

## 新潟県中越地震を事例とした地すべりの発生条件の考察

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

## 1. はじめに

2004年新潟県中越地震に伴い多数の地すべりが発生し、それによって道路の寸断や河道閉塞などが生じ、中山間地に深刻な影響をもたらした。これまで、地震によって斜面崩壊が多発するものの既存地すべり地が移動することは少ないと言われてきたり。しかし、中越地震では地すべり（本報告では、移動した土塊の乱れが少ないものを地すべりと定義する）の発生が多数認められた。これらの地すべりは、地震発生前の地すべり地形（以降、既存地すべり地形という）内で移動したものが多数見られた<sup>2)</sup>。

中越地震による地すべりについては、地すべりの詳細なタイプ分け、斜面災害の地形・地質的な特徴、地すべりを含む崩壊の分布と特徴や事例報告などさまざまな研究がなされてきている。しかし、地震による地すべりの発生条件については、必ずしも詳細な報告はなされていない。地震による地すべりはどのような地形、地質条件で発生するのか、その解明が地震時の地すべりの発生危険度評価において重要である。

本研究では、地震による地すべりの危険度評価手法を提案することを目的として、中越地震で土砂災害が多発した芋川流域及びその周辺で発生した地すべりを対象に、詳細な地形、地質調査を実施してきた。本報文では、中越地震時に発生した地すべりの地形、地質的な特徴から、地すべりの発生条件を検討した結果について報告する。

## 2. 調査地の概要

調査地は、新潟県中越地方の東山丘陵の中南部にあたる（図-1）。中越地方の地形は、魚野川を境に、東側は急峻な越後山脈が南北に連なるのに対し、西側は魚沼丘陵・東山丘陵や東頸城丘陵など低平な丘陵やその間に分布する盆地からなる。これらの丘陵の稜線は顕著な北北東-南南西方向を示し、本地域の地質構造や地殻変動の結果を反映

している<sup>3)</sup>。東山丘陵の標高は300～450m程度で、その中央部を芋川が北から南に流れ、魚野川に合流する。中越地震の本震は東山丘陵の南部で発生し、余震は東山丘陵の中南部や魚沼丘陵の北部で発生した。

東山丘陵には、中新世から更新世にわたる褶曲した地層が広く分布し、下位から泥岩主体の荒谷層、砂岩・泥岩互層主体の川口層、泥岩主体の牛ヶ首層、砂質シルト岩主体の白岩層、砂岩主体の和南津層、シルト・砂・礫からなる魚沼層となっている。これらの層は主に北北東-南南西方向に配列し、同方向に延びる背斜・向斜軸によって西または東に傾斜している<sup>3)</sup>。また調査地を含む中越地方には、地すべり地形が多く分布することでも知られている。

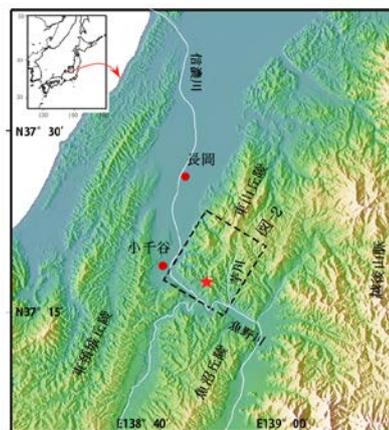


図-1 中越地方の地形（★は中越地震本震の震央を示す）

## 3. 地形・地質条件と地震時地すべりの発生

## 3.1 調査方法

調査は、地震発生前後の空中写真及びGISソフトを用いたDEMデータの地形解析により、調査範囲における既存の地すべり地形と地震により発生した地すべりを判読して行った。既存地すべり地形の判読には1975と1976年撮影の空中写真（1：20,000）を、地震により発生した地すべりは地震直後に撮影された空中写真（1：12,000）をそれぞれ使用した。地形解析には、1975年撮影のものと地震直後に撮影されたDEMデータを使用した。空中写真で判読された地すべりブロックをGIS上でポ

