

氏 名 塩 井 幸 武

授 与 学 位 博 士 (工 学)

学位授与年月日 平成 4 年 3 月 18 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭 和 38 年 3 月

東北大学工学部土木工学科卒業

学 位 論 文 題 目 多柱式基礎の設計法に関する基礎的研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 柳澤 栄司 東北大学教授 倉西 茂

東北大学教授 杉村 義広 東北大学教授 三浦 尚

論 文 内 容 要 旨

多柱式基礎(図-1)は水深の大きい海中や湖中に基礎を設置する場合に、仮締切工などを用いず水面より杭を直杭か斜杭の併用で打設し、杭頭を気中において頂版で結合して基礎とするもので、杭基礎の一種である。同基礎は施工が比較的容易で、適用範囲の広い、経済的な基礎工法であるが、水平荷重やモーメントに対して杭基礎よりも変形が大きいという弱点も有する。一方、一般化された設計基準が整備されていないところから採用例は比較的少ないのが現状である。

本研究は多柱式基礎の設計方法を合理化することを目的に試験、研究、解析を行い、その結果を取りまとめたものである。

第1章では、既存の各種設計方法をみなおし、設計上の課題を明らかにした。

第2章では、多柱式基礎に関する過去の研究成果を調べた結果、鉛直杭のみの多柱式基礎では対処できない課題、すなわち自由長の大きい、大型基礎の場合の水平荷重への対策が研究課題として明らかになった。

第3章では、多柱式基礎の構造特性と斜杭の導入効果を中心に解析を進めた。

杭群の鉛直荷重の分担には頂版の剛性が最も大きく影響し、斜杭の影響は小さい。そのために頂版の剛性率で鉛直荷重の分担率を評価できることを明らかにし、杭頭をばね支承とするモデルによる分担率の簡便計算法を提案した。

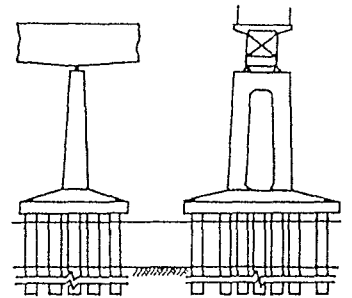


図-1 多柱式基礎

水平荷重の分担については斜杭の存在とその角度の影響が大きく、(図-2)他の因子の影響は小さい。また、斜杭の存在は水平変位量の低減、頂版や杭の曲げモーメントの低減にも効果大きい。その効果は角度や自由長が大きいほど、軟弱な地盤ほど著しい。

回転ねじりモーメントに対する、斜杭を含む多柱式基礎全体の抵抗モーメントの理論計算式を提案した。それによって回転ねじりモーメントを杭単体のねじり抵抗と杭の水平抵抗で分担できることを示すとともに斜杭の存在がねじりモーメント

にも効果的で、自由長が長くなるほど有効であることを示した。また、杭単体のねじり抵抗に重要な役割を果たす地盤のせん断反力係数は杭の軸方向ばね定数から求めるのが適切であることを明らかにした。

地震時の多柱式基礎の挙動を調べるために静的、動的解析を行い、斜杭の導入効果の大きいことを確認した。その効果は動的解析で著しく、長周期成分を含む波動に対しては特に顕著に表れる。

第4章では、多柱式基礎の現場模型、小型模型、大型部分模型で載荷試験を行い、設計理論の仮定条件の妥当性、適用範囲などの検証を含めて試験結果の解析から理論の信頼性を確認した。

旧土木研究所千葉支所の現場模型における軸心および偏心水平載荷試験は終局状態に到るまでの過程をみることをねらったが、一部に塑性化のみられたものの双方の荷重に対して十分な耐力とねばり強さを有する構造系であることを示した。また、第3章の解析結果との対応もよく、群杭効果の影響も小さいところから理論の適用性の高いことが判明した。

アクリル樹脂製の小型模型は直杭のみの場合と短辺方向、長辺方向にそれぞれ斜杭をもつ場合の3モデルからなる。各種の載荷試験を通じて多柱式基礎の構造特性を調べた。試験における実測値は解析値と良好な対応を示した。特に斜杭が存在したときの挙動は解析値とほぼ一致することから第3章の結果を検証するものになった。

多柱式基礎が巨大化した場合の断面形状、特に構造上の弱点となりやすい頂版と柱の接合部を中心に力学的挙動を調べるために、大型の部分模型7体による搭載試験を実施した。その結果、部材応力などは軸線骨組みの不静定解析よりは有限要素法(FEM)解析の方が適合性のよいことがわかった。他にPRC構造のプレストレスの有効性、ハンチの大きな効果、構造系のねばり強さなどが証明された。

