

| | |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | ムカミヲル |
| 氏 名 | 村上 亘 |
| 本籍（国籍） | 青森県 |
| 学位の種類 | 博士（農学） |
| 学位記番号 | 連研第 717 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 30 年 3 月 23 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士 |
| 研究科及び専攻 | 連合農学研究科 生物環境科学 |
| 学位論文題目 | 大規模な地震災害にともない不安定化した斜面の特定と特定された斜面の崩壊リスクに関する研究（Identification of unstable slopes and associated risk of landslide occurrence following massive earthquakes） |
| 学位審査委員 | 主査 弘前大学教授 檜垣 大助 副査 奥山 武彦(山形 教授),井良沢 道也(岩手 教授),森 洋(弘前 准教授) |

論文の内容の要旨

1995 年の兵庫県南部地震以降、大規模地震の強振動による斜面変動ともなう災害が多発しているが、これらの災害時のみならず、その後の降雨による崩壊の発生も報告されてきた。近年は温暖化ともなう豪雨頻度の増加も予測されており、斜面崩壊の危険性の増加が危惧される中、山地において地震後の豪雨によって崩壊が発生する斜面を予測することは、防災の面で、強く社会から求められている。このことから、2008 年の岩手・宮城内陸地震の被害地域である、岩手県南部から宮城県北部地域の地震後の降雨によって崩壊が多発した斜面を対象として、地震後に発生した崩壊の分布と地形・地質および崩壊時の降雨量との関係について検討するとともに、近年発達が著しい航空レーザー測量（Light Detection And Ranging : LiDAR）技術により計測された詳細な地形データを利用し、崩壊前の地形的特徴を明らかにすることで、地震後の豪雨で崩壊の発生する可能性が高い同様の地形的特徴を持つ斜面の特定を行った。さらに、斜面表層の土層状態などを現地調査で把握し、特定された斜面が不安定化していることを明らかにした。

まず、2008 年岩手・宮城内陸地震によって被害を受けた山地斜面を対象として、地震直後および 3 ヶ月後に撮影された空中写真の判読結果を基に、地震発生後の 3 ヶ月間の降雨によって新たに崩壊が発生した斜面の地形、地質および期間中の降雨量との関係について検討を行った。その結果、地震直後から 3 ヶ月間に新たに発生した崩壊が全崩壊の 1 割以上を占めること、崩壊発生の誘因となった降雨が今回より前に崩壊を発生させた降雨よりも小さい確率雨量または土壌雨量指数のものであったこと、を明らかにした。さらに、地震後の降雨によって崩壊が発生した斜面の地形・地質的特徴から、今後の降雨により崩壊が発生する可能性が高い斜面条件は、岩手県の磐井川流域では第三紀中新世後期海成層（酸性細粒～火山礫凝灰岩またはシルト岩・砂岩・凝灰岩）からなる傾斜が 25 度以上の斜面、宮城県の一迫川流域では新第三紀の安山岩溶岩および貫入岩類からなる傾斜が 35 度以上の斜面であることを明らかにした。

次に、崩壊のおそれがある斜面位置をより正確に特定するために、複数時期の LiDAR データを比較することで特定する方法を提案した。具体的には、地震直後および 3 ヶ月後の LiDAR データより得られる DEM (Digital Elevation Model) から作成した陰影図や等高線図、縦断面図を比較し、地震後の降雨によって崩壊が発生した斜面の地震直後、すなわち崩壊前の斜面形状について明らかにした。その結果、地震後の降雨によって崩壊した斜面では、崩壊前は直線形の山腹斜面内に半円形あるいは馬蹄形の緩斜面が形成されており、そこには地震によって斜面の変位が生じることによる亀裂が発生していたと判断された。この結果を検証するために崩壊が発生していない斜面における同様の微地形の存在箇所を特定し、現地調査からそこには地震にともない亀裂が発生していたことを明らかにした。

斜面変位が特定された斜面の崩壊リスクを明らかにするために、簡易貫入試験および斜面表層の土質断面調査を行い、土層の強度について明らかにした。その結果、亀裂が発生している緩斜面では近隣の亀裂が発生していない直線形の斜面に比べ風化層が厚く、層内あるいは下層の基盤との間に簡易貫入試験における N_c 値が 10 以下の軟弱な層が形成されていることが明らかとなった。このことから、この軟弱な層が存在する緩斜面が、地震後の降雨によって崩壊が発生する可能性が高いと考えられた。

