

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510263

研究課題名(和文) 豪雪地帯における地震により誘発される土砂と雪の複合流動現象に関する研究

研究課題名(英文) a study on soil-snow mixed snow avalanche induced by earthquake in snowy area

研究代表者

上石 勲(kamiisi, isao)

独立行政法人防災科学技術研究所・観測・予測研究領域 雪氷防災研究センター・総括主任研究員

研究者番号：60455251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：平成23年3月の長野県北部地震発生箇所や新潟県内の平成23年や平成24年の大雨によって表層崩壊が発生した斜面では冬期に土砂と雪の複合流動現象が発生しやすくなっていることが確認された。また、長さ5mの斜面でマイナス10℃の低温室と野外で土砂と雪の複合流を発生させる実験を行って、流下延長と流下速度を測定し、乾雪が湿雪よりも流下延長が長く、また土砂と雪の混合比を変えることによって、流下状況が変化することがわかった。さらに、土砂と雪の2相の運動解析シミュレーションにより検証を行った。また、雪崩発生履歴斜面で解析を行い、雪崩の到達範囲を求めた。

研究成果の概要(英文)：Soil-snow mixed avalanches are easy to occur in winter on the collapsed slopes induced by the North Nagano prefecture Earthquake on March 2011 and heavy rain fall on 2011 and 2012. We have experimented soil-snow mixed snow avalanche on 5m slope in low -10℃ temperature room and outside, and observed flow length and flow velocity. We founded that dry snow flow longer than wet snow. By changing of mixing ratio of soil and snow, soil-mixed flow change different flow behavior. We simulated soil-snow mixed flow by two phase liquid model. We simulate the snow avalanche flow of avalanche on slopes.

研究分野：複合新領域

キーワード：積雪 土砂 複合流 地震

1. 研究開始当初の背景

平成 23 年 3 月 12 日に発生した長野県北部地震では土砂崩壊に伴う雪崩が多数発生した。この現象は流動性が高いことが特長で、通常の雪崩よりも流下距離が長く、一部では道路まで到達するなどの被害を与えた。最近では数年に 1 度の割合で大雪となることを考慮すれば、豪雪地帯における大雪時の地震災害も想定しておく必要がある。「地震によって誘発される土砂と雪の複合流動現象」についてはこれまで研究事例がなく、実態が解明されていない。

2. 研究の目的

本研究課題である「豪雪地帯における地震により誘発される土砂と雪の複合流動現象に関する研究」について研究を進めることにより、積雪地域の地震による斜面複合災害を想定し、ひいてはその被害低減につながる研究成果が期待できる。土砂と雪の複合流動現象に対して、雪氷工学と地盤工学の専門家がタッグを組んで、同じベクトルで研究を進めるため、両工学の知見を融合させた合理的な軽減の議論が可能となる。

3. 研究の方法

本研究は、積雪地域における土砂と雪の複合流動現象の事例収集解析 実験による土砂と雪の複合流の流動特性の把握 数値解析モデルによる土砂と雪の複合流動現象の解明 ケーススタディーによる豪雪地帯の地震による土砂と雪の複合流による災害の想定 4 段階で 2 名の研究者 (防災科研・上石、東北大学・森口、平成 25 年度より日本大学・小田が参加) がそれぞれの専門分野を活かし担当しつつ、お互いの協力のもと進める。平成 24 年度は事例解析と実験、数値解析を実施する。平成 25、26 年度は実験と数値解析を発展的に継続したうえで、ケーススタディーを実施し、積雪期の地震により「どこでどのような斜面複合災害が発生するか」「破壊後の流動がどうなるか」を把握し、最終的に、積雪期の地震による斜面複合災害による被害を想定する計画とした。

4. 研究成果

(1) 地震・大雨・大雪による複合災害事例調査

長野県北部地震によって被害を受けたスノーシェッド (新潟県津南町) の坑口上部斜面において、斜面上部から発生した雪崩がスノーシェッドと擁壁の間をすり抜け一部道路まで流出した (図 1)。長岡市山古志地区では中越地震後に地すべりが発生し、その後の大雪では雪崩、平成 24 年 7 月の大雨では同箇所です砂災害、今年の冬期には雪崩と立て続けに斜面災害が発生した個所もあり、それぞれの復旧工事が完成する前につぎの災害が発生している (図 2)。また、平成 23 年

