

氏 名	おお かわ かつ のり 大 川 賢 紀
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3761 号
学位授与の日付	平 成 15 年 11 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	斜杭を有する群杭基礎の静的および動的力学特性に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 田 村 武 教 授 佐 藤 忠 信 助教授 木 村 亮

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、遠心模型実験ならびに数値解析手法を用いて斜杭群杭の静的、動的挙動を明らかにし、その実際への適用について考察したもので全体で6章から成っている。

第1章は序論であり、研究の背景、対象、目的および既往の研究を述べている。

第2章では、斜杭を有する群杭基礎の静的挙動を述べている。はじめに種々の角度をもつ単杭の性質を調べ、その傾斜角が大きい杭は杭の軸力および地盤の受動土圧で水平荷重を負担していることを示した。さらに、斜杭を有する群杭では、杭頭の拘束条件や杭間隔によって挙動が異なること、最前列の杭の負担率が大きくなる点など、斜杭を用いる場合に設計上、注意すべきことを明らかにした。また、繰り返し載荷試験を通して、斜杭には大きな軸力が発生し、大変形時には座屈が生じる危険もあることを指摘している。この場合にも、杭間隔を大きくすることで荷重分担率を均等化すれば、さらに斜杭の優位性を確保できることを示した。一方、3次元有限要素法により、上記の実験結果を模擬できることを確認し、これを用いて静的な水平荷重下において同一規模の直杭群杭よりも斜杭群杭は適切な杭の間隔と傾斜角を選定することにより水平支持力を効率よく増加させることができることを明らかにした。

第3章では、斜杭を有する群杭基礎の動的挙動を述べている。実際の応力と等価な応力状態で地盤の動的挙動を再現するために、遠心力場でせん断土槽を利用した地盤の加振実験技術を開発し、この実験手法により、密度の異なる砂地盤中において、地盤の密度が地盤と杭体の応答特性に大きな影響を与えることを確認した。動的遠心模型実験の結果、斜杭群杭では地表の応答が上部構造において増幅されにくいため、上部構造の慣性力が杭の断面力に与える影響は低減されることを示した。また、斜杭群杭は、上部構造の慣性力と杭の断面力との相関が小さいことや、従来の慣性力主体の設計手法では杭の断面力を過小評価する恐れがあることを実験的に明らかにした。特に、軟弱地盤に斜杭群杭を設置する場合には、地盤変位の影響を強く受けて、杭の最大曲げモーメントが地中部で大きくなる可能性があるため、設計に当たっては地盤と杭の動的相互作用を適切に考慮することが重要であると指摘した。

第4章では、斜杭を有する群杭基礎に対する一体系動的解析手法の適用性評価とパラメトリックスタディを行っている。3次元有限要素法により、動的遠心模型実験のプロトタイプを対象として、砂の弾塑性応力-ひずみ関係を用いた地盤の動的解析と実験を比較し、その妥当性を示したあと、地盤-単杭の一体系動的解析により、動的遠心模型実験で得られた地盤および上部構造の応答、地中部での杭の曲げ変形挙動を概ね模擬できることを示し、単杭と地盤の動的相互作用を行った。さらに、地盤-群杭-上部構造系一体系動的解析を実施し、実験と数値解析により対応があることを確認した。杭の変形および断面力に地盤変位が与える影響を評価し、杭自体の変形挙動に地盤の変位が大きな影響を与えることを明らかにした。また、従来の応答変位法や分離法と比較して、この数値解析法が実験とよく対応するとともに、設計が安全側に評価できることを確認した。そして、斜杭群杭では地中部での変位や曲げモーメントが大きくなることなど、直杭群杭と異なる挙動を呈することを説明した。これにより、斜杭を有する鋼管杭基礎の耐震性を評価する有効な手法であることや、群杭に

