

# 船舶係留検討システムの開発

金子大介<sup>1</sup>・林利一<sup>1</sup>

1 (株) 日本港湾コンサルタント 九州支店 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 3-13-28)

近年、外航船の大型化傾向が顕著であり、我が国の港湾に寄港する船舶も大型化が見られる。各港湾管理者は、岸壁設計当初に想定していた船型を超える船舶の受入にあたって、係留時の安全性の検討が求められる。特に、貨物船については検討に時間を要すると他港へのシフトなど入港機会を逸失してしまうため、係留時の安全性を早急に検討する必要がある。そこで、著者らは、港湾管理者自らが係留時に要する制約条件を早急に算定できるシステムを開発した。

現在、本システムは北九州市において実用化され、大型船受入に供されている。

**Key Words** : 船舶, 係留, システム, OCIMF, 許容接岸速度, 係留限界風速

## 1. はじめに

### (1) 世界の船腹量の増加

2016 年において世界の主要品目別海上輸送量は、石油が 27.2%、鉄鉱石 12.7%、石炭 10.2%、穀物が 4.3%と続いている。コンテナ貨物を含むその他の貨物の割合は、全体の半数を占める 45.6%であり、石炭を除いたすべての主要品目で海上輸送が増加傾向<sup>1)</sup>にある。

海上輸送の増加に伴って、2000 年代からは世界の各商船の船腹量<sup>2)</sup>も上昇し、特に貨物船では輸送コスト低減のために超大型化が進み、Neo-Panamax 型、Post-Panamax 型のコンテナ船は、2018 年時点で、310 隻にも及ぶ。2013 年時点では 117 隻であり、5 年間でその数は約 3 倍まで増加したことになる。

我が国においても来航する外航船は大型化が進んでおり、入港船舶の平均船型 (=総トン数/隻数) の推移は、2000 年の時点で 14,080t だった一隻当たりの総トン数が 2016 年時点では 19,060t まで上昇している。

### (2) 我が国のクルーズ事情

近年増加している我が国へのクルーズ船寄港回数<sup>3)</sup>は、2018 年には外国船社のクルーズ船が 1,913 回、日本船社のクルーズ船が 1,017 回、合計で 2,930 回と過去最高を記録している。国土交通省港湾局において、クルーズ船寄港の「お断りゼロ」を目標に掲げているものの、我が国の港湾ではクルーズ船の寄港に適した岸壁に限りがあるため、受入環境の整備が重要である。

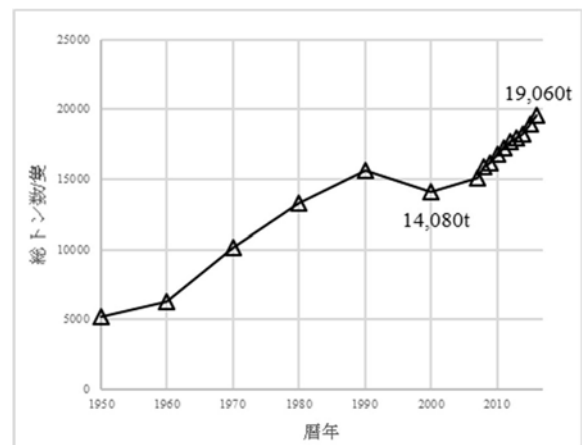


図-1 平均船型の推移 (外航船)



図-2 我が国港湾へのクルーズ船の寄港回数

### (3) 大型船受入に係る港湾管理者の対応

港湾管理者へのヒアリングによれば、新規に入港予定の船舶がバルク船やコンテナ船等である場合、水先引受け基準<sup>4)</sup>で定められる条件に準拠する必要がある。これを逸脱する条件の船舶については、港湾管理者が係留させるための制約条件を早急に検討し、水先案内人へ審査を受ける運びとなる。しかしながら、制約条件の検討に時間を要してしまうと「お断り」をせざるを得ない事態となる。

クルーズ船の場合は、新規に岸壁を整備する時間と予算に余裕がないため、貨物用岸壁等の既存岸壁を利用して対応しているのが実情である。既存岸壁を利用する上では、入港予定の船舶に対して岸壁の水深や付帯施設（係船柱や防舷材）の能力等が十分か否かを検証し、海上保安部へ提示する必要がある。制約条件の検討は、貨物船と比べ時間に余裕があり、また、多くが付帯施設の取替など既存施設の改良を伴うために、港湾管理者は業務委託等を行い専門の受託業者が対応していることが多い。

北九州市では、上述した問題に対して、受入対応の効率化を図るため、港湾管理者自らが係留時に要する制約条件を早急に算定できるシステムを整備することが喫緊の課題であった。

