

4. 2 地震時における再滑動地すべり地の危険度評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：石井靖雄、丸山清輝、ハスバートル
中村 明

【要旨】

近年、新潟県中越地震などの激甚な逆断層型地震が東日本で相次いで発生し、中山間地域に大きな被害を及ぼしている。そこで、H20 年度から 3 カ年計画で地すべり地における地震時の地すべり発生危険度評価法を提案するために本研究を開始した。H21 年度は H20 年度に引き続いて既往の地震時における地すべり災害の実態把握と、地震による地すべり地の危険度評価法について検討した。前者については、善光寺地震で発生した地すべりについて分析した。後者については、震源断層と地震により発生した地すべりとの関係及び地震による地すべりの危険度評価要因について検討した。その結果、新潟県中越地震、能登半島地震など 5 つの激甚な地震における震源断層からの距離と地すべり発生との関係が明らかになり、地震時の地すべり発生危険度評価範囲を示すことができた。また、新潟県中越地震と岩手・宮城内陸地震の事例をもとに、地すべり地形を呈している斜面の地震時の地すべり発生危険度評価要因として、地すべり斜面の縁辺侵食率などを用いた危険度評価法について示すことができた。

キーワード：地震、地すべり、危険度評価

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、本研究では、前述の 4 つの地震の他、善光寺地震などの既往の地震により発生した地すべり災害の実態把握を行い、既存の地すべり地形内で発生する地震時の地すべり危険度評価手法を作成し、第三紀層地すべり地帯における地すべり危険箇所マップ作成手法の提案を目指す。

H21 年度は、H20 年度に引き続いて既往の地震時における地すべり災害の実態把握と、地震による地すべり地の危険度評価法について検討した。前者については善光寺地震で発生した地すべりについて分析し、後者については震源断層と地震により発生した地すべりとの関係及び地震による地すべりの危険度評価要因について検討した。

2. 研究目的

本研究の達成目標は、①第三紀層地帯における地震による地すべり危険箇所マップ作成手法、②モデル地域（新潟県上越地域など）における地震による地すべり危険箇所マップ試案、③地震による地すべり発生危険箇所予測に必要な要因に関わる基礎的情報整備体制などの提案である。

3. 研究方法及び結果

本研究は、地すべり地形を呈する箇所で、地震時に大規模な土砂移動現象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・ハード対策に役立てることを目的とする。そのため、ここでいう地すべりとは、既存の地すべり地形内で発生する、社会的影響の大きい大規模な斜面の移動と定義する。また、危険度評価は既存の地すべり地形を評価単位とした。

危険度評価手法の構築には、①危険度評価範囲の設定手法、②危険度評価要因、③総合的な危険度評価法が必要となる。H21 年度は、①として新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震、などの 4 つの地震を対象に、震源断層と地震による地すべりの分布、規模の特徴、地すべりの分布と震度、地表最大加速度分布との関係について調査した。また、地震による地すべりは、震央と震源断層のいずれとの

関連性が高いかを明らかにするため、地すべりの分布と震央、震源断層からの距離との関係について調査し検討を行った。この他、歴史地震である1847年の善光寺地震(M7.4、逆断層型地震)により発生した地すべり分布の特徴と震源断層や震央との距離の関係について分析し、前述の4つの地震についての分析結果との適合性を検討した。また、②、③としては、縁辺侵食率などの要因を用いた危険度評価法について検討した。

3.1 逆断層型地震により発生した地すべりの分布と規模の特徴

3.1.1 調査対象範囲

図-1には、中越地震、中越沖地震、能登半島地震、岩手・宮城内陸地震についての調査対象範囲を示す。調査対象範囲は、各地震の震源域及びその周辺地域であり、各地震発生直後に空中写真が撮影された範囲とした。

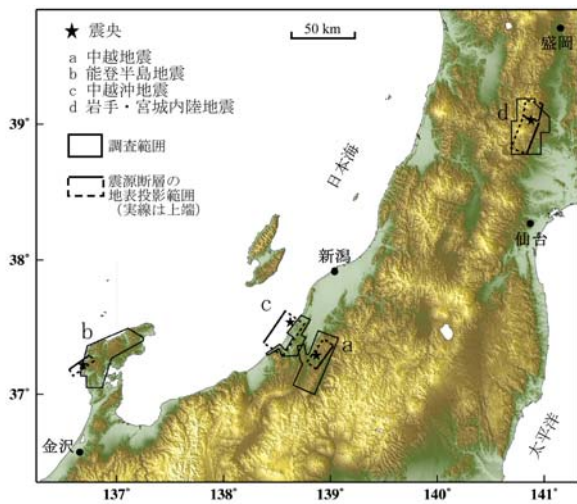


図-1 調査対象範囲

3.1.2 研究方法

地震による地すべりの分布、規模の特徴の解明については、震源断層モデルを用いて震源断層と地すべりの分布、地すべりの最大長さの頻度を調べた。また、地震動と地すべり発生との関係解明については、地すべりが発生した範囲の包絡線と震度¹⁾、地表最大加速度²⁾との各関係、震央や震源断層からの距離と地すべりの分布、規模との関係を調べた。なお、最大加速度は三成分の合成値を用いた。

ここで、地震による地すべりの分布図は、地震発生後の空中写真の判読と現地調査を行い作成した。なお、中越地震による地すべりの分布図は、国土交通省の判読結果³⁾を用いた。また、ここで扱う「地すべり」は、移動体の層厚が比較的厚く、移動後

も移動体の原型がある程度保持されているもので、縮尺1:20,000程度の空中写真で判読できるものとし、明らかな表層崩壊や土石流は調査対象外とした。

この他、地すべりと震源断層との位置関係は、図-2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面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。また、今回対象とした地震については公表されている断層モデルの傾斜角は一定であるため、断層面上端の地表投影線から地すべりまでの距離と断層面から地すべりまでの距離は比例関係となる。表-1には、ここで用いた震源断層モデル^{4),5),6),7)}を示した。

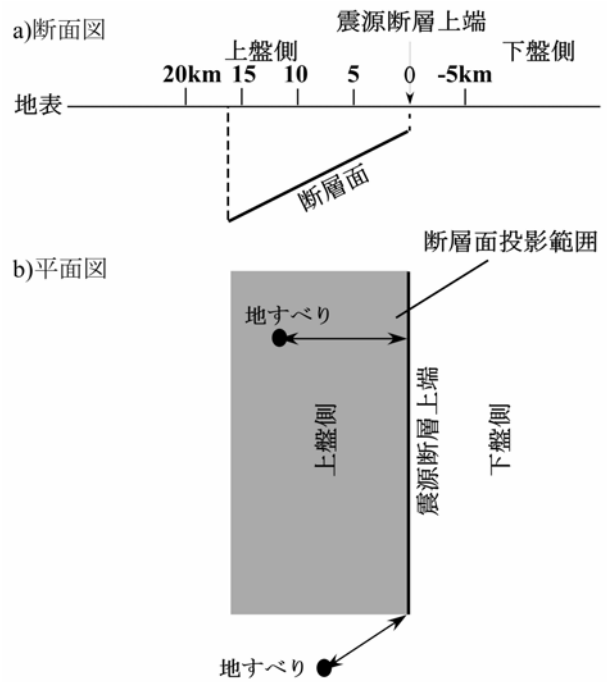


図-2 震源断層と地すべりの位置関係の模式図

表-1 震源断層モデル一覧表

地震名	長さ(km)	幅(km)	走向(°)	傾斜(°)	断層型	出典
中越地震	24	16	N36E	53NW	北西向き逆断層	Hikima and Koketsu(2005)
能登半島地震	21.2	13.9	N55E	63SE	南東向き逆断層	国土地理院(2007)
中越沖地震	30	18	N38E	34SE	南東向き逆断層	引間・頼綱(2008)
岩手・宮城内陸地震	42	18	N21E-N11E	41NW	北西向き逆断層	Hikima et al.,2008

