

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18360426  
 研究課題名（和文） 強非線形船体運動の定量的予測実現を目指した模型実験システムと最適数学モデルの確立  
 研究課題名（英文） Establishment of a mathematical model for ship motions in high seas and a measuring system of high non-linear hydrodynamic forces  
 研究代表者  
 松田 秋彦  
 独立行政法人水産総合研究センター 水産工学研究所 漁業生産工学部 安全性研究室  
 室長  
 研究者番号：10344334

## 研究成果の概要：

転覆に至るような大波高の波浪中における船体運動は数学モデルによる定量的な予測が難しかった。そこで、推定精度を悪化させている大波高大傾斜時に船体に働く強非線形流体力を計測する模型実験システムを構築し、それらを用いる最適数学モデルを構築した。漁船船型および細長型船型の2席の模型船を用いて、強非線形流体力を用いた最適数学モデルによる推定と自由航走模型実験結果を比較し、定量的に良い一致が得られることを確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,800,000	0	6,800,000
2007年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	10,300,000	1,050,000	11,350,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：船舶工学, 強非線形船体運動, 模型実験, 数学モデル

## 1. 研究開始当初の背景

海上を航行する船舶にとって安全性の確保は最重要課題であるが、ブローチング（波浪中での操縦不能現象）やパラメトリック横揺れ（復原力の変動に起因する横揺れ）といった近年の船舶の高速化・大型化がもたらした波浪中で転覆に至る危険性のある強非線形船体運動を予測するための厳密な運動方程式が、研究代表者らの継続的な研究によって構築されつつあり、その推定精度が自由航走模型実験と比較・検討されていた。これらの数学モデルを用いて海洋での船体運動を数値予測し、その安全性を議論するためには

運動方程式に含まれる各項の諸係数を精度良く求める必要があるが、船舶の復原性が脅かされるような大波高中での強非線形船体運動を取り扱う場合には従来の線形理論を用いた推定法を適用することができなかった。また、大波高中を航行する際の船体には波形状の非線形性に加えて、周波数に依存した造波影響や水面下形状の非対称性により生じる流体力の影響などが複雑に作用しており、これらの連成影響まで含めると理論推定はおろかその検証のための模型船を用いた実験的計測手法すら満足に確立されていなかった。

こうした現状に鑑み、研究代表者らはあらゆる波浪条件、船体姿勢に対して実施が可能である完全拘束模型実験法とその解析手法の提案を行った。これらの研究では実際に復原力消失に至る角度を含めた横傾斜により誘起される非線形操縦流体力と復原力変動、斜波中での波浪強制力の計測を行うなど、従来の手法では得られなかった重要なデータを得た。それらの実験結果を考慮した数学モデルによる数値シミュレーションの結果は、自由航走模型実験により得られたブローチング現象を一定程度説明できた。しかしながら、それらの現象の発生を定量的に精度良く予測するためには、波浪中の船体の姿勢変化（上下運動及び縦運動）の影響を正確に考慮する必要があることも分かった。したがって、完全拘束模型実験では大波高中の自由航走状態で想定される範囲の船体の航走姿勢を網羅せねばならず、実験には膨大な計測点数が必要となることがわかり、実用実験法とするには問題があることがわかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、まず、一定の成果を収めた前述の完全拘束模型実験法の欠点であった船体の上下運動及び縦運動の拘束を解放し、波浪中の船体の姿勢変化を許した新模型実験システムを構築し、広範囲にわたる非線形流体力や復原力変動などの計測実験を実施し、これまで明らかにされていなかった大波浪中における現実の現象に近い状態での各種流体力データを取得することとした。次に、これまで運動方程式中で線形理論や限られた実験データなどの線形補完で補っていた項に実験値を直接用いることで、波浪中でのブローチングやパラメトリック横揺れなどの強非線形船体運動の推定精度向上を図ることとした。そして、これら一連の結果を総合して、船舶の安全性を脅かす大波高中での強非線形船体運動を推定するための最適数学モデルの構築を最終目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 供試模型船

本実験では、日本の水産業の主力漁船である、135 トン型まき網漁船(網船)と細長型船型の2種類を用いた。どちらも、通常の商船船型とはかなり異なる船型をしている上、巡航速度が高速で、自由航走転覆模型実験結果もある。すなわち、本研究の供試船としては最適と考えられた。

### (2) 模型実験システム

本研究で開発した模型実験システムを図1に示す。また、模型船を取り付けた様子を図2に示す。本研究で推定しようとしている強非線形運動の一つであるブローチング現象

は追中高速航行時でなければ発生せず、また大傾斜大波高中においては船体へ大きな力が働くことが考えられるため、曳引システムとの関係から、船長1.5m程度の模型船を用いて実験が出来るようにした。そのため、船体を固定するロッドは前後部2本とし、波と船との出会い周期が非常に小さい追波中を高速航行するため、縦慣動半径が縦運動に与える影響が無視できるとして、ロッドの重量はカウンターウェイトで相殺し、排水量の小さな模型船での実験を可能とした。本システムではロッド支えに検力計を配置し、前後力、横力、横揺れモーメント及び回頭モーメントを計測すると共に前後部のロッドの長さ、船体とロッドの角度を計測している。

