

学位論文題名

剥離領域を有する管内凍結熱伝達に関する研究

学位論文内容の要旨

寒冷地においては、凍結・凝固を伴う現象は、水、雪、霜など日常的に見られるものである。一方、水道管や発電用送水管の凍結による閉塞・破損事故を始めとして、送電用鉄塔や電線への着氷、建物の壁への着氷、船体や航空機への着氷、地盤の凍上などは、日常生活上のみならず工業的にも重要な問題であり、熱交換器の着霜・着氷、相変化蓄冷熱、鉄鋼製造プロセスなど、様々な分野において数多くの問題と関わりを有している。

一方、このような凍結現象は、制御することによって人間生活に益することが可能である。例えば、配管外部より人為的に管内水を凍結させバルブの代わりとして配管の修理を行う断水工法、低体温麻酔や生体細胞の凍結保存、地盤凍結工法、食品の加工や貯蔵、凍結乾燥、および空調分野など様々な目的に利用され、このような凍結現象を解明し制御するために、従来より数多くの研究がなされている。

管内流などの凍結現象に関しては、主に凍結による流路の閉塞を防除することを目的して、氷層の形状、凍結熱伝達、および圧力損失に関して多くの研究がなされている。しかしながら、実際の配管においては、流路内にバルブや異径接合部などが存在することにより局部的に剥離流が生じるなど流れが複雑になるため、滑らかな管内流に関する研究結果を用いて実際の管内の凍結挙動を予測することは非常に困難である。

一方、剥離流の凍結熱伝達挙動に関しては、オリフィスまたは後ろ向きステップを有する円管および矩形流路内における剥離流の凍結熱伝達挙動に及ぼす諸因子の効果に関して研究を行なっているが、剥離流が下流部に及ぼす凍結熱伝達機構について詳細な検討はなされていない。

管路の設計および凍結による管閉塞防除などのためには、剥離流が下流部の凍結熱伝達に及ぼす詳細な基礎資料が必要であるにも関わらず、従来の研究においては、流路内に剥離領域が存在する場合において剥離流が下流部の凍結熱伝達に及ぼす機構に関する詳細な検討はなされていない。

このような現状に基づき、本論文では、剥離領域を有する矩形流路内の凍結熱伝達機構を明らかにするとともに、冷却管内に形成される凍結層界面上の流れ場および乱れ場の特性を把握することにより、剥離流の凍結熱伝達挙動を予測・制御するための基礎資料を得ることを目的としている。

本論文は、6章より構成されている。第1章は序論であり、管内剥離流の凍結挙動に関する研究の意義を述べている。

第2章は、管内流凍結挙動および剥離を伴う管内流の凍結挙動に関する従来の研究について述べるとともに、本研究の目的および位置づけを明らかにしている。

第3章は、管内に存在するバルブや異形結合部などの突起物の影響を考慮した凍結挙動に関する基礎資料を得るため、矩形流路内に設置された、先端に剥離生成機構を有する水平冷却板上の凍結熱伝達挙動を検討したものである。

剥離生成機構である垂直平板高さ、試験部入口における流速、流入水温度、および冷却面温度が氷層形状に及ぼす影響を検討し、さらに平板上、ならびに定常状態における氷層界面上の流速分布および乱れ分布をレーザ・ドップラ流速計(LDV)を用いて測定することにより、垂直平板により生じる剥離流が氷層形状および凍結熱伝達挙動に及ぼす影響について明らかにしている。

第4章では、矩形流路内における剥離流の凍結挙動を明らかにするため、二次元矩形流路を用いて、試験部上下面を冷却した場合の凍結熱伝達挙動、流動挙動、および圧力損失について実験的検討を行った。試験部入口から最初の最大氷厚部までの凍結挙動を把握し、これら凍結挙動に及ぼすオリフィス高さ、流速、および冷却温度比の影響を明らかにするため、管内に成長する凍結層界面上の流動挙動をLDVを用いて測定し、オリフィスにより生じる剥離が氷層形状および凍結熱伝達挙動に及ぼす影響について明らかにしている。

