、各断面通過量  $V_n$  は次式により求められる。

$$V_n = V_0 + \sum_{i=1}^n (DA_i \times l_i) \dots\dots\dots (1)$$

一般にある地点の堆積土砂を掘り出すと、土砂の嵩増しが生じるため、土砂量は増大す

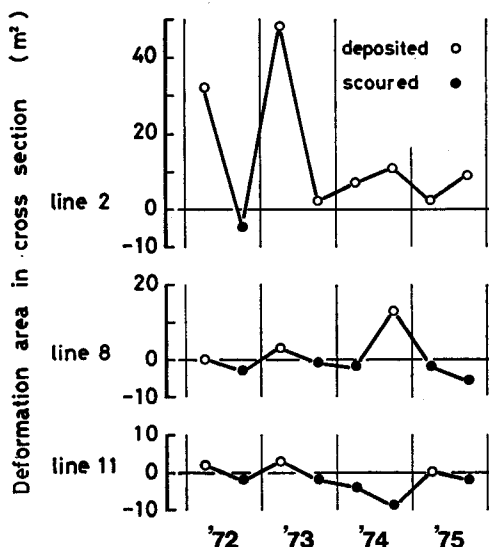
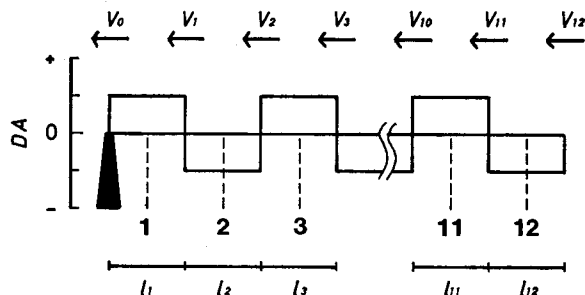


Fig. 13. Fluctuation of deformation area in cross section.



DA: Deformation are in cross section

$$V_1 = V_0 + DA_1 \times l_1$$

$$V_2 = V_0 + V_1 + DA_2 \times l_2 = V_0 + \sum_{i=1}^2 (DA_i \times l_i)$$

$$\vdots$$

$$V_n = V_0 + V_{n-1} + DA_n \times l_n = V_0 + \sum_{i=1}^n (DA_i \times l_i)$$

$$\vdots$$

$$V_{12} = V_0 + V_{11} + DA_{12} \times l_{12} = V_0 + \sum_{i=1}^{12} (DA_i \times l_i)$$

$$V_n \geq 0 \quad (n=0, 1, 2, \dots, 12)$$

Fig. 14. Calculation of flowed discharge of debris flows through the section.

る。これは、土砂の間隙が多くなるからであり、移動中に土石が細粒化すれば、嵩増し現象はさらに強くなるため、洗掘量と堆積量を同等に扱い、移動量を算出することには問題がある。また、移動時は土石だけではなく、水分を多量に含んだ流動体となっているため、断面通過量は、実際に発生した土石流の通過量とは異なった量である。しかしここでは、より簡易に求めるため、この断面通過量を移動現象を表現する量として取扱うこととした。

Fig. 15 は、S-R と S-I における断面通過量の変化について、1974年7月\*、1974年9月、1975年8月発生 of 代表的な3例を示したものである。

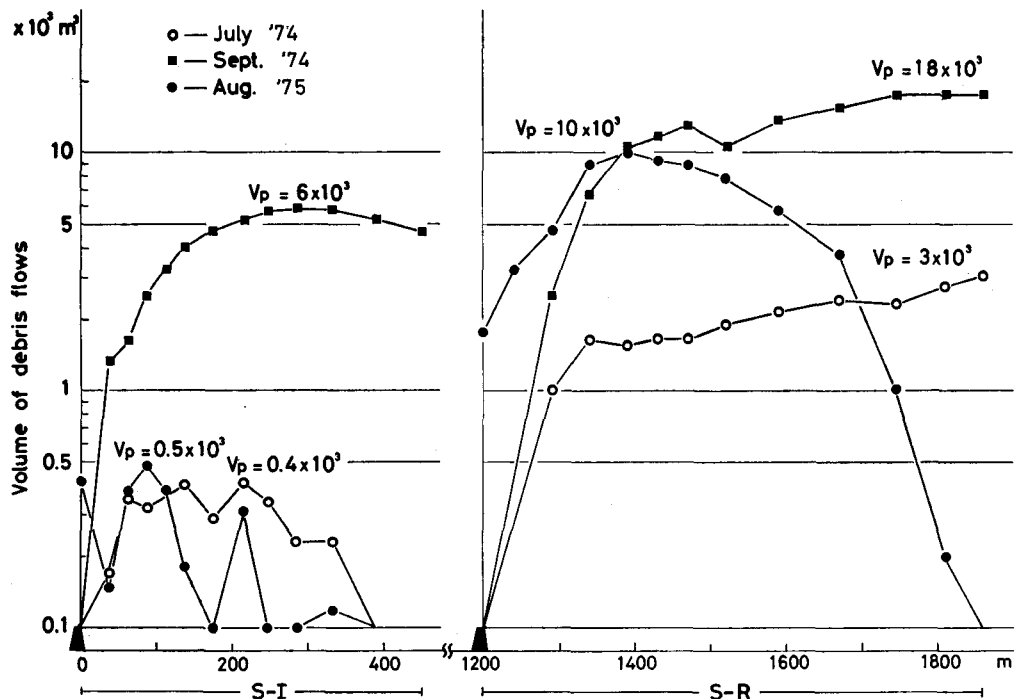


Fig. 15. Flowed discharge of debris flows in S-R and S-I.

断面通過量の最大値 ( $V_p$ ) は、S-R においては、3,000~18,000  $\text{m}^3$  であり、S-I においては400~6,000  $\text{m}^3$  と算出された。

1974年7月：S-R には、3,000  $\text{m}^3$  の土石が流入し堆積した。一方、S-I では別個の小規模移動 ( $V_p = 400 \text{ m}^3$ ) が発生した。

1974年9月：S-R では、18,000  $\text{m}^3$  の土石が流入堆積した。S-I には、別個の土石移動 ( $V_p = 5,000 \text{ m}^3$ ) が発生、流入し、さらに洗掘によって移動量を6,000  $\text{m}^3$  まで増加させた後、堆積した。

1975年8月：1,800  $\text{m}^3$  の土石がD-Rを通過したと推定されるが、S-I には到達しておら

\* 1974年7月については、7月28日と30日と連続して土石流が発生したため、2回の土石移動の結果が含まれている。

ず、一方 S-I では別個な断続的な小規模移動が発生した。

以上の結果から、土石移動は 2 つの型に分類できる。1 つは、溪床変動観測区間への流入型であり、この型に含まれるのは、S-R では、1974 年 7 月、1974 年 9 月、S-I では、1974 年 9 月の土石移動である。もう 1 つのタイプは、観測区間内で洗掘が出じ土石移動が発生したタイプで、S-R では 1975 年 8 月、S-I では、1974 年 7 月、1975 年 8 月がこれに相当する。

そして、下流の S-I で洗掘型が発生した事実や、上流の S-R で土石移動が一旦停止しながら、下流の S-I で別個の流入型の土石移動が生じている事実は、S-R、S-I で発生した土石移動が、別個の移動現象であったことを意味することとなる。

### 3. ダム堆砂と土石移動

砂防ダムの水抜き孔を通過する土石は、移動土石全体のうちの少量であり、また、浮遊砂、ウォッシュロードは、砂防ダムが対象としない物質と考え、砂防ダムは、堆砂面が水通し天端に達するまでは堆積材料の選別は行わず、原則として上流から流下する掃流土石と土石流土石のいずれをも堆積させる。したがって、砂防ダムの堆積土石のほとんどは、砂防ダムが存在しなければ、一時的な停止はあってもその後経過したものと考えられる。すなわち、砂防ダム堆積土石は、その地点における一定期間内の経過土石に相当すると考えられる。

