

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510182

研究課題名（和文） 山地の地震動の地形効果が崩壊発生に及ぼす影響の解明

研究課題名（英文） Topological effect on slope failure in the mountain by the earthquake

研究代表者

浅野 志穂 (ASANO SHIHO)

独立行政法人森林総合研究所・九州支所・グループ長

研究者番号：70353555

研究成果の概要（和文）：山地地域で地震時の斜面崩壊を引き起こす地震動の特徴を明らかにするため、丘陵地で地形条件の異なる2地点で地震観測を行いその違いを比較した。また実際に大規模な斜面崩壊が発生した山地の地震応答解析を行い地震応答加速度の特徴を検討した。その結果、地表付近の地震動は尾根や軟弱な地層などで増幅され易いなど地形や地質構造により影響を受け、大規模な崩壊発生に影響すると考えられた。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify the characteristics of earthquake motion which triggers landslides in the mountain areas, the seismic observation on the hill slope was carried out. And the seismic motion in each slopes of the mountain where many landslides occurred was examined by the earthquake response analysis. As a result, the seismic motion of each slope of the mountain was amplified by the effect of topology and geological structure, and the source areas of landslides tend to appear around the high acceleration areas.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：土砂災害

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：防災、土砂災害、地震

1. 研究開始当初の背景

新潟県中越地震などの様に、山地や丘陵地地域では大規模な地震に伴い斜面崩壊等の土砂災害がしばしば発生する。特に大規模な地震による斜面崩壊は特定の地域で同時多発的に発生するため、ライフラインを含めた地域社会全体の大きな被害に繋がることもある。特に丘陵地周辺に生活圏が近接する地域も近年増加しており、各地で地震時の斜面崩壊による災害の懸念が高まっている。このような被害を軽減するため、大規模な地震発生時の斜面崩壊の発生危険度の予測手法が

必要となっている。

地震時の斜面安定評価は、力学的には個別斜面で重力下の静的な力とモーメントの釣り合いに加えて、地震力を考慮して行う。このため斜面毎の危険度評価には斜面スケールでの地震力の分布の特徴を推定することが必要となる。これまで過去の地震調査から例えば山地地域では尾根付近を発生源とする斜面崩壊が比較的多く見られたなど地震時の斜面崩壊の誘因となる地震動と地形との関係について幾つか指摘がなされてきたものの、具体的な観測例なども少なく、実際

の状況については不明な点も多かった。

2. 研究の目的

このため山地や丘陵地における地震時の斜面崩壊発生危険度の評価技術の高度化のためには、地形や地層構造の影響を受けて変化する山地や丘陵地における地震動の斜面スケールで分布の特徴と斜面崩壊発生場所の関係を明らかにすることが必要となる。このため本研究では、(1)地形条件の異なる場所での地震動の違いの実態解明、(2)崩壊発生斜面の地震加速度への地形条件の影響に注目して検討を行った。

3. 研究の方法

(1)地形条件の異なる場所での地震動の違い

斜面において発生する地震動の特徴を明らかにするため、東京都日野市の丘陵地斜面において地震観測を実施した。地震観測は地形の影響を比較するために約100m程度離れた山稜部分(No. A)と平行斜面部分(No. B)の2地点において、それぞれ地表からの深度-1mと深度-25mに地震計を設置して各深度における地震動の観測を行った。No. Aの標高は127m、No. Bの標高は112mである。対象地域は上総層群の砂岩層が分布する地域にあたる。Aでは深度-6.6mまでは砂岩シルト岩互層が堆積し下位に砂岩層が堆積する。Bは丘陵地の開発利用に伴って谷部を埋めて作られた緩勾配の平行斜面であり、深度-15.2mまでは埋立地盤が堆積しその下位は砂岩泥岩互層となっている(図1)。

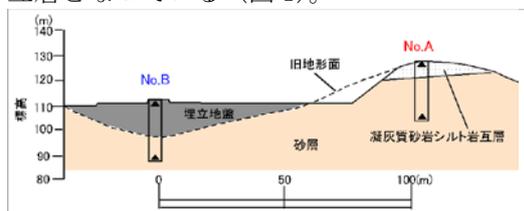


図1 地震観測点の断面図

地震動観測は水平2方向成分と鉛直成分を測定できる埋設型のサーボ式地震加速度センサーをそれぞれの深度に埋設して行った。地震加速度センサーはデータロガーに接続して、サンプリング間隔100Hz、トリガーによる遅延時間を10秒として記録した。観測システムの周波数特性はDC~35Hzであった。

