

学位論文題名

大口径鋼管杭の支持力の動的測定方法に関する研究

学位論文内容の要旨

東京湾横断道路では、海中構造物の基礎杭として、打込み工法による鋼管杭を大量に使用した。当時国内では、大口径のしかも海洋杭に関する施工実績が少なく、杭の打込性、杭の打ち止め時の支持力管理方法等について不明な点が多く、大口径杭の採用に当たっては、構造物の信頼性、経済性を確保する観点から次の問題を明らかにする必要があった。

- (1) 施工能率や中間層の打抜きなどの施工性を把握し、同時に、打撃中の杭頭座屈・損傷の発生、杭打ちに伴う海底地盤の振動が底生生物に及ぼす影響等を調査、確認すること。
- (2) 大口径杭の支持力を推定するために、杭先端の閉塞効果や杭内面の摩擦力の有効性など、大口径長尺杭の支持力機構を明らかにすること。
- (3) 支持力管理方法について、比較的小口径の陸上施工杭を対象に研究開発されてきた管理方法の大口径杭への適用性を確認し、適用できない場合のこれに代わる管理方法を確立すること。

これらの問題を解明するため、東京湾横断道路では、3回にわたり、原位置における静的および動的載荷試験を実施した。

第1回試験は、施工性の検討と支持力確認試験である。試験結果から、杭打ち機の仕様に関する資料が得られた。また、大口径杭の場合、先端閉塞効果は見られないものの、杭の内周面摩擦が期待できるなど、その支持力機構に関する知見が得られた。

第2回試験は、杭の動的支持力管理方法である「杭頭計測法」の適用性の確認を目的として実施した。杭頭計測方法によって推定した静的支持力は、静的載荷試験の結果よりも小さな値であり、推定値として十分な精度を有するとは言い難く、杭頭計測法の東京湾横断道路への適用には問題があるとの結論に達した。

しかし、試験が、日本の建設市場への参入をめぐる日米政府間協議のさ中に行われたこともあって、米国は、本試験の管理方法として、「波動理論にもとづく杭の支持力管理方法」の導入を強く要請した。波動理論にもとづく管理方法は、国内では認知されておらず、導入の是非を判断するために、杭の動的貫入抵抗と静的支持力の関係、波動理論による支持力管理方法の適用性に関し、より精度の高い技術的な検討を行うこととなった。

第3回試験は、上記のような経緯で実施されることとなり、より精度の高い動的測定方法として本論文の骨格となる「多点測定法」すなわち、杭中の多数の断面で杭の動的挙動を測

定し、打撃中の地盤の抵抗を直接測定する方法を提案、採用した。試験の結果、「多点測定方法」では、静的載荷試験による降伏支持力を精度良く推定できたのに対し、「杭頭計測法」では、第2回試験同様、静的支持力よりも小さな値を示した。

本研究は、これらの試験結果をもとに、打込み杭の支持力を動的な測定によって推定する方法を対象とし、打ち止め管理法、支持力の算定方法を確立することを目的として行ったものである。

本論文は、序論を含み7章から構成される。序論では、研究の背景および目的と論文の概要を示す。

第2章では、杭の支持力の動的管理方法について概括し、「杭打ち公式」の理論的根拠と問題点、「波動理論による杭の支持力管理方法」の理論と応用の現況について述べ、杭の支持力管理方法の全体枠組みを示す。

第3章は、本論文が対象とする東京湾横断道路の工事の概要、本論文執筆のきっかけとなった大口径海洋杭の支持力管理の問題点について述べこれらの問題点を明らかにするために実施した載荷試験とその結果の概要を示す。

第4章は、杭頭計測方法について論じる。杭頭計測方法は、波動理論にもとづく杭の支持力測定方法として世界的に用いられている方法である。しかし、杭頭で観測される地盤の抵抗は、打撃力として入力される作用力に対して発揮される地盤の反力であるため、本実験ならびに実際の杭打ち施工時に、十分な打撃力を与えることが難しい東京湾横断道路では、杭支持力の管理方法として杭頭計測法を適用するには問題があった。本論文では、その原因を明らかにし、適用限界を理論的に示した。

第5章は、本論文の骨格部分となる「多点測定方法による杭の支持力の測定」について、その理論、測定技術および解析方法を論じる。多点測定方法は、本研究において世界で初めて実施した杭の動的載荷試験方法で、杭中の多数の断面での杭の動的挙動を同時測定することを特徴としている。この方法では、これまで推定によってしか知ることのできなかった地盤の動的抵抗を直接的に測定することができる。今回の動的載荷試験では、地盤の動的貫入抵抗に比し、打撃力が小さく、地盤の支持力を杭頭計測方法で推定するには、打撃力不足であることが指摘された。しかし、多点測定方法で地盤抵抗の軸力分布を測定することによって、地盤の支持力回復現象が推定でき、これによって終局的な杭の静的支持力を算定することが可能となった。

