

HDS027-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

岩手・宮城内陸地震によって一迫川上流域で発生した崩壊にみられる地質の影響 Effect of geology on the landslides by the Iwate-Miyagi Inland earthquake in the upper reach of Ichihazamagawa River

大丸 裕武^{1*}, 村上 亘¹, 多田泰之¹, 岡本 隆¹, 三森利昭¹, 江坂文寿²

Hiromu Daimaru^{1*}, Wataru Murakami¹, Yasuyuki Tada¹, Takashi Okamoto¹, Toshiaki Sanmori¹, Fumitoshi Esaka²

¹ 独立行政法人森林総合研究所, ² 林野庁東北森林管理局

¹FFPRI, ²Tohoku Regional Forest Office

2008年の岩手・宮城内陸地震によって多数の崩壊地が発生した一迫川上流域の層序と地質構造を現地調査から明らかにするとともに、航空機レーザープロファイラー測量による地形解析によって、崩壊発生斜面の地形の特徴について検討を行った。一迫川上流域では軟岩で低密度のある小野松沢層を高密度で柱状節理が発達した北川溶結凝灰岩が覆う典型的なキャップロック構造を呈している。川原小屋沢と一迫川の合流点より北の地域では、北川溶結凝灰岩の下に古い山地地形が埋没しているために、キャップロック基底の高度が南側の地域に比べて著しく高く、このことが大規模な崩壊につながったと考えられた。この地域において、2008年の地震で発生した大規模な崩壊は川沿いの急斜面が多く、荒砥沢や耕英地区などで見られた流れ盤側斜面における地すべり性の崩壊は少なかった。北川溶結凝灰岩の下に埋没した過去の山地地形によって、キャップロックの基底が凹凸に富む形状を持っていることが、この地域の崩壊の形態に影響していることが考えられた。

キーワード: 岩手宮城内陸地震, 崩壊, キャップロック, GIS

Keywords: Iwate-Miyagi Inland Earthquake, landslide, caprock, GIS

HDS027-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

地震後に崩壊が発生した山地斜面の地形的特徴-2008年岩手・宮城内陸地震調査より-

Topographic characteristics of mountain slope where landslide induced after 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake

村上 亘^{1*}, 小川 泰浩¹, 大丸 裕武¹, 江坂 文寿²

Wataru Murakami^{1*}, Yasuhiro Ogawa¹, Hiromu Daimaru¹, Fumitoshi Esaka²

¹ 森林総合研究所, ² 東北森林管理局

¹FFPRI, ²Tohoku Regional Forest Office

2008年6月14日に発生した岩手宮城内陸地震後、同年9月までの期間中の降雨などにより、新たな斜面崩壊が発生していること、それらの周辺には地震時に発生した亀裂が存在していることを筆者らは報告している(村上ほか, 2010)。今回、岩手県一関市槻木平地区において、地震直後および3ヶ月後の9月に計測されたレーザープロファイラー(LiDAR)データから作成した陰影図および等高線図を比較し、地震後に崩壊が発生した斜面の崩壊前の地形的特徴について検討した。また、崩壊には至っていないものの、同様の地形的特徴が認められた斜面についても現地調査を行った。

地震直後のLiDARデータより作成した陰影図および等高線図より、地震後に新たに発生した崩壊地の崩壊前の微地形を判読した。その結果、地震後に崩壊が発生した場所は、地震前は、ほぼ平型な斜面形の中に部分的に凸型の斜面形となっている場所、あるいは半月または馬蹄形の緩傾斜地であることが多かった。このような微地形はまだ崩壊は認められない場所においても複数認められた。現地においてこのような場所を踏査したところ、多くの斜面で亀裂の発生が認められた。今回、確認したうちの一つの亀裂周辺で簡易貫入試験を行った。亀裂より下方の斜面では、表層から深くなるにつれてN値が徐々に高くなるが、途中、1.5~2.0m付近でN値が5以下となる軟弱な層の存在が認められた。亀裂より上方の斜面、あるいは近傍の亀裂が発生していない斜面ではこのような層は認められなかった。このため、地震後に崩壊が発生した斜面では、地震時あるいは直後には崩壊に至らなかったものの、亀裂の発生とともに軟弱な層が形成され、それがすべり面となって地震後の降雨による崩壊の要因となっていることが推測された。

参考文献

村上 亘ほか(2010): 岩手宮城内陸地震で発生した崩壊斜面の地質・地形的特徴と拡大要因について - 岩手県側の事例 -, 季刊地理学, 62-1, pp39.

キーワード: 崩壊, 亀裂, レーザープロファイラー, 緩傾斜地, 簡易貫入試験, 岩手・宮城内陸地震

Keywords: landslide, crack, LiDAR, low gradient slope area, simple penetration test, Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake

多変量解析手法を用いた地震による地すべりの危険度評価 Evaluation of earthquake-induced landslide by using multivariate analysis

ハスバートル^{1*}, 丸山清輝¹, 中村明¹, 野呂智之¹, 原義文¹
Bateer Hasi^{1*}, Kiyoteru Maruyama¹, Akira Nakamura¹, Tomoyuki Noro¹, Yoshifumi Hara¹

¹ 土木研究所

¹ PWRI, Japan

近年、日本及び周辺地域では強い地震が相次いで発生し、それに伴う地すべりがライフラインの寸断、河道閉塞など中山間地域に深刻な被害をもたらした。地震に伴う地すべり災害を軽減する方法の一つとして地震による地すべりの発生危険度評価が期待される。本研究は、地震による地すべりの発生危険度を評価する目的で、既存地すべり地形を対象に地形要素に注目しロジスティック回帰分析を実施したものである。ここでは、中越地震などで既存地すべり地形内において地すべりが多く発生した（ハスバートルほか, 2009）ことや地すべり地形の判読結果が容易に入手できることを踏まえ、既存地すべり地形を対象とした。解析では、中越地震と岩手・宮城内陸地震によって発生した地すべりデータを用いた。

ロジスティック回帰分析は、説明変数が計量尺度データで2値の時に使われる予測手法である。本研究の場合は、地震によって地すべりが発生/非発生が名義尺度データの目的変数で、地すべり発生に寄与する地形要素が説明変数である。本研究では説明変数として、地すべり発生に寄与すると考えられる地すべり地形の起伏量（地すべり地形における標高差の最大値）、縁辺侵食率（地すべり地形周辺の侵食の度合い; Suzuki et al., 2010を参照）、斜面勾配、平均曲率、稜線からの距離、河川からの距離など地形要素を用いた。地質要素も地すべりの発生に寄与すると考えられるが、地域による差があるため、今回は地形要素のみに注目した。

