2.2 火山噴火に起因した土砂災害に対する緊急減災対策に関する研究

研究予算:運営費交付金(一般勘定) 研究期間:平23~平27 担当チーム:土砂管理研究グループ(火山・土 石流) 研究担当者:石塚忠範、森田耕司、清水武志

【要旨】

2011年1月に霧島山(新燃岳)が噴火する等、我が国は活発に噴火を繰り返す活火山を多く有する火山国であ り、降灰等の後の土石流、火砕流、火山泥流等火山噴火に起因した土砂災害に対する緊急減災対策に関する研究 が必要とされている。2013年度は、今なお噴火中の桜島において土砂を高濃度に含む土石流の高精度観測を昨年 度から継続して実施し単位体積重量や土砂濃度について詳細な時系列データの取得に成功した。一方、火砕流堆 積物の熱が火山泥流発生に与える影響を把握するため、2010年10月にインドネシア・ムラピ火山で定点観測し た火砕流堆積物表面の温度変化の計測値について整理した。この結果の範囲では、火砕流堆積物と降雨に起因す る泥流発生との間に明瞭な相関は認めらなかった。

キーワード:土石流、荷重計、桜島、土石流ハイドログラフ、ムラピ火山、火砕流、表面温度

1. はじめに

2011年1月に霧島山(新燃岳)が噴火する等、我が国 は活発に噴火を繰り返す活火山を多く有する火山国であ り、降灰等の後の土石流、火砕流、火山泥流等火山噴火 に起因した土砂災害に対する緊急減災対策に関する研究 が必要とされている。

平成24年度から桜島において、土石流の流下の実態把 握を行うため、世界でも数例しかない、土石流底面荷重 を用いた現地における観測を行っている。昨年度は本邦 初となる、土石流流動中における底面荷重の時系列変化 に関する詳細な現地観測結果について紹介した。平成25 年度にはさらに数回の土石流観測データが蓄積された。 これらのうち大規模な2回の土石流を紹介し、桜島の同 じ流域における土石流であっても、それぞれに特徴があ り、異なる観測結果が得られたことを報告する。

一方、噴火直後の土石流(火山泥流)の発生は、火山 灰による地表面の浸透能の低下や、火砕流堆積物の熱に よる表面流の発生抑制など、様々な要素が影響すること が知られている。しかし、例えば、後者について、噴火 から時間がたつと計測できないこと、あるいは、火砕流 堆積物は数100℃に達する場合が多く計測自体に危険を 伴うため、考察を深めるための基礎的観測データが十分 とは言い難い。2010年10月にインドネシア・ムラピ火 山で発生した火砕流堆積物の表面温度を危険がない範囲 で2ヶ月あまり定点的に観測することに成功した。そこ で、火砕流堆積物の表面温度と降雨によって発生する土 石流の関係について、整理した結果を報告する。

2. 土石流荷重計による観測

2.1 背景

本研究では、昭和火口での噴火活動が活発になって 以来、大量に火山灰が堆積しつつある桜島有村川にお いて、平成24年度に国土交通省大隅河川国道事務所 との共同で、土石流観測を実施した。砂防堰堤の水通 しに荷重計を設置し、その上を通過する土石流の横断 面の詳細計測を行っている。平成24年度に観測した 結果については大坂ら¹⁾や、昨年度の本報告書におい て報告した。

平成25年度も継続的に土石流観測を行った。本稿 では、土石流の規模が大きかった9月1日および2日 の観測結果について報告する。

2.2 研究方法

1) 観測地域

調査対象流域である有村川流域は、桜島の南岳の南東 斜面を流域とする(図-1)。土石流観測は有村川の中流 に位置する有村川3号砂防堰堤で実施しており、堰堤上 流の流域面積は1.38km²、堰堤から1,500m上流までの 平均河床勾配は8.8°、1,500mから源頭部までの平均河床 勾配は29.1°と急勾配である。また、堰堤から源頭部まで の主流路長は2,700m程度である。