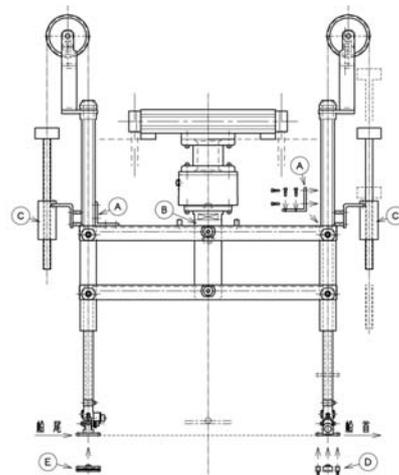


図1:新模型実験システム用ジグ



図2:漁船模型を取り付けた様子

### (3) 最適数学モデル

本研究で構築した数学モデルを式(1)~(4)に示す。このうち、下線の部分が開発した模型実験システムにより計測する強非線形流

体力に相当する。

$$(m + m_x)\dot{u} = T(u; n) - R(u) + X_{nd}(\xi_G / \lambda, u, \chi, \delta; n) + X_{NL}(u; n) + X_\phi(u, \phi; n) + X_w(\xi_G / \lambda, \chi)$$

$$(m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur = Y_v(u; n)v + Y_v^W(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)v + Y_r(u; n)r + Y_r^W(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)r + Y_{NL}(u; n) + Y_\phi(u, \phi; n) + Y_\delta(u; n)\delta + Y_\delta^W(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)\delta + Y_w(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)$$

$$(I_{xx} + J_{xx})\ddot{\phi} = m_x z_H ur + K_v(u; n)v + K_v^W(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)v + K_r(u; n)r + K_r^W(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)r + K_{NL}(u; n) + K_p(u)p + K_\phi(u, \phi; n) + K_\delta(u; n)\delta + K_\delta^W(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)\delta + K_w(\xi_G / \lambda, u, \chi; n) - mg\{GZ(\phi) + GZ^{FK}(\xi_G / \lambda, u, \chi, \phi) + GZ^{WL}(\xi_G / \lambda, u, \chi, \phi)\}$$

$$(I_{zz} + J_{zz})\dot{r} = N_v(u; n)v + N_v^W(\xi_G / \lambda, u, \chi)v + N_r(u; n)r + N_r^W(\xi_G / \lambda, u, \chi)r + N_{NL}(u, v, r; n) + N_\phi(u, \phi; n) + N_\delta(u; n)\delta + N_\delta^W(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)\delta + N_w(\xi_G / \lambda, u, \chi; n)$$

#### 4. 研究成果

##### (1) 強非線形流体力

まき網漁船の模型実験から得られた強非線形流体力の一部を図3～5に示す。

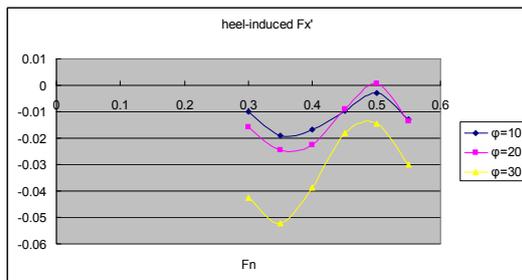


図3：船体にかかるX軸方向の抵抗のうち、横傾斜させたことによる成分

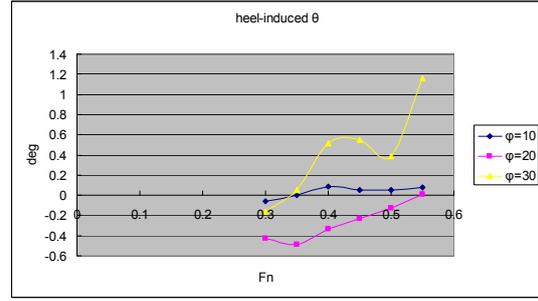


図4：船体の航走姿勢のうち横傾斜させたことによる成分

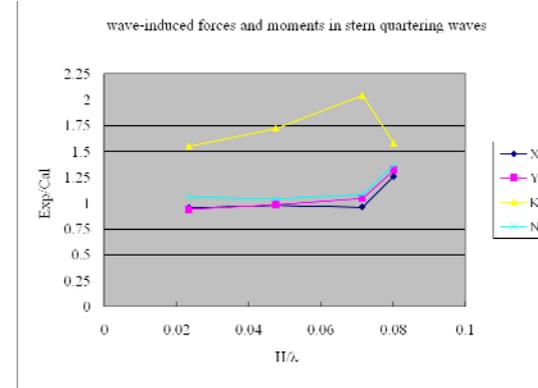


図5：斜め追波中における、船体に働く成分のうち、波の影響による成分の波高船長比による変化

図3および図4の結果から、横傾斜角と船体抵抗、航走速度と船体抵抗、そして横傾斜と航走姿勢、航走速度と航走姿勢には全く線形性がなく、線形理論から導かれる推定値を使うことには問題があることがわかる。さらに、図5から波高波長比が1/15を超えるようなところでは、船体に働く力すべてが理論的に求められた推定値と大きく異なる値となることがわかる。

