

平成22年4月28日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760558
 研究課題名 (和文) パラメトリック横揺れの定量的数値予測と発生防止に関する研究
 研究課題名 (英文) Research on Quantitative Prediction of Parametric Roll and its Prevention
 研究代表者
 橋本 博公 (HASHIMOTO HIROTADA)
 大阪大学・工学研究科・助教
 研究者番号：30397731

研究成果の概要 (和文)：

コンテナ船や自動車運搬船で問題となっているパラメトリック横揺れの定量的予測のため、時々刻々の没水断面に対して流体力を計算する数値予測モデルを構築し、このモデルに強制横揺れ試験から得た横揺れ減衰力を用いることで、規則波中パラメトリック横揺れの定量的予測が可能であることを確認した。また、パラメトリック横揺れ防止効果に及ぼすアンチローリングタンク形状の影響、船首・船尾形状の影響を調査し、それぞれについての設計指針を得た。

研究成果の概要 (英文)：

A mathematical model was developed for quantitative prediction of parametric roll, which calculate hydrodynamic forces for instantaneous submerged hull. It was confirmed that this model with roll damping estimated from a forced roll motion test can predict parametric roll in regular seas quantitatively. Furthermore, influence of anti-rolling tank shapes and bow-flare & stern hull forms on parametric roll was investigated, and design guidance for avoiding parametric roll was obtained respectively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：パラメトリック横揺れ、復原力変動、横揺れ減衰力、アンチローリングタンク、粒子法

1. 研究開始当初の背景

近年、国際的な海上輸送量の増加を受けて、

輸送効率の徹底的な追求を主眼に置いた船型開発が著しく、過去に類を見ないような極

端なバウフレアやトランサムスターンを有する船舶が数多く建造されている。その結果、輸送効率は確かに向上したものの、その一方でパラメトリック横揺れという極めて深刻な横揺れ現象が数多く報告されるようになってきている。パラメトリック横揺れは従来の船舶復原性検討に用いられてきた横波中の同調横揺れよりもはるかに大きな横揺れが発生するのが特徴であり、国際海事機関 (IMO) が定める現行の非損傷時復原性基準 (IS Code) を満足する船舶でも、パラメトリック横揺れの発生条件を満たす波群に遭遇した際には、深刻な横揺れが発生することが知られている。実際に、北太平洋で 40 度にも及ぶ横揺れが発生して搭載コンテナを多数流出・損傷したポストパナマックスコンテナ船や 50 度にも及ぶ横揺れを経験した自動車専用運搬船の事故などが報告されている。このような事故を受けて、IMO や国際試験水槽委員会 (ITTC) においてパラメトリック横揺れの検討は緊急の課題とされているが、これまでパラメトリック横揺れの定量的数値予測のための数値予測モデルは確立されていない。今後もますます需要が高まるであろう海上輸送における安全性確保のためにも、パラメトリック横揺れの定量的数値予測法の確立とその発生防止手段の検討が強く望まれている。

2. 研究の目的

(1) パラメトリック横揺れの数値予測

パラメトリック横揺れ自体の研究の歴史は古く、線形の横揺れ運動方程式を仮定すると Mathieu 方程式の安定判別曲線に帰着することが知られている。しかしながら、最大横揺れが数十度にも及ぶ実際のパラメトリック横揺れを定量的に推定するには、減衰力および復原力を線形とする仮定は成り立たず、大振幅動揺時の非線形減衰力、非線形復原力を取り扱う必要がある。更に、パラメトリック横揺れの発生原因である波浪中での復原力変動を正確に推定するためには、横傾斜した非対称船体が縦運動することにより生じる横揺れへのラディエーション、ディフラクション流体力の推定が重要となる。また、出会い周波数が相対的に大きい向波中では、縦運動と横揺れ運動間の連成影響も無視できない。このように、パラメトリック横揺れ予測のための重要な知見が得られつつあるが、その発生条件と最大横揺れ振幅を定量的に推定可能なモデルは未だ確立されていないのが現状である。そこで、本研究では強非線形現象であるパラメトリック横揺れの定量的数値予測を目指し、横揺れ減衰力や復原力の非線形成分、縦運動による動的影響、各運動間の連成影響を考慮した上下揺れ、縦揺れ、横揺れの 3 自由度数学モデルの構築を行う。

