

平成24年7月九州北部豪雨による阿蘇山カルデラ壁および中央火口丘での斜面崩壊

Landslides of Tephra Deposits on Hillslopes of the Aso Caldera Wall and Volcanic Central Cones by the North-Kyushu Heavy Rainfall at July 2012

松四雄騎・齋藤仁⁽¹⁾・福岡浩・古谷元⁽²⁾

Yuki MATSUSHI, Hitoshi SAITO⁽¹⁾, Hiroshi FUKUOKA and Gen FURUYA⁽²⁾

(1) 関東学院大学 経済学部

(2) 富山県立大学工学部環境工学科

(1) College of Economics, Kanto Gakuin University

(2) Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Toyama Prefectural University

Synopsis

The north-Kyushu heavy rainfall on July 2012 triggered severe shallow landsliding of hillslopes of caldera wall and volcanic central cones located in the Aso caldera area. The sliding materials are mainly tephra deposits with stratified structure covering this area, bearing a mechanically weak layer at the depth of sliding. Shear strength of soils extracted from the two types of typical slip scars shows clear difference in their cohesive component. The silty loam obtained at the Naka-sakanashi area (a part of the west-facing caldera wall) has a higher cohesion than the sandy loam from the Sensui-kyo area (in the central cone). This soil property seems to be reflected to the shape of landslides, which exhibits a deeper (~3 m) and gentler (~30°) sliding scar in the Naka-sakanashi area, than a shallower (< 1 m) and steeper (~40°) scar in the Sensuiky area. We carried out an infinite planer slope stability analysis to reconstruct conditions for landslide initiation. The results demonstrate that an increase in pore water pressure in the mechanically-weak potential slip plane triggered the landslides.

キーワード: 表層崩壊, 2012年九州北部豪雨, 阿蘇山, テフラ, せん断強度

Keywords: shallow landslide, North-Kyushu heavy rainfall at 2012, Aso volcano, tephra, shear strength

1. はじめに

斜面に降下したテフラ（火山碎屑物）は、しばしば成層構造を形成して厚く堆積するため、各層準の初生的な物性や堆積後の風化に伴う物性変化に対応して地表に準平行な弱面を作りやすく、降雨や地震による崩壊の原因物質となる。特に溶結していない

含水状態のテフラは、その脆弱な堆積構造が土塊の運動とともに破壊されると、力学的強度を喪失して流動化し、崩土が土石流化して高速で長距離を運動して被害を拡大する（例えばEvans and Bent, 2004）。テフラの滑動に由来する斜面災害を予測するには、すべり面となる可能性のある弱面を見出してその空間分布を明らかにし、任意地点での崩壊予備物質の