図-1 調査流域位置図



図-2 荷重計設置状況 (底面四隅にロードセル(右上)を設置)

2) 観測装置

土石流の流下状況を観測する機器は、土石流荷重計、 測域センサ、超音波流速計、監視カメラ等である(図-2)。 土石流荷重計は砂防堰堤の水通しに設置した4m(横断 方向)×2m(流下方向)の面積を有する金属板と、四隅 の支点に設置したロードセルで構成されており、板上を 通過する水と土砂の混合物の荷重が計測できる。測域セ ンサは、レーザー照査断面内で、センサから対象物まで の距離を微小な回転角度ごとに、かつ20Hzの時間分解 能で計測することができるため、荷重計上の土石流等の 水面形を詳細に計測することができる(図-3)。超音波 流速計は荷重計上の土石流等の流速を計測するために、 監視カメラは土石流の流下状況を撮影するために設置し た。

3) 対象土石流

有村川においては、平成25年(2013年)に5回の土 石流の発生が確認されている。本報告では、土石流荷重 計と測域センサのデータが同時に計測されており、かつ



監視カメラの映像により流下状況が確認できた9月1日 と2日の土石流を対象とした。

4) 計測結果の整理

計測したデータを用いて、荷重計の中央を横断する面 における土石流ハイドログラフと、単位体積重量につい て時系列変化を整理する。

土石流ハイドログラフは、ある時刻の測域センサによ り計測した断面積と、超音波流速計で計測した流速を用 いて計算した流量を時系列的に整理して作成する。後述 する9月2日の土石流ハイドログラフのピーク付近の土 石流流下状況の写真および測域センサによる断面の計測 結果の一例を図-3に示す。一方、単位体積重量 γ (kN/m²) については、土石流荷重計から得られた底面荷重(kN) を、測域センサから得られた土石流荷重計上の土石流の 断面積(m²)と土石流荷重計の流下方向の長さ(2 m) の積で除すことにより算出した。土砂容積濃度 C は、間 隙流体密度 ρ =1,000(kg/m³;清水の値)および石礫密 度 σ =2,701(kg/m³;2012年6月21日に採取した土石 流堆積物の密度試験結果)を用いて、単位体積重量 γ か ら以下の式を用いて算出した。

 $C = (\gamma/g - \rho)/(\sigma - \rho)$

- ここに、gは重力加速度 (m/s^2) とする。
- 2.3 結果と考察
- 1) 9月1日土石流

計測値から作成した土石流ハイドログラフを図-4 に 示す。9月1日の土石流では、3 波の顕著なピークが確認 され、土石流総量は 33,500m³、最大のピーク流量は 65 m³/s であった。

単位体積重量の時系列変化を図-5 に示す。単位体積 荷重の変化を時刻で大きく分類すると、6:15~6:32、6: 32~6:38、6:38~6:53、6:53~6:58に分類できる。 6:15~6:32は1波目の流量のピーク時にあたり、単位





体積重量は 15.0 kN / m³程度でほぼ一定の値を示している。その後、6:32~6:38 は流量の減少に伴い一度 12.0 kN / m³まで減少するが、その後の流量の増加に合わせて再度 15.0 kN / m³程度まで増加する。6:38~6:53 は後の2 波の流量のピーク時にあたり、ここでも単位体積重量は 14.5 kN / m³程度でほぼ一定の値を示し、その後6:

53~6:58 は流量の減少に合わせて単位体積重量も減少 している。

2) 9月2日土石流

9月2日の土石流の土石流ハイドログラフを図-6に示 す。4波の顕著なピークが確認され、土石流総量は96,900 m³、最大のピーク流量は230 m³/s であった。最大のピー



