

審査の結果の要旨

氏 名 Banyar Aung (バンヤー アウン)

本論文は Triaxial tests on densification of sand by static lateral compression (静的側方圧縮による砂地盤の密実化に関する三軸せん断実験) と題した英文の論文である。近年重要性を増している産業廃棄物のリサイクルの観点から、火力発電所から発生するフライアッシュを軟弱地盤の改良に応用する技術の研究を三軸せん断試験によって実施したものである。本論文は7章から構成されている。以下に、それぞれの内容を説明する。

第1章はイントロダクションであり、開発と実用化を目指す技術の内容を説明している。それによれば、フライアッシュを主成分とするスラリー状の流体をゆる詰め砂地盤に加圧注入することによって地中にフライアッシュの固化体を形成し、注入された固化体の体積分だけ原地盤の体積圧縮と密実化を達成しようとしている。またフライアッシュ固化体の柱にも地盤を補強する効果が期待できる。そして注入作業に振動を伴わないため、既存の構造物の近傍でも地盤の密実化が可能である。そして先行する加圧チェンバー実験の示すところでは、相当量の加圧注入が可能と考えられた。

第2章は、研究に使用した高圧三軸せん断装置と実験材料である豊浦砂について説明している。高圧三軸せん断装置は最高2500 kPa の拘束圧の下でせん断実験が行なえる装置である。本研究ではフライアッシュの加圧注入時に地盤中に発生する応力状態を再現して密実化の研究を行おうとしている。したがって加圧ポンプに想定されている注入圧力2500 kPa 程度の圧力の再現が必要とされた。

第3章は、高圧三軸せん断装置によって行なわれた予備的研究の結果を報告している。本研究の主目的であるダイレイタンスー(せん断による体積変化)特性、試験体中の応力状態を均質にするための端面摩擦の除去技術の実証、そして研究の副目的としてのフライアッシュ固化体の生成と力学試験について説明している。端面摩擦の除去にはゴム膜とグリースの互層という伝統的手法が用いられ、所期の目的は達成している。しかし試験体に水を注入する過程の長期化を招き、実験の能率を低下させる、というマイナス面も認識された。一方フライアッシュ固化体を生成して実施された三軸圧縮試験は、この固化体が極めて硬いことを示した。したがってフライアッシュの加圧注入は地盤の密実化以外に地中に剛な柱を形成することも可能である。このことは、地盤が剛な柱によっても補強される

ことを意味し、地盤改良効果の評価においては剛柱と砂との複合地盤の挙動が重要であることを示している。

第4章は固体の連続体力学における円孔拡大理論をまず説明している。この理論が示すところの地中の応力変化を三軸せん断実験によって再現し、砂地盤の密実化を定量的に研究した。円孔拡大理論においては、変形の小さい状況に対応する弾性理論だけではなく、密実化の進行するときを想定して、排水条件のもとでの降伏・塑性状態をも考慮した。また通常の理論では無限体中に単孔を想定するのに対し、本理論では注入が複数のボーリング孔から実施されることを考慮して、有限範囲にのみ円孔拡大の影響が及ぶもの、とした。そして遠方には固定境界条件を設定した。続いて三軸圧縮実験を実施した。しかし初期の予想とは異なり大変形時には正のダイレイタンス（体積膨張）が著しく、密実化は不十分であった。既往の諸研究によれば、せん断応力を正負に交番させる繰り返しせん断が、密実化に有効である。そこで実際の施工においても複数の加圧注入ポンプを制御して地中に繰り返しせん断応力を発生させることを想定し、高圧圧縮を伴う繰り返しせん断実験を行なった。その結果は良好で、堆積ひずみにして10%近い密実化を起こすことが出来た。

第5章では円孔に代わる球孔拡大理論を取り扱っている。これは、実際の加圧注入がボーリング孔中の点から行なわれるため、前述の円孔より球孔の方がより適切と考えられたためである。球孔理論の示す応力を砂の試験体に载荷したところ、4章と同様、単調三軸圧縮実験では密実化が不十分であり、繰り返しせん断によって大きな密実化が発生した。ただしその程度は、円孔拡大理論の場合より小さい。さらに次章で議論される繰り返し三軸伸張载荷をも実施し、一定の密実化を実現した。

第6章では加圧ポンプ一台によって密実化の能率化を高める工夫を取り扱った。ポンプの運転モードを点検すると、圧力が上限値を保ち続けることはなく、圧力が増減を繰り返すことが普通である。すなわち、5章のような正負の繰り返し交番载荷ではないにせよ、加圧と減圧の繰り返し载荷が地中で起こっている。また、加圧時には砂地盤は水平方向に圧縮される。砂地盤は重力場で堆積しているため、鉛直方向より水平方向の方が、圧縮正が高い。これらのことから、三軸せん断装置の中で横圧の増減を繰り返す実験（繰り返し三軸伸張）を行なった。応力の計算においては、円孔拡大理論を使用した。そして最大6%程度の体積ひずみ・密実化を実現した。

第7章は研究結果のまとめと将来への課題を述べている。

以上をまとめると本研究は廃棄物のリサイクルの観点から静的な地盤密実化の技術の方向性をしたものであり、施設の密集する既存市街地においても施工可能な地盤改良の技術の可能性を立証している。このことは地盤耐震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。