

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 :

論文提出者 孟 帥 (Shuai Meng)

論文題名 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。こ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、注入管の安定的運用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。

たとえば、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している。

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、下端装備品(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、片支持管に働く流体力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・ラブソン法を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初めて見出している。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、エンドマス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、本論文の結論及び今後の課題を述べている。