

近年の地震による地すべり対策概成斜面の変動発生状況

丸山清輝* 野呂智之** 中村 明***

1. はじめに

近年発生した平成16年新潟県中越地震（以後中越地震とする）などの内陸型逆断層地震では、数多くの地すべりが発生した。これらの地震発生後には地すべり斜面の点検が実施され、中越地震については地すべり対策斜面の地震による変動発生率が低く、変動が発生しても小規模なものであったことが報告されている¹⁾。現在、地震は地すべりの誘因の一つであるが、地すべり対策施設の計画・設計では地震力は考慮されていない。また、地震調査研究推進本部地震調査委員会の報告^{2),3)}によると、今後も大きな揺れを伴う地震の発生が予想されており、地震による地すべりの発生が危惧されている。

そこで、地震による地すべり対策概成斜面における斜面変動発生状況の把握を目的として、地震の規模がM7.0前後であった中越地震、平成19年新潟県中越沖地震（以後中越沖地震とする）、平成20年岩手・宮城内陸地震（以後岩手・宮城内陸地震とする）を対象に、斜面変動発生状況調査を実施した。この調査では地すべり対策前後の地下水位低下量や斜面安全率等のデータを収集し、それらと地震による地すべり斜面の変動発生との関係について検討した。

2. 地震による地すべり対策概成斜面における斜面の変動発生状況調査

2.1 調査方法

調査は、対象とした地震が発生した新潟県、宮城県、岩手県の各地すべり対策概成報告書と、地震による地すべり斜面の被災状況調査報告書を用いて実施した。

図-1には、対象とした中越地震（M6.8）、中越沖地震（M6.8）、岩手・宮城内陸地震（M7.2）の震度分布と調査した地すべり地を示した。M7.0前後の逆断層地震では、地すべりが震度5強以

上の区域で発生していたことが報告されている⁴⁾。そこで、調査は震度5強以上の範囲とし、調査範囲内に位置する地すべり対策概成斜面の地震による斜面の変動発生状況を調査した。

2.2 調査結果

2.2.1 地震による地すべり対策概成斜面における斜面の変動発生状況

表-1は、調査範囲内の地すべり対策概成斜面における地すべりブロック（以後ブロックとする）の数と、その中で地震により変動が発生したブロックの数を示したものである。ここで、変動が発生したブロックとは、地震後の地表踏査^{8),9),10)}で亀裂や段差、土塊の移動などが認められ、地震によりブロック全体もしくは一部に変動が発生したと判断されたものである。なお、変動の幅および長さが3m以下の小規模なものは、ブロックの変動が発生しなかったものとした。また、地震によるブロックの変動の発生は、地震前の降雨状況や地震時の地下水位の状況にも左右されると考えられるが、対象とした斜面毎にそれらを把握することは困難である。このため、今回の調査では、地震前の降雨状況や地震時の地下水位の状況の違いについては考慮しなかった。この他、中越地震と中越沖地震の調査範囲が一部重複することから、重複する区域のブロックについては震央からの距離が近い方の地震の調査対象に入れた。中越地震では、調査対象ブロック300箇所の中で、変動が発生したものは15箇所であった。また、中越沖地震では、調査対象ブロック9箇所の中で変動が発生したものはなかった。この他、岩手・宮城内陸地震では、調査対象ブロック79箇所の中で、変動が発生したものは2箇所であった。これらの3事例の調査対象ブロックの合計は388箇所であり、その中で変動が発生したものは17箇所（全体の約4%）であった。