7 月の大雨で土石流が発生した斜面で、冬期に大規模な表層雪崩が発生し一部建物に被害を与えたところもあった。



図 1 地震崩壊斜面における雪崩発生

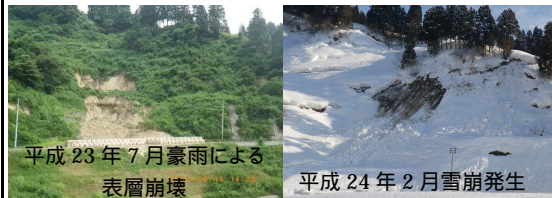


図 2 大雨による被災斜面における雪崩発生

(2) 模型実験

低温室実験

・実験条件および方法

本研究では、斜面全長約 5m の模型斜面を使用した。実際の斜面に似せるため、模型斜面に雪を敷き固めた。また、斜面上部に取り付けた三角形の流動発生装置に試料入れ、装置の扉を開けることによって斜面上に試料を落下させた (図 3、図 4)。実験に用いた雪は、できる限り一定条件で実験を行うため、降り積もった新雪を低温室で保管したものをを使用した。表 1 に示した実験名の Y は乾雪、S は乾砂を表し、Y1-S1 (雪上) は流動発生装置内の上部 1/3 が雪、下部 2/3 が砂であり、Y1-S1 (砂上) は上 1/3 が砂、下 2/3 が雪を意味している。また、Y-S は同じ体積の雪と砂を混ぜたものである。実験に使用した試料は固まりをなくすため、実験直前にふるいに掛け、質量を測ってから流動発生装置に設置した。

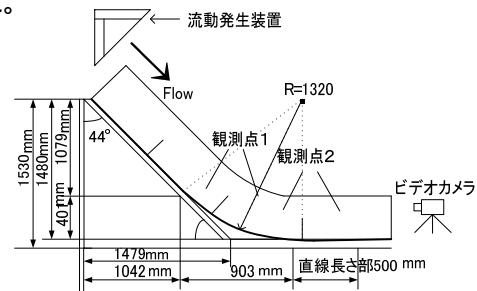


図 3 模型斜面の寸法

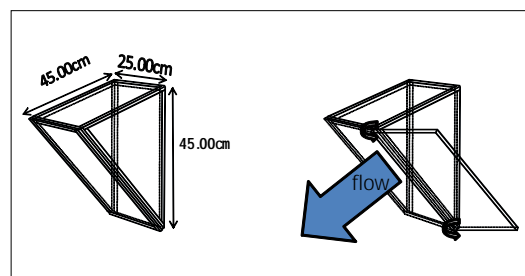


図 4 流動発生装置の寸法

表 1 実験内容の詳細

実験名	乾雪 質量	乾砂 質量	体積 率	回 数
Y1-S0	16 [kg]	0 [kg]	1:0	5
Y0-S1	0 [kg]	30 [kg]	0:1	5
Y1-S1(雪上)	8 [kg]	15 [kg]	1:1	1
Y1-S1(砂上)	8 [kg]	15 [kg]	1:1	1
Y-S	8 [kg]	15 [kg]	1:1	2

図 5 は雪崩の到達距離と深さの関係を示している。表 2 から、Y1-S0 と Y0-S1 を比べると、わずかに Y1-S0 が到達距離が長いことがわかる。また、Y1-S1(雪上)も、Y1-S1(砂上)の場合で、到達距離が長くなることわかる。Y-S は全実験中、到達距離が一番短いことがわかる。一方で、乾砂より乾雪の方が、斜面上を流動した場合、到達距離が長くなることわかる。このことから、乾砂が下の時より乾雪が下の時の方が到達距離は長くなったと考えられる。撮影したビデオカメラの動画から流下発生地点の 0m から 200cm までの流下速度を計算した。200cm までの流下速度はそれぞれの場合での違いは、ほぼ見られないことがわかった。

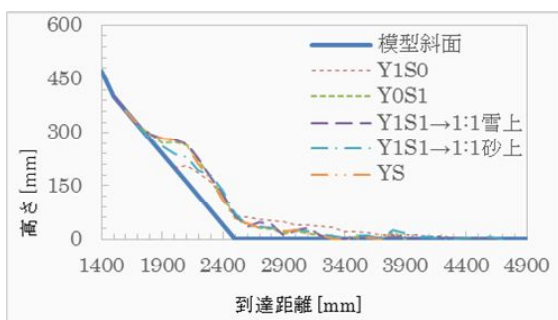


図 5 到達距離と深さの関係

表 2 到達距離のまとめ

	Y1-S0	Y0-S1	YS-S1 (雪上)	Y1-S1 (砂上)	Y-S
1	4.6m	3.8m	3.9m	4.6m	3.6m
2	4.6m	3.8m			3.6m
3	4.6m	3.8m			
4	4.6m	3.7m			
5	4.6m	3.8m			

#### 野外実験

本研究では、雪崩の長距離流動現象の発生メカニズム解明を目的とした、小規模な雪崩流動実験を行った。使用した模型斜面は、斜面傾斜角 45 度、斜面長約 2m、流下走路計約 5m、幅 20cm を用い、底面には人工芝を使用した。実験は野外で行い、雪は雪氷防災研究センター敷地内に積もった自然積雪を使用

した。実験ケースは、雪のみを流下させた実験と、直径 2mm ~ 10mm 程度の砂利を混入させた実験を行い、砂利と雪とを混合させたことで長距離流動現象の発生につながるかを検証した(図 6)。



