

令和 5 年 4 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04857

研究課題名(和文) 海底資源開発を促進するためのライザー管の浮力体形状の検討

研究課題名(英文) Consideration of the buoyancy body for the riser pipe to accelerate the seabed resource development

研究代表者

千賀 英敬 (Senga, Hidetaka)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：60432522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ライザー管に取り付ける浮力体に渦励振の軽減性能を持たせるため、螺旋状の溝を有する浮力体模型の渦励振軽減性能を実験・数値計算にて検証した。回流水槽での実験結果から、固定条件下では抗力を減少させる螺旋溝であっても、円柱と同程度の振幅の渦励振が発生しうること、体積が同じ浮力体であれば、溝の幅よりも深さが渦励振の軽減性能に有効であることを示した。3[m]の浮力体模型を曳航した実験では、本研究で用いた螺旋溝は円柱と比べて主流方向の抗力を減少させ、渦励振による振動振幅は約7割軽減することを示した。OpenFOAMを用いた数値計算では、定性的な一致は見られたが定量的な一致の精度は低く、改善が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

回流水槽における模型両端を固定・ばね支持条件下の実験結果は、拘束条件下で抗力を減少可能な螺旋溝であっても、円柱形状と同程度の振幅の渦励振が発生することを示した。異なる螺旋溝を有した同一体積の浮力体であれば、溝の幅よりも深さのほうが渦励振の軽減性能に効くことを示した。これらは螺旋溝のパラメーター設定に寄与する。曳航水槽で行った3[m]の模型を用いた実験結果から、長手方向に同一の幅と深さの螺旋溝を用いると、渦励振の振動振幅は軽減可能であっても、発生する渦励振には周期性が生じる。任意の位置近傍の渦の剥離位置はずらせてはいるが、長手方向の他の位置において渦の剥離位置が揃うことが原因であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Several buoyancy models with different helical grooves were investigated experimentally and numerically for their possibility of suppression Vortex Induced Vibration (VIV). The experimental results in a circulating water channel showed a buoyancy model with helical groove, which could reduce the drag force compared to that of a cylinder model under the fixed condition, could not efficiently suppress VIV. The depth of helical groove has much influence on the suppression of VIV compared to the groove width if the buoyancies of the models are equal. The experimental results in a towing tank with 3[m] long buoyancy model showed the helical groove used in this research could reduce the drag force compared to that of a bare cylinder. Besides, the helical groove model could suppress the amplitude of VIV at approximately 70% compared to that of a bare cylinder. Compared to the experimental results, the numerical results with OpenFOAM showed qualitatively correct but not so good quantitatively.

研究分野：海洋工学

キーワード：渦励振 ライザー管 浮力体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国は広大な排他的経済水域を有し、その海底には希少な資源が数多く眠っている。陸域に多くの資源を持たない我が国は、海底資源の安全な開発と有効利用が必要不可欠である。

海底資源の開発・移送には、ドリルパイプと呼ばれる掘削用のパイプの他に、ライザー管と呼ばれるドリルパイプよりも径の大きい管が用いられる。海底資源はこのライザー管の中を通り、洋上の母船やプラットフォームへと移送される。今後、海底資源開発の場は水深 1,000 ~ 3,000[m]の大水深海域へと展開していく。これに伴い、ライザー管はより長くなり、相対的に剛性が低下し、柔軟な構造物となる。

ライザー管の周囲の流れは時々刻々と変化する。この流れによる管からの剥離渦は、渦励振(VIV)と呼ばれる管の振動現象を引き起こす。激しい渦励振が発生することで、ライザー管を用いた掘削や資源の移送作業の中断を余儀なくされる。今後の大水深海域における海底資源の開発を安全で効率良く行うためには、渦励振の軽減や抑制は重要な課題である。

2. 研究の目的

海洋構造物の渦励振の軽減には、らせん状の薄板であるヘリカルストレーキや、整流効果のあるフェアリング等の付加物が有効である。しかし、ライザー管に複雑な形状の付加物を取り付けることは不可能である。なぜなら、大水深海域の海底に到達するために長大となるライザー管には、自重を相殺するために浮力体の取り付けが必要不可欠であり、浮力体を取り付けた状態で母船上のラックに横置きで作業海域まで保管されるためである。

現状では、母船上でライザー管を繋ぎ合わせて延伸して海中に降下させる前に、浮力体の外側にフェアリングを人力で取り付けて渦励振の軽減を図っている。流向の変化に対応するため、フェアリングの回転機構も必要であり、取り付け作業には多大な時間を要する。

