

三重県熊野市ツエノ峰周辺にみられる山上凹地およびせき止め湖の埋積堆積物下の基盤構造：ボーリング調査・電気探査・地震波探査の統合解析結果

Basement structure under the sediments accumulated in the ridge-top depression and landslide-dammed lake around Mt. Tsuenomine, Kumano City, Mie Prefecture: Results of integrated analyses by drilling, electrical and seismic survey methods

*小嶋 智¹、村田 芳信¹、岩本 直也²、小村 慶太郎³、山崎 智寛³、金田 平太郎³、大谷 具幸¹

*Satoru Kojima¹, Yoshinobu Murata¹, Naoya Iwamoto², Keitaro Komura³, Tomohiro Ymazaki³, Heitaro Kaneda³, Tomoyuki Ohtani¹

1.岐阜大学工学部社会基盤工学科、2.三祐コンサルタンツ（株）、3.千葉大学大学院理学研究科地球生命圏科学専攻地球科学コース

1.Department of Civil Engineering, Gifu University, 2.Sanyu Consultants Inc., 3.Department of Earth Sciences, Chiba University

山体が重力の作用により変形することによって形成される山体重力変形地形の一部は、深層崩壊の前兆現象であることが示され注目されている。一方、その一部は数万年にわたって安定して存続し続けている。両者を識別することは防災上重要な課題であるが、まだ研究事例が少なく一般化するには至っていない。三重県熊野市のツエノ峰周辺には、山上凹地、せき止め湖などの地すべり関連地形が認められる。両者とも堆積物に覆われているため、形成時期の特定や形成後の周辺環境の変遷の推定が可能である。一方、その基盤構造は堆積物のために明瞭ではない。基盤構造を推定するためにボーリング調査・電気探査・地震波探査を行った。山上凹地では約15m離れた2地点において、深さ約7.5mと9mのボーリングを掘削した。岩相はいずれも、上部約1mが有機質な泥層で、その下部に厚さ5m程度の灰色～黄土色の泥層が堆積し、最下部には基盤岩直上に堆積したと思われる粘土基質の礫層が認められる。長さ9mのコアの深度0.8m, 4.3m, 7.7mには火山灰層が挟まれ、それぞれ、始良Tn (28-30ka), 九重第1 (50ka), 鬼界葛原 (95ka) テフラと同定された。せき止め湖を埋積した堆積物は約7.5mを掘削したが、基盤岩には到達しなかった。厚さ約2.5mの地表露頭とあわせて10mほどの湖底堆積物を得た。岩相は塊状の黄褐色粘土層で下部では礫まじりとなる。テフラの純層は認められなかったが、全ての層準でアカホヤ火山灰 (7.3ka) 起源と思われる再堆積火山ガラスが確認できた。電気探査と地震波探査は、山上凹地の尾根と直交する方向に2測線、せき止め湖の河川流路に平行に1測線、直交方向に2測線を設けて行った。電気探査と地震波探査の結果は概ね調和的で、基盤岩、地すべり移動体、線状凹地堆積物、ダム湖堆積物を明瞭に区別することができた。

キーワード：ツエノ峰、山体重力変形地形、物理探査

Keywords: Mt. Tsuenomine, deep-seated gravitational slope deformation, geophysical survey

北アルプス徳本峠-大滝山間の重力変形過程

Gravitational deformation process in Tokugotoge Pass and Mt Otakiyama, Northern Japan Alps

*永田 秀尚¹、小嶋 智²、小出 健太²*Hidehisa Nagata¹, Satoru Kojima², Kenta Koide²

1.有限会社風水土、2.岐阜大学工学部

1.Fu-Sui-Do Company Limited, 2.Faculty of Engineering, Gifu University

上高地の南東側に位置する大滝山-徳本峠付近の重力変形地形について、航空LIDARデータによる詳細地形図の判読をおこなって検討した。検討地域では主稜線がほぼ連続的に、100~300m離れた二重山稜となっていることが特徴である。山上凹地-二重山稜は現地形に平行して形成されており、東北東-西南西方向を示す基岩の美濃帯の地質構造とは必ずしも一致しない。これは、大まかな地形が形成された後に重力変形が生じたことを示している。主稜線は非対称で、南東側が急斜面、北西側は緩斜面となっている。山腹斜面には重力変形を示唆する山向き小崖、山腹小緩斜面、不明瞭な谷向き小崖といった微地形が認められる。これらは南東側では尾根からの比高150m程度、北西側では同300m程度まで発達し、深い重力変形が北西側、つまり地層の傾斜側に向かって進んでいると解釈される。輪郭構造が明瞭な地すべり地形は見られないが、両側に弧状の谷が発達しつつある斜面や深層崩壊跡はある。この地域の地形は、全体的な重力変形の開始とその局所化、地すべりへの移行過程をあらわしている。

キーワード：重力変形、LIDAR地形データ、地すべり

Keywords: gravitational deformation, LIDAR DEM data, landslides

巨大（深層）崩壊の高精度編年研究会の中間報告－酸素同位体比年輪年代法による巨大崩壊の発生年代の推定と歴史史料の対比－

Oxygen isotopic dendrochronology of a gigantic rock avalanche and its comparison with historical documents -an interim report of the research group on high resolution chronology of large deep-seated landslides

*山田 隆二¹、井上 公夫²、苅谷 愛彦³、光谷 拓実⁴、土志田 正二⁵、佐野 雅規⁶、李 貞⁶、中塚 武⁶

*Ryuji Yamada¹, Kimio Inoue², Yoshihiko Kariya³, Takumi Mitsutani⁴, Shoji Doshida⁵, Masaki Sano⁶, Zhen Li⁶, Takeshi Nakatsuka⁶

1.防災科学技術研究所、2.砂防フロンティア整備推進機構、3.専修大学、4.奈良文化財研究所、5.消防庁消防大学校 消防研究センター、6.総合地球環境学研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Sabo Frontier Foundation, 3.Senshu University, 4.Nara National Research Institute for Cultural Properties Repository, 5.National Research Institute of Fire and Disaster, 6.Research Institute for Humanity and Nature

赤石山地鳳凰山東麓小武川支流ドンドコ沢に大量に分布する花崗岩質の巨大な角礫群は、堆積層から採取した樹幹試料等の放射性炭素（¹⁴C）年代測定に基づいて、奈良-平安時代に発生した大規模岩屑なだれに由来し天然ダムを形成したと考えられている（苅谷，2012，地形，33：297-313）。本研究では、酸素同位体比年輪年代測定法を用いて、岩屑なだれの誘因や堆積過程の解明に迫った。年代測定用の試料は、ドンドコ沢天然ダム湖堆積物の地表下約1 mの砂泥層に含まれるヒノキ（樹幹直径約50 cm、年輪計数による推定樹齢約400年）からディスク状に切り出して採取した。切り出したディスクから木口面に平行な厚さ1 mm、幅1 cmの薄板をスライスして板のままセルロース化し、最外年輪を53年分切り出して、総合地球環境学研究所が所有する熱分解元素分析計付きの同位体比質量分析計で測定した。測定結果の経年変動パターンを木曾ヒノキの標準変動曲線と対比したところ、ヒノキはAD 883+α（αは1年以上、数年程度）以降に倒伏・枯死したと考えられる。

