

# 既存地すべり地形の地震時地すべり発生危険度評価手法

丸山清輝\* ハスバートル\*\* 中村 明\*\*\* 野呂智之\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年、平成16年10月の新潟県中越地震、平成19年3月の能登半島地震、同年7月の新潟県中越沖地震、平成20年の岩手・宮城内陸地震などの激甚な逆断層型地震が頻発し、地震による地すべり災害が多発した。これらの地すべりは、道路及びライフラインの寸断、河道閉塞などを引き起こし、長期にわたり集落を孤立させるなど中山間地に深刻な影響をもたらした。

そこで、前述の4つの地震により発生した地すべり災害の実態把握を行い、逆断層周辺における地すべり多発範囲を明らかにし、地震による既存地すべり地形における地すべり発生危険度評価手法を作成したので報告する。

## 2. 逆断層周辺における地すべり多発範囲<sup>2)</sup>

地すべりと震源断層との位置関係は、図-1に基づいて検討した。震源断層から地すべりまでの距離は、地すべりの重心と震源断層モデル上端の地表投影線との最短距離とした。また、震源断層モデルの地表投影範囲を断層面投影範囲とし、その内外の地すべり発生状況についても比較した。なお、震源断層から地すべりまでの距離は、2次元での距離計算を簡単に行うことができるGISを用いて求めた。

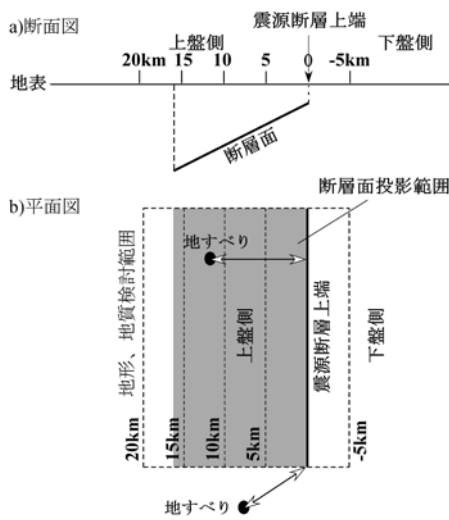


図-1 震源断層と地すべりの位置関係図

図-2は、逆断層地震による震源断層の上盤側及び走向方向における地すべり発生範囲を示したものである。なお、図中の数値は、中越地震による地すべり箇所（割合）を示す。今回対象とした4つの地震による地すべりの分布を概観し、震源断層の走向方向に15 kmの距離を取り、中越地震を事例として試算した場合、発生した地すべりはA+Bの範囲に全体の93.4%が含まれた。この方法を他の地震に適用すると、能登半島地震では60.0%、中越沖地震では66.7%、岩手・宮城内陸地震では全ての地すべりが含まれた。能登半島地震と中越沖地震の値が他の地震の値に比べて小さいのは、震源断層の位置が海域であることが影響していると考えられる。

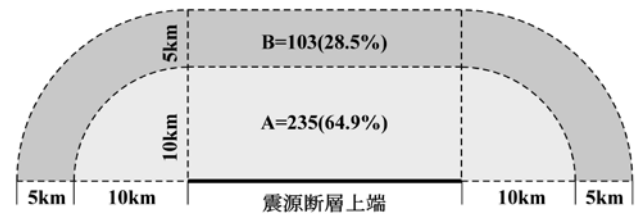


図-2 逆断層地震による地すべり多発範囲 (数値は中越地震の値)

この他、平成23年3月12日に発生した長野県・新潟県県境付近の地震(M6.7)の被災地では、地すべりは逆断層の上盤側15km以内に多数発生しており、発生したほとんどの地すべりは図-2に示したA+Bの範囲に含まれた。

以上のことから、地震(M7.0前後)による逆断層周辺における地すべり発生危険度評価範囲は、震源断層上盤側における震源断層上端からの距離15kmと震源断層両端を走向方向に各々15km延長してできた範囲として設定できると考える。

## 3. 危険度評価要因及び危険度評価

ある現象が発生する確率を、その現象の出現を説明する変数群により求める分析法としてロジスティック回帰分析法がある<sup>3)</sup>。この分析法は、地震により地すべりが発生する確率を、地すべりの発生を説明する要因により求める方法に適していると考えられる。そこで、新潟県中越地震と岩

An approach of susceptibility analysis for deep-seated landslide induced by earthquake within pre-existing landslide topography