クに先行する3波のピークの流量は9月1日の土石流の 最大のピーク流量と同程度の流量であった。

一方、単位体積重量の時系列変化を図-7 に示す。単 位体積荷重が変化する時刻を大きく分類すると、6:22 ~6:28、6:28~6:32、6:32~6:43、6:43~6:59、 6:59~7:05 に分類できる。6:22~6:28 は先行する 3 波の流量のピーク時であり、16.5 kN/m³程度でほぼ一定 の値を示す。6:28~6:32 は 15.0 kN/m³程度まで減少 し、さらに、6:32~6:43 の最大のピーク流量時には 13.0 kN/m³から 12.0 kN/m³まで低下する。その後、6:43~ 6:59 は 13.5 kN/m³程度でほぼ一定の値を示し、6:59 ~7:05 は流量の減少に合わせて単位体積重量も減少し ている。

3) 比較と考察

9月1日と2日の土石流における観測結果から、土石 流の単位体積重量の時系列変化について、「流量のピーク 時において単位体積重量が比較的大きな値で一定の値を 示す現象」と、「流量のピーク時において単位体積重量が 減少する現象」が確認された。前者については、監視カメ ラの映像から9月2日の1回目の流量のピーク時付近に 巨礫が集中して流下している様子が確認され、流量のピ ーク時に巨礫が集中することにより単位体積重量が増加 することが考えられる。一方後者については、前者とは 相反する現象である。流量のピーク時に単位体積重量が 減少する要因としては、例えば、支川からの多量の水の 供給などによって、水深が同様であっても流体内部の固 相(土砂)の減少が考えられるが、原因は明らかでない。

3. ムラピ火山における火砕流表面温度観測

3.1 背景と目的

火山噴火に伴う火砕流では1次泥流,2次泥流などに よって多数の犠牲者が生じる。山地で発生する土石流と 異なり、火山噴火に伴う火砕流や泥流の運動・発生など の過程では熱が作用する。

2010年10月26日にインドネシアのムラピ火山が噴火 し、11月5日に南面斜面を流下するゲンドール川を埋積 する火砕流が発生した。筆者らは、噴火後初の雨期にあ たる2011年1月7日から3月5日までの約2ヶ月間、ゲ ンドール川の火砕流堆積物に対して縦断的に観測点を設 け、概ね2日に1回の観測頻度で火砕流堆積物の表面温 度測定や周辺状況撮影を行った。同観測の周辺状況写真 を分析し山越ほか²⁾は、2011年2月2日と4日の間に標 高740m付近で火砕流堆積物が侵食されたもののそれ以 降では顕著な侵食が見られないこと、および火砕流堆積 物の表面温度が12月初旬でも100℃以上の高温を保っ ている箇所もあることを報告した。植野・吉田³⁾は, 2010 年12月頃まではゲンドール川で土石流が発生せず、それ 以降は頻発し始め1月3日,1月10日および3月19日 の降雨により発生した土石流は火口から12kmの地点で 氾濫したことを報告した。また、2011年5月12日時点 で火口から6km, 13km, 17km, 18km付近で河床変動 があったこと、この時6km、13km付近において火砕流 堆積物から水蒸気が発生していることから堆積物が高温 であったことも報告している。

本稿では、同定点観測において計測した火砕流堆積物 の表面温度の時系列計測結果を示す。計測値の精度は必 ずしも高いとはいえないものの、火砕流堆積物の表面温 度の約2ヶ月間の変化を基礎情報として報告し、1月10 日および2月4日前後の温度変化と土砂移動について考 察する。

3.2 方法

2010年11月5日に発生した火砕流は、ムラピ火山火 口付近の南面斜面を源頭部とするゲンドール川(K.Gend ol)を埋塞した。火砕流堆積物の縦断的な表面温度を時 系列的に取得するために、元河川に沿って縦断的に10 点の観測点を設置し、2日に1回の頻度(ただし観測最 終日の3月5日は除く)で定点観測を実施した。観測日 の午前中に観測員がそれぞれの観測点において火砕流堆 積物の表面温度を測定した。観測点の平面座標・標高・ 火口からの距離を表-1に示し、位置を図-8に示す。以後、 観測点は表-1の記号G-01からG-10で示す。

火砕流堆積物の表面温度の計測は作業員の安全を最優

表-1 観測点の位置情報と火口からの距離. 測地系は WGS84/UTM49S である.