現在、D-1～D-R の各砂防ダムは、堆積土石が水通し天端に達しており、土石のダム越流が可能な状態にある。しかし、D-2～D-5 の堆砂面が 2 種類に区分された事実は、ダム直上流域の 10 数 cm の礫を混えた砂を中心とする掃流土石が、洪水時には砂防ダムを越流していることを示すと同時に、より上流側の数 10 cm の礫を中心とする土石流堆積土石が、各砂防ダムを越流していないことを示している。

つまり、D-2～D-5 の堆砂状況から、掃流堆積土石は砂防ダムを越流し、土石流堆積土石は越流していないと推測される(ただし、土石流堆積土石の移動は、掃流堆積土石の移動と別個に発生したわけではなく、堆砂面における両者の分離は、移動材料が堆積する過程で生じたと考えられる)。

さらに、砂防ダムが D-1 以下、順次上流より——D-2～D-5 は 1～2 年の間隔で——築設された事実から、特に土石流堆積土石は、各ダム間の溪床より供給されたことになる。すなわち、土石流堆積土石の存在を、各ダム間の溪床堆積土石の移動結果とみることができる。

## V. 土石移動と流域特性

### 1. 土石移動と砂防計画

従来、砂防計画樹立においては、流域特性としての土石移動過程の把握を前提とするものではなく、一時的な流出土砂量の把握を計画樹立の基本としてきた。

砂防計画においてはじめて流砂量を扱ったのは、木村弘太郎 (1951)<sup>32)</sup> の「砂防計画樹立に対する構想」、いわゆる木村構想である<sup>20)</sup>。木村は砂防計画の基本量として、それまでの全

国年間流出土砂量に対して河川別の洪水流砂量を考え、その推定方法として次式を示した。

$$V = c \cdot K \dots\dots\dots (2)$$

V: 洪水流砂量    K: 崩壊土砂量    c: 流出係数

この場合、溪床堆積土石の移動過程は、すべて流出係数によって処理されており、そのため、流出係数は、0.2~5程度<sup>32,33)</sup>と、大変幅の広い値を考えていた。このことは、崩壊土砂量が直接的に流出土砂量に結びつかないことを意味するものである。

これに対して新沢(1952)<sup>48)</sup>は、流出材料の構成内容として溪床堆積土石を積極的に示した次式を提示した。

$$V = c_1 \cdot K + c_2 \cdot P \dots\dots\dots (3)$$

V: 洪水流砂量

K: 崩壊量    c<sub>1</sub>: 崩壊係数

P: 溪間堆積量    c<sub>2</sub>: 堆積係数

以上の2式は、その後の流出土砂量推定式の原型であり、一般的な式の形としては、次のようなものがある<sup>53)</sup>。

$$\text{直線型: } Q = a + b \cdot A + c \cdot B + \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{指数型: } \log Q = a + b \cdot \log A + c \cdot \log B + \dots\dots\dots (5)$$

Q: 流出土砂量(洪水, 平均)

A, B: 因子

a, b: 係数

ここで、係数は一般に最小二乗法によって決定されている。各因子としては、流域面積、崩壊地面積、谷密度、勾配といった地形状況や、森林面積などの植生状況が扱われている。地質条件は定量化が困難なために、地質別に流出土砂量の推定式を求めることによって区別された。

これらの式で問題となるのは、新沢・小出・柿らによって古くから「流出土砂量の最も主要な生産地は溪流と河川そのものにある」と指摘<sup>20,21)</sup>されながら、各因子は、山腹の土石移動、特に単発的な崩壊現象を問題としたものが中心となっている点である。そしてある地点での流出土砂が、不連続に反復発生する溪床堆積土石の移動現象の結果であることは問題とされず、すべて係数で処理されている。さらに、流域による各係数のちがいに基づいてその流域を特徴づけるわけでもなく、全国各地の資料をまとめて扱っている<sup>30,31)</sup>ことは、一方で、土砂流出現象の地域性が指摘されていることと矛盾している。

つまり、前記の推定式は、極めて長い時間スケールにおける土石量の収支であって、これらは、常願寺川の大崩れ<sup>49)</sup>、安倍川の大谷崩れといった過去の大崩壊による生産土石がその後移動をはじめ、数100年以上のちの収支には適用が可能かもしれないが、溪床堆積土石の

不連続な移動現象を本質的に表現するものではない。

また、1950年代には、流出土砂量といった流域に対する量的な考え方が提示された一方で、小出(1954)<sup>40)</sup>、柿(1956, 1958)<sup>28,29)</sup>は、土砂流出のパターンを問題とし、土砂流出を時系列現象としてとらえている。とくに、柿の提示した洪水流砂量曲線の考え方は、時間スケールを設定したものであり、この土石移動規模の出現形態を示す洪水流砂量曲線によって、砂防河川は活動性河川と非活動性(休眠性)河川に区分できるとした。これは、砂防において土石移動現象を時系列的にとらえ、溪流を質的に区分した最初の例であろう。

しかしながら、洪水流砂量曲線の考え方は、それ自体の作成が困難なこともあって、それ以上発展しなかったし、小出の提示した災害に関する周期性や免疫性の考え方も、その後の展開の中では、土石移動現象を解析する方法論が確立されていないため、まとめようのない議論がくりかえされた<sup>3,61)</sup>。

同様のことは溪床堆積土石の位置付けについてもあてはまる。たとえば、1968年、1971年に出版された林野庁の荒廃危険地域に関する報告書<sup>55,56)</sup>においても、「山地下流端の農耕地や部落からみれば、そこに押し出されてくる土砂の根源は、山腹面の崩壊ではなく、比較的近距離の溪床からの侵食土砂である場合が少なくない。」と「山地荒廃のなかに占める溪流荒廃の重要性」を認めながら、荒廃溪流について具体的な調査対象を明確にできず、「山地崩壊」のみに着目せざるを得なかった。

以上のように、木村や新沢の流出土砂量に関する流出係数、崩壊係数、堆積係数の考え方や、小出や柿の土砂流出に関する時系列的な考え方は、その後の展開の中で、溪床堆積土石の位置付けがなされず、砂防計画上の流域特性の表現は展開されなかった。しかし、これは、以下に述べるような特性をもつ土石移動現象を土石移動過程としてとらえることによって可能となるものである。

## 2. 土石移動の不連続性

前章までで述べてきた土石移動実態の特性として、発生の位置的な不連続性と時間的な不連続性があげられる。位置的な不連続性とは、土石移動が連続的な流動現象として発生するのではなく、流域の局所的な溪床堆積土石の移動(洗掘)と移動土石の停止(堆積)として生じることである。

このことは、溪床変動調査からは、S-R, S-Iの2区間において推定した土石移動の関連と、測量区間で発生したタイプの土石移動から確認された。また、同様のことが砂防ダム堆砂状況の調査からも確認され、砂防ダム上流の急勾配堆積土石は、各砂防ダム間の溪床堆積土石が移動したものであることが推定された。

したがって、一般に砂防ダム堆砂量について流域面積と一定期間内の流出土砂量・比流砂量との関連で論じられること<sup>67)</sup>が多いが、短期間の土石移動現象については、Fig. 16に示すように、流域面積よりも可動溪床区間距離との関連が強い。Fig. 16の横軸には、可動溪床区



間距離と流域面積がとってある。可動溪床区  
間距離とは、各ダム間距離から非洗掘区間長  
(岩盤露出区間長)を除いたものである。縦  
軸は、年平均堆積量(前出のTable 8のB:  
竣工~満砂)であり、2~5の数字は各砂防  
ダムを示す。