岩屑なだれの誘因を地震による強震動であると限定した場合、同じ露頭から採取した樹幹の¹⁴C年代測定結果は809-987（CalAD, 2σ; 苅谷，2012）であることから、既往文献（宇佐美ほか，2013，日本被害地震総覧599-2012，東京大学出版会）によると誘因となる可能性のある歴史地震が4つ程度考えられる（AD 841 信濃、AD 841伊豆、AD 878 関東諸国、AD 887 五畿七道）。一方、酸素同位体比年輪年代のレンジはAD 883+αであるため、誘因となる可能性のある歴史地震はこれらのうちAD 887 五畿七道地震に絞られる。苅谷ほか（JPGU 2014, HDS29-P01）は同じ樹幹試料より年輪幅を計測し、AD 887晩夏の枯死年代を得ており、五畿七道地震（仁和三年 = AD 887夏）に関連して枯死したと指摘したが、酸素同位体比年輪年代測定の結果はそれに矛盾しない。

この研究は、平成27年度砂防学会の公募研究会の助成を受けた。

キーワード：年輪年代学、酸素同位体比、大規模地すべり、赤石山地、五畿七道地震

Keywords: dendrochronology, oxygen isotope ratios, large landslide, Akaishi Range, Gokishichido earthquake

震生湖をつくった地すべりは神奈川から東京に広く分布する東京軽石層内にすべり面をもっていた
Shinseiko-landslide induced by the great Kanto Earthquake had a sliding surface in the
Tokyo Pumice, which is widely distributed in Kanagawa and Tokyo areas

*千木良 雅弘¹、古木 宏和²、笠間 友博³、鈴木 毅彦⁴

*Masahiro Chigira¹, Hirokazu Furuki², Tomohiro Kasama³, Takehiko Suzuki⁴

1.京都大学防災研究所、2.日本工営株式会社、3.神奈川県立 生命の星・地球博物館、4.首都大学東京

1.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2.Nippon Koei Co. Ltd., 3.Kanagawa
Prefectural Museum of Natural History, 4.Tokyo Metropolitan University

1923年9月1日の関東地震は、特に神奈川県西部に数多くの地崩れを発生した。現在、秦野市にはこの時の地すべりによって形成された震生湖が残存し、市民の憩いの場になっている。震生湖を形成した地すべりは、寺田・宮部(1932)によって形が測量され、記録に残されている。しかしながら、その内部構造は全くわかっていなかった。我々は、現地の地形、特に地すべりの滑落崖と側方崖が、寺田・宮部(1932)の測量図と大きく変わっていないことを確認し、地すべりの右側方崖から20m離れた位置で2本のボーリング孔(各約30m長)を斜面の傾斜方向に並べて掘削した。その結果、および、地すべり地周辺の地表地質踏査の結果から、震生湖地すべりが地表から約17mの深さにある東京軽石層にあると判断できた。

2本のボーリング孔の孔口は標高差約8mで配置され、高標高部のボーリング孔では、約17mまで褐色火山灰土、ここで1.3mの厚さの東京軽石層(Hk-TP、以下TP)に遭遇し、その下位1.4m下に三浦軽石層(Hk-MP、以下MP)が確認された。低標高部のボーリング孔では、10mから17mまで軽石流(Hk-T(pfl)、以下TPfl)、その下に1.9mの厚さのTP、さらにその下位にMPが確認された。これらの情報から、断面図上で東京軽石層のトレースを描くと、斜面にほぼ平行で、滑落崖に漸近する形態となった。さらに、天然ダムの下流側の市木沢では、地すべり土塊の最下部にTP、TPflが巻き込まれていることが確認された。ボーリング孔および地すべりに巻き込まれたTPおよびTPflの軽石は風化して軟質であるが、市木沢床に露出するTPとTPflの軽石は新鮮で硬質である。

震生湖周囲の航空レーザー計測データによれば、震生湖地すべりよりもややスケールは小さいが、平板状の地すべり跡が多数認められた。TPの露頭分布からみて、いずれもTPにすべり面を持ち、地すべり前にTPが斜面下部で下部切断されていたと考えて矛盾がない。

TPは、6万年から6万5千年前に箱根火山から噴出したもので(町田・新井,2003;笠間・山下,2008;町田・森山,1968)、神奈川から東京南西部の広い範囲に、斜面にほぼ平行に分布している。そして、この層の上には新期ロームが厚く堆積している。これらの層が斜面下部で切断されているような個所では、将来の大地震時に崩壊性の地すべりが発生する可能性がある。

本研究には、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の特別事業費を使用した。

笠間友博, 山下浩之, 2008. いわゆる「東京軽石層」について. 神奈川博調査研報(自然) 13, 91-110

寺田寅彦, 宮部直巳, 1932. 秦野における山崩れ. 地震研究所彙報 10, 192-199.

町田洋, 新井房夫, 1992. 火山灰アトラス-日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 東京.

町田洋, 森山昭雄, 1968. 大磯丘陵のtephrochronologyとそれにもとづく富士および箱根火山の活動史. 地理学評論 41, 241-257.

キーワード: 降下火砕物、地震、地すべり、東京軽石層

Keywords: Pyroclastic fall deposits, Earthquake, Landslide, Tokyo Pumice

阿蘇火山周辺の急傾斜地におけるテフラ層厚分布の特徴とその成因

Characteristics of tephra thickness distribution in steep regions of Aso Volcano and their origin

*木村 諤¹、林 信太郎²、後藤 聡³、佐藤 剛⁴、若井 明彦⁵、土志田 正二⁶、檜垣 大助⁷

*Takashi Kimura¹, Shintaro Hayashi², Satoshi Goto³, Go Sato⁴, Akihiko Wakai⁵, Shoji Doshida⁶, Daisuke Higaki⁷

1.日本地すべり学会、2.秋田大学、3.山梨大学、4.帝京平成大学、5.群馬大学、6.消防研究センター、7.弘前大学

1.The Japn Landslide Society, 2.Akita University, 3.University of Yamanashi, 4.Teikyo Heisei University, 5.Gunma University, 6.National Research Institute of Fire and Disaster, 7.Hirosaki University

平成24（2012）年7月九州北部豪雨により、阿蘇火山北部のテフラに覆われた急傾斜地で多数の表層崩壊が発生し、甚大な土砂災害を引き起こした。阿蘇火山周辺地域では、豪雨による表層崩壊の群発がおよそ10年おき（最近30年間では、1990年、2001年、2012年）に繰り返し発生している。このような土砂災害を防ぐためには、活火山周辺の急傾斜地において崩壊予備物質となるテフラの層厚分布を把握する必要がある。

そこで、約3,600年前の噴火時に降下した往生岳スコリア（以下、0jSと表記）より上位にあるテフラ累層（ロームやクロボクといった火山灰土壌を含む）の等層厚線図（宮縁ほか、2004）をもとに、スプライン法を用いた空間補間によって阿蘇火山周辺地域の層厚分布を推定し、中央火口丘斜面の高岳地区およびカルデラ内壁斜面の妻子ヶ鼻地区で実測した層厚と比較した。さらに、層厚と斜面地形（傾斜角および曲率）との関係を解析して、阿蘇火山周辺の急傾斜地における現在のテフラ層厚分布の特徴とその成因を考察した。

