

桜島における荷重計を用いた継続的な土石流の特性の把握とLVP センサーを用いた土石流検知の試み(2)

国土交通省 九州地方整備局 大隅河川国道事務所 岩男忠明, 上小牧 和貴(現 九州地整), 齋本孝也
日本工営(株) ○伊藤隆郭, 田方 智, 山田勇智, 鬼頭和記 京都大学名誉教授 水山高久

1. はじめに: 桜島では、2000 年頃まで火山活動が活発で、野尻川・有村川等の河川において土石流が頻発した¹⁾。その後、2010 年頃より火山活動が活発化し、土石流の発生が増加している。土石流による流送土砂量の時系列特性の把握のために、有村川と野尻川において、 μ スでの技術²⁾を応用した土石流荷重計セット³⁾⁻⁵⁾を用いた土石流計測が行われてきた。一方、土石流検知の次世代技術として、荷重計、加速度計と圧力式水位計を用いた土石流検知センサー(LVP (= Loadcell, Vibration and Pressure meters))の開発に至った⁶⁾。同センサーはワイヤセンサーとの組み合わせを基本として、土石流検知の閾値設定のためのデータ収集とオンライン化を行っている。図-1 は、最近の一例として、2020 年 6 月 11 日出水での LVP センサーによる土石流流下の検知である。ここでは、前報⁷⁾に続き、土石流荷重計セットと LVP センサーのデータを示す。

2. 土石流荷重計による土砂濃度の算出: 土石流荷重計セットは、2012 年に有村川 3 号堰堤 (2m×4m プレート型・1 基) に、2014 年に野尻 1 号 (1m×1m プレート型・3 基) にそれぞれ設置された⁸⁾。

(1) 観測サイト周辺の河床勾配: 土石流荷重計の設置されている有村 3 号堰堤、野尻川 1 号堰堤における流域情報は、それぞれ、次のようである。有村川 3 号: 流域面積 約 1.35 km², 堆砂域の平均河床勾配 1/15.5 (=3.7°) で上流域は 1/7.6 (= 7.5°) であり、野尻川 1 号: 流域面積 約 3 km², 堆砂域の平均河床勾配 1/22 (=2.6°)。

いずれも上流から流下する土石流の平衡勾配よりも勾配が小さく、土砂の比重を 2.65 と仮定して、高橋式を用いると、平均土砂濃度は、0.0643 (3.7°), 0.0437 (2.6°) である。

(2) 解析による土砂濃度: 土石流荷重計セットでは、底面の圧力計で細粒成分の土砂濃度を求め、荷重計、圧力計と水位計測等で、粗粒成分の土砂濃度を算出する⁹⁾。細粒成分と粗粒成分の定義は今後の検討課題であるが、ここでは、それぞれ、圧力計、荷重計で主体的に計測されるものとする。表-1 および表 2 は、有村 3 号堰堤および野尻 1 号堰堤で計測・解析が可能であった土石流のデータを示している。比較のために、ワイヤセンサーの切断段数 (後述)、土石流発生時までの積算降雨量 (mm)、発生直前の 10 分間最大雨量 (mm)、画像解析等で得られたピーク流量 (m³/s) の値も示している。さらに、土砂濃度は、細粒成分 (C)、粗粒成分 (F) に分けて示している。いずれも、高橋式の土砂濃度式の値よりも、粗粒成分の土砂濃度は大きい。また、既報よりも両サイトの土砂濃度の平均値は、若干、小さくなっている。有村 3 号堰堤では、急な勾配から緩い勾配 (3.7°) に流入する土砂堆積域であることや、両サイトともに、泥水の混入による石礫成分 (粗粒成分) の土砂濃度の違いなど、今後、考慮すべき影響があると考えられる。

3. 土石流発生時の検知と LVP センサー: 桜島では、ワイヤセンサーが河床から 60 cm ごとに 3 本設置され、1 段(河床から 60 cm)、2 段(120 cm)、3 段(180 cm)によって、土石流の発生を検知し、併せて、流れの規模の参考にしている。

