

船舶の実遭遇海象に基づく操船影響の定量的評価

見良津 黎*, 福井 努*, 朱 庭耀*

1. はじめに

船舶は、船体構造の安全性や復原性の確保、貨物の荷崩れ防止、機関設備及び艙装品の保護、燃料消費量の削減等の様々な観点から操船が行われるため、船舶の実遭遇海象を精度良く把握することが肝要である。実海域における操船の傾向や操船が船体の構造強度に与える影響は、過去に多数報告されている^{1)~5)}。現行の船級規則では、既に操船影響が考慮されているが、より高精度な実遭遇海象に基づく合理的な技術背景の整備が求められる。

近年、自動船舶識別装置（Automatic Identification System, AIS）により、全球における船舶の位置情報データを取得することが可能である。AISデータの位置・時刻情報に基づく海象データは波浪追算（wave hindcast）を用いて算出できるため、これらのデータを組み合わせることで、船舶が実際に遭遇した海象の把握が可能となる。

著者らは、2年11か月間のAISデータ及び波浪追算データを用いて、有義波高、波周期、波向き、船速等を考慮し、船体ロール角、船体中央横断面における波浪中縦曲げモーメント、船体中央横断面の船底中心線における波浪変動圧を対象に北大西洋の自然海象に対する操船影響の定量的評価を実施した⁶⁾⁷⁾。

一方、本会が鋭意完遂した船体構造に関する鋼船規則C編の全面改正には、国際船級協会連合（IACS）が規定する北大西洋海域の波浪発現頻度表Recommendation No. 34（以降、IACS Rec. No. 34）⁸⁾に対する操船影響の定量的評価が不可欠であった。

そこで本研究では、北大西洋における一般商船（バルクキャリア、油タンカー、コンテナ船）の実遭遇海象を踏まえて、当該船舶のヒープ、ロール、ピッチ、船体中央横断面における波浪中縦曲げモーメント、船体中央横断面の船底中心線及び喫水線における波浪変動圧を対象に、IACS Rec. No. 34に基づく操船影響の定量的評価を実施した。

2. AISデータ・波浪データ

本研究では、Vessel Tracker社のAISデータ⁹⁾を使用した。AISデータは衛星及び陸上の基地局を経由して取得され、任意の船舶の位置・時刻情報を抽出可能である。表1にAISデータの概要を示す。本研究では、2年11か月（2014年1月及び2015年1月から2017年10月）の間に北大西洋を航行したバルクキャリア4,509隻、油タンカー1,875隻、コンテナ船2,072隻の計8,456隻分のAISデータを使用した。なお、上述の2014年1月は、北大西洋において過去25年間（1994年～2018年）で最も厳しい海象が発生した期間に該当する¹⁰⁾。本研究では、船速が0 knotのデータを除外するとともに、時間間隔が不規則なAISデータを1時間間隔に間引いて使用した。

波浪データは、ERA5（ECMWF）¹¹⁾及びIOWAGA（IFREMER）¹²⁾の波浪追算データを用いた。表2に上述の波浪追算データの概要を示す。本検討では、図1に示すIACS Rec. No. 34と同一の海域（GWS Area 8, 9, 15, 16）を対象とした。各波浪追算データは、海洋気象ブイ及び地球観測衛星による計測値との比較により、一定の精度を有していることが確認されている¹⁰⁾。ここで、上述の1時間間隔に間引いたAISデータの前後30分で最も近い時刻の海象データとの紐づけを行い、海象データ1点を1時間の短期海象とみなして検討を行った。

表1 AISデータ概要

Time period	2014/1, 2015/1~2017/10
Navigation area	GWS Area 8, 9, 15, 16 (North Atlantic)
Number of ships	8,456 (Bulk carrier: 4,509, Oil tanker: 1,875, Container ship: 2,072)

表2 波浪追算データ概要

Data set	ERA5	IOWAGA
Organization	ECMWF	IFREMER
Spatial resolution	0.36 deg	0.5 deg
Time step	1 h	3 h
Wave model	ECWAM	WW3-st4
Wind forcing	Coupled model	NCEP-CFSR

* 技術研究所

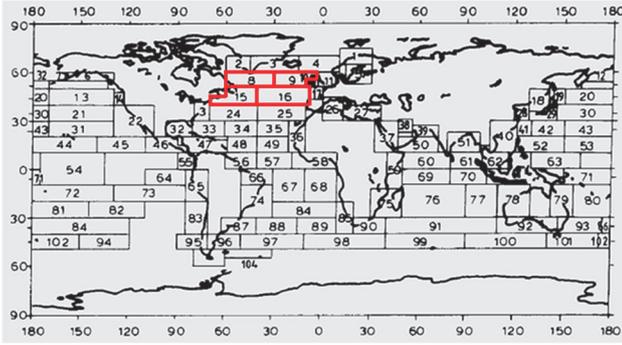


図1 IACS Rec. No. 34の対象海域（北大西洋）

0.84である。図4から図9より、波浪モデル、シリーズ計算対象船の長さ及び船種に対する $F_{op_rec.No.34}$ に顕著なばらつきは認められなかった。

