

## 審査の結果の要旨

氏名 堀井 良浩

題目：砂質土－粘性土の 2 層地盤に支持される杭の先端抵抗に関する研究

本論文は、砂質土－粘性土の 2 層地盤に支持される杭の先端抵抗の評価法を提案し、評価法の妥当性を実験的研究および解析的研究により検証したものである。2 層地盤に支持される杭の鉛直方向の荷重に対する挙動の評価法は実務的には重要であるが、とくに実験的な研究例は少ない。本研究では、2 層地盤に支持される杭の遠心模型実験を世界に先駆けて行い、極限状態に至るまでの杭先端の沈下挙動を実験的に明らかにするとともに、先端荷重と沈下の関係を双曲線関数で近似する手法、および杭径と沈下量の比で定義される設計上の終局先端支持力を評価する手法を提案している。さらに、FEM 解析によって遠心模型実験結果を再現しうること、評価手法が実験と異なる地盤条件に対しても適用しうること、実杭の載荷試験結果例に対して評価法を適用して実際の設計式としても応用しうることを検証している。

本論文は 6 章から構成されており、その概要は以下に示す通りである。

第 1 章「序論」では、砂質土－粘性土の 2 層地盤に支持される杭の先端抵抗に関する既往の研究内容を示し、本論文の位置づけ、目的と構成を示している。建築基礎全体の鉛直方向の荷重に対する挙動を予測する上で、先端支持力が支配的な場所打ち杭を用いる場合には、杭先端の荷重沈下関係を適切に評価することが重要となる。地盤や建物の条件によっては、杭基礎の先端を下層が粘土層のやや薄い砂質土層に支持させる場合がある。このような場合の杭の先端抵抗は支持層の下部にある粘性土層の影響を受けるため、砂質土－粘性土の 2 層地盤に支持されるものとして評価する必要がある。従来先端支持力の評価法はいくつか提案されているものの適用性が十分に検証されていないこと、先端荷重沈下関係は数値解析以外には評価法がないことから実務では支持層が厚い場合の荷重沈下関係式が準用されていること、など研究と実務に関する現状と問題点が整理されている。

第 2 章「支持層がやや深部にある薄層支持杭の遠心模型実験」では、杭形状や応力状態を実物に対応させた模型杭の鉛直載荷試験（遠心加速度場）の結果を示して、支持層（砂質土）の層厚や相対密度が薄層支持杭の先端抵抗に与え

る影響を明らかにしている。また、支持層の有効層厚比、支持層と下部層（粘土層）の強度・変形特性を用いて先端荷重沈下関係および先端支持力を評価する手法を検討している。

第 3 章「支持層が深部にある薄層支持杭の遠心模型実験」では、支持層の強度と変形特性に関係する拘束圧の影響を把握することを目的として、杭先端深さが深部にある場合を模擬した遠心模型実験を行い、高拘束圧下における薄層支持杭の先端抵抗を明らかにするとともに、その評価法を検討している。なお、2 層地盤を対象にした遠心模型実験は世界でもほとんど例がなく、前章とあわせて地盤深部での拘束応力の影響を定量的に明らかにした実験結果として貴重なものである。

第 4 章「FEM 解析」では、汎用プログラムを用いて非線形 FEM 解析法を適用する場合の材料および構成則のモデル化手法を示して、遠心模型実験による先端荷重沈下関係を数値解析でも良好に再現しうることを確認している。また、同じモデルを用いて、遠心模型実験と異なる地盤条件の場合を対象にして解析を行い、提案する評価法の適用性を検討している。

第 5 章「先端荷重沈下関係および先端支持力等の評価法の提案」では、薄層支持杭の先端荷重沈下関係を弾性論の近似解に基づく初期剛性と 2 層地盤の支持力式による最大耐力によって双曲線関数で一義的に定式化する方法、およびこれを用いて杭径と沈下量の比で定義される設計上の終局先端支持力を評価する方法を提案し、実験結果と比較して評価精度を検証している。また、薄層支持であるかどうかを判定する指標を導入し、提案する評価法の適用条件を検討している。さらに、実杭の設計に対する適用方法を示して、薄層支持となる場所打ち杭 2 例と埋込み杭 2 例の実杭の載荷試験結果と比較することにより、評価法の精度を実証している。

第 6 章「結論」では、本研究を通して得られた結果や知見を総括して示している。本論文では、従来実用的な評価手法が確立していなかった砂質土-粘性土の 2 層地盤に支持される杭の先端支持力、荷重沈下関係の評価法を提案し、評価法の妥当性を広範な実験的研究および解析的研究により検証したものであり、研究手法が高度で研究成果として独自性と新規性があるだけでなく、建物の杭基礎の設計実務に応用する方法まで検討して工学的にも有用な結果であることが示されている。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。