

弾性支持構造物の渦励振モデルと

外乱相殺制御に関する研究

学位論文内容の要旨

一様流中にある弾性構造物が渦励振によって振動することは古くから知られており、これまでに多くの研究が行なわれてきている。円柱が直交流中に置かれ、流れと直角方向への振動が生じるとき、渦放出周波数が構造系の固有振動数へ引き込まれるロックイン現象が生じる。この現象は、単なる渦放出に伴う強制振動ではなく、渦放出も含めた自励系の振動であることが知られており、渦励振力を抑制する観点からも渦放出のメカニズムを解明することは重要である。

一方、渦放出に伴う振動を抑制する技術もまた多く研究がなされ、パッシブな手法としてはトリップワイヤやスプリッタによって渦の形成を阻害する方法や、断面形状の変更によりはく離を抑える方法がある。また、後流の構造に着目し渦放出をアクティブに抑制する方法、構造物の振動に主眼を置いて円柱にかかる外力モデルを構造物の固有振動数と等しい周波数を有する正弦波とみなすアクティブ制御も行なわれている。

本論文は、直交流中に置かれた弾性支持円柱の振動を、渦励振を外乱とみなしてフィードバック制御とフィードフォワード制御の併合制御による外乱相殺制御によって抑制することを試みるとともに、渦励振力モデルとして van del Pol 方程式で表される後流振動子モデルを用いた数値シミュレーションによる制御性能評価、ならびに開放型風洞を用いたモデル実験を行なったものであり、その主要な成果は次の 2 点に要約される。

(1) 弾性はりにによって支持された円柱構造物の支配方程式を導出し、外乱である渦励振力モデルとして正弦波モデルと van del Pol 方程式で表される後流振動子モデルを導入した。それぞれの外乱モデルに対する円柱の振動制御をシミュレーションによって検証し、制御性能を安定時間と残留定常振動の振幅によって評価した。これにより、後流振動子モデルを用いることによって制御時の応答や制御性能に関して、より正確な評価を行うことができることを明らかにした。

(2) オブザーバの外乱モデル周波数が誤差を有する場合の制御性能について調べ、制御性能が劣化する場合の改善策として、FFT による周波数観測を用いる手法を提案し、その有効性を示した。

本論文は全 6 章で構成されており各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章は序論であり、本研究の目的と意義および各章の概要に付いて述べている。

第 2 章では、円柱振動系の運動方程式ならびに状態方程式の導出を行った。円柱振動系においては、円柱を剛体とし、円柱両端を弾性支持している支持はりを、先端に質量を有するはりとして、ハミルトンの原理を適用して運動方程式と境界条件を導出し、さらに状態方程式を導いた。

第 3 章では、円柱に作用している流体力のモデル化を行った。ロックイン時の流体力は正弦的な成分が支配的であるため、円柱振動系の固有振動数と等しい正弦波を仮定した。また、流体力の自励的性質や円柱の状態量に依存した流体力の変動を考慮して、もう一つの流体力モデルとして van der Pol 型の後流振動子モデルの導出を行った。

第 4 章では、制御系の構成について述べた。振動制御においては、安定時間の短縮および残留定常振動の振幅低減を目的とする。そのため、制御系には最適レギュレータを用いたフィードバック制御と最小次元オブザーバを用いて流体力の推定を行うフィードフォワード制御を採用した。また、これ

ら二つの制御系を併合した併合制御による外乱相殺制御系について述べた。

第5章では、実験とシミュレーションによって、フィードバック制御、フィードフォワード制御および併合制御による制御性能の比較、検討を行った。また、正弦波モデルと後流振動子モデルによるシミュレーションを比較し、後流振動子モデルの有効性を調べた結果、制御時の応答や制御性能に関して、より正確な評価を行うことができることを明らかにした。また、制御時における流体力のランダム成分の影響についても検討した。さらに、オブザーバの外乱モデル周波数が誤差を有する場合の制御性能について調べ、制御性能が劣化する場合の改善策として、FFTによる周波数観測を用いて外乱モデル周波数を修正する手法を提案し、その有効性を示した。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 林 幸 徳

