

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14888

研究課題名(和文)粘性減衰力がPoint Absorber型波力発電装置に及ぼす影響

研究課題名(英文)Effect of viscous damping force on a point absorber wave energy converter

研究代表者

梅田 隼(Umeda, Jun)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：30757563

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：水槽試験および数値流体力学(CFD)を用いた数値計算で波力発電装置に作用する粘性減衰力の特性を明らかにするとともに、変化の傾向から粘性減衰力の推定式を提案した。波力発電装置の発電・制御シミュレーションツールを開発し、推定式を用いて粘性減衰力を考慮することで、粘性減衰力が発電量に与える影響について調査した。固有周期付近では発電量が低下するが、固有周期より長周期ではほとんど変化しない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海に囲まれた日本では海洋エネルギーを利用した発電装置が期待されており、実用化に向けた研究開発が国内外で行われている。本研究では、波力発電装置浮体の流体力学的特性を調査する研究であり、発電性能および安全性評価において有益な情報を与えるものである。また、本研究で得られた成果は、波力発電装置以外の浮体にも適用することができる。

研究成果の概要(英文)：This study investigated characteristics of the viscous damping forces acting on wave energy converters. The viscous damping forces were measured and calculated by the model test and computational fluid dynamics to reveal characteristics of the forces, and The Regression formula based on the results measured and calculated was proposed. Numerical simulation considering viscous effects was developed. Effects of viscous damping forces on output power of wave energy converters was investigated.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：波力発電装置 粘性減衰力 浮体式波力発電 CFD

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーのうち、海に囲まれた日本では海洋エネルギーを利用した発電装置が期待されており、実用化に向けた研究開発が行われている。波エネルギーを利用した波力発電装置(WEC)のひとつである Point Absorber 型は施設の基部となる動揺し難い浮力体と、水面近くに位置し、波に対して上下動しやすいリング状のフロートの相対運動を利用して PTO (Power-Take Off) 機構と呼ばれる内蔵発電機を駆動させ発電する。この WEC は国内では三井造船 PB-MES、東京大学ではリニア式波力発電などの要素研究、欧米ではすでに Ocean Power Technologies 社、Wedge Global 社により実証実験が行われており、事業化への期待が大きい。Point Absorber 型 WEC は発電効率を向上させるため、フロートを広範囲の波に共振させることを可能とする機能(同調制御)を PTO が備えている。同調制御のパラメータ最適値はフロート運動方程式の係数により決定するため、正しく同調制御を行うには浮体の流体力の精度良い推定が重要となる。浮体式海洋構造物の上下揺れでは、一般的に粘性減衰力の影響は小さいとされ、流体力の推定には非粘性を仮定した境界要素法を用いられる。片山ら【1】は Point Absorber 型 WEC に似た形状をもつ漂流ブイの水槽試験により浮体の形状によっては粘性減衰力の影響が無視できないことを指摘している。そのため、WEC でも粘性減衰力の影響を無視できない可能性があり、PTO 制御下ではさらに影響が大きくなる可能性がある。片山ら【1】、星野ら【2】によって運動振幅が大きくなると粘性減衰力は大きくなることが明らかになっているが、運動周期・振幅を考慮した推定法は提案されていない。

参考文献

【1】漂流ブイの上下揺れに及ぼす粘性流体力の影響：片山徹,樋口誉,桃木勉,多羅尾保允,麻生裕司, 日本船舶海洋工学会論文集 Vol.9, 2009-06, pp107-113

【2】浮体式海洋構造物に加わる流体力の推定法に関する実験的研究：星野邦弘,加藤俊司,小寺山亘, 西部造船会会報 Vol.92, 1996-09, pp117-131

2. 研究の目的

WEC に作用する流体力の中で、粘性減衰力の特性は十分に明らかになっておらず、推定法も十分検討されていない。そこで、本研究では粘性減衰力の特性を水槽試験・数値計算により明らかにし、推定式の構築を行う。さらに推定式を WEC の発電評価シミュレーションに加えることで浮体の粘性減衰力が発電性能に及ぼす影響について調査する。

3. 研究の方法

上下方向の強制動揺試験を行い、その際の上下方向の流体力および下端部に生ずる渦の可視化を行う。試験は海上技術安全研究所の 2 次元水槽で実施した。波力発電装置のフロート部を模擬した模型を鉛直方向に動揺させて、上下方向の流体力と運動によって生じる発散波を測定する。また合わせて、水槽内に粒子を散布し、水槽下から粒子に対してグリーンレーザーを照射し、高解像度カメラで粒子の運動を撮影し、画像から PIV により流場の可視化を行った。流体力計測試験では、計測した上下方向力の振幅と模型の上下変位との位相差から、加速度および変位に比例する成分と速度に比例する成分に分離する。加速度に比例する成分からは付加質量、速度に比例する成分から減衰力係数が得られる。さらに減衰力係数 B は造波減衰力係数 B_w と粘性減衰力係数 B_v と分離できる。造波減衰力係数 B_w は運動振幅と運動によって生じた波の振幅比から別途求めることができ、減衰力係数から差し引くことで粘性減衰力係数 B_v が求まる。この粘性減衰力係数を動揺周期および動揺振幅を変えて実施して変化の傾向を捉えるとともに、粘性減衰力係数の推定式を提案する。また、実験に対応した条件で粘性 CFD を用いた数値計算も実施した。CFD では、水槽試験では実施できない条件が計算可能となるため、十分な精度で計算が可能となるか検証する。CFD コードには海上技術安全研究所で開発を進めている船用 CFD ソルバー”NAGISA”を用いた。格子点数は約 120 万である。

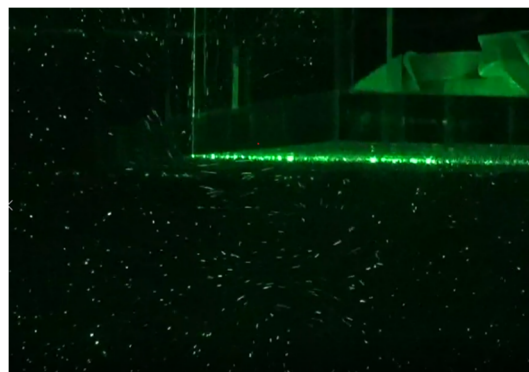
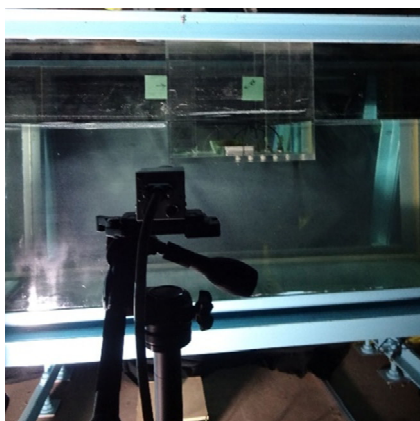


図 1 実験装置

4. 研究成果

動揺周期に対する付加質量および造波減衰力係数を図 2 に示す。記号の違いは動揺振幅の違いを表す。いずれの周期でも計測結果から得られた造波減衰力係数はポテンシャル理論から求めた値と一致しており、水槽試験の妥当性が確認できる。また、理論と同じく振幅には依存しない。付加質量については、振幅 1.0、1.5 cm の低振幅時には計測値は計算値と一致するが、振幅の増加とともに増加する傾向となった。

