

テフラの粒径の違いが斜面の浸透能, 粗度および土砂流出に及ぼす影響

寺本 行芳¹⁾・下川 悦郎¹⁾・地頭蘭 隆¹⁾

1) 鹿児島大学農学部生物環境学科

The effects of tephra grain size on the infiltration capacity, roughness and sediment discharge of slopes

TERAMOTO Yukiyo¹⁾, SHIMOKAWA Etsuro¹⁾ and JITOUSONO Takashi¹⁾

1) 鹿児島大学農学部生物環境学科

Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065

(平成15年11月25日 受 理)

Summary

To clarify the effects of tephra grain size on the infiltration capacity, roughness and sediment discharge of slopes, we conducted simple hydraulic experiments on the slopes of Unzen and Sakurajima volcanoes. The results showed that armoring of the surface soil leads to increased infiltration capacity, roughness, and dry density of surface soil and to a decline in sediment discharge. The results of the hydraulic experiments on Unzen and Sakurajima volcanoes were compared. It was found that armoring of the surface soil on Unzen had reached a more advanced stage than on Sakurajima, that infiltration capacity and roughness were greater on Unzen, and that there was less sediment discharge on Unzen than on Sakurajima.

Key words: tephra, Unzen volcano, Sakurajima volcano, volcanic activity, hydraulic experiment

キーワード: テフラ, 雲仙普賢岳, 桜島, 火山活動, 水理試験

はじめに

噴火活動に伴って放出されたテフラが地表面を覆うと, 土壌の浸透能が低下するため, 小雨でも表面流が発生する(地頭蘭・下川, 1989; 地頭蘭ら, 1997; 西田ら, 1998; 山越・諏訪, 1998; 小川ら, 2003など)。斜面では表面侵食やリル・ガリー侵食によって多量の土砂が生産され, 溪流では土石流によって多量の土砂が流出している(下川・地頭蘭, 1987a; 寺本ら, 1997など)。

著者らは, 数年以前の噴火によって形成されたテフラと現在活動している火山によって形成されたテフラにおいて粒径の違いが斜面の浸透能, 粗度および土砂流出に及ぼす影響について明らかにするため, 1995年に噴火活動を終息した雲仙と, 現在も噴火活動中の桜島を対象にして簡易な水理試験を行った。ここでは得られた結果について報告する。

調査地と方法

調査地は, 雲仙普賢岳湯江川, 中尾川および水無川流域(図-1)と桜島引ノ平川流域(図-2)である。

湯江川, 中尾川および水無川流域は, 1990~1995年までの普賢岳の噴火活動によって火山灰や火砕流堆積物に覆われている。水理試験は, 湯江川流域の火砕流堆積物上に刻まれたガリー床(2箇所)と火山灰に被覆されたヒノキ林内の斜面(7箇所), 中尾川流域の火山灰に被覆された広葉樹林内の斜面(6箇所), および水無川流域の火砕流堆積物上に刻まれたガリー床(5箇所)と火砕流堆積物斜面(8箇所)において2001年8月に実施した(図-1)。水理試験を実施した斜面における火砕流堆積物の厚さは数10m以上(石川ら, 1996), 林内の斜面における火山灰の厚さは6~8cmであった。

