

土石流の総合的観測

その2. 1975年焼岳東斜面上々堀沢

奥田節夫・諏訪 浩・仲野公章・横山康二

SYNTHETIC OBSERVATION ON DEBRIS FLOW

Part 2. Observation at the eastern slope of Mt. Yakedake in 1975

By *Setsuo OKUDA, Hiroshi SUWA, Masaaki NAKANO*
and *Kōji YOKOYAMA*

Synopsis

Every summer since 1970, observation had been carried out to measure the flowing state of debris flow on the eastern slope of Mt. Yakedake in Japan Alps. During this period, a new synthetic observation system has been developed and improved which has made us possible to get many physical informations about the flow with automatic and remote-controlled recording.

Last summer, three year project has started in order to investigate the occurrence mechanism of debris flow, and our system extended over all the course of valley Kamikamihorizawa from the upper head to the lower fan. In last rainy season, debris flows have occurred at least eight times on this valley, and the flowing states have been caught by the observation system. From the observation results, occurrence place, frontal velocity, head height of debris flow, amount of erosion by the flow and the motion of large stones at the head of debris flow, etc were clarified and occurrence conditions of the debris flow were examined with reference to hydrological characteristics in that valley.

1. ま え が き

流動中の土石流を計測する目的で1970年夏より、北アルプス焼岳東斜面で始められた観測は1975年夏で6年を経ることとなった。予備的観測¹⁾につづき、5年めまでは渓流域における流動、堆積過程を把えるべく、計測システムの開発、実用化に努めてきた^{2),3),4),5)}。このシステムは観測者の安全を第一とし、観測の成否が偶然性に左右されないで、必要なデータが漏れなく確実に得られるよう、遠隔かつ自動的に作動するように工夫されてきた。

そして昨年度(1975年)からは土石流の発生機構を解明するため、上流域および源流域にまで観測機器を設置し、発生条件に関連するデータの収集にあたった。このように、昨年からは焼岳上々堀沢の源流部から扇状地先端までの全域を観測対象域とすることとなった。この観測期間中に8波以上の土石流が発生し、多くの観測成果が得られた。この結果、土石流は必ずしも源流域で発生するとは限らず、発生・停止・再移動という挙動を繰り返すものも存在することがわかってきた。従って、発生自体の研究も源流域のみに限らず、溪流全域を対象とした観測を必要とすることが明らかになった。

以下に昨年夏の観測システムおよび成果の概要を報告する。

2. 観測の内容

観測はその対象領域により、二つに大別できる。一つは上々堀沢源流域(Fig. 1)を対象としたものであり、他は上々堀沢上流の合流点付近から下流の渓流域(Fig. 3)を対象とするものである。両者の観測システムは合流点付近で密接に継がれており、電氣的に作動する機器は全て遠隔自動操作とし、一部分は手動回路も付加してあるが、いずれも梓川対岸の観測所(建設省松本砂防焼岳出張所)において集中制御される仕組みにされた。

2.1 源流域

前年度の第3支谷(Fig. 1 中の V.3)における予備観測につづき、第1支谷(V.1)および合流点付近(Photo. 1)にも観測域を拡げ、土石流発生位置の確認、溪床変動状況および変動量の把握、発生機構解析のための基礎資料を得べく以下の観測を実施した。なお、これらの項目に関する観測機器類の配置は Fig. 1 に記されている。

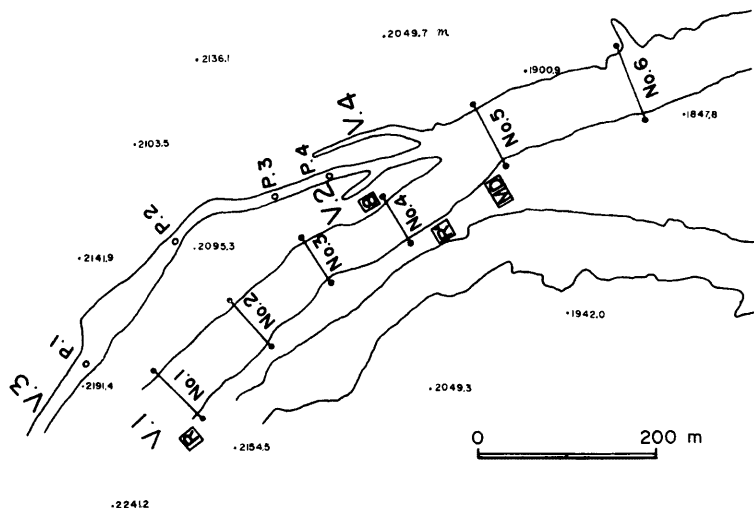


Fig. 1. Location of the observation points at the upper source of valley Kamikamihorizawa.

[R]: rain gauge, [8]: 8 mm cine camera. [MD]: 35 mm motor-drive camera.

(1) 溪床横断測量

図中 No. 1~6 の 6 測点において Fig. 2 に示す方法で谷の横断形を測定した。すなわち谷の兩岸に足場パイプを立て、タワミ量を一定にするべく張力一定の状態メインワイヤーを張る。これに動滑車をのせ、H・メジャー・ロープと水平動のロープで水平座標を決定(2m 間隔)し、各点での溪床深は先端に重錘をつけた V・メジャー・ワイヤーで測定した。

(2) 溪床土中の歪と最高地下水位の測定

土石流の発生を溪床堆積物内のすべり面形成によるものと想定して上記事項の基礎的な調査を実施した。すなわち、図中 P. 1~P. 4 の 4 地点において、歪の測定には長さ 2m の塩ビパイプに定間隔で歪ゲージを貼りつけたものを土中に埋め込み、最高地下水位測定には鉛筆用キャップを定間隔で鉄棒にとりつけたものを

塩ビパイプの中に挿入し、これを地中 2m 地上 50cm の状態にして埋め込んだ。そして降雨の後に、前者は静歪計で測定し、後者は水の溜っているキャップまでの深さを測定した。

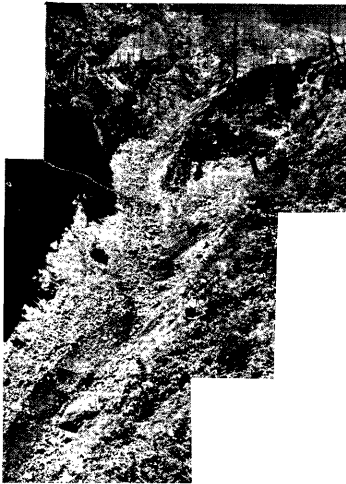


Photo. 1. Confluent area at the upper stream of valley Kamikamihorizawa.