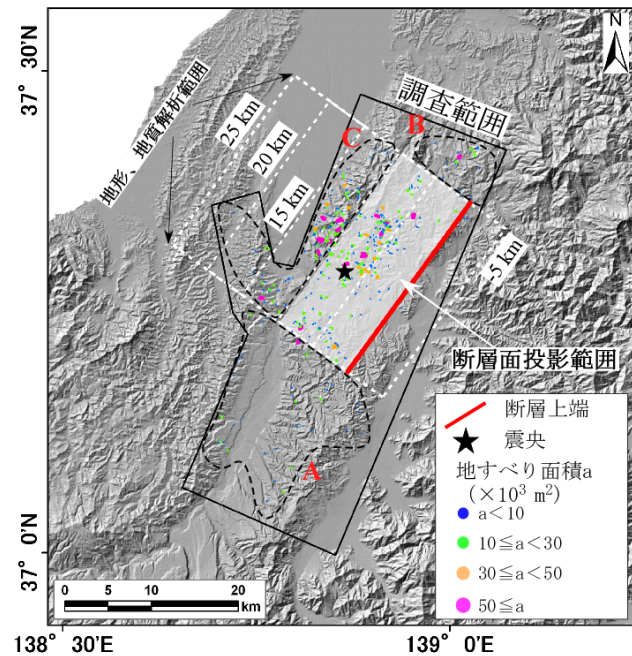
3.1.3 研究結果

3.1.3.1 地震による地すべりの分布

表-2には各地震による地すべりの判読結果を、図-3～6には地すべりの分布を示した。図-3に示した中越地震については地すべりが362箇所が発生し、その中において断層面投影範囲内で発生した地すべりは200箇所であり、全体の55.2%を占めた。断層面投影範囲外で発生した地すべりについては、断層走向に延長した方向では南西側に41箇所分布し全体の11.3%（図-3中のA）を占め、北東側に15箇所分布し全体の4.1%（図-3中のB）を占めた。また、震源断層の上盤側で発生した地すべりは350箇所で全体の96.7%を占めたのに対し、下盤側で発生した地すべりは12箇所（全体の3.3%）と少なかった。この他、図-3から大規模な地すべりは、上盤側に分布する傾向が認められる。

表-2 地震による地すべりの判読結果

対象地震	全箇所数	断層面投影範囲内		断層面投影範囲外		断層上盤側		断層下盤側	
		箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)
中越地震	362	200	55.2	162	44.8	350	96.7	12	3.3
能登半島地震	15	2	13.3	13	86.7	13	86.7	2	13.3
中越沖地震	18	9	50.0	9	50.0	18	100	—	—
岩手・宮城内陸地震	136	121	89.0	9	6.6	127	93.4	9	6.6



A: 断層面投影範囲の南西延長の地すべり包絡範囲
B: 断層面投影範囲の北東延長の地すべり包絡範囲

図-3 中越地震による地すべりの分布

図-4に示す能登半島地震については、断層面投影範囲内で発生した地すべりは2箇所であり、全体の

13.3%を占めた。また、震源断層の大部分は海底に位置し、下盤側の海域部分の地すべり発生状況は不明である。この他、調査範囲内で発生した地すべりは、13箇所が上盤側に位置し、全体の86.7%を占めた。一方、下盤側で発生した地すべりは2箇所であった。

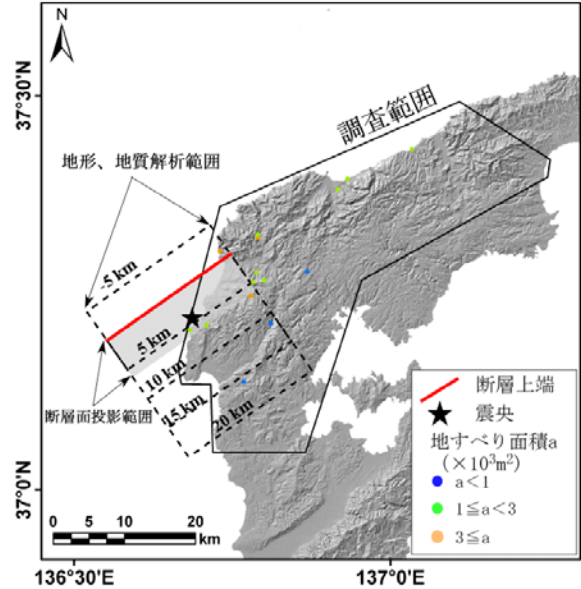


図-4 能登半島地震による地すべりの分布

図-5に示した中越沖地震については、断層面投影範囲内で発生した地すべりは9箇所と全体の50.0%を占めた。また、断層面投影範囲外については、南西側に7箇所の地すべり（図-5中のA）が分布し、全体の38.9%を占めた。一方、北東側については分布が認められなかった。この他、調査範囲内で発生した地すべりは、18箇所全てが震源断層の上盤側に分布していた。なお、海域となる震源断層下盤側の地

