

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289341

研究課題名(和文) Wave Group中の船体極限挙動に基づく船舶の運航リスク評価手法に関する研究

研究課題名(英文) A study on evaluation method for operational risk of ships in actual sea

研究代表者

田口 晴邦 (TAGUCHI, Harukuni)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所流体性能評価系耐航性能研究グループ・グループ長

研究者番号：70344455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,500,000円

研究成果の概要(和文)：Wave Groupも含めた任意波中における船舶の挙動を推定するために必要な船体運動時系列計算コードを開発し、模型船を用いた水槽実験結果と比較した。その結果、開発した船体運動計算コードで、定傾斜が付いた状態の運動特性や減揺装置の効果等を精度よく推定できることが確認された。また、開発した船体運動時系列計算コードを用いて、Wave Groupを含む実際の波浪中を航行する船舶の危険性を実用的な観点から評価する手法を検討した。

研究成果の概要(英文)：A time-domain simulation code of ship motion in a series of arbitrary waves was developed and validation with model experiment results was carried out. As a result it was clarified that with the developed time-domain simulation code effect of heel angle and direction on ship motion and effectiveness of fin stabilizer could be estimate accurately. Moreover evaluation method for operational risk of ships in actual sea with the developed time-domain simulation code was considered.

研究分野：船体運動学 船舶海洋工学

キーワード：船体運動時系列計算 メモリー影響関数 たたみ込み積分 定常傾斜 フィンスタビライザー

### 1. 研究開始当初の背景

航行中の船舶に対し重大なリスクとなる転覆、大傾斜と言った事象を考える際、非常に大きな波高を持つ単一極限波（一発大波）より、中程度の波高の波が数波連続した Wave Group などが危険である場合が考えられる。Wave Group など過渡的な波浪に対する危険性を評価する手法としては、Critical な波浪中における船体応答の決定論的評価と、当該波浪の発生に関する確率論的評価を組み合わせた手法が従来から提案されている。

従来の手法では、Wave Group を等価な一連の規則波で置き換え、その規則波中での船体運動の計算結果から転覆、大傾斜発生の危険性を判定している。しかしながら実際の Wave Group は、必ずしも波高、波長、波向が一定であるとは限らず、その中での転覆、大傾斜の発生の有無は、規則波として取扱った場合とは異なることが予想される。そのため、従来の手法では、Wave Group を含む実際の波浪に対する危険性を適切に評価できない可能性があると考えられる。

そこで、波浪中船体運動に起因する船舶の運航リスクを合理的に評価するためには、Wave Group などを含む実際の波浪に対する危険性をより適切に評価し得るよう、任意の時系列を持つ一連の波浪に対する非線形な船体運動を精度よく推定する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、波浪中を航行する船舶の安全性確保に必要な減揺装置の性能や安全運航指針を合理的な評価指標に基づいて提案することを目標に、パラメトリック横揺による大傾斜等の波浪中船体運動に起因する船舶の運航リスクを Wave Group 等を含む一連の波浪中における船舶の最終挙動に基づいて評価する手法を開発すること目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、任意の時系列を持つ一連の波浪に対する過渡応答も含めた非線形な船体運動を精度よく推定できるように形状非線形等を考慮した船体運動計算法を開発し、模型船を用いた水槽実験によりその妥当性を検証した。また、開発した船体運動時系列計算法を用いて、Wave Group を含む実際の波浪中を航行する船舶の危険性を評価する手法を検討した。

#### (1) 任意波中の船体運動時系列計算コードの開発

Wave Group も含めた任意波中における船舶の挙動を推定するために必要な船体運動時系列計算コードを開発した。その際、復原力に形状非線形を考慮するとともに、過渡的な船体運動を合理的に推定するために、たたみこみ積分型船体運動モデルを採用し、更に荷崩れ等により定傾斜が付いたことで水面下の船体形状が左右非対称となり縦運動と横

運動が連成する場合も計算できるように定式化した。また、メモリー影響関数に関しては縦運動と横運動の連成項も含めて周波数領域の特異点分布法による流体力係数を用いて評価することにした。

本計算コードに関しては、まき網漁船を対象に正面規則波中で定常傾斜が付いた状態について船体運動の試計算を行い、過渡状態及び定常状態の応答について定数係数型時系列計算結果と比較し、その妥当性について検討を加えた。

また、減揺装置としてフィンスタビライザーを搭載した場合の効果を取り入れるための定式化を行って上記計算コードに組み入れた。なお、時系列計算コードと比較できるように、基礎となる周波数領域での船体運動計算コードについてもフィンスタビライザーの効果を考慮できるように機能拡張を行った。

#### (2) 水槽実験に基づく船体運動時系列計算コードの検証

開発した船体運動時系列計算コードに関しては、定傾斜状態の船体に作用する波浪強制力及び船体運動、並びに、減揺装置（フィンスタビライザー）の効果に関する水槽実験を順次行って、その妥当性を検証した。

