

令和 3 年 4 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01633

研究課題名(和文) 内部の空気流れを考慮した可撓性構造物の水中挙動の解析

研究課題名(英文) Motion analysis of a flexible structure in water considering air flow in the structure

研究代表者

北澤 大輔 (Kitazawa, Daisuke)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：30345128

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,730,000円

研究成果の概要(和文)：可撓性構造物は、オイルフェンス、水産業における漁具、沈降物の引き揚げ装置など、海洋で広く活用されている。本研究では、定置網漁業の作業効率化に用いられる可撓性ホースネットを対象とし、ホース内部への給排気による可撓性ホースネットの挙動を明らかにすることを目的とした。可撓性ホースネットは、内部の空気の有無によって剛性が変化し、その運動は内部の空気の流れの影響を受ける。これらの特徴を考慮し、相似則に基づく縮尺模型を製作して水槽実験を行い、給排気と可撓性ホースネットの運動、形状との関係を明らかにした。さらに、内部の空気流れと可撓性ホースネットの挙動を同時に考慮した2次元連成解析モデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

柔軟なホース等に代表される可撓性構造物は、安価で扱いやすい構造物として海洋で利用されている。本研究では、可撓性構造物内部の流体の流れとその運動が相互に影響を及ぼし合う問題を水槽実験、二次元の数値モデルによって解析した点に特色がある。自然環境における可撓性構造物の性能を理解することにより、可撓性構造物が海上での流体の輸送、水産での省力化、海底での資源開発等に広く応用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Flexible structures are widely used in the ocean, such as oil fence, fishing gear, and salvage equipment. The purpose of this study was to examine the behavior of the flexible hose net, which is used to improve the work efficiency of the set net fishery, when air is injected into or exhausted from the hoses. The bending stiffness of the flexible hose net changes depending on the presence or absence of air inside, and its motion is affected by the internal air flow. Considering these characteristics, we made a scale model based on the similarity law and conducted a water tank experiment to clarify the relationship between air injection or exhaust and the motion and shape of the flexible hose net. Furthermore, we have developed a two-dimensional analysis model that integrates the models of the internal air flow and the behavior of the flexible hose net.

研究分野：海洋生態系工学

キーワード：可撓性構造物 海中浮沈技術 流体・構造連成 内部空気流れ 水槽実験 実海域実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 海中構造物の浮沈技術は、海洋環境の保全措置や海中空間の有効活用、海上作業の効率化などのために必要とされている技術である。海中構造物の浮沈技術の適用例として、流出油などの有害化学物質や赤潮プランクトン、大型クラゲなどの流入を防止するための浮沈フェンス、適切な深度で養殖を行うための浮沈式生簀、海底落下物を引き揚げるためのエアリフターなどが挙げられる。海中の構造物を浮沈させる方法としては、人力や機械で行う方法、構造物に取り付けられた剛体容器(バラストタンク等)内の海水と空気を置換する方法、可撓性構造物内部への給排気による方法などがある。人力や機械で行う方法は、対象とする構造物が大型の場合は、多大な労力を要するとともに、海上作業において危険を伴う。剛体容器内の海水と空気を置換する方法は、潜水艦等でも用いられている一般的な方法であるが、大型の構造物を対象とする場合は、多くの剛体容器を配置する必要がある。可撓性構造物を用いた方法は、大型の構造物を浮沈させる方法として期待されている。

(2) 可撓性構造物は、内部に空気を含まない状態では柔軟構造物として振るまい、海上の作業者が比較的取り扱いやすい構造物であるが、海中で内部に空気を含んだ場合は、内圧に依存した剛性が発生する(図1)。また、可撓性構造物の運動による水圧(外圧)の変化は、内部の空気の膨張、圧縮や流れに影響を及ぼす。近年は、流体・構造連成解析技術の発達によって、海中の柔軟構造物の解析が行われるようになってきたが、内部の空気流れ解析を組み合わせたシミュレーション技術は開発されておらず、海中の可撓性構造物への給排気による挙動は明らかにされていない。その結果、可撓性構造物が給排気によって海中で急浮上、急沈下するなど、可撓性構造物の海中での運動を制御できない状況にある。

