

氏名	LI RAN		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	総博甲第144号		
学位授与年月日	令和2年9月25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690号		
専攻名	総合理工学専攻		
学位論文題目	Controlling role of soil and groundwater on shallow landslides Triggered by earthquakes (地震によって引き起こされる浅層地すべりに対する土質及び地下水の制御的役割)		
論文審査委員	主査	島根大学教授	酒井 哲弥
		島根大学教授	三瓶 良和
		島根大学教授	入月 俊明
		島根大学准教授	加藤 定信
		島根大学講師	Andreas Auer
		島根大学名誉教授	汪 発武

論文内容の要旨

Earthquake-triggered landslide is a major secondary disaster following the strong ground motion, especially in the hilly region. The occurrence of the coseismic landslide is concluded to be closely related to the seismic intensity, peak ground acceleration(PGA), topography, geological condition, and groundwater in previous studies. Massive large landslides have been investigated in detail in previous studies for their long runout and high mobilization. However, the research on the coseismic landslides on small scales is relatively insufficient. In this work, the coseismic landslides triggered by the 2018 Eastern Iburi Earthquake and a flow-like landslide triggered by the 2018 Western Shimane Earthquake were selected as the targets to study the influence of the soil behavior and groundwater on the slope failures triggered by the earthquake.

At 03:08 (JST) on September 6, 2018, a Mj 6.7 earthquake struck the Eastern Iburi region of Hokkaido, Northern Japan. More than 5,000 landslides were simultaneously triggered by the strong ground motion. Only two deep-seated landslides were confirmed, and the rest of the Iburi landslides are mainly shallow debris slides. Based on the field reconnaissance, the shallow debris slides were further categorized into three types: steep debris slide, gentle debris slide, and mobilization of V-shaped convergent sliding masses. The three types of

shallow landslides were investigated in depth through longitudinal sections, vertical stratigraphic sections, and in-situ hardness tests. All three types of shallow landslides were found to initiate from the liquefied failure of the weak Ta-d pumice layer and further evolve to the overall mobilization of the superimposed pyroclastic fall deposits along the liquefied sliding zone. Also, the positive relationship between coseismic landslide density and Ta-d pumice thickness demonstrates the controlling role of the Ta-d on Iburi landslide occurrence from a macro perspective.

To study the shear behavior as well as the anti-liquefaction strength of the soils around the sliding zone, a series of laboratory tests were conducted. The Ta-d pumice around the sliding zone is subdivided into Ta-d pumice MG (medium gravel), Ta-d pumice FG (fine gravel), Ta-d pumice CS (coarse sand), and Ta-d pumice MS (medium sand) based on the color, particle size, and particle strength. The results of static consolidated-undrained triaxial compression tests and cyclic triaxial compression tests on Ta-d pumice and paleosol underlying the Ta-d pumice indicate that the medium sandy Ta-d pumice MS and the fragile Ta-d pumice CS have lower shear resistance and anti-liquefaction strength than other layers and can be easily liquefied under intense ground motion. The stable low-permeability paleosol layer underlying the Ta-d pumice enables the seepage flow parallel to the slope and further results in the erosion and weathering of the Ta-d pumice. This explains the extensive existence of the Ta-d pumice MS or fragile Ta-d pumice CS in the landslide distribution area.

At 01:32 (JST) on April 9, 2018, a M 6.1 earthquake struck Oda, Shimane, Japan. Two landslides were triggered by this earthquake. The two landslides are not distributed in the area suffered from the most intense ground motion and the Kataragai landslide occurred in a gentle slope with a slope angle of approximately 7°. The occurrence of the two landslides seems to be controlled more by the geological and hydrological conditions.

It is confirmed through the field survey that the Kataragai landslide occurred in an artificial slope that refilled with the medium sand with gravel. Several small pools were observed on the slope with perennial water. The dry density of the soil decreases to a low value and then increases in the vertical direction. The sliding zone is a medium sandy layer with a low dry density and fine-particle content. The soil strength of the medium sandy layer reaches a low value both in the hardness tests and penetration tests. The results of triaxial tests indicate that the anti-liquefaction strength of the soils in the Kataragai landslide is relatively low on the whole, and the anti-liquefaction strength of the interlayer in the sliding zone is lower than other soil layers. The downslope seepage flow was validated by the self-potential test and the seepage flows at the crown near the pool were more noticeable. The erosion due to the seepage flow can significantly contribute to the formation of weak soil layers.