等層厚線図から得た推定層厚を0jS層形成以降に降下したテフラの総量と見なすと、推定層厚と実測層厚の比は過去約3,600年の期間におけるテフラの残存率と考えることができる。テフラの残存率は高岳地区で0.25~0.31（25~31%）、妻子ヶ鼻地区で0.12~0.22（12~22%）となった（図1）。テフラの残存率と斜面地形との相関を調べたところ（図2）、傾斜角の間には有意な相関が認められなかった一方で（相関係数 $r: -0.35$, p 値: 0.29）、曲率の間には有意な負の相関が認められた（相関係数 $r: -0.60$, p 値: 0.05）。以上の結果より、阿蘇山周辺の急傾斜地におけるテフラの平均残存率（±標準偏差）は0.22±0.06（22±6%）となり、過去約3,600年間に降下したテフラのおよそ70~90%がすでに侵食されていることが示された。また、テフラの残存率と斜面の曲率との間に負の相関があり、凸地ほどテフラが蓄積されにくい傾向にあることが示された。

現地での露頭観察において、0jS層は乱れたブロック状の二次堆積物として残存していることが多いこと、約1,500年前の噴火時に降下したスコリア（中岳N2スコリア）は連続性よく堆積している一方で、その上下のクロボク/ローム土層が薄く連続性に乏しいことから、約3,600年前、約3,600~1,500年前の期間の中・後期、約1,500年前~現在までの期間の中期に地表付近の土層が表層崩壊による削剥を受けたことで、現在のような層厚分布が形成されたものと考えられる。

キーワード：阿蘇火山、テフラ被覆斜面、アイソパックマップ、層厚分布、表層崩壊

Keywords: Aso Volcano, tephra-mantled slope, isopach map, thickness distribution, shallow landslide

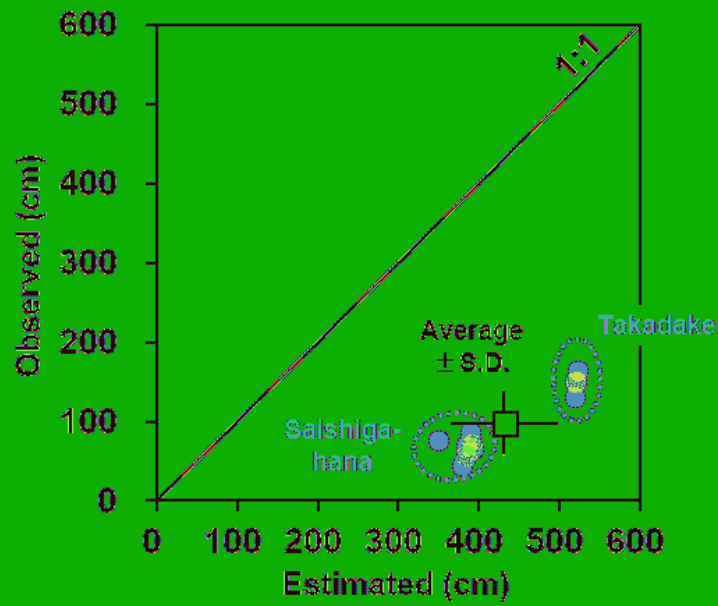


Fig. 1 Comparison between estimated and measured thickness.

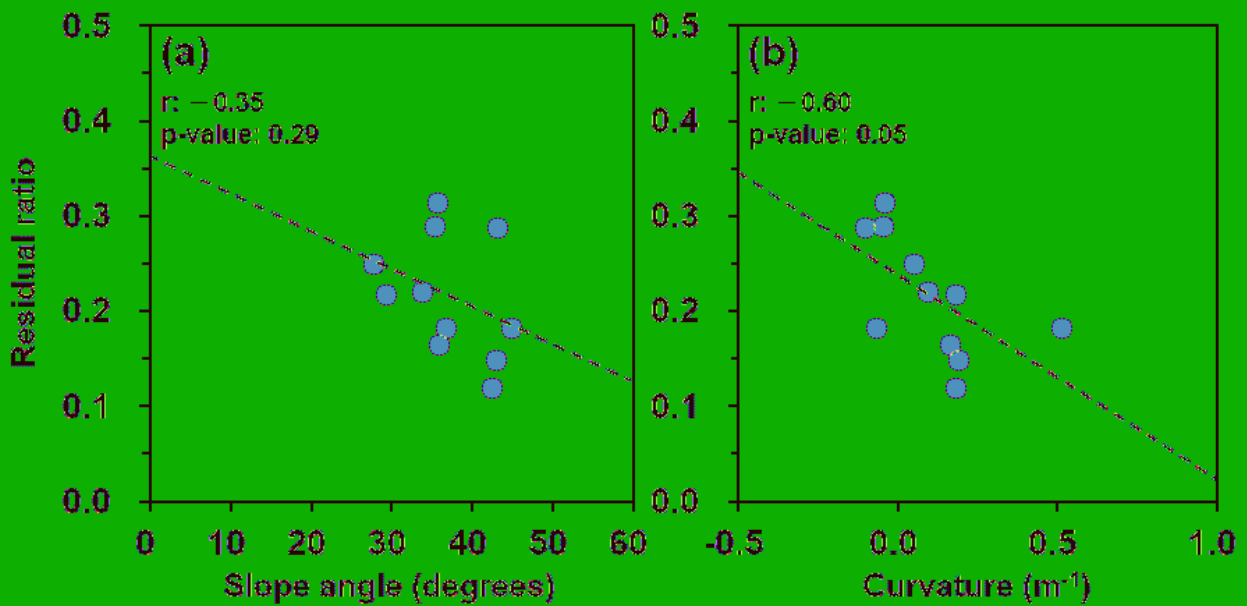


Fig. 2 Correlations of measured thickness with (a) slope angle and (b) curvature.

2015年ネパール・ゴルカ地震にともなうボテコシ川流域の斜面災害

Slope disaster along Bhote Kosi River, induce by Nepal-Gorkha earthquake in 2015

*八木 浩司¹、廣瀬 悠¹、檜垣 大助²、若井 明彦³、千木良 雅弘⁴、佐藤 剛⁵、佐藤 浩⁶*Hiroshi YAGI¹, Yu Hirose¹, Daisuke Higaki², Akihiko Wakai³, Masahiro Chigira⁴, Go Sato⁵, Hiroshi, P. Sato⁶

1.山形大学地域教育文化学部、2.弘前大学農学生命科学部、3.群馬大学大学院理工学符、4.京都大学防災研究所、5.帝京平成大学大学院環境情報学研究科、6.日本大学文理学部

1.Faculty of Art, Science and Education, Yamagata University, 2.Faculty of Agriculture and Life Sciences, Hirosaki University, 3.Graduate School of Science and Technology, Gunma University, 4.DPRI, Kyoto University, 5.Graduate School of Environmental Information, Teikyo Heisei University, 6.Faculty of Humanities & Sciences, Nihon University

2015年4月25日起こったネパールゴルカ地震にともなって、震源付近の大ヒマラヤ山麓部では、多数の斜面災害が発生した。筆者らは、災害直後から公開された衛星画像を用いて被災箇所の位置データや規模を把握してきた。その後、ALOS 3Dから作成した地形図やネパール地質鉱山局発行の地質図との重ね合わせから、発生した斜面災害の地形的、地質的特徴について検討した。その結果、本地震に誘発された斜面災害の大半は、浅層崩壊で、それらは河川沿いの谷中谷の肩をなす、遷急線沿いに集中していることが明らかとなった。カトマンドゥからチベットを結ぶアーニコ・ハイウェイが走るボテコシ沿いに於いては、バラビセからコダリに至る流域で、約1200箇所の斜面災害（崩壊）が認められ、特にスレート岩、片麻岩、ドロマイトの分布域で集中的な分布が認められた。それらの発生斜面の傾斜は、30-50度であるが、片麻岩類に較べスレート岩地域でより低角度からの発生傾向が認められた。

