

2014年広島災害における表層崩壊の発生メカニズムと降雨閾値

Triggering Mechanisms and Rainfall Threshold of Shallow Landslides: Cases in the Hiroshima Disaster on 20 August 2014

松四雄騎・渡壁卓磨・鄒 青穎・平田康人・千木良雅弘

Yuki MATSUSHI, Takuma WATAKABE, Ching-Ying TSOU, Yasuto HIRATA and Masahiro CHIGIRA

Synopsis

Triggering mechanisms and rainfall threshold of shallow landslides were discussed based on field and laboratory surveys for the disaster by heavy rainfall on 20 Aug 2014 at Hiroshima, southwest Japan. Shallow landslides occurred in areas of maximum 3 h-rainfall >160 mm/3h with hourly rainfall intensity >70 mm/h. Hillslopes with bedrock of granite and hornfels slid severely, while areas underlain by rhyolite suffered only sparse landsliding. Three types of landslide were identified in field observation: 1) planer translational landslide, 2) gash-out failure, and 3) wedge sliding. Lithological and subsurface structural factors seem to affect the occurrence of these different types of landslide. Majority of landslides in granite hillslopes and about half in hornfels were planer translational landslides. This type forms a sliding surface within soil layer along mechanical or hydraulic discontinuity at a depth of ~1 m. Other half of landslides in hornfels area was gash-out failure with scars of 1–3 m deep, outcropping an openwork gravel layer at the bottom. Water supply exceeding drainage capacity of this conduit may generate excess pore-water pressure, leading to fluidization of overburden. Wedge sliding was a minor type, with a shallow gully of soil or a deeper slip surface in bedrock (~5 m), occurring along geologic discontinuity such as joints, faults and dykes. Prediction of potential sites, timings, and magnitude of such landslides requires detailed investigations of thickness and mechanical strength of potential sliding material, observation and modeling of subsurface hydrological processes.

キーワード: 表層崩壊, 降雨閾値, 土層, 間隙水圧, 斜面減災

Keywords: shallow landslide, rainfall threshold, soil layer, pore-water pressure, slope disaster mitigation

1. はじめに

2014年は7月から8月にかけて各地で豪雨が発生し、表層崩壊や土石流、あるいは地すべりなどの斜面変動による災害が相次いだ。特に、8月20日に広島市において発生した災害では、死者74名という甚大な人的被害が発生し、現行の土砂災害警戒システムの限界が現れた形となった。広島県における豪雨による

斜面災害については、過去に多くの事例からの教訓があったにもかかわらず、それを活かしきれなかったといえる。また、被災地の多くが、流域からの土砂流出によって形成された地形（土石流扇状地）に立地していたが、そうした土地の成り立ちに関する知見や、それに基づく警戒区域情報も地域住民には十分に浸透していなかった。そして何より、過去数十年スケールで都市周縁山麓の開発が進み、居住区が

近郊丘陵の斜面変動域へと近接していったことが、被害拡大の大きな要因となっている。同様の災害は、広島市に限らず、全国の都市で想定される。

一般に、地域スケールでみた場合、表層崩壊や土石流によって山地流域外に排出される土砂の全てをハード対策によって受容することはできない。そのため、警戒・避難によるソフト対策により減災を図る必要がある。現在、気象庁が発信している土砂災害警戒情報は、土壌雨量指数と短時間雨量の実況値および予測に基づき、5 kmメッシュで基準値超過判定を行うものである。こうした斜面に存在する水分量を相対的に指標化する方法は、斜面災害予測において有効であるが、水文プロセスや斜面変動プロセスをブラックボックス化しているため、その精度・確度の向上には限界がある。

表層崩壊災害に対する警戒・避難のためのソフト対策を高度化するには、場所・時刻・規模の予測3要素を定量的に評価できるプロセスベースなモデリングが必要である。そのためには表層崩壊におけるすべり面の形成メカニズムを理解した上で、すべり面深度よりも上にある崩壊予備物質の厚みとその空間分布を推定し、崩壊発生条件を満たす間隙水圧がどれほどの降雨強度と降雨累積量によって達成されるのかを計算する必要がある。ここではその最初のステップとして、まずは現象論的に表層崩壊の発生・非発生を左右した降雨閾値や表層崩壊すべり面の発生深度を調査し、その決定要因を考察する。

2. 2014年の豪雨と斜面災害

2014年7月から8月にかけて、各地で発生した斜面災害をFig. 1に、それらをもたらし豪雨の波形をFig. 2に示す。8月初旬の高知-徳島における豪雨以外は、表層崩壊による被害が発生した場所のものである。表層崩壊を引き起こす雨は、短時間大強度の降雨波形をもつことが多く、南木曽や広島で観測された、最大時間雨量が>80mm/hに達するようなものはその典型と言えよう。一方で、福知山や礼文島で観測された雨（~40-50mm/h）は、それほど大強度とはいえ

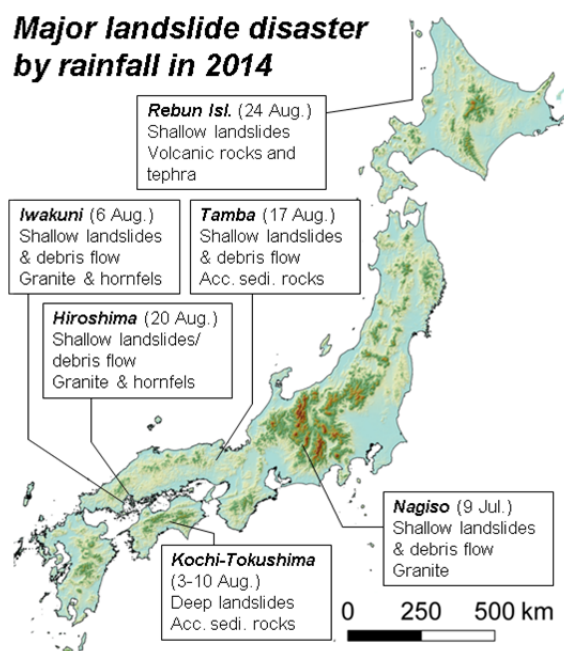


Fig. 1 Major landslide disaster on natural hillslopes in Japan by heavy rainfall in 2014.