2.2.2 発生した変動形状

地震により生じた地すべり斜面の変動状況を把握するために、地すべり斜面の変動の状態を整理した。その結果、変動状態は変動の形状別に「変

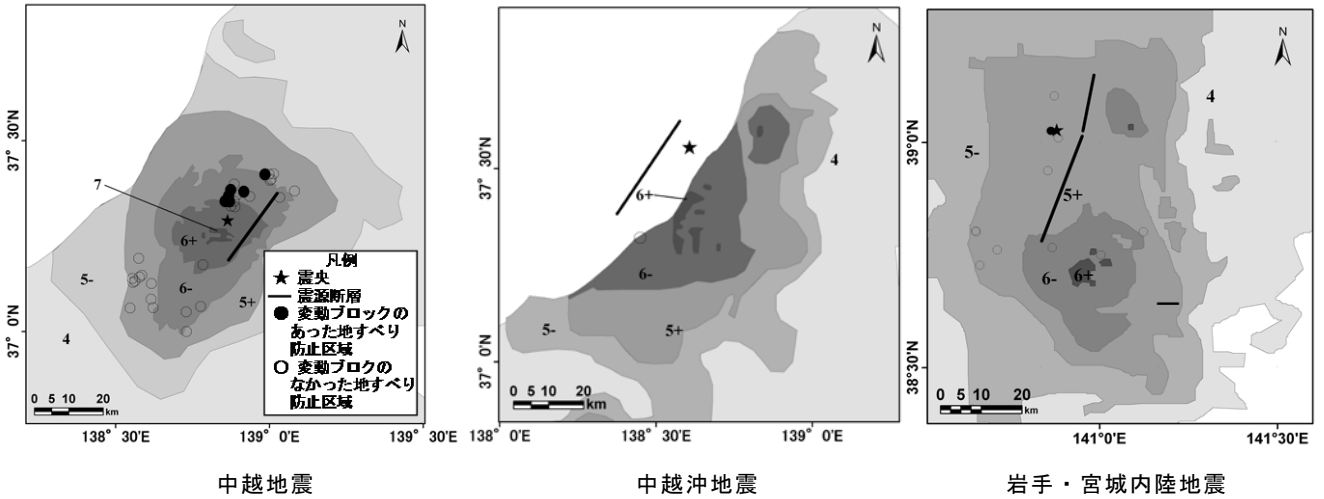


図-1 推計震度分布と調査した地すべり地 気象庁(5),6),7)に加筆

動無し」、「全体変動」、「上部変動」、「末端変動」、「一部変動」に分けられた。

表-1 調査ブロック数

地震名	対象とした地すべり対策概成ブロック数	変動が発生したブロック数
中越地震	300	15
中越沖地震	9	0
岩手・宮城内陸地震	79	2
合計	388	17

表-2には発生した変動の形状を、図-2~5には変動が発生したブロックの平面図をそれぞれ示した。「全体変動」は、地震前に設定されたブロック全体で変動が発生したものである。これは、ブロック全体が地震により再滑動したものである。「上部変動」は地震前に設定されたブロックの上部やさらに上方斜面に亀裂や段差が発生したものであり、「末端変動」は地震前に設定されたブロックの末端部が地すべりの幅とほぼ同じ規模で変動が発生したものである。「上部変動」と「末端変動」は、斜面上部や末端部分に地震により新たなブロックが形成されたものである。「一部変動」は地震前に設定されたブロックの側部とそれに接するブ

表-2 発生した変動の形状

変動無し	
全体変動	
上部変動	
末端変動	
一部変動	

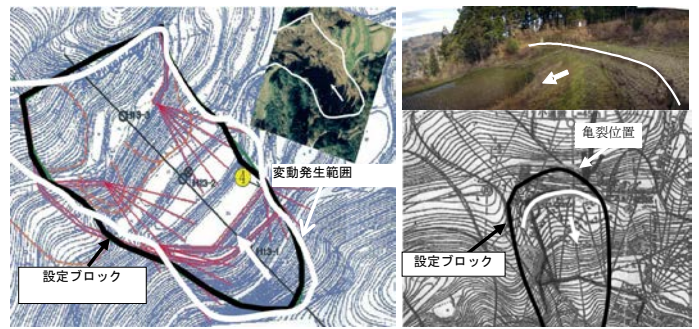


図-2 全体変動ブロック

図-3 上部変動ブロック



図-4 末端変動ブロック

図-5 一部変動ブロック

ック側方の斜面で変動が発生したものであり、地震によりブロックの一部やブロックに接する斜面で新たなブロックが形成されたものである。

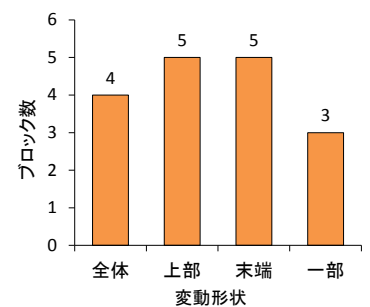


図-6は、地震により発生した変動形状毎のブロック数を示したものである。「上部変動」と「末端変動」はそれぞれ5ブロック、「全体変動」は4ブロック、「一部変動」は3ブロックである。