キーワード：2015年ネパール・ゴルカ地震、斜面災害、遷急線

Keywords: Nepal-Gorkha earthquake 2015, slope disasters, break of slope

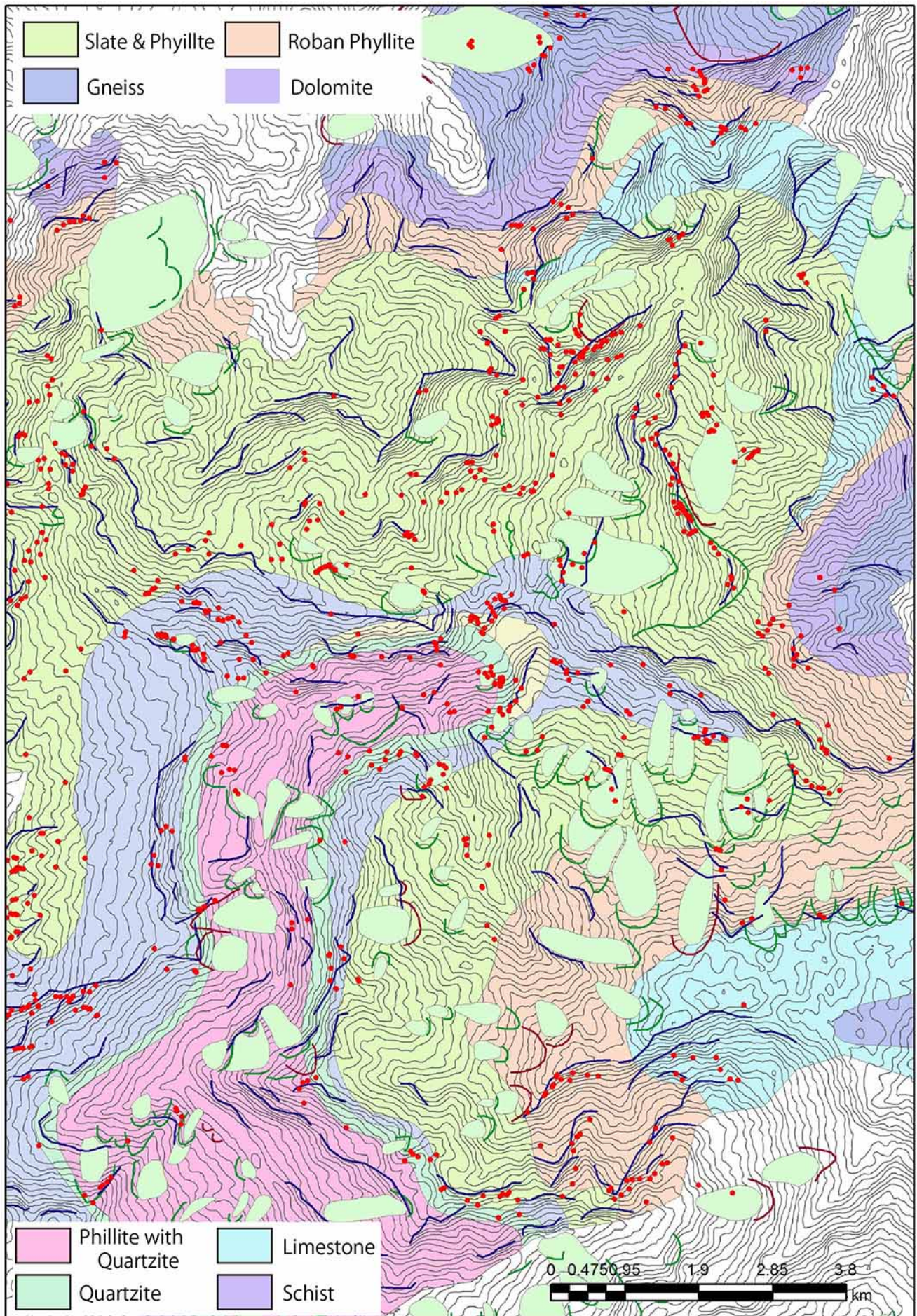


Fig.1 Distribution of landslides, geology and break of slope

ALOS-2/PALSAR-2データのInSAR解析による地すべり変動の検出

Detection of Landslide Displacement from SAR Interferometry of ALOS-2/PALSAR-2 data

*鬼頭 雄也¹、平松 良浩¹

*yuya kitoh¹, Yoshihiro Hiramatsu¹

1.金沢大学

1.Kanazawa University

地すべりをはじめとする斜面変動の形態は多様であり、その移動特性を時空間的に把握することは斜面変動機構の解明やリスク評価を行う上で重要である。斜面変動のモニタリング手法には地表やボーリング孔に設置した計器を用いるものやGNSS測量等があるが、得られる移動量はあくまで計測地点の値であり、その空間分布を把握することはできない。InSAR(SAR Interferometry:干渉SAR解析)は同じ地域を観測した複数枚のSAR(synthetic aperture radar: 合成開口レーダー)データの位相差から、地表面の移動量を検出する技術である。もともとは地震、火山現象に伴う地殻変動の研究に用いられてきたが、近年では氷河、地すべり、地盤沈下等に伴う地表変動を検出するための有効な手段のひとつとなっている。

本研究では、InSAR解析により能登半島の石川県輪島市に位置する地すべり地を対象に斜面変動の検出を試み、地表のモニタリング結果と併せて地すべりの移動特性を分析した。SARデータは2014年5月に打上げられた人工衛星ALOS-2(だいち2号)に搭載されているPALSAR-2(フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー)により2014年から2015年に撮像されたデータを用いた。地表のモニタリングデータはGNSSによる定点観測データ及び石川県により行われているボーリング孔を利用した地中伸縮計の観測データを用いた。

InSAR解析の結果、2015年4月22日と2015年7月15日の撮像データから作成した干渉画像から約300 m×500 mの空間領域で最大4cm/月の変位が検出され、変位が検出された範囲、変位量、移動方向は地表のモニタリング結果と調和的であった。また、2014年10月8日と2015年4月22日の撮像データから作成した干渉画像では、ほぼ同様の領域内で著しく干渉性が低下していることから、検出が困難なほど大きな変動が生じたことが示唆される。本発表では、地表のモニタリングやInSARにより得た地すべり変動と降雨との関係を考察し、時空間的な地すべり変動について議論する。

謝辞：本研究で用いたPALSAR-2データはPIXELにおいて共有しているものであり、宇宙航空研究開発機構

(JAXA)と東京大学地震研究所との共同研究契約によりJAXAから提供されたものである。PALSAR-2データの所有権は経済産業省及びJAXAにある。なお、InSAR解析は防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発されたRINC、干渉画像の処理過程において国土地理院の10mDEMを使用させて頂いた。結果の描画はGMT及びQGISを用いた。ここに記してお礼申し上げます。

