

## 強風時において土砂災害警戒避難システムに積算暖度法を用いた場合の問題点と改善方法

### Improvements to the degree-hour method for the warning system for sediment-related disasters during strong winds

萩村 俊司<sup>1\*</sup>, 松浦純生<sup>2</sup>

HAGIMURA, Shunji<sup>1\*</sup>, Sumio MATSUURA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Division of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University

積雪地帯では、積雪層として地表面に一時的に貯留された降水が春の融雪期に融けることから、土砂災害の発生危険度が高まる。このため、融雪水量の予測が重要となり、融雪水量を推定する最も簡単な方法として積算暖度法を用いる方法が考えられる。ところが、土砂災害は融雪期にフェーン現象に伴い強い風が吹く場合や、積雪層に雨が降ることなどによってもたらされることが多い。しかし、積算暖度法は統計的に求めた融雪係数を用いるため、フェーン現象などの特異な気象条件下（強風時）での融雪水量を正確に予測できない可能性がある。そこで、本研究では暖温帯多雪地帯における観測データを用いて、強風時における顕熱輸送、潜熱輸送などのエネルギー量と融雪水量との関係を調べるとともに、積算暖度法で求めた融雪水量と比較し、積算暖度法の改善案を提案する。さらに、融雪水量に対する間隙水圧の応答特性を解析することで、土砂災害警戒避難システムに適用可能な最適なパラメータについて検討する。

キーワード: 土砂災害警戒避難システム, 融雪水, 積算暖度法, 強風

Keywords: warning and evacuation system for sediment-related disaster, meltwater, degree-hour method, strong wind

## ALOS/PRISM 画像を用いたカラコルムフンザ川流域における河道閉塞を伴う大規模地すべり判読

### Inventory mapping of gigantic landslides that might dam up the Hunza River using ALOS/PRISM images, Karakoram, Pakistan

八木 浩司<sup>1\*</sup>

YAGI, Hiroshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 山形大学地域教育文化学部

<sup>1</sup> Fac. Education, Art and Sciences, Yamagata Univ.

山岳地域における直下型地震や集中豪雨で最も危惧される災害は、河道閉塞を伴う大規模山体崩壊である。この現象は単に発生箇所における村落の破壊にとどまらず、地すべりダム崩壊によって発生する土石流災害が、下流地域に広範で大きなダメージをもたらすものである。たとえば、パミール高原を中心とする中央アジアには地すべりダムが 100 以上現存し、それらの突然崩壊とそれに伴うカストロフィックな洪水災害が下流地域にとって大きな問題になっている (Strom, 2010)。2005 年に発生したパキスタン北部地震においてもヒマラヤ最西部で数千万立方メートル規模の巨大山体崩壊が発生し、崩壊物質が谷を閉塞し地すべりダムが出現した (八木・千木良, 2006)。そこでは数十メートル規模の巨岩を含む崩壊物質は一見安定に見えたが、2010 年 2 月に溢流水によって地すべりダム堤上部が決壊し土石流性の洪水が発生し下流域に大きな被害をもたらした。

カラコルム山脈でも大規模地すべりとそれによる河道閉塞が発生してきた。たとえば 2010 年 1 月初旬パキスタン北部、フンザ・アッタバードにおいて、フンザ川右岸斜面が基部幅 1000m、比高 1000m、斜面長 1500m の規模で地すべりによってすべり落ち、約 4000 万立方 m の移動土塊がフンザ川河谷をせき止めた。この突然出現した貯水量約 5 億トン地すべりダムは、上流 20km、1200ha にわたって峡谷を水没させ、唯一の中国との交通路であるカラコルム・ハイウェイを遮断し、観光で成り立つフンザ地域に多大な損失を与えている。さらに、この地すべりダムの突然崩壊が、下流側地域の大きな不安となっている。しかし、この大規模地すべりは、突然発生したものではなく最初の兆候から約 20 年間にわたって活動した後、2005 年のパキスタン北部地震を境として運動が加速し大崩壊に至ったものであることがその後の調査で明らかになった (八木ほか, 2010)。