Through the study on landslides triggered by the Western Shimane earthquake and the Eastern Iburi earthquake, it is found that the weathering and erosion of soil due to the seepage flow can significantly contribute to the formation of the low anti-liquefaction strength soil layer which commonly controls the thickness of the sliding mass and locality of the sliding zone during earthquakes.

論文審査結果の要旨

申請者の論文の概要は以下の通りである。論文の第 1 章では、この研究で対象とした、2018 年北海道胆振東部地震に伴う地すべり、2018 年島根県西部地震に伴う地すべりについて、それら地すべりの特異性が触れられた。どちらの地すべりも震源から離れた場所で地すべりが発生した。申請者は地すべりの発生に、地震動以外の要素が影響していると考え、とくに土質特性や地下水がどのように地すべり発生に寄与したか、検討をするに至った背景が述べられた。

第 2 章においては、2 箇所の調査地点の地形・地質概要が紹介されている。特に北海道胆振東部地震に伴い、震源から離れた場所でも多数の地すべりが発生した。樽前火山から噴出した Ta-d 軽石層と地すべりの面積密度、発生数密度との関係が示された。その軽石層の中でも特に、Ta-d2 と命名された軽石層の分布域が地すべりの多発地帯に重なるため、軽石層の存在が地すべり発生に関与する可能性が触れられている。第 3 章では、現地で実施された各種土質試験の方法、室内での土質試験方法が述べられた。

第 4 章では、北海道胆振東部地震に伴う地すべり発生地での野外調査や各種土質試験の結果が述べられた。現地での地すべり地形のタイプ分け、地すべり発生地での火山灰層の重なり記載結果がまず述べられた。ここで地すべりのすべりゾーンとなった、樽前火山からの噴出物である Ta-d 軽石層を含めて土質試験を実施した結果、Ta-d 軽石層は、その上下の地層よりも保水性が大きく、せん断抵抗が小さく、液状化に対する抵抗強度が小さいことが示された。この結果は、Ta-d 軽石層が地震動に伴って容易に液状化することを示しているとまとめられた。さらに、浸透流がその部分の軽石を風化させ、浸透流による侵食がせん断強度の弱いゾーンの形成に寄与したとまとめられた。

第 5 章では、島根県西部地震に伴って発生した地すべりのうち、調査対象とした美郷町栢谷での地すべりについて、現地の地形調査結果、野外および室内での土質試験結果、自然電位測定結果が述べられた。栢谷地すべりは約 7 度の低角な斜面で発生した。地すべりの発生した堆積物では、土質の液状化抵抗強度が全体的に小さかったことが示され、すべりゾーンでは、さらに抵抗強度の小さいことが示された。それはため池の水を起源とする、浸透流が侵食を起こしたことのできたと解釈された。そこに地震動が加わったことで、流体状に移動する地すべりが発生したことを説明した。

第 6 章では、それぞれの地域での地すべり発生要因が地震動の影響を含めて広く議論された。両地域の研究結果から、土質や地下水の影響を強く受けた地すべりに関して、地すべりの規模や運動形態と土質・地下水との関係が取りまとめられた。第 7 章では研究全体の取りまとめが行われている。

この研究は、震源から離れた場所で発生した地すべりに着目した点がユニークである。これまでの研究では、震源に近い地域で発生した地すべりに着目する傾向が強かったが、震源から離れた場所であっても、液状化に対する抵抗強度の弱い土質が存在したり、浸透流による侵食の影響を大きく受けた土質が存在すると、震源から離れた場所でも地すべりが発生しうることを具体的に示した。この新たな成果は、学術的な貢献が大きい。北海道胆振地域を含めた、火山噴出物が厚く堆積する地域は、上記のような影響を受けやすいと判断されることから、そうした地域での地震時の地すべり災害に対して、警鐘を鳴らす成果でもある。この成果は、Landslides 誌 (Springer 社) の 2 編の論文としても掲載されている。これらを踏まえ、本論文は博士(工学)の学位授与のために十分値すると判断した。