(2) 崩壊発生斜面の地震加速度への地形条件の影響

大規模な地震発生時に実際に斜面崩壊が発生した山地を対象として、各斜面で生じる地震加速度の特徴について検討するため、山地地形モデルを用いた数値解析を行った。

数値解析は山地地形モデルを用いた弾塑

性有限要素法により、地下深部に時刻歴地震加速度を与えた時の各地点の応答加速度を求める方法で行った。各地点の応答加速度は時間とともに方向と大きさが変化するためここでは、斜面安定への影響が最も大きく働くそれぞれの地点の最大傾斜方向成分を求めて検討した。

ここでは新潟県中越地震時に大きな斜面崩壊が発生した山地を対象とした。山地地形モデルは崩壊地を含む範囲の航空レーザー測量と過去の空中写真から地震発生前の地形面を推定し、1,000m×1,000mの範囲の三次元モデルとして作成し、メッシュ分割して三次元解析モデルを作成した(図2)。

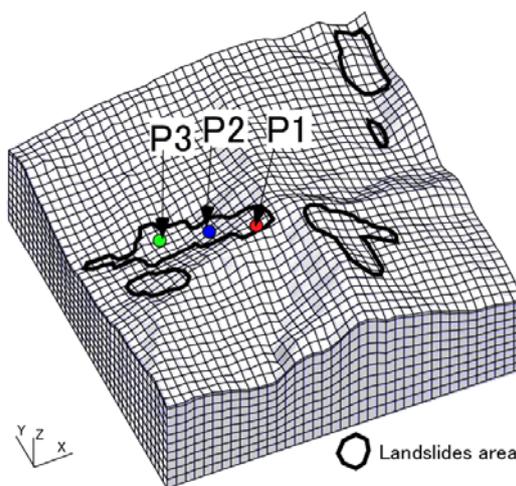


図2 山地地形モデル

対象地の基盤は泥岩であり、その上位に風化土層が堆積する。このため対象地の土層厚を地震探査により推定した。また解析に用いる地盤の変形係数は現地で行った地震探査の結果と、対象地近傍にある防災科学技術研究所 KIK-NET 観測点(NIGH11)による地震観測データを用いて逆解析を行い、その結果を参考にして定めた。

解析はモデル底面に地震動を入力してその時の各地点の応答加速度を求めることで行った。この時のモデル底面への入力加速度は、KIK-NETのNIGH11観測点の地下200m深における観測地震加速度の水平方向成分を用いた。解析時間は4秒間とし、解析時間間隔は100Hzとした。

4. 研究成果

(1)地形条件の異なる場所での地震動の違い

観測記録された地震イベントの中で比較的大きな地震イベント(最大地震加速度44.5cm/s²及び100.3cm/s²)の結果について検討した。なお研究期間終了直前に東北地方太平洋沖地震が発生したが、この時は機器のトラブルのためフルセットで地震記録が得

られなかったため今回の検討から外した。

観測結果の解析によると、最大加速度 44.5cm/s^2 のイベントでは深さ -25m で $A:19.2\text{cm/s}^2$ 、 $B:17.5\text{cm/s}^2$ の最大加速度が、深さ -1m で $A:44.2\text{cm/s}^2$ 、 $B:44.5\text{cm/s}^2$ へと増幅された。 100.3cm/s^2 のイベントでは深さ -25m で $A:22.6\text{cm/s}^2$ 、 $B:18.0\text{cm/s}^2$ の最大加速度が、深さ -1m で $A:82.2\text{cm/s}^2$ 、 $B:100.3\text{cm/s}^2$ へと増幅された (図 3)。A、B ともに地震動が地表に向かうにつれて地震加速度が増幅される。また平行斜面である B 地点では地震動の増幅に顕著な方向性はあまりみられなかったが、尾根に位置する A 地点については、特に地震動の大きなイベントでは尾根線 (北北西-南南東方向) に直交する方向に地震動の増幅がより顕著になる傾向が見られた。

