

氏名	Fikri FARIS		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	総博甲第95号		
学位授与年月日	平成26年9月26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524号		
専攻名	マテリアル創成工学専攻		
学位論文題目	Initiation mechanism of earthquake triggered landslides during rainfall by considering soil dynamic properties (土質の動的特性を考慮した降雨時地震による地すべりの発生機構)		
論文審査委員	主査	島根大学教授	汪 発武
		島根大学教授	石賀 裕明
		島根大学准教授	酒井 哲弥
		島根大学准教授	増本 清
		新潟大学教授	福岡 浩

論文内容の要旨

An earthquake struck Padang Province, West Sumatra, Indonesia, at 17:16 on September 30, 2009. The earthquake had a moment magnitude of M_w 7.6, and triggered landslides in Tandikat, Padang Pariaman Regency. The landslides occurred during rainfall, and originated on mountains mantled with loose pumice, taking many lives. The unfortunate combination of intensive rainfall and earthquake probably decreased slope stability. This study seeks to examine the initiation mechanism of earthquake-triggered landslides during rainfall, and to develop a new approach to predict pore pressure increase by assuming reciprocal relationships between strain, stiffness, and excess pore pressure.

Field investigations, laboratory work and numerical modelling were conducted in this study. Assessment of rainfall infiltration used the Green-Ampt infiltration method, utilising hydraulic parameters determined from the field investigations. In order to assess slope stability, the concept of stiffness degradation was used to predict pore pressure increase due to earthquake. This was achieved by developing an empirical formulation based on cyclic triaxial test results. A new procedure based on the “rigid block on quasi plastic layer” assumption was developed to assess dynamic slope stability landslides during heavy rainfall. Additionally, stochastic analysis was performed by utilizing random variables of soil parameters to derive the probability distribution of landslide hazard.

Results from cyclic triaxial test experiments showed that initial effective confining pressure and initial shear stress had considerable influence on increase in pore pressure. Slope stability

analysis using a rigid block on a quasi-plastic layer assumption and actual earthquake acceleration suggests that landslide may have occurred due to pore pressure build-up. The factor of safety decreased rapidly before earthquake acceleration reached its peak. At that time, the energy of the earthquake had not reached its maximum, suggesting that similar failures are likely to occur on saturated sliding zones during smaller earthquakes. This suggestion was supported by result of stochastic analysis. The stochastic analysis of the Tandikat landslide confirms that smaller earthquakes could possibly trigger catastrophic landslides during rainfall. Smaller peak ground acceleration of $\approx 0.15g$ could result in a more than 50% chance of $R_{sv} > 0.75$, while the analysis of dry condition yields a 30% chance of catastrophic level of landslide hazard. This suggests that rainfall condition increases the probability of catastrophic landslide. The effect of peak ground acceleration larger than $0.30g$ to the probability of $R_{sv} > 0.75$ is negligible in a particular event. The results suggest that peak ground acceleration of $\approx 0.30g$ is considered as the critical magnitude of ground acceleration that would result in a nearly 100% probability of catastrophic level of landslide hazard in the area.

論文審査結果の要旨

インドネシア Padang 地域において、2009 年 9 月に Mw7.6 の地震が発生し、震央から 60km 離れている火山性堆積物が広く分布している Tandikat 地区において、多数の流動性地すべりが発生し、甚大な災害となった。当地区は近年より強い地震動の影響を受けたにもかかわらず、今回だけに甚大な斜面災害が起こされた原因は地震が発生する前 2 時間から降り始めた雨と推定され、地すべり発生における地震と降雨の複合効果がどのように働いているかは検証すべきとなっている。そこで、本論文は 1) 火山灰土の動的载荷を受けた時の特性を考慮した上で、降雨時地震による地すべりの発生機構を解明すること、2) それに基づいて、降雨の浸透、地下水位変動、間隙水圧発生・消散など過程の解析モデル、そして斜面安定度および地すべりの発生規模の予測モデルを構築することを目的としている。そのために、本論文は 1) 地すべりに関する現地調査、原位置透水試験、火山灰試料採取を実施し、Tandikat 地区で発生した典型的な地すべりの特性を調べること、2) Green-Ampt 解析法を用いて、地震発生するまでに地すべり発生した斜面における雨水の斜面内浸透過程を解析し、すべり面となる部分の火山灰土の完全飽和可能性を検証すること、3) 飽和非排水三軸繰返し载荷による火山灰土の動的特性、特に過剰間隙水圧の発生しやすさを調べること、4) 過剰間隙水圧の発生を考慮した斜面安定度解析モデル、そして地すべりの発生規模予測モデルを構築し、統合的に降雨中地震による火山灰斜面における地すべりの発生機構の解明と地すべり発生確率や破壊規模の予測モデルの開発を行った。

結果として、以下のような新しい知見を得た。1) Tandikat 地区の火山灰土の斜面は、降雨によって潜在すべり面土が完全に飽和されていれば、地震動を受けることによって、過剰間隙水圧が発生し、斜面安定度が低下し、地すべりが発生しやすくなることが分かり、地震と降雨の複合効果が非常に重要なメカニズムであることを指摘した。2) 火山灰土斜面は小さい地震動を受けても、過剰間隙水圧が発生し、蓄積することを明らかにした。それによって、潜在すべり面土のせん断剛性が低下し、過剰間隙水圧がさらに発生・蓄積しやすくなるサイクルが存在していることを示唆した。3) 現地の土試料を用いた繰返し三軸試験と現地透水試験で得られたデータを元に降雨浸透、破壊過程の水圧発生およびすべり土塊の破壊過程の予測手法を開発し、地震時地すべりの発生および規模を確率的に表現することを可能にした。

以上のように、本研究は降雨中に発生する地震によって引起す地すべりの発生機構およびそれに基づいた斜面安定度評価や地すべり規模予測に関する研究成果は、これまでにまだ解明されていない地すべり発生における豪雨・地震の複合効果を実験的手法と数値シミュレーションを組み合わせることで解明したものであり、また、それに基づいて、実務レベルまで応用可能な解析・予測手法を構築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、高く評価されるものである。成果の一部は査読付きの専門書籍 *Landslide Sciences for a Safer Environment* (独・Springer 社) に 1 編掲載済み、国際地盤災害軽減機構が発行する査読付き国際学術雑誌の *Geoenvironmental Disasters* (独・Springer 社) に 2 編投稿し受理され、1 編は印刷中、一編は査読中である。

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。