また、付加質量の変動として考えられるスラミング衝撃圧の影響を考慮するために、時々刻々の没水断面に対して流体力を求める非線形ストリップ法として、数学モデルを構築する。

(2) パラメトリック横揺れの防止手段

パラメトリック横揺れの定量的数値予測が急務の課題である一方、実務的にはその発生防止手段の検討が重要な課題となる。パラメトリック横揺れの発生を抑えるには、横揺れ減衰力を増大させるか、波浪中での水線面 2 次モーメントの変化による復原力変動を小さくすることが考えられる。前者については、ビルジキール面積を拡大することが考えられるが、その効果は最小限に留まることが知られている。そこで、本研究では現在最も有力な防止手段のひとつとして考えられているアンチローリングタンクについて検討し、パラメトリック横揺れ防止装置としてのアンチローリングタンクの性能評価手法を構築する。その一方、アンチローリングタンクの装備は搭載コンテナ数の減少を招くため、その他のリスクコントロールオプションの提案も望まれる。そこで、バウフレア・船尾形状の改良によるパラメトリック横揺れのリスク低減を試みる。バウフレアは搭載コンテナ数を増やし、波浪中での耐波性能を高めるように設計されているが、水面下の船型に比べて形状の変更が容易であるため、現実的な手段として考えられる。また、船尾形状についてもその形状がパラメトリック横揺れ発生リスクに及ぼす影響について知見を得る。

3. 研究の方法

(1) パラメトリック横揺れの数値予測

大阪大学所有のポストパナマックスコンテナ船の模型を用いて、縦波中パラメトリック横揺れの実験を系統的に実施し、パラメトリック横揺れの数値予測モデル検証用の実験データを得る。実験結果との比較を行いながら、これまでに構築してきた 1 自由度横揺れモデルを上下揺れ、縦揺れ、横揺れの 3 自由度連成モデルに拡張する。パラメトリック横揺れの予測には復原力変動を正確に加味する必要があるため、タイムステップ毎に縦運動、横揺れ運動、船体周りの波高分布を考慮した非線形流体力計算を行う。次に、パラメトリック横揺れ発生時の横揺れ減衰力を正確に計測するための強制動揺試験装置を製作する。パラメトリック横揺れ発生の主原因である復原力変動は上下揺れ・縦揺れの影響が顕著となるので、これらの運動を拘束せずに、船体と共に上下動する船体搭載型の横揺れ強制動揺試験装置を製作する。大振幅のパラメトリック横揺れを再現するために可動

範囲は 30 度とし、極力軽量化を図ることで汎用性のある強制動揺試験装置とする。製作した強制動揺装置を用いて強制横揺れ試験を実施し、横揺れ振幅、横揺れ周期、前進速度に対する横揺れ減衰力の変化を計測する。強制動揺試験から得られた横揺れ減衰力を用いた数値シミュレーションを行い、従来から横揺れ減衰力推定に用いられている自由横揺れ試験や池田の推定法などの推定精度を検証する。また、波浪中復原力変動についても同じ強制動揺試験装置を用いて大傾斜角まで計測を行う。波浪中復原力変動については、波長、波高、フルード数、波向きを系統的に変化させた実験を行い、パラメトリック横揺れ発生の主要原因である波浪中復原力特性の変化を計測する。これらの実験結果をもとに、パラメトリック横揺れ予測のために構築した 3 自由度非線形ストリップ法の推定精度検証を行い、必要に応じて数学モデルの改良を行う。

