

## 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25年5月15日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360372

研究課題名（和文） 振動応答から見た荒天航海中の船舶貨物の損傷防止を実現する最適積載システム

研究課題名（英文） Optimal Loading System to Prevent Cargo Damage in Rough Sea Navigation from Viewpoint of Vibration Response

研究代表者

笹 健児（SASA KENJI）

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授

研究者番号：10360330

研究成果の概要（和文）：

船舶による海上輸送は陸上輸送と異なり、複雑な自然条件のもとで運航することが求められ、特に波浪中の船体運動による影響を正確に反映させることが必要となる。船舶海洋工学の分野にて高度な耐波理論が構築されてきたが、実運航にて最も重要となる船体運動と貨物への衝撃に関する研究事例について、実海域でのデータによる検証例は非常に少ない。本研究では車両貨物を積載する大型フェリーを対象に、長期間にわたる船体運動、甲板加速度、仮想貨物に作用するラッシング張力を連続計測できるシステムを構築した。さらに船体運動と貨物への衝撃力の関係をデータにより明らかとすることができただけでなく、2011年3月11日に発生した東北地方での東日本大震災・大津波時における船舶の挙動をデータ記録することができた。当時、船舶は宮城県沖を航行しており、震源地からきわめて近い海域にいたため、極めて貴重なデータを得ることができた。データ特性を分析したところ、津波だけでなく、海震発生時に10Hz程度の高周波数で加速度の顕著な応答が見られ、陸上施設だけでなく海上に浮く船舶にも類似した振動現象が確認された。さらに荒天時における船体運動と車両甲板に生じる加速度、ラッシング張力の関係についても統計的に明確にでき、前者は縦揺れ、後者は横揺れによってある程度説明できるが、両者を入力とした動的な車両貨物のラッシング張力を推定する数値解析プログラムを構築中であり、本研究にて得られた実海域データをもとに早急に完成、拡張する。

研究成果の概要（英文）：

Maritime transportation with vessels is required to operate under more complicated natural conditions than road or rail transportations. Especially, ship motions in waves are very important to evaluate safety more precisely. Although many studies and theories have been accumulated in the field of naval architecture, there are few examples on the safety evaluation from viewpoint of cargo damage due to large ship motions in actual seas. In this study, the total observation system is newly designed to enable continuous database of ship motions, cargo deck accelerations, lashing forces of vehicle cargo in a 20,000DWT class domestic ferry. Some relations can be revealed between cargo impacts and ship motions from these databases. Moreover, these kinds of data can be observed in March 11, 2011, when the unprecedented size of seaquake and tsunami in Tohoku District, Japan. The ferry was off Miyagi Prefecture, which is very near from epicenter of the seaquake. The remarkable response is recognized around 10Hz in observed vertical acceleration. The similar phenomenon is assured in vessels at sea, as well as that in land. Relations of cargo deck accelerations and lashing forces can be almost explained by ship motions and wave conditions in rough seas. Now we are constructing the dynamic simulation algorithm about cargo damage due to ship motions, and it contributes to the new safety management of vehicle cargo operation at seas.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2011年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2012年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：工学

科研ひの分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：船体運動、貨物損傷、甲板加速度、ラッシング張力、数値解析、統計解析、荒天波浪

1. 研究開始当初の背景

世界経済を支える海上輸送は現代社会の基盤となるものであり、安全性の向上を実現するための多くの研究が実施された。その一方、荒天時に船体動揺の影響により、積載貨物が損傷し、経済的にも大きな被害を生じる事例が少なくない。船舶運航における安全基準は船体自身よりも積載貨物の安全性確保を第一に判断されるが、貨物の固縛などは経験的なものによるところが大きく、船体運動との関係や動的な衝撃力の推定などは未整備のままである。この背景として、気象海象、船体運動、貨物衝撃の相関関係を見極めるデータが存在せず、このため有効な対策を考案することができずにいる。