解析では、まず中越地震によって地すべりが発生した87箇所の既存地すべり地形と、ランダムに選んだ87箇所の地すべり非発生既存地すべり地形のデータを用いて、地形要素の選定とその係数を求めた。分析には多変量解析ソフトSPSS Statistics Ver.19 (SPSS Inc.)の二項ロジスティック回帰分析を用いた。ステップワイズ法を用いて地形要素を選定した結果、起伏度と縁辺侵食率が地すべりの発生に最も寄与することが分かった。中越地震によるデータの解析では予測的中率が74.7%であった。中越地震のデータの分析から得られた偏回帰係数を用いて、岩手・宮城内陸地震による地すべりの発生を予測した結果77.2%が的中した。このように、地すべり地形の起伏度と縁辺侵食率が地震による地すべりの発生に寄与していることが検証された。このため、中越地震と岩手・宮城内陸地震により地すべりが発生した116箇所の既存地すべり地形とランダムに選んだ同数の地すべり非発生既存地すべり地形データを用いて、再度分析を行った。その結果、予測的中率が75.4%となり、中越地震のデータのみによる結果に比べて幾分上昇した。

このように、ロジスティック回帰分析により、地震による地すべりの発生危険度評価が可能であることが示された。今後は、この手法を用いて活断層周辺において地震による地すべりの危険度評価を実施し、地すべり発生ハザードマップを作成する予定である。

キーワード: 地震, 地すべり, 多変量解析, 危険度評価, 中越地震, 岩手・宮城内陸地震

Keywords: earthquake, landslide, multivariate analysis, susceptibility evaluation, Mid-Niigata earthquake, Iwate-Miyagi Inland earthquake

HDS027-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

地すべり観測事例を用いた地震時地すべり斜面の変位と地下水状況に関する検討 Study of relationship between earthquake-induced landslide displacement with ground-water condition based on landslide me

中村 明^{1*}, ハス パートル¹, 丸山 清輝¹, 野呂 智之¹
Akira Nakamura^{1*}, Bateer Hasi¹, Maruyama Kiyoteru¹, Noro Tomoyuki¹

¹ 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター
¹ PWRI

地震により大規模な地すべりが発生した事例は数多く知られており、地すべり活動の誘因の1つとして、地震が挙げられている。しかしながら、地震時の地すべり活動をとらえた計器観測データが少ないため、地震時における地すべりの挙動については不明な点が多い。また、地震時の地すべり観測計器の変動状況資料を収集・整理した事例は少ない。ここでは、1964年から2007年に日本の内陸及び近海を震源として発生した地震を対象に、地震時の地すべり動態観測について記載されている文献を収集・整理し、地震時の地すべり斜面における移動、地下水位、間隙水圧の変化の特徴について、分析した。

地震時に地すべり観測を行った事例を整理すると、以下のような特徴があることが分かった。

- (1) 地震前に変動していなかった地すべりでは、地震時に比較的大きな変位を示すが、地震後に変位が継続することは少ない。
- (2) 降雨などにより変動していた地すべりでは、地震時にそれまでより大きな変位を示すが、その後、一時的に変動が収まる場合がある。
- (3) 変位の発生深度は、ほとんどの箇所ですべり面付近の深度であった。
- (4) 地震発生時に地下水位もしくは間隙水圧が上昇した箇所が多かった。
- (5) 地震後、地下水位や間隙水圧は地震前の状態に戻ったが、その期間は、1日から3ヶ月程度までであった。

以上の特徴より、地震による急激な地下水位の上昇もしくは間隙水圧の上昇も地震時に発生する地すべりの誘因の一つである可能性が考えられる。

キーワード: 地震, 地すべり, 地すべり観測, 地すべり変位, 地下水位

Keywords: Earthquake, Landslide, Landslide measurement, Landslide displacement, Groundwater level

インドネシア・Pelabuhan Ratu の斜面崩壊地帯における自然電位観測 Self potential measurement at landslide site in Pelabuhan Ratu, Indonesia

矢部 修平^{1*}, 大坪 大¹, 紺 晋平¹, Febriani Febty¹, Han Peng¹, 服部 克巳¹, Edy Gaffer², Adrin Tohari², Kohri Sugianti², Boko Nurdianto³, Iwan Maulana³, Noor Effendi³, Suhardjono³, Pri Harjadi³
Shuhei Yabe^{1*}, Hiroshi Otsubo¹, Shimpei Kon¹, Febty Febriani¹, Peng Han¹, Katsumi Hattori¹, Edy Gaffer², Adrin Tohari², Kohri Sugianti², Boko Nurdianto³, Iwan Maulana³, Noor Effendi³, Suhardjono³, Pri Harjadi³

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² インドネシア科学院, ³ インドネシア気象庁

¹Chiba University, ²LIPI, Indonesia, ³BMKG, Indonesia

近年、集中豪雨の頻度が増加するにつれ、斜面崩壊の発生件数も増加する傾向にある。斜面崩壊による被害を軽減するためには、斜面崩壊の監視・予測が重要である。

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、自然電位法によるアプローチを試みている。人工降雨下での斜面崩壊実験や小型水槽実験などの室内実験の結果から、自然電位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。

2009年7月インドネシアのPelabuhan Ratuの斜面崩壊地帯においてフィールド実験地として適切かどうか調査するため、比抵抗トモグラフィを用いて地下構造の推定を行った。比抵抗トモグラフィの結果、地下10~20m付近に飽和域が、地下20~25m付近にすべり面が存在することが示唆された。そのため表層で自然電位を観測することで、降雨や地下水面の変動による自然電位変動を捉える事ができると考えられる。

そこで2010年8月、この斜面崩壊地帯において13か所に非分極電極を設置した。各点、電極を1.0m, 2.5m, 4.0mの深さに設置した。自然電位変動との関係を調べるため、25個所にテンシオメータ、雨量計、傾斜計を設置した。その際、地下4m付近にも不透水層があり、この層もすべり面の可能性であることがわかった。また、比抵抗トモグラフィの結果を検証するために、3か所にて25.5mのボアホール掘削を行い、うち2つのボアホールはクリノメータでボアホールの歪を繰返し測定ができるようにした。残る1つは水位を測定する。2010年11-12月頃より安定してデータが取得できるようになり、現在観測された自然電位データと小型水槽実験で得られた結果とを検証している。詳細は講演にて報告する。

