



Safety Evaluation of Ship Operation in Coastal Area in terms of Optimal Ship Routing

LEE, SANGWON

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2022-09-25

(Date of Publication)

2023-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8473号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100477899>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

論文内容の要旨

氏 名 LEE SANGWON

専 攻 海事科学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Safety Evaluation of Ship Operation in Coastal Area in
terms of Optimal Ship Routing

(最適航法のための沿岸海域における船舶運航の安全性評
価)

指導教員 笹 健児

With the increasing demand for maritime transportation, optimal ship routing service has become an essential element in the shipping industry as well as the ship building fields. Many studies related to optimal ship routing are being conducted to achieve the most economical, environmentally friendly, and safe marine transportation around the world. However, there is relatively little interest in research on the ship operation that occur in coastal areas near ports, rather than ship navigation in the ocean. In particular, it is reported that more accidents occur during the ship operation such as berthing, mooring, and anchoring in the coastal area.

In many ports around the world, the safety measure and research have been continuously conducted to enhance the safety of these berthing, mooring, and anchoring operations for several decades. However, until now, ship accidents have continued in several ports. In spite of these efforts, there are still reports of ship accidents in coastal waters. It is essential to be more careful to prevent ship accidents in the coast because they can directly affect not only economic losses but also environmental pollution.

Recently, with the development of weather forecasting technology, ship accidents near ports have been decreasing. However, since errors in weather forecasts still occur, a complete reliance on weather forecasts can result in hazardous conditions for port and ship operations. Therefore, it is essential for smooth port management and safe ship operation to establish safety measures in preparation for failure in weather forecasting.

Therefore, in this study, the methodologies of safety evaluation for ship operation were proposed within berthing, mooring, and anchoring in coastal areas near ports. In this context, this study tried to suggest a novel methodology for safety reinforcement by approaching from three parts of ship operation, which is berthing, mooring, and anchoring near the port terminal.

To evaluate the safe berthing process, the measurement of the berthing velocity was performed. It was proposed to calculate the proper berthing velocity for the relevant terminal by statistically analyzing the measured data. As the size of the vessel increases, the size of the port terminal has become huge, with the enhanced port facilities. However, the standard of the berthing velocity is still in use with the past standard that does not fit the reality without considering the change of recent size of ship. In addition, 'PIANC' (Permanent International Association of Navigation Congresses) is trying to set new standards by recognizing that past data such as 'Brolsma's curve' is not in conformity with the current navigation condition. Therefore, presenting the cases on the analysis of actual data about berthing velocity in each country, analysis was performed on collected data of berthing velocity from tanker terminals in Korea equipped with a DAS (Docking Aid System) which is a vessel speed measuring device. This measured data was classified by each vessel size and each jetty in this study. Through the analyzed results, it was compared and analyzed by plotting normal

distribution, lognormal distribution, and Weibull distribution. In order to verify each distribution, visual confirmation was made using a Q-Q plot, and R-squared values were compared and verified. The linear regression was used to confirm the relationship between DWT and the berthing velocity of the ship. Finally, it was estimated to get the probability of exceedance for each distribution and propose a criterion for berthing velocity. It could provide navigators with basic data for safe berthing operation and to utilize it as basic data for efficient harbor and fender system design. This not only increases the durability of the marine structures but also reduce the maritime accidents where the vessel collides with the pier.

During the berthing process, the ship is moored using mooring facilities such as ropes, fenders, and bollards to conduct the cargo operations in port terminal. To ensure safe port operations, it is important to solve mooring problems. In particular, the many ports that face open seas have difficulties with long-period waves. As a countermeasure, the installation of a breakwater is proposed for mooring safety. However, this often cannot be put into practice because of financial issues. Instead, port terminals control berthing schedules with weather forecasting. However, mooring problems remain unsolved, because of inaccurate wave forecasting. To quantify the current situation, numerical simulations are presented with ship motions, fender deflections, and rope tensions. In addition, novel simulations for mooring ropes are proposed considering tension, friction, bending fatigue, and temperature. With this novel simulation, the optimal mooring method in terms of safety and economic efficiency was confirmed. In terms of safety, the optimal mooring method is verified to minimize dangerous mooring situations. Moreover, the optimal mooring method shows economic benefits and efficiency. It can help to reinforce the safety of port terminals and improve the efficiency of port operations.