## 2. 研究の目的

上記背景より、外洋を航行する船舶を対象に船体運動、甲板に生じる加速度、気象条件の連続データを長期間にわたって観測し、これらの関係を詳細に見極める必要があると考えた。これをもとに車両貨物の場合、ラッシングワイヤーに生じる動的な張力、車両の移動を検証できる理論体系を整備できれば、船に生じる船体運動から貨物衝撃を直接的に推定することが可能となり、任意の外力条件における貨物衝撃の予測だけでなく、最適な積載や運航限界を定量的に推測することができ、現場での運用に大きく貢献できる。

## 3. 研究の方法

本研究では、太平洋を航行する大型定期フェリーを対象船舶とし、船体運動、甲板に生じる三軸加速度、設置した重さ 10kg の仮想貨物に生じるラッシングワイヤーの張力を加速時計、ロードセル、ユニバーサルレコーダー、PC を連動させた計測システムを設計した。また船橋、船首、船尾の 3 カ所にて計測するため、計測データの時間同期を取るために無線 LAN による通信機能を持たせた。この計測によって得られたデータの統計値および時系列を整理・分析し、船体運動と貨物衝撃の間の相関関係を様々な角度から整理した。さらに船体運動を入力とした車両貨物のラッシング張力、トレーラーに生じる変位を推定できるアルゴリズムを開発し、最適な貨物積載を求めるシミュレーションを構築する。

## 4. 研究成果

年間を通じた連続観測を試みたが、船内電源のトラブルや東北沖の大地震による影響にて

船のプロペラ軸に損傷が生じた等により、計画した半分以下の期間しかデータを得ることができなかった。これらのデータより、船体運動と甲板加速度の相関関係を分析したところ、縦揺れが卓越した状況においては鉛直加速度が最大で±0.8G近い振れ幅を生じており、両者に非常に強い相関があることが改めて確認された。また船首甲板よりも船尾甲板における車両貨物の損傷度合いが大きいことが聞き取り調査にて明らかとなっていたが、計測されたデータでは船尾よりも船首に生じる加速度の方が大きく、この現象を裏付けることができていない。この点については今後の研究にてさらに考察を進める必要があると考えている。一方、仮想貨物のラッシング張力を見ると、張力の変動自体に船体運動との明確な時系列での応答は認められなかったが、これは今回の実験を通じてラッシング張力が顕著となるほどの横揺れが発生しなかったのも影響していると考えられる。波浪との関係では低気圧が急発達したときの状況によって縦揺れが顕著になる関係が把握できた。一方、2011年3月11日に東北沖で発生した大地震および大津波時に本船は宮城県沖を航行しており、これらの船舶に与える影響を極めて顕著に計測することができた。津波については遭遇時に水平方向に大きく漂流されているが、沖合であったため、鉛直方向への変位はそれほど発生していないことが分かった。また海震の発生時刻に船首尾の甲板に設置していた加速時計にて鉛直方向を中心に、前後、左右方向にも3~4分近い顕著な振動波形が観測された。周波数特性を分析した結果、周波数が10Hz付近の高周波数にて強い振動外力が作用したものと思われ、前述したプロペラ軸のひび割れの大きな原因となったものと推測している。今後の研究にて海震時における船舶への影響を推定できる理論体系を構築していきたいと考えている。

## 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 12 件)

(1) 曾田泰介、塩谷茂明、笹健児：気象・海象を考慮した数値ナビゲーションシステムの基礎的研究、日本船舶海洋工学会論文集、第 16 号、pp. 155-164、2013 (査読あり)

(2) Shiotani, S., Sasa, K., Wakabayashi, N and Terada, D. : “Measurement of Sea-Shocks Response of a Sailing Ship in Japan”, Proceedings of the 23rd International Conference of Offshore and

Polar Engineering, 2013 (査読あり)

