土石流の研究

奥田 節夫* 諏訪 浩** 横山 康二*
枝川 尚資*

Study of Rocky Mudflow

By

Setsuo OKUDA, Hiroshi SUWA, Kōji YOKOYAMA,
Hisashi EDAGAWA

Summary

It is a very urgent subject for our country to survey physical process of rocky mudflow which has been causing serious damages in mountainous regions every year.

There seems to be various methods to approach the essential phenomena of rocky mudflow, and field survey after the occurrence of mudflow or experimental study of mudflow has been comparatively well undergone as an effective method. But a direct observation has been hardly planned on moving process of actual mudflow because of the danger of observer and difficulty of recording.

Considering above situation, in order to carry out a systematic and exact observation on moving state of rocky mudflow, a new synthetic observation system has been developed by Mudflow Research Group.

This observation system consists of velocity sensors connected with time recorder for the measurement of local variation of front velocity and 8 mm cine cameras, 16 mm cine camera, videocamera, a pair of stereo cameras to analyze the dynamic movement of mudflow front, and strain gauge to record the impact force of mudflow. All these instruments are ready for automatic recording.

In addition to above system, rain gauges and mud samplers were set in the same observation area to study occurrence condition and physical property of flowing substance.

After the preliminary test in 1970, a field test of whole system was carried out in 1971 at Valley Kamihori on eastern slope of Mt. Yake, North Japan Alps, Nagano Prefecture.

In the morning on 6th Sept. 1971, our new system succeeded in recording the motion of rocky mudflow several times, and valuable information about it was got from this record in relation to hydrological and microtopographical conditions.

A general explanation on the observation in 1971 are described in this paper, accompanied with some reviews of present state of mudflow research.

* 京都大学防災研究所

** 京都大学大学院理学研究科

まえがき

地形の峻しいわが国では豪雨による急激な水の供給を受けて、山間の土砂が流動化し、非常な勢いで下流の村落などを襲う災害がしばしば起っている。近年はとくに山麓への居住地域の拡大や道路網の拡充がこのような災害による人命や財貨の損失に拍車をかけている。

この泥水と砂礫の一体となつた流れを土石流と呼ぶ。土石流による災害を防ぐには、土石流の発生を源において抑止することが理想的ではあるが、数多くの発生予想域でこれを実現することは非常に難しい。そこで当面は一旦発生した土石流を抑制し、危険域には適切な防止策を施すことを考えるべきであろう。そのためには土石流の実態と力学的メカニズムを明らかにしなければならない。土石流の研究は現地観測や調査によつて実態を調べるとともに、模型実験や数値シミュレーション、さらには理論的解析を経合的に進める必要がある。

近年、内外で土石流の事後調査や実験的研究が行なわれるようになったが、流動している土石流に関するデータは極めて少なかった。そこで、筆者らは防災研の有志で、土石流研究グループをつくり、1970年から土石流計測法の開発に着手し、70年と71年のそれぞれ夏期に長野県上高地の焼岳東麓で土石流の観測を行つた。これについては第Ⅱ章で報告するが、その前に、土石流に関する研究が現在どのように進められているかを簡単に紹介する。

Ⅰ. 土石流研究の現況

1. 土石流の調査および観測

わが国では昔から土石流災害が多く、戦前から、災害が起るたびに大学や行政機関が被害状況を調べるなどの事後調査を行なつてきた。そして、最近では各方面に土石流研究の重要性が認められ、建設省では70年、土石流調査実施要項¹⁾を配布し、全国の諸河川について土石流の総合的調査を開始した。しかし、土石流の力学的なメカニズムを究明するには事後調査では不十分で、実際に流れている状況を観測して流動に関する定量的

なデータを集める必要がある。そこで筆者らは70年から土石流の総合的観測を始めた²⁾が、同じような観測が建設省北陸地建局管内の松本砂防³⁾や立山砂防⁴⁾でも始められている。

一方、外国の例をみると、ソ連ではコーカサス地方などに土石流の多発地帯があり、土石流の分類や地質学的な調査などが行なわれ⁵⁾、土石流の抑止工法が考案されている。またクリミア地方などの土石流観測によると、例えば土石流によつて輸送される巨礫の最大径と水深とがほぼ等しいなどの注目すべき成果が得られているが⁶⁾、流動のメカニズムに迫るような研究はまだ見あたらない。

