

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580174

研究課題名（和文） 地すべり変位量に基づく地震力の定量化と新たな指標の提言

研究課題名（英文） Suggestion of seismic force index based on quantification by landslide displacement

研究代表者

岡本 隆 (OKAMOTO TAKASHI)

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：30353626

研究成果の概要（和文）：

本研究は、地震動の中でどのような振動成分が地すべりに強い影響を与えるのかを明らかにすることを目的とする。新潟県の地すべり地で観測された中越、中越沖、長野県北部の各地震動の振動成分とその際に生じた地すべり変位量の関係を解析したところ、従来地震力指標として用いられてきた最大加速度はあまり調和的でなく、むしろ地形的に解放された方位における最大速度を用いた方が地すべり変位量と調和的であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

This study aims to clarify the factor of seismic vibration influenced on the landslide movement. We analyzed relationships between the vibration factor of three major earthquakes (The Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004, The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007, and The North Nagano Prefecture Earthquake) and landslide displacements by these earthquakes. The results showed the maximum velocity in the topographically-released direction had a significant relationship to the displacements, and was useful for the index as the seismic force for the landslide movement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・崩壊・地すべり・土石流

キーワード：地震動、現地観測

1. 研究開始当初の背景

近年、2004年新潟県中越地震や2008年岩手・宮城内陸地震などの大規模地震による山地災害が頻発し、尊い生命や財産が奪われている。災害の防止や被害の軽減のため、地震時の斜面変動に関する研究が積極的に進め

られているが、その発生には素因（地形・地質）と誘因（地震動・地下水位）が複雑に関わるため、降雨時の斜面変動に比べて解明が遅れている。とくに山地斜面を不安定化させる地震の力を数値指標化する手法は未だに確立されていない。そのため現状では、地震

力の数値指標として「最大加速度」を便宜的に用いることが多い。しかし、過去の地震災害を整理すると、最大加速度が大きいにもかかわらず災害の発生数が少ない事例があるなど、指標としての信頼性に問題があることが指摘されている（川邊、2005）。

地震力と斜面移動の関係性に関する研究は、現在は、コンピュータ上に構築した仮想斜面に地震動に相当する応力を与えて、生じる変位量を推算する動的な数値解析手法（Wakai and Ugai, 2004 ; Randall, 2007）が主流となっている。しかし、解析モデルに与えるパラメータの精度がまだ不十分で、実際の現象を定量的に再現できる段階に達していない。この部分が地震力の影響を評価する際のボトルネックになっている。数値解析モデルの精度向上には、今後もなお時間を要すると見込まれることから、頻発する地震による斜面災害を早急に軽減するためには、数値解析手法とは異なる視点からのアプローチも必要と考えられる。

研究代表者らは、新潟県上越市の伏野（ぶすの）地すべり地において、地すべりの変位を 1988 年から継続して観測してきた。その結果、2004 年中越地震および 2007 年中越沖地震の発生によって、この地すべりに震度 5 強程度と推定される地震振動が作用し、3 地点でそれぞれ 0~4 mm の変位を観測した。この 2 つの地震による地すべり変位量と地震の最大加速度とを比較したところ、最大加速度の大きい地震で地すべり変位量が小さくなるという逆転現象を見いだした。このことから、観測された地すべり変位量と地震振動特性の相関関係を詳細に調べることで、従来の数値解析の手法とは異なる視点から地震力の数値指標を導き出せるのではないかという仮説に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地すべりに与える地震動の影響力を定量評価することである。その上で、慣例的に地震力の指標として用いられてきた最大加速度に代わり、新しい指標を提言する。

3. 研究の方法

本研究では、現地観測によって捉えられた地震動と地すべり変位量を用いて解析をおこなった。具体的には、以下の方法に沿った。

（1）地すべり地における地震観測

研究代表者らは新潟県上越市の伏野地すべりにおいて、地すべり変位量および間隙水圧、積雪や降雨に関する気象要素の観測（10 分もしくは 1 時間間隔）を 1988 年から継続的におこなっている。現地ではこれまで 2004 年新潟県中越地震と 2007 年新潟県中越沖地震の 2 回の地震を経験し、それぞれの地震に

