

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19860086
 研究課題名（和文） 水中にある円筒構造物の現設計法における留意点の抽出と合理的設計法の開発
 研究課題名（英文） Extraction of note in present design method of circular cylinder structure with fluid and development of reasonable design method
 研究代表者
 名木野 晴暢（NAGINO HARUNOBU）
 大分工業高等専門学校・都市システム工学科・助教
 研究者番号：10455181

研究成果の概要：厳しい経済状況と環境下での社会基盤施設の建設を要求されている我国では、設計段階での設計精度の向上とコスト縮減が実務設計において急務であるため、先ず、現設計法の留意点や問題点を抽出する必要がある。本研究では、このような問題を解決するために、海洋空間に建設される円筒構造物に着目し、水中にある円筒構造物のより正確な自由振動特性を解明し、また、現設計法の留意点や問題点の抽出を試みた。その結果、(1) 液体に接する厚肉な中空円筒体及び中実円筒体では曲げ振動が基本振動数になるため、曲げに関する自由振動特性の把握が重要になること、(2) 液体に接する厚肉中空及び中実円筒体の曲げに関する固有振動数及び固有振動モードは、液体に接していない円筒体の固有振動数及び固有振動モードから推定が可能であること、(3) 中空円筒体の厚さが薄く、円筒体が長くなると液体の影響を受けやすいこと、(4) 円筒体の厚さ、長さ及び液体の高さに係わらず、Timoshenko 梁理論は 3 次元弾性論の代替として十分に使用できること、(5) 古典梁理論は、円筒体の長さが十分に長い場合であれば、3 次元弾性論の代替として適用可能であること、を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,180,000	0	1,180,000
2008年度	1,080,000	324,000	1,404,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,260,000	324,000	2,584,000

研究分野：構造力学，計算力学，応用力学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：中実円筒体，中空円筒体，流体－構造相関問題，3次元弾性論，梁理論，コスト縮減，合理的設計法，B-spline Ritz 法

1. 研究開始当初の背景

島国である我が国は、依然として厳しい財政状況の下で限られた国土に社会基盤施設を安全かつ着実に整備しなければならない。今後は、地下空間を活用した地中構造物や海洋空間を利用した海洋構造物などが土木分野で期待される社会基盤施設になると考えられる。さて、狭い国土に相反する広域な海洋空間は、膨大な空間を提供するだけでなく、貴重な自然エネルギー資源でもある。また、海洋上には風をさえぎる障害物がないことを上手く応用した洋上風力発電なども開発されており、海洋空間は、無限の可能性を秘めた空間の一つであると言えよう。しかしながら、海洋構造物と地上構造物の大きな相違点は、利用者や設備管理者に対する安全性と安心性であり、海洋上に建設される構造物は、時として水深の大きな位置に設置することが要求されることが想定され、加えて地震動や波浪などの複雑な外力を受ける。故に、これらは、非常に過酷かつ厳しい立地条件下での構造物建設になり、地上に架設する構造物と比較すると、より一層の安全な構造設計が要求されることになる。加えて、我が国の財政状況から判断すれば、コスト縮減を念頭に置く必要があるであろう。したがって、設計段階での設計精度の向上とコスト縮減が実務設計において急務であり、これらを議論するためには、まず、現設計法の留意点や問題点を抽出することが必要不可欠になる。

2. 研究の目的

先にも述べたように、設計段階での設計精度の向上とコスト縮減が実務設計において急務であるため、まず、現設計法の留意点や問題点を抽出しなければならない。本研究の目的は、海洋空間に建設されるエネルギー施設、橋梁や水中トンネルなどに必要不可欠である柱構造物、特に、力学的特性に優れている円筒構造物とタンクやサイロなどの円筒殻構造物に着目し、以下2点について明らかにすることである。

- (1) 3次元解析と現設計法で用いられている1次元解析の結果の比較から、両者の相違を明確にし、液体に接する円筒構造物の現設計法における留意点と問題点を抽出する。
- (2) (1)の結果を基に、設計段階でのコスト縮減と設計精度の向上を念頭に置いた水中にある円筒構造物の合理的設計法について提案する。

