

学 位 論 文 題 名

北海道の地盤・結氷特性に対応した橋梁下部工の
設計と施工に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は、北海道の脆弱な地盤特性を考慮した橋梁基礎工を選定するに当たって、実際に施工された各種橋梁基礎工の実用的な設計計算法を提案し、模型実験および現場実験試験などを通じてその提案の妥当性を検討したものである。

本論文では基礎工の施工に際して、基礎工が地盤から受ける作用力についての測定結果を示すなど、今後の軟弱な地盤における橋梁基礎工の設計・施工上重要な資料を提供するとともに、氷盤流が橋脚に与える磨耗量の予測法とその対策について、調査結果に基づく提案を行っている。

第1章では、本研究の目的と意義および既往の研究との関連を示している。

第2章では、北海道における土質の特性と、そのような地盤における構造物築造上の問題点に付いて述べている。

第3章では、北海道の軟弱地盤における橋梁基礎工の種類と、各基礎工それぞれの特性および基礎形式選定上考慮すべき諸因子について総括的に述べている。

第4章では、北海道における代表的な Problem Soil である泥炭性軟弱地盤や凝灰岩上における各種の橋梁基礎形式の選定にあたって新たに開発した工法や、従来工法に改良を加えた5種類の基礎工法について、実際の施工例をもとにしてその設計計算法、施工上の留意点などを、様々な観点より検討した結果を詳述している。

5 径間連続桁の橋脚基礎に採用した放射状斜組杭工法は、地震時に基礎に働く横方向力（水平力、回転モーメント）の作用方向に無関係に基礎杭の反力が生ずることに着目して、オイルダンパーを介して各橋脚への横方向力の分散を図ることを意図したものである。この基礎工法はここで最初に採用されたもので、杭基礎の多元連立方程式の解を求めるに当り、放射状斜組杭の実用的な計算法を提案している。その際、微分方程式の解を容易にするため導入した長さの次元を持つ“相対剛性係数 T ”は、その後、杭基礎の設計に広く応用されている。

深い軟弱地盤に適合し、かつ施工の安全性に着目した新しい形式の橋梁基礎工法として、ケー

ソン基礎と杭基礎の両者の特性を有する鋼管矢板井筒基礎工法を提案し、その設計・施工法について詳細な検討を行っている。この工法は橋梁基礎工としては最初に実用化されたもので、ここではその設計計算法、とくにウエル部も杭部と同様弾性体とした鋼管矢板井筒の横方向力に対する理論解を展開した。この際ウエル部の壁はその変位に応じて周辺地盤から深さに対応した変動土圧を極限とする弾塑性的反力を受けるものと仮定している。また本工法のウエル部の長さ、および各杭間の剛結度の影響を評価する為、模型実験の結果を検討している。

以上の工法は、いずれも打ち込み開端杭が基本の素材となっており、一般に開端杭の鉛直支持力は先端閉塞効果によって左右されることを示すとともに、打ち込み開端杭の支持力確保の為に重要な要素の一つである内実土砂による先端閉塞効果について、管内土の土質調査結果から求めた内実土砂の土質定数を導入した先端閉塞効果の計算結果と杭の軸方向載荷試験との対比を行っている。その結果、内実土砂による完全先端閉塞状態の開端杭の支持力の計算値は、鉛直載荷試験杭による降伏支持力を良く説明できることを示している。

北海道では実施例の少ない場所打ちコンクリート杭の振動性状については、とくに単杭と組杭の横方向力および振動に対する挙動の対比に関する実験的考察を行い組杭の耐振動性は杭本数比以上の大きな効果があることをリバースサーキュレーション杭の場合について明らかにしている。また組杭基礎の振動性状は、地盤の減衰性を考慮した剛体モデルを用いることによって良く説明できることを述べている。

