

1993年雲仙における土石流の現地観測

Field Measurements of Debris Flows on Mount Unzendake, 1993

平野宗夫*・橋本晴行**・河野通斉***

By Muneo HIRANO, Haruyuki HASHIMOTO and Michinari KOHNO

Between June and August, 1993 field observations and measurements of debris flows have been carried out at two locations on Mount Unzendake. One of the instrumented study sites was a downstream reach of the Mizunashi River, which is 11.6m wide and have an average slope of about 2.9° . The other was a downstream reach of the Nakao River, which is 7.2m wide and have an average slope of about 1.4° . Radio current-meter and ultrasonic water level gauge were used to obtain surface velocity, depth and discharge for the several flows.

The value of nondimensional surface velocity u_s/u_* was found 5. Peak discharge was found $Q=195\text{m}^3/\text{s}$ at the Mizunashi River and $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ at the Nakao River. Spectra of velocity and water-level variance shows maximum at $f \approx 10^{-2}\text{Hz}$.

Keywords: Mount Unzendake, the Mizunashi River, the Nakao River, debris flow, mud flow

1. はじめに

雲仙普賢岳は1990年11月の噴火以来、丸3年になるが、今なお火砕流を頻発させるなど活発な活動を続け、周辺には約1億5000万 m^3 もの土砂を堆積させている¹⁾。そのため比較的わずかな降雨でも土石流が発生しており、特に本年は例年になく降雨が多かったことや垂木台地が火砕流堆積物で埋め尽くされたことなどから、水無川はもちろん中尾川においても土石流が頻発するようになった。流域住民の多くが降雨の予報の度毎に避難を余儀なくされ、土石流の現地観測を行い、その特性を明らかにすることが防災対策上重要である。

土石流の現地観測は、土石流頻発地の焼岳、桜島やインドネシアのメラピ火山などにおいて実施されている^{2), 3), 4)}。これらはビデオ計測が主であるが、電波流速計や超音波水位計などの非接触による計測法も併用されている。しかしながら、雲仙においては建設省、長崎県などによるビデオ計測が主であり、土石流の特性を把握するまでには至っていない。

著者らは、1991年から湯江川と中尾川において、さらに1992年からは水無川において超音波水位計と電波流速計から成る計測システムを設置し、土石流の観測に努めてきた。その結果、1992年水無川の大南橋で土石流の実測に成功したが⁵⁾、この地点は土石流の堆積区間内にあったため、水深の精度に問題を残した。そのため本年6月には土石流通過区間内の国道57号線水無川橋に観測点を移し、計測を行った。一方、中尾川

*	正会員	工博	九州大学教授	工学部建設都市工学科	(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)
**	正会員	工博	九州大学助教授	工学部建設都市工学科	(同 上)
***	学生員		九州大学大学院	工学研究科修士課程	(同 上)

では河原橋において1991年10月より1993年9月まで計測を行い、いくつかの土石流について始めて実測に成功した。このような計測と同時に中尾川では採水を行った。さらに、両河川において規模の大きな土石流が発生した場合には、その直後に踏査を行い、堆積土砂のサンプリングなども行った。

本研究は、以上の計測・踏査を基にして、前報⁵⁾に引き続いて雲仙の土石流の表面流速、水位、流量、流砂濃度などについて調べたものである。

2. 水無川、中尾川の状況と観測地点

図-1は、1993年6月20日、同年7月23日撮影の航空写真をもとに描いた流路の平面図である。ここに図中の破線は流路の不明瞭な部分を表わしている。図-2, 3は、火山基本図(1992年4月国土地理院発行)および1/25000地形図(国土地理院発行)をそれぞれ用いて図-1の流路に沿って縦断面図を求めたものである。

図-2では水無川各支川毎に縦断を示しているが、そのうちおしが谷の流路を勾配 θ_0 などの地形条件をもとに便宜上4つの区間に分けた。また図-3では中尾川の流路を同様に4つの区間に分けた。それらの区間をそれぞれ図-2, 3の上部に勾配とともに示す。

