

# 中越地震で発生した東竹沢地すべりの せん断強度低減有限要素法を用いた検討 Study on the landslide in Higashi-Takezawa during the Mid-Niigata Prefecture earthquake by SSRFEM

木村裕之(株フォーラムエイト)\*、中村淳(株フォーラムエイト)

Hiroyuki KIMURA (FORUM 8 Co., Ltd.)、Atsushi NAKAMURA (FORUM 8 Co., Ltd.)

キーワード：せん断強度低減有限要素法、中越地震、地すべり、変形

Key words: SSRFEM, Mid-Niigata Prefecture earthquake, landslide, deformation

はじめに

中越地震による発生した旧山古志村東竹沢地すべりについては、再活動型地すべりに分類されている。尾根や山腹斜面における表層崩壊とは異なり、緩勾配斜面に存在している。そのため力学的な検討のみならず、過剰間隙水圧を考慮した有効応力解析による検討(秦ら、2007)など、多くの報告がなされている。

本検討では、震度法による静解析においてせん断強度低減有限要素法(SSRFEM)を用いてすべり面の検出を行い、せん断ひずみの増加にしたがってせん断弾性係数を低下させること対象斜面の変形挙動を表現し、東竹沢地すべりにおける斜面崩壊について検討した。

せん断強度低減有限要素法

せん断強度低減有限要素法は、すべり面を検出するのに有効な方法である(日本地すべり学会「有限要素法による地すべり解析」、2006)。せん断強度を低減し、見かけの粘着力と内部摩擦角が減少させていくと、土の応力状態がモール円の破壊基準に収まらなくなる。その時の低減の状態を表す係数が、斜面崩壊に至る全体安全率に相当する。すべり面は、最大ひずみ増分分布図を描くことによって、ひずみの急増している部分がすべり面に相当する。

強度低減法で求めた全体安全率は、極限平衡論に基づく円弧すべり法による安全率とほぼ一致すると報告されている(日本地すべり学会「有限要素法による地すべり解析」、2006)。

安全率をもって斜面の安定性を評価することは従来から常識的に行われてきた。しかし、地震時の安定性を安全率だけで評価するには次の2点で疑問が残る。

1点目は地震時の精度の高い物性値が求められているかという点である。すべり層を対象に試料採取して室内試験を行う、あるいは原位置試験

を行うことに困難な場合もある。また、地震のない現状で斜面がかりうじて平衡を保っていると仮定し、安全率が1として逆算法により粘着力 $C$ および内部摩擦角 $\phi$ を求めるにとどめ、多くの場合は実際の地盤の強度定数を精度良く求まっていない。

2点目に、仮に安全率が1を下回っても必ずしも斜面が全体的に崩壊しないことがあるという点である。地震時に斜面に変形や亀裂が生じて、全体的な崩壊まで至らず、途中ですべりが止まり、崩壊がそれ以上進行しないことがある。

本検討では、せん断強度低減有限要素法をすべり面の検出に用い、安全率の値を斜面の安定性評価に考慮していない。

検討の流れ

地すべりの場合、すべり面に沿って土塊の移動が生じるが、土塊そのものは剛体的なまとまりを保っている。一方、すべり層において局所化が進むことで、土の攪乱やひずみの集中が生じ、せん断強度や剛性の低下が考えられる。

そのため、本検討では震度法を用いた弾塑性解析により、せん断強度低減有限要素法によりすべり面を検出することで、初期の解析モデルのメッシュをすべり面に沿って再設定して薄層を加え二次モデルとし、薄層のせん断弾性係数を初期の解析でもとまったひずみに応じて低減し再解析した。

地盤物性値は、既往の研究成果(秦ら、2007)を参考した。なお、ここで土砂~強風化シルトの粘着力は、大きめの値をとった。この値を最初から0もしくは小さな値を取ると収束が困難な場合があり、せん断強度低減有限要素法で計算する過程で全体安全率を求めにくいためである。また、全体安全率の値は用いないため、仮の値として収束が容易なように大きめの値を入力した(表-1)。また、せん断強度低減有限要素法を用いた地震時

変形解析の流れを図-1 に示す。

表-1 解析に用いた地盤物性値一覧

土質名	単位	土砂～強風化シルト		中風化砂質泥岩
		地下水位以浅	地下水位以深	地下水位以深
材料モデル		弾塑性	弾塑性	弾性
単位体積重量	t(kN/m <sup>3</sup> )	16.9	18.3	20.8
ポアソン比		0.333	0.333	0.37
せん断弾性係数	G(kPa)	13,400	26,900	100,400
粘着力	C(kPa)	100	100	-
内部摩擦角	(deg.)	36.6	36.6	-