掘削・沈設の深さが35mに及ぶ道内で施工された最深のオープンケーソン工法の設計・施工については、新たに採用された無載荷重沈設工法について述べている。

ケーソン工法は大きな外力に対して安定性の高い基礎形式であるが、また施工中に重大事故の多い工法でもある。従来、深いオープンケーソン工法の施工は1ロット毎に荷重の載荷、除荷を繰り返し、人力または機械で掘削・沈設するのが一般的な工程であるが、また施工時には常にクイックサンドやブローアップの危険性と直面している工法でもある。これに対して本論で述べた工法は河川の水面レベル以下は、自重と、土質に応じて壁面からの空気または水噴射工法の併用により水中機械掘削のみでオープンケーソンの沈設を実施するものである。ここで著者は、一連の施工の過程において、先端地盤の支持力の確認方法、沈設施工中壁面に働く間隙水圧及び土圧の変化、周辺地盤の攪乱の影響の回復法などについて詳細な検討を加え基礎工学上貴重な資料を提供している。

支持層が極めて深く、中間層に火山礫や玉石が存在し、施工上極めて困難な問題がある大支間の海洋橋の基礎としては、仮締切り兼用型地中連続壁工法により施工された逆巻きケーソン工法

について述べている。この工法はこれまで施工された同形式の基礎工法としては最大の深度（掘削深106m）を持つもので、水面下-76mまで人力掘削を行い、基礎躯体はコンクリートを逆巻で打設している。ここでは特に凝灰岩など火山性の岩が複雑に堆積する海底下約60mの躯体先端地盤の支持力の評価法、連続壁施工中に予想される最大外力に対する安定計算法などについて詳細に述べている。

第5章では、厳寒期に結氷する河川において融氷期に氷盤の移動に伴ってコンクリート製橋脚の上流部 Nose に発生する磨耗量の現地調査結果から、その磨耗速度 s と接触圧との関係を明らかにするとともに、磨耗に大きな影響を与える氷温、接触圧、および氷盤中の微細粒砂の含有量とその粒径分布に関する調査結果について考察を行っている。

これは碎氷流による影響を考慮した極寒地の河川や海岸におけるコンクリート製構造物の設計とその維持管理に有用な資料を提供するものである。

第6章は本研究の総括に代わるもので、脆弱な地盤における橋梁などの基礎工の施工において過去に発生した重大事故例をあげ、その主因を分析して今後の設計・施工上の留意点を述べている。

即ち橋梁基礎形式の選定に当たっては、まず施工時に仮説構造物または本体にかかる外力の正確な把握の為の原位置調査が特に重要であり、所定の地盤まで安全かつ確実に施工可能な工法の選定が必須な条件であるとしているほか、設計と施工の各段階毎に詳細な地盤調査を実施すべきことを示唆している。

以上著者は、北海道における地盤および結氷の特性を考慮した橋梁基礎の建設において、数種の新工法を提案し、その設計計算法、各種の調査・実験の結果の解釈、施工法および維持管理方法などの諸点について、実施例をもとにこれらの問題点を示すとともに解決法を提案し、地盤工學上有用な知見を得ている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 土 岐 祥 介

副 査 教 授 芳 村 仁

副 査 教 授 佐 伯 浩

副 査 教 授 三田地 利 之

近年橋梁の広幅員化が進み、地震時に基礎にかかる横方向力が橋梁基礎の設計条件を決定する上で大きな要素になっている。また、北海道の低平地や湾岸部のように上層部が軟弱な地盤における橋梁基礎の計画・設計にあたっては、施工時の安定性にも配慮が必要である。

このような背景の下で本論文は、北海道の地盤特性と、氷盤流による影響を考慮した橋梁下部工の計画に当って、先駆的な橋梁基礎の設計・施工法を示すとともに、模型実験および現場試験などを通じてその妥当性を検討し、有用な知見を得ている。また基礎工が施工時に地盤から受ける作用力を測定するなど、橋梁基礎工の設計・施工上貴重な資料を提供しているほか、氷盤流による鉄筋コンクリート製橋脚の磨耗量の予測法とその対策についても、調査結果に基づく提案を行うなど、橋梁基礎計画上の実際問題に関わる成果を上げている。