ライザー管に必要な不可欠な浮力体に渦励振の軽減性能を持たせれば、管の延伸・降下作業時に新たに付加物を取り付ける必要は無く、本来の目的に十分な時間を確保できる。

本研究では、浮力体に本来要求される性能を満足したうえで、浮力体自身が渦励振の軽減性能を持つ新形状を開発し、海底資源の開発・移送を安全で効率良く行うことに貢献することが目的である。

3. 研究の方法

浮力体に要求される性能として、本研究では下記を考慮する。

- ・ライザー管の自重影響を軽減するために適切な浮力を有する。
- ・潮流に対する抗力が過大とならない。
- ・浮力体を取り付けたライザー管を横置きで、安全に保管が可能である。
- ・海中への降下や海中からの回収作業時に破損しにくい形状である。

既存の渦励振軽減用の付加物や研究代表者のこれまでの知見を生かし、上記の要求を考慮したうえで、渦励振を軽減可能と考えられる浮力体形状を考案する。その浮力体形状について、水槽実験および数値計算を用いて、その性能を検証する。

(1) 回流水槽での実験

浮力体模型を 3D プリンタにて製作する。回流水槽内で浮力体模型の両端を固定もしくはバネ支持する。一様流れを模型に与え、ロードセルで模型に働く荷重の計測を、2次元 PIV システム

にて模型周囲の流場の可視化と模型の運動を同時に計測する。計測結果を解析し、考案した浮力体模型の渦励振軽減性能を評価する。得られた結果は数値計算手法の精度検証に利用する。模型の直径を先行研究よりも大きくすることで、高レイノルズ数条件下での軽減性能を検証する。

(2) 曳航水槽での実験

回流水槽での実験で検討した浮力体模型を複数個つなぎ合わせ、3.0[m]程度の長い模型を作成し、船舶海洋試験水槽内で曳航して渦励振軽減性能の検証実験を行う。浮力体模型は3Dプリンタで制作する。ただし、実際のライザー管のように、複数の振動成分を含む運動が可能となるように模型に柔軟性を持たせるため、回流水槽で用いた3Dプリンタの材料(PLA)ではなく、材料はTPUとする。水槽内に曳航電車での曳航が可能な仮設床を設置し、模型の下端は仮設床に設置したロードセルに、また上端は曳航電車側に設置したロードセルにそれぞれコイルバネを用いて接続する。模型の運動は光学トラッキング式の運動解析システムにて計測する。

(3) 数値計算

研究代表者がこれまでに開発してきた3次元離散渦法およびOpenFOAMを用いて実施する。回流水槽にて行う実験結果を用い、浮力体の両端固定条件下の抗力・揚力係数について、数値計算による推定結果との比較を行う。その後、浮力体の両端バネ支持条件下において、渦励振を含めた浮力体の運動について、数値計算結果と前年度の実験結果との比較を行う。これらの比較に際し、必要に応じて回流水槽にて追加実験を行い、任意形状の浮力体に対する挙動推定手法を確立し、その精度向上を図る。

4. 研究成果

(1) 回流水槽での実験に用いた浮力体模型の例をFig. 1に示す。異なるパラメーターの螺旋溝を有する模型を用いた実験結果から、螺旋溝を有する浮力体の抗力は、Fig. 2に示すように同一外径の円柱形状より小さくなる。また、両端固定条件下で抗力を減少することが可能な螺旋溝であっても、適切な螺旋溝でなければ円柱形状と同程度の振幅の渦励振が発生するため、溝のパラメーターの設定には注意が必要である。浮力体に螺旋の溝を掘ることで同一外径の円柱形状よりも浮力は減少するが、異なる螺旋溝を有した同一体積の形状であれば、溝の幅よりも深さのほうが渦励振の軽減性能に効くことを示した。