呼応して地すべり変位が観測された。しかし、伏野地すべりでは当時地震観測態勢は整備されておらず地すべり地の正確な地震動の状況は不明であった。そこで、地すべり地で断続的に続いている余震活動の波形から本震波形を再現することを目的として、地すべり地に地震計を設置した。ただし、これらの方法は後述するように 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生によって地殻構造が変化し、本震波形の再現は技術的に困難となった。このため当初の計画を若干変更して上述の 2 回の地震の本震波形の再現は中止する代わりに、2011 年長野県北部地震によって伏野地すべり地で観測された強震動を新たな対象に加え、計 3 回の地震について解析を進めることとした。

地震計の設置位置は当初地すべり移動区域内を予定していたが、地すべり移動による地震計の傾倒や破損の恐れがあったため、基本地質が同じ地すべり地近傍の不動地に変更した。当該位置にて 3 成分型の地震加速度計を設置した。冬季は数メートルもの積雪に覆われるため、本体をアンカーで固定して防水、耐雪処理を厳重に施した。また積雪下の環境においてもモニタリングを可能とするため、地震計を公衆電話回線に接続したネットワークを構築し、遠隔の研究所からの地震の状況を把握できるようにした。地震観測は 2010 年 12 月に開始した。

（2）地震時地すべり事例の収集、解析
新潟県中越地震および中越沖地震が発生したときの地すべり観測事例を関東森林管理局に依頼して収集した。地すべりはいずれも伏野地すべりと地質が類似した新潟県下のものであり、観測項目は地すべり変位量、地下水位、地中歪みである。収集データから地震時における地すべり変動の傾向やバラツキを調べた。

（3）地震振動要素と地すべり変位量の統計解析

伏野地すべり地に作用した 3 回の強震動について、近傍の地震観測点で観測された地震波形から地震動の振動要素である最大加速度、最大速度、最大振幅、卓越周波数を算出し、地すべり変位量と比較することによって、どの振動要素が地すべりの活動に強い影響を与えているのかを解析した。その結果を踏まえて、地すべりに対する地震力の指標を検討した。

（4）地すべり地での地震動の変質調査

地震観測開始後、任意の地震に対して伏野地すべり地で観測される地震波形と平野部で観測される地震波形に違いが認められた。このため、平野部と山間斜面の地すべり地で観測された地震波形の差異を調べ、地震動が地すべり地に到達する際に生じる揺れの変化について考察を加えた。

4. 研究成果

(1) 地震時地すべりの事例調査

新潟県下 10 カ所の地すべり地の地下水位と地中歪みのデータを整理したところ、地震にもなって水位低下が現れた事例が 2 例、歪み変動が現れた事例は 2 例あった。しかし地震発生と明瞭な対応のある事例は 1 例に留まった。当該地すべり地は全て対策工事が終了したか実施途中の段階であったことから、降雨に対する対策工の効果が地震に対しても発揮されていた可能性が示唆された。

(2) 地震動要素と地すべり変位量の関係

地震動および地すべり変位を観測中の伏野地すべり試験地(新潟県上越市)において、2011 年 3 月 12 日に長野県北部を震源とする M6.7 の地震(以降、長野県北部地震と呼ぶ)が発生した。これは東北地方太平洋沖地震(M9.0)の誘発地震と考えられている。この地震により、試験地では最大震度 5 強、最大加速度 382gal の地震動を観測し、同時に約 2mm の地すべり変位も観測した。そこで研究開始当初に対象としていた中越地震、中越沖地震による地すべり移動に加え、本地震による地すべり移動も新たに解析対象に加えることとした。

上述した 3 回の地震について、観測された最大加速度と地すべり地内複数箇所の地すべり変位量の関係を比較した。なお、中越、中越沖の地震動は試験地で観測されていないことを考慮し、比較に用いる最大加速度は近傍の安塚観測点(K-NET・NIG028)での観測値で統一した。最大加速度は長野県北部地震>中越地震>中越沖地震の順であったが(図-1)、地震時の地すべり変位量(図-2)はこの順と調和しなかった。すなわち、地震の最大加速度と地すべり変位量は一致しないことが分かった。これは本研究の着想時に想定した、「斜面変動には従来提案されている最大加速度以外の成分も効く」という仮説を補強することになる。一方で長野県北部地震は積雪期(3月12日)に発生したため、積雪層の被覆が地すべり移動を抑制する効果についてもあわせて検討する必要があると考えられた。

次に各地震について、得られた加速度波形を時間積分して求めた地震動の最大速度(図-3)を地すべり変位量と比較した。上述の 3 地震時の変位観測に成功した観測点 E5 で見れば、地すべり変位量は最大地震速度とより調和的に見える。とくに地すべりが地形的に解放された東西方向の最大速度で見れば、地すべり変位量とよく一致している。このことから、地すべり変位に対する地震動の指標としては、地すべりが地形的に解放された方位の最大速度を用いると適切になる可能性が示された。