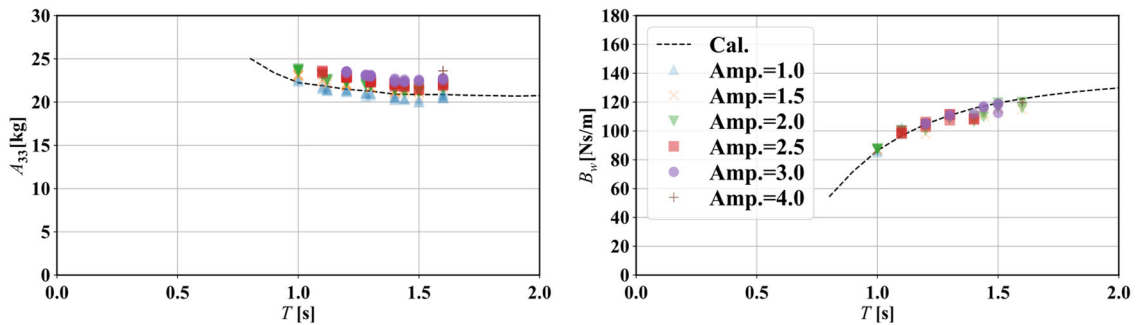


図 2 動揺周期に対する付加質量および造波減衰力

動揺周期に対する減衰力係数および粘性減衰力係数を図 3 に示す。点線は造波減衰力係数の計算値である。浮体の上下方向力から求めた減衰力係数は、粘性減衰力成分が加わっており、造波減衰力係数より大きい。また、いずれの周期でも動揺振幅の増加とともに粘性減衰力係数が増加することが確認でき、既存の実験結果と同じ傾向である。

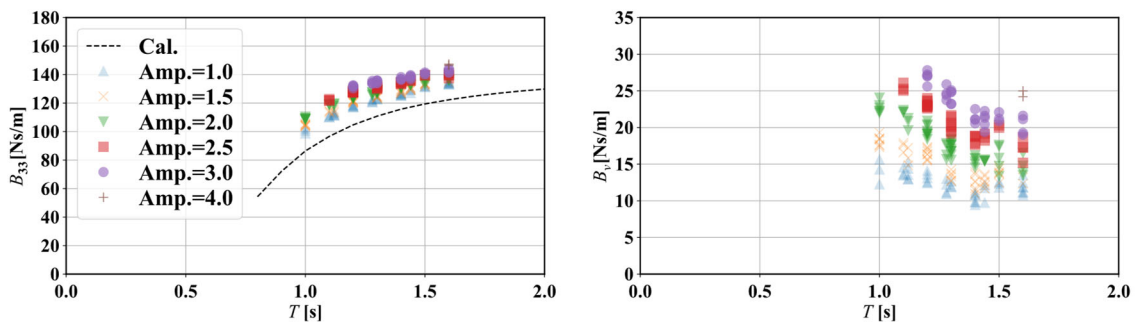


図 3 動揺周期に対する減衰力係数および粘性減衰力係数

上記の結果を先行研究に倣い、振幅の関数である KC 数で整理すると図 4 となる。KC 数に対して増加する傾向があるが、その傾きは動揺周期によって異なる。そこで、図 5 のように振動レイノルズ数を横軸に粘性減衰力係数を整理すると、粘性減衰力係数は概ね振動レイノルズ数 (Re 数) に比例することが確認できた。先行研究では KC 数を用いた回帰式が提案されてきたが、振動 Re 数で整理した方が良いことがわかる。振動 Re 数に依存性があるから粘性減衰力係数には縮尺影響が存在する可能性が示唆される。