ない。また、高知-徳島豪雨では、1週間で700 mm超の先行降雨ののち、>40 mm/hの雨が12時間継続しても表層崩壊はほとんど発生しなかった。こうした事実は、表層崩壊発生の降雨閾値に、地質や地域的な降雨履歴が強く影響していることを示している。

表層崩壊は、急傾斜 (>30°) な斜面の浅層 (1-2 m 深) に、せん断強度と透水性の不連続面が存在する場の条件において群発的に生じる。花崗岩類 (e.g., 広島・南木曽) や割れ目の少ない堆積岩類 (e.g., 丹波), 成層構造をなすテフラ (e.g., 礼文島) などからなる地盤でこうした条件は整いやすい。西南日本内帯の付加体堆積岩類については、しばしば接触熱変成を受けている (岩国・広島) ことも表層崩壊の素因が整いやすい原因となっている可能性がある。

一方、斜面に浸透した降水が、浅部を速やかに透過し、相対的に強度の大きい基盤岩内に大量に貯留されうる条件では、表層崩壊は生じにくくなる。西南日本外帯の付加体堆積岩類では、そのような抑制

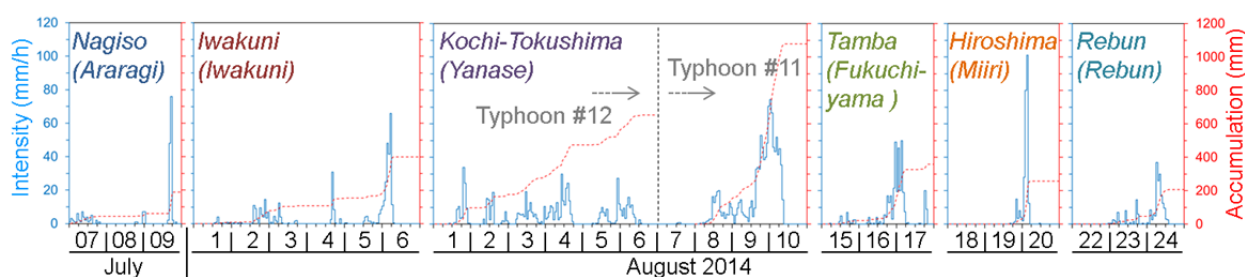


Fig. 2 Hyetographs of rainfall events that triggered landslides in Japan in 2014.

要因が整っており、表層崩壊による発災例は少ない。しかし、今回のように総雨量が2000 mmに達するような状況では、深層崩壊や地すべりのような運動様式を持つ斜面変動が引き起こされる。確度の高い予測を実施するためには、地質に支配された地盤状況に応じて、起きうる斜面変動の様式が予め想定され、適切な水文-斜面安定カップリングモデルが設計・使用されることが重要である。

3. 広島災害における降雨および地形・地質と発災状況

2014年8月19日から20日にかけて、豊後水道上空

を通過して吹き込む気流によって水蒸気供給が長時間持続したことにより、広島湾から北東方向に延びる線状降水帯が形成され（気象研究所，2014），最大3時間雨量が約160–180 mm以上で，最大降雨強度が70 mm/hを超えた3 × 12 kmの雨域で，表層崩壊が群発した（Fig. 3）。今回の降水イベントは，その後半に大強度の降雨ピークがある波形を呈しており（Fig. 3），表層崩壊の発生しやすい降雨パターンであった（D’Odorico et al., 2005）。発災のタイミングは，8月20日の03–04時頃であり，降雨強度のピークと一致している。