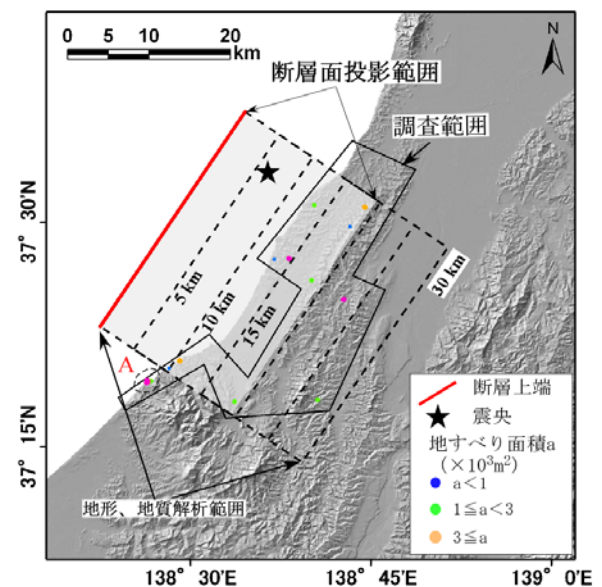


図-5 中越沖地震による地すべりの分布

すべり発生状況は不明である。

図-6に示した岩手・宮城内陸地震については、地

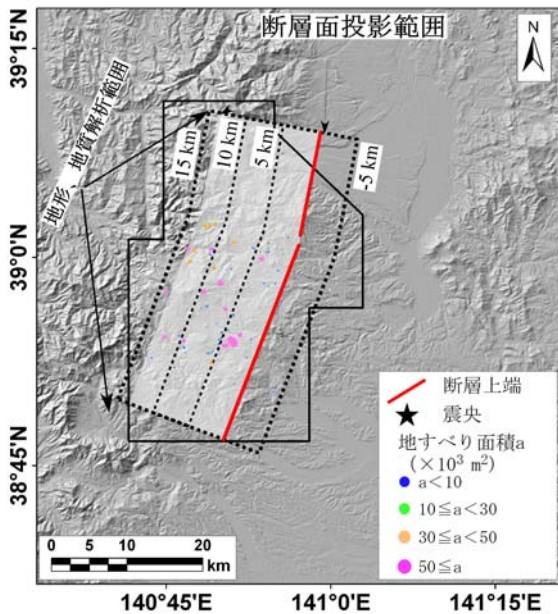


図-6 岩手・宮城内陸地震による地すべりの分布

すべりは136箇所が発生した。この内、断層面投影範囲内で発生した地すべりは121箇所全体の89.0%を占めており、大規模な地すべりは断層面投影範囲内に含まれている。また、震源断層の上盤側で発生した地すべりは127箇所全体の93.4%を占めたのに対し、下盤側で発生した地すべりは9箇所であった。

以上の結果から、上述の4つの地震による地すべりは、震源断層の上盤側で数多く発生し、全体の85%以上を占めることが示された。

3.1.3.2 震度、最大加速度と地すべりの分布

各地震の本震の震度、地表3成分合成最大加速度と地すべりの分布状況を調べた結果を以下に示す。

図-7~10には、各地震の震度、最大加速度分布と地すべりが発生した範囲の包絡線を示した。中越地震については、地すべりは震度5強以上の分布域(図-7a)、最大加速度500gal以上の分布域で発生した(図-7b)。

能登半島地震については、地すべりは震度5強以上の分布域で発生し(図-8a)、最大加速度200~500galの分布域で1箇所(全体の6.7%)、500gal以上の分布域については14箇所(全体の93.3%)発生した(図-8b)。

中越沖地震については、地震による地すべりは震度6弱以上の分布域で発生し(図-9a)、図-9b)に示したように最大加速度200~500galの

分布域で1箇所(全体の5.5%)、500gal以上の分布域については17箇所(全体の約94.5%)発生した。

岩手・宮城内陸地震については、図-10a)に示すように、全ての地すべりは震度5強の分布域で発生している。また、図-10b)に示したように、地すべりは最大加速度500gal以上の分布域で発生した。

