

土石流の計測法に関する研究

土石流研究グループ代表 奥 田 節 夫

§1. 土石流現地計測の意義

わが国においては土石流の発生が毎年多大の被害をもたらしているにもかかわらず、その科学的な調査研究は充分に行なわれているとは云い難い。

とくに水理模型実験の手法による土石流の研究はかなり進められているが、一方現実の土石流に対する定量的測定がほとんど行なわれていないために、これらの実験的成果の有効さを裏づける相似性の検討が遅れている。

また災害科学の立場からみると、理想化、単純化された条件での実験とは、全く別の立場で、さまざまな環境下で発生する「なまの土石流」について、その発生、流動、停止の過程を、環境因子と対応させながら追跡し、発生の条件、流動の規模、流走の限界などについて、現実的な知識を得る必要がある。

すなわち一面では実験と現場の相似則を確立するために、他面では複雑な条件下でのさまざまな形態の土石流の現実の姿を把握するために、どうしても現地における土石流の定量的観察が必要である。

このような目的意識のもとに、主として防災研究所の地形土じょう、災害気候、砂防部門に所属し、土石流現象に深い関心をよせる研究者によって土石流研究グループが組織され、当面の目標として土石流の現地計測を総合的に行なう計測システムの開発をこころみ、部分的ではあるがその現地テストまで実施した。

ここではその開発の経過、現地テストの概要と、今後の問題点について簡単に報告する。

§2. 土石流計測の特殊性

従来行なわれて来た土石流の現地観察例は、災害復旧のための事後調査を除くと、被災地域の住民の目撃、あるいはとくに関心の深い砂防技術者の熱心な努力による撮影記録例などがあげられる。これらの結果は極めて貴重な資料ではあるが、§1で述べたような目的を達成するためには不十分で、断片的データーにとどまることが多い。

観測の成果を充分意義のあるものにするためには、個人の特別な熱意や、偶然のチャンスに頼ることをやめて、安全にかつ確実に必要な要素の定量的測定が出来るような総合的な計測システムの開発に努めるべきである。

土石流の計測は従来一般の河川で行なわれている洪水流観測と共通の面もあるが、とくにつぎのような特殊な問題点について充分留意しなければならない。

- (i) 高地、急斜面での豪雨による降水の特異な分布を正確にとらえること。
- (ii) 溪流の不連続的に変化する流出量を測ること。
- (iii) 溪岸、溪床のたえず変化する形状を測ること。
- (iv) 溪床の複雑な堆積物組成と堆積構造を調査し、その成果を簡潔に表現すること。
- (v) 空間的、時間的に変化にとむ土石流の流動形態を連続的にとらえること。
- (vi) 土石流の掃流力が非常に大きく、流路にセットされた器機類が流失する危険が高いことに注意して特別な計測法を考案すること。

§3. 計測システムの概要とその現地テスト

上述のような計測対象の特殊性にかんがみ、つぎのような方針で計測システムの開発を計画した。

- (i) 土石流の発生、流動、停止の経過を一貫して追跡する。
- (ii) 計測者の安全、作業の軽減をはかって、なるべく自動化、遠隔測定化を進める。
- (iii) 山間での保守の都合を考慮して、点検が簡単で悪天候下で確実に働く器機類を用いる。

このような方針のもとで、昭和45年夏に焼岳東麓上々堀沢において予備的計測をこころみ¹⁾、さらにその成果にもとづいて昭和46年度には Fig. 1 のブロック図に示すような計測システムをつくった²⁾。

