

## 激甚な地震における融雪期の地すべり特性に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 19

担当チーム：雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：花岡正明、丸山清輝、ハスバートル

鈴木聡樹

### 【要旨】

中越地震では地すべり災害が多発したが、10月末に地震が発生したこともあって、融雪時期に地すべりの発生が懸念された。今後巨大地震や活断層による直下型地震の発生が予想される中で、強い地震の発生した地域におけるその後の地すべりの変動について詳細に調査し、地震後の地すべりの危険度を明らかにすることが重要であると考え、本研究を開始した。本研究では、中越地震により発生した地すべり地における動態観測結果をもとに地震後の変動を明らかにし、地すべりの特性と地震後の地すべり危険度について検討した。その結果、地すべり動態観測データによる地すべりの変動調査から、変動を生じた地すべりが少ないことが分かった。また、地震直後とその後の複数期間のDEM地形データの比較から、何らかの変動が認められた地すべりは91箇所中20箇所であることが分かった。

キーワード：地震後、地すべり、変動、危険度評価

### 1. はじめに

中越地震では数多くの地すべりが発生し、アクセス道路及びライフラインの寸断、河道の閉塞などが多発した。これらの地すべり災害は、中山間地に深刻な被害をもたらしたが、地表面の亀裂が多数存在する中で豪雪に見舞われた。このため、激甚な地震動を被った後の地すべりの発生が懸念された。これまで、地震により発生した地すべりの地震後の変動についての知見はなかった。今後、巨大地震や活断層による直下型地震の発生が予想される中で、地震後の地すべりの変動について詳細に調査し、地震後の地すべりの危険度評価方法を明らかにすることが重要である。

### 2. 研究目的

本研究では、中越地震により発生した地すべりの地震後の変動を明らかにし、地震後の地すべりの危険度評価方法の提案を目的とする。

### 3. 研究方法

地震により発生した地すべりの地震後の変動は、以下に示す方法により調査した。

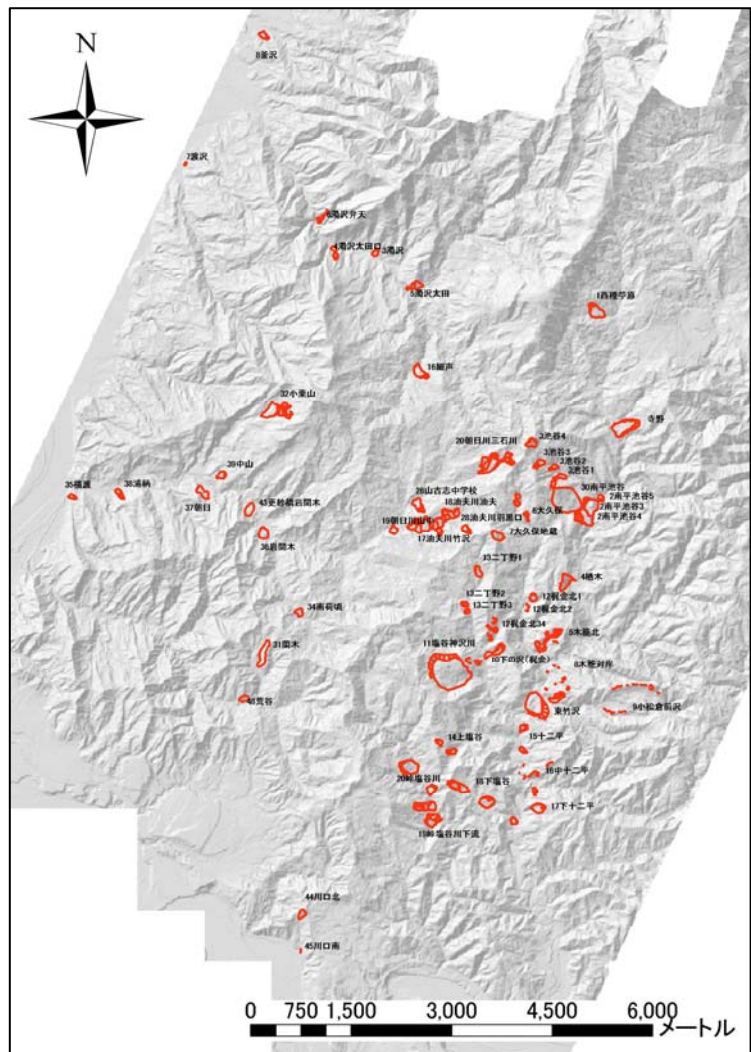


図-1 検討の対象とした主な地すべりの位置

- (1) 地すべり動態観測データによる地すべり変動調査
- (2) 地震直後とその後の複数期間のDEM地形データの比較による地表変動の調査
- (3) 現地調査による地すべり変動調査

