

## 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

岡本隆<sup>1</sup>・大澤光<sup>2</sup>・平島寛行<sup>3</sup>・竹内由香里<sup>1</sup>・松浦純生<sup>4</sup>・柴崎達也<sup>5</sup>

- 1 森林総合研究所
- 2 筑波大学山岳科学センター
- 3 防災科学技術研究所
- 4 京都大学防災研究所
- 5 国土防災技術株式会社

**要旨**：積雪地域の地すべり地では、移動域—不動域境界に堆積する積雪層がせん断抵抗力を発揮して地すべり活動を抑制する可能性が指摘されている。そこで、単純形状の地すべり移動層を表現する三次元数値モデルを作成し、現地で直接測定された積雪層のせん断強度を加味した三次元斜面安定解析をおこなった。解析の結果、積雪層は斜面を力学的に安定させる抑制効果を有する可能性が定量的に示された。

**キーワード**：地すべり，積雪，斜面安定解析，せん断強度

## Numerical examinations of the effects of snow resistance on the slope stability

Takashi OKAMOTO<sup>1</sup>, Hikaru OSAWA<sup>2</sup>, Hiroyuki HIRASHIMA<sup>3</sup>, Yukari TAKEUCHI<sup>1</sup>, Sumio MATSUURA<sup>4</sup>, Tatsuya SHIBASAKI<sup>5</sup>

1 Forestry and Forest Products Research Institute

2 Mountain Science Center, Tsukuba University

3 National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

4 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

5 Japan Conservation Engineers Co.,Ltd.

**Key-word**: Landslide, Snow pack, Slope stability analysis, Shear strength

## I はじめに

冬季の積雪深が3 m以上に達するような豪雪地域の地すべり活動は、融雪を起因とした発生(1)や積雪荷重による活動低下(2)のように積雪環境に強い影響を受けることが知られている。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可能性が指摘されている(2)(図-1)。しかし、その評価事例はまだ少ない。そこで本研究では、現地で直接測定した積雪層のせん断強度を用いて三次元斜面安定解析をおこない、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。

## II 調査および解析方法

新潟県上越市の伏野地すべり試験地左岸側壁斜面において2019年3月3日に積雪調査を実施した。ざらめ雪としまり雪の互層からなる積雪断面(積雪深3.08 m, 全層密度437 kg/m<sup>3</sup>)にて、シアフレーム(金属製棒、

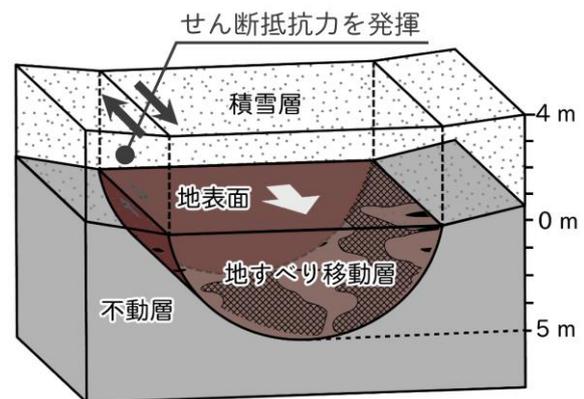


図-1. 地すべり活動を抑制する積雪層のせん断抵抗力

せん断有効面積0.01 m<sup>2</sup>)を用いて積雪層面のせん断強度(SFI)を深度別に直接測定した。硬質なため測定不可となった積雪深1.18 m以深を除いた積雪層全体の平均SFIとして7.9 kN/m<sup>2</sup>が得られた(3)。

