

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21360427

研究課題名（和文）

国際標準を目指した物理則ベースの船舶復原性評価手法の構築

研究課題名（英文）

Development of Physics-Based Ship Stability Assessment Procedures to Be Used as International Standards

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：国際海事機関で検討中の物理則ベースの船舶復原性評価法の案とすることを目的に、パラメトリック横揺れ、追波中復原力喪失現象、ブローチング、デッドシップ状態の復原性という4つのモードごとに、規則波中の簡易推定法と不規則波中の直接時間領域シミュレーションを組み合わせる手法を構築し、模型実験などによりその妥当性を検証し、許容できる危険確率のレベルを提案するとともに新船型による解決の可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：For facilitating the development of physics-based ship stability standards at the International Maritime Organization, new assessment procedures consisting of vulnerability criteria using periodic waves and direct stability assessment using random waves in the time domain were proposed. They cover four distinct failure modes, i.e. parametric rolling, pure loss of stability, broaching and stability under dead ship condition, and were validated with physical model experiments. Here the acceptable safety levels were presented and the use of new hull form for improving the stability safety was investigated as well.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2011年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	11,600,000	3,480,000	15,080,000

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：転覆・デッドシップ・ブローチング・パラメトリック横揺れ

1. 研究開始当初の背景

船舶の復原性は、一般の乗客や船員が直接判断することは難しいことから政府または国連機関である国際海事機関(IMO)の基準によって判定されている。その基準は、1960年代までに策定された経験則あるいは半経験則である。それから数十年が経過した現在、

新しいタイプの船舶、たとえば海上都市のようなメガクルーズ客船や10000個のコンテナを同時に運ぶポストパナマックスコンテナ船、が出現するようになると、従来の経験が適用困難となる局面が増えつつある。すなわち、メガクルーズ船が明らかに安全であるにもかかわらず設計困難となったり、ポスト

パナマックスコンテナ船で基準の想定外のパラメトリック横揺れが生じてコンテナの大量損傷が起こったこと、高速旅客船が波浪中操縦不能となるブローチング現象により大傾斜することなどである。IMO ではこの解決のため 2002 年より、非損傷時復原性基準の抜本的改正の審議を開始した。従来の経験則的基準には限界があり、今後は模型試験や数値シミュレーションを利用した直接的な安全性評価に世界的な技術の流れがあることから、特に、パラメトリック横揺れ、追波中復原力喪失現象、ブローチング、デッドシップ状態の復原性という 4 つの代表的シナリオをカバーできる物理則にもとづく基準が求められるに至った。これを受けて、このうち追波中復原力喪失現象以外の 3 つのシナリオの直接評価法に向けて、梅田らの受けた科学研究費補助金(2006-2008 年度)を利用した研究により、直接評価ツールの提案とその限界把握が行われた。すなわちシナリオごとに不規則波中の転覆リスク(確率または被害の期待値)の理論計算法が提示され、その物理実験や数値実験による検証例を示された。しかしながらその方法は総じて複雑かつ長時間の計算を要し、全世界の現場で日常的に利用することは必ずしも現実的ではない。

2. 研究の目的

そこで本研究では次の段階として、船舶の主要転覆シナリオ(パラメトリック横揺れ、追波中復原力喪失現象、ブローチング、デッドシップ状態の復原性)について、規則波中簡易計算法と不規則波中直接数値シミュレーションの組み合わせにより、実行可能な復原性評価法を新たに構築することを目的とした。そしてその実験的検証を行い、そのうえで望ましい安全レベル(転覆確率)の設定、それに対応した新船型の検討を試みる。

3. 研究の方法

規則波中において物理則にもとづきながらも簡単に転覆条件を計算する手法をまず検討する。そのうえで、不規則波中の直接数値シミュレーションによる転覆確率の結果との系統的比較を行い、これらの場合それぞれについて等価規則波の考え方を確立する。これにより、ある船舶の復原性評価にあたり、まず規則波中簡易推定法によりやや安全側にその安全性を評価することを目指す。もし対象となる船舶がこれに合格できない場合は、不規則波中の直接数値シミュレーションにより転覆確率を計算し、これをあらかじめ与えられた許容レベルと比較することをもって最終的な評価とすることとなる。この方法論を代表的な船舶に適用し、試算、数値実験や模型実験によりその妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) パラメトリック横揺れ

