

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14259

研究課題名(和文) Droneを利用した次世代波浪予測法の構築

研究課題名(英文) Next generation wave prediction by using drones

研究代表者

高木 健 (Takagi, Ken)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90183433

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：多数のドローンをブイとして用い、直接波面の変位を多点計測し、そこで得られた波面の多点時系列を用いて、そこから離れた場所での波面変位を予測する理論の数学的基礎を構築した。その理論を基に数値シミュレーションを実施し、多点の波面変位時系列より波面変位時系列を十分な精度かつ十分未来の予測が可能なことを示した。

ドローンに9軸加速度計を搭載し、実海域で波面変位の計測を行い、タワー据え付けの超音波波高計とほぼ同じ波面変位が得られることを確認した。このドローンを用いて、実海域で波面変位の予測実験を実施した。その結果、方向集中度が高い場合、ドローン1機の情報から、かなり高い精度の波面変位の予測に成功した。

研究成果の概要(英文)：Using multipoint time history of the sea surface directly measured by many drones which are used as buoys, the mathematical basis of the theory which predict sea surface displacement at a location away from the drones is established. Numerical simulation was carried out based on that theory and it was shown that the sea surface displacement time series can be predicted sufficiently accurately and sufficiently in future. We mounted a 9-axis accelerometer in the drone and measured the sea surface displacement in the actual sea area and confirmed that almost the same displacement as the ultrasonic wave height meter can be obtained. Using this drone, a prediction experiment of the sea surface displacement was carried out in the actual sea area. As a result, when the directional distribution of the incident waves is narrow, we succeeded to predict the individual waves with considerably high accuracy.

研究分野：海洋工学

キーワード：ドローン 波浪予測

1. 研究開始当初の背景

近年、海底石油・ガス田開発や洋上風車設置など、海洋の利用は益々拡大している。一方で、海上で働く作業員の安全確保に対する課題がクローズアップされている。海上作業で危険が生じるのは波による浮体動揺の影響が最も大きい。現在は海象予測に基づく有義波高の予報値によって、当日の作業の可否を決定している。また、海上作業船へのヘリコプターの着艦やクレーン作業などの場合は現場での実測値や目視観測値で作業の中断を判断している。しかし、安全性を高めるためには信頼性のある方法で事前に揺れを予測することが必要である。最近になって蘭国においてレーダ画像を利用した浮体動揺の予測に関する実証試験が行われ、数十秒先の浮体動揺の予測が利用されようとしている。しかし、レーダは波高そのものを計測しているのではなく波長や波形などから推測しているにすぎないので、信頼性のある予測にはなお大きな隔りがある。

一方、我が国では約 30 年前に盛んに行われた波浪エネルギー吸収理論の研究で計測点から離れた位置での波形の予測法が確立しており、長波頂波浪の場合は理論的基盤がほぼ出来上がっている。しかし、応用先の設定が悪かったことと、実海域での計測法が無かったことから、これらの研究は開花せず忘れ去られていた。ところが、近年の Drone (無人機、無人ボート) の発達には新たな計測法の可能性を我々にもたらした。そこで、Drone の利用による次世代の動揺予測法 (1 分～数十秒前に危険な動揺を予測する手法) が構築できるのではないかと考えた。また、PC 等の高速化、GPS の存在など 30 年前とは全く違う周辺環境であることも背景として重要である。

2. 研究の目的

Drone による予測法の理論的背景を明らかにし、現実的に実行可能なアルゴリズムを開発することが第一の目的である。また、この方法による精度検証を水槽試験で行うことが第 2 の目的である。さらに、流れや風の影響の除去法を検討するとともに、実用化に向けて現実的な計測法を検討する。これらの検討結果をもとにした実用的な計測法を水槽試験や実海域試験で検証するのが第 2 の目的である。

3. 研究の方法

平成 27 年度は理論的背景の整理と確認を主としておこなった。長波頂不規則波の場合、

1 点で計測された時系列情報から浮体位置での波浪をインパルス応答関数の重畳積分にて予測できることが知られている。短波頂不規則波の場合は、長波長不規則波の予測理論を拡張することにより、浮体を取り囲む線上の波高の時系列が得られれば浮体位置での波高の予測が可能である。しかし、実際には図-1 に示すよう波の変位を知りたい船舶等の周りに有限個のドローンを配置するだけで離散的な計測点しか時系列データない。そこで、有限個の計測点の時系列情報から浮体位置での波高予測を行う方法を理論的に示し、数値計算アルゴリズムを開発した。次に、このアルゴリズムの精度検証を行うため、線形理論の範囲内ではあるが、計算機上に不規則波の波面形状を発生させ、これを用いて精度検証を実施した。

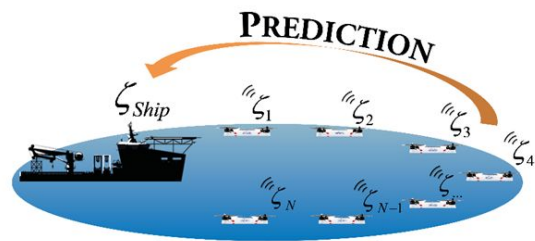


図 1 ドローン配置のイメージ

28 年度には実用化に向けた検討を行った。まず初めに、ドローンを波浪計測ブイとして使用できるかどうかの検討をおこなった。そのため、ドローンの内部に小型の加速度計を搭載し、東大の所有する平塚タワーの近海において、浮遊させ並進運動加速度を回転運動の情報による修正を施しつつ積分し、波面の上下方向変位を計測した。また、実海域で問題になる流れや風によるドローンの漂流の影響を除去する方法や海上での通信についても検討した。さらに、ここで得られたアルゴリズムとドローン計測システムを用いて水槽試験と実海域試験を実施し、実用可能性を検討した。

4. 研究成果

まず初めに長波頂不規則波の場合について様々な計測位置と予測時間の関係を調査し、予測時間とドローンの位置と誤差の関係を得ることができた。(図 2) この図より、一般の海域であれば 500-700m 離れた位置にドローンを配置すれば、約 30 秒の事前予測が可能なが分かった。

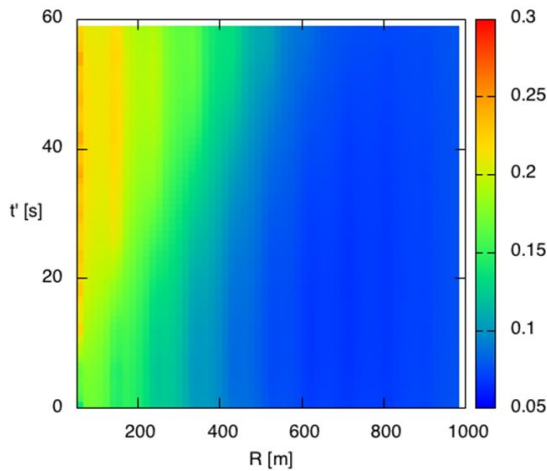


図 2 ドローンの位置と予測時間と精度 (RMSE) の関係

短波頂不規則波の場合には、予測点を取り囲む線上の波高の時系列が得られれば予測点での波高の予測が可能であることがわかった。しかし、実際には図-1 に示したように、有限な計測点しかない。そこで、有限個の計測点の時系列情報から予測位置での波高予測を行う方法を、線形自由表面条件の仮定の下に、理論的に示した。この理論では、風など水波を生じさせるかく乱源が変位計測点のはるか遠方にあると仮定することによって得られる初期値境界値問題として扱った。したがって、この理論で得られた結果は、非定常状態にも適用することが可能である。また、この理論に基づいて、具体的な数値計算アルゴリズムを開発した。

線形理論の範囲内ではあるが、短波頂不規則波を数値的に発生させてこのアルゴリズムの精度の検証を行った結果、15~20機のドローンを使えば、方向分散性が大きい短波頂不規則波の場合でも、危険波浪警報が実行できるレベルの精度を確保できることが分かった。図 3 は数値シミュレーションにより、予測精度がどの程度になるかの一例を示した図である。