2. 土石流の実験的研究

洪水流は水が主体であるが、土石流は土砂と礫が主体で、これに水がまざつてかゆ状になつて流動する。また、径が数mもある巨礫が混入することも普通である。そのため、このような複雑な構成物のままでの実験は難しい。以下に紹介する実験ではそれぞれ条件を非常に単純化して土石流のさまざまな性質の解明に近づこうとしている。

まず、大同は「土石流とは常には水流の淘汰を受けていない溪流堆積物が急激な水流の作用を受け、より緩やかな安定斜面に移行する」過程であると考え、傾斜水路内の砂の堆積層が浸透水を受けてすべりを生じ、砂堆として流動化する過程を研究した⁷⁾。同じような水路における砂堆の運動を集合運搬と考え、その運動を解析したものに椿らの研究がある⁸⁾。しかし、これらの研究は、現実の土石流が河床堆積物のほとんど無いところをも流下することを考えると、あらゆる流動を説明するものではない。

さて、大同は土石流の主体は粘土を多量に含んだ泥水であるとし、泥流の流動学的性質と抵抗法則を明らかにした⁹⁾。すなわち、泥流はビンガム塑性流体と考え、流動式中のせん断降伏値と塑性粘度を実験で調べるとともに、粘土粒子が結合してできるフロックの濃度でこれら2つの値を統一的に表わす式を導いたことなどである。

さらに大同は泥流が多量の砂礫や巨礫を輸送または転動する機構を調べている¹⁰⁾。砂礫の輸送については泥流の限界掃流力を表わす式を実験的に

導き、巨礫については水位差による静圧力や流れによる動圧など、これに働くすべての力を考慮し、その安定限界を調べた。

一方、バグノルド¹¹⁾は礫の輸送についての論文で、土石流の先端部に何故巨礫が多く集まるかを推論しているが、この問題は土石流の先端部が何故数mから十数mもの盛り上がりを見せるかという問題とともに非常に面白い事柄である。

以上の研究は多くの面から土石流の解明を試みているが、実験上の制約などのため、実際の現象との間に大きなギャップがあり、これをいかに埋めるかが今後の課題である。

一方、流動の機構はかなり異なると考えられるが、雪崩は質量力によつて斜面を流下する点で土石流と酷似している。雪崩については、スイスのサム¹²⁾やソ連のモスカールフ¹³⁾、さらに坊城¹⁴⁾らがその運動を論じている。彼らは雪崩を斜面上を流下する質点とみなして運動方程式をたて、流速や流走距離などを計算した。ところで、これらの計算では雪崩の質量を一定と考えているが、実際は流下につれて斜面上の雪を巻き込んで増えたり減つたりすると考えられる。土石流についても同様な扱いが可能で、流下中の質量の変化を考慮に入れて解析を進めねばならない。

以上のような土石流に関する研究の現況をふまえて、われわれは先ず正確な土石流の現地観測の必要性を認めてその実施に着手した。以下はその報告である。

II. 焼岳における土石流の総合的観測

土石流はその多くが交通の不便な山間地に局地的な豪雨に際して突発的に発生するため、前もって周到な準備をして待ちかまえていない限り、流動中の記録を得ることは難しい。それ故、今までは土石流についての資料と言えは被災住民や現地砂防工事関係者の話や首尾よく撮れた8mmフィルムなどが挙げられるくらいであつた。これらは定性的な資料にはなり得ても、定量的な科学的資料としては役に立ちにくい。そこで筆者らは1970年から土石流計測システムの開発を始め、夏期には北アルプスの焼岳で土石流の観測を行なつてきた。

計測システム開発の方針としては、偶然の機会に頼らず、危険を冒すことなく土石流の流動態を確実に計測することを目ざし、あらかじめ測定すべき要素を検討し、土石流がいつ発生してもこれらを記録でき、かつ観測者の安全および作業の軽減を図るため、計測システムはなるべく自動化・

表1 観測要素とその特徴および計測方法

要 素		特 徴	方 法
発生条件	微 地 形	溪床、溪岸の形状の大きな変化	測量（地上又は空中）
	堆 積 状 況	発生地域の溪床堆積物の局所性、多様性	踏査、観察（堆積物質判定）、ボーリング
	降 雨	急激な時間変化および局地性に富む強雨	強雨を対象とした雨量計の適正配置
	流 出 量、水 位	短時間内の急激な変化（掃流力強大）	支配断面への特殊水位計と取り付けまたは水位撮影
流動状況	地下水・伏流水	土砂の流動化を起す臨界状態	間隙水圧計、ボーリング
	流 動 形 状	短時間に立体的変化（とくに先端部）	撮影記録（連続立体撮影、特殊標識、夜間は照明利用またはナイト・アイ）
	流 動 速 度	場所的に大きく変化	撮影記録または多段センサー（土石流通過時刻記録）
	流 動 物 構造物への作用	粒度分布の多様性、採泥の危険性 局所的に衝撃的な圧力	特殊採取法（堰堤利用） 歪計、圧痕計のとりつけ
堆積状況	堆積形状と堆積物分布	緩傾斜域（扇状地など）での広範囲分散、局所性、多様性	測量（地上または空中） 堆積物採取、ボーリング

