

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名 USMAN ALI  
学位の種類 博士（工学）  
学位記番号 都市博甲第2494号  
学位授与年月日 2024年3月25日  
学位授与の根拠 学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び  
横浜国立大学学位規則第5条第1項  
学府・専攻名 都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻  
学位論文題目 Particle shape and deformation characteristics of granular  
materials  
論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 菊本 統  
横浜国立大学 教授 早野 公敏  
筑波大学 教授 松島 亘志  
横浜国立大学 准教授 崔 瑛  
University of Milan Bicocca 准教授 Matteo Ciantia

## 論文及び審査結果の要旨

審査対象論文は Usman Ali 氏が執筆した「Particle shape and deformation characteristics of granular materials（地盤材料の粒子形状と変形特性）」という題名の論文である。この論文は粒子形状が地盤材料の変形と強度特性に与える影響を実験と数値解析の両方から詳しく検討している。特に、同氏は粒子の丸さと扁平度に着目し、これらが粒子単体の微視的な応答と全体としてのマクロな応力ひずみ特性にどのような影響を与えるかを議論している。実験では、全粒子の回転と接触挙動を高精度に特定できる解析技術を新たに開発し、二軸せん断試験における応答を詳細に観察している。一方、数値計算では実験と完全に対応する個別要素解析を行っている。実験結果からは、限界状態でのせん断強度が円形粒子よりも約 40%高い六角形粒子において、個々の粒子の回転量が約半分程度小さくなることなどが明らかにされた。また、個別要素解析は実験結果を精度よく再現することを示すとともに、丸さと扁平度を変化させた際のパラメトリックスタディを通じて、丸さの変化が強度特性に単調な変化をもたらす一方で、扁平度の影響は必ずしも単調ではなく、粒子表面の摩擦特性によっても大きく変化することなどを明らかにしている。

審査対象論文は全9章の本編で構成されている。第1章では研究背景や目的、論文構成について説明している。第2章では粒子形状の影響や個別要素解析に関する既存の研究が詳細にレビューされ、残された課題が整理されている。第3章から第5章では実験的検討の成果がまとめられており、第3章では実験と画像解析の概要が説明され、第4章では円形粒子のマクロな応力ひずみ特性とミクロな回転や接触挙動、両者の関係について実験結果と考察が示され、第5章では円形粒子と六角形粒子、および両者を所定の割合で混合した混合材料の応答について考察されている。次に、第6章から第8章では個別要素解析の成果がまとめられており、第6章で解析の概要と実験結果との比較検証の結果が説明され、第7章では丸さの影響について、第8章では扁平度の影響について数値パラメトリックスタディの結果がまとめられている。最後に、第9章では一連の検討の結果がまとめられ、今後の展望が説明されている。

審査対象論文で論じられた粒子形状によるミクロな粒子の応答とマクロな応力ひずみ特性の違いやそのメカニズムに関する考察は、地盤材料の力学的特性の理解を深め、応答予測を高度化する上で貢献するものであり、当該論文の学術的価値は高いと判断された。また、審査対象論文について、iThenticate を用いて剽窃や盗用の不正行為がないことが確認された。以上の理由から、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があり、学位論文および試験の成績は合格（A）と判定された。

## （試験の結果の要旨）

令和6年2月13日14時40分よりハイブリッド形式（対面は土木工学棟セミナー室にて、オンラインは Zoom を利用して開催）により審査委員全員の出席のもとで発表30分間と質疑30分

間の公聴会を開催した。その後、同日 15 時 40 分から審査委員会を実施した。論文内容および発表とそれに対する質疑応答を通して審査した結果、本論文は博士学位論文として十分な内容を有しており合格と判定した。また、論文提出者は学位論文を中心として、専門領域である地盤工学に関連する分野の科目について博士（工学）の学位を得るのにふさわしい学力を有すると判断した。

論文提出者は修了に必要な単位も取得済みである。外国語能力（英語）に関しては、論文執筆、発表、質疑をすべて英語で実施しており、問題ないことを確認した。

対外発表論文は、以下に示すように国際学術雑誌 4 編、国際会議 4 編の査読付き英文論文が公表済となっており、他に国際学術雑誌 1 編が修正済み、国際学術雑誌 1 編が査読中、国際会議 1 編が採択済となっていることから、学位取得に必要な内規（査読付論文 1 編以上）を満たしていることを確認した。

- 1) Ali, Kikumoto, Cui, Ciantia and Previtali (2023) Role of particle rotation in sheared granular media, *Acta Geotechnica* 18, 4599–4614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-023-01860-1>（査読あり）
- 2) Ali, Kikumoto, Ciantia, Previtali and Cui (2023) Experimental micro-macromechanics: particle shape effect on the biaxial shear response of particulate systems, *Géotechnique*. DOI: <https://doi.org/10.1680/jgeot.22.00364>（査読あり）
- 3) Ali, Kikumoto, Ciantia, Cui and Previtali (2023). Systematic effect of particle roundness/angularity on macro- and microscopic behavior of granular materials, *Granular matter* 25, 51. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10035-023-01341-y>（査読あり）
- 4) Ali, Kikumoto and Ciantia (2023) Impact of particle elongation on the behavior of rounded and angular granular media: consequences of particle rotation and force chain development, *Computer and Geotechnics* 165, 105858. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105858>（査読あり）
- 5) Ali, Kikumoto, Ciantia, Cui and Previtali (2023) Why modeling particle shape matters: exploring its impacts on granular behavior at global and local scales, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* (Revised).（査読あり）
- 6) Ali and Kikumoto (2023) Experimental micro-macromechanics: Critical states of round/angular granular mixtures, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* (Under review).（査読あり）
- 7) Ali, Kikumoto, Ciantia and Cui (2021) Direct observation of particle kinematics in biaxial shearing test, *Proc. GeoMechanics: from Micro to Macro (GM3)*, UK. DOI: 10.20933/100001233（査読あり）
- 8) Ali, Kikumoto, Ciantia and Cui (2022) Validation of DEM using macroscopic stress-strain behavior and microscopic particle motion in sheared granular assemblies, *Proc. 15th World Congress on Computational Mechanics & 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (WCCM-APCOM)*, Japan. DOI: 10.23967/wccm-apcom.2022.127（査読あり）
- 9) Ali, Kikumoto, Cui, Ciantia and Previtali (2023) Micromechanical observation of kinematics of sheared circular discs, *Proc. 8th Int. Sym. on Deformation Characteristics of Geomaterials*, Portugal.（査読あり）
- 10) Ali, Kikumoto, Ciantia, Previtali and Cui (2023) Importance of periodic boundaries or frictionless walls in simulating elementary response of angular particles, *Proc. VIII International Conference on Particle-Based Methods (Particle 2023)*, Italy. DOI: 10.23967/c.particles.2023.016（査読あり）
- 11) Ali, Kikumoto, Ciantia and Cui (2024) Significance of Rolling Resistance: When Is It Required?, *Proc. Int. Sym. on Geomechanics from Micro to Macro*, France. (Accepted)（査読あり）

以上のことから、最終試験は合格であると判定した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。