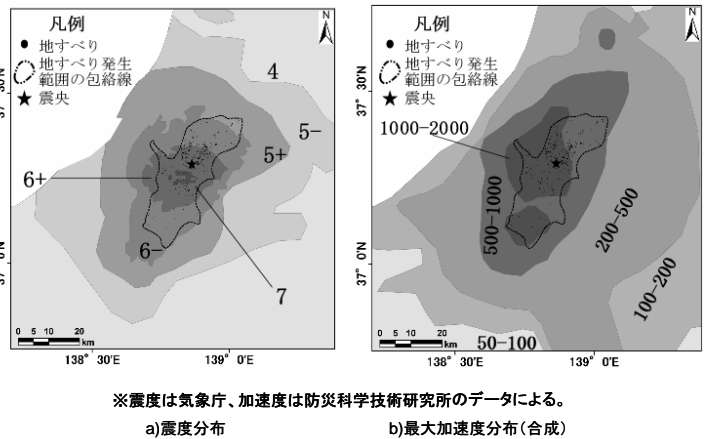


図-7 中越地震の震度、最大加速度分布と地震による地すべりの分布

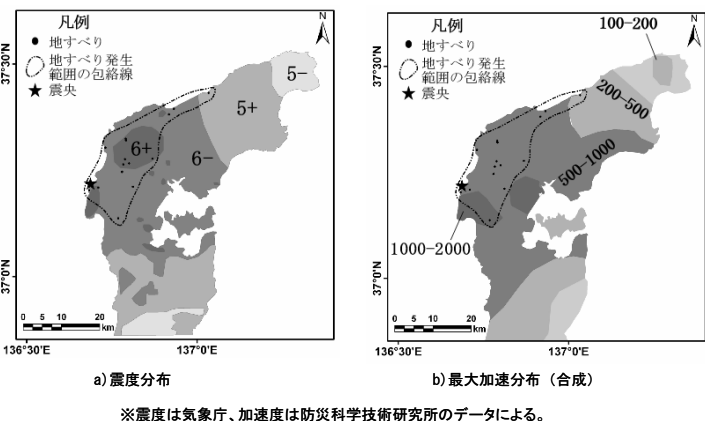


図-8 能登半島地震の震度、最大加速度分布と地震による地すべりの分布

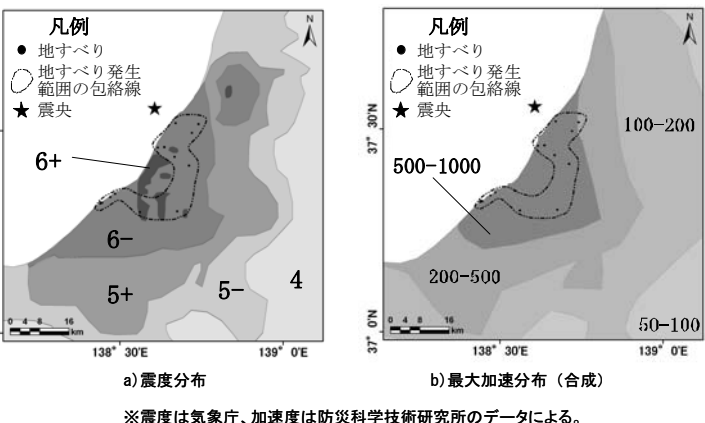


図-9 中越沖地震の震度、最大加速度分布と地震による地すべりの分布

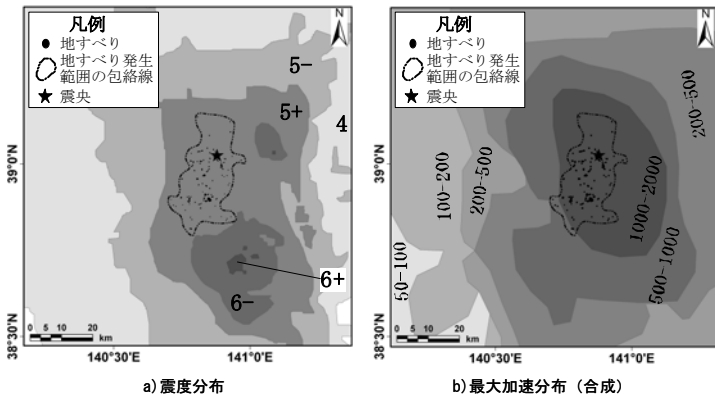


図-10 岩手・宮城内陸地震の震度、最大加速度分布と地震による地すべりの分布

※震度は気象庁、加速度は防災科学技術研究所のデータによる。

以上の結果、4つの地震による地すべりは震度5強以上で発生し、最大加速度500 gal以上の分布域に93.3%が発生した。

3.1.3.3 震央からの距離と地すべりの分布及び面積

図-11a)、b)は、各地震の震央から地すべりまでの距離と地すべりの面積との関係をそれぞれ示したものである。中越地震については、地すべりは震央から28 km以内で発生し、震央から離れるほど地すべりの規模が小さくなる傾向が認められる。岩手・宮城内陸地震については、地すべりは震央より約25 km以内で発生し、震央から離れるほど地すべりの面積が小さくなる傾向が認められる。

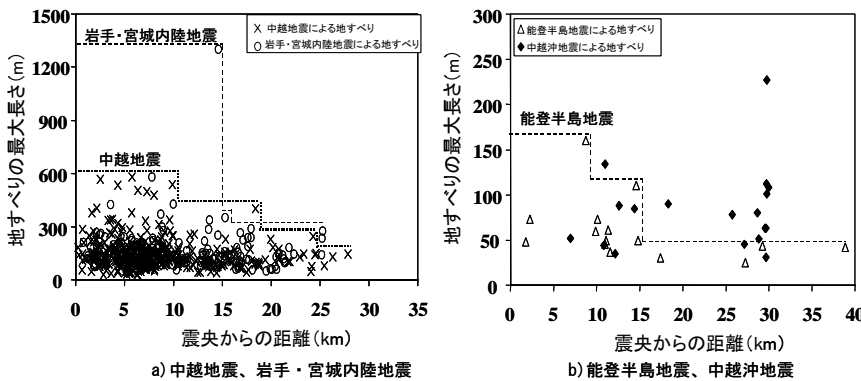


図-11 震央からの距離と地すべりの面積

能登半島地震については、地すべりは震央から39 kmの範囲で発生した。地すべりの面積は、震央から離れるほど小さくなる傾向がある。中越沖地震については、地すべりは震央から30 km以内の範囲で発生し、震央から遠く離れた位置に面積の大きな地すべりが存在し、震央から離れるほど地すべりの面積が小さく

なる傾向は認められない。

これらのことから、地すべりは震央から26~39 km以内の範囲で発生するものの、地すべりの面積は地震によっては震央から離れるほど小さくなるとは言えない結果となった。

3.1.3.4 震源断層からの距離と地すべりの分布及び面積

図-12は、震源断層からの距離と地すべりの面積との関係を示したものである。中越地震については、図-12a)に示したように地すべりは震源断層から約22 kmの範囲内で発生した。震源断層から約6.3 kmの位置で面積が最大の地すべりが発生し、6.3 km以遠については震源断層から離れる

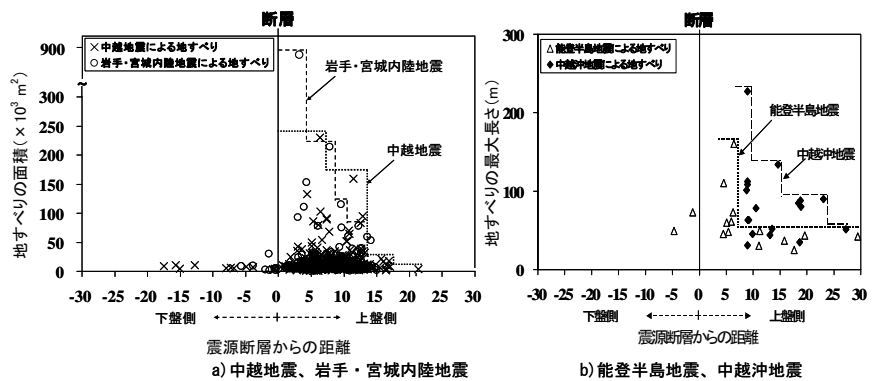


図-12 震源断層からの距離と地すべりの面積

ほど面積の大きな地すべりの発生は認められない。また、震源断層の下盤側で発生した地すべりは、上盤側で発生したものに比べて面積が小さい傾向が認められる。

岩手・宮城内陸地震については、

図-12a)に示すように地すべりは震源断層から約15 kmの範囲で発生した。震源断層から3.6 kmの位置で面積が最大の地すべりが発生し、3.6 km以上については震源断層から離れるほど地すべりの最大面積が小さくなる傾向を示した。また、中越地震と同様に、震源断層の下盤側で発生した地すべりは、上盤側で発生したものに比べて面積が小さい傾向が

認められる。

能登半島地震については、図-12b)に示したように、地すべりは震源断層から30 km以内の範囲で発生した。震源断層から約6.2 kmの位置で面積が最大の地すべりが発生し、6.2 km以遠は震源断層から遠くなるにつれ地すべりの最大面積が小さくなる傾向が認

められる。また、震源断層の下盤側で発生した地すべりの面積は、上盤側で発生したもの比べて小さい傾向が認められる。

中越沖地震については、図-12b)に示したように、地すべりは震源断層から約 28 km の範囲内で発生した。震源断層から 8.9 km の位置で面積が最大の地すべりが発生し、震源断層から離れるほど地すべりの最大面積が短くなる傾向が認められる。

以上の結果、震源断層から 4.0~9.0 km 程度で最大面積の地すべりが発生し、それ以上については地すべりの面積が小さくなる傾向がみられた。また、震源断層から 5 km 以内の範囲については最大面積の地すべりは発生していないことから、震源断層に近いほど地すべりの面積が長くなるという訳ではないことも明らかになった。この他、地すべりは震源断層の上盤側で多発し、その面積は下盤側で発生したもの比べて大きくなる傾向が認められた。

このように、震央からの距離よりも震源断層からの距離が地すべりの面積に影響を及ぼしている可能性が示されたが、震源断層に近い範囲に地すべりが発生しやすい地形、地質があったためにこのような結果となった可能性も考えられる。そこで、震源断層から一定距離の範囲毎に、地すべりの発生率と斜面勾配、平均斜面勾配、地質構成との関係を調べた。しかしながら、震源断層から 5 km の範囲毎の平均斜面勾配と地すべり発生率の間には関連性が認められなかった。また、震源断層に近い範囲に地すべりが発生しやすい地形、地質があったために、震源断層近くで面積の大きな地すべりが発生し、地すべり発生率も高くなったとは言えないと考えられた。