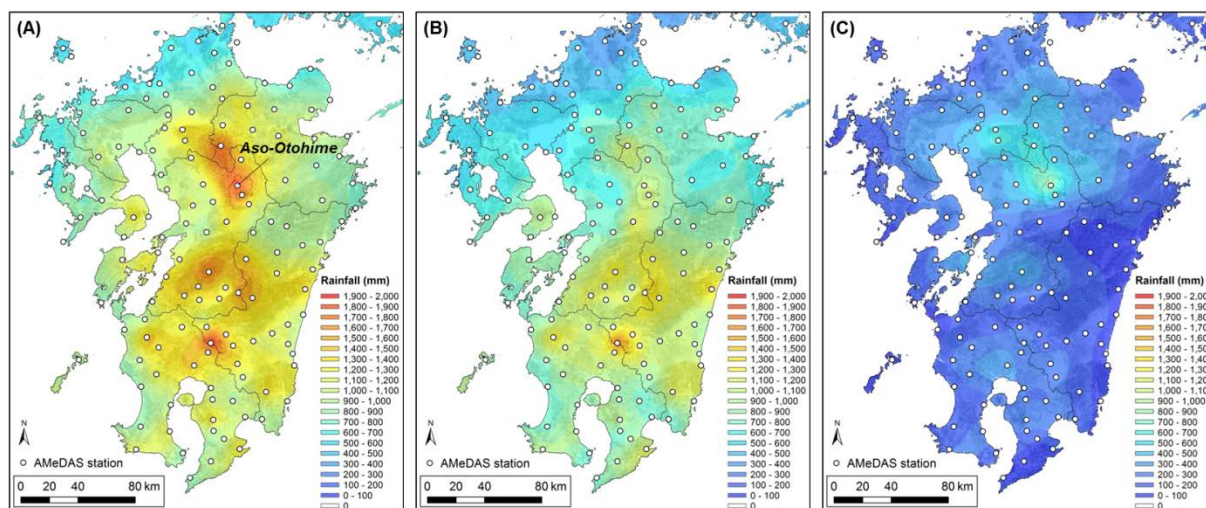


Fig. 1 Rainfall distribution of the North-Kyushu heavy rainfall event based on AMeDAS records. (A) Total rainfall during the spell of rainy season from 15 June to 14 July 2012. (B) Rainfall amount from 15 June to 7 July proceeded to landslide occurrence. (C) Landslide-triggering rainfall from 11 July to 14 July.

量(弱線までのテフラの厚み)を推定するとともに、どのような条件で滑動が発生するのかを明らかにする必要がある。

本稿では2012年7月に、九州阿蘇カルデラ地域で発生した豪雨による斜面崩壊事例の調査結果を報告し、この地域でのテフラの崩壊が持つ特徴とその発生条件を検討する。また崩壊の発生場・発生時予測のために残されている今後の課題について述べる。

2. 調査地域の概要および降雨と災害の発生

本研究で対象とする阿蘇カルデラ東縁地域は、カルデラ形成期である約27万年前から約9万年前に噴出したAso-1からAso-4までの火砕流堆積物が、現在の地形を構成しており、この基盤岩を、それ以降に噴出降下した火山灰層とその風化土が被覆している。この上位層は、しばしば豪雨によって崩壊しており、近年では1990年、2001年に顕著な土砂災害が発生している(大八木ほか, 1991; 村田・渋谷, 1992; 宮縁ほか, 2004)。

今回の2012年7月九州北部豪雨(Fig. 1)は、発災は7月12日(熊本県阿蘇市)および7月14日(福岡県八女市)であるが、断続的に降雨のあった6月15日以降、発災数日前の7月7日までに九州中南部を中心に、合計1000 mm超の雨が先行降雨としてもたらされていることに注意すべきである(Fig. 1B)。7月7日以降、数日の無降雨期間を挟んだのち、7月11日から7月14日にかけて、九州北部を中心に再び強い降雨がもたらされ(Fig. 1C)、先行降雨とトリガー降雨の分布域が重なることによって総雨量が一定以上の値(> 約1700 mm)に達した阿蘇カルデラ地域および

その北西部の八女地域で斜面崩壊が発生した(Fig. 1A)。

Fig. 2に本研究で対象とする阿蘇カルデラ地域で観測された降雨の経時変化を示す。住民証言によれば、カルデラ壁をつくる斜面で土石流が発生したのは、7月12日の午前6時ころである。斜面崩壊の直接的引き金となった降雨は、時間雨量100 mmを超える猛烈なものであり、10分雨量で10-20 mmの雨が数時間継続することで合計約500 mmの雨水が斜面に供給された結果、崩壊に至ったことがわかる。このトリガー降雨の発生する数日前までには、先行約1ヶ月間で約1000 mmの雨がもたらされており、斜面は高含水状態であったことが予測される。今回の斜面崩壊は、これら時間スケールの異なる二つの降雨の組み合わせによって発生したものといえよう。

回筆者らの調査した範囲内では、主として二つのタイプの斜面崩壊がみられた。ひとつは阿蘇カルデラ壁の上部から中腹部を源頭部とし、成層構造を持

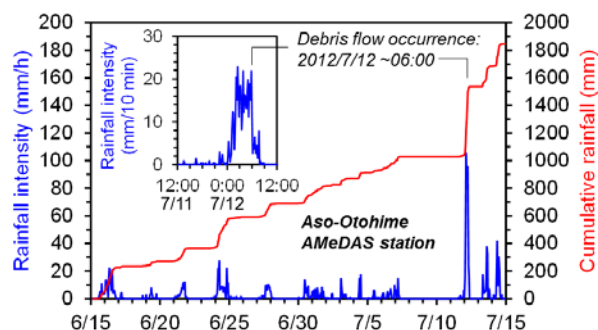


Fig. 2 Rainfall record at the Aso-Otohome AMeDAS station (cf. Fig. 1A for location), with timing of debris flows from the caldera wall.

