

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760665

研究課題名（和文） 水深によって傾斜角が変化するライザー管の渦励振に関する、流体構造連成解析法の開発

研究課題名（英文） Development of simulation method for fluid-structure interaction of catenary shaped-riser pipe.

研究代表者

西 佳樹 (NISHI YOSHIKI)

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：70470052

研究成果の概要（和文）：海底からの資源を安全に採取する技術を確立することが、ますます重要となってきた。資源を採取に用いられる各種の機器に対する、信頼ある設計手法が不可欠である。本研究は海底から洋上に資源を運び上げるために用いる長大な管は、水の流れなどから受ける力によって制止せず常に揺れている。この揺れが管の破壊をもたらすことがある。この揺れを起こす力を推定できる方法を提案した。また、その揺れを小さくするために、管表面に突起を付けること有効ではあるが、付け方によっては逆効果となることもあることを示した。

研究成果の概要（英文）：This study developed a method for predicting the motion of a very long pipe in water, which is used to convey fossil fuels resource from sea floor to the surface of the ocean. The motion of the pipe can occasionally cause collapse of the pipe. This method is useful to design the pipe considering the motion. And, this study examined the effect of attachment of small bumps on the reduction of the motion, and showed that the attachment can enhance the motion depending on position of the pipe where the bumps are attached.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、船舶海洋工学

キーワード：ライザー管、後流振動子、流体構造連成

## 1. 研究開始当初の背景

海底には陸上を上回る量の化石燃料が埋蔵されていることが分かってきている。深海での油田開発に成功すれば、化石燃料の確保という点に関しては一気に優位な立場となる。化石燃料の埋蔵が確認されている海底の水

深は最大では 3000m を超えている。現在、開発の場所が次第に深いところへと移動している。周囲を海水で囲まれ、しかも数千メートルという水深を持つ場所において、資源を安全に採取するための技術は急速にニーズが高まっている。近年、米国のメキシコ湾

内の海底油田にて大規模な油流出事故が発生し周囲の海洋環境に多大な被害を与え続けている。このようなことから、大水深での油田開発に用いられる技術の安全性を確保するための研究が求められている。

## 2. 研究の目的

大水深域での海洋資源開発における必須技術であるライザー管の一種に、Steel Catenary Riser (SCR: 鋼管を懸垂曲線状に設置するタイプ) がある。本タイプは大水深での設置に適した新しい形態ではあるが、局所的に曲率が大きくなるため、管の疲労破損に対しては強い懸念が持たれている。特に渦励振による疲労促進の評価が重要な課題であり、その解析手法の確立が最近ますます強く望まれてきている。

そのような中、申請者は最近、後流振動子という理論モデルを駆使して、剛体管の渦励振にともなう流体力を、大規模な数値計算に依らずに推定できることを証明した[1]。引き続き予備研究から、この理論はライザー管の弾性挙動の予測に十分に応用可能と推測している。そこで本研究は、流れに対して傾斜角をもつ SCR の渦励振に関して、流体・構造の両面から理論的および実験的に検討を行うことで、その動的挙動を解析できる実用的なシミュレーション方法を開発する。

## 3. 研究の方法

### 要旨

本研究の方法は、「後流振動子理論の拡張」、「L 差分法を用いる構造解析法の構築」、「流体・構造連成解析手法の計算プログラム作成」という理論・数値計算による方法と、「剛体円柱模型を用いる動揺試験」、「弾性管模型を用いる動揺試験」という実験による方法の、2つに大別される。

まず第1段階に、後流振動子理論・L 差分法を検討しつつ、剛体円柱を用いた実験を実施する。この段階では、流体・構造の連成をさせず、それぞれを部分モジュールとして完成させておく。第2段階では、連成解析法を作成する。さらに第3段階にて、連成解析法の検証のために、SCR を模した弾性管模型を用いた実験を実施する。

以上の手順を3年計画(下記)で遂行する。

### (1) 平成21年度の研究計画

#### ①後流振動子理論の拡張

渦励振は流れに直角な方向に発生する現象であるというのが従来の定説であった。申請者らの後流振動子理論は、それを基に構築された1自由度理論である。しかし、最近の実験的研究により、流れに平行な方向にも発生することが分かるとともに、それが管部材の疲労に与える影響が危惧され始めた。そこで、

この新知見を説明できる様に、申請者らのこれまでの理論を2自由度に拡張する。

#### ②剛体円柱用の実験器具の製作

①で拡張された理論を検証するために、申請者らの研究に用いられた剛体円柱用の1自由度用実験器具を、流れに平行な方向にも振動できるように、2自由度実験用に改造する。これにより、模型製作期間を短縮させる。

### (2) 平成22年度の研究計画

#### ①L差分法による構造解析法の構築

カテナリー形状に沿うラグランジュ座標で記述される梁理論を基礎として、SCR の振動現象を定式化する。それを差分法により数値計算を実行できるプログラムを実装する。また、静的応力と、渦励振による動的応力に由来する、ライザー管疲労の評価法を構築する。

#### ②剛体円柱を用いた模型実験

平成21年度の②で製作された2自由度模型を用いて、剛体円柱を水槽にて曳航させることで動揺させ、その振幅・周波数・流体力を計測する。

#### ③弾性管模型用の実験器具の製作

SCR を模した弾性管模型を制作する。材質はテフロンを予定している。

#### ④流体・構造解析手法の構築

平成21年度の①および22年度の①で構築された解析手法の各モジュールを結合させ、流体構造連成の数値計算が実行可能なプログラムを作成する。

### (3) 平成23年度の研究計画

#### ①弾性管模型を用いた水槽実験

平成22年度の③で製作した弾性管模型を回流水槽に設置し、振動モード・振幅・周波数を計測する。

#### ②流体・構造連成解析手法の検証と改良

平成22年度の④で構築した連成解析法による計算結果と、23年度の①による実験結果とを比較することで、解析法の検証を行なう。問題点が浮上した場合には、それを整理した後、解析法の高精度化に向けた改良作業を実施する。