3.1.3.5 善光寺地震による地すべりの分布

歴史地震である 1847 年の善光寺地震 (M7.4、逆断層型地震) により発生した地すべり分布の特徴と震源断層や震央との距離の関係について分析し、前述の 4 つの地震についての分析結果との適合性を検討した。

図-13には、調査範囲を示した。調査範囲における善光寺地震で発生した地すべりの分布図は、斉藤ら⁸⁾及び中央防災会議⁹⁾の調査結果をもとに、空中写真判読や現地調査を行い作成した。また、震源断層 (北西傾斜の逆断層) の位置は地震予知総合研究振興会¹⁰⁾の結果を、震央の位置は宇佐美¹¹⁾の結果をそれぞれ用いた。

図-14は、震源断層からの距離と地震で発生した地すべりの長さとの関係を示したものである。地すべり

は、震源断層から 23 km の範囲内で発生している。また、地震による地すべりは震源断層の上盤側で多く発生 (88.6%) し、その面積は下盤側のものに比較して大きいことや震源断層から離れるほど小さくなる傾向が認められる。これらのことから、善光寺地震による地すべりの発生は、前述した中越地震などの 4 つの地震による地すべりと同様に震央からの距離よりも震源断層からの距離に強く影響されていることが推測される。

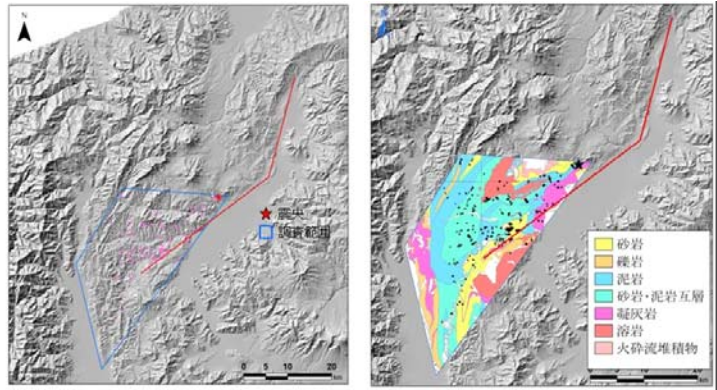


図-13 調査範囲

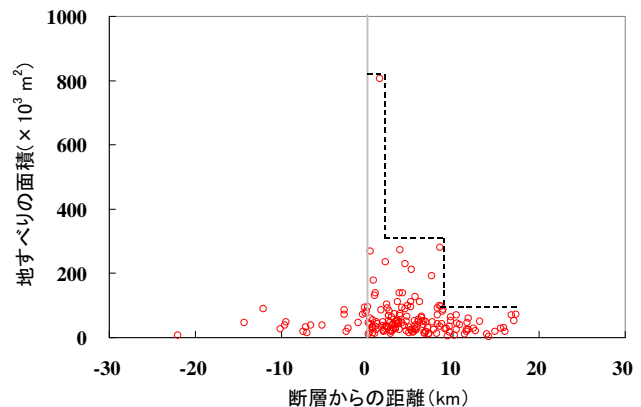


図-14 震源断層からの距離と地すべりの長さ

以上の結果、地震による地すべりの発生は震央よりも震源断層に強く影響されると考えられることから、内陸における逆断層型地震による地すべりの多発範囲は、断層モデルなどの震源断層に基づいて予測することが有効であると考えられる。

3.2 逆断層周辺で地すべりが多発する範囲

地震による地すべりは震源断層の上盤側で数多く発生していることから、震源断層から上盤側方向への距離階における地すべりの分布状況を調べ、地震による地すべりの多発範囲について検討した。

図-15a)には、中越地震の地すべり多発範囲を示した。震源断層から上盤側の 10 km の範囲 A には地すべりが 205 箇所 (56.6%) 発生し、15 km の範囲 (A+B) に

は299箇所(82.6%)、20 kmの範囲(A+B+C)には315箇所(83.7%)発生している。また、岩手・宮城内陸地震では、上盤側20 kmの範囲に93.4%の地すべりが発生している。一方、能登半島地震及び中越沖地震では、上盤側20 kmの範囲での地すべり発生率が前者で

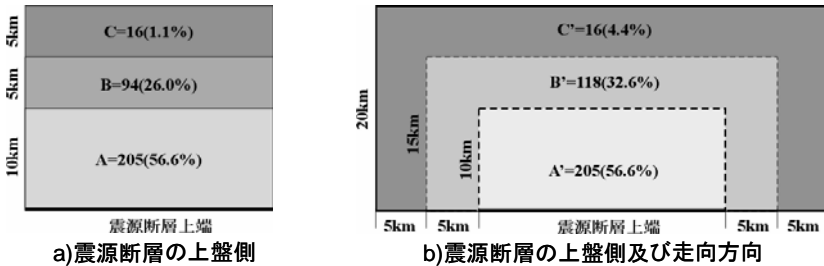


図-15 逆断層型地震による地すべりの多発範囲

13.3%、後者で50.0%となっており、中越地震及び岩手・宮城内陸地震に比べて小さい値を示した。これは、震源断層の一部が海底にあることに関係していると考えられる。

震源断層の走向方向の延長上にも地すべりが発生しており、震源断層からの距離に加えて断層走向方向に適切な距離をとり、多発範囲を拡大する必要があると考えられる。図-15b)には、中越地震による震源断層の上盤側と走向方向における地すべり発生箇所数と割合を示した。震源断層の走向方向に5 kmの距離を取り範囲B'とした場合、A'+B'の範囲には発生した地すべりの89.2%、C'として範囲を走向方向に10 km延長した場合、A'+B'+C'の範囲には93.6%が含まれた。

この他、地すべり面積10,000m²以上のものについて、地すべり多発範囲を図-15a)、b)に設定した場合の各範囲に発生した地すべりが含まれる割合を検討した結果、図-15a)設定では88.1%の地すべりが含まれるのに対し、図-15b)設定では96.2%の地すべりが含まれた。図-15b)の設定方法を他の地震に適用した場合、能登半島地震では66.7%、中越沖地震では88.8%、岩手・宮城内陸地震では93.4%が含まれた。また、能登半島地震を除けば、面積10,000m²以上の地すべりの約90%が図-15b)の設定範囲に含まれた。

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の多発範囲は、震源断層上盤側において震源断層上端からの距離20kmと震源断層両端を走向方向に各々10km延長してできた矩形範囲とすることで、発生する地すべりの約95%近くを含む範囲の設定ができることが示された。

3.3 地震による地すべり発生危険度評価法の検討

3.3.1 危険度評価要因の検討

地震による地すべりの発生危険度評価手法を構築するためには、地すべり発生場の地形的特徴を明らかにする必要がある。H20年度は、新潟県中越地震を対象に地すべり縁辺部の侵食状態と地震時の地すべり発生との関連性について検討した。その結果、地震前に明瞭な地すべり地形(空中写真上で地すべりの縁辺部が明瞭なもの)を呈している箇所については、地すべり縁辺部の侵食率(縁辺侵食率とする)が地震時の地すべり発生に関連していることが示された。なお、縁辺侵食率は、地すべり地形の縁辺長に占める侵食地形長の割合と定義し、(1)式により求め