この地域は、カラコルム山脈の中核部をフンザ川が穿入して形成した横谷の出口にあり、海拔 7000m 以上で連なる主稜線高度に対しフンザ川の谷底高度は 2300m 前後と谷壁斜面はきわめて急峻で、その平均傾斜 40 度以上である。本地すべり周辺の谷壁斜面を構成する基盤岩に発達するクラックなどの開口系の存在から、本地すべりは、急な谷壁が長期間にわたる重力性変形を経てすべり落ちた岩盤すべりと考えられる。従ってアッタバード地すべりに類似した現象が、フンザ川の河谷沿いに多数発生したことや、将来の発生が容易に予想される。事実、本地すべり下流側 2.5 キロの下流側で 1858 年にフンザ川左岸が崩壊し地すべりダムを形成した後、崩壊し下流側 150km にまで土石流災害をもたらせたことが報告されている (Hussain et al., 2010)。アッタバード地すべり発生前 (2009 年 9 月撮影) の ALOS/PRISM 画像判読でも、本地すべり発生斜面内に災害前から前兆的な斜面変位が起こっていたことが明らかにされた (八木ほか, 2010)。このため、フンザ川に沿った他の地点でも同様な危険性のある斜面があると考え、ALOS/PRISM 画像を用いて実体写真判読を行った。その結果、フンザ・カナバード周辺のフンザ川右岸側に谷底から基部での幅 3km、比高 1500m の旧期地すべり地形の移動体頭部に明瞭な線状凹地状の変位や、移動体末端にシワ状の変位が発生していることを発見した。演者はこの地すべりをカナバード地すべりと呼び以下用いる。カナバード地すべりでは、旧期地すべり移動体が堆積段丘堆積物を覆っている。この段丘堆積物は少なくとも河床から比高 200m 以上の厚さを持つことから氷期の堆積物と考えられる。この堆積物はその基部をフンザ川に常に浸食されている。従ってカナバード地すべりは、末端部基部の浸食と段丘堆積物を覆う地すべり堆積物の荷重で再活動していることが考えられる。カナバード地すべりの活動は、その規模から見て地すべり活動の進行によって河道閉塞をもたらす可能性が高いものと考えられ、地元 NPO でも注目してモニタリングを始めている。本発表では、過去に河道閉塞を起こした可能性のある大規模地すべりや、大規模地すべりに拡大の可能性のある山体変形の兆候を示すものを ALOS/PRISM 画像の実体判読から明らかにする。

キーワード: ALOS/PRISM 画像, 実体判読, カラコルム・フンザ川, 大規模地すべり, 河道閉塞

Keywords: ALOS/PRISM images, 3D interpretation, Hunza River, Karakoram, gigantic landslides, landslide dams

## 3.11 東北地方太平洋沖地震および4.11 誘発地震により福島県いわき市で発生した斜面変動分布

### Distribution of Landslides Induced by Two Large-scale Earthquakes in 2011, in Iwaki City, Japan

佐藤 剛<sup>1\*</sup>, 八木 浩司<sup>2</sup>, 林 一成<sup>3</sup>, 梅村 順<sup>4</sup>, 檜垣 大助<sup>5</sup>

SATO, Go<sup>1\*</sup>, YAGI, Hiroshi<sup>2</sup>, Kazunori HAYASHI<sup>3</sup>, UMEMURA, Jun<sup>4</sup>, HIGAKI, Daisuke<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 帝京平成大学, <sup>2</sup> 山形大学, <sup>3</sup> 奥山ボーリング(株), <sup>4</sup> 日本大学, <sup>5</sup> 弘前大学

<sup>1</sup>Teikyo Heisei University, <sup>2</sup>Yamagata University, <sup>3</sup>Okuyama Boring Co.,Ltd, <sup>4</sup>Nihon University, <sup>5</sup>Hirosaki University

Iwaki City located in the coastal area of Fukushima Prefecture experienced two large-scale earthquakes, the M9.0 Tohoku earthquake on March 11 and the M7.0 aftershock on April 11, 2011. In terms of the Japanese earthquake scale, both earthquakes experienced in this area registered in the lower 6 level. These earthquakes caused many landslides. We made a landslide distribution map using aerial photographs and Google Earth images and on the basis of the interpretation of these images using field survey data and clarify the characteristics of the landslide distribution.

The results of our study are summarized here.

1) The landslides can be classified into two types, namely, slide type and slope-failure type. The number of slide-type and slope-failure-type landslides are 52 and 1143, respectively.

2) The number of landslides induced by the April 11 aftershock alone accounts for 70% of all landslides.

3) The two surface active faults that caused the April 11 aftershock appeared on the western part of Iwaki City. The distribution of landslides was relatively concentrated around these faults.

4) Most of the slide-type landslides were triggered by the April 11 earthquake. These slides broke out at the convex slope. This is the characteristic difference between slide-type and rain-caused landslides.

キーワード: 地すべり, 崩壊, 東北地方太平洋沖地震, いわき市

Keywords: Landslide, 2011 Tohoku earthquake, Iwaki City

## 東北地方太平洋沖地震とその余震により茨城県北部の花崗岩山地に発生した斜面崩壊の特徴

### Characteristics of earthquake-induced landslides in granitic mountains of Northern Ibaraki, Japan

八反地 剛<sup>1\*</sup>, 奥村 大輔<sup>2</sup>

HATTANJI, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>, Daisuke Okumura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学生命環境系, <sup>2</sup> 筑波大学地球学類

<sup>1</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>2</sup>College of Geoscience, University of Tsukuba