また、3年計画の中では、特に下記の点に注意を払う。

模型の製作では、申請者の共同研究相手であり、水槽実験のノウハウで定評のある(独)海上技術安全研究所の研究者(宇都正太郎氏、星野邦弘氏、國分健太郎氏)と密接に討議することで、良質な実験用模型を作成する。

## 4. 研究成果

平成21年度は、本理論の検証をさらに進めるための実験を実施するために、剛体円柱の

自由動揺実験装置の設計と製作を行った。幅の狭い2次元水槽用に作られた模型をベースとして、大型実験試験水槽に設置するための取付機構も作成した。これにより、水槽の側面影響を最小限に抑制することができた。構造部材による弾性的な復原力を模擬するためのスプリングバネの固有周波数を計測した後、円柱の自由動揺試験を行った。先行研究では、バネの固有周波数に渦放出周波数が同期するロックイン現象のみに着目した実験がほとんどであったが、本実験では、ロックイン状態への遷移状態における計測を特に綿密に行った。その結果、流体由来の周波数成分と、構造由来の周波数成分とが共存する状態（うなり状態）の存在を明確に検出することができた。この知見は、次年度（平成22年度）に実施する予定の、ライザー管の構造解析法と流体力推定法との連成解析法を作成するための貴重な知見となる。

ラグランジュ差分法を用いた流体構造連成解析手法については、構造解析部分のコード実装をほぼ完了させることができた。反復アルゴリズムには当初、シンプルなニュートン法を用いる予定であったが、数値安定性を高め、実用に供することを可能とするために、一般化最小残差法を組み込んだ。

剛体円柱を用いた水槽実験では、昨年度に明らかとなった「渦放出固有成分と支持系固有成分との共存現象」を詳細に調査することに主眼を置いた。理論面では、過去に提唱した後流振動子理論を発展させる形で数理解析を実施し、うなり解の特徴を表現することができた。また実験面では、これまでに使用してきたフーリエ変換に加えて、ヒルベルト変換によっても実験データを分析した結果、上記現象の発生機構をほぼ解明できた。

上記の成果は、本研究が目指している「実用的な流体構造連成解析手法の開発」が8割方完了したことを意味しており、これは申請時の計画に沿ったものである。平成23年度には、作成した計算コードを多数のケースに対して適用して、実用性をさらに検証することを予定している。今年度はその基盤づくりを実施できた。

平成23年度はライザー管の振動を抑制するために管表面に突起状の物体を付加することを検討した。水槽実験および数値計算によりこの方法の効果を検証した。ライザー管の一部分を模擬した小型の円柱模型に付加物体（細いパイプ）を取り付けた。この取り付け位置と円柱の中心を結ぶ線分、およびよどみ点と円柱の中心とを結ぶ線分とがなす角度を調節できるようにした。そ

の結果、この角度がある程度小さい場合には、従来指摘されていた通りの効果が発揮されることが確認された。付加物体ありの円柱に作用する揚力は、付加物体のない円柱に作用する揚力よりも小さくなり、かつ振動振幅も小さくなった。しかし、この取り付け角度を少しずつ大きくしていったところ逆の効果が現れた。揚力が急激に大きくなり、それに伴って円柱の振動が振幅・振動数ともに上昇した。この事実から振動を抑制する目的で突起状物体を付加する際には、流れの向きを把握したうえで取り付け角度をある値よりも小さくなるように注意する必要があることが分かった。同様の現象に対して、格子ボルツマン法を用いた数値シミュレーションによっても検討した。数値計算が実験において発生した現象を概ね再現できたことを確認した後、揚力が大きくなるケースについて計算結果を分析した。その結果、付加物体の取り付けにより円柱表面近傍における流れの剥離が促進され、円柱後流に生成される渦が強化されることが分かった。それに伴い渦生成部分における圧力変動が大きくなっていった。これが揚力増大の直接的な理由であった。レイノルズ数が変化した場合、この現象にどのような変化が起こりうるかも調べた、その結果、レイノルズ数が大きくなると、付加物体の揚力低減効果が失われる取り付け角度が小さくなることが分かった。

## 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3件）

[1] Y. Nishi, K. Ono, and K. Kokubun (2012) Development of a renewable energy system utilizing vortex induced vibration of a cylinder and principle of leverage aiming for application in deep sea, *Journal of Marine Science and Technology*, DOI: 10.1007/s00773-012-0174-1.

[2] Y. Nishi (2012) Static analysis of axially moving cables applied for mining nodules on the deep sea floor, *Applied Ocean Research*, 34, 45-51.

[3] Y. Nishi, K. Kokubun, K. Hoshino, and S. Uto (2009) Quasisteady theory for the hydrodynamic forces on a circular cylinder undergoing vortex-induced vibration, *Journal of Marine Science and Technology*, 14(3), 285-295.

〔学会発表〕（計2件）

[1] Y. Nishi, Theoretical and Experimental

Study on The Transition of the Branches of Vortex Induced Vibration of a Cylinder, Proceedings of 11th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Sep. 21, 2010, pp. 67-73.

[2] Y. Nishi, K. Ono, Y. Sendoda, T. Wakuta Development of a renewable energy system combining linear-type generator and oscillatory motion of a cylinder undergoing vortex-induced vibration Proceedings of Techno-Ocean, Oct. 15, 2010 (CD-ROM).

[その他]

ホームページ等

<http://www.med.ynu.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西 佳樹 (NISHI YOSHIKI)

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：7 0 4 7 0 0 5 2

### (2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：