一方, 引ノ平川流域は, 桜島の噴火活動によって火山灰に厚く覆われている。水理試験は, 引ノ平川流域の火山灰

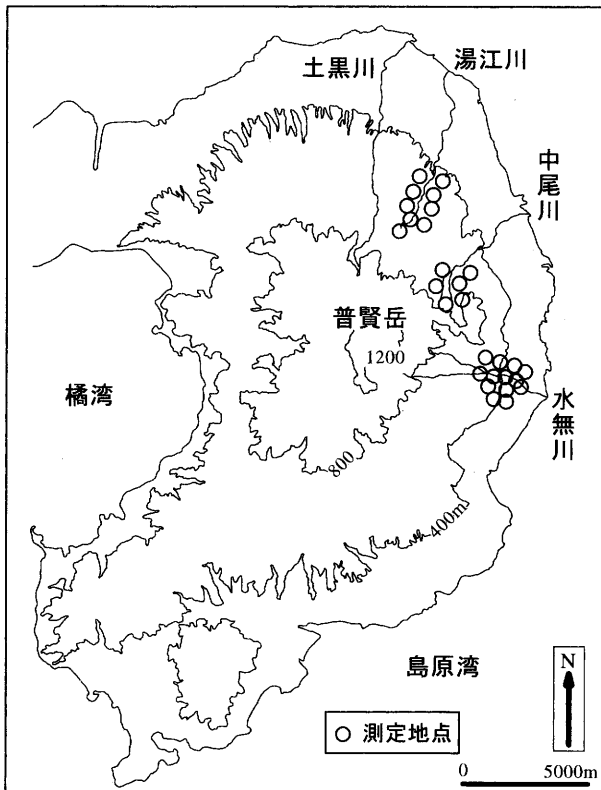


図-1 雲仙における調査地

Fig.1 Location and topography of the study area on Unzen volcano.

堆積斜面 (20箇所) で2002年3月に実施した (図-2)。水理試験を実施した斜面における火山灰の厚さは30~80cmであった。

水理試験は次のような方法で実施した。浸透能は次のような簡易な方法 (下川・地頭蘭, 1987b) で測定した。①仕切られた区画 (斜面方向の水平長1m×幅0.5m, 斜面勾配約20度, 区画内は裸地) の全面に如雨露で真上から散水し, その水が地中に浸透しないで地上を流出した量をその下端で計測する。②散水量 (2,000cc, 時間雨量に換算して240mm) から流出量を差し引いて浸透水量を求める。③浸透水量を浸透に要した (散水開始から流出終了までの) 時間で割って浸透能を求める。散水は流出量がほぼ一定になるまで3~4回繰り返して行い, 最後の測定値を浸透能とした。下端に流出した土砂は採取して持ち帰り, 炉乾燥後に重量測定を行った。この測定値を区画からの流出土砂量とした。なお, 雲仙の火砕流堆積物, 雲仙の林内火山灰および桜島の火山灰の厚さはそれぞれ異なるため, 水理試験の条件に違いがみられると考えられるが, 今回は条件の違いによる影響が無視できると考えて試験を行っている。

マンングの粗度係数の測定は北原ら (1993) と同様の方法で行った。①浸透能試験を実施した区画で流出量が一定になった後, 区画の上端に如雨露で散水し, 一定流量を流

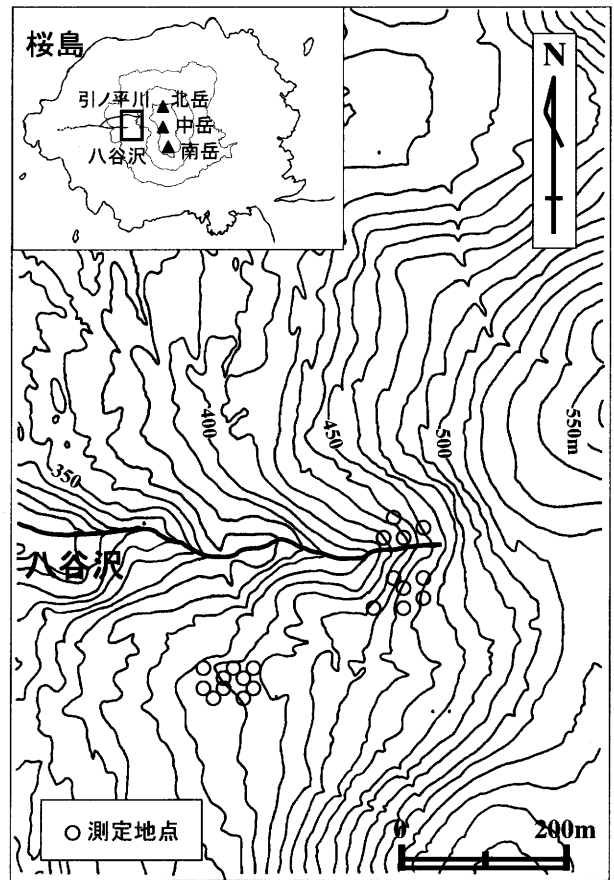


図-2 桜島における調査地

Fig.2 Location and topography of the study area on Sakurajima volcano.