2.2.3 地すべり防止施設と変動発生との関係

調査した地すべり対策概成斜面には、複数の種

表-3 地すべり防止施設の区分

防止施設の区分	実際の防止施設の構成	
抑制工	横ボーリング	・横ボーリング
	集水井	・集水井 ・集水井 +横ボーリング
	押え盛土、 排土	・押え盛土 ・排土 ・押え盛土+集水井 ・排土+集水井 ・押え盛土+集水井 +横ボーリング ・排土+集水井 +横ボーリング
抑止工	杭	・杭 ・杭+集水井 ・杭+集水井 +横ボーリング
	アンカー	・アンカー ・アンカー +集水井 ・アンカー +集水井 +横ボーリング
	その他 (水路、土留)	・表面排水路 ・土留擁壁など

類の地すべり防止施設が設置されている。そこで主な地すべり防止施設と地震により発生した変動形状との関係を調査するために、地すべり防止施設を主なものに区分した。

表-3には、設置されている地すべり防止施設の区分を示した。横ボーリングと集水井が設置されているブロックでは集水井をそのブロックの主な施設とし、集水井と排土や押え盛土が施工されているブロックでは排土や押え盛土をそのブロックの主な施設とした。また、抑止工と抑制工が設置されているブロックでは、抑止工をそのブロックの主な施設とした。

図-7は、地すべり防止施設毎の地震による変動発生状況を示したものである。横ボーリングでは163ブロックの中の12ブロックで変動が発生し、同一工種で変動が発生した割合（以下、変動発生率とする）は7%である。集水井では94ブロックの中の3ブロックで変動が発生し、変動発生率は3%である。アンカーと押え盛土・排土では、それぞれ1ブロックで変動が発生している。一方、杭、その他（水路・土留）が設置された斜面では変動が発生していない。

以上のことから、横ボーリングのみが設置されているブロックでは、地震による変動の発生が他の施設に比べて多いことが分かった。

2.2.4 震央及び震源断層からの距離と変動発生との関係

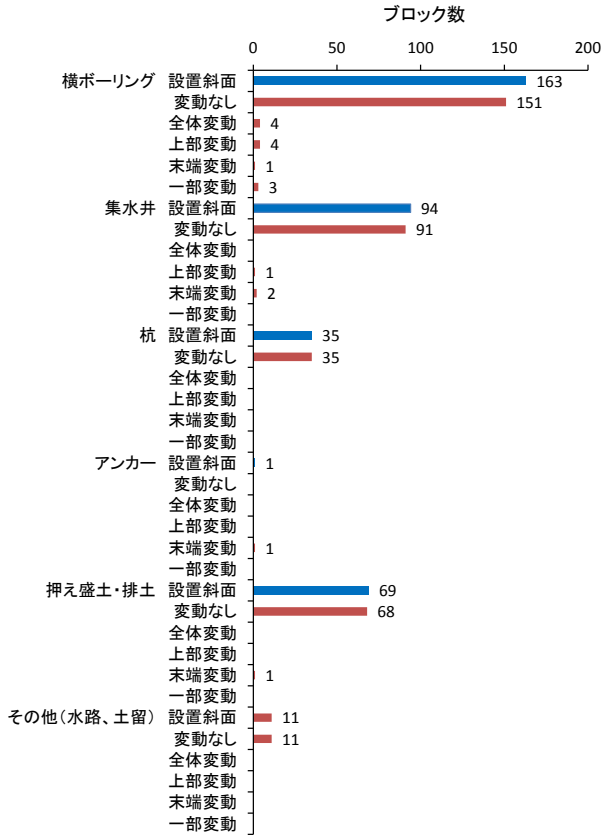


図-7 地すべり防止施設毎の変動発生状況

ているが、変動の発生はなかった。この他、岩手・宮城内陸地震では調査対象ブロックが震央から58.0km以内に分布している中で、変動が発生したブロックは2.1km以内に分布している。震源断層との関係では、調査対象ブロックが33.9km以内に分布している中で、変動が発生したブロックは10.1km以内に分布している。

