

Nonlinear Vibration Analysis of a Cantilevered Pipe Discharging Fluid in the Sea

孟, 帥

<https://hdl.handle.net/2324/1398372>

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

氏名・(本籍・国籍)	モング シュアイ 孟 帥 (中国)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第2285号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学府 海洋システム工学専攻
学位論文題目	Nonlinear Vibration Analysis of a Cantilevered Pipe Discharging Fluid in the Sea (海中に流体を排出する片支持管の非線形振動解析)
論文調査委員	(主査) 教授 梶原宏之 (副査) 教授 吉川孝男 准教授 中村昌彦

論文内容の要旨

地球温暖化を防止する一つの方策として、二酸化炭素の海洋空間への隔離がある。そこでは環境影響評価ばかりでなく、高深度の海盆または深海底下への二酸化炭素注入システムの運用技術・保守技術の確立が工学上重要な課題である。このシステムは、母船から細長な注入管を繰り出し、液体CO₂を排出するものとなる。このような片支持管の動的振舞いは内部流体の影響を受けるとともに、表層流等による渦励振(VIV)を伴う。したがって、注入管の安定的移動や疲労寿命予測のためには、海中に流体を排出する片支持管の振動モデルの構築が不可欠であるが、現状では十分な研究がなされたとは言い難い。

まず、空中に流体を排出する片支持管の動的振舞いについては多くの理論的研究、実験的研究があるが、その水中での動的振舞いについては、複雑な流体構造連成のため、まだよく理解されていない。たとえば、低速で揚水する場合は不安定となることが理論的に予測できるが、実験ではこれは観察されないという矛盾が指摘され、その解決が試みられている。

一方、渦励振の解析のために、多くのCFDプログラムが開発され利用されている。その大方は1自由度ウェイクモデルを用いており、クロスフロー(CF)方向の振幅等は推定できるが、インライン(IL)方向の解析はできない。また、ある条件の下では、CF方向とIL方向の連成のために、渦励振の両振幅が突然大きくなる現象が見出され、その外部流体速度域はロックイン領域とよばれている。IL方向の振動は、振幅は相対的に小さいが2倍の周波数をもつため、CF方向の振動と同じ程度の疲労を引き起こすことも指摘されている。したがって、渦励振推定の精度向上のためには、2自由度ウェイクモデルを用いることが近年試みられている。

以上の背景のもと、本研究は海中に流体を排出する片支持管の非線形振動解析を行い、内部流体注入速度などの諸パラメータの影響を調べる基盤を確立することを目的とする。

本論文の構成と貢献は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景と取り扱う問題について簡潔に述べている。

第2章では、細長管の流体構造連成に関する文献調査を行い、海中に流体を排出する片支持管の振動解析においては、内部流体速度、ノズル、下端装備（エンド・マス）、外部流体抗力などの影響を考慮し、また2自由度VIV解析が必要であることを明らかにし、本研究の問題設定の妥当性を裏付けている。

第3章では、まず著者は、修正ハミルトン原理に基づいて、海中に流体を排出する片支持管の3次項まで考慮した非線形運動方程式の導出に成功している。次に、モリソン式とファン・デル・ポール振動子を用いて、片支持管の抗力・揚力の連成を表現するためのモデルを提案している。さらに、モード法に基づいて、フーボルト法とニュートン・ラプソン法を繰り返し援用した数値解法を適用し、その収束性を確認している。

第4章では、前章で導出した運動方程式の妥当性を調べるために、文献で公開されている実験データを再現できるかどうかを検討している。まず、クランプを用いて片支持した管のVIV実験（実験1）を報告した文献では、CF方向振動のデータは入手できるが、IL方向振動データが入手できない。一方、バネとダンパを用いて片支持した管のVIV実験（実験2）を報告した文献では、両方向の振動データが入手できる。著者は、実験1に基づいて校正された1自由度ウェイクモデルの係数を、2自由度ウェイクモデルの2つの係数にそのまま当てはめて、実験1のCF方向VIVのロックイン領域と振幅を、シミュレーションにより推定することに成功している。次に、実験1と実験2が、特定の条件下では、ロックイン領域と振幅がほぼ一致することを見出している。そこで、実験2について校正された2自由度ウェイクモデルを用いてシミュレーションを行なったところ、部分的にロックイン領域と振幅を推定することができることを示している。これらの検討結果より、実験1のIL方向振動データを入手して、2自由度ウェイクモデルの2つの係数の校正を行う必要性を指摘している。

第5章では、海中に流体を排出する片支持管の振動に、内部流体、ノズル、下端装備などが及ぼす影響を調べている。特に、ロックイン領域において、内部流体の注入速度を上げると、CF方向VIV振幅が減少すること、またIL方向VIVについては、変動成分は減少するが、定常成分は増加することをシミュレーションにより示し、これらのトレードオフを考慮した適切な注入速度の選定の必要性を指摘している。

第6章では、第4、5章の結果から、第3章で導出した非線形運動方程式を用いて、海中に流体を排出する片支持管の振動解析において内部流体注入速度などの諸パラメータの影響を調べる基礎を確立したこと、及び今後の課題を結論として述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、海中に流体を排出する片支持管の振動解析のために、クロスフロー方向とインライン方向の連成を表す非線形運動方程式の導出、その数値解法の検討、内部流体速度などの影響の検討を行っており、これは海洋工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位に値すると認める。