HDS027-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

小型水槽を用いた地下水動態と自然電位変動の関連に関する研究 A sandbox experiment for hydrology and electromagnetics coupling

大坪 大^{1*}, 矢部 修平¹, 紺 晋平¹, Febriani Febty¹, Han Peng¹, 服部 克巳¹, Edy Gaffer², Adrin Tohari², Khori Sugianti², Boko Nurdianto³, Iwan Setiawan³, Noor Effendi³, Suhardjono³, Pri Harjadi³
Hiroshi Otsubo^{1*}, Shuhei Yabe¹, Shimpei Kon¹, Febty Febriani¹, Peng Han¹, Katsumi Hattori¹, Edy Gaffer², Adrin Tohari², Khori Sugianti², Boko Nurdianto³, Iwan Setiawan³, Noor Effendi³, Suhardjono³, Pri Harjadi³

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² インドネシア科学院, ³ インドネシア気象庁

¹Graduate School of Science, Chiba Univ., ²LIPI,Indonesia, ³BMKG,Indonesia

斜面崩壊は世界の自然災害の中でもっとも深刻な災害のひとつであり、それは二つのタイプに分けられる。すなわち、降雨による斜面崩壊と地震による斜面崩壊である。本研究では、斜面崩壊早期警告システムの基礎研究を水文学的変動と電磁気学的変動を通じて、斜面崩壊過程を調査することで行っている。本研究の最終目標は、自然電位法を用いた斜面崩壊過程監視・予測法の創生である。従来の斜面崩壊の観測法は、地表面で水圧や土層の変移量を測定するという力学的・水文学的手法が基礎であった。これらの方法では、一般に掘削孔が必須であり、これは地表面下の水理システムを乱してしまうおそれがある。また、ボーリング孔の掘削はコストが高く、野外に適應するにはあまり実用的ではない。一方で、自然電位法は地表面に設置した電極による受動的な観測なので設置が容易であり、継続的に測定できる。

本研究では、小型水槽実験を行った。小型水槽では土層の地下水面を調整でき、水文学的変動と電磁気学的変動の関係を定量的に得ることができる。さまざまな水位、または動水勾配で実験を行った。結果として、界面導電現象と地下水面によって自然電位の値が制御されていることがわかった。

HDS027-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

島根半島, 小伊津海岸における不安定岩盤斜面の構造とそれに基づいたハザードマップの試作

An attempt to construct hazard maps based on slope structures in the Koizu Coast, Shimane Peninsula

井詰 達也^{1*}, 横田 修一郎¹

Tatsuya Izume^{1*}, Shuichiro Yokota¹

¹ 島根大学総合理工学部地球資源環境学科

¹ Shimane University

山地が多いわが国では, 斜面崩壊が頻繁に発生し, 斜面ハザードマップの作成が行われているが, 斜面特性を考慮して作成するのは難しく, 十分でない. そこで, 岩盤斜面とそれを構成する砂岩・泥岩互層が同方向に急傾斜している島根半島小伊津海岸にて, 斜面の構造と崩壊機構に基づいて個々の位置での不安定性を評価し, 斜面ハザードマップを試作した.

現地調査の結果, 砂岩・泥岩互層は大局的には斜面と同方向であり, 層理面に沿って崩落したものが圧倒的に多い. 岩盤の緩み, 層間の強度低下, および砂岩中の節理面が素因として関与し, 誘因としての降雨, 地震動が不安定化をもたらしたと推定される. 斜面の傾斜角は大半の場所では層理面より緩く, 相対的に安定な状態であるが, ガリー浸食や波蝕によって切れ込まれた部分の外縁では局所的に斜面の方が急となっている. このため, 不安定化と崩落はこれらから逐次進行したと推定される.

層理面に沿った崩壊を前提とすれば, 個々の位置での斜面形状と層理面との幾何学的関係から不安定性を評価できる. 層理面の走向線図と 1/5,000 地形図をもとに作成した 5m メッシュDEM をもとに, Hoek and Bray の方法を用いて不安定性を評価した. ドレライトの貫入岩体部分でも上記の層理面に近い方向の節理をすべり面と扱うことで不安定性を評価した. 個々の位置での不安定性評価から斜面ハザードマップを構築した. :結果として, ガリー浸食, 波蝕部分の周辺に不安定性領域が広がっており, 当該斜面の不安定化とそれによる後退にはこうした過程が大きな要因であることを示している. 当該斜面ではくさびすべりや表層崩壊も発生していることから, 将来的には, これらの崩壊様式も考慮するとともに, 降雨による影響などを含めた様々なタイムスケールに対応できるマップを構築していく必要がある.

HDS027-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

岐阜県，根尾谷北部の山地斜面に多数見られる低崖地形の成因と形成時期 - 能郷谷，礼野（いやの）付近を例として -

Origin and age of LiDAR-detected scarplets on the mountain slope: a case study around Iyano in Neo valley, central Japan

河野 太陽^{1*}, 金田 平太郎¹
Taiyo Kono^{1*}, Heitaro Kaneda¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科 地球科学コース

¹Dept. of Earth Sciences, Chiba Univ.

岐阜県，根尾谷断層北端部の山岳地域における航空レーザー測量によって，これまでその存在が知られていなかった多数の低崖地形が検出された．本研究では，これらの低崖地形群のうち，能郷谷礼野（いやの）付近に分布する低崖地形群の成因・形成時期を解明するために，航空レーザー測量データの解析，地形・地質調査，および逆向き低崖によって形成された小凹地の手掘りによるピット掘削調査を実施した．その結果，これらの低崖地形群は山体重力変形の初期的地形として知られるサギング地形であり，受け盤斜面の頂部が重力的に落ち込むことにより，その下部斜面がブロック回転しながら倒れ込み，逆向き低崖群をつくるモデルで説明できることが明らかとなった．更に，1地点におけるピット掘削調査から，当該地点の低崖地形は少なくとも15世紀以前には存在していたと考えられ，しかも，崖の形成後，少なくとも1回は成長している可能性が高いことも明らかになった．ただし，この崖が1891年濃尾地震時に成長したかどうかについては不明である．今後，同地域の山地斜面にて検出された他の低崖地形を詳しく調査することによって，こうした低崖地形の形成・成長と根尾谷断層をはじめとする濃尾活断層系の活動との関係が解明できる可能性がある．