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とその余震により、茨城県北部の花崗岩山地において断続的に斜面崩壊が発生した。本震直後の Google Earth の画像および2011年5月から11月にかけて行われた現地調査により、41ヶ所の新たな表層崩壊や岩盤斜面の崖崩れを確認した。衛星画像や現地での聞き取りから、これらの新規崩壊のうち30ヶ所は3月11日の本震から4月11日の最大余震にかけて発生したと考えられ、残りが9月21日の台風による降雨と同日の余震によって発生したと考えられる。3月11日から4月11日までに発生したとみられる崩壊斜面の勾配は45°付近と60°前後の二つのピークを持っており、それぞれマサの表層崩壊と岩盤崩壊に対応した。さらに3月11日に発生したとみられる崩壊地の半数が南南西から西南西向きで発生した。高萩市君田の防災科研 KiK-net 観測点における地上の地震波の加速度の卓越方向には明瞭な偏りは見られなかったが、周期等の地震波特性が斜面崩壊の方位の偏りに影響した可能性がある。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 斜面崩壊, 花崗岩山地, 茨城県

Keywords: The 2011 earthquake off the Pacific coast of Tohoku, landslide, granitic mountains, Ibaraki



## 多摩川上流・水根沢流域の重力変形地形

### Features of gravitational rock deformation in Mizunesawa Basin, the upper reach of the Tama River, west Tokyo

澤部 孝一郎<sup>1\*</sup>, 苅谷 愛彦<sup>2</sup>

SAWABE, Koichiro<sup>1\*</sup>, KARIYA, Yoshihiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 専修大学 大学院, <sup>2</sup> 専修大学

<sup>1</sup> Graduate School, Senshu University, <sup>2</sup> Senshu University

【目的・方法】近年、急峻な山地で生じる深層崩壊が注目されている。尾根や谷壁に現れる線状凹地や逆向き低崖（小崖）などの微・小地形と、露頭で確認される岩盤の重力変形現象は深層崩壊の前兆現象としてとらえられている。従来、これらの地形や変形現象の研究は堆積岩地域で主に行われてきたが、四万十帯に属する多摩川上流では皆無に等しかった。本研究では奥多摩湖左岸の水根沢流域（7 km<sup>2</sup>）において、地形図の読図と空中写真判読にもとづき重力変形地形・変形現象を対象とした地形学図を作成し、踏査（露頭記載、微地形掘削、簡易測量等）を行った。

【調査地域】東京都西部の奥多摩地域では標高1000 m以上の山地が卓越する。水根沢流域は水根山（1620 m）、六ツ石山（1478 m）、倉戸山（1169 m）等のピークと、それらを結ぶ尾根に囲まれる。水根沢は水根山南面に源頭があり、小河内ダム（奥多摩湖）直下で多摩川本川に合流する。水根沢の谷底と周囲の尾根との最大比高は約600 mである。水根沢主谷の主流向と流域の長軸は、いずれも北西-南東方向を示す。地質は四万十帯雲取山層の千枚岩質泥岩と砂岩および砂岩泥岩互層が卓越するが、塩基性火山岩と石英閃緑岩も狭小に露出する。堆積岩類の一般走向はN30°~60°Wで、北東へ60°~80°で傾斜する。この地質構造と主谷の方向との関係から、水根沢流域では主谷左岸が受け盤、同右岸が流れ盤の条件下にある。

【結果・考察】流域界をなす尾根の一带に線状凹地や逆向き低崖が発達する。それらは特に倉戸山、水根山、六ツ石山の周辺によくみられ、数条の凹地や低崖が平行して生じている例もある。尾根上の線状凹地は比高約10 m以下、全長約450 m以下のものが大半で、それらの伸び方向（N30°~60°W）は尾根の走向に一致することが多い。これは基盤岩の一般走向ともほぼ一致する。また線状凹地や低崖が発達する尾根の下方にある主谷右岸の谷壁は、尾根直下から谷底に至るまで全体として緩い凸型（横断面・縦断面）を呈し、途中に数段の緩斜面や平坦面を伴うこともある。このような斜面の一部では0字谷が発達し、水系が最大傾斜方向に従順的でないといった特徴が認められる。また、こうした地形的特徴をもつ谷壁では、基盤岩の層理面が流域全体の傾向に反して西へ著しく傾斜している様子が確認され、トップリングの発生が推定される。一方、主谷左岸では谷壁の膨らみや岩盤変形は確認されていない。この主谷両岸にみられる地形・地質的差異は、流れ盤・受け盤の条件に制約された岩盤の重力変形によるものと考えられる。この他、線状凹地や低崖の発達過程を検討するため、倉戸山の線状凹地で深度約2 mの簡易トレンチを掘削した。壁面には褐色森林土層とそれらに挟まれた2層以上の礫層が現れた。トレンチの近傍には線状凹地の縁辺をなす基盤岩の崖が露出しており、礫の供給源であった可能性が高い。ただし、礫の供給と凹地や崖の発達との関係は、現時点では判明していない。

以上のように、水根沢流域には岩盤の重力変形に伴う地形・地質現象が発達する。それらは他の堆積岩地域から報告されたものに類する。一方、水根沢の主谷谷底には崩壊物質に起因する堆積段丘面や河道閉塞地形、およびそれらの痕跡は認められない。本流域では岩盤の重力変形から発展した中・大規模な崩壊がほとんど発生しなかったのか、そのような崩壊は発生したものの時期が古いため崩壊物質が流域外へ搬出されてしまったのかは不明である。

