

雲仙普賢岳 1990 - 95 年噴火堆積物の粒度組成と浸透能

宮縁育夫*・清水 晃*・竹下敬司**

Grain Size Characteristics and Infiltration Rates of Deposits Associated with the 1990-95 Eruption of Unzen Volcano, Japan

Yasuo MIYABUCHI*, Akira SHIMIZU* and Keiji TAKESHITA**

Abstract

Unzen volcano in western Kyushu, southwestern Japan, began a series of eruptions in November 1990. Repeated pyroclastic flows and debris flows distributed a vast quantity of sediment that devastated much of the area surrounding Unzen volcano. Distribution, grain size characteristics and infiltration rates of deposits associated with the eruption were examined in order to assess potential geomorphic and sedimentologic impacts. Pyroclastic flow deposits generated by dome collapse, which are confined to valleys, are poorly sorted. Pyroclastic surge deposits, which are distributed more widely than pyroclastic flow deposits, consist mainly of well-sorted sand. Ash-fall deposits are very fine grained and well sorted. Infiltration rates in pyroclastic flow deposits were lower than rates in ash-fall deposits. The rates in pyroclastic surge deposits were highest according to the well-sorted sandy texture. Hillslopes covered with fine ash-fall deposits were the source areas of many debris flows owing to low infiltration rates at the early stage of these eruptions. However, on forested slopes infiltration rates of ash-fall deposits have increased as a result of bioturbation and intermixing of litter fall.

Key words: *Pyroclastic Flow, Pyroclastic Surge, Ash Fall, Grain Size Characteristic, Infiltration Rate.*

1. は じ め に

雲仙普賢岳 1990 - 95 年噴火は 44 名の死者・行方不明者を出すなど、周辺地域に多大な被害を及ぼした。今回の噴火活動は 1990 年 11 月 17 日に水蒸気噴火によって開始し、1991 年 5 月上旬まで間欠的な水蒸気噴火あるいはマグマ水蒸気噴火が起こった（渡辺ほか, 1992）が、5 月 20 日に山頂火口にデイサイト質の溶岩ドームが出現し、その後はドームの成長と崩壊による火砕流の発生という噴火形態へと移行した（太田, 1993; Nakada and Fujii, 1993）。

1997 年 4 月 15 日受付, 1998 年 10 月 5 日受理

* 農林水産省森林総合研究所九州支所

Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Kurokami 4-11-16, Kumamoto 860-0862, Japan.

** 〒 818-0055 福岡県筑紫野市大字塔原 296-9

Tobaru 296-9, Chikushino, Fukuoka 818-0055, Japan

ドーム崩落型火砕流は東斜面の水無川本流だけでなく、北東のおしが谷や南東の赤松谷方向へ流下するようになった。4年以上に及んだ噴火活動は1995年に入ってドームへの溶岩供給が止み、その活動は停止状態となり、同年5月には活動終息宣言が出されるに至った。

溶岩ドームの形成と火砕流堆積物によって雲仙普賢岳周辺の地形は大きく変化した。火砕流堆積物などの火山砕屑物が堆積した山体においては、新たな開析現象が開始する。こうした斜面では、噴火直後に急速に侵食が進行するが、数年後には侵食速度が急減することが、Mount St. Helens (Swanson et al., 1983; Collins and Dunne, 1986) や有珠山 (山本, 1984) で報告されている。雲仙普賢岳においても、噴火活動初期の降下火山灰被覆による浸透能低下が報告され (池谷ほか, 1995), 豪雨による土石流が頻発して水無川や中尾川流域などで土砂災害が起こったが、火山活動が穏やかになるにつれて、表層の浸透能が回復傾向にあることも示されている (西田ほか, 1996; 地頭藪ほか, 1996)。しかしながら、活動最盛期に比べると頻度は小さいが、依然として豪雨時には土石流発生がみられ、大量の火砕流堆積物とその周辺斜面での侵食による土砂流出は長期にわたって継続するものと考えられる。

そこで筆者らは、雲仙普賢岳山体および周辺地域における今後の地形変化を予測することを目的に、火山噴出物の分布と堆積状況に関する調査を実施した。本論では、降雨時の表面流発生と斜面侵食に影響を及ぼす堆積物の粒度組成および浸透能について報告する。

2. 1990—95年噴火堆積物の分布

1991年5月から4年以上に及ぶ噴火活動によって、普賢岳山頂には溶岩ドームが形成され、その度重なる崩壊によって9,400回以上の火砕流が発生した。その火砕流堆積物 (pyroclastic flow deposit) は、発泡の悪い溶岩塊と火山灰マトリックスで構成され、block-and-ash flow deposit (Wright et al., 1980; Fisher and Heiken, 1982) に分類される。また火砕流に伴っては火砕サージ (pyroclastic surge) が発生するとともに、上空へ舞い上がった ash cloud によって周辺地域に降下火山灰をもたらした。