一般に，表層崩壊では1 m程度の土層が崩落することが多く，仮に土層の間隙率を50%，その飽和度が，

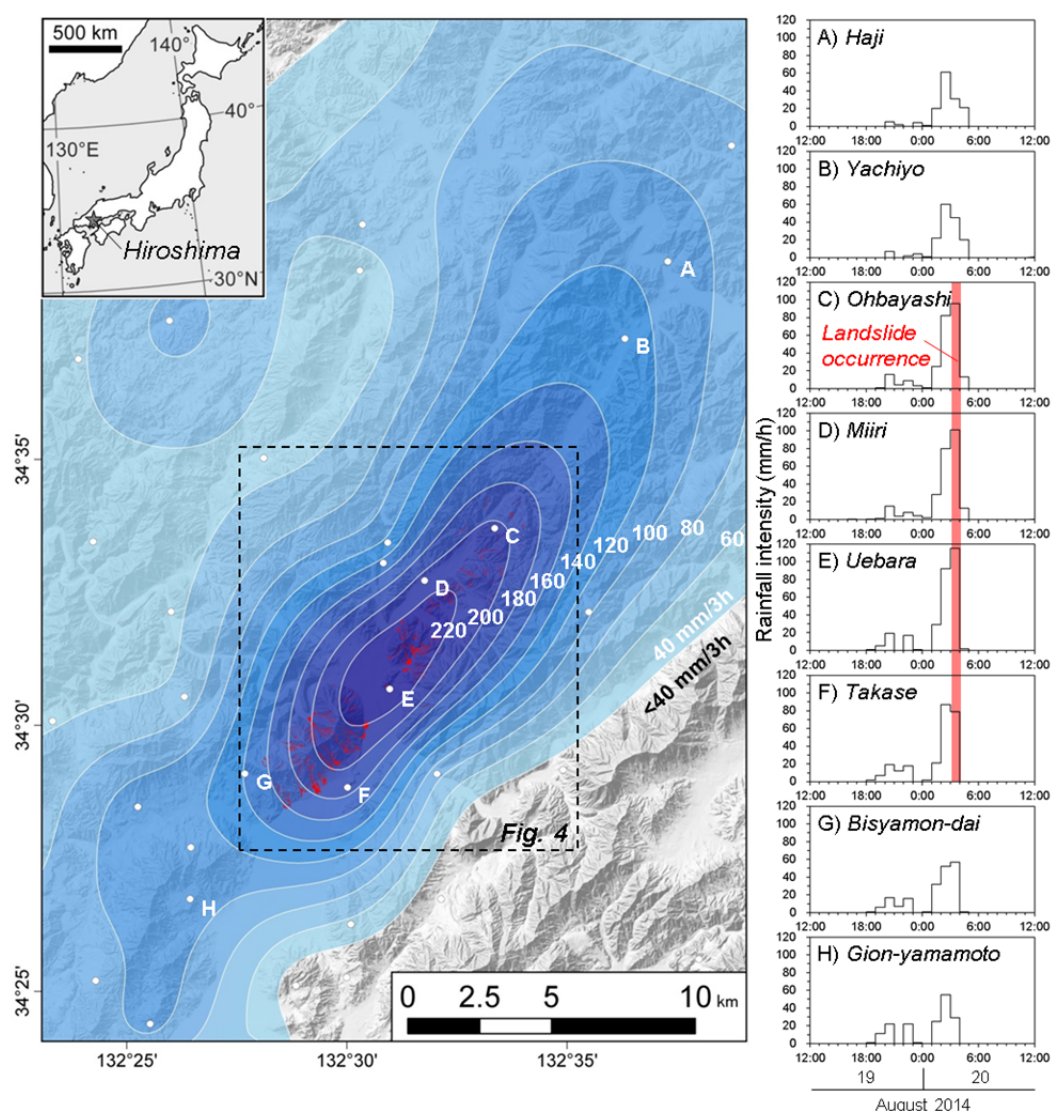


Fig. 3 Distributions of rainfall and landslides in the disaster at Hiroshima, south-west Japan on 20 August 2014. Blue colors with contours show maximum 3 h-rainfall during the event, estimated by interpolation of data recorded at rain gauges indicated as open circles. Hyetographs in the right column are hourly data from selected 8 sites (A-H in the map). Red polygons indicate shallow landslides and debris flows, plotted based on aerial photos and DTM (Digital Terrain Model) by air-borne LiDAR (Light Detection And Ranging).

~50 mm程度の直前先行降雨を考慮して60~70%程度になっていたとすると不飽和領域(気相)は150~200 mmに相当する降雨を貯留できることになる。この値は表層崩壊の発生した領域の最大3時間雨量とおおよそ符合しており、今回の災害は、最も単純には、土層の全飽和が達成された範囲で発生したものと理解される。ただし、表層崩壊発生数は総降水量と必ずしも比例的に対応しているわけではなく、降水量と降雨強度の両方が、崩壊の発生・非発生に影響したことを示唆している。

表層崩壊の発生密度や発生様式には、地形・地質といった地盤条件もまた大きく影響している。本地域には、ジュラ紀の付加体堆積岩類、白亜紀の流紋岩類、および白亜紀の花崗岩類と貫入岩類が分布する(Fig. 4)。堆積岩類は花崗岩の貫入に伴う接触熱変成により、ホルンフェルス化している。また、この地域の断層・節理系は北東-南西方向と北西-南東方向の2系列に大別され、貫入岩の分布もおおよそこの傾向に従う。いずれの岩石も、比高数百メートルの急勾配斜面からなる丘陵地を形成しているが、花崗

