

結氷河川に建設される橋脚の設計法に関する研究

学位論文内容の要旨

地球上で1月の平均気温が 0°C 以下となる地域に住む人口は、約10億人といわれており、寒冷地という厳しい気象条件の中で生活や産業活動を営んでいる。そこには、移動のための交通手段が必要であり、自動車や鉄道による陸上交通網が整備され、河川や海峡を横断する橋梁が多数建設されている。また、極地、亜極地に石油・天然ガス等のエネルギー資源の埋蔵が確認され、その一部がシベリアやアラスカで採掘されるにいたり、資材輸送や採掘した資源輸送のための陸上交通路の整備が必要となり、極地の大河川にも橋梁が建設されるに至った。

このような、寒冷地域の河川のほとんどは冬期間結氷し、建設される水理構造物や橋脚は氷盤による影響を受ける。特に橋脚は、氷盤の影響を直接受ける位置に建設されることからその影響は無視できない。事実、カナダやアメリカ合衆国の北部、北欧、シベリア等では氷盤によって橋脚に著しい被害を受けた事例や橋脚位置で発生したアイスジャムによる洪水で、近隣の市街地や道路が氷盤や雪泥で埋め尽くされるといった災害が発生している。

我が国では、氷盤によってコンクリート製橋脚が倒壊したり、滑動するような事態は発生していない。しかし、寒地河川である天塩川や流水の来襲するオホーツク海沿岸の河口部にある橋脚で、氷盤の接触が原因の摩耗被害が比較的広い範囲に発生し、摩耗の進行と凍結融解作用によって補修を余儀なくされている橋脚も少なくない。このような河川結氷に起因して発生する橋脚と氷盤の諸問題について、北米や旧ソ連の橋梁設計基準の中で一部取り込まれているものの、体系的に整理された設計法はないのが現状である。

本研究では、このような結氷河川に建設される橋脚の氷盤に関わる設計法について体系的に整備することを目的としている。北方圏や我が国における氷盤による橋脚被害調査から、結氷河川の橋脚の設計法において確立すべき主要な項目は、以下の3点と考えられる。

- ①橋脚に作用する水平方向氷力に対する設計法
- ②橋脚の氷盤移動による摩耗対策の設計法
- ③橋脚位置でのアイスジャム対策の設計法

①については、水平方向氷力の算定法がほぼ確立されており、それらの水平力に関する橋脚の安定計算や断面計算の手法は確立されている。

本研究では②の摩耗対策の設計法と③のアイスジャム対策の設計法に主眼を置いて結氷河川に建設される橋脚の設計法について研究を行う。

第1章序論では、結氷河川の水利特性を整理するとともに北方圏諸国や我が国における氷盤移動による橋梁の被害状況を把握し、設計上考慮すべき事項をまとめた。また、米国、カナダ、旧ソ連の橋梁設計基準から氷に関する部分を抽出し、どの程度考慮されているのかを把握するとともに、設計上考慮されるべき事項について、既存研究の現状を整理し、本研究において取り組むべき項目を示した。

第2章では、氷盤による橋脚の摩耗対策について摩耗試験装置の評価、各種材料の摩耗特性、摩耗メカニズム、設計定数としての淡水氷の強度、氷盤中の固形成分濃度等を系統的な室内試験及び野外調査から明らかにするとともに、天塩川における3年間の調査結果より、浮氷盤の移動距離を初めて明らかにした。その結果、摩耗試験結果から、コンクリート、鋼、合成材料、石材の摩耗速度(mm/km)が明らかとなり、鋼や合成材料の摩耗速度がコンクリートの1/4程度であること、石材の耐摩耗性能に産地によるバラツキが大きいこと等を明らかにした。また、淡水氷の一軸圧縮強度試験から、氷温が -2°C 程度で $30\sim 40\text{kg/cm}^2$ 、自然氷中の固形成分分析から、最大で濃度 450mg/l 、中央粒径 $250\mu\text{m}$ であること等を明らかにしている。これらの結果を利用して設計に用いる諸定数の検討を行い、目安となる数値を設定した。次に、摩耗メカニズムの基礎研究を基に、橋脚の摩耗量の推定方法を確立し、現地調査による年間摩耗量との比較より良い一致を見たことから、推定方法の有効性を確かめた。最後に摩耗対策の提案を行い、設計法について解説した。