斜杭を含めることによる有効性や問題点を静的な考察との比較から考察した。

第5章では、斜杭を有する実大鋼管杭基礎の支持性能評価を行っている。地盤－杭基礎－ジャケット－橋脚の骨組みモデルによりプッシュオーバーアナリシスを実施した。これより、地震時保有水平耐力を確認し、現行の指針の照査基準を満たす基礎構造の試設計を行った。また、3次元有限要素法を用いて、鋼管杭基礎を対象に地盤－群杭－ジャケット－上下部構造の一体動的解析を行い、群杭の動的挙動における斜杭の効果を評価した。その結果、斜杭を用いると水平化速度や水平変位を低減できる上、基礎内側の地盤変位を抑制できるが、一方で、鉛直変位や回転角はやや大きくなることが明らかにした。特に最前列の斜杭の杭頭部での断面力が顕著に大きくなることなど、設計上で注意すべき点を述べた。また、従来から用いられている分離法や応答変位法では、杭の位置による大きな影響は見られなかったが、一体系動的解析ではその違いが顕著になった。特に、静的解析では斜杭群杭の変形、断面力とも直杭群杭よりも小さくなるが、一体系動的解析では、斜杭群杭の断面力が大きくなる場合があることを示した。さらに、一体系動的解析において、杭の軸力による曲げ剛性の変化を考慮したモデル、すなわち、軸力変動モデルを用いることにより、軸力の大きくなる斜杭の挙動が適切に評価されることを明らかにした。

第6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、実際の地盤に近い応力状態のもとで再現が可能な遠心载荷実験手法と3次元静的・動的弾塑性有限要素法を用いて、斜杭を含む群杭基礎の力学特性を検討したものである。とくに斜杭を有する群杭基礎の支持力性能の評価、ならびに、上下部一体構造における斜杭を有する群杭の地震時挙動の耐震性能評価に焦点を置いて考察した。得られた成果の主たるものは以下の通りである。

1. 斜杭の静的な力学特性を検討するために、単杭、2本杭および4本杭に対する水平载荷実験を行い、杭頭部の拘束条件、杭の傾斜角、杭間隔等の条件が水平抵抗に及ぼす影響を明らかにした。また、8本杭に対する繰り返し水平载荷試験により群杭の終局挙動を調べ、その結果、斜杭に大きな軸力が発生するため座屈の危険性があること、杭間隔を大きくすることでそれが緩和できることを示した。
2. 3次元静的有限要素法を用いて上記の実験を模擬し、斜杭の角度を大きくすることにより軸力は増大するものの設計を支配する曲げによる応力が軽減されることを示した。これより、同一規模の直杭群杭と比べて斜杭群杭は適切な角度と杭間隔を設定することにより水平支持力を大きくすることが示された。
3. 動的な载荷の可能な遠心载荷システムを開発し、これを用いて密度の異なる砂地盤における単杭の動的挙動を明らかにしたあと、8本の群杭では直杭よりも斜杭の方が上部構造の慣性力の影響を低減できることを示した。また、軟弱な地盤に斜杭群杭を用いる場合には、地盤変位の影響を受け、地中部で曲げモーメントが最大になる可能性があるため、設計にあたっては地盤と杭の相互作用を考慮することが必要であることを指摘した。
4. 3次元動的有限要素法を用いて単杭の実験が模擬できることを示したあと、地盤－群杭－上部構造からなる一体系の解析でも十分な精度で実験が再現できることも確認した。そして群杭に対する既存の設計手法による結果と比較しながら、この数値解析手法によれば安全側の結果が得られることがわかった。さらに種々の条件に対する数値計算により、動的な場合には、斜杭の角度や杭間隔を大きくすることが必ずしも設計に有利に働くものではないことを明らかにした。
5. 鋼管基礎においても、地震時では直杭群杭より斜杭群杭上部構造の応答を低減でき、地盤変位も小さくなることから、杭への負担が小さくなること、および、最前列にある斜杭の断面力が大きくなるため、杭の傾斜角や杭間隔の調整が重要であることを指摘した。さらに、杭自体の力学モデルが設計に大きく影響を与えるため、杭の軸力変動を考慮した一体系の動的解析が重要となることを明らかにした。

以上要するに本論文は、これまであまり用いられてこなかった斜杭群杭の大規模構造物の基礎への具体的な適用方法を種々の観点から考察したものであり、實際上、学術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15年10月14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。