

学位論文題名

水中線状構造物の自由振動に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

近年、産業経済の発展は目覚ましく、それにともなう人間と海との係わりも多様になってきた。このような動きに呼応して、元来土地面積が希少な上に四方を海に囲まれたわが国を始めとした各国で、海洋空間を有効利用しようとする要請が高まっている。水中線状構造物は、内部に空間を確保した構造本体を係留索により水中に引き込み安定化させる全く新しい形式の構造物であり、交通機関としてのトンネル、パイプラインなどの物流システムとして活用できるなど非常に汎用性を持つものとして期待されているが、十分な研究がなされたとは言い難く、実現には至っていない。特にこの構造物は、陸上構造物に比べて、海洋という過酷な自然環境にさらされるため、構造設計に際して必要な力学的研究成果の蓄積が要求され、また構造物が無限流体領域にあるために効率的な計算手法の確立が望まれている。

本論文は、以上の現状を踏まえて、波浪・地震などの動的な荷重を受ける水中線状構造物の挙動解明の第1ステップに位置づけられる自由振動問題を対象にし、構造-流体の構造相関問題の立場から、その解析法と自由振動特性に関する基礎的な研究を行ったもので、全5章より構成されている。その概要は以下のとおりである。

第1章は緒論であり、水中線状構造物に関連する既往の研究成果を略述するとともに、本研究の目的と意義を明らかにし、ついで、本論文の各章の概要を述べた。

第2章では、第3章と第4章で用いる構造-流体の連成自由振動問題の解法として、有限要素法(FEM)と境界要素法(BEM)の特徴を生かした結合解法について述べた。まず、構造本体と係留索からなる構造物に対しては、3次元梁要素の剛性マトリックス、整合質量マトリックスおよび2次のひずみ項を用いた幾何学的剛性マトリックスを用いて離散化する手続きについて述べ、一方、無限領域を有する流体に対しては、数値計算の効率を図るために、流体解析領域を構造物付近の内部領域と無限遠へ開いた外部領域に分けて、内部領域と外部領域の境界に仮想境界を設け、固有関数展開に基づいて得られた外部領域に対する解析解と境界要素法を用いて得られた内部領域に対する数値解を仮想境界上で接続する解析法について述べた。ついで、構造物と流体との接触条件を考慮することにより、構造物の運動方程式中に流体との連成効果を付加質量の形で取り入れられた多自由度系の連成バネ-マス系モデルへと定式化し、固有振動数方程式および構造物に作用する動圧力の算定法について述べた。

第3章では、水中線状構造物の長軸方向に直角な断面内の自由振動特性を把握するために、中空円形断面の構造本体が浮力に抵抗する複数本の係留索で海中に固定された2次元モデルを用いて固有振動解析および固有モード解析を行った。数値計算では、まず、構造

本体の剛性、係留索接合角および構造本体の設置水深などをパラメータに取り上げて、構造物の変形と流体の動的相互作用を考慮した連成解析を行い、各パラメータの水平方向、鉛直方向および回転方向の固有振動数、振動形状、動圧力分布および付加質量係数に与える影響を定量的に明らかにした。ついで、構造物を剛体として扱う従来の慣用にならない、構造本体のみを剛体とみなした解析を行い、構造本体のモデル化の相違の振動特性に与える影響を検討するとともに構造物が薄肉となる場合には弾性変形の影響が顕著に生じることを明らかにした。

第4章では、3次元流体場にある水中線状構造物の自由振動特性を把握するために、第3章と同様に中空円形断面の構造本体がその長軸方向の複数の位置で係留索によって、海中に固定されたモデルを用いて固有振動解析および固有モード解析を行った。数値計算ではまず、構造物の両端が固定支持された場合について、構造物のスパン長、構造本体の剛性、係留索の剛性および係留索支間間隔などをパラメータとする解析を行い、水平方向および鉛直方向の最低次固有振動に着目し、各パラメータの固有振動数、動圧力分布および付加質量係数に与える影響を定量的に明らかにした。さらに、空中での振動形と流体-構造連成下での振動形の相違を検討し、構造本体の曲げ剛性と係留索の伸び剛性にも依存するが両者がほぼ一樣になることを指摘し、この振動形の類似性が不明のために、本論文では積極的に採用できなかった空中での振動形を用いて振動振幅変化を簡単に評価する方法、例えば流体-構造物の全系についてエネルギーを評価し、1自由度のバネ-マス系の方程式に帰着させ解析できる可能性を明らかにした。ついで、構造物の両端の支持条件が単純支持および自由の場合も解析し、支持条件の相違の基本的振動特性に与える影響の検討を行った。

第5章は、本論文の結論であり、各章における成果について整理、要約し、さらに今後に残された課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 上 隆
副 査 教 授 角 田 典史雄
副 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 佐 藤 浩 一

学位論文題名

水中線状構造物の自由振動に関する基礎的研究

近年、海洋空間を有効利用しようとする要請が高まっている。本論文は、内部に空間を確保した構造物本体を係留索により水中で安定させる新しい形式の水中線状構造物の自由振動の解析法と振動特性に関する基礎的な研究を行ったもので、その主要な成果は以下のようである。

① 構造物-流体の連成自由振動問題の効率的な解析法として、構造物本体と係留索を有限要素法で離散化し、無限領域を有する流体に対しては仮想境界を設けて外部領域と内部領域に分け、仮想境界面上で、放射条件を満足する解析解と境界要素法から得られる数値解を接続する方法で定式化を試み、その有効性・妥当性を明らかにしている。

② 水中線状構造物の長軸方向に直角な断面内の自由振動解析を行い、構造物本体の剛性及び設置水深等の振動特性（固有振動数、振動形状、動圧力分布及び付加質量係数）に与える影響を明らかにしている。また、構造物本体を剛体として扱う従来の慣用にならない、構造物本体を剛体とみなした解析を行い、それが薄肉となる場合には弾性変形の影響が顕著に現れることを指摘している。

③ 水中線状構造物とその長軸方向の複数の位置で係留索で支持される場合の自由振動解析を行い、構造物のスパン長、構造物本体と係留索の剛性、係留索支間間隔及び構造物の支持条件等の振動特性に及ぼす影響を明らかにしている。また、構造物が空中にある場合の振動形と構造物-流体連成下の振動形の相違を検討して両者がほぼ一樣になることを見だし、構造物が空中にあるときの振動形を用いて構造物と流体の全体系のエネルギーを評価し、バネ-マス系の方程式に帰着させて簡便に解析できる可能性を明らかにしている。

これを要するに、著者は、効率的な計算手法の確立と力学的研究の成果の蓄積が望まれている水中線状構造物の自由振動問題に対して、その解析法と振動特性の検討を行い、多くの新知見を得たもので、構造力学及び振動工学の発展に寄与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。