また、時間的不連続性とは、砂防のスケ  
ールで対象とする土石移動現象が、日常的な  
継続現象ではないことである。たとえば、今  
回は、特にあげてはいないが、荒廃溪流の典  
型的な溪床状況である段丘化した溪床堆積土  
石の存在<sup>3,48,51,57,58,61</sup>は、日常の流水によ  
って形成されたものではなく、特定の時間内  
の一時的な土石移動現象の結果である。

これら2つの不連続性は、数学モデルを  
用いた地形発達史的な研究<sup>17,18,19</sup>では、空間  
的には5万分の1, 2.5万分の1の地形図が対

応し、時間的には $10^2 \sim 10^4$ 年が尺度となるために、連続的な侵食現象として扱われるが、砂防  
のスケールでは無視できない特性である。つまり、これら2つの特性は、荒廃溪流の対策に不  
可欠な溪床堆積土石の移動過程の把握が、空間的にも時間的にも連続方程式では表現できない  
現象を対象としていることを意味する。

さらに、これらの特性は、1基の砂防ダムによって土石移動が抑えられても、下流では別  
の——越流水によるいわゆる砂防ダム前庭部の洗掘<sup>13</sup>とは異なる——土石移動が発生する<sup>35</sup>  
ことを意味する。したがって、かりにヌッカクシ富良野川の砂防ダムが同時に築設されていた  
場合、下流の砂防ダムが先に満砂したことも考えられる。同様に、単に今回の対象期間に限れ  
ば、ダム施工区間の溪床堆積土石を、堤高の低い横工によって直接扞止した場合、たとえ貯砂  
量が零であっても、調査区間より下流へ流過した土石量は、現況のようにダムを施工した場合  
と比較して大差ないと考えられる。この場合、扞止した溪床堆積土石を、流域の土石移動過程  
から人為的に除外したことになる。

以上述べた土石移動の不連続性は、現象論的(運動論的)には、連続性をもつ水が土石  
と一体化(洗掘)したり、逆に土石を分離(堆積)しながら流下することによる。従来、砂防計  
画に不可欠な流域規模での土石移動については、洪水流との置き換えで扱われていたために、  
水と土石の一体化・分離はとくに対象とされず、両者の分離は、溪間部で行われ、扇状地の流  
路工区間へ土石の流入はないかのように漠然と扱われることが多かった。しかしながら、近

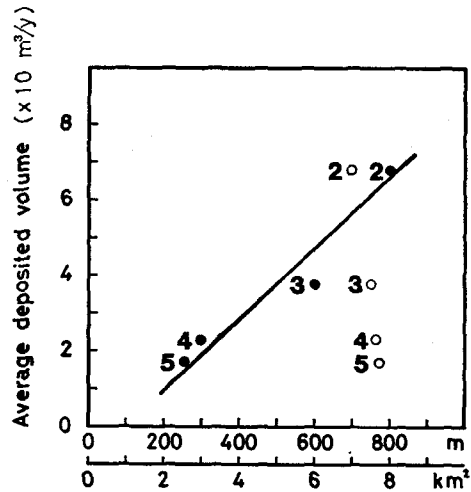


Fig. 16. Relationship between deposited volume behind sabo-dams and length of channel bed.

- : distance from the upstream sabo-dam except rock-ribbed channel (m).
- : watershed area (km<sup>2</sup>).
- 2~5: sabo-dams.

年、土石移動の激しい火山山麓が土地利用されるようになって、土石の分散堆積<sup>15,16)</sup>と流水の分離を目的とした空間の設定が砂防計画において必然的なものとなり、扇頂部がそのための空間として位置付けられるようになった<sup>57)</sup>。

同時に、これまで六甲砂防などでの、都市部と近接した貯砂型砂防ダムで行われていた貯砂可能量確保のための除石作業<sup>59)</sup>も、有珠砂防などでは、扇頂部が流出土石の堆積・排除のための積極的な空間として位置付けられるようになった<sup>7)</sup>。

このような、防災対象に近い土地の防災空間としての位置付けが可能になる中で、その上流部も流域内の防災空間として位置付けが可能となる。すなわち、山腹斜面では、表面流の集中を防ぐことによって地表侵食を防止し、流水の集中する溪間部では、溪床堆積土石の固定が基本となる。異常な豪雨による山腹崩壊についても、溪間部において溪床堆積土石が固定されていれば、溪間の拡幅部で先の扇頂部と同様な対処方法も可能となり、また流域が小さく、崩壊土石が扇状地まで一度に移動する場合には、扇頂部の土石分散堆積空間で直接対処することとなる。

これら一連の対策の中で、各防災空間での対処方法、重要度(分担の割合)を決定するためには、溪間部における土石移動過程の把握・表現が不可欠となるが、その前提として土石移動の不連続性が位置付けられる。

### 3. 流域特性

#### (1) 最大断面通過量

土石移動過程の表現は、土石移動の不連続性に基づき、流域内で区間を限定して考えることで可能となる。その場合、土石がその対象とした区間を、どの程度の規模・頻度で流過するかを問題とし、その指標としては、対象区間で発生した溪床変動の規模と発生頻度との関係を用いることとした。これによって、対象区間の溪床堆積土石の相対的な可動程度、不安定の度合いが表現される。

溪床変動の規模については、溪床高の変動や断面変化量も考えられるが、溪床変動は1地点ではなく一定区間で把握されるものであるから、ここでは、前出の Fig. 14 で示した断面通過量を用いることとした。また、断面通過量は地点によって異なるから、最大断面通過量  $V_p$  を指標とすることとした。一移動時における流域全体を代表する移動量的な値としては、各溪床変動区間の最大断面通過量  $V_p$  の合計値、あるいは最大値を利用することが可能である。

Fig. 17 は、S-R と S-I との最大断面通過量  $V_p$  を時系列的に示したものである。最大断面通過量は、S-R で  $10^2 \sim 10^4 \text{ m}^3$ 、S-I で  $10^2 \sim 10^3 \text{ m}^3$  のオーダーの値となっている。

D-2~D-5 各砂防ダム間の土石移動量の指標としては、堆砂量を利用することとした(ただし、この場合、個々の土石移動量は把握されていない)。

#### (2) 土石移動の規模と頻度

Fig. 18 は、土石移動量と頻度とを対応させたものである。対象期間中、 $n$  番めの最大断面

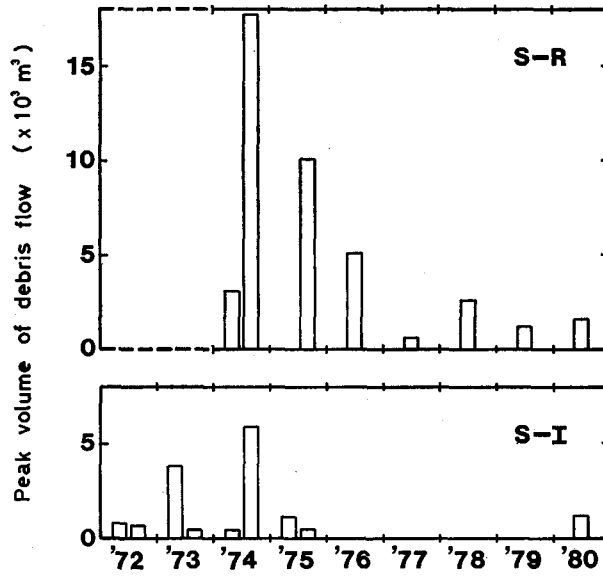
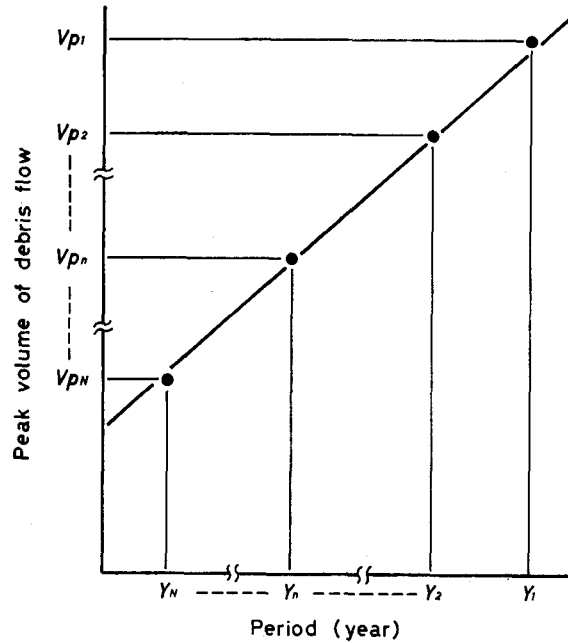