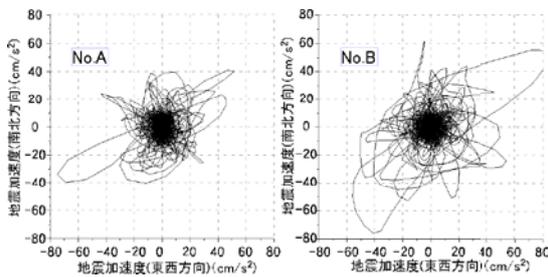


図 3 深度 -1m の地震加速度変化

また地震加速度 44.5cm/s^2 のケースについて、地震動の水平成分について周波数領域で、深さ -25m から深さ -1m へ地震動が伝播する時の増幅の度合いについて比較した (図 4)。その結果、B 地点は 4Hz 、A 地点は 6Hz 付近で増幅が大きくなる傾向があるなど、地震動が増幅される周波数帯にも違いがあることがわかった。

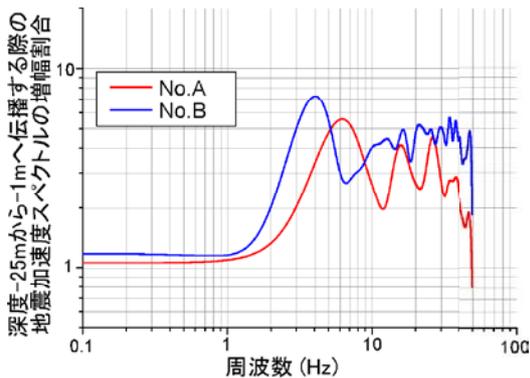


図 4 地震加速度スペクトルの増幅

現地で二次元表面波探査を実施したところ、B 地点に堆積する埋立地盤は、周囲の地盤と比較してやや S 波速度が小さいことが確認された。一般的に S 波速度は地盤の N 値と正の相関が高いとされていることから、B 地点付近は地盤がやや柔らかいと言え、このような地盤の特性や尾根などの地形が、地表付

近の地震動に実際に影響していることが分かった。

(2) 崩壊発生斜面の地震加速度への地形条件の影響

大規模な斜面崩壊が発生した斜面についてランダムな地震波形を入力したときの尾根 (P1)、急斜面部 (P2)、山麓緩斜面部 (P3) で応答加速度のパーティクルモーションを比較した (図 5)。加速度の増幅が大きいの尾根 (P1)、山麓緩斜面 (P3) などであった。尾根付近では尾根線の直交方向への増幅が顕著であり、山麓緩斜面部では尾根に比べると顕著な増幅の方向性は見られなかった。山麓緩斜面は、表層土層が厚いものと推定してモデル化した。これらの特徴は (1) の観測結果と調和的であった。

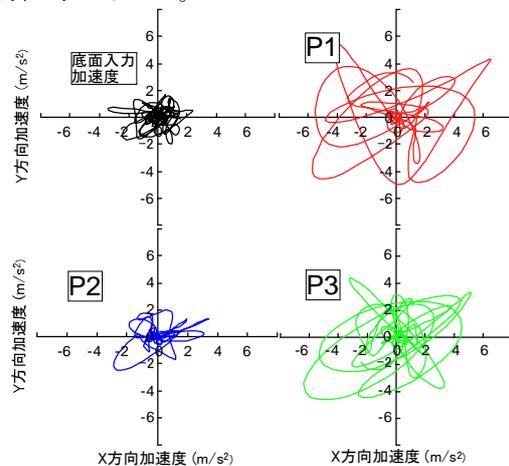


図 5 各地点の地震応答加速度変化

山体の斜面傾斜方向に発生する最大応答加速度の分布を示す (図 6)。加速度の大きさが大きいほど斜面安定に働く地震力の影響が大きいと云える。最大加速度が大きくなるのは尾根付近や、山麓の斜面で周囲に比べてやや凸型になっている場所であった。尾根の中でも加速度が特に大きい場所などもあつ