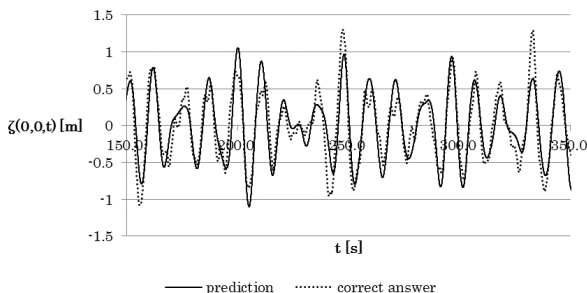


図-3 予測と正解との比較

これらの結果に対して、東大生研の所有する海洋工学水槽において計測実験を行った。実験では、長波頂不規則波と短波頂不規則波を海洋工学試験水槽で発生させ、波高計によ

り計測された値を用いて、予測の精度を検討した。その結果、方向分散性が小さい(方向集中度が大きい)場合は数値計算と同レベルの精度で予測が可能なることを確かめた。特に、方向集中度が高い沿岸を模した試験では一本の波高計の計測値から予測しても高い精度で予測可能なることが分かった。一方、方向分散性が大きい場合は、水槽の反射の影響や波高計の本数の問題などで十分な精度の確認は行えなかった。今後の課題としたい。

以上の研究により、方向集中度が大きい場合にはドローン1機の情報でも十分な精度で予測可能なることが分かったため、本研究費で購入したドローン1機でドローンをブイとして使用することの可能性について調べた。前述のように、ドローンに小型加速度計を搭載し、上下変位を計測した。その結果、計測された波面の上下方向変位は平塚タワーに備え付けられた超音波式波高計から得られた上下変位の値と大変良い一致を示した。さらに、海上での通信可能性についても調査し、距離700mの場合は0.8mのアンテナ高さで通信が可能なることを確認した。

このようにしてブイとしての機能を確認したドローンを用いて、平塚タワー周辺で波面変位の予測実験を実施した。その結果、この海域では方向集中度が高いため、ドローン1機の情報から、かなり高い精度の波面変位の予測に成功した。(図 4)

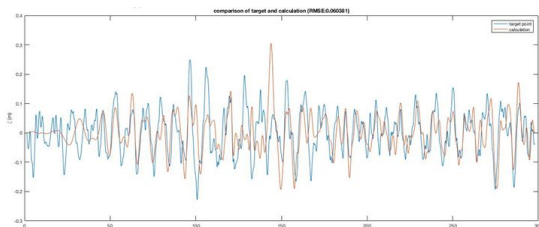


図 4 実海域での予測結果の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4件)

Takagi, K., Hamamichi, S., Wada, R. and Sakurai, Y., Prediction of Wave Time-history Using Multipoint Measurements, Journal of Ocean Engineering, 査読有、2017, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.03.050

Wada, R., Mondal, R., Sakurai, Y. and Takagi, K., Prediction of Individual Waves Based on Multi-Point measurements, Proc. of the 2nd Offshore Technology Conference Asia, 査読有、OTC-26547-MS, pp1-9, 2016.

濱道創太、櫻井裕司、和田良太、高木健、多点計測データを用いた波浪の時系列予測、

日本船舶海洋工学会講演論文集、査読無、第
22号、pp579-580、2016.

櫻井裕司、高木健、和田良太、濱道創太、
飛翔小浮体（ドローン）を用いた海上センサ
ネットワーク、日本船舶海洋工学会講演論文集、査読無、第23号、pp27-29、2016.

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 健 (TAKAGI, Ken)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
教授
研究者番号：9 0 1 8 3 4 3 3

(2) 研究分担者

和田 良太 (WADA Ryota)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
助教
研究者番号：2 0 7 2 4 4 2 0

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

櫻井裕司 (SAKURAI Yuji)
濱道創太 (HAMAMICHI Sota)