

◆ 特集：大規模土砂災害対策 ◆

2004年新潟県中越地震により再滑動した地すべりの特徴

花岡正明* 丸山清輝** ハスバートル*** 鈴木 滋**** 村中亮太*****

1. はじめに

地震発生時に、以前から存在していた地すべり地形内において、急激に滑動する地すべり（以下「地震により再滑動した地すべり」という）はない、という定説に反して、激しい揺れを観測した中越地震では、地すべり土塊の大規模で急激な滑動が数多く発生した。それらにより、集落への直撃やアクセス道路及びライフラインの寸断、河道閉塞などが多発し、長期にわたり集落を孤立化させるなど中山間地に深刻な影響をもたらした。地震により再滑動した地すべりに関する既往の報告・研究は少ないため、雪崩・地すべり研究センターでは、中越地震における地すべり災害を貴重な事例として、地形、地質構造、土質強度などの特性をもとに、既存の地すべり土塊が地震により滑動した機構を明らかにするとともに、地震により再滑動する地すべり地の危険度評価手法を検討している^{1)~3)}。

本報告では、既存の地すべり地形内で再滑動した塩谷神沢川など3箇所を代表的な事例として選定し、多角的な調査・解析により地すべり機構を分析した結果と、地震による地すべりの全般的な特徴について芋川流域においてとりまとめた結果を示す。

2. 研究方法

当センターでは、地震時に再滑動した地すべりの特性を明らかにするため、芋川、朝日川及び相川流域で規模や移動量の大きな地すべりを抽出し、図-1の研究フローに基づき、詳細な現地調査やボーリングコア観察・地形解析・土質試験など、総合的な研究を行ってきた。特に、対策工事のために実施された調査ボーリングデータは、地すべり土塊内部の地質と挙動を把握するうえで重要である。また、動的リングせん断試験により、地震時の地すべり土塊の土質的な強度特性について検証した。

表-1には、主な中越地震により再滑動した地すべりを示す。この中からさらに規模、移動距離、地質を考慮して塩谷神沢川、田麦山小高、尼谷地

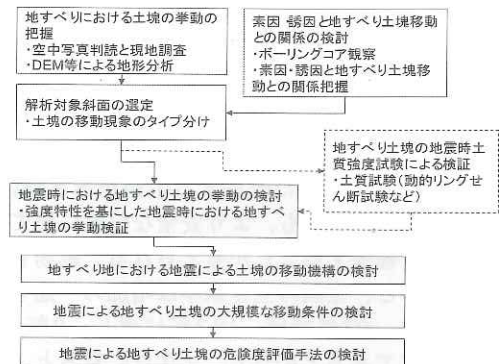


図-1 研究フロー

表-1 主な中越地震により再滑動した地すべり

地すべり名	移動土砂量(万m ³)	長さ(m)	幅(m)	最大深さ(m)	移動距離(m)	斜面勾配(度)	地質構成	地質構造
1 塩谷神沢川	750	650	450	80	100	15~20	砂岩・泥岩互層	流れ盤
2 田麦山小高	180	350	270	20	50	15~20	砂質泥岩	流れ盤
3 小栗山	150	400	170	22	30	15~20	砂岩・泥岩互層	流れ盤
4 東竹沢	130	350	250	30	60	18~22	砂質泥岩及び砂岩・泥岩互層	流れ盤
5 寺野	100	360	170	25	50	18~22	砂岩・泥岩互層	流れ盤
6 峠塩谷川	90	250	190	18	30	25~30	砂質泥岩	受け盤
7 芋川沢	43	180	150	16	40	15~18	砂岩	流れ盤
8 峠南	40	200	100	20	40	15~20	泥岩	流れ盤
9 尼谷地	35	250	150	18	40	15~20	塊状泥岩	流れ盤
10 塩谷南	23	150	100	15	30	15~20	シルト・砂・礫	流れ盤

の3箇所の地すべりを選定し、これらの特徴と地すべり機構について検討した。

3. 新潟県中越地方の地形・地質

図-2には、新潟県中越地方の地形を示した。新潟県中越地震の震源域は、北北東-南南西方向に延びる東山丘陵および魚沼丘陵にまたがる。本地域は、“新潟方向”と呼ばれる北北東-南南西方向のリニアメントが明瞭で、断層や褶曲構造を反映した地形となっている。