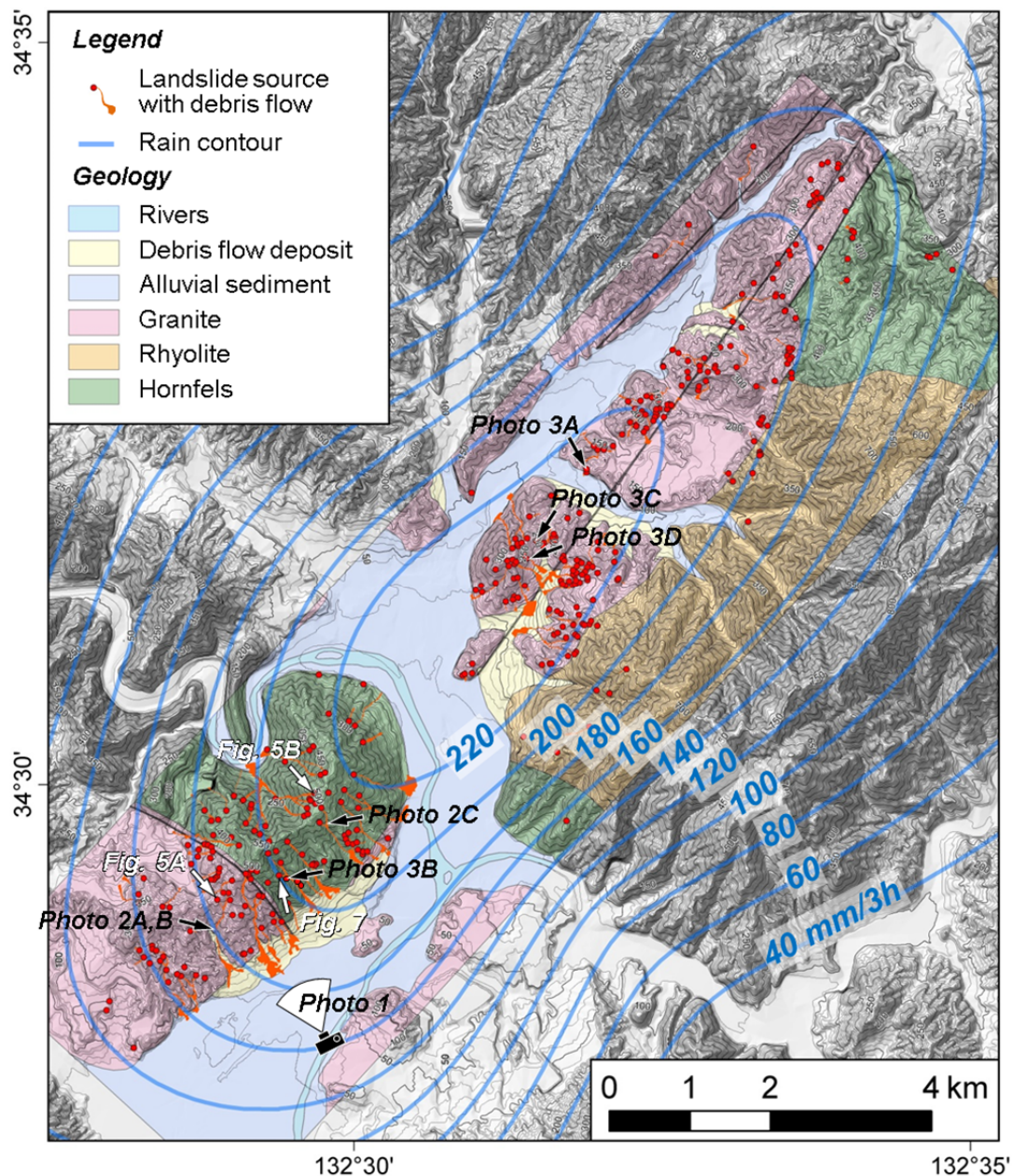


Fig. 4 Landslide distribution and geology in the central area of heavy rainfall. Blue contours are estimated maximum 3 h-rainfall, same as indicated in Fig. 3. Red dots with orange polygons are source of shallow landslide with areas of debris runout. Lithological boundaries are based on 1/200,000 geologic map published by Geological Survey of Japan, modified by field surveys and LiDAR-based topographic analysis.

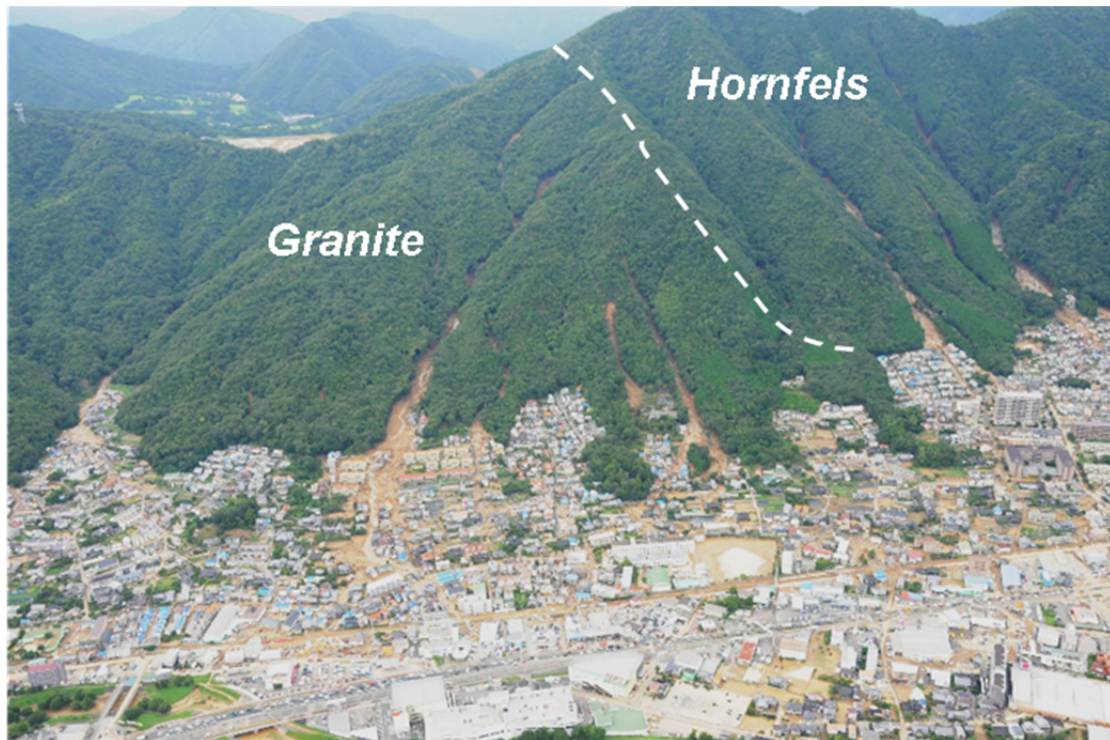


Photo 1 Landslides and debris flow runout (photo taken at 10 h later the disaster occurrence) in Yagi-Midorii district nearby granite-hornfels geologic boundary (see Fig. 4 for location). Houses have built on debris flow fan and are destroyed at catchment outlets by the present event. Note that hornfels forms hill terrain of higher relief with steeper slopes than granite.

岩を基盤とする地域はホルンフェルスや流紋岩からなる地域に比べて、相対的に高谷密度で小起伏の地形を呈する (Fig. 4, Photo 1) . 丘陵山麓には、南流する太田川の現成低地および段丘面を覆う沖積錐 (土石流扇状地) が発達しており (Fig. 4) , 過去にも流域からの土砂流出が繰り返し発生してきたことを示している.

表層崩壊は、花崗岩およびホルンフェルスの地域で多数発生し、流紋岩の分布域では発生数は少なかった (Fig. 4) . 崩壊源頭部の数密度は、 $>180 \text{ mm}/3\text{h}$ の雨域の花崗岩斜面で $>30 \text{ n}/\text{km}^2$, ホルンフェルス斜面で $>20 \text{ n}/\text{km}^2$ に達するのに対し、流紋岩の分布域では $<5 \text{ n}/\text{km}^2$ である (Fig. 4) . これは、土層および基盤岩の透水性や力学特性の差異を反映したもの (e.g., Matsushi et al., 2006) である可能性があるが、詳細なメカニズムは不明である.

