

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：10106

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656281

研究課題名(和文) 雪上を長距離滑走した土砂崩落現象のメカニズムと発生条件の解明

研究課題名(英文) Exploring long-travel conditions and mechanisms for a rock-on-snow avalanche

研究代表者

山下 聡 (YAMASHITA, Satoshi)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：00174673

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月12日の長野県北部地震では雪に覆われた斜面で岩石なだれが発生し通常より長距離拡散した。しかし、メカニズムも発生条件も不明であった。申請者らは観察事実を収集し、それを基礎に2つの実験を行った。第1は3.0kg以下の岩石を模型雪斜面上に落下させる実験であり、第2は6tの岩石と土を50m長の雪斜面に落下させる実験である。第1の実験では硬い雪上では長距離運動が実現したが、軟らかい雪上や、岩石に雪や水が運動中に付加されてもその長距離の運動につながらない可能性が明らかになった。第2の実験では、一部で雪の圧縮により硬い雪が形成され、その上に岩石と土が載って雪上を移動する状況が観察された。

研究成果の概要(英文)：On 12 March 2011, earthquake-induced rock avalanches in Nagano and Niigata prefectures, Japan, traveled long distances over snow on gentle slopes. However, the conditions and mechanisms of long travelling has not known. We investigated the rock-on-snow avalanches in the field. Based on the field observations, we explored the influence of snow properties on the travel distance of a rock-on-snow avalanche in two experiments. (1) We dropped 0.5 and 3.0 kg of angular gravel, or gravel mixed with snow or water, onto a slope covered with snow. (2) We dropped 6 tons of rock and soil onto a 50-m-long slope covered with natural snow. In the first experiments, gravel mixed with snow traveled as far as gravel without snow, but gravel dropped on hard snow traveled farther. In the second experiment, impulsive compression produced a hard snow layer carrying rock and soil.

研究分野：地盤工学

キーワード：雪上滑走型岩石なだれ 雪崩 模型実験 豪雪地域 地震 斜面災害

1. 研究開始当初の背景

2011年3月12日、長野県北部栄村を震源とする最大震度6強の地震が発生した。本地震は豪雪地帯で冬季に発生した例で、多数の雪崩と土砂災害も発生したことから、今後の豪雪地域における地震防災を考える上で重要な災害と判断し、申請者らは発生直後の土砂災害を調査した。その中で、崩壊規模に比して長距離運動した特異な土砂崩壊現象を認めた(図1)。みかけの摩擦角(崩壊堆積物末端から崩壊上端への仰角)は、乾燥していたと思われる小規模崩壊としては例の無い極めて小さなものであった。しかも、移動体周辺の立木が風圧で倒れるなどの状況から発生時には時速100kmを越える速度で運動したことが伺われるが、移動体の乱れは小さく、移動体底層にせん断(滑動)が集中していることがわかった。また、後の調査で移動体の底層には大量の積雪が全面的にあったことも判明した。これらのことから、崩壊した土砂の底層にあった雪が何らかの形で関与し、小規模な崩壊が長距離かつ破壊的な現象となったと考えられた。しかし、同様な現象はこれまでに複数の報告があるものの、本現象は雪崩とも土砂崩れとも異なるため、どれもメカニズムの解釈には踏み込めずにいた。積雪地域で、地震時に発生した小規模岩石なだれが、通常の想定を超えて大きく移動・拡散することがあればそれは積雪地域において大きな脅威である。それは小規模な岩石なだれは大規模現象に比較してずっと発生割合が多く、その点で十分追求することが重要な現象であった。



図1 2011年長野県北部地震で発生した雪上滑走型岩石なだれ(新潟県提供)