筆者らは、1995年9月18日に大成ジオテック株式会社によって撮影された縮尺2万分の1の空中写真を使用して、噴火堆積物の分布状況を判読した (Fig. 1)。今回の噴火堆積物の大部分を占める火砕流堆積物は、普賢岳東斜面の水無川本流 (MZ)、南東斜面の赤松谷 (AK)、北東のおしが谷 (OS) や中尾川扇状地 (NK) を中心に分布している。この堆積物は、径20 mにも及ぶ溶岩塊を含み、かつての谷地形を大きく埋積しており、水無川流域上流部での層厚は40～150 m程度で、傾斜は20°以下である。火砕流堆積物は、斜面上方に向かって崖錐堆積物に移行しているが、両者の境界が不明瞭であるため、Fig. 1には一括して示している。多数の溶岩崩落によって形成された崖錐斜面はドーム直下に広がっており (Photo 1A)、表面には径50 m以上の溶岩塊も存在している。崖錐堆積物の傾斜は30～35°であり、火砕流堆積物に比べてかなり急傾斜である。火砕流および崖錐堆積物の総量 (溶岩換算量) は、1995年5月12日時点で1億1,851万 m³ と報告されている (石川ほか, 1996)。

火砕サージ堆積物は火砕流本体周辺に分布しており、本体が到達しなかった尾根や台地、側方の急斜面等にも存在している (Photo 1B)。層厚は1 m以下と薄く、堆積前の地形はほと

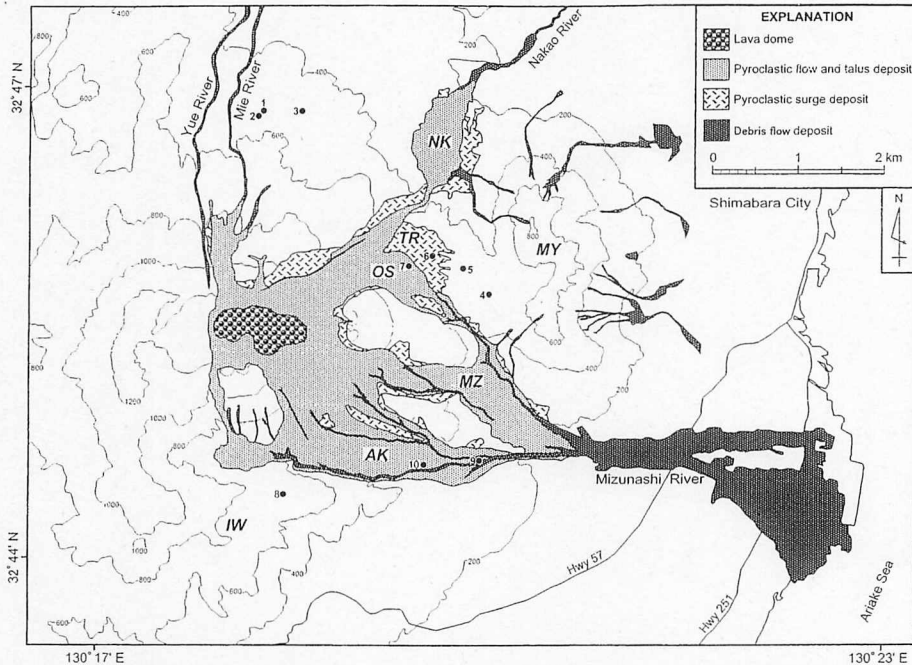


Fig. 1. Distribution of deposits associated with the 1990-95 eruption of Unzen volcano based on interpretation of aerial photographs taken on 18 September 1995. Solid circles with number show field sites. AK: Akamatsudani Valley; IW: Mount Iwatoko; MY: Mount Mayuyama; MZ: Mizunashi River Valley; NK: Nakao River fan; OS: Oshigadani Valley; TR: Taruki Height. Contour interval is 200 m.

んど変化していないが、その通過堆積域には多数の倒木がみられる。空中写真からも多量の倒木を判読することが可能で、その倒伏方向からサージの流動方向を推察することができる。火砕流および火砕サージ堆積物分布域のさらに外側には、ash cloud による樹木焼損域、火山ガス等による樹木枯損域などの森林被害域が広がっている。

また、今回の一連の噴火活動によって普賢岳山麓地域には大量の降下火山灰が堆積している。この火山灰層の等層厚線は、普賢岳を中心とした単純な同心円にはなっておらず、火砕流の流下方向や周辺地形に大きく影響を受けていることが報告されている（磯ほか、1996）。

火砕流堆積物上やその周辺斜面では多くのガリー侵食が認められ、とくに赤松谷南端では幅 100 m、深さ 50 m 程度の侵食谷が発達している。ガリー侵食による土砂は、土石流として運搬され、東側山麓の水無川下流域を中心に大量に氾濫堆積している。また、普賢岳北斜面の湯江川や三会川、北東の中尾川、さらに降下火山灰が堆積した眉山（MY）の諸溪流においても数多くの土石流が発生した。この中で水無川流域では、1993 年までに約 500 万 m^3 の土砂が土石流等によって流出したと推定されている（池谷、1995）。