手・宮城内陸地震において地すべり地形内で発生した地すべりを対象に、ロジスティック回帰分析法を用いて、危険度評価要因の選定と危険度評価法の検討を行った。なお、検討範囲は、中越地震については芋川流域とその周辺の地すべりとし、地震前（1975、1976年撮影）と直後の空中写真と地形データ（DEM）をもとに判読できる範囲とした。また、岩手・宮城内陸地震については国土地理院技術資料 D・1-No. 541「平成 20 年（2008）岩手・宮城内陸地震 1:25,000 詳細活断層図（活断層・地形分類及び地形の変状）」<sup>4)</sup>に示された範囲とし、地すべり地形は資料に示されたものを用いた。

表-1には、検討に用いたデータについて示した。検討に用いた既存地すべり地形は、図-2に示した逆断層地震による地すべり多発範囲内に位置する2,023箇所であり、中越地震が1,050箇所（地すべり非発生箇所数

表-1 検討に用いたデータ

	地すべり非発生箇所数	地すべり発生箇所数	合計
中越地震	963	87	1,050
岩手・宮城内陸地震	944	29	973
合計	1,907	116	2,023

963、地すべり発生箇所数87)、岩手・宮城内陸中越地震が973箇所（地すべり

### 3.1 危険度評価要因

地すべり発生の危険度評価要因として地質や地形が挙げられるが、地質は地域性があるため一般的な要因にはならないと考え、地形要因のみに注目した。検討した地形要因として、縁辺侵食率、地すべり地形の標高偏差（既存地すべり地形内地表面標高の標準偏差値）、既存地すべり地形から地質構造（断層、褶曲軸）までの距離、稜線までの距離、河川までの距離、震源断層までの距離などを取りあげた。この中で、縁辺侵食率以外は、GISソフトによりデータを容易に作成できるものである。

縁辺侵食率は、地すべり地形の縁辺長に対する侵食地形長の割合と定義し、式(1)により求めた。

$$E = \ell / L \times 100 (\%) \quad \text{式(1)}$$

ここで、E：縁辺侵食率(%)

$\ell$ ：侵食地形長(m)

L：地すべり縁辺長(m)

である。

図-3には、侵食地形長  $\ell$  と地すべり縁辺長 L を示した。侵食地形長  $\ell$  は、地すべり斜面末端が河川や谷に面する部分の縁辺長と、側部が侵食谷などの谷地形を呈する谷線の長さを合計したものである。なお、谷線の長さは、1次谷の判定基準と同様に間口より奥行きの方が大きくなっている範囲とした。

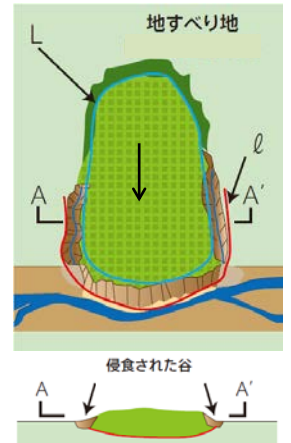


図-3 侵食地形長  $\ell$  と地すべり縁辺長 L

### 3.2 危険度評価法

危険度評価要因の選定と地震による地すべりの発生確率を求める式の作成は、中越地震により地すべりが発生した既存地すべり地形87箇所とランダムに抽出した地すべり非発生既存地すべり地形87箇所のデータを用意し、その中から各々ランダムに抽出した65箇所のデータを用いて行った。なお、残り各22箇所のデータは、作成した式の検証に用いた。

検討の結果、地形要因（縁辺侵食率、30mメッシュで求めた地すべり地形の標高偏差、既存地すべり地形から地質構造（断層、褶曲軸）までの距離、稜線までの距離、河川までの距離、震源断層までの距離）の選定ではステップワイズ法により標高偏差と縁辺侵食率が選定され、この2つの要因が地すべりの発生に最も寄与することが分かった。なお、標高偏差は斜面勾配と地すべり地形の面積に関係し、標高偏差が大きくなるほど勾配が急になるか、または面積が大きくなることを表す。このことにより、勾配が急になるほど地震により斜面安全率の低下が起こる確率が高くなることや、面積が大きくなるほど地すべり斜面の一部が移動する確率が高くなることが考えられる。

地震による地すべり発生確率を求める式として、式(2)が得られた。

$$p = 1 / [1 + \exp \{ -(0.060 \times x_1 + 0.035 \times x_2 - 2.630) \}] \quad \text{式(2)}$$