2. 研究の目的

申請者らは、以上の背景に鑑み、この小規模岩石なだれの長距離運動現象のメカニズムの解明を試みた。特に申請者らは、移動体底層の多量の雪が何らかの形で関与して摩

擦を減少させたために発生したと考え、雪質や規模を様々に変えた落石実験を行うことでこの現象の解明を試みた。

3. 研究の方法

本研究では、先述の長距離滑走が確認された複数地点における地形・地質的な共通点の詳細な再調査と試料確保を行った上で、以下に示す3つの手法によってそのメカニズムと発生条件の解明を試みた。

第1として、2011年長野北部地震における災害の再検討および、類似の雪上滑走型岩石なだれ、およびその関連現象の事例収集である。雪上に落下する落石や土砂崩れは多発していると考えられた。申請者らは東北地方各地および道内各所において事例収集を行うとともにその雪質条件の情報を収集した。

第2として、模型雪斜面を大型冷凍庫内に設置し(図2)、それに硬さ、含水率、密度、温度などを変えた様々な雪を再現し、そこに土砂を落下させ、その移動距離を基準として雪質による落下岩石の可動性を評価した。また、岩石に雪を混ぜた場合、または水と雪を混ぜた場合といった、再検討の結果判明した現場と類似の状況を再現した実験を行った。

第3として、屋外に50m長の天然雪斜面を造成し、そこに6tの岩石落下実験を行った(図3)。これにより、実験スケールの違いによる落下する岩石と雪との関係を考察した。

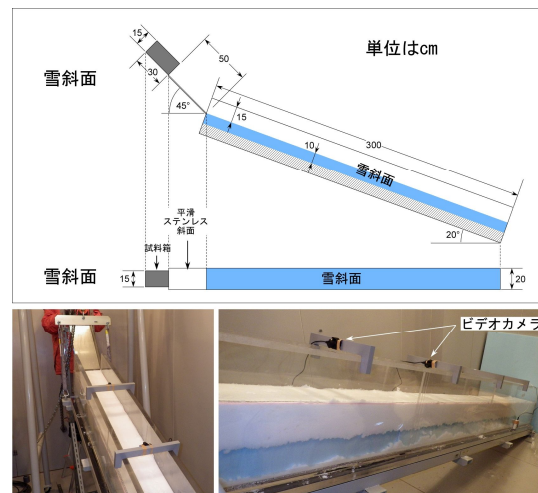


図2 大型低温室内に設置した模型雪斜面

4. 研究成果

前章で述べた3つの検討項目を元に成果を列挙する。

(1) 現地災害状況の詳細な検討と再検討によるメカニズムの推定

申請者らのうち、山崎と川口は、2011年長野北部地震の新潟県津南町および長野県栄村の災害事例の再検討を行い、その現象が、3箇所に限られること、そして、特に重点的に考察を行った津南町辰の口の地形と有限会社風水士・永田氏から提供頂いた写真およ

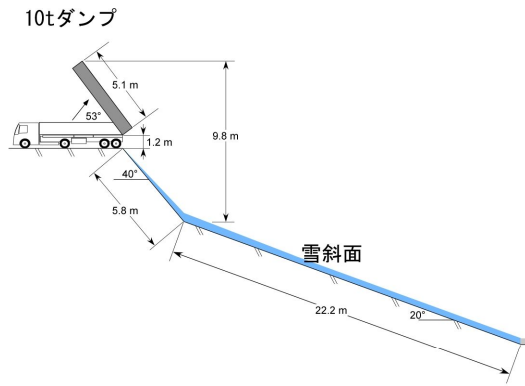


図3 天然雪を用いた実験斜面

び長野県および新潟県から提供を受けた写真および測量データから、現地で発生した雪上滑走型岩石なだれの速度が谷の中流部付近で秒速 15 m であったことを確認した (Yamasaki et al., 2014 ほか, 学会発表, 2014)。また, 山崎による東北地方および北海道における積雪期の落石事例を3カ年に渡って3月に繰り返し調査を行い, また海外事例の収集を重ねることで, 2011年長野北部地震で確認された災害例は, 他地域ではほとんど発生せず, 唯一, 氷河上では長距離流動する例があることがわかった。そのため, 氷河上の環境と長野県北部地震発生時の環境の類似性の検討も必要であることがわかった (学会発表, 2014)。