つ明褐色の降下火山灰層の中にすべり面を形成して、上位にある黒ボク土様の土壤層が滑落しているもので、崩壊の深さはおおむね1-2 m以上とやや厚いものが崩壊している (Fig. 3A) . 崩土は流動化して土石流となり、カルデラ底地に拡がっているものが多い。もうひとつは、中央火口丘の斜面に特に多くみられ、暗褐色の土壌化した火山灰層が厚さ1 m以下でごく薄く崩落しているものである (Fig. 4A) . このタイプの崩壊がみられる斜面は草地が多く、源頭部だけが円形に抜け落ちて、それよりも下方の斜面は崩土の移動に伴って草本がなぎ倒されてはいるものの、火山灰層の崩落を免れているというパターンもしばしば見受けられた (Fig. 4B遠望) . また崩土は著しく液状化し、泥流となって長距離を流下し、河谷を埋めているものが大半であった (Fig. 4B) . こうした特徴は、今回の豪雨での同地域における多地点の崩壊に広く認められた (久保田ほか, 2012) .

3. 調査方法

二つのタイプの崩壊のうち、それぞれ典型的なものを、カルデラ壁の一部である中坂梨地域および中央火口丘の一部である仙酔峡地域から一つずつ選び、詳細な調査の対象とした (Fig. 3, 4) . いずれの崩壊地でもレーザー距離計を用いて測量を行い、崩壊深と崩壊面の傾斜等の形状データを取得した。

源頭部に露出した滑落崖を掘削整形して断面の観察を行い、滑落崖の高さや崩壊地内に露出している面との位置関係から、すべり面となった層準を特定した。この断面を用いて、山中式土壌硬度計による静的貫入抵抗試験を行い、テフラの各層準の相対的な力学的強度の深度分布を計測した。

またすべり面となった層準から、直径5 cm、高さ5.1 cmの円筒採土管を用いて不かく乱状態の試料を採取し、密度試験および飽和一面せん断試験のための供試体とした。試料は密封して持ち帰り、これらの土質試験を、京都大学防災研究所の試験室において行った。

4. 結果と考察

中坂梨地域の崩壊地では、崩壊の平均的な鉛直深さは 3.5 ± 0.5 m、傾斜は $32 \pm 1^\circ$ であった。すべり面はやや硬く締まったスコリア層の直下にあるシルト質ロームの内部に形成されていた。すべり面は、観察した断面では地表から約2.7 mの深さにある (Fig. 3B) 土壌硬度計のデータをみると、浅部から深部にかけて値が増加するものの、すべり面の近傍で値が減少し、力学的に弱面を形成していることが

