

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	馬 寧
論文題目	On the seismic response in a large deep-seated landslide in southwest Japan - with special focus on the topographic and geological effects - (西南日本における大規模深層地すべりの地震応答に関する研究 - 地形および地質構造の影響-)		
(論文内容の要旨)			
<p>斜面に到達した地震動は、斜面の地質・地形・地盤条件の相乗効果の結果である。しかし、地すべり斜面の地震応答に関する実証的な観測研究が乏しいため、これらの相乗効果の具体的な状況は、未だ明確になっていない。そこで、本研究では、来るべき南海地震や東南海地震に備え、西南日本の大規模深層地すべりを対象として、高密度長期地震観測や稠密微動調査、および高精度表面波探査と高密度電気探査装置を用いた物理探査などを実施し、地形および地質構造が斜面の地震応答にどのように影響するのかを明らかにした。対象とした徳島県阿津江地すべりは2004年台風10号豪雨により、再活動した斜面である。災害直後の調査により、地すべり土塊は標高810mを冠頭部とする斜面長350m、幅約450mに渡る範囲で三つのサブブロックに分けて移動しているとされ、現在まで対策工事が実施されてきた。</p> <p>尾根近くの基岩、地すべり冠頭部の近く、地すべり土塊の中央、斜面の末端および末端と同じ海拔にある地すべり地外の基岩の5箇所に地震計を設置し、長期地震動観測を行った。3年間で大量に観測された地震波データを解析した結果、以下のことを明らかにした。①場所によって、震動の加速度や周波数特性などが異なる。②地すべり地外の基盤岩においては、地震動の増幅は弱い。③地すべり末端の崩壊土砂の堆積域においては、増幅が著しく大きい。これは、増幅が基岩の風化構造の変化に伴う材料特性のコントラストに依存していることを示唆している。④地震動の周波数分析により地形および地質特性が地震動に及ぼす影響を推定することができる。また、地形の寄与分に限定すれば、卓越する震動方向は、概ね尾根の延長方向に直交する。</p> <p>次いで、地すべり移動土塊内部の地震応答特性を詳しく見るため、ほぼ全体をカバーする様に稠密微動観測を実施した。その結果、以下のことが分かった。①高周波数帯と低周波数帯における震動パターン（卓越方向、H/Vスペクトル）が異なる。浅い土層における卓越震動方向は、局所的な斜面の傾斜方向を反映している。しかし、深い部分の卓越震動方向は、ほぼ断層や節理の走向に直交する。このことは、大規模な地すべりや重力性変形の場合、その地震応答は、周辺の地質構造（例えば、層理、節理、断層など）に制御されることを示唆している。②H/Vスペクトルの周波数分布特性は、斜面深部に地震波速度の不連続面があることを示唆する。このことから、地震時における深い地すべりは、この地震波不連続面で発生し、必ずしも地質境界に沿って発生しない可能性がある。③震動方向の直線性が顕著になると、H/Vスペクトルのピーク振幅が大きくなる。</p> <p>以上のように、大規模深層地すべりににおける地震動特性を推測する場合には、斜面の地形特性および地質特性による影響を別々に考慮する必要があることを明らかにした。また、大規模地すべり土塊は、大地震時には豪雨時とは異なったすべり面を形成し、移動する可能性のあることがわかった。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

山地斜面における地震応答の研究は、地すべりの起源と将来の滑動を予測するうえで重要である。しかし、ヨーロッパアルプスや米大陸西縁山脈などでの事例は多少あるものの、わが国での観測研究は非常に少なく、地震時における地すべり斜面での諸現象を理解する材料に乏しいのが実情である。そこで、申請者は、四国山地秩父帯の大規模地すべりにおいて、斜面上の複数個所に地震計を設置し、3年間の連続観測を行うと共に、稠密微動観測、高精度表面波探査、比抵抗探査など、地球物理学的手法を駆使して斜面の構造と揺れの関係を調べた。その結果、得られた32個の地震動を解析し、地すべり本体の低周波数領域での増幅は、山稜規模の大地形を反映した増幅であることを明らかにした。一方、斜面末端部の崩壊堆積物が厚く、岩盤も強く風化した部分では、高周波数帯での増幅が大きく、風化による物性の違いを反映した増幅と考えられることも明らかにした。このことは、地震動の増幅(共振)は、基本的に表層付近の地質特性の影響を強く受けることを意味する。

次に、申請者は、地すべり斜面上の数m間隔で常時微動観測を行い、多数のH/Vスペクトルを求めた。そして、これらスペクトル強度の分布を柱状図状に並べ、周波数方向の変化を検討したところ、H/Vスペクトルのピークが空間的に連続することを明らかにした。この空間的連続面は、地表変位に基づく地すべりブロック区分を包摂する大規模なもので、いわば地震波速度の不連続面である。更に、申請者は、この不連続面の深度を求め、既存の多数のボーリング調査結果と比較したところ、斜面を構成する岩盤の地質境界や風化の境界とは、斜交する場合の多いことがわかった。すなわち、この地震波速度の不連続面は、地下深部にそれらとは別の揺れ方の不連続面、おそらくは連続的な破壊面が存在することを示唆している。

これまで、四国山地では、地形解析の視点から、初生地すべりや化石地すべりと呼ばれる、更新世中期から後期に発生した大規模な岩盤地すべりが存在するとされてきた。しかし、豪雨等による現在の地すべりのすべり面は、これらの古い地すべりのすべり面とは異なる場合があり、その実態については不明のままであった。しかし、申請者が発見した、斜面深部の地震波速度の不連続面は、そうした初生地すべりに関連していると考えられ、申請者の方法は、四国山地における地すべりの発達過程の解明において、重要な情報を提供することになると考えられる。

また、地震動と微動の卓越方向の検討も、地すべり斜面における地震応答の特性を理解するうえで重要である。すなわち、申請者は、10Hz以下の周波数帯、つまり風化した岩盤に対応する領域での揺れの方向は、断層とそれに平行する節理を含む主要亀裂系に関連することを見出した。このことは、そうした亀裂系が、風化岩盤においては開口亀裂系であり、直交方向に大きく揺れることを意味する。このことは、斜面の方向と主要な亀裂系の走向との交わり方が、揺れ方に影響を与えることを実証的に示す結果であり、大規模な重力性変形の分布を理解するうえで、重要な成果と言える。一方、10Hz以上の周波数帯における揺れ方は、局所的な地形や表層堆積物の影響を受けることを明らかにした。これは、既往の研究結果と一致する。

以上の諸点から、申請者の研究は、西南日本に特徴的な緑色岩類の地すべりにおいて、地すべり斜面における地震応答を初めて包括的に明らかにした点で高く評価される。さらに、このような現象が実際に発生した既往の斜面災害の背景となっていることを明確にし、本研究で得られた結果が斜面災害の危険度の評価にも適用可能であることを示した点も、大変有用な成果である。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年2月13日に、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降