た。

$$E = \ell / L \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここで、E:縁辺侵食率(%)

ℓ:侵食地形長(m)

L:地すべり縁辺長(m)

である。

また、図-16には、侵食地形長と地すべり縁辺長を示した。侵食地形長は、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。

H21年度は、H20年度に引き続き新潟県中越地震と岩手・宮城内陸地震を対象に、不明瞭な地すべり地形(空中写真上で地すべりの縁辺部が不明瞭なもの)をも含む全ての地震前の地すべり地

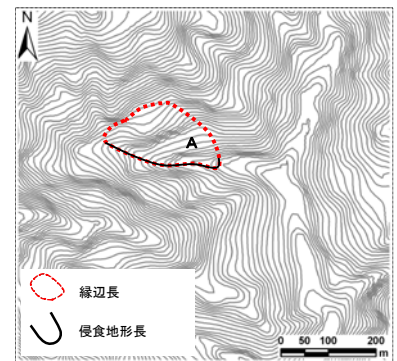


図-16 侵食地形長と縁辺長形について、縁辺侵食率と地震時の地すべり発生との関連性を検討した。なお、中越地震についての検討範囲は芋川流域とその周辺の地すべりとし、地震前(1975、1976年撮影)と直後の空中写真と地形データ(DEM)をもとに判読できる範囲とした。また、岩手・宮城内陸地震については国土地理院技術資料D・1-No.541「平成20年(2008)岩手・宮城内陸地震 1:25,000 詳細活断層図(活断層・地形分類及び地形の変状)」¹²⁾に示された範囲とし、地すべり地形は資料に示された

ものを用いた。

表-3には、検討に用いたデータについて示した。検討に用いた地すべり地形のデータ数は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982、地すべり発生箇所数68）、岩手・宮城内陸中越地震が973箇所（地すべり非発生箇所数948、地すべり発生箇所数25）である。

表-3 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	982	68	1,050
岩手・宮城内陸中越地震	948	25	973
合計	1,930	93	2,023

（地すべり非発生箇所数948、地すべり発生箇所数25）である。

図-17は、縁辺侵食率と地震時の地すべり発生有無別箇所数、地すべり発生率との関係を示したものである。地すべり発生率は縁辺侵食率50%未満では2~5%であるが、それ以上では9~11%を示している。このことから、縁辺侵食率は、不明瞭な地すべり地形を含めても、地すべり発生率が縁辺侵食率の増大とともに大きくなる傾向があり、危険度評価要因として有用であると考えられる。

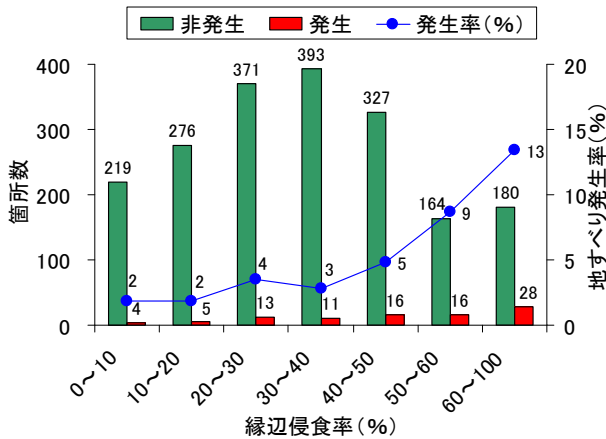


図-17 縁辺侵食率と地すべり発生率との関係

平成19年度に提案した地震時地すべり発生危険度評価法では、危険度評価要因として地質、地質構造、縦断的凸度、侵食最大深、下端勾配を用いたが、その妥当性を再度検討した。その結果、地質については、中越地震の発生域が砂岩、泥岩、シルト岩などの堆積岩類の分布域であるのに対して、岩手・宮城内陸地震の発生域は堆積岩類と火山岩類の分布域であるなど、地質が地震発生地域毎に異なるため、一般的要因にはなりにくいと考えられた。地質構造については、地すべり地形内では移動層が攪乱され、地質構造も破壊・攪乱されている。ここでは、地すべり地形内での地すべり発生を対象としているため、地質構造は地すべり発生要因にならないと考えられた。侵食最大深は、そ

の値が大きいほど斜面下端の侵食も進み下端勾配も大きくなると考えられるため、侵食最大深と下端勾配は関連性があると考えられた。そのため、要因には下端勾配を用いることにし、侵食最大深は要因から除くことにした。

これらのことから、平成19年度に提案した危険度評価要因から地質、地質構造、侵食最大深を除き、新たに地すべり縁辺部侵食率を加え、危険度評価要因として縦断的凸度、下端勾配、縁辺侵食率を用いることにした。

3.3.2 危険度評価法の検討

図-18, 19には、危険度評価要因とした縦断的凸度及び下端勾配に関する地すべり発生の有無別の箇所数を示した。地すべり発生の有と無の箇所数は、縦断的凸度及び下端勾配の全区間にわたり同様な頻度分布をしており、多変量解析法を用いても要因の値の大小により地すべり発生の有無を判別することは困難であると考えられた。図-17の縁辺侵食率についても、同様である。そこで、要因毎に地すべり発生の有無別箇所数、地すべり発生率との関係図を作成し、危険度評価法について検討した。

図-18には、縦断的凸度と地すべり発生の有無別箇所数、地すべり発生率との関係を示した。地すべり発生率は、縦断的凸度0~0.6未満では3%、0.6~1.0未満では4~7%、1.0以上では13%になっており、縦断的凸度と地すべり発生率との関係をこの3つに区分できる。

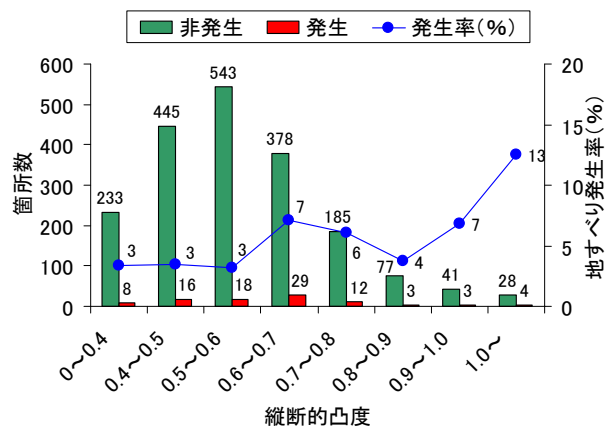


図-18 縦断的凸度と地すべり発生率との関係

図-19は、下端勾配と地すべり発生の有無別箇所数、地すべり発生率との関係を示した。地すべり発生率は、下端勾配0~10°未満では2%、10~25°未満では3~4%、25°以上では6~12%になっており、下端勾配と地すべり発生率との関係をこの3つに区分できる。

