

一般共同研究（課題番号：30G-02）

課題名：積雪層の力学的性質が地すべり活動に及ぼす影響の解明

研究代表者：岡本 隆

所属機関名：国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所

所内担当者名：松浦 純生

研究期間：平成 30 年 4 月 1 日 ～ 令和 2 年 3 月 31 日

研究場所：新潟県伏野地すべり試験地・森林研究・整備機構・京都大学防災研究所

共同研究参加者数：6 名（所外 4 名，所内 2 名）

- ・大学院生の参加状況：2 名（修士 2 名，博士 0 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [大学院生は調査補助者等として現地積雪調査に参加した]

研究及び教育への波及効果について

冬季の積雪調査を大人数の研究者らで集中実施したことにより，地すべり地に堆積する積雪層の雪質，力学特性に関する包括的な情報を得ることができた。また，現地調査においては，斜面災害の研究者と雪氷災害の研究者が一堂に会し，それぞれの専門的知見や解決すべき課題を共有できたことで，積雪地域における地すべり現象・災害に関する理解の進展が大きく進んだ。

研究報告

(1) 目的・趣旨

冬季に厚い積雪層に覆われる東北地方の日本海側や北陸地方には数多くの地すべりが存在する。そこでは，降雨のみならず冬季の積雪環境が地すべり活動に大きな影響を及ぼす。これまでに分かっていた雪の影響要素としては，融雪による地下水位上昇が広く認識されており，また積雪荷重の影響も理解されつつある。近年はさらに，地すべり移動域—不動域境界の地表に堆積する積雪層が自らのせん断抵抗力を発揮して地すべり活動を抑制する“積雪層のネット効果”が指摘されているが，その実態や定量的な評価は進んでいない。本研究では，この積雪層のネット効果を明らかにするため，豪雪地帯の地すべり地に堆積する積雪層の諸性質に関する現地調査を実施し，その物理・力学特性を明らかにするとともに，現地で得られた積雪層のせん断強度を組み込んだ三次元斜面安定解析を行って，積雪層のせん断抵抗力が斜面安定に及ぼす影響を検討した。

(2) 研究経過の概要

積雪層の力学特性が地すべり活動に与える影響を明らかにすることを目的として，冬季の最大積雪深が 3～5m に達し，すべり面深度が 5m 前後と浅い新潟県上越市の再活動型地すべり（伏野地すべり）を試験地として設定した。当地すべりは積雪深の増大に伴って活動が沈静化する活動履歴を有している。

平成 30 年度は，伏野地すべり左岸側壁斜面において積雪調査を実施した。2019 年 3 月 3 日に積雪断面（積雪深 3.08 m）を掘削し，シアーフレーム（金属製枠，せん断有効面積 0.01 m²）による積雪層のせん断強度指数 SFI（kPa）を積雪層の平行面および鉛直面でそれぞれ測定した。またプッシュゲージ（デジタル式荷重測定器）による積雪硬度も合わせて測定し，既往の推定式に従って間接的に SFI を算定した。このほか，積雪層の諸性質として，雪質，粒径，雪温，密度（層別・全層），含水率を測定した。

令和元年度は，積雪層のせん断強度が地すべりの安定性に与える影響を検討するため，伏野地すべりを模した長さ 120m，幅 40m，層厚 5m，勾配 7 度の単純な形状からなる地すべり移動層に積雪層を載荷させた三次元数値モデルを作成した。すべり面の土質定数は，積雪載荷前の斜面安全率が 1.000 となるよう，内部摩擦角 8.0 度，粘着力 3.0kN/m²（逆算値）を与えた。このときの地下水位はすべり面底面から地表までの距離の 2/3 に相当する水位を設定してある。この初期条件に対し，層厚 3.1m の積雪深に単位体積重量を乗じて求められる積雪荷重（13.33kN/m²）を与えたのち，前年度の測定結果を踏まえ，積雪層

のせん断強度が0~10kN/m²の範囲における斜面の三次元安全率(Fs)の変化を三次元簡易 Janbu 法を用いて計算した。

(3)研究成果の概要

シアーフレームおよびプッシュゲージによって測定された積雪層のせん断強度は概ね 0~15kN/m² の範囲に収まった。深度別に見ると圧密された積雪下層で増加する傾向が認められ、積雪深 1.18m (鉛直面測定では 1.31m) 以下ではシアーフレームの計測許容量を超過し測定が不可能となった。測定可能範囲における平均せん断強度は 7.9kN/m² であった。本来は雪崩発生面などの弱層の強度測定を主目的とする既存のシアーフレームでは、硬い氷板等が挟在する積雪全層の測定に対して限界があることが分かり、今後は硬層を含む積雪層での測定精度向上にむけて手法の改良を進める必要があると考えられた。

地すべりの三次元斜面安全率(Fs)は、上載する積雪層のせん断強度の増加にともなって大きく上昇した。現地で直接測定された積雪層の平均せん断強度(7.9kN/m²)の条件下でFsは1.000 から 1.135 まで 13.5%上昇すると見積もられた。一般に、滑動した地すべりに対しては、目標安全率 1.1~1.2 を目処に集水井工などの対策事業が実施されることが多い。したがって、今回の計算ケースのような地すべり移動層の層厚が薄く(5m)、勾配の緩い(7度)の条件下では、約 3.1m の積雪層は従来の対策工に匹敵する地すべり抑制効果を間接的にもたらす可能性が示唆された。今後は実際の地すべり形状を反映したモデルでの解析を実施し、詳細な検証を進める予定である。

(4)研究成果の公表

【論文】

岡本隆, 大澤光, 平島寛行, 竹内由香里, 松浦純生, 柴崎達也 (2020), 積雪層のせん断抵抗力が斜面安定に及ぼす影響の数値的検討, 関東森林研究, (印刷中)

【学会発表】

岡本隆, 大澤光, 平島寛行, 竹内由香里, 松浦純生, 柴崎達也, 阿部修 (2019), 地すべり地に堆積する積雪層のせん断強度測定, 第 58 回日本地すべり学会研究発表講演集, 216.

岡本隆 (2019), 雪氷圏で生じる地すべり現象とその機構, 京都大学防災研究所シンポジウム「雪氷圏における海岸地すべりの動態と発生機構を探る」, 1-6.

岡本隆 (2019), 積雪層の力学特性が地すべりの安定性に及ぼす影響の数値実験, 第 9 回関東森林学会大会, 18.

岡本隆, 松浦純生, 大澤光, 平島寛行, 竹内由香里, 柴崎達也 (2020), 地すべりの安定性に及ぼす積雪層の力学的影響評価, 令和元(2019)年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P04.

岡本隆, 大澤光, 平島寛行, 竹内由香里, 松浦純生, 柴崎達也 (2020), 地表面に堆積する積雪のせん断抵抗力を考慮した斜面安定解析, 第 131 回日本森林学会大会, 234.