キーワード: 線状凹地, 逆向き低崖, 岩盤クリープ, トップリング, 流れ盤・受け盤

Keywords: linear depression, anticarp, mass rock creep, toppling, dip slope vs. scarp slope

## 電気探査による重力性変形地形の破断面可視化の試み Subsurface fracture of sackung features quantified with electrical resistivity tomography

西井 稜子<sup>1\*</sup>, 池田 敦<sup>1</sup>

NISHII, Ryoko<sup>1\*</sup>, IKEDA Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学

<sup>1</sup>University of Tsukuba

Deep landslides often occur in mountain slopes which have sackung features resulting from deep-seated gravitational slope deformation. This study addressed the visualization of the internal structure below sackung features using electrical resistivity tomography, to evaluate development of shear zones below sackung features. From August to October 2012, two-dimensional DC resistivity surveys were performed on 12 sackung features consisting of sedimentary rocks which were located above 2600 m a.s.l. in the Japanese Alps (Mt. Chogatake, Mt. Ainodake, Mt. Senmaidake, Mt. Kamikouchi and Hyakkendaira). The setting of the electrodes followed the Wenner array, which was a 46.5 m long profile roughly perpendicular to the focused sackung feature in each line. Computed DC resistivity value ranged from 1 kohmm to 128 kohmm. Some sackung features had a subsurface layer of relatively low resistivity probably resulting from fractured and weathered rock mass. These layers were distributed at the position of shear zones inferred from the geological structure and topographical feature. Such a consistency suggests that the layers of lower resistivity correspond with the shear zones below sackung features. In contrast, the tomographical images of the other sackung features showed no distinct difference in resistivity following the feature. Difference in resistivity between sackung features is supposed to reflect development of shear zones.

キーワード: 重力性変形地形, 電気探査, 堆積岩類, 中部山岳域

Keywords: sackung feature, electrical resistivity tomography, sedimentary rocks, Japanese Alps

## 航空レーザー測量による岩盤クリープ斜面の抽出 Extraction of mass rock creep using airborne LiDAR

横山 修<sup>1\*</sup>, 内田 太郎<sup>2</sup>, 山越 隆雄<sup>1</sup>, 中野 陽子<sup>1</sup>, 石塚 忠範<sup>1</sup>

YOKOYAMA, Osamu<sup>1\*</sup>, UCHIDA, Taro<sup>2</sup>, YAMAKOSHI, Takao<sup>1</sup>, Youko Nakano<sup>1</sup>, Tadanori Ishizuka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 土木研究所, <sup>2</sup> 国土技術政策総合研究所

<sup>1</sup>Public Works Research Institutes, <sup>2</sup>National Institute for Land and Infrastructure Management

崩壊面が岩盤にまでおよぶ深層崩壊は、岩盤クリープによって岩盤の変形が進んだ斜面（以下、岩盤クリープ斜面）で発生しやすいと考えられてきた。このことから、岩盤クリープ斜面の抽出が深層崩壊発生箇所の予測に有効である可能性がある。しかし、岩盤クリープは地すべりと比べて変動量が微小であるため、クリープ領域と周辺の岩盤との地形的差異も小さく、特徴的な表面地形が顕著にあらわれないことも多い。また、空中写真による地形判読は植生の影響も大きく、精度良く岩盤クリープ斜面を抽出することは困難であった。一方、近年、レーザー計測（以下、LiDAR）により、従来以上に地表面の詳細な地形情報が得られるようになった。岩盤クリープ斜面の地形的特徴を定量化することで、精度良く岩盤クリープ斜面を抽出できる可能性が考えられる。本研究では、LiDARデータを用いて、岩盤クリープ斜面とそうでない斜面（以下、非岩盤クリープ斜面）との違いを定量的に明らかにした上で、広域にわたって岩盤クリープ斜面を同一精度・基準で抽出できる手法について検討を行った。

一般的に、岩盤クリープ斜面は、(1) 斜面内に深い谷や沢がない、あるいは発達が少ない、(2) 斜面内に対をなす遷緩線、遷急線が分布する、(3) 両側の境界に小さな谷や小崩壊が形成されている、(4) 岩盤クリープ斜面境界付近より上方は、谷向きの急崖が存在する、といった地形的特徴が有する。本研究ではこれらの特徴を、地形解析スケール（ウィンドウサイズ）と斜面勾配、固有値比の関係により、定量化した。すなわち、岩盤クリープ斜面は、ウィンドウサイズが変わっても、斜面勾配の中間値は変化しなかった。一方、非岩盤クリープ斜面では、ウィンドウサイズが大きくなると斜面勾配の中間値は小さくなった。これは、岩盤クリープ斜面内に深い谷や沢がないといったためである。また、岩盤クリープ斜面の両側の境界付近の小さな谷や急崖はウィンドウサイズが2mや4mのときに明瞭に確認することができた。さらに、ウィンドウサイズが岩盤クリープ斜面の凹凸の出現間隔の2分の1から4分の1のとき、遷緩線、遷急線が等高線と平行に延びる低固有値比の帯として現れ、固有値比の中間値は最小となった。このような岩盤クリープ斜面の地形的特徴を利用すれば、精度の高い岩盤クリープ斜面の抽出が可能と考えられる。