第5章では、多柱式基礎を構成する頂版、杭、両者の結合部の設計方法について解析、実験、実績調査で検討した。特に地震時の慣性力を減らすために頂版を薄くするときの力学的挙動が重要である。

頂版については第4章の小型規模試験における頂版の応力測定値を解析した結果、水平軸心載荷試験では主に曲げモーメントを受けるが、水平偏心載荷試験の斜杭のあるモデルではせん断力が卓

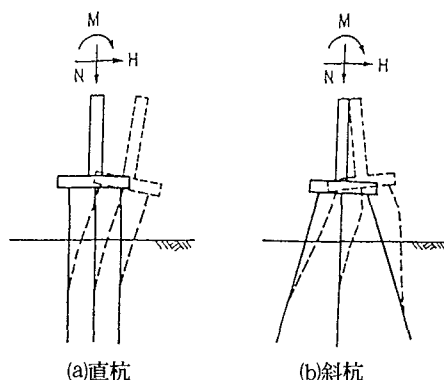


図-2 多柱式基礎の挙動

越する。そのために十分なせん断補強筋を必要とする。解析には複合構造解析モデルが優れている。

多柱の頭部、すなわち頂版との結合部については影響の大きい押抜きせん断力と曲げモーメントに対して安全でなければならない。施工性も考慮した試験体3体を中心に搭載試験（押抜き、曲げ）を実施した。そのうちで新たに对案したフープジベルによる柱頭部埋込方式（図-3）が押抜きせん断力、曲げモーメントに対して最も優れた結果を示し、推奨できるものになった。

柱にあたる杭の補強および防食方法については過去の多柱式基礎での試験研究の成果を利用すればよいことがわかった。

第6章では、地震時の水平変位量対策を念頭において新しい設計手法の提案、設計の流れに対応する各種解析方法の位置付け、耐震性の評価のための動的解析の取扱いについて論じた。

複合構造解析モデル（図-4）は頂版をシェル要素、杭を立体梁要素として両者をシェル面上の仮想の立体梁要素を介して結合した新しい有限要素法のモデルである。本モデルを用いた解析結果は模型実験の実測値との対応も良く、他の解析方法によね結果とのつながりも良い。頂版の上下面の応力、局所的な曲げなどの算出に特色を持ち、実務計算に十分な精度を有している。

多柱式基礎の適用範囲は広いので橋梁の規模、設計の各段階に応じて適切な解析手法の位置付け（図-5）を提案した。それによって無駄な労力をかけずに手順を追って設計諸元を適切なものに絞りこんでいくことができる。

多柱式基礎の設計は一般に修正震度法などによる静的な計算法で行われる。しかし、多柱式基礎は長周期構造物であるために厚い軟弱地盤のようなところでは共振の可能性のあることを指摘し、動的解析の重要性を示した。また、斜杭併用の基礎の特異な振動性状から橋梁全体系での解析の必要性も示し、解析モデルの簡略化の方法を例示した。