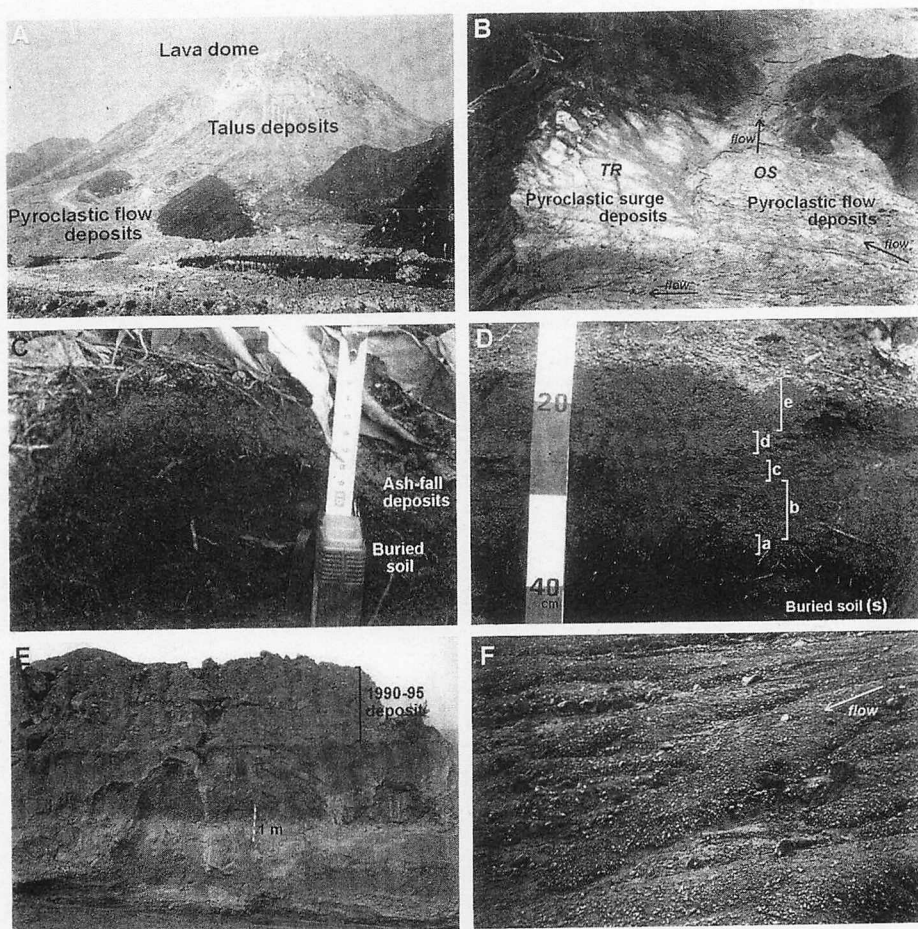


Photo 1. (A) View of the Akamatsudani Valley, southeastern slope of Unzen volcano. (B) Pyroclastic surge deposits spreading more widely than pyroclastic flow deposits which are confined to valley. OS: Oshigadani Valley; TR: Taruki Height. Photograph by Akira Shimizu. (C) Ash-fall deposits mantling a forested hillslope at locality 3, 2.6 km NNE of lava dome. Scale in centimeters. (D) Pyroclastic surge deposit section showing five units at locality 6, 2.2 km ENE of lava dome. b, c, e: sandy pyroclastic-surge deposits; a, d: silty ash-fall deposits. (E) Pyroclastic and debris flow deposits of the 1990-95 eruption, overlying older Unzen deposits, near locality 9, 3.0 km ESE of lava dome. (F) Distal ends of pyroclastic flow lobes near locality 10 in the Akamatsudani Valley. Photograph taken in 11 December 1992.

3. 試料採取地点の状況と堆積物の産状

噴火活動開始から約5年後の1996年1月16日～18日にかけて、今回の活動に伴う堆積物を観察できる10ヶ所の地点 (Fig. 1) で、堆積物の層序や層厚、産状等を観察した。各地点において噴火前の土壌をs、今回の噴火堆積物を下位からa, b, c…と区分し (Fig. 2),

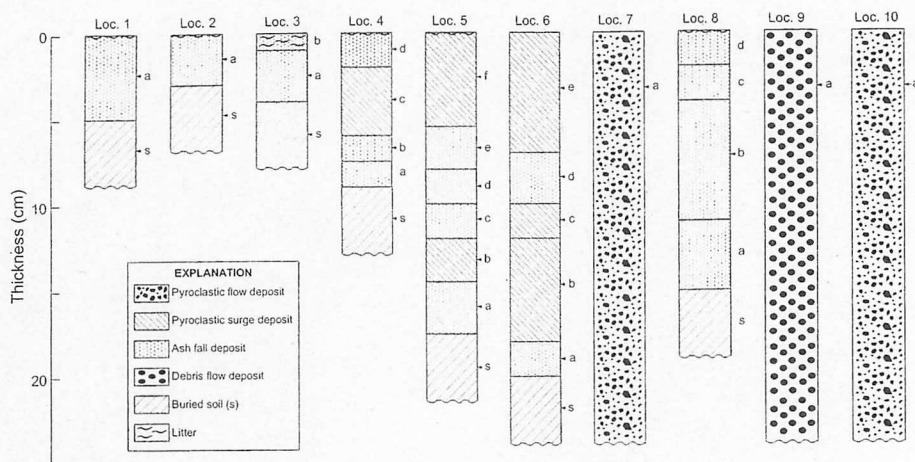


Fig. 2. Stratigraphic sections of the 1990-95 eruption deposits. See Fig. 1 for location of sites. Arrows with alphabet indicate sample positions for grain size analysis.

各層の特徴を記載した。

Loc. 1 は、溶岩ドームの北約 2.5 km の標高 500 m に位置するヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 造林地である。傾斜は 33° ，方位は北北東でやや凹型の斜面である。黒褐色の砂～シルト質の森林土壌の上に灰褐色のシルト質降下火山灰が 5 cm の厚さで堆積していた。これは度重なる噴火による降下火山灰の累層と考えられるが、明瞭な層理は認められない。なお、表面はヒノキ落葉に覆われていた。

Loc. 2 は Loc. 1 のヒノキ林に隣接する伐採跡地であり、傾斜は 25° で西北西向きのほぼ平滑な斜面である。黒褐色の砂～シルト質の土壌の上に 3 cm の厚さで灰褐色シルト～細砂質の降下火山灰が被覆している。また表面にはススキ (*Miscanthus sinensis*) や草本などが侵入していた。

Loc. 3 はドーム北北東約 2.6 km の標高 500 m に位置するヒノキ人工林である。斜面は東北東向きで傾斜 32° ，ほぼ平滑な形状を呈している。ヒノキ林は樹高 14 m，胸高直径 12～18 cm，立木密度 1450 本/ha 程度であった。黒褐色の砂～シルト質土壌の上に灰褐色のシルト質降下火山灰が 3 cm の厚さで被覆していた (Photo 1C)。表面にはヒノキ落葉，周辺からもたらされた厚さ 1 cm 程度の広葉樹落葉が覆っていた。なお、表層を構成する A_0 層に関して調査した結果，未分解な litter が 900 g/m^2 ，分解した litter が 850 g/m^2 存在していることがわかった。

Loc. 4 は垂木台地東部の標高 520 m にある火砕流の熱風を受けて枯損したヒノキ林である。堆積物は 4 層認められ，下位よりシルト～砂質 (a)，シルト質 (b)，砂質 (c)，シルト質 (d) の噴出物に分けられ，全層厚は 9 cm である (Fig. 2)。a, b, d 層は主にシルト以下の細粒物質からなり，火砕流に伴う降下火山灰と考えられる。これに対して c 層は主に砂質粒子からなる火砕サージ堆積物と推測された。この付近の樹木はほとんど焼けていないものの，完全に枯損していることが現地調査により明らかとなった。空中写真によると，この

地点は樹木焼損域の辺縁部と判読されたが、付近には多数の倒木がみられることから、樹木を倒伏させるような強風を伴う火砕サージが到達したものと考えられる。調査時点において、表層には草本植物が繁茂しており、その細根が発達していた。

Loc. 5 は垂木台地の標高 560 m に位置する無立木地であるが、調査時点ではススキがかなりの密度で生育していた。噴火堆積物は 6 層からなり、褐灰色の b, f 層が砂分を主体とする火砕サージ堆積物、灰黄褐色の a, c, d, e 層がシルト～細砂分で構成される降下火山灰と考えられる。その下位には噴火前の表土層 (s) が存在していた。この地点では、噴火堆積物層から発芽したススキの個体が認められ、また地上部が一旦枯損した樹木においても、ネズミモチ (*Ligustrum japonicum*)、クロキ (*Symplocos lucida*)、タブ (*Machilus thunbergii*) では萌芽再生している例もみられることから、植生回復状態は良好であった。

Loc. 6 はドーム東北東約 2.2 km、垂木台地西端の標高 580 m に位置し、すべての立木は枯損するか一定方向に倒伏しており、かなりの強風を伴った火砕サージが通過したものと考えられる。噴火堆積物は旧表層土壌を厚さ 20 cm で覆っており、5 層認められた (Photo 1D)。粗砂からなる褐灰色の b, e 層と砂質の c 層は火砕サージ堆積物で、シルト～細砂質の灰黄褐色を呈する a, d 層が降下火山灰である。この付近の斜面には幅約 30～50 cm のリルが約 2 m の間隔で発生していたが、いずれのリルもかなり埋没しており、リル内には多数の草本植物が侵入していた。また火砕サージによる倒木や枯損木からは萌芽更新している状況も認められた。

Loc. 7 はおしが谷の火砕流堆積域で、その厚さは 40 m を越えるものと考えられる。ただ表層には表面流による二次堆積物が部分的にみられ、未流動の火砕流堆積物と二次堆積物との厳密な区分は難しい。溶岩ドームから崩落した直径数 m に及ぶ溶岩塊が点在していたが、大部分は隙間を埋める灰黄褐色を呈する砂～小礫サイズのマトリックスであった。この火砕流堆積地では、ヘリコプターによる緑化事業が行われたためもあって、部分的に草本植物の侵入も認められた。

Loc. 8 は赤松谷南側の岩床山の標高 710 m 地点である。周辺には火山ガス等によって枯損した樹木がみられたが、ススキなど草本植物がかなり繁茂していた。堆積物はかつての土壌の上に層厚 15 cm で覆っており、色調の違いにより 4 層に区分されたが、どの層もシルト質の降下火山灰であった。