4. 研究結果

4.1 動態観測期間の気象概要

図-1には、検討の対象とした地すべりの位置を、図-2には、中越地震前後の降水量（月単位）と最大積雪深（月単位）の観測結果（小出観測所）をそれぞれ示した。積雪は、地震発生直後の2004-2005年（17豪雪）、翌年の2005-2006年（18豪雪）に記録的な豪雪となっており、2005年及び2006年春の融雪水量は平年より多かったことが推定される。また、降水量は、2005年以降では平年よりやや多い傾向にある。なお、図-2には、後述する地すべり動態観測期間とDEMの比較期間を示した。各期間は17豪雪及び18豪雪を含んでいる。

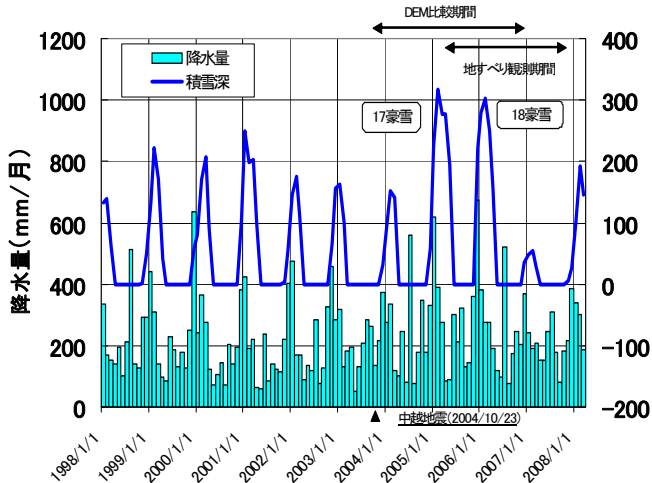


図-2 中越地震前後の降水量（月単位）と最大積雪深（月単位）の観測結果（小出観測所）

4.2 地すべり動態観測データによる

地すべりの変動調査

調査対象地区は、国土交通省北陸地整及び新潟県が地震後から観測を実施している61箇所とした。なお、地震前の観測は実施されていない。また、検討対象とした観測データは、対象地区内で最もよく用いられていたパイプ歪計とし、観測データの変動量及び累積性について検討した。

表-1には、H18~19の2年間の観測及びH19の1年間の観測においてパイプ歪計の観測データに地すべりの変動が認められた地すべり地を示したものであ

表-1 変動が認められた地すべり地

No.	地すべり名	H18			H19			基岩の地質	地震時移動量(m)
		月変動量(μs)	変動の傾向	変動の判定	月変動量(μs)	変動の傾向	変動の判定		
1	前山	675	累積	潜在	観測中止			シルト岩	—
2	濁沢太田口	-117	累積	潜在	"			泥岩・砂岩互層	38.5
3	入道沢	-291	累積	潜在	"			泥岩	—
4	西郡	-245	累積	潜在	"			シルト岩	0
5	油夫川竹沢	-106	累積	潜在	変位なし			泥岩	14
6	朝日川山中	1216	累積	準確定	変位なし			泥岩	0
7	朝日川三石川	114	累積	潜在	変位なし			泥岩	0
8	南平池谷	123	累積	潜在	106.3	累積	潜在	砂岩シルト岩互層	1
9	中山	266	累積	潜在	観測中止			砂岩	18
10	池谷	変動なし			103.7	累積	潜在	砂岩シルト岩互層	31.5
11		"			123.2	累積	潜在	—	—
12	下十二平	"			113.0	累積	潜在	シルト岩	22
13	大久保地藏	"			-119.3	累積	潜在	泥岩	—
14	梶金北	"			1389.4	累積	準確定	細粒砂岩	—
15	二丁野	"			147.6	累積	潜在	シルト岩	—
16	小松倉	"			432.7	累積	潜在	砂岩シルト岩互層	—
17	峠塩谷川下流	"			281.0	累積	潜在	シルト岩	43
18		"			-1121.0	累積	準確定	—	43
19	乙吉	"			-112.0	累積	潜在	—	—
20		"			-191.0	累積	潜在	シルト岩	—
21		"			-164.0	累積	潜在	—	—
22	濁沢太田	"			-171.0	累積	潜在	泥岩	—
23	浦柄	"			142.0	累積	潜在	—	—
		"			110.0	累積	潜在	泥岩	—