図 1 焼岳東麓の観測地

X: 観測小屋, X, Y, Z, U: 雨量計,
No. 1, No. 2, No. 7: 砂防堰堤
←・→: 土石流先端流速測定域

遠隔操作化することとした。考える測定要素とその特徴および計測方法を表1にまとめる。

観測は70年の部分的テストののち、71年にはシステムを拡充して実施できたので、以下はとくにことわらない限り71年の観測について報告する。なお、71年は建設省松本砂防工事事務所と共同で観測にあたった。

1. 観測の概要

観測を実施した焼岳東麓は山頂付近の火口から噴出する安山岩質の熔岩および角礫を含む泥灰の厚い堆積層から形成されており、図1のように、4つの沢からは、毎年豪雨のたびに多量の土砂が

土石流となつて梓川および大正池へ流れ込んでいするため、土石流最頻発地帯の一つに数えられている。この地域の土石流は規模はあまり大きくはないが、発生頻度が高いという理由などにより筆者らは焼岳を観測地として選んだ。

観測流域とした上堀沢は流路延長が約2.5km流域面積は約0.7km²で平均勾配は0.28である。上流は第1号砂防堰堤で左支と右支に分れているが、左支を対象とした。下流部は旧上堀沢扇状地の右端を流路工に導かれて流下し、この沢から流出する土砂が大正池を避けて下流の梓川へ流れ込むようにしてある。写真1はこの流域を中尾峠

写真 1 中尾峠から見た上堀沢およびその扇状地, 大正池

(図1のZ付近)から眺めたものである。さて、限られた費用と労力では表1に示した計測要素をすべて網羅することはできなかったが、主な計測内容を列挙しておく次のようになる。降雨、流出、土石流先端の流速、流動状況、砂防堰堤の受ける衝撃圧などで、これらの記録は測器類を図1の×地点の観測小屋で集中管理し、なるべく自動的に作動するようにした。その他、採泥や流路の水準測量などを行なった。そして、将来、土石流の模型実験を行なうことを考え、実際の土石流の流速が上流から下流へと流下するにつれてどのように変化するかを多段センサーにより、また、土石流の先端部の形状や規模を立体写真カメラを用いて立体的に計測することの2点にとくに重点を置いた。

以下に計測法について記す。

2. 計測システムの設置

(1) 多段センサーによる流速測定

土石流は非常に大きな掃流力を持ち、流速計などを流路に入れても一瞬のうちに破壊して押し流されるから、その流速の計測には通常の測器を用いずに撮影記録などの方法によることが考えられ

るが、土石流が夜間または濃霧*の中でも発生することを考えると映像記録だけに頼ることはできない。そこで土石流の通過時刻を複数本の検知線** (センサー) で測定するという方法を使用した。観測対象流域の溪床を横切って複数本のビニールコードを適当な間隔をおいて張っておくと、土石流の流下につれて次々に切断されていく。この時刻 (通過時刻) を水晶発振器を利用して正確に電磁カウンターに記録し、土石流先端部の流下速度を追跡する。実際には図1中に一点鎖線で示した1400mの区域に計25本のセンサーを設置して土石流の発生を待った。観測小屋に設置された流速記録装置を写真2に示す。

なお、この方式はセンサー部を単線にするという手直しが必要であったが、土石流の発生により実用に適することを確かめられた。しかし、後にも述べるように今回は一朝に数回の土石流が発生したのに、現在の方式では最初の土石流しか記録できなかった。そこで発生たびに線を張りかえることなく何度もつづけて作動する新しい多段センサーの開発を検討中である。