キーワード: 根尾谷断層, 山地斜面, 航空レーザー測量, 低崖地形, 濃尾地震, サギング地形

Keywords: Neodani fault, mountain slope, airborne LiDAR, scarplets, Nobi Earthquake, sagging

HDS027-P09

会場:コンベンションホール

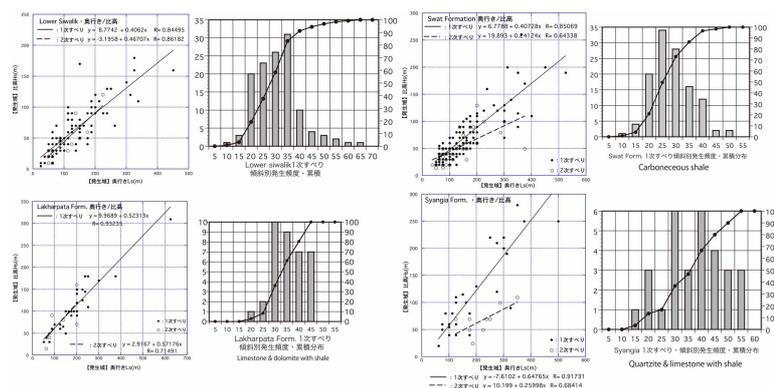
時間:5月24日 16:15-18:45

ネパール中部低ヒマラヤ帯における地すべり分布図の作成と地すべりサスペンティビリティマップへの適用 Landslide inventory mapping in the Lower Nepal Himalayas and its implication for landslide susceptibility mapping

八木 浩司^{1*}, 佐藤 浩²
HIROSHI YAGI^{1*}, Hiroshi, P. Sato²

¹ 山形大学地域教育文化学部, ² 国土交通省国土地理院
¹Yamagata University, ²Geospatial Information Authority, Japan

ネパール低ヒマラヤ帯中部にに対する空中写真判読により地すべり地形判読を行った。判読された地すべり地形のうち512例に対してその発生場の斜面傾斜, 見通し角, 発生場の斜面幅等の地形特性を計測し, それらの位置する地質帯ごとにまとめた。その結果, 各地質帯ごとに地すべりの発生しやすくなる斜面傾斜を明らかにすることが出来た(図1)。これを限界傾斜角と呼びこれらを活断層からの距離などの要因と重ね合わせることで, 地震地すべりを含む地すべりサスペンティビリティ地図作成に適用することを試みる。



キーワード: 地すべり地形分布図, ネパール低ヒマラヤ帯中部, 地質帯ごと発生場の地形特性, 限界傾斜角, 地すべりサスペンティビリティ地図, 活断層

Keywords: landslide inventory map, Lower Nepal Himalaya, geomorphologic feature of landslide, critical slope gradient, landslide susceptibility map, active fault

HDS027-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

レッサーヒマラヤ、Dumre Besei landslide における岩石風化と地質構造の関係 Relationship between rock weathering and geological structures in the Dumre Besei landslide, Lesser Himalaya Nepal

レグミ アマール ディープ^{1*}, 永田 秀尚², 吉田 孝紀³
Amar Deep Regmi^{1*}, Hidehisa Nagata², Kohki Yoshida³

¹ 信州大学総合工学系研究科, ² 有限会社風水土, ³ 信州大学理学部

¹Graduate school of Shinshu University, ²Fu-Sui-Do Company Limited, ³Faculty of Science, Shinshu University

Dumre Besi landslide is one of the most active landslides along Mugling Narayanghat road section of Nepal Himalaya that was initiated during the monsoon of 2003. The external trigger of this landslide is heavy rainfall, however geological structures and rock weathering have played the key role in the formation of this landslide. The main lithology of the landslide zone is thinly laminated light grey siltstone, grey sandstone (quartzite), bluish grey to white phyllite, black carbonaceous shell, and dolomite. A thrust fault passes through the center of the landslide, which has created a thick deposit of loose and weathered rock material and has developed very thick shattered zone, where weathering is very intense. The rocks in the landslide zone are divided into 5 zones according to the severity of weathering as none, slight, moderate, severe and complete based on field and laboratory analysis.

Laboratory analysis suggested that the chemically weathered rocks are significantly rich in clay minerals. Formation mechanism of clay minerals was analyzed by various techniques as XRD, XRF and thin section analysis and it was found that most of the clay minerals are formed by weathering of rocks. The main clay minerals thus formed are chlorite, smectite and vermiculite. These clay minerals reduce the rock strength and also smectite has a swelling property when water is added into it. The weathering and thrusting has created a thick zone of loose material that is rich in clay minerals, which flows as the debris in every monsoon season. Also, the slope angle, topography, rainfall and ground water are responsible for the formation of this landslide.

キーワード: 地すべり, ヒマラヤ

Keywords: Landslide, Himalaya

平成21年中国・九州北部豪雨における道路斜面災害の特徴 Features of Slope Disasters on Roads by the Heavy Rainfall in Chugoku and Northern Kyushu Area in July 2009

浅井 健一^{1*}, 林浩幸², 佐々木靖人³
Ken-ichi Asai^{1*}, Hiroyuki Hayashi², Yasuhito Sasaki³

¹ 独立行政法人土木研究所, ² 独立行政法人土木研究所, ³ 独立行政法人土木研究所

¹Public Works Research Institute, ²Public Works Research Institute, ³Public Works Research Institute

平成21年中国・九州北部豪雨における道路斜面災害のうち、比較的件数の多かった広島・山口・福岡3県の直轄国道、県管理道路の計90事例について、降雨量等の要素のほか、現地状況の詳細等についても収集し、斜面災害の特徴について検討した。

道路斜面災害の50%以上は切土のり面の表層崩壊であり、次いで多かったのが路肩崩壊で約20%である。一方、自然斜面の表層崩壊は約15%と少ない。また、土石流のほとんどは防府市周辺で発生したものである。

崩壊箇所の地質は主に花崗岩類、結晶片岩、第三紀堆積岩であるが、いずれも風化が著しかった。今回の道路斜面災害では谷型斜面の崩壊が少ない一方で、尾根の先端部など谷型でない切土のり面の崩壊が多いことが特徴である。また、路肩崩壊の中には、表流水が集中し流入したことが影響したと考えられる事例も見受けられた。