キーワード：地すべり変動、だいち2号、干渉SAR解析、GNSS、能登半島

Keywords: Landslide displacement, ALOS-2, InSAR, GNSS, Noto Peninsula

全国SAR干渉解析による斜面変動の検出

Detection of landslides using InSAR analysis all over Japan

*山中 雅之¹、和田 弘人¹、仲井 博之¹、三浦 優司¹、中埜 貴元¹

*Masayuki Yamanaka¹, Kozin Wada¹, Hiroyuki Nkai¹, Yuji Miura¹, Takayuki Nakano¹

1.国土交通省国土地理院

1.Geospatial Information Authority of Japan

干渉SARは、人工衛星によるマイクロ波レーダー観測を地表の同一地点で異なる時期に2回以上実施し、反射波の位相値の差をとることによって、地表の変動を捉える技術である。干渉SARは地上観測機器がない場所でも定期的かつ面的に観測することが可能であることから、斜面変動の監視に有効な手法と考えられ、これまでもいくつかの干渉SARによる斜面変動の検出事例が報告されている。

国土地理院では、だいち2号に搭載されたSARのデータを使用して、日本全国を網羅的にSAR干渉解析し、地震・火山・地盤沈下・斜面変動をはじめとした様々な変動を抽出することに取り組んでいる。これまでに全国をくまなく解析した結果、多数の斜面変動と考えられる位相変化を検出した。

本発表では、検出したいくつかの位相変化について、現地調査を実施し、位相変化と現地の変状の対比を行ったのでその結果を報告する。

キーワード：干渉SAR、斜面変動、だいち2号

Keywords: InSAR, landslide, ALOS-2

自然電位観測による斜面地下水動態の監視法の開発：地下水流動に伴う自然電位変動と自然電位トモグラフィー

Self-Potential Approach to Monitor the Ground Water Condition : Electro-kinetic effect and self-potential tomography

*山崎 智寛¹、服部 克巳¹、寺嶋 智巳²

*Tomohiro Yamazaki¹, Katsumi Hattori¹, Tomomi Terajima²

1.千葉大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所

1.Department of Earth Sciences Faculty of Science , Chiba University, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

近年、集中豪雨の頻度が増加するにつれて、斜面崩壊の発生件数も増加する傾向にある。降雨に起因する斜面崩壊の過程を解明し、斜面の監視や崩壊発生時刻を予測することは重要な課題である。そのために我々は、斜面崩壊の早期予測システムの開発を目的とし、自然電位法によるアプローチを試みている。自然電位法とは、地下水動態によって地中の電荷分布が変動し、それによって自然に発生した電位を地中に設置した電極により受動的に測定する手法である。この手法は、間隙水圧計を用いた観測に比べ、コストが安く、広範囲にわたり観測を行えるという利点がある。そこで本研究では、地下水流動に伴う自然電位変動を数値シミュレーションおよび小型水槽実験によって検証したのち、自然電位から地下水動態を推定する自然電位トモグラフィーの開発を行った。

結果として、数値シミュレーションによって求めた自然電位変動は実際の実験で観測された自然電位変動と調和的であることがわかった。また、自然電位トモグラフィーによる圧力水頭の再構成を行い、間隙水圧計による観測結果との比較を行ったところ、これらの値は調和的な結果を示した。

さらに、上記の自然電位トモグラフィーを人工降雨斜面崩壊実験に応用したところ、自然電位から再構成した圧力水頭は間隙水圧計による結果と調和的であることがわかった。また、再構成した圧力水頭は、崩壊前に特徴的な変動をしていることがわかった。この事実は自然電位トモグラフィーによる斜面崩壊の監視・予測への可能性を示唆するものである。詳細は講演にて述べる。

キーワード：自然電位、斜面崩壊、トモグラフィー

Keywords: Self-potential, Landslide, Tomography

降雨浸透-斜面安定カップリングモデルによる表層崩壊発生過程の復元：2014年広島豪雨災害を例に
Modeling of rainfall-induced shallow landslides by coupling of hydrological processes and
hillslope stability analysis: an example from the Hiroshima disaster in 2014

*渡壁 卓磨¹、松四 雄騎²、千木良 雅弘²

*Takuma Watakabe¹, Yuki Matsushi², Masahiro Chigira²

1.京都大学理学研究科、2.京都大学防災研究所

1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto
University

本研究では、2014年8月20日に表層崩壊による災害の発生した広島県広島市の花崗岩と変成岩を基盤とする斜面の土層構造について明らかにし、水文観測によって降雨に対する間隙水圧の変動を調べた。そのうえで、降雨浸透モデルと斜面安定解析を組み合わせることで表層崩壊の発生過程を復元し、実際の発災時刻や崩壊形状に照らして検証を行った。花崗岩斜面におけるすべり面は力学的強度がわずかに増大する深度に形成され、変成岩斜面のすべり面は透水係数が急激に小さくなる深度の近傍に位置している。崩壊した土層の厚さと斜面の傾斜角は、災害発生前後の航空レーザー測量データから求めた。すべり面付近の土層のせん断強度定数は、不攪乱試料を用いた一面せん断試験によって決定した。花崗岩斜面の潜在すべり面における間隙水圧は、先行降雨が十分にあり土層が湿潤な条件下では、速やかに上昇した。一方、変成岩斜面では、浅部の間隙水圧は速やかに上昇し、潜在すべり面よりも上部で時折宙水が発生するが、深部の間隙水圧は緩やかに上昇し、かつそれは降雨ピークから数時間以降に観測される。これらの結果をもとに、間隙水圧の変動特性についてモデリングし、発災時の降雨波形を入力として、表層崩壊を引き起こした間隙水圧の変動を復元する。この降雨浸透モデルと斜面安定解析を組み合わせ、発災時の斜面の不安定化をシミュレートし、実際に表層崩壊した斜面の傾斜と崩壊深および崩壊発生のタイミングのデータを用いて検証を行う。

キーワード：表層崩壊、ロックコントロール、土層構造、降雨浸透、斜面安定解析

Keywords: Shallow landslide, Rock control, Soil layer structure, rainfall infiltration, slope
stability analysis

SAR干渉画像を用いた口坂本地すべりにおける地表変動の抽出

Detection of the ground surface deformation by InSAR analysis at Kuchisakamoto landslide

*西口 尚希¹、今泉 文寿²

*Takaki Nishiguchi¹, Fumitoshi Imaizumi²

1.静岡大学大学院、2.静岡大学農学部

1.Graduate School,Shizuoka University, 2.Faculty of Agriculture,Shizuoka University

干渉SARは地すべりや地盤沈下のような小スケールの地表変動を観測することのできる技術である。しかし、干渉SARは比較的新しい技術であり、観測精度に影響を及ぼす要因が十分に特定されていない。そこで本研究では、静岡県口坂本地すべりを対象としてALOSおよびALOS2による観測結果からSAR干渉画像を作成し、現地で定期的に計測されているGPS測量結果と比較することにより干渉SARによる地表変動抽出精度の検証を行った。またSAR観測時の垂直基線長や観測間隔、観測モードなどの観測条件と観測精度の関係も検討した。さらに解析したすべてのSAR干渉画像から精度よく地表変動を抽出できているものを選択し、スタッキング法を用いることで年平均移動速度を算出した。