第3章では、橋脚位置でのアイスジャム対策について、天塩川及び発寒川での野外調査結果から、アイスジャムの発生形態を分類し定着氷先端部でのアイスジャムの発生メカニズムの把握と橋脚位置での浮氷盤によるアーチ形成条件を明確にした。定着氷先端部でのアイスジャムの発生メカニズムとして、定着氷の先端形状と浮氷盤の運動形態の関係、浮氷盤の形態と流体抵抗について明らかにした。また、定着氷下面での氷と氷の摩擦係数について、実際の河川氷を使った室内試験と野外試験によって把握した。

橋脚位置でのアーチ形成条件については、実験縮尺を変えてフルードの相似則が成り立つことを検証し、橋脚のNose傾斜、断面形状、流速、氷盤の大きさ、混合率、形状などを変化させた実験を行い、アーチ形成条件を明らかにした。それらを使って、半円形の直立Nose橋脚の流速ごとのアーチ形成限界線を作成し、アーチを形成しない橋脚スパンの決定法を導いた。また、琴似発寒川のアイスジャム発生が長栄橋の橋脚位置での氷盤によるアーチ形成によるものであることを検証するための実験を行い、その可能性が極めて高いことを実証するとともに、アーチを形成しない橋脚間隔について検討を行った。これらの成果に基づいて氷盤によるアーチを形成しない橋脚間隔の設計法を確立した。

第4章では、本研究の結論であって、各章で述べた事項を本章においてまとめた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	佐伯	浩
副査	教授	板倉	忠興
副査	教授	角田	典史雄
副査	教授	藤田	睦博
副査	助教授	山下	俊彦

学位論文題名

結氷河川に建設される橋脚の設計法に関する研究

北半球で1月の平均気温が0℃以下となる地域に住む人口は、約10億人といわれており、寒冷地という厳しい気象条件の中で生活や産業活動を営んでいる。そこには、移動のための交通手段が必要であり、自動車や鉄道による陸上交通網が整備され、河川や海峡を横断する橋梁が多数建設されている。また、極地、亜極地に石油・天然ガス等のエネルギー資源の埋蔵が確認され、その一部がシベリアやアラスカで採掘されるにいたり、資材輸送や採掘した資源輸送のための陸上交通路の整備が必要となり、極地の大河川にも橋梁が建設されるに至った。

このような、寒冷地域の河川のほとんどは冬期間結氷し、建設される水理構造物や橋脚は氷盤による影響をうける。特に橋脚は、氷盤の影響を直接受ける位置に建設されることからその影響は無視できない。事実、カナダやアメリカ合衆国の北部、北欧、シベリア等では氷盤によって橋脚に著しい被害を受けた事例や橋脚位置で発生したアイスジャムによる洪水で、近隣の市街地や道路が氷盤や雪泥で埋め尽くされるといった災害が発生している。

我が国では、氷盤によってコンクリート製橋脚が倒壊したり、滑動するような事態は発生していない。しかし、寒地河川である天塩川や流氷の来襲するオホーツク海沿岸の河口部にある橋脚で、氷盤の接触が原因の摩耗被害が比較的広い範囲に発生し、摩耗の進行と凍結融解作用によって補修を余儀なくされている橋脚も少なくない。このような河川結氷に起因して発生する橋脚と氷盤間の諸問題について、北米や旧ソ連の橋梁設計基準の中で一部取り込まれているものの、体系的に整理された設計法はないのが現状である。

本研究では、このような結氷河川に建設される橋脚の氷盤に関わる設計法について体系的に整備することを目的としたものである。北方圏諸国や我が国における氷盤による橋脚被害調査から、結氷河川の橋脚の設計法において確立すべき主要な項目は、以下の3点と考えられる。