以上の背景より、著者らは、船舶および岸壁等の諸元から船舶係留時の安全性を確保するための制約条件を算定する船舶係留検討システム（以降、本システムと称す。）を開発した。

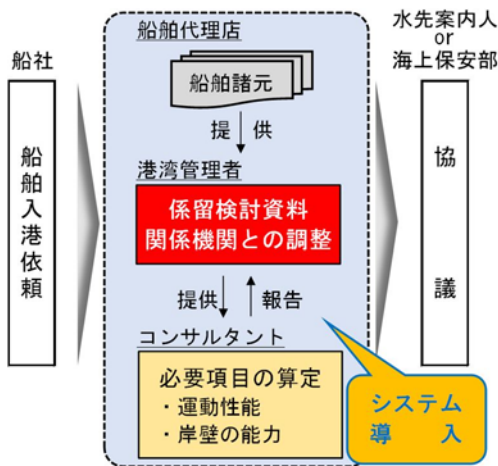


図-3 大型船受入に係る港湾管理者の対応

## 2. システムの要求性能

本システムを整備する上での要求性能は、港湾管理者が運用・管理することを踏まえ、以下の3つである。

- ① 容易な使用性であること
- ② シンプルな入力項目であること
- ③ 自動計算であること

また、計算結果は一覧表示することで、当事者間協議に使用できることが求められた。

## 3. システムの機能

システムのフローチャートを図-4に示す。本システムでは、前述した要求性能を満足するよう(1)～(4)に示す機能を導入した。

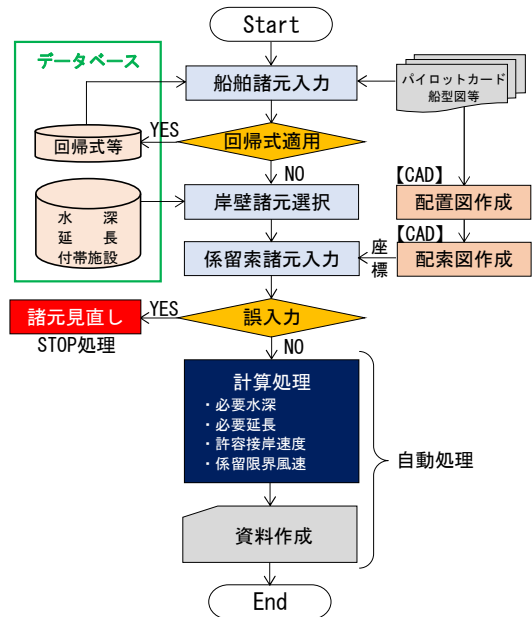


図-4 システムフローチャート

### (1) インターフェイス

本システムは、比較的使用頻度が高く汎用性のあるMicrosoft Excel（開発言語：Visual Basic for Applications）を主体とし、図面作成のためCADを併用した構成とした。なお、1ケース1ファイルで管理可能である。

### (2) 入力操作

本システムにおける入力項目は、船舶諸元、岸壁諸元および係留索諸元の3つである。

Excelにおける入力操作では、選択および編集可能なセルの制限、ポップアップによる注意コメント表示を導入することで誤入力や未入力等の人為的エラーの事前防止に配慮した。さらに、船舶諸元は入手困難な項目があることを考慮し、港湾基準<sup>3)</sup>に示される一般値や回帰式をリストから選択させることで一般値を想定した検討を可能にした。

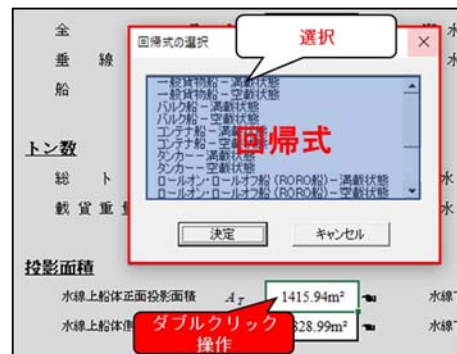


図-5 リスト表示例

(3) 岸壁諸元のデータベース化

岸壁の主要諸元や付帯施設の諸元は、港湾管理者が自ら追加または編集できるよう Excel 内でデータベース化した。また、データベース化した岸壁諸元は、リストから選択できるようにした。

(4) 自動化

本システムでは、計算、図化、協議用資料作成まで自動化した。

4. 係留検討内容

本システムにおける検討内容の紹介として、北九州港のひびきコンテナターミナルに 2019 年 3 月に寄港した QueenMary2 の検討事例を挙げる。なお、検討項目については過年度に実施された航行安全対策調査専門委員会<sup>5)</sup>の報告書を参考に設定した。

