

【研究テーマ】

糸魚川市来海沢地区の融雪地すべりを対象とした有限要素解析

【要旨】

本研究では、ひずみ軟化パラメータを用いた 2 次元弾粘塑性有限要素解析を実際の地すべり発生斜面に適用し、地すべりの崩壊メカニズムを解明することを目的とする。

令和 3 年 3 月 3 日 22 時 30 分頃に、新潟県糸魚川市来海沢地区で融雪による大規模な地すべりが発生した。本地すべりは 3 段階に分けて発生したとされており、滑落崖が確認される 3 か所において、それぞれ頭部、中腹部、末端部をそれぞれブロックごとに区分されている。しかし、どのブロックが先に地すべりが発生したかについては議論が行われている。そこで本章では、地すべりのメカニズムを解明するために 2 次元弾粘塑性有限要素解析を行い、地盤工学の観点から崩壊ブロックの推測を行うことを目的とする。

【研究成果・まとめ】

先述した地すべり崩壊地において、2023 年 10 月 24 日から 25 日にかけて、現地の状態の把握及び土質試験を目的とした現地計測及び原位置試験を行った。簡易動的コーン貫入試験、ベーンコーンせん断試験、および METER 社製携帯型ミニディスクインフィルトロメータを用いた現地変水位試験を実施した。土質試験の結果から、後述する数値解析に用いるパラメータを決定した。

崩壊斜面を数値解析で使用するために作成した有限要素分割を図 2、地盤材料パラメータを表 1 に示す。せん断抵抗角、単位体積重量は現地で行ったベーンコーンせん断試験の結果から決定した。弾性係数は地盤深さによる拘束圧依存性を考慮するため、現地で行った簡易動的コーン貫入試験より計測した N_d を N 値に換算し求めた。ポアソン比は砂地盤の一般的な値を用いた。

本解析対象地は地すべり発生前は変位計が設置されておらず、ひずみ速度を規定することができない。そのため、粘塑性ひずみ速度を規制するパラメータ $\dot{\alpha}$ と n は既往の研究結果から便宜的に $\dot{\alpha}=0.036\text{min}^{-1}$ 及び $n=10$ を用いた。

ひずみ軟化パラメータ(表 2)は、残留強度 c_r は地下水位上昇により粘着力が減少することを考慮するために 0 に近い値($c=0.1\text{kPa}$)に設定した。また、残留強度 c_r に対するひずみ軟化パラメータ(表 2)も本章では便宜的に $A_c=5$ と設定した。残留強度 ϕ_r 及びひずみ軟化パラメータ $\tan A_c$ は、せん断抵抗角 ϕ が低減することは土質パラメータ的には砂質土から粘性土のような地盤材料へ変わ



図 1 原位置試験写真

(a)頭部 (b)中腹部 (c)末端部

っていくことを表すため、超短期的なクリープ変形を再現する本解析ケースでは設定していない。
 解析に入力する地下水位は、変位と同様に明らかになっていない。そこで、地すべりが融雪によって引き起こされたものであることから、1000分かけてゆっくりと地下水位が地表面まで到達するように、斜面に一様に与えた(図3)。

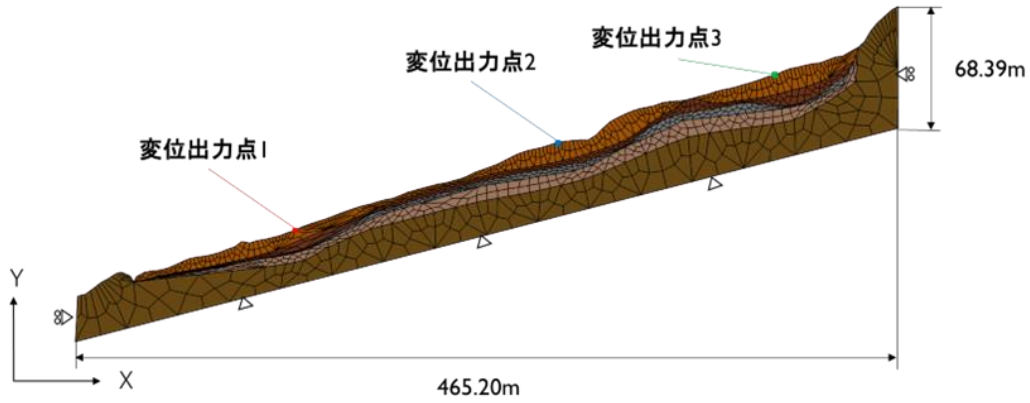


図2 有限要素分割図

表1 解析に用いた材料定数

材料番号	材料名	弾性係数 E(kPa)	ポアソン比 ν (-)	粘着力 c(kPa)	せん断抵抗角 ϕ (deg.)	ダイレイタンシー角 ψ (deg.)	単位体積重量 γ (kN/m ³)
1	礫混じり粘土	18200	0.3	20.8	32.0	0	18
2	強風化砂質シルト岩	40600	0.3	7.95	51.3	0	18
3	風化砂質シルト岩	71867	0.3	7.95	51.3	0	18
4	弱風化砂質シルト岩	123900	0.3	2.40	32.0	0	18
5	基岩	200000	0.3	100	40	0	18

