

東竹沢地区における地震時大規模地すべりの再現解析

- ひずみ軟化 UW モデルによる初生すべり領域に関するケーススタディ -

Simulating large-scale landslide induced by the earthquake in Higashi-Takezawa - a case study of initial slope failure by using strain-softening UW model.

田中頼博*¹, 門間俊之², 松下圭佑², 若井明彦², 林一成¹, 阿部真郎¹

Norihiro TANAKA, Toshiyuki MONMA, Keisuke MATSUSHITA,
Akihiko WAKAI, Kazunori HAYASHI, Shinro ABE

¹ 奥山ボーリング株式会社(Okuyama Boring Co., Ltd.) , ² 群馬大学(Gunma Univ.)

キーワード：地震応答解析, FEM, 層理面, ひずみ軟化, 東竹沢地すべり

Keywords : seismic response analysis , FEM , bedding plane , strain-softening , Higashi-Takesawa landslide

1. はじめに

2004年の新潟県中越地震(M6.8)や2008年の岩手・宮城内陸地震では、甚大な地すべり災害が発生したことにより、これまで地震に起因する地すべりの発生は稀とされてきたことに反し、地震によっても地すべりが発生することが広く認められるようになった。これに伴い、地震時の地すべり挙動に関する研究が盛んに行われている。このような地震時の地すべり挙動を検討する際、日本国内の多くの地すべりは再活動型の地すべりであると考えられていることから、すべり面を構成する層理面の残留強度を用いた解析を行うのが一般的である。しかし、地震による繰返し載荷の影響を受ける地盤では、すべり面の残留強度よりも、さらに強度低下する層理面が現れ、この層理面に沿って初生的な地すべり(本稿でいう「初生」とは、地層形成後初めて生じるすべりを指す)、もしくは、既存のすべり面との混合的な地すべりが発生することも考えられる。本稿では、混合型の地すべりと考えられる2004年中越地震で発生した東竹沢地すべりを例にとり、実際のすべり面に対する初生的なすべり領域(以降、「初生部」と称す)に関する試行解析を試みた。

2. 解析条件

東竹沢地すべりは芋川左岸で発生し、地すべり土塊が周辺崩土を巻き込み約70m移動して芋川河道を閉塞させた。地すべり土塊は、延長約300mもある非常に大規模なものである。地質は主として新第三紀の砂質泥岩(和南津層)からなり、卓越する走向が地形傾斜に沿った流れ盤斜面である。東竹沢地すべりの滑動方向はほぼこの走向傾斜に沿ったものである。本検討では、地震中の繰返し載荷に起因するすべり面(初生部)の強度低下により、地震終了後もすべり土塊の運動が継続する可能性を考慮した2次元動的有限要素法(ひずみ軟化 UW モデル; 全応力解析)を採用した。

本検討で用いる有限要素によるメッシュ分割を図.1

に示す。すべり面は、地震後のボーリング調査結果などから推定した。本検討では、既往のすべり面が再活動したとともに、すべり土塊下端部においては繰返し載荷にともなう土の強度低下が初生的な破壊を助長したと仮定している。このため、初生部に関する強度低下の影響を検討しやすくするため、すべり面以外の地層は弾性体と仮定し、地下水位は無視した。

初生部領域に関する場合分けを図.2 に示す。初生部および再活動部のすべり面の土質定数には、若井らの試験結果を参考に表.1 のように推定した。なお、解析に用いる外力(基盤入力地震動)は、不確定要素が多いが、旧山古志村役所(気象庁)を参考に、別途行った3次元解析の結果から2次元断面重心位置G点(図.2 参照)にて適合するように解析モデル基盤まで引き戻したものを採用した(図.3 参照)。

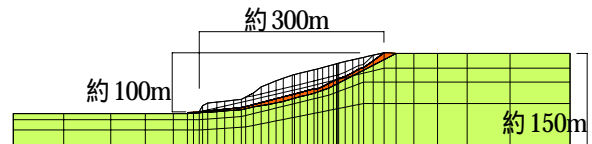
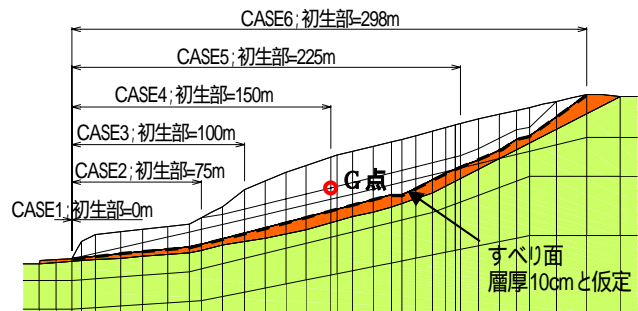