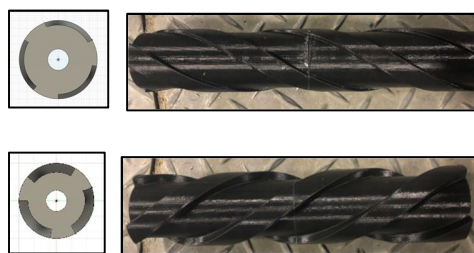


Fig.1 Helical groove models

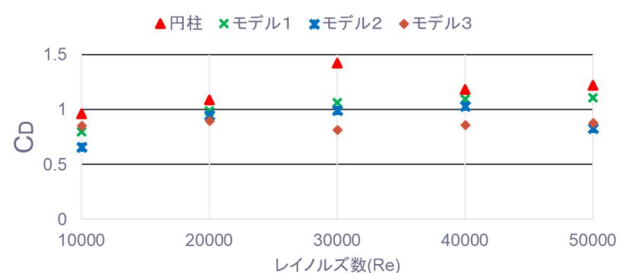


Fig.2 Drag coefficients for different models

(2) 曳航水槽で実施した3[m]の浮力体模型を用いた実験では、本研究で用いたパラメーターの螺旋溝を有する浮力体は、渦励振による振動振幅を約7割軽減可能なことが示された(Fig. 3)。その一方で、浮力体に適切な螺旋溝を掘ることにより、発生する渦励振の振動振幅は軽減可能ではあるが、発生する渦励振には周期性が見られた(Fig. 4)。この理由として、今回の実験方法では模型に流入する流速が模型全長にわたり一定であり、螺旋溝の幅と深さも長手方向に一定であるため、任意の位置における近傍の渦の剥離位置はずらせてはいるが、長手方向の他の

位置における渦の剥離位置と揃ってしまったことが考えられる。従って、溝のパラメータを長手方向に変化させることで、周期的な渦励振の抑制が期待できる。

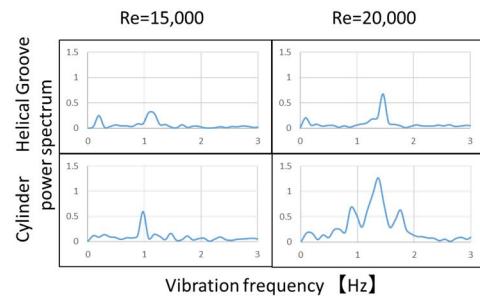
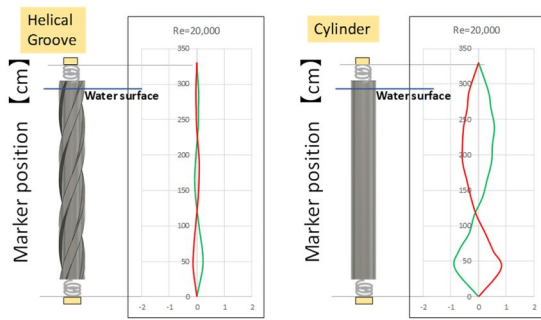


Fig. 3 Transverse motion of the models Fig.4 Power spectrum of transverse motions

(3) 数値計算では、両端固定・バネ支持条件下での模型周りの流場や模型に働く力の推定と比較を行った。円柱および螺旋溝模型まわりの流線の一例を Fig.5 に示す。同図に示される通り、円柱模型では模型の長手方向に対して流線が揃っているが、螺旋溝を有する模型の場合は、渦の剥離位置をずらしているため、斜め方向の流線が確認できる。数値計算に関し、実験結果との定性的な一致はみられたが、定量的な一致の精度は低く、改善が必要である。

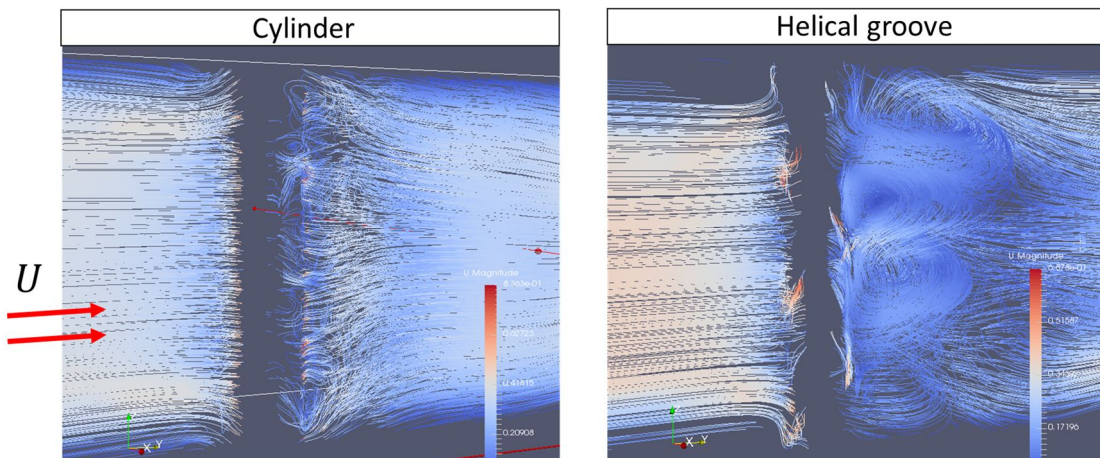


Fig.5 Stream line around a cylinder and a helical groove model.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 千賀英敬
2. 発表標題 螺旋溝を有する浮力体の渦励振軽減性能
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 令和4年秋季講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------