Loc. 9 は赤松谷下流の標高 260 m に位置し、今回の噴火活動による厚さ 2.5～3 m の堆積物に覆われていた (Photo 1E)。この付近の堆積物は火砕流および土石流堆積物が混在しているものと考えられるが、現地調査によっても両者の厳密な区分は容易ではなかった。ただ表層には表面流発生跡が認められ、二次移動した土砂が堆積していた。堆積物は径 10 cm 程度の亜円礫間を砂サイズのマトリックスが埋めていた。

Loc. 10 は赤松谷中流部の標高 320 m 付近の比高 1～1.5 m の火砕流堆積物ロープ状地形 (Photo 1F) の上であり、付近には溶岩ドームから崩落した岩塊が多数存在していた。このロープ状地形は堆積時のほぼ原形をとどめており、表面流によって二次移動した痕跡はほとんど認められなかった。堆積物は砂サイズ以下のマトリックスだけでなく、小～中礫も混在しており、淘汰の悪いものであった。

4. 堆積物の粒度組成と浸透能

4.1. 粒度組成

前述した 10ヶ所の調査地点において、各種堆積物と埋没土壌のサンプリングを実施した。各試料は Fig. 2 に示した層位から採取して持ち帰り、乾燥後に粒度分析を行った。粒度分析は 1ϕ ($1/2$ mm) より粗粒部についてはふるいを使用し、それより細粒部に関しては英国マルバーン社製の粒度分布測定装置マスターサイザー S による湿式分散法で実施した。

各堆積物と埋没土壌の粒度組成を Table 1 と Fig. 3 に示した。降下火山灰は、火砕流堆積域に近い Loc. 5 や Loc. 6 を除いて、シルト分 4ϕ ($1/16$ mm) \sim 8ϕ ($1/256$ mm) が 46 \sim 66% を占めて細粒な分布を示すが、粘土分 ($>8\phi$) は 6 \sim 13% 程度と少なく、比較的淘汰のよい ($\sigma_\phi = 1.7 \sim 2.3$) 堆積物である。植物遺体などの有機物が混入して、砂サイズ以上 ($<4\phi$) の粒子が 48 \sim 69% 程度を占める埋没土壌 (旧表層土壌) に比べて、降下火山灰ははるかに細粒となっている (Fig. 3 の Locs. 1, 2, 3 and 8)。火砕サージ堆積物は、降下火山灰や埋没土壌よりもかなり粗粒な粒度分布を示している (Fig. 3 の Locs. 4, 5 and 6)。この堆積物は砂分 -1ϕ (2 mm) \sim 4ϕ の割合が 53 \sim 78% と大きい、シルト分は 2 \sim 7% と少なく、降下火山灰と同様に非常に淘汰はよい ($\sigma_\phi = 1.8 \sim 2.6$)。

火砕流堆積物は、礫分 ($<-1\phi$) 36 \sim 40% を含むだけでなく、4% 程度の粘土分をもち、非常に広い粒度分布を有する淘汰の悪い ($\sigma_\phi \approx 4$) 堆積物である。土石流堆積物 (Loc. 9) もほぼ同じ粒度組成を示し、火砕流堆積物と有意な差は認められなかった (Fig. 3 の Locs. 7, 9 and 10)。

4.2. 堆積物の硬度

堆積物表面の硬さは表面流や雨滴による土粒子の移動、さらに降雨時の浸透能に密接に関与していると考えられるため、現地において表層堆積物の硬度を測定した。測定は、表層を 1 m \times 1 m の範囲に区切り、その中を等間隔に 20ヶ所、山中式土壌硬度計 (山中・松尾, 1962) を鉛直方向に突き刺して、その貫入量 (mm) を読みとった。その 20ヶ所の測定値を平均して、その地点の硬度とした (Table 1)。

表層の降下火山灰は 11 \sim 12 mm 程度の値を示した。火砕サージ堆積物は、Loc. 5 で 13.4 mm と降下火山灰と同程度の値であったが、Loc. 6 では 4.5 mm と他と比較して極端に低い値となった。これは、Loc. 6 における表層の火砕サージ堆積物が比較的均質な砂質成分が主体となっているために、相対的に粘着力が低く、間隙の多い形態であることを示している。また火砕流堆積物は 11 \sim 12 mm と降下火山灰とはほぼ同じ値となり、土石流堆積物は約 15.4 mm と他よりも高い値であった。これは、表面を細粒なマトリックスで充填されて、堅密な構造になっているためと考えられる。

4.3. 浸透能

降雨時の表面流発生を予測する指標を得るため、各調査地点において簡易浸透能試験 (竹下, 1982) を実施した。この試験は、一種の単冠式冠水型浸透計を用いたものであり、断面積 100 cm² の円筒を 5 cm 程度の深さに挿入して初期の水高 50 mm の水が浸透する時間を計測し、1 分あたりの浸透量 (mm/min) を求めた (Table 1)。なお、冠水型浸透能計の場

Table 1. Characteristics of deposits associated with the 1990–95 Unzen eruption and buried soils. See Fig. 1 for location of sampling sites and Fig. 2 for stratigraphic positions of samples.