図.1 有限要素メッシュ分割図



地すべり土塊下端部から順に初生部の水平長さをケース別に設定。初生部以外は再活動部(残留強度)。
すべり面以外の地層は弾性体と仮定
本解析では地下水位は無視

図.2 すべり面初生部(水平距離)の場合分け

3. 解析結果

解析結果として、地すべり土塊重心位置 G 点 (図.2 参照) における水平変位の時刻歴を図.3 に示す。CASE1 ~ CASE4 の場合では、地震終了とともに水平変位は収束し地すべり土塊は安定する。特にすべり面全部を再活動部 (残留強度) に指定した CASE1 では最も水平変位量が少ない結果となった。これに対し、CASE5 および CASE6 の場合、地震終了後も水平変位が増大していくことが分かる。これらの CASE5 および CASE6 では、すべり面の水平距離 298m に対して初生部の水平距離は 225m 以上が設定されており、約 75%以上の初生部をもつすべり面を仮定すれば、地すべり土塊が崩落する現象を再現できることが分かった。なお、すべり面のせん断強度などの結果は紙面の制約上、ここでは割愛する。

4. まとめ

本検討では、地震中の繰返し载荷の影響によるすべり面の強度低下を考慮することができる 2 次元動的有限要素法 (ひずみ軟化 UW モデル) を用いた結果、すべり面の一部が既に残留強度状態に至っている再活動部と急な運動の引き金になった進行性破壊を伴う初生部との混合型のすべり面をもつ地すべりの崩落現象を再現することができた。しかし、推定した土質定数からでは、すべり面の水平距離に対して 75%以上の初生部を与えなければ崩落する現象を再現できず、実際には高速移動した東竹沢地すべりに対して、非常に土粒子骨格構造が破壊されにくい土質定数を与えていた可能性がある。また、本検討では地下水位の影響を全く無視しているため、初期状態での非排水せん断強度を実際よりも高めに与えている可能性もある。したがって、本検討結果は、非常に限られた条件下での結果であることを留意する必要がある。いずれにせよ、すべり面の力学的特性を正確に把握することは今後の課題である。なお、東竹沢地すべりに関しては、実際の地震波形に基づく垂直応力ならびにせん断応力を载荷したリングせん断試験による再現試験結果から、飽和した砂層においてすべり面液状化が発生し高速地すべりが生じたことが指摘されている。しかし、自然体積した固結構造の一部が劣化することに伴い徐々に強度が低下するような場合、必ずしも間隙水圧の上昇だけがひずみ軟化の主因ではないと考えられるため、今後はさらに詳細なデータを収集し、現地との整合性をより高めた検討を行いたい。

参考文献

若井明彦・鶴飼恵三・尾上篤生・樋口邦弘・黒田誠一郎(2007)：層理面のひずみ軟化挙動に起因する流

れ盤斜面の地震時崩壊の有限要素シミュレーション, 日本地すべり学会誌, Vol.44, No.3, pp.1-11.
川本治・山田康晴・古谷保(2006)：混合型すべり有限要素解析の厳密化と事例解析, 第 45 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.289-292.
中山間地における地震斜面災害 - 2004 年新潟県中越地震報告 () - 地盤工学編(2008)：社団法人日本地すべり学会, pp.119-126.

表-1 混合型地すべり解析用に推定した土質定数

		初生部	再活動部	その他の地層
基本的な材料定数	ヤング率 E [kN/m ²]	30,000	30,000	100,000
	ポアソン比	0.3	0.3	0.3
	粘着力 c [kN/m ²]	24	0	-
	内部摩擦角 [deg]	30.9	23.7	-
	単位体積重量 [kN/m ³]	18	18	20
	ダイレイタンス角 [deg]	0	0	-
	$b \cdot \gamma_{G0}$	8	8	-
	n	1.4	1.4	-
ひずみ軟化定数	τ_{fr}/τ_m	0.3	-	-
	A	0.1	-	-

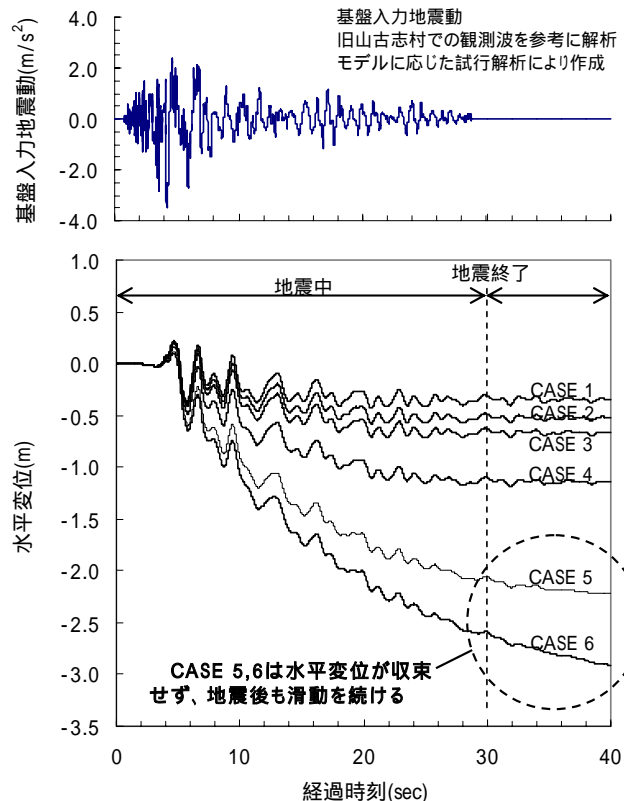


図.3 基盤入力地震動と地すべり土塊重心 G 点の水平変位の時刻歴