

審査の結果の要旨

氏名 西原 崇

本論文は、「円柱状構造物に作用する抗力方向非定常流体励振力の特性解明」と題し、高速増殖炉もんじゅの温度計装管の繰り返し疲労による折損事故に端を発した、流路内に設置された円柱状構造物の抗力方向振動の発生原因の解明を目的とし、詳細な実験データを独自の視点から分析し、従来、十分には説明されていなかった振動の発生機構を明らかにしたもので、以下の7つの章から構成されている。

第1章は序論で、流れを受ける円柱状構造物に発生する振動に関する既往の研究を概観している。この中で、抗力方向振動の励振機構と後流の形態との関係については、系統的な説明が与えられておらず、ある特定の流速条件で振動が生じる理由や振動が発生する流速域が第一励振域と第二励振域の2つの領域に分かれる理由について合理的な説明が得られていないことを指摘している。

第2章は実験装置と実験方法と題し、試験水路、可視化実験装置、加振装置、試験体、可視化条件、実験条件等に関して記述している。可視化には蛍光染料とレーザーライトシートを用いている。また、無次元加振振幅を0.01～0.10の範囲で変更可能な抗力方向加振可能な装置を用いているところに特徴がある。

第3章は流水中加振実験結果と題し、流水中で円柱試験体を加振した場合の実験結果について述べている。後流パターンと変動揚力特性、抗力の時間平均値、抗力の変動成分の3種類の測定結果について纏め、実験において観測された後流パターンを分類し、変動揚力特性、平均抗力特性との比較を行ない、非対称なパターンが見られる条件では変動揚力が大きくなり、特に、変動揚力の卓越振動数が加振振動数の1/2または1/4にロックインして明瞭な交互渦が観察される条件では、変動揚力係数が大きく増大すること、対称な渦放出パターンが支配的な高加振振動数側では、変動揚力が非常に小さくなること、また、ロックインが生じて明瞭な交互渦が生じる条件では、円柱背後で明瞭な渦が形成されると後流幅が大きく広がることによって平均抗力係数が大きく増大すること、一方、対称な渦放出パターンが支配的な条件では、後流幅が狭い状態が下流まで維持されるため、平均抗力係数も大きく低下すること等を明らかにしている。

第4章は非定常流体力の測定結果と既往の自由振動実験結果との比較検証と題し、まず、非定常抗力については、円柱加速度比例成分を付加質量係数に換算した結果、円柱が定常流中で抗力方向に振動する場合、付加質量係数は、静止流体中で振動する際の値から大きく変化し、換算流速の増大につれて、徐々に低下すること、また、本実験のような小振幅の範囲内では、付加質量係数は無次元振幅にあまり依存せず、円柱アスペクト比や端部の流動条件にもあまり依存しないことを明らかにしている。さらに、非定常抗力の円柱速度

比例成分を付加減衰係数に換算した結果、既往の自由振動実験において、抗力方向流力振動が発生する第一励振域、第二励振域に対応する換算流速範囲では、非定常抗力が励振力として円柱に作用していることを示している。また、既往の自由振動実験において観測される最大応答振幅と換算減衰率の関係は、本測定から得た付加減衰係数と定量的にもよく一致すること、円柱先端から流れが回り込む流動条件となっている試験体の場合には、第二励振域では励振力が弱まっており、既往の自由振動実験と整合することを確認している。さらに、付加減衰係数の強い非線形性に基づいて、抗力方向流力振動の応答特性について検討し、第一励振域の自由振動応答が軟発振系の特性を有すること、第二励振域内の高換算流速側では自由振動応答にヒステリシスが発生しうることを示している。

第5章は非定常抗力の生成機構に関する考察と題し、後流パターンと非定常抗力の特性との対応関係を実験結果に基づいて正確に明らかにし、両者の関係に系統的な説明を与えることを試みている。その結果、抗力方向に振動する円柱に作用する正味の非定常抗力は、円柱と流体の相対速度変化に起因して生じる流体減衰力、はく離せん断層の運動により円柱周囲の流体が加速される際の反力、はく離せん断層が円柱背後で巻き上がり周期的に形成される渦とその離脱の際に発生する流体力の3つの生成機構に分離できることを示し、一見複雑な挙動を示す後流パターンと正味の非定常抗力特性の関係に合理的な説明を与えることに成功している。

第6章は評価指針の検証と題し、本研究によって得られた円柱状構造物の抗力方向振動に関する知見をもとに、既往の流力振動評価指針の妥当性について検証しており、指針に示されている全ての同期振動が回避される条件は妥当であること、揚力方向振動を回避した上で抗力方向振動が抑制される条件については、換算減衰率の定義法の見直しによって精緻化できる可能性があることを示している。また、全ての同期振動が回避された上で、ランダム振動評価を行う場合、流体減衰を0とすることが安全側であることを確認している。

第7章は、結論であり、本研究によって得られた知見を総括し、今後の課題について述べている。

以上のように、本論文は、機械工学とくに流体振動学の発展に寄与し、関連分野の評価指針の検証に大きく貢献するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。