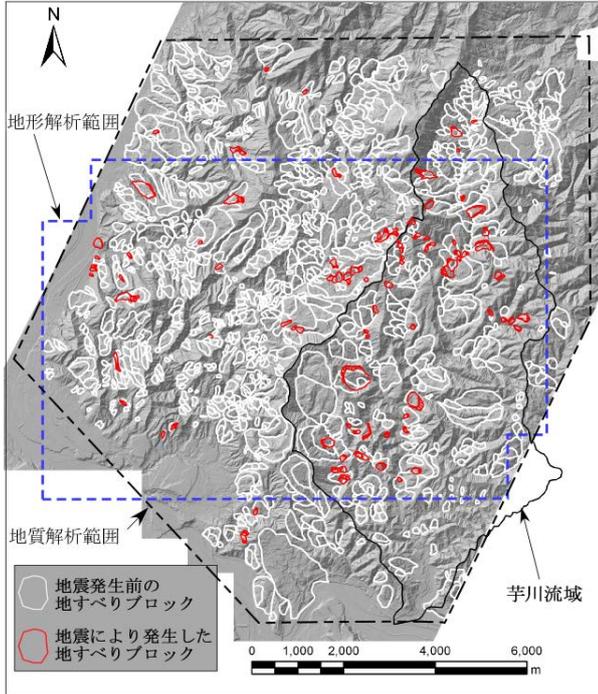


図-2 地すべり判読範囲

リゴン化して地すべりブロックの面積、長さ、幅、移動方向を求めた。また、GIS上で地すべりブロックの縦断図を作成し、地すべり斜面の上端、下端、中点及び地すべり斜面下部の遷急点等の座標を計測した。そして、後述する縦断的凸度、下端勾配などをこれらの座標値から求めた。

調査範囲(面積約127km<sup>2</sup>)における地形判読の結果、既存地すべり地形は1,050ブロック、地震による地すべりは96ブロックあり、このうち70ブロックが既存の地すべり地形内で発生した(図-2)。これらの地震による地すべりはブロック単位で判読したもので、一つの既存の地すべりブロック内に複数のブロックが含まれる場合もあるため、既存の地すべりブロックを単位として集計し直すと、地震によって地すべりが発生した既存の地すべり地形のブロック数は63になる。したがって、既存の地すべり地形1,050ブロックの内、63ブロックで地震により地すべりが発生し、残りの987ブロック内には地すべりの発生が認められなかった。地質解析は、この63地すべりブロックと既存の全地すべり地形1,050ブロックを比較した。地形解析は地震発生前の地すべり地形を分析し行うため、地震前DEMデータが存在する範囲における727ブロックの既存の地すべり地形とその内地震により地すべりが発生した55ブロックを比較した。

### 3.2 地形条件と地震時地すべりの発生

地震による地すべりの発生には直接的な要因で

ある地震動の他に、発生場の地形や地質条件が関与していると推定される。そこで、どのような地形条件が中越地震時地すべりの発生に関与したのかを明らかにするために、地震時に移動した地すべりの地震発生前の地形を解析した結果、縦断的凸度、下端勾配、侵食最大深の3項目が地すべりの発生との関連性が比較的高いことが分かった。

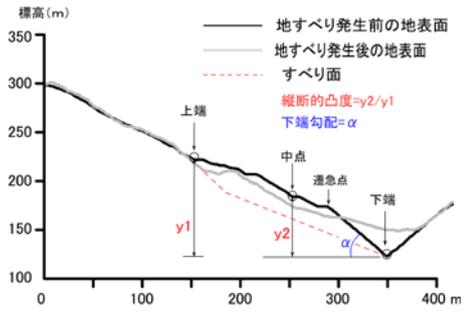


図-3 縦断的凸度、下端勾配の概念図

#### 3.2.1 縦断的凸度と地震時地すべり

地震によって発生する崩壊は凸型斜面で多いことが指摘されている<sup>4)</sup>。そこで、地震による地すべりと凸型斜面との関係として、「縦断的にみた凸度」に着目をした。ここでいう縦断的凸度とは、「地すべり斜面の下端から上端までの水平距離中点の比高(y2)/下端から上端までの比高(y1)=y2/y1」で定義した(図-3)。また、地すべり発生率は、条件に該当する地すべりブロック数に占める地すべり発生ブロック数の割合と定義した。

