

令和 2 年 6 月 13 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06965

研究課題名(和文) 潮流を考慮した浮体式風力発電設備の波浪中動的応答に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Current Influence on Motion Properties of FOWT

研究代表者

肥後 靖 (Higo, Yasushi)

広島大学・国際協力研究科・教授

研究者番号：20156582

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：商船が荒天の地域を航行する際、運行者は船舶の安全を考慮して意識的減速を行うのが通常である。つまり、耐航性能の観点から船体の構造および強度を考える場合には、定常航行の速度ではなく、荒天時の低速航行時の耐航性を基に構造設計する方が実用的と考えられるが、低速時の耐航性能に関する研究は少ない。

そこで本研究では、船舶の速度が低速であることを前提とした理論定式化を行い、三次元有速境界要素法の簡便化を試み、模型を用いた低速航行試験との比較により理論数値計算の妥当性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的に低速時の三次元有速境界要素法を下にした数値計算コードの開発は、ノウハウの集積であり、相当の実績と知識を持たないと成し遂げられない。また、低速の場合、数値計算的困難の存在により、精度にも問題がある場合が多い。それに対して、本研究の方法は、定式化の段階で低速を前提とした理論展開を行っており、結果として、低速に由来する数値的困難さを免れており、計算コードの開発が比較的簡便に行うことができる上、現実問題を考える場合にも、本方法の方が実用的と言える。

さらに、本方法は、一般化することによって、潮流中に係留される浮体式プラットフォームの波浪中動的応答の予測にも使用できることが期待される。

研究成果の概要(英文)：When we operate big ships like bulk carrier, we have no choice but to sail in rough weather for financial and environmental reason. Then, it is usual to slow down consciously. Research about ship performance of normal speed has been conducted a lot, but research in the case of low speed is very few.

The objectives of this research is to inspect the appropriateness of numerical calculation based on theoretical formulation under the assumption of low speed through the comparison with experiment on low speed using model ship.

The numerical results based on low speed theory showed good agreements with experimental results, and the appropriateness of the theoretical formulation under the assumption of low speed were verified.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：積分方程式 Green関数 低速近似 流体力 波浪中動的応答

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年の東日本大震災による福島原子力発電所事故を契機として、持続的で比較的クリーンな自然エネルギー利用に対する関心が高まっている。中でも既存の技術を応用できる風力発電所の建設が各所で計画されているが、低周波雑音、景観の問題などから、陸上の建設が進んでいないというのが現状である。一方、前記のような問題が顕在化せず、さらに陸上に比べて風力が安定して供給される洋上に風力発電所を建設しようという試みが増加している。しかしながら、遠浅な欧州洋上に比して、急激に深くなる日本近海で洋上風力発電所を検討するためには、プラットフォームとして浮体を考えざるを得ないことになる。このような浮体が波浪等による自然外力に曝されることは自明の理であり、従って、わが国で浮体式風力発電所を考える際には、設計外力として、風・波はもちろんとし、潮流の影響も検討しなければならない。

一方で、基本的に洋上風力発電所の設置海域として、できるだけ潮流が小さい場所を検討するというのが設計的に要望されることである。この場合、これまでは潮流の影響が小さいものとして、波浪外力のみを環境外力として設計することが普通であったが、實際上、潮流の影響が無視できるのかどうかを、体系的に検証することがなかった。さらに、研究代表者は前進速度が十分に低い場合の、低速近似の考え方を展開し、数値的に良好であることを示していた。しかし、その方法はDiffraction問題に限定されており、また、定式化もやや厳密性に欠け、数値計算的な手法に頼っていたからいがある。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、浮体が低い速度で前進するときの浮体の動的挙動を近似的に求める方法を提案し、当該方法を係留された海洋構造物に、小さい速度の潮流が作用したときの構造物の動的挙動推定に適用しようとするものである。研究の基本的な考え方は、潮流速度が低速であるため、波浪との相互干渉効果は小さいものとして無視する立場をとり、波動場は潮流と波動との線形和で表現されるとの仮定の下に定式化を行う。このような条件の下に、積分方程式の核関数であるGreen関数を導く際の境界条件式において、速度の二乗の項を高次と考えて無視した後、低速時Green関数として定式化を行い、当該Green関数を核関数とする積分方程式を解くことによって、低速潮流が作用している浮体に働く流体力を求めるというものである。