図-3は、東山丘陵における地質分布図を示したものである。東山丘陵には、新第三紀中新世から第四紀更新世にわたる褶曲した地層が分布して

泥岩と破碎泥岩の境界付近に擦痕や鏡肌、破碎部などが認められ、ここにすべり面が形成されたと推定される。

4.2 田麦山小高地すべり

田麦山小高地すべりは、規模、移動距離が、塩谷神沢川に次いで大きく、両側に再滑動しなかったように似た既存の地すべり斜面が隣接している。本地すべりは、中越地震で大きな地すべりがほとんど発生していない相川川流域の川口町田麦地内に位置し、本震震央から南南西方向に約10km離れている。

4.2.1 地すべりの挙動

図-7は、本地すべりの平面図を示したものである。地すべりの規模は、長さ約350m、幅約270m、深さ約15mであり、移動土塊は約50m移動し対岸に乗りあげ河道を閉塞させた。

本地すべりは、地震前の空中写真及び地形図によれば既存地すべり地形内に発生しており、横断面形は上部が凹地、中央部から末端部は凸地、両側部が沢地形を呈していた。

本地すべり斜面の頭部には、高さ約10mの滑落崖が形成され、その下部には、明瞭な新たに形成された陥没帯があり、その幅は20～30mである。移動方向と移動量は、地震前後の空中写真による計測結果から移動方向N70°～80°W、移動量約50mと推定される。中央部やや上方の凹地付近で滑落崖を形成する大きな移動が生じた後、次々に地すべり範囲が斜面上部に拡大したことが推定される。なお、本地すべりの北側には、明瞭な地すべり地形が隣接している（防災科学技術研究所、2004）が、今回の地震では地すべり滑動に起因する亀裂や段差地形等の変状がほとんど認められなかった。

4.2.2 地すべりの地質とすべり面

本地すべりの周辺には基岩が露出し、地質は主に砂岩の薄層を挟む砂質泥岩や砂岩・泥岩互層から成っている。また、それらの走向はN40°～N20°Eであり、北西に20～30°傾斜した流れ盤構造となっている。

図-8には、本地すべりの主測線縦断面図を示した。地すべり斜面の基岩は新第三紀白岩層で、地すべり土塊は、崩積土、強風化砂岩、砂質泥岩から構成される。すべり面は、泥岩中に破碎の著しい部分が存在することからこの部分と下位の基岩との境界面付近と推定される。

本地すべり斜面は、田麦山背斜の西翼に位置し、地質構造は流れ盤で、風化の進んだ地質は脆弱である。地形的には斜面上部に古い陥没地形が認められ、過去に地すべりを起こした斜面であることが分かる。これらは、再滑動した重要な要因であ

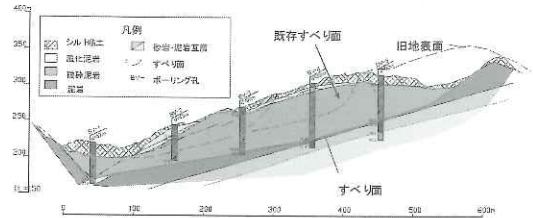


図-6 塩谷神沢川地すべり主測線縦断面図



図-7 田麦山小高地すべり平面図

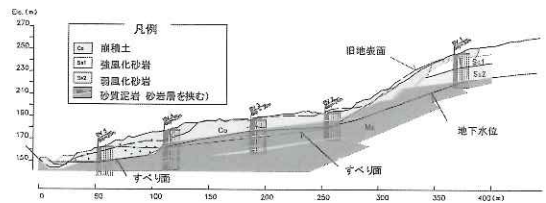


図-8 田麦山小高地すべり主測線縦断面図

ると考えられる。

大きな移動を生じたにもかかわらず、滑落崖の大きさは比較的小さく、また、頭部の山側斜面に高さ30～40mの範囲で移動土砂が階段状に残っており、これらは下部ブロックと一体化したものではない。以上のことから、すべり面の形状は直線的なものと推定され、すべり面は新鮮な基岩とその上位の破碎された泥岩との境界付近に存在すると考えられる。

一方、既存すべり面については、ボーリング調査結果によれば崩土や破碎岩の下部に基岩が存在しており、既存すべり面は破碎岩中かその下位の基岩との境界付近に存在する可能性が高い。また、川沿いの露頭には、破碎泥岩中に粘土化した部分が認められ、過去の地すべり滑動を示唆している。このことから、地震により再滑動した地すべりは、既存地すべりと同一のすべり面で起きた可能性が高い。

