

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01637

研究課題名(和文)大型コンテナ船の不規則波中での全船弾性応答挙動の解明に関する研究

研究課題名(英文)A study on the global elastic responses of a large container ship in irregular seas

研究代表者

岡田 哲男 (Okada, Tetsuo)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10753048

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は大型コンテナ船の構造安全性の向上を目的とし、様々な設計要素や運航・海象条件がホイッピングに及ぼす影響を、実船計測と数値シミュレーションを通して評価した。その結果、ホイッピングに起振される二重底振動による船底応力が縦曲げ応力に重畳し危険側の要因となることを見出した。波向・船速・船首フレア角などのホイッピングに及ぼす影響を定量的に示した。縦方向応力を縦曲げ・捩り・水平曲げに分離し、水平曲げ・捩りにおいてはホイッピングの影響は顕著ではないことを示した。ホイッピングの大きさに影響を与える減衰の調査を行い、減衰に影響を与える因子を示した。新たなホイッピング抽出手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、世界経済の発展によりコンテナ船の大型化が著しく進んでおり、これに伴いホイッピングによる船体強度への影響が増大している。一方、ホイッピング現象は学術的に未解明で、その定量的評価は未だ困難である。本研究では、長期実船計測及びランキンソース法と全船FEMを組み合わせた数値シミュレーションにより様々な角度からホイッピングに影響を与える因子とその影響の大きさの定量的評価を行った。このような一貫したアプローチによりホイッピング影響を網羅的に研究した事例は無く学術的な意義を有する同時に、ホイッピングの強度影響を適切に考慮することが可能となり、大型コンテナ船の構造安全性に資する大きな社会的意義を有する。

研究成果の概要(英文)：To enhance structural safety of large container ships, the effects of various design factors, operating and weather conditions on the whipping were investigated through full scale measurements and numerical simulation. As a result, (1) It was found that the double bottom bending stress induced by whipping superimposes the bottom longitudinal stress causing adverse effect on longitudinal strength. (2) Quantitative effects on whipping were shown with respect to wave direction, ship speed, bow flare angle, etc. (3) Longitudinal stresses were decomposed into hull girder vertical bending, horizontal bending and torsion, and it was shown that the horizontal bending and torsional components are insignificant with respect to whipping. (4) Damping was investigated from full scale measurement data, and factors affecting damping were clarified. (5) We proposed a new whipping detection methodology.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：コンテナ船 ホイッピング 波浪荷重 最終強度

1. 研究開始当初の背景

近年、世界的な海上貨物輸送量の増大に伴い、コンテナ船の大型化が飛躍的に進んでいる。この大型化に伴う船体剛性の相対的な低下、固有振動数の低下により、ホイッピングが船体強度に影響を及ぼすことが懸念されている。

このような中、本報告者らは、1998年就航の世界最大級 6,690TEU コンテナ船及び引き続き 2 隻目の 6,400TEU コンテナ船)の実船計測を行い、実海象中でのホイッピング応答の大きさを示した[1, 2]。これらを契機に世界中でコンテナ船のホイッピング応答に関する実船計測や水槽試験が盛んに行われるようになり、例えば Storhaug ら[3]は、2007年から1年間、北大西洋航路の 2 隻のコンテナ船(2,800/4,400TEU)の実船計測を実施し、最大波浪曲げモーメントがホイッピングにより最大 80%増大したと報告している。

このように実船計測や水槽試験で大きなホイッピング応答が計測されている一方、数値シミュレーションによりホイッピング現象を再現する試みも数多くなされている。様々な計算手法によるホイッピング応答計算のベンチマークとしては、例えば、Malenica ら[4]、Drummen ら[5]があるが、各計算機関・手法により計算結果に大きな差異があり、波浪中の船体弾性振動応答を精度良く計算できる確立された手法は未だに無いと言える状況である。

ホイッピング応答に関する実船計測、水槽試験や数値計算による研究が盛んに行われる中、2007年に MSC NAPOLI 号[6]、2013年に MOL COMFORT 号[7,8]が航行中に折損する事故が発生した。いずれの報告書においても、ホイッピング現象が事故に影響したとされており、この現象を早急に解明し、得られた知見を設計に反映していくことが喫緊の課題となった。これを受け、国際的な船体構造規則としてコンテナ船の縦強度規則[9]が 2015年に制定され、大型コンテナ船に対してはホイッピング影響を加味すべきことが規定された。しかしながら、現象自体の解明が進んでいないことから、ホイッピング影響の大きさやその縦曲げ最終強度への影響をどう評価するかは、各船級協会個別の検討に任されているのが現在の状況である。

ホイッピング現象が、現実の海洋波の元でどのように発生するのか、船体や構造あるいは操船方法によりどのような差異が生じるのか、ホイッピング現象が船体各部の構造挙動や船体縦曲げ最終強度にどのように影響するのかを明らかにし、大型コンテナ船の構造損傷リスクを適切にコントロールしていくための技術基盤を確立することが求められている。