(2) パラメトリック横揺れの防止手段

アンチローリングタンクによるパラメトリック横揺れ防止の検討では、タンク内流体挙動予測にメッシュレス CFD である MPS 法を用いたアンチローリングタンクのパラメトリック横揺れ防止性能推定法を構築し、タンク単独での強制横揺れ試験、およびタンク装備/非装備状態でのパラメトリック横揺れ観測模型実験を行うことで、MPS 法の精度検証、タンクと船体横揺れ間の連成影響を詳細に検討する。これらの検討結果をもとに、船体横揺れの時間領域シミュレーションと MPS 法によるタンク内流体挙動の動的連成解法の構築を目指す。また、アンチローリングタンクのような減揺装置を必要としない船首船尾形状の変更によるパラメトリック横揺れ発生時のリスク低減効果の検討を行う。3 自由度数値シミュレーションモデルを用いて、複数の船首船尾形状についてケーススタディを行い、最大横揺れ角を減少させる効果が得られる形状の探索を行う。

4. 研究成果

(1) パラメトリック横揺れの数値予測

パラメトリック横揺れ発生の主要因である波浪中での復原力変動と横揺れ減衰力について、非線形影響が顕著となる大振幅動揺域まで計測可能な専用の強制横揺れ試験装置を製作した。この動揺試験装置を用いて、0 度から 30 度の大角度まで波浪中での復原力変動計測を行い、横揺れ減衰力についても同様に大振幅動揺かつ広範囲の周波数について計測を行った。その結果、復原力変動については横傾斜が縦運動に与える影響が顕著であること、復原力変動振幅は横傾斜角に対して非線形に変化することを確認した。また

横揺れ減衰力については、従来から用いられている自由横揺れ試験では大振幅・高速域で横揺れ減衰力を過小評価すること、池田の推定法では逆に過大評価することを確認した。続いて簡便な 1 自由度横揺れモデルと新たに構築した上下揺れ、縦揺れ、横揺れの 3 自由度連成モデルを用いた数値シミュレーションと、自由航走模型実験との比較を行った。その結果、時間ステップ毎の没水断面に対する流体力を計算する 3 自由度非線形ストリップ法は 1 自由度横揺れモデルよりも復原力変動の推定、およびパラメトリック横揺れの予測精度が向上し、このモデルに強制横揺れ試験から得た横揺れ減衰力を用いることで、規則波中パラメトリック横揺れの定量的数値予測が可能であることを確認した。(図 1) また、横揺れ減衰力の推定に自由横揺れ試験を用いた場合は、パラメトリック横揺れを過大に評価し、池田の推定法を用いると過小に評価することとなった。

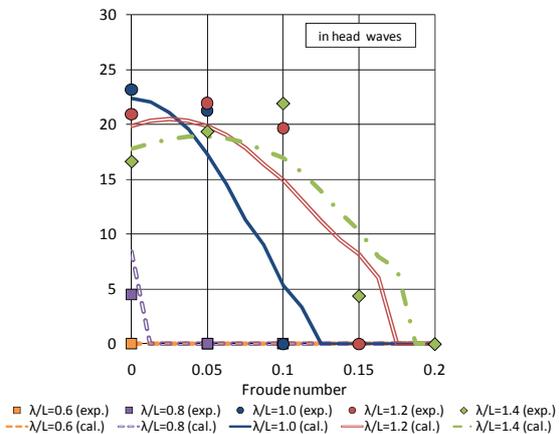


図 1 パラメトリック横揺れ振幅の模型実験と数値シミュレーションの比較

(2) パラメトリック横揺れの防止手段

アンチローリングタンクによるパラメトリック横揺れ防止に関する研究を行い、タンク内流体の挙動を粒子法により数値計算し、実験データを援用した横揺れ数学モデルと組み合わせることで、アンチローリングタンクのパラメトリック横揺れ防止効果の評価手法を構築し、タンク形状に関するケーススタディを行った。その結果、図 2 のようにダクト端からの渦生成を抑えてタンク内減衰を低減させた形状を採用することにより、経済損失に繋がるタンク水量の増加なしに、パラメトリック横揺れの防止効果が增大することを確認した。更に、アンチローリングタンクによるパラメトリック横揺れ防止効果の推定精度向上を目指して、タンク内流体運動を粒子法により数値計算し、船体運動を従来のストリップ法に基づく運動方程式の求解により求めて、両運動を計算ステップ毎に連成させて解く動的連成解法を新たに構築し、