花崗岩およびホルンフェルスのいずれでも表層崩壊した斜面物質は、土石流化して溪床物質を巻き込み、体積を数倍以上に増大させながら長距離を流下し、扇状地上で氾濫したため、流域の出口に位置していた家屋が被災した (Photo 1) . 花崗岩流域における土石流の流動経路では、谷埋め堆積物の大部分が一掃され、溪床には基盤岩が露出していることが

多い (Photo 2A) . 花崗岩は斜面に準平行な低角のシーティングジョイントと高角の節理群によって方状に切断されているため (Photo 2B) , 分離したメートルスケールの巨礫が土石流に取り込まれることになり、これが流域出口において家屋に対する破壊力を高めたものと推察される. 一方、ホルンフェルスの流域では、土石流の通過した流路でも、谷埋め堆積物が基盤岩まで掘り込まれていることは少なく (Photo 2C) , 溪床物質の土石流への取り込まれやすさは花崗岩流域よりも小さかったものと推定される. 堆積物中には巨礫も多く含まれており、これが流出した大岩塊の給源となったものとみられる. 溪床には巨礫に起因する洗掘によって階段状の地形が形成されていることが多い (Photo 2C) .

4. 表層崩壊の類型化

今回発生した表層崩壊は3つのタイプに分類できる (Photo 3) . 一つは、平板状の並進せん断型崩壊 (Photo 3A) であり、傾斜角 $\sim 40^\circ$ の斜面で1 m 程度の土層が並進移動して崩落するものである. 花崗岩地域で多発し、ホルンフェルス地域では尾根付近の強風化帯に偏在している. 後述するように土層内

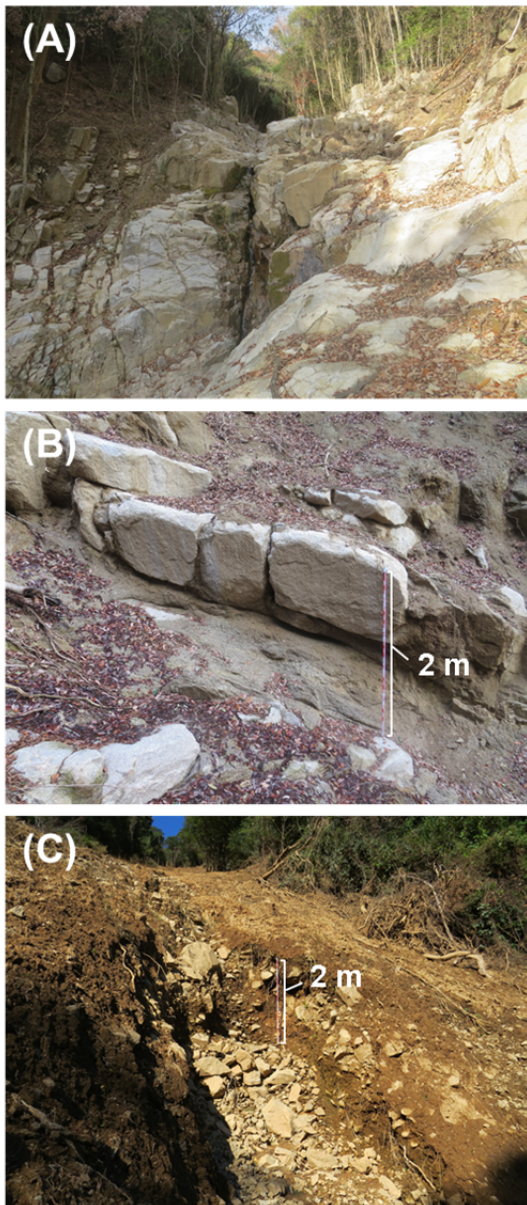


Photo 2 Channels scoured by debris flow (see Fig. 4 for locations). (A) A channel along a fault in a granite catchment. Almost all valley fill was removed by debris flows. (B) Cubic granite bedrock cut by low-angle sheeting joints and high-angle joint sets nearby sites of photo A. (C) Debris flow trace in a hornfels catchment. Sediment burying the channel remains even after scouring by debris passage. Boulders exist in the sediment, forming many steps along the channel.

部の力学・水理的連続面がせん断面となって発生している。これが形態的に最も一般的な表層崩壊であり、数的に全体の7割程度を占める。

次に多かったのが、漏斗状の水噴出型崩壊（Photo 3B）であり、傾斜角 $\sim 20-30^\circ$ の斜面に、1-3 m深の漏斗型の穴が開く形状を呈する。この形態はホルン



Photo 3 Types of landslides (see Fig. 4 for locations). (A) Planer translational landslide on a granite hillslope. (B) Gash-out failure in a hornfels hillslope. (C) Shallow wedge sliding, and (D) deep, bedrock wedge sliding in the granite area.

フェルス斜面の中腹に多く、土石流の流走部にも階段状地形としてしばしば出現している。滑落崖基部には透かし礫層が露出し、災害直後にはここから地中水が流出していることが観察されている。このタイプをパイピング崩壊と呼称する向きもあるようだが、現象を正確に捉えた表現でないと考えられる。パイピングとは本来、浸透流速の増大に伴い土粒子が局所的に流亡して、透水性や間隙率といった土の物性が線的連続性をもって変化し、選択流の経路を生ずる現象を指す。確かに、土層底部の透かし礫層はパイピングにより形成されたものと考えられ、浸透水を排水する天然暗渠として機能していた可能性が高い。しかしこうした地下構造は、今回みられたような崩壊のむしろ素因であって、漏斗状の噴出孔が開くような崩壊地の出現は、浸透水流束が暗渠の排水容量を超えた時に上載部に過剰間隙水圧が生じ、土層全体が流動化した結果であると考えられる。