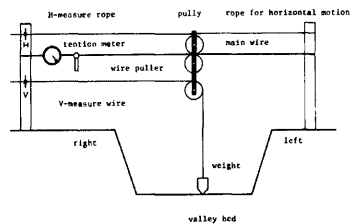


Fig. 2. Measuring method for valley cross section.

(3) 流速測定および映像観測

センサーは先端に石の重錘をつけたワイヤーを溪床上（図中 No.1～6 の 6 地点）へ降ろし、土石流の流下によりこのワイヤーが引っぱられ、岸上のスイッチを作動させる方法をとった。これらのスイッチの作動時刻をイベントマークに記録させるとともに、35ミリモータードライブカメラ（図中 MD）と 8 ミリシネカメラ（図中 [8]）を連動させて土石流発生時の溪床の状況の観察を試みた。

2.2 溪流域

新たに、土石流の発生機構を解明するための手がかりならびに流下を始めた土石流が発達する過程の解明に重点を置き、土石流の発生から停止堆積に到る諸過程を一貫して追跡観測するため、以下の機器を主として上々堀沢に設置した。観測機器およびシステムは今回新たに開発されたものを加え、Fig. 3 に示すように上々堀沢の最上流部までふくめて組織的に配置された。

(1) 土石流先端流速の測定および自動観測システム

土石流の到達を感知するセンサーとしてはワイヤーセンサーとコンタクトセンサー⁵⁾を併用し、土石流先端部の岩塊群の流下速度を追跡記録すると同時に、以下に記す種々のカメラ、泥流流出量測定システムおよび土圧計を自動的に作動させるよう配線された。

とくに、上流の険しい V 字谷の底にセンサーを設置する必要が新たにできたので、設置作業の安全性および、一旦土石流が発生した後のセンサー復旧作業の容易さを考慮し、Fig. 4 に示す垂下式可動型ワイヤーセンサーおよびコンタクトセンサーの設置法を考案し試用した。

(2) 映像観測

まず、上流域には 2 組の 8 ミリデジタルカメラ、9 台の連動 8 ミリシネカメラ、1 台の 16 ミリシネカメ

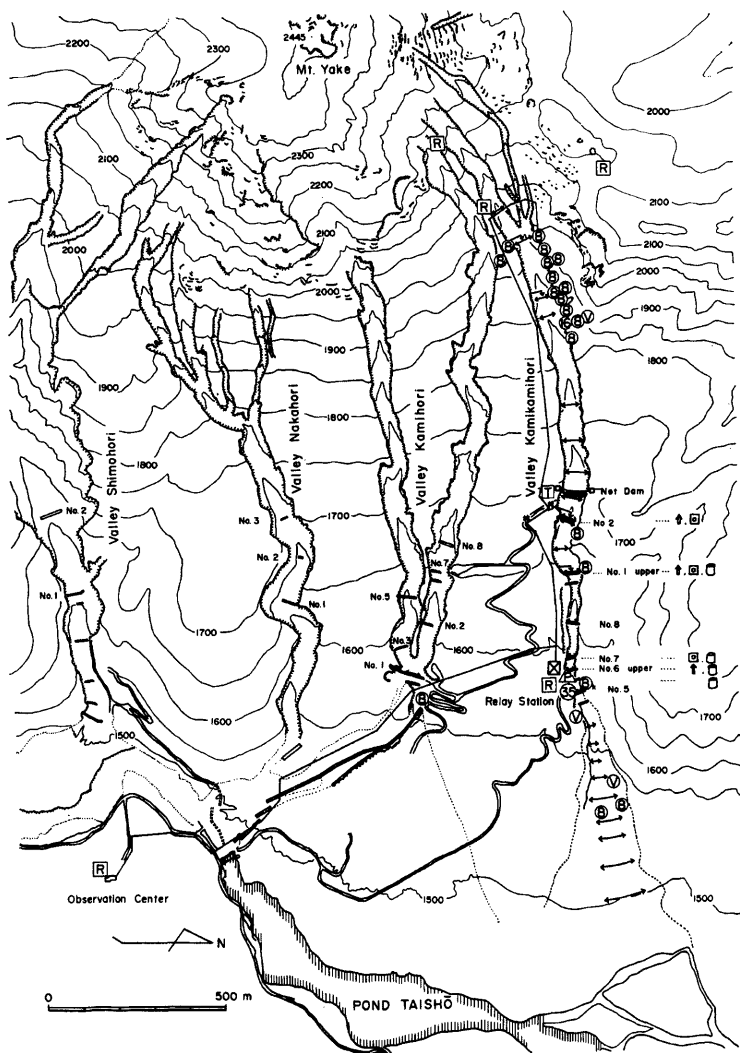


Fig. 3. Observation area at the eastern slope of Mt. Yakedake.

[R]: rain gauge, [A]: discharge measuring system, #: boring well,
 ⑧: 8 mm cine camera, ⑪: 16 mm cine camera, ⑮: 35 mm motor-drive camera,
 V: video camera, ↔: wire sensor, ⌞: contact sensor, ↑: measurement of flow
 height, □: impact pressure gauge, ⊖: mud sampler.