図 6 模型斜面外観

実験から、雪のみを流下させた場合に比べて、砂利を混合させた場合では到達距離が短くなる結果が得られた。しかしながら、砂利を混合させた実験では、雪のみの実験に比べて流下後のデブリ厚が先端に厚くなった。このことから、砂利を混合させることで、雪崩の流下エネルギーが大きくなっていることが推察された。

#### (3) 運動解析とハザードマップ作成

本研究では、これまでに、土砂流動を対象として開発された数値解析手法を、雪崩の流動解析に適用してきた。この手法は、Euler 型の流体解析手法であり、流動材料はせん断強度を有する流体である Bingham 流体としてモデル化される。また、土や雪の材料定数である内部摩擦角と粘着力を用いて、流動材料の流動特性を調整することができる。本研究では、この手法を実際に発生した雪崩の再現解析に適用した。

対象とした雪崩が発生した斜面は、レーザープロファイラーによる現地地形計測が実施されているため、この情報を用いて解析モデルを作成した。解析パラメータのうち密度は現地で計測された平均値を用いた。内部摩擦角、粘着力、底面摩擦低減係数などの値は既往の研究を参考に決定した。現地調査により、対象区域の平均積雪深が 2.7m と報告されているため、発生区の積雪深さは 3m に設定した。なお、流動材料以外の部分については、空気が存在するものとして、非圧縮性 Newton 流体として表現し、空気の粘性係数や密度を入力パラメータとして用いていた。

図 7 に解析結果を示す。解析から得られた雪崩の挙動は、実際のものと同様に、斜面下の既設の待ち受け型の防護壁を乗り越え、道

路にまで達している。さらに、実際の雪崩と比べて、流下経路や斜面上および斜面下でのデブリ(雪崩による堆積物)の堆積状況が良く一致していることが確認できる。これらの結果より、本研究で実施した再現解析は、現実の雪崩の挙動を精度よく再現しているものと考えられる。

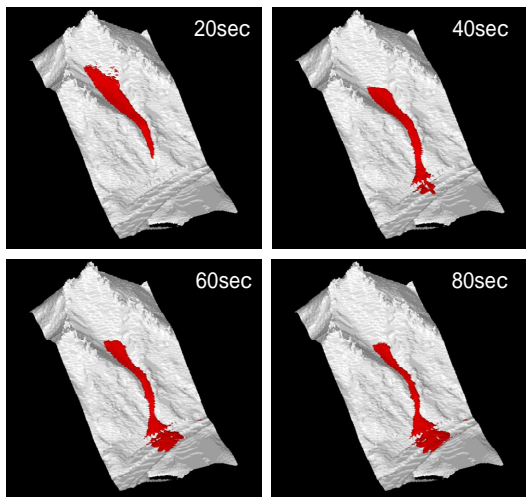


図 7 Simulated result

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

森口周二, 沢田和秀, 上石勲, 小田憲一: 非Newton 流体モデルによる雪崩シミュレーション, 第 25 回計算力学講演会論文集, pp.24-26, 2012.(査読無)

上石勲, 安達聖, 山口悟, 本吉弘岐, 伊東靖彦, 池田慎二, 松下拓樹, 町田誠, 町田敬: 2012-13 冬期に発生した特徴ある雪崩, 雪氷北信越, Vol.33, 38p, 2013.(査読無)

上石勲, 安達聖, 阿部修, 小杉健二, 伊東靖彦, 池田慎二, 松下拓樹: 2013 年 2 月 25 日、栃木県北部地震によって多発した表層雪崩と大規模雪崩, 日本雪工学会 上信越支部 第 13 回研究発表会, 2013.(査読無)

森口周二, 沢田和秀, 八嶋厚, 上石勲: 防護工の評価のための雪崩シミュレーション, 第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集 (CD-ROM), Vol.48, 2013.(査読無)

久野泰嗣, 森口周二, 沢田和秀, 上石勲, 岩田麻衣子: 土砂混じり雪崩に関する基礎的研究, 第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集 (CD-ROM), Vol.48, 2013.(査読無)

S. Moriguchi, K. Terada, J. Kato, S. Takase: Effects of grain size and grain shape in granular flow simulations, Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics, pp.1453-1456, 2014.(査読有)

Kenichi Oda, Isao Kamiishi, Satoru Yamaguchi, Yoshihiro Nakamura and Tomio Tanaka: SIMULATION OF AVALANCHE MOTION FOR DESIGN OF

SNOW PREDICTION, ISSW2014, pp.702-707, 2014.(査読無)

[雑誌論文](計 5 件)

[学会発表](計 10 件)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]  
出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

上石勲 (KAMIISI, Isao)

観測・予測研究領域 雪氷防災研究センター・総括主任研究員  
研究者番号: 60455251

##### (2) 研究分担者

森口周二 (MORIGUCHI, Shuji)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授  
研究者番号: 20447527

小田憲一 (ODA, Kenichi)

日本大学・理工学部・助教  
研究者番号: 70632298

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: