

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：32644

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630230

研究課題名(和文) 大水深海中構造物の自動制御による設置手法の開発を目指した実海域実験

研究課題名(英文) Experiments for the purpose of developing controlled installation of a
underwater structure

研究代表者

渡邊 啓介 (Watanabe, Keisuke)

東海大学・海洋学部・准教授

研究者番号：10297202

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)： 海底に設置される構造物や機器はクレーン船で吊り下げられる。クレーンでつられた構造物は振り子のように振動するため、自動制御手法を用いて振り子の振動を抑えながら、設置する手法について検討した。実験を実施するため、海中の構造物の位置を検出するためのフローティングLBL方式を提案し、洋上に浮いている3個のブイの位置をGPSで測量し、各ブイと水中の構造物の距離を超音波で測定するシステムと制御システムを構築した。

研究成果の概要(英文)： When a underwater structure is installing, the suspended structure and the crane vessel constitute a pendulum. If the vessel perturbs, the structure swings horizontally and the amplitude depends on the descending speed. To investigate the possibility of controlled installation which suppress swing motion of a suspended structure, we developed a set of experimental system. The experimental system consists of a floating LBL system, a model of structure which has two thrusters. The floating LBL system consists of three buoys each of which has a computer, GPS, and a transponder. We developed a low cost ultrasound ranging system to measure distance between a buoy and the structure.

研究分野：海中システム工学

キーワード：海中機器の設置 フローティングLBL

1. 研究開始当初の背景

日本近海の海洋資源開発としては、メタンハイドレート、海底鉱物資源などが有望である。メタンハイドレート開発では、海底ポンプ、セパレーターなどの機器を設置する可能性が高い。海底鉱物資源開発では、掘削ロボット、クラッシャーなどの海底機器を設置する必要がある。

海底油田開発では、サブシープロダクションシステムと呼ばれる多くの機器が設置されている。ここでは、原油価格にも依存するが、基本的に巨額のプロジェクト資金を投資することができるため、専用の設置船を建造し、複数の ROV など多くの支援装置を使用することができる。しかしながら、メタンハイドレートや鉱物資源開発では、採算性の観点から、プロジェクトの低コスト化が不可欠であると考えられ、油田開発で用いられている従来の手法をそのまま援用することは難しいと予想される。

従って、低コスト化を目指した新しい設置手法の開発が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、海底に設置される機器や構造物にスラスタを取り付け、クレーン船から懸垂された構造物の振動を制御しながら設置する方法について、実験システムを構築し、実験によって、手法の可能性を検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) シミュレーションによる検討

クレーンから懸垂された構造物は、振り子を形成するが、海底に吊り下ろされていく過程で、ケーブルの長さが長くなっていく。ケーブルの繰り出し速度が、構造物の降下速度であり、この速度が早ければ早いほど、工事が早く完了することになるが、一方で、降下速度が振り子の振動に影響する可能性も考えられる。そこで、2次元の場合について、ケーブルが長くなる振り子システムの振動について、シミュレーションプログラムを構築し、制御をかけた場合とかけなかった場合の比較、制御力の見積もりを実施した。

(2) フローティング LBL システムの構築

構造物の制御のためには、水中での座標を検出する必要がある。一般的に、水中の位置検出は、超音波の送受信を行うトランスポンダーを海中に 3 点以上設置して基地局とし、構造物にとりつけたトランスポンダーと、基地局間の距離を測定して、三角測量することで行う。

基地局間の距離に応じて、LBL(Long Base Line)、SBL(Short Base Line)、SSBL(Super Short Base Line)などの方法がある。このうち、SBL、SSBL の装置は、比較的安価ではあるが、1 セット数百万円程度と、今回の実験には高価すぎて使えない。また、LBL は、海

底の基地局となるトランスポンダーの設置が難しく、価格面、工事面から、今回の予算では実現できない。

そのため、本研究では、ブイを浮かせ、ブイに取り付けた GPS 信号を無線通信でやりとりしながら LBL を構築することを目標に、フローティング LBL の構築を実施した。