(2) 流動状況の撮影

* 焼岳では土石流に霧を伴うことが多い。

** われわれはこれを多段センサーと呼んでいるが、この方法の有効性が確かめられてから、松本砂防も浦川の土石流観測に使用するようになった。

a) 撮影の自動化 7号から1号堰堤に到る左岸上にカメラ類を目的に従って図2のように配置し、前述の流速測定装置のリレー回路を共用してすべて自動的に撮影できるようにした。

b) 地上立体写真撮影 土石流の流動状況や巨礫の混在状態、土石流の形状や高さ、あるいはダム等の障害物に衝突する様子や、これを通過かつ落下する模様を定量的かつ立体的に記録解析するためには、シネカメラやモータードライブカメラだけでは限界がある。これに比べて、そのような状態を立体的に撮影し、図化することができれば研究は一段と発展する。

そこで今回は測機舎製立体写真カメラ2台を写真のように設置した。この直下にセンサーが1本敷設されており、土石流がこれを通過する瞬間に2台のカメラのシャッターが同時に切れるように設置した。写真4は平常時にこの立体写真カメラで直下を撮影したもので、被写域には20cm 正方のターゲットを分散配置し、正確にこれらの位置と高さを測量しておいた。この写真と土石流の通過中の写真との2組の写真を図化解析することにより前述の研究目的の一部が達成されることを期待したが、後述するように今回は土石流の発生がまだ暗い早朝であったため撮影できなかった。

なお、今回はガラス乾板式カメラであった

写真2 土石流先端流速記録装置

め、はじめから連続撮影はできない状態であったが、激しく流動する土石流を計測するためには、やはり連続的に立体写真撮影する必要がある。そこで次の機会には精度は落ちるが35mmモータードライブカメラを改良して連続立体写真撮影を行いたいと考えている。また、今のところ図化に耐えうる連続地上立体写真カメラが無いので将来はウィルド製P30を改良して連続的な立体写真撮影を実現したいと考えている。

c) その他の写真撮影 流動状況を測定するために、目的別に5種類計7台のカメラを図2のように配置したが、土石流の発生が早朝であったため露光零で何も記録できなかったが、明るくなつてからはVTRだけ手動にして撮影することができた。

図2 自動計測システムの模式図

写真 3 左岸上に設置された地上立体写真カメラ。雨露を凌ぐためにカバーがかぶせてある。

写真 4 土石流発生前の溪床を写した一組の立体写真

(3) 衝撃圧の測定

土石流による衝撃圧を測るため1号堰堤の左袖に歪計を埋め込み自動的に記録をとつたが、キャリブレーションが終っていないのでその値は分らない。測定法としては、このほかに雪崩の実験に使われている圧痕計の原理が使えないか検討している。

(4) 雨量と水位の測定

土石流は大量かつ急激な降雨による水の供給で土砂が流動化して生じる現象であり、どの程度の降雨で土石流が発生するか、さらに発生渓流域での水収支はどうかを明らかにすることは重要である。降雨については、時間的变化と局地性に富む山岳降雨を対象とするので、細かい観測網を展開

すること、および急激な時間変化が読み取れることが必要である。そこで図1に示すように土石流発生流域に、X、Y、Zの3地点に隔測自記雨量計およびX地点に降雨強度計*を設置した。

水位については、70年に触針型水位計をテストしたところ、1回の土石流で簡単に破壊されてしまった。そこで71年は第1と第7の副堰堤の袖にペンキで目盛りを入れておき、土石流発生時に対岸から駒撮り撮影を行なつたが、他のカメラと同様、今回の記録はとれなかった。

(5) 採泥と巨礫の移動

土石流がいかなる物質の流れであるか、すなわち流動物の含水率、密度、粘性、粒度分布などを調べるには土石流の一部分を採取しなければならない。流下中の土石流に近寄つて採取することは非常に危険なので、図6に示すように第1号堰堤の両袖部にステンレス製の円筒容器（直径12cm 高さ15cm）を埋め込み、泥を採取した。

一方、掃流力を調べるため、目ぼしい巨礫100個にペンキを塗布して色分けしておき、土石流によつていかに流されるかを調べた。

3. 観測成果

図3 一時間降雨量の経過 (1971. 9. 6)

図4 十分間降雨量の経過 (1971. 9. 6)

* 一分間毎に降雨強度が記録される。

1971年は6月上旬に計測機器の設置を完了し、常時観測体制に入ったが、9月になるまであまり雨に恵まれなかった。

9月に入って、4日夜半から始まった前線性降雨は5日夜半から激しさを増し、6日早朝にはまだ暗いうちから大小6回以上の土石流が発生したのでその観測成果を以下に報告する。