キーワード: 航空レーザー測量, 岩盤クリープ, 深層崩壊, 斜面勾配, 固有値比

Keywords: LiDAR, mass rock creep, deep catastrophic landslide, slope gradient, eigenvalue ratio

## 奥穂高岳から西穂高岳に認められる深層重力斜面変形の内部構造

### An internal structure of deep-seated gravitational slope deformation in the area from Mt. Okuhotaka to Mt. Nishihotaka

山崎 新太郎<sup>1\*</sup>

YAMASAKI, Shintaro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北見工業大学

<sup>1</sup> Kitami Institute of Technology

深層斜面重力変形(以下, DSGSD と呼称する)は深層崩壊および地すべりに至る前駆現象であり, その形成プロセスは斜面災害発生メカニズムの本質である。しかしながら, 本邦には変形した岩盤にも豊富な植生, 厚い風化帯が覆っている場合が多く, 大規模な DSGSD の内部構造を観察できる機会は稀である。今回, 筆者は北アルプス奥穂高岳~西穂高岳の稜線に露出した大規模な DSGSD の内部構造を紹介する。現在, 筆者の野外調査は, 250 mm レンズを搭載したカメラと双眼鏡による遠方からの観察に限られ, 一日のみで終了しているため, 情報は多くはない。しかし, 穂高連峰周辺地域に関しては, 調査中, 登山中にその他の DSGSD の地形, 露頭について情報を持つ諸氏も多いと思われるため, 本発表をきっかけとしてさらなる情報を求めたい。

本発表で述べる西穂高岳と奥穂高岳の区間は痩せた稜線になっており, 稜線全域にほとんど風化を伴わない岩盤が露出する。これは, 我が国の山岳地域では稀な岩盤の稜線であり, この区間では頻りに崩落が発生しているためと思われる。この区間の稜線は, 2900 m~3190 m に位置し, 北西-南東に伸びる。南東から, 西穂高岳, 間ノ岳, 天狗岩, ジャンダルム, 奥穂高岳といった岩峰があり, 原山(1990, 地質調査所地域地質研究報告「上高地地域の地質」)では西穂高岳から間ノ岳の区間は溶結凝灰岩であり, それより北西側は閃緑斑岩から分布する。筆者の調査では, 不動域の溶結凝灰岩部分には北東南西走行で, 鉛直~80度北に傾斜する節理が発達する。閃緑斑岩は, 溶結凝灰岩部分に比較すれば節理の発達程度は弱い, その姿勢は溶結凝灰岩部分と大局類似する。DSGSD は間ノ岳周辺とジャンダルム周辺に発達しており, いずれもその内部構造が観察可能である。ジャンダルム付近では, ほぼ鉛直の節理が地表面付近で南東の岳沢に向かって折れ曲がっている褶曲構造が認められた。折れ曲がると同時に, 節理の傾斜が緩くなった岩盤から多数の岩石片が岩盤から分離していた。これは, 岩石片の分離を伴う flexural slip が生じているものと思われる。この結果, 山頂直下の斜面にも多数の浮石が形成されているのが認められた。間ノ岳付近では南東に伸びる尾根に谷(岳沢)に向かって, 鉛直の節理を含む岩盤が折れ曲がる構造が観察できた。この尾根には高さ 30 m 前後の山向き小崖が認められた。また, 間ノ岳の山頂付近は南東方向だけではなく北西方向にも褶曲が形成されて開裂していた。間ノ岳に認められる DSGSD の内部構造には同じく flexural slip により岩石片の空隙を伴う分離が生じている。そして, 特に折れ曲がり形成された褶曲の軸部には, 周囲より破砕が進んだ岩石片が多数生じて, 長さ約 30 m の面構造を形成しされていた。しかし, その面構造は途中で節理面と衝突して消失しているため, これは山体を連続的に横断する地すべりに至る中途段階を示していると思われる。

筆者が述べてきた露頭は, 連続的な計測により DSGSD の内部構造の変化が追跡できる可能性のある貴重な露頭でもあると思われる。穂高連峰は落石による山岳遭難が多発する地域でもある。以上に述べてきたように, 浮石, 落石発生の原因は, 単に節理性的な岩盤が露出しているだけではなく, DSGSD による変形が進行しているためと思われる。

キーワード: 深層斜面重力変形, 地すべり, 岩盤クリープ, 落石, 穂高連峰

Keywords: Deep-seated Gravitational Slope Deformation, landslide, mass rock creep, rock fall, Mt. Hotaka



