

桜島における土石流による流出土砂量

鹿児島大学農学部 ○地頭 隆・徳田 謙治・下川 悦郎

1. まえがき

桜島山体上腹部は火山活動に伴う火山灰や火山ガスにより森林植生は後退し、非常に荒廃した状態にある。土壌浸透能の極端な低下により増大した表面流は山体を激しく侵食し、深く刻まれた溪流ではわずかな雨で土石流が頻繁に発生し、多量の土砂が下流部へ流出している。桜島北岳山体で発生する土石流の発生・流出特性を明らかにする目的で、1980年からワイヤーセンサーとビデオカメラを組み合わせた観測装置により土石流を観測している。さらに、1991年からは土砂礫を含む流れの水位観測が可能な超音波式水位計を追加設置し、土石流および土石流に至らない小規模な出水の連続観測を行っている。また、1993年には土石流観測地点において土石流スラリーのサンプルを採取し、その土砂濃度を測定した。超音波式水位計から得られた流量データと土砂濃度の測定結果から土石流による流出土砂量を算出した。ここでは、その観測結果について報告する。

2. 観測位置と観測方法

超音波式水位計の設置位置は桜島北岳山体であり、ビデオカメラにより土石流観測を行っている溪流のひとつである西道川の下流（流域面積1.43km²）である（図1）。水位計は底面幅10mのコンクリート三面張り水路に取り付けた。超音波式水位計は、送受波器から発射された超音波が水面で反射してくる時間を測定し水面を検出する非接触型の水位計であり、フロート式や水圧式等の水位計では観測が困難な土石や土砂を含む流れの水位観測も可能である。降雨は流域の中腹部の標高350m地点（第二上西道橋）で観測している（図1）。

3. 土砂濃度の測定

土石流による流出量は雨水流出成分と土砂流出成分から構成され、土石流の土砂濃度がわかれば土石流による流出土砂量を算出することができる。西道川下流の土石流観測地点において土石流スラリーのサンプルを採取、その土砂濃度を測定した。サンプル採取方法は、水路を横断して張ったロープ中央部に滑車を取り付け、この滑車によりサンプラーを人力で上昇下降させ、土石流を採取するものである。サンプラーは採取口15cm×15cm、深さ30cmの大きさの容器であり、重量は約22kgである。土石流体内へサンプラーを投下する際は、サンプラーの採取口が上流側を向くよ

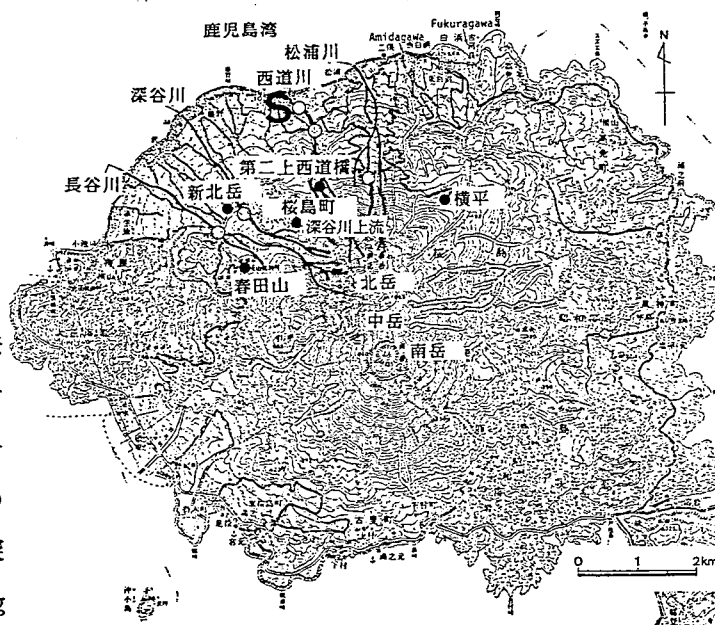


図1 土石流および降雨観測地点
○土石流観測地点 ●降雨観測地点
S 超音波式水位計

うに工夫されている。採取後はサンプラーを人力でつり上げ、左岸側壁側に手繰り寄せ、試料を採取する。採取した試料は室内で炉乾燥し、土砂濃度（試料の全体積に対する土砂量の体積割合）を算出した。

