

論文の内容の要旨

論文題目 束ねられたライザー管の潮流下における
流力弾性振動に関する研究
(Hydroelastic Vibration of Bonded Risers
under Steady Flow)

氏 名 藤原 智

本研究は、海底鉱物資源開発や FLNG 向け取水管等の海洋開発分野や幅広い工学分野において運用されている束ねられて近接配置されたライザー管を対象に、流れが作用する時の流力弾性挙動を明らかにし、挙動推定法を構築することを目標に、①剛体模型による曳航・非加振流体力計測実験、②弾性模型による曳航・動揺計測実験、③剛体模型による曳航・強制加振実験、④束ねられた2本のライザー管を対象とした挙動推定手法の開発、を行った。

第1章では、工学分野と海洋工学分野における複数配管の利用状況について概論し、更に VIV 等の流場中の線状構造物の振動現象について概論した。また、これらに関する先行研究の状況を概論し、本研究の位置付けと新規性を示した。

第2章では、2円柱の流場中で発生する流体力の基本的な特性を計測するために、流向と柱芯間距離をパラメータとした剛体2円柱の非加振曳航実験を実施した。

抗力係数と揚力係数の計測を行い、 $\alpha=15^\circ$ で下流側の揚力係数が減少し、 $\alpha=90^\circ$ では2円柱が離れる方向の揚力が発生する等の流向と流体力係数の関係を示し、この傾向が先行研究とほぼ一致することを確認した。ストローハル数を Tandem 配置、Side by side 配置、Staggered 配置それぞれについて傾向を解析し、その傾向を示した。2円柱にはたらくトルクを計測し、 $\alpha=45^\circ$ 付近を境に Tandem 配置になろうとするトルクと Side by

side 配置になろうとするトルクが発生しており、それが主に揚力成分に由来することが判った。

第3章では、束ねられた2本の弾性管模型を回転方向に自由度を持たせた支持機構に吊り下げて曳航し、挙動と回転を計測した。

弾性管振動の腹の位置で軌跡を計測し、Side by side 配置の $P/D < 4$ において近接影響により振幅が増加し、互いの軌跡が変化することを示した。また Tandem 配置では $2 < P/D < 10$ のすべての計測範囲で上流側円柱の振幅が減少し、後流側円柱の振幅は全体的に大きくなり、特に $5 < P/D < 8$ において顕著であった。上端部の回転角の振動は $\alpha = 60^\circ$ 以下で発生し、柱芯間距離が大きくなっても発生し、特に Tandem 配置で発生する回転振動は2円柱の Cross flow 方向の逆位相の振動に誘起される。渦剥離周波数と回転運動の振動周波数が同調した場合、回転運動が大きくなる可能性がある。In-line 方向の振動は主に Cross flow 方向の振動の2倍周期であり、Cross flow 方向の振動は基本周波数と3倍周波数で構成され、上流側円柱は3倍周波数が優勢で、下流側円柱は基本周波数の成分が優勢である。また、Side by side 配置に近くなると回転振動は小さくなり、離合運動のみが発現する。上記の回転運動と離合運動に加えて、2本管の重心位置の Cross flow 方向振幅は Staggered 配置で大きく、平行移動するような振動モードも発生する。

第4章では、束ねられた2本の管の挙動パターンから、①並進方向振動、②回転方向振動、③離合方向振動、の3つの振動モードを抽出して強制加振実験を行い、流体力を計測することで弾性模型の曳航・動揺計測実験で計測された挙動パターン発生メカニズムを流体力の観点から考察した。

抗力係数は Tandem 配置の上流側円柱で高く、後流側では低いが、回転方向加振では柱芯間距離が $P/D = 2$ のときに、一体となって渦剥離が発生し、並進方向加振以上に上流側、下流側ともに抗力係数が低下する。Side by side 配置では曳航方向に対する投影面積が変化しない場合、抗力係数の平均値は加振方向に依らない。Side by side 配置の揚力係数は2つの円柱は離れる方向の力が作用し、非加振曳航時の実験結果及び先行研究の結果と同一の傾向となるが、離合方向加振の2円柱が接触する手前まで振幅が大きくなると揚力係数の傾向が逆転し、2円柱は接近する方向の力が作用が作用する。付加慣性係数の正負が入れ替わる周波数は並進方向加振の Tandem 配置のケースで最も低く、流

向が Side by side に近づくと共に高周波数側にシフトする。ただし下流側円柱の正負が入れ替わる周波数は上流側より低くなる傾向がある。線形減衰係数は柱芯間距離が近いほど負の減衰力が発生する周波数帯と振幅が広くなり、下流側円柱のほうがより大振幅まで発展する可能性があるが、Tandem 配置における回転方向加振時の上流側円柱は負の減衰力の領域が広く、2 円柱は回転運動する可能性が高い。Side by side 配置における離合方向加振時の線形減衰係数は、高周波数側で広く負の減衰力が発生しており、並進方向加振のケースより大振幅まで発展する可能性がある。今回の流体力係数の算出では加振周波数の成分のみを取り出して解析を行っているが、2 倍周期、3 倍周期の成分についても解析し、流体力係数を導出して流体力 DB として利用することも 2 円柱の挙動特性を理解するための手法として有効ではないかと考えられる。

第 5 章では、束ねられた 2 円柱の挙動推定のために、二次元断面の流体力推定を行うとともに三次元的な構造を反映したモデルを作成した。

水槽実験に基づいた挙動パターンに応じた流体力データベースを作成し、時間領域計算内で判別式を用いた流体力 DB の切り替えを行い、流向と振幅、周波数に応じた流体力を多次元内挿によって求めた。Tandem 配置から計算を開始し、最終的に回転運動に収束することを確認し、弾性管模型試験と計算結果を比較したところ、上流側の軌跡が曲がることを考慮した振幅や位相が計算結果とほぼ一致した。Side by side 配置では流体力 DB の切り替え判断式のパラメータを変更することで離合方向振動へ切り替えることが出来たが、離合方向振動の流体力 DB の振幅範囲外まで振動が発達したため、収束させることは出来なかった。Staggered 配置の初期流向から計算を開始し、並進方向振動が多く発現したが、挙動計測実験や流体力計測の結果を考慮すると、他の振動モードとの重畳である可能性が高いが、重畳するためにはその振動モードが持つ他の振動モード成分を考慮した上で重ね合わせる必要がある。単管に比べて計算資源を多く消費するなどの問題はあるが、Tandem 配置と Side by side 配置については、振動モードを解析した上で適切な流体力 DB を作成すること出来れば水槽実験結果を用いたストリップ法を用いた流体力推定が有用であることを示した。

6 章では、前章までの結果をまとめ、本論文の結言とした。