以上のことから、地震により変動が発生したブロックは、震央から12km以内、震源断層からは概ね10km以内に分布していることが分かった。

2.2.5 施設による地下水位低下量と変動発生との関係

地すべり防止施設による地下水位低下量は、地下水位観測結果^{8~13)}から得られた施設設置前の最高水位と施設設置後の最高水位との差とした。なお、調査対象ブロックに複数の地下水位観測孔がある場合の地下水位低下量は、各観測孔における地下水位低下量の平均値とした。

図-10は、地下水位低下量と地震により発生した変動形状との関係を示したものである。「全体変動」の4箇所、「上部変動」の3箇所、「末端変動」の3箇所の合計10箇所は、地下水位低下量が1.8m以下のブロックである。ただし、「末端

図-8、9には、震央及び震源断層からブロックまでの距離と地震により発生した変動形状との関係を示した。中越地震では震央から38.9km以内に調査対象ブロックが分布する中で、変動が発生したブロックは震央から11.4km以内に分布している。震源断層との関係では、調査対象ブロックが31.9km以内に分布している中で、変動が発生したブロックは6.5km以内に分布している。また、中越沖地震では調査対象ブロックが震央から29.7km以内、震源断層から9.5km以内に分布し

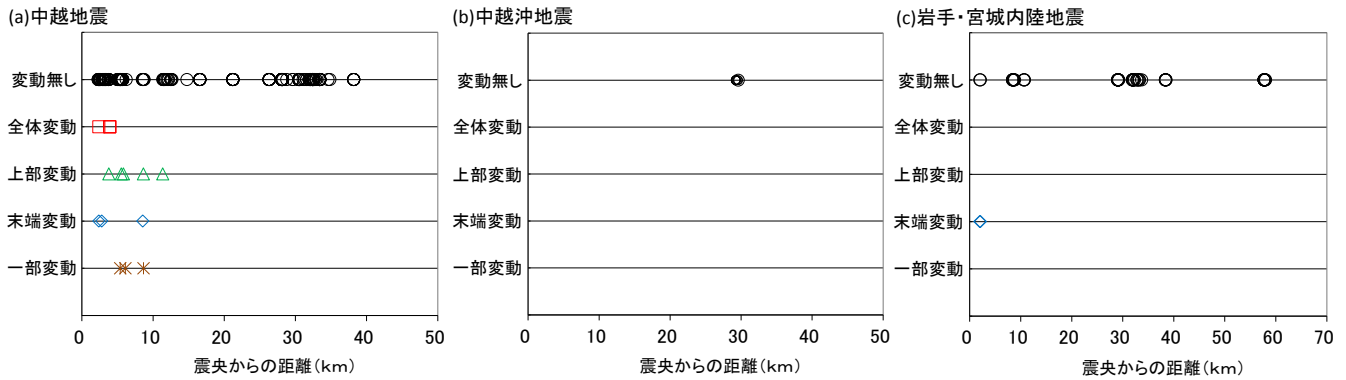


図-8 震央からブロックまでの距離と発生した変動形状との関係

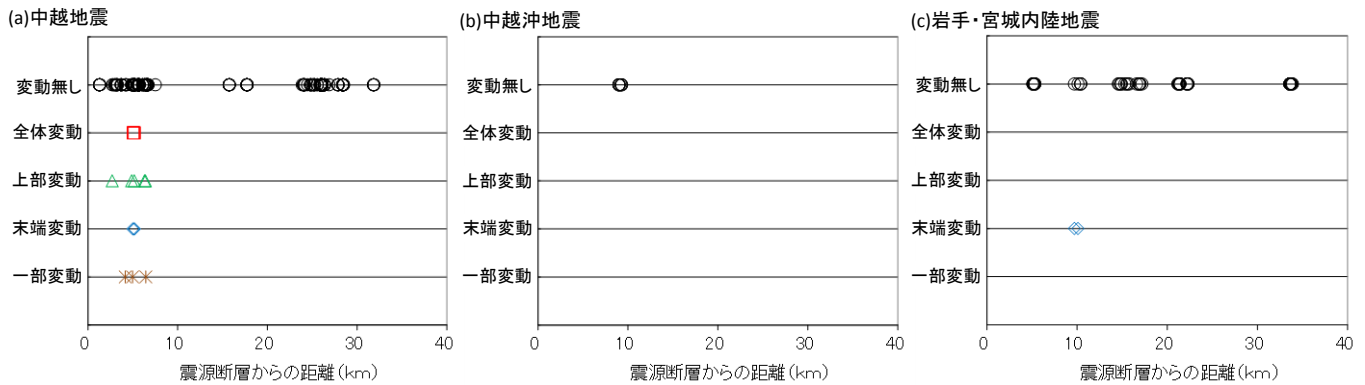


図-9 震源断層からブロックまでの距離と発生した変動形状との関係

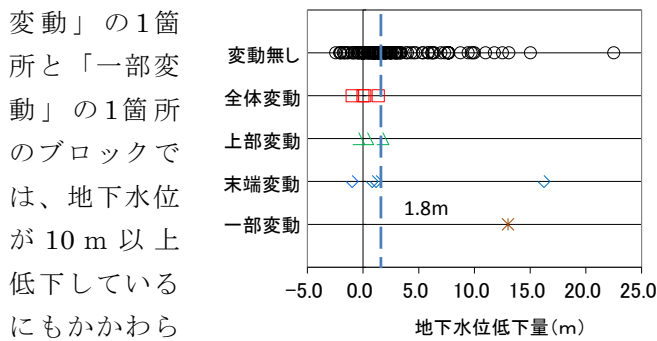


