

ISSN 1346-7328

国総研資料 第864号
平成 27 年 9 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.864

September 2015

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析

村上 和康・竹信 正寛・宮田 正史・米山 治男

Fundamental Analysis on the Characteristics of Berthing Velocity of Ships
For the Design of Port Facilities

Kazuyasu, MURAKAMI, Masahiro TAKENOBU, Masafumi MIYATA, Haruo YONEYAMA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析

村上和康*・竹信正寛**・宮田正史***・米山治男****

要 旨

現行の「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年7月）」（以下、「基準・同解説」という）において、船舶の接岸速度の特性値（設計接岸速度）は対象地での実測値または既往の計測結果に基づいて定めることが望ましいとされており、基準・同解説では過去の文献等の結果を参考データとして紹介している。

しかしながら、基準・同解説の次期改訂に向けては、以下に示すような課題がある。1) 掲載されているデータが20年以上更新されていない。2) 近年、船舶の大型化が著しいが、大型船の接岸速度に関するデータの提示が不足している。3) 国際航路協会（PIANC）WG145では、接岸速度の実測結果に基づき、設計接岸速度を船型の大きさに関わらず一定の信頼水準値（95%以上）として設定することが議論されているが、現行の基準・同解説においては、接岸速度の特性値が平均値であるか、最大値であるかなどについて示されていない。

そこで本資料では、過去に実施された接岸速度の実測データおよび設計接岸速度の設定事例について可能な限り収集し、船種ごとに接岸速度と船型の関係図として整理した。また、実測の接岸速度と船型のデータを用いた統計処理により、接岸速度と船型の関係を船種別に整理するとともに、信頼水準別の接岸速度についても評価し、過去の実設計における設計接岸速度の設定値がどの程度の信頼水準に相当していたかを試行的に評価した。

キーワード：接岸速度，船型，統計処理，信頼水準

* 港湾研究部 港湾施設研究室 交流研究員（日本工営株式会社）

** 港湾研究部 港湾施設研究室 主任研究官

*** 港湾研究部 港湾施設研究室長

**** 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所 海洋研究領域 海洋利用研究チームリーダー
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5029 Fax：046-844-5081 e-mail：takenobu-m83ab@mlit.go.jp

Fundamental Analysis on the Characteristics of Berthing Velocity of Ships For the Design of Port Facilities

Kazuyasu MURAKAMI*

Masahiro TAKENOBU**

Masafumi MIYATA***

Haruo YONEYAMA****

Synopsis

According to the Japanese design standard for port facilities included in the "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan (2009)", designing berthing velocities should be based on actual measurements. The current design standard contains some previous measured data of berthing velocities as reference, however, there remains several issues for the next revision of the design standard as shown below.

- 1) The reference data presented in the current design standard is outdated, because it was acquired before more than 20 years.
- 2) The technical standard does not include measured data for large ships to respond to the recent remarkable increase in the size of ships.
- 3) The PIANC WG145 now proposes that characteristic values of berthing velocities should be determined considering a certain confidence level based on actual measured data. On the other hand, the current Japanese design standard does not provide any such information.

In this study, we collected all the available measured data on berthing velocities and all the examples of design berthing velocities assigned in the past design cases in Japan. On the basis of these data, the relationship between measured berthing velocity and ship size is investigated with regard to the different types of ship. In addition, regression curves of the berthing velocity on the ship size are obtained for each type of ship, assigning the confidence levels on our estimations. Comparing the regression curves with the design berthing velocities, the confidence levels of the past design values are roughly evaluated.

Key Words: berthing velocity, size of ship, statistical processing, confidence level

* Exchanging Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM
(NIPPON KOEI Co., Ltd.)

** Senior Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

*** Head, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

**** Group Leader, Coastal and Ocean Development Group, Coastal and Ocean Engineering Research
Field, PARI

目 次

1. はじめに	1
1.1 係留施設設計における接岸速度の位置づけ	1
1.2 本研究の目的	1
2. 接岸速度に関する既往文献	1
2.1 接岸速度の実測結果	1
2.2 接岸速度の分布形状	4
2.3 接岸速度と船型の関係	5
2.4 設計接岸速度の調査事例	6
3. 接岸速度の実測データの整理と設計接岸速度との比較	7
3.1 データ収集整理	7
3.2 コンテナ船の実測接岸速度	8
3.3 貨物船の実測接岸速度	8
3.4 パルク船の実測接岸速度	8
3.5 タンカーの実測接岸速度	8
3.6 LNG船の実測接岸速度	9
3.7 フェリーの実測接岸速度	9
3.8 自動車専用船の実測接岸速度	9
4. 接岸速度と船型の信頼水準別関係式の検討	17
4.1 検討概要	17
4.2 回帰分析の手法	17
4.3 船種別の回帰分析の結果	18
4.4 接岸速度の分布形の確認	27
4.5 全船種を包括した回帰分析結果	37
5. おわりに	41
謝辞	41
参考文献	41
付録 A 接岸速度実測値の収集データ一覧	42
付録 B 統計処理から関係式導出までの計算値一覧	53

1. はじめに

1.1 係留施設設計における接岸速度の位置づけ

係留施設の性能照査においては、接岸時の作用として船舶の接岸力が考慮される。この際、船舶の接岸力は、ゴム製防舷材等の防衝工を介して係留施設に伝わり、船舶の接岸エネルギーを基に決定される。船舶の接岸エネルギーとは接岸時の船舶の運動エネルギーを意味し、接岸速度に特に大きく影響をうける。