測定された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、Shibasaki ら(4)の先行研究を参考に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(図-2)。地すべり移動層の形状は調査をおこなった伏野地すべりの実態にあわせて長さ120m、幅40m、層厚5.0m、勾配7.0°の舟底型とした。地すべり土層は主に強風化の泥岩および凝灰岩で構成され、すべり面は粘土化して強度低下が生じている。すべり面の土質定数は、積雪載荷前の斜面安全率が1.00となるよう、内部摩擦角に8.0°、粘着力3.0 kN/m<sup>2</sup>(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(13.33 kN/m<sup>2</sup>)を与えたのち、積雪層のせん断強度を0~10 kN/m<sup>2</sup>の範囲で変化させたときの斜面の三次元安全率(F<sub>s</sub>)の変化を計算した。同計算には鶴飼ら(5)の簡易Janbu法に基づく計算プログラムSSA\_3Dを用いた。地すべり移動層、すべり面、積雪層の材料パラメータは表-1に示すとおりである。

### III 結果と考察

積雪層のせん断強度の変化にともなう斜面安全率(F<sub>s</sub>)の変化を図-3に示す。F<sub>s</sub>は積雪荷重の作用によりわずかに低下したが、せん断強度の増加にともなって大きく上昇し、現地で直接測定された強度の平均値(7.9 kN/m<sup>2</sup>)においてF<sub>s</sub> = 1.135まで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(6)。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°)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。

**謝辞:** 本研究は京都大学防災研究所一般共同研究30G-02(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)およびJSPS 科研費JP19H03009の助成を受けた。

### 引用文献

- (1) 丸山清輝・近藤政司(1988)新潟県における積雪期の地すべりについて。地すべり 25(2)18-26
- (2) 岡本隆・松浦純生・浅野志穂(2008)積雪地域における浅層地すべりの変形機構。日本地すべり学会誌 44:

358-368

- (3) 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

- (4) Shibasaki T, Shinoda K, Yamasaki T (2008) Possible mechanism to explain various landslide behaviors during snow season, International Conference on Management of Landslide Hazard in the Asia-Pacific Resion 809-817

- (5) 鶴飼恵三・細堀健司(1988)簡易Bishop法, 簡易Janbu法およびSpencer法の三次元への拡張。土木学会論文集 394 III-9: 21-26

- (6) 林野庁(2013)治山技術基準第4編地すべり防止事業解説。林野庁, 東京: 54pp

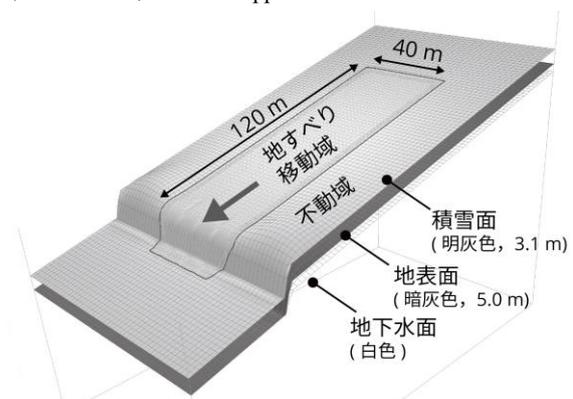


図-2. 地表面に積雪層を載荷した三次元数値モデル

表-1. 三次元斜面安定計算に用いた各層パラメータ

地すべり移動層	長さ120m, 幅40m, 層厚5.0m 地下水位GL-1.7m
すべり面	内部摩擦角8.0°, 勾配7.0° 粘着力3.0 kN/m <sup>2</sup>
積雪層	層厚3.1m, 単位体積重量4.3 kN/m <sup>3</sup> 内部摩擦角0.0°, 粘着力0-10 kN/m <sup>2</sup>

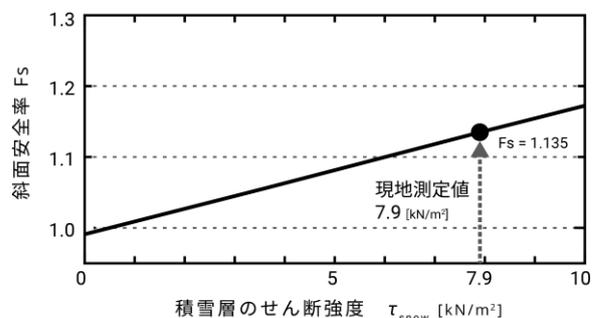


図-3. 積雪層のせん断強度を考慮した三次元安定解析の結果