

積雪荷重が浅層地すべり地の水分浸透特性へおよぼす影響

Effects of snow load on water infiltration in the ground surface layer of a shallow landslide

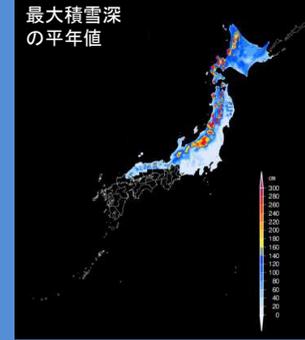


はじめに

新第三紀層の分布 (黄色)



多雪地帯の分布



日本海側の北陸以北の山間地に分布

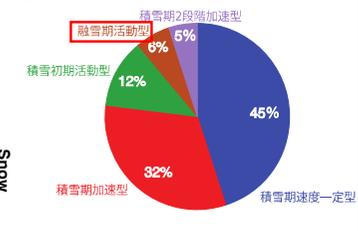
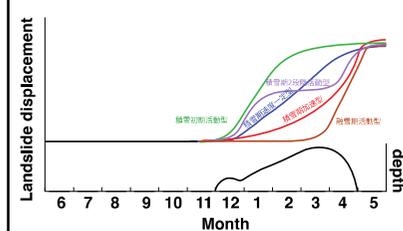
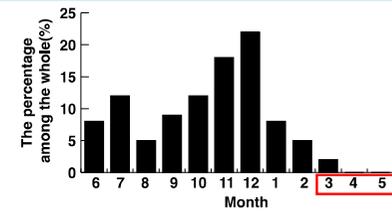
積雪地帯では融雪期になると多量の雪が融けることから、間隙水圧が上昇し活動する地すべりが知られている(たとえば、青山ら1984)



融雪が誘因とされる2012/3/7に発生した国川地すべり(新潟県砂防課提供)

積雪期における新潟県内の第三紀層地すべりの運動特性 佐藤ら(2004)

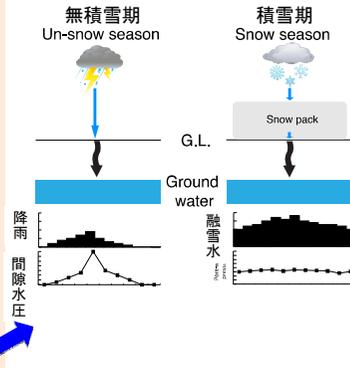
佐藤ら(2004)の調査結果をもとに作図



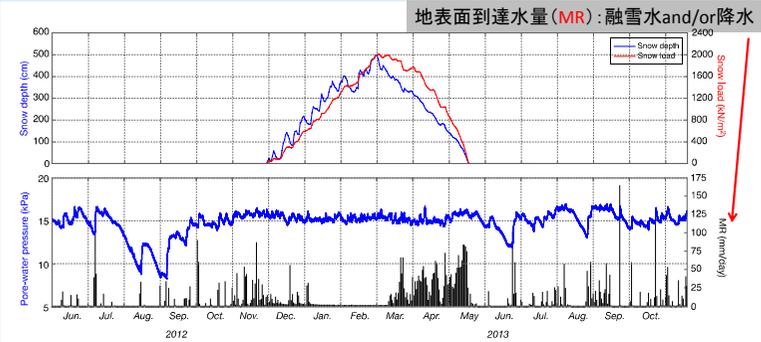
何故、融雪期に活動を開始する地すべりが少ないのか？

積雪荷重効果 雪が地すべり活動を抑制する効果

- 緩傾斜で浅い地すべりでは積雪荷重の増加に伴い有効応力が上昇するため、安全率が上昇する(岡本ら,2008)
- 緩傾斜で浅い地すべりは無積雪期と融雪期において地表面到達水量による間隙水圧の応答特性が全く異なることが分かってきた(Matsuura, 2000).