パラメトリック横揺れのような大振幅動揺でタンク内流体が大変形するような場合でも、計算の破綻なくタンク内流体と船体運動の連成解が実用的な精度で予測可能であることを模型実験との比較により確認した。

(図3)次に、3自由度数学モデルを用いて、バウフレアおよび船尾形状が復原力変動振幅およびパラメトリック横揺れに及ぼす影響について数値シミュレーションによる検討を行った。その結果、バウフレアの勾配変更によるパラメトリック横揺れへの影響は限定的であるが、船尾の形状変更による影響は大きく、V型船尾では最大横揺れ角が相対的に減少し、U型船尾では最大横揺れ角が増大することを確認した。また、スポンソン(張り出し甲板)の設置効果についても同様の検討を行い、既存の船体形状を変更することなく、効果的にパラメトリック横揺れ防止効果が得られることを明らかにした。

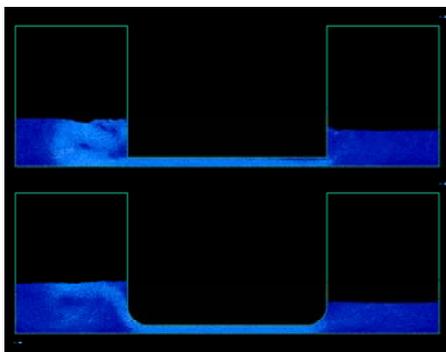


図2 アンチローリングタンクのダクト端形状変更による渦生成の違い

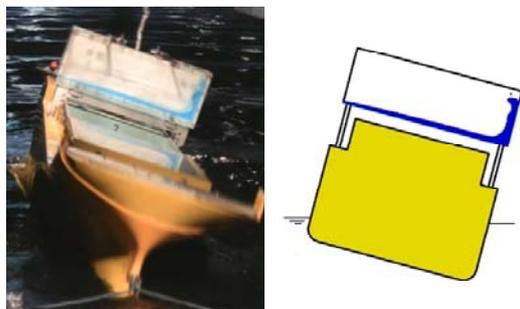


図3 タンク内流体と船体運動の連成解法

(3) その他

コンテナ船や自動車運搬船などのフレアを有する一般的な船体形状とは異なり、水線面上舷側が内側に傾斜しているタンブルホーム船型についても、縦波中のパラメトリック横揺れに関する検討を行った。その結果、特異なタンブルホーム船型について、波浪中復原力変動や横揺れ減衰力の特性が明らかとなり、対象としたタンブルホーム船型ではビルジキール寸法の設計を誤ると、深刻なパラ

メトリック横揺れが発生することを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- ① 橋本博公, 山谷悠: 規則波中パラメトリック横揺れの定量的数値予測に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第10号, 2009, pp. 65-71, 査読有
- ② 橋本博公: パラメトリック横揺れに及ぼすバウフレア・船尾形状の影響について, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第9K号, 2009, pp. 117-120, 査読無
- ③ 橋本博公, 杉本友宏, 末吉誠: タンク内流体と船体運動の動的連成解法に関する研究(第一報), 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第9K号, 2009, pp. 125-128, 査読無
- ④ H. Hashimoto, N. Umeda, Y. Sogawa, A. Matsuda: Parametric Roll of a Tumblehome Hull in Head Seas, Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. 3, 2009, pp. 717-721, refereed
- ⑤ 橋本博公, 末吉誠, 杉本友宏: パラメトリック横揺れ防止用アンチローリングタンクの形状影響評価, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第8号, 2009, pp. 365-368, 査読無
- ⑥ 橋本博公, 末吉誠: パラメトリック横揺れ防止装置としてのアンチローリングタンクの性能推定(第2報), 日本船舶海洋工学会論文集, 第8号, 2008, pp. 131-137, 査読有
- ⑦ 橋本博公, 梅田直哉: タンブルホーム船型の向波中パラメトリック横揺れ, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第7K号, 2008, pp. 71-74, 査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 博公 (HASHIMOTO HIROTADA)
大阪大学・工学研究科・助教
研究者番号: 30397731

(2) 研究分担者

なし

(3)連携研究者
なし