Location	Distance from dome (km)	Stratigraphic position	Type of deposit	Thickness (cm)	Sediment content (%) gravel sand silt clay	Md ϕ ¹	$\sigma \phi$ ²	Hardness ³ (mm)	Infiltration rate ⁴ (mm/min)
Loc. 1	N 2.5	a	Ash fall	5	0.0 22.9 66.6 10.6	5.0	1.7	-	24.2
		s	Buried soil	-	12.3 52.2 30.6 4.9	3.2	3.1	-	-
Loc. 2	N 2.5	a	Ash fall	3	4.6 42.1 46.7 6.7	4.2	1.7	-	35.0
		s	Buried soil	-	24.4 44.9 27.0 3.7	2.2	3.5	-	-
Loc. 3	NNE 2.6	a	Ash fall	4	0.0 23.7 65.6 10.7	5.0	1.8	11.8	12.9
		s	Buried soil	-	8.4 45.4 40.4 5.8	3.8	3.2	-	-
Loc. 4	ENE 2.8	d	Ash fall	2	1.9 36.4 51.9 9.7	4.5	2.0	12.1	12.6
		c	Pyroclastic surge	4	0.0 73.8 21.2 5.0	2.7	1.8	-	-
		b	Ash fall	1.5	0.0 23.9 63.2 13.0	5.0	1.9	-	-
		s	Buried soil	-	8.0 40.2 46.3 5.5	4.1	3.1	-	-
Loc. 5	ENE 2.5	f	Pyroclastic surge	5.5	6.3 68.5 19.1 6.1	2.2	2.9	13.4	27.0
		e	Ash fall	2.5	0.6 20.2 66.3 13.0	5.2	1.9	-	-
		d	Ash fall	2	1.4 21.6 64.4 12.6	5.1	1.9	-	-
		c	Ash fall	2	0.7 50.7 39.3 9.4	3.9	2.3	-	-
		b	Pyroclastic surge	2.5	3.4 53.1 35.8 7.7	3.6	2.2	-	-
		a	Ash fall	3	0.0 47.9 44.5 7.6	4.1	1.7	-	-
Loc. 6	ENE 2.2	s	Buried soil	-	5.4 50.6 39.9 4.1	3.8	1.5	-	-
		e	Pyroclastic surge	7	0.0 71.2 21.6 7.2	2.8	1.9	4.5	47.7
		d	Ash fall	3	1.0 51.5 37.6 9.9	3.9	2.3	-	-
		c	Pyroclastic surge	2	10.1 78.3 9.5 2.1	1.8	2.1	-	-
		b	Pyroclastic surge	6	17.6 65.9 13.9 2.5	1.1	2.6	-	-
		a	Ash fall	2	5.5 43.0 44.8 6.7	4.1	2.2	-	-
Loc. 7	ENE 1.9	s	Buried soil	-	14.9 45.1 35.9 4.1	3.6	3.1	-	-
Loc. 8	SSE 2.0	a	Pyroclastic flow	>20	36.6 36.4 22.2 4.8	1.1	4.1	11.7	14.3
Loc. 9	ESE 3.0	a	Ash fall	15	0.0 21.6 63.8 14.6	5.3	2.1	-	6.8
Loc. 10	ESE 2.5	a	Debris flow	>20	40.7 34.6 19.3 5.4	0.0	4.1	15.4	3.1
		a	Pyroclastic flow	>20	40.4 39.4 15.6 4.5	-0.1	3.9	12.1	5.7

¹Median diameter: ϕ_{50}

²Inman's (1952) sorting coefficient: $(\phi_{84} - \phi_{16})/2$

³Penetration depth (mm) by Yamanaka-type soil hardness tester (Yamanaka and Matsuo, 1962)

⁴Infiltration rate calculated by time it took 50 mm of water in a cylinder (100 m²) to infiltrate surface layer (Takeshita, 1982)

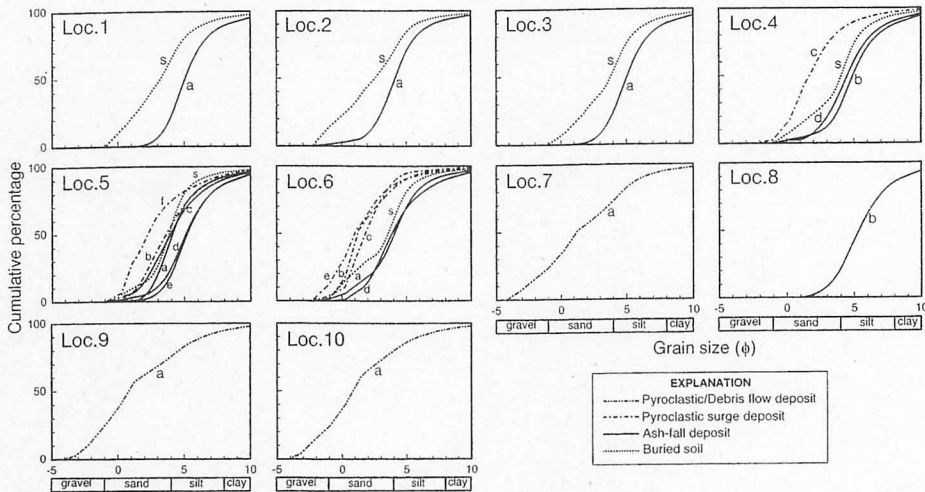


Fig. 3. Cumulative curves of grain size distribution for deposits and buried soils. See Fig. 2 for sample positions.