下させ, その下端で地上を流出した量を計測する。上端と下端の流量を平均し, 平均流量を算出する。②流速は, 区画の上端より0, 0.2, 0.4, 0.6および0.8mの各点で黄色インクを滴下させ, 0.2m下流をインクが通過する時間を計測して求めた。さらに, 区画の上端 (0m) から下端 (1m) までを通過する時間から流速を求めた。なお, 0.2mの各区間および1mの全区間で得られた流速の平均値を平均流速としている。③平均流量および平均流速から, マニングの平均流速公式を用いて粗度係数を計算する。

水理試験終了後, 表層の不攪乱試料を採取して乾燥密度の測定を行った。不攪乱試料は, 直径55mm×高さ60mmの鋼製円筒を人力で静的に地中に押し込んで採取したものである。試料は区画内の異なる場所において5箇所採取し, これらの平均値を乾燥密度の値とした。乾燥密度の測定後5箇所の試料をひとまとめにし, 比重・密度・粒度の諸土質試験を行った。得られた試験結果を区画における表層の粒度分布とした。

テフラの粒径の違いが斜面の浸透能、粗度および土砂流出に及ぼす影響

図-3は、表層の中央粒径と浸透能の関係を示したものである。表層の中央粒径が大きくなるにつれて浸透能は増加している。浸透能増加の理由として、細粒物質の流出によって表層が粗粒化し、空隙率が大きくなったことが挙げられる。図-4は、表層の中央粒径と表層に占める0.074mm以下のシルト・粘土の割合の関係を示したものである。細粒物質の指標として、ここでは0.074mm以下のシルト・粘土の割合に着目した。表層の中央粒径が大きくなるとシルト・粘土の割合が少なくなっている。図-5は、表層の中央

中央粒径と乾燥密度の関係を示したものである。表層の中央粒径が増加するに伴って乾燥密度が減少し、表層の空隙率が大きくなっている。図-3、図-4および図-5の雲仙と桜島で得られた結果は、斜面の浸透能がシルト・粘土などの細粒物質の含有量と表層の空隙率に大きく関係していることを示唆している。西田ら(1996)も、雲仙普賢岳におけるテフラに被覆された斜面の浸透能が、細粒物質の含有量と関係していることを指摘している。

図-6は、表層の中央粒径とマンングの粗度係数の関係を示したものである。マンングの粗度係数は、浸透能同様、表層の中央粒径が増加するに伴って大きくなっている。これは、表層の粗粒化が進むほど、表面流が礫の抵抗をより

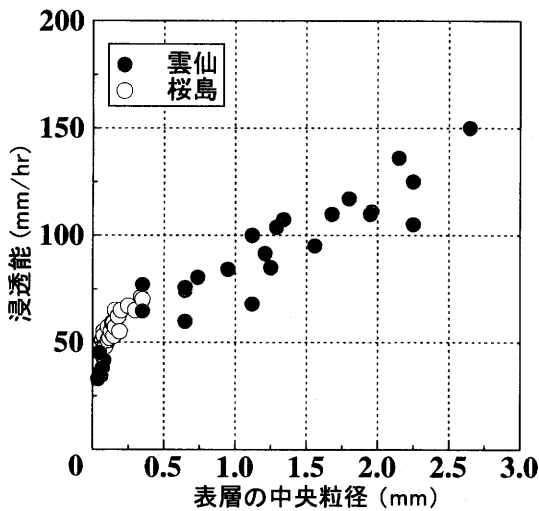


図-3 表層の中央粒径と浸透能の関係
Fig.3 Relationship between the average grain diameter of the surface soil and its infiltration capacity.

