

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450231

研究課題名(和文)地すべり地に到達する地震動の変質機構の解明

研究課題名(英文)Clarification of alteration mechanism of seismic motion reached to landslide area

研究代表者

岡本 隆 (OKAMOTO, Takashi)

国立研究開発法人 森林総合研究所・東北支所・チーム長

研究者番号：30353626

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：地すべり地における地震動特性を明らかにするため、新潟県上越市の地すべり地の内部移動域と側部不動域の2箇所において加速度型強震計による地震動観測をおこなった。移動域はぜい弱化した強風化泥岩および強風化凝灰岩からなる。観測された有意な地震は2回(M3.0、M6.7)である。両地震とも地震動の最大加速度および最大速度は移動域の方が大きくなる傾向にあり、地すべり地内では地震動が強くなることが明らかとなった。フーリエ解析の結果、地震動の周波数分布は相対的に軟弱地盤である移動域で1Hz前後の周波数帯の振動が増幅される特徴があり、これが移動域において相対的に地震動が強くなった要因と考えられた。

研究成果の概要(英文)：To clarify seismic vibration characteristics reached to landslide mass, we monitored seismic ground motion in a landslide site of Niigata Prefecture, Japan. Strong-motion seismographs were installed in the landslide mass and outside of it. Landslide mass is formed by strong weathered mudstone and tuff. Two analyzable earthquakes (Mj3.0 and 6.7) were observed in the site. Maximum seismic acceleration and maximum velocity in the landslide were stronger than out of the landslide. It showed the seismic vibration increased on the landslide mass. As the result of Fourier analysis, we found the vibration with approximately 1Hz was amplified on the landslide mass. We considered the amplification as the reason that the seismic vibration increased in the landslide.

研究分野：地すべり学

キーワード：地すべり 地震 加速度 振動特性

## 1. 研究開始当初の背景

近年、わが国では相次ぐ大規模地震による山地災害が顕著になっている。とりわけ2004年新潟県中越地震では、地震時には起こりにくいと考えられた泥濘質の再活動型地すべりが頻発して、地震時の地すべり現象(以後、地震地すべりと呼ぶ)に関する学術的常識が覆された。これを契機として、地震地すべりに関する研究が集中的に取り込まれるようになった(日本地すべり学会編、2012)。

地震地すべりの機構解明では、その発生条件を「素因」と「誘因」に分けると考えやすい。素因とは、地すべりが発生しやすい地形や地質、水文条件を指す。素因に関する調査・研究は、例えば、尾根や段丘部などの地形では地震加速度が増幅されて地すべりの危険度が増す(浅野ほか、2006)ことや、泥岩層に挟在する砂層が地震時に液状化して地すべり発生につながる(佐々ほか、2008)ことなど、多くの成果が発表されている。一方、誘因とは地すべり発生の直接の引き金となる降雨などの外的条件を指し、本研究では地震動が該当する。強い地震ほど地すべりの数・規模ともに増すことは分かっているが、さらに近年の研究では、斜面の不安定化には地震動の加速度成分よりも速度成分の方が重要であることが示されている(川邊、2005; 岡本ほか、2008)。

しかしながら、この地震動に関する研究については、次の根本的な問題点が解決していない。川邊、岡本ほか双方の研究では、地すべりに作用した地震動として、近傍のK-NETや地方自治体の観測値を便宜的に用いている。すなわち地すべり地へ到達する地震動も平野部へ到達する地震動も同一であるという仮定のもとに評価をおこなっている。この背景には、地すべり地のような特殊な条件下での地震動観測例がほとんどなかったことがある。しかしながら、山地斜面の破碎が進んだ地質条件をもつ地すべり地では、到達する地震動の性質は平野部と比べて大きく変化する可能性がある。

地震動に関して正しい情報を持たないまま、便宜的な仮定のもとで評価をおこなえば、地震動と地すべり変動の関係の研究において誤った方向に進む恐れがある。そのため、地すべり地へ到達する地震動の変質状態を明らかにし、その機構を解明することが重要な課題として残されている。