今回の道路斜面災害は特に豪雨ではない地域においても発生しており、その主たる原因は「切土のり面の経年的地山風化」「道路上の表流水」「造成による集水域の変化」「新設・拡幅道路における谷地形のスライスカット」などであり、従来の道路防災点検やパトロールでは着目されていない事象によって災害が発生している場合が多い。また「切土のり面上方に集水地形」が残され、特に土砂流出対策がなされていない被災事例も多く認められる。

災害後の対策工は、崩壊箇所の抑止対策が主体で「表流水の供給源を断つ」対策が特に行われていない事例が多く認められることなどが課題として挙げられる。水路整備や流末増設などにより「表流水を分散」させる対策を併せて実施することにより、今後の災害リスクを大きく減少させ、また結果的に道路維持コストの減少にもつながると考えられる。

キーワード: 斜面, 災害, 豪雨

Keywords: slope, disaster, heavy rainfall

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



HDS027-P12

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

平成22年10月奄美豪雨における道路斜面災害の特徴 Features of Slope Disasters on Roads by the Heavy Rainfall in Amami Area in October 2010

林 浩幸^{1*}, 浅井 健一¹, 佐々木靖人¹
Hiroyuki Hayashi^{1*}, Ken-ichi Asai¹, Yasuhito Sasaki¹

¹ 独立行政法人土木研究所

¹ Public Works Research Institute

平成22年10月奄美豪雨における道路斜面災害のうち、県管理道路の通行止めを伴う程度の災害事例を60箇所程度収集し、災害の特徴について検討した。

道路斜面災害の8割程度が切土のり面崩壊である。内訳は約60%が切土のり面の表層崩壊、約20%が切土のり面上方の自然斜面からの中～大規模崩壊である。全般に災害事例数は少なめであるが、1つ1つの規模はやや大きい傾向がある。

基盤岩は概ね四万十帯の頁岩・砂岩が主体である。斜面崩壊箇所の大半は深部まで強風化し赤色土となっている場合が多い。切土のり面のみの崩壊は表層数m以内の浅い崩壊が多いものの、深い崩壊は尾根地形の切土箇所において多く発生している傾向がある。

土石流などの集水地形における崩壊は数例程度のみと少ない。また路肩崩壊・盛土崩壊は全体の10%程度である。路肩崩壊の主原因は、路面が表流水を崩壊箇所に集めたと考えられるものが大半を占める。

キーワード: 斜面, 災害, 豪雨

Keywords: slope, disaster, heavy-rainfall

GPS とレーザ地形解析による融雪期地すべりの形態的特徴と運動形態の考察 Study on the feature of the landslide using GPS monitoring and LiDAR DEM

高見 智之^{1*}, 向山 栄¹

Tomoyuki Takami^{1*}, Sakae Mukoyama¹

¹ 国際航業株式会社

¹ Kokusai Kogyo Co., Ltd.

はじめに

平成 21 年の融雪期に山形県七五三掛地区（農村振興局所管）で地すべり災害が発生した。この地すべり変動について地表亀裂、GPS 連続観測、レーザ地形解析画像二時期比較解析の結果から、形態的特徴と運動様式を考察した。

1. 七五三掛地区の地形地質と地すべり変動の経緯

月山の北西麓に位置し、周辺地域は新第三紀のグリーンタフや堆積岩類と粗粒玄武岩が分布する。付近には大網地区や田麦俣地区などの大規模地すべりが連続して分布する。

2月25日に冠頭部の住宅敷地に亀裂が発見された。4月7~8日に冠頭部上方斜面上に二次すべりの段差、亀裂の進行を確認し、自主避難開始された。その後7月初旬まで変動が継続し、変動域を囲むように亀裂変状が形成された。7月8日頃、変動は沈静化した。その後は河岸斜面部などの小崩壊など局所的な変状となった。

2. 地表変状の特徴

1) 頭部陥没帯：幅 10~20m、長さ 100~150 m、高さ最大 2 m の溝状の陥没帯が直線的に東西方向に生じた。陥没帯の中では民家が傾動せず立っていた。2) 西側の側方雁行亀裂帯：南北方向の側方亀裂に斜行して北東 - 南西方向に亀裂が平行に生じた。3) 東側の側方亀裂段差帯：移動方向にほぼ直交する段差亀裂が平行に形成され、一部逆向きの段差が生じた。4) 刈谷川南の横ずれ亀裂 ~ 陥没 ~ 段差亀裂帯：西側側方亀裂が刈谷川の南に連続する箇所では、段差を伴う横ずれ亀裂により、水田面が傾動隆起した。南端部で亀裂が東南東に折れ曲がり刈谷川河床に達する。

3. GPS 連続観測による変動量と移動方向

一日に数 cm の地表変動が生じていたため、GPS 観測のみが変動に追従して観測することができた。累積変位量の最大は、4月中旬~7月上旬で 4.2m（頭部）~6.2 m（刈谷川南）に達する。日変動量では最大 15cm/日（5月20日頃）に達した。

主変動域は全体として南方向に移動しているが、頭部でやや南南西方向に偏り、先端部の刈谷川南側では南東方向から東方向に向きを変えている。

4. 二時期地形画像比較からの移動ベクトル

二時期の地形画像を用いた地形変化の解析方法（Numerical Geomorphic Image Matching Analysis）により変位ベクトルを解析した。地形データは 2004 年 11 月 16 日、2009 年 6 月 12 日の 2 時期に取得された地形データで、約 5 年間の地すべり変動の累積がある。地表の移動ベクトル図、移動量等値線図、変動量区分ベクトル分布図と、現地の変状実態を比較すると以下の形態が推定できる。

1) 移動ブロック中心部は概ね 5 m の移動量を示し、一体となって南 ~ 南南西方向に移動。
2) 刈谷川南側の地区で移動方向が南東 ~ 東方向に急変。
3) 移動量の急変部（移動量等値線が密な地区）は移動ブロックを包括するように分布し、亀裂・段差など地表変状が著しい箇所と一致。

4) 変動ブロックの側方部にある移動量等値線の間隔が広い地帯は、幅広い地表変状域や雁行状亀裂分布域と一致。

5) 移動ブロック先端にある移動量等値線が密な箇所は、地表の横ずれせん断亀裂と一致。

5. 地すべり運動の考察

変動域の中心部に地表変状が少ないことや、頭部の直線的な陥没帯や側方の横ずれ亀裂の発生などから、板状の移動体が、大きく乱されることなく平面上を滑り降りるような運動が推定される。先端部では不動地塊に衝突して押し出されるように東に移動方向を変えたと推定される。このような変動形態は新第三紀層の地質構造に強く支配されていると考えられる。地すべりの面的な変動は L I D A R や GPS 観測により効果的に把握できる。