る。ここで、観測データから変動ありとした判定基準は、観測データの変化に累積性が認められ、100 μ strain/月以上の変動があることとした<sup>1)</sup>。なお、判定では、±100 μ strain/月を潜在変動、±1000 μ strain/月を準確定変動としている。H18では、変動が認められた地すべりブロックは61ブロックの中で9ブロックである。その内、1ブロックが準確定変動、8ブロックが潜在変動であり、それ以上に大きな変動を示したものは認められない。H19では、地すべりの変動が認められた地すべりブロックは61ブロックの中で16ブロックである。その内、2ブロックが準確定変動、14ブロックが潜在変動であり、大きな変動を示したものはH18と同様に認められない。なお、H18~19の2年間続いて変動が観測された地すべりは、南平池谷1ブロックであった。

表-2は、変動が認められた地すべり地のパイプ歪計について変動が認められた深度を示したものである。H18については、すべり面付近で変動したものは南平池谷の1事例であり、地すべり地外で変動したものが前山の1事例、すべり面より深い基盤岩中で変動したものが濁沢太田と中山の2事例、移動土塊内の浅い部分で変動したものが5事例であった。H19については、すべり面付近で変動したものは乙吉の1事例であり、地すべり地外で変動したものが大久保地藏、梶金北、乙吉の3事例、すべり面より深い基盤岩中で変動したものが二丁野の1事例、移動土塊内で変動したものが10事例であった。

これらのことから、パイプ歪計観測データでは移動土塊内でのわずかな変動は多かったが、すべり面付近で変動を示した地すべりは、非常に少ないことが分かった。

表－2 パイプ歪み計の変動位置

No.	観測年	地すべり名	変動を示した深度(m)	すべり面深度(m)	備考	
1	H18	前山	8	-	地すべりブロック外直上部の変動	
2		濁沢太田	10	5.1	基岩中のすべり面より深い部分の変動	
3		中山	10	5.1		
4		入道沢	5	24.3	移動土塊内の変動	
5		西郡	6	18.2		
6		油夫川竹沢	5	17.6		
7		朝日川山中	5	14.9		
8		朝日川三石川	8	14.1		
9		南平池谷	26	28.2	すべり面付近の小変動	
10	H19	池谷	2	30.82	移動土塊内の浅い部分の変動	
11			1	7.4		
12		南平池谷	23	28.2		
13		下十二平	8	21.7		
14		小松倉	5	27.1		
15		峠塩谷川下流	9	12.2		
16		濁沢太田	2	26		
17		浦柄	2	11.45		
18			9			
19		5	9.85			
20		乙吉	6	-		地すべりブロック外直上部の変動
21			10	10.00		すべり面付近の小変動
22		大久保地藏	15	-		地すべり側面の外側の変動
23		梶金北	25	-		滑落崖上部の変動
24	二丁野	13	10.6	基岩中のすべり面より深い部分の変動		

4.2 DEM地形データの比較による地表変動の調査

地震発生直後とその後の降雨・融雪期を経た時点のDEMデータの比較により地表面上の特徴の変化に着目して、地すべりの変動の有無を調査した。使用したDEMデータ(2mメッシュ)は、地震直後については2004年10月24日(「文部科学省科学技術振興調整費による委託を受けて行う研究開発(活褶曲地帯における地震被害データアーカイブの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案、小長井一男)」)のものであり、その後については2005年5月上中旬及び2006年11月のものである。なお、対象とした地すべりは、芋川流域を中心に91箇所である。

複数の時期のDEMデータを比較する際、LPによるDEMデータの取得時やデータ処理時に発生する誤差により、実際の地形に変化がない場合でも、両者の標高値に差が生じることがある。このため、地形データを単純に比較するのではなく、現地調査やその周辺の地形をも確認しながら地形の変化を調べた。その結果、対象とした地すべり91箇所の中で、何らかの変化