Fig. 17. Peak volume of debris flows.



$$V_{p1} > V_{p2} > V_{p3} > \dots > V_{pn} > \dots > V_{pN}$$

$$Y_n = Y/n$$

Y: survey period (year)

N: times of movement    n: order of  $V_p$

Fig. 18. Relationship between return period and peak volume of debris flow.

通過量  $V_{pn}$  に  $Y_n$  を対応させる。ただし、

$$Y_n = Y/n \dots\dots\dots (6)$$

$Y$ : 調査期間 (年)

$n$ : 大きさの順位

である。この  $Y_n$  と  $V_{pn}$  の関係については、以下のような意味をもつ。

各渓床変動観測区間では、その観測期間 ( $Y$ 年) 内に、各々、何回 ( $N$ 回) かの土石移動現象が発生する。期間中、最大の最大通過量  $V_{p1}$  を、観測期間  $Y$ 年に一度のものという意味で、 $1/Y$ を対応させる。2番めの最大断面通過量  $V_{p2}$ には、 $Y$ 年にそれ以上の土石移動が2度発生したという意味で、 $2/Y$ を対応させ、以下、 $3/Y \dots\dots N/Y$ と表現する。さらに、分子を1にそろえると、各最大断面通過量  $V_{pn}$ が対応するものは、 $1/Y_n$ の形で表現される。すなわち、 $Y_n$ は、その土石移動が、対象とした区間においては、 $Y_n$ 年間に一度は発生する規模であり、個々の移動規模  $V_{pn}$ に対応する頻度、あるいはリターンピリオドとしての意味をもつ。この表現方法は、水文統計の分野で使われるカリフォルニア法<sup>27)</sup>による超過確率の表現と同形式となっている。ただ、データ数は超過確率の計算をするには少なすぎ、ここでは実態表現の一方法として扱い、外挿はしない。

Fig. 19は前出の Fig. 18で示した個々の最大断面通過量  $V_p$ を、具体的に発生頻度と対応させたものである。S-R, S-Iともに両軸に対数をとると直線上にならび、次の(7)式のように

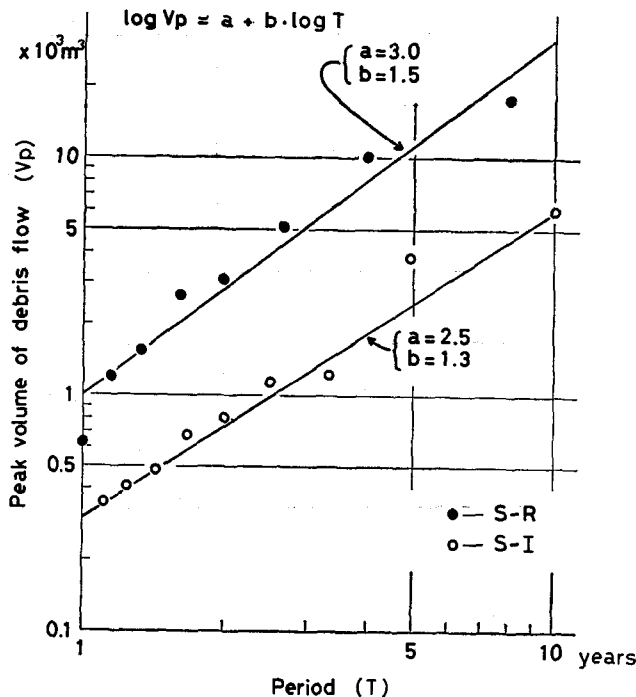


Fig. 19. Peak volumes of debris flows and frequency (S-R, S-I).

あらわすことができた。この(7)式は、各溪床区間の土石移動過程に関する流域特性を意味するものと考えられ、流域特性を Fig. 19 中に示したように、係数  $a, b$  であらわすことが可能となる。このうち  $a$  は年平均流砂量の指標となる。両区間で発生した土石移動の規模と頻度との関係は、たとえば、 $5,000 \text{ m}^3$  の土石移動規模が、S-R では3年弱に1回の発生規模に相当し、S-I では8~9年に1回の規模に相当している。

$$\left. \begin{aligned} \text{S-R: } \log V_p &= 2.99 + 1.54 \log T \quad (r = 0.98) \\ \text{S-I: } \log V_p &= 2.50 + 1.34 \log T \quad (r = 0.99) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

両区間における規模と頻度との関係の差には、いくつかの理由が考えられる。一つは、S-I で観測した溪床変動が、D-1 満砂後のものであるのに対して、S-R の方は、D-R 満砂過程のものであることである。したがって、S-I では堆積せず流下するような小粒径の移動材料も、S-R では堆積するため移動量が大きく観測される。もう一つの理由は、S-R では自然状態に近いことに対し——特に観測期間の初期においてその傾向は著しい——、S-I ではすでに D-1 堆砂の影響が上流までおよび、洗掘現象が制限されていたことである。この点において、Fig. 19

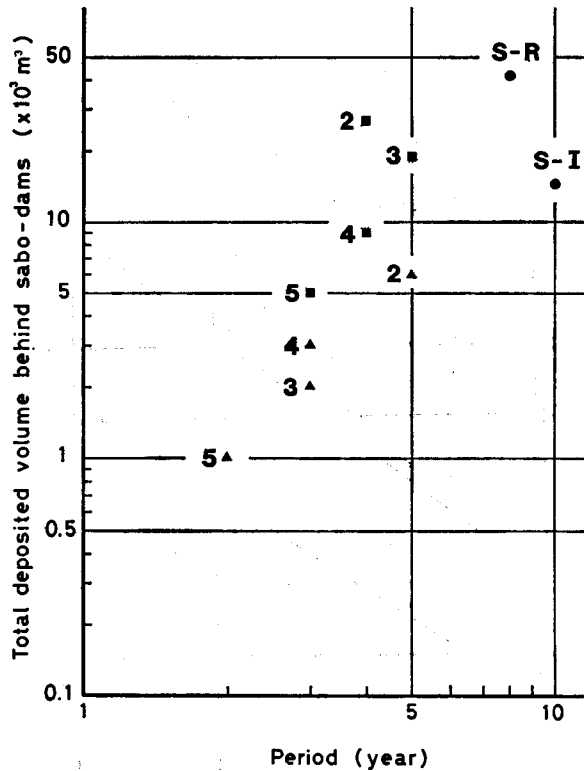


Fig. 20. Deposited volume and period.