最後に、くさび状の崩壊 (Photos 3C, D) と分類できるタイプが少数みられた。このタイプは、すべり面の浅いものでは、崩壊地側壁の少なくとも片側が直線的地質構造により規制された平面形を呈し、傾斜角 $\sim 30\text{--}40^\circ$ 程度の急斜面が、ガリー状に掘り込まれていることが多い (Photo 3C)。また、すべり

面がやや深く、 $\sim 2\text{--}5$ m程度の厚みで基盤岩を含む部分が、くさび状に分離して移動したものもみられた (Photo 3D)。写真では立ち木が直立したまま移動していることがわかるが、すべり面が岩盤中に形成されたことを示唆している。Photo 3Dのケースでは、崩壊の近傍で断層と熱水変質脈の存在が確認されている。こうした崩壊は、断層、節理、貫入岩脈、熱水変質脈といった地質構造上の弱面をすべり面として発生しているものであり、表層崩壊と深層崩壊の中間的性質をもつといえる。

5. 斜面の土層構造と表層崩壊メカニズム

表層崩壊の実態を詳細に把握するため、数的に卓越している平板状並進せん断型崩壊の典型的な斜面を、花崗岩およびホルンフェルス地域で一か所づつ、また、漏斗状水噴出型崩壊の典型的な斜面を、ホルンフェルス地域で一か所選定して詳細な調査を実施した (Figs. 5–7; Watakabe et al., 2015)。まず斜面測量を行って崩壊形状を把握したのち、簡易貫入試験器によるサウンディングを行った。また、滑落崖を整形して土層断面を観察し、すべり面の形成された深度を特定するとともに、静的コーン貫入硬度の原

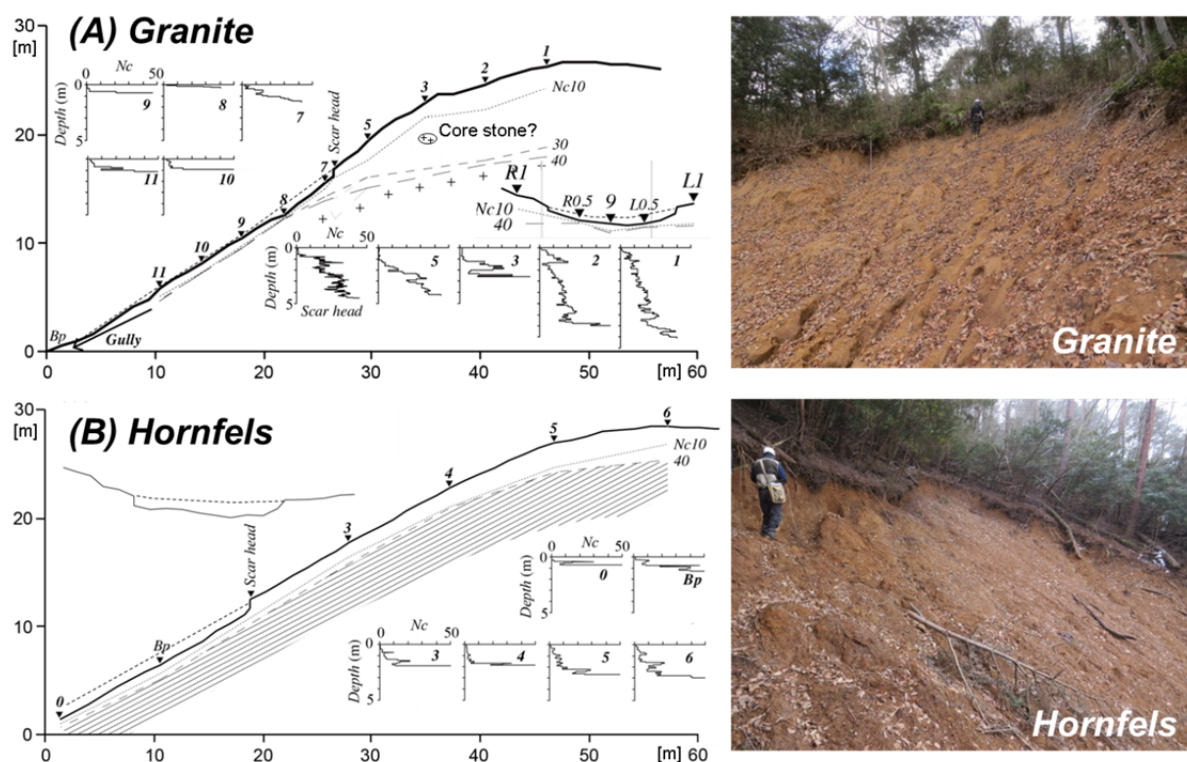


Fig. 5 Longitudinal and cross-sectional profiles and subsurface structures of hillslopes with a planar translational landslide in the granite (A) and hornfels (B) areas (see Fig. 4 for locations) (modified from Watakabe et al., 2015). Nc value is dynamic cone penetration resistance defined as knocking numbers needed for 10 cm penetration of a 1.5 cm-diameter cone with 60° tip angle by 50 cm fall of a 3 kg weight.