具体的には、液体に接する円筒構造物の動力学的特性を把握するために必要不可欠で

ある自由振動特性に着目し、以下に示す内容を実施した。

- (1) 空中にある(液体に接していない)中空及び中実円筒体の3次元自由振動解析を実施し、その自由振動特性を整理した。
- (2) 液体に接する中空及び中実円筒体の3次元自由振動解析を実施し、その自由振動特性を整理した。また、(1)の結果と比較することで、液体の有無が自由振動特性に与える影響を調べた。
- (3) 実務設計で用いられる簡便な古典梁理論及び Timoshenko 梁理論に基づく液体に接する中空及び中実円筒体の自由振動解析を実施し、(2)の3次元弾性論に基づく結果と比較し、梁理論の適用範囲を検討した。

3. 研究の方法

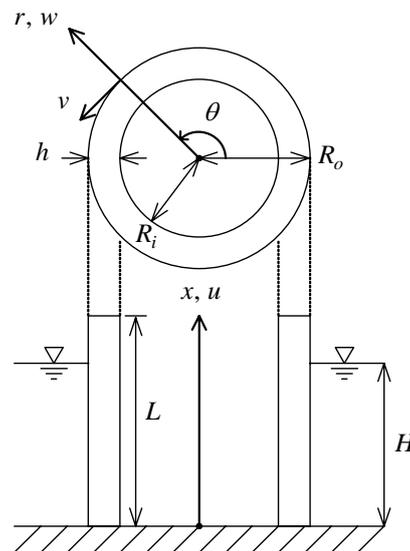


図-1 解析モデル

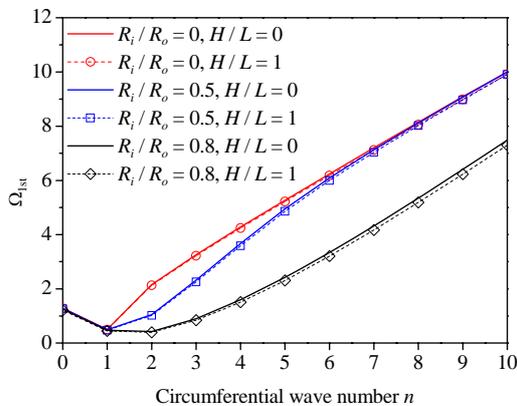
先に示したとおり、本研究では、3次元弾性論、古典梁理論及び Timoshenko 梁理論に基づく液体に接する中空及び中実円筒体の自由振動問題(図-1の解析モデル参照)を解く必要がある。梁理論は、数学的に閉じた解を求めることが可能であるが、液体の高さを任意に設定する場合には、定式がかなり複雑かつ煩雑になり、実用的ではない。また、3次元弾性論に基づく場合には、数学的に閉じた解を求めることは困難である。よって、申請者が提案している誰にでも容易に取り扱うことができ、効率良く、効果的に解析が実施でき、かつ高い解析精度が得られる構造解析

法である B-spline Ritz 法を用いて、液体に接する古典梁理論及び Timoshenko 梁理論に基づく中空及び中実円筒体の自由振動問題を定式化し、3つの構造解析プログラムを開発した。この解析プログラムを用いて、全ての数値計算を実施した。

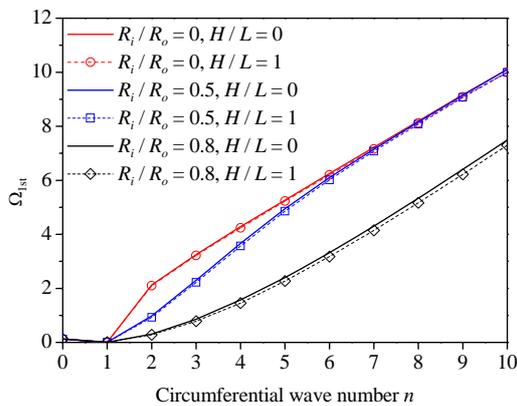
4. 研究成果

本研究で得られた大きな成果を纏めれば、以下の通りである。

- (1) 液体に接する厚肉な中空円筒体及び中実円筒体では曲げ振動が基本振動数になるため、曲げに関する自由振動特性の把握が重要になる。(図-2)