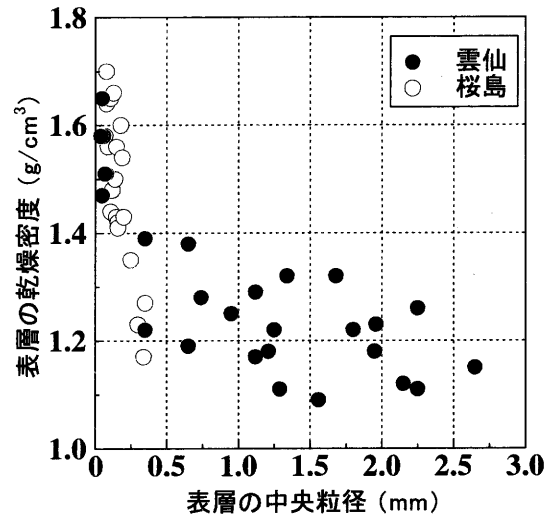


図-5 表層の中央粒径と乾燥密度の関係
Fig.5 Relationship between the average grain diameter of the surface soil and its dry density.

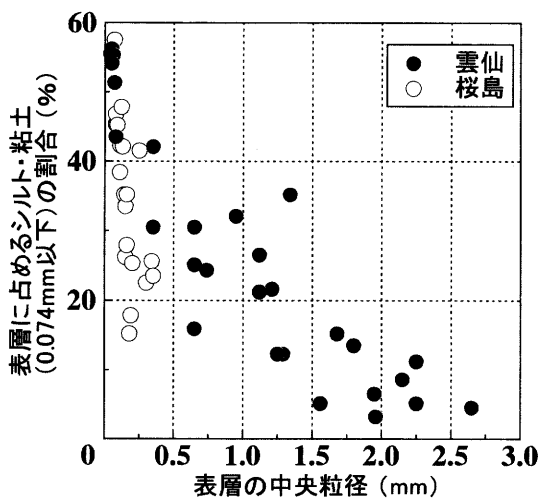


図-4 表層の中央粒径と表層に占めるシルト・粘土(0.074mm以下)の割合の関係
Fig.4 Relationship between the average grain diameter of the surface soil and ratio accounting for silt and clay ($\leq 0.074\text{mm}$) of the surface soilmass.

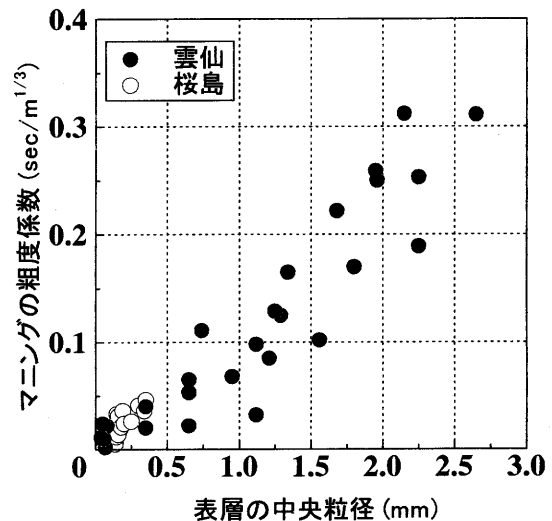


図-6 表層の中央粒径とマンングの粗度係数の関係
Fig.6 Relationship between the average grain diameter of the surface soil and Manning's coefficient of roughness.