ここで、p：地震による地すべり発生確率

$x_1$ ：標高偏差 (m)

$x_2$ ：縁辺侵食率 (%)

である。

表-2は、式(2)の的中率を示したものである。なお、地すべりの発生・非発生は  $p > 0.50$  を発生、 $p \leq 0.50$  を非発生としている。地すべり発生に対する的中率は 78%、地すべり非発生に対する的中率は 71%、全体の的中率は 75% であった。

表-2 内挿データによる的中率

	データ件数	的中件数	外れ件数	的中率(%)
発生	65	51	14	78
非発生	65	46	19	71
発生+非発生	130	97	33	75

表-3は、用意したデータの残りをを用いた式(2)の検証結果を示したものである。地すべり発生に対する的中率は77%、地すべり非発生に対する的中率は73%、表-3 残りの外挿データによる検証結果全体の的中率は75%であり、式(2)の妥当性が確認された。

表-3 残りの外挿データによる検証結果

	データ件数	的中件数	外れ件数	的中率(%)
発生	22	17	5	77
非発生	22	16	6	73
発生+非発生	44	33	11	75

式(2)作成時

のデータによる地すべり発生率と全データによる地すべり発生率が異なることから、ロジスティック回帰式の調整<sup>5)</sup>を式(3)により行い式(5)を得た。

$$p_m = 1 / [1 + \exp \{ -(\log q_1 / q_2 + 0.060 x_1 + 0.035 x_2 - 2.630) \}]$$

式(3)

ここで、 $q_1 / q_2$  は調整のための係数であり、(4)式で表される。

$$q_1 / q_2 = \{ s (1 - r) \} / \{ r (1 - s) \}$$

式(4)

ここで、

$r$  : 全データによる地すべり発生率  
(87/1,050 = 0.08)

$s$  : 式(2)作成時データの地すべり発生率  
(65/130 = 0.50)

である。

$$p_m = 1 / [1 + \exp \{ -(0.060 x_1 + 0.035 x_2 - 5.032) \}]$$

式(5)

表-4には、式(4)による岩手・宮城内陸地震の地すべり発生予測の的中率を示した。なお、地す

べりの発生・非発生は、式(2)を求めた中越地震における地すべり発生率0.08をもとに、 $p_m > 0.08$  を発生、 $p_m \leq 0.08$  を非発生としている。地すべり発生に対する的中率は76%、地すべり非発生に対する的中率は75%、全体の的中率は75%であった。

表-4 外挿データによる検証結果

	データ件数	的中件数	外れ件数	的中率(%)
発生	29	22	7	76
非発生	944	708	236	75
発生+非発生	973	730	243	75

図-4には、式(4)により中越地震の全データについて求めた地すべり発生確率  $p_m$  の区間毎における発生・非発生別の相対度数分布と地すべり発生率を示した。地すべり発生率は  $p_m$  の上昇とともに増大しており、 $p_m$  が0.40以上では更に増大している。そこで、地震による地すべり発生の危険度を、 $p_m \leq 0.08$  を危険度低、 $0.08 < p_m < 0.40$  を危険度中、 $p_m \geq 0.40$  を危険度高とした。

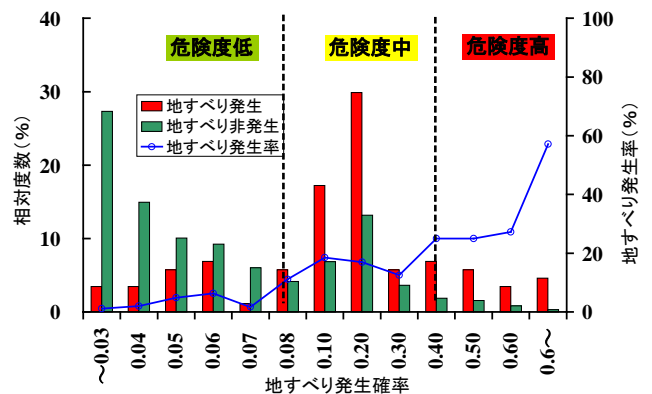


図-4 式(5)による地すべり発生確率に対する相対度数と地すべり発生率

図-5は、岩手・宮城内陸地震の被災地における危険度評価の結果を示したものである。なお、この地震における地すべりの発生・非発生に対する外挿データによる的中率は75%である(表-4)。