4.3 尼谷地地すべり⁴⁾

尼谷地地すべりは、地すべり防止区域に指定されている地すべりであり、中越地震での発生事例が少ないとされている泥岩分布域で再滑動した典型的な地すべりである。本地すべりは、本震震央から北東方向に約9km離れた長岡市古志種芋原地内に位置する。

4.3.1 地すべりの挙動

図-9は、本地すべりの平面図を示したものである。地震前の斜面は、上部ほど急勾配であるものの、全体としては15～20度と緩やかな勾配の平面的には半島状の凸型地形を呈し、水田として利用されていた。地すべりの規模は、長さ約250m、幅約150m、深さ約15mである。

地震により、斜面上部に明瞭な滑落崖が形成され、斜面中間部には階段状に分布していた水田に大きな亀裂、段差、陥没、田面のうねりや傾動が発生した。また、斜面中腹を横断していた県道は長さ約160mにわたって滑落または崩土に巻き込まれ、水平距離で30～40m移動した。この他、斜面末端部は隆起し、末端に沿って流下していた溪流は押し出された土砂により閉塞された。地すべりの移動方向は、地すべり発生前後の空中写真上の県道や水田の移動状況から、概ね南東方向であると推定される。

4.3.2 地すべりの地質とすべり面

図-10には、本地すべりの主測線縦断面図を示した。地すべり斜面の基岩は、新第三紀荒谷層の暗灰色塊状泥岩から成る。地層は東～南東へ25～45度傾斜し、流れ盤構造となっている。また、地すべり斜面の地質は、上位より崩積土、強風化泥岩、風化泥岩および泥岩から構成されている。

地震時のすべり面を、ボーリングコアの観察から以下のように推定した。BV16-1では深度11.5～11.8m付近で粘土化が顕著で、岩片混じりの粘土を挟み、この付近とした。BV16-2では深度18.0～18.1mより上位は軟質で、下位は新鮮な泥岩から成り、その間に軟弱な粘土層が存在し、この付近とした。BV16-3では深度14.6mより上位が軟質であり、深度14.0～14.6mでは乱れた土砂状のコアが存在することから、この付近とした。

4.4 現地調査を実施した地すべりの特徴

表-2に、現地調査を実施した3つの地すべりの特徴についてまとめた。とりまとめの結果、各地すべりに共通する点として、15～20°程度の緩い斜面勾配、流れ盤、凸型の横断面形状、斜面末端の勾配が急であることが分かった。なお、地震時のすべり面については、調査を開始した当初は、既存のすべり面で再滑動したものと考えていたが、主な再滑動した地すべりにおける現地調査及びコア観察などの結果として、地震時のすべり面は明

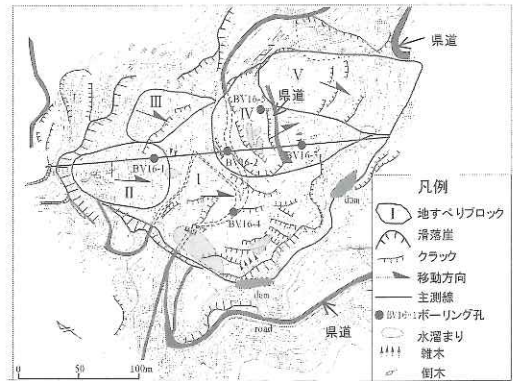


図-9 尼谷地地すべり平面図

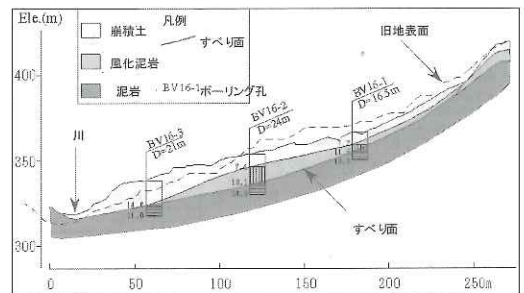


図-10 尼谷地地すべり主測線縦断面図

瞭なもの少なく、代表的な再滑動地すべりの10地点においては、初生的な地すべりあるいは崩壊に近いものが多いことが分かった。特に、塩谷神沢川地すべりは、基岩内に新たなすべり面を形成した特異な事例であったと考えられる。