The next area to examine is the safety operation for the anchored ship. In recent years, the number of waiting ships in offshore anchorage has increased owing to several reasons, such as the port lockdown and increased cargo volumes in maritime transportations. Moreover, port terminals have ordered ships to stay outside the harbor to prevent mooring accidents when rough waves are forecasted. Anchored ships have been exposed to dangers owing to dragging anchors under rough sea conditions, especially those facing the open seas. In this study, we perform a numerical simulation of anchored ship motions to reproduce the dragging anchor. Additionally, we further evaluated the anchored ship motions based on underestimated wave conditions. Lastly, we constructed a novel risk assessment technique for anchored ships to the stranding risk, damage to marine structures, and risk of collision. The stranding risk was evaluated based on the relationship between the vertical displacement and Under Keel Clearance (UKC). Damaging risk can be identified from the information of harbor charts. The risk of collision was quantitatively assessed

considering the main influential factors such as Closest Point of Approach (CPA), and the Ship Domain Overlapping Index (SDOI). Results showed that the proposed methodology can contribute to port safety and ship operation in terms of optimal ship routing.

This study was conducted to evaluate the safety of berthing, mooring, and anchoring processes for the prevention of the accidents during ship operation in the coast. The framework and methodology developed in this thesis could provide the enhanced safety guideline to manage and operate the ship as well as the port terminal. The proposed methodology in each operation still has many limitations and needs to be improved. Especially, there was insufficient data on the actual measurement of each ship's operation process. In order to broadly apply the methodology in this study, it is necessary to measure actual operational data for various types of ports and ships. Further research should use more abundant measurement data to identify differences from the results of this study.

Since ship accidents cause huge casualties and serious environmental pollution problems, it is necessary to further strengthen port and ship safety by using the methodology of this study before accidents occur. The practical and novel approach in this study can greatly contribute to prevention of accidents from the perspective of safe ship operation near the coastal water. In addition, it is expected that the results of the studies carried out in this thesis can help identify the causes of previous accidents by showing an approach from a new perspective to related operations and managers.