## 太陽電池パネル駆動小型斜面崩壊監視システムの開発 Development of a new data acquisition system for landslides driven by solar cells

矢部 修平<sup>1\*</sup>, 服部 克巳<sup>1</sup>, 大坪 大<sup>1</sup>, 孫 尚卿<sup>2</sup>

YABE, Shuhei<sup>1\*</sup>, HATTORI, Katsumi<sup>1</sup>, OTSUBO, Hiroshi<sup>1</sup>, Sang Kyeong SOHN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 日本ナショナルインスツルメンツ株式会社

<sup>1</sup>Graduate school of science, Chiba University, <sup>2</sup>National Instruments Japan Corporation

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、斜面の監視や崩壊時刻の発生を予測することは重要な課題である。そのため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 (Self Potential = SP) によるアプローチを試みている。これまでの室内実験の結果から、SP法を用いた地下水モニタリングが有望であることがわかりつつある。しかし室内実験は二次元的で、土層は均質なものをを用いているため、室内実験だけでは限界がある。そのため、自然電位観測のフィールド実験による検証が必要不可欠である。現在、インドネシア Pelabuhan Ratu の斜面崩壊地帯に自然電位観測点を設置し、観測を行っている。

しかし、インドネシアでは停電などによりデータの欠測がしばしば発生する。インドネシアの計測では計測システムに無停電電源装置が準備されているが、停電時間が長いためにシステムを維持することが十分にできないためである。そこでこの問題点を克服するために、商用電源を使用する汎用型 PC での集録にかわり、直流電源を用いたスタンドアロンで稼働するシステムを開発する必要がある。このシステムを実現するために、太陽電池パネル、バッテリー、直流電源で稼働する CPU とメモリを内蔵した集録装置を選定し、太陽電池パネルでバッテリーを充電させつつ、集録を行うシステムを作成した。

このシステムを千葉大学で試験設置したところ、約6か月間停止することなく稼働し続ける事が確認された。また、雨天を仮想して太陽電池の出力電圧を抑えて稼働試験を行ったところ、低い出力電圧でも約2週間稼働し続けることが確認された。これらの事から、この新しいシステムは従来の収録システムよりもより安定してデータを集録できると期待される。詳細は講演にて報告する。

## 斜面安定性に関わる降雨浸透特性の検討

### Study of the infiltration characteristic of the rain to the slope for slope stability evaluation

田中 姿郎<sup>1\*</sup>, 末永 弘<sup>1</sup>, 鈴木浩一<sup>1</sup>, 豊田康嗣<sup>1</sup>, 吉武宏晃<sup>2</sup>, 大石博之<sup>3</sup>, 小早川博亮<sup>1</sup>, 澤田 昌孝<sup>1</sup>

TANAKA, Shiro<sup>1\*</sup>, SUENAGA, Hiroshi<sup>1</sup>, Koichi Suzuki<sup>1</sup>, Yasushi Toyoda<sup>1</sup>, Hiroaki Yoshitake<sup>2</sup>, Hiroyuki Ohishi<sup>3</sup>, Hiroaki Kobayakawa<sup>1</sup>, SAWADA, Masataka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 九州電力株式会社, <sup>3</sup> 西日本技術開発

<sup>1</sup>CRIEPI, <sup>2</sup>Kyushu Electric Power Co. Inc., <sup>3</sup>West JEC, Inc.

斜面崩壊, 地すべりの発生要因の一つとして降雨による表層飽和や近接する河川の水位上昇に伴う斜面の末端侵食などがあげられる。本研究では降雨にともなう斜面安定性の評価からリスク評価を行うことを目的とし, 降雨による斜面内の水分量の変化を土壌水分量と電気探査により調査を行った。調査地域の地質は, 白亜系の砂岩・頁岩互層であり, 当該の斜面には主に頁岩が分布している。空中写真および地形図の判読結果から, 今後崩壊する可能性がある斜面が多数存在していると考えられる。広域の崩壊斜面調査(航空写真判読, 現地踏査, ボーリング調査等)から, 斜面崩壊の主な素因は, 急峻な斜面に厚く堆積する崩積土であったと考えられる。調査対象とした斜面においても, 基盤をなす頁岩層の上位に移動岩塊や崩壊堆積物が重なり, それらの境界付近において変位が計測されている。本発表では, 斜面に掘削したボーリング孔内での土壌水分量と電気探査による比抵抗分布(含水率)の変化の検討結果を紹介するとともに, 地質調査結果を基に作成した地質モデルに対し浸透流解析と安定解析を行い, 計測結果と比較検討した結果を報告する。

キーワード: 斜面崩壊, 土壌水分量, 電気探査, 浸透流解析

Keywords: slope failure, soil moisture, electric exploration, Seepage analysis

## 砂質斜面のせん断破壊に及ぼす地中水流の影響 The effect of subsurface hydrology on shear destruction of a sandy slope

宮平永一郎<sup>1</sup>, 寺嶋 智巳<sup>2\*</sup>, 落合博貴<sup>3</sup>  
E.Miyahira<sup>1</sup>, TERAJIMA, Tomomi<sup>2\*</sup>, H.Ochiai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 森林総合研究所  
<sup>1</sup>Graduate school of Science, Kyoto Univ., <sup>2</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>3</sup>For. and Forest Prod. Res. Inst.