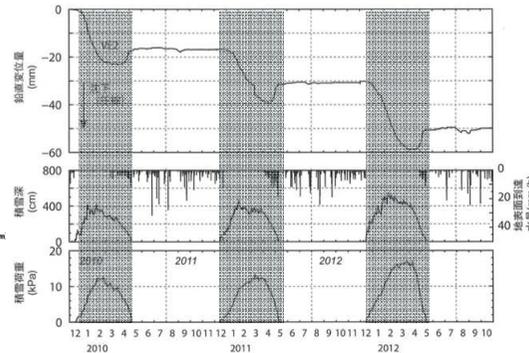
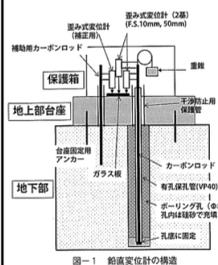


間隙水圧の応答特性(伏野地すべり)



- 無積雪期と積雪期においてMRに対する間隙水圧の応答特性が全く異なる
- 無積雪期にはMRに対する間隙水圧の応答が大きいですが、融雪期には20-100mm/dの融雪水が一ヶ月以上連続的に地表面へ供給されるのに対して間隙水圧の応答が小さい
- 融雪期に地すべりが活動しにくいのはこの間隙水圧の応答特性と関与している可能性が推察される

積雪期における地すべり土塊の鉛直変位の計測(岡本ら,2015)



現地観測により鉛直変位が捉えられた
 → 圧縮-膨張現象
 → 過圧密粘土で構成されていることが推察される

目的

意義

今後、豪雪地帯では温暖化によって積雪深が変化することが推察される。積雪環境が変わることによって、これまで積雪により制御されていた地すべり挙動にも大きな影響を与えることが考えられる。

仮説

積雪層の関与による表層土の圧縮-膨張現象(過圧密粘土の弾性的挙動)が土中の間隙比を変化させ、融雪水の地盤浸透を抑制し間隙水圧変動の応答特性に影響をおよぼしているのではないかと推察される。

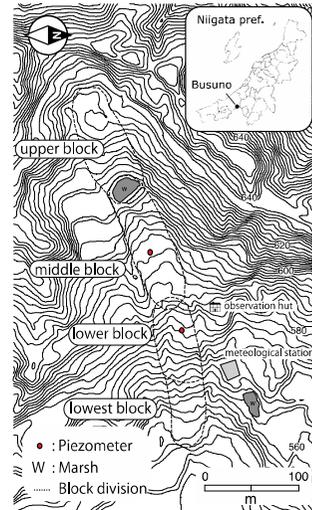
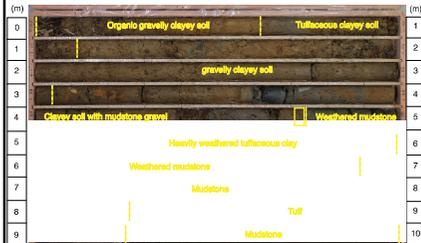
目的

本研究は温暖化適応策の一環として防災対策に資することを目的とし、融雪期における間隙水圧変動の応答特性を明らかにする為、積雪荷重が地すべり地表層部の水分浸透特性におよぼす影響について明らかにする。

対象地概要—Busuno Landslide—

地質: 新第三紀層
 強風化泥岩・凝灰岩
 すべり面深度: G.L.-4から-7m
 平均傾斜角: 10-15°
 長さ: 約350m 幅: 約50m
 最大積雪深5mを超える豪雪地帯

コア写真



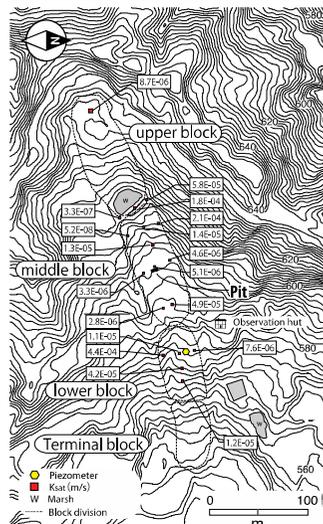
結果 考察

地表面の透水係数の空間的分布

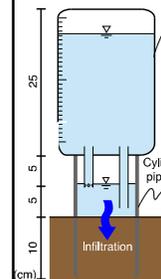
透水係数は
 最大 $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
 最小 $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ と
 場所により大きく偏った