HANG TYPE SENSOR

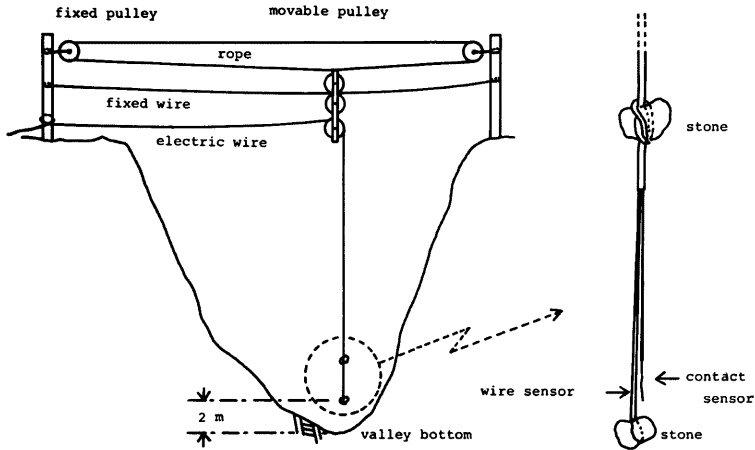


Fig. 4. Setting method for the hang type sensors.

ラ、1台のビデオカメラの計15台のカメラが配された。

このうち8ミリデジタルカメラは定時間隔コマ撮りカメラで、日時分秒がフィルムに記録され、これを1コマ/10分に設定すると25時間にわたり溪流の変化（表流水、溪床の洗掘状態、転石の移動など）を記録できる。

いっぽう9台の連動8ミリシネカメラを左岸上に約50m間隔で設置し、土石流の成長発達過程の追跡と巨礫の運動の解明に備えた。なお、スケールを直接に谷底へ設置する代りに、各カメラから被写界中の数地点までの距離を距離計で計っておき、フィルムの解析に備えた。

つぎに、中・下流域には4台の8ミリシネカメラ、2台のビデオカメラ、1台の35ミリモータードライブカメラを設置し、土石流の流動および堆積過程の撮影に備えた。

(3) ダムや巨岩に対する衝撃力の最大値を測定するために Fig. 3 と Fig. 12 で示される地点に圧痕計⁵⁾が設置され、また衝撃力の動的測定は床固の軸を利用して土圧計により実施された。

(4) 泥流流出量測定

焼岳東斜面の各沢ではかなりの降雨があってもほとんど表流水は現われず、一旦土石流が発生するとこれに引き続いて多量の流出をみるのが普通である。この泥流の流出と土石流の発生との間には密接な関係が予想される。そこで、着色水間歇投下装置と8ミリコマ撮りカメラおよび水位スケールによるシステムで水位と表面流速を連続記録することにより測定する。

(5) 降雨量測定

Fig. 3 に示す計5地点においてデータをとったが、とくに発生域における降雨の実態を正確に調べるため、このうち3地点は最上流域に選ばれた。

(6) 地下水位測定

土石流の発生する直前に谷底の表面下2～3mの土中での地下水位の変動を計ることは、発生機構の考察に重要な意義を有するが、従来の水位計ではこの目的を達することは難かしい。そこで新たに Fig. 5 に示す回路を用いたステップ式遠隔自記水位計を考案開発した。この水位計は(a)水位センサー部が誰にでも

安価に自作でき、土石流の発生により流失しても補充が容易である。(b) 早い水位変化にも精確に対応できるにもかかわらず、長期間の自記記録が可能で、(c) 電圧測定のため、普通のビニール平行電線を使用して測点から 10 km も離れたところで記録できる、などの利点があげられる。

今回は Fig. 3 の下流側ボーリング井戸に水位センサーを挿入し、Fig. 6 に示すような方式で試験的にこれを設置し、観測所において地下水位の監視と記録ができるようにした。

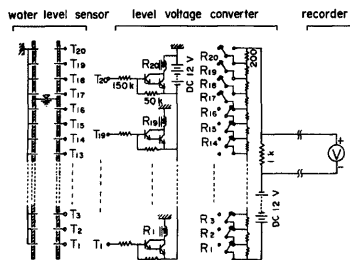


Fig. 5. Electric circuit of a new water level gauge for remote and step-type recording.

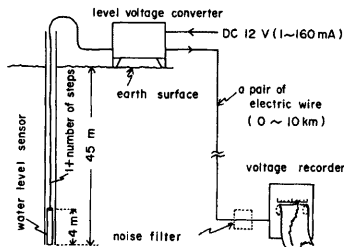


Fig. 6. Measurement system for ground water level by the new level gauge.

(5) 探 泥

土石流先頭部の土砂礫を採取分析するために Fig. 3 および Fig. 14 に示す場所に採泥筒⁵⁾を設置した。

(6) 先端部最大高測定

Fig. 3 に示すダムの各水通し断面を利用し、高さ方向に 20 cm 間隔で 1mmφ のピアノ線を水平に張り、これがどの高さまで切断されたかで土石流先端部の最大盛り上がり高さを測定する。

3. 観 測 の 経 過

観測設備の設営は溪流域においては 6 月末に、源流域においては 7 月末にほぼ完成し、土石流の発生を待った。そして上々堀沢において今回は 3 日に渡り、少なくとも 8 波の土石流（何らかの方法で動的に検知したもの）が発生した。すなわち、7 月 13 日は梅雨末期の前線性の豪雨により、8 月 6 日は気圧の谷に形成された前線に伴う雷雨により、8 月 23 日は兵庫県明石から金沢に抜けた台風 6 号の豪雨により発生したものである。これらの土石流の発生感知日時、規模、感知場所を下に記す。なおセンサーの番号は上流から付した。

7 月 13 日	1 時 55 分	小	2 番センサー	土石流 No. 1
	5 時 12 分	中	11 番 "	2
	6 時 45 分	大	26 番 "	3
	12 時 50 分	小	1 号上流堰堤	4
8 月 6 日	17 時 43 分	小	3 番センサー	5
8 月 23 日	9 時 18 分	小	14 番センサー	6
	9 時 28 分	中	17 番 "	7
	15 時 09 分	大	3 番 "	8