第1章では、本研究の目的と意義、および既往の研究との関連を述べている。

第2章では、北海道における地盤の特性と、構造物基礎築造上の問題点を示している。

第3章では、軟弱地盤における橋梁基礎工の種類と、各基礎工の特性および基礎形式選定上考慮すべき諸因子について総括的に述べている。

第4章では、北海道の底平地を促す泥炭性地盤や凝灰岩上に計画された橋梁基礎形式の選定について、新たに開発した数種類の基礎工法の施工例をもとに、その設計・施工法、施工上の留意点などを述べている。

放射状斜組杭工法は、地震時に基礎に働く横方向力の作用方向に無関係な杭反力が生ずることに着目して、各橋脚への横方向力の分散を図った工法で、その解析あたり、 T 、 T を導入し放射状斜組杭基礎の実用的な計算法を提案した。

深い軟弱地盤に適合しかつ施工の安全性に着目した橋梁基礎工法としては、鋼管矢板井筒工法を新たに提案し、その設計・施工法に関し詳細な検討を行っている。本工法のウエル部は、その変位に応じた受動土圧を極限とする反力を受けると仮定する設計法を提案した。また、ウエル部の長さおよび各杭間の剛結度が鋼管矢板井筒基礎の挙動に及ぼす影響を、実験により詳細に検討

している。

以上の工法は、いずれも打ち込み開端杭が基本の素材となっている。開端杭の支持力は先端の閉塞効果に依存していることを述べ、開端杭の支持力確保の上で重要な先端閉塞効果について、管内土の原位置試験から求めた土質定数を導入した閉塞効果の計算結果と実杭の軸方向載荷試験との対比を行い、計算の妥当性を示した。

軟弱地盤における場所打ちコンクリート杭基礎の振動性状については、単杭と組杭の横方向力および振動に対する挙動の比較実験を行い、組杭の耐振動性は本数比以上の大きな効果があることを、リバース杭の場合について明らかにした。

沈設深が35mに及ぶ深いオープンケーソン工法の設計・施工に関しては、新たに採用した無載荷重沈設工法について述べている。ケーソン基礎は安定性が高いが、一般的な施工法である1ロット毎に荷重の載荷、除荷を行って掘進する工法は、施工時に常にブローアップ等の危険性と直面している。これに対して水面レベル以下は土質に応じて壁面から空気・水噴射工法の併用により摩擦力を減じ、機械掘削のみで沈設する工法を提案し、その施工実例を述べて、先端地盤の支持力確認方法、施工中壁面に働く間隙水圧と土圧の変化、地盤強度の回復法等について貴重な資料を提供している。

支持層が深く中間層に火山礫や玉石が存在し、施工が困難な大支間の海洋橋の基礎として、仮締切り兼用型地中連続壁逆巻きケーソン工法の設計・施工法について述べている。この実施例は同形式の基礎工法としては最大の深度を持つものである。本論文では特に凝灰岩等火山性の岩が複雑に堆積する基礎先端地盤の支持力の評価法、施工中に想定される最大外力の評価法と安定計算法について述べている。

第5章では、結氷河川の融氷期の氷盤移動による橋脚の磨耗速度に及ぼす、接触圧、水温、微細粒砂含有量等の因子の影響に関する実験と考察を行って、合理的な磨耗速度の予測方法と磨耗対策工法を提案している。

第6章では、基礎工の施工中に発生した重大事故例を調査し、安全な施工を行う為の留意点を述べている。

以上本研究は、多くの工学上の問題を抱える地盤および氷盤流の特性を考慮した橋梁基礎として数種の新工法を提案し、その設計法、各種の調査、試験結果等を考究するとともに、施工法および管理方法などの諸点についての問題点と解決法を示し、橋梁基礎の設計法および地盤工学上有用な成果を挙げている。

よって、著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。