

| | | | |
|-----------|--|---------|-------|
| 氏名 | Yang Hufeng | | |
| 学位の種類 | 博士（工学） | | |
| 学位記番号 | 総博甲第100号 | | |
| 学位授与年月日 | 平成27年9月24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543号 | | |
| 専攻名 | マテリアル創成工学専攻 | | |
| 学位論文題目 | Initiation mechanism of heavy rainfall-induced shallow landslides on steep slopes with impermeable bedrock (不透水基盤岩を有する急傾斜地における集中降雨による表層崩壊の発生機構) | | |
| 論文審査委員 | 主査 | 島根大学教授 | 汪 発武 |
| | | 島根大学教授 | 入月 俊明 |
| | | 島根大学准教授 | 増本 清 |
| | | 島根大学准教授 | 酒井 哲弥 |
| | | 九州大学教授 | 陳 光斉 |

論文内容の要旨

Global warming increases precipitation in wet climate regions, especially in East Asia. Heavy rainfalls frequently occur in Japan, especially during the summer monsoon season, causing geoenvironmental disasters such as shallow landslides and debris flows. This research aims to understand the initiation mechanism of heavy rainfall-induced shallow landslides on steep slopes with impermeable bedrock and propose a method for time prediction.

Three events of heavy rainfall-induced shallow landslides at Aso caldera, Izu Oshima Island and Hiroshima in Japan are selected as the study sites for this research. These study sites present two kinds of widespread landslide-forming materials in Japan. One kind of materials is the pyroclastic-fall deposits. The other kind of materials is the residual soil from weathered granite. These shallow landslides were triggered on steep slopes with impermeable bedrock by heavy rainfall related to typhoons or low-pressure troughs. This research is specifically focused on examining the soil behavior with pore-water pressure increase of two kinds of landslide-forming materials through conducting pore-water pressure controlled triaxial tests. The pore-water pressure controlled triaxial tests simulate the soil behavior with the increase of pore-water pressure in slope due to rainfall infiltration during heavy rainfall. Meanwhile, the results describe the initiation mechanism of these two kinds of heavy rainfall induced-shallow landslides on the steep slopes with impermeable bedrock. For the

pyroclastic-fall deposits, the axial strain starts to increase rapidly when the pore-water pressure reach to relatively high value. Then, excess pore-water pressure builds up with rapid increase of axial strain. This will result in the obvious decrease of effective stress of soil. Finally, static liquefaction will occur, leading to the generation of shallow landslides on the steep slopes. For the residual soil from weathered granite, the increase of axial strain starts at low pore-water pressure. With the increase of pore-water pressure, the axial strain increase gradually. Different with the pyroclastic-fall deposits, there is no pore-water pressure buildup. The soil behavior with the increase of pore-water pressure provides the possibility of failure prediction through the monitoring or simulation of groundwater level in slopes during heavy rainfall.

A method for time prediction of rainfall-induced shallow landslides on steep slopes with impermeable bedrock is developed based on the study on the initiation mechanism of heavy rainfall-induced shallow landslides. Based on the field investigation on slopes and laboratory experiments on soil samples, a database can be built for the target area. The relationship between slope stability and pore-water pressure can be obtained through slope stability analysis according to the slope features and soil properties. The simulation tests also can be used to understand how subsurface-water dynamics influence the landslide initiation. Pore-water pressure controlled triaxial test is a recommended method for this simulation test. Because the pore-water pressure controlled triaxial test can simulate the field condition to determine the soil behavior response to the increase of pore-water pressure. The critical pore-water pressure can be obtained based on the analysis of the effect of pore-water pressure on slope stability. During the heavy rainfall, the real-time data is inputted into the groundwater model to simulate the generation of groundwater level in the soil layer. For the special area, the piezometer can be installed in the soil layer to monitor the pore-water pressure during heavy rainfall. If the pore-water pressure, which is obtained by groundwater simulation or field monitoring, is higher than the critical pore-water pressure, the slope will be in critical state and shallow landslide would probably occur. Through the method application on the rainfall-induced shallow landslides in northeastern Shikoku, Japan, in 2004, it can be observed that this method is feasible for the time prediction of rainfall-induced shallow landslide during heavy rainfall.

論文審査結果の要旨

近年、集中降雨によって、表層崩壊が多発し、地域社会に甚大な災害を及ぼしている。これらの表層崩壊のほとんどは不透水基盤岩を有する急傾斜地で発生しており、そして土石流になり高速で斜面を下ることで、社会基盤へのダメージだけでなく、人的被害までもたらしている。このような斜面災害を軽減するために、表層崩壊の発生機構を解明し、集中豪雨による表層崩壊の発生予測は急務である。そこで、本論文は、1) 近年発生した典型的な表層崩壊の特徴を理解すること、2) 表層崩壊の発生機構を解明すること、そして、3) 表層崩壊発生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) 2012年に発生した阿蘇山周辺の激甚土砂災害、2013年に伊豆大島で発生した激甚土砂災害、そして、2014年広島で発生した土石流災害における現地調査・測量、土試料採取を実施し、表層崩壊の発生素因と崩壊様式の違いを調べること、2) 降雨に表層崩壊の発生過程を再現するために、低応力レベルでの間隙水圧制御三軸圧縮試験法を開発し、それぞれの事例に対する再現試験を実施すること、3) 現地調査と室内実験結果に基づいて、降雨浸透モデルを広島の土砂災害事例やその他公表された事例に適用し、表層崩壊を定量的に予測する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) 阿蘇山周辺の土砂災害と伊豆大島の土砂災害が緻密な不透水基盤岩の上を覆った火山灰や軽石などの火山性堆積物の中で発生しているのに対して、広島の土砂災害は主に風化した花崗岩、いわゆるマサ土の中で発生したと指摘し、その発生過程は明らかに異なっていることを示唆している。2) 斜面材料のせん断特性を調べるためのひずみ制御圧密非排水三軸圧縮試験を実施した結果、火山性堆積物がひずみ硬化挙動を示しているのに対して、マサ土はひずみ軟化挙動を示していることを明らかにした。このせん断挙動の違いは表層崩壊の発生機構だけでなく、発生後の運動機構にも大きな影響を与えている。3) 表層崩壊の発生機構を解明するための間隙水圧制御三軸圧縮試験を実施した結果、斜面の初期応力条件および斜面材料特性が分かれば、表層崩壊発生するまでに必要な間隙水圧、いわゆる、臨界間隙水圧を実験から求めることができると示唆した。この知見は表層崩壊が定量的に予測できることを意味している。4) 広島土砂災害事例とその他公表された事例から臨界間隙水圧を求め、降雨浸透モデルを適用した結果、表層崩壊発生時間予測が可能であることを検証し、実務レベルでの表層崩壊予測の道筋を示した。

以上のように、申請者による不透水基盤岩を有する急傾斜地における集中降雨による表層崩壊の発生機構およびそれに基づいた斜面崩壊発生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表層崩壊の発生機構や発生予測を現地調査結果に基づいて、実験的手法および数値解析手法を組み合わせで解明したものであり、提案した降雨時表層崩壊再現実験手法、そして臨界間隙水圧の概念は新規性に富んでいる。これらの概念や、検証された降雨による表層崩壊発生時間予測法は斜面防災分野における知識の創出だけでなく、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評価されるものである。成果の一部は関連論文を査読付きの国際会議論文集 *Landslide and Flood Hazard Assessment* 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3編投稿し受理され、そのうち2編が掲載済み、1編は印刷

中である。4編関連論文の中3編は、YANG HUFENG 君が筆頭著者である。
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。