SAR干渉画像から得られた地表変動量とGPS観測による地表変動量との残差を求めたところ、ALOSでは97ペアの干渉画像のうち17ペア、ALOS2では6ペアの干渉画像のうち4ペアがそれぞれ残差 ± 20 mm以内であり、高精度に変動をとらえていた。また残差の絶対値が20 mmを超えたものについてその原因を検討したところ、1. 観測時の垂直基線長が長い場合、2. 観測間隔が長い場合、3. 観測モードが異なる場合、4. GPSで観測された実際の斜面変動量が大きい場合に誤差が大きくなることが分かった。1, 2に関してはコヒーレンス値の低下、3に関しては解析過程における帯域変換によるノイズの影響、4に関しては位相アンラッピングエラーがそれぞれ原因であると考えられる。スタッキング法を用いて年平均移動速度図を作成したところ全体として変動がみられる地すべりブロックの内部に局所的に大きな変動を呈する局所ブロックの存在を確認した。

キーワード：地すべり、干渉SAR

Keywords: landslide, InSAR

一定垂直倍率立体地形解析図を用いた地すべり地形判読の試み

Topographical interpretation of landslides using a constant vertical exaggeration stereoscopic map

*佐藤 剛¹、横山 隆三²、土志田 正二³、田殿 武雄⁴、白澤 道生²

*Go Sato¹, Ryuzo Yokoyama², Shoji Doshida³, Takeo Tadono⁴, Michio Shirasawa²

1. 帝京平成大学環境情報学研究科、2. 榊横山空間情報研究所、3. 消防庁消防研究センター、4. 宇宙航空研究開発機構

1. Graduate School of Environmental Information, Teikyo Heisei University, 2. Yokoyama Geo-Spatial Information Laboratory Co., Ltd, 3. National Research Institute of Fire and Disaster, 4. Japan Aerospace Exploration Agency

This study introduces the method for interpreting landslide topographies with a constant vertical exaggeration stereoscopic (CVES) map. The map created by using digital elevation model (DEM) data shows 3D images of landforms as an anaglyph. We created two types of CVES maps by using the light detection and ranging (LiDAR) digital terrain model (DTM) and the Advanced Land Observing Satellite (ALOS) World 3D (AW3D) digital surface model (DSM) data (observation data from the Japanese satellite ALOS-Daichi) around Mt. Ebiradake in Northern Japanese Alps. We then compared these maps with a landslide distribution map created using air-photo interpretation. As a result, we could clearly identify scarps, which were formed on the landslide body due to secondary landslide activity and were several meters high on the CVES map created using LiDAR DEM data with 5 m resolution. A number of scarps identified on the CVES map were difficult to interpret using the air-photo technique. The CVES map provides very helpful data for creating high-resolution landslide distribution maps. In contrast, it was difficult to detect those scarps on the CVES map that were created from AW3D DSM data with 5 m resolution. However, we could identify landslides more than 200 m width and scarps more than 10-20 m high on the landslide body. The AW3D data cover the entire world, so the CVES map created by using AW3D DSM is useful for areas where LiDAR data and / or air-photos are unavailable for generating landslide distribution maps.

キーワード：一定垂直倍率立体地形解析図、地形判読、簸岳地すべり

Keywords: constant vertical exaggeration stereoscopic map, topographical interpretation, Ebiradake landslide

巨摩山地・櫛形山東麓における更新世後期の地すべり性古湖沼

Late Pleistocene paleolakes formed by landslide activities on the eastern foot of Mt. Kushigata, the Koma Mountains, central Japan

*太田 凌嘉¹、苅谷 愛彦²

*Ryoga Ohta¹, Yoshihiko Kariya²

1.専修大学・学部生、2.専修大学

1.Undergraduate at Senshu University, 2.Senshu University

甲府盆地西方の櫛形山（2052 m）は、南部フォッサマグナの新第三系（主に巨摩層群の火山岩・泥岩）からなる巨摩山地の最高点である。櫛形山と、甲府盆地の最低地点との水平距離は約16 kmで、比高は約1.5 kmに達するため櫛形山東面では急斜面が卓越する。しかし標高950 m以下では段丘状の緩斜面が広がり、南アルプス市高尾から富士川町岩下にかけて、南北走向を示す長さ約5 kmの地溝状凹地が発達する。この凹地の一部を人工湛水させたものが北伊奈ヶ湖や南伊奈ヶ湖である。この凹地の一部には、少なくとも最終間氷期から最終氷期初頭にかけて湖沼が存在していた。湖沼の成立・消滅には櫛形山東面の大規模な地すべりが関与していた可能性がある。

凹地北部の高尾では、標高840 m前後にシルト質の湖成堆積物が分布する。また同地の標高855 m付近には土石流堆積物が分布し、厚さ1.0 m前後の白色軽石層を挟む。高尾の南の立沼と北伊奈ヶ湖の中間地点では、標高840–865 m前後にシルトと砂礫からなる厚い湖成堆積物が分布し、そのうち標高860 m付近に高尾と同じ厚さ0.5 m前後の白色軽石層を挟む。さらに、立沼の標高880 m前後にもシルト質・泥炭質の湖成堆積物が分布し、同じ白色軽石層を挟む。層厚や鉱物組成、火山ガラス及び角閃石の屈折率特性から、これらの軽石層は全て御岳第1（On-Pm1；95 ka）に同定される。

清水ら（2001；防災科研地すべり図）や長谷川ら（2014；応用地質学会講演論集）が指摘するように、櫛形山周辺には地すべり地が卓越する。筆者らも空中写真やLiDAR-DEM段彩傾斜量図・陰影図の判読及び現地踏査を行い、清水ら（2001）が認識した以上に多くの地すべり地と岩盤の重力変形域を櫛形山一帯で確認した。それにもとづくと、高尾や立沼は複数の巨大地すべり移動体の上に位置し、これらの移動体は二次地すべりにより随所で開析されている。これらの点から、上記の湖成堆積物は巨大地すべり移動体の凹地や平坦面が湛水して生じたと考えられる。ただし、湖成堆積物の高度が標高840 m前後と同880 m前後に二分する事実は、元来一連だった湖成堆積物が後の斜面変動で高度分化を起こした可能性のほか、高度の異なる複数の湖沼が当初から同時に成立していたことも想起させる。高尾、立沼及び北伊奈ヶ湖－立沼中間地点の3地点は、いずれも異なる地すべり移動体上にあるからである。一方、古湖沼は二次地すべりや谷頭侵食による解体、後背斜面からの岩屑供給による埋積で完全に消滅した。ただし、その時期について具体的な資料はまだない。なお、櫛形山東面山腹に直線的な凹地が連続することと、同地では現在も含めて地すべり活動が活発だったことの間には何らかの地質学的関係があると思われるが、この点は検討中である。

キーワード：テフロクロノロジー、御岳第一テフラ、湖成堆積物、岩盤重力変形

Keywords: Tephrochronology, On-Pm1 tephra, lacustrine sediments, deep-seated gravitational slope deformation

決定木を用いた木曾山脈における線状凹地の分布特性の解析

Analysis of distribution of linear depressions based on decision-tree model in Kiso Mountain Range, central Japan

