

氏名	たか はし ひでのり 高橋英紀
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2876号
学位授与の日付	平成20年3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	工学研究科社会基盤工学専攻
学位論文題目	砂杭・粘性土複合地盤の破壊過程に関する基礎的研究

論文調査委員 (主査) 教授 井合 進 教授 田村 武 教授 岡 二三生

### 論文内容の要旨

本論文は、サンドコンパクションパイル工法（締固めた砂杭を軟弱な粘性土層に打設することによって、地盤のせん断抵抗の増大と粘性土層の圧密促進を図る工法、以下SCP工法という）によって砂杭・粘性土複合地盤が海底に造成された後、その上に地盤の埋め立てを行って、これによって新たな荷重が加えられた際の複合地盤の破壊過程を、遠心力場での模型実験および弾塑性型の土の力学モデルに基づく数値解析を通じて明らかにしたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景として、SCP工法による複合地盤に関する設計実務上の諸問題および地盤工学としての研究上の課題を述べ、これに基づいて、本研究の目的および本論文の構成を示している。

第2章では、SCP工法の原理、地盤改良効果、低コスト化への取組み、その施工事例を具体的に示すとともに、SCP工法による複合地盤の破壊特性に関する既往の研究および現行設計法を示している。

第3章では、SCP工法による複合地盤への埋立載荷実験を遠心力場で実施した結果について述べている。実験は砂杭を粘性土層下の基礎砂層に着底させた改良地盤（着底型）と着底させない改良地盤（浮き型）について実施し、これにより、着底型は砂杭の屈曲が卓越する変形モード、浮き型は改良域（砂杭・粘性土複合地盤）下の粘性土層での滑りが卓越する変形モード、がそれぞれ支配的となって破壊することを明らかにしている。また、着底型では砂杭の屈曲後も埋立荷重と改良地盤変位量の関係が一定の勾配を保つものに対して、浮き型では滑り発生時点で埋立荷重が限界値に達することを明らかにしている。

第4章では、これらの模型実験結果に対して、全応力解析（粘性土地盤に非排水条件を仮定する解析）としてモール・クーロン破壊規準による弾塑性解析を実施し、模型実験結果の一般化を図っている。これにより、改良範囲や地盤強度などの改良条件を支配する種々のパラメータに応じて、改良域内での滑り、砂杭の屈曲、改良域下での滑り、砂杭の転倒の4種類の変形モードが発生することを示している。さらに、これらの変形モードと地盤内の応力分布との関係について検討し、種々の地盤強度や改良条件が複合地盤の破壊過程に与える影響を明らかにしている。

第5章では、第3、4章に示した遠心力場での模型実験とモール・クーロン破壊規準による弾塑性解析の結果に基づき、SCP工法による複合地盤で想定される変形モードを整理し、種々のモードを考慮した極限平衡法による数値解析手法を提案している。また、提案手法による計算結果を模型実験や弾塑性解析での挙動特性と比較することによって、提案手法の妥当性を検証している。提案手法は、改良範囲や地盤強度などの改良条件を支配する種々のパラメータに応じて、変形モードの予測（改良域内での滑り、砂杭の屈曲、改良域下での滑り、砂杭の転倒の4種類）、極限平衡荷重の予測を可能とするものであり、砂杭・粘性土複合地盤の破壊過程に関する幅広い適用性を有するものである。

第6章では、第4、5章で前提条件となっている非排水条件の仮定を取除き、SCP工法による複合地盤の破壊過程における地盤変形特性を、さらに一般化した条件で解析している。この解析には、有効応力解析として土・水連成の弾・粘塑性解析を適用している。第3章に示したように、着底型や改良範囲の深い浮き型では、極限平衡状態を超えた限界状態であっ

でも、荷重—変位関係に一定の勾配が見られる。解析の結果、このような限界状態においては、砂杭による排水効果が杭間の粘性土地盤のせん断強度を増加させる効果となり、荷重が限界値に達することなく、変位とともに荷重が増大を続けるという効果を生むことを明らかにしている。さらに、適用した弾・粘塑性解析による変形照査に基づく新たな設計（性能設計）を行うことによって、設計で許容できる荷重は、粘土層を非排水状態と仮定として求める極限平衡荷重よりも一般的に大きくなり、より効率的な設計が可能となることを明らかにしている。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、サンドコンパクションパイル工法（締固めた砂杭を軟弱な粘性土層に打設することによって、地盤のせん断抵抗の増大と粘性土層の圧密促進を図る工法）によって砂杭・粘性土複合地盤が海底に造成された後、その上に地盤の埋め立てを行って、これにより新たな荷重が加えられた際に発生する複合地盤の破壊過程を、遠心力場での模型実験および弾塑性型の土の力学モデルに基づく数値解析を通じて明らかにしたものである。得られた研究成果は、次のようにまとめられる。

1. 砂杭を粘性土層下の基礎砂層に着底させた改良地盤（着底型）と着底させない改良地盤（浮き型）について遠心力場での模型実験を行い、着底型は砂杭の屈曲が卓越する変形モード、浮き型は改良域（砂杭・粘性土複合地盤）下の粘性土層での滑りが卓越する変形モード、がそれぞれ支配的となって破壊することを明らかにした。また、着底型では砂杭の屈曲後も埋立荷重と改良地盤変位量の関係が一定の勾配を保つものに対して、浮き型では滑り発生時点で埋立荷重が限界値に達することを明らかにした。
2. これらの模型実験結果に対して、全応力解析としてモール・クーロン破壊規準による弾塑性解析を実施し、模型実験結果の一般化を図るとともに、それに基づいて、変形モードに応じた砂杭・粘性土地盤の極限平衡状態モデル（極限平衡法）を提案した。提案したモデルは、改良範囲や地盤強度などの改良条件を支配する種々のパラメータに応じて、変形モードの予測（改良域内での滑り、砂杭の屈曲、改良域下での滑り、砂杭の転倒の4種類）、極限平衡荷重の予測を可能とするものであり、砂杭・粘性土複合地盤の破壊過程に関する幅広い適用性を有するものである。
3. 着底型や改良範囲の深い浮き型では、極限平衡状態を超えた限界状態でも、荷重—変位関係に一定の勾配が見られる。このような限界状態での挙動を再現するため、有効応力解析として排水を考慮した土・水連成の弾・粘塑性解析を実施した。これに基づいて、このような限界状態においては、砂杭による排水効果が杭間の粘性土地盤のせん断強度を増加させる効果となり、荷重が限界値に達することなく、変位とともに荷重が増大を続けるという効果を生むことを明らかにした。

以上のとおり、本論文は、砂杭・粘性土複合地盤の破壊過程について、変形モードと極限平衡荷重の予測を可能とする極限平衡法を新たに提案するとともに、極限平衡状態を超えた限界状態での挙動を有効応力解析としての弾・粘塑性解析法により予測することを提案し、これらの提案手法の適用性を明らかにしたもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年1月30日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。