表2 ひずみ速度とひずみ軟化のパラメータ

材料番号	ひずみ速度パラメータ		残留強度		ひずみ軟化パラメータ	
	a (min ⁻¹)	n	粘着力 C_r (kPa)	せん断抵抗角 Φ_r (deg.)	A_c	$\tan A_\phi$
1	0.036	10	0.1	-	5	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	0.036	10	0.1	-	5	-
5	-	-	-	-	-	-

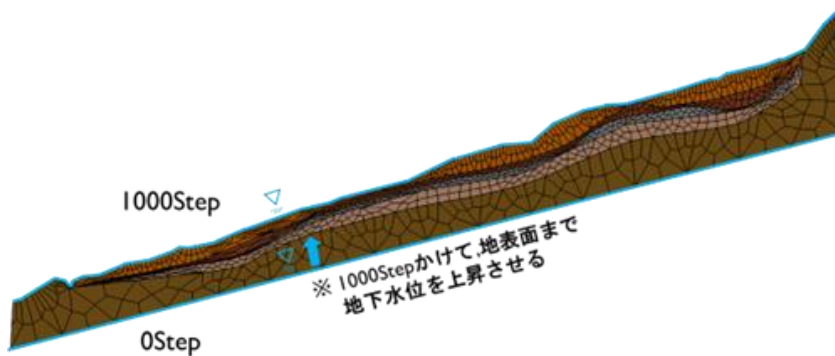


図3 地下水位の設定

解析で得られた変形図を図 4 に示す。斜面底部が上部に比べて大きく変形しており、B ブロックが C ブロックの変形に引張られる形で滑っている。解析で得られた累積変位量を図 5 に示す。まず 700min を過ぎたあたりで底部の変位が加速度的に増加した。続いて 800min を過ぎたあたりで中腹部の変位が底部と同様に加速度的に増加した。一方で頭部の最終変位は 50mm 程度と僅かであり、時刻歴における変位量も僅かに増加傾向にあるが、底部、中腹部の変位量と比べると相対的に小さい傾向にある。これは、底部、中腹部の地すべり後に頭部の地すべりが発生したと仮定することができ、頭部が底部、中腹部とは異なる崩壊メカニズムで地すべりが発生したと推測することができる。この結果から、実際の斜面の崩壊メカニズムとして底部→中腹部、時間を置いて頭部の地すべりの順で発生したと推測する。

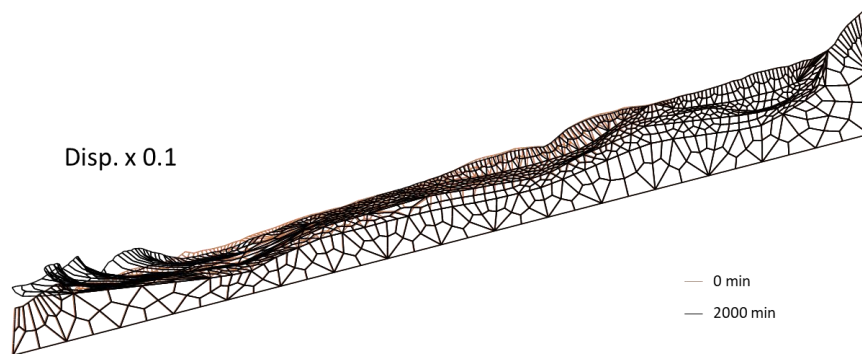


図 4 変形図

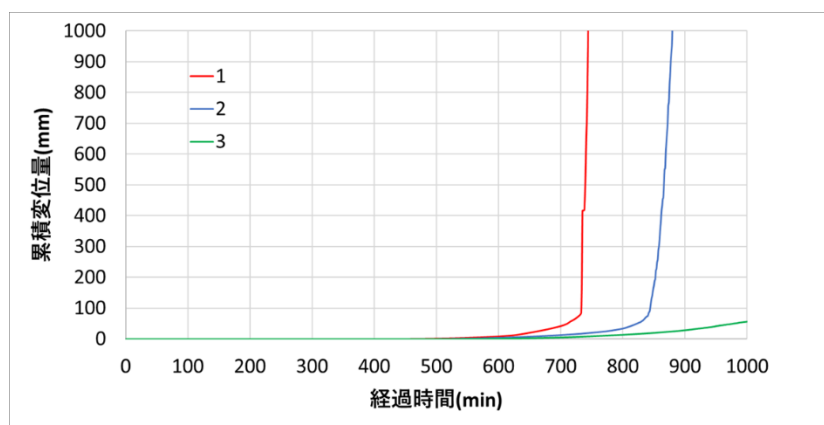


図 5 数値解析で得られた累積変位量

【参考資料・謝辞】

若井明彦，小谷健太，大澤宗一郎，Deepak Raj Bhat，相楽渉（2021）：安全率とすべり速度の経験則を粘性定式化に応用した地すべり運動の有限要素シミュレーション，日本地すべり学会誌，Vol. 58，No. 1，pp. 1-15.

新潟大学の渡部直喜教授，相場菜摘氏には糸魚川市来海沢地区の調査・研究におきまして，多くのご助言・ご協力をいただきました。新潟県糸魚川地域振興局様には，来海沢地区地すべりのデータ提供等のご協力を頂きました。国土防災技術株式会社様には，来海沢地区地すべりのデータ提供等のご協力を頂きました。国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所様には，糸魚川市来海沢地区の調査・航空レーザ測量データの提供のご協力を頂きました。

研究助成採択者 福田蒼太（群馬大学理工学部 4 年）