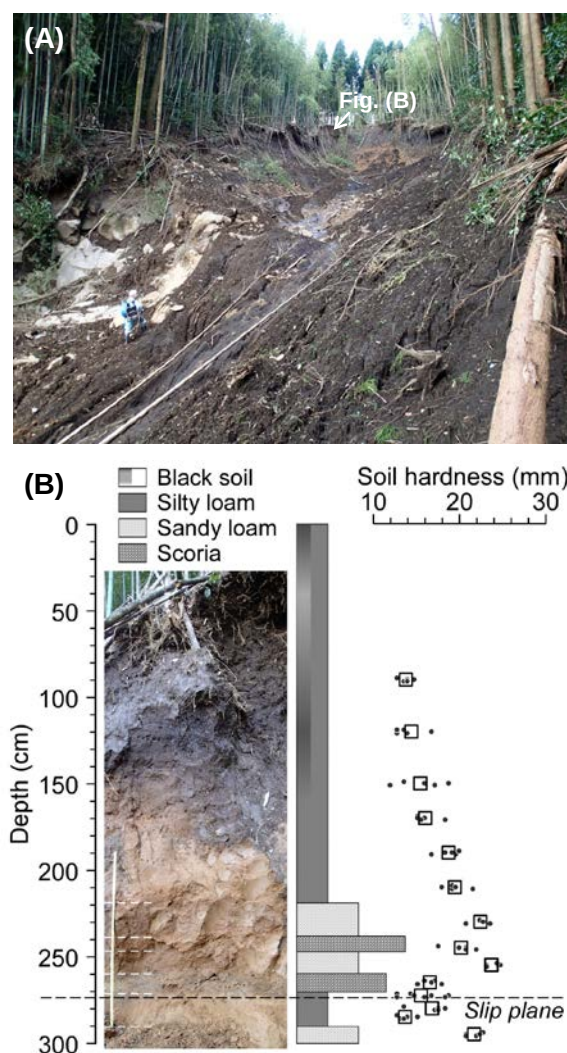


Fig. 3 Landslide scar investigated at Naka-Sakanashi area. (A) A view upward from mid part of the debris-scoring hollow. Note a man in the photo for scale. (B) Profile of ash fall deposits exposed at lateral scar with Yamanaka soil hardness (dots for raw data, open squares for average).

示唆された。

仙酔峡の崩壊地では、崩壊の平均的な鉛直深さは 0.6 ± 0.1 m、傾斜は $38 \pm 1^\circ$ であった。崩壊地の源頭部右岸側には、ずれ動いてはいるものの崩落せずにとどまった土塊が残存しており (Fig. 4C) , テンションクラックの延長面や崩壊地内に露出した面との関係から、すべり面はこの鉛直断面上では、深度88 cmに形成されたということがわかった。近傍の頂部滑落崖での土壌硬度データをみると、すべり面の近傍で土壌硬度が小さくなっていることがわかる (Fig. 4D) . ただし、土壌硬度の大きなスコリア層はすべり面よりも数十cm深部にあり、強度の小さい層に到達する最小の深度ですべり面が形成されたことが示唆される。

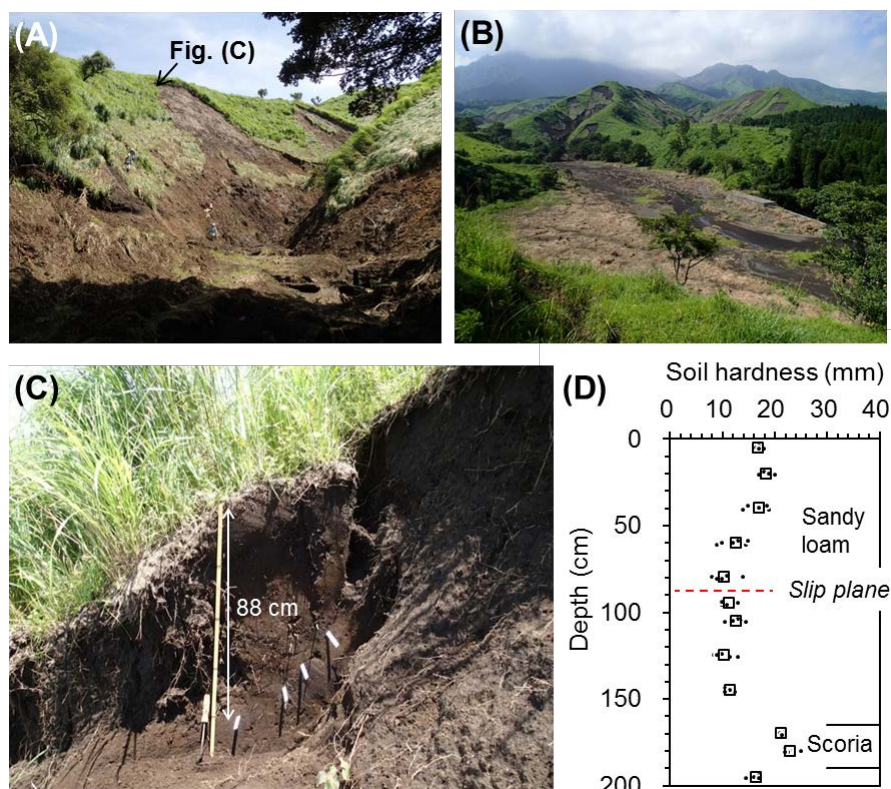


Fig. 4 Landslide scar investigated at Sensui-kyo area. (A) A view of typical scars. Note men in the photo for scale. (B) A view downward from the scar in Fig. A. (C) Slightly slid but stopped soil mass at the topmost part of the scar (cf. Fig. A), indicating slip depth of 88 cm in this profile. (D) Yamanaka soil hardness for the soil profile (dots for raw data, open squares for average).