2. 研究の目的

本研究は大型コンテナ船の構造安全性の向上を目的とし、様々な設計要素や運航・海象条件がホイッピングに及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。そのため、長期にわたる応力の実船計測結果やランキンソース法と全船 FEM を組み合わせた数値シミュレーションにより、ホイッピングの発生を観察するとともに、ホイッピング下での船体各部の構造挙動を明らかにする。これにより、ホイッピング影響を適切に考慮した設計や、ホイッピングによる船体損傷を未然に防止する操船支援などが可能となり、大型コンテナ船の構造安全性向上が期待される。

3. 研究の方法

上記の目的のため、長期にわたる実船計測データと、3次元数値シミュレーションを活用する。

実船計測データとしては、主に 2012年 5月～2016年 9月までの 4年強の期間にわたって計測された 8,600 TEU コンテナ船の縦方向応力データを用いる。このデータを用い、

- ・ホイッピングの抽出
 - ・船体各部のホイッピング応答のモード分離(縦曲げと二重底曲げの分離、垂直縦曲げ・水平縦曲げ・捻じりの分離など)
 - ・ホイッピングの大きさ・頻度の統計解析と運航・海象諸条件との相関検討
 - ・減衰特性の評価
- を行う。

また、数値シミュレーションにおいては、報告者らのグループで開発した、ランキンソース法を用いた船体運動・波浪荷重計算とその荷重下における全船有限要素解析により、向波中においてホイッピング現象を時刻歴でシミュレートする手法を用いる[10]。船体運動計算においては、時々刻々と変化する船体表面の浸水面および流体の自由表面を反映し、船体形状の変化に伴う非線形影響を忠実にシミュレートできる。また船体構造応答計算においては、これまでの研究が船体梁モデルでの計算にとどまっているのに対し、全船 3D 有限要素モデルを使用することで、船体梁としての全体的なホイッピング応答のみならず、二重底との連成などの局部構造の影響を適切に考慮することができる。この解析結果から、

- ・縦曲げと二重底曲げの重畳現象の解明。特に船倉部貨物重量がホイッピングに起振される二重底曲げ振動に及ぼす影響に関する検討。
 - ・船速や船首バウフレア角度などがホイッピングに及ぼす影響の調査。
- を行う。

4. 研究成果

(1) ホイッピング応答についても縦曲げ成分とそれにつれて起振される二重底曲げ成分とが特に船体中央部において重畳し、縦曲げ最終強度に影響を及ぼすことを示した。更に、様々なコンテナ貨物重量に対するホイッピング発生時の二重底面外曲げ挙動を観察し、ホイッピングにより起振される二重底の応答は十分に準静的であり、コンテナ貨物重量が大きいことは危険側にはならないことを明らかにした。また、船体前後部の重量が中央部に比べて大きいとホイッピング応答も大きくなる可能性を示唆した。

(2) 数値シミュレーションを用いて、4種類の異なるバウフレア角度を持つコンテナ船モデルのホイッピング応答を評価した。その結果、バウフレア角度の増大に伴ってホイッピングファクターが大きくなる現象が明確に観察された。NK 規則ではホイッピングファクターがバウフレア角度に依存しない一方、DNVGL 規則ではバウフレア角度がホイッピングファクター算式に含まれている。数値シミュレーション結果は DNVGL 規則の傾向に近いものとなった。ただし、バウフレア角度が非常に大きい領域で DNVGL 規則のホイッピングファクターは数値シミュレーション結果よりも急激に大きくなる傾向が観察され、過大評価の可能性がある。

(3) 縦応力を垂直縦曲げ、水平縦曲げ、捻り、軸力の4成分に分離し、それぞれについてホイッピングファクターと海象・操船条件の関係を統計表にまとめ、考察を加えた。その結果、ホイッピング応答に関しては垂直縦曲げ成分が支配的であり、水平縦曲げ・捻りにおける影響は小さいことを示した。また、船速が速く、向波の時にホイッピングが大きくなる傾向を示した。

(4) 8,600TEU コンテナ船の実船計測で得られた約4年に及ぶ時系列応力データを用いて1時間短期海象ごとに2節垂直縦曲げ成分、捻り1次成分、捻り2次成分それぞれの弾性振動成分に対する減衰比をRDT法により導出した。その結果、減衰比の大きさの関係は常に2節垂直縦曲げモード < 捻り2次モード < 捻り1次モードであり、減衰比の観点からも垂直縦曲げモードに最も注意が必要であることがわかった。さらに、2節垂直縦曲げモードでは喫水、船速、有義波高の増加による減衰比の増加傾向がみられ、積載量や付加水質量が減衰に影響を与えている可能性があり、中でも喫水の影響が最も大きいことがわかった。