(a) $L/R_o = 2$

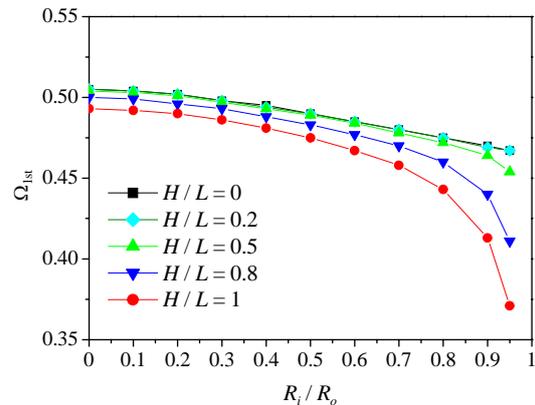


(b) $L/R_o = 20$

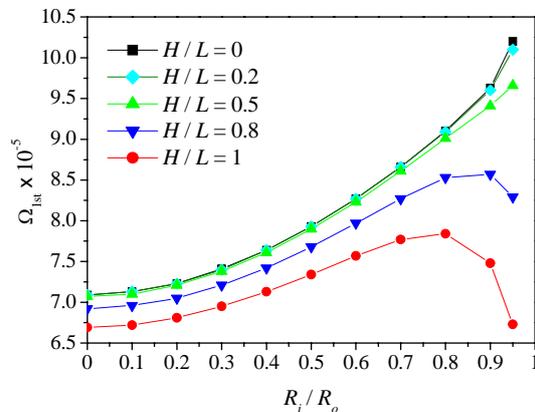
図-2 液体に接する円筒体の基本振動数パラメータ Ω_{1st} に与える円周方向の波数 n と内径-外径比 R_i/R_o の影響

- (2) 液体に接する厚肉中空及び中実円筒体の曲げに関する固有振動数及び固有振動モードは、液体に接していない円筒体の固有振動数及び固有振動モードから推定が

可能である。(図-3)



(a) $L/R_o = 2$



(b) $L/R_o = 200$

図-3 円筒体の基本振動数パラメータ Ω_{1st} に与える内径-外径比 R_i/R_o と液体の高さ比 H/L の影響

- (3) 中空円筒体の厚さが薄く、円筒体が長くなると液体の影響を受けやすい。(図-4)
- (4) 円筒体の厚さ、長さ及び液体の高さに係わらず、Timoshenko 梁理論は 3次元弾性論の代替として十分に使用できる。(図-5)
- (5) 古典梁理論は、円筒体の長さが十分に長い場合であれば、3次元弾性論の代替として適用可能である。(図-5)

特に、(2)、(4)、(5)の成果は、実務者に対して有益な情報である。なお、これらの成果の一部は、学術雑誌(査読有)、国際会議(査読有)

及び学会での口頭発表(査読無)で報告しており、秋の土木学会全国大会でも口頭発表予定である(投稿済)。また、現在、学術論文を執筆中である。

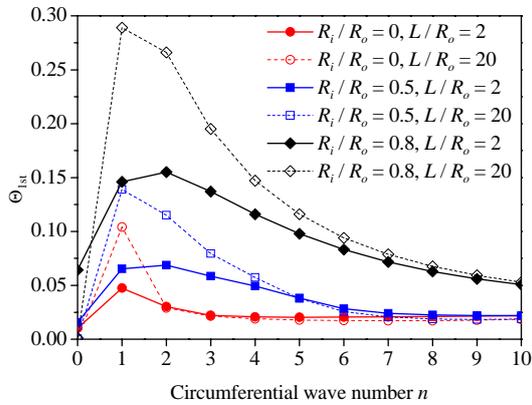
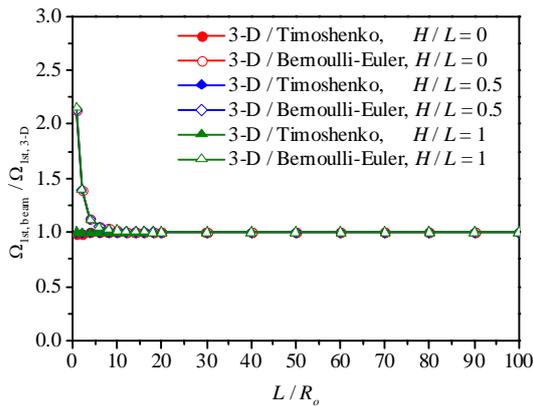
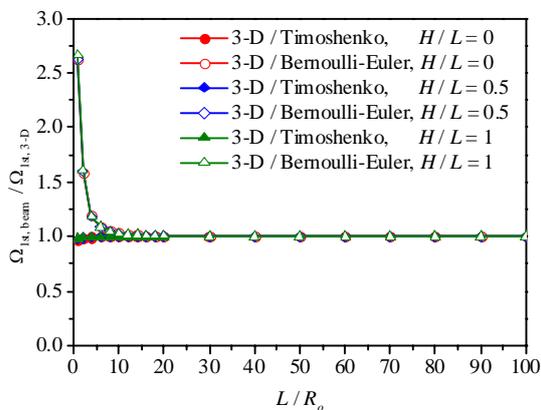