1993年に発生した主な土石流としては、水無川では、まず4月28日～29日、5月2日の土石流がある。これらは広域農道の茶屋の松橋から下流の河道を完全に埋没するとともに、扇状に氾濫した。前者は茶屋の松橋を半壊し、後者は国道57号線上の水無川橋の欄干を一部破壊した。その後河道内の土砂は除去されたが、6月12日深夜からの土石流により茶屋の松橋から下流の河道は再び埋没した。除去する余裕もなく、続いて6月18日～19日、6月22日～23日と断続的に大規模な土石流が発生した。前者により、水無川橋とすぐ下流の橋ノ川橋が流失し、水無川橋から下流側の河道はほぼ完全に堆積土砂で埋没した。

一方中尾川では、4月28日～29日、5月2日に土石流が発生し、谷の出口の南千本木町付近で氾濫堆積したのが最初であった。その後火砕流が中尾川を下り、火山灰を周辺に堆積させたことと相まって、土石流が

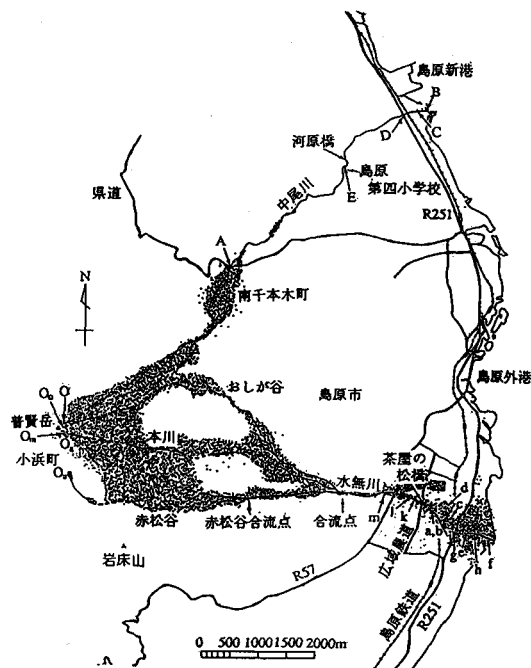


図-1 水無川および中尾川流域の平面図
(1993年6月20日および7月23日撮影の航空写真による)

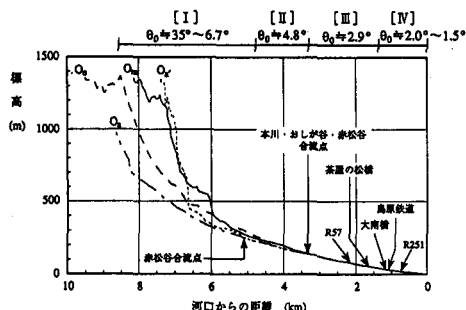


図-2 水無川の縦断面図
(1992年4月国土地理院発行の火山基本図による)

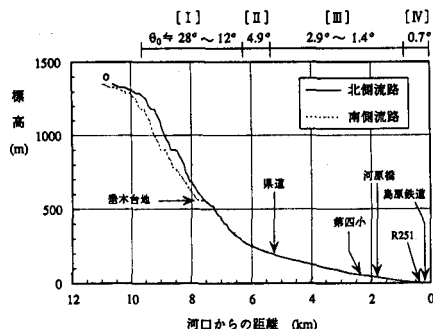


図-3 中尾川の縦断面図
(国土地理院発行の1/25000地形図による)

頻発するようになった。7月4日、8月20日には比較的大きな土石流が発生して、下流まで流出し、国道251号線上の扇田大橋と島原鉄道橋を閉塞・氾濫した。

このように水無川で発生した土石流は、主として、広域農道の茶屋の松橋付近を境にして勾配 2.9° の区間 [III] までは堆積することなく通過し、勾配 $2.0^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$ の区間 [IV] では堆積している。特に国道251号から下流の林出橋にかけて勾配が急減しており、この区間において初期堆積が発生しているもようである。

一方、中尾川で発生した土石流は、勾配 4.9° の南千本木町(区間 [II])において扇状に比較的粗粒な土砂を中心に堆積させている。区間 [II] を流下した細粒土砂は区間 [III] において一部砂防ダムに捕捉されながらも大部分は流下し、勾配 0.7° の区間 [IV] において堆積したり、海へ流出したりしている。

