

京都大学	博士（工学）	氏名	尹 成圭
論文題目	Development of the numerical procedure to describe multi-dimensional behavior of the alternating Pleistocene foundations （更新統互層基盤の多次元挙動を評価する数値解析手法の開発に関する研究）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、構造物隅角部や橋脚基礎などの局部載荷に対する地盤の三次元効果を適切に表現しうる、地盤の連成解析プログラムを開発し、硬質な深部更新統層の応力分散効果と長期変形挙動評価に適用したものであって、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、大規模埋立隅角部や橋梁基礎など、地盤設計で汎用されている一次元簡易解析では評価できない三次元問題を順解析で計算する必要性を示し、粘性土の時間依存性挙動を評価できる弾粘塑性構成モデルを取り込んだ三次元有限要素プログラム構築の必要性を説明し、研究の方向性について論じた。</p> <p>第2章では、大規模埋立に伴う基礎地盤の長期変形評価に関する既往研究をレビューし、その重要性と未解明となっている課題を指摘することにより、本研究の位置づけを説明した。関西国際空港基礎地盤の長期変形評価問題を事例として取り上げ、大規模海上埋立によって厚く堆積した更新統粘土・砂礫互層地盤の長期沈下のメカニズムについて、特に通常は完全排水層と仮定される砂礫層にも埋立荷重によって生じた過剰感水圧が大きく残留し、砂礫層内を水平方向に時間とともに伝播する非一次元的な現象が起こっていることを説明した。一方で、過剰間隙水圧の消散遅れがある中で更新統粘土層の沈下が早期に大きく進むという従来の地盤工学の枠組みでは説明できない挙動が認められることを示し、隅角部挙動や限定領域載荷問題に加え、水圧の三次元伝播効果を考慮できる三次元有限要素解析の有用性を論じた。</p> <p>第3章では、粘性土の時間依存性挙動を表現できる非定常流動曲面型弾粘塑性構成モデルを、三次元に定式化し、新しく土-水連成問題を解くことができる、三次元有限要素プログラムを構築、提案した。その際、通常の間隙水圧-正規圧密の弾性-粘塑性状態変化と同時に、エイジング粘土で生じる見かけの過剰水圧である擬似過剰水圧-正規圧密という状態変化にも対応できる枠組みを取り入れ、堆積環境によって異なる粘土の挙動に対応できる先進的な解析コードを構築した。</p> <p>第4章では、本研究で提案した有限要素プログラムの妥当性を検証した。具体的には、既往研究で行われている、関西国際空港建設に伴う海底基礎地盤の断面二次元弾粘塑性有限要素解析結果を正解として、本研究で提案した三次元有限要素プログラムで同じ断面を奥行き1要素のパネル型モデルとして地盤を設定し、既往研究で用いられた地盤定数、載荷工程を与えることによって、断面二次元解析と等価な擬似三次元解析を実施した。その結果、埋立に伴う地盤内の過剰間隙水圧の発生、透水性の高い更新統中間砂礫層における長期間の水圧停留と側方への伝播、擬似過剰水圧更新統粘土層の長期沈下現象を妥当に表現できるとともに、既往の断面二次元弾粘塑性有限要素解析結果と一致することを確認した。また、解析断面上の計測ポイントで実施されている、基礎地盤の各層における過剰間隙水圧の発生と消散、および更新統粘土層の層別沈下測定結果を妥当に予測できていることを確認した。これにより、本研究において構築、提案した三次元弾粘塑性有限要素プログラムの妥当性を検証するとともに、</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	尹 成圭
<p>実地盤の応力～変形挙動解析に適用できることを明らかにした。</p> <p>第5章では、橋脚基礎の群杭を打設した更新統地盤の応力～変形挙動を提案した三次元有限要素プログラムを用いて検討した。杭基礎群の幅は17m×11mで更新統層上部砂礫層に打設される局部載荷問題となり、応力と変形は三次元問題として取り扱う必要がある。上部工反力による更新統基礎地盤の地盤内応力は深さ方向に急激に分散することによって減少し、砂礫層下位にあって変形が懸念される更新統粘土層では上載荷重の10%程度の応力分担となり、沈下量も50年で9cm程度と小さな値に留まることが確認された。これにより、提案解析手法は局部載荷による地盤変形問題を適切に評価できることを明らかにした。</p> <p>第6章では、関西国際空港連絡橋取付部という大規模埋立地隅角部の応力～変形挙動を検討した。隅角部背後には大規模な埋立地が存在するため、局部載荷問題とは異なり、深部更新統層では埋立地の影響によって上載荷重のない海域直下でも応力増加現象が認められるとともに、隅角部直下では三次元効果によって下位の地盤では載荷応力が分散し、沈下量も抑制されることを示した。また、解析結果は隅角部内の1点で測定されている沈下量をほぼ正確に再現でき、提案した解析手法の妥当性が検証された。</p> <p>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た。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、構造物隅角部や橋脚基礎などの局部载荷に対する地盤の三次元効果を適切に表現しうる、地盤の連成解析プログラムを開発し、硬質な深部更新統層の応力分散効果と長期変形挙動評価に適用したものである。本研究では、それぞれ課題について以下のような知見が得られている。

- (1) 弾粘塑性構成モデルを用いた土-水連成三次元有限要素プログラムの開発：弾性解に基づく地盤内応力の解析解を援用し、近似的に行われてきた三次元挙動解析を、順方向に解析できる土-水連成による有限要素プログラムを開発した。提案プログラムを用いて同じ断面において実施された二次元長期圧密挙動解析結果と比較することにより、その妥当性を検証した。
- (2) 群杭基礎で支持される海上高架橋基礎が、上部工反力を受けて杭基礎以深の更新統粘土・砂礫土互層地盤に生じる変形は、基礎形状に依存した三次元効果を考慮した検討が求められる。本研究では、更新統粘土の非弾性的特性が基礎地盤内における応力分散効果に及ぼす影響を、提案した三次元弾粘塑性有限要素プログラムによって検討し、基礎形状に起因する顕著な深さ方向への応力分散が起こり、後続長期沈下挙動を支配する要因となることを明らかにした。
- (3) 大水深海域における大規模埋立に伴う長期大沈下の発生は一次元、二次元解析によってある程度評価できることが実績として示されている。一方で、埋立地隅角部では、背後の巨大な埋立地荷重による基礎地盤深部への影響と無载荷の前面海域の効果を同時に評価する必要がある。本研究では、関西国際空港連絡橋取付部の変形挙動を、提案した手法を用いて検討し、深部更新統層における鉛直、水平応力分散効果と、側方流動と沈下を合わせた長期変形挙動を数値解析的に求めた。その結果、解析結果は同地点で実施されている沈下計測結果を精度良く評価できることを確認し、提案した三次元解析の枠組みの妥当性を明らかにした。

このように、本研究は、非弾性挙動を示す地盤の三次元効果を適切に評価する有限要素解析プログラムを開発し、提案手法の妥当性を検証するとともに、実問題に適用して現場計測結果を高い精度で評価しうることを明らかにしたもので、非常に新規的であり、学術的、社会的貢献度も極めて高いと判断される。

以上の通り、本論文は、実地盤挙動を正確に表現するために、弾粘塑性三次元有限要素解析プログラムを構築し、海底地盤における群杭基礎への载荷問題、大規模埋立地の隅角部挙動問題を評価できることを示したもので、学術上、實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、令和元年12月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(令和2年9月29日までの間) 当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。