第6章は、打込み杭の支持力管理を簡略に行うための「支持力の簡易管理方法」について、その理論および適用性の検討結果を示す。波動理論に基づく杭頭計測方法、多点測定方法を高精度の測定技術と位置付けるとすれば、杭の貫入量やリバウンドなどの打込み記録のみを用いる方法は、簡易方法として位置付けられ、この中には、杭の動的支持力公式も含まれるが、本論文で提案する方法は、杭頭での打撃力の時間波形を推定し、これと杭の貫入量から波動理論解析によって、杭の動的貫入抵抗を算定する方法である。

測定解析に時間と多額の費用を要する杭頭計測方法に代わる一般的な施工管理方法として提案するものである。

第7章は、論文全体の結論である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 田 地 利 之
副 査 教 授 土 岐 祥 介
副 査 教 授 三 上 隆
副 査 教 授 角 田 典 史 雄

学位論文題名

大口径鋼管杭の支持力の動的測定方法に関する研究

従来、基礎杭の支持力の算定には、比較的小口径の陸上施工杭を対象に研究開発された杭打ち公式が用いられてきたが、東京湾横断道路の工事にあたって海中構造物の基礎杭として、直径2 mに及ぶ大口径の長尺鋼管杭が打込工法によって大量に施工されることに伴い、以下の問題を明らかにする必要性が生じた。

- (1) 杭先端の閉塞効果や杭内面の摩擦力の有効性など、大口径長尺杭の支持力発現機構を明らかにすること。
- (2) 従来の支持力算定方法の大口径杭への適用性を検討し、代替法を確立すること。

これらの問題を解明するため、本研究では3回にわたって原位置における静的および動的載荷試験を実施し、以下のような知見を得ている。

施工性の検討と支持力確認を目的に実施した第1回試験結果から、大口径杭の場合、先端閉塞効果は見られないものの、杭の内周面摩擦が期待できることが確認された。また、杭の動的支持力算定方法である「杭頭計測法」の適用性の確認を目的として実施した第2回試験の結果から、支持力の算定値は十分な精度を有するとは言い難く、東京湾横断道路における杭の支持力算定への適用には問題があるとの結論を得た。

第3回試験では、より精度の高い動的測定方法として本論文の骨格となる「多点測定法」すなわち、杭中の多数の断面で杭の動的挙動を測定して打撃中の地盤の抵抗を直接算定する方法を提案、採用し、試験の結果から、静的載荷試験による降伏支持力を精度良く推定できることを示した。

本研究は以上のような背景の下に、打込み杭の支持力を動的計測によって推定する方法を対象とし、測定方法、杭の支持力の算定方法を確立することを目的としたもので、波動理論の応用による杭の支持力測定技術を確立するとともに、実施工でその有用性を確認している。

本論文は7章から構成されるが、研究の成果を章毎に要約すると以下のものである。

第1章では研究の背景および目的と論文の概要を示している。

第2章では、杭の支持力算定方法について概括し、杭打ち公式の理論的根拠と問題点、波動理論による杭の支持力算定方法の理論と応用の現況について述べ、杭の支持力算定方法全体の枠組みを示している。

第3章では、東京湾横断道路工事の概要および大口径海洋杭の支持力算定上の問題点を明らかにするために実施した載荷試験とその結果の概要を示し、本論文の位置付けを行っている。

第4章では、波動理論に基づく杭の支持力算定方法として世界的に用いられている杭頭計測方法について論じている。この方法による場合、杭頭で観測される抵抗は、打撃力として与えた作用力に対して発揮される地盤の反力である。したがって東京湾横断道路工事の場合のように、実際の杭打ち施工時に十分な打撃力を与えることが難しい場合には、この方法を適用するには問題があることを指摘し、適用限界を理論的に示した。

第5章では、本論文の骨格部分となる多点測定方法による杭の支持力算定方法について、その理論、測定技術および解析方法について論じている。多点測定方法は、本研究において世界で始めて実施した杭の動的載荷試験方法で、杭中の多数の断面での杭の動的挙動を同時測定することを特徴としている。この方法によれば、地盤の動的貫入抵抗に比して打撃力が小さい場合でも、地盤抵抗の杭軸方向分布を測定することによって、地盤の支持力回復現象が推定でき、これによって終局的な杭の静的支持力が算定可能であることを示している。

第6章では、打込み杭の支持力の簡易算定方法について、その理論および適用性の検討結果を示している。この方法は杭の貫入量やリバウンドなどの打込み記録のみを用いるもので、測定データから杭頭での打撃力の時間波形を推定し、これと杭の貫入量から波動理論解析によって、杭の動的貫入抵抗を算定する方法であり、簡易な施工管理方法として提案している。

第7章は本研究の結論であり、得られた知見を総括し、今後の研究課題を述べている。

これを要するに、著者は、海洋構造物の基礎として用いられるような大口径鋼管杭の支持力に関して、波動理論を応用した多点測定方法による新しい支持力算定方法を提案し、実大規模の実験結果によってその有用性を確認するとともに、実務上の便を考慮した簡易な施工管理方法をも提案したものであり、地盤工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。