図-17 に示したように、縁辺侵食率については50%未達が地すべり発生率5%以下であり、50%以上では9~13%を示し、縁辺侵食率と地すべり発生率との関係を2つに区分できる。

これらのことから、危険度評価法は、各要因と地すべり発生率との関係をもとに各要因の範囲を区分し、区分された範囲毎に配点して、その合計得点により危険度評価を行うことにした。

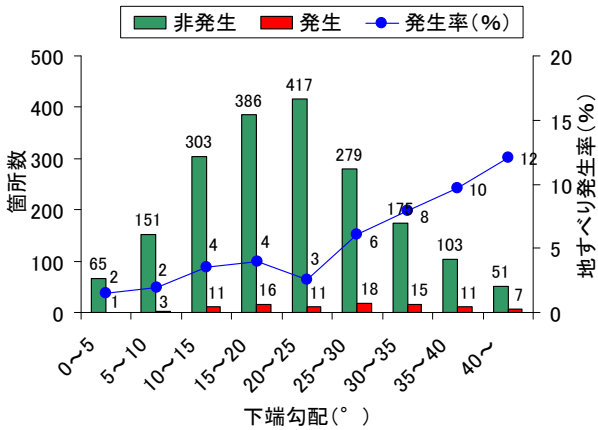


図-19 下端勾配と地すべり発生率との関係

表-4には、危険度評価要因の配点数を示した。なお、各要因における地すべり発生率の最大値は12~13%であり、ほぼ同じことから要因の地すべり発生に対する寄与率は同等と考え、各要因に対する配点数の重みも同等とした。各要因の配点数は、縦断的凸度については0~0.6未満を0点、0.6~1.0未満を1点、1.0以上を2点とした。下端勾配については0~10°未満を0点、10~25°未満を1点、25°以上を2点とした。地すべり縁辺部侵食率については50%未満を0点、50%以上を2点とした。

表-4 危険度評価要因の配点数

危険度判定要因	配点		
	0点	1点	2点
縦断的凸度	0~0.6未満	0.6~1.0未満	1.0以上
下端勾配	0~10°未満	10~25°未満	25°以上
縁辺侵食率	50%未満	—	50%以上

図-20は、表-3をもとに各地すべり地形の点数付けを行い、点数と地すべり発生の有無別箇所数、地すべり発生率との関係に整理して示したものである。地すべり発生率は点数0~2では1~3%、点数3では5%、点数4~6では12~30%となっており、地すべり発生率は点数の増大とともに大きくなり、点数と地すべり発生率との関係を3つに区分できる。これらのことから、地すべり発生危険度ランクは点数4~6をAランク(地すべり発生危険度大)、点数3をBラン

ク(地すべり発生危険度中)、点数0~2をCランク(地すべり発生危険度小)に区分することにした。

図-21には、平成19年度に提案した地震時地すべり発生危険度評価法により中越地震の地すべり地形741箇所について危険度評価実施結果を示したものである。地すべり発生率は点数0~4では0~10%(Cランク)、点数5~8では5~11%(Bランク)、点数9~10では25~30%(Aランク)となっており、点数と地すべり発生率との関係をこの3つに区分している。平成19年度の結果と今回の危険度評価結果である図-20を比較すると、今回の結果では地すべり発生率の最大値が30%で変わらないが、点数の増大ともなう地すべり発生率の上下動がなく安定していることが分かる。これらのことから、今回の危険度評価法は、前回の提案したものに比べて改善されていることが分かる。

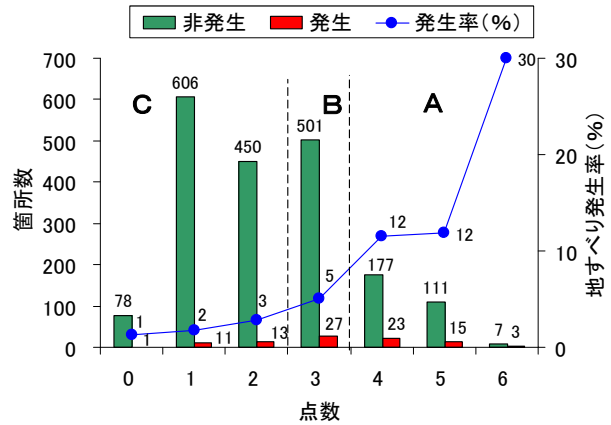


図-20 点数と地すべり発生率との関係

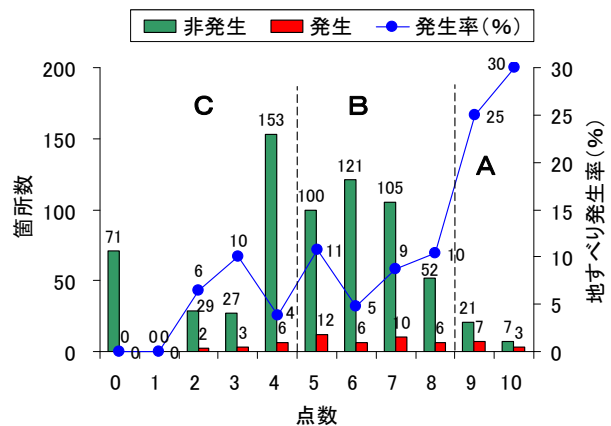


図-21 H19提案手法による点数と地すべり発生率との関係

図-22は、空中写真上で地すべり地形が明瞭なものについて、縁辺侵食率と地すべり発生の有無別箇所数、地すべり発生率との関係を示したものである。なお、地すべり地形が明瞭なもの箇所数は、中越地震

が96箇所（地すべり発生箇所31、非発生箇所65）、岩手・宮城内陸地震が80箇所（地すべり発生箇所7、非発生箇所73）である。地すべり発生率は、縁辺侵食率40%未満では6%以下であり、それ以上では22~74%を示している。このことから、明瞭な地すべり地形を呈する地すべりの危険度評価では、縁辺侵食率40%を境に地震による地すべりの発生の危険度を、AランクとCランクに区分できることが分かる。

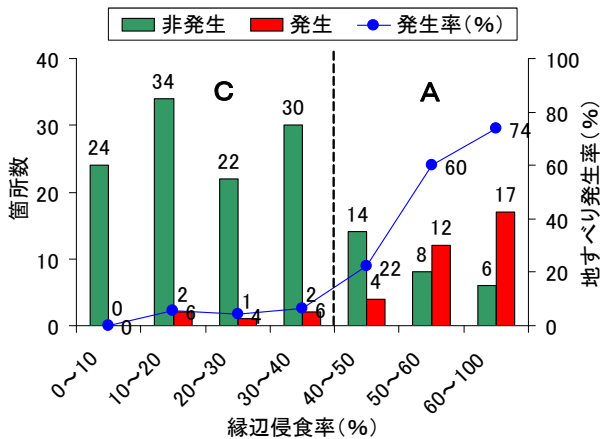


図-22 明瞭な地すべり地形における縁辺侵食率と地すべり発生率との関係

表-5には、地震により発生した地すべりの中で規模の大きな地すべりの危険度評価結果を示した。H19とH21の手法の比較では、H19でBランクのものがH21でAランクになっているものがあり、手法の改善が認められる。岩手・宮城内陸地震についてはBランクになっており、中越地震のものに比べて評価精度が悪い。