土石流スラリーのサンプル採取は、土石流発生をもたらすような大雨を予測し西道川下流の土石流観測地点に待機する方法で行った。1993年の6月～7月にかけて大雨が予測された日に6回観測に出かけ、7月2日、4日および7日に土石流スラリーのサンプル採取に成功した。土石流スラリーは流量の変化に対応させ数分おきに採取した。図2は、超音波式水位計データから求めた土石流ハイドログラフと土石流の土砂濃度をそれぞれプロットしたものである。土石流の土砂濃度は流量の変化とよく対応していることがわかる。図3は、3土石流の土砂濃度測定から得られた土石流の土砂濃度と流量の関係を両対数方眼紙にプロットしたものである。実線は両者の回帰曲線であり、その関係式は次式で表された。

$$C = 0.342 \times Q^{1.23} \quad (1)$$

ここで、 C は土石流の土砂濃度（%）、 Q は土石流の流量（ m^3/s ）である。図3にみられる C と Q の関係の散らばりは、個々の土石流により土砂濃度が異なること、また同一の土石流においても増水時と減水時で濃度が異なることに関係している。

4. 土石流による流出土砂量

VTR方式による土石流観測では、溪流を横断して張られているワイヤーセンサーの高さの関係で小規模な土石流や出水は観測できない。これに比較して超音波式水位計による観測では土石流の水位を連続的に観測でき、規模の小さいものから大きいものまですべての土石流を記録することができる。また、VTR方式ではセンサー切断から張り替えを行う時点までの間に発生した土石流は観測できないという欠点があるが、超音波式水位計ではこの点も解決される。超音波式水位計は土石流だけでなく土石流に至らない小規模な出水も観測でき、流域からのすべての流出量を求めることが可能である。超音波式水位計による観測は流域からの流出土砂量を測定するには非常に有効な方法である。