研究代表者は、科研費基盤研究(C)「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」(研究代表者: 岡本隆)において、地震動強度と地すべり移動量の関係を解明するため、新潟県上越市の第三紀層で構成される地すべり地の側部に地震計を設置して動的観測を続けてきた。そして、2011年3月12日長野県北部地震発生時の強震観

測に成功した。観測点は地すべり地内ではなく側部という留意点はあるが、地すべり地で観測された地震動は8km離れた平野部(K-NET安塚)での地震動と比べて違いが認められた。最も特徴的な差異はその周波数特性である。平野部(青線)では波の間隔が密に詰まった高周波数帯の波が卓越したのに対し、地すべり地では波の間隔が疎となり、低周波数帯が卓越した波に変質していることが分かった。変化の原因は、軟弱な堆積層による高周波成分の減衰によると想定されるが、観測点が不十分なため類推の域を出ていない。

この観測結果は、「近傍の平野部で観測された地震動を地すべり地の地震動に便宜的に流用して良い」という既往研究の考え方を見直す必要性を示している。そこで、地すべり地内の複数箇所に地震計を設置し、平野部と地すべり地で観測される地震動の差異を明らかにし、その変質機構を追究する必要があると考えたことが、本研究の着想に至った経緯である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、東北地方太平洋沖地震の影響により地震が頻発する新潟県の地すべり地の多点地震動観測から、地すべり地へ到達する地震動の変質特性を明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

新潟県上越市の東頸城丘陵内にある伏野(ぶすの)地すべり地(標高約550m)において、地すべり地の内部移動域に加速度型強震計(応用地震計測製、E-Catcher)を設置し、2013年12月から観測を開始した。同区域は2011年長野県北部地震の余震が継続している場である。同地すべり地の側部不動域には、既に同型の加速度型地震計(E-Catcher new)による観測がなされているため、両点の観測値を比較することによって地すべり地の内部と外部の地震動の差異を見いだすことができる。2つの地震計は近傍の観測小屋を経由してインターネット上に接続されており、遠隔地から地震動の観測データをモニタリング、回収することが可能な仕組みになっている。

複数点観測によって得られた地震波形をもとに地震動の最大加速度、最大速度、最大振幅、卓越周波数等の振動特性を整理した。その上で、地すべり地の内部移動域と外部不動域における地震動特性の差異をフーリエ解析等により明らかにし、地質、地形性状との関連性について考察した。

## 4. 研究成果

観測開始から研究期間内に生じた解析可能な地震動は2回あった。1つは2014年5月20日に伏野地すべり地から約11km南東の地点を震央として発生したマグニチュード3.0の地震(地震Aと呼ぶ)による振動であり、もうひとつは2014年11月22日に発生したマグニチュード6.7の長野県神城断層地震(同地震B)による振動である(図1)。伏野地すべりの移動域と不動域では、これら2回の地震発生時に有意な地震動を観測した。