(2) 室内模型実験による長距離流動の発生条件の検討

申請者らは, 再現が可能な小規模な現象においてどのような流下から停止にいたるプロセスがあるのか, 模型雪斜面 (斜面 20 度) を用いて岩石を雪上に落下させた。そして, 落石の材質 (礫 (2-1 cm 径), 小礫 (0.5-1 cm 径), 粗粒砂 (0.5-1 mm)), 斜面の材質 (礫および雪, その温度条件や温度履歴, 雪硬さ, 落石規模) などの実験環境を変えながら実施した。環境を変えながら実験し, 雪の物理的性質に変化を与えた。そして, 実験結果を元に, 再度, 長野北部地震発生時の状況と比較を行った。その結果, 次のような実験的事実を発見し, これらの結果は, 学会で発表 (Yamasaki et al., 2014) するとともに論文を準備中である。それらの結果は要約すれば以下である。

岩石および岩石と雪の混合物は礫斜面に比べて雪面上をわずかに遠方まで到達した。

雪面上では, 岩石および岩石と雪の混合物は, より硬い雪面ほど遠方まで到達した。

雪面上では, 岩石のみを落下させる時に比べて, 岩石と雪の混合物は, より手前で停止した。

雪面上では, 岩石と雪の混合物において, 雪を含む量が多くなればなるほど, より手前で停止した。

雪面上では, 岩石と雪の混合物に水を加えシャーベット状にしたものを落下させると, より手前で停止した。

雪面上では, 粒径の小さな岩石を落下させると, より大きな粒径の岩石にくらべて, より手前で停止した。

以上の結果が示すのは, 積雪上では地質材料からなる斜面に比べると岩石の可動性を上昇させることを示唆する結果となったが, 長距離流動にはつながらなかった。一方で, 小規模な雪上への落石現象を考える上で特に重要なのは, 雪や水が岩石に落下中に混入しても, 長距離の移動につながらないという点である。申請者らは, この結果から, 季節性の軟らかい積雪では, 雪は滑剤として働くのではなく, むしろ衝撃緩和材として働き, 極端な摩擦低下をもたらさないと考えた。これは, 岩石の粒径が小さいほど移動距離が小さくなるという結果とも矛盾しない。一方で氷河のような硬い雪層を再現して落下させると大幅に岩石は滑走距離を伸ばした。つまり, 硬い雪層の存在など特殊な条件でないと雪上を長距離滑走する岩石なだれは発生しないということであった。

(3) 屋外実験における雪上での落石の移動プロセスの検討

屋外実験では, 最終年度に3回の落石実験を行った。設置場所は複数の場所の検討の結果, 北海道美幌町に決定した。この研究結果については多くの点で解析中であるが, 一部は学会発表を行った (Yamasaki et al., 2014)。

この実験では, 前述したように, 落下物質は, 6 t の岩石と土の混合物である。1つは通常の盛土からなる斜面に落下させたもの (対照実験) であり, 2つは12月 (実験1) と3月 (実験2) に雪上に落下させたものである。3月に行った実験2では, 通常の盛土斜面上に落下させたものと変わらない結果が得られたが, 12月に落下させた実験1ではその3倍程度の長さで雪上を岩石と土砂が拡散して停止した。我々は岩石・土と衝撃的に接触した雪層を掘削し, その雪の硬さをコーン貫入測定法によって測定した。その結果, 岩石・土の直下には圧縮され硬化された雪層が形成されていた。一方で, その雪層の下方には圧密は及んでおらず, 通常雪層とほぼ同じで, 上部から下部までで最も硬度が小さかった。しかし, 実験2ではこのような硬くなった雪層は形成されなかった。現在この実験