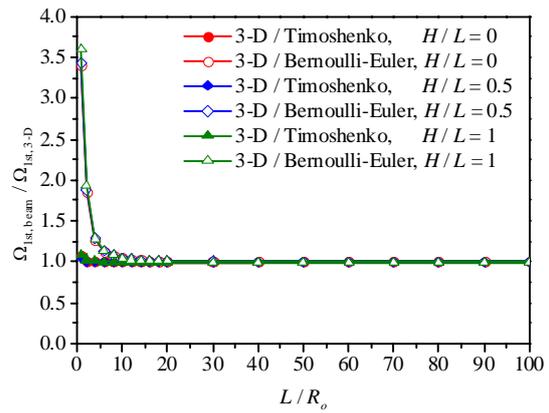
図-4 液体に接する短い円筒体と長い円筒体の付加質量係数 Θ_{1st} に与える円周方向の波数 n と内径-外径比 R_i/R_o の影響



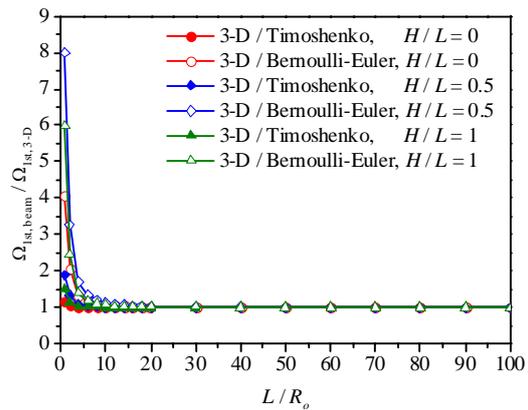
(a) $R_i/R_o = 0$



(b) $R_i/R_o = 0.5$



(c) $R_i/R_o = 0.8$



(d) $R_i/R_o = 0.99$

図-5 液体に接する中空及び中実円筒体の基本振動数パラメータ Ω_{1st} の比に与える長さ-外径比 L/R_o と液高比 H/L の影響と理論比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 名木野晴暢, 三上隆, 水澤富作: B-spline Ritz 法による中実円筒体の 3 次元自由振動解析, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.90-101, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 4 件)

- ① ○名木野晴暢, 三上隆, 水澤富作: B-spline Ritz 法を用いた液体に接する中空および中実円筒体の曲げ振動に関する 3 次元自由振動解析, 土木学会西部支部, 2009 年 3 月, 九州大学.
- ② ○金城和久, 名木野晴暢, 紀めぐみ, 浦竹美優紀, 三上隆: 厳密解法による外部で液体に接する円筒梁の自由振動解析, 土木学会西部支部, 2009 年 3 月, 九州大学.
- ③ ○ Harunobu Nagino, Takashi Mikami, Tomisaku Mizusawa: Three-dimensional free vibration analysis of hollow and solid circular cylinders with an external fluid using the B-spline Ritz method, The 4th International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, Seogwipo KAL Hotel Jeju Korea, May 2008, 査読有.
- ④ ○名木野晴暢, 三上隆, 水澤富作: B-spline Ritz 法による中実円筒体の 3 次元自由振動解析, 土木学会第 62 年次学術講演会, 2007 年 9 月, 広島大学.

※ ○は発表者.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

名木野 晴暢 (NAGINO HARUNOBU)

大分工業高等専門学校・都市システム工学

科・助教

研究者番号: 10455181

(2) 研究分担者

なし.

(3) 連携研究者

なし.