以上のことから、地震動によって斜面の変位と地盤の破碎が生じ、それ以前から存在した可能性のある風化層も含めた斜面表層にすべり面となる軟弱層が形成され、これまでよりも少ない降雨でも斜面崩壊のリスクが高まることを明らかにした。そして、斜面の崩壊発生に対する抵抗力の地震による急激な低下とその後の樹木根系の回復にともなう増加という経年変化、および降雨強度との組み合わせで、崩壊の発生しやすさが変化する過程を示すことで、これらの現象を説明した。さらに、崩壊リスクのある斜面を特定し、検証・評価する一連の調査手法を提示した。具体的には、災害前後を含む複数時期の LiDAR データから地形図・陰影図等を作成・比較し、山腹の半円形や馬蹄形の緩斜面を捉えることが有効であり、そのような斜面で亀裂の有無、脆弱化した土層の把握を現地調査により行うことで斜面の崩壊リスクが特定できる。ここで提案した手法は、地震による崩壊事例のほか、地震以外の台風などのほかの自然災害、あるいは森林伐採といった人為改変により不安定化した斜面の特定と危険性の評価にも適応できる可能性がある。

論文審査の結果の要旨

大規模地震後の豪雨による斜面崩壊リスク増大が土砂災害防止上の課題となってきた。そこで、地震で不安定化した斜面の特定と特定された斜面の崩壊リスクを評価する手法の開発を目的として研究を行った。2008 年岩手・宮城内陸地震を主な対象とし、地震後の降雨による崩壊発生時の降雨、地形・地質条件の把握、降雨による崩壊の危険がある斜面の地形特性の把握、斜面変位が特定された斜面の崩壊リスクについて検討し、地震後の降雨による崩壊発生危険斜面の特定とリスク評価の手法について提案した。

1. 地震後の降雨による崩壊発生時の降雨、地形・地質条件の把握

地震直後から 3 か月間に新たに発生した崩壊の総面積は地震時の崩壊の 1 割～3 割を占め、その誘因となった降雨は過去の崩壊発生降雨より小さい確率降雨及び土壌雨量指数のものであったことを明らかにした。崩壊の起こりやすい地形・地質条件として、第三紀中新世後期の海

成層で傾斜 25° 以上, 安山岩質火山砕屑岩で傾斜 35° 以上が挙げられた。これらの知見は, 地震後の相対的な崩壊危険斜面の広域把握に適用できる。

2. 地震後の降雨で崩壊の危険がある斜面の地形特性

航空レーザ測量データの経時的比較から, 地震後の降雨で崩壊した斜面では, 平滑な山腹斜面内に半円形または馬蹄形の緩斜面が形成されており, そこに地震によって斜面変位が生じることで亀裂が発生していたことを示した。

3. 斜面変位が特定された斜面の崩壊リスク

2. で述べた斜面で簡易貫入試験と斜面表層の土層構造調査を行って, 亀裂が発生した緩斜面ではその無い斜面より風化層が厚く, 層内または基盤との間に簡易貫入試験結果で N_c 値 10 以下の軟弱層が形成されていた。この軟弱層の存在が地震後の降雨で崩壊の原因となると考えられた。

4. 地震後の降雨による崩壊発生危険斜面の特定とリスク評価の手法

以上から, 地震動で斜面の変位と地盤の破砕が生じる結果, それ以前から存在した可能性のある風化層も含めた斜面表層に軟弱層が形成され, 少ない降雨で斜面崩壊が発生することを明らかにした。それにもとづき, 地震前後の航空レーザ測量データにもとづく地形図から斜面変位を生じた可能性のある緩斜面を抽出し, 簡易貫入試験などで土層構造の把握を行うことで地震後の崩壊危険斜面と崩壊リスクを評価する, という一連の調査手法を提案した。本手法は, 地震後の降雨による崩壊だけでなく, 台風による風倒木発生地や伐採後の崩壊危険斜面の評価にも応用が期待される。

本審査委員会は, 「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果, 本論文を博士 (農学) の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

主論文

1. 村上亘・大丸裕武・金子守男(2017) : 2008 年岩手・宮城内陸地震後の降雨により崩壊が発生した山地斜面の地形的特徴, 日本地すべり学会誌 54(1) : 3-12.

参考論文

1. 村上亘・大丸裕武・向山栄・川浪亜紀子(2013) : 2008 年岩手・宮城内陸地震にともなう線状凹地の拡大と重力変形, 地形 34 (1) : 55-67.
2. 村上亘・細田育広・野口正二 (2010) 多雪山地源流域における流出土砂量の経時変化, 地形 31 (2) : 171-192.