(3) 構造物模型システムの構築

構造物模型として、トランスポンダー、姿勢センサ、スラスタを搭載した構造物模型システムを構築した。

(4) 実験

自作したトランスポンダーの距離測定実験、フローティング LBL による座標検出実験を実施した。

4. 研究成果

(1) シミュレーションによる検討

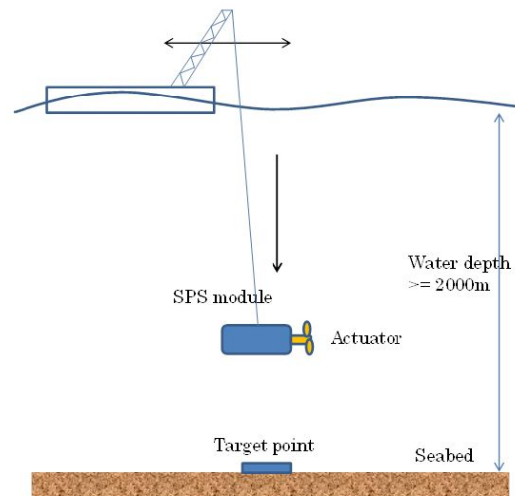


図1 シミュレーションの設定

図1に示すように、座標系を設定し、ケーブルの長さが速度 v で長くなる場合の、構造物の振動についてシミュレーションを実施した。

その結果、例えば、図2、図3に示すように、ケーブル速度が0.5m/s、1.0m/sでは、繰り出す速度が速い方が、振り子の振れ角の振幅が大きく、さらに水深が深くなるにつれて、横方向の変位が大きくなるのがわかる。

これに最適制御を加えた場合、図4に示すように、振幅を約1/10に抑えることができるという計算結果を得た。この際の制御力は、構造物の質量50tfに対し、最大500kgf程度と、既存のROVのスラスタで対応できる範囲で十分であることを確認した。

(2) フローティング LBL システムの構築

構造物の水中の位置を検出するために、フローティング LBL を構築した。このシステムは、図5のように、マスターブイ(船上)

スレーブブイ 1、スレーブブイ 2 からなる。各ブイには、GPS と Xbee を搭載しており、以下のような手順で水中の構造物の位置を検出する。

- ・ 全体のデータの記録と通信は、サポート船上の PC から Xbee を用いて行う。
- ・ まず、PC からの指令を受けて、マスターブイがスタート信号を Xbee を通じて、各スレーブに送る。
- ・ 同時に、マスターブイは超音波信号を水中の機器に向けて、送信する。
- ・ マスターブイの時計はゼロクリアされる。
- ・ スレーブブイは、それぞれ、マスターブイからのスタート信号を受け取ると、時計をゼロクリアする。
- ・ スレーブブイの超音波は、ウェイティングモードになる。
- ・ 水中機器は、マスターブイからの超音波を受信したら、返信信号を洋上のブイに向けて返す。
- ・ 洋上のブイは全て、水中機器からの返信信号を受信すると同時に、タイマーをストップし、同時に、GPS の座標を記録する。
- ・ マスターブイは、スレーブブイ 1 のタイマー値、GPS 座標の送信リクエストを Xbee を用いて出す。
- ・ スレーブブイ 1 は、データ記録が完了していれば、それらのデータをマスターに Xbee で返す。
- ・ マスターブイは、スレーブブイ 2 とも上記を実施する。
- ・ マスターブイは、スレーブブイ 1、スレーブブイ 2 の座標、タイマー値、及び、自身の座標、タイマー値から、ブイ基線の算出、各部位と水中機器の位置をそれぞれ計算し、水中機器の相対座標を算出する。
- ・ 水中機器の座標が産出されたら、このサイクルのデータを船上の PC に Xbee で送信する。
- ・ 全てのデータは、各ブイの SD カードにも記録されている。
- ・ 上記のサイクルを定められた周波数で周期的に実行する。