小：センサーを切る規模を扇状地上端（センサー 22 番）まで保てなかったもの

中：センサーを切る規模を扇状地上端まで保てたもの

大：センサーを切る規模を扇状地下端まで保てたもの

4. 成果および考察

前節に記した土石流発生の結果、源流域において土石流の動的計測ではとりたてて成果は得られなかったが、溪床横断測量と最高地下水水位測定については好成果が得られた。また溪流域においては、夜間や濃霧中での映像観測に制限を受けたものの、この6年間を通じて最も好成果を得ることができた⁷⁾。以下に主要な成果を報告し、考察を加える。

4.1 源流域

(1) 溪床横断測量

Fig. 7-1～7-7 は溪床横断測量の結果を横軸に水平距離 (H の読み)、縦軸に深さ (V-H の読み) をとっ

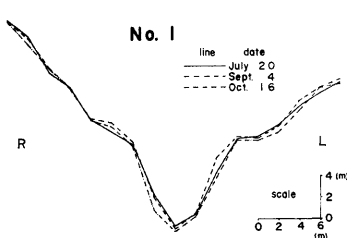


Fig. 7-1. Change in cross section on the upper source of valley Kamikami-horizawa (Fig. 7-1～7-7).

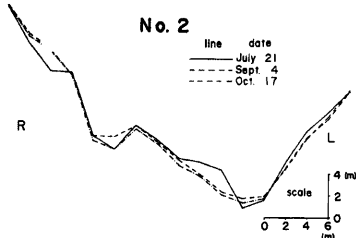


Fig. 7-2.

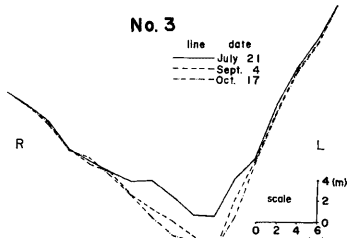


Fig. 7-3.

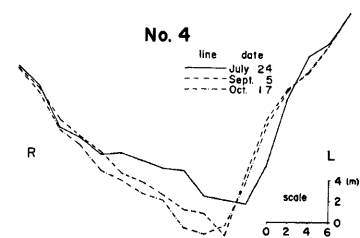


Fig. 7-4.

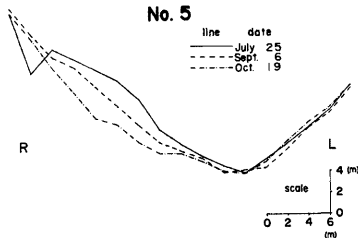


Fig. 7-5.

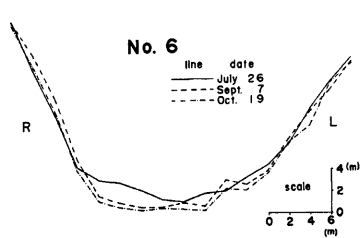


Fig. 7-6.

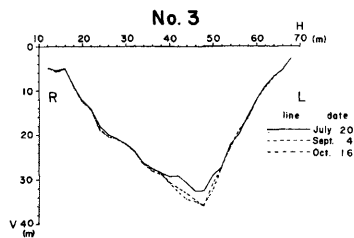


Fig. 7-7.

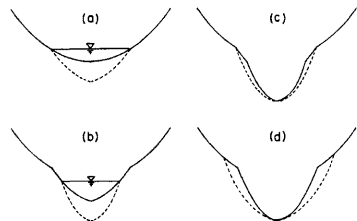


Fig. 8. Model diagram for valley bed erosion.

て示したものである。これらはタワミなどの誤差を修正してないので正確な横断形を示すものではないが、長さ 80m の測線でもタワミ量は高々 2~3m であり、これらの図はほぼ実際に近い形状を示すと見做せよう。さらに溪床の変動量は前後の測定差で表わされるからタワミなどによる一定誤差は消滅する。つぎに Fig. 7-7 をみると、変動量の少ないであろう側壁部では繰り返し測定の値がよく合っていることがわかる。すなわち、この測定法での誤差は±25 cm 程度に抑えられ、溪床部分での変動差 (2~4 m) を検出するには十分利用できよう。

測量は前後 3 回実施したが、前 2 回の間で土石流の発生をみている。Fig. 7-1~7-6 に示された溪床の変動の大小より、土石流の発生地点は第一支谷においては No. 2 と No. 3 の両測線の間であったと考えられる。ただし、No. 5, 6 での変動量が小さいのは 7 月 13 日の土石流が既に溪床を洗掘し、岩盤を露出させていたためである。

また、左岸脚部より右岸脚部により大きな変動がみられるが、これはほぼ東西に走るこの谷では右岸脚部は日蔭になり易く、より多くの残雪が堆積してこれが融けて変動量にきいてきたためであろう。

いっぽう、溪床深部の形状は土石流発生前に U 字状で、発生後には V 字谷状となり、暫らくするとまた U 字谷状に戻ることが定性的に読みとれる。これは Fig. 8 の (a) のように谷が土石流によって破線のように洗掘され、さらに後続泥流により (b) のように深く洗掘されて V 字状を呈するが、土石流の発生しない期間が暫らく続くと (c), (d) のように残雪を含む側壁脚部が沈下するとともに側壁からデブリが供給されて底に溜り、再び U 字状を呈すると考えられる。

さて 8 月 6 日と 23 日の土石流により源流域から排出された土砂量 (浸食量) を概算しよう。 S_n を測線 n

Table 1. Amount of debris discharge from the upper valley bed.