To improve the accuracy of predictions of shallow landslide timing induced by rainfall, we focused on the mechanism of subsurface hydrology at an artificial sandy slope of 32° that was 9 m long, 1 m wide, and 0.7 m deep. We measured pore water pressures and volumetric water content occurring prior to shallow landslides in a flume experiment using the artificial slope with rainfall intensities of 80 mm/h. In addition, we evaluated changes in the internal stresses in the slope up to shallow landslide initiation (i.e., effective soil weight, apparent soil cohesion, and seepage force under saturated and unsaturated soil water condition). Then, based on the local safety factors in the landslide body obtained by the internal stresses, we tried to get quantitative information on the effect of the hydrological process on soil displacement and subsequent shallow landslide initiation.

We found that:

- 1) The timing of the directional change in subsurface flow to parallel the slope in the deep part of landslide body coincided closely with onset of soil displacement.
- 2) Changes in the local safety factors in the landslide body showed that the expansion of instable area at the up part of the landslide body resulted mainly from the appearance of buoyancy and subsequent decline of the apparent soil cohesion.
- 3) Changes in the local safety factors prior to the shallow landslide initiation showed that the down part of the landslide body had been holding the instable upslope.
- 4) Excess shear stress in the up part of landslide body, attributed to the changes in direction and magnitude of saturated and unsaturated subsurface flows, caused both the sudden increase in shear stress in the down part of the landslide body and subsequent whole slope instability, and simultaneously the shallow landslide was induced.
- 5) Seepage force was more important factor to cause the shallow landslide than the effect of buoyancy and consequent changes in the effective weight of soils. This implies that the changes in local safety factors combining the seepage force under saturated and unsaturated conditions provided the accuracy to predict the timing of shallow landslide initiation.

Therefore, the seepage force controlled by changes in direction and magnitude of saturated and unsaturated subsurface flows in slopes can be the important parameter of soil displacement and shallow landslide initiation.

キーワード: 浸透力, 流動方向, 余剰せん断応力, 降雨実験, 前兆現象  
Keywords: Seepage force, Flow direction, Excess shear stress, Flume experiment, Precursor

## 台湾南部における乾燥、雨水浸透による泥岩斜面表面の侵食

### The erosion processes of mudstone surface effected by drying and rain infiltrating cycle in southern Taiwan

中田 英二<sup>1\*</sup>, 樋口 衡平<sup>2</sup>, 千木良 雅弘<sup>2</sup>

NAKATA, Eiji<sup>1\*</sup>, HIGUCHI, Kohei<sup>2</sup>, CHIGIRA, Masahiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup>CREIPI, <sup>2</sup>DPRI

台湾南部には侵食速度が速く、利用価値が低く、構造物の建設も困難な泥岩が分布している。このため乾燥、水質が泥岩の侵食作用に与える影響を調査した。高温な気候により泥岩表層において深さ 10-20 cm 前後まで乾燥の影響を受けた泥岩が形成され、雨季における雨水の浸透により急速スレーキングを起こしていると考えられた。

調査地には鮮新世から更新世の泥岩が分布し、月世界と呼ばれるバットランドが形成されている。高さ 20 m 前後の斜面には塩分に富む泥岩が露出している。斜面表面は雨水により洗い出され、常に新鮮な泥岩が露出する。

侵食前の泥岩斜面表面では乾燥した厚さ 2 cm 前後のクラストが認められ、Na, Ca, Cl, SO<sub>4</sub> が濃集し、一部で石膏が晶出している。20 cm 深部ではイオン濃度は一旦減少し、さらに深部に増加する。イオン濃度が大きい場合、粒子間には引力、小さい場合は斥力が生じる。雨水の浸透は斥力を発生させる。

一旦乾燥した泥岩は収縮し、雨水の浸透を促し大量の雨水の浸透によりスレーキングが起こる。現地で蒸発量を計測した結果、斜面の乾燥は数日で厚さ 10cm 前後に及び、特に乾燥の影響の及んでいる塩分濃度の低下した深さ 10-20 cm 前後に雨水が浸透すると泥岩はスレーキングを起こす。年単位の乾燥、湿潤の繰り返しが年間 20 cm 前後の侵食を形成させていると考えられる。

キーワード: 急速スレーキング, 台湾, 泥岩, 乾燥

Keywords: rapid slaking, Taiwan, mudstone, drying



## H23年台風12号により滑動した地すべり・深層崩壊等のマスマーブメントの地形・風化特性

### Terrain and weathering properties that determined mass movements such as landslides and deep-seated landslides

神原 規也<sup>1\*</sup>

KAMIHARA, Noriya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 株式会社 エイト日本技術開発

<sup>1</sup> EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS Inc.