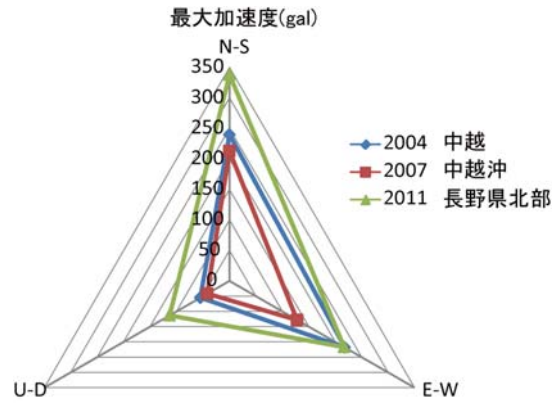


図-1 伏野地すべり地近傍の K-NET 安塚で観測された各地震動の最大加速度。

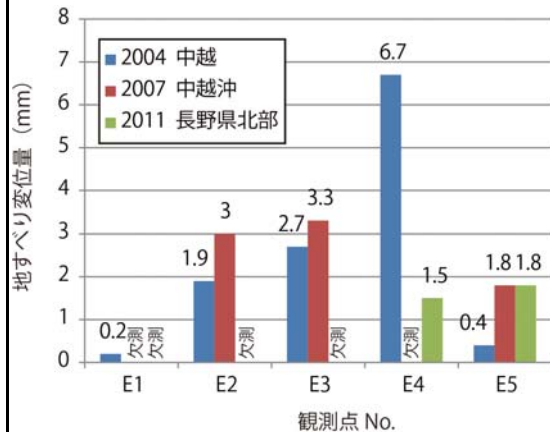


図-2 各地震時における地すべり変位量。

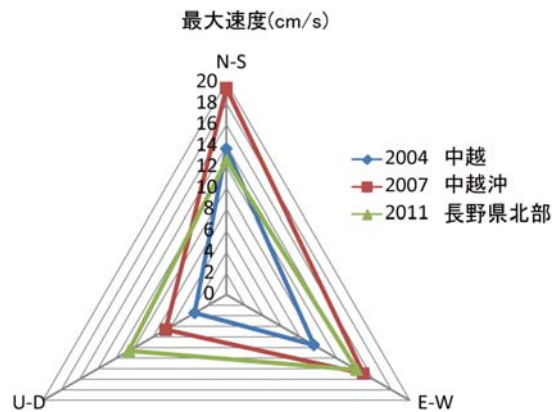


図-3 伏野地すべり地近傍の K-NET 安塚で観測された各地震動の最大速度。

(3) 地すべりに到達する地震動の変質

2011 年 3 月 12 日の長野県北部地震(M6.7)以降、計 83 回の本震と余震を観測した。このなかで震度 3 以上の地震(30 回)の波形を抽出して平野部で同時に観測された波形と比較し、丘陵地形、軟質層の堆積といった地すべり地特有の地形・地質特性が地震振動特性に与える影響を解析した。比較対象の平野部波形は伏野試験地から 8km 離れた K-NET 安塚観測点での地震動である。比較の結果、両者

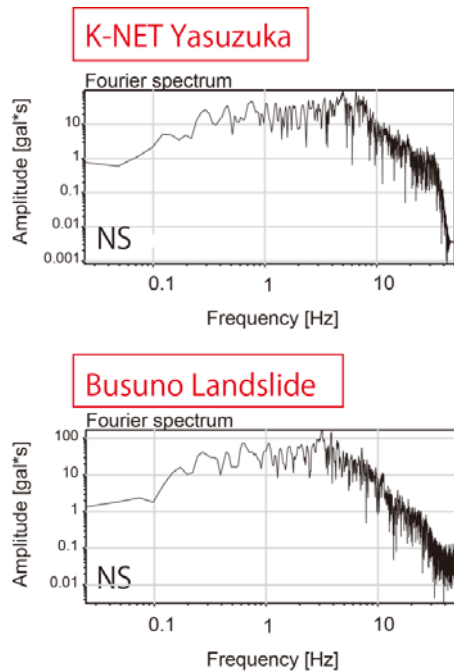


図-4 長野県北部地震時の観測波形のフーリエスペクトル (上・K-NET 安塚、下・伏野地すべり)