S : change in cross sectional area
 L : distance between adjacent cross sections
 V : volume of debris discharge in each zone

NO.	$S \text{ m}^2$	$L \text{ m}$	$V \text{ m}^3$
2	5		
3	26	100	1,550
4	16	100	2,100
5	20	140	2,520
6	13	160	2,640

Table 2. Maximal height of water level from bed surface (Plus sign is taken for upward value); unit: cm.

point	P. 1	P. 2
date		
Sept. 5	+ 5	+10
Oct. 6	-65	-55
Oct. 14	-50	-40

での横断面での変動面積, L を測線間の距離とすると測線 $n, n+1$ 間の移動土砂量は近似的に

$$V = \frac{S_n + S_{n+1}}{2} \times L$$

で表わせよう。各区間の計算値を Table 1 に示す。従って測線 No. 2~6 における浸食量は $8,810 \text{ m}^3$ となるが、堆積物の下の多量の残雪(雪渓)を考慮すると、実際の土砂排出量はこのうちのある部分であろう。

(2) 土中歪と最高地下水位の測定

歪測定は P. 1, P. 2 において計 4 回実施したが値がばらつき利用できなかった。しかし溪床上のパイプの破壊状況から、8月23日の土石流は Fig. 1 の P. 2 と P. 3 の間で発生したと考えられる。Table 2 は最高地下水位計の測定結果で、溪床上を+, 表面下を-, 単位は cm で表わしてある。ここで注目すべきことは8月23日の土石流の発生した後の測定値が溪床面上にあったことで、土石流の発生時に表流水が或る水深を持って存在したことを示す。これは表流水による掃流現象が拡大発達して土石流が発生した可能性を示している。

4.2 溪流域

(1) 土石流先端の流下速度

Fig. 9 は上々堀沢の溪床縦断面図に、発生流下した土石流の各区間での平均流速を示す。これより ① 過去の土石流でも観察されたように、1号上流堰堤付近まではほぼ土石流の加速領域とみなせる ② 一旦発生した土石流は下流まで一気に流下するとは限らず、途中で消滅したり再移動を開始したりといふかなり複雑な動きをするものもあることがわかった。これは前年までの中・下流だけを対象とした観測では感知できなかったことである。

なお、新しく考案された垂下式ワイヤーセンサーは期待どおり実用に耐えることが認められた。また、コンタクトセンサー⁵⁾は新たなフィルター回路を組み込んだ結果、落雷ノイズに対しても誤動作することがな

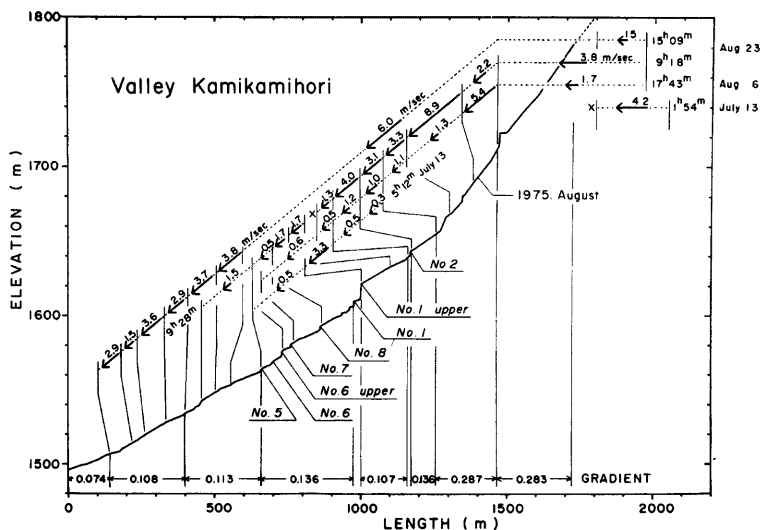


Fig. 9. Frontal velocity change of debris flow along valley Kamikamihorizawa in 1975 and valley bed profile.

くなり、実用化を完了した。Fig. 10 にコンタクトセンサーの新型回路を示す。ここでアースとしては長さ 30 cm, 太さ 1 cm ϕ 程度の鉄棒を地中に埋め込めばよく、センサー延長用単線は普通のビニール単線（非

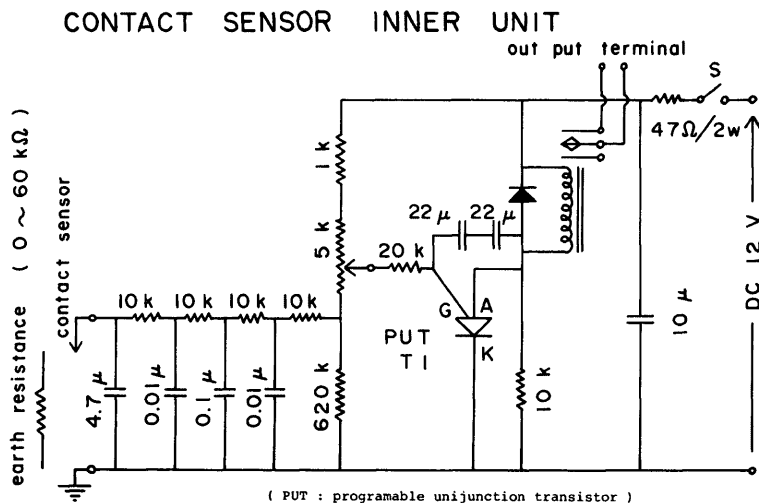


Fig. 10. New circuit of electrical contact sensor.