#### 1. 山地の地形形成過程におけるマスマーブメントの重要性

デービスの示す地形輪廻の説は主に River Process (河川過程) すなわち表流水等による侵食下刻、側刻作用に基づくものを主体としている。しかし、山地の斜面の形態は表流水の浸食作用だけでは説明できない地形が広範囲にわたって形成されていることが近年のレーザープロファイラなどによる精密な地形形状の把握と地形解析から明らかになっている。山地侵食の最大の営力が多い場合河川による侵食作用であることは疑いを入れないが、山地の斜面の形成に当たってはさらに Slope Process (斜面過程) を考慮する必要がある。H23年の12号台風では約1億 m<sup>3</sup>の土砂が、明治22年の十津川災害の際には10億 m<sup>3</sup>の土砂が深層崩壊などの崩壊現象で発生したと試算されている。十津川から熊野川にかけて堆積する膨大な砂礫層は、深層崩壊などのような大規模な崩壊が繰り返されて堆積しているものではないかと考えられる。

#### 2. マスマーブメントの傾斜特性

台風12号で発生した地すべり・深層崩壊、及びこれ以前にも発生している表層崩壊・岩盤崩壊などの事例も含め、発生域周辺一帯の傾斜特性(傾斜頻度分布と最頻値など)と基盤岩の風化特性の關係に焦点を当てて検討を行った。

#### 3. 結論

今回いわゆる深層崩壊が発生した箇所は、さらに急傾斜であるにも関わらず未崩壊の「岩盤クリープ」斜面に比較して化学的風化が進行している点特徴的である。また北股の深層崩壊箇所の頭部尾根沿いには比較的規模の大きな二重山稜地形が形成されている。今回の深層崩壊箇所の少なくとも一部においては、化学的風化及び「岩盤クリープ」による地塊の移動変形に伴う分離・破砕化がかなり古くから進行していたと思われる。深層崩壊箇所は、羽田野の言う後氷期侵食前線となる遷急線のさらに上部に取り残されている山体が移動地塊の主体を占め、発生域の斜面傾斜角は周辺一帯の斜面傾斜角頻度分布の最頻値より緩い傾斜角を有していると考えられる。

キーワード: 斜面過程, マスマーブメント, 岩盤クリープ, 深層崩壊, 斜面傾斜角, 最頻値

Keywords: slope process, mass movemnts, rock creep, deep seated landslide, slope angles, mode

## 2011年3月12日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う地盤災害の特徴 Characteristic of foundation disaster on the Nagano-Niigata border earthquake

中埜 貴元<sup>1\*</sup>, 小荒井 衛<sup>1</sup>, 乙井 康成<sup>1</sup>, 小林 知勝<sup>1</sup>

NAKANNO, Takayuki<sup>1\*</sup>, Mamoru Koarai<sup>1</sup>, Kosei Otoi<sup>1</sup>, Tomokazu Kobayashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院

<sup>1</sup>GSI of Japan

2011年3月12日に長野県と新潟県の県境付近で発生した地震(M6.7)では,死者こそ出なかったものの,斜面崩壊や地盤変状,構造物被害等が多発した.それら被害をマッピングすると,大局的な分布に偏りがあるように見えたため,現地調査と写真判読,GIS解析等を併用して,主に斜面崩壊・地盤変状箇所と地形・地質,想定される活断層の位置との関係を検討するとともに,干渉合成開口レーダー(InSAR)で捉えられた干渉画像との関連を分析した.

その結果,地盤変状,斜面崩壊等の被害は,信濃川(千曲川)流域とその左岸の山間地域および志久見川西側の栄村山間地で多発していることがわかった.道路の変状・亀裂等の地盤変状のほとんどは,盛土等の重力性変状で説明可能であったが,一部,黒澤ほか(2011)が地表地震断層として報告している箇所や十日町市の大蔵寺高原キャンプ場の駐車場では,テクトニックな変動も示唆された.その他,津南町大井平地区から亀岡地区にかけての宮野原断層周辺では,活断層に沿って地すべりや盛土の重力性変状等の集中が見られた.これは,小荒井ほか(2012)でも報告しているように,近傍で大規模な地震が生じた際には,その活断層自体が能動的に活動していなくても,活断層近辺に斜面崩壊や地盤変状等が集中する傾向があることを示唆している.

以上の被害多発地域は,M6.7の本震とその約30分後に発生した最大余震(M5.9)も含めて,InSARで検出された干渉縞から想定される震源断層(逆断層)モデルの上盤側で,かつ地殻変動発生領域を示すSAR干渉縞の範囲に合致していた.これは,従来から指摘されている「逆断層の上盤側で被害が大きい」という現象と一致するとともに,InSARで捉えられるような地殻変動領域で被害が多く発生する可能性を示唆している.

キーワード: 長野県・新潟県県境付近の地震, 斜面崩壊, 地盤変状, InSAR, 活断層

Keywords: the Nagano-Niigata border Earthquake, slope collapse, ground deformation, InSAR, active fault