図-10 地下水水位低下量と変動形状との関係

変動」の1箇所と「一部変動」の1箇所のブロックでは、地下水水位が10m以上低下しているにもかかわらず、変動が発生している。また、「一部変動」を除く全ての形状で、地下水水位低下量が負の値を示すブロックがある。これらのブロックでは、施設設置後に観測された地下水水位が施設設置前の地下水水位より高くなっていることになる。地下水水位低下量が負の値になった場合でも、防止施設の効果がなかったとは言いきれないが、地下水水位低下量の大きなブロックに比べて、斜面安全率の向上は小さかった可能性が高い。そこで、地すべり防止施設による斜面安全率向上の目安となる地下水水位低下量と、地震動の強さの目安となる震央および震源断層からブロックまでの距離について、それぞれと変動発生との関連性を検討した。

図-11には震央からブロックまでの距離と地下

水位低下量との関係の中で、地震による変動発生を示した。また、図-12には震源断層からブロックまでの距離と地下水水位低下量との関係の中で、地震による変動発生を示した。地下水水位低下量が

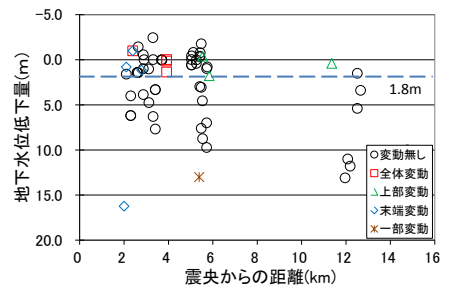


図-11 震央からブロックまでの距離と地下水水位低下量、変動状況との関係

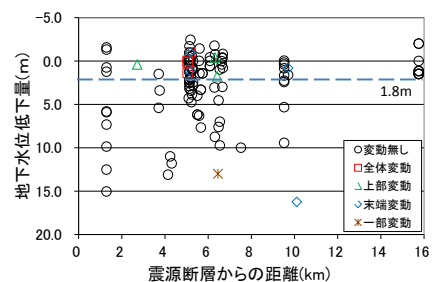


図-12 震源断層からブロックまでの距離と地下水水位低下量、変動状況との関係

10m以上で施設設置の効果が高かったにもかかわらず地震により変動が発生したブロックは、震央から約6km以内、震源断層から約10km以内に分布しており、他のブロックと比べてより震央や震源断層の近くに位置するとは言えない。したがって、これらのブロックの変動が、より