以上のような状況下において、水無川では区間 [III] の国道57号線上的水無川橋に、中尾川では区間 [III] の河原橋にそれぞれ計測用センサーを設置した。いずれも土石流の通過区間内である。水無川橋では、河道幅11.6m、橋桁から河道までのクリアランス5.5mである。一方、河原橋では、河道幅7.2m、クリアランス2.9mである。センサーはいずれも橋梁の下流側に設置した。

3. 観測方法

測定は前報⁵⁾と同様なシステムを用いた。非接触で測定を行う必要があるため、水位計として超音波水位計を、流速計として電波流速計を用いた。前者は0.2秒毎に測定が行われ、2秒間の平均値が変換器より出力されるようになっている。測定範囲は0~10m、測定精度は±1cm以内である。後者は1秒間の平均値が出力され、測定範囲は0.5~10m/s、精度は±10cm/s以内である。

データの収録は、水無川では、連続的に収録するデータレコーダと30秒間隔で収録するデータロガーを並列に接続して行った。前者は、トリガレベルユニットを介して水位がある閾値を越えたときに記録を自動的に開始し、後者は常時収録を行うように工夫した。記録時間は、前者は2時間、後者は10.4日間である。

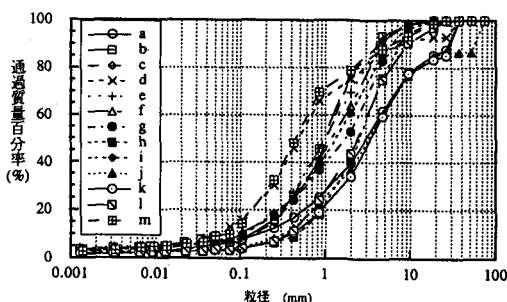
一方、中尾川ではデータロガーは用いずにデータレコーダのみを用いて収録を行った。

データレコーダに記録されたデータはサンプリング間隔1ヘルツでAD変換し、処理を行った。

4. 観測結果と考察

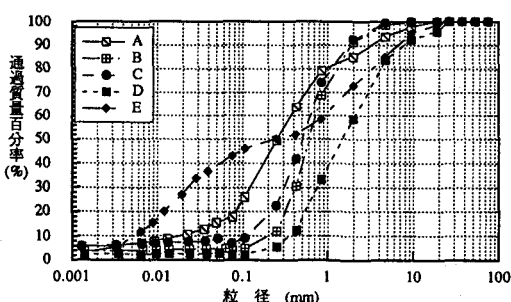
4.1 堆積土砂の粒度特性

図-4は、水無川における河道堆積土砂(a, b, e, f, h, k, l, m)および氾濫堆積土砂(c, d, g, i, j)の粒度分布を示す。また、図-5は、中尾川における河道堆積土砂(B, C, D)、氾濫堆積土砂(A)および採水中の流砂(E)の粒度分布を示す。ここに、採水の時間は7月17日については土石流発生(7月17日1時30分頃)から約10時間経過した後であり、8月22日については土石流発生(8月20日6時45分頃)から2.3日経過



(a: 1993年5月1日, b: 5月1日, c: 5月1日, d: 5月1日, e: 5月1日, f: 5月1日, g: 5月1日, h: 6月14日, i: 6月20日, j: 6月20日, k: 6月20日, l: 6月20日, m: 6月20日)

図-4 水無川における堆積土砂の粒度分布



(A: 1993年6月21日, B: 7月5日, C: 7月5日, D: 7月5日, E: 7月17日+8月22日)

図-5 中尾川における土石流および堆積土砂の粒度分布

した後である。採取地点は図-1に、採取日は図-4, 5の下部にそれぞれ示す。

水無川については中央粒径 $d_{50}=0.4\sim 3\text{mm}$ であるが、その多くは $d_{50}=1\sim 3\text{mm}$ の極粗砂である。微細砂やシルトなどの細粒成分はわずかしかな含まれていない。また、採取地点では、粗粒な成分も観察され、巨礫などが多く点在している。