3. 研究の方法

3.1 定式化

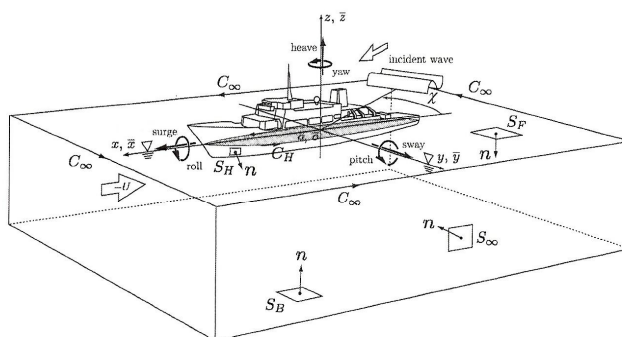


Fig. 1 Coordinate system

本研究においては、基本的に低速で前進する船舶に働く流体力を前述の仮定のもとで定式化を行い、その妥当性を実験によって検証し、その結果を用いて潮流影響を考慮した浮体の波浪中動的応答に適用するという手順で実施する。

そこでまず、低速で前進する船舶の波浪中動的応答を推定する理論を定式化する。

基本的な定式化の流れは船速を有する場合と同様であるが、自由表面条件において、船速が低速であるという前提のもとに速度 U の二乗の項は高次として無視するという方法を用いる。定式化の詳細は紙面の都合で省略する。

Fig.1のような座標系を考えたとき、低速仮定の下でのGreen関数は(1)式から(6)式で表される。

$$G(x, y, z; x', y', z') = -\frac{1}{4\pi} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right] + \frac{1}{4\pi^2} T(X, Y, Z) \quad (1)$$

ただし、

$$\left. \begin{array}{l} r \\ r_1 \end{array} \right\} = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z \mp z')^2} \quad (2)$$

$$T(X, Y, Z) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \left[\frac{1}{(1+2\hat{\tau}\cos\theta)\alpha} + \frac{1}{(1-2\hat{\tau}\cos\theta)\bar{\alpha}} \right] d\theta - \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \left[\frac{I^+(X, Y, Z)}{1+2\hat{\tau}\cos\theta} + \frac{I^-(X, Y, Z)}{1-2\hat{\tau}\cos\theta} \right] d\theta \quad (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} I^+(X, Y, Z) = K^+ e^{K^+ \alpha} [E_1(K^+ \alpha) - 2\pi i \cdot H[-\text{Im}(K^+ \alpha)]] \\ I^-(X, Y, Z) = K^- e^{K^- \bar{\alpha}} [E_1(K^- \bar{\alpha}) - 2\pi i \cdot H[-\text{Im}(K^- \bar{\alpha})]] \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l} K^+ = \frac{K_0 \hat{\tau} (2\tau - \hat{\tau})}{(1+2\hat{\tau}\cos\theta)} = \frac{\omega_0}{g} \frac{2\omega_e - \omega_0}{1+2\hat{\tau}\cos\theta} \\ K^- = \frac{K_0 \hat{\tau} (2\tau - \hat{\tau})}{(1-2\hat{\tau}\cos\theta)} = \frac{\omega_0}{g} \frac{2\omega_e - \omega_0}{1-2\hat{\tau}\cos\theta} \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = Z + i(X \cos\theta + Y \sin\theta), \quad X = x - x', \quad Y = |y - y'|, \quad Z = z + z' \\ K_0 = \frac{g}{U^2}, \quad \hat{\tau} = \frac{\omega_0 U}{g}, \quad \tau = \frac{\omega_e U}{g} \\ H(t) = \begin{cases} 1 & (t > 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases}, \quad E_1(z) = \int_z^\infty \frac{e^{-t}}{t} dt \end{array} \right\} \quad (6)$$

当該Green関数を用いると

$$\frac{1}{2} \varphi_j(P_0) = \iint_{S_H} \left[\frac{\partial \varphi_j(Q)}{\partial n_Q} - \varphi_j(Q) \frac{\partial}{\partial n_Q} \right] G(P_0; Q) dS(Q) + 2i\hat{\tau} \oint_{C_H} [\varphi(Q) G(P_0; Q)]_{z'=0} dy' \quad (7)$$

