

# 2011年東北地方太平洋沖地震における斜面変動(slope movement)の類型化

## 1. はじめに

(社)日本地すべり学会では、多発する地震による斜面災害の軽減に資するため、平成23年度から国土交通省河川砂防技術研究開発課題「類型化に基づく地震による斜面変動発生危険箇所評価手法の開発」を実施してきた。平成23年度は、平成23年に発生した東北地方太平洋沖地震とその関連地震による斜面変動の分布を把握しその類型化を行った

## 2. 斜面変動の分布

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M=9.0)により宮城県では震度7を記録し、東日本の広い範囲で震度6以上の揺れを被った。東北地方の各県と茨城、栃木、新潟県で発生した斜面変動の分布を、県および研究メンバーの情報をもとに収集し、地理情報システム(GIS)を用いてインベントリーを管理している(図1)。斜面変動の分布状況は図1に示すように、震度5強以上の範囲で多数発生していることが判明した。図2は、斜面変動の発生頻度と震度の関係をみたものであるが、震度5強を超えると急激に斜面変動が発生しやすくなることわかる。また、1/20万東北地方デジタル地質図(東北建設協会, 2004)との比較では、地質的には第三系と中・古生層の堆積岩やその変成岩のような層理・節理・片理面などを伴う工学的異方性を持つ岩盤で多く発生していた。

