

Title	Averaging Methods and More Realistic Numerical Models Applied to Parametric Ship Roll
Author(s)	酒井, 政宏
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72413
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (酒 井 政 宏)	
論文題名	Averaging Methods and More Realistic Numerical Models Applied to Parametric Ship Roll (平均化法とより現実的な数値シミュレーションモデルの船舶パラメトリック横揺れへの適用)
論文内容の要旨	
<p>重大な海難事故を引き起こす船舶のパラメトリック横揺れの推定法について研究を行った。パラメトリック横揺れとは、海洋波によって船の横復原力係数(GM)が時間変化することにより生じる横揺れである。このパラメトリック横揺れは古くから知られていたが、1950年代の研究によって、実海域においては海洋波のランダム性などによりほとんど発生しないと推論され、船舶の設計段階において考慮されてはこなかった。しかし、1998年の北太平洋における大型コンテナ船の事故によって、パラメトリック横揺れの危険が現実のものとなり、その後コンテナ船や自動車運搬船におけるパラメトリック横揺れがしばしば報告されるようになった。そこで国際海事機関は、パラメトリック横揺れへの対応を含め、2002年に新復原性基準の策定を開始した。本論文では、横揺れ1自由度に限定した簡易なモデルに平均化法を適用することでパラメトリック横揺れの特性を研究して設計基準案へ応用すること、簡易なモデルでは説明しきれない実際の船体運動を模型実験や多自由度数値モデルに基づいて明らかにすること、という2点を目的とした。</p> <p>本論文は、以下の5章から構成される。</p> <p>第1章では、上記の観点より、本論文の背景と目的を説明した。</p> <p>第2章では、縦波中1自由度モデルに平均化法を適用し2波に1回の横揺れについて検討した。平均化法とは、非線形項を時間平均することで非線形微分方程式の近似周期解を得る手法である。1周期で積分することで周期解の振幅と位相についての自律型微分方程式が導かれるため、全ての定常解が高次代数方程式を解くことで同時に求められ、さらにその解の安定判別を直接行いうる。ここでは、平均化法の改良法を新たに3つ提案し、推定精度が向上することを示した。すなわち、(1)GMの変動が大きい場合には3倍高調波を考慮して横揺れ振幅の推定精度が改善できること、(2)平水中復原力曲線の多項式近似の精度が不十分な場合の解決策、そして(3)GM変動への縦運動の連成効果の考慮により横揺れ推定精度が改善できること、を示した。次に、平均化法を用いて、最も振幅が大きくなる船速を直接求める手法を提案した。さらに、基準案で用いられる単純化された出会い周波数に基づく手法を、波スペクトラムより求められる平均周波数を用いた手法と比較することで検証し、単純化の妥当性を示した。</p> <p>第3章では、斜波中のパラメトリック横揺れをより厳密な数値モデルに基づき推定することを試みた。すなわち、斜波中では左右揺れ・船首揺れの操縦運動と横揺れの連成を考慮した。横揺れ固有周期と海洋波周期の関係から、大型の船舶は低速航行時にパラメトリック横揺れを引き起こしやすいため、周波数ベースの造波流体力主体のモデルに粘性抗力主体の低速操縦性流体力を付加した。このモデルは模型実験の横揺れ振幅をやや過大に評価するものの、増減の傾向を良く再現することが示された。そこで、実験で観測された前後・左右・船首揺れを用いて数値シミュレーションを行い、操縦運動の推定精度の向上が横揺れの推定精度を高めることを示した。</p> <p>第4章では、縦波中での広い出会い周波数域における横揺れの特性を検討した。上述の2波に1回のみならず、2波にn回(nは自然数)のパラメトリック横揺れの発生がマシュエ方程式により予測されているが、2波に2回以上のパラメトリック横揺れについてはあまり研究されていない。そこで、追波中で船速を順次上げて横揺れ運動を観測する自由航走模型実験を行った。すると、マシュエ方程式によって推定された不安定領域において、n=2のパラメトリック横揺れが観測された。しかし、回転数を少しずつ上げて実験を繰り返したにもかかわらずn=3以上のパラメトリック横揺れは観測されず、前後運動により復原力低下状態が長時間続く復原力喪失現象がむしろ発生するようになった。そこで、操縦運動モデルに基づいた多自由度数値モデルによって実験状態に対してシミュレーションを実施したところ、やはり復原力喪失現象が推定された。以上より、追波中低速航行時には、横揺れ運動はマシュエ型の方程式に従うが、高速航行時には、操縦性流体力と復原力低下が支配的であることが示された。</p> <p>第5章では、以上を総括して結論とした。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (酒 井 政 宏)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主査 教授	梅田 直哉
	副査 教授	飯島 一博
	副査 准教授	牧 敦生
論文審査の結果の要旨		
<p>重大な海難事故を引き起こす船舶のパラメトリック横揺れの推定法について研究を行っている。パラメトリック横揺れとは、海洋波によって船の横復原力係数(GM)が時間変化することにより生じる横揺れである。このパラメトリック横揺れは古くから知られていたが、1950年代の研究によって、実海域においては海洋波のランダム性などよりほとんど発生しないと推論され、船舶の設計段階において考慮されてはこなかった。しかし、1998年の北太平洋における大型コンテナ船の事故によって、パラメトリック横揺れの危険が現実のものとなり、その後コンテナ船や自動車運搬船におけるパラメトリック横揺れがしばしば報告されるようになった。そこで国際海事機関は、パラメトリック横揺れへの対応を含め、2002年に新復原性基準の策定を開始した。本論文では、横揺れ1自由度に限定した簡易なモデルに平均化法を適用することでパラメトリック横揺れの特性を研究して設計基準案へ応用すること、簡易なモデルでは説明しきれない実際の船体運動を模型実験や多自由度数値モデルに基づいて明らかにすること、という2点を目的としている。</p> <p>本論文は、以下の5章から構成される。</p> <p>第1章では、上記の観点より、本論文の背景と目的を説明している。</p> <p>第2章では、縦波中1自由度モデルに平均化法を適用し2波に1回の横揺れについて検討している。平均化法とは、非線形項を時間平均することで非線形微分方程式の近似周期解を得る手法である。1周期で積分することで周期解の振幅と位相についての自律型微分方程式が導かれるため、全ての定常解が高次代数方程式を解くことで同時に求められ、さらにその解の安定判別を直接行いうる。ここでは、平均化法の改良法を新たに3つ提案し、推定精度が向上することを示している。すなわち、(1)GMの変動が大きい場合には3倍高調波を考慮して横揺れ振幅の推定精度が改善できること、(2)平水中復原力曲線の多項式近似の精度が不十分な場合の解決策、(3)そしてGM変動への縦運動の連成効果の考慮により横揺れ推定精度が改善できること、を示している。次に、平均化法を用いて、最も振幅が大きくなる船速を直接求める手法を提案している。さらに、基準案で用いられる単純化された出会い周波数に基づく手法を、波スペクトラムより求められる平均周波数を用いた手法と比較することで検証し、単純化の妥当性を示している。</p> <p>第3章では、斜波中のパラメトリック横揺れをより厳密な数値モデルに基づき推定することを試みている。すなわち、斜波中では左右揺れ・船首揺れの操縦運動と横揺れの連成を考慮している。横揺れ固有周期と海洋波周期の関係から、大型の船舶は低速航行時にパラメトリック横揺れを引き起こしやすいため、周波数ベースの造波流体力主体のモデルに粘性抗力主体の低速操縦性流体力を付加している。このモデルは模型実験の横揺れ振幅をやや過大に評価するものの、増減の傾向を良く再現することが示されている。そこで、実験で観測された前後・左右・船首揺れを用いて数値シミュレーションを行い、操縦運動の推定精度の向上が横揺れの推定精度を高めることを示している。</p> <p>第4章では、縦波中での広い出会い周波数域における横揺れの特性を検討している。上述の2波に1回のみならず、</p>		