表3 シリーズ計算対象船の概要

Ship type	Bulk carrier	Oil tanker	Container ship
Ship length[m]	110~285	110~320	110~350
Number of ships	22	27	26
Loading condition	Full load		

3. 操船影響の定量的評価

船舶の遭遇有義波高及び波周期を考慮した操船影響係数の算出手順を以下に示す⁶⁾⁷⁾。

- 下記の波浪発現頻度表を用意する。
 - 操船影響を含んだ波浪発現頻度表（AISデータと波浪追算データを基に算出）
 - IACS Rec. No. 34
- 前1)の各波浪発現頻度表を用いて、ヒープ（Heave）、ロール（Roll）、ピッチ（Pitch）、船体中央横断面における波浪中縦曲げモーメント（VBM）、船体中央横断面の船底中心線における波浪変動圧（Pcl）及び船体中央横断面の喫水線における波浪変動圧（Pwl）の長期予測値（超過確率 10^{-8} の値）を線形ストリップ法で算出する。一例として、ある1隻のパナマックス型バルクキャリアの長期予測値の分布（VBM）を図2に示す。
- 前2)で述べた種々の長期予測値を用いて、前1)の2年11か月分の操船影響を含んだ波浪発現頻度表（A）とIACS Rec. No. 34（B）との比である操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$ を下記の算式により算出する。

$$F_{op_rec.No.34} = \frac{\text{long-term prediction at } 10^{-8} \text{ (with ship operational effect)(A)}}{\text{long-term prediction at } 10^{-8} \text{ (IACS Rec.No.34)(B)}}$$

表3にシリーズ計算対象船（バルクキャリア：22隻、油タンカー：27隻、コンテナ船：26隻）の概要、表4に長期予測の解析条件を示す。また、表3のシリーズ計算対象船は、表1に示したAISデータの対象船とは異なる点に留意が必要である。

図3に $F_{op_rec.No.34}$ の統計値（平均値±2標準偏差）、図4から図9に船種にかかわらず船の長さをパラメータとした $F_{op_rec.No.34}$ の散布図を示す。図3に示した $F_{op_rec.No.34}$ の平均値±2標準偏差の範囲は0.75～

表4 長期予測の解析条件

Program	Liner strip method
Parameter	Heave, Roll [※] , Pitch, Vertical bending moment amidships (VBM), Hydrodynamic pressure at bottom center line amidship (Pcl), Hydrodynamic pressure at water line amidship (Pwl)
Ship speed	5 knots
Wave direction	All headings