全体の平均透水係数は
 $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ であった

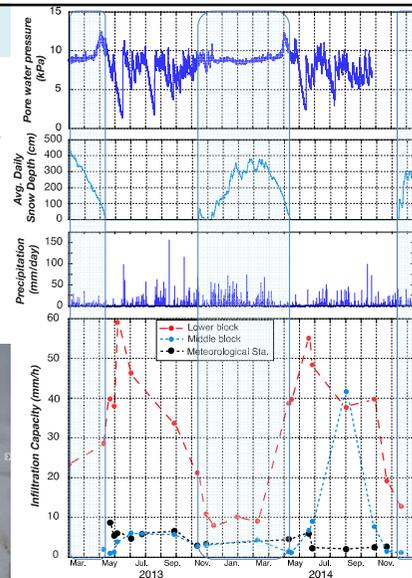
↓
 180mm/hの降水でも
 雨は浸潤可能
 大雨でも地表流は発生しない

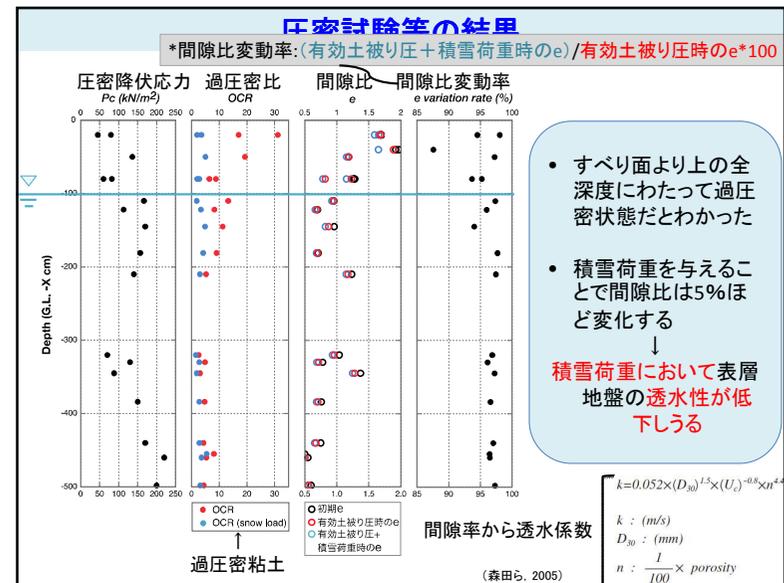
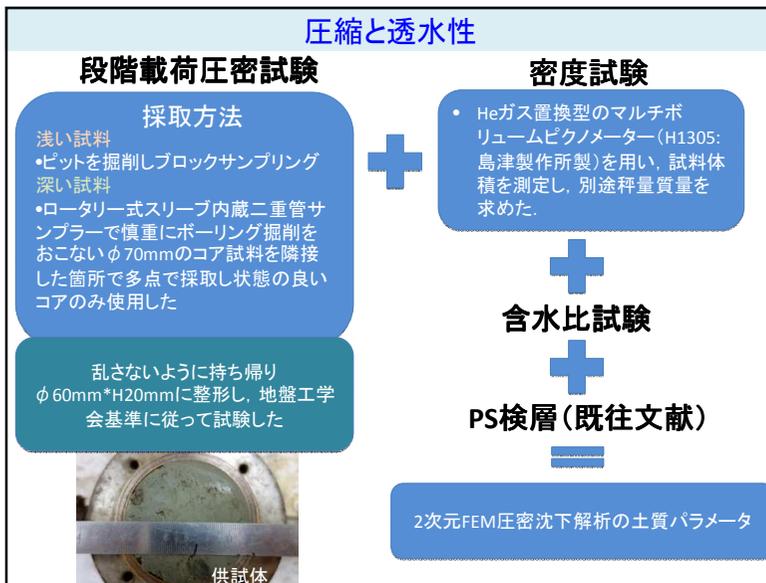
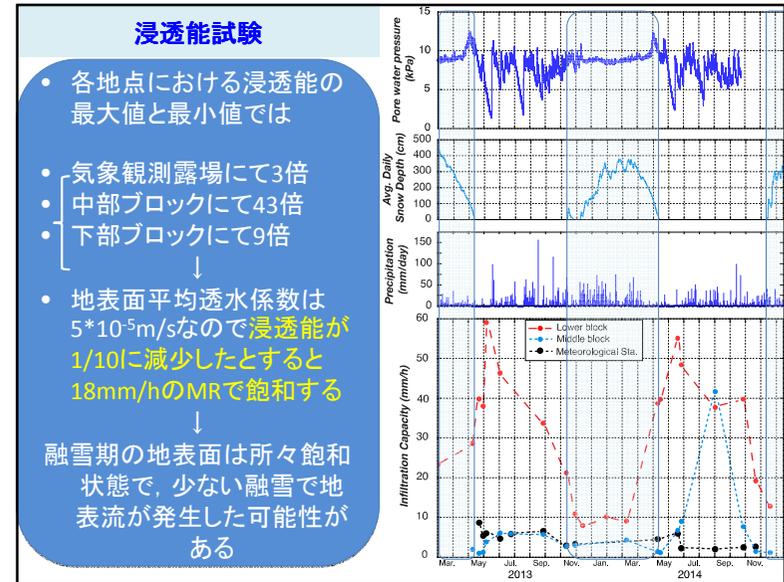
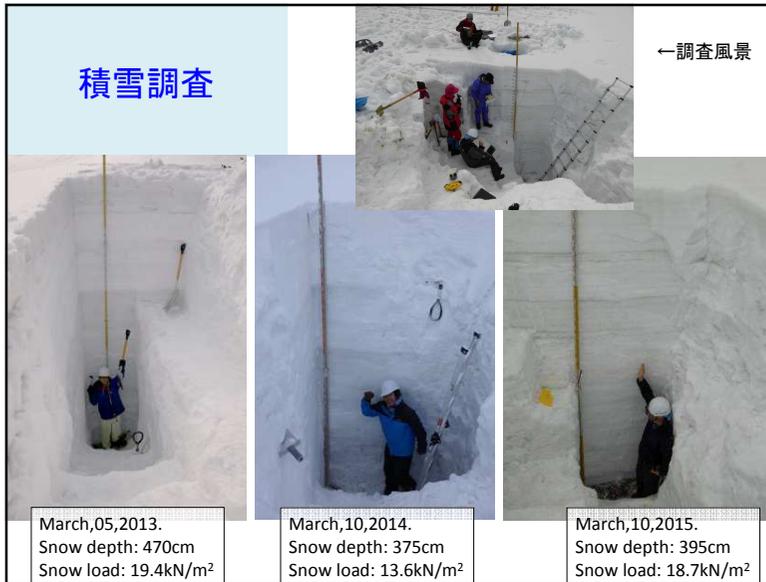


