



Title	Investigation into the Effect of Trapped Water on Deck on the Stability of an Offshore Supply Vessel Running in Astern Seas
Author(s)	Subramaniam, Sreenath
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/92968
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (SUBRAMANIAM SREENATH)

Title	Investigation into the Effect of Trapped Water on Deck on the Stability of an Offshore Supply Vessel Running in Astern Seas (追波航走中沖合補給船の甲板上滞留水の復原性への影響の研究)
-------	---

Abstract of Thesis

Offshore supply vessels are characterised by an extended low weather deck with an open aft end, that is prone to water accumulation during the vessel's operation in high waves, which can affect its stability. The present interim guidelines of the second generation intact stability criteria, excludes vessels with an extended low weather deck from the application of the vulnerability criteria of pure loss of stability, due to the likelihood of water on deck situations, the physics of which is not considered in the criteria. However, the quantitative definition of low weather deck vessel is yet to be established.

In this dissertation, the effect of trapped water on deck, on the stability of an offshore supply vessel, is systematically investigated using a combination of free running model experiments and simulations. Model experiments were conducted in regular and irregular stern quartering waves, and the trapped water on deck is monitored using a combination of pressure sensors and cameras. The phase difference between the time histories of ship roll motion and trapped water motion is analysed; and the variation in the nature of moments (static/dynamic) caused by the trapped water motion, with ship speed and wave conditions is confirmed.

A numerical model for the deck water flow problem is developed based on shallow water flow theory and finite volume method and is validated using data from the model experiments. Additionally, the moments generated by the motion of trapped water on deck, as estimated by the numerical model, is verified by executing similar simulations using a commercial CFD solver. The numerical model for the deck water flow is further coupled with a 4-DOF ship motion program and validated against the results from the model experiments. The coupled model is utilised in a systematic study, in which the freeboard height of the low weather deck is changed, to understand its influence on the water on deck effect.

The novel set of model experiments conducted in this research helped to confirm the presence of damping due to the trapped water motion and its influence on the roll motion. The results from the coupled simulations helped to establish an extended definition for the low weather deck, which can serve as a guideline for the application of the vulnerability criteria for the pure loss of stability. The coupled numerical model with further improvements can also serve as a tool for the direct stability assessment of low weather deck vessels with trapped water on deck.

This dissertation is divided into the following chapters:

Chapter 1 introduces the state of the art, motivation for the present study and contributions.

Chapter 2 describes the free running model experiments with monitoring of trapped water motion on the weather deck. The variation of maximum roll angles with ship speed and wave conditions is investigated and the phase difference between trapped water motion and ship roll motion is quantified through cross-spectral analysis.

Chapter 3 presents the development of the model for trapped water motion on the weather deck, using shallow water flow theory and its numerical implementation using finite volume method, for the case of regular waves. Systematic validation of the numerical model using prescribed motion data of weather deck, measured during the various stages of the model experiments that involved open and closed openings, is also presented.

Chapter 4 reports the verification of the moments estimated by the numerical model for trapped water motion, using the commercial unsteady Reynold's averaged Navier Stokes solver, provided by STARCCM+ software.

Chapter 5 details the coupling of the deck water flow model with the existing ship motion model for the regular wave situation, its validation using the systematic model experiment data and application of the coupled model to develop the extended definition of low weather deck, by comparing results of the direct stability assessment and vulnerability criteria.

Chapter 6 summarizes the dissertation, highlighting the key contributions, limitations, and future scope.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (SUBRAMANIAM SREENATH)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	牧 敦生
	副 査	教授	鈴木 博善
	副 査	教授	箕浦 宗彦

論文審査の結果の要旨

沖合補給船は、船尾甲板後端の開口に加え、低い乾舷の長い暴露甲板を有する特徴をもつ。そのため、荒天運航中、その甲板上に水が滞留しやすく、復原性に特異な影響を与える可能性が指摘されている。国際海事機関（IMO）の第 2 世代非損傷時復原性基準の暫定ガイドラインでは、甲板上滞留水が生じやすいこのような船舶は現状、追波中復原力喪失現象に関する同基準の適用を免除されることとなっている。しかし、長く低い暴露甲板を有する船舶の定量的な定義は、その複雑な流体现象のため、未だ確立されておらず、船舶復原性研究分野にその早急な解決が求められている。

本論文では、このような国際的な研究要請に応えるべく沖合補給船の復原性能に及ぼす甲板滞留水の影響を、自由航走模型実験と数値シミュレーションの両面より系統的に検討している。自由航走模型実験では、規則および不規則な斜め追波を実験水槽内に発生させ、甲板上の滞留水を圧力センサとカメラを組み合わせることで定量的に評価している。すなわち、船の横揺れ角と甲板上滞留水位の位相差をクロススペクトル解析により求め、滞留水運動によって引き起こされる横揺れモーメントが、船速と波の状態によって静的から動的に変化することを確認している。その上で、そのような甲板滞留水の動特性を、ナビエ・ストークス方程式に基づく近似理論と直接的な数値計算によっても概ね説明している。加えて、そのような甲板滞留水の近似理論と船体の操縦・横揺れ運動を連成させる手法を示し、自由航走模型実験結果によりその横揺れの推定精度を確認している。この連成計算手法により、暴露甲板の乾舷を系統的に変化させ、その復原性への影響を明らかにしている。

本論文は以下の章より構成されている。

第 1 章では、本研究の方針について述べている。すなわち、これまでの研究の進展の分析にもとづき、本研究の新規性が甲板滞留水の直接の計測と推定にあることを示している。

第 2 章では、甲板上滞留水の横揺れに与える効果を調べるために実施した、規則および不規則斜め追波中自由航走模型実験について述べている。ここでは、航海速力付近において横揺れが小さく、より低速や高速域では横揺れが大きくなる傾向を確認している。その原因としては、滞留水位と船の横揺運動の位相差が、航海速力付近で約 90 度付近となって、甲板滞留水が横揺れを減衰させる効果になること、それ以外の船速では位相差が変化して甲板滞留水が横復原力を減少させることを定量的に確かめている。

第 3 章では、浅水波理論を用いた甲板滞留水についての数値計算を行い、開口部の開閉をも含む、複数の条件下での規則波中自由航走模型実験での甲板上水位の計測結果と比較し、数値モデルの有効性を示している。ここでの計算には、実験で得られた船体運動と入射波形を境界条件として与え、甲板との摩擦も経験式で考慮している。

第 4 章では、非定常レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式の数値解を、船体による入射波の攪乱も含めて商用 CFD ソルバによる長時間の計算によって求め、甲板滞留水位の時間変化の推定精度を、浅水波理論のそれよりも改善している。

第 5 章では、浅水波理論による甲板滞留水の挙動と低周波数近似での船体運動モデルを連成させて解き、規則波中横揺れ運動の概略の推定ができることを示している。その手法の系統的適用と現在の脆弱性基準の比較から、現行基準の適用限界となる暴露甲板の乾舷が喫水の約 40%であることを見出している。

最後に第 6 章では、本論文の内容を総括するとともに、今後の展望を示し、本論文の結論を述べている。

以上のように本論文は、甲板上滞留水が斜め追波中における沖合補給船の復原性能を向上させる機構を、甲板滞留水挙動の実測と複数の方法での数値計算により明らかにし、現行基準の適用限界としての長低暴露甲板船の定義を提案している。この結果は、動揺する船上の滞留水挙動への流体力学的理解を深めるのみならず、今後の洋上風力などの海洋開発に必須となる沖合補給船の運航領域を拡大することに貢献するものであり、船舶工学の発展を通して海洋エネルギー開発の促進に資するところも大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。