

氏 名	ムハammad ヲフayd アgun Muhammad Wafid Agung
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2826 号
学位授与の日付	平成 16 年 5 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EVOLUTION OF SHEAR ZONE ON SANDY SOILS BY MEANS OF RING SHEAR APPARATUS (リングせん断試験機を用いた砂質土におけるせん断ゾーンの発達過程に関する実験研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 々 恭 二 教 授 千 木 良 雅 弘 教 授 竹 本 修 三

論 文 内 容 の 要 旨

斜面土層で地すべりが発生した時、ゆっくり限られた距離を移動する場合と高速で長距離移動する場合がある。移動距離と移動速度によって災害の程度は大きく異なる。発生後の地すべりの移動速度を規定するものは、せん断面あるいはせん断ゾーンの状態変化によるものと推定される。

リングせん断試験機を用いて、飽和した砂質土について破壊以前から数十メートルの大変位まで種々の異なる変位でせん断を停止させる多数の排水及び非排水試験を行い、せん断中の過剰間隙水圧の発生、せん断抵抗力変化、サンプルの体積変化を測定するとともに、同君が開発したリングせん断機用の非攪乱サンプラーを用いて、各試験毎に非攪乱サンプルを採取し、オープン乾燥の後、せん断ゾーンの構造が浮き上がるまでブラシで表面を丁寧にはぎ取り、せん断ゾーンの厚さの測定、せん断構造の観察、粒度分析を行い、すべりから高速流動に至るメカニズムをせん断ゾーンの発達過程から説明を試みた。次にその主な結果を述べる。

せん断条件が排水せん断でも、非排水せん断でも、また試料の密度が高くても低くても、試料内には、破壊面を含むある限られた幅の締まったコアで定義されるせん断ゾーンが形成されることを見いだした。そして異なるせん断変位で試験を終了し、非攪乱サンプラーでサンプルを採取して、各段階でのせん断ゾーンの厚さを計測した。その結果、せん断ゾーンの厚さは、排水条件でも非排水条件下でもせん断変位の対数に比例して増加していることを見いだした。

また、密な砂では、排水条件でも非排水条件でも、破壊強度（ピーク強度）以前には、せん断ゾーンが認められず、ピーク強度が発揮されるせん断変位からせん断ゾーンの発達過程が始まること、その後、せん断ゾーン内には水平面とある角度で傾斜する不連続面をもつ構造が発達するが、この不連続面はせん断変位の進行とともに次第にすべり方向に平行な構造に移行し、最終的には目に見える不連続面がない均質な構造に移行することを見いだした。一方、粗な砂の非排水せん断では、せん断ゾーンの発達は、破壊開始時に相当するせん断変位より遙かに大きなせん断変位で開始すること、また、不連続面は発達せず、最初から最後まで不連続面は認められなかった。

異なる密度での排水せん断中の体積変化の計測から、体積変化に及ぼす粒子破碎の影響とせん断構造の変化の両方の影響が識別された。すなわち不連続面が全く発達しないもっとも粗な試料では、その体積変化が粒子破碎のみで生じるのに対し、不連続面が発達する密な試料では、せん断の初期の段階に水平面に傾斜する不連続面の影響でせん断ゾーンの体積が増大し、その後、傾斜した不連続面が水平方向に変化し、やがて不連続面の認められない均質な構造に移行することにより、体積収縮が生じること、そして十分大きな変形領域では最終的にもっとも粗な試料と同じだけの体積収縮が生じることを見いだした。

すなわち本研究では、異なるせん断変位におけるせん断ゾーンの目視観察により、せん断中の体積変化とそれに伴う過剰間隙水圧の発生は、せん断ゾーンの厚さの増大とせん断構造が、すべり面に傾斜した不連続面をもつ構造から、すべり面に

平行な不連続面、そして最終的には不連続面の見えない均質な構造に発達することによって引き起こされていることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

地すべりは、斜面土層の内部でせん断破壊が生じて移動が始まるが、あるものは直ぐに停止し、あるものはゆっくりと移動し、あるものはゆっくりした「すべり」から、「高速流動」に移行することが知られている。すべりから高速流動に移行するタイプの地すべりは、大きな災害を引き起こすことから、すべりから高速流動へ移行するメカニズムの解明が、地すべりダイナミクス分野での課題になっていた。

Wafid 君は、地すべりにおいてすべりから高速流動に移行するメカニズムを調べるために、すべりの原因であるせん断面あるいはせん断ゾーンの変化を直接目視観察することを試みた。せん断ゾーンが、せん断の進行に伴ってどのように変化するのか直接目視観察することは容易ではないが、同君は、リングせん断試験を用いて、密度、垂直応力、排水条件などを同一条件にそろえた実験を数多く行い、おのおの異なるせん断変位までせん断して試験を中止し、異なるせん断変位を受けた試料内に形成されているせん断ゾーンの観察を試みた。そしてリングせん断試験用に同君が製作した非攪乱サンプラーを用いて、サンプルを取り出し、これを乾燥機で乾燥させ、乾燥後にブラシで表面を丁寧にはぎ取ることにより、試料内に形成されたせん断ゾーンがせん断変位の増大とともに発達すること、そして密な砂では、せん断ゾーン内に水平面とある角度で傾斜する不連続面をもつ構造が形成されること、この構造はせん断変位の増大とともに次第に消失することを初めて見いだした。

せん断ゾーンの粒度分析の結果、せん断ゾーン内では、土粒子の破碎によって、細粒部が形成されるが、当初は細粒がせん断ゾーン内全体にはほぼ均質に分布するが、せん断の進行とともに粒径の分離が生じ、せん断ゾーン内の底部に細粒部がたまり、逆にせん断ゾーンの中核をしめるコアの部分では、粒度がせん断前の状態より粗くなる現象が見いだされた。

非排水リングせん断試験を用いた従来の研究では、粒子破碎が高速地すべりを引き起こす過剰間隙水圧発生の原因となる体積収縮の原因であると指摘されてきたが、体積収縮のメカニズムは研究されてこなかった。本研究は、せん断ゾーンの目視観察により、体積収縮とそれに伴う過剰間隙水圧の発生は、せん断ゾーンの厚さの増大とせん断構造が、すべり面に傾斜した不連続面をもつ構造から、すべり面に平行な不連続面、そして最終的には不連続面の見えない均質な構造に発達することによって引き起こされていることを明らかにしたものである。

このせん断ゾーンの発達過程の研究は、同君が開発したリングせん断試験機用の非攪乱サンプラーによりサンプル採取し、採取したサンプルのオープン乾燥とブラシを用いた固結度の弱い部分のはぎ取りによって現れてくる締まったコアを中核とするせん断ゾーンの側面と横断面からの直接観察により初めて可能になった。本研究成果は、飽和した砂質土で発生する高速長距離運動地すべりにおいて、破壊後の流動性を支配する主要な原因と見なされる過剰間隙水圧の発生メカニズム、すなわち「すべり」から「高速流動」への移行メカニズムをせん断ゾーンの発達過程から解明したものである。

以上の研究は、人命に危害を及ぼす地震時の高速地すべりの発生運動機構とそれに基づく予測法の提案、及び現地での検証を実施したものであり、地すべり学の進展における重要な一步を印したものと評価できる。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、申請論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野についても諮問した結果、合格と判定した。