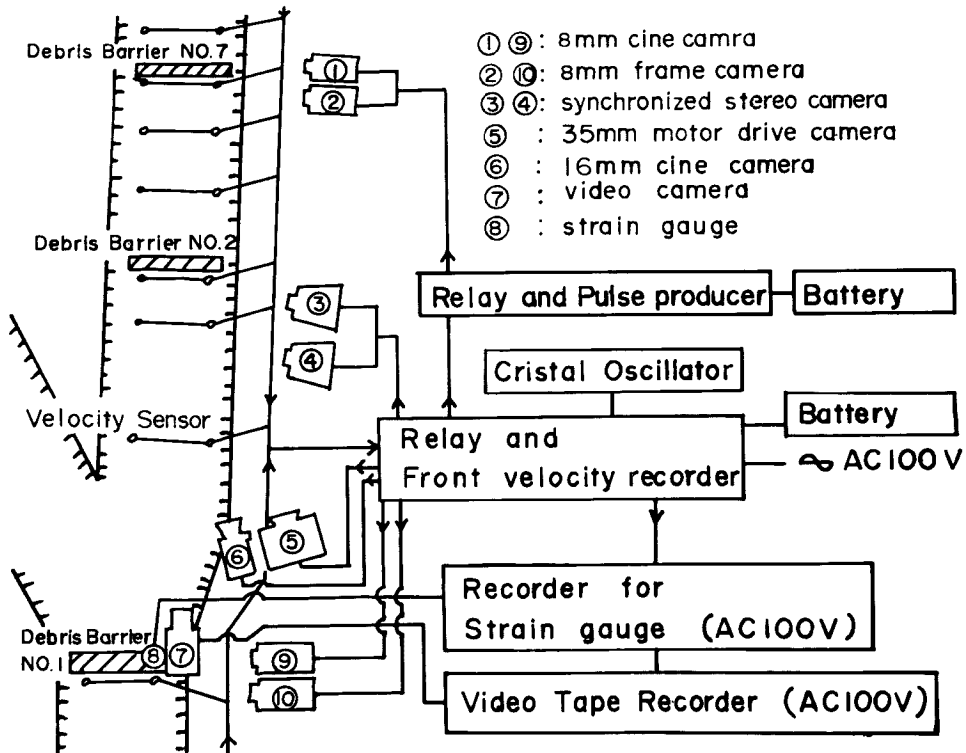


Fig. 1 Block diagram of observation system of mudflow.

このシステムは建設省松本砂防工事事務所の協力を得て、焼岳東麓上々堀沢にセットされ、昭和46年6月から10月中旬にわたって現地テストが行なわれた。

テストのためにシステムをセットした場所は Fig. 2 に示されている。

なおわれわれのグループがとくに現地計測の対象地として焼岳東麓をえらんだ理由としては、(i) 土石流の規模は小さいが発生頻度が高く、例年一つの沢で2～3回位観察のチャンスが期待される。(ii) 現地で砂防工事が行なわれており、器材の運搬、電源の利用、観測員の滞在などに便利である、などの有利な条件があげられる。

つぎに各計測対象要素別に簡単に内容を説明する。

○ 先端速度 (front velocity)

土石流の流動を表現する速度としては、流れを構成する物質の各部分の流速 (mass velocity) と先端の盛り上り部 (構成物質はたえず入れ変わる) の移動する速度 (front velocity) があげられる。

土石流が発生地点から被害地点に到達する時間は front velocity で計算されるから、まずその測定に重点をおき、速度センサーと記録回路を配置した。センサーは細いビニール被覆電線を溪床からほぼ1mの高