簡易推定法として、横揺れ単独の数学モデルに非線形力学の手法である平均法を適用し、規則縦波中での出現範囲と横揺れの振幅を解析的な式で求めた。ここで必要となる復原力変動はハイドロスタティック曲線のみから推定する方法を新たに導き、横揺れ減衰力は池田らの組み立て推定法の簡易化されたものを用いた。次の段階である不規則波中の直接数値シミュレーションによる転覆確率については、3 自由度の船体運動(横揺れと上下揺れ、縦揺れ)を復原力変動、波浪中抵抗増加を含めて時間領域で解いた。そして、実際に事故を起こしたコンテナ船について模型実験を行い、その危険性を定量化するとともに、平均法および 3 自由度数値シミュレーションでその推定が概略可能であることを示した。さらには、群波の理論と平均法を組み合わせることで、パラメトリック横揺れによる危険確率を推定した。

(2) 追波中復原力喪失現象

波浪中復原力計算を要しない簡易評価法、等価規則波中復原力計算を用いた準簡易評価法、不規則波中の 2 自由度時間領域シミュレーション(横揺れと前後揺れ)による直接評価法の 3 段階のセットを提案し、高速カーフェリーを例にとりその評価法間相互関係を定量化した。そして、模型実験によりその検証を試みた。その結果、2 自由度のシミュレーションの問題点を明らかにした。

(3) ブローチング

まず、簡易推定法構築のため、メルニコフの手法を一般化することで波乗り当たる大域的分岐限界を求める解析的理論を導き、その実験的検証に成功した。そして、波乗り領域外に発生するブローチングについて検討するとともに、不規則波中におけるブローチングによる危険確率推定に与える船規模の影響について調査し、それらを考慮した安全性評価法について考察した。さらに新形式船ではブローチング運動の推定が不十分となっていた問題については、これまでの 4 自由度数学モデルを改良して、舵露出影響も考慮することで自由航走実験結果とのより良い一致を実現した。また、準簡易推定法の候補となりうる、ブローチングの必要条件である波乗りの不規則波中での発生確率推定理論を、高速カーフェリーについて数値シミュレーションにより検証した。このほか、ブローチングを防ぐ新船型として多胴船を検討し、その設計指針を示した。

(4) デッドシップ状態の復原性

簡易推定法としては、区分線形近似による転覆確率推定理論を従来以上に厳密に誘導し、モンテカルロ法による数値実験でその検証

に成功した。次に直接評価法としての数値シミュレーションモデルの検証のため、一定風および不規則波中の船舶の転覆模型実験を行い、シミュレーションモデルと転覆確率のレベルでも良い一致を得ることができた。さらに、不規則風および不規則波中の模型実験も行い、区分線形近似法による横波横風中の転覆確率推定理論および不規則風波中の時間領域シミュレーションによる直接評価法の検証を行った。

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 41 件)

- 1) Maeda, E., Kubo, T. and Umeda, N.: Theoretical Methodology for Quantifying Probability of Capsizing for a Ship in Beam Wind and Waves and its Numerical Validation, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, refereed, Vol.15, Jun. 2012, pp.227-235.
- 2) 久保巧、梅田直哉: クルーズ客船・フェリーの復原性評価についての考察, 日本クルーズ&フェリー学会論文集, 査読有, 第2号, 2012年3月, pp. 29-36.
- 3) Motoki Araki, Naoya Umeda, Hirotsada Hashimoto, Akihiko Matsuda, “An Improvement of Broaching Prediction with a Nonlinear 6 Degrees of Freedom Model”, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, refereed, Vol. 14, Mar. 2012, pp. 85-96.
- 4) Umeda, N., H. Hashimoto, I. Tsukamoto and Y. Sogawa: Estimation of Parametric Roll in Random Seaways, In “Parametric Resonance in Dynamical Systems” (eds. Fossen, T. I. and H. Nijmeijer), refereed, Springer, Jan. 2012, pp. 45-62.
- 5) Lu, J., N. Umeda and K. Ma: Predicting parametric rolling in irregular head seas with added resistance taken into account, Journal of Marine Science and Technology, refereed, Vol. 16, No. 4, 2011, pp.462-471.
- 6) Hashimoto, H., N. Umeda and A. Matsuda: Broaching prediction of a wave-piercing tumblehome vessel with twin screws and twin rudders, Journal of Marine Science and Technology, refereed, Vol. 16, No. 4, 2011, pp.448-461.
- 7) Keisuke Yamane, Hisako Kubo, Naoya Umeda: Model Experiment on Pure Loss of Stability for a Ship in Following Waves, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, non-refereed, Vol.13, 2011年11月, pp.175-178.
- 8) Tomohiro Furukawa, Naoya Umeda, Akihiko Matsuda, Daisuke Terada, Hirotsada Hashimoto: Experimental Study on Above-Water Hull Form Effect on Ship Extreme Motions in Stern Quartering Waves, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, non-refereed, Vol.13, 2011年11月, pp.171-174.
- 9) 橋本博公、梅田直哉: 自動車運搬船のパラメトリック横揺れ予測、日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、Vol.13, 2011年11月, pp.167-170.
- 10) Atsuo Maki, Naoya Umeda, Shigeaki Shiotani, Eiichi Kobayashi: Parametric rolling prediction in irregular seas using combination of deterministic ship dynamics and probabilistic wave theory, Journal of Marine Science and Technology, refereed, Vol.16, No. 3, Sept. 2011, pp. 294-310.
- 11) Jiang Lu, Naoya Umeda, Kun Ma: Theoretical study on the effect of parametric rolling on added resistance in regular head seas, Journal of Marine Science and Technology, refereed, Vol.16, No. 3, Sept. 2011, pp. 283-293.
- 12) Hashimoto, H., S. Amano, N. Umeda, and A. Matsuda: Influence of Side-Hull Positions on Dynamic Behaviors of a Trimaran Running in Following and Stern Quartering Seas, Proceedings of the 21st International Offshore and Polar Engineering Conference, refereed, Maui, Jun. 2011, pp.573-580.
- 13) Umeda, N., S. Izawa, H. Sano, H. Kubo and K. Yamane: Validation Attempts on Draft New Generation Intact Stability Criteria, Proceedings of the 12th International Ship Stability Workshop, non-refereed, Washington D.C., Jun. 2011, pp.19-26.
- 14) Hashimoto, H., N. Umeda and Y. Sogawa: Prediction of Parametric Rolling in Irregular Head Waves, Proceedings of the 12th International Ship Stability Workshop, non-refereed, Washington D.C., Jun. 2011,