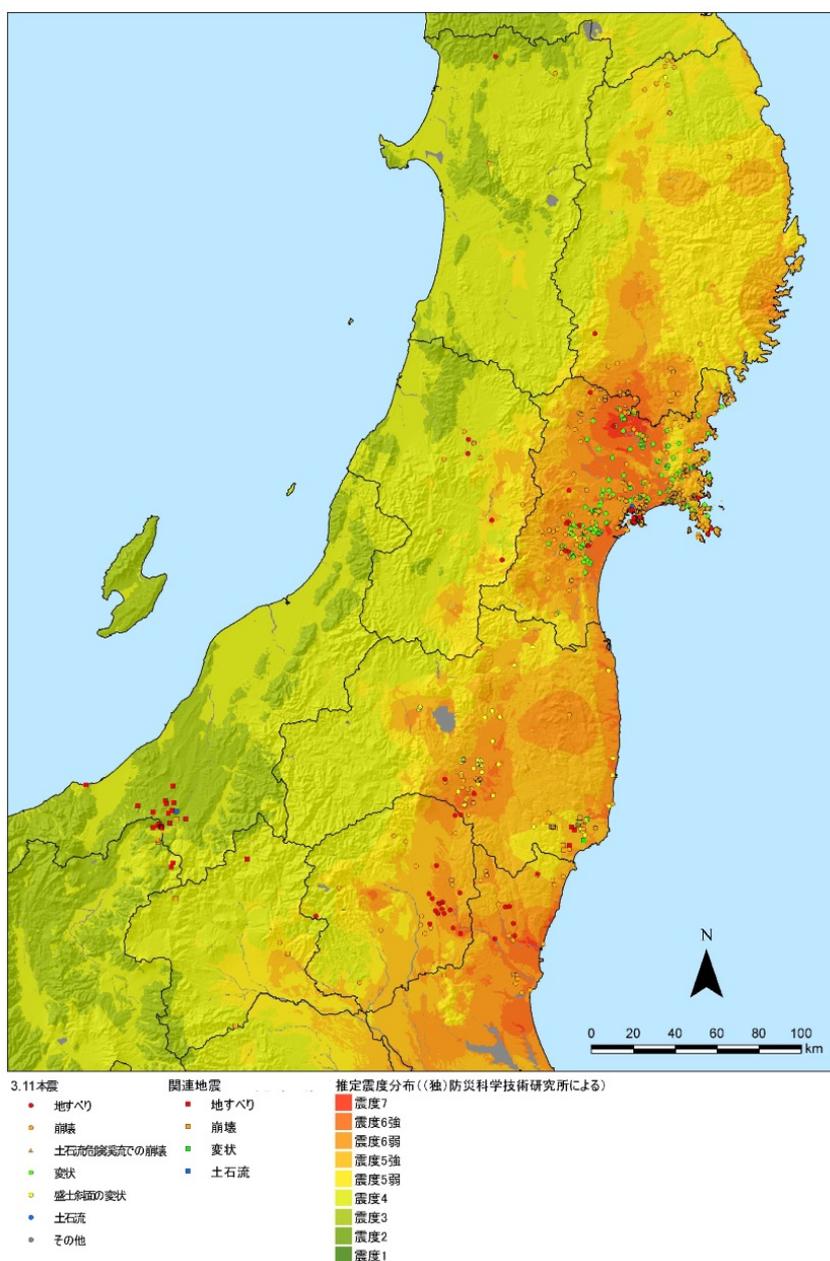


図-1 斜面変動分布と震度分布

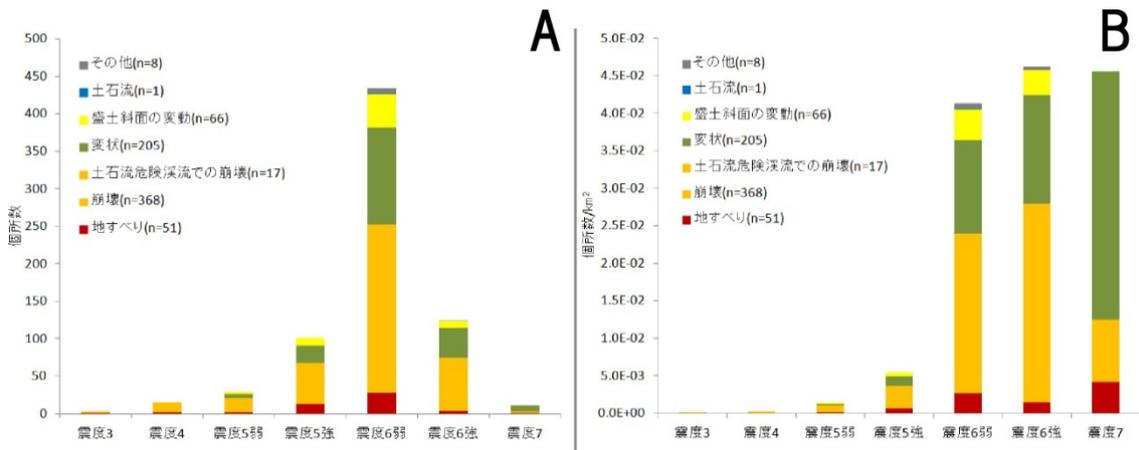


図-2 震度毎におけるタイプ別斜面変動 [A: 箇所数 B: 密度 (箇所/km<sup>2</sup>)]

### 3. 斜面変動が多発した地域の事例

#### (1) 松島・東松島地域の崩壊

海岸沿いや沖積平野に面する比高 100m 未満の丘陵斜面で約 80 箇所の斜面崩壊を踏査で確認した。それらは、ほとんど面積が 1ha 以下で、海岸侵食（過去の海進時の旧海食崖含む）を受けた遷急線を持つ斜面や直線型山腹斜面で主に発生している。中新世の凝灰岩・同質シルト岩・砂岩分布域で、運動タイプは、大半が岩盤崩壊・岩崩落であった。これは表土で発生する事例の多い降雨による崩壊（小山内ほか，2009）との大きな違いである。層面に沿う岩すべりも 4 か所で生じた。比較的軟岩で節理系と層理が発達した地層で多発している。また、塊状の軽石凝灰岩層では、崩壊は少ないが、採石・人家造成で切った斜面で崩落が生じている。崩壊発生は、直線的斜面に多く、凹型斜面には少ない。発生斜面方位は北東・東・西向きが多い。大きな加速度を持った揺れの方向性が初期的な斜面崩壊・崩落に寄与した可能性もある（石灯籠等の転倒方向から）。これについては、地震計による質点軌跡の追跡と崩壊集中域の斜面方位分布性の両面から検討中である。また、崩壊の高さ・面積は、ほとんど 30m、1 ha 以下と小さく、亀裂・節理高密度岩盤が揺れで緩み、起伏の小さい斜面でも発生したと言える。

現場における当面の危険性評価の面では、崩壊集中域では、崩壊・地すべりに至らなくてもキレツの開口や破碎された岩塊の斜面への残留、変形（トップリング）した斜面が崩壊地の近傍で各所にあり、崩壊予備斜面とも言うべき状況が生じている。これらの斜面抽出が急務と言える。



