

学 位 論 文 題 名

Study on Factors Influencing the Ice Forces on Structures

(構造物に作用する氷力への影響因子に関する研究)

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

寒冷地における経済活動の発展により、冬期間氷の存在する海洋・海岸、湖沼、河川に構造物を建設することが多くなって来た。例えば、極域における地下資源開発に伴う探査あるいは掘削用のプラットフォーム、ダムの諸施設、海中燈台、砕氷船等である。これらの構造物の設計においては、設計外力として種々の氷力を考慮しなければならない。特に、海水の存在する海域では、氷力が支配外力となることが多いため各種氷力に関する研究が重要である。

この各種氷力の算定方法については、すでに数多く提案されているが、算出される氷力の値は大きく異なる。又、氷力の計算に必要な氷と構造物材料間の凍着強度や摩擦係数、及び氷盤と構造物間の動的相互作用についても不明な点が多い。

本論文では、先ず、氷と構造物材料間の凍着強度、及び摩擦係数、構造物の氷盤貫入時における氷の破壊様式と氷力特性に関する系統的な実験結果を示した。次に、直立構造物と傾斜構造物に作用する水平氷力について、現在まで提案されている氷力式を提示し、それらの式の特性を明らかにするとともに、妥当性と適用範囲について論じた。

第1章では、極寒冷地域に構造物を建設する場合の問題点、陸氷・海水の分布を示した。更に、寒冷地の水域に建設される構造物の種々のコンセプトを示し、それらの構造物に作用する氷力について概説した。氷力は直立構造物に作用する鉛直・水平氷力、傾斜構造物に作用する氷力の三種類の氷力について論じた。最後に、本論文の目的を示した。

第2章では、水位変化に伴う鉛直方向氷力にとって非常に重要である氷と構造物材料間の凍着強度について実験結果を示し、その特性について論じた。実験方法は押し抜き(push out)、引き抜き(pull out)、ねじり(twist)の3種類の実験方法で行なわれ、実験方法の違いによる凍着強度への影響はほとんど見られないことを示した。

次に強度特性については、押し抜き速度、応力速度、水温、氷厚（凍着面積）、供試体径、供試体材料、及び供試体の表面処理の各因子の凍着強度への影響を調べ、特に、水温と供試体材料表面の粗さが大きく影響することを明らかにした。更に、凍着強度と氷のせん断強度の関係と、他の研究者による実験結果との比較についても論じた。

第3章では、傾斜構造物の水力算定にとって重要である氷と構造物材料間の摩擦係数についての実験結果を示し、その特性について論じた。氷の摩擦特性を明らかにするために、氷と材料の接触面積、接触面における鉛直応力、氷の成長方向と摩擦方向、移動速度、接触面における水膜の存在、水温、それに材料及び材料の表面処理等の摩擦係数への影響を調べ、特に、移動速度、水温、材料表面の粗さが大きく影響することを明らかにした。更に、Amontonsの摩擦に関する法則が氷と諸材料間の摩擦にも広い範囲で成り立つことを示した。最後に、他の研究者による実験結果との比較について論じた。

第4章では、構造物の水盤への貫入問題についての詳細な実験結果を示し、氷の破壊特性と、水力特性について論じた。実験は浮氷盤に鉛直で平坦な鋼製のindenter（貫入機）を貫入させて行われた。氷盤とindenterの接触直後から種々の形式のクラックが発生することを確かめるとともに、氷の破壊様式は、indenterの貫入速度の増大とともにクリープ破壊からぜい性破壊へ移ることを明らかにした。更に、氷を破壊するのに要するエネルギーは貫入速度が違っていてもほぼ同じであること、接触面内における氷力の作用中心は、接触直後は必ずしも中心に位置しないが氷力の増加につれ、接触中心に移動し、氷の破壊直前にはほぼ中央に位置すること、断続的なぜい性破壊においては、最初のピーク氷力が最も大きく、以後のピーク氷力はそれ以上にはならないこと、氷の破壊周波数は貫入速度の増加と共に大きくなること、そして貫入構造物の剛性が大きい程、破壊周波数は大きくなることを明らかにした。また、氷盤貫入問題における断続的な氷盤破壊のモデルを提示した。

第5章では、直立構造物に氷盤が凍着した状態で水位が変化した場合の構造物に作用する上下方向の鉛直氷力を単脚の場合と多脚の場合についてそれぞれ計算手法を示した。鉛直氷力の算定方法についてはKerrの平板弾性理論から導いた方法を改良し、氷盤の曲げ破壊と、氷と構造物間の凍着破壊を考慮した新しい算出方法を示した。

第6章では、傾斜構造物に作用する水力について、すでに提案されている氷力式の背景と問題点を明らかにし、実際の設計への適用性についての評価を行った。氷力は一般に、氷を破壊する力の項と氷盤のride up時の力の項より成り、その値は傾斜面の角度と、傾斜面と氷の摩擦係数に大きく影響されるが、それら各項の妥当性を吟味

