

VTR 判読による土石流流動特性について

国土交通省松本砂防事務所 神野忠広、長谷川達也、○石田哲也
独立行政法人土木研究所 山越隆雄

1. はじめに

これまでの土石流に関する研究成果により、土石流の発生タイプの分類や降雨との相関関係から発生予測、土石流の流動形態や氾濫に関するものなど、様々な研究が行われてきており、国内の土石流に関する研究成果は海外でも注目を浴びるものとなった。その中でも、我々防災事業を実施している国や地方公共団体では、土石流対策としての砂防施設を整備するため、土石流の規模や外力等を推定する必要がある。こうした検討を行うため、土石流の VTR 観測等によってその流下特性等を把握してきた。

本研究では、焼岳上々堀沢及び浦川で発生した土石流を事例として VTR 解析を行い、土石流先頭部の流速と水深等との関係について検討を行った。既に、水山・上原（1984）において当時得られたデータによって、土石流の流速と水深の関係について検討がなされているが、ここでは、その後さらに得られているデータを加えて、検討した結果について報告するものである。

2. 調査方法

2.1 調査対象流域の概要

調査対象範囲は、長野県松本市安曇上高地に位置する活火山焼岳上々堀沢（流域面積 0.8km²、平均河床勾配 1/4）と長野県北安曇郡小谷村浦川に位置する浦川上流金山沢（流域面積 1.8km²、平均河床勾配 1/7.6）である。

両流域とも火山性堆積物で覆われていることから、地質は脆く土石流が発生しやすく渓流内は荒廃している。

2.2 VTR 判読

上々堀沢及び金山沢で発生した土石流のうち、VTR 観測で撮影された土石流事例 22 件（上々堀沢 12 件、浦川 10 件）について VTR 判読を行った。判読項目は、③土石流フロント到達時刻、④ピーク到達時刻、⑤減衰開始時刻、⑥土石流終息時刻、⑦水深（最大水深、平均水深）、⑧横断面積である。判読結果を基に、土石流の流速、土石流流量、総流出土砂量について算出した（表-1）。なお、最大水深と平均水深は観測地点が湾曲しているため、偏流が発生することから横断方向の最大水深、流下断面積と流下幅を判読し、平均水深は流下断面積を流下幅で除した値とした。