が認められたものは約20%の20箇所であった。

図-3には、地形変化が認められた地すべりにおける変化のタイプと箇所数(同一の地すべりで数種類の地形変化を生じている場合は重複して数えている)を示した。変化のタイプでは防災工事による変化以外については河川侵食が2年間で16箇所であり、最も多くなっている。また、滑落崖などの崩壊が2年間で8箇所あり、地すべり地周辺で変化が生じている事例が多い。この他、移動土塊が地表水により侵食されたもの(ガリー侵食)が2年間で8箇所あった。なお、移動土塊の一部が移動(崩壊)したものは1箇所であり、地すべり土塊全体の移動は認められなかった。

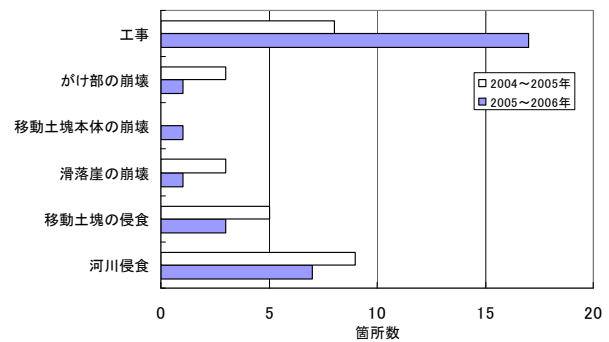


図-3 変動のタイプと箇所数

4.3 地すべり観測及びDEM地形データによる地震後変動が生じた地すべりの特性の検討

4.3.1 地震後の地すべり状況

表-3は、地すべり動態観測及びDEM地形データにより地震後に変化を生じた地すべりの場所と変化のタイプを示したものである。検討の対象とした126箇所(両方の方法で抽出された箇所)の中で、何らかの変化を生じたものはH18年には29箇所、H19年には28箇所である。その中で地すべりの変動を生じた場所が地すべり地内であったものがH18年には13箇所、H19年には16箇所であり、地すべり地外であったものがH18年には16箇所、H19年には12箇所であった。なお、同一の地すべりで数種類の変動を生じている場合は重複して数えている。地すべり地内での変動は、潜在変動レベルのものがほとんどであり、明瞭な地すべり

表-3 変動を生じた場所と変動のタイプ

変動を生じた場所	変動のタイプ	箇所数		
		H18	H19	
地すべり地内	地表面	浸食・崩壊	5	4
	移動土塊内	歪み	5(潜在4, 準確定1)	10(潜在9, 準確定1)
	すべり面付近	歪み	1(潜在)	1(潜在)
	すべり面以深	歪み	2(潜在)	1(潜在)
	計		13	16
地すべり地外	背後	歪み	1(潜在)	3(潜在2, 準確定1)
	がけ部	崩壊	6	2
	河岸	浸食	9	7
	計		16	12
合計		29	28	

べり移動によるものではない。また、地形変動のタイプについては、地すべり地内では侵食によるものと地すべり土塊内の軽微な変動によるものがあるが、これらの中では侵食による地形変化が多い。地すべり地外では河川の侵食によるものが多い。

#### 4.3.2 変動が生じた地すべりの特性

##### (1) 基岩の地質と地すべりの変動との関係

図-4は、基岩の地質と地すべりの変動との関係を示したものである。移動土塊の侵食が発生した地すべりは、基岩が泥岩、シルト岩、砂岩、細粒砂岩であり、シルト岩で多い傾向がある。一方、移動土塊内に変動が生じた地すべりは基岩が泥岩、シルト岩、シルト岩・砂岩互層の地すべりであり、泥岩のものに多い傾向がある。

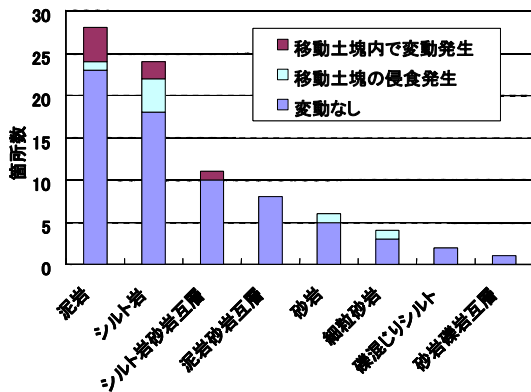


図-4 基岩の地質と地すべりの変動との関係

##### (2) 地すべり斜面の侵食量

図-5には、検討の対象とした91箇所の中で、移動土塊の侵食が発生した地すべり(16箇所)について地すべりの面積と年平均侵食量の関係を示した。なお、地震で発生した地すべりの面積は、GISソフトで求めた。また、年平均侵食量は、2004~2006年のDEM