また、明瞭な地すべり地形を呈したものの縁辺侵食率による危険度評価法では、中越地震については全てAランクになっている。また、岩手・宮城内陸地震

表-5 危険度評価結果

	地すべり名	H19年度危険度評価法		H21年度危険度評価法		縁辺侵食率による危険度評価法	
		点数	ランク	点数	ランク	縁辺侵食率(%)	ランク
中越地震	塩谷神沢川	9	A	5	A	65	A
	東竹沢	7	B	4	A	91	A
	寺野	9	A	5	A	58	A
	峠塩谷川	7	B	4	A	69	A
	峠塩谷川下流	9	A	5	A	75	A
	下塩谷	5	B	4	A	56	A
	下十二平	8	A	4	A	82	A
岩手・宮城内陸地震	荒砥沢	-	-	3	B	67	A
	市野々原	-	-	3	B	-	-
	沼倉裏沢	-	-	3	B	38	C
	産女川	-	-	3	B	-	-

については荒砥沢がBランクからAランクになっているが、沼倉裏沢がCランクになっており、中越地震のものに比べて評価精度が悪い。

以上のことから、地震による地すべり発生危険度評価法として、表-4をもとに各地すべり地形の点数付

けを行う手法を提案する。また、地すべり地形が明瞭なものについては、縁辺侵食率による危険度評価法を提案する。

4. まとめ

H21年度は、逆断層型地震である中越地震、中越沖地震、能登半島地震、岩手・宮城内陸地震、善光寺地震で発生した地すべりについて、震源断層と地震により発生した地すべりとの関係及び地震による地すべりの危険度評価判定法について検討した。その結果を以下に示す。

- (1)地震による地すべりの発生は震央よりも震源断層に強く影響されると考えられることから、内陸における逆断層型地震による地すべりの多発範囲は、断層モデルなどの震源断層に基づいて予測することが有効と考えられる。
- (2)地震 (M7.0 前後) による逆断層周辺における地すべりの多発範囲は、震源断層上盤側において震源断層上端からの距離20kmと震源断層両端を走向方向に各々10km延長してできた矩形範囲とすることで、発生する地すべりの約95%近くを含む範囲の設定ができることが示された。
- (3)危険度評価要因として、縁辺侵食率が不明瞭な地すべり地形を含めても、地すべり発生率が縁辺侵食率の増大とともに大きくなる傾向があり、有用であると考えられる。
- (4)危険度評価要因として地すべり地形の縦断的凸度、下端勾配、縁辺侵食率を用い、各要因の範囲を区分し配点して、その合計得点により危険度判定を行う方法を提案する。
- (5)明瞭な地すべり地形を呈する場合、縁辺侵食率40%を境に地震による地すべりの発生の危険性の有無を区分できる可能性があり、縁辺侵食率による危険度評価法を提案する。

5. 今後の課題

今後は、第三紀層地すべり地域における地すべり危険箇所マップ作成法の検討と、新潟県上越地区での試案の作成を行う予定である。

参考文献

- 1) 気象庁 (2009) : 気象庁ホームページ : <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index.html#data> (2009年8月3日閲覧)
- 2) 防災科学研究所 (2009) : 防災科学研究所強震観測網 (K-NET, KiK-net) ホームページ : <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/quick/> (2009年9

月28日閲覧)

- 3) 国土交通省湯沢砂防事務所 (2005) :平成16年(2004年)新潟県中越地震による土砂災害と対応, 国土交通省北陸整備局湯沢砂防事務所ホームページ
<http://www.hrr.mlit.go.jp/yuzawa/sabo/chuetsu/pamphlet/pamphlet01.pdf> (2009年8月3日閲覧)
- 4) Hikima K. and Koketsu K. (2005): Rupture processes of the 2004 Chuetsu (mid-Niigata prefecture) earthquake, Japan: A series of events in a complex fault system, *GRL*, Vol.32, L18303, pp.1-5.
- 5) 瀧澤一樹 (2008) :2007年新潟県中越沖地震の震源断層面, サイスマ, 12, 2, pp. 6-7.
- 6) 国土地理院 (2007) :平成19年能登半島地震断層モデルの概念図、国土地理院ホームページ、
<http://www.gsi.go.jp/common/000040796.pdf>
- 7) Hikima, K., Miyazaki, S. and Koketsu, K.(2008):Rupture process of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake(Mj7.2), Japan, inferred from strong motion and geodetic data, *Eos Trans. AGU*, **89**(53), Fall Meet. Suppl., Abstract S51D1789.
- 8) 齊藤豊・赤羽貞幸・中村三郎・望月巧一・長尾勲・山浦直人 (1999) :善光寺地震と山崩れ、p. 130
- 9) 中央防災会議 (災害教訓の継承に関する専門調査会) (2007) :1747 善光寺地震報告書
- 10) 地震予知総合研究振興会 (2005) :江戸時代の歴史地震の震源域・規模の再検討作業中間報告書—42件の解析結果について—
- 11) 宇佐美龍夫 (1996) :新編日本被害地震総覧 (増補改訂版 416—1995)、東京大学出版会、p. 493
- 12) 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)」

RESEARCH ON RISK ASSESSEMENT FOR RE-ACTIVATING LANDSLIDE TRIGGERED BY EARTHQUAKE

Budged : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2008-2010

Research Team : Erosion and Sediment Control
Research Group(Snow Avalanche
and Landslide Research Center)

Author : Yasuo ISHII

Kiyoteru MARUYAMA

HASIBATEER

Akira NAKAMURA

Abstract: Recent years, a series of strong reverse fault earthquakes, including the 2004 Chuetsu earthquake, struck eastern Japan, caused severe damage to mountainous areas. To propose a risk assessment for landslide triggered by earthquake, we started this 3-year research project from 2008. In 2009, we continuously analyzed the features of landslides induced by previous earthquakes, discussed the risk assessment method for landslide. For the former one, we studied the features of landslides induced by the Zenkoji earthquake. For the latter one, we studied the relation between the earthquake source fault and landslide, as well as the factors that responsible for landslide risk evaluation. As a result, we clarified the relationship between landslide occurrence and distance from source fault of 5 strong earthquakes, such as the Chuetsu-offshore earthquake, the Noto Peninsula earthquake. Consequently, the evaluating area is possible to be set for earthquake-induced landslides based on above result. Moreover, based on the cases of Chuetsu earthquake and Iwate-Miyagi Inland earthquake, we proposed an evaluation method for earthquake-induced landslide within landslide topography by using marginal erosion ratio and others.

Key words : earthquake, landslide, risk assessment