位置試験および不攪乱試料による飽和透水係数の測定により、土層の力学的強度と透水性の鉛直変化を分析した。

平板状並進せん断型崩壊については、花崗岩とホルンフェルスで形態的な類似が認められるものの、斜面内部の構造には大きな差異が認められる (Fig. 5)。風化帯の厚みは花崗岩斜面の尾根部で数メートル程度と厚く、力学的強度の深度変化は漸移的である (Fig. 5A)。表層崩壊はこの風化帯が斜面下方に向かって薄くなり、斜面縦断形状が上に凸の形から直線状に変化した地点を滑落崖として発生している。このことは、花崗岩の斜面においては、風化が深部に及びやすく、尾根部のように崩壊による物質除去が生起しない場では、厚い風化帯が発達すること、また急傾斜部では表層崩壊の繰り返しにより風化帯が侵食され、斜面が平行後退してきたことを示唆している。一方、ホルンフェルスの斜面では、尾根部での風化帯の厚みの増大はそれほど顕著ではなく、力学的強度の深度変化も基盤面での急激な増大が明瞭に認められる (Fig. 5B)。表層崩壊は、斜面縦断形が直線状になり、風化部の厚みが約2 mと一定にな

った部位の下方で滑落崖を形成して発生している。これらのことは、ホルンフェルス斜面では基本的に風化が深部に及びにくく、また、表層崩壊は土層の構造そのものよりも何らかの水文的要因に支配されてその発生位置が制約されていることを示唆している。

Fig. 6には、滑落崖地点での土層の鉛直構造を示す。花崗岩の斜面 (Fig. 6A) ではすべり面は60–70 cm深に形成されており、土層が崩積的な層相から残積的なものへと変化して、力学的強度がわずかに上昇する深度と一致する。一方、すべり面を挟んで透水性には顕著な変化はみられない。すなわち、表層崩壊のすべり面は、土層中の力学的な不連続性に起因して形成されたものと考えられる。

ホルンフェルスの斜面 (Fig. 6B) ではすべり面は90–100 cm深に形成されており、ここでも土層が崩積的な層相から残積的なものへと変化して、力学的強度がわずかに上昇する深度と一致する。また、すべり面以深で透水性に2桁程度の顕著な減少が認められる。すなわち、表層崩壊のすべり面は、土層中の力学的な不連続性と水理学的な不連続性の両方に起

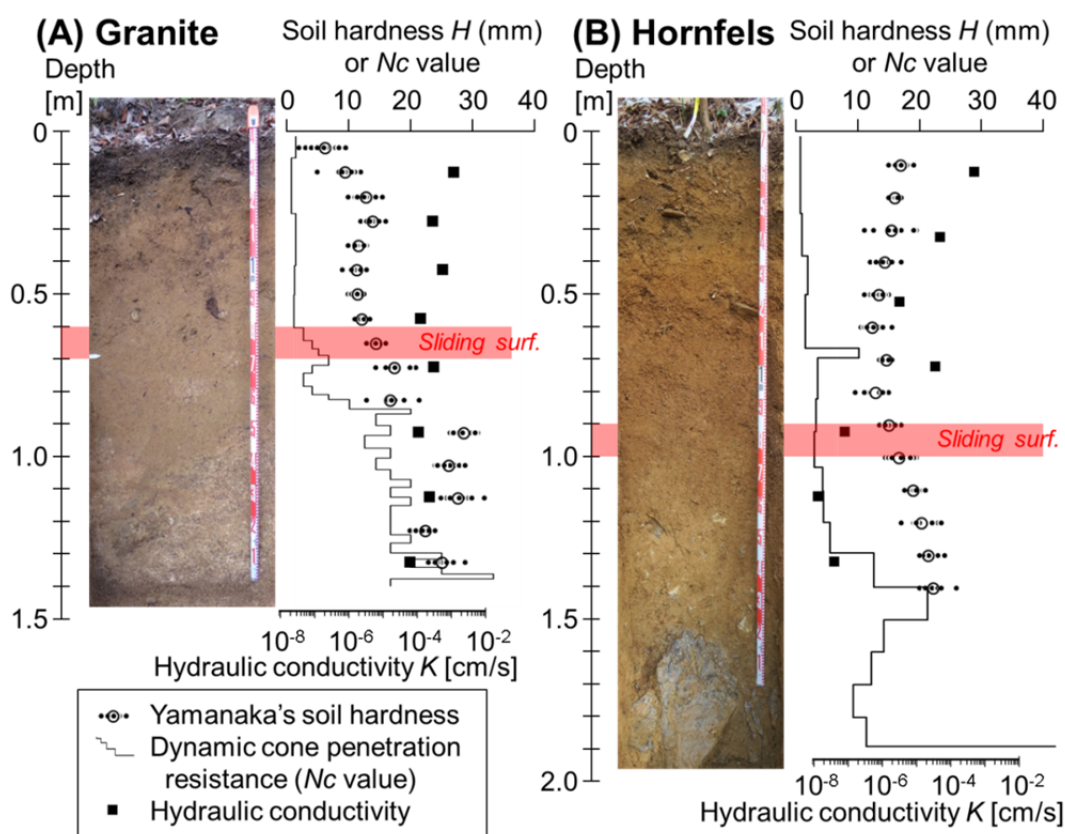


Fig. 6 Soil structures and vertical changes in mechanical and hydraulic properties of subsurface material in hillslopes of granite (A) and hornfels (B) (modified from Watakabe et al., 2015). The soil pits were excavated at scar heads of the landslides presented in Fig. 5. Red bands indicate potential sliding surface determined by extrapolation of actual slip scars. Values of N_c for the hornfels profile were taken at 9 m upslope from the scar head.

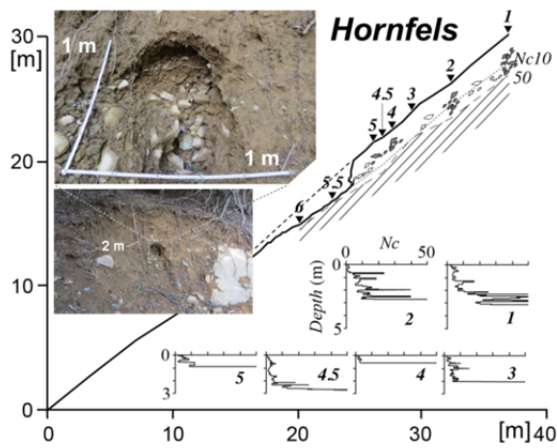


Fig. 7 Slope-long profile of a gush-out failure in the hornfels area (see Fig. 4 for location) (modified from Watakabe et al., 2015). A hole appeared at the scar head, with outcropping of an openwork gravel layer. Peak N_c values also indicate existence of blocks in the colluvial soil.