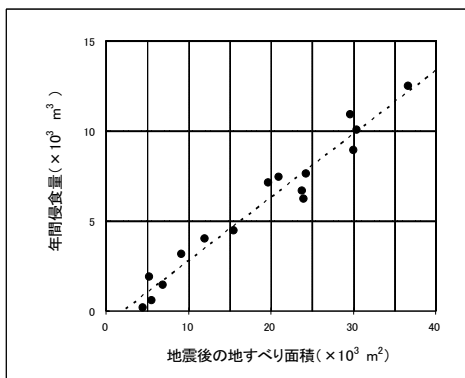


図-5 地すべりの面積と年平均侵食量の関係

(2mメッシュで高さはm単位)の比較結果から侵食された部分の長さ、平均幅、平均深さを乗じて求めた侵食量を年当たりの侵食量に換算した。なお、各項目

の数値の範囲は長さ40~400m、平均幅5~30m、平均深さ2~5mであり、年間侵食深は10~40cmになる。また、年間侵食量は $\text{km}^2$ 当たりの値に換算した場合 $10^4 \sim 10^5 \text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ オーダーになり、崩壊地の表面侵食による生産土砂量のオーダーである $10^3 \sim 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}^2$ に対して1桁大きくなる。このことから、今回のガリー侵食による侵食量は通常の崩壊地での侵食量より大きいことが分かる。したがって、地震による地すべりで、地すべり斜面の侵食が懸念される場合、その土砂生産量は、通常時の崩壊地におけるものより多いことを考慮して土砂流出対策を行う必要があると考える。

##### (3) 移動量と地すべりの変動との関係

図-6は、地震時の移動量とその後の変動との関係を示したものである。侵食が発生した地すべりの地震時の移動量は、移動土塊内で変動が発生した地すべりに比べて大きいものが認められる。なお、移動量120mの小栗山地すべりは、移動土塊が泥流化したものである。

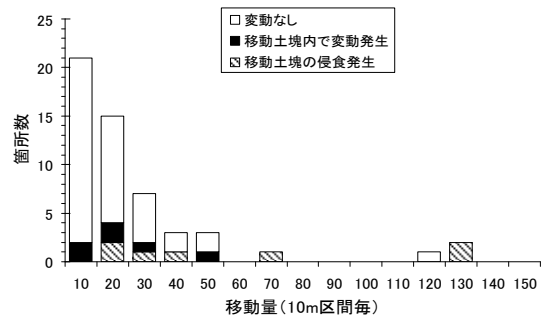


図-6 地震時地すべり移動量と地すべり変動との関係

#### 4.4 現地調査による地すべり変動調査

##### 4.4.1 侵食が生じた地すべり

写真-1は、下塩谷1地すべりの地震後の空中写真を示したものである。この地すべりの規模は、長さ約400m、幅約100mである。



写真-1 下塩谷1の地震後空中写真また、基岩は魚沼層からなり、移動土塊は岩片混じりの砂で脆弱化している。地震前の斜面勾配は約17度であり、地すべりは比較的緩い勾配の斜面で発生した。

地震による地すべりの移動量は、地震前後の空中写真から求めると約 130m となり、移動土塊は非常に大きく移動した。

写真-2には、露出したシルト質の基岩の状況を、写真-3には斜面中腹に横断方向に延びる弱層を示した。基岩は谷方向に約 18 度傾斜しており、この面をすべり面として地すべりが発生したものと推定される。また、弱



写真-2 露出したシルト質基岩



写真-3 斜面中腹で横断方向に延びる弱層

層付近には、多量の湧水（約 30l/min）が認められた。図-7は、地震後と翌年の 2005 年 5 月の DEM の比較により求めた地表面の上昇及び下降の状態を示したものである。移動土塊内に侵食が生じていることが原因で、地すべり斜面中腹から下部で地表面の下降が認