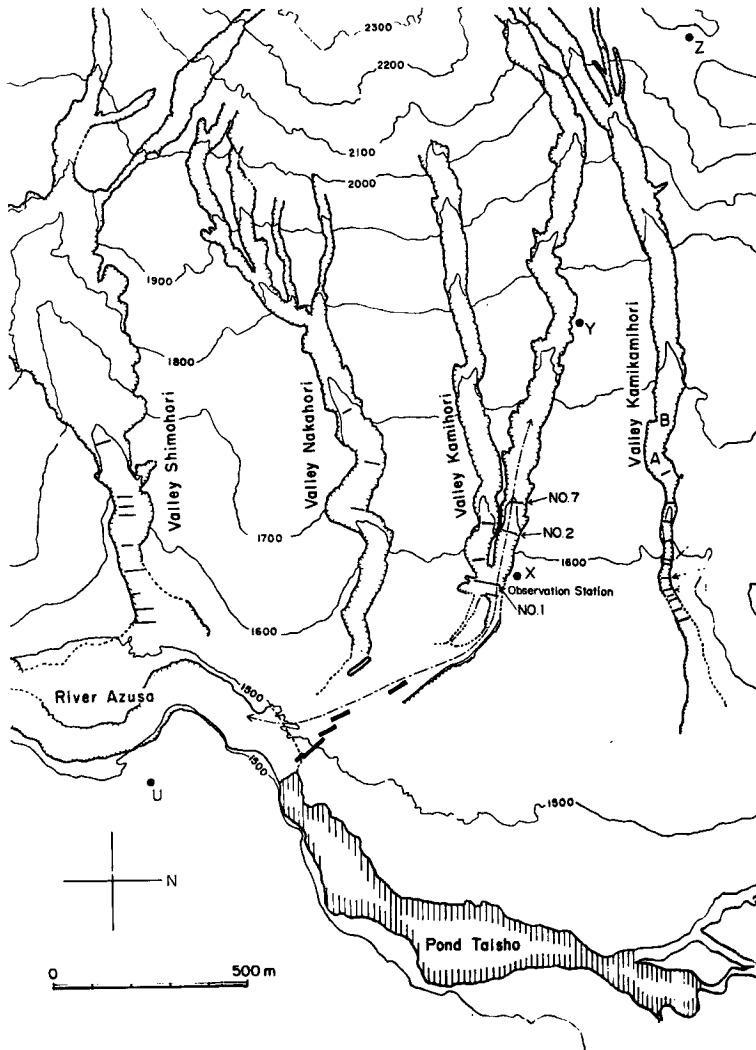


Fig. 2 Location of field observation of mudflow ←-→ object region, ● rain gauge.

さに沢を横断して張っており、これに常に微弱な電流を通しておいて土石流先端がこれに到達して切断すると、ただちに電気回路に信号を送るようになっている。また最上流部に設けられたセンサーが切れると、水晶発振器に連結された電磁カウンターが一せいに動作し始め、下流の各センサーごとに切断されたときの信号を受けて切れた時刻をカウンターの停止した指示値で示す仕掛けになっている。

○ 流動状況撮影

土石流が流動しているときの形状、mass velocity、障害物（砂防ダム、床固め、溪岸など）にぶつかったときの流れの変化などを記録するために Fig. 1 に示すように、堰堤1号から7号の間の左岸に沿って、9台のカメラをそれぞれの目的にしたがって配置し、前述の速度センサーの回路系統を利用して土石流の先端が、撮影範囲に入ったら自動的に撮影を開始するようにした。

とくに土石流先端の盛り上り状況を立体的に正確にとらえるために地上立体写真撮影装置の利用をはかっ

た。

○ 衝 撃 圧

土石流が 1 号堰堤にぶつかるときに作用する衝撃圧の記録をとるために、同堰堤左所で上流側の溪床より高さ 50 cm のところに歪計（松本砂防備品）をはめこみ、上流に土石流が発生したら記録計が作動するようにシステムに組み入れた。

われわれのシステム回路は、かなり自由に計器類をとり入れたり、はずしたりして現場の状況に応じて計測器の組み合わせを変え得ることが長所の一つである。

○ 水 位

前年度は触針型水位計を鋼製パイプを通して堰堤にとりつけたが、1 回の土石流で完全に破壊された。本年度はとくに水位計をとりつけることはやめて、副堰堤のそでの水通しに面した部分にペンキで目盛をつけ、これを前述の撮影回路で 8 ミリシネをコマどりで作動させ、水位変化を映像で記録する方式をとった。

以下は前述のシステム回路とは別であるが、関連データとして重要な計測対象となったものについて説明する。

○ 雨 量

Fig. 2 の X, Y, Z 地点に転倒マス型雨量計をセットし、X, Y は計測室で毎日記録をとり、Z は 1 カ月巻の記録をとった。また強雨時には X 地点で降雨強度計で毎分雨量を測定した。