(3) Sasa, K. and Incecik, A., Numerical Simulation of Anchored Ship Motions due to Wave and Wind Forces for Enhanced Safety in Offshore Harbor Refuge, Ocean Engineering Journal, Vol.44, pp.68-78, 2012 (査読あり)

(4) Sasa, K., Terada, D., Shiotani, S., and Kobayashi, E., A Study of Numerical Simulations of Ship Motions in Underway Using a Coastal Wave Database, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol.22, No.1, pp.38-45, 2012 (査読あり)

(5) 塩谷茂明、若林伸和、笹健児、寺田大介 : 航行船舶が遭遇した地震動の解析、第23回海洋工学シンポジウム、pp.1-8、2012 (査読なし)

(6) 笹健児、寺田大介、塩谷茂明、若林伸和 : 荒天航海時の船体運動と海上輸送の安全・効率性の関係について、日本航海学会論文集、第127号、pp.79-87、2012 (査読あり)

(7) Terada, D., Wakabayashi, N., Sasa, K. and Matsuda, A., "On Time Series Analysis Concerning the Ship Acceleration Caused by Seaquake", Proceedings of Asia Navigational Conference 2012, 9p., 2012 (査読あり)

(8) 笹健児、金キョンヘ : 潮流が卓越する海域での港内静穏度について、日本航海学会論文集、第124号、pp.319-328、2011 (査読あり)

(9) 笹健児、若林伸和、小林英一、寺田大介、塩谷茂明 : 沖合波浪およびAISデータを用いたフェリー海難の事故分析に関する研究、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.67、I\_832-I\_837、2011 (査読あり)

(10) 笹健児、寺田大介、若林伸和、塩谷茂明 : 荒天時の船体運動と貨物損傷の関係について、日本航海学会論文集、第125号、pp.199-207、2011 (査読あり)

(11) Shiotani, S., Sasa, K., Terada, D., Makino, H., and Shimada, Y., Numerical Navigation for a Ship in Simulation of Waves, Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Conference of Offshore and Polar Engineering, pp.663-668, 2010 (査読あり)

(12) 笹健児、Atilla Incecik : 港外避泊時の船体運動を再現する諸要素に関する基礎的研究、日本航海学会論文集、123号、pp.143-151、2010 (査読あり)

[学会発表] (計4件)

(1) 笹健児、寺田大介、塩谷茂明、小林英一、牧野秀成、嶋田陽一、種本 純、内田 誠 : 船体運動と気象海象データから見た国際航海の運航評価に関する基礎的研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集、Vol.14、2011年11月8日、神戸

(2) 笹健児、若林伸和、小林英一、寺田大介、塩谷茂明 : 波浪およびAISデータから見た荒天時におけるフェリー海難に関する一考察、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第12巻、pp.279-282、2011年5月19日、福岡

(3) 寺田大介、笹健児、若林伸和、塩谷小林英一、松田秋彦 : 津波による船体運動の時系列解析、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第13巻、2011年5月19日、福岡

(4) 笹健児 : 港外避泊中の域の安全性評価について、日本船舶海洋工学会春季講演会、2010年6月7日、東京

[図書] (計0件)

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

笹 健児 (SASA KENJI)  
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授  
研究者番号 : 10360330

### (2) 研究分担者

寺田 大介 (TERADA DAISUKE)  
水産総合研究センター・水産工学研究所・研究員  
研究者番号 : 80435453

塩谷 茂明 (SHIOTANI SHIGEAKI)  
神戸大学・自然科学系先端融合研究環重点研究部・教授  
研究者番号 : 00105363

小林 英一 (KOBAYASHI EIICHI)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授  
研究者番号：90346289

若林 伸和 (WAKABAYASHI NOBUKAZU)  
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授  
研究者番号：60242351

(3) 連携研究者  
なし

(4) 研究協力者  
Atilla Incecik (Prof. of University of  
Strathclyde, United Kingdom)