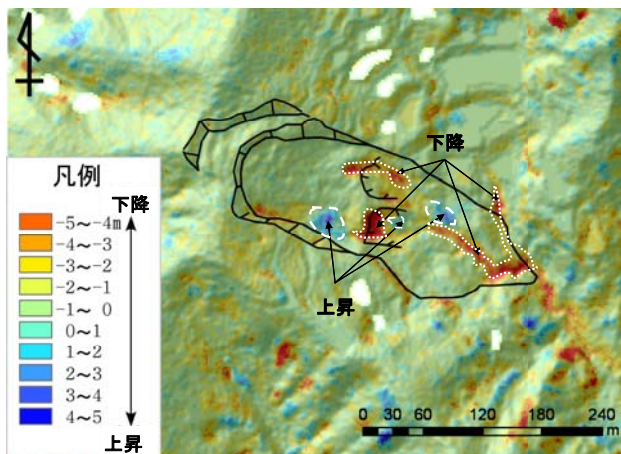


図-7 地震後-2005 年 5 月の上昇と下降の状態められる。

写真-4には、地すべり斜面中腹に形成された侵食谷の状況（2006 年 6 月）を示した。この谷は基岩（す

べり面）の上を流れる湧水と降雨や融雪水等の地表水によって形成されたものと推定される。この地すべりの特性としては、湧水が多いこと、すべり面下位が岩盤で移動土塊との境界部を地表水が流れる面積が大きいことが挙げられる。また、地すべり斜面の侵食は、これらの特性により生じたと考えられる。



写真-4 斜面上部の侵食谷の状況（2006 年 6 月）

#### 4.4.2 移動土塊の変動が生じた地すべり

図-8には朝日川山中地すべりの平面図を、写真-5には全景をそれぞれ示した。この地すべりの規模は、

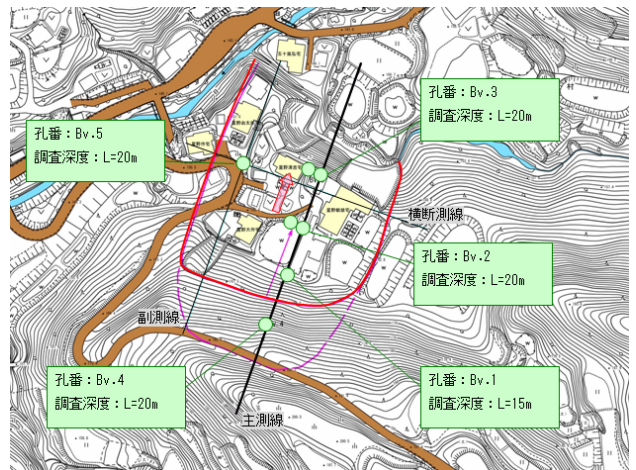


図-8 朝日川山中地すべり平面図

幅約 100m、長さ約 100m であり、台地状の地形を呈している。なお、地震では大きな移動は生じていない。図-9は、



写真-5 朝日川山中地すべり全景を示したものである。基岩は、荒谷層の泥岩である。

図-10には、地すべり動態観測結果を示した。パイプひずみ計は B.V. 3 に設置されており、この地点のすべり面は深度 14.9m と推定されている。平成 17 年