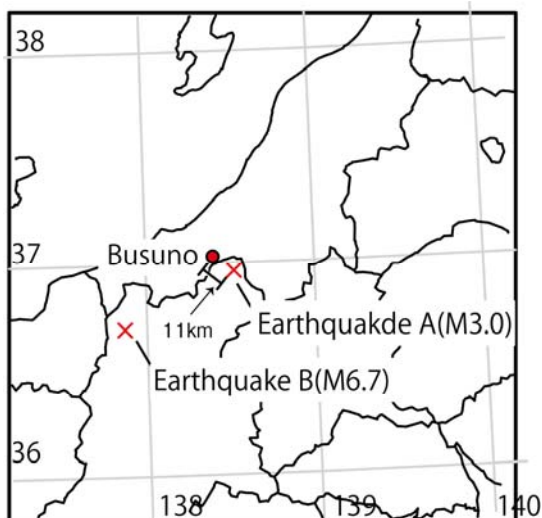


図1 観測された地震の震央位置

地震Aによって観測された伏野地すべり地の最大加速度は、移動域で14.7gal、不動域で11.1gal(ともにNS方向)であった。地震動のエネルギーを最も良く表すとされる最大速度は、移動域で0.346cm/s、不動域で0.220cm/s(ともにNS方向)であった(図2)。地震Bによって観測された同地すべり地の最大加速度は、移動域で25.8gal(EW方向)、不動域で23.8gal(NS方向)であり、最大方位が異なった。また最大速度は、移動域で0.619cm/s(EW方向)、不動域で0.431cm/s(NS方向)であった(図3)。これらから、伏野地すべり地では内部移動域では不動域に比べて地震動が強くなる様子が認められた。

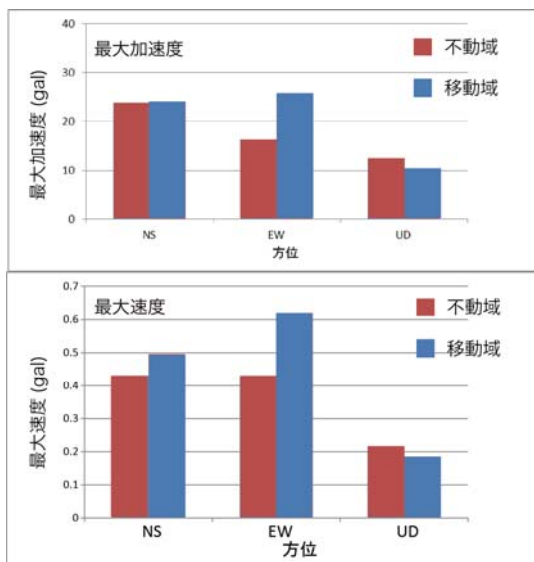
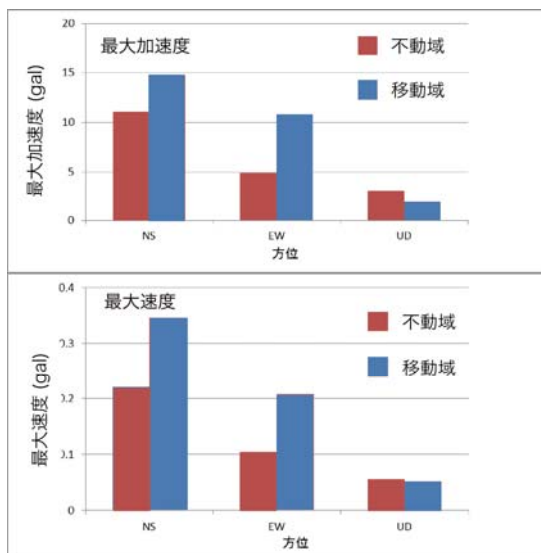


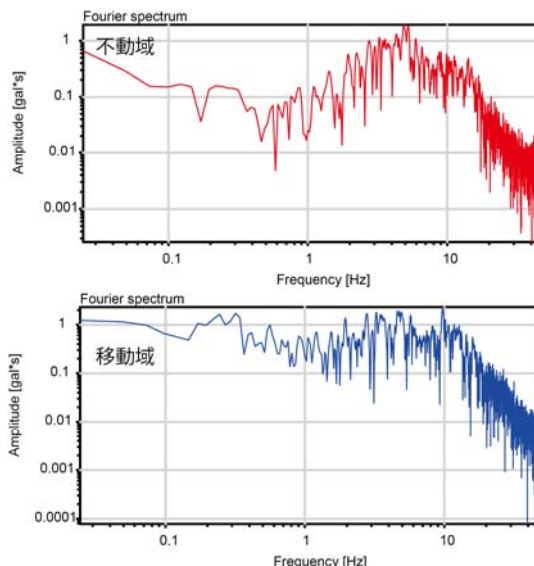
図2 地震Aによる地すべり地の最大加速度(上)及び最大速度(下)