このように、大傾斜大波高の影響による強非線形影響を精度良く計測するシステムが構築できた。

##### (2) 運動予測

従来の数学モデルでと今回の最適数学モデルで予測したまき網漁船の運動の推定結果を図6と7にそれぞれ示す。

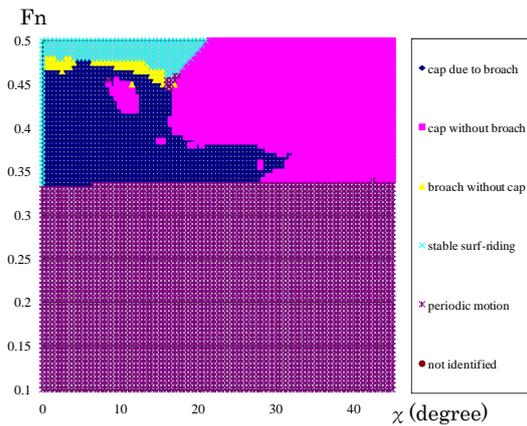


図 6 : 従来の数学モデル (まき網漁船)

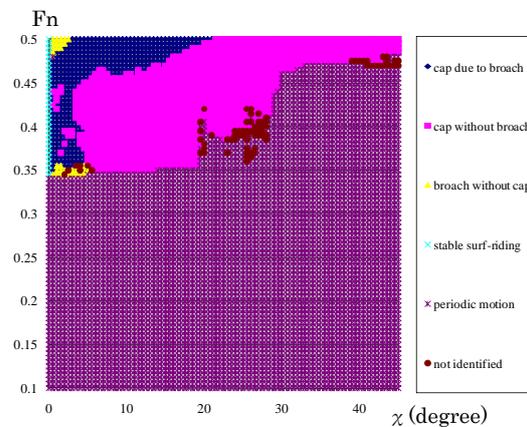


図 7 : 今回の数学モデル (まき網漁船)

今回の数学モデルを用いることにより、波と船との相対角がある時のブローチングの発生領域が減少し、過去に実施した模型実験の結果を定量的に予測することが可能となった。

一方、細長型船型の結果を図 8 に示す。

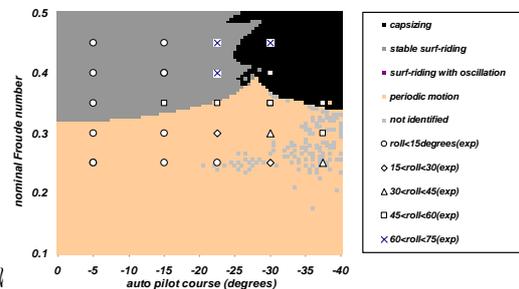


図 8 : 最長型船型計算結果

細長型船型においても、転覆限界 (模型実験では横傾斜 60 度以上を転覆と判定) がほ

ぼ実験と一致するなど、計算結果は実験を定量的に説明できるものとなった。

以上のことより、本研究の目的であった、追波および斜め追波中におけるブローチングや転覆といった強非線形船体運動の予測を実現する数学モデルとその数学モデルに必要な強非線形流体力を計測できる模型実験システムの構築が出来た。

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① A. Matsuda, H. Hashimoto and T. Momoki, Non-linear Hydrodynamic Force Measurement System in Heavy Seas for Broaching Prediction, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Ship Stability Workshop, pp. 5-2-1,5-2-5, 2007, 有

〔学会発表〕 (計 1 件)

- ① 松田秋彦、橋本博公、桃木勉、坂本玄太、大傾斜大波高中の強非線形流体力計測システムの構築、日本船舶海洋工学会講演会論文集、Vol. 4, pp175-176、2007、無

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松田 秋彦 (MATSUDA AKIHIKO)  
 独立行政法人 水産総合研究センター  
 水産工学研究所 漁業生産工学部  
 安全性研究室 室長  
 研究者番号 : 1 0 3 4 4 3 3 4

### (2) 連携研究者

橋本 博公 (HASHIMOTO HIROTADA)  
 大阪大学・大学院工学研究科・助教  
 研究者番号 : 30397731  
 梅田 直哉 (UMEDA NAOYA)  
 大阪大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号 : 20314370