

京都大学	博士 (工 学)	氏名	中 西 啓 二
論文題目	パイルド・ラフト基礎の常時及び地震時の挙動と杭の最適配置設計に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>パイルド・ラフト基礎は、直接基礎に杭を併用して沈下量を制御することにより、先端支持杭などに比べて基礎の物量を低減できる合理的な基礎構造で、最近適用例および適用範囲が拡大されつつある。本論文は、パイルド・ラフト基礎の長期荷重時および地震時の挙動を実建物に対する観測結果との比較を通じて詳細に検討し、その挙動予測式を組み込んだ杭位置および長さに関する最適設計法を提案したものであり、以下の5章から構成されている。</p> <p>第1章は、本論文の目的と意義について述べている。本論文の目的は、これまで最適化手法がほとんど導入されていない建築基礎構造の分野において、パイルド・ラフト基礎を対象として杭配置決定までの構造設計者・技術者の負荷を低減することを目的として、有限要素モデルと弾性論に基づく地盤ばねから構成されるハイブリッド法を用いた簡易沈下解析法と、杭の配置と長さを合理的に決定する最適設計の手法を組み合わせた解析法を提案することにあることを述べている。</p> <p>第2章では、パイルド・ラフト基礎の常時荷重時における沈下解析法について記述している。パイルド・ラフト基礎は、杭の摩擦力による抵抗と、ラフト（直接基礎）の地盤による抵抗の2つの沈下抵抗の組み合わせにより支持されるため、両者の相互作用を考慮した沈下解析法が必要となる。本論文では基礎を格子梁にモデル化し、ラフトには地盤の沈下剛性をモデル化した地盤ばね、杭については杭と地盤の相対沈下量に基づく沈下抵抗ばねをウインクラーばねでモデル化している。また、地盤ばねと杭ばねは弾性論にもとづき評価し、地盤の鉛直ひずみに応じた剛性低下を考慮している。このラフトばねと杭ばねを基礎の格子梁モデルに適用して応力解析を行い、ラフトばねの反力を用いて再度ラフトばねを計算して上記計算を繰り返し、ラフト全節点における沈下量が収束するまで繰り返し計算を行っている。また、実建物の沈下量の実測値と解析値を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。</p> <p>第3章では、常時荷重を受けるパイルド・ラフト基礎の杭の最適配置設計法について述べている。第2章で述べた常時荷重を受けるパイルド・ラフト基礎の沈下解析法を用いて沈下量を評価し、その沈下量が制限値以下となる制約条件のもとで、すべての杭の総長さを評価関数として最小化する設計法について述べている。最適化手法としては逐次線形計画法を適用し、制約条件を構成する沈下量の設計変数（杭長）に関する感度を大ステップ数値感度解析により評価している。その妥当性については種々のステップ長に関する検討により明らかにしている。最適化の方法として、各杭を個別に最適化する方法と、荷重分布に応じてあらかじめ設計者が杭長さをいくつかのグループに分けてグループ毎に最適化する方法について比較検討している。その結果、グループ最適化の方が設計者に受け入れられやすい配置が得られることを明らかにしている。さらに、パイルド・ラフト基礎を採用した実建物に適用して得られた杭の最適配置結果が、実設計に近い配置となったことを通じて、グループ最適化の有効性を明らかにしている。</p>			

第4章では、パイルド・ラフト基礎の地震荷重に対する応力解析法について記述している。地震時に上部建物から基礎に作用する荷重には、水平方向せん断力と転倒モーメントがある。地震時荷重の内、水平せん断力に対しては、ラフト下面の摩擦力及び杭の水平方向反力で抵抗し、転倒モーメントに対しては、ラフト下面の鉛直方向反力及び杭の側面摩擦力及び先端支持力で抵抗する。第4章では、本論文で提案する地震荷重に対する相互作用を考慮したハイブリッド法は、第2章で示した鉛直方向荷重に対するハイブリッド法に、水平方向せん断力に抵抗するラフトの水平ばねと杭側面の水平ばねを追加することにより構築できることを明らかにしている。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果を次のようにまとめている。