因して形成されたものと考えられる。

両地質での平板状並進せん断型表層崩壊をもたらした斜面水文プロセスは、今後、観測データに基づいて実証的に検討されるべきであるが、土層構造やすべり面の形成深度から、現時点で推定される水文現象としては、大強度降雨による鉛直浸透に伴う濡れ前線の降下と飽和部での圧力拡散が考えられ、ホルンフェルス斜面では土層の透水性からみて浅部に宙水が形成されたことも十分に考える。崩壊発生機構としては、濡れに伴う粘着力の減少と間隙水圧の増加による有効応力の低下の両方が寄与し、土層の内部に存在する力学的な弱面をすべり面として、表層崩壊に至ったものと考えられる (e.g., Iverson, 2000; Collins and Znidarcic, 2004)。

漏斗状水噴出型崩壊を起こした斜面 (Fig. 7) では、滑落崖基部に透かし構造をもつ礫層が露出し、噴出孔様の凹みが認められる。また土層下部で不連続な貫入強度の増大が認められることは、この礫層の平面的な拡がり示唆している。漏斗状水噴出型崩壊は山腹部の凹型斜面に多く、過去の崩壊等により供給された崩積物が谷を埋積しているような場で条件で多発している傾向がある。発災直後には、ヘリコプターからの空撮により、多くの滑落崖に露出した孔から水が流出していることが観察された。

これらのことより、ホルンフェルス地域の谷部では、過去の崩積土の底部に存在する粗大な間隙を有する礫層部分を経路とする水みちが発達しており、それが天然の暗渠の役割を果たして、浸透した雨水を排水していたものと推察される。今回の豪雨時にも、土層が飽和するか、間隙空気が封入された状態

となった斜面では、透水性の高い礫層中に地中水が押し出され、側方流動したものと推察される。上流部からの浸透水の供給が、暗渠の排水能力を上回った地点で、土層中に過剰間隙水圧が生じ、流動化に至ったことが、このタイプの崩壊の発生メカニズムとして推測される。こうした仮説は、崩積土中の圧力水頭の応答特性や礫層からの流出特性などに着目した水文観測によって確かめられるべきである。

6. まとめ

今回の災害をもたらした土石流の原因となった表層崩壊は、最大3時間雨量が >160 mm、1時間降雨強度が >70 mm/hの2条件を満たした雨域において、花崗岩とホルンフェルスを基盤とする斜面で発生した。表層崩壊は、その形態から3種に類型化できる。それらは1) 平板状の並進せん断型崩壊、2) 漏斗状の水噴出型崩壊、および3) くさび状の構造分離型崩壊であり、それぞれ発生機構が異なるものと考えられる。平板状並進せん断型崩壊は花崗岩の斜面に最も多くみられ、ホルンフェルスの斜面では稜線付近に偏在する。このタイプの崩壊は、土層中の力学的あるいは水理学的不連続面をすべり面として発生している。漏斗状水噴出型崩壊はホルンフェルス斜面の中腹部において、崩積土が谷を埋積している条件で発生しやすく、天然暗渠として機能していた土層底部の透かし礫層の排水能力を超える浸透水が供給された地点で、過剰間隙水圧によって土層が流動化したことが原因と推察される。くさび状構造分離型崩壊は発生例は少ないものの、岩盤内の断層等の地質的不連続性が原因となって発生しているようである。流域からの土砂流出を、ハード的対策によって全て食い止めることは不可能である。また、全ての土石流扇状地上に全く居住地をつくらないようにすることもまた極めて困難であろう。斜面減災の実現のためには、ソフト防災のより一層の高度化が必要である。今後、斜面水文観測データの蓄積とそのモデリングを通じて、地質ごと、また想定される崩壊の種類ごとに、崩壊発生条件を満たす間隙水圧が達成されるのに必要な降雨条件を見極め、任意の降雨イベントに対して、流域からの土砂生産量を算定する努力が必要であろう。

謝 辞

本報告の調査は、京都大学防災研究所広島土砂災害調査団、(一社)日本応用地質学会、および(公社)日本地すべり学会による災害調査の一環として行われた。航空レーザー測量は、朝日航洋株式会社

によって行われ、データの解析においても同社の協力を得た。本研究は、自然災害研究協議会突発災害調査費、科学研究費補助金 特別研究促進費（代表：山本晴彦，26900001），若手研究A（代表：松四雄騎，26702010），基盤研究S（代表：谷誠，23221009），京都大学防災研究所拠点研究一般推進研究（代表：松四雄騎，26A-04）による助成を受けた。

引用文献

気象研究所（2014）：平成26年8月20日の広島市での大雨の発生要因，報道発表資料，6 pp.

Collins, B.D. and Znidarcic, D. (2004): Stability analyses of rainfall induced landslides, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, pp. 362–372.

D’Odorico, P., Fagherazzi, S. and Rigon, R. (2005): Potential for landsliding: Dependence on hyetograph characteristics, *Journal of Geophysical Research*, Vol.

110, F01007.

Iverson, R.M. (2000): Landslide triggering by rain infiltration, *Water Resources Research*, Vol. 36, pp. 1897–1910.

Matsushi Y., Hattanji T. and Matsukura Y. (2006): Mechanisms of shallow landslides on soil-mantled hillslopes with permeable and impermeable bedrocks in the Boso Peninsula, Japan, *Geomorphology*, Vol. 76, pp. 92–108.

Watakabe, T., Matsushi, Y. Chigira, M. Tsou C. -Y. and Hirata, Y. (2015): Characteristics of shallow landslides, soil layer structure and soil properties on hillslopes underlain by granite and hornfels: cases from the disaster on 20 August 2014 at Hiroshima, Japan, *Proceedings of 10th Asian Regional Conference of IAEG*, in press.

（論文受理日：2015年7月10日）