写真-1 左 風化・破碎の進んだシルト岩の崩壊，中 節理・層理間隔数十 cm のシルト岩の崩壊，右：節理・層理の発達しない塊状軽石凝灰岩の崩壊

## (2) 南三陸の斜面変動

津波被災域での斜面変動は少ない。中古生層地域で硬岩からなるため揺れが大きい割には崩壊が少ない。しかし、節理発達岩盤での崩壊や、海岸段丘背後の長い間侵食を免れた風化層の厚い斜面で円弧すべりが見られる。地すべり地形分布図データベース（(独)防災科学技術研究所）によれば、この地域は深層崩壊跡も含め地すべり地形が少ないことから、このような地すべりは希な現象と推定される。

## (3) 福島県南部～栃木県北部の火山噴出物堆積丘陵の地すべり性崩壊(本震)

この地域では、本震の震度が大きく、溶結凝灰岩や降下火山灰を含むローム層に厚く覆われる起伏量の小さい丘陵斜面や段丘崖斜面において移動距離の長い地すべり性崩壊が多く発生している。白河市葉ノ木平では、聞き取りから、運動や方向の異なる地すべりが続けて起こり、結果として移動距離を長くし、犠牲者を多数出す結果となった。ここでは、尾根を覆う火山灰層内で地すべりが発生し、それが埋没谷頭部に載り、埋積する火山灰層が高速移動したと見られる。なお、白河周辺ではこの最初の斜面変動向きは、地震計の質点軌跡から得られる主要動方向（N-S）と一致しており、それが引き金となった。同様の火山灰層の地すべり・崩壊は栃木県北部でも認められる。なお、白河周辺では、1998年豪雨でも火山灰層で多数の滑りが生じ流動化し被害を大きくしたが、その際は尾根でなく、谷頭部に発生している。

この他、北関東では、岩盤すべりや崩壊も多く発生している。長い震動の中で、単一ブロックの移動よりも小ブロック単位で異なる向きに変動があちこちで起こったが、これは長い揺れでその方向が複雑に変わったためと推定される。対策工検討では留意すべき点である。



写真-2 福島県白河市葉ノ木平地区



写真-3 栃木県高根沢町上柏崎地区

## (4) いわき市の地震断層周辺域と新第三系丘陵の崩壊・地すべり

4月11日の地震（M=7.0）に地表地震断層が現れたいわき市内陸部では、本震より加速度が大きかった箇所もあり、崩壊や地すべりが断層周辺域で多発した（佐藤ほか，2011）。この地域は、新第三系・古第三系・中古生層とその変成岩や花崗岩が分布し、花崗岩以外で発生している。

国土地理院撮影（2011年）簡易オルソ写真から、いわき市の斜面変動箇所を判読した。3月11日の本震にともない形成されたものとの区分けはできていないが、約1500箇所の斜面変動が抽出できた。いわき市西部（山間部）では、3月11日に発生した斜面変動は限定されたが、4月11日には多数発生した。これは4月11日の計測震度や最大加速度が高いエリアに重なっている。

これまでに発生した内陸地震と同様に、主に地震断層周辺で斜面変動が発生した。変成岩地帯での崩壊（貝

屋)・地すべり(才鉢)は、露頭から見て岩盤クリープが起こっていた斜面に発生したことがわかった。岩盤クリープ斜面は、地盤強度の異方性を持つ地質(変成岩・堆積岩)に起こりやすく、こういう斜面は地形判読で確認できる。

また、尾根が滑る地すべりが2か所で発生した。いずれも層状凝灰岩岩盤に沿ってすべりが生じた。地下水によるすべりでは起こりにくい地形である。



写真-4 貝屋崩壊

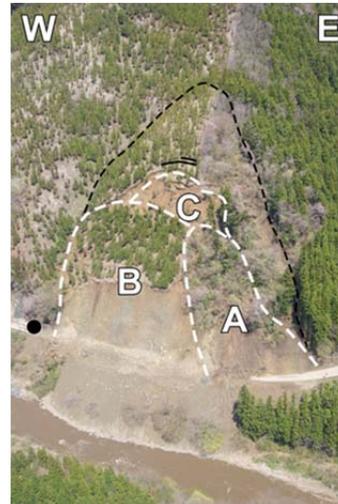


写真-5 才鉢地すべり

#### (5) 長野県北部地震による長野県北部・新潟県南部の地すべり

融雪や積雪の影響は新潟県南部～長野県北部での内陸直下型の関連地震で現れた。ここでは、地すべりが多発しており、その点では中越地震のケースに類似している。しかし、斜面変動発生数は類似規模の地震であった中越地震に比べ非常に少なくエリアも限られる。この原因として、浅い地すべり地の多いこの地域で、多量の積雪が有効応力を増加させ強度低下が起こりにくかった可能性も指摘(京都大学防災研究所地盤災害研究部門, 2011)されている。また、崩壊土砂が流送域の積雪を混じえた流動など、積雪の影響を受けた斜面変動が起こっている。

