

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	HUANG Chao
論文題目	Variable effects of non-plastic fines on the initiation and mobility of fluidized landslides: An experimental study (流動性地すべりの発生と運動に及ぼす非塑性細粒分の影響に関する実験的研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>高速で長距離を移動する流動性地すべりは頻繁に発生し、地域社会に深刻な被害をもたらしている。これらの流動性地すべりには、自然斜面に由来する非塑性細粒分や地すべり土塊の運動に伴う破砕作用に由来する非塑性細粒分が関与している可能性が考えられてきた。しかし、非塑性細粒分を含む地すべり土塊の流動化メカニズム及び崩壊土塊の運動維持機構は未だ解明されていない。申請者は、流動性地すべりの発生と運動メカニズムにおける細粒分の影響を調べるために、異なる細粒分含有率を有する砂と非塑性細粒分の混合物に対して、斜面構成物の破壊及び崩壊土塊の運動過程を包括的に再現するための傾斜土槽を用いたモデル実験を行った。また、土砂の流動化発生条件を調査する基礎的研究として、非排水リングせん断実験も実施した。これらの実験より得られた主な知見は以下の通りである。</p>			
<p>1) 傾斜土槽を用いたモデル実験の結果、降雨により生じた地すべりでは、非塑性細粒分含有率が増加すると、斜面の崩壊は緩慢な個別すべりから流動化したすべりへと徐々に変化することが確認された。また、崩壊土砂の最大移動速度は細粒分含有率の増加につれ、始めは大きく増加し、ある含有率を超えると減少していく、すなわち、最も高速な流動化が発生しやすい最適な細粒分含有率が存在することが明らかになった。さらに、間隙水圧のピーク値は細粒分含有率の増加に伴って増加する傾向が見いだされた。乾燥状態での流下実験においても、流下土砂の移動距離は細粒分の含有率が増加すると大きくなることが観察された。</p>			
<p>2) 異なる密度条件で行った非排水リングせん断試験の結果から、土層の液状化ポテンシャルは細粒分含有率の増加に伴って上昇し、一定の含有率を超えると逆に細粒分含有率の増加に伴って減少することが明らかになった。また、非排水せん断におけるピーク強度と流動化後の強度の差とピーク強度の比 (Brittleness Index) は、流動性崩壊の加速の要因と考えられるが、土層の細粒分含有率による影響が強いことが示された。</p>			
<p>3) 傾斜土槽を用いたモデル実験で観測された土塊移動の最大速度と土塊内の最大水圧、及び非排水リングせん断試験で得られたせん断強度と液状化発生までに消費されたエネルギーは、equivalent intergranular void ratioとequivalent interfine void ratioで初期密度や細粒分含有率の影響を総合的に評価できることが見いだされた。これにより、土砂の混合物における非塑性細粒分含有率には閾値が存在し、この閾値未満の場合、混合物の力学的挙動は主に粗粒子同士の接触に制御され、細粒分は部分的に粗粒分同士の強い接触の間に入り込み、活性細粒分として土粒子間の力の伝達に関与する。細粒分の含有率が増加すると、より多くの細粒分が力の伝達に関与し、結果として液状化までに消費されるエネルギーが減少することで、流動化破壊が起こりやすくなる。ただし、この閾値を超えた場合、混合物の力学挙動は細粒分により制御され、土層が逆に流動化しにくくなる傾向がある。これにより、非塑性細粒分による土層の流動化発生メカニズム及び流動化した土塊の移動維持機構への影響が明らかにされた。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

流動性の高い地すべりはしばしば大きな災害を引き起こすため、力学的特性に基づいた信頼性の高い流動性地すべりの発生と運動の予測法の開発は、地すべり学及び土砂災害の防災や軽減において重要な課題となっている。この課題に対処するため、申請者は土砂の流動化に影響を与えると考えられる非塑性細粒分が流動性地すべりの発生と運動メカニズムに及ぼす影響を調べるために、異なる非塑性細粒分含有率を有する土砂の混合物を用いて、人工降雨による斜面崩壊を再現する傾斜土槽モデル実験、乾燥状態における崩壊土砂の斜面流下実験、及び飽和・非排水リングせん断実験を実施した。これらの実験より得られた主な知見は以下の通りである。

まず、傾斜土槽を用いた人工降雨による土層崩壊実験を実施し、降雨時に発生する地すべりにおいて、細粒分含有率の増加に伴い、地すべり挙動が緩慢な個別すべりから流動化したすべりへと徐々に変化したことが確認された。また、各実験において発生する崩壊土砂の最大移動速度は、細粒分含有率の増加について、最初は大きくなり、一定の含有率を超えた後に減少する傾向が見いだされた。これは高速な流動化現象が発生しやすい最適な細粒分含有率が存在することを示唆している。さらに、発生した間隙水圧のピーク値は、細粒分含有率の増加とともに増加することがわかった。また、乾燥状態での流下実験を行った結果、流下土砂の移動距離は細粒分含有率の増加に伴って大きくなることを見いだされた。

次に、異なる密度で行った非排水リングせん断試験の結果から、細粒分を含む土砂の混合物において、土層の液状化ポテンシャルは細粒分の含有率が小さくても大きくても減少することがわかった。このことは、液状化が発生しやすい最適な細粒分含有率が存在することを示唆する。また、ピーク強度と流動化後の強度の差とピーク強度の比 (Brittleness Index) には土層の細粒分含有率が強く影響していることが明らかになった。

さらに、傾斜土槽を用いたモデル実験において観測された土塊移動の最大速度と土塊内の最大水圧、非排水リングせん断試験において得られたピークせん断強度や残留強度、及び液状化発生までに消費されたエネルギーを **equivalent intergranular void ratio** と **equivalent interfine void ratio** で初期密度や細粒分含有率の影響を総合的に評価できることを見いだされた。これらの結果から、土砂の混合物における非塑性細粒分含有率には閾値が存在し、この閾値未満の場合、混合物の力学的挙動は主に粗粒子同士の接触に制御され、細粒分は部分的に粗粒分同士の強い接触の間に入り込み、活性細粒分として土粒子間の力の伝達に関与する。細粒分の含有量が増加するにつれて、より多くの細粒分が土粒子間の力の伝達に関与し、その結果、液状化までに消費されるエネルギーが減少して、流動化を伴う高速土砂移動現象が発生しやすくなる。また、この閾値を超えた場合には、混合物の力学挙動は、細粒分により制御され、土層が逆に流動化しにくくなる傾向があることが分かった。これにより、非塑性細粒分を含む土層の流動化現象の発生過程及び流動化した土塊の運動維持機構を、土層内部の力学的な構造変化から推察できることがわかった。

以上の研究結果は、これまで明らかにされてこなかった非塑性細粒分を含む土砂の流動化現象の発生及び運動機構を定量的に明らかにしたものであり、地すべり学の進展に重要な貢献を果たしたと評価できる。よって、本論文は、博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。なお、令和 6 年 1 月 16 日に、申請論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について諮問した結果、合格と判定した。

要旨公表可能日： 年 月 日以降