##### ① 定傾斜状態の船体に作用する波浪強制力

定傾斜状態における船体運動時系列計算コードの検証データを取得するとともに、定傾斜が波浪強制力、特に船舶復原性規則で用いられている左右揺を考慮した1自由度横揺運動方程式の強制力項に対応する有効波傾斜係数に及ぼす影響を把握することを目的に水槽実験を行った。

供試船は、二次元模型船3隻及び底びき網漁船模型1隻であり、規則波中でガイド装置（上下揺、左右揺：自由、横揺等：固定）に検力計を介して取り付けられた模型船を横波状態となるように設置して、波高一定として波長を変化させて、上下揺、左右揺、左右揺加速度、横揺方向のモーメント、左右揺及び上下揺方向の力等を計測した（図1）。また、定傾斜角は波下側傾斜20度から波上側傾斜20度まで5度刻みに変化させた。



図1 定傾斜状態の船体に作用する波浪強制力に関する模型実験（底びき網漁船）

## ②定傾斜状態の船体運動

定傾斜状態における船体運動時系列計算コードの検証データを取得するとともに、定傾斜が船体運動に及ぼす影響を把握することを目的に水槽実験を行った。

供試船は、高速 Ro/Ro フェリー模型であり、規則波中でオートパイロット装置を用いて模型船を波との出会い角が一定となるように自由航走させて、船体運動（横揺、縦揺、船首揺）、重心位置の加速度（前後、左右、上下）及び相対水位変動3か所、並びに、船速及び航跡を計測した。計測は船速及び波高一一定として、波長及び出会い角を変化させて行った（図2）。また、定傾斜角は $-10$ 度（左傾斜）とし、比較のため直立状態でも計測を行った。



図2 定傾斜状態の船体運動に関する模型実験（高速 Ro/Ro 船）

## ③減揺装置（フィンスタビライザー）の効果

フィンスタビライザーの効果を取り入れた船体運動時系列計算コードの検証データを取得するため、②で使用した高速 Ro/Ro フェリー模型に製作したフィンスタビライザーを取り付けて水槽実験を行った。実験は模型船をガイド装置に取り付けて波浪中を曳航して行い、6自由度の船体運動及びフィンに作用する流体力を入射波の特性（規則波、不規則波、規則重合波）及び出会い角を変えて計測した。

## (3) 運航リスク評価手法の検討

船舶の運航リスク評価手法に関しては、より実用的な観点から、短期海象における船体運動の時系列計算に基づく船体応答のリスク評価結果と当該短期海象の発生確率を組み合わせた手法を検討した。また、定傾斜状態に拡張した周波数領域での船体運動計算コードを用いて、従来の短期予測手法により定傾斜が海水打ち込み確率に及ぼす影響を計算し、海水打ち込みの観点から漁船の運航リスクを評価することを試みた。

## 4. 研究成果

(1) 任意波中の船体運動時系列計算コードの開発及び水槽実験結果に基づく検証

### ①定傾斜状態の船体に作用する波浪強制力

定傾斜が付いた状態で2次元模型3隻及び底びき網漁船模型1隻を用いて水槽試験を行って規則横波中の強制力を計測し、周波数領域の特異点分布法による波浪強制力の推定結果と比較した。

その結果、定傾斜角は同じでも傾斜する方向（波上側、波下側）により波浪強制力の大きさが変化するなどの定性的傾向（図3）も含め、周波数領域の特異点分布法により波浪強制力の計測結果が説明できることが確認された。

そのため、周波数領域の特異点分布法による強制力係数を用いた船体運動時系列計算コードでは、定傾斜が付いた状態で水面下の船体形状が左右非対称となった場合についても適切な波浪強制力で船体運動計算が行うことができると考えられた。

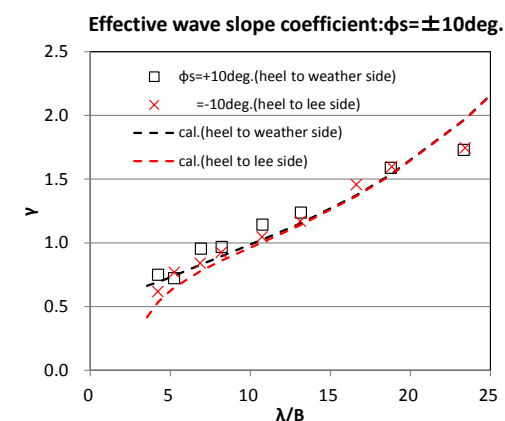


図3 定傾斜の方向が有効波傾斜係数に及ぼす影響

## ②定傾斜状態の船体運動

定傾斜が付いた状態で高速 Ro/Ro 模型を用いた水槽実験を行って、規則波中の船体運動等を計測し、船体運動時系列計算コードや周波数領域での船体運動計算コードの推定結果と比較した。その結果、定傾斜角が同じでも傾斜させる方向（波下側、波上側）によって運動特性が変化するなどの定性的な傾向も含め、船体運動時系列計算コード及び基礎となる周波数領域での船体運動計算コードとも計測結果を説明できることが確認された。