図3 地震Aによる地すべり地の最大加速度(上)及び最大速度(下)

同一の地すべり地であれば、内部移動域も側部不動域も、地下深部の基盤に入力される地震動はほぼ同じであるとみなせる。それが地表において異なる地震動が観測されるのは、表層部における1)地形の違いと2)地質の違いによって振動特性が変化したためと考えられる。移動域と不動域の両観測点の距離は50m程度と近く、観測点の地形差は少ないと考えられる。そのため振動特性の変化は地すべり地特有の地質に起因する可能性が考えられた。

地盤表層における地質差は地盤の持つ固有周波数で表現できる。この固有周波数は固い地盤では短周期成分を増幅させ、軟弱な地盤では長周期成分を卓越させる傾向がある(川邊, 2005)。したがって地盤の軟弱化した移動域ほど、長周期成分の振動(=ゆっくり

図4 地震Aによる振動のフーリエ分布(不動域:上、移動域:下)



りとした揺れ)が卓越すると考えられた。そこで、地震波形をフーリエ変換して周波数特性を求め、移動域と不動域で比較した。

卓越周波数を見ると、不動域に比べて移動域では1Hz前後の振動が大きくなった(図4)。これは、相対的に軟弱地盤である移動域で、低周波数帯(1Hz前後)が増幅された可能性を示している。この地質差による増幅特性の違いが、移動域、すなわち地すべり地内で地震動が強くなった要因と考えられた。

#### <引用文献>

- ① 浅野志穂ほか、山地における地震動の地形効果と斜面崩壊への影響、日本地すべり学会誌、42巻6号、2005、457-466
- ② 川邊洋、斜面表層の振動特性と不安定化、日本地すべり学会誌、42巻2号、2005、10-12
- ③ 日本地すべり学会編、地震地すべり—地震地すべりプロジェクト特別委員会の総括編一、日本地すべり学会、2012、302
- ④ 岡本隆ほか、積雪地域における浅層地すべりの変形機構、日本地すべり学会誌、44巻6号、2008、20-30
- ⑤ 佐々恭二ほか、平成16年新潟県中越地震により発生した再活動地すべり地における高速地すべり発生・運動機構、日本地すべり学会誌、44巻2号、2007、71-78

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文] (計 2件)

- ① 岡本隆、積雪地域で発生する地すべり災害の多様性とその観測、斜面防災対策技術協会東北支部、査読無、19巻、2015、22-37
- ② 岡本隆、松浦純生、阿部和時、積雪期における地すべり土塊の鉛直変位計測、日本地すべり学会誌、査読有、52巻、1号、2015年、21-27

##### [学会発表] (計 3件)

- ① 岡本隆、融雪浸透モデルとタンクモデルを用いた地すべり地の融雪水量予測、第127回日本森林学会大会学術講演集、2016、P2-184、2016年3月29日、日本大学生物資源科学部(神奈川県藤沢市)
- ② 岡本隆、松浦純生、地すべり地における地震動の観測—2014年5月20日に発生した小地震—、第19回東北森林科学学会大会講演要旨集、73、2014年9月2日、コラッセふくしま(福島県福島市)
- ③ Osawa, H., Okamoto, T., Matsuura, S. ほか1名、Fluctuations in pore-water

pressures triggered by earthquakes at the Busuno landslide, Japan Geoscience Union Meeting 2013、H-DS06-P03、2013年5月23日、幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市)

##### [図書] (計 1件)

- ① Matsuura, S., Chigira, M., Matsushi, Y., Okamoto, T., Springer, Studies on the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, 2013, 157-175,

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

岡本 隆 (OKAMOTO Takashi)

国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・チーム長

研究者番号：30353626

##### (2) 連携研究者

松浦 純生 (MATSUURA Sumio)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：10353856