*遠藤 涼¹、須貝 俊彦¹

*Ryo Endo¹, Toshihiko Sugai¹

1.東京大学

1.The University of Tokyo

山体重力変形地形の分布特性を地形発達史の観点から広域的に解析した研究は少ない。本発表では、線状凹地と（１）凹地を発達させる地形変化（氷食、河川の下刻、崩壊）、および（２）地形条件（起伏量、勾配など）との関係を明らかにすることを目的とする。対象地域は、木曾山脈の木曾駒ヶ岳を含む花崗閃緑岩（産業技術総合研究所地質情報総合センター（編）、2015）地域である。

1970年代に撮影された、縮尺15,000分の1の国土地理院のカラー空中写真の判読を元に、線状凹地・氷河地形・周氷河平滑斜面を認定した。氷河地形は青木（2000）を、周氷河平滑斜面は柳町・小泉（1988）をそれぞれ参考にした。崩壊地形の認定は、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図データベースの地すべり移動体を採用した。ArcGIS10.2.2を用いて、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル（10mDEM）を元に水系を作成した。水系次数が4以上の谷を主谷とし、主谷に流入する3次谷が形成する小流域を単位流域に設定した。単位流域数は105である。単位流域ごとに水系解析・地形解析を行ったのち、WEKA 3.6.13（Hall et al., 2009）を用いて決定木により線状凹地の分布特性を解析した。決定木解析に用いる説明変数は、各単位流域における、水系次数ごとの河道数・平均河道長・平均河道勾配・平均河道比高・水系密度、河道の分岐比・勾配比・谷長比・密度比、最高標高・最低標高・起伏量・流路長・勾配・水系密度・面積・傾斜方向（東西）・傾斜方向（南北）、最終氷期における氷河の有無、ヤンガードリアス期における氷河の有無、地すべり移動体の有無、周氷河平滑斜面の有無、とした。被説明変数として、単位流域内における線状凹地密度 $0.5 \text{ [km/km}^2\text{]}$ を閾値として、単位流域群を2つのグループに分類したものをを用いた。

決定木解析の結果、線状凹地の分布のしやすさを説明する要素は、地すべり移動体が存在すること、または3次谷の勾配がおよそ 30° 以上であることが示唆された。

キーワード：決定木、線状凹地、木曾山脈、山体重力変形、地形解析

Keywords: Decision-tree, Linear depressions, Kiso Mountain Range, Mountain gravitational deformation, Geomorphological analysis

同一流域における異なる時期の深層崩壊面積の頻度分布

Frequency distribution of the deep-seated rapid landslide area in different events in the same region

*中野 真帆¹、西口 幸希¹、内田 太郎²、田中 健貴²

*NAKANO Maho¹, Yuki NISHIGUCHI¹, Taro Uchida², Yasutaka TANAKA²

1. (株) 建設技術研究所、2. 国土技術政策総合研究所

1. CTI Engineering Co., Ltd., 2. National Institute for Land and Infrastructure Management

深層崩壊は土石流や、天然ダム形成・決壊を引き起こし、下流に被害を及ぼすことがある。深層崩壊の被害を軽減するためには、ある地域でどの程度の規模の深層崩壊が発生するのかを予測する必要がある。

そこで、本研究では、深層崩壊の規模は地形・地質条件の影響を受けると考え、「ある地域で発生する深層崩壊の規模は、同地域で過去に起こったものと同程度になる可能性が高い」という仮説を、山梨県富士川流域および奈良県十津川流域を対象に検証した。まず空中写真判読による深層崩壊跡地の判読図をベースに、既往の文献や複数時期の空中写真を用いて、各深層崩壊の発生時期を推定した。その上で、異なる3時期に発生した深層崩壊の崩壊面積の頻度分布を求め、その関係性についての検討を行った。また、L P データを元に傾斜量区分図を作成し、岩盤クリープの判読を行い、岩盤クリープの面積と頻度の関係もあわせて検討した。

その結果、富士川流域では、1982年の崩壊地はその他全時期の時期に比べてやや小さい崩壊の頻度が高いものの、1948年とその他の時期は比較的類似した頻度分布を示した。十津川流域では、1911年時点全崩壊地と2011年に発生した崩壊面積の頻度分布を比較すると、両者は概ね同様の傾向であった。

また、富士川・十津川両地域ともに、富士川の1982年以外の崩壊地と岩盤クリープの規模の頻度分布は、概ね一致した。この結果は、岩盤クリープが深層崩壊に至る前兆的な地盤の変形であるとするこれまでの研究とあわせて考えると、岩盤の緩みの段階から地質、地形等に規制され、深層崩壊規模がある程度決まっている可能性が示唆され、「深層崩壊発生誘因に拠らず、深層崩壊の規模は地形・地質条件の影響を受ける」とした仮定を支持するものであると考えられる。

以上のことは、ある地域で今後発生する深層崩壊の規模は、同一流域で過去に発生した崩壊規模からある程度、推定可能であること示唆している。

キーワード：深層崩壊、崩壊面積、岩盤クリープ、L P データ、空中写真

Keywords: deep seated rapid landslide, landslide area, rock creep, LiDAR data, aerial photograph

斜面崩壊発生に土層内の水みち・封入空気が及ぼす影響に関する実験

Experiment for effects of preferential flow and entrapped air on slope failure

*田中 健貴¹、内田 太郎¹、桜井 亘¹、長井 斎²、笹山 隆²、戸館 光²

*Yasutaka TANAKA¹, Tarou Uchida¹, Wataru Sakurai¹, Hitoshi Nagai², Takashi Sasayama², Hikaru Todate²

1.国土技術政策総合研究所、2.株式会社建設技術研究所

1.National Institute for Land and Infrastructure management, 2.CTI Engineering Co., Ltd,

降雨のピーク時刻付近に斜面崩壊の発生が集中するメカニズム、崩壊土砂が急速に流下するプロセスについては、様々な研究が行われてきたが、依然として定説を得るに至っていない。これまでの斜面崩壊発生箇所の調査結果によると斜面崩壊発生箇所において、パイプ状の孔隙（以下、水みち）が見られることが報告されており、水みちによる選択的な水流が降雨ピーク時付近の急激な安全率の低下に寄与している可能性が示唆されている。具体的には、水みちによる選択的な水の流れにより土層内の間隙水圧の局所的な高まりが斜面崩壊の発生に影響を与えていることを指摘されてきた。また他の可能性としては、土層内の封入空気により生じる土層内に過剰な間隙圧が降雨ピーク時付近の急激な安全率の低下に寄与している可能性も指摘されてきた。

以上を踏まえ、土層内に水みちが存在する場合に選択的な水流や土層内の封入空気が斜面崩壊に与える影響について人工斜面模型を用いた実験により検討した。実験は図に示す模型を用いて実施し、人工土層内には塩化ビニル樹脂で作成した人工的な水みちを設置した。なお水みちには2cm間隔で孔径4mmの穴を空け、土層には20cm間隔でマンメータを設置した。給水は斜面の上流端からのみ給水を行うケース、上流端からの給水および人工降雨装置から降雨を与えるケースの2つの方法を用いた。斜面土層の上流端は仕切られ給水槽に接続しており、上流端の給水槽は一定の水位を保てるようにした。さらに、水みちの上流端は別のタンクに直接接続し、水みち上流端の水位を制御できるようにした。実験は順次、土層への水供給用の給水槽の水位を上げ、崩壊発生の条件・発生状況を観察した。