表-1 解析に用いた土石流事例と判読結果

No.	流域	発生 年月日	土石流 フロント 到達時刻	ピーク 到達時刻	減衰開始 時刻	土石流 終息時刻	フロント部 最大水深 (m)	フロント部 平均水深 (m)	流速 (m/s)	ピーク流量 (m ³ /s)	備 考
1	上々堀沢	85/07/21	14:58:16	14:58:19	14:58:36	14:58:53	2.16	1.64	4.29	65.2	カメラのワイパーで一部判読できず
2	上々堀沢	93/07/14	16:21:17	16:21:20	16:21:25	16:24:02	2.35	1.40	2.73	104.5	16:23:31に小規模の段波が通過
3	上々堀沢	97/07/17	13:26:00	13:26:02	13:26:10	13:27:30	3.65	1.78	3.33	113.6	しぶきのため後続流の判読できず
4	上々堀沢	97/08/05	09:57:00	09:57:04	09:57:14	09:57:43	0.97	0.68	1.03	7.9	
5	上々堀沢	97/08/05	10:00:26	10:00:30	10:00:38	10:00:58	0.26	0.20	1.11	3.2	
6-1	上々堀沢	97/09/08	03:29:28	03:29:30	03:29:42	03:30:02	0.61	0.34	2.50	23.6	第1波、3:30:51、3:33:56、3:35:43に小規模の段波が通過
6-2	上々堀沢	97/09/08	03:34:04	03:34:08	03:34:14	03:34:31	0.81	0.53	2.73	20.3	第2波
6-3	上々堀沢	97/09/08	03:39:24	03:39:27	03:39:32	03:40:12	0.74	0.44	3.75	71.6	第3波、一連の土石流で最大
6-4	上々堀沢	97/09/08	03:48:46	03:48:50	03:48:57	03:49:08	0.50	0.32	2.73	27.7	第4波
7-1	上々堀沢	98/09/22	01:38:26	01:38:30	17:12:00	01:40:12	0.30	0.22	2.50	53.7	第1波、1:42:23、1:43:24に小規模の段波が通過
7-2	上々堀沢	98/09/22	01:48:29	01:48:32	01:48:37	01:49:22	0.31	0.21	2.31	21.1	第2波
8-1	上々堀沢	02/07/15	12:25:48	12:25:55	12:26:00	12:26:16	1.78	1.08	5.00	136.1	後半はしぶきで見えず
8-2	上々堀沢	02/07/15	12:37:40	12:37:46	12:37:57	12:37:57	1.09	0.70	3.75	77.0	後半はしぶきで見えず
1	浦川	91/07/11	07:30:18	07:30:22	00:00:00	00:00:00	—	—	0.81	14.2	流速は既往成果より平均流速を計算
2	浦川	91/07/17	16:07:30	16:09:00	00:00:00	00:00:00	—	—	1.08	22.9	流速は既往成果より平均流速を計算
3	浦川	92/07/15	—	17:11:20	—	—	—	—	3.02	245.9	流速は既往成果より平均流速を計算
4	浦川	92/08/09	08:39:13	08:39:19	08:39:44	08:40:53	—	—	1.50	128.3	流速は既往成果より平均流速を計算
5	浦川	95/07/02	18:45:52	18:45:57	18:46:00	18:47:20	—	—	3.00	354.0	流速は既往成果より平均流速を計算
6	浦川	95/08/31	07:10:53	07:10:53	07:11:38	—	—	—	2.25	23.6	既往成果
7	浦川	95/10/02	08:50:28	08:50:42	—	—	—	—	2.30	89.9	流速は既往成果より平均流速を計算
8	浦川	96/06/28	18:25:47	18:25:58	18:26:00	—	0.90	0.11	3.00	110.1	
9	浦川	96/07/03	16:51:56	16:52:02	16:52:07	16:52:32	2.26	0.97	0.90	22.7	
10	浦川	02/07/03	10:00:04	10:00:10	10:00:43	00:00:00	1.22	1.13	6.00	191.6	

3. 解析結果と考察

今回整理した土石流事例の先頭部の流速、最大水深、平均水深は、それぞれ、0.64m/s～5.0m/s、0.30m～3.65m、0.20m～1.78m であった。

土石流流速が速いものは最大水深と平均水深との差が大きく、土石流流速の小さいものは最大水深と平均水深との差が小さくなる傾向があることが分かった。その一例を図-1 に示す。この最大水深と平均水深の差が大きくなるのは概ね土石流流速 3.0m/s 程度を境界としていることが VTR 判読解析結果から分かった。

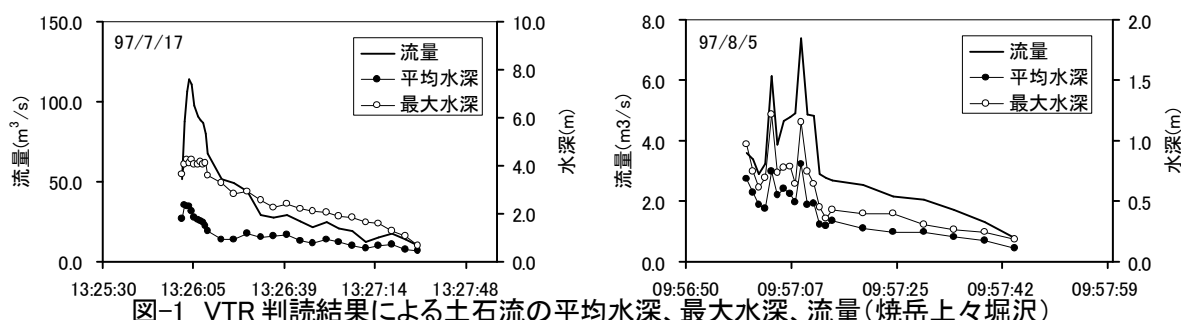


図-1 VTR 判読結果による土石流の平均水深、最大水深、流量(焼岳上々堀沢)