浸透能試験



- 水温は0°Cに調整したが温度が下がりきらなかったものは粘性係数 μ_0 を乗じ補正した。
- 円筒管は残置し同一箇所でも試験した。





2次元FEM圧密沈下解析

浅層の土層は過圧密粘土で構成されているため、粘性土の弾塑性解析でよく用いられる関口・太田モデルを用いた

層区分	G.L. (m)	モデル	γ (kN/m ³)	OCR	Cc	e	K (m/s)	E	ν	k_h	σ_c (kPa)	ϕ (°)
表土・礫混じり粘性土	0~2	関口・太田モデル	16.67	14	0.4	1.10	1.0×10^{-8}	500	0.481	0.92		
礫混じり粘性土	2~4	関口・太田モデル	17.16	4	0.4	1.08	1.0×10^{-7}	1690	0.482	0.93		
強風化凝灰質泥岩	4~6	関口・太田モデル	17.65	5.6	0.4	0.47	1.0×10^{-7}	3090	0.485	0.94		
風化砂岩・泥岩互層	6~20	線形弾性モデル	18.633			0.29	1.0×10^{-8}	12250	0.458		500	40
積雪層	0~+5	線形弾性モデル	5				1.0×10^{-5}	1000	0.16			

3. メッシュ

中部ブロックから下部ブロックの斜面幅130m、深度40mを仮定した。

最大節点数 462

最大要素数 450

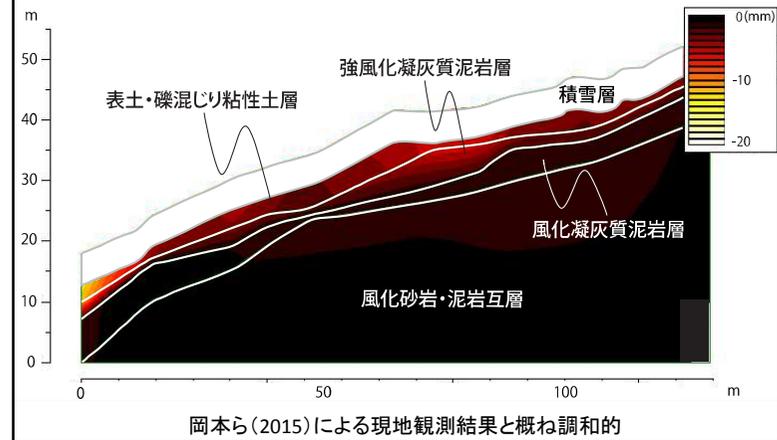
4. プロセス

- ① 初期条件 (0kPa)
- ② 積雪2.5m 載荷 (10kPa)
- ③ 積雪5m 載荷 (20kPa)