強い地震動を受けたことが原因で発生したとは考えられない。

図-13は、地震発生前の地すべり面積と地下水位低下量との関係の中で、地震による変動発生状況を示したものである。変動が発生したブロックの中で、10m以上の地下水位低下量を記録した2箇所につ

いては、地すべり面積が1haを超えており、調査対象ブロックの中では比較的大きな地すべり

である。また、この2つのブロックの地下水位観測孔の位置は主測線上であるのに対し、この2つのブロックで発生した変動の位置は主測線から離れた末端部および側部である。これらのことから、変動が発生した箇所は横ボーリングや集水井などの地下水排除施設から離れた位置にあったため、地下水位の低下とそれによる斜面安全率の向上は、主測線上で確認されたものに比べて小さかったものと推定される。

以上のことから、M7.0前後の地震時では、地すべり防止施設による地下水位低下量が1.8m以下のブロックで変動が発生しやすいことが分かった。また、ブロックの規模が1haを超える場合、防止施設による地下水排除効果が高いブロックでも、防止施設より離れた箇所では地震により変動が発生する可能性があることが分かった。

2.2.6 地すべり対策概成後の斜面安全率と変動発生との関係

地すべり防止工事における斜面安全率は、工事前の斜面安全率を0.95~1.00と仮定して防止工事による斜面安全率の向上の程度を示すものであり、工事後の斜面の安定性を示すものではない。したがって、斜面安全率の大小から、地すべり対策概成ブロック間での安定性を直接比較することはできない。そこで、工事前の斜面安全率を0.95~1.00とした場合、工事によってそれがどの程度向上したかということから、斜面安全率と地すべり対策概成斜面における地震時の変動発生状況との

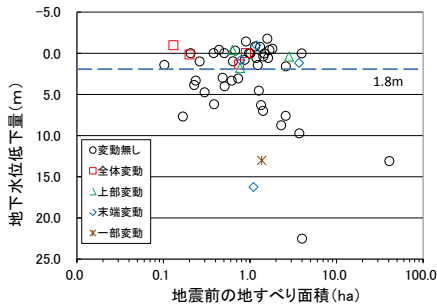


図-13 地すべり面積と地下水位低下量、変動状況との関係

関係を検討した。

図-14には、地すべり対策概成後の斜面安全率と地震により発生した変動形状との関係を示した。地すべり対策概成後の斜面安全率は、地すべり対策概成報告書に記載されていた施設設置後から地すべり対策が概成したと判断されるまでの期間内の最小値とした。なお、変動が発生した17ブ

ロックの中の3ブロックについては、報告書に斜面安全率の記載がなかったために除外した。残りの14ブ

ロックの斜面安全率は、「全体変動」の4ブロックが1.03以下、「上部変動」の4ブロックが1.08以下、「末端変動」の4ブロックが1.27以下、「一部変動」の2ブロックが1.41以下であった。変動が発生したブロックの中で、施設設置後の斜面安全率が1.10以下であったものは10ブロックであり、変動が発生したブロックの約70%を占めている。

以上のこのことから、概略的な傾向ではあるが、地震により変動が発生したブロックの大半が、地すべり対策概成後の斜面安全率が1.10以下であり、地すべり防止施設設置後の斜面安全率の向上が小さいブロックであることが分かった。

3. まとめ

近年発生したM7.0前後の3つの地震（中越地震、中越沖地震、岩手・宮城内陸地震）を対象に、地すべり対策概成斜面の地震による変動発生状況を調査した。以下に、その結果を示す。