(1) 土石流の計測: LVP センサーは河床に設置し、ワイヤセンサーとの組み合わせによって連続的な土石流の検知を行うものである⁹⁾。ワイヤの誤検知防止やワイヤの切断後の現

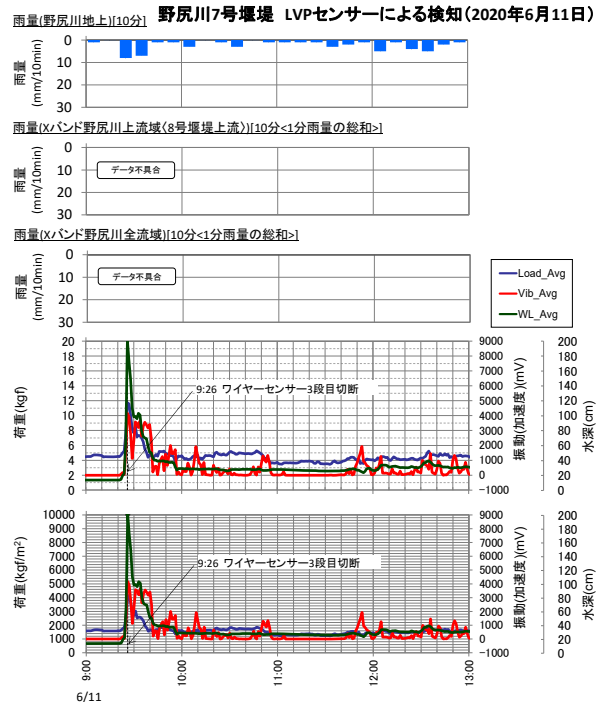


図-1 野尻 7 号堰堤での LVP センサーによる土石流検知例
表-1 土石流荷重計による計測データ(有村 3 号堰堤)

No.	Y/M/D	Wire	<i>c</i>	<i>R</i> (<i>r</i> _{10m})	<i>Q</i> _p
—	2018 年まで ⁷⁾	—	0.444 (C: 0.299, F: 0.192)	—	—
15	2018/5/2	2	0.306 (C: 0.164, F: 0.143)	18.0 (4.0)	136.9
16	2018/12/3	2	0.247 (C: 0.155, F: 0.0915)	5.0 (2.0)	124.1
17	2019/3/3	1	0.386 (C: 0.00, F: 0.386)	11.0 (5.0)	42.4
18	2019/3/10	1	0.356 (C: 0.208, F: 0.148)	18.0 (4.0)	78.0
19	2019/9/6	1	0.346 (C: 0.00, F: 0.346)	36.0 (12.0)	98.5
20	2020/3/27	1	0.510 (C: 0.246, F: 0.264)	11.0 (2.0)	51.6
21	2020/6/11	2	0.478 (C: 0.478, F: 0.00)	8.0 (4.0)	180.0
22	2020/7/24	1	0.254 (C: 0.254, F: 0.00)	42.0 (12.0)	99.0
Average			0.360 (C: 0.226, F: 0.134)		

表中において、Wire: ワイヤセンサーの切断段数, *c*: 平均濃度(ピーク付近), C: 粗粒成分の土砂濃度, F: 細粒成分の土砂濃度, *R*: 土石流発生までの積算雨量 (mm), *r*_{10m}: 土石流発生前の最大 10 分間雨量 (mm), *Q*_p: ピーク流量(m³/s)である。

地立ち入りの制限時のために土石流の検知が LVP センサーによって行われる。計測値は、水深、荷重、振動(生値)は、それぞれ、cm, kgf, m Volt の単位系で示される。

野尻 7 号堰堤に設置されている LVP センサーは、2015 年 2 月 6 日に LVP センサーの設置後⁶⁾、巨石の直撃等の故障を幾つか経験しながら、現在も土石流の検知を行っている⁷⁾。設置場所の河床勾配は 1/7.6 (= 7.5°) である。直近の観測では、2020 年 1 月～2020 年 9 月末までに、ワイヤ切断による 11 回の土石流流下の検知があった。LVP