第7章の結論では、以上の調査、構造解析、振動解析、各種載荷試験などを通じて得られた成果をとりまとめた。主なものは次のとおりである。

(1) 多柱式基礎は水中基礎として多くの優れた利点を有し、鉛直杭のみのものについては既に設計

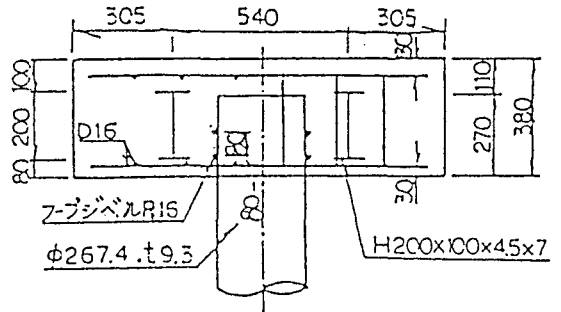


図-3 柱頭部埋込方式のモデル

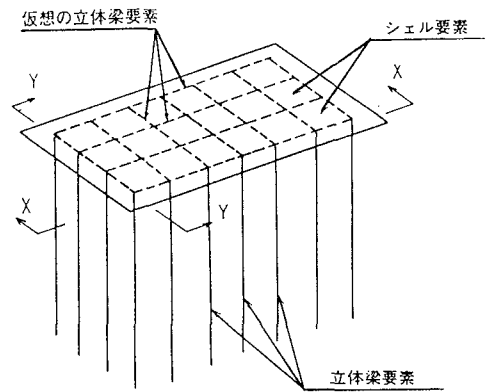


図-4 複合構造解析モデル

法が完成の域に達しているが、自由長の大きい大規模な基礎については地震時の水平変位量の点から設計不能になることがある。

- (2) 鉛直方向の荷重分担には頂版の剛性が、水平方向の荷重分担には斜杭の存在が有効である。
- (3) 回転ねじりモーメントに対する、斜杭を含む基礎全体のねじり抵抗の理論式を導いた。
- (4) 多柱式基礎は水平荷重、ねじりモーメントに対してねばり強い挙動を示し、群杭効果も小さい。
- (5) 頂版の剛性が相対的に大きいと部材応力の算定には軸線骨組み構造解析よりも FEM 解析の方が適合する。
- (6) 地震時の慣性力を減らすために薄くした頂版では杭反力による曲げモーメント、偏心搭載時のせん断力による影響が大きくなる。
- (7) 頂版と杭の結合方法はフープジベルによるものがよい。
- (8) 薄い頂版の多柱式基礎の解析モデルとして開発した複合構造解析モデルは精度の点からも実用に耐えるものである。
- (9) 長周期の振動が卓越する地盤上の多柱式基礎にあっては動的解析による照査が必要である。
- (10) 多柱式基礎の設計段階に応じて各種解析手法の位置付けを試み、その使い分けができるようになった。

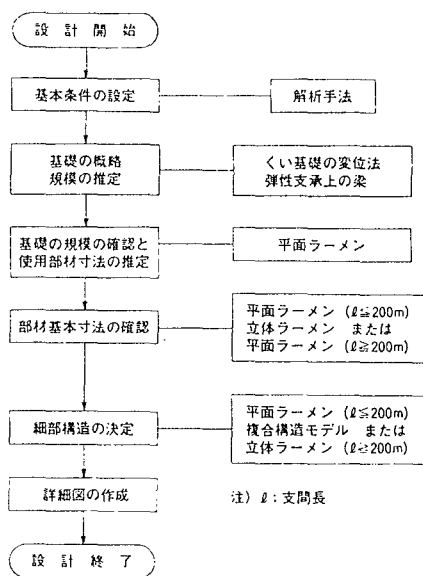


図-5 解析手法の位置付け

本研究によって多柱式基礎の水平変位量を減らす為に斜杭の導入、頂版の厚さの低減を図った設計が可能になり、回転ねじりモーメントにも合理的な設計ができるようになった。それにとりなう構造細目についても具体的な対応策が明らかにされた。

また、個々の成果は多柱式基礎の設計基準のための基礎資料となるばかりでなく、大水深で高い桁下空間の大規模橋梁への多柱式基礎の採用など、その適用範囲を拡げるものになることが期待される。

審査結果の要旨

多柱式基礎は、海中でも施工ができる適用範囲の広い経済的な基礎形式の一つであるが、通常の杭基礎に比べて変形が大きいなど克服すべき問題点がある。本論文は、斜杭を用いることによる効果を模型実験および搭載試験等により検討し、杭群および頂版の相互作用を明らかにすることにより基礎構造の合理的な設計方法を対案するなどの成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、多柱式基礎に関する過去の研究成果を調べ、自由長の大きい大型基礎の場合の問題点として水平荷重に対する対策と頂版の軽量化による耐震性の向上などが研究課題であることを明らかにしている。

第3章は、斜杭を導入した場合に頂版の剛性による杭群の荷重分担率の変化を解析する簡易解析手法を提案し、斜杭の角度と本数および頂版の剛性による杭の荷重分担率の変化について検討したものである。この結果、斜杭が水平変位の抑制に著しい効果を示すこと、ねじり抵抗の増大にも寄与することおよび頂版の剛性が杭の荷重分担率に大きく影響することなどを明らかにしている。

第4章では、多柱式基礎の小型模型、現場模型および大型部分模型を用いて搭載試験を行った結果について述べている。小型模型実験では、直杭のみの場合と斜杭を持つ場合について搭載実験を行い、多柱式基礎の構造特性を調べている。また、現場模型実験では偏心水平搭載試験により杭の耐力特性と頂版の応力状態について検討し、水平およびねじれに対して十分抵抗力を発揮する構造であることを確かめている。これは重要な知見である。

第5章では、頂版と杭の接合部について、押抜きおよび曲げ試験を実施し、杭頭の結合方法と頂版内の応力状態について検討を行っている。水平力に対してはせん断補強筋が、また、押抜きせん断力や曲げモーメントに対してはフープジベルなどが有効であることを実証している。これは新しい知見である。

第6章では、シェル要素と立体梁要素を組み合わせた複合複合解析モデルより、多柱式基礎の応力解析が実用上十分な精度で行えることを示し、設計の各段階に応じた解析方法と設計の手順について提言を行っている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、多柱式基礎の構造の構造特性を数値解析および模型実験により検討し、大型橋梁基礎としての設計手法を確立したものであり、土木工学および土質基礎工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。