シールド)でも、1 km 以上もひくことが可能である。

(2) 土石流の流動状況

流動中の土石流の映像記録として、土石流 No. 4 (7月13日発生)を8ミリシネ撮影で、土石流 No. 8 (8月23日発生)はVTRで記録することができた。Photo. 2-1~2-4は土石流 No. 4が8号床固から7号床固を越流して流下してくれる様子の連続スチール写真である。

これ以前に既に3波の土石流が発生し、多量の溪床堆積土砂を排出してしまっていたためか、この土石流は土砂礫成分の比較の少ないタイプとなっている。またこの写真から分るように、土石流にへばり付くように濃霧が流下してきているが、これは土石流が非常に冷たいことを示している。実際、土石流が残っていた巨礫の堆積の隙間にはPhoto. 3に見られるような氷塊が多数堆積していた。これは中・上流域の堆積土砂の下に形成されていた雪溪が土石流の流下につれて破碎され、その構成物として取り込まれたものと考えられる。Photo. 4は7月14日(発生の翌日)に標高1800 m付近の溪床を写したもので、大きく分けて3層の雪溪の断面が露出している(これは過去3年間の積雪に対応するものであろう)。なお、雪溪の厚みは合せて5m程度であった。

また、Photo 5-1, 5-2は8ミリデジタルカメラに記録された溪床の状態であり、土石流通過によって、溪床が著しく浸食されたことがよくわかる。

(3) 土石流先頭部の巨礫の運動⁴⁾

VTRの撮影に成功した土石流 No. 8 (8月23日発生)は焼岳に発生する土石流の典型的なタイプで、その先頭部には多量の巨礫が集まり激しく運動していた。そこで、その運動が正確に読みとれる6個の巨礫について、各々の持つ運動エネルギーと運動量を並進成分と回転成分に分けて計算した結果をFig. 11に示す。個々の巨礫は実際には不定形を呈しているが、計算の都合上、その平均径を使い球体と仮定して近似計算した。この中で、拘束(添字C)という言葉が付してあるのは球体と斜面との接点ですべりの無い仮想的



Photo. 2-1. Debris flow running down over dam No. 7 accompanied with dense fog (12^h50^m, July 13, 1975; Photo. 2-1~2-4 is a series).



Photo. 2-2.



Photo. 2-3.



Photo. 2-4.



Photo. 3. One of ice block contained in the debris flow.

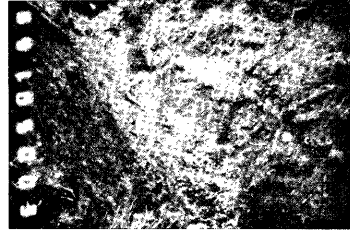


Photo. 5-1. The states of valley bed before (Photo. 5-1) and after (Photo. 5-2) the occurrence of debris flow recorded with 8 mm interval shot camera (Digitaval 8) Photo. 5-1: 18^h50^m, July 5, 1975.



Photo. 4. Valley bed profile after passing of debris flow. Three layers of different snow accumulation are found distinctly (July 14, 1975).

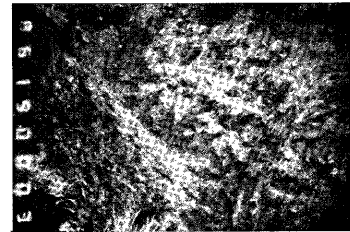


Photo. 5-2. 19^h00^m, July 15, 1975.

Number of large stone	l	m	ω	ω_c	E_t	E_r	E_{rc}	M_t	M_r	M_{rc}
	m	ton	sec^{-1}	sec^{-1}	$ton\ m^2\ sec^{-2}$			$t\ m\ sec^{-1}$	$ton\ m^2\ sec^{-1}$	
1	2.4	16.9	1.4	3.1	116	10	46	63	13	4.7
2	2.3	15.7	2.9	3.2	107	34	43	58	24	6.7
3	3.3	46.7	*	-	316	-	-	171	-	-
4	1.3	2.9	7.9	5.7	20	15	8	11	4	0.7
5	2.0	10.1	10.4	3.7	70	218	28	38	42	3.7
6	2.4	16.9	**	-	-	-	-	-	-	-

* unable to read

** came to rest

Assumption : motion of sphere

Condition : front velocity: $V=3.7\ m/sec$

density: $\sigma=2.5\ ton/m^3$

$$m = \sigma \frac{4}{3} \pi \left(\frac{l}{2}\right)^3$$

$$E_r = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$M_r = I \omega$$

$$\text{moment of inertia : } I = \frac{2}{5} m \left(\frac{l}{2}\right)^2$$

Notation

l : average diameter m : mass ω : angular velocity E : energy

M : momentum t : translational r : rotational c : constraint

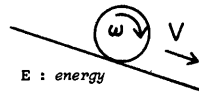


Fig. 11. Motion analysis of large stones among the head of debris flow on Aug. 23, 1975.

な場合を示す。

この結果, ① どの巨礫の回転の向きも自然にころがる場合の向きに一致すること ② すべりの無い回転に比し, 実際の回転はこれより速い場合 (ジャンプ型) も遅い場合 (滑動型) もあること ③ 運動エネルギーは並進成分と回転成分とでほぼ同程度 (桁が高々一つ異なるぐらい) の量を分け持つと言えよう。

(4) 土石流の諸特性

7月13日と8月23日の土石流は, その流下につれて多量の土砂礫を運搬し, 下流の扇状地へこれらを排出した。Fig. 12 は扇状地内におけるこれらの土石流の流路と7月13日の土石流によって運搬された着色巨礫の分布を示す。1972年の同様の図²⁾ほどの規則的配列がみられないのは今回の土石流の発生・流下が複雑であったためであろう。すなわち, 一日のうちに大小さまざまな土石流が重複して扇状地へ流入し堆積した結果であろう。ただし中央部の集団が今回の土石流の大きな堆積集団に一致していることは注目される。

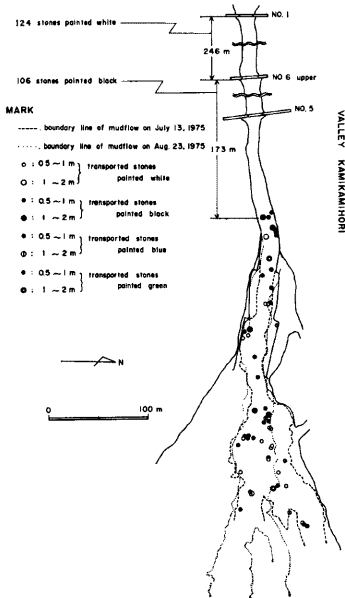


Fig. 12. Distribution of the colored large stones transported by the debris flow on July 13, 1975.