- : before the deposits reached the tops of sabo-dams.
- ▲: after the deposits reached the tops of sabo-dams.
- :  $\sum V_p$ .
- 2~5: sabo-dams

は、自然状態と砂防ダムが施工された場合との、土石移動過程の差を表現している。

以上の堆積材料のちがいと砂防ダムの影響度合の差を除いた部分が、両溪床変動区間の本来の特性による差と考えられる。

Fig. 19と同様の表現方法は、D-2～D-5の各砂防ダム間で発生した土石移動についても適用できるが、個々の移動規模はとらえられていないため、最大断面通過量 $V_p$ のかわりに、累積移動量によって表現した(Fig. 20)。S-R、S-Iにおける土石移動現象について、最大断面通過量 $V_p$ の合計値が示してある。横軸には、Fig. 19と同様、対象(堆砂)期間をとって比較した。

砂防ダム満砂過程における値(■)はS-Rの傾向に、満砂後の値(▲)はS-Iの傾向に似ている。ただし、Fig. 20におけるD-2～D-5の堆砂量は、それぞれ満砂前、満砂後という期間で比較しているため、各々、実際に土石移動が発生した時期はずれている。

これを、同時期で比較するならば、たとえば、D-5の満砂前とD-2の満砂後を対比することになる。この場合、砂防ダムの堆砂過程において異なる段階の期間を対象としたことになり、その際の移動量の差異は、S-RとS-Iとで推定した同時期の差異と共通する。すなわち、基本的には、一移動時における移動量が、移動区間によって異なるためと考えられる。一方、Fig. 20の示す傾向は、砂防ダム堆砂過程という同条件下において、各砂防ダム間で同傾向の土石移動が発生したためと考えられる。

## おわりに

土石移動過程という概念枠で新しく把握された流域特性は、一定区間内の溪床堆積土石の可動程度として表現された。これは、「従来の砂防計画の第一義的なものが常に本流の河川の河床の変動への影響を考えたもの」<sup>34)</sup>であったために、流域特性の表現が砂防基準点における流出土砂量に求められていたのと異なる。

流域計画における対象区間の防災空間としての量的評価は相対的なものであって、他区間の特性や保全対象の存在・重要度、保全対象までの距離、あるいは下流部、たとえば扇頂部における土石の処理能力などとの関連から、無処理にすべきか、可動土石を固定すべきか、あるいは流下土石に対する積極的な堆積空間として位置付けるかが決定される。

このように、土石移動過程にしたがって見透すと、溪間部の砂防計画は可動土石の扞止計画が基本となる。したがって、この場合、流出土砂量に基づいて貯留型の砂防ダムを計画する場合生じる、累積流出量を対象とするか、最大流出量を対象とするかという問題は本質的なものではなくなる。

また、溪間部砂防工事に対する評価方法も、どの程度の流出土砂量を貯留できるかではなく、溪床堆積土石の可動程度の変化、すなわち土石移動過程の変化・流域特性の変化として表現される。

今後、他溪流で、溪床変動調査の記録、砂防ダム堆砂調査の記録を整理することによって、

ヌッカク富良野川とはまた別の傾向が表現されることや、火山性荒廃溪流の共通性が表現されることも考えられる。そのためにも、溪床変動、砂防ダム堆砂といった土石移動に関する基礎資料が、たとえば降雨データのように長期にわたって整備されねばならない。

## 摘 要

荒廃溪流で発生する土石移動現象を防災計画の中で位置付けるために、その実態を土石移動過程として表現することを試みた。定点測量による溪床変動調査と既設砂防ダムの堆砂状況調査とに基づいて、溪間部における土石移動材料がすでに溪床に堆積していた土石であることを確認し、砂防スケールにおける土石移動の特性として、位置的不連続性と時間的不連続性をあげた。そして、砂防計画の基本となる流域特性を、一定区間における土石移動規模と頻度との関係で表現した。調査対象地は、北海道中央部に位置する火山性荒廃溪流ヌッカク富良野川である。

1) 定点流量による溪床変動調査を実施した2区間、S-R (区間長: 660 m), S-I (区間長: 450 m) では、それぞれ8回 (1974~1981年), 9回 (1972年~1981年) の土石移動が観測された。

2) 土石移動発生後の溪床は、洗掘 (最大:  $10 \times 10^3 \text{ m}^3$ )・堆積 (最大:  $20 \times 10^3 \text{ m}^3$ ) 区間に区分された。

3) 洗掘・堆積区間長は、移動時によって異なるが、小規模な土石移動については、同一地点において、移動時毎に洗掘と堆積が入れかわる傾向 (時間的交互性) が認められた。大規模な土石移動については、さらに長期間の継続調査を必要とする。

4) 砂防ダム堆砂面は、10数cmの礫を混えた砂を中心とするダム直上流の緩勾配区域 (1/21~1/56) と、その上流側の数10cmの礫の集合である急勾配区域 (1/11~1/13) に区分された。

5) S-R, S-Iにおける溪床変動調査から推定された土石移動のタイプは、観測区間内で発生したタイプと観測区間へ流下したタイプとに分けられた。

6) このことと、S-R, S-Iで推定された土石移動の関連ならびに砂防ダム堆砂状況から、移動材料の供給源が溪床堆積土石であることが確認され、土石移動は、これが時間的に、位置的に断続的に移動しているものであること (土石移動の不連続性) が推定された。

7) S-R, S-Iにおける溪床変動量から土石移動規模の指標として土石の最大断面通過量 ( $V_p$ ) を求めた。 $V_p$ の最大値は、S-Rで  $18 \times 10^3 \text{ m}^3$ , S-Iで  $6 \times 10^3 \text{ m}^3$  であった。

8) 溪床変動観測区間を一つの単位区間と考え、発生した個々の土石移動の規模に対応する生起確率的な頻度を求めた。両者の関係は次式で示された。

$$\log V_p = a + b \cdot \log T$$

$V_p$ : 最大断面通過量

$T$ : リターンピリオド

a, b: 係 数

$$S-R: a = 2.99 \quad b = 1.54$$

$$S-I: a = 2.50 \quad b = 1.34$$

上式は、対象区間における溪床堆積土石の相対的な可動程度、不安定の度合を表現するものであり、土石移動過程・流域特性の表現の一方法と考えた。

9) また、区間を基本単位としたことは、従来、砂防基準点で流出土砂量をとらえたことと異なる。

10) 砂防工事に対する評価は、土石移動過程との関連で行われなければならないが、上記の方法によれば、従来のようにどの程度の流出土砂量を貯留するかではなく、溪床堆積土石の可動程度の減少、すなわち、流域特性の改良として表現できる。

11) すなわち、砂防計画は流域内の可動土石の抑止計画が一義的なものとなり、流域内での施工優先順位の判定は、対象区間と保全対象との距離や保全対象の重要度、そして、すでに確保されている防災空間の位置やそこでの土石処理能力などとの関連で相対的に決定することが可能となる。