- pp.213-218.
- 1 5) 橋本博公、天野 峻介、梅田直哉、松田秋彦：ウォータージェット推進トリマランの追波・斜め追波中での操縦性能について、日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、第 12 号、2011 年 5 月、pp.481-484.
 - 1 6) Atsuo Maki, Naoya Umeda, Shigeaki Shiotani and Eiichi Kobayashi : The Estimation Method of the Parametric Rolling Probability, Conference Proceedings of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, non-refereed, Vol.11, 2010 年 11 月,CD.
 - 1 7) 杉本友宏、橋本博公、伊藤悠人：コンテナ船のラッシング強度を考慮したアンチローリングタンク設計手法の提案、日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、Vol.11, 2010 年 11 月、pp.393-396.
 - 1 8) Kubo, T., E. Maeda and N. Umeda: Theoretical Methodology for Quantifying Probability of Stability Failure for a Ship in Beam Wind and Waves and its Numerical Validation, Proceedings of 4th International Maritime Conference on Design for Safety, refereed, Trieste, Oct.2010, pp.1-8.
 - 1 9) Kubo, H. and N. Umeda: Designing New Generation Intact Stability Criteria on Pure Loss of Stability on Wave Crest, Proceedings of 4th International Maritime Conference on Design for Safety, refereed, Trieste, Oct.2010, pp. 75-82.
 - 2 0) Araki, M., N. Umeda, H. Hashimoto and A. Matsuda: Broaching Prediction Using an Improved System-Based Approach, Proceedings of the 28th Symposium on Naval Hydrodynamics, non-refereed, Pasadena, Sept.2010, USB disk.
 - 2 1) Atsuo Maki, Naoya Umeda, Martin Renilson, Tetsushi Ueta : Analytical Formulae for Predicting the Surf-Riding Threshold for a Ship in Following Seas, Journal of Marine Science and Technology, refereed, Vol.,15, No.3, Sept. 2010, pp.218-229.
 - 2 2) 梅田直哉：新世代船舶非損傷時復原性基準の構築を目指して、海上技術安全研究所報告、査読有、第 10 巻 第 2 号、2010 年 9 月、pp.157-177.
 - 2 3) Izawa, S. and N. Umeda: Stability Assessment Methodology for an Intact Ship in Beam Wind and Waves, Proceedings of the 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, non-refereed, Sakai, Jul. 2010, pp. 133-138.
 - 2 4) Sogawa, Y., N. Umeda and H. Hashimoto: Parametric Roll of a Post Panamax Containership in Regular Waves; Experiment, Analytical Method and Simulation, Proceedings of the 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, non-refereed, Sakai, Jul. 2010, pp. 99-102.
 - 2 5) Araki, M., N. Umeda and A. Matsuda: Non-Linear Ship Motion of ONR Tumblehome Vessel Running in Following and Quartering Waves; Modeling and Qualitative Properties, Proceedings of the 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, non-refereed, Sakai, Jul. 2010, pp.113-118.
 - 2 6) Lu, J., N. Umeda and K. Ma: Modeling Parametric Rolling in Regular and Irregular Head Seas with Added Resistance Taken into Account, Proceedings of the 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, non-refereed, Sakai, Jul. 2010, pp. 93-98.
 - 2 7) Sano, H., N. Umeda and S. Yamamura: A Methodology for Quantifying Danger Due to Broaching, Proceedings of the 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, non-refereed, Sakai, Jul. 2010, pp. 119-122.
 - 2 8) Tomohiro Sugimoto, Hirotada Hashimoto and Makoto Sueyoshi : Enhancement of Anti-Rolling Tank Performance for Parametric Roll Prevention, Proceedings of the 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, non-refereed, Jul. 2010, pp. 89-92.
 - 2 9) Shunsuke Amano, Hirotada Hashimoto and Akihiko Matsuda : Investigation on Manoeuvrability of a High-Speed Trimaran, Proceedings of the 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, non-refereed, Jul. 2010, pp. 265-268.
 - 3 0) Umeda, N. and S. Yamamura: Designing New Generation Intact Stability Criteria on Broaching Associated with Surf-Riding, Proceedings of the 11th International