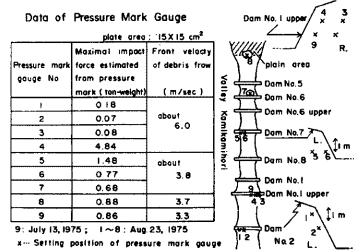


Fig. 13. Maximal impact force from pressure mark gauge.

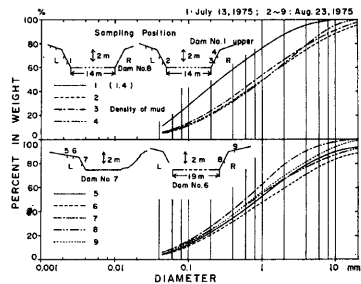


Fig. 14. Accumulation curves of particle size distribution of mud sampled from debrisflow.

Fig. 13 は圧痕計の受けた最大衝撃圧を, 記録された圧痕径に対応する静荷重で表現したものである。これについても上と同じ理由により, 流心に近いほど値が大きくなるというような規則性はみられなかった。

Fig. 14 は採泥筒に溜った土石流先頭部の土砂礫の「ふるい」による粒度分析結果を示す。どれも50%粒径が1mm程度で粗い粒子が多く, 過去の分析結果のパターンとほぼ一致する。

またピアノ線切断のデータとダム付近の痕跡の目視調査により, 土石流はその段波盛り上がり最大高さをFig. 15に示すように変動しながら流下した。一般には段波高の変化は主として流路幅と溪床堆積土石量およびその粒径分布に左右されよう。自然の流路であれば流路幅が大きく変化し段波高はこれによって変動す

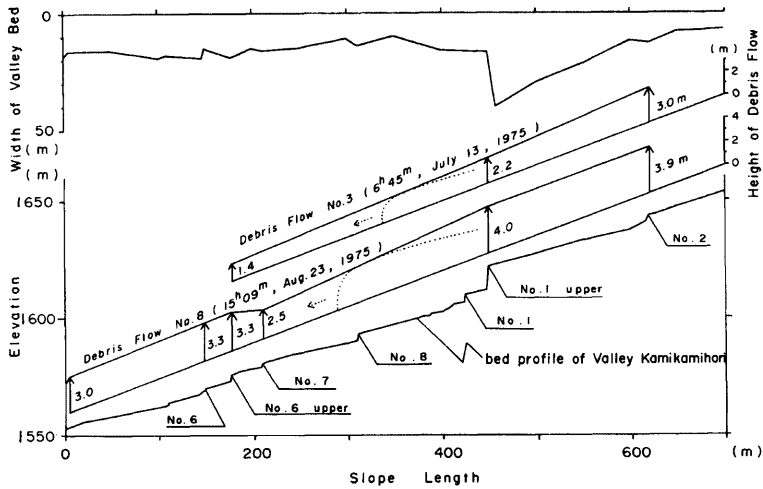


Fig. 15. Head height variation of debris flow.

ることが考えられるが、今回の測定点は最下点を除き、どれもほぼ同程度の幅の水通し部をもつ堰堤であったためか、段波高と流路幅の間にはとくに顕著な相関はみられない。ただ先端流速に関する場合と同様に、この区域では、土石流はその段波高を漸次減少する傾向にあるといえよう。

(5) 降雨と土石流の発生

Fig. 16-1, 16-2 は 3 地点の毎10分間降雨量の図に土石流の発生時刻を記入したものである。この図よ

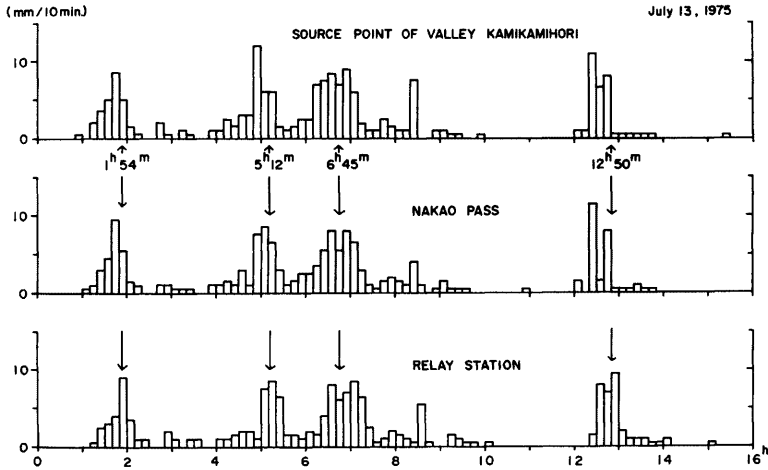


Fig. 16-1. Relation between precipitation every 10 minutes and occurrence time of debris flow (marked by arrows).

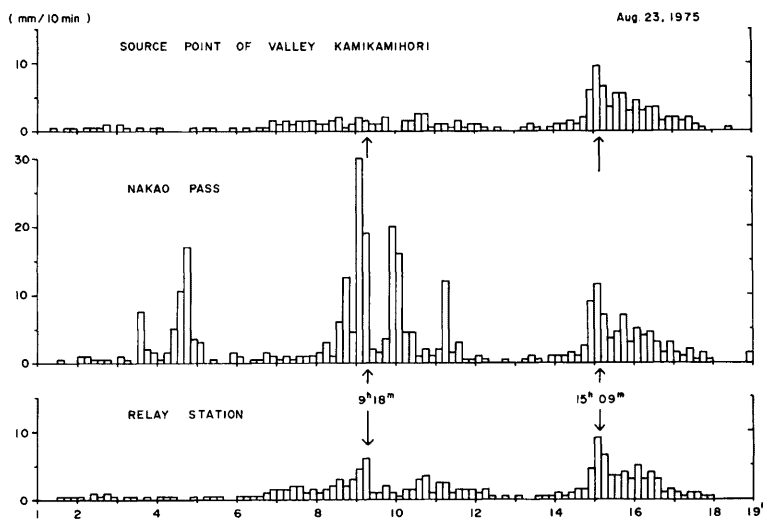


Fig. 16-2. Same as Fig. 16-1.