2波に n 回 (n は自然数)のパラメトリック横揺れの発生がマシュー方程式により予測されているが、2波に2回以上のパラメトリック横揺れについてはあまり研究されていない。このことを鑑み、追波中で船速を順次上げて横揺れ運動を観測する自由航走模型実験を行っている。その結果として、マシュー方程式によって推定された不安定領域において、 $n=2$ のパラメトリック横揺れが観測されている。しかし、プロペラ回転数を少しずつ上げて実験を繰り返したにもかかわらず $n=3$ 以上のパラメトリック横揺れは観測されず、前後運動により復原力低下状態が長時間続く復原力喪失現象がむしろ発生するようになっている。この点に着目して、操縦運動モデルに基づいた多自由度数値モデルによって実験状態に対してシミュレーションを実施したところ、やはり復原力喪失現象が推定されている。以上より、追波中低速航行時には、横揺れ運動はマシュー型の方程式に従うが、高速航行時には、操縦性流体力と復原力低下が支配的であることが示されている。

第5章では、以上を総括して結論としている。

以上のように、本論文は、重大海難防止のため国際的に注目されている船舶のパラメトリック横揺れについて、非線形方程式の近似解法である平均化法により実用基準を導くにあたって、現実の現象と近似理論のギャップを埋めるための理論の種々の改良を新たに行っている。さらに、より詳細な数値シミュレーションや模型実験との対比を通じて、近似理論の限界とその原因を明らかにしている。この成果の一部は、我が国政府から国連機関へ提案され、そこの船舶復原性基準の理論的骨格のひとつとなっているなどその実用的な価値も卓越している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。