※Excluding container ships

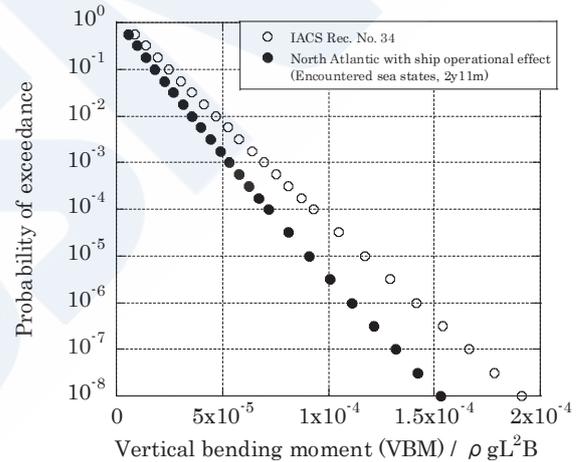


図2 操船影響を含んだ波浪発現頻度表及びIACS Rec. No. 34より算出した船体中央横断面における波浪中縦曲げモーメント（VBM）の長期予測値の一例

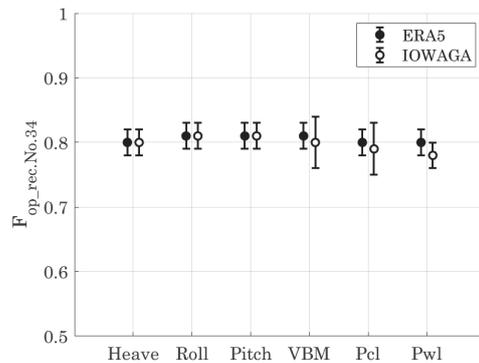


図3 評価対象項目ごとの操船影響係数の統計値（平均値±2標準偏差）

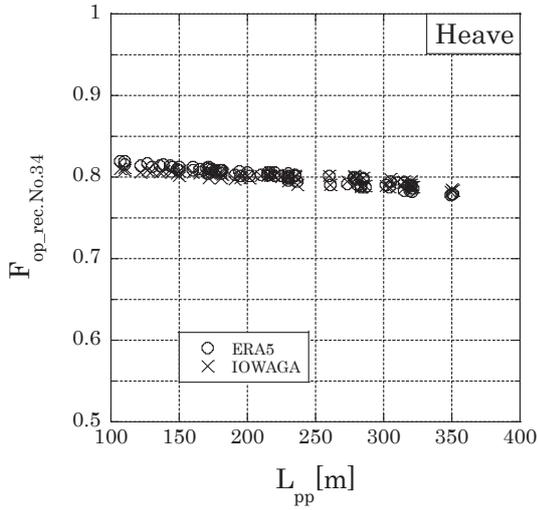


図4 ヒープに関する操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$

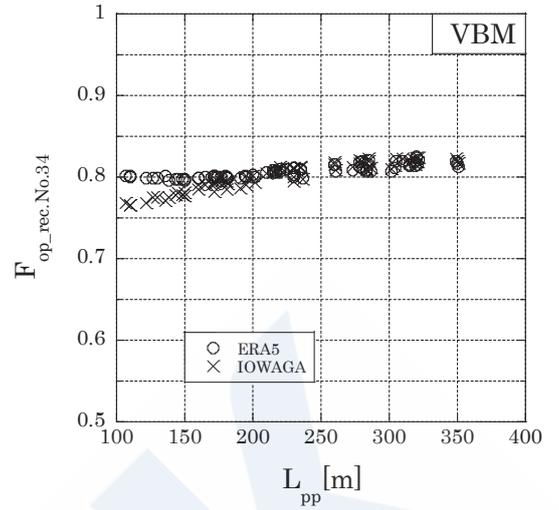


図7 船体中央横断面における波浪中縦曲げモーメントに関する操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$

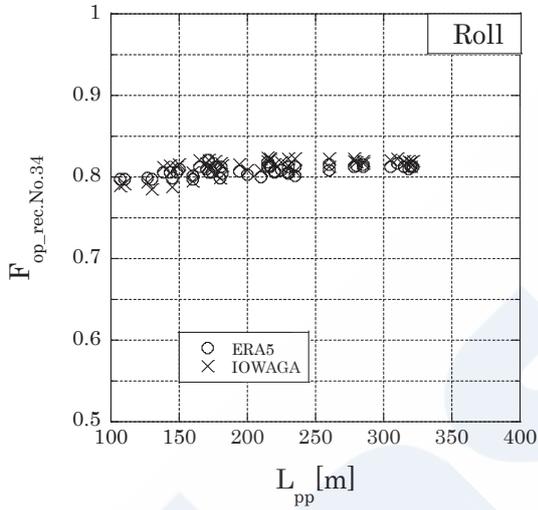


図5 ロールに関する操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$

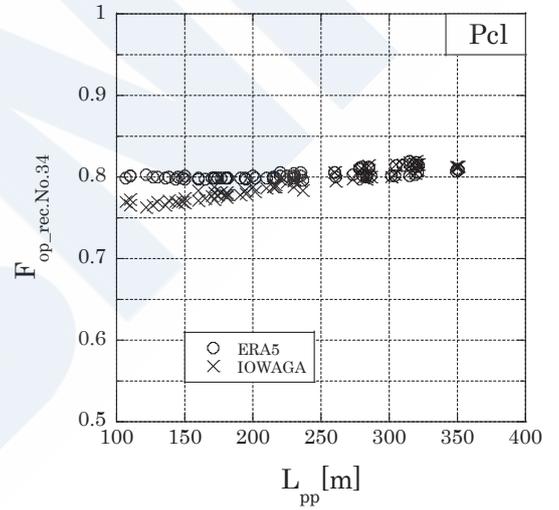


図8 船体中央横断面の船底中心線における波浪変動圧に関する操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$