参考文献

- 1) 東海林ほか（2010）：平成 21 年に発生した七五三掛地区地すべりの変動実態。日本地すべり学会研究発表会講演集。
- 2) 高見ほか（2010）：二時期レーザ地形画像比較による地すべり変動の面的把握。日本地すべり学会研究発表会講演集。
- 3) 及川ほか（2010）：七五三掛地区地すべりの GPS 観測システム。日本地すべり学会研究発表会講演集。

キーワード: GPS, レーザ地形解析, 融雪期地すべり, 第三紀層地すべり, 地すべり災害
Keywords: GPS, LiDAR, landslide, disaster, snow melt period

模型実験装置を用いた海底地すべりによる通信ケーブルの破壊機構に関する研究 Experimental Study on the Damaging Mechanism of Cable by Submarine Landslides

園山 智和^{1*}, 汪 発武¹, 本田満貴¹

Tomokazu Sonoyama^{1*}, Fawu Wang¹, Mitsuki Honda¹

¹ 島根大学総合理工学部地球資源環境学科

¹ Shimane University

1. はじめに

海底地すべりや乱泥流によって、海底通信ケーブルが切断される事象は多数発生している。ケーブルが切断されると、情報伝達の停止やケーブル修復のために、その経済的損失は莫大なものになる。しかし、海底ケーブル切断は水面下で発生する現象であるため、その破壊機構がほとんど解明されていない。日本周辺の海域災害の防止及び軽減のためにも、海底地すべりに関する研究を行なう。

本研究の目的は、ケーブル模型への衝撃力を定量的に評価することである。今後益々展開して行く海洋開発及び海洋利用に資するためにも、海底地すべりによるケーブルなどの構造物に対する破壊力の推定は、ライフライン防災の観点から見ても極めて重要である。

2. 実験方法と実験条件

本研究では、海底地すべり再現実験装置を用いて海底地すべりを室内で再現することにより、ケーブルへの破壊力を調べる工学的な実験を行なった。

この装置は、高さ 1.9m、直径 1.8 m、幅 0.4 m の円筒形の水槽である。円筒底面にはせん断応力センサー、間隙水圧センサー、土圧センサーが設置されている。この装置内に水と土の混合体を投入して回転させることによって、海底地すべりを再現できる。装置は、0.013m/s から 0.78m/s の範囲で回転させることがしようとしている。

また、装置内にひずみゲージを貼り付けたケーブル模型を設置することによって、海底地すべり運動中におけるケーブルへの衝撃力測定が可能である。ケーブル模型は、塩化ビニール製直径 22mm のパイプを使用した。現地における実際の海底ケーブルは無限長と見なされるため、ケーブル延長方向への変形は許されない。準備したケーブル模型を、現地での応力状態と同じにするために、海底地すべり再現実験装置内ではケーブル模型両端を完全に固定して設置した。

実験は、ケーブル模型への衝撃力を、次の 3 項目に分けて実施した。移動土塊の速度の違い (0.26m/s, 0.39m/s, 0.52m/s, 0.65m/s, 0.78m/s の 5 段階) による影響、移動土塊の規模の違い (飽和珪砂 10kg から 80kg まで 10kg ごとの 8 段階) による影響、ケーブルの設置高さの違い (設置高さ 2cm と 4cm) による影響である。

今回の実験で使用した土試料は珪砂 7 号である。この珪砂の土粒子密度は 2.63g/cm^3 、最大密度は 1.566g/cm^3 、最小密度は 1.026g/cm^3 、最大間隙比は 1.563、最小間隙比は 0.679、 D_{50} は 0.1mm、 D_{30} は 0.079mm、有効径 D_{10} は 0.056mm、均等係数は 1.82、曲率係数は 1.09 と求められた。

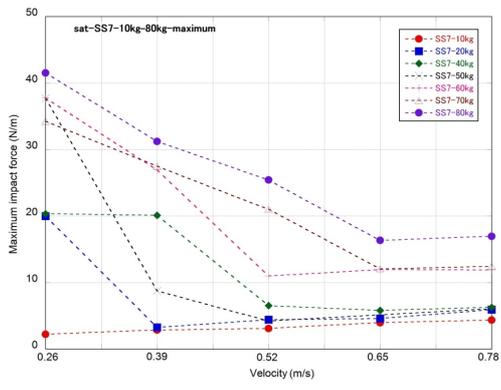
3. 実験結果とまとめ

図は、飽和珪砂 7 号 10kg ~ 80kg をそれぞれ速度 0.26m/s ~ 0.78m/s の 5 段階で回転させた実験から求められたケーブルへの最大衝撃力 (N/m) を、土塊運動速度との関係で示したものである。図を見ると、ケーブルへの衝撃力は、運動速度の遅いときに最大になり、一旦減少した後再び増加する傾向があることが分かる。また、衝撃力が減少から増加に転じる境界速度は、土塊重量が多いほど速い速度のエリアにあることが分かった。

このような現象が起こる原因については、遅い運動速度では移動土塊が混濁されずにケーブル模型に衝突する、運動速度が速くなるにしたがって、移動土塊が混濁され、密度の小さな流れとなってケーブル模型に衝突するためではないかと考えられる。つまり、遅い運動速度のときには海底地すべりによる衝撃力の様相、速い運動速度になるにしたがって土塊の影響は小さくなるため、乱泥流による衝撃力の様相に転化していると考えられる。

また、土塊の規模を変えての実験からは、移動土塊の規模が大きくなるに連れてケーブル模型への衝撃力は大きくなり、その影響時間も長くなることが分かった。

最後に、ケーブル模型の設置高さを変えての実験では、衝撃力の明確な傾向をつかむことができなかつたため、今後設置パターンを増やして検討を進めていく必要があると考えられる。



遷急線分布からの斜面変動発生場の推定と斜面変動に先立つ現象 Characteristics of landslide hazard related to knick line distribution and premonitory phenomena of landslide occurrence