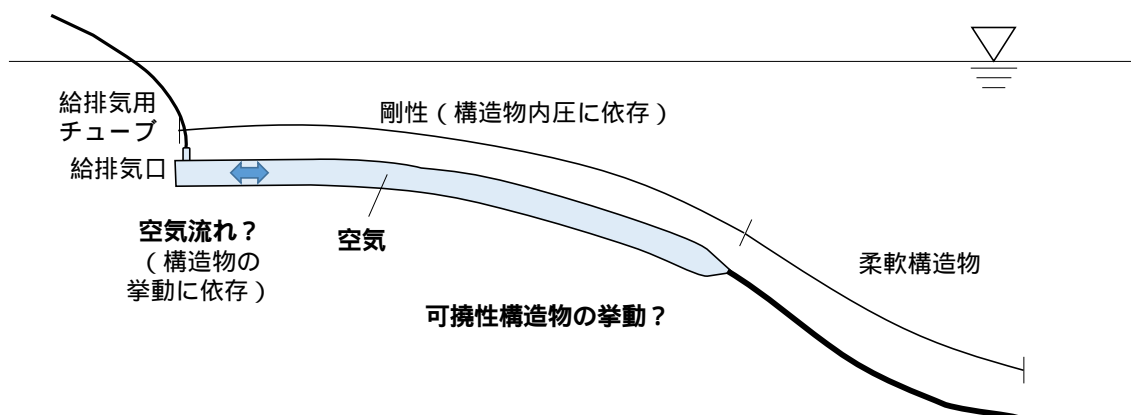


図1 可撓性構造物の浮上・沈下時の形状

2. 研究の目的

本研究では、本研究応募者が定置網漁業を対象として提案している自動魚群誘導化システムを例として、内部への給排気による可撓性構造物の挙動を明らかにすることを目的とした。まず、水槽模型実験によって、給排気時の可撓性構造物の形状変化を計測し、給排気方法と形状変化との関係について考察した。次に、内部の空気流れと可撓性構造物の挙動を連成した2次元の数値解析モデルを開発した。

3. 研究の方法

(1) 水深30m程度の海域に設置され、長さが約60m、幅が約36mの箱網を持つ小型定置網を想定し、自動魚群誘導化システムで想定する直径150mmの可撓性ホースの挙動解析を行った。縮尺比を約1/6として、長さ約10mの可撓性ホースを製作した。長さ50m、幅10m、深さ5mの海洋工学水槽に設置し、水槽の曳引台車に設置したエアコンプレッサーおよび給排気装置を用いて可撓性ホースへの給排気を行った。実験パラメータとして、給気圧力、給気速度、可撓性ホースの浮力・沈力比を変化させ、模型の海中での挙動の違いを計測した。計測パラメータは、模型の形状変化、浮上、沈下にかかる時間、ホース内の空気流量とした。また、可撓性ホースを複数本結合して平面上に加工した可撓性ホースネット模型も製作し、同様の浮沈実験を実施した。さらに、水深5m程度の実海域で浮沈実験を行うことを目的として、縮尺比1/10の可撓性ホースネット模型を製作した。浮上時の可撓性ホースネットと箱網の相互作用を調べるため、箱網模型も準備した。実海域実験の前に、海洋工学水槽において、箱網模型内に設置された小型模型にコンプレッサーを通じて給排気を行った。小型モデルには、複数点に深度計を配置し、深度データから浮上速度や沈下速度、浮沈時の形状を計測した。また、曳航台車上に設置されたビデオカメラにより、箱網模型とホースネット小型模型とのギャップを観測した。

(2) 数値解析においては、可撓性ホースネットを等価な一本の可撓性ホースで近似し、非線形の

有限要素法を用いて 2 次元の静的変形解析を行った。可撓性ホースネットにおけるホースの設置密度を給気側で高くしているため、給気側では可撓性ホースの直径を大きくし、給気側と反対側では可撓性ホースの直径を小さくすることによって浮力の調節を行った。さらに、構造物内部の空気流れ解析モデルと可撓性構造物の挙動解析モデルを組み合わせた数値モデルを開発した。可撓性構造物内部の空気流れ解析モデルでは、1 次元モデルを採用し、構造物にかかる外圧の影響を考慮した。可撓性構造物の挙動解析モデルは、2 次元の運動をモデル化し、可撓性構造物内部の空気流れの解析モデルと結合することによって、可撓性構造物の 2 次元動的解析モデルを構築した。

4. 研究成果

(1) 可撓性ホースネットの浮力と沈力の与え方に関しては、可撓性ホースネットが持つ浮力の約 40%の沈力を与えることによって、可撓性ホースネットが円滑に浮上、自然沈下することが分かり、給気時の圧力、給気速度と可撓性ホースの浮上速度との関係性が得られた。新たに開発された可撓性ホースネットは、浮上時と沈下時にほぼ同様の形状になるとともに、給気によって S 字状に浮上することから、魚群の誘導に適した形状となることが示された (図 2)。給気時の圧力が増加すると浮上速度も速くなるが、可撓性ホースネット内の圧力も急速に増大するため、実用上の安全確保のためには、浮上中に減圧するなどの工夫が必要である。また、沈下作業においては、迅速な沈下を可能とするため、事前になるべく可撓性ホースネット内の圧力を下げておく必要がある。また、箱網模型も含めた水槽実験では、箱網模型と可撓性ホースネット模型の取り合いを工夫することによって、魚類の逃避の原因となる両者間のギャップを少なくし、円滑に浮上、沈下させることが可能となった。

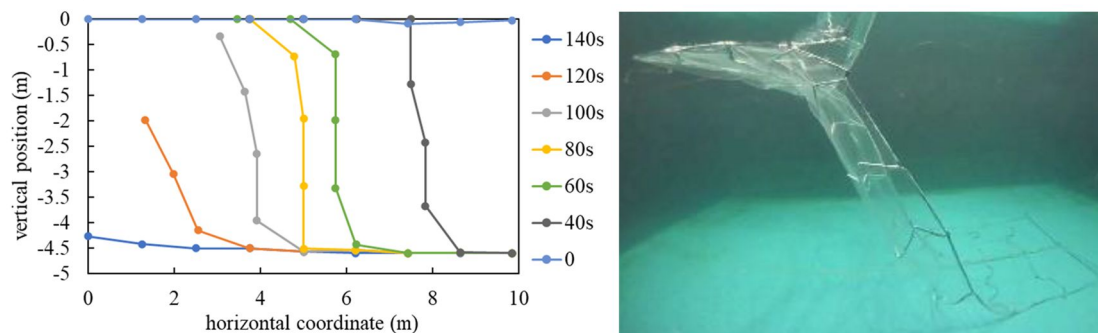


図 2 沈下時の可撓性ホースネットの形状 (左) と実験の様子 (右)

(2) 可撓性ホースネット内部の空気圧または空気量に依存した剛性を考慮して、2 次元の静的な形状シミュレーションを行った。水槽実験の結果と比較したところ、可撓性ホースネットの 2 次元形状が概ね再現された。また、2 次元の挙動予測モデルに拡張するとともに、1 次元の空気流れ解析モデルを構築し、両者を結合することにより 2 次元連成解析モデルを完成させた。

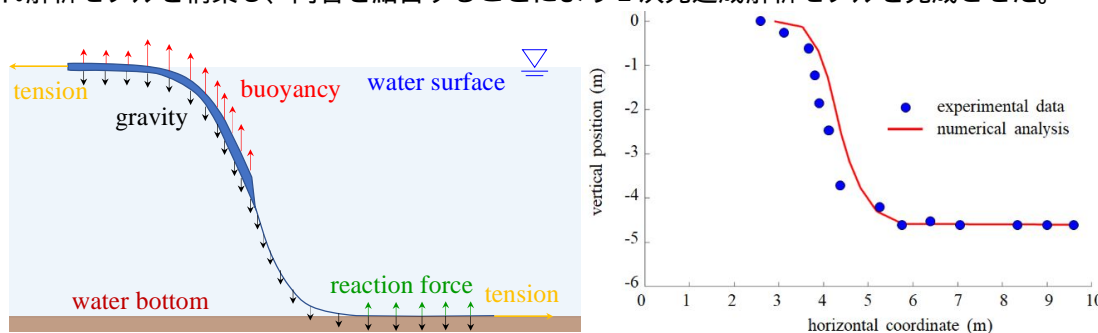


図 3 二次元静的数値解析モデル (左) と実験値との比較 (右)

(3) 流れや波浪中での可撓性ホースネットの性能を調べるため、実海域実験を予定していたが、新型コロナウイルスの影響のため延期となり、令和 3 年 5 月に実施予定となった。また、本研究で対象とした定置網漁業の自動魚群誘導化システムに関しては、今後は動物実験を通して実用的な性能を検討する必要がある。さらに、本研究では 2 次元の数値解析モデルを開発したが、今後は対象とする可撓性構造物の範囲を広げて、3 次元の数値解析モデルを開発する必要がある。可撓性構造物は、安価で扱いやすい構造物として海洋で利用されている。本研究は、可撓性構造物内部の流体の流れとその運動が相互に影響を及ぼし合う問題を水槽実験、2 次元の数値モデルによって解析した点に特色があり、可撓性構造物の基礎的な性能を明らかにしたが、今後は解析手法をより高度化し、可撓性構造物が海上での流体の輸送、水産での省力化、再生可能エネルギー設備関連の浮力調整、海底での資源開発等に広く応用されることが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Qiao Li, Yue Li, Yoichi Mizukami, Shuchuang Dong, Takero Yoshida, Daisuke Kitazawa	4. 巻 OMAE2020-18513
2. 論文標題 Experimental study on fish-harvest performance of the flexible hose net	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 7 pp.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yue Li, Yoichi Mizukami, Qial Li, Takero Yoshida, Jialin Han, Daisuke Kitazawa	4. 巻 OMAE2019-95670
2. 論文標題 Experimental Study on the Motion of a Flexible Hose Net Used in Automated Net-hauling System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2019 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 7 pp.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Daisuke Kitazawa
2. 発表標題 Experimental study on fish-harvest performance of the flexible hose net
3. 学会等名 the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古市大剛
2. 発表標題 定置網漁業の自動魚群誘導システムの性能実験
3. 学会等名 古市大剛, 李僑, 水上洋一, 北澤大輔
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yue Li
2. 発表標題 Study on the Performance of the Flexible Hose Net used in Automated Net-hauling System
3. 学会等名 令和元年日本船舶海洋工学会秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Kitazawa
2. 発表標題 Experimental study on fish-harvest performance of the flexible hose net
3. 学会等名 the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北澤大輔
2. 発表標題 Flotation and submersion of set net and cages
3. 学会等名 Aquaculture Students Presentation, Universidad Catolica del Norte (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北澤大輔
2. 発表標題 Experimental Study on the Motion of a Flexible Hose Net Used in Automated Net-hauling System
3. 学会等名 the ASME 2019 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究 分担者	吉田 毅郎 (Yoshida Takero) (30771505)	東京大学・生産技術研究所・助教 (12601)	
研究 分担者	韓 佳琳 (Han Jialin) (40814877)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (24403)	
研究 分担者	李 僑 (Li Qiao) (40832340)	東京大学・生産技術研究所・特任助教 (12601)	

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
---------	---------