中尾川については、 $d_{50}=0.2\sim 2\text{mm}$ であった。上流の県道付近では比較的粗粒な堆積土砂が観察されるが、下流の国道251号付近では巨礫などはあまり観察されなかった。県道付近には火砕流堆積物も存在するため、土石流堆積物との区別は明らかではないが、土石流中の粗粒成分の多くはこの付近に堆積して、残りの細粒成分は下流の251号付近に流出・堆積したものである。採水された流砂の粒度分布はシルトから極粗砂までの広範な分布を示すのに対して、堆積土砂は比較的均一である。これは微細砂成分の多くは、河道内に堆積することなく海へ流出したためと思われる。

4・2 表面流速、水位、流量の特性

図-6は、水無川において1993年6月12日～13日に発生した土石流の計測結果と降雨状況を示す。ここに u_s は表面流速、 H は水位、 Q は流量で

$$Q = \alpha u_s (H - z) B \quad (1)$$

として求めた。ここに、補正係数 $\alpha=0.7^5$ 、河道幅 $B=12\text{m}$ である。河床 z は、土石流通過前後の $u_s=0$ の時点における水位を河床とみなし、その間は直線で補間した。

雨は6月12日20時頃から降り始め、15日の18時頃まで断続的に降った。時間雨量のピークはまず13日1時～2時に30mm、19時～20時に36.5mmをそれぞれ記録し、総雨量は $\Sigma r=297\text{mm}$ であった。計測は14日の12時45分まで行ったが、それまでの総雨量は $\Sigma r=186.5\text{mm}$ であった。このような降雨に対して電波流速計は12日21時59分から明瞭な反応を示し始めた。13日0時59分からは急増し、1時2分には最大流速 $u_s=832\text{cm/s}$ を記録した。その後19時49分にも $u_s=799\text{cm/s}$ を記録した。一方、水位 H は12日の22時35分から増加し始め、13日0時59分から急増した。2時15分には最高水位 $H=687\text{cm}$ を記録した。その後20時1分にも $H=614\text{cm}$ を記録した。流量 Q は13日1時15分にピーク流量 $Q=164\text{m}^3/\text{s}$ を、さらに20時1分にもピーク流量 $Q=195\text{m}^3/\text{s}$ を示した。総流出量は $V_t = \int Q dt = 477,000\text{m}^3$ であった。

図-7は、中尾川において8月2日に記録した結果である。ここに流量は式(1)を用い、河床高 $z=30\text{cm}$ 、 $B=7.2\text{m}$ である。水位が1m以上になったときに記録を開始するようにトリガーをかけたため、低水時の記録は落ちているものの、ピークはとらえることができたものと思われる。降雨は14時から15時において時間最大雨量20mmを記録したが、これに対応して電波流速計は15時39分に最大

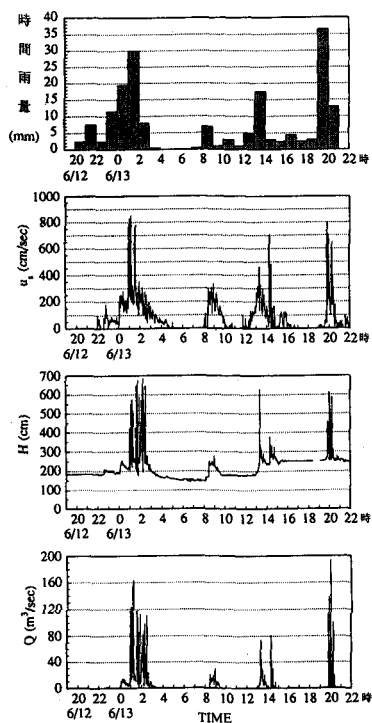


図-6 1993年6月12日～13日に水無川橋で観測された土石流と降雨の波形

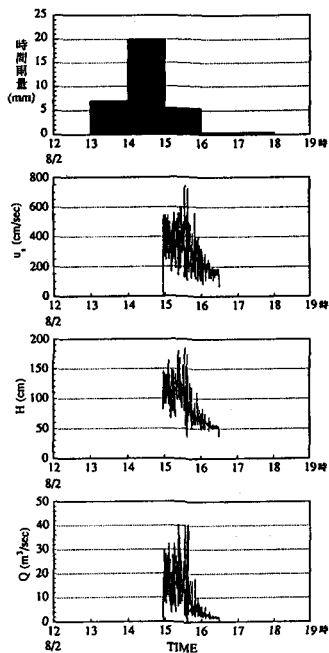


図-7 1993年8月2日に中尾川河原橋で観測された土石流と降雨の波形

流速 $u_s=724\text{cm/s}$ を、超音波水位計は15時33分に最高水位 $H=185\text{cm}$ をそれぞれ記録した。その結果、15時22分に最大流量 $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ を示した。