表-2 土石流荷重計による計測データ(野尻川1号堰堤)

No.	Y/M/D	Wire	c				R (r_{10m})	Q_p
			Ave.	Left	Center	Right		
—	2018年まで)	—	0.284	0.257 (C: 0.211, F: 0.0346)	0.285 (C: 0.217, F: 0.0680)	0.323 (C: 0.306, F: 0.0168)	—	—
9	2017/6/20	2	—	—	—	—	40.0(6.0)	28.4
10	2017/6/24	2	—	—	—	—	46.0(8.0)	111.8
11	2018/5/2	3	0.539	0.369 (C: 0.230, F: 0.139)	0.766 (C: 0.753, F: 0.0122)	0.482 (C: 0.482, F: 0.00)	19.0 (7.0)	127.8
12	2018/8/24	3	0.347	0.159 (C: 0.159, F: 0.00)	0.518 (C: 0.514, F: 0.00453)	0.364 (C: 0.364, F: 0.00)	5.0 (4.0)	62.3
13	2018/12/3	3	0.440	0.223 (C: 0.222, F: 0.00118)	0.622 (C: 0.609, F: 0.0132)	0.475 (C: 0.475, F: 0.000106)	12.0 (9.0)	93.5
14	2019/3/3	2	0.129	0.0157 (C: 0.0157, F: 0.00)	0.149 (C: 0.0307, F: 0.118)	0.221 (C: 0.104, F: 0.118)	5.0 (2.0)	212.9
15	2019/3/6	2	0.309	0.122 (C: 0.122, F: 0.00)	0.379 (C: 0.00, F: 0.379)	0.426 (C: 0.203, F: 0.223)	23.0 (7.0)	152.1
16	2019/10/2	2	0.382	0.0757 (C: 0.0757, F: 0.00)	0.688 (C: 0.00, F: 0.688)	0.383 (C: 0.0670, F: 0.316)	6.0 (6.0)	265.1
17	2019/10/23	2	0.173	0.295 (C: 0.0410, F: 0.218)	0.221 (C: 0.00, F: 0.221)	0.0378 (C: 0.0179, F: 0.0199)	7.0 (2.0)	46.7
18	2019/11/24	2	0.239	0.310 (C: 0.310, F: 0.00)	0.142 (C: 0.00, F: 0.142)	0.266 (C: 0.224, F: 0.0422)	3.0 (1.0)	60.9
19	2020/6/11	3	0.214	0.220 (C: 0.0000595, F: 0.220)	0.289 (C: 0.0512, F: 0.237)	0.132 (C: 0.132, F: 0.00)	4.0 (1.0)	106.5
20	2020/6/25	2	0.313	0.473 (C: 0.150, F: 0.323)	0.367 (C: 0.153, F: 0.214)	0.100 (C: 0.0409, F: 0.0592)	6.0 (6.0)	56.1
Average			0.284	0.223 (C: 0.130, F: 0.0930)	0.414 (C: 0.211, F: 0.203)	0.289 (C: 0.211, F: 0.0780)		

表中において、Wire: ワイヤセンサーの切断段数, c: 平均濃度(ピーク付近), C: 粗粒成分の土砂濃度, F: 細粒成分の土砂濃度, R: 土石流発生までの積算雨量 (mm), r_{10m} : 土石流発生前の最大10分間雨量 (mm), Q_p : ピーク流量(m^3/s), 流量は、野尻川1号ダムでの計測値である。

センサーは全ての出水を検知した。一方、有村3号堰堤のLVPセンサーは、土石流荷重計の直上に設置後に幾つかの故障を経て2019年から継続的にデータ取得を行っている。2020年1月～2020年6月末までに、ワイヤ切断による7回の土石流流下を全て検知している。2020年7月5日22:19に落雷の影響でセンサーの不具合があったが、10月2日(点検)以降、計測中である。