- (1) 施設が設置されているブロックでの変動発生率は4%（17/388ブロック）であり、地すべり対策概成斜面の地震による変動の発生は少ない。
- (2) 地震により生じた地すべり斜面の変動状況を把握するために、地すべり斜面の変動の状態を整理した結果、変動状態は変動の形状別に「変動無し」、「全体変動」、「上部変動」、「末端変動」、「一部変動」に分けられた。

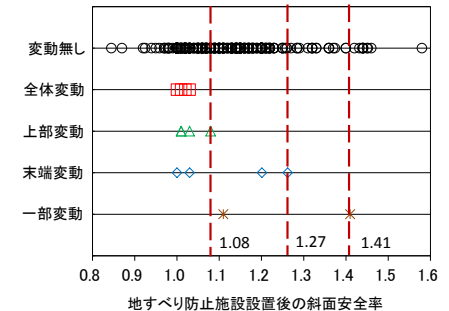


図-14 地すべり対策概成後の斜面安全率と変動形状との関係

- (3) 地すべり防止施設の種類毎に変動発生状況を比較すると、横ボーリングのみが設置されているブロックでの地震による変動の発生数が多い。
- (4) 震央および震源断層から概ね12km以内に位置する地すべり対策概成斜面で変動が発生しており、防止施設の設置による地下水位低下量が1.8m以下、地すべり対策概成時の斜面安全率が1.1以下のブロックで特に変動が発生しやすい。
- (5) ブロックの規模が1haを超える場合には、防止施設の設置による地下水排除効果が高いブロックでも、防止施設から離れた箇所地震により変動が発生する可能性がある。

4. 今後の課題

今回の調査結果は限られた事例のものではあるが、調査対象地区では今後同程度の規模の地震が発生しても、地すべり防止施設の効果が当初の設定目標どおりに機能していれば、地震によって変動が発生する地すべりは少ないと考えられる。その一方で、斜面安全率が相当程度高くても変動が発生した事例もある。このことから、さらに斜面安全率の評価方法も含め調査を進めて行く必要がある。そのためには、地すべり対策概成斜面においても地下水位や地すべり移動量の観測を継続し、地震による変動発生事例を蓄積して、地すべり防止施設が設置された斜面に及ぼす地震動の影響を明らかにして行く必要がある。

謝 辞

今回の調査に際しては、新潟県土木部砂防課、岩手県土整備部砂防災害課、宮城県土木部防災砂防課には資料の提供など多大なる御支援をいた

だいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 池田伸俊、新保直人、坂井俊介：新潟県中越地震による地すべり防止施設の被災状況、日本地すべり学会誌、Vol.43、No.4、pp.16～24、2006.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：全国地震予測地図、2009。
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchi_zu/index.htm(参照日2010年11月1日).
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：全国地震予測地図地図編2010年版、2010。
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchi_zu/index.htm(参照日2010年11月1日).
- 4) 気象庁：気象庁 災害時自然現象報告書2004年第7号 災害時地震速報 平成16年(2004年)新潟県 中越地震、p3、2004.
- 5) 気象庁：気象庁 災害時自然現象報告書 2007年第3号 災害時地震・津波速報 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震、p10、2007.
- 6) 気象庁：気象庁 災害時自然現象報告書 2008年第1号 災害時地震速報 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震、p10、2008.
- 7) ハスバートル、石井靖雄、丸山清輝、寺田秀樹、鈴木総樹、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.
- 8) (独)土木研究所雪崩・地すべり研究センター：新潟県中越地震による地すべり対策工の変状に関する資料整理業務報告書、38p、2009.
- 9) (独)土木研究所雪崩・地すべり研究センター：地すべり規模資料整理作業報告書、p14、2010.
- 10) 宮城県北部土木事務所栗原地域事務所：平成20年度 地すべり5-201 号宿地すべり調査解析業務委託報告書、58p、2009.
- 11) 新潟県十日町地域振興局：野中地区県単地すべり防止工事委託報告書、21p、2003.
- 12) 宮城県大崎土木事務所：平成9年度見手の原地すべり観測委託報告書、21p、1997.
- 13) 宮城県：平成9年地すべり危険箇所調査表、118p、1997.

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

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

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 前交流研究
員
Akira NAKAMURA