超音波式水位計により記録された土石流・出水データと前述した土石流の土砂濃度を用いて西道川

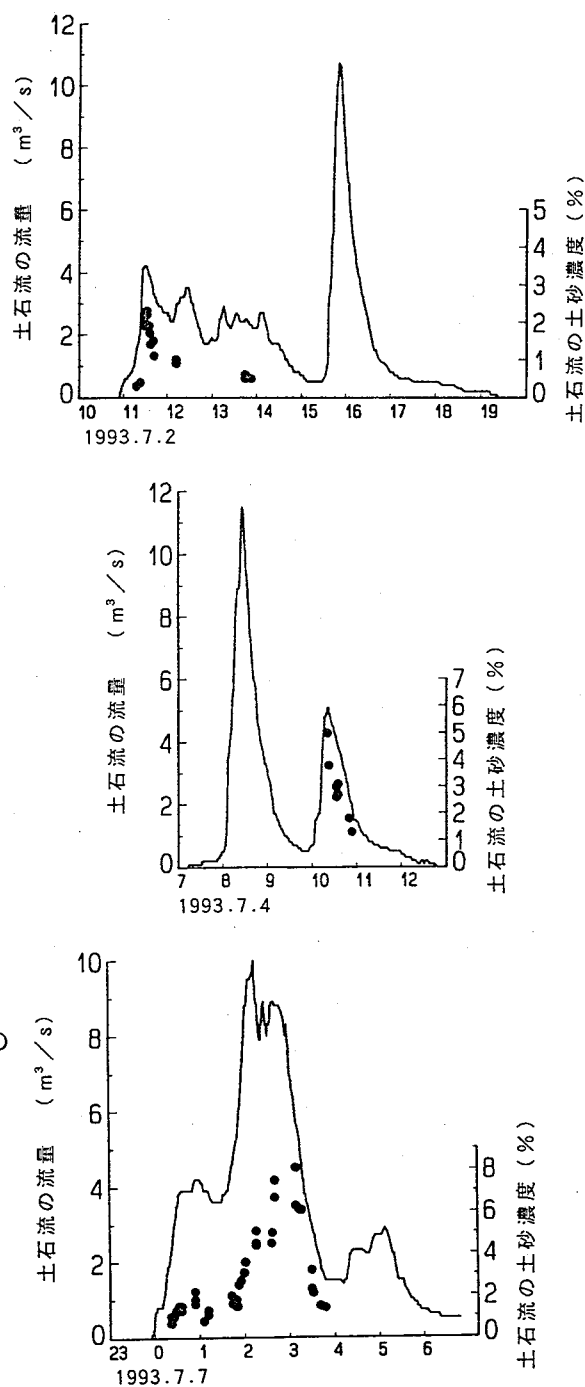


図2 土石流ハイドログラフと土砂濃度

流域からの土石流・出水による流出土砂量を計算する。超音波式水位計から得られた土石流・出水の流量データから式(1)により土砂濃度を求め、それぞれの流量に対する土砂流量を計算すると土砂流量のヒドログラフが得られる。図4は、その一例を土石流ヒドログラフ内に示したものである。1992年および1993年に観測された土石流・出水の土砂流量ヒドログラフからそれぞれの土石流・出水による流出土砂量を算出した。上述の方法により計算される土砂量は空隙を含まない土粒子のみの体積であり、実際は堆積した土砂は空隙を含んでいる。土石流スラリー内の土粒子およびダムに堆積した土砂の単位体積重量を測定すると 2.6g/cm^3 および 1.6g/cm^3 である。したがって、土砂濃度から求められた土砂量を $(2.6 \div 1.6)$ 倍(=約1.6倍)するとダム等に堆積した状態の土砂量になる。

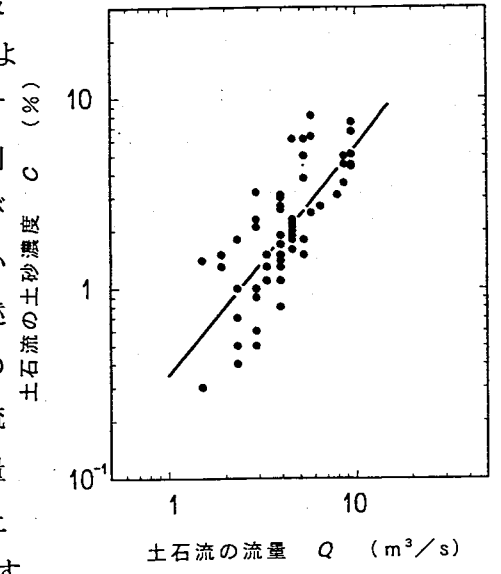


図3 土石流の土砂濃度と流量の関係

表1は、土石流・出水による流出土砂量を1992年および1993年についてまとめたものである。西道川流域から土石流・出水により流出した土砂量は1992年 $101,674\text{m}^3$ 、1993年 $104,858\text{m}^3$ であり、比土砂量に換算すると1992年約 $71,100\text{m}^3/\text{km}^2$ 、1993年約 $73,300\text{m}^3/\text{km}^2$ となる。

桜島北岳山体の侵食速度に関して、表面・リル・ガリー侵食試験から求めた結果として約 90mm/year (比土砂量で約 $90,000\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{year}$)という値が報告されている。桜島山腹斜面から表面・リル・ガリー侵食により生産された土砂の大部分は土石流により下流へ流出していることがわかる。