#### (6) 仙台市及び福島県いわき・中通りの斜面造成宅地の変状(本震)

宅地盛土斜面の斜面変状は、本震で発生し、岩手県二戸から栃木県まで広範囲に見られる。約4000軒が被災した仙台市では、現場での変状分布から、従来の地すべりとは異なり、明瞭なすべり面を持たず、長い揺れによる沈下・斜面下方への塑性変形で生じたものも多い。また、単一のブロックでの移動でなく、移動方向の異なる幾つかのブロックが小規模(宅地数軒～1軒)に動いたかあるいはそれらの集合体となっているケースが多い。軟弱で砂質の盛土からなる斜面造成宅地で変状が多発した。とくに、湧水が各所に見られることから地下水供給が多かったところで、繰り返し荷重を受け沈下や水平変位が生じて住宅の大きな被害を出した。

地震後の変状斜面のキレツの継時変化を計測した結果、余震の減少とともに7月頃から変位はおさまり、9月の連続雨量300mmの降雨でもほとんど変動は無かった。したがって、宅地変状箇所の降雨による再活動危険性は低いと言える。

#### 4. まとめ

東北地方太平洋沖地震と関連地震での斜面変動発生箇所の調査から、地震による斜面変動発生の要因として、震度（最大加速度）と地質・地形条件（強度異方性を持つ岩盤、降下火山灰を含む厚いローム層の載る丘陵地・台地斜面など）が挙げられる。これらの組み合わせが危険地域ゾーニングの要因となる。さらに、危険箇所の評価では、キレツ性節理・層理面の存在や斜面形（地すべり地形、斜面微地形、埋没谷、地下水の供給されやすい盛土など）などが重要となろう。過去の多数の地震による斜面変動事例を含め、発生要因の統計解析・知識データベースの構築、また、地震動による斜面不安定化のプロセスを動的な地盤特性の面で力学的に解明し要因の妥当性検証や不安定化斜面予測手法に繋げることも必要である。その中で、海溝型巨大地震では、地震動の大きさだけでなく揺れ時間の長さとその間の地震動の変化を加味した指標を取り入れることも必要と思われる。

上記の概要にあるように研究メンバーによって、集中して分布する地域や人的被害が発生した場所について調査が実施されている。その成果は、平成24年11月に桐生市で開催される ISEL-Kiryu (International Symposium on Earthquake-induced Landslides) をはじめ論文等で順次公開されていく。なお、本稿は中間報告段階のものであり、最終報告段階では変わる可能性がある。また、本稿を引用する際は次の例を参考にして頂きたい。

社団法人日本地すべり学会（2012）：地震による斜面変動の実態把握と特徴の類型化，  
[http://japan.landslide-soc.org/...](http://japan.landslide-soc.org/)（参照日 年 月 日）。

#### 文献

- (独)防災科学技術研究所：地すべり地形分布図データベース。 <http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/index.html>
- 京都大学防災研究所地盤災害研究部門（2011）：2011年長野県北部地震による斜面災害の調査報告（速報）。  
[http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web\\_j/saigai/20110406\\_jiban.pdf](http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/saigai/20110406_jiban.pdf)
- 小山内信智・富田陽子・秋山一弥・松下智祥（2009）：がけ崩れ災害の実態，国土技術政策総合研究所資料第530号。
- 佐藤剛・梅村順・檜垣大助・宮城豊彦・八木浩司（2011）：平成23年4月11日福島県いわき市を震源とする進度6弱の内陸地震にともなう地すべり・崩壊-県道14号沿いにおける調査速報-日本地すべり学会誌48-3, pp. 49-51.
- (社)東北建設協会（2004）：20万分の1東北地方デジタル地質図。