

氏名（本籍）	坂井 佑介
学位の種類	博士（環境学）
学位記番号	博 甲 第 10045 号
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査学術院	理工情報生命学術院
学位論文題目	地震を誘因とした土砂移動による被害の防止・軽減に関する研究

主査	筑波大学准教授	博士（農学）	内田 太郎
副査	筑波大学教授	博士（理学）	辻村 真貴
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	奈佐原顕郎
副査	筑波大学助教	博士（農学）	山川 陽祐
副査	国土技術政策総合研究所 砂防研究室長	博士（農学）	山越 隆雄

論 文 の 要 旨

地震は豪雨と並んで、土砂災害発生の主要因である。また、大規模規模地震時においては、家屋の倒壊や延焼などと並んで、土砂移動による被害は深刻な被害を引き起こす現象の1つである。2000年以降の20年間に於いて、国内だけでも2004年中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年東日本大震災、2016年熊本地震、2018年北海道胆振東部地震など、地震により発生した土砂移動のため深刻な被害が生じている。また、国外においても多くの地震に起因する土砂移動により甚大な被害が生じている。さらに、今後は、南海トラフの地震など巨大地震の発生が懸念されるため、事前に地震による被害を想定し、巨大地震に備える取り組みが政府をあげて実施されている。しかしながら、地震による土砂災害については研究事例が豪雨による土砂災害に比べて少なく、現行の土砂災害対策も主として豪雨による災害を対象としている。このため、地震によって発生する土砂移動による被害の発生を防止・軽減するために、地震により生じる土砂移動現象を予測・想定する技術の構築は急務であると考えられる。

そこで、本審査対象論文の著者は、まず、2000年以降の主な地震により発生した土砂移動による被害について分析した。その結果、地震によって生じた崩壊土砂が流動化した地域や地震によって大規模な斜面崩壊が発生した地域において、多くの人的被害や長期の通行途絶被害が生じるなど深刻な被害が発生していることを確認した。著者は、これらの検討を踏まえて、本論文において、①崩壊土砂の流動化を含む地震によって生じた崩壊土砂の流下範囲、②大規模な斜面崩壊の発生条件に関する研究を実施した。

本論文の著者は、①崩壊土砂の流動化を含む地震によって生じた崩壊土砂の流下範囲について、中越地震、岩手・宮城内陸地震、熊本地震を対象に、地震直後の空中写真により、斜面崩壊による土砂の流下範囲を判読した。その上で、崩壊面積と流下距離の関係を分析し、崩壊土砂の流下距離は崩壊面積と明瞭な相関があるものの、同程度の崩壊面積であっても崩壊土砂の流下距離に違いがあることを示した。その上で、ある崩壊面積による流下距離の違いは、崩壊面積から想定される平均的な流下距離に対してほぼ一定の割合であることを新たに示した。この知見に基づき、崩壊地から距離ごとの土砂の到達確率を定量的に崩壊面積から評価できる手法を開発、検証した。

また、②大規模な斜面崩壊の発生条件に関して、著者は地盤構造の影響と地震動の大きさの影響の2つを検討した。著者は地盤構造を空中電磁探査により把握した。空中電磁探査は、ヘリコプターから面的に地盤構造を調査する技術の1つで従来資源探査などに用いられてきた技術である。この空中電磁探査を熊

本県阿蘇地方で実施するとともに、ボーリング調査などによりグラントゥールズデータを取得した。その結果、土砂移動現象の素因となりうる地盤構造の探査が可能であることを示した。具体的には、地下水の集中が生じやすい地盤構造（透水性）の不連続面や、キャップロック構造と呼ばれる上位に堅固な層があり、下位の地盤の風化が進んでいるような構造の探査が可能であることを示した。その上で、著者は、熊本地震の崩壊発生状況と比較し、空中電磁探査で探索した透水性の不連続面やキャップロック構造を有していると考えられる箇所では崩壊発生頻度が高いことを示した。さらに、キャップロック構造がみられる地点では、大規模な崩壊発生の確率が他に比べて高いことも示した。これらの知見に基づき、地震時の斜面崩壊発生危険度評価、大規模な崩壊発生の可能性がある箇所の抽出のための調査手法として、深さ方向の比抵抗値の変化量で評価することを提案した。

さらに、斜面崩壊発生に及ぼす地震動の影響を人工衛星による干渉SARから国土地理院が算出した地盤の変位量のデータを用いて検証した。その結果、勾配ごとに地盤の変位量と崩壊発生確率は線形の関係があることを示した。さらに、勾配が大きくなると地盤の変位量が斜面崩壊発生に及ぼす影響が小さくなることを合わせて示した。これらの知見に基づき、著者は地盤の変位量、斜面勾配、崩壊発生確率の関係を定式化した。その上で、地盤の変位量が規模斜面崩壊発生に及ぼす影響を検証した結果、地盤の変位量が大きくなるに従い、大規模な斜面崩壊が発生しやすくなることを確認した。

以上の新たな知見を統合し、本論文の著者は地震時の被害軽減に向けた具体的な取組みの例を本論文の最後に提案した。提案にあたっては、現行の南海トラフ地震に対する政府の対策計画を分析した上で、地域の防災拠点の周辺における空中電磁探査の実施、事前の地震動解析による地盤の変位量の推定を行うことにより、防災拠点に対する地震時の土砂移動による脆弱性を評価する取組みの実行が可能であることを提案した。

審 査 の 要 旨

本論文は、地震による土砂災害の被害軽減に資する地震による土砂移動現象の機構解明に関する基礎的な研究および土砂移動現象に関する実務的な調査・予測手法に関する研究である。本研究ではまず、過去20年間で日本国内を中心に深刻な被害が生じた地震による土砂災害について分析を行い、規模の大きい斜面崩壊が発生した場合や崩壊土砂が流動化した場合において、被害が深刻化したことを示した。そこで、本論文では近年の地震による土砂災害を対象に、空中電磁探査、人工衛星によるSAR観測など、従来、土砂災害の研究に用いられることが少なかった新技術を活用し、地盤構造や地震による地盤変位量の空間分布に関する情報を得た。これらを用いて、本研究では、①地震により斜面崩壊・大規模崩壊が発生しやすい地盤条件、②地盤変位量が斜面崩壊発生に及ぼす影響、③地震により発生した崩壊土砂の到達確率を明らかにするといった学術的に新規性が高い知見を多く得たと評価される。さらに、本論文では、斜面崩壊発生に影響する地盤構造の探査手法や強震域の地震動が斜面崩壊発生確率に及ぼす影響の定量的評価手法、地震による斜面崩壊による土砂の流下距離の予測手法などを提案しており、実際に地震による土砂災害の軽減に寄与する技術を新たに開発したと評価される。

令和3年1月25日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（環境学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。