○ 流動物採取

流動物質の物性は土石流の動態を大きく左右するので、これを調べるために土石流先端部の泥塊の採取をこころみた。具体的には 1 号堰堤の両そでの異なる高さのところに鉛直に穴をあけ、高さ 15 cm, 直径 10 cm の円筒形採泥筒をこの穴にいれておき、土石流通過後この筒をとり出して内容物を別のポリびんに移しかえるようにした。

○ 巨礫の移動

土石流の掃流力の程度を知り、また巨礫の移動距離の値を求めるために、直径 0.5~3 m 程度の礫をペンキで着色しておき、土石流発生後流路に沿って歩いて着色礫の位置を確認するようにした。

○ 溪流の微地形変化

土石流の発生にともなう溪流沿いの微地形変化を測定するために、発生の前後に溪流の縦横断測量を行なった。

§4. 1971 年度の計測の主要成果と問題点

上述の計測システムを用いて昭和 46 年 9 月 6 日に発生した土石流をとらえて計測した結果と、この計測によって明らかになったシステムの問題点を説明する。

9 月 4 日から 7 日にかけてこの流域に 350 mm をこえる大雨が降り、観測対象の上堀沢左支には 6 日午前 5 時 20 分、7 時 20~30 分（数回波状に発生）、10 時 50 分頃にわかれて大きな土石流が発生した。これに対して計測システムは自動的に作動したが、後に述べるような欠点のために十分に機能を発揮したとは云えないが、部分的には貴重な資料を得ることに成功した。つぎに、3 の項目と同じ順に従って報告する。

○ front velocity（土石流先端の流下する速度）

このときに測定した front velocity の値は Fig. 3 内に←印のところに測定時刻とともに記入されている。ただし流速センサーは一度切れると、次に張りかえるまでは役に立たず、2 回目以後の速度はビデオカメラの映像から求めたカメラ視野内の平均流速である。

この速度の値をみると、5 時 20 分発生の土石流ではダムより上流の急勾配のところでは、それより下流にくらべて速度が大きい、ダムのある範囲ではほとんど流速に変化がないこと、また別々の土石流をくらべると同じ 2 号と 7 号堰堤の間の平均流速は大規模な土石流ほど（盛り上りの高いもの程大きいと定義する）流速が高かったことが認められる。

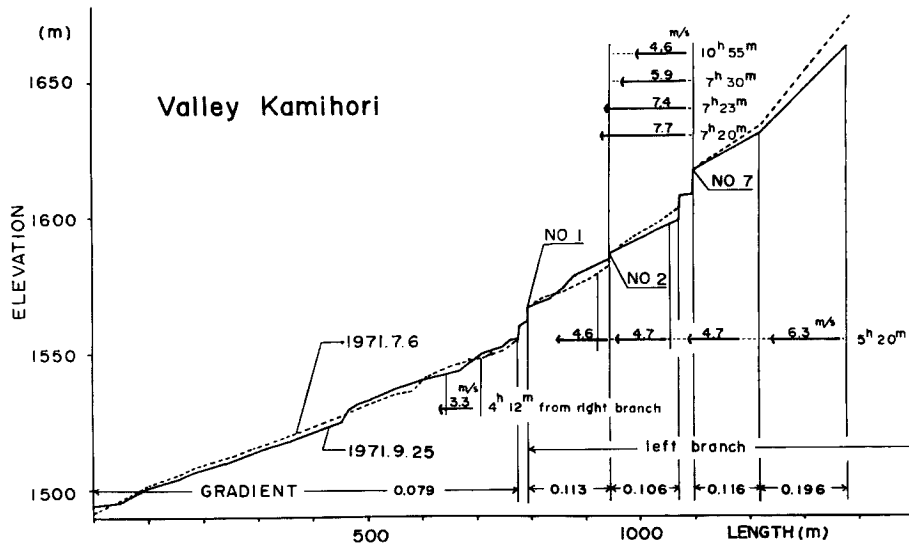


Fig. 3 Change in longitudinal profile of Valley Kamihori caused by rocky mudflow and distribution of front velocity along the valley.