5. 芋川流域の地震による地すべりの特徴

中越地震前及び直後の空中写真及びDEMを判読し、地震前に存在した地すべりと地震により再滑動した地すべりを抽出した。

図-11には、両者の位置関係を示した。地震前の空中写真（土木学会1975）



図-11 地震前地すべり地形と地震時地すべり発生位置との関係

表-2 地すべりの特徴

地すべり名		塩谷神沢川	田麦山小高	尼谷地
選定理由		中越地震で発生した地すべりで規模、移動距離が最大の地すべり	規模、移動距離が最大級で、再滑動・非再滑動斜面が隣接する地すべり	地すべり防止区域の地すべりであり、再滑動型地すべりの典型
地震前地形	斜面勾配	15～20°		
	縦断面形状	緩やかな凸状		
	横断面形状	緩やかな凸状		
	主な地すべり地形	滑落崖、頭部緩斜面、陥没帯	滑落崖、頭部緩斜面、河川の蛇行、地すべりの分化	
地質	基岩地質	川口層 砂岩・泥岩互層	白岩層 泥岩・砂質泥岩互層	荒谷層 塊状泥岩
	移動層の地質	主に破碎泥岩	風化泥岩、破碎泥岩	崩積土、風化泥岩
	構造	走向：不明 傾斜：不明、流れ盤	走向：N3° W-N45° W 傾斜：20-30° NW、流れ盤	走向：NNE-SSW 傾斜：25-45° SE、流れ盤
	規模	W=450m、L=650m	W=270m、L=350m	W=150m、L=250m
地すべりの概要	最大すべり面深度	約80m	約15m	約18m
	すべり面勾配	10～15°	10°	10～20°
	すべり面深度（既存すべり面深度との関係）	既存すべり面より深い初生型	既存すべり面とほぼ同じ再滑動型	既存すべり面とほぼ同じもしくは浅い再滑動型
	主な移動方向（既存地すべりとの関係）	既存地すべりと異なる南東方向	既存地すべりとほぼ同じ西から西南西方向	既存地すべりと同じ南方方向
	斜面末端の開放性	南東方向（土留川右支川）に開放	北西方向（相川川） 南西方向（相川川右支川）に開放	南方方向（芋川右支川） 西方方向に開放
	水	湧水	末端部	頭部、末端部
地表水			あり	あり
池		地すべり頭部にあり		
その他	土地利用	水田		
	震央からの距離	約3km	約10km	約9km
	樹林	杉及び雑木	杉	なし

の判読により、10ha以上の面積をもつ既存地すべり地形は52箇所を確認された。中越地震により再滑動した地すべりは52箇所であり、平均面積は1.78haである。面積3ha以内のものが約8割を占めており、面積10ha以上は塩谷神沢川（20ha）のみであり、再滑動した地すべりの規模は小さいことが分かった。地震で滑動した地すべりの中で、規模の大きな地すべりはほぼ既存の地すべり地形のほぼ全部の範囲が滑動し、規模の小さな地すべりは既存地すべり地形の一部が滑動していることが分かる。

5.1 中越地震で発生した再滑動地すべりと地震前の地すべり地形との関係

図-12は、再滑動した地すべりと既存地すべりとの規模について関係を示したものである。前者は52箇所のうち、34箇所が後者内で発生した。さらに、27箇所（79%）の再滑動した地すべりの面積が既存地すべりの面積よりも小さいことが確認された。また、再滑動した地すべりが位置する既存地すべりの面積と再滑動した範囲が既存地すべりに占める面積の割合（地震時／地震前面積

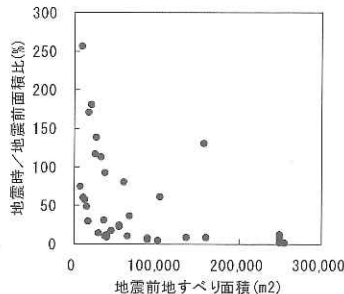


図-12 再滑動地すべりと地震前地すべりの規模

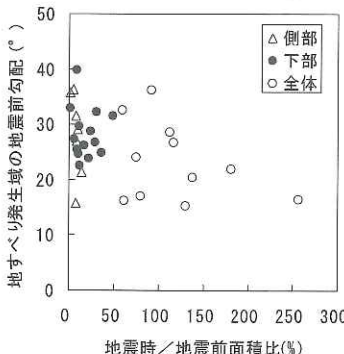


図-13 地震前後面積比と発生域勾配

比)をプロットすると、概ね反比例の関係が確認された。すなわち、大規模な既存地すべりほど再滑動しておらず、規模が小さい既存地すべりは、再滑動した範囲の既存地すべりに占める面積の割合が大きくなる傾向にある。