氏名	LEE SANGWON		
論文 題目	Safety Evaluation of Ship Operation in Coastal Area in terms of Optimal Ship Routing (最適航法のための沿岸海域における船舶運航の安全性評価)		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	笹 健児
	副 査	教授	大澤 輝夫
	副 査	教授	武田 実
	副 査		
	副 査		
要 旨			
<p>船舶の運航において、外力である気象海象の予測に加え、実海域での船舶性能変化を組み合わせた最適航法が実用化されはじめている。その一方、気象海象の予報精度に課題が残っているほか、対象としているのが航海中の局面のみである点も安全評価が十分なものとなっていない。本研究では船舶が航海中以外の三局面（接岸時、係留時、錨泊時）を対象にデータ分析および数値シミュレーションによる検証を行い、沿岸海域における安全評価を考察したものである。論文は6章より構成されている。論文概要を以下に記述する。</p> <p>第1章では、Introductionとして研究の背景、沿岸海域（バース接岸中、岸壁係留中、港外錨泊中）にある各局面での研究事例と問題点、本研究での実施概要を取りまとめた。</p> <p>第2章では、大型船が接岸する局面を対象に、接岸時の船体運動を計測し、その安全評価について検証したものである。ここではDOS (Dock Mounted Docking Aid System)と呼ばれる計測システムを大型タンカーに装備し、接岸時の船体運動を計測した。計測対象としたのは3バース、延べ214隻であり、50,000DWT～300,000DWTまでの船型であった。接岸速度の設計値として12～15cm/sとされているのに対し、約10%の船舶がこれを超過していた。得られたデータよりバースへの接岸速度を推定する回帰式を導出したが、接岸速度が15cm/sを超える状況では誤差が大きく、外力条件による影響が強い場合と思われるが、対数正規分布を用いた超過確率を推定することで誤差を補正できることを明らかとした。</p> <p>第3章では、船舶が港内に係留されている状況にて安全性評価のあり方を検証したものである。外洋性港湾では周期が1～3分程度の長周期波による係留問題が1990年代頃より世界中で研究され、その現象解明およびいくつかの対策が提言されている。しかし今なお、係留船舶の安全性が問題視される事例が報告されており、全国の船舶・港湾関係者にアンケートおよびヒアリング調査を実施した。この結果、波浪予測などソフトの面の対策は普及した事例が多い反面、係留索の材質変更、レイアウト変更、防舷材や係船柱などハード面の対策はごく一部でしか普及していない。その一例として、太平洋に面するT港で係留する大型石炭船を対象に、2015～2018年度に入港した年月日の記録およびバース近くで観測されている波浪データをもとに、係留船舶の動揺シミュレーションを実施した。数値計算は周波数領域にて流体力を計算し、時間領域にフーリエ逆変換したメモリー影響関数、不変付加質量をもとにしたCumminsの運動方程式にて非線形な係留力を解析するモデルを使用している。また係留索がフェアリーダー等で摩擦を生じ、熱による強度低下が発生する点についても、過去の研究成果を参考にモデル化した。現状の係留方法、係留索の配置のみ変更した場合、係留索の材質のみ変更した場合、係留索の材質および配置を変更した4パターンで検証を行った。係留索の材質および配置を変更した場合について、必要な設備投資を試算した上での費用対効果を合わせて評価可能なモデルを新たに構築し、赤字にならず、係留困難な日数も現状よりも半減できることが分かった。</p> <p>第4章では、港外の海域に荒天避泊または入港待機等の理由により錨泊している船舶の安全性評価について、データ分析および数値シミュレーションを実施した。錨泊中の事例として、28,000DWTばら積み貨物船が2010～2016年にアフリカ、中国、豪州等で観測された運動データを整理分析した。この結果、1海里程度の走錨と思われる危険な事例もあり、数値シミュレーションにて再現した。風および波浪については、米国の気象機関NOAAが公表する風データをもとに、第三代波浪モデルWaveWATCH IIIにて得られる方向スペクトルを求めた。錨泊船の運動については、前述したCumminsの運動方程式をベースに、錨鎖係留力については動的影響を考慮できるLumped Mass法を組み合わせた。これより錨泊船の運動を再</p>			

氏名

LEE SANGWON

現した結果、実測値と非常に近い結果となった。また予報値が 1/2 程度の過小評価となっている研究例もあったため、こうした場合についても再現計算を実施した。錨泊船の安全性を評価するために、座礁の危険度と他船との衝突危険度についての評価モデルを構築し、ここで観測したばら積み貨物船の場合は後者の危険性が高まることが確認できた。

第 5 章では、第 2 章～第 4 章までの研究結果を踏まえ、沿岸域における船舶の安全性評価をどのように最適航路に反映させるべきか、という点を考察した。

第 6 章では、本研究の結論および今後の課題が記述されている。

本論文で記述した研究成果は、学術論文誌に有審査論文 2 編、国際会議に 1 編の論文として公表されている。全て英文で作成した論文である。

本研究は船舶の運航時間の約半分を占めながら、最適運航にて考慮されていない港内係留時、港外錨泊時、着岸時の安全性評価を多面的に論じた。波浪中の船体運動をベースに、係留時の安全性は安全設備収支関数として岸壁設備の増強に投資した費用とこれにより係留限界が改善し、沖待ちが不要となる分のコストの収支関係を論じた。港外避泊時の安全性は錨泊船が走錨時に近隣船と衝突する危険性を数値シミュレーションおよび AIS データ、実船実験データから定量的に検証し、座礁危険度とともに走錨時における近隣船との衝突危険度の評価関数を定義、検証したことに研究内容の新規性および独創性が認められる。提出された論文は海事科学研究科学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の LEE SANGWON は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。