結果の差異については解析中であるが、実験1では硬い雪層が形成されただけでなく、硬くなった雪が岩石と土砂を載せて移動する様態が認められ、申請者らのグループはこの圧縮形成された雪層と雪層の間の滑りが岩石と土砂を対照実験の3倍程度の遠方へ移動させたと結論している。

以上の(1)~(3)に示した結果からは、極端な長距離移動を伴う雪上滑走型岩石なだれの発生条件とメカニズムの解明には至っていないものの、運動時における岩石-雪-水の相互関係の一部が明確になったと考えている。

現在、申請者グループはこの硬化した雪の形成と、その雪層上でのすべりが長距離滑走現象を発生させた状況であると仮定し、衝撃硬化による雪層の変化、摩擦低下などを調査すべく再検討を行っている。この仮説は、Hasらが2011年長野県北部地震で観察した事例(Has et al.2013, Landslides)と矛盾せず、Yamasaki et al., 2014でも末端の一部で、岩石を載せた雪が下層の雪層に乗り上げたことを指摘している。また複数の実験により、衝撃硬化による雪の形成にはその雪のもつ特性が左右することが示唆されている。本研究により、メカニズムと発生条件を考察する緒がつかめたことで、さらに雪の物性および形成履歴に注目して、継続して検討を行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Yamasaki, S., Nagata, H., Kawaguchi, T., Long-traveling landslides in deep snow conditions induced by the 2011 Nagano Prefecture earthquake, Japan, Landslides, 2014, 11, pp.605-613, 査読有.
DOI: 10.1007/s10346-013-0419-z

〔学会発表〕(計 6 件)

山崎新太郎, 川口貴之, 中村大, 山下聡, 雪上滑走型岩石なだれの長距離運動条件に関する考察, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張メッセ(千葉市), 2015年5月。

山崎新太郎, 川口貴之, 中村大, 山下聡, 白川龍生, ハス・パートル, 雪上滑走型地すべりに関する長距離運動の発生条件-実現象の観察と実験からの洞察, 日本地球惑星科学連合2014年大会, パシフィコ横浜(横浜市), 2014年4月。

山崎新太郎, 寒冷地域の新たな斜面リスク, 地盤工学会北海道支部セミナー「土を考える」(招待講演). 大成建設(株)札幌支店会議室(札幌市), 2013年11月。

山崎新太郎, 川口貴之, 中村大, 山下聡, 雪上を流下する岩層なだれ現象の実験的研究, 雪氷研究大会, 北見工業大学(北

海道), 2013年, 9月。

Yamasaki, S., Nagata, H., A long-traveling landslide in deep snow conditions: A case study of the Tatsunokuchi landslide induced by the 2011 North Nagano Prefecture Earthquake, International Symposium on Earthquake-Induced Landslides. 桐生市市民文化会館(群馬県), 2012年, 11月。

山崎新太郎, 川口貴之, 中村大, 山下聡, 深雪条件で発生した長距離流動型地すべり-2011年長野県北部地震の災害事例から-, 雪氷研究大会, 福山市立大学(広島県), 2012年, 9月。

〔図書〕(計 1 件)

Yamasaki, S., Nagata, H., A long-traveling landslide in deep snow conditions: A case study of the Tatsunokuchi landslide induced by the 2011 North Nagano Prefecture Earthquake, Earthquake-Induced Landslides, Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides, Kiryu, Japan, 2012, vol. 1. pp. 203-211.

DOI: 10.1007/978-3-642-32238-9

6. 研究組織

(1)研究代表者

山下 聡 (YAMASHITA, Satoshi)
北見工業大学・工学部・教授
研究者番号: 00174673

(2)研究分担者

川口 貴之 (KAWAGUCHI, Takayuki)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 20310964

中村 大 (NAKAMURA, Dai)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 90301978

山崎 新太郎 (YAMASAKI, Shintaro)
北見工業大学・工学部・助教
研究者番号: 40584602

(3)研究協力者

ハス パートル (HAS, Baator)
永田 秀尚 (NAGATA, Hidehisa)