図-8 (a), (b) は、表面流速の無次元量 u_s/u_* と水深 h 、径深 R との関係をそれぞれ示したものである。ここに u_* は摩擦速度で水無川では $u_* = \sqrt{gh \sin \theta_0}$ 、中尾川では $u_* = \sqrt{gR \sin \theta_0}$ として求めた。流速計の測定範囲は約 0.5m/s 以上であるから、水無川橋において $h=10\text{cm}$ で $u_s/u_* \leq 2.2$ 、中尾川河原橋において $R=10\text{cm}$ で $u_s/u_* < 3.2$ では良い精度は得られない。また、河床高の問題などから水深の小さい場合は十分な精度が得られないであろう。無次元表面流速はバラツキが大きいものの、中尾川の無次元表面流速は水無川のそれより大きくなっている。これは中尾川の流砂濃度が比較的小さくなっているためであると考えられる。また水無川では水深が大きくなるに従い、無次元表面流速が小さくなっているようである。これは1992年の実測⁹⁾とほぼ同様な結果であり、規模が大きくなるに従い、流砂の濃度やその粒径が大きくなっていることが考えられる。

図-9, 10は、中尾川において測定された表面流速、水位の変動スペクトルの1例である。いずれも $f \approx 10^{-2}$ ヘルツでピークが現われ、これより高周波側では急激に減衰している。100秒に1回ぐらいの割合で波動が発生していることが分かる。平均の表面流速、水位を用いた流れのフルード数は $F_r = u_s/\sqrt{gh} = 1.37$ で、表面流速の変動係数0.194、水深の変動係数0.216であった。

4・3 流砂濃度

中尾川観測点の河原橋からすぐ上流の落差工（島原市立第4小学校付近）において採水した流砂の濃度を図-11に示す。同図には水路実験結果^{6), 7)} および1992年水無川において採水した結果⁵⁾ も示している。中尾川では、採水が土石流発生後10時間以上経過した後で減水期であること、及び上流の区間 [II] に大部分の土砂が堆積したことなどから、流砂濃度は比較的小さく、1～2%であった。これは、水無川にくらべて無次元表面流速が比較的大きいことに対応している。

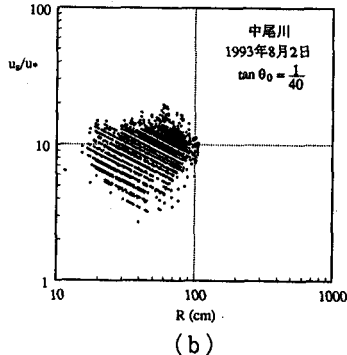
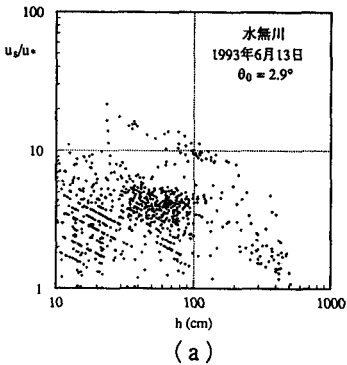