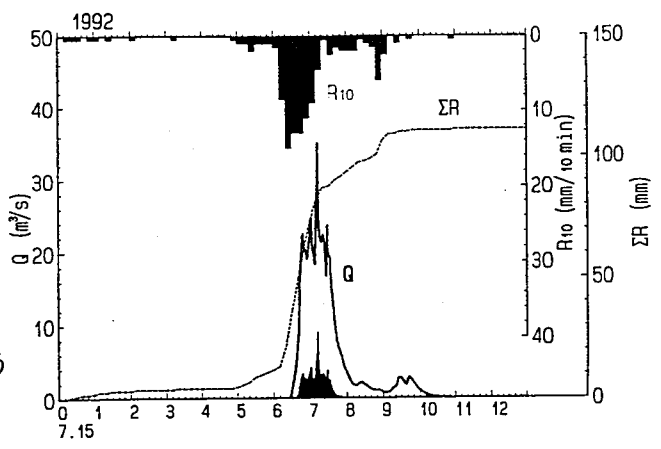


図4 土石流ヒドログラフと土砂流量のヒドログラフ

5. 水収支

超音波式水位計の記録から算出された土石流・出水による流出量の合計から土砂流出量を差し引いた残りは雨水流出量である。表1において、土石流・出水による流出量から土砂流出量を差し引き雨水流出量を求めると1992年 $749,322\text{m}^3$ および1993年 $1,733,453\text{m}^3$ であり、雨量と同じ単位に換算すると1992年 524mm および1993年 $1,212\text{mm}$ となる。一般に、山地流域では一定期間について次の水収支式が成立する。

$$P = R + L + \Delta S \quad (2)$$

ここで、 P は降水量、 R は流出量、 L は消失量、 ΔS は貯留量の変化量である。1水年を対象期間にとれば $\Delta S \approx 0$ とみなせるため、(2)式は次のようになる。

$$P = R + L \quad (3)$$

1 水年の降水量 P と流出量 R を実測すれば 1 水年の消失量 L が算出される。消失量 L には、蒸発量、蒸散量、深層透過量などが含まれる。

西道川流域において、1992年および1993年の降水量 P と流出量 R から式(3)により消失量 L を計算すると表2に示すとおりである。さらに、表2には R/P で計算される流出率も示している。西道川流域においては年降水量の70~80%が消失量となり、流域からの流出量にならなかったことになる。南九州における年蒸発散量は900~1000mmといわれていることから、西道川流域においてはかなりの量の雨水が深層透過量となっていると推定される。桜島火山では山腹斜面が火山灰に覆われ浸透能が極端に低下し表面流が発生しやすくなっているが、流出期間を長期にとれば、深層透過し直接海に流出している雨水が多いことになる。この原因は、桜島火山が成層火山であることから軽石などの透水層と溶岩等の溶結した層の互層からなり地下部に空隙が多いこと、溶結層には急激な冷却に伴う割れ目が存在し、溪床の割れ目から多量の雨水が地下部へ流入していることなどが考えられる。

末筆ではあるが、超音波式水位計や雨量計の設置においては熊本営林局鹿児島営林署のご協力を得た。ここに記して謝意を表します。

表1 西道川流域における土石流・出水による流出土砂量

年	年雨量 (mm)	土石流 (個数)	流出量 (m^3)	流出土砂量 ① (m^3)	流出土砂量 ② (m^3)
		出 水 (個数)			
1992	2,568	土石流 (18)	766,705	63,426	101,482
		出 水 (17)	46,163	120	192
		合 計	812,868	63,546	101,674
1993	4,465	土石流 (42)	1,763,311	65,446	104,714
		出 水 (16)	35,678	90	144
		合 計	1,798,989	65,536	104,858

注：流出土砂量①は空隙を含まない状態での体積。

流出土砂量②はダム等に堆積した場合（空隙を含んだ状態）での体積。

流出土砂量② = 流出土砂量① × 1.6

表2 西道川流域における水収支

年	降水量 P (mm)	流出量 R (mm)	消失量 L (mm)	流出率 (%)
1992	2,568	524	2,044	20.4
1993	4,465	1,212	3,253	27.1