(1) 降雨

土石流を引き起した雨についてY, X, U地点の5日9時から6日9時までの総降雨量は、それぞれ282.0mm, 301.0mm, 341.5mmで、高度とともに降雨量の増加していることがわかる*。また上堀沢流域内のY地点は、X地点より150m余り高いだけであるが、降雨量はX地点より約14%も多くなっている。次に3地点の1時間降雨量の経過をみると図3のようになるが、この場合、高さに伴う変化はみられず、またピークの時刻は3地点とも同じである。しかし図4に示したように10分間降雨量の場合にはピーク時刻は下流のX地点に遅れて出現すること、X地点のほうがピークが顕著であることなど両地点のちがいが現われている。次に述べるように土石流の発生は1時間降雨よりも10分間降雨量のほうに関係が深いことか

ら、できるだけ発生地点に近いところに雨量計を設置し、その雨量強度を正確に測らなければならない。

9月6日、上堀沢左支では大きな土石流が3回発生した。図4の矢印はこれらの土石流の発生時刻を示すものである。この図から8~9mm/10min程度の強雨が発生時の引金作用となり得ることがわかる。さらにこの図から10分間降雨量のピークに対応して土石流が周期的に発生している点に著しい特徴が認められる。

(2) 土石流の流下

9月6日の土石流は、リレー回路の時間記録によると、まず午前4時12分に右沢から流下し、つづいて5時20分に左沢から第1回の土石流が発生した。後者については多段センサーで流速を記録できたが、カメラ類には何も記録できなかった。その後、夜が明けてからはVTRを手動にして数回の土石流を記録できた。発生時刻とそれぞれの区間での先端部の流下速度を図5に示した。

このうち、5時20分に発生した土石流は7号堰堤の上下で流速が落ちていないのが注目される。またVTRから測定した値をみると、土石流の大小と同一地点での先端流速の大小の順序がほぼ一

図5 上堀沢河床縦断面図

9月6日発生した土石流先端流速を記す。矢印の右側は発生時刻。

* Z地点の降雨量は、雨量計故障のため記録がとれなかった。

致していることがわかった。

そして、明るくなつてからの肉眼観察と VTR の記録* によると、土石流の特徴は次のようである。まず、その先端部が大きく盛り上がり、横断面は中高のカマボコ型で、流速の大きいものは高さ十数メートルにも及ぶ泥しぶきをあげ、轟音を伴い、辺りの地面に振動を与えながら突進してきた。先端部にはおびただしい数の巨礫が集中し、泥流中に浮いていた。なお、焼岳東麓の沢では、土石流が発生するまでは水の流出はほとんど無く、土石流の発生とともに、これを追うようにして多量の流出が数時間続く。例えば 7 時 20 分の土石流のピーク流量は、その断面と流速からおおよそ $300\text{m}^3/\text{sec}$ 程度であつた。また、ペンキを塗布しておいた巨礫は溪床から 4 m 以上の高所にあつた 3 個を除いて大小にかかわらずすべて流されてしまった。

(3) 河床の変動と採泥結果

土石流の発生前後で溪床の縦断形は、図 5 に示すように激しく変化した。場所によっては溪床が 10 m も洗掘されたことがわかる。この図によると、2 号堰堤より上流では洗掘が進み、下流では洗掘域と堆積域とが入り混じっている。又、図 5 中の地点に洗掘と堆積の境界点がある。ここには

長径が 2 ~ 4 m もある巨礫が集中し、あたかも土石流が停止したかのようなだが、巨礫の集中停滞の機構は不明である。

一方、採泥筒に溜つた土砂の粒度分析結果と密度を図 6 に示す。この図から、今回の土石流の泥は従来の土石流の泥についての粒度分析結果¹⁵⁾と比較して予想外に砂や礫などの粗い部分が非常に卓越していることが注目される。これは、従来分析されてきた土石流のサンプルは土石流の通過後の比較的濃度の薄まった泥水であつたからではないかと考えられる。なお、4 番のサンプルは他と比べて細かい土粒子が卓越しているが、これは 4 番のサンプルが、例外的に濃度の薄いサンプルであつたことと関係があろう。

あとがき

土石流を抑制し、その災害を防止するためにはその発生から流動、減速、停止に到るまでの過程を一貫して解明しなければならないが、今まではこのうち主に流動して通過していく領域を観測の対象域に選び、流動中の土石流の挙動の計測に重点をおいてきた。