また、本研究では土層内の封入空気が地表面から抜けにくくするために、珪砂を土層表面に敷いたケースについても実験を行った。さらに、水みちにバルブを取り付けることで閉塞できる構造とし、給水途中で水みちが閉塞したケースを想定し、水みちのバルブを閉めるケースも実験に加えた。

キーワード：斜面崩壊、水みち、間隙水圧

Keywords: slope failure, soil pipe, pore water pressure

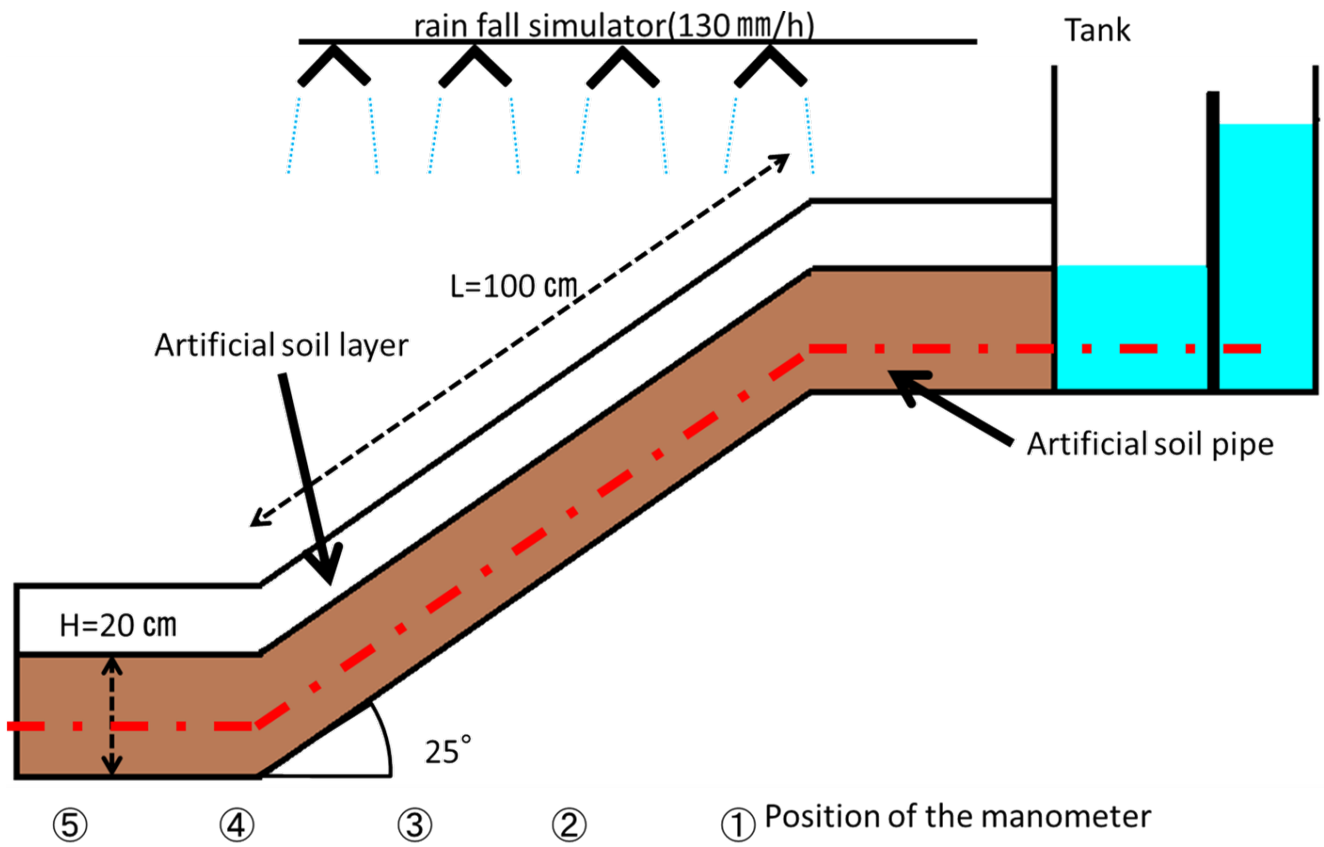


Figure experimental equipment

地震の最大加速度が斜面崩壊発生危険度に及ぼす影響検討

Study on the peak ground acceleration effect on the seismic landslide

*松田 昌之¹、桜井 亘²、内田 太郎²、田中 健貴²、高山 陶子¹*Masayuki Matsuda¹, Wataru Sakurai², Taro Uchida², Yasutaka TANAKA², Toko Takayama¹

1. アジア航測株式会社、2. 国土技術政策総合研究所

1. Asia Air Survey Co., Ltd., 2. National Institute for Land and Infrastructure Management

平成7年兵庫県南部地震以降、各地で多発する地震による山腹斜面の崩壊危険度を評価するため、斜面勾配、平均曲率、地盤の最大加速度から地震時斜面崩壊危険度評価式の検討が進められてきた。その結果、兵庫県南部地震では、地形条件が同じ場合、最大加速度の増加にともない崩壊面積率が直線的に増加する傾向が確認され、これに基づく地震時斜面崩壊危険度評価式が提案・活用されてきている。

一方で、平成16年新潟県中越地震や平成20年岩手・宮城内陸地震等、平成7年兵庫県南部地震よりも格段に大きい地震動が観測され、深層崩壊など大規模な崩壊が多発している。その結果、最大加速度が非常に大きい領域では、兵庫県南部地震で確認された最大加速度と斜面崩壊面積率の関係を外挿するような関係とは異なる可能性が考えられた。そこで、本研究では、最大加速度が非常に大きい領域も含め、最大加速度と斜面崩壊の発生確率、崩壊規模の関係について明らかにすることを試みた。

本研究では、2004年の新潟県中越地震の強震域の約700km²を対象に、地震の最大加速度と崩壊の関係性について整理を行った。整理に際しては、判読により把握された崩壊地データより崩壊地位置を把握するとともに、地震前のDEMデータ（10mメッシュ）から斜面勾配等の地形条件を整理した。研究対象範囲について地震の最大加速度を100gal間隔で区分したうえで、斜面勾配5°毎に崩壊面積率を集計した。

この結果から、いずれの最大加速度区分においても、斜面勾配（*Slope*）と崩壊面積率（*P*）の関係は、式1で表すことが可能で、傾き（*a*）は地震の最大加速度区分によらず、おおむね一定（0.1程度）であった。さらに回帰式の切片の値は、地震の最大加速度が大きくなるほど増加する傾向がみられた。

$$\ln(P) = axSlope + b \quad \dots \text{式1}$$

ここで、切片**b**は地震の最大加速度の関数となりうる。

さらに、大規模崩壊として崩壊面積1ha以上の崩壊地に着目して、大規模崩壊と斜面勾配・斜面の凹凸（平均曲率）・地震の最大加速度等の関係を整理した。斜面勾配ごとに斜面崩壊発生の下限の最大加速度について整理したところ、同じ斜面勾配のとき、崩壊面積1ha以上の崩壊については、1ha以下の崩壊に比べて、最大地盤加速度が100~250gal大きいこと、崩壊面積1ha以上の崩壊の中でも凹型斜面よりも凸型斜面のほうが、下限の最大加速度が20~60gal小さいことがわかった。

キーワード：斜面崩壊、地震最大加速度、斜面勾配、地震

Keywords: Landslide, Peak ground Acceleration, Slope gradient, Earthquake