小俣 新重郎^{1*}
Shinjiro Komata^{1*}

¹ 日本工営株式会社
¹ Nippon Koei co.,Ltd

はじめに:日本列島はユーラシア,北米,太平洋,フィリピン海の各プレート会合部沈み込み境界域の変動帯に位置するため,地殻内部には歪みが生じ,地震や火山活動等が活発化する原因となっている.陸側地殻の表層部もこのような構造運動を受け,山体は第四紀を通して隆起を続けていることが知られている.一方,中緯度湿潤気候のもと河川の浸食が活発なため,川沿いには遷急線等の浸食地形が発達し,斜面内部には浸食に伴うひずみや微破壊面が存在する.また,構成岩盤は長期間に風化を受け脆弱化している.中流域山地では第四紀を通じた湿潤変動帯の地質・地形・降雨などの条件が浸食に関与するとともに,地すべりや崩壊などの斜面変動の発生に大きな影響を与えている.本発表では,中流域山地において,河川争奪により流量が増加したことで浸食が活発化し河床低下や遷急線が形成される過程,遷急線に関連した地すべりや崩壊などの発生の場や規模,発生に先立つ岩盤斜面の変形および地すべりの発生に関する機構など,事例をもとに紹介する.

(1) 本発表の背景:地すべりの発生に先立ち,斜面内部での長期間にわたる重力変形に伴うゆるみや風化の進行が重要な役割を果たすことが予想される.しかし,地すべり以前の地中内部の挙動について,地表露頭以外のデータが得られることは少ない.また,斜面内部の破壊の形態や,何を原因に,いつ地すべりが発生するのかといった発生機構については不明なことが多い.このため,重力変形に伴う岩盤斜面の内部状態の事例を精査し,地すべりの発生機構を検討した.

(2) 河川の浸食による遷急線の形成:流域の遷急線の分布から河川の浸食状況が明らかとなる.浸食以前の地形を表す切断面図と現在の遷急線の関係から,広域で分布する遷急線は河川の浸食速度が速まることで形成されることが想定される.遷急線の分布は段丘面の分布に近似している.段丘面や遷急線の分布は,一般に第四紀の氷期-間氷期の気候変動による海水準(浸食基準面)の変化に伴い形成され,河川流域の浸食,堆積の変遷を示すものであるが,これらの分布から斜面内部の地質性状も推定できる.

(3) 長期間にわたるゆるみに伴う地形の特徴:一方,浸食が進んでいない岩盤斜面では,長期にわたりゆるみや風化が進行している可能性がある.長期間のゆるみの進行の結果として,二重山稜や多重山稜などに伴う線状凹地,山腹緩斜面,段差地形などの微地形が地形的な指標として重要である.

(4) 岩盤斜面の地すべりに先立つゆるみ:特に,最終氷期に形成された段丘面以高の斜面内部では,低封圧下で長期間にゆるみや風化が進行し,地すべり移動体はこのゆるみや風化帯の深度に規制されていることが事例から示唆される.地すべりに先立つ岩盤斜面のゆるみの地質的な指標は,透水性が基盤岩の難透水に比較しゆるみ範囲で極端に大きいこと,自然地下水位がゆるみ範囲以下であること,弾性波速度がゆるみ範囲では2km/s程度以下であることの3点に集約される.

(5) 岩盤斜面の地すべりの発生:岩盤斜面の地すべりの発生においては,斜面が本来有する斜面内部の岩盤強度や不連続面の存在などの岩質・地質構造の要因に加えて,長期にわたる山体の隆起や河川等の浸食による斜面の応力状態の変化が,地すべり発生以前の要因として重要である.

岩盤斜面の地すべり発生に先立ち,長期にわたるゆるみが斜面内部の地質不連続面でのすべりに伴って生じること,すなわち流れ盤斜面ではせん断破壊により,受け盤斜面では曲げ引張り破壊により生じていることを事例で示す.

また,斜面計測事例によって,地すべり現象が活発化する前には,斜面内部で変位の伝播とこれに伴う進行性破壊が生じていることが知られる.さらに,地すべり発生の直接的な原因は河川浸食,降雨,地震,斜面末端部の掘削・湛水などであり,地すべり発生までの塑性変形量は地質構成による脆性や延性の違いに依存していると考えられる.

参考文献

- 1) 金折裕司(1994):断層列島,近未来社 pp.19-24.
- 2) 第四紀地殻変動研究グループ(1969):第四紀地殻変動図,国立防災科学技術センター
- 3) 吉川虎雄:湿潤変動帯の地形学(1985):6.4 氷期-間氷期の交代と山地地形の発達(財)東京大学出版会,pp.120-123.
- 4) Radbruch-Hall, D. H. (1978): Gravitational Creep of Rock Masses on Slopes, In Voight, B. ed., Rockslides and

Avalanches, Vol.1, pp.607-657. Elsevier

5) Chigira, M.(1992): Long-term gravitational deformation of rocks by mass rock creep, Eng. Geol. Vol.32, pp.157-184.

キーワード: 遷急線, 河川争奪, 斜面変動, ゆるみ岩盤, 地すべり

Keywords: Knick line, River capture, Mass movement, Loosen rock slope, Landslide

HDS027-P16

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

2010年10月インドネシア国ムラピ火山噴火に伴う火砕流と土石流の発生について (速報)

Pyroclastic flows and lahars at the time of the 2010 eruption of Mount Merapi, Indonesia

山越 隆雄^{1*}, 石塚 忠範¹, 清水 武志¹, 中野 陽子¹, 福島 淳一²

Takao Yamakoshi^{1*}, Tadanori Ishiduka¹, Takeshi Shimizu¹, Youko Nakano¹, Junnichi Fukushima²

¹(独)土木研究所, ²八千代エンジニアリング(株)

¹Public Works Research Institute, ²Yachiyo Engineering Co Ltd.

