

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

国土交通省 九州地方整備局 大隅河川国道事務所 吉柳岳志, 東 和彦(現 宮崎河川), 吐師一彦
日本工営(株) ○伊藤隆郭, 田方 智, 松田 悟 政策研究大学院大学 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。そこで, 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, Δ イスでの技術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いる。これにより, 荷重計を用いた土石流計測の可能性が示され, 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⁾。LVP 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。ここでは, 土石流荷重計セットと LVP センサーによる計測データの現状を示す。

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 年に野尻川 1 号 (1m×1m プレート型・3 基) にそれぞれ設置された⁷⁾。

(1) 土石流荷重計周辺の地形等: 図-1 と図-2 は, 有村川と野尻川の河床位の縦断分布である。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°), 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) 解析後の土砂濃度: 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⁸⁾。ここで, 細粒成分と粗粒成分の区分は, 今後の検討課題であるが, 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。なお, 全成分の土砂濃度は, 荷重計, 圧力計と水位計測等で算出される。**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), 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) に分けて示しており, データの平均値には, 土砂濃度の算出値が過大であった 2015 年 6 月 3 日の出水データを除いている。いずれの計測データにおいても, 河床勾配を用いて算出される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く算出されている。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) LVP センサーによる土石流の計測: LVP センサーは河床に設置し, 従前のワイヤセンサーとの組み合わせで確実に連続

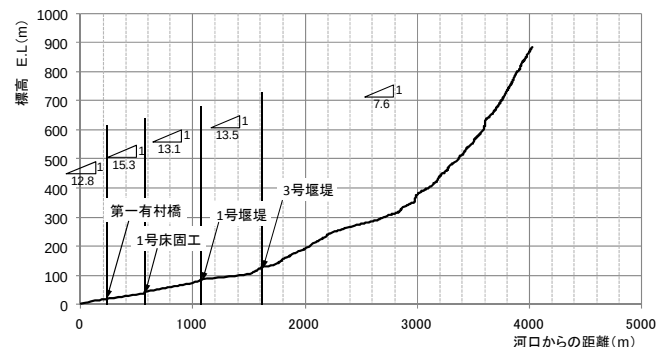


図-1 有村川の河床縦断図と河床勾配

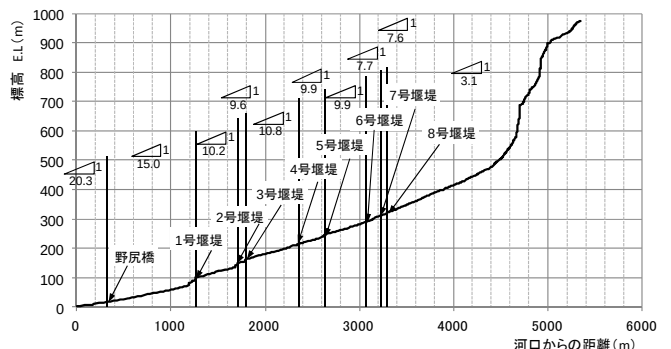


図-2 野尻川の河床縦断図と河床勾配

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	c	R	Q _p
1	2012/6/15	2	0.286 (C: 0.200, F: 0.086)	39.0	299
2	2012/6/21	1	0.375 (C: 0.330, F: 0.0450)	122	117
3	2014/6/27	3	0.290 (C: 0.254, F: 0.038)	34.0	179
4	2014/8/1	2	0.318 (C: 0.266, F: 0.052)	21.0	108
5	2014/8/29	2	0.584 (C: 0.584, F: 0.00)	13.0	153
6	2015/6/3	2	0.905** (C: 0.312, F: 0.593*)	52.0	63.8
7	2015/6/8	1	0.0796 (C: 0.0328, F: 0.0468)	55.0	—
8	2015/6/11	2	0.857 (C: 0.327, F: 0.530)	10.0	68.3
9	2015/6/14	2	0.756 (C: 0.370, F: 0.386)	23.0	78.5
10	2016/6/27	1	0.654 (C: 0.161, F: 0.493)	86.0	113
11	2016/9/20	2	0.402 (C: 0.0679, F: 0.334)	74.0	132
12	2017/5/13	1	0.545 (C: 0.293, F: 0.252)	30.0	103
13	2017/7/4	1	0.323 (C: 0.222, F: 0.101)	11.0	106
14	2017/8/15	1	0.303 (C: 0.174, F: 0.129)	5.0	44.0
Average			0.444 (C: 0.299, F: 0.192)		

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降雨量 (mm), Q_p: ピーク流量 (m³/s), **: 解析土砂濃度が過大なため, 平均値算出には用いていない。