縦断的凸度と地すべり発生率との関係を図-4に示した。地すべり発生率は、縦断的凸度0.6以上で7.5~22.2%と相対的に高く、0.7以上では縦断的凸度の値が大きくなるに伴い増加していることが分かる。なお、縦断的凸度0.4以下で地すべり発生率が比較的高い原因は現時点で不明である。

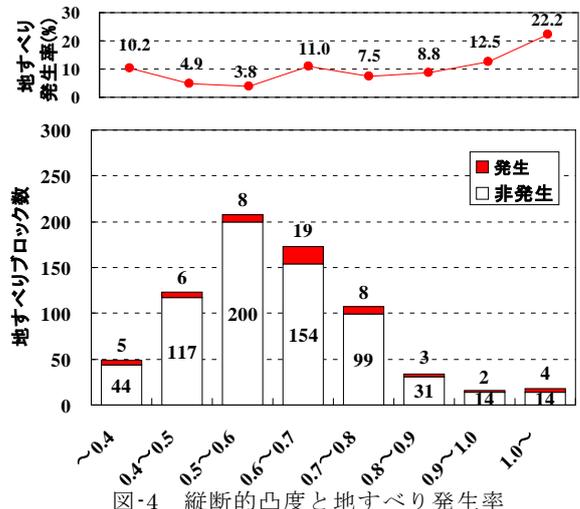


図-4 縦断的凸度と地すべり発生率

### 3.2.2 下端勾配と地震時地すべり

地すべり斜面の末端が急なほど斜面の安定度は低いことが推定される。地すべり斜面下部における下端から遷急線までの勾配を下端勾配と定義し(図-3)、地すべり発生率との関係を調べた。図-5に示すとおり、下端勾配10~15度以上で地すべりが発生し、20~25度以上では下端勾配の増加とともに地すべり発生率が增大する傾向が見られる。

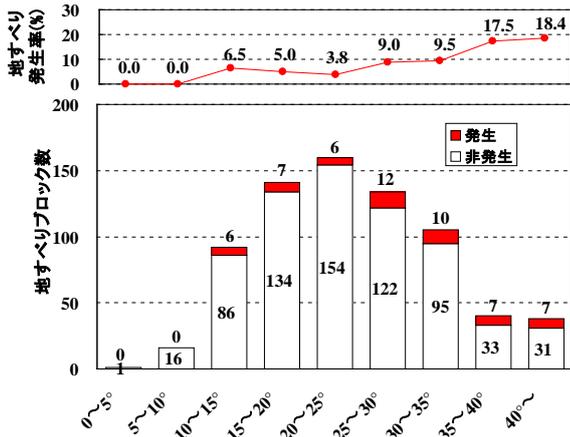


図-5 下端勾配と地すべり発生率

### 3.2.3 侵食最大深と地震時地すべり

図-6には、侵食最大深の模式図を示した。調査範囲の地層は、鮮新世以降と時代が比較的新しいため、地表水や河川の侵食を受けやすいと考えられる。地すべりは末端部の侵食によって不安定になることが推測され、この侵食状況を定量的に評価することが重要と考えられる。そこで、GISソフトを用いて、地震発生前の2mメッシュDEMデータから30mメッシュ範囲における最高標高を抽出し、それを用いて接峰面図(侵食を受ける前の地形図で、ある地域を一定の面積に区画し、各区画内の最高点に接するように空中に仮想した曲面から作成したもの)を作成し、地震発生前の地形との差分を侵食深とした。そして、既存地すべり地形内における侵食深の最大値を侵食最大深と定義した。図-7に示すように、侵食最大深が50m以上になると地すべりが発生し、その値が大きくなるほど発生率が增大する傾向が認められる。