2010年10月26日、インドネシア国ジャワ島中部のムラピ火山が4年ぶりに噴火活動を再開した。火砕流が南～西方向に発生し、特に11月5日に南方向に流下した火砕流は、山頂から15kmの地点まで到達する大規模なものであった。この時期のムラピ火山周辺は雨季であり、同火山の南～西側斜面を流域とする河川では、土石流の発生が始まり、被害を引き起こしている。同火山山麓では、これまでに200基を超える砂防施設が築造されており、上流域、中流域では土石流の氾濫被害は見られないものの、砂防施設の無い下流域を中心に被害が生じていることが特徴である。

一方、11月5日に発生した大規模な火砕流が堆積したゲンドール川では、その両隣の河川で土石流が発生しているにも関わらず、噴火から2ヶ月以上、土石流が発生しない時期が続いている。同河川では河道地形が完全に埋塞され、流水が集中的に流れられない状況にある。また、1ヶ月以上が経過した2010年12月初頭の時点でも、堆積物上には部分的に地表面温度100℃を超える箇所が見られた。一般に、噴火後の火山では、雨水が表面流として流れ、堆積物を激しく侵食することで土石流が発生すると考えられているが、ゲンドール川では、まだそのような状況になっていないことが考えられる。

キーワード: メラピ火山, 火砕流, 土石流

Keywords: Mount Merapi, Pyroclastic flow, Lahar

台湾南西部泥岩地域のバッドランドにおける斜面表層での侵食と塩分・水分の経時的变化

Temporal variations in erosion rate, moisture and water contents near slope surface in a badland in southwestern Taiwan

樋口 衡平^{1*}, 千木良雅弘¹

Kohei Higuchi^{1*}, Chigira, Masahiro¹

¹ 京都大学防災研究所

¹DPRI, Kyoto University

台湾南西部の鮮新世-更新統泥岩分布域では、急速な侵食により無植生で急峻なバッドランド地形が形成されており、その風化侵食過程を明らかにするため、侵食量の測定と斜面表層の岩石物性の分析を行い、さらに、降水や温度湿度等の外気環境に対する斜面内部の応答を同時に観測した。10,000 ha に渡り分布するその泥岩の一軸圧縮強度は、未風乾のもので 5000 kPa、乾燥により約 3 倍、湿潤により数 kPa となり、乾湿で著しく変化する (Lee et al., 2007)。バッドランド斜面の平均傾斜は 45 から 55 °で、また、その表面侵食は、5 斜面で計 10 本の侵食ピンを用いた測定によると、5 月から 10 月の雨季にのみ発生し、年間平均にすると約 10 cm の速さであった。斜面表層で採取された最長 50 cm のボーリングコアの物性分析では、雨季に採取したものでは、斜面表面から深さ 20 cm までの表層部位で密度が明瞭に減少していた。その時、表層では含水率は高く、また、針貫入抵抗による物理的強度は低くなっていた。乾季に採取したコアでは、これらの性質はその逆の傾向を示した。塩分濃度は斜面表層で最も増加、または減少していた。さらに、斜面表層の塩分集積部位では、減少部と比べ、水分量の増加に伴い間隙径が増加していた。つまり、表層での塩分集積は、塩分濃度の低い降水の化学的浸透を促進し、岩石の膨潤を引き起こしていると考えられ、また、これが大きな侵食速度の一因であると考えられる。バッドランドでは初めての試みとして、斜面に雨量計や温度湿度計、その表面から深さ 40 cm までの 4 箇所に携帯型塩分水分計を設置し、約 1 年間連続観測した。その間の降水は累計 1864 mm で、その内の 96% が 5 月から 11 月に生じていた。水分量は、乾季には表層部で少なく、その終盤から雨季にかけて表層で緩やかに増加した。また間隙水中の塩分は、乾季の間に 10 から 20 cm の深さから次第に浅部に移動し、雨季の開始時には 10 から 20 cm の深さよりも 0 から 10 cm の深さで高濃度になる。このような高塩分濃度の部分に降水が浸透し、表層の塩分濃度は減少傾向に転じ、最終的に侵食される。これらの観測結果は、塩分の移動・濃集・希釈が岩石の劣化と侵食の大きな要因になっていることを示している。

キーワード: バッドランド, 鮮新世-更新統泥岩, 急速侵食, 塩分-水分変化, 観測

Keywords: badland, Pliocene-Pleistocene mudstone, rapid erosion, salinity-moisture variation, monitoring

HDS027-P18

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

レーザープロファイラーを用いた大規模崩壊地における土砂生産プロセスの観測 Field observation of sediment supply processes in a large landslide using laser profilers

今泉 文寿^{1*}, 西井 稜子¹, 村上 亘², 小川 泰浩², 大丸 裕武²
Fumitoshi Imaizumi^{1*}, Ryoko Nishii¹, Wataru Murakami², Yasuhiro Ogawa², Hiromu Daimaru²

¹ 筑波大学, ² 森林総合研究所

¹University of Tsukuba, ²For. For. Prod. Res. Inst.

大規模崩壊地は形成後も拡大崩壊や岩盤の風化, 侵食により大量の土砂を生産しつづける。このようにして大規模崩壊地から生産される土砂は流域の全生産土砂の中のかなりの割合を占めると考えられる。これまで行われた大規模崩壊地に関する研究は, その形成に関わる地質・地形的な特徴, あるいは降雨や地震といった崩壊地形成の誘因に関するものが中心であり, 崩壊地が形成された後の土砂生産過程については未解明の部分が多い。そこで本研究では大規模崩壊地からの土砂生産パターンと土砂生産量の把握, およびそれらと地質・地形の関連性を明らかにすることを目的とし, 赤石山脈南部, 大井川上流域に位置する赤崩における3時期のレーザースキャナによる測量結果を解析した。調査対象地である赤崩は面積 $4 \times 10^5 \text{ m}^2$, 崩壊土量 $2.7 \times 10^7 \text{ m}^3$ におよぶわが国有数の大規模崩壊地であり, 大井川への主要な土砂供給源のひとつである。中生代砂岩頁岩の互層からなっており, 源頭部付近には岩盤クリープの痕跡である線状凹地が多数確認される。赤崩では2003年, 2007年に航空レーザー測量が, 2010年に地上からのレーザースキャナによる測量が行われた。これら3時期における測量結果をもとに, 赤崩における地形変化量の空間分布を求めた。その結果, 赤崩からの土砂生産は, 深さ10m以上の深い崩壊, 侵食速度 1 m yr^{-1} 程度の地層の層理と平行な筋状の侵食, および侵食速度 0.2 m yr^{-1} 程度の面的な侵食の3つに分類されることが明らかになった。深い崩壊は主に遷急線の上部で, 筋状の侵食は地層の層理と平行に形成されている比高数m程度の階段地形の急崖部付近で多く確認された。また, それ以外のところでは面的な侵食がみられた。以上より, 赤崩内での土砂生産のタイプは場所ごとで異なっており, タイプの違いには地質や地形が影響していることが示唆された。

キーワード: 大規模崩壊, 赤崩, レーザープロファイラー, 土砂生産

Keywords: large landslide, Aka-Kuzure, laser profiler, sediment supply