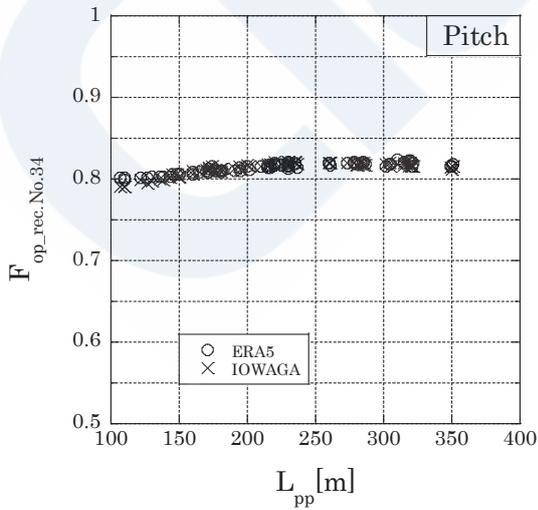


図6 ピッチに関する操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$

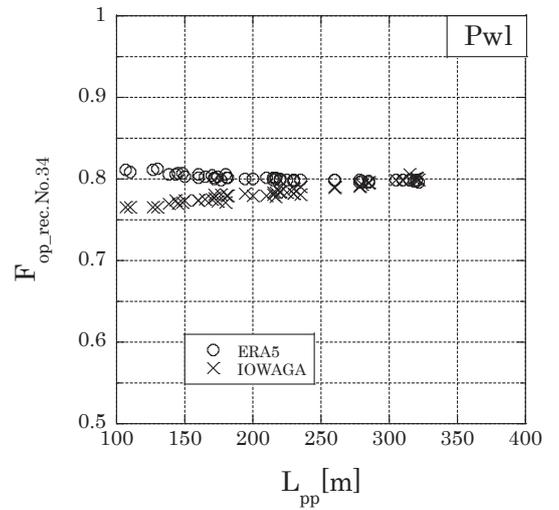


図9 船体中央横断面の喫水線における波浪変動圧に関する操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$

4. おわりに

本研究では、船体構造に関する鋼船規則C編の改正に資する検討として、IACSが規定する北大西洋海域の波浪発現頻度表 (IACS Rec. No. 34) に対する操船影響の定量的評価を実施した。北大西洋における一般商船 (バルクキャリア, 油タンカー, コンテナ船) の実遭遇海象を踏まえて、当該船舶のヒープ, ロール, ピッチ, 船体中央横断面における波浪中縦曲げモーメント, 船体中央横断面の船底中心線及び喫水線における波浪変動圧を対象に、IACS Rec. No. 34に基づく操船影響の定量的評価を実施し、以下の結論を得た。

- 1) IACS Rec. No. 34に基づく操船影響係数 $F_{op_rec.No.34}$ の平均値 ± 2 標準偏差の範囲は 0.75~0.84である。
- 2) 波浪モデル, シリーズ計算対象船の長さ及び船種に対する $F_{op_rec.No.34}$ に顕著なばらつきは認められなかった。

参考文献

- 1) Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK): Technical Guide Regarding the Strength Evaluation of Hull Structures, 1999.
- 2) 内藤林他: 運航限界を考慮した長期予測, 関西造船協会論文集, 第241号, 2004.
- 3) Soares C.G.: Effect of heavy weather maneuvering on the wave induced vertical bending moments in ship structures, Journal of Ship Research. Vol. 34 (1), pp.60–68, 1990.
- 4) Shu Z. and Moan T.: Effects of Avoidance of Heavy Weather on the Wave-induced Load on Ships, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 130 (2), 2008.
- 5) Vettor R. and Soares C.G.: Rough weather avoidance effect on the wave climate experienced by oceangoing vessels. Applied Ocean Research, Vol. 59, pp.606–615, 2016.
- 6) 見良津黎他: 実海域での船舶遭遇海象における操船影響の定量的評価に関する研究 (第2報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第30号, pp.397-401, 2020.
- 7) Miratsu R., Fukui T., Matsumoto T. and Zhu T.: Study on ship operational effect for defining design values on ship motion and loads in North Atlantic, ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2020), 2020.
- 8) International Association of Classification Societies (IACS) Recommendation No.34, Standard Wave Data, 2001.
- 9) Genscape Vesseltracker™ Data Services. Retrieved March 2020 from <https://www.vesseltracker.com/en/products/dataServices.html>.
- 10) Sasmal K., Miratsu R., Kodaira T., Kita Y., Zhu T., Fukui T. and Waseda T.: Wave climate in the North Atlantic Ocean and extreme value analysis, 2nd International Workshop on Waves, Storm Surges and Coastal Hazards, 2019.
- 11) Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horanyi A., Muñoz-Sabater J. et.al.: The ERA5 global reanalysis, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146, pp.1999–2049, 2020.
- 12) Rasche N. and Ardhuin F.: A global wave parameter database for geophysical applications. part 2: Model validation with improved source term parameterization, Ocean Modelling, 70, pp.174–188, 2013.