

## 審査の結果の要旨

氏名 アントワン デューティン

本論文は **Viscous properties of granular materials having different particle shape in direct shear**（一面せん断試験による様々な粒子形状の粒状材料における粘性特性）と題した英文の論文である。

地盤を構成する土粒子が砂や礫である場合、地盤全体としてのマクロな特性は、土粒子自体の強度に加えて土粒子同士のかみあわせ状態の影響を受ける。このような粒状材料のせん断強度変形特性は粘性を有することが知られているが、ピーク応力前のひずみ硬化段階から、ピーク応力状態、ピーク後のひずみ軟化段階、および残留応力状態へとせん断変形が増加していく過程において、この粘性特性がどのように変化するかについては、十分な知見が得られていない。また、実験的な検討において実現可能なせん断速度の大きさには装置の仕様に応じた技術的限界があり、極めて広範囲にせん断速度を変えた試験を行うことはこれまで困難であった。

以上の背景のもとで、本研究では様々な粒子形状を有する粒状材料を対象として、ピーク応力前のひずみ硬化段階から、その後に残留応力状態へと至るひずみ軟化段階までの粘性特性に関して、一面せん断試験装置を用いた実験的な検討を実施している。また、せん断速度を最大  $10^5$  倍のオーダーの範囲で変化させる特殊な試験を実施することにより、粘性特性に及ぼす影響を詳細に調べている。さらに、以上の試験結果に基づいて、これらの粒状材料の粘性特性を適切にモデル化することを目的とした検討を実施している。

第一章では、粒状材料の粘性特性に関する既往の研究をまとめたうえで、本研究の目的を設定し、論文の構成について説明している。

第二章では、試験に用いた材料の産地や粒子形状などに関する特性と、一面せん断試験装置の詳細を記述するとともに、変位や応力の計測・計算方法と試験手順について述べている。また、豊浦砂を対象とした既往の試験結果との比較を通じて、試験結果の妥当性と再現性を検証している。

第三章では、さまざまな砂とガラスビーズを対象に、単調荷重の途中でせん断速度を段階的に変化させる試験を実施した結果について記述している。ピーク応力前のひずみ硬化段階とその後のひずみ軟化段階では発揮される粘性特性のタイプが異なり、材料の粒子形状や密度によっても異なる粘性特性が発揮されることを明らかにしている。

第四章では、第三章と同じ材料を対象に、せん断の途中で一定応力状態を保つクリープ荷重を段階的に実施した結果について記述している。クリープ変形量が材料の粒子形状に応じて異なることを明らかにするとともに、クリープ荷重を開始する直前の単調荷重過程におけるせん断速度の影響も受けることも見出している。

第五章では、豊浦砂を対象に、せん断速度の変化範囲を  $10^5$  倍のオーダーまで拡大させた試験結果について記述している。ピーク強度と残留強度に及ぼすせん断速度の影響は異なる特性として表れ、さらに、これらの特性は材料の密度の影響も受けることを明らかにしている。

第六章では、三要素モデルを用いたシミュレーションを行い、単調荷重の途中でせん断速度を変えた場合の挙動とクリープ荷重時の挙動が、統一的に説明可能であることを示している。さらに、より多様な応力条件下でも適用できる一般化モデルの検討も行っている。

第七章では、以上の検討成果を結論としてとりまとめ、さらに、今後の課題を整理している。

以上をまとめると、本研究では、様々な分子形状の粒状材料における粘性特性として、せん断速度の影響およびクリープ荷重時の挙動を高精度かつ系統的な室内土質試験により明らかにするとともに、そのモデル化にも成功している。このことは地盤工学の進歩への重要な貢献である。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。