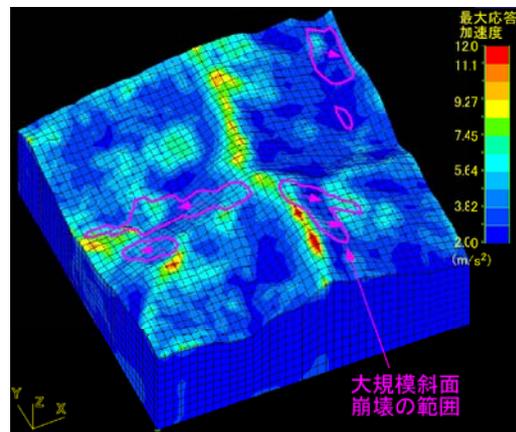


図 6 最大応答加速度の分布

た。大規模な崩壊はいずれも山体斜面の上部の尾根に近い場所を発生源として土砂が流下しており、このような大規模崩壊の発生源周辺には大きな応答加速度が生じる場所が見られ、大きな地震動の発生が崩壊発生に影響していたと推定された。また山麓緩斜面においても大きな地震加速度が見られる場所がいくつかあった。モデル地区内ではあまり見られなかったが、現地周辺では山麓部の水田の一部が崩れるなどの小規模ながら多数の崩壊が発生している。このことから山麓部の緩斜面でも大きな地震加速度が生じる条件がそろっているとと言える。

また振動台を用いた地震時崩壊実験による研究から、斜面崩壊が発生する直前には振動に合わせて斜面で変位が累積することが考えられた。このことから数値解析により振動に伴って各地点で生じる地盤のひずみ量についても検討した。ここでは地盤の破壊につながるせん断ひずみについて調べた(図7)。応答加速度が大きい場所ではせん断ひずみも大きくなるが、特に尾根付近を発生源とする崩壊地の周辺でせん断ひずみが大きくなる傾向が見られた。地震時崩壊実験の結果では崩壊土砂の変位は地震加速度と重力が影響することが考えられた。このためひずみが大きくても最終的に崩壊に至らないような場所もあったと考えられる。

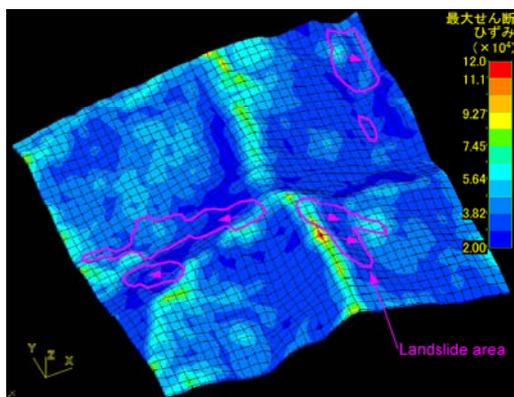


図7 最大せん断ひずみの分布

本研究により山地斜面では実際に斜面毎に地震動の分布が異なることが示され、それには地形や地盤構造の違いが影響すること、実際に大規模な斜面崩壊の発生源周辺では大きな地震動が発生していたと推定されることなどが明らかとなった。これらの成果は山地地域における地震時の斜面の土砂災害の危険度を評価予測するために活用することができる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① Shiho ASANO、Relationship between the distribution of horizontally oriented earthquake motion and landslides in a mountain area in the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in Japan, Computer Methods for Geomechanics: Frontiers and New Applications、査読有、Vol.2、2011、pp.1147-1150
- ② 浅野志穂、火山性堆積物分布域における山地の地震時斜面崩壊への地層厚の影響の検討、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、査読無、Vol.1、2010、pp.4222-4226
- ③ 浅野志穂、地震動と崩壊のメカニズム、森林科学、査読無、No.56、2009、pp.7-10
- ④ 浅野志穂、山地斜面における地震時の崩壊土砂移動量の推定手法の検討、九州森林研究、査読有、No.62、2008、pp.152-154
- ⑤ Shiho ASANO、Hiroataka OCHIAI、Influences of earthquake motion on slopes in a hilly area during the Mid-Niigata Prefecture Earthquake 2004、Landslides and Engineered Slopes、査読有、Vol.2、2008、pp.1375-1379

〔学会発表〕(計1件)

- ① 浅野志穂、岡田康彦ほか、埋没谷斜面における地震動観測、第49回日本地すべり学会研究発表会、平成22年7月8日、沖縄ハーバービューホテルクラウンプラザ(沖縄県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅野 志穂 (ASANO SHIHO)

独立行政法人森林総合研究所・九州支所・グループ長

研究者番号：70353555

(2) 研究分担者

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