Fig. 5 に二つの調査崩壊地から採取した供試体を用いて行った飽和一面せん断試験の結果を示す。二つの試料では、せん断強度に大きな差異があることがわかった。特に、粘着力について、中坂梨の試料が14.2 kPaを示すのに対し、仙酔峡の試料は、2.63 kPaと小さな値を示し、概して強度が小さいことが明らかとなった。こうした物性の差異は、両者が異なるテフラであることを意味している。また、この力学的性質の差異を反映して、中坂梨では相対的に深く、緩傾斜の斜面で (Fig. 3A)，仙酔峡では浅く、急傾斜の斜面で (Fig. 4A)，それぞれ崩壊が発生したものと考えられる。

Fig. 6 に得られた物性値を用いて、無限長斜面安定解析を行った結果を示す。これをみると、いずれの地域においても実際の崩壊地の形状データは、間隙水圧の上昇によって崩壊が発生した（図中の破線と実線の間の領域に存在する）と考えることで説明できる。中坂梨の実際の崩壊地のプロットは、実線のカーブに近く、すべり面に大きな間隙水圧が作用して崩壊に至ったものと考えられる。一方仙酔峡の崩壊では、プロットはむしろ破線に近く、土層が濡れた状態（サクシンの喪失）からそれほど大きく

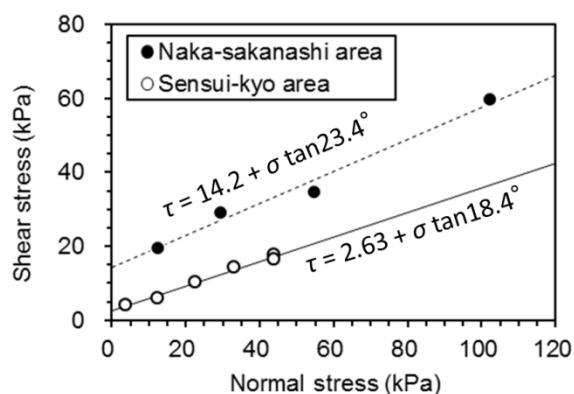


Fig. 5 Results of direct shear test for drained condition for undisturbed saturated specimens.

ない程度に間隙水圧が上昇した時点で崩れたものと推察される。これらのことから、中坂梨（カルデラ壁上部のテフラ層）と仙酔峡（中央火口丘斜面上のテフラ層）とでは、崩れに要する雨水の量や崩壊発生までの降水のパターン、またそれによって崩れに至るタイミングに差異が生じていた可能性が示唆される。この検証は今後の課題である。