図-13には、地震で再滑動した地すべりの地震前の斜面勾配と既存の地すべりとの面積比の関係を示した。全体が再滑動した地すべりは緩勾配を呈す傾向があるのに対し、下部の一部が滑動したものは、全て20°を越え急勾配であることが分かる。

5.2 地震で再滑動した地すべりの地形的な特徴

図-14には、地震前の地すべり斜面末端の勾配（既存の地すべり地形の末端から遷急線までの勾配を計測）と地震により再滑動した地すべりの斜面下部が滑動した比率との関係を示した。そのような地すべりが再滑動した比率は、勾配が急なほど高くなる傾向があり、地すべり斜面末端の勾配が35度以上で約20%にの

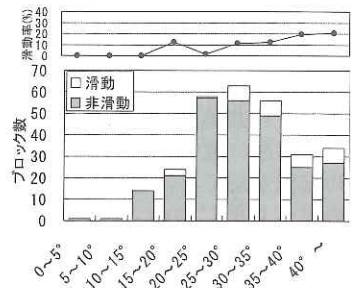


図-14 末端勾配と地すべり箇所数

ぼり、地すべり斜面末端の勾配が再滑動した地すべりと深い関係があることが分かる。

6. まとめ

中越地震により再滑動した代表的な事例を抽出し、詳細な現地調査により地すべり機構を明らかにした。また、芋川流域における、地震により再滑動した地すべりの全般的な特徴について、地形解析を中心にとりまとめた。これらの結果を以下に示す。

- (1) 再滑動した地すべりの地質・地形的な素因として、①流れ盤の地質構造と、②15～20°の緩い斜面勾配、③横断形状が凸型、④斜面末端が急勾配等の地形的な特徴があげられ、砂岩系地層の互層に規模の大きな地すべりが多いことが分かった。
- (2) 芋川流域においては、中越地震で再滑動した地すべりの約8割は既存の地すべり地形内に位置し、多数存在していた大規模な既存地すべりはさほど再滑動せず、むしろ小規模なものが再滑動し、再滑動範囲が既存地すべりの大部分となる傾向がある。
- (3) また、小規模な再滑動地すべりは、既存地すべり地形の下部が滑動したものが多く、既存地すべり地形の方向性や末端部の勾配に影響を受けると考えられる。

今後は、これらをもとに地震で再滑動した地すべりの危険度評価の手法を検討する予定である。

本研究に際しては、北陸地方整備局湯沢砂防事務所、新潟県砂防課、新潟県長岡地域振興局農林振興部の方々に御支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) ハスバートル、花岡正明：新潟県中越地震における地すべり土塊の滑動機構－田麦山小高地すべりを例に－、平成18年度砂防学会研究発表会概要集、

pp.486-487、平成18年5月

- 2) ハスバートル、花岡正明、丸山清輝、村中亮太、鈴木 滋：2004年新潟県中越地震における再滑動型地すべりの特徴、第45回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.379-382、平成18年8月
- 3) ハスバートル、花岡正明、丸山清輝、小嶋伸一、鈴木 滋、村中亮太：地震に伴う再滑動型地すべりの挙動及び機構－尼谷地地すべりの例－、第45回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.157-160、平成18年8月
- 4) 新潟県長岡地域振興局農林振興部：平成16年度災害関連緊急地すべり対策事業（防止工事・1号）尼谷地地区第1次地質調査作業委託報告書、平成18年1月

花岡正明*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理研究グループ 雪崩・地すべり研究センター上席研究員
Masaaki HANAOKA

丸山清輝**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理研究グループ 雪崩・地すべり研究センター総括主任研究員、博士（学術）
Kiyoteru MARUYAMA

ハスバートル***



三和ボーリング株式会社（前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター交流研究員）、博士（理学）
Hasbaator

鈴木 滋****



日本工営株式会社（前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター交流研究員）
Shigeru SUZUKI

村中亮太*****



アジア航測株式会社（前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター交流研究員）
Ryota MURANAKA