- Ship Stability Workshop, non-refereed, Wageningen, Jun. 2010, p.17-25.
- 3 1) Francescutto, A. and N. Umeda: Current Status of New Generation Intact Stability Criteria Development, Proceedings of the 11th International Ship stability Workshop, non-refereed, Wageningen, Jun. 2010, 99.1-5. Wageningen, Jun. 2010, pp.295-301.
- 3 2) Hirotsada Hashimoto, Akihiko Matsuda, Naoya Umeda: Broaching Prediction of a Wave-piercing Tumblehome Vessel with Twin Screws and Twin Rudders, Conference Proceedings of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, non-refereed, Vol.10, 2010年6月, pp.561-564
- 3 3) 橋本博公、天野峻介、松田秋彦: トリマランの復原性に関する研究、Conference Proceedings of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 査読無、Vol.10, 2010年6月, pp.557-560.
- 3 4) Atsuo Maki, Naoya Umeda and Tetsuya Ueta: Melnikov integral formula for beam sea roll motion utilizing a non-Hamiltonian exact heteroclinic orbit, Journal of Marine Science and Technology, refereed, Vol.15, No.1, Mar. 2010, pp.102-106.
- 3 5) 梅田直哉, 荒木元輝, 橋本博公: 追波、斜め追波中におけるトリマランの動的挙動の定性的性質, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有、第10号, 2009年12月, pp.135-141.
- 3 6) Atsuo Maki, Naoya Umeda, Tetsushi Ueta and Eiichi Kobayashi: Melnikov Boundary for Biased and Non-Biased Beam Sea Roll, 日本船舶海洋工学会講演論文集, non-refereed, Vol.9K, 2009年11月, pp.121-124
- 3 7) Shinya Yamamura, Naoya Umeda, Atsuo Maki and Hiroyuki Sano: Numerical Study Towards Physics-Based Criteria for Avoiding Broaching and Capsizing in Following / Quartering Waves, 日本船舶海洋工学会講演論文集、査読無、Vol.9K, 2009年11月, pp.109-112.
- 3 8) 梅田直哉、天野峻介、荒木元輝、片山徹: 追波、斜め追波中におけるトリマランの動的挙動: 第2報、日本船舶海洋工学会講演論文集、査読無、Vol.9K, 2009年11月, pp.101-104.
- 3 9) 梅田直哉: 波浪と船舶安全性一特に転覆との関連について一、海と空、査読

有、Vol. 85, No.2, 2009年9月、pp.57-67.

- 4 0) Naoya Umeda, Hiroyuki Sano and Atsuo Maki: Stability Assessment Relating to Broaching, 日本船舶海洋工学会講演論文集、査読無、Vol.8, 2009年5月, pp.353-356.
- 4 1) Naoya Umeda, Satoshi Izawa and Eri Maeda: Stability Assessment Methodology for an Intact Ship in Beam Wind and Waves, 日本船舶海洋工学会講演論文集、査読無、Vol.8, 2009年5月, pp.349-352.

[その他]

ホームページ

<http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/naoe/naoe5/research/index.html#05>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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

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・主幹研究員

研究者番号: 10344334

(3) 研究協力者

荒木元輝、斎藤直宏、山村真也、天野峻介、井澤賢、佐野裕之、十川靖弘、久保尚子、久保巧、古川智啓、山根佳祐 (大阪大学大学院学生)、

伊藤祐人、森本あゆみ、吉山風花 (大阪大学学生)、

Jiang Lu (大阪大学招へい研究員)