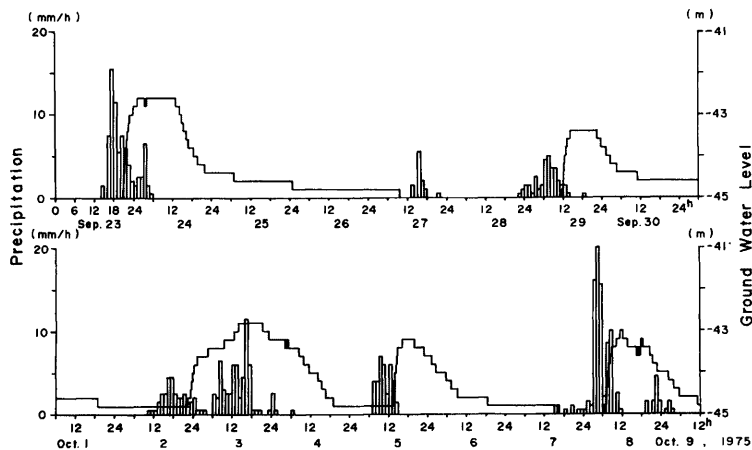


Fig. 17. Change in ground water level (by the step-type level gauge) with the reference to precipitation.

り、毎10分間降雨量のピーク時刻と土石流の発生時刻とが非常によく一致していることが今回も確認される。これは強雨により、谷底に浸透可能な水量を上回る水が供給され、比較的短時間のうちに土砂が流動化し、土石流が発生することを暗示しているように思われる。

ところで8月23日の降雨の状態は3地点で全く別々の様相を呈している。これは台風が焼岳の西側を南々

西から北々東へ走り、強風の向きが東の風から時計まわりに南の風へ変っていったためであろう。すなわち中尾峠南東側で降雨の収れんが生じたと推察されるが、これは山岳地帯の降雨の局地性を端的に示す現象といえよう。

(6) ステップ式地下水位計の実用化

新しい地下水位計の試作および設置は今夏の土石流の発生時には間に合わなかったが、9月になってFig. 2の下流側ボーリング井戸に設置することができ、地下水位の連続記録が得られたのでこれをFig. 17に示す。これは土石流の発生を伴わないときの降雨と地下水位の変化を示すが、2号堰堤付近の溪床下へ地下水の影響が及ぶのは雨の降り始めから6～13時間を経てからであることがわかり、水位の変動幅は2mを越えることがしばしば認められる。

5. ま と め

今回の観測からは従来の項目に加え、新たに土石流の発生機構、成長発達過程の解明をふくめ、観測の対象地を最上流部にまで拡張、文字通り土石流の誕生から墓場までを一貫して追跡する計測体制を整えた。つぎに本年度の観測から得られた主要成果を項目別にまとめる。① 土石流の発生位置がどこかではあるが把握できた。② 土石流による源流域での移動土砂量の概算が行われた。③ 表流水が土石流の発生に重要な役割を果たすのではないかと示唆を得た。④ 土石流のうちには発生・再移動という挙動を複雑に繰り返すものもある。⑤ 残雪雪渓が土石流の構成物になる時期がある。また雪渓が土石流の発生に影響を及ぼす。⑥ 源流域での降雨の分布が強風により局地性を持つ。⑦ 映像観測では濃霧の影響を少なくするためカメラをなるべく溪床近くにセットする必要がある。

これらの成果に基づいて、さらに次年度では① 発生域における水の挙動（水収支）を押えるべく、地下水と表流水の観測を充実させ② 発生域における堆積土砂の状態を把握すると同時に、土砂移動をさらに詳しく調べるべく測量に力を注ぎ③ 新たに垂下式カメラ設置法などの開発を実現し、土石流の成長発達過程と、発生・再移動の複雑な諸過程を明らかにしていきたい。

謝 辞

この研究を進めるにあたり、多大の御援助をいただいた建設省北陸地建松本砂防工事々務所の渡辺所長をはじめ、調査課ならびに焼岳出張所の諸氏に深く感謝の意を表したい。

さらに、観測現場においては京都大学農学部林学科砂防工学研究室ならびに京都府立大学農学部砂防研究室の院生・学生諸賢より献身的な援助をいただいた。また、ステップ式水位計の考案は当研究所の沢田豊明氏との観測法検討の中から生まれたものであることを記し、ともに謝意を表したい。

なお、当研究は文部省科学研究費特別研究「土石流発生機構の研究」の中の「試験地における自然現象に基づく土石流の研究」の一つとして補助金の交付を受けて実施されたものである。

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1，京都大学防災研究年報，第14号B，1971，pp. 691-705.
- 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. XI，No. 1，1972，pp. 13-20.
- 3) 奥田節夫・諏訪 浩・横山康二・枝川尚資：土石流の研究，地学雑誌，Vol. 81，No. 3，1972，pp. 43-53.
- 4) 建設省北陸地建松本砂防工事事務所，京都大学防災研究所：土石流調査成果報告書，技術資料，No. 4，1973，pp. 1-7.
- 5) Suwa, H., S. Okuda and K. Yokoyama: Observation System on Rocky Mudflow, Bulletin of D. P. R. I., Kyoto Univ., Vol. 23, 1973, pp. 59-73.

- 6) 諏訪 浩・奥田節夫：土石流先端における巨礫の運動および先端形状について，京都大学防災研究所年報，第16号 B, 1973, pp. 425-432.
- 7) 建設省北陸地方建設局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, pp. 45-106.