symbol	x (m)	y (m)	z (m)	distance [*] (km)
G-01	439428	9160944	1024	5.6
G-02	439663	9160360	968	6.2
G-03	440057	9158592	792	8.0
G-04	440338	9157938	738	8.6
G-05	440353	9157532	713	9.0
G-06	440399	9156098	608	10.5
G-07	440586	9154818	534	11.8
G-08	440828	9154134	501	12.5
G-09	441412	9151238	369	15.4
G-10	441996	9149390	294	17.3

*distance between crator of Mt. Merapi and each point



図-8 ムラピ火山南面斜面と観測点との位置関係

先して以下のように実施した:

・試掘することは非常に危険であったため、現地の表層 にて計測棒を約30cm表層に挿入し計測した。

・計測棒は300℃まで計測可能である計器を使用した。

・計測箇所は各計測地点の渓岸付近とし、可能な限り同 一箇所とした。

・1回の計測あたり3回表面温度を測定し、温度を小数 点1桁まで読み摂氏で記録した。

計測棒では地中から吹き上げる水蒸気温度を計測してし まい,堆積物そのものの温度を測ることは困難であった。 従って,計測された地表面温度は,厳密には火砕流堆積



図-9 火砕流堆積物の表面温度変化。2011年1月7日から3月4日まで2日に1回の頻度で計測実施。

物のごく近傍の気体の温度である。それぞれの計測にお いて3回の計測値のばらつきは小さいものの風によるセ ンサ付近の空気の乱れなどの影響を受けたと考えられる。 また、いずれの計測日の午前中にも降雨はなかったが、 雨期特有の短時間降雨が、計測日の午後や非計測日に発 生した日もあった。なお、表面温度計測と同時に周辺状 況写真を撮影し、火砕流堆積物の侵食状況や流水の有無 についても記録した。

3.3 結果と考察

G-01~G-10の火砕流堆積物の表面温度の計測値を図 -9に示す。上から下に向かって上流から下流(高標高から低標高)に並べており、G-01~G-08およびG-09~G-10 はそれぞれ縦軸の温度の範囲をそろえている。白丸は計 測値の平均温度である。横軸の時間はインドネシア西部 時間(UTC+7)である。

G-09~G-10 は表面温度が計測開始時に約40℃でその 後概ね2回不連続的に約5から10℃の温度低下が見られ るもののその間はほぼ安定した温度が計測されている。 観測期間中,近傍の河川では流水が確認され蒸気も見ら れた。自然状態とは異なっているもの,外気温と同程度 の温度で安定しているため火砕流堆積物が冷えた状態に 近いと考えられる。一方,G-01~G-08 は観測期間中,い ずれの地点でも概ね100℃と90℃の範囲内であった。水 分が蒸発する程度の高温を維持し不連続的な変化はなか った。標高1000mから700mのG-01~G-05では観測開 始時から表面温度が漸減し1月27日に増加するものの再 び漸減する冷却傾向が見られた。一方,標高600mから 500mのG-06~G-08では2ヶ月間概ね100℃程度が定常 的に記録された。植野・吉田³⁾が報告しているように土 石流が発生する降雨を何度も受けて冷えることを考える と,水蒸気を計測したために100℃程度の値で安定して しまい,堆積物の実際の温度はそれより高温であった可 能性が高い。少しずつ冷却され、2月以降計測値が漸減 する傾向に変化したと考えられる。