①橋脚に作用する水平方向氷力に対する設計法

②橋脚の氷盤移動による摩耗対策の設計法

③橋脚位置でのアイスジャム対策の設計法

①については、水平方向氷力の算定法がほぼ確立されており、それらの水平力に関する橋脚の安定計算や断面計算の手法は確立されている。

本研究では②の摩耗対策の設計法と③のアイスジャム対策の設計法に主眼をおいて結氷河川に建設される橋脚の設計法を確立したものである。

第1章序論では、結氷河川の水理特性を整理するとともに北方圏諸国や我が国における氷盤移動による橋梁の被害状況を把握し、設計上考慮すべき事項をまとめた。また、米国、カナダ、旧ソ連の橋梁設計基準から氷に関する部分を抽出し、どの程度考慮されているのかを把握するとともに、設計上考慮されるべき事項について、既存研究の現状を整理し、本研究において取り組むべき項目を示した。

第2章では、氷盤による橋脚の摩耗対策について摩耗試験装置の評価、各種材料の摩耗特性、摩耗メカニズム、設計定数としての淡水氷の強度、氷盤中の固形成分濃度等を系統的な室内試験及び野外調査から明らかにするとともに、天塩川における3年間の調査結果より、浮氷盤の移動距離を初めて明らかにした。その結果、摩耗試験結果から、コンクリート、鋼、合成材料、石材の摩耗速度(mm/km)が明らかとなり、鋼や合成材料の摩耗速度がコンクリートの1/4程度であること、石材の耐摩耗性能に産地によるバラツキが大きいこと等を明らかにした。また、道内各河川およびダム湖の淡水氷の一軸圧縮強度試験から、氷温が -2°C 程度で $30\sim 40\text{kg}/\text{cm}^2$ 、手塩川をはじめとする諸河川と湖沼の調査・分析より、自然氷中の固形成分は最大で濃度 $450\text{mg}/\text{l}$ 、中央粒径 $250\text{ }\mu\text{m}$ であること等を明らかにしている。これらの結果を利用して設計に用いる諸定数の検討を行い、設計上目安となる数値を設定した。次に、摩耗メカニズムの基礎研究を基に、橋脚の摩耗量の推定方法を確立し、現地調査による橋脚の年間摩耗量との比較より良い一致を見たことから、推定方法の有効性を確かめた。最後に摩耗対策の提案を行い、橋脚の耐摩耗設計法を明らかにした。

第3章では、橋脚位置でのアイスジャム対策について、天塩川及び発寒川での野外調査結果から、アイスジャムの発生形態を分類し定着氷先端部でのアイスジャムの発生メカニズムの把握と橋脚位置での浮氷盤によるアーチ形成条件を明確にした。定着氷先端部でのアイスジャムの発生メカニズムとして、定着氷の先端形状と浮氷盤の運動形態の関係、浮氷盤の形態と流体抵抗について明らかにした。また、定着氷下面での氷と氷の摩擦係数についても、実際の河川氷を使った室内試験と置戸湖での野外試験によって明らかにした。

橋脚位置でのアーチ形成条件については、実験縮尺を変えてフルードの相似則が成り立つことを検証し、橋脚のNose傾斜、断面形状、流速、氷盤の大きさ、氷盤の混合率、形状などを変化させた実験を行い、アーチ形成条件を明らかにした。それらを使って、半円形の直立Nose橋脚の流速ごとのアーチ形成限界線を作成し、アーチ形成をさせない橋脚スパンの決定法を導いた。また、琴似発寒川のアイスジャム発生が長栄橋の橋脚位置での氷盤によるアーチ形成によるものであることを検証するための実験を行い、その可能性が極めて高いことを実証するとともに、アーチを形成しない橋脚間隔について検討を行った。これらの成果に基づいて氷盤によるアーチを形成しない橋脚間隔の設計法を確立した。

第4章では、本研究の結論であって、各章で述べた事項を本章においてまとめた。

これを要するに、著者は我が国では今まで未確立であった、結氷河川に建設される橋脚の設計法を確立したもので、橋梁工学、氷工学の進展に貢献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。