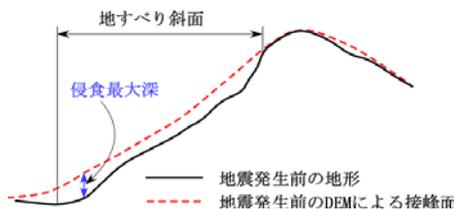


図-6 侵食最大深の模式図

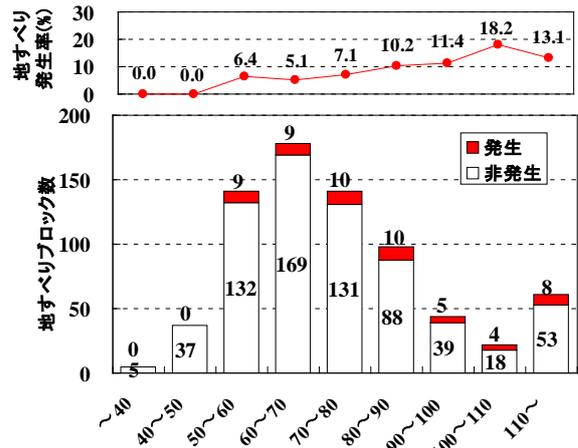


図-7 侵食最大深と地すべり発生率

## 3.3 地質と地震時地すべりの発生

### 3.3.1 地質構成と地震時地すべり

表-1には、地質と地すべり発生率との関係を示した。地震によって発生した地すべりの基岩の地層は、96ブロック中荒谷層が32ブロックと最も多く、次いで川口層で25ブロック、白岩層で17ブロックであった。しかし既存の地すべり地形数に占める割合は、砂岩からなる和南津層で17.8%、砂質シルト岩からなる白岩層で13.3%、及び砂岩・泥岩互層からなる川口層で9.8%であった。これらは、泥岩からなる荒谷層の9.0%、牛ヶ首層の7.3%及び砂・シルトからなる魚沼層の3.7%に比べていく分大きい値となっている。これらから地震時の地すべりは、砂岩、砂質岩相や砂岩・泥岩互層の基盤岩と関連している可能性が考えられる。地震時に滑動した地すべりの面積を比較すると、砂岩・泥岩互層からなる川口層の地すべり総面積が553,528m<sup>2</sup>と最も大きい。地震前の総地すべり面積に対する割合で見ると、砂岩、砂岩・泥岩互層と砂質シルト岩の割合が2.9~4.0%と泥岩の2.1~2.2%に対していく分大きい値を示した。砂岩・泥岩互層や砂質シルト岩の分布域では、塩谷神沢川や東竹沢地すべりのように規模の大きい地すべりが発生している。

表-1 地質と地すべり発生率

地層	基岩地質	地震時に移動した地すべりブロック数 (N <sub>EL</sub> )	地震前地すべりブロック数 (N <sub>PL</sub> )	$\frac{N_{EL}}{N_{PL}}$ %	地震時に移動した総地すべりブロック面積 (A <sub>EL</sub> ) m <sup>2</sup>	地震前総地すべりブロック面積 (A <sub>PL</sub> ) m <sup>2</sup>	$\frac{A_{EL}}{A_{PL}}$ %
魚沼層	礫・砂・シルト	3	82	3.7	41,304	4,441,204	0.9
和南津層	砂岩	8	45	17.8	91,494	2,261,713	4.0
牛ヶ首層	泥岩	11	151	7.3	141,587	6,703,733	2.1
白岩層	砂質シルト岩	17	128	13.3	296,096	10,056,541	2.9
川口層	砂岩・泥岩互層	25	256	9.8	553,528	17,093,886	3.2
荒谷層	泥岩	32	355	9.0	355,310	15,820,623	2.2
計		96	*1017		1,204,934	42,971,050	