大きく受けるためである。

図-7は、表層の中央粒径と流出土砂量の関係を示したものである。流出土砂量は区画の面積(0.5m²)当たりの土砂量で表している。流出土砂量は、表層の中央粒径が大きくなるに伴って減少している。この理由として、表層の粗粒化が進むほどより抵抗の大きな粒径が後に残るため、侵食が進むほど流出土砂量が減少することが考えられる。

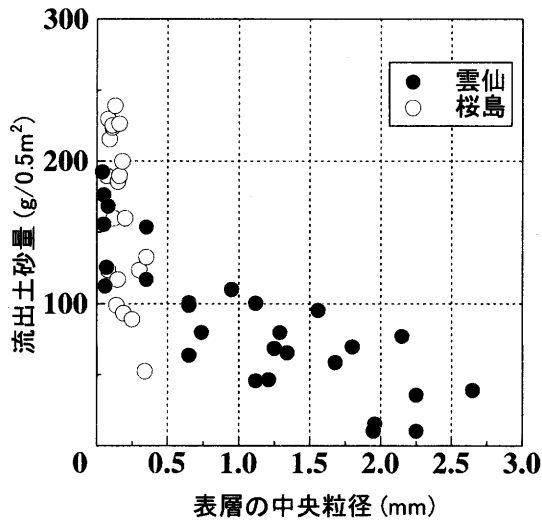


図-7 表層の中央粒径と流出土砂量の関係
Fig.7 Relationship between the average grain diameter of the surface soil and sediment discharge.

次に、雲仙と桜島でそれぞれ得られた水理試験結果について比較した(表-1)。水無川流域で得られた結果と比較すると、火砕流堆積物上に刻まれたガリー床は火砕流堆積物斜面に比べてシルト・粘土の割合が少なく粗粒化が進み、浸透能、マンニングの粗度係数および流出土砂量は火砕流堆積物斜面のそれぞれ約1.5倍、約3.2倍および約0.7倍となっている。西田ら(1996)は、噴火活動終息後の1995年に水無川流域の火砕流堆積物上に刻まれたガリー床と火砕

表-1 雲仙と桜島における水理試験結果の比較

Table 1 Comparison of the results of hydraulic experiments carried out on Unzen with those of experiments carried out on Sakurajima.

	測定箇所数	表層に占めるシルト・粘土(0.074mm以下)の割合(%)~		浸透能(mm/hr)		マンニングの粗度係数(sec/m ^{1/3})		流出土砂量(g/0.5m ²)	
		範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
火砕流堆積物上に刻まれたガリー床(雲仙水無川流域)	5	8.6~35.2	19.2	100.0~136.0	112.8	0.03~0.31	0.16	45.6~79.6	67.4
火砕流堆積物斜面(雲仙水無川流域)	8	43.5~56.2	28.8	59.8~91.5	75.5	0.02~0.09	0.05	46.3~153.6	98.2
火山灰堆積斜面(桜島引ノ平川流域)	20	15.2~57.5	34.7	48.0~71.0	58.5	0.003~0.05	0.02	52.3~238.9	163.6

流堆積物斜面において試料を採取し、粒度分析および浸透能試験を行った結果、シルト・粘土の含有割合は火砕流堆積物斜面の方が多く、浸透能はガリー床の方が大きいことを報告している。彼らの結果と今回得られた結果は合致している。ところで、水無川流域における土石流の発生頻度・規模は1994年以降経年的に減少している(寺本ら, 1997)。この理由のひとつとして、水無川流域におけるガリー侵食により初期の細粒物質で覆われた原斜面が侵食され、次に粗粒化斜面の比率が高くなることによって(寺本ら, 2002)、浸透能が増加したことが考えられるが、今回得られた結果はこれらを裏付けるものと思われる。

さらに、雲仙の火砕流堆積物斜面と桜島の火山灰堆積斜面を比較すると、雲仙の方が粗粒化が進み流出土砂量も少なくなっている。この理由として、雲仙における斜面の水文環境が噴火活動終息後回復に向かっている(地頭菌ら, 1996など)のに対し、桜島の斜面は噴火活動中で火山灰が絶え間なく供給されているため荒廃していることが考えられる。