## 文 献

- 1) 秋谷孝一 (1978): 生産土砂量について. 新砂防, 107.
- 2) 新谷 融 (1968): 荒廃溪流における土石移動の痕跡. 新砂防, 69.
- 3) 新谷 融 (1971): 荒廃溪流における土石移動に関する基礎的研究. 北大農演報, 28-2.
- 4) 新谷 融 (1972): 溪床土石の移動過程調査の方法. 新砂防, 83.
- 5) 新谷 融 (1973): 土石移動の波状形態. 昭和48年度砂防学会講演集.
- 6) 新谷 融 (1976): 荒廃溪流における溪床土石の固定と土石移動形態. 日林北支講, 25.
- 7) 新谷 融・東 三郎・吉田 勇・西 真佐人 (1982): 土砂害防止工法. 「有珠山における泥流災害とその対策に関する研究」. 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果 No. A-57-7 (研究代表者 門村 浩).
- 8) 浅田 宏 (1973): 山地河川の流砂に関する二、三の考察. 新砂防, 89.
- 9) 浅田 稔 (1977): 溪床変動調査による土石移動の量的研究. 北大卒論.
- 10) 大同淳之 (1971): 河床縦断形の変動—土石流による変動—. 新砂防, 78.
- 11) 伏谷伊一 (1970): 溪流工学. 地球出版.
- 12) 橋本規明 (1956): 新河川工法. 森北出版.
- 13) 林 拙郎 (1974): 砂防ダム下流部における洗掘深さについて. 新砂防, 91.
- 14) 東 三郎 (1967): 地表変動と指標植物. 水利科学, 11-3.
- 15) 東 三郎 (1970): 流動土石の分散処理に関する考察. 新砂防, 75.
- 16) 東 三郎 (1973): 沖積扇状地の土石分散工法に関する研究. 北大演報, 30-2.
- 17) 平野昌繁 (1966): 斜面発達とくに断層崖発達に関する数学的モデル. 地理学評論, 39-5.
- 18) 平野昌繁 (1966): 斜面発達の数学的モデルに関する若干の補足. 地理学評論, 39-9.
- 19) 平野昌繁 (1969): 生駒山脈西面の開析谷. 地理学評論, 42-4.
- 20) 平尾公一 (1969): 砂防調査のまとめ方. 土木技術資料, 11-5.
- 21) 平尾公一 (1970): 砂防計画 その1. 土砂の生産および移動. 土木技術資料, 12-4.
- 22) 平尾公一・大久保 駿 (1970): 昭和42年7月豪雨災害について. —呉市浜田川の土砂流出—, 新砂防.



- 23) 平尾公一・泉 岩男 (1970): 堆砂面の変動記録による流砂量の推算法. 新砂防, 76.
- 24) 井口昌平 (1979): 川を見る. 一河床の動態と規則性. 東京大学出版会.
- 25) 池谷 浩 (1973): 土砂流出の実態と砂防ダムの効果. 新砂防, 88.
- 26) 今村遼平・坊城智広・豊原恒彦・中山政一 (1975): 富士山大沢崩れの土砂流出とその経年変化モデルの設定について (I).
- 27) 岩井重久・石黒政儀 (1970): 応用水文統計学. 森北出版.
- 28) 柿 徳市 (1956): 砂防と河川との関連基本式について. 新砂防, 23.
- 29) 柿 徳市 (1958): 流砂量と砂防計画について. 新砂防, 31.
- 30) 建設省河川局砂防課 (1966): 砂防ダムの堆砂. 第20回建設省技術研究会報告.
- 31) 建設省河川局砂防課・土木研究所砂防研究室 (1967): 砂防ダムの堆砂. 流出土砂量の研究, 第21回建設省技術研究会報告.
- 32) 木村弘太郎 (1951): 砂防計画樹立に対する構想. 河川, 昭和26年5月号.
- 33) 木村弘太郎 (1969): 砂防計画の発展のあゆみ. 土木技術資料, 11-5.
- 34) 木村正昭 (1969): 砂防事業の問題点と将来の方向. 土木技術資料, 11-5.
- 35) 木村正信・東 三郎 (1978): 羊蹄山における治山工法の変遷と特徴. 北大農演報, 35-2.
- 36) 木下良作 (1955): サビ川における砂礫堆と掃流うねりの現象について. 新砂防, 19.
- 37) 木下良作・三輪 弼 (1974): 砂レキ堆の位置が安定化する流路形状. 新砂防, 94.
- 38) 吉良八郎 (1972): ダム築造に伴う河床変動と河床砂れき特性の変化について. 新砂防, 82.
- 39) 小橋澄治・武居有恒 (1978): 土石流発生とその条件 (4). 一流出土砂量について一, 新砂防, 109.
- 40) 小出 博 (1954): 日本の水害. 一天災か人災か一, 東洋経済新報社.
- 41) 国土庁 (1980): 防災白書 (昭和55年版). 大蔵省印刷局.
- 42) 黒田和男 (1968): 土砂生産流出の連続性と周期性について. 新砂防, 68.
- 43) 町田 洋 (1983): 立山・鷲くずれ. 地理, 28-4, 古今書院.
- 44) 水谷武司 (1979): 急勾配溪流の縦断形状とそれに示されている土砂流送形式の差異について. 新砂防, 112.
- 45) 門間敏一 (1973): ダム上流における土石移動の形態的研究. 北大卒論.
- 46) 村野義郎 (1966): 土砂流出について. 新砂防, 62.
- 47) 村野義郎 (1976): 土砂の生産・流出. 砂防工学 (8版), 朝倉書店.
- 48) 新沢直治 (1952): 崩壊と堆積. 新砂防, 9.
- 49) 奥村武信 (1974): 山地流域における土砂流出過程について. 新砂防, 94.
- 50) 奥村武信 (1978): 砂防計画における流出土砂量. 新砂防, 107.
- 51) 大石道夫・榎本 真 (1966): 砂防における地形調査試案 (II). 新砂防, 62.
- 52) 大石道夫・榎本 真 (1968): 土砂生産流出の連続性と周期性について. 新砂防, 68.
- 53) 大久保 駿 (1970): 流出土砂量について. 一従来の研究の紹介一, 土木技術資料, 12-7.
- 54) 大久保 駿 (1971): 流出土砂量の時系列変化についての一考察. 土木技術資料, 13-5.
- 55) 林野庁治山課 (1968): 荒廃危険地域の判定法. 一荒廃危険地域対策調査第1部一, 治山事業調査報告 XI.
- 56) 林野庁治山課 (1971): 山地荒廃危険地の予測. 一荒廃危険地域対策調査第2部一, 治山事業調査報告 XI.
- 57) 笹 賀一郎 (1979): 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.
- 58) 笹 賀一郎・新谷 融・小菅尉多 (1980): 十勝岳溪流における土石流段丘の堆積・洗掘区分と土石移動. 昭和55年度砂防学会研究発表会概要集.
- 59) 瀬尾克美 (1977): 砂防ダム堆積土砂排除工事 (いわゆる除石工) について. 新砂防, 104.
- 60) 清水 宏 (1982): 溪床堆積土石の滞留期間と流域の土石移動特性について. 新砂防, 122.
- 61) 清水 宏 (1982): 溪流における砂防計画手法に関する研究. 北大農演報, 40-1.
- 62) 田畑茂清 (1969): 流砂の形態とその堆積とその堆積特性について. 新砂防, 74.
- 63) 田畑茂清・市ノ瀬榮彦 (1972): 溪床幅, 溪床勾配の変化が土石流堆積におよぼす影響について. 新砂防, 85.

- 64) 高橋 盛 (1971): 河床堆積地の解析による土石移動過程. 新砂防, 80.  
 65) 高村舜介 (1968): 土砂生産流出の連続性と周期性について. 新砂防, 68.  
 66) 武居有亘 (1971): 河床縦断形の変動. 新砂防, 78.  
 67) 武居有亘・小橋澄治 (1980): 土砂災害. 「地すべり・崩壊・土石流」(監修: 武居有亘) 鹿島出版会.  
 68) 釣谷義範・五十嵐 武 (1971): 河床縦断形の変動. 一常願寺川の変動について一, 新砂防, 78.  
 69) 宇高一雄 (1975): 砂防ダムの土砂調節機能. 北大卒論.

### Summary

This report is concerned with the actual condition of bed-load movement in a torrent stream that still defies full understanding because of the complex nature of the variables involved. The authors have been studying about channel characteristics dealing with repetitions of bed-load movements in channels as one of the processes of geomorphological transition. A certain series of channel-bed deformations caused by flood conditions has been surveyed and the actual conditions of deposition behind sabo-dams were investigated regularly, in active channels which were influenced by repetitions of bed-load movements, especially such as debris flow (Table 1).