なる積分方程式が得られる。(7)式を解くことによって浮体表面上の速度ポテンシャル (P_0)が求められる。但し、 P_0 は浮体表面上の点である。

3.2 実験

次に、定式化した低速理論の妥当性を検証するために、船舶模型を用いた実験を行い、動的応答の実験値と理論に基づく計算値を比較する。

実験は2018年8月に九州大学応用力学研究所の深海機器力学実験水槽(L×B×D=65m×5m×7m)にて(Photo 1)、運



Photo 1 Tank of RIAM

動計測試験を実施し、この実験により船体運動および波浪中抵抗増加の計測を行った。尚、波入射角については、水槽形状の制限から、正面向い波(=180 度)の場合のみ実施した。また、速度は低速を想定して $F_n=0.05$ とした。

4 . 研究成果

4.1 運動の検証

Fig.2 に船体運動の応答関数を示す。各運動モードにおいて、上図が振幅比、下図が位相差を表している。Fig.2 において GMF として表される計算結果が、本研究において定式化した低速近似理論に基づいた計算結果を示す。また、計算の比較の対象として、EUT (Enhanced Unified Theory) と Strip 法の計算結果もあわせて示す。低速理論に基づいて計算した船体運動の応答特性は、振幅、位相差共に実験結果と良く一致しており、本理論に基づく定式化の妥当性が検証されたと考えている。

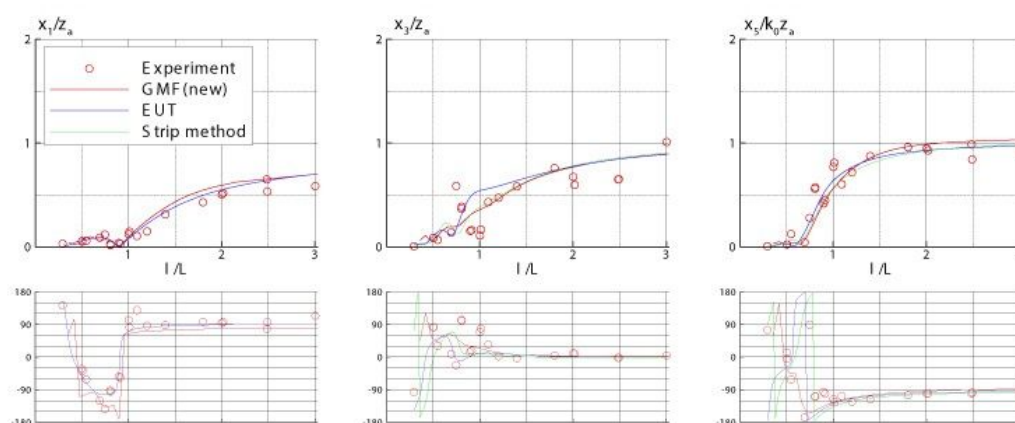


Fig.2 Ship motion in $F_n=0.05$

4.2 抵抗増加の検証

抵抗増加係数の実験結果を Fig.3 に示す。運動と同様に計算の妥当性検証の使用に耐える程度の精度と考えられる。

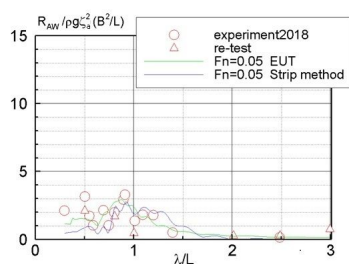


Fig.3 Added resistance in

以上の定式化を用いて潮流中に存在する風力発電設備の波浪中動的応答を求めることを提案し、波浪中を低速で前進する船舶に適用できることを検証したが、当該定式化の結果を潮流と波浪が併存する海域における一般浮体に拡張して、波向き、潮流方向などの異なる設計条件での検討をするには至らなかった。その最大の原因は、研究遂行中に当初考えていた定式化に重大な欠陥が発見されたため、定式化を根本から見直していたことにより、その

再定式化に時間がかかってしまったことに由来する。そのため、当初の計画の遂行が完結できなかった。また、再定式化と同時に、科学研究費採択以前に実施した洋上風力発電モデルを使用した実験にも不備があることが明らかになった。そのため、新たに実施した定式化の妥当性の検証に堪えられないと判断し、原点に戻って実験実施が比較的容易な低速で前進する船型モデルを使用して実験を実施し、再定式化の妥当性を検証することにした。当初計画では予定していなかった、この船型モデル実験の実施も研究の遅れの

一因である。

結果は、再定式による低速理論が妥当であることは船型模型試験で確認されたので、当該理論を用いて、風力発電装置のプラットフォームとしての洋上浮体への適用を考えていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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 | 岩下 英嗣 (Iwashita Hidetsugu) (60223393) | 広島大学・工学研究科・教授 (15401) | |