○ 土石流動態の撮影

計測システムに組みこまれたカメラ類は午前5時20分頃の最初の土石流の到達によって、自動的に撮影を行なったが、残念ながら暗かったために映像は得られなかった。

その後すべてのカメラ類を手動に切り換えることは出来なかったが、ビデオカメラと手持カメラで7時20分以後の流動態は撮影することが出来た。

○ 衝撃圧

第1回の土石流による衝撃の記録はとれたが、以後は受圧板が埋れて計測出来なかった。ただし歪計のキャリブレーションが未了で圧の絶対値はまだ判っていない。

○ 水位、流量

水位変化の撮影は前述のように失敗に終わったが、午前6時以後の計測員の目視によると、1号堰堤水通し部で土石流発生前は平均水深3~5cm程度、土石流通過時最高水位（泥水の厚み）2m以上であった。7時20分頃の土石流通過時の流量を平均通水断面積と平均流速から推定すると300~400m³/sec程度であるが、ちなみに rational 公式で降水強度（50mm/hr）、流域面積（0.4km²）からピーク流量を算定すると5.5m³/secであり、土石流発生までは降水はどこかに貯溜され、発生にともなって一時に放出されたようである。

○ 雨量

雨量と土石流の発生との関連性については、別に詳細な報告が行なわれるが、Fig. 4に示すようにとくに10分間平均雨量のピーク（8~9mm/10min）と土石流の発生がよい対応を示している。

○ 流動物採取

前述の採泥筒で土石流先端部の泥がうまく採取され、これについて粒度分析などを行なった結果はFig. 5に示されている。これによると従来考えられていた土石流構成物にくらべて粗粒が多いように思われるが、その差異は今回の採泥法がとくに掃流力の大きな先端部から採取されたことによるものと考えられるが、詳細は今後の研究（とくに先端部とこれにつづく濃泥流との組成上の比較）をまたねばならない。

○ 巨礫の移動

堰堤7号と2号の間の黄色に塗った礫50ヶと堰堤2号と1号の間の白色に塗った礫50ヶを土石流発生後、

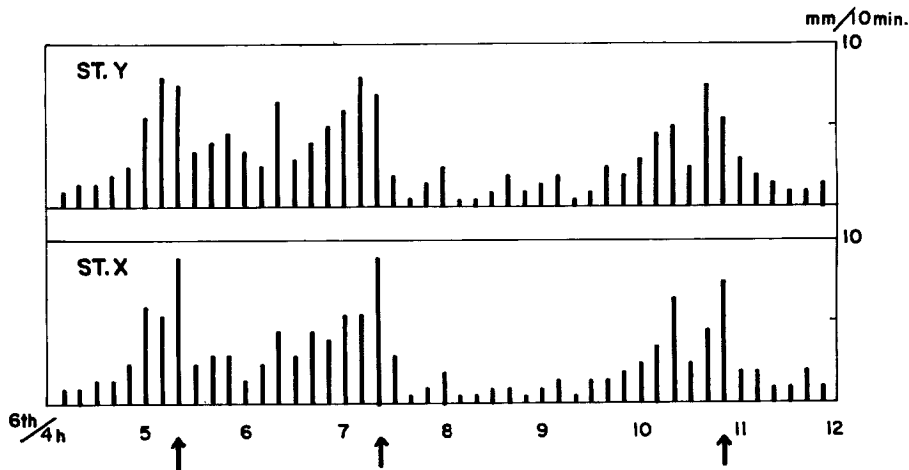


Fig. 4 Rainfall intensity averaged in 10 min. at St. X and Y (Shown in Fig. 1) observed on Sept. 6th, 1971 and occurrence time of mudflow ← mark).