(1) 検討条件

a) 船舶諸元

QueenMary2 の主要諸元を表-1 に示す。

表-1 船舶諸元

項目	単位	
総 ト ン 数	t	149,215
排 水 ト ン 数	t	79,827
全 長	m	344.30
垂 線 間 長	m	301.35
船 幅	m	41.00
喫 水	m	10.33

b) 岸壁諸元

岸壁諸元を以下の表-2 に示す。

表-2 岸壁諸元

項目	響灘西 5 号岸壁	響灘西 6 号岸壁
延 長	349.53m	350.50m
水 深	15.00m	15.00m
防 舷 材	受衝板付防舷材 (580kN・m)	
係 船 柱	曲柱 (700kN・1000kN)	

(2) 必要水深および延長

QueenMary2 の係留にあたっての必要水深および岸壁延長は、港湾基準<sup>6)</sup>に基づき算定した。ここで、延長については響灘西 5 号岸壁および 6 号岸壁を連続使用することを想定し、総延長を許容値とした。

表-3 算定結果

	算定値	許容値
必 要 水 深	11.36m	< 15.00m
必 要 延 長	360.30m	< 700.00m

(3) 許容接岸速度

許容接岸速度は港湾基準<sup>6)</sup>に準拠し算定した。

算定の結果、対象岸壁の防舷材の吸収エネルギー 522kN・m (安全側に配慮し性能公差-10%を考慮)では、接岸速度 11.36cm/s とすれば接岸可能であることを確認した。

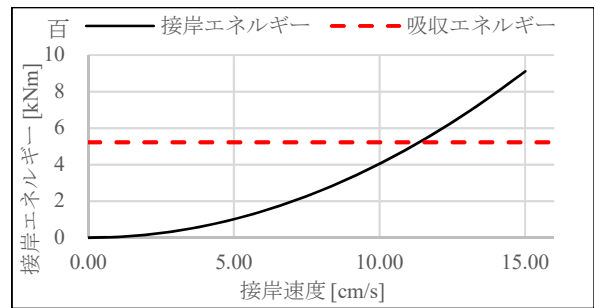


図-6 接岸速度に対する接岸エネルギー

(4) 係留限界風速

係留限界風速は、OCIMF<sup>7)</sup>のガイドラインに基づき係留索および係船柱の耐力から決定した。係留索の仕様を表-4 に示す。なお、安全率は OCIMF<sup>7)</sup>の定める推奨値を採用した。図-7 に配索図を示す。

表-4 係留索の仕様

項目	
破断荷重	900.30kN
安全率	2.00
安全使用荷重	450.15kN

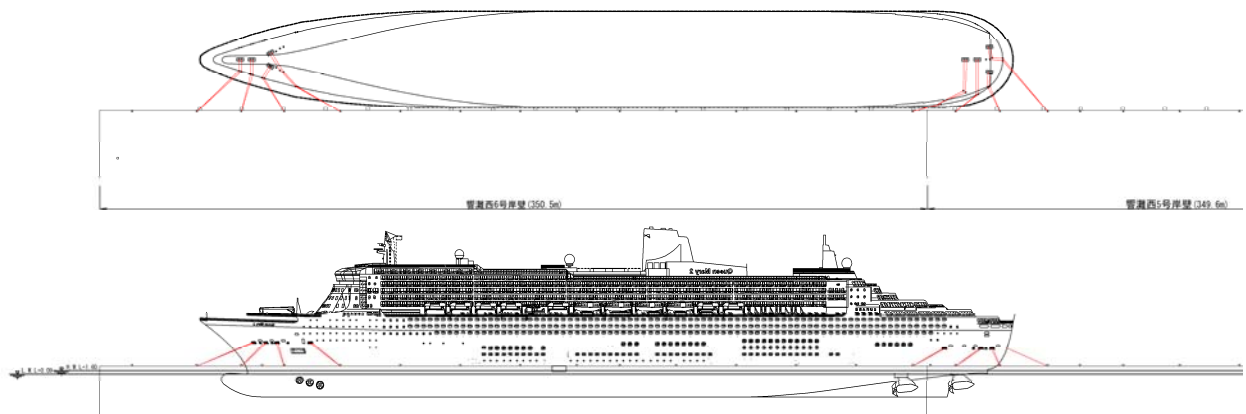


図-7 配索図

### a) 風圧力

風圧力は係留限界風速算定のため、風速を未知変数として算定した。なお、風抗力係数および風圧モーメント係数については、対象の船舶における実験結果が無かったため、回帰式<sup>8)</sup>を適用した。