The investigation field, the Nukkakushi-Furano River, is located in the central part of Hokkaido (Fig. 1). There is an active volcano nearby, Mt. Tokachi (2077 m), which erupted twice in this century, in 1926 and 1962. The Nukkakushi-Furano River flows down from a crater and flows into the Sorachi River which is a tributary of the Ishikari River.

The investigation was performed particularly along the 4 km section above No. 5 sabo-dam, D-5, which has an elevation of 870 m (Fig. 2). In the study section, which had an average slope of 12.3%, and a watershed area of 7.72 km<sup>2</sup>, six sabo-dams were built from 1967 to 1974 (Table 6). The sediment capacities of the six dams were estimated to range from 19,000 m<sup>3</sup> to 63,000 m<sup>3</sup>.

The deformation of the channel-bed was measured after each movement in two sections by cross-sectional levelling on 12 cross-lines, each with fixed points. One section extended about 450 m up from D-1, (S-I), and the other about 660 m up from D-R, (S-R) (Table 2).

Channel-bed deformation occurred eight times in S-R from 1974 to 1981, and nine times in S-I from 1972 to 1981 (Table 3).

The degree of deformation was measured by the cross-sectional area ( $DA$ : deformation area in cross-section) that was enclosed by the cross-lines before and after the deformation (Max. of  $DA$ , S-R: 12~84 m<sup>2</sup>, S-I: 6~48 m<sup>2</sup>) (Table 4, Fig. 6).

The survey sections were classified into deposited sections and scoured sections, both of which were of various lengths (Deposited length (max.), S-R: 40~270 m, S-I: 25~290 m. Scoured length (max.), S-R: 40~470 m, S-I: 25~165 m) (Table 5, Fig. 8). I-74-1: In a zone shorter than 300 m behind D-1, deposited and scoured sections spaced three times in alternate position. I-74-2: As a good contrast, the single deposited section was longer than 250 m and the deformation area in cross-section was much larger than I-74-1 (Fig. 12).

Dams, except D-R, were built along the upper stream, one after another. The surfaces of deposits behind the sabo-dams, except those behind D-R and D-1, were divided into two parts (Table 7, Fig. 9): lower parts (sloping: 1/56~1/22) and upper parts (sloping: 1/13~1/11). The lower parts consisted mainly of sand and gravel whose maximum diameters were in the

approximate range of 20~50 cm. On the other hand, the upper parts consisted mainly of sieve-deposits or groups of boulders whose maximum diameters were in the approximate range of 70~130 cm (Fig. 10, 11).

It is impossible to directly measure the volume of debris flow, so that the flow discharge through each cross-section was estimated with a calculation based on the balance between the deposited and scoured volumes (Fig. 7, 14).

Debris flows may be classified into two types (Fig. 15); One is the movement from an upper channel (S-R: July 1974 and Sept. 1974. S-I: Sept. 1974) and the other is the movement that occurs in the selfsame section by bed-load scouring (S-R: Aug. 1975. S-I: July 1974 and Aug. 1975). Therefore debris flows that moved in S-R did not move continuously to S-I.

This fact means that debris flow has a characteristic of discontinuity which is also assumed by the fact that the deposits behind sabo-dams (D-2, D-3, D-4 and D-5) were divided into two parts because it is presumed that most of the mass of debris did not move out below each dam even after the deposits reached the tops of dams. Also the fact that the sabo-dams, except D-R, were built in the upper stream one after another means the following: Deposited materials from debris flows were supplied from the channel-beds between the dams.

Thus the area where the channel-bed was deformed may be divided into a few sections where debris flows occurred in each and it is identified as a peculiarity of debris movements.

Based on the above assumptions that a torrent stream may be an aggregation of a few sections in which debris flows occur, it was assumed that channel characteristics can be represented by the distribution of sections with their own inherent characteristics. These characteristics may be expressed by the frequency and the volume of debris flows (Fig. 18).

The two surveyed sections, S-R and S-I, were compared being characterized by peak volumes of debris flows (ordinate) and return periods (abscissa) (Fig. 19). Each debris flow was plotted by its volume and the return period corresponding to the volume. This return period consists of the total investigated period, divided by the number of debris flow occurrences that had greater volume than other debris flows. Therefore it seems to show something like the frequency or the probability of debris flows in each section. It suggests that each section has specific characteristics, which means here the measure of the probability of debris flow or the measure of the instability of bed-loads. For example, a debris flow with a volume of 5,000 m<sup>3</sup> corresponds to the one that occurs once in shorter than three years in S-R but once in eight to nine years in S-I.

These relationship can be expressed using the following equations:

$$\text{S-R: } \log V_p = 2.99 + 1.54 \log T \quad (r = 0.98)$$

$$\text{S-I: } \log V_p = 2.50 + 1.34 \log T \quad (r = 0.99)$$

$T$ : return period

Incidentally it is presumed that the description of stream-channel characteristics is needed not only for planning, but also for evaluating sabo works. Further investigations are evidently needed for a through knowledge of channel characteristics related to the discontinuous occurrence and movement of debris flows, including the effect of sabo-dams that change or improve these characteristics.

付表-1 Profile of channel bed deformation in S-R

line	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distance from D-R (m)	15	65	115	165	215	246	296	344	433	510	584	635
Distance between lines (m)		50	50	50	50	31	50	48	89	77	74	51
Width (m)	36.0	38.5	38.0	36.5	29.0	30.0	32.5	32.5	14.0	16.5	17.0	21.0
Border (m)		40	90	140	190	230.5	271	320	388.5	471.5	547	609.5
Bound length (m)	40	50	50	50	40.5	40.5	49	68.5	83	75.5	62.5	51
R-74-1												
DA (m <sup>2</sup> )			13	-2	2	0	5	4	3	-1	7	6
DV (m <sup>3</sup> )			650	-100	80	0	250	270	250	-80	440	310
FD (m <sup>3</sup> )		1000	1650	1550	1630	1630	1880	2150	2400	2320	2760	3070
DH (m)			0.3	-0.1	0.1	0	0.2	0.1	0.2	-0.1	0.4	0.3
R-74-2												
DA (m <sup>2</sup> )			84	79	27	30	-47	42	23	27	0	4
DV (m <sup>3</sup> )			4200	3950	1090	1210	-2300	2880	1910	2040	0	210
FD (m <sup>3</sup> )		2500	6700	10650	11740	12950	10650	13530	15440	17480	17480	17690
DH (m)			2.2	2.2	0.9	1.0	-1.4	1.3	1.6	1.6	0	0.2
R-75												
DA (m <sup>2</sup> )	37	30	81	26	-22	-7	-23	-30	-24	-36	-13	-4
DV (m <sup>3</sup> )	1480	1500	4050	1300	-890	-280	-1130	-2060	-1990	-2720	-810	-200
FD (m <sup>3</sup> )	1750	3230	4730	8780	10080	9190	8910	7780	5720	3730	1010	200
DH (m)	1.0	0.8	2.1	0.7	-0.8	-0.2	-0.7	-0.9	-1.7	-2.2	-0.8	-0.2
R-76												
DA (m <sup>2</sup> )	8	-13	-58	-25	-3	-5	9	0	0	11	4	2
DV (m <sup>3</sup> )	320	-650	-2900	-1250	-120	-200	440	0	0	830	250	100
FD (m <sup>3</sup> )	4800	5120	4470	1570	320	200	0	440	440	440	1270	1520
DH (m)	0.2	-0.3	-1.5	-0.7	-0.1	-0.2	0.3	0	0	0.7	0.2	0.1