謝 辞

末筆ではあるが、現地調査の際には鹿児島大学農学部砂防・水文学研究室の学生の皆様にご協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 石川芳治・山田 孝・千葉達朗(1996): 雲仙普賢岳噴火に伴う溶岩流及び火砕流による土砂量と地形変化. 砂防学会誌, Vol.49 No.1, p.38-44
- 地頭菌隆・下川悦郎(1989): 火山灰に覆われた桜島山腹斜面における表面流出. 砂防学会誌(新砂防), Vol.42 No.3, p.18-23
- 地頭菌隆・下川悦郎・寺本行芳・永田 治(1996): 雲仙普賢岳周辺斜面における火山灰の分布と浸透能. 砂防学

- 会誌, Vol.49 No.3, p.33-36
- 地頭蘭隆・永田 治・寺本行芳・下川悦郎 (1997): 火砕流堆積物および火山灰に覆われた雲仙普賢岳山腹斜面における表面流出. 砂防学会誌, Vol.49 No.5, p.42-48
- 北原 曜・張洪江・遠藤泰造 (1993): 中国黄土高原における森林の侵食防止機能の水理学的解明. 日林論, Vol. 104, p.747-750
- 西田顕郎・小橋澄治・水山高久 (1996): 雲仙普賢岳の土砂流出域における堆積物の浸透能の変化. 砂防学会誌, Vol.49 No.1, p.49-53
- 西田顕郎・小橋澄治・水山高久 (1998): 雲仙普賢岳火砕流堆積斜面における植生回復による表面流・土砂流出の変化. 日緑工誌, Vol. 23 No.4, p.249-255
- 小川泰浩・清水 晃・清水貴範・宮縁育夫 (2003): 細粒火山灰被覆を行った斜面の降雨流出に関する実験的研究. 砂防学会誌, Vol.55 No.5, p.22-30
- 下川悦郎・地頭蘭隆 (1987a): 火山灰の被覆が火山体の侵食速度に及ぼす影響 - 桜島火山を中心にして -. 地形, Vol.8 No.4, p.269-286
- 下川悦郎・地頭蘭隆 (1987b): 桜島における表面侵食による土砂生産. 砂防学会誌 (新砂防), Vol.39 No.6, p.11-17
- 寺本行芳・地頭蘭隆・下川悦郎・安養寺信夫 (1997): 雲仙水無川流域における流出土砂量の経年変化. 砂防学会誌, Vol.50 No.3, p.35-39
- 寺本行芳・地頭蘭隆・下川悦郎・宮本邦明 (2002): 雲仙普賢岳赤松谷川流域における地形変化と生産・流出土砂量の経年変化. 平成14年度砂防学会研究発表会概要集, p.354-355
- 山越隆雄・諏訪 浩 (1998): 雲仙普賢岳火砕流堆積斜面における植生回復に伴う降雨流出・土砂流出特性の変化. 砂防学会誌, Vol.51 No.3, p.3-10

抄 録

数年以前の噴火によって形成されたテフラと現在活動している火山によって形成されたテフラにおいて粒径の違いが斜面の浸透能、粗度および土砂流出に及ぼす影響について明らかにするため、雲仙と桜島で簡易な水理試験を行った。その結果、表層の粗粒化に伴って浸透能が増加する理由として細粒物質の流出と空隙率の増加が関係していること、粗粒化に伴って表面流が礫の抵抗をより大きく受けるようになり粗度が大きくなること、粗粒化に伴って浸透能および粗度が大きくなることにより流出土砂量が減少していくことが示唆された。

噴火活動終息後の雲仙における火砕流堆積物斜面と、噴火活動中の桜島における火山灰堆積斜面の水理試験結果を比較すると、雲仙の火砕流堆積物斜面の方が粗粒化が進み、浸透能および粗度が大きく、流出土砂量が少なくなっていた。