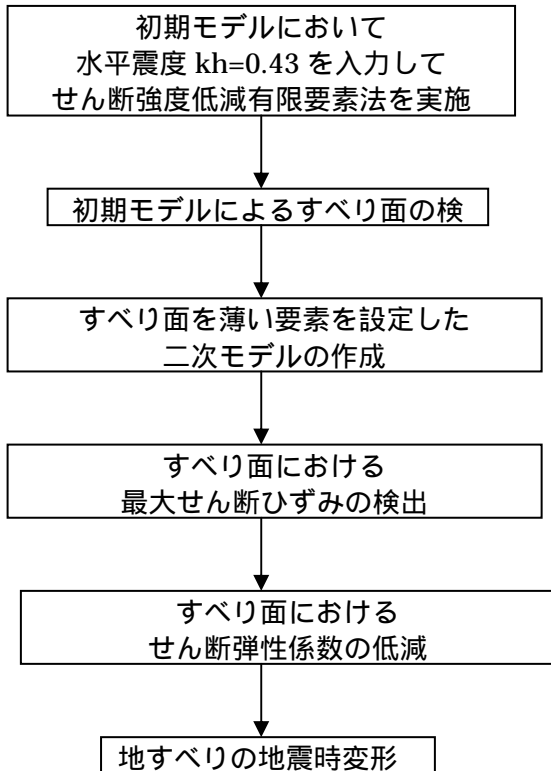


図-1 せん断強度低減有限要素法を用いた地震時変形解析の流れ

図-2(a)に初期解析モデルを示す。地下水位を設定し、水圧を体積力として考慮する。図-2(b)に最大ひずみ増分分布を示す。2つのすべり面が重なるように表示されている。

図-2(c)には、すべり面に薄い要素を設定し二次モデルとし、再解析した場合のせん断ひずみ分布を示す。最大せん断ひずみを調べると4.32%であり、通常の動的振動三軸試験から得られる動的変形特性(G~曲線)の範囲を越えた大きなひずみとなっている。そのため、すべり面におけるせん断弾性係数は地震時に著しく低減するものとして初期せん断弾性係数に0.01倍した。

図-2(d)には地震時変形を示し、移動土塊の法肩の水平変位は1.85mに及ぶ。図-2(e)に水平変位コンターを示す。土塊として大きく移動していることを示す。

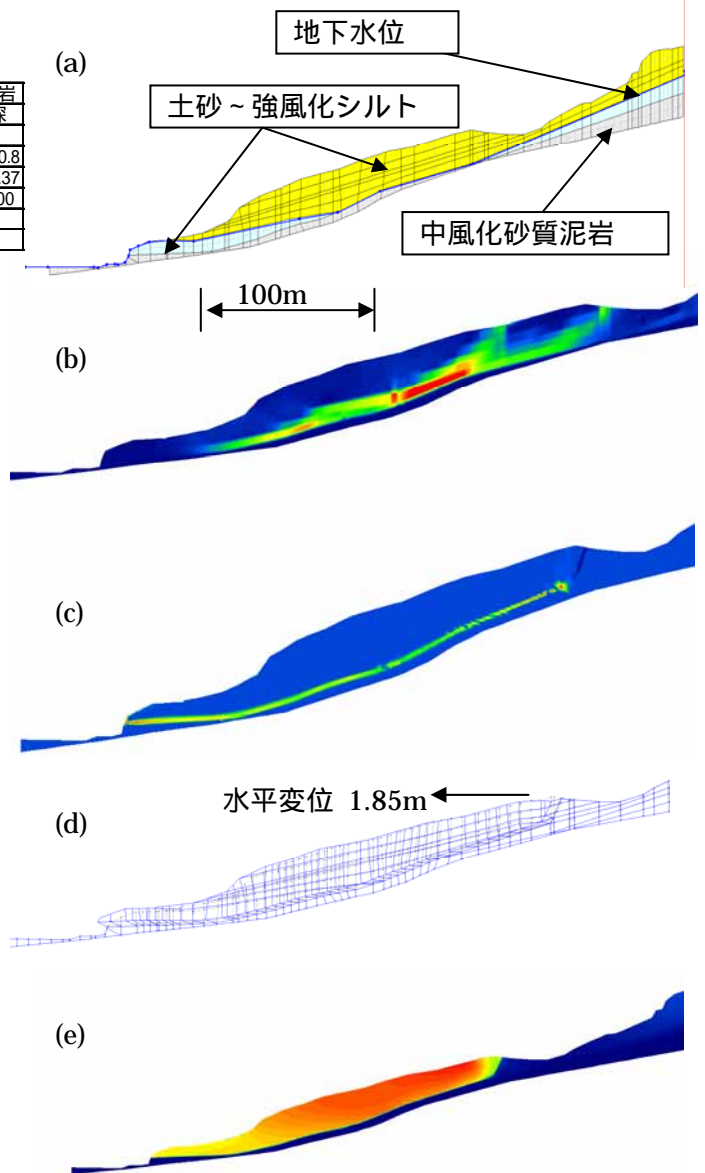


図-2 上から(a)初期解析モデル、(b)最大ひずみ増分分布、(c)二次モデルにおけるせん断ひずみ分布、(d)地震時変形、(e)地震時水平変位コンター

まとめ

震度法をもとにせん断低減有限要素法により、すべり面を検出し、せん断弾性係数のひずみ依存性を考慮することで地震時の変形解析を行い、東竹沢の地すべり崩壊を再現した。

参考文献

秦吉弥、杉山仁實、新屋浩明、倉岡千郎、佐藤誠一、白石保律(2007)：過剰間隙水圧の影響を考慮した地すべりの地震応答解析、Vol.44、pp.39-45 (社)日本地すべり学会(2006)：有限要素法による地すべり解析、pp.63-69