(2) 土石流流下の検知指標: 図-2は、ワイヤが切断した時刻における水深、荷重、振動の値である。土砂堆積の影響が大きいため、土石流流下前の荷重は差し引いた整理をしている。土砂濃度の大小と水深の関係が一次的ではないが、土石流流下を検知する閾値がおおよそ見える。荷重は、 $100\sim 150\text{ kgf/m}^2$ 以上、振動は $200\sim 1200\text{ mVolt}$ 以上で土石流の流下を検知し、ワイヤ1段(高さ60cm)の高さ以上では、荷重は、 $600\sim 1,250\text{ kgf/m}^2$ 、振動は $2,800\sim 3,000\text{ mVolt}$ 以上となる傾向は、数年の観測で変わらないようである。

4. おわりに: 荷重計を用いた2つのセンサーについて、それぞれの計測データを既報に続いて紹介した。土石流荷重計セットは、土石流の粗粒分および細粒分の土砂濃度を時系列的に把握する。一方、LVPセンサーは、ワイヤセンサーとの併用を想定した土石流検知に用いられる。土石流の発生のリアルタイム検知のためにデータのオンライン化が行われ、今後、システム化を想定している。土石流荷重計セットによる土砂濃度の値は継続的に蓄積されているが、今後、上流域の荒廃状態や降雨との関係を検討していく必要がある。

参考文献: 1) 国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所: 桜島火山砂防調査研究成果集, 110p., 2007, 2) McArdeall, B et al.: Geophysical Research Letters, Vol. 34, L07406, 2007, 3) 高橋英一: 砂防学会誌, Vol. 65, No. 6, pp.60-63, 4) 田方 智ら: 平成27年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp. B-30-31, 2015, 5) 加藤仁志ら: 平成28年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp.B-92-93, 2016, 6) 加藤仁志ら: 平成28年度砂防学会研究発表

表会概要集 B, pp.B-86-87, 2016, 7) 伊藤隆郭ら: 平成30年度砂防学会研究発表会概要集, pp.309-310, 2018, 8) 田方 智ら: 平成28年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp.B-92-93, 2016, 9) OSAKA, T. et al.: Proc. Interpraevent 2014 Pacific Rim, November 25-28, Nara, Japan, 2014, O-14.pdf in DVD.

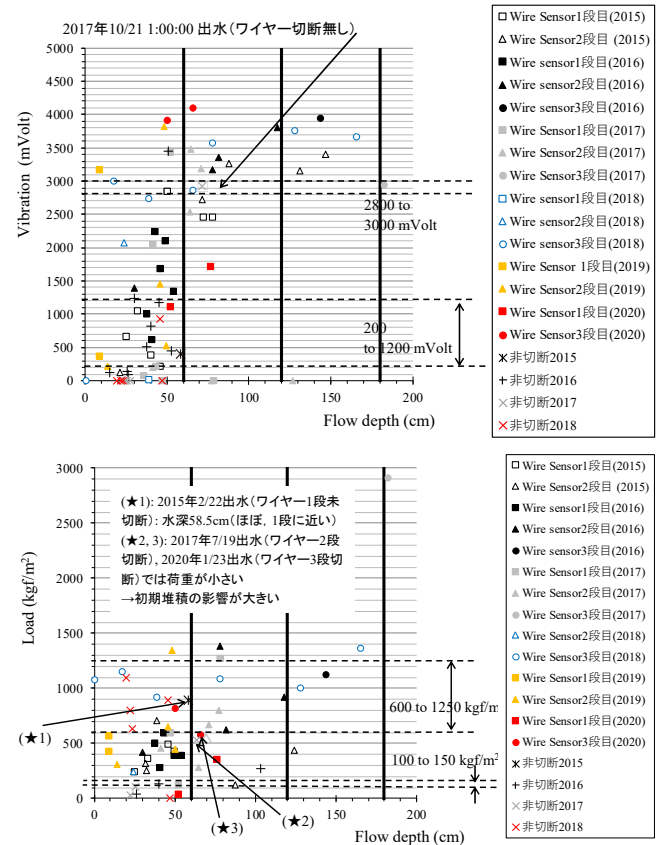


図-2 ワイヤが切断した時刻における水深、荷重、振動の値 (上図: 水深と振動, 下図: 水深と荷重)