土石流の発生については発生地点を予知にくく、発生地域に入るのが極めて危険なため、その

図 6 1 号堰堤で採取した泥の粒度加積曲線。
採取位置を左上部に記す。

* この映像記録は 16 ミリ映画「焼岳の土石流」(建設省松本砂防工事事務所と京都大学防災研究所の共同編集) になっている。

過程を直接に観測することは今のところ非常に難しい。そこで、これまでは降雨などの発生条件を調べるぐらいであつた。しかし、この降雨一つをとつても、前述のように山岳地の降雨の局地性を考えると、もつと多数の雨量計をきめ細かく設置する必要がある。

土石流の発生に対して、流動、減速停止過程は比較的観測し易いし、また現実の問題となるのは、土石流の大きな破壊力の本質は何か、また、一旦発生した土石流が一体どこまで流れていつて被害を及ぼし得るかということである。今までは流動通過域を観測の対象とし、流動状況の計測に重点をおいてきたが次回はこの土石流の流走限界に着目し、上々堀沢（下流扇状地が上堀沢のそれのように人為の手が加えられておらず、自然な流れが観測できる）に観測域を移し、土石流が減速して停止に到る過程を観測したいと考えている。表1には多くの観測要素をあげたが、このうち、今までに実施できたのはほんの一部にしか過ぎない。例えば発生条件についてはボーリング等の方法によつて火山噴出物の特殊な堆積構造と地下水の貯溜状況の關係などを研究してゆきたい。

以上述べてきたように、ここ数年われわれが試みてきた土石流の動的観察も、複雑な土石流現象のほんの一側面をとらえたに過ぎない。さまざまな規模や形態をとつて発生する土石流の実態を総合的に把握するためには、さらに異なつた各地域での観察、計測が、地質、地形、気象、水文、水理などの関連分野の研究者の緊密な協力のもとに進められることが切に望まれる。

謝 辞

観測を遂行するにあつて、多くの方々から大きなご援助と暖かいご協力を賜つた。建設省松本砂防工事事務所には、観測資材の多くをご負担いただき、調査課と焼岳出張所の方々の手を度々煩らわした。又、日々の生活に対しては、松本土木建設 K.K. と東京電力 K.K. 松本電力所の方々の一方ならぬお世話になつた。NHK 科学産業部からは撮影用器材の一部を提供していただき、さらに防災研究所の奥西一夫氏と奥村武信氏には、それぞれ、流速記録装置の電気回路の助言と、観

測器材の設置に際して多大のご援助をいただいた。以上の方々に厚く謝意を表するものである。

なお、本研究の一部は昭和46年度文部省科学研究費補助金特定研究 (1) の交付によつて行われたものである。

参考文献

- 1) 建設省河川局砂防課・土木研究所砂防研究室(1970):「土石流に関する研究」調査実施要領, 第24回建設省技術研究会資料
- 2) 土石流研究グループ(1971): 土石流の総合的観測, 京大防災研年報, 第14号B, pp. 691~705
- 3) 建設省松本砂防工事事務所(1972): 浦川土石流調査, 新砂防, Vol. 24, No. 3, pp. 24~29
- 4) 釣谷義範, 五十嵐武(1971): 河床縦断面の変動——常願寺川の変動について——新砂防, Vol. 23, No. 3, pp. 25~36
- 5) M.S. GAGOSHIDZE, (1969): Mud flows and floods and their control, *Soviet Hydrology*, No. 4, pp. 410~422
- 6) A.N. OLIFEROV (1970): Transport of large rocks by mudflows, *Soviet Hydrology*, No. 2, pp. 121~123
- 7) 大同淳之(1970): 土石流に関する基礎的研究, 京大学位論文, pp. 36~67
- 8) 椿東一郎, 平野宗夫, 田中耕一(1971): 溪谷堆積土砂の流動について, 第8回自然災害科学シンポジウム講演論文集 pp. 79~82
- 9) 矢野勝正編著(1970): 水災害の科学, 技報堂, pp. 442~447
- 10) 7)と同じ文献, pp. 125~171
- 11) R. A. BAGNOLD, (1968): Deposition in the process of hydraulic transport, *Sedimentology*, Vol. 10, No. 1, pp. 45~56
- 12) B. SALM, (1966): Contribution to Avalanche Dynamics, IASH, Snow Avalanche Symposium, pp. 199~214
- 13) Yu, D. MOSKALEV, (1969): Equations of the motion of snow avalanches, Translation from Russian article, National Research Council of Canada, pp. 23~31
- 14) 坊城智広(1971): なだれの運動解析とその応用, 日本雪水学会なだれシンポジウム資料
- 15) 9)と同じ文献, pp. 435