なお、重力式もしくは矢板式係船岸のような係留施設では、船舶による接岸作用が支配的な要素となる場合は少ない。これは主に土圧作用の存在によるものであり、両作用が相殺し合う向きをとることに起因する。一方、栈橋やドルフィンといった土圧が作用しない構造に関しては、接岸時の作用が性能照査上の支配的な要因となり得ることを意味する。

以上を踏まえると、栈橋やドルフィン等の係留施設の接岸時の性能照査において、設計接岸速度の決定は重要事項といえる。

1.2 本研究の目的

設計接岸速度の決定の重要性を先に述べたが、実際の設計に先立ち、対象地における接岸速度特性を把握することは容易ではない。平成19年に発刊された「港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾」(以下、「基準・同解説」という)においては、接岸速度の特性値は実測又は既往の接岸速度の実測資料に基づいて定めることが望ましいとされており、既往の実測結果を参照して設計接岸速度が決定されているというのが実情であろう。なお、国内で実施された接岸速度の実測結果について、いくつかは基準・同解説内で紹介されており、それぞれの結果に対する個別の評価がなされている。

しかしながら、基準・同解説の次期改訂に向けては、以下に示すような課題がある。

- ① 現行の基準・同解説に記載されている接岸速度の計測データは、最新のものでも1991年の調査結果であり、20年以上更新されていない。
- ② 近年、船舶の大型化が著しい²⁾が、大型船の接岸速度に関するデータが不足している。
- ③ 現在、国際航路協会(PIANC) WG145では、接岸速度の実測結果に基づき、設計接岸速度を船型の大きさに関わらず一定の信頼水準値(95%以上)として設定することが議論されている⁸⁾。一方、現行の基準・同解説においては、接岸速度の特性値、すなわち設計接岸

速度が平均値であるか、最大値であるかなどについて示されていない。また、採用した特性値が、どの程度の信頼水準を有した値であるかを判断できない。

以上を踏まえ、本資料では、港湾設計者の一助となるよう、国内既往の接岸速度の実測データおよび設計接岸速度の設定事例を可能な限り収集し、接岸速度と船型の関係図を船種別(コンテナ船、貨物船、バルク船、タンカー、LNG船、フェリー、自動車専用船)に整理する。加えて、接岸速度実測値と船型のデータを用いた統計処理を行い、接岸速度と船型の関係を整理するとともに、接岸速度の信頼水準値についても評価する。具体的には、接岸速度と船型の回帰式を信頼水準別に作成し、さらに、これらの回帰式の分布と設計接岸速度の採用値を比較することで、過去の実設計における設計接岸速度の設定値がどの程度の信頼水準を有しているかを試行的に評価する。なお、基準・同解説で掲載されている他の船種(RORO船、LPG船、旅客船)については、接岸速度の実測結果が確認できず、本研究の対象外とした。

2. 接岸速度に関する既往文献

2.1 接岸速度の実測結果

(1) 溝口ら(1973)の実測結果

溝口ら³⁾は、一般貨物船とフェリーを対象とした接岸速度の実測結果を整理している。計測場所や期間等を表-1に示す。

本文献での調査は、複数の港湾、パースで実施されているが、計測結果に対する計測場所の内訳は当該資料中に記載されていない。また、一般貨物船の実測結果には一部コンテナ船の結果が含まれるとしているものの、詳細については同じく記載がない。接岸速度の計測は、施設法線に対して並列に設置した「一方向接岸速度計」によって行っている。一方向接岸速度計とは、岸壁法線より垂直に張り出したアルミ棒が接岸船舶との接触によりどの程度押し込まれるか、つまり、変位量を時系列で記録し、その傾きを接岸速度として計測するものである。

この調査では、接岸速度の実測値と対応して、対象船舶の入港時の排水トン数(DT)が記録されている。一般貨物船については、約6,000DT～48,000DTの範囲の全70データが取得されており、また、フェリーについては、約2,000DT～8,000DTの範囲の全71データが取得されている。なお、これらの結果は、現行の基準・同解説にも記載されている(図-1、図-2)。

なお、本文献の実測結果は、本研究における貨物船およびフェリーの実測データとして使用する。

表-1 調査概要（溝口ら）³⁾

対象船種	対象港	計測場所	計測期間	計測方法
一般貨物船	横浜港	本牧埠頭	昭和47年8月1日 ～8月25日	一方向接岸速度計(4基)による計測
	神戸港	新港, 摩耶埠頭, ポートアイランド	昭和47年9月19日 ～9月28日	
	北九州港	門司, 葛葉, 新浜, 田の浦埠頭	昭和47年10月25日 ～11月8日	
フェリー	神戸港	神戸市営フェリーターミナル	昭和47年9月4日 ～9月14日	一方向接岸速度計(2基)による計測
	北九州港	北九州小倉阪九フェリー埠頭	昭和47年10月17日 ～10月24日, 11月9日	

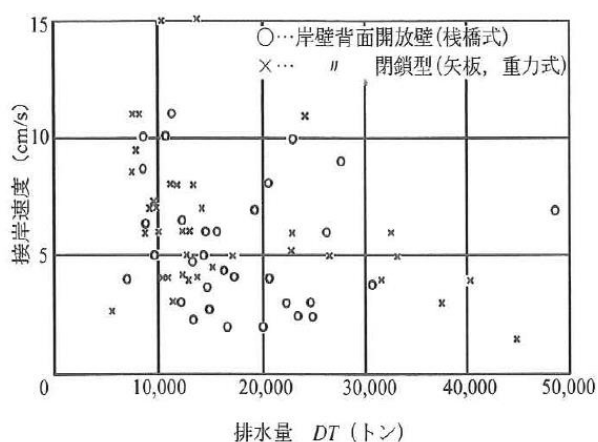


図-1 一般貨物船の接岸速度と排水量の関係¹⁾