と18年の融雪期の変動はほとんど認められないが、平べりに共通して認められる。

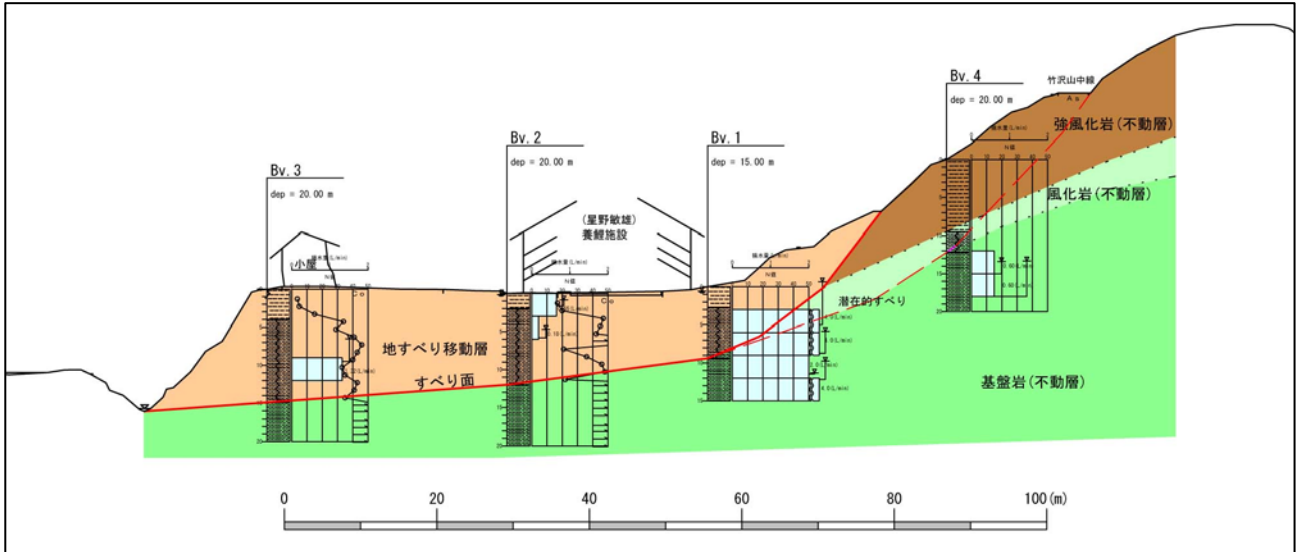


図-9 朝日川山中地すべり主測線

#### 4.5 地震後の地すべり変動危険度評価法の検討

地震により発生した地すべりの地震後の変動について、地すべり動態観測データ、地震直後とその後の複数期間のDEM地形データの比較、現地調査などにより調査した結果、地震後に大きな変動を生じた地すべりはないことが分かった。ここでは、地すべり動態観測データ、地震直後とその後の複数期間のDEM地形データの比較結果より、地震直後の地すべり滑動危険度要因の検討として、地震により発生した地すべりの地震後に比較的多く認められた①地すべり移動土塊のガリー侵食、②移動土塊内の変動に対して影響を及ぼす要因をとりまとめた。

現地調査とDEMの解析の各結果から、要因について考察した。地すべり移動土塊のガリー侵食が発生した事例は、基岩の地質がシルト岩や砂岩の場合(図-4)や移動量が移動土塊内で変動が発生した地すべりに比べて大きい場合に認められた(図-6)。また、前述の侵食が生じた地すべりの下塩谷1地すべりの現地調査では、土塊の攪乱、流水・湧水量、基岩の露出が侵食の原因になっているとみられた。一方、移動土塊内に変動が発生した事例は、地すべり斜面の基岩の地質が泥岩の場合(図-4)に認められた。

表-4には、地震後の地すべりの変動に対する危険度評価要因を示した。要因として、基岩の地質、移動量が挙げられた。また、現地調査において土塊の攪乱、流水・湧水量、基岩の露出も侵食に影響を及ぼすとみられた。基岩の地質については、侵食は地すべり斜面の基岩の地質がシルト岩、砂岩で発生しやすく、移動