的な土石流の検知を行うためのセンサーである⁶⁾。ワイヤの誤検知防止やワイヤの切断後の現地立ち入りの制限時のた

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	Q _p
			Ave.	Left	Center	Right		
1	2014/6/21	2	0.156	0.111 (C: 0.111, F: 0.00)	0.206 (C: 0.206, F: 0.00)	0.152 (C: 0.152, F: 0.00)	12.0	—
2	2014/6/27	1	0.190	0.144 (C: 0.144, F: 0.00)	0.163 (C: 0.163, F: 0.00)	0.263 (C: 0.208, F: 0.055)	55.0	65.8*
3	2015/3/19	3	0.414	0.244 (C: 0.244, F: 0.00)	0.373 (C: 0.373, F: 0.00)	0.626 (C: 0.626, F: 0.00)	16.0	138*
4	2015/4/6	1	0.426	0.606 (C: 0.401, F: 0.204)	0.333 (C: 0.00, F: 0.333)	0.338 (C: 0.289, F: 0.0490)	8.00	30.6
5	2015/6/8	2	0.187	0.295 (C: 0.188, F: 0.107)	—	0.0796 (C: 0.0328, F: 0.0468)	24.0	83.6
6	2016/4/21	2	0.182	0.0519 (C: 0.0519, F: 0.00)	0.279 (C: 0.279, F: 0.00)	0.216 (C: 0.216, F: 0.00)	15.0	44.2
7	2016/6/19	2	0.276	0.185 (C: 0.185, F: 0.00)	0.337 (C: 0.319, F: 0.0183)	0.307 (C: 0.307, F: 0.00)	42.0	81.0
8	2016/6/27	2	0.443	0.382 (C: 0.382, F: 0.00)	0.427 (C: 0.393, F: 0.0340)	0.519 (C: 0.519, F: 0.00)	82.0	43.1
9	2016/7/11	2	0.286	0.295 (C: 0.295, F: 0.00)	0.159 (C: 0.00, F: 0.159)	0.404 (C: 0.404, F: 0.00)	14.5	31.9
Average			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)		

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), Q_p: ピーク流量(m³/s), *印: 野尻川 1 号ダム下流での計測データ(その他は, 野尻川 1 号ダムでの計測)である。

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/m², m Volt の単位系で示される。

2015 年 2 月 6 日に LVP センサーの設置後⁹⁾, 現在(～2017 年 3 月)まで, 同センサーは故障せずに土石流の検知を行っている。2017 年 1 月～2018 年 3 月末までに, ワイヤ切断による 13 回の土石流流下の検知があった。LVP センサーは全ての出水を検知した。

(2) 土石流発生時の閾値の検討:

図-3 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。荷重のデータにおいては, ここ 2 年ほど, 現地での土砂堆積の影響が大きいと見られるため, 土石流流下前の荷重を差し引いている。土砂濃度の大小と水深の関係が一意的でないが, 土石流の流下を少なくとも検知する閾値や流れの規模の区別をする境界値は抽出できるようなのである。荷重は, 100～150 kgf/m² 以上, 一方, 振動は 200～1200 mVolt 以上で土石流の流下を検知し, ワイヤ 1 段(高さ 60 cm)の高さ以上になる土石流では, 荷重は, 600～1,250 kgf/m², 振動は 2,800～3,000 mVolt 以上の値をとる。ただし, ここで示す荷重は, 土石流流下の直接的な荷重³⁾⁵⁾ではなく, 検知用の目安の値である。

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の検知センサーである。土石流の発生データ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ものの, 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。LVP センサーは, 土石流の検知には有効なツールであり, 今後もデータを検証しながら検討を進めていく予定である。

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) Mc Ardell, 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会概要集 B, pp.B-86-87, 2016, 7) 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, 8) OSAKA, T. et al.: Proc. Interpraevent 2014 Pacific Rim, November 25-28, Nara, Japan, 2014, O-14.pdf in DVD.

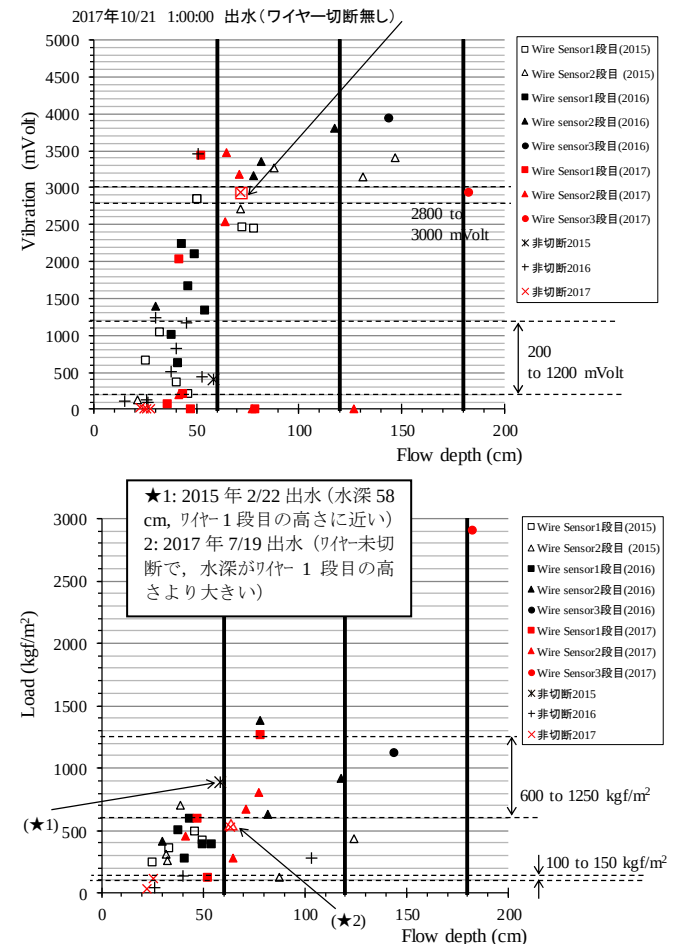


図-3 ワイヤが切断した時刻における水深, 荷重, 振動の値 (上図: 水深と振動, 下図: 水深と荷重)