副 査 教 授 佐々木 一 彰

副 査 教 授 鍵和田 忠 男

副 査 教 授 成 田 吉 弘

学 位 論 文 題 名

弾性支持構造物の渦励振モデルと 外乱相殺制御に関する研究

一様流中にある弾性構造物が渦励振によって振動することは古くから知られており、これまでに多くの研究が行なわれてきている。弾性構造物が直交流中に置かれ、流れと直角方向への振動が生じるとき、渦放出周波数が構造系の固有振動数へ引き込まれるロックイン現象が生じる。この現象は、単なる渦放出に伴う強制振動ではなく、渦放出も含めた自励系の振動であることが知られており、渦励振力を抑制する観点からも渦放出のメカニズムを解明することは重要である。

一方、渦放出に伴う振動を抑制する方法に関しても多く研究がなされ、パッシブな手法としては、トリッピングワイヤやスプリットによって渦の形成を阻害する方法や、断面形状の変更によりはく離を抑える方法がある。また、後流の構造に着目し渦放出をアクティブに抑制する方法、構造物の振動に主眼を置いて円柱にかかる外力モデルを構造物の固有振動数と等しい周波数を有する正弦波とみなしアクティブ制振も行なわれている。

本論文は、直交流中に置かれた弾性支持円柱の振動を、渦励振を外乱とみなしてフィードバック制御とフィードフォワード制御の併合制御による外乱相殺制御によって抑制を試みるとともに、その有効性を検証するために直交流中に置かれた弾性支持円柱の振動を、支持部への制御入力によって抑制する実験を行なったものであり、その主要な成果は次の2点に要約される。

- (1) 弾性はりにによって支持された円柱構造物の支配方程式を導出し、外乱である渦励振力モデルとして正弦波モデルと van del Pol 方程式で表される後流振動子モデルを導入した。それぞれの外乱モデルに対する円柱の振動制御時の挙動をシミュレーションによって検証し、制御性能を安定時間と残留定常振動の振幅によって評価した。これにより、後流振動子モデルを用いることによって制御時の応答や制御性能に関して、より正確な評価を行うことができることを明らかにした。
- (2) オブザーバの外乱モデル周波数が誤差を有する場合の制御性能について調べ、制御性能が劣化する場合の改善策として、FFT による周波数観測を用いる手法を提案し、その有効性を示した。

本論文は全6章で構成されており各章の概要は以下のとおりである。

第1章は緒言であり、本研究の目的と意義および各章の概要について述べている。

第2章では、円柱振動系の運動方程式ならびに状態方程式の導出を行っている。円柱振動系においては、円柱を剛体とし、円柱両端を弾性支持している支持はりの運動エネルギーとポテンシャルエネルギーを求め、ハミルトンの原理を適用して運動方程式と境界条件を導出し、さらに状態方程式を導いている。

第3章では、円柱に作用している流体力のモデル化を行っている。ロックイン時の流体力は正弦的な成分が支配的であるため、円柱振動系の固有振動数と等しい正弦波モデルを仮定している。また、流体力の自励的性質や円柱の状態量に依存した流体力の変動を考慮して、もう一つの流体力モデルとして van der Pol 型の後流振動子モデルの導出を行っている。

第4章では、制御系の構成について述べている。振動制御においては、整定時間の短縮および残留定常振動の振幅低減を目的とする。そのため、制御系には最適レギュレータを用いたフィードバック制御と最小次元オブザーバを用いて流体力の推定を行うフィードフォワード制御を採用している。さらに、これら二つの制御系を併合した併合制御による外乱相殺制御系について述べている。

第5章では、実験とシミュレーションによって、フィードバック制御、フィードフォワード制御および併合制御による制御性能の比較、検討を行っている。また、正弦波モデルと後流振動子モデルによるシミュレーションを比較し、後流振動子モデルの有効性を調べ、制御時の応答や制御性能に関して、より正確な評価を行うことができることを明らかにしている。さらに、制御時における流体力のランダム成分の影響についても検討するとともに、オブザーバの外乱モデル周波数が誤差を有する場合の制御性能について調べ、制御性能が劣化する場合の改善策として、FFT による周波数観測を用いて外乱モデル周波数を修正する手法を提案し、その有効性を示している。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

これを要するに、著者は、直交流中に置かれた弾性支持円柱の振動を、渦励振を外乱とみなして外乱相殺制御によって抑制することを試みるとともに、その有効性を検証するためにその振動を抑制する実験を行ない、渦励振される弾性構造物への外乱相殺制御の有用性に関して有益な知見を得たものであり、機械工学の進歩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。