河床変動とダム堆砂からみた土石移動過程と流域特性 (坂本・新谷)

line		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
R-77	DA (m <sup>2</sup> )	-12	-2	-1	12	-3	3	0	-3	2	0	0	0	
	DV (m <sup>3</sup> )	-480	-100	-50	600	-120	120	0	-210	170	0	0	0	
	FD (m <sup>3</sup> )	630	150	50	0	600	480	600	600	390	560	560	0	0
	DH (m)	-0.3	-0.1	0	0.3	-0.1	0.1	0	-0.1	0.1	0	0	0	0
R-78	DA (m <sup>2</sup> )	36	13	0	-6	2	-4	-1	7	3	3	0	0	
	DV (m <sup>3</sup> )	1440	650	0	-300	80	-160	-50	480	250	230	0	0	
	DF (m <sup>3</sup> )	0	1440	2090	2090	1790	1870	1710	1660	2140	2390	2620	2620	2620
	DH (m)	1.0	0.3	0	-0.2	0.1	-0.1	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0
R-79	DA (m <sup>2</sup> )	30	-5	-3	-1	2	0	-3	-2	-1	0	-2	0	
	DV (m <sup>3</sup> )	1200	-250	-150	-50	80	0	-150	-140	-80	0	-130	0	
	FD (m <sup>3</sup> )	0	1200	950	800	750	830	830	680	540	460	460	330	330
	DH (m)	0.8	-0.1	-0.1	0	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.1	0	-0.1	0	0
R-80	DA (m <sup>2</sup> )	32	-22	-8	12	-14	-2	6	0	-1	1	1	-4	
	DV (m <sup>3</sup> )	1280	-1100	-400	600	-570	-80	290	0	-80	80	60	-200	
	FD (m <sup>3</sup> )	270	1550	450	50	650	80	0	290	290	210	290	350	150
	DH (m)	0.9	-0.6	-0.2	0.3	-0.5	-0.1	0.2	0	-0.1	0.1	0.1	-0.2	0

DA: Deformation area in cross-section.

DV: Deformation volume = DA × Bound length.

FD: Flowed discharge.

DH: Deformation height of average bed level = DA/Width.

付表-2 Profile of channel bed deformation in S-I

line		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Distance from D-I (m)		25	50	75	100	125	150	200	230	265	305	360	420	
Distance between lines (m)		25	25	25	25	25	50	30	35	40	55	60		
Width (m)		66.0	59.4	39.6	26.2	24.6	28.2	22.4	16.6	17.6	17.4	13.2	29.8	
Border (m)		37.5	62.5	87.5	112.5	137.5	175	215	247.5	285	332.5	390		
Bound length (m)		37.5	25	25	25	25	37.5	40	32.5	37.5	47.5	57.5	60	
I-72-1	DA (m <sup>2</sup> )	-10	32	-9	4		-4	-6	0	1	2	2	-2	
	DV (m <sup>3</sup> )	-380	800	-230	150		-200	-240	0	40	100	120	-120	
	FD (m <sup>3</sup> )	380	0	800	570	720	520	280	280	320	420	540	420	
	DH (m)	-0.2	0.4	-0.2	0.2		-0.1	-0.3	0	0.1	0.1	0.2	-0.1	
I-72-2	DA (m <sup>2</sup> )	18	-5		-4		5	3	-3		-4	-2	5	
	DV (m <sup>3</sup> )	680	-190		-200		250	120	-160		-260	-120	300	
	FD (m <sup>3</sup> )	0	680	490		290	540	660		500	240	120	420	
	DH (m)	0.3	-0.1		-0.2		0.2	0.1	-0.2		-0.2	-0.2	0.2	
I-73-1	DA (m <sup>2</sup> )	2	48	28	36	20	6	3	3	0	-4	2	-8	
	DV (m <sup>3</sup> )	80	1200	700	900	500	230	120	100	0	-190	120	-480	
	FD (m <sup>3</sup> )	0	80	1280	1980	2880	3380	3610	3730	3830	3830	3640	3760	3280
	DH (m)	0	0.8	0.7	1.4	0.8	0.2	0.1	0.2	0	-0.2	0.2	-0.3	
I-73-2	DA (m <sup>2</sup> )	5	2	-3	-2	-6	2	2	-1	-2	0	-2	0	
	DV (m <sup>3</sup> )	190	50	-80	-50	-150	80	80	-30	-80	0	-120	0	
	FD (m <sup>3</sup> )	110	300	350	270	220	70	150	230	200	120	120	0	0
	DH (m)	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0	-0.2	0	

河床変動とダム堆砂からみた土石移動過程と流域特性 (飯本・新谷)

line		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I-74-1	DA (m <sup>2</sup> )	3	7	-1	2	1	-3	3	-2	-3	0	-4	0	
	DV (m <sup>3</sup> )	110	180	-30	50	30	-110	120	-70	-110	0	-230	0	
	FD (m <sup>3</sup> )	60	170	350	320	370	400	290	410	340	230	230	0	0
	DH (m)	0.1	0.1	0	0.1	0.1	-0.1	0.1	-0.1	-0.2	0	-0.3	0	
I-74-2	DA (m <sup>2</sup> )	36	11	36	28	31	19	15	13	4	-3	-9	-9	
	DV (m <sup>3</sup> )	1350	280	900	700	780	710	600	420	150	-140	-520	-540	
	FD (m <sup>3</sup> )	0	1350	1630	2530	3230	4010	4720	5320	5740	5890	5750	5230	4690
	DH (m)	0.5	0.2	0.9	1.1	1.3	0.7	0.7	0.8	0.2	-0.2	-0.7	-0.3	
I-75-1	DA (m <sup>2</sup> )	14	2	-12	0	0	0	-15	-2	-3	-1	0	8	
	DV (m <sup>3</sup> )	530	50	-300	0	0	0	-600	-70	-110	-50	0	480	
	FD (m <sup>3</sup> )	550	1080	1130	830	830	830	830	230	160	50	0	0	480
	DH (m)	0.2	0	-0.3	0	0	0	-0.7	-0.1	-0.2	-0.1	0	0.3	
I-75-2	DA (m <sup>2</sup> )	-7	9	4	-4	-8	-3	6	-6	-1	1	-2	1	
	DV (m <sup>3</sup> )	-260	230	100	-100	-200	-110	240	-200	-40	50	-120	60	
	FD (m <sup>3</sup> )	410	150	380	480	380	180	70	310	90	70	120	0	60
	DH (m)	-0.1	0.2	0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.3	-0.4	0.1	0.1	-0.2	0	
I-80	DA (m <sup>2</sup> )	10	12	0	-2	-1	-8	-5	-4	-4	1	-3	-4	
	DV (m <sup>3</sup> )	380	300	0	-50	-30	-300	-200	-130	-150	50	-170	-240	
	FD (m <sup>3</sup> )	540	920	1220	1220	1170	1140	840	640	510	360	410	240	0
	DH (m)	0.2	0.2	0	-0.1	0	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.1	-0.2	-0.1

DA: Deformation area in cross-section.

DV: Deformation volume= $DA \times$  Bound length.

FD: Flowed discharge.

DH: Deformation height of average bed level= $DA/$ Width.



写真一1 スツカクツ富良野川の溪床状況 (S-R, line 7)  
Photo 1. Channel bed of Nukkakushi-furano River (S-R, line 7).



写真一2 堆積と洗掘 (S-I, line 4)  
Photo 2. Deposition and scouring (S-I, line 4).



写真一3 堆積地の洗掘 (S-I, line 8)  
Photo 3. Scouring of the deposit (S-I, line 8).





写真-4 洗掘による溪床低下 (S-R, line 10)

Photo 4. Channel bed lowering by scouring (S-R, line 10).



写真-5 砂防ダムの堆砂状況 (D-1, 施工後13年)

Photo 5. Deposition of Sabo dam reservoir (D-1, 13 years after construction).



写真-6 砂防ダム堆砂状況 (D-4, 施工後9年) 堆砂面の区分が認められる

Photo 6. Deposition of Sabo dam reservoir (D-4, 9 years after construction).