

氏名	ZHANG SHUAI
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	総博甲第137号
学位授与年月日	令和元年9月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
文部科学省報告番号	甲第668号
専攻名	総合理工学専攻
学位論文題目	Spatial distribution analysis and three-dimensional seismic slope stability assessment of coseismic landslides--an application to the 2018 Eastern Iburu Earthquake, Hokkaido, Japan— (地震による地すべりの空間分布解析および三次元安定度評価 -2018年に発生した北海道胆振東部地震に応用して-)
論文審査委員	主査 島根大学教授 汪 発武 島根大学教授 酒井 哲弥 島根大学教授 亀井 淳志 島根大学准教授 増本 清 島根大学准教授 加藤 定信

論文内容の要旨

Generally, catastrophic earthquakes are accompanied or followed by large numbers of concurrent landslides, and inflict a high number of casualties and extensive damage of houses and infrastructures. In the last three decades, several strong earthquakes occurred in Japan and numerous secondary geohazards were triggered during the mainshock and aftershocks. Japan is located in one of the most tectonically active regions in the world due to the subductions of Philippine Sea Plate and Pacific Plate to the Eurasian plates and the convergence between the North American and Eurasian Plates. Numerous earthquakes occurred in history and triggered substantial slope failures. The 1995 great Hyogoken-Nambu earthquake (Mw 6.9) induced 674 landslides within an area of about 700 km² and was responsible for 6,289 fatalities. 3,467 coseismic landslides were resulted and 50 people were killed in the 2016 Kumamoto earthquake sequence.

The 2018 Hokkaido Eastern Iburu earthquake (Mj 6.7, Mw 6.6), occurred on the 6th of September 2018 in eastern Iburu regions of Hokkaido, Northern Japan one day after the Typhoon Jebi passed through the region. Thousands of landslides were triggered and significant losses resulted from the earthquake sequence and thirty-six people were killed by the landslides despite the afflicted area being sparsely populated. In addition, a sequence of

persistent aftershocks occurred, even though the regional seismicity attenuated thereafter. The Iburi region is prone to major earthquake in the future. Thus, studies on spatial distribution analysis of coseismic landslides and seismic slope stability assessment of pyroclastic fall deposits are of great importance for understanding the characteristics of the Iburi landslides. Moreover, these studies can provide a macroscopic perspective for further research and hazards mitigation during a similar scenario in future.

Based on the on-site field reconnaissance in September 2018, it was confirmed that most of the coseismic landslides are translational landslides of small to medium scale with high mobility and long run-out distance. Coherent shallow debris slide and disrupted mobilization of valley fill are two main types of slope failures. Slope failures were triggered in stratified pyroclastic fall deposits, in the combination of strong seismic ground motion and intense antecedent precipitation. In addition, sliding zone liquefaction phenomena were observed during the field investigation.

In this work, a complete coseismic landslide inventory covering almost all the Iburi landslides was delineated. On the basis of coseismic landslide inventory, the spatial distribution of the Iburi landslides and factors controlling the occurrence of the slope failures were analyzed. It is found that all the 5,625 landslides spread in an elliptic area extending NNW/SSE, running approximately parallel to the strike of (active) faults in this region. The preferred aspect of the landslide-affected area is southerly, running nearly perpendicular to the NNW/SSE striking (active) faults. Most coseismic landslides are distributed in regions with seismic intensity of 7.0 to 8.0 (MMI Scale), with peak ground acceleration (PGA) of 0.4 g to 0.7 g. Most of the coseismic landslides occurred at elevations between 100 m and 250 m, and slope angles between 15° and 35°. Miocene sedimentary rock is the predominant bedrock type identified in the landslide area. The relationship between the old landslides (slope failures occurred prior to the Iburi earthquake) and the coseismic landslides is also discussed in this work.