第5章では、オリフィスより生じる剥離流が凍結層に及ぼす影響の流れに沿った方向への変化を明らかにするため、十分に長い二次元矩形流路を用いて、試験部上下面を冷却した場合の凍結挙動、熱伝達挙動、流動挙動、および圧力損失の長さ方向の変化について実験的検討を行っている。

また、氷層界面上の流速分布および乱れ分布をLDVを用いて測定することにより、氷層形状に影響を及ぼす急拡大部の剥離流れの流動挙動について検討を行った。さらに、流路内の局所圧力損失を測定することにより凍結層の成長による圧力損失について明らかにしている。また、管内の凍結熱伝達挙動を予測・制御するための基礎資料を得るため、凍結層形状、平均熱伝達率、および圧力損失について無次元整理式を与え、さらに、凍結閉塞領域限界に関して検討を行った。

第6章は結論であり、本研究において得られた結果を要約して述べており、本研究における剥離領域を有する矩形流路内における凍結挙動に関する実験的研究の結果は、管路凍結閉塞防除のみでなく、生体工学、土木建築産業、および食品産業など様々な分野において、その凍結特性を解明する重要な指針を与えるものであることを述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 福 迫 尚 一 郎
副 査 教 授 工 藤 一 彦
副 査 教 授 菱 沼 孝 夫
副 査 教 授 宮 本 登

学 位 論 文 題 名

剥離領域を有する管内凍結熱伝達に関する研究

寒冷地における管内流などの凍結・閉塞現象に関しては、主に送・排水管等の凍結による閉塞・破損事故の防除を目的として、氷層の形状、凍結熱伝達、および圧力損失に関して多くの研究がなされている。実際の配管等においては、流路内にバルブや異径接合部などが存在することにより局所的に剥離流が生じるなど流れが複雑になることから、管路の設計および凍結による管閉塞防除などのためには、剥離流が下流部の凍結熱伝達に及ぼす詳細な基礎資料が必要であるにも関わらず、従来の研究においては、流路内に剥離領域が存在する場合において剥離流が下流部の凍結熱伝達に及ぼす機構に関する詳細な検討はなされていない。

本論文は、かかる剥離流の凍結熱伝達挙動を予測・制御するための基礎資料を得ることを目的として、剥離領域を有する矩形流路内の凍結熱伝達機構を明らかにするとともに、冷却管内に形成される凍結層界面上の流れ場および乱れ場の特性に関する検討を行ったものであり、矩形流路内に設置された、先端に剥離生成機構を有する水平冷却板上の凍結熱伝達挙動を検討したものである。剥離生成機構である垂直平板高さ、試験部入口における流速、流入水温度、および冷却面温度が氷層形状に及ぼす影響を検討し、さらに平板上、ならびに定常状態における氷層界面上の流速分布および乱れ分布を測定することにより、垂直平板により生じる剥離流が氷層形状および凍結熱伝達挙動に及ぼす影響について明らかにしている。

また、本論文では、入り口部にオリフィスを有する二次元矩形流路内の上下冷却面上における剥離流の凍結熱伝達挙動、流動挙動、および圧力損失について実験的検討を行ない、オリフィスにより生じる剥離が氷層形状および凍結熱伝達挙動に及ぼす影響について明らかにしている。

さらに本論文では、十分な長さを有する二次元矩形流路における凍結熱伝達挙動および凍結層の成長による圧力損失の、長さ方向の周期的変化について検討を行ない、凍結層形状、熱伝達率、および圧力損失についての整理式を与え、管内の凍結熱伝達挙動ならびに凍結閉塞領域限界を予測しこれを制御するための方法を示している。本研究における流れの剥離を伴う凍結挙動に関する研究結果は、送・排水管の凍結閉塞防除のみならず、相変化を伴う剥離流の熱および物質伝達に関する研究に対して重要な指針を与えるものである。

これを要するに、著者は剥離流を伴う管内流の凍結熱伝達に関して、伝熱工学的立場より研究を展開し、管内流の凍結・閉塞防除等工業上有益な新知見を得たものであり、管内流のみならず様々な状態における剥離流の相変化問題に関する研究に対して重要な今後の指針を与えるものであり、伝熱工学の進歩に対して貢献するところ大である。

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。