合には、狭い枠内で強制的に水を浸透させるために大きな水圧がかかっていること、さらに浸透を助けるような器具設置時に形成される孔隙のため、散水型に比べて大きな浸透能値が計測されることが多い(竹下, 1996a)。したがって、各堆積物において得られた浸透能値は、相対値として比較する。

降下火山灰の浸透能は普賢岳北東側斜面では、Loc. 2 でやや高い値となったが、他では 12 ~ 35 mm/min 程度であった。一方、南側の Loc. 8 では 6.8 mm/min と北東斜面に比べて 1/2 以下の低い値となった。この地点での降下火山灰はやや細粒ではあるが、他地点と比較して粒度組成に大きな違いは認められなかった。これは層厚が 15 cm と大きく、しかも密に堆積していることが原因と考えられる。また Loc. 4 では表層の植生別に浸透能を測定し、Table 1 にはそれらの平均値 (12.6 mm/min) を示したが、落葉のみが堆積した斜面 (4.4 mm/min) よりも、ススキが侵入して根系が発達した場合 (20.9 mm/min) の方が高い値となっていた。

火砕サージ堆積物は、27, 47.7 mm/min と最も高い値を示した。これは、堆積物が砂質粒子を主体に構成されること、すなわち前述の表層硬度が小さいことで示唆されたように、シルト等の細粒分に乏しくて、均質な砂質粒子からなるために多くの間隙を保持することが高い浸透能に関わっていることを裏付けている。

火砕流堆積物は 5.7, 14.3 mm/min の浸透能値を示し、降下火山灰よりも低い値であった。火砕流は、礫や砂分だけでなく、シルト以下の細粒物質も多量に含む非常に淘汰の悪い堆積物である。これらの細粒物質が低い浸透能値の原因になっていると考えられる。このような特性は、表面流によって表層をマトリックスで充填された土石流堆積物 (Loc. 9) においても認められる。

5. 考察

細粒な降下火山灰層の浸透能は、他の堆積物より低いものと予想された。しかし実際には火砕流堆積物よりも高い浸透能を示すことが多かった (Table 1)。地頭菌ほか (1997) は、火砕流堆積物と火山灰の二つの被覆斜面において、それぞれ降雨時の表面流観測を行い、前者の方が表面流出量、表面流出率、ピーク流量ともに大きいことを示している。さらに地頭菌ほか (1996) は、降下火山灰層厚と浸透能の経年変化を調査し、火砕流が頻発した 1991 年から 93 年にかけて降下火山灰の堆積が急速に進んで浸透能は低下したが、1994 年以降の火砕流発生減少に伴って浸透能の値は上昇していることを報告している。竹下 (1996b) は、今回の調査とほぼ同地点での浸透能試験の結果から、多くの地点では浸透能値が上昇していることを示している。また磯ほか (1996) は、森林斜面での火山灰層には落葉が存在しており、年単位の層厚測定が可能であることを報告している。このように、細粒な降下火山灰層は噴火開始当初、斜面を被覆することによって浸透能を低下させたが、その後火山灰の供給が減少するとともに、落葉が混入したり、植物の根茎発達、土壤動物の活動等によって多くの孔隙が形成され、浸透能が顕著に回復しているものと考えられる。さらに、普賢岳周辺斜面における降下火山灰の層厚は一部に 10 cm 以上の地域が存在するものの、大部分は数 cm 程度であり、今回の噴火活動に伴う火山灰の堆積量は、長期間にわたって浸透能を悪化させる程度ではなかったと推定される。しかし、健全な林地での浸透能値である 50 mm/min (竹下, 1982) よりはまだ低い値となっており、豪雨時には表面流が発生する可能性がある。

火砕サージ堆積物は、主に砂質粒子で構成されている。この堆積物が表層に存在する垂木台地西部 (Loc. 6) は、1992 年の調査時には細粒な降下火山灰によって被覆され、多くのリルやガリーが発生していた。しかし、砂質の火砕サージが堆積するようになって、リル・ガリーが埋没されており、大きく侵食された痕跡は認められなかった。実際、高い浸透能を示すこと (Table 1) から、表面流発生の可能性は最も低いと考えられる。

火砕流堆積物の浸透能は、前述したように降下火山灰よりもむしろ低い値であった。この結果は主に粒度分布の違いによるものと考えた。つまり火砕流は、たいへん淘汰が悪い堆積物であり、細粒なシルト・粘土分が 20% 以上含まれている。また、火砕流堆積域にもシルト質の降下火山灰が表面を覆っている。これらの細粒物が雨滴衝撃や表面流によって二次移動して孔隙を充填するなどの理由で、低い浸透能になっているものと予想される。地頭菌ほか (1996) も火砕流上の細粒火山灰の被覆による低浸透能化を指摘している。火砕流堆積域には、依然として大量の細粒物質が存在している。さらに、火砕流によって植生が完全に破壊されたために、樹木種子の供給源がないこと、乾燥条件や未発達な土壌層のために草本等の種子が侵入しても活着が難しいことから、火砕流堆積域においては、自然状態による浸透能回復は小さいものと考えられる。