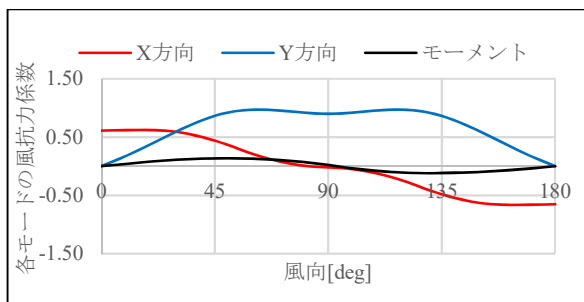


図-8 風抗力係数および風圧モーメント係数

### b) 係留限界風速

係留限界風速は、全ての係留索および係船柱それぞれの耐力で算定し、その内の最小値を採用する。本検討では、係留索による係留限界風速が風向120°で12.45m/s、係船柱による係留限界風速が風向120°で13.36m/sであった。したがって、平均風速12.00m/s時に係留可能であることを確認した。

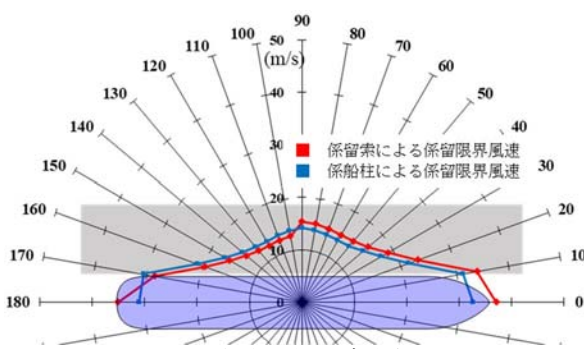


図-9 係留限界風速分布図

### (5) 運動性能

入出港時に必要な運動性能の検討には、ビジュアル操船シミュレータ実験等を実施することが基本的であるが、本検討では、既往委員会<sup>5)</sup>において検討された同規模の船舶と比較することで、制約条件の判断材料とした。運動性能は、①主要諸元、②航路・泊地規模、③推進器出力・推進器種類、④最短停止試験結果、⑤旋回試験結果、⑥Z試験結果の6つの項目で評価することとした。結果の詳細については、本論文では割愛する。

## 5. 今後の展望

本システムを導入することで、港湾管理者の航行安全検討に関する知見や経験値を容易に蓄積することができる。これより、関係者間協議の質の向上、大型船入港の際の正確で迅速な対応によって港湾利用性の向上に資することが期待できる。また、港湾管理者自らが岸壁データベースの拡充を行えるため、各施設の係留特性を事前に検討し既存ストックの能力を把握しておくことで、港湾計画を再検討する際の基礎資料となると考えられる。

システム本来の目的の外、地震時の岸壁法線の変形量等を事前に検討しデータベース化しておくことで、大規模災害時において物資輸送を担う船舶の円滑な受入の一助となるのではないかと考える。

## 6. おわりに

本業務では、大型船舶受入時に係る港湾管理者の対応の効率化を図るため、港湾管理者自らが係留時に要する制約条件を早急に算定できるシステムを開発した。本システムは、各諸元から容易に制約条件を算定でき、当事者間における協議用資料まで作成されるため、対応の効率化に寄与される。

現在、本システムは北九州市において実用化され、一般貨物船やクルーズ船の受入に供されている。

謝辞：本論文は、「公共岸壁係留検討業務」の成果の一部である。ここに記して関係者各位に謝意を示します。

### 参考文献

- 1) (一社)日本船主協会：日本の海運 SHIPPING NOW 2019-2020, データ編
- 2) (公社)日本港湾協会：数字で見る港湾 2018, p37-p38
- 3) 国土交通省：2018年の我が国港湾へのクルーズ船の寄港回数及び訪日クルーズ旅客数について(確報), 2019.
- 4) 関門水先業務協議会：関門港水先引受け基準並びに入出港船舶の標準喫水及び船型表, 2018. 8.
- 5) (公社)西部海難防止協会：北九州港(ひびきCT)大型客船夜間入出港に伴う航行安全対策調査専門委員会報告書, 2018. 3.
- 6) (公社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2018. 5.
- 7) 日本タンカー協会：係留設備に関する指針, 2002. 4.
- 8) 上田茂, 白石悟, 浅野恒平, 大島弘之：新しい風抗力係数の計算式の提案および係留船舶の動揺への影響の検討, 港湾技研資料, No. 760, 1993.