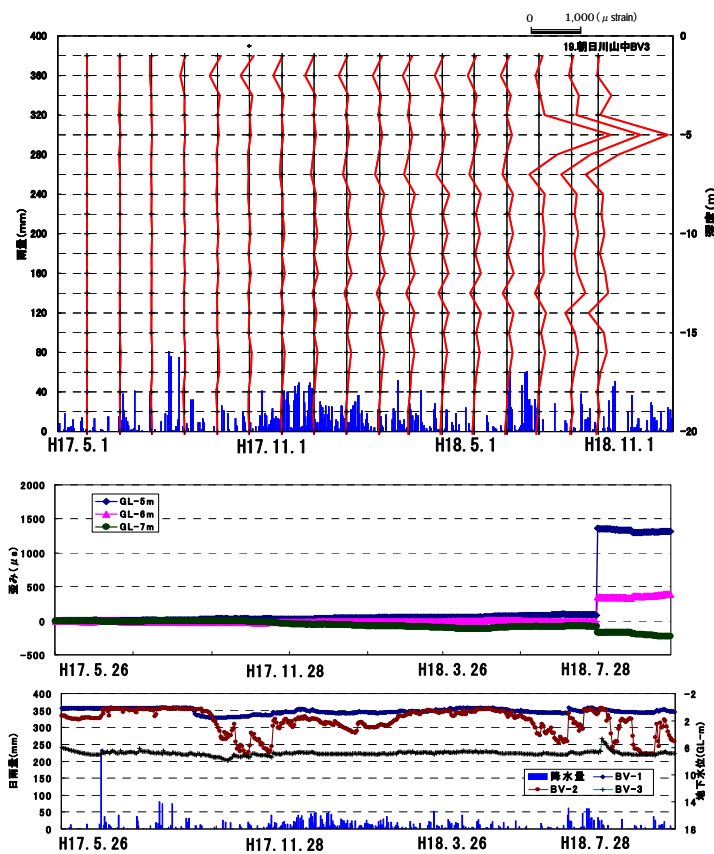


図-10 朝日川山中地すべり動態観測結果

成18年7月の降雨による地下水位の上昇により、深度5mにおいて約1200 $\mu$  strainの歪み(準確定変動)が生じた。

この地すべりの特性としては、地震(H16.10.23)により大きな移動が生じていないこと(図-10)、基岩が泥岩であること(図-9)が挙げられる。また、これらは、H18,19移動土塊に準確定変動が生じた地す

土塊内の変動は基岩の地質が泥岩で発生しやすい。移動量については、侵食は移動量が多い場合に発生しやすい。

表-4 地震後の地すべりの変動に対する危険要因

評価要因	地すべり斜面の侵食	地すべり土塊の変動
基岩の地質	シルト岩、砂岩で発生しやすい。	泥岩で発生しやすい。
移動量	移動量が多い場合に発生しやすい。	—
その他	・土塊の攪乱、 ・流水・湧水量、 ・基岩の露出、 が大きい場合に発生しやすい。	—

## 5. まとめ

中越地震により発生した地すべり地における動態観測結果等をもとに地震後の地すべりの変動を明らかにし、変動を示した地すべりの特性と地震後の地すべり地で発生する変動に対する危険要因の抽出を行った。以下に、その結果を示す。

- (1) 地震直後から2年間の地すべり動態観測データを分析した結果、明瞭な変動を生じた地すべりはなかった。
- (2) 地すべり地内での変動は、潜在歪みレベルのものがほとんどであり、明瞭な地すべり滑動によるものではない。
- (3) 地震直後とその後の複数期間のDEM地形データの比較を行った結果、何らかの変化が認められた地すべりは91箇所中20箇所(20%)であった。また、地すべり地内における地形変動は、斜面の侵食と移動土塊内の変動により生じたものが多く、約10%を占めた。
- (4) 地震後の地すべりの変動に対する危険度評価要因として、基岩の地質、移動量が挙げられた。また、土塊の攪乱、流水・湧水量、基岩の露出も侵食発生に影響を及ぼすとみられた。

## 6. 今後の課題

地震後に地すべりが変動を示したものが非常に少なかった。今回示した地震後の地すべり再滑動危険度評価は、現地調査を行い個別の地すべり毎に対応することで対処可能なものである。今後は、更に長期的な地すべり動態を調査して行く必要がある。

最後に、本研究を進めるに際しては、国土交通省北

陸地方整備局湯沢砂防事務所及び新潟県に御支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) (社)地すべり対策技術協会、地すべり観測便覧編集委員会：地すべり観測便覧、p301
- 2) 下川悦郎：斜面の土砂移動現象、p28、砂防学講座、第3巻、山海堂

# A Research for Activity Characteristics of Earthquake-induced Landsides in Snow-melting Season

## 1 Abstract

A large number of landslide hazards occurred by the Mid-Niigata Prefecture earthquake, and reactivity in snow-melting season of those landslides was concerned since the earthquake occurred in late October,2004. Under the situation of estimated occurrence of huge earthquake and inland earthquake by active fault in near future, we began this study because we think it is important to conduct detailed investigations for the landslide deformation which induced by strong earthquake, clarify the risk evaluating method for post-earthquake landslide. In this study, based on the in-situ measurement results conducted in landslide sites induced by the Mid-Niigata Prefecture earthquake, we revealed the post earthquake deformation of the landslides, and discussed the landslide characteristics and risk valuating method for post-earthquake landslides. The results show, very few landslides deformed according to the measurement data, and, according to the DEMs comparison immediately after, as well as periods after the earthquake, 21 landslides showed some deformation in 91 studied landslides.

Keywords: post earthquake, landslide, deformation, risk evaluating method