#### 4. まとめ

本研究では、地すべり地形を呈する箇所、地震時に地すべりが発生する危険度を評価し、地震による地すべりのソフト・ハード対策に資することを目的として研究を進めてきた。以下に、その結果を示す。



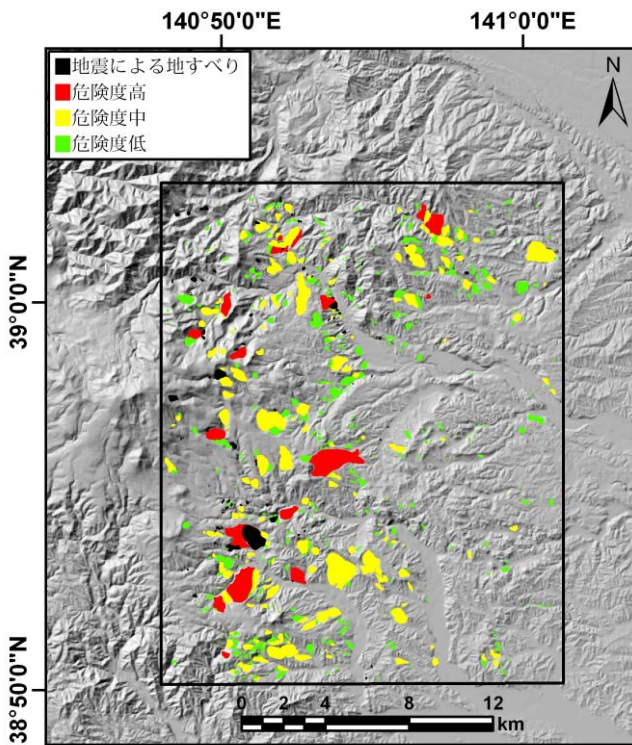


図-5 岩手・宮城内陸地震被災地の危険度評価結果

- (1) 中越地震、能登半島地震、中越沖地震、岩手・宮城内陸地震における地震による地すべり発生状況について検討した結果、地震(M7.0前後)による逆断層周辺における地すべり発生危険度評価範囲は、震源断層上盤側における震源断層上端からの距離15kmと震源断層両端を走向方向に各々15km延長してできた範囲として設定できると考える。
- (2) 地すべり発生の危険度評価要因として、縁辺侵食率、地すべり地形の標高偏差、既存地すべり地形から地質構造(断層、褶曲軸)まで

の距離、稜線までの距離、河川までの距離、震源断層までの距離などを取りあげ検討した結果、標高偏差と縁辺侵食率が地すべりの発生に最も寄与することが分かった。

- (3) 既存地すべり地形の地震時地すべり発生危険度評価手法として、危険度評価要因に地すべり斜面の標高偏差と縁辺侵食率を用いたロジスティック回帰分析による方法が有効である。

本研究により、既存地すべり地形の地震時地すべり発生危険度評価手法を作成することができた。しかしながら、地震時には、既存地すべり地形外でも数多くの地すべりが発生している。今後は、地震による初生地すべりの発生危険度評価法についても研究を進めてゆく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 野呂智之、丸山清輝、ハスパートル、中村 明：既存地すべり地形における地震時地すべり発生危険度評価手法に関する研究、土木研究所資料第4204号、2011年7月
- 2) ハスパートル、石井靖雄、丸山清輝、寺田秀樹、鈴木聡樹、中村 明：最近の逆断層地震により発生した地すべりの分布と規模の特徴、日本地すべり学会誌、Vol.48、No.1、pp.23~38、2011
- 3) 中村好一：論文を正しく読むための優しい統計学、pp.97~108、診断と治療社
- 4) 国土地理院技術資料D・1-No.541「平成20年(2008)岩手・宮城内陸地震 1:25,000 詳細活断層図(活断層・地形分類及び地形の変状)」
- 5) 高田直樹(2007)：ロジスティック回帰分析結果の解釈・利用のための新手法-信用リスク・スコアリングモデルを例に-、IBMプロフェッショナル論文3、pp.71~77、ProVISION No.53/spring 2007

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(学)  
Dr.Kiyoteru MARUYAMA

ハスパートル\*\*



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  
専門研究員、博(理)  
Dr.Bateer HASI

中村 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 交  
流研究員  
Akira NAKAMURA

野呂智之\*\*\*\*



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  
Tomoyuki NORO