次に、土石流の先頭部の流速と先頭部の水深（ここでは平均水深）の関係を示す(図-2)。また、マニングの式との関係も図-2 に示した。ここで、径深Rは $R \equiv h$ （hは土石流水深（m））として計算している。

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \cdots \cdots (1)$$

浦川は VTR 判読事例が少ないため言及できないが、上々堀沢では土石流先頭部の粗度係数は水深によって違いがあり、概ね 0.04～0.10 であった。水山・上原（1984）の検討ではフロント部で $n=0.10 \sim 0.20$ 程度で、その結果より小さな値である。今回の検討では、水山・上原（1984）と同程度の規模の土石流を比較したが、全般的に粗度係数が小さくなっている。これは、現在発生している土石流は、過去に発生していた土石流に比べて、不完全土石流として発生している事例が多いことが原因の一つと考えられる。

VTR 判読結果から上々堀沢と浦川での土石流の流動特性として、土石流の流速が 3m/s 以上と以下で分類してそれぞれの特徴を整理した（表-2）。3m/s 以上の流速の土石流は、ほとんど全てにおいてフロントが明瞭に形成され、典型的な土石流の形態をしていた。また、水深と流速をマニング式であらわした場合に決まる粗度係数の値はバラツキが大きく幅があることが分かる。また、運搬されている礫径も後続流に比べて際立ってフロントの礫径が大きい。一方、流速の遅い規模の小さい土石流については、フロントが不明瞭で、運搬される礫径もフロントと後続流で大きな違いが認められなかった。マニングの粗度係数は、流速が速い土石流の場合に比べて小さい値が得られていた。高橋（2004）は、土石が全層にわたって分散していないような土石流を「不完全土石流」と呼ぶが、観測された流速の小さい土石流は、まさにこの不完全土石流に当たるものと考えられる。これらは、流速の大きい典型的な土石流に比べて、マニングの粗度係数が小さくなり、また、巨礫が先頭に集中することも少ない。このような傾向は、上々堀沢と浦川でほぼ同様に見られる傾向である。

4. おわりに

焼岳上々堀沢と浦川金山沢における土石流の流動特性の検討を行ったところ、過去の検討成果と比べて最近の土石流の土石流先頭部の粗度係数は $n=0.04 \sim 0.10$ に集中しており、過去の事例に比べると小さい値となっていることが明らかになった。近年は、フロントの立たない後続流のような土石流が増えてきている可能性も示唆される。

今後は、土石流対策として生産源の特定や流出との関係によるマニング式の適用範囲等を検討していきたい。

引用文献

高橋 保：土石流の機構と対策 p43, 近未来社, 2004

水山高久, 上原信司：土石流の水深流速の観測結果の検討, 砂防学会誌 Vol.37, No.4, 1984.11

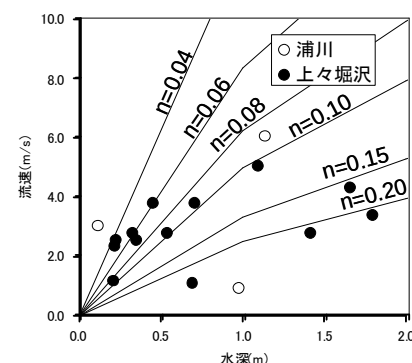


図-2 土石流の水深と流速

表-2 流速の速い土石流と遅い土石流の比較

流速が速い土石流	項目	流速が遅い土石流
概ね3m/s以上と比較的速い	流速	流速が概ね3m/s未満と極めて遅い
バラツキが大きく粗度係数に幅がある	粗度係数	バラツキはあるものの $n=0.06 \sim 0.10$ 程度である
土石流のフロントに数mの巨礫が集中、本来部・後続流の礫径は1m以下が多い。 礫の運動は集合流動形態	礫径	土石流フロントと本体部・後続流との間には礫径に大きな差が見られない（一貫して礫径は数十cm程度） 礫径の運動は集合流動形態 たまに巨礫が見られるが、その移動形態は転動である