このシステムを実現するために、既存の製品が予算内でカバーできないため、図 6 に示すトランスポンダーを製作し、ブイを製作して、距離を測定するシステムを新たに開発した。また、Xbee によるシリアル通信で、GPS の座標をスレーブブイからマスターブイに送信し、マスターブイの PC で、基線となるブイ間の距離を算定するプログラムを構築した。図 7 は、製作した超音波測定装置による距離測定の結果である。図に示すように、実際の距離と測定値は完全に相関関係がある。また、海での実験から、約 40m の距離までは測定できることを確認した。

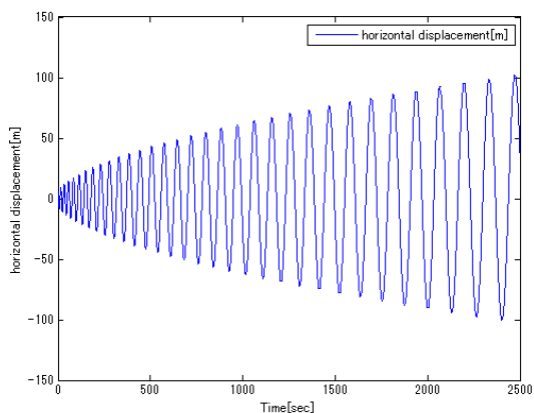


図 2 繰り出し速度 1m/s のときの変位

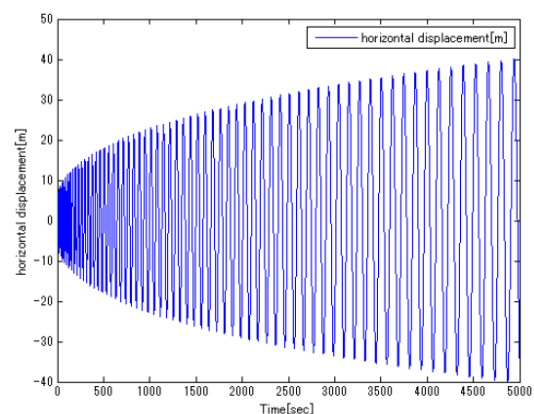


図 3 繰り出し速度 0.5m/s のときの変位

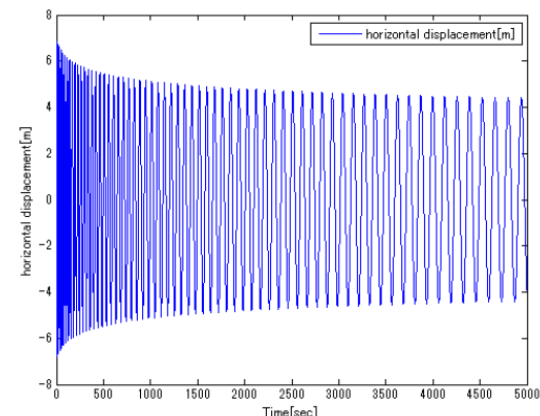


図 4 繰り出し速度 0.5m/s のときの変位

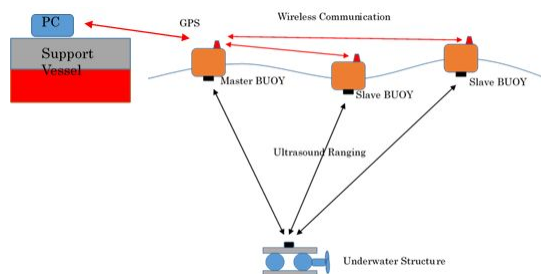


図 5 フローティング LBL のシステム

(3) 構造物模型システムの構築

東海大学所有の小型船舶から釣りおろし実験を実施するため、図8に示す実験装置を設計、製作した。

アルミ製耐圧容器、スラスタ-2基を取り付け、内部には、姿勢センサ、超音波距離測定システム、これらを統合する raspberry pi コンピューターを搭載している。

耐圧容器、スラスタ、超音波送受波器は、図8に示すようにフレームに取り付けられており、その4か所に、ワイヤーを取り付ける治具を取り付けている。

マスターブイが水中の構造物の位置を計算し、構造物内部のコンピューターに位置を送信するため、通信ケーブルを接続するように設計した。

(4) 実験

実験システムを構築し、小型舟艇北斗にて実験を試みたが、天候が悪く、ブイが流されると同時に、ブイの動揺が大きく、超音波送受信器の指向性が広くなかったため、殆ど距離を測定することが出来なかった。そのため、実海域での制御実験を完了することができなかった。しかしながら、今回考案した手法の基本性能の確認、及び、ブイを海中に投入するドローンシステムの確認には成功した。再度、本システムを用いて、実験する予定である。

(5) 今後の課題

超音波の指向性が悪く、ブイの動揺で座標の検出に十分な距離測定ができなかった点を改良する予定である。また、水深が深くなると、超音波の伝搬時間が長くなるため、制御が不可能になる。このシステムの実用的な水深は、150m程度までと考えられる。船上におけるケーブルの角度とケーブルの長さから、構造物の水中位置が検出できれば、伝搬時間の問題は解決できると考えられるが、本システムを使用して、今後、LBLで計測した位置と、ケーブル角度から換算した位置を比較するなどの実験を行って、新しい手法の検証を実施していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

Keisuke Watanabe, Kazuo Ishii, "Floating LBL concept for underwater position detection", Proceedings of ICAROB2017, 2017, pp.246-249

Yoshiyasu Watanabe, Keisuke Watanabe, Fumio Yuasa, Tatsuki Nazuka, "A Self-walking Vertical Mining System Concept Using DTH for Seafloor Mining and Its Preliminary Design", OTC2016, 2016, OTC27003MS

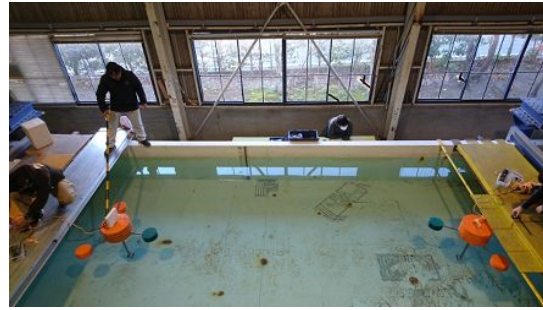


図6 ブイシステム

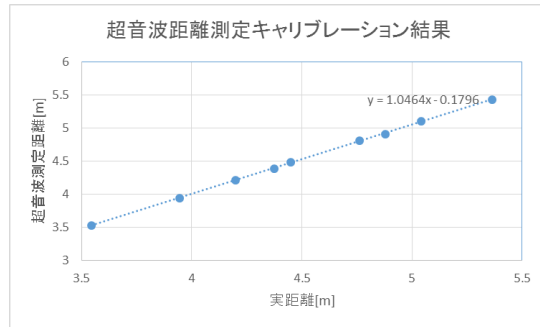


図7 超音波距離計測実験結果



図8 構造物模型システム

Keisuke Watanabe, Yoshiyasu Watanabe, Fumio Yuasa, Tatsuki Nazuka, "A Vertical Mining System Concept Using DTH for Seafloor Mining", OTC2015, 2015, OTC25925MS

〔学会発表〕(計 2件)

渡邊喜保、渡邊啓介、湯浅文雄、名塚龍己、海底鉱物資源開発用自走式垂直採掘システムの開発、日本船舶海洋工学会講演論文集、No.22、2016

渡邊啓介、渡邊喜保、湯浅文雄、名塚龍己、海底鉱物資源開発システムの採掘方式に関する比較検討、日本船舶海洋工学会講演論文集、No.20、2015

〔産業財産権〕 なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡邊 啓介 (WATANABE, Keisuke)
東海大学・海洋学部・准教授
研究者番号：10297202