図-8 表面流速の無次元量

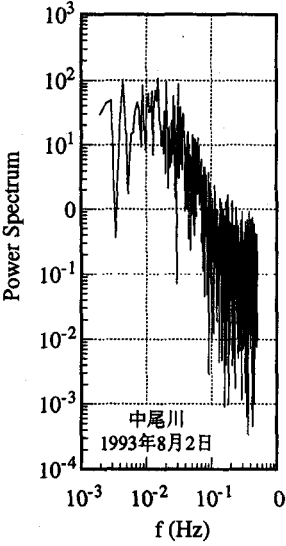


図-9 表面流速変動の
パワースペクトル

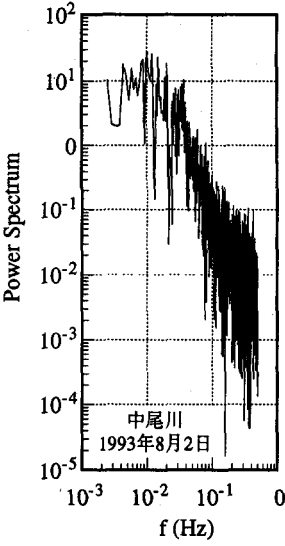


図-10 水位変動の
パワースペクトル

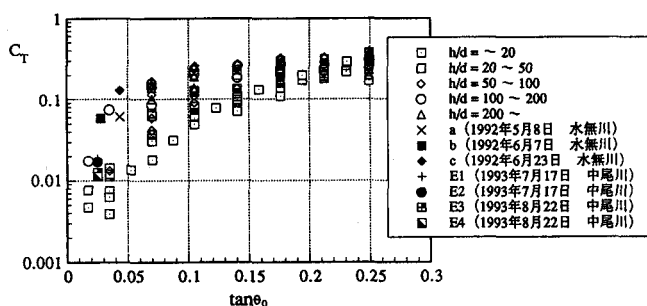


図-11 流砂濃度と勾配との関係

表-1 水無川における
流砂濃度と流出係数

	Σr (mm)	V_t (m^3)	V_s (m^3)	C_T	f
1992年6月7日	60	156,000	15,000	0.072	0.18
1992年6月23日	108	856,000	68,000	0.060	0.55
1993年6月13日	186.5	477,000	274,000	0.431	0.19

4・4 流出係数

総流出量 V_t と流出土砂量を用いると平均的な流砂濃度 C_T や流出係数を推定することもできる。流出土砂量は堆砂量 V_s から近似的に得られる。水無川で実測された土石流についてその結果を表-1に示す。ここに最密充填濃度 $C_0=0.75$ とした。また流出係数は $f=V_t/(A\Sigma r)$ として求めた。堆砂量や水位、水深などの精度に問題はあもの、水無川は中尾川より高濃度の土砂を下流まで輸送している。また、流出係数は $f=0.2\sim 0.6$ であることが分かる。

5. 結語

以上、水無川では1993年6月に国道57号線上の水無川橋において、中尾川では1991年10月から1993年9月まで河原橋において土石流の現地観測を行い、ハイドログラフ、無次元表面流速、流速・水面変動特性、流砂濃度、流出係数などを明らかにした。

本研究を行うにあたり、建設省雲仙復興工事事務所には観測の便宜を、気象庁雲仙岳測候所には雨量資料の提供を、陸上自衛隊・長崎県島原振興局、長崎大学工学部高橋和雄教授には種々の資料の提供を受けた。九州大学工学部生垣田直樹、寺中孝司の両氏にはデータ整理などにおいて多くの助力を受けた。また本研究は一部文部省科学研究費総合研究(A)「雲仙岳の土石流・火砕流災害に関する調査研究」(代表者 平野宗夫)および同一般研究(C)「雲仙水無川における土石流の現地計測と流出規模の予測」(代表者 橋本晴行)の補助を受けた。ここに深甚なる謝意を表わします。

参考文献

- 1) 地質調査所・気象庁雲仙岳測候所：雲仙岳1991-93年噴火の火砕流堆積物の体積測定(その2)、火山噴火予知連絡会会報、第56号、1993。
- 2) 諏訪浩・奥西一夫：土石流の流動特性・材料特性と規模、京都大学防災研究所年報、33号B-1、1990。
- 3) 芦田和男・沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出(20)、京都大学防災研究所年報、34号B-2、1991。
- 4) 建設省大隅工事事務所：桜島の土石流、砂防広報センター、1988。
- 5) 平野宗夫・橋本晴行・村上浩史：雲仙水無川における土石流の現地計測とその特性、水工学論文集、第37巻、1993。
- 6) 橋本晴行・椿東一郎・平野宗夫：土砂の掃流状集合流動について、第30回水理講演会論文集、1986。
- 7) 平野宗夫・橋本晴行・田崎武詞 他3名：泥流の特性に関する実験的研究、土木学会第44回年次学術講演会、1989。