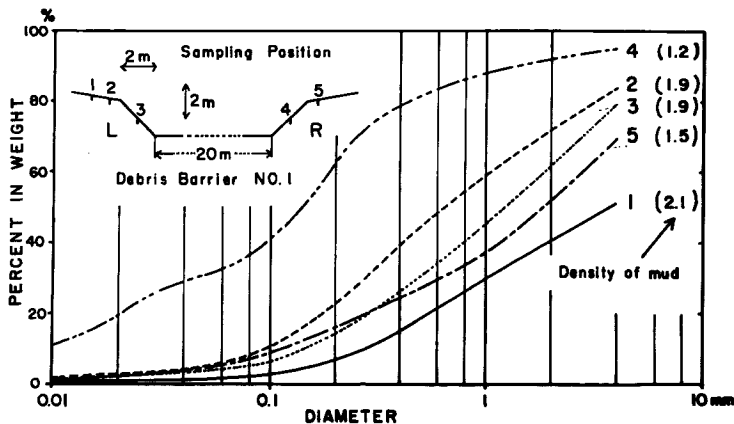


Fig. 5 Position of mud sampling from mudflow head, and diameter distribution, density of the mud.

溪流沿いに歩いて探した結果わずかに黄色礫3ヶが発見された。その位置からみるとすべての礫が下流全域にばらまかれ、梓川本流まで流出したことも想像される。

○ 溪流の微地形変化

土石流発生前後の上堀沢の縦断形状の比較は Fig. 3 に示されている。とくに上流の狭窄部では5 m をこえる溪床の低下がみられ、また下流梓川本流から500 m ほどのところに巨礫(径2 m をこえる)の集中的停止地点があって、溪床高が不連続に変わるなどの特色が認められ、流動態との対応に着目した研究が必要である。

以上各項目別に検討して来たが、本システムの最大の欠点は一度土石流が到来すると、つぎにセンサーをはり直すまで(1～2日の作業を要する)は測定不能であり、連続的に波状に発生する土石流の記録が出来ない点である。この点は光学的なセンサーなどによって改良することが可能であろう。

つぎに夜間の撮影記録であるが、対象地域が広いこと、土石流発生時にしばしば濃霧が溪流沿いに下りて

くることなどのために照明の効果もあまり期待出来ない。しかし部分的な集中照明あるいは特殊な夜間監視装置の利用によってある程度の夜間撮影も可能であろう。

なお昭和47年度は上述の問題点を解決しながら、主として渓流出口の扇状地における土石流の減速、停止過程に重点をおいて計測を行なう予定である。

謝 辞

本研究の一部は昭和46年度文部省科学研究費補助金によって行なわれた。

また現地計測に当っては、建設省松本砂防工事事務所、同焼岳出張所の積極的な御協力をいただいたが、さらに観測員の現地滞在については、東京電力 K. K. 松本電力所 および松本土建 K. K. の御援助を、また一部撮影器材については NHK 科学産業部の御援助をいただいた。

これらの関係諸機関ならびに直接にお世話いただいた諸氏に深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 土石流研究グループ：土石流の総合的観測（その1）。京大防災研年報 14 号 B, p. 691~705 (1971)。
- 2) 奥田節夫・諏訪 浩・横山康二・枝川尚資：土石流の総合的計測システム，写真測量，Vol. 11, No. 1 p. 13~20 (1972)。

A NEW OBSERVATION SYSTEM OF MUDFLOW

By *Setsuo OKUDA*

Delegate of Mudflow Research Group

Synopsis

It is a very important subject for our country to survey physical processes of rocky mudflow causing serious damages in mountaineous regions. In order to carry out a systematic and exact observation on moving state of rocky mudflow, a new synthetic observation system was developed by Mudflow Research Group.

The 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, 35 mm constant interval shot camera, video camera and stereo cameras, which are ready for automatic recording of moving pattern and form of mudflow.

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

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

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

A general explanation on the observation system and a part of the results obtained from field test in 1971 are described in this paper.