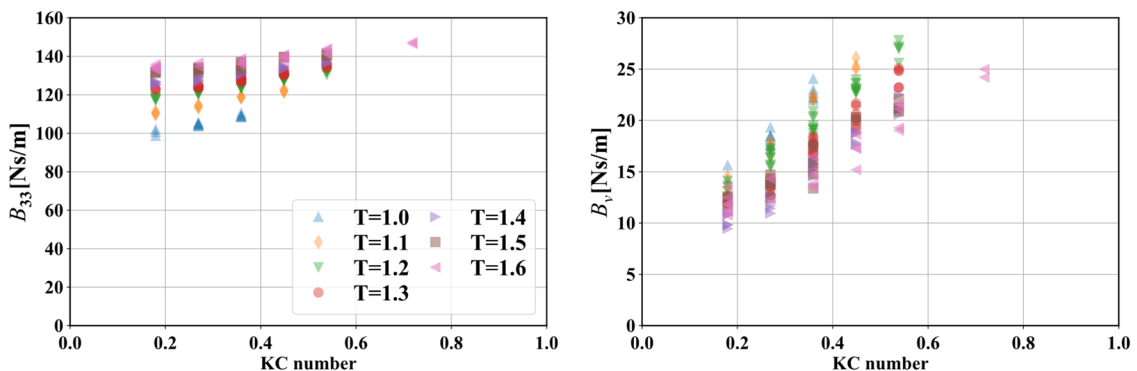


図 4 KC 数に対する付加質量および粘性減衰力の変化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

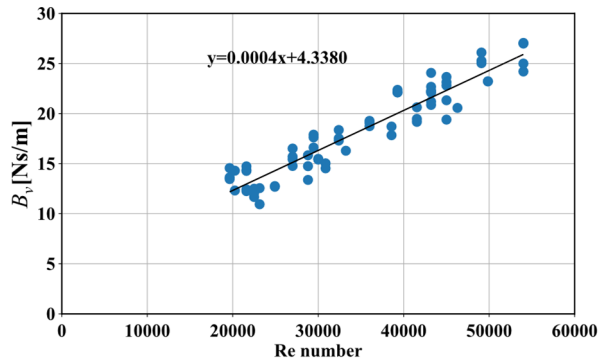


図5 振動レイノルズ数に対する粘性減衰力係数の変化

PIVによる可視化結果を図6に示す。上下運動により浮体下端から渦放出がされ、振幅によって渦が大きくなることが確認できた。振幅が大きくなると、渦が大きくなることで粘性流体力が増加する。

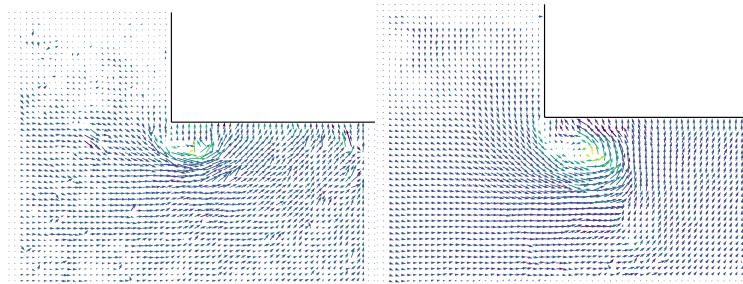


図6 PIVで得られた速度ベクトル (左: 振幅 1.0cm 右: 振幅 3.0cm)

CFDによる計算結果と計測結果を比較して図7に示す。付加質量は動揺周期 1.2 s では計測値と一致するが、減衰力はやや小さい。CFDの数値拡散で、計測値より造波減衰力が小さくなっていることが原因と考えられる。造波減衰力が 1.2s より大きい 1.6 s ではその差が顕著になっている。図8に粘性減衰力係数を示す。粘性減衰力係数は計測結果より分散が大きく、値は過大となるが、傾向はほぼ一致する。粘性減衰力の推定には粘性CFDは有効であるため、粘性CFDを用いて粘性減衰力係数の縮尺影響について調査することが今後の課題である。