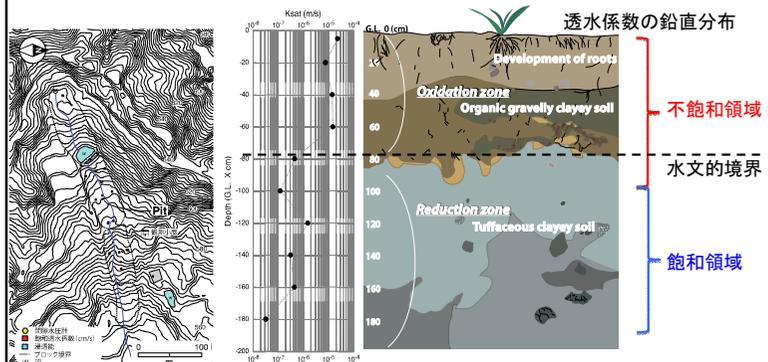
鉛直方向変位のコンター図

- 鉛直方向の変位はすべり面以浅にて収束してしまう
- 地表面近くの鉛直変位は約20mm発生する結果となった



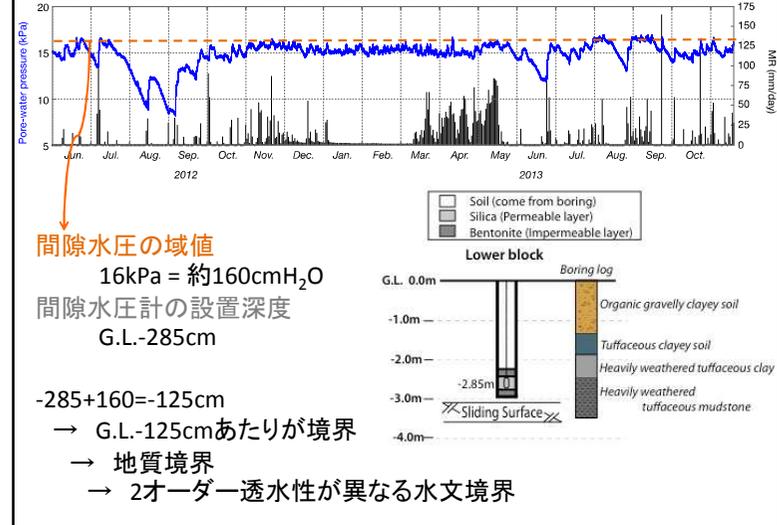
岡本ら(2015)による現地観測結果と概ね調和的

透水性の鉛直分布



有機質粘性土と還元色を示す凝灰質粘性土の地質境界が水文の境界となっている

間隙水圧上昇の制御要因



間隙水圧の域値
16kPa = 約160cmH₂O
間隙水圧計の設置深度
G.L.-285cm

-285+160=-125cm
→ G.L.-125cmあたりが境界
→ 地質境界
→ 2オーダー透水性が異なる水文境界

まとめ

新第三紀の緩傾斜ですべり面の浅い再活動型地すべり地において現地試験・モニタリングおよび室内試験、FEM解析を行なった結果以下のような知見を得た

- 現地試験** 現地浸透能試験では季節的に浸透能が変動することがわかった。融雪期では特に積雪荷重の影響を受け透水性が低下していることが推察される
- 室内実験** 地表面の透水係数の平均値は $5 \times 10^{-6} \text{m/s}$ であった。浸透能試験の結果と合わせると、地表面の透水係数が1/10倍になると透水性の低い場所は飽和状態になりうる
- 透水係数の鉛直方向の分布から水文的な境界がG.L. 1m付近にあり、そこを境界に飽和・不飽和領域となっており、間隙水圧の上限を決めていることが推察される
- 段階載荷圧密試験からすべり面以浅の全深度において過圧密状態にあることがわかった。また、浅い所ほど間隙率の変化が大きく透水性に影響を与えていると推察される
- 数値実験** 二次元FEM圧密沈下解析の結果、地表面からすべり面付近までの間において圧密が完了することが分かった。鉛直変位量は観測結果と概ね調和的であった

これらの結果から、過圧密粘土で構成された表層地盤は積雪荷重の影響を受け圧縮することで土中の間隙比を低下させ、透水性を低下させている可能性が示唆された。以上から、MRの水分浸透特性には積雪荷重による影響、また、間隙水圧変動の上限を決めるのは地質の水文特性であることがわかった。

今後、さらに浸透流解析や膨張現象の検証をおこない間隙水圧に影響を及ぼす積雪荷重の影響を定量的に評価する。