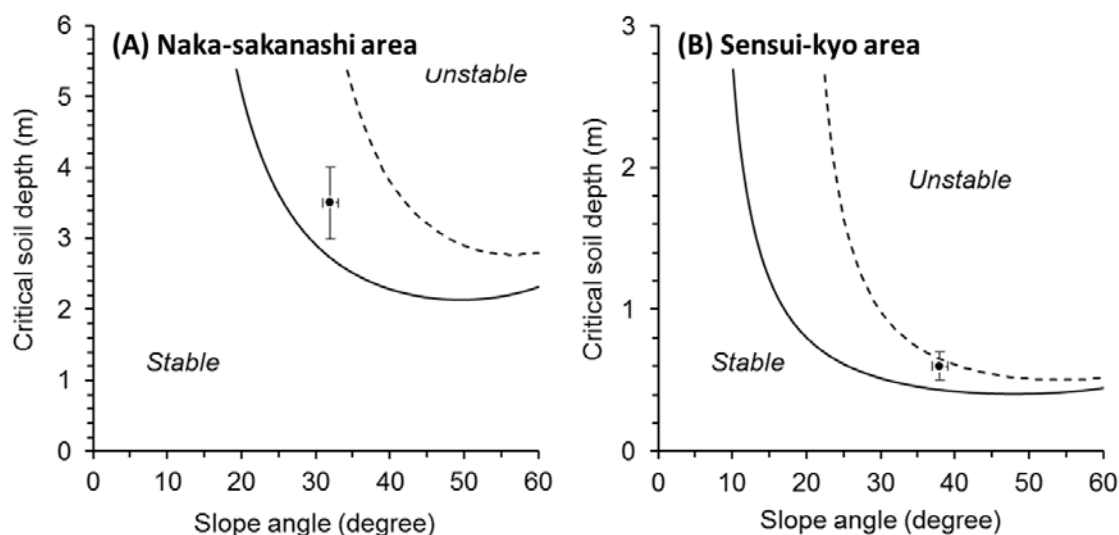


Fig. 6 Slope stability analysis for Naka-sakanashi area (A) and Sensui-kyo area (B). Broken and solid curves indicate critical lines for saturated but no pore-water pressure (tension saturated) condition, and saturated with maximum pore-water pressure (pressure head equals to vertical soil thickness above slip plane), respectively. Dot with errors represents actual landslide scars surveyed in each area.

5. おわりに

本調査により、テフラ中のある層準に存在し、崩壊につながる弱面の存在が明らかとなったので、その空間的な分布を把握していく必要がある。また、降雨の浸透と崩壊発生とのリンケージが不十分であるので、今後は、テフラの水理学的性質の測定とともに、斜面内部での浸透水の挙動や、間隙水圧の伝播特性などを、観測あるいは降雨入力シミュレーションなどによって明らかにしていく必要がある。

阿蘇カルデラ地域では、過去数十年にわたって、豪雨のたびに類似した土砂災害が繰り返されている。このことは、テフラなどの崩壊予備物質が豊富にある火山地域では、ハード的な対策による減災に限界があることを示している。豪雨による斜面災害に対する警戒避難情報の精度・確度を向上させたソフト対策の推進に取り組む必要がある。上述した課題の解決に取り組むことで、テフラを原因物質とする豪雨時表層崩壊の発生場と発生時の予測について、その糸口をつかみたいと考えている。

謝 辞

土質試験では、地盤災害研究部門 山地災害環境研究分野の中野真帆さん、森川亜紀子さんの協力を得た。本研究の一部は、自然災害研究協議会の突発災害調査として行われ、調査旅費の支給を受けた。記して感謝致します。

参考文献

- 大八木規夫・佐藤照子・八木鶴平 (1991) : 1990 (平成2) 年7月豪雨による九州地方の洪水・土砂災害調査報告. 防災科研報告 第31号, pp.1-126.
- 久保田哲也・地頭菌隆・清水収・平川泰之・本田健・飯島康夫・泉山寛明・海堀正博・北原哲郎・小林浩・松本俊雄・松尾新二郎・松澤真・宮縁育夫・長野英次・中濃耕司・奥山悠木・島田徹・篠原慶規・杉原成満・武澤永純・田中信・内田太郎 (2012) : 平成24年7月九州北部豪雨による阿蘇地域の土砂災害. 砂防学会誌, Vol. 65, No. 4, pp. 50-61.
- 宮縁育夫・大丸裕武・小松陽一 (2004) : 2001年6月29日豪雨によって阿蘇火山で発生した斜面崩壊とラハールの特徴. 地形, No. 25, pp. 23-43.
- 村田重之・渋谷秀昭 (1992) : 1990年7月豪雨による熊本県阿蘇郡一の宮町古恵川の砂防・治山ダムの破壊と流出土砂量. 自然災害科学, No. 11, pp. 175-185.
- Evans, S.G. and Bent, A.L. (2004) The Las Colinas landslide, Santa Tecla: a highly destructive flowslide triggered by the January 2001 El Salvador Earthquake. In Natural Hazards in El Salvador. Eds.,: Rose, W.I., Bommer, J.J., Lopez, D., Carr, M.J., and Major, J.J. Geological Society of America Special Paper No. 375, pp. 25-37.

(論文受理日 : 2013年6月11日)