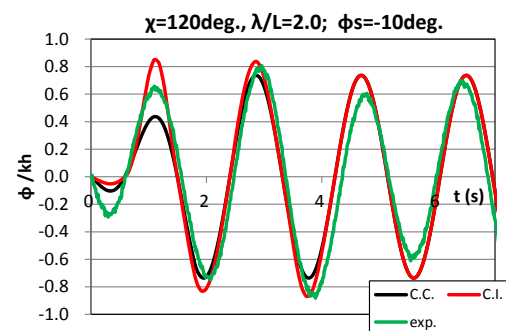


図4 船体運動時系列計算結果と模型実験結果の比較（横揺れ）（CI:たたみ込み積分型計算値、CC:定数係数型計算値、

exp. : 計測値)

また、たたみ込み積分型船体運動時系列計算コードでは、定数計数型船体運動時系列計算コードより、過渡応答をより正確に計算できる可能性があることも確認された(図4)。  
③減揺装置(フィンスタビライザー)の効果  
フィンスタビライザー装置を取り付けた高速 Ro/Ro 船模型を用いて水槽実験を行い、船体運動及びフィンスタビライザーに作用する流体力を計測し、時系列計算コードや周波集領域計算コードによる推定結果と比較した。その結果、向かい波中のパラメトリック横揺れに対するフィンスタビライザーによる減揺効果も含めて、開発した計算コードで計測結果を説明できることを確認した。

## (2) 運航リスク評価手法の検討

時系列計算コードの基礎となった定傾斜状態に拡張した周波数領域での船体運動計算コードを用いて、従来の短期予測手法により、代表的な 80GT 型まき網漁船を対象に、主要な操業海域の波浪データを基に設定した短期海象について、定傾斜角をパラメータに船体中央部の海水打ち込み確率の計算を行い定傾斜状態での運航リスクを検討した。その結果、海水打ち込みを制限して安全性を確保するためには定傾斜の発生を抑制することの重要性を示した(図5)。

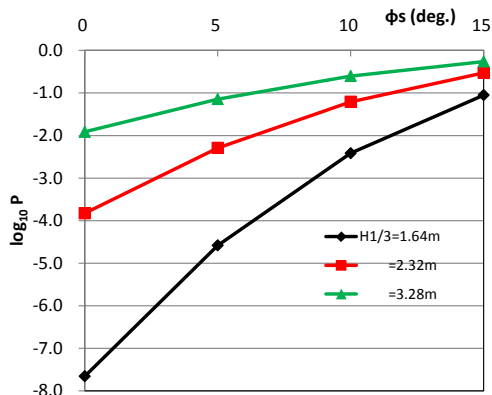


図5 まき網漁船の船体中央部における海水打ち込み確率に及ぼす定傾斜の影響

一方、転覆、大傾斜等の非線形な船体運動に伴う運航リスク評価を行うためには、上述した周波数領域の船体運動計算コードを用いた短期予測手法の代わりに、今回開発した船体運動時系列計算コードを用いて Wave Group などを含む短期海象の波浪中の船体運動を計算して設定した閾値の超過確率を求め、当該短期海象の発現頻度で重み付けする手法が、実用的な観点から適切であると考えられた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 田口晴邦、沢田博史、原口富博、黒田貴子、漁船の有効波傾斜係数に及ぼす定傾斜の影響、日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、23号、2016、479-480
- ② 田口晴邦、沢田博史、原口富博、黒田貴子、定傾斜した二次元模型の有効波傾斜係数に関する水槽実験、日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、21号、2015、493-494
- ③ 田口晴邦、原口富博、まき網漁船の海水打ち込みに及ぼす定傾斜の影響、日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、19号、2014、395-396

[その他]

ホームページ等

[http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid\\_performance\\_evaluation/seaworthy\\_performance/index.html](http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid_performance_evaluation/seaworthy_performance/index.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田口 晴邦 (TAGUCHI, Harukuni)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所流体性能評価系耐航性能研究グループ・グループ長

研究者番号：70344455

### (2) 研究分担者

黒田 貴子 (KURODA, Takako)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所流体性能評価系耐航性能研究グループ・主任研究員

研究者番号：00415811

塚田 吉昭 (TSUKADA, Yoshiaki)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所流体性能評価系運動性能研究グループ・主任研究員

研究者番号：90425752

### (3) 連携研究者

宝谷 英貴 (HOUTANI, Heidetaka)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所流体性能評価系耐航性能研究グループ・研究員

研究者番号：30636808

### (4) 研究協力者

原口 富博 (HARAGUCHI, Tomihiro)

沢田 博史 (SAWADA, Hiroshi)