- (1) パイルド・ラフト基礎に対して、地盤の応力-ひずみ関係における非線形特性を考慮してラフト-杭-地盤の相互作用を組み込んだ沈下解析法を展開した。
- (2) 上記沈下解析法を用いて、沈下量がある制限値以下で杭のコストを最小にする杭の配置と長さを決定する最適設計手法を提案した。具体的には、杭長に関する大ステップ数値感度解析と逐次線形計画法を有効に組み合わせた新しい方法を考案し、杭の最適な配置と長さを決定する方法を提案した。この大ステップ数値感度解析は、杭長さを1 mピッチで短縮する方法を採用しており、杭の施工性の観点にも配慮した実用的な解析法であるといえる。
- (3) パイルド・ラフト基礎の地震荷重に対する応力解析法は、第2章で示した鉛直方向荷重に対するハイブリッド法に、ラフトの水平ばねと杭側面の水平ばねを追加することにより構築できる。すなわち、地盤全体の水平挙動を表す土柱せん断ばねを弾性論から導き、水平方向せん断力に抵抗するラフトの水平ばねと杭側面の水平ばねをこの土柱せん断ばねと連結したモデルを用いて構築できる。
- (4) 実建物に対する FEM 解析及び沈下計測結果との比較を通じて、本提案沈下解析法は十分な精度を有することを明らかにした。また、最適設計されたパイルド・ラフト基礎についてもその有効性が明らかとなり、十分な精度を有することを明らかにした。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、パイルド・ラフト基礎の長期荷重時および地震時の挙動を実建物に対する観測結果との比較を通じて詳細に検討し、その挙動簡易評価法を組み込んだ杭位置および長さに関する最適設計法を提案したものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. パイルド・ラフト基礎に対して、地盤の応力-ひずみ関係における非線形特性を考慮してラフト-杭-地盤の相互作用を組み込んだ沈下解析法（有限要素モデルと弾性論に基づく地盤ばねから構成されるハイブリッド法）を展開した。
2. 上記沈下解析法を用いて、沈下量がある制限値以下で杭のコストを最小にする杭の配置と長さを決定する最適設計手法を提案した。具体的には、杭長に関する大ステップ数値感度解析と逐次線形計画法を有効に組み合わせた新しい方法を考案し、杭の最適な配置と長さを決定する方法を提案した。この大ステップ数値感度解析は、杭の施工性の観点にも配慮した実用的な解析法であるといえる。
3. 上記最適設計法において高効率と高精度を同時に達成するためには、1ステップでの杭の短縮長さの上限値であるムーブリミットをステップに応じて変化させることが重要である。また、実用的な解を得るためには、荷重分布を考慮した杭長さのグルーピングが有効であることを明らかにした。
4. パイルド・ラフト基礎の地震荷重に対する応力解析法は、第2章で示した鉛直方向荷重に対するハイブリッド法に、ラフトの水平ばねと杭側面の水平ばねを追加することにより構築できる。すなわち、地盤全体の水平挙動を表す土柱せん断ばねを弾性論から導き、ラフトの水平ばねと杭側面の水平ばねをこの土柱せん断ばねと連結したモデルを用いて構築できる。
5. 実建物に対する FEM 解析及び沈下計測結果との比較を通じて、本提案沈下解析法は十分な精度を有することを明らかにした。また、最適設計されたパイルド・ラフト基礎の詳細な分析から、本最適設計法は有効かつ十分な精度を有することを明らかにした。

以上要するに本論文は、パイルド・ラフト基礎の長期荷重時および地震時の挙動を実建物に対する観測結果との比較を通じて詳細に検討し、その挙動簡易評価法を組み込んだ杭位置および長さに関する最適設計法を提案したものであり、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、平成22年12月7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。