

審査の結果の要旨

氏名 ザイン マスト

本論文は、「Experimental Study on Loading Rate Dependent Mechanical Behavior of Artificially Bounded Geomaterials (人工的に固結させた地盤材料の載荷速度依存性を有する力学挙動に関する実験的研究)」と題した英文の論文である。

堆積軟岩やセメント改良土などの固結地盤材料の力学挙動に見られる載荷速度依存性は、トンネル掘削時や長期荷重載荷時におけるクリープ破壊・変形量の予測等において重要な特性であり、これまでもいくつかの実験的研究が実施されてきているが、載荷速度を極めて広範囲に変化させる試験は、装置の制約により十分には行われていない。

また、発生量が近年も増えつつある石膏ボードなどの建設廃材から作られる再生石膏を他の地盤材料と混合して有効利用する際の力学特性も、十分には明らかになっていない。

以上の背景のもとで、本研究では、石膏またはセメントを砂と混合して人工的に固結させた地盤材料の力学挙動に関し、その載荷速度依存性に特に着目し、系統的な一軸・三軸試験を実施している。

第一章では、研究の背景と既往の研究を整理したうえで本研究の目的を設定し、論文全体の内容と構成について説明している。

第二章では、研究に用いた試験装置と、試験の対象とした石膏混合砂およびセメント改良砂の円柱供試体の作成・養生方法について詳述している。

第三章では、試験結果の信頼性を定量的に評価するために、供試体の両側面に設置した2つの局所変位計による測定結果の一致度を示す指標を独自に定義し、この指標の値が、一軸強度とどのような相関性を示すかを分析した結果を記述している。この結果に基づいて、信頼性の低い試験結果を棄却するための基準を提案し、以降の試験結果の分析に際して適用している。

第四章では、養生時間を変えた一軸試験を同一の単調載荷速度で実施した結果を記述している。本研究では早強セメントを用いたため、セメント改良砂の経時的な強度増加が1か月程度の養生時間で頭打ちとなることを示す一方で、石膏混合砂の強度は養生初期に20%程度減少し、1か月程度の養生時間を経過する

とほぼ一定値となることを見出している。

第五章では、同一の養生時間のもとで単調載荷速度を最大10万倍程度変えて実施した一軸試験結果を記述している。毎分0.02%の軸ひずみ速度を基準とした場合、その1/100に載荷速度を減少させると石膏混合砂では一軸強度が80%程度低下するのに対し、セメント改良砂では10%程度の低下にとどまることを示している。また、水和反応した石膏の微視的構造に関する既往の研究成果を参照しつつ、石膏混合砂の強度特性が顕著な載荷速度依存性を示す理由について詳細に考察・分析している。

第六章では、一軸試験装置を用いて、荷重を一定に保つクリープ載荷と、一定振幅での繰返し載荷を実施した結果を記述し、繰返し載荷中の残留軸ひずみの計測結果から算定した平均的な軸ひずみ速度の変化傾向が、クリープ載荷中の軸ひずみの変化傾向と類似していることを明らかにしている。一方で、これらの載荷で計測したピーク強度の載荷速度依存性と、ひずみ軟化が生じ始める際の軸ひずみの大きさが、単調載荷時とは異なることも示している。

第七章では、三軸試験装置を用いて最大 800kPa の拘束圧を加えた条件下で、速度を変えて実施した石膏混合砂の単調載荷試験結果を記述し、ピーク強度の載荷速度依存性が拘束圧の有無によらないことを明らかにしている。

第八章では、供試体の局所的な変形状況の画像解析を、前述した一軸試験の一部に対して実施した結果を記述し、高い載荷速度の試験で観察されたせん断層の形成過程の詳細を明らかにしている。一方で、低い載荷速度の試験において、目視観察ではせん断層の形成が判別できなくても、複数箇所ではひずみの局所化が生じていた可能性を画像解析により見出している。

第九章では、本研究で得られた結論をまとめ、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、新たに開発した信頼性評価手法を活用しつつ、載荷速度を極めて広範囲に変化させた場合の石膏混合砂とセメント改良砂の単調載荷時力学挙動を明らかにしている。また、荷重を一定に保つクリープ載荷と、一定振幅での繰返し載荷を実施した場合の力学挙動には類似性があるが、前述した単調載荷時とはこれらの挙動が異なることも示している。さらに、これらの試験結果に基づいて、地盤材料の固結材としての石膏単体の使用は、長期に持続する荷重下での力学挙動の観点からは推奨できないことを見出している。これらの成果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。