6. まとめ

本論では、雲仙普賢岳 1990 - 95 年噴火に伴う堆積物の分布、粒度組成と浸透能について報告した。結果は、以下のようにまとめられる。

火砕流堆積物は、普賢岳東側斜面の水無川流域を中心に、かつての谷地形を大きく埋積している。また火砕サージ堆積物は層厚が小さいものの、本体周辺の尾根や急斜面にも分布し、さらに辺縁部の山麓地域には、火砕流に伴う降下火山灰が大量に堆積している。火砕流堆積物と土石流堆積物は、粘土から巨礫までを含む淘汰の悪い堆積物であるのに対して、火砕サージ堆積物と降下火山灰はともに淘汰がよく、火砕サージは砂成分を、降下火山灰はシルト成分を主体としている。1996 年 1 月の調査時点で、表層堆積物の浸透能値は火砕サージ堆積物で最も高く、ついで降下火山灰、火砕流堆積物の順に低くなっていた。噴火開始時に斜面を被覆することによって土石流発生の原因となっていた細粒な降下火山灰の堆積域では、火山灰供給の減少とともに落葉の混入や植物根茎発達等によって浸透能が回復していると推察された。一方、火砕流堆積物上においては、周辺地域に比べて植生の侵入・活着が難しいことから、自然状態による浸透能回復程度は小さいものと予想された。

謝 辞

現地調査を実施するにあたっては、(財)林業土木コンサルタンツ熊本支所の藤本 定氏と波野正巳氏のご協力を得た。長崎県島原振興局山地災害復興課、長崎営林署眉山治山事業所の関係各位には調査の便宜をはかっていただいた。熊本大学教育学部の横山勝三先生には、本論を改稿する上で貴重なご意見をいただいた。また英文抄録をまとめる際には、U.S. Geological Survey の Jon J. Major 博士と Mark E. Reid 博士にご教示いただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Collins, B. D. and Dunne, T. (1986) Erosion of tephra from the 1980 eruption of Mount St. Helens: Geol. Soc. Amer. Bull., **97**, 896-905.
- Fisher, R. V. and Heiken, G. (1982) Mt. Pelée, Martinique: May 8 and 20, 1902, pyroclastic flows and surges: J. Volcanol. Geotherm. Res., **13**, 339-371.
- 池谷 浩 (1995) 雲仙水無川における流出土砂量の推定方法: 新砂防, **47** (5), 36-42.
- 池谷 浩・ヘンドロヤント・小杉賢一朗・水山高久 (1995) 火山噴出物の被覆による浸透能の減少—雲仙における比較試験—: 新砂防, **48** (2), 22-26.
- Inman, D. L. (1952) Measures of describing the size distribution of sediments: J. Sediment. Petrol., **22**, 125-145.
- 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出及び火砕流による土砂量と地形変化: 砂防学会誌 (新砂防), **49** (1), 38-44.
- 磯 望・陶野郁雄・遠藤邦彦 (1996) 雲仙普賢岳 1990 年～1995 年噴火に伴う降下火山灰層: 西南学院大学児童教育学論集, **22** (2), 75-90.
- 地頭蘭隆・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 (新砂防), **49** (3), 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 (新砂防), **49** (5), 42-48.
- Nakada, S. and Fujii, T. (1993) Preliminary report on the activity at Unzen Volcano (Japan), November 1990-November 1991: Dacite lava domes and pyroclastic flows: J. Volcanol. Geotherm. Res., **54**, 319-333.
- 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 (新砂防), **49** (1), 49-53.
- 太田一也 (1993) 1990 - 92 年雲仙岳噴火活動: 地質学雑誌, **99**, 835-854.

- Swanson, F. J., Collins, B. D., Dunne, T. and Wicherski, B. P. (1983) Erosion of tephra from hillslopes near Mt. St. Helens and other volcanoes: Proc. Symp. Erosion Control in Volcanic Areas, Seattle, July 1982: Ibaraki, Japan, Public Works Res. Inst., 183-221.
- 竹下敬司 (1982) 桜島火山の降灰に伴う土壌浸透能の変化と火山斜面の侵食: 第 93 回日本林学会大会発表論文集, 413-416.
- 竹下敬司 (1996a) 植生, 土壌, 水と地形変化プロセスの制御: 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴 (編)「水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—」古今書院, 151-163.
- 竹下敬司 (1996b) 普賢岳周辺における土壌表層の浸透能の変化: 平成 8 年雲仙岳・眉山地域治山事業総合調査報告書, 熊本営林局・林業土木コンサルタンツ, 118-121.
- 渡辺一徳・星住英夫・池辺伸一郎 (1992) 雲仙普賢岳 1990 年 11 月～1991 年 5 月の噴火活動—噴火開始から溶岩出現まで—: 熊本大学教育学部紀要 (自然科学), 41, 47-60.
- Wright, J. V., Smith, A. L. and Self, S. (1980) A working terminology of pyroclastic deposits: J. Volcanol. Geotherm. Res., 8, 315-336.
- 山本 博 (1984) 有珠山の一斜面における 1977-1978 年降下火砕堆積物の侵食: 地形, 5, 111-124.
- 山中金次郎・松尾憲一 (1962) 土壌硬度に関する研究 (第 1 報) 土壌硬度と含水量との関係: 日本土壌肥科学雑誌, 33, 343-347.