\*注:ここでは分布域の少ない栖吉層、猿倉岳層、鳥屋ヶ峰層、地すべり堆積物を除いた。

### 3.3.2 地質構造と地震時地すべり

地震により発生した96の地すべりブロックの内、流れ盤構造の地すべりが49ブロック（51%）を占め、受け盤構造のものは7ブロック（7%）あった（図-8）。地震により流れ盤構造で発生した地すべりの割合は、既存地すべり地形1,050ブロックに占める流れ盤構造のブロックの割合40%（424）に比べて10%程度大きい。既存地すべり地形に比べて、地震により流れ盤構造の地すべり発生率が高い傾向が見られた。なお、ここでいう流れ盤構造とは、地すべり移動方向を0°として、移動方向と地層の傾斜方向とのなす角度が±45°以内のもので、135~225°を受け盤とした。

したがって、地すべりの発生と地質との関係を見ると、地質構成では砂岩、砂岩・泥岩互層と砂質シルト岩の基盤、地質構造では流れ盤構造の場合の地すべり発生率は、泥岩基盤、受け盤構造の場合に比べて高いといえる。

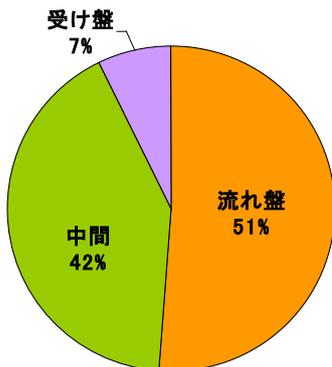


図-8 地質構造と地すべり発生率

## 4. まとめ

中越地震による芋川流域やその周辺で発生した地すべりは、地形的には縦断的凸度、下端勾配、侵食最大深、地質的には流れ盤構造、砂岩や砂質シルト岩、または砂岩・泥岩互層の基岩などに関

連性があると考えられた。縦断的凸度と地すべり発生率の関係から、縦断的凸度が大きいほど地すべり斜面が地震動によりゆれやすいことを示していると考えられる。また、地すべりの下端勾配は、その値が大きいほど地すべりが不安定な状態となっていることが考えられる。芋川流域では、地すべり斜面は河川に面したものが多く、地すべりの発生後に河川侵食によって斜面末端が急勾配となり、不安定化が進んでいたとも推定される。侵食最大深は、値が大きいほど斜面の侵食が進んだことを示し、地すべり斜面の不安定な状態を示していると考えられる。しかしながら、侵食最大深については、下端勾配と同じ意味をもつものとも考えられることから、今後さらに検討を行っていく予定である。

### 参考文献

- 1) Keefer, D: Landslides caused by earthquakes Geological Society of America Bulletin, Vol. 95, pp.406-421, 1984
- 2) 千木良雅弘：2004年新潟県中越地震による斜面災害の地質・地形的特徴、応用地質、Vol.46、No.3、pp.115-124、2005
- 3) 柳沢幸夫、小林巖雄、竹内圭史、立石雅昭、茅原一也：小千谷地域の地質、地域地質研究報告（5万分の1図幅）、地質調査所、177p、1986
- 4) 小山内信智、内田太郎、野呂智之、山本悟、小野田敏、高山陶子、戸村健太郎：既往崩壊事例から作成した地震時斜面崩壊発生危険度評価手法の新潟県中越地震への適用、砂防学会誌、Vol.59、No.6、pp.60-65、2007

ハスパートル\*



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 専門研究員、理博  
Dr. HAS Baator

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 学術博  
Dr. Kiyoteru MARUYAMA

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

花岡正明\*\*\*\*



株式会社高速道路総合技術研究所（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 所長）  
Masaaki HANAOKA

鈴木聡樹\*\*\*\*\*



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  
Soki SUZUKI