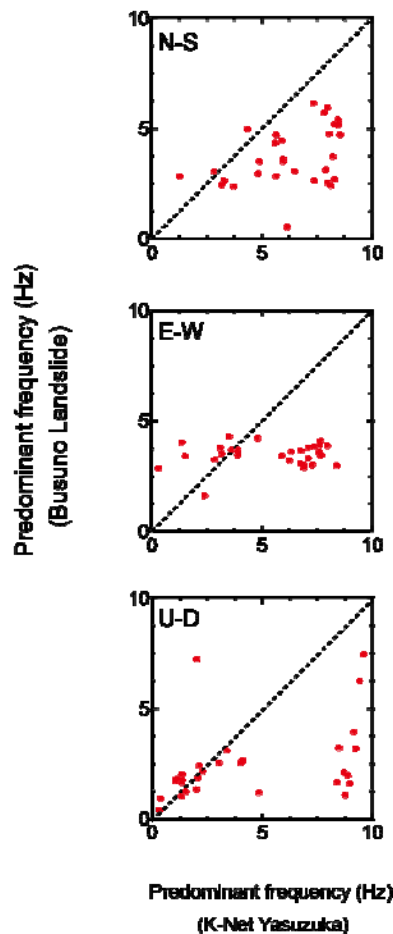


図-5 長野県北部地震本震・余震の卓越周波数の比較 ((横軸・K-NET 安塚、縦軸・伏野地すべり))

の地震波形のフーリエスペクトルは0.1Hzから4Hz付近にかけては類似したが、4Hz以上の高周波数になると地すべり地で減少し、いわゆる地震動の長周期化が生じていることが明らかとなった(図-4)。この要因として地すべり地の破碎・軟化した表層部が高周波数帯の地震波を吸収した可能性が考えられた。次に地すべり地と平野部の地震動を方位別の卓越周波数の点から比較した。南北、東西、上下いずれの方位についても、地すべり地の卓越周波数は平野部のそれに比して低下しており、改めて地震動の長周期化が示された(図-5)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4件)

- ① Okamoto, T., Sakurai, M., Tsuchiya, S., Yoshimatsu, H., Ogawa, K., Wang, G. (2012): Secondary hazards associated with coseismic landslide, Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides, 77-82. (査読有)
- ② Matsuura, S., Okamoto, T. (2012): Interactions between snow covers and sediment-related disasters during the earthquake, 7th International Conference on Snow Engineering, 315-322. (査読有)
- ③ 大丸裕武ほか5名(4番目) (2011): 2008年岩手・宮城内陸地震による一迫川上流域の崩壊発生環境、日本地すべり学会誌、48(3)、23-36. (査読有)
- ④ 三森利昭ほか11名(4番目) (2010): 2008年岩手・宮城内陸地震による土砂災害、水利科学、54(3)、105-127. (査読有)

[学会発表] (計 5件)

- ① 岡本隆、松浦純生、阿部和時(2012): 2011年長野県北部地震による地すべり地の地震振動特性、第51回日本地すべり学会研究発表会、2012年8月29日、札幌市。
- ② Osawa, H., Okamoto, T., Matsuura, S. and Abe, K. (2012): Fluctuation in excess pore water pressures triggered by earthquakes at the Busuno landslide, Japan Geoscience Union Meeting 2012, 2012年5月20日、千葉市。
- ③ 岡本隆、松浦純生(2012): 2011年3月12日長野県北部地震によって生じた地すべり変動、第123回日本森林学会大会学術講演集、2012年3月27日、宇都宮市。
- ④ 松浦純生、岡本隆ほか3名(2011): 融雪特性を用いた地震動が地すべりの発生に及ぼす影響評価、雪氷研究大会、2011年9月22日、長岡市。
- ⑤ 岡本隆、浅野志穂、松浦純生ほか2名

(2010)：地震後に活動が沈静化した地すべりの土質力学的検討、第49回日本地すべり学会研究発表会、2010年7月8日、那覇市。

〔図書〕(計 1件)

① 岡本隆、櫻井正明、土屋智ほか3名
(2012)：地震地すべり、日本地すべり学会、229-243.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 隆 (OKAMOTO TAKASHI)

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：30353626

(3) 連携研究者

浅野 志穂 (ASANO SHIHO)

独立行政法人森林総合研究所・九州支所・山地防災研究グループ長

研究者番号：70353555

岡田 康彦 (OKADA YASUHIKO)

独立行政法人森林総合研究所・水土保持研究領域・主任研究員

研究者番号：50360376