(5) 8600TEU の大型コンテナ船の実船計測結果からホイッピングを抽出する方法について、従来の方法とは全く異なる方法として、ある時点における振動波形の変化が、別の大きな振動の足し合わせとしてもたらされるときをホイッピング発生と定義して抽出する方法を試みた。その結果、ホイッピング現象を抽出できることを確認した。さらに、もともと存在していた振動と相殺して振動が急に小さくなったり、あるいは振動の位相を大きくずらすように作用する衝撃起振も抽出することが可能となった。この成果は、今後ホイッピング発生の頻度や大きさの確率分布を、海象や操船の条件に応じて推定するための基礎となることが期待される。

<引用文献>

[1] T. Okada et al.: On Board Measurement of Stresses and Deflections of a Post-Panamax Containership and its Feedback to Rational Design, Marine Structures, Vo.19, pp.141-172, 2006.

[2] M. Toyoda, T. Okada et al.: Full Scale Measurements of Stress and Deflections of Post-Panamax Container Ship, Design and Operation of Container Ships, London, RINA, 2008.

[3] G. Storhaug et al.: Measurements of Wave Induced Vibrations and Fatigue Loading Onboard Two Container Vessels Operating in Harsh Wave Environment, Design and Operation of Container Ships, London, RINA, 2008.

[4] S. Malenica et al.: Hydro-Elastic Issues in the Design of Ultra Large Container Ships -TULCS Project, Hydroelasticity in Marine Technology 2012, Tokyo, pp.233-246, 2012.

[5] I. Drummen et al.: Benchmark Study of Slamming and Whipping, Ocean Engineering, Vol.86, pp.3-10, 2014.

[6] Marine Accident Investigation Branch, UK: Report on the Investigation of the Structural Failure of MSC Napoli English Channel on 18 January 2007, Report No 9/2008, 2008.

[7] 日本海事協会大型コンテナ船安全検討会：大型コンテナ船安全検討会報告書，2014。

[8] コンテナ運搬船安全対策検討委員会：コンテナ運搬船安全対策検討委員会最終報告書，2015。

[9] IACS: UR S11A Longitudinal strength standard for container ships, 2015.

[10] 小早川広明、岡田哲男他：コンテナ船の動的弾性応答計算に基づく構造健全性評価 - 第1報 向波中の非定常時刻歴船体運動解析 - ，日本船舶海洋工学会論文集第22号，pp.161-173, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 花田峻, 岡田哲男, 川村恭己, 早川銀河, 宮下哲治	4. 巻 31
2. 論文標題 大型コンテナ船の実船計測データに基づく縦曲げ及び捩り振動の減衰比について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 191-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Hanada, Tetsuo Okada, Yasumi Kawamura, Tetsuji Miyashita	4. 巻 2019
2. 論文標題 Statistical analysis of vertical and torsional whipping response based on full scale measurement of a large container ship	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 33rd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2019), Tainan, Taiwan(TEAM2019)	6. 最初と最後の頁 Paper S25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ayano Oto, Tetsuo Okada, Yasumi Kawamura, Tetsuji Miyashita, Tomoki Nagashima	4. 巻 2018
2. 論文標題 Influences of container cargo weight and its distributions on whipping response of a large container ship	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 32nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2018), Wuhan, China (TEAM2018)	6. 最初と最後の頁 502-509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大戸綾乃, 岡田哲男, 川村恭己, 宮下哲治, 長島智樹	4. 巻 26
2. 論文標題 ホイッピング応答における二重底面外曲げと船体縦曲げの相関に及ぼすコンテナ貨物重量の影響について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 211-216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hanada Ryo, Okada Tetsuo, Kawamura Yasumi, Miyashita Tetsuji	4. 巻 10
2. 論文標題 Statistical Analysis of Vertical and Torsional Whipping Response Based on Full-Scale Measurement of a Large Container Ship	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2978 ~ 2978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10082978	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 岡田哲男
2. 発表標題 コンテナ船の実船計測に基づく減衰比の検討
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会東部支部構造研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花田峻
2. 発表標題 大型コンテナ船の実船計測データに基づく縦曲げ及び捩り振動の減衰比について
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryo Hanada
2. 発表標題 Statistical analysis of vertical and torsional whipping response based on full scale measurement of a large container ship
3. 学会等名 33rd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2019), Tainan, Taiwan (TEAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大戸綾乃
2. 発表標題 ホイッピング応答における二重底面外曲げと船体縦曲げの相関に及ぼすコンテナ貨物重量の影響について
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ayano Oto
2. 発表標題 Influences of container cargo weight and its distribution on whipping response of a large container ship
3. 学会等名 The 32nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, Wuhan, China, pp.502-509, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川村 恭己 (Kawamura Yasumi) (50262407)	横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 (12701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------