して、各氷力式の適用範囲、及び使用にあたっての注意点を明らかにした。

第7章では、直立構造物に作用する水平氷力について、数多くの提案式の背景と問題点を明らかにし、実用性の面からの評価を行った。各氷力式を実験式、理論式に分け、実験式については、実験手法を分析し、また理論式については破壊条件のモデル化に際しての仮定を吟味し、各氷力式の実用性の面からの評価を行うとともに、それらの式の適用範囲を明らかにした。

第8章では、第2章から第7章までの主要な成果のまとめを述べている。

第9章では、本研究の結論として、本論文の主要な成果の実際の設計への適用について考察している。

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	藤 田 睦 博
副 査	教 授	佐 伯 昇
副 査	教 授	前 晋 爾

寒冷地における経済活動の発展により、冬期間、氷の存在する海洋・海岸、湖沼、河川に構造物を建設することが多くなって来た。これらの構造物の設計においては、設計外力として種々の氷力を考慮しなければならない。特に、海水の存在する海域では、氷力が支配外力となることが多いため各種の氷力に関する研究が重要である。

本論文では、先ず、氷力の算定に必要な氷と構造物材料間の凍着強度、及び摩擦係数、構造物の氷盤貫入時における氷の破壊様式と氷力の動的特性に関する系統的な実験結果を示した。次に、直立構造物と傾斜構造物に作用する水平全氷力について、現在まで提案されている氷力式を提示し、それらの式の特性を明らかにするとともに、妥当性と適用範囲について論じた。

第1章では、極寒冷地域に海洋構造物を建設する場合の問題点と構造物の種々のコンセプトを示し、それらの構造物に作用する氷力について概説し、最後に、本論文の目的を示した。

第2章では、水位変化に伴う鉛直方向氷力にとって非常に重要である氷と構造物材料間の凍着強度についての実験結果を示し、その特性について論じた。実験方法は押し抜き、引き抜き、ねじりの3種類の実験方法で行われ、実験方法の違いによる凍着強度への影響はほとんど見られないことを明らかにした。次に、強度特性については、押し抜き速度、応力速度、氷温、氷厚（凍着面積）、供試体径、供試体材料、及び供試体の表面処理の各因子の凍着強度への影響を調べ、特に、氷温と供試体材料表面の粗さが大きく影響することを明らかにした。さらに、凍着強度と氷のせん断強度の関係と、他の研究者による実験結果との比較についても論じた。

第3章では、傾斜構造物の氷力算定にとって重要である氷と構造物材料間の摩擦係数についての実験結果を示し、その特性について論じた。氷の摩擦特性を明らかにするために、氷と材料の接触面積、接触面における鉛直応力、氷の成長方向と摩擦方向、移動速度、接触面における水膜の存在、氷温、それに材料及び材料の表面処理等

の摩擦係数への影響を調べ、特に、移動速度、水温、材料表面の粗さが大きく影響することを明らかにした。

第4章では、構造物の氷盤への貫入問題についての詳細な実験結果を示し、氷の破壊特性と、水力特性について論じた。氷の破壊様式は、indenterの貫入速度の増大とともにクリーブ破壊からぜい性破壊へ移ることを明らかにし、さらに、氷を破壊するのに要するエネルギーは貫入速度に依存せずほぼ同じであること、接触面内における水力の作用中心は、接触直後は必ずしも中心に位置しないが、氷の破壊直前にほぼ中央に位置すること、断続的なぜい性破壊においては、最初のピーク水力が最も大きいこと、氷の破壊周波数は貫入速度の増加と共に大きくなること、そして構造物の剛性が大きい程、破壊周波数は大きくなることを明らかにし、さらに、氷盤貫入問題における氷盤破壊のモデルを提示した。

第5章では、直立構造物に氷盤が凍着した状態で水位が変化した場合の構造物に作用する上下方向の鉛直水力を単脚の場合と多脚の場合についてそれぞれ計算手法を示した。鉛直水力の算定方法についてはKerrの平板弾性理論から導いた方法を改良し、氷盤の曲げ破壊と、氷と構造物間の凍着破壊を考慮した新しい算出方法を示した。

第6章では、傾斜構造物に作用する水力について、すでに提案されている水力式の背景と問題点を明らかにし、実際の設計への適用性についての評価を行った。水力は一般に、氷を破壊する力の項と氷盤のride up時の力の項より成るが、それら各項の妥当性を吟味して、各水力式の適用範囲、及び使用にあたっての注意点を明らかにした。

第7章では、直立構造物に作用する水平水力について、各水力式を実験式、理論式に分け、実験式については、実験手法を分析し、また理論式については破壊条件のモデル化に際しての仮定を吟味し、各水力式を実用性の面から評価を行うとともに、それらの式の適用範囲を明らかにした。

第8章では、第2章から第7章までの主要な成果のまとめを述べ、第9章では、本研究の結論として、本論文の主要な成果の実際の設計への適用について考察している。

これを要するに、著者は構造物に作用する水力におよぼす多くの影響因子に関して新しい知見を与えており、水工学、海洋工学に寄与するところ大である。よって著者は工学博士の学位を授与される資格あるものと認める。