次に表面温度と土石流発生や堆積物侵食との関係をみ る。1月10日に十石流が氾濫した12km付近のG-08の 前後の日の計測値がそれぞれ 97.3、98.5℃である。その ため堆積物の表面温度は100℃以上と考えられる。一方、 2月2日から4日の間の侵食イベント前後でG-04の表面 温度はほとんど変化しておらず、2月2日および4日に おける作業員が記録する時刻には流水が確認されていな い。また、上下流の観測点(G-03やG-05)の表面温度 の値や変化傾向はG-04とほぼ同様であるにも関わらず、 G-04 以外では顕著な堆積物の侵食は確認されていない。 西田・水山4) では雲仙普賢岳の火砕流堆積斜面における 現地観測を踏まえた研究において火砕流堆積物斜面の表 層 20 cm 程度が冷却すれば土石流が発生し得るとしてい るが、今回とりまとめた標高1,000m以下の火砕流堆積 物の表面温度の低下状況と、ゲンドール川における土石 流を含めた降雨に伴う土砂移動現象の発生の間に明瞭な 相関は認められなかった。

4. おわりに

本研究では平成 24 年度から継続して実施している桜 島有村川での土石流観測結果を示した。平成 25 年 9 月 1 日と 2 日の観測の結果、「流量のピーク時において単位体 積重量が比較的大きな値で一定の値を示す現象」と「流 量のピーク時において単位体積重量が減少する現象」の 相反する現象が観測された。原因としては、巨礫の重量、 支川からの多量の水の流入などが考えられるが、解明は 今後の課題である。また、2010年11月5日にムラピ火 山南西のゲンドール川を埋塞した火砕流堆積物の表面温 度の時系列変化を川の縦断形状に沿って設置した定点に て計測し、土石流発生との関係を整理した。その結果、 表面温度の計測実施期間においては、火砕流堆積物の表 面温度の低下状況と、土石流を含めた降雨に伴う土砂移 動現象の発生の間には明瞭な関係が見られなかった。

謝辞

桜島における土石流観測について、国土交通省九州地 方整備局大隅河川国道事務所には土石流荷重データの提 供や現地調査に関する便宜を図って頂いた。インドネシ ア・ムラピ火山の表面温度の計測に当たっては八千代エ ンジニヤリング㈱ 福島淳一氏に多大なご協力を頂いた。 記して謝意を表します。

参考文献

- 大坂剛,高橋英一,國友優,山越隆雄,能和幸範,木佐洋 志,石塚忠範,宇都宮玲,横山康二,水山高久:桜島におけ る土石流荷重計による単位体積重量測定,砂防学会誌, Vol.65, No.6, pp.46-50, 2013
- 2) 山越隆雄, 清水武志, 中野陽子, 石塚忠範, 福島淳一:2010 年10 月インドネシア国ムラピ火山噴火に伴う火砕流と土 石流の発生について(速報), 砂防学会研究発表会, pp.470-471, 2011
- 3) 植野利康,吉田桂治:インドネシア・メラピ山 2010 年噴 火以降の土石流災害報告,砂防学会誌,Vol.64, No.2, pp.54-57, 2011
- 西田顕郎,水山高久:火砕流堆積物の冷却と土石流発生, 砂防学会誌, Vol.51, No.3, pp.11-18, 1998

A STUDY ON EMERGENCY MITIGATION MEASURES AGAINST SEDIMENT-RELATED DISASTERS CAUSED BY VOLCANIC ERUPTION

Budged : Grants for operating expenses General account Research Period : FY2011-2015 Research Team : Erosion and Sediment Control Research Group(Volcano and Debris flow) Authors : ISHIZUKA Tadanori MORITA Kouji SHIMIZU Takeshi

Abstract : Japan is posed to risks of volcanic eruption-induced sediment-related disasters, so that it is necessary to research and develop emergency mitigation measures against them. In F.Y.2013, the field observation of debris flow with high sediment concentration in Sakurajima volcano has been continuing since F.Y.2012. The force plate could measure time series of unit volume force and volumetric sediment concentration. On the other hand, in order to investigate an effect of surface temperature of pyroclastic sediment on debris flow occurrence, an in situ stationary measurement of the surface temperature of pyroclastic sediment yielded by 2010 October eruption of Merapi volcano in Indonesia had executed. The measurement results shows no explicit relationship between the temperature and debris flow occurrence.

Key words : debris flow, force plate, Sakurajima volcano, debris flow hydrograph, Merapi volcano, pyroclastic flow, surface temparature