In order to evaluate the seismic stability of slopes in the pyroclastic fall deposits, four towns in western Atsuma (Tomisato, Yoshinoya, Sakuraoka and Horosato) where catastrophic landslides occurred, were selected as target area. The source areas and deposition areas of the 345 coseismic landslides in the target area were classified. Based on the isopachs of different pyroclastic fall deposits mantled in the study area, GIS was employed to process the input soil layers and construct the 3D soil structure. By applying different horizontal pseudo-acceleration coefficients in the Scoops3D program, the factor-of-safety maps of eight cases were obtained. After validating with the coseismic landslide inventory, the performance of the computed results were evaluated. A horizontal pseudo-acceleration coefficient between 1/2 and 2/3 of PHGA is suitable for seismic slope stability assessment in the pyroclastic fall deposits. The catastrophic Tomisato landslide and Yoshinoya landslide were correctly predicted. Scoops3D proves to be an effective and efficient method for guiding disaster mitigation and management.

論文審査結果の要旨

近年、地震による地すべりが多発し、地域社会に甚大な災害を及ぼしている。特に 2018 年 9 月に発生した北海道胆振東部地震によって、5000 個以上の地すべりが火山性堆積物の分布地域で発生し、人口密度の低い北海道においても、多くの犠牲者を出した。このような斜面災害を軽減するために、地震による地すべりの発生に影響する地形、地質、気象条件の影響、そして高速長距離運動地すべりの発生・運動機構を解明し、類似地域での地震地すべりの発生危険度予測は急務である。そこで、本論文は、1) GIS 手法を駆使して、地すべりの発生に影響する地形、地質、地震条件による地すべり発生への寄与・貢献度を評価できる解析手法を提案すること、2) 三次元的に斜面安定度評価を行う際に、入力地震加速度を適切決定できる方法を検討すること、そして、3) 地震時斜面危険度の予測を可能にすることを目的としている。そのために、本論文は、1) 2018 年 9 月に発生した北海道胆振東部地震によって発生した地すべりに対して、断面計測、簡易貫入試験、試料採取、トレンチ調査を行い、発生した各種類の地すべりの特徴を把握すること、2) GIS 手法を用いて、地すべり発生集中度 (LC) 指標を提案し、発生した地すべりの地形要因解析 (斜面傾斜角度、斜面方向、発生高さ)、及び地質要因解析 (活構造との距離、基盤岩種類) を行い、地形・地質による斜面発生への寄与度を定量的に行うこと; 3) 三次元斜面安定解析手法 Scoops 3D を用いて、発生した地すべりを対象に水平地震加速度を逆算することで、想定地震による地すべり発生予測可能性を提示することを行った。

結果として、以下のような新しい知見を得た。1) 火山砕屑物を主体とする表層地すべりは Ta-d 層をすべりゾーンとして発生し、Ta-d 層の中では「すべりゾーン液状化」現象が発生したことを確認した。2) Ta-d 層は地震発生するまでの 2 週間前からの降雨によって飽和されている可能性が高いことが推定できる。3) 提案した地すべり発生集中度 (LC) 指標は地形・地質要因の地すべり発生への寄与度を明確的に評価でき、該当指標の有効性を確認できる。4) 今回発生した地すべりの元斜面情報及び土質強度を用いて、三次元斜面安定解析を行った結果、入力地震加速度係数は 1/2-2/3 は妥当であることを示唆した。この結果は実務レベルでの地震による地すべりの発生危険度予測の可能性を示した。

以上のように、申請者は行った地震による地すべりの空間分布解析および三次元安定度評価に関する研究成果は、未だ解明されていない地震地すべりの要因及びその寄与度、地震加速度による斜面安定解析手法での入力加速度の評価問題を現地調査結果に基づいて、GIS 解析手法や斜面安定解析手法を組み合わせ解明したものであり、提案した地震地すべり要因寄与度評価手法、入力地震加速度の評価方法は新規性に富んでいる。これらの成果は 2018 年に発生した北海道胆振東部地震に応用して検証されたことだけでなく、実務レベルまで応用可能にしたことは斜面防災分野への貢献度が極めて高いと判断されるものである。

研究成果は査読付きの国際学術誌 Landslides と Geoenvironmental Disasters に 2 編投稿し公表済みである。2 編の関連論文はともに、申請者が筆頭著者である。

以上を総合して、本論文は博士 (工学) の学位授与のための論文として合格と判断した。