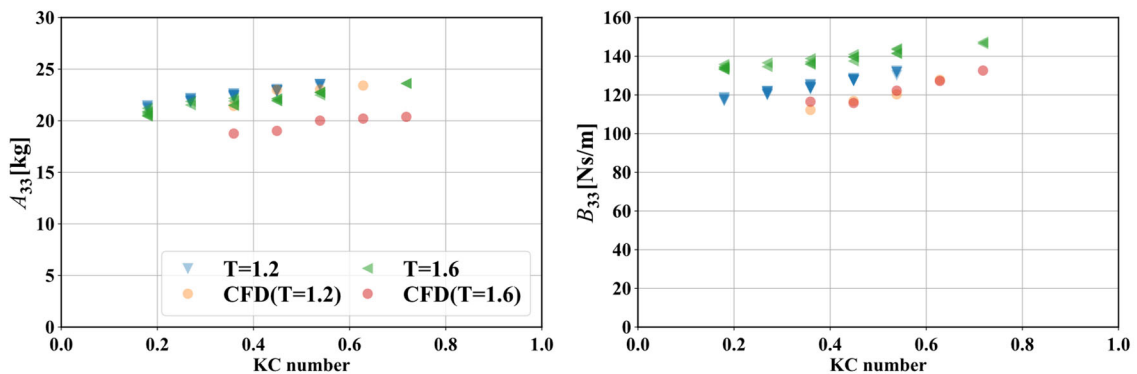


図7 CFDによる計算結果と計測結果の比較

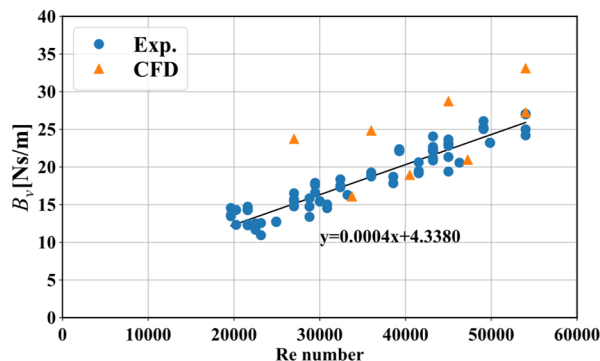


図8 CFDによる計算結果と計測結果の比較

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

また、Point Absorber 型 WEC の発電シミュレーションを開発した。シミュレーションにより上記に示した粘性減衰力を考慮したシミュレーションが可能である。また、発電性能を改善する制御アルゴリズム開発も行うことができ、発電量を向上させるいくつかの制御アルゴリズムの開発を行った。粘性減衰力の考慮で発電性能を比較した結果を図 9 に示す。推定式は 2 次元モデルのデータであるため、3 次元浮体と差がある可能性があるが、固有周期付近の発電性能では半分以下になっている。一方で、固有周期より長周期の場合はほとんど影響がない。よって、固有周期付近での発電性能評価には粘性減衰力を考慮する必要があるといえる。

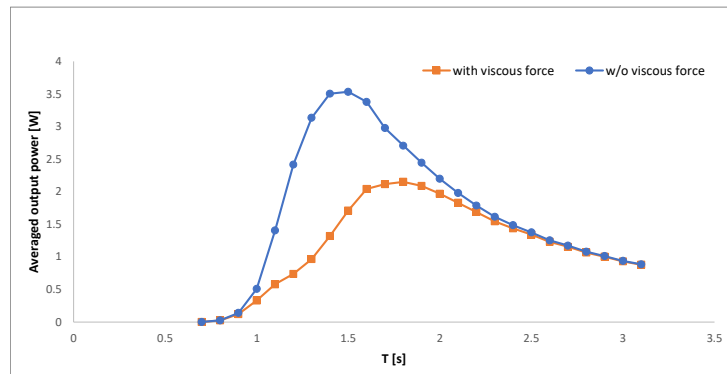


図 9 規則波中の平均発電電力の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 梅田隼, 谷口友基, 藤原敏文
2. 発表標題 リニア式波力発電装置の PTO 相似比の取り扱い
3. 学会等名 船舶海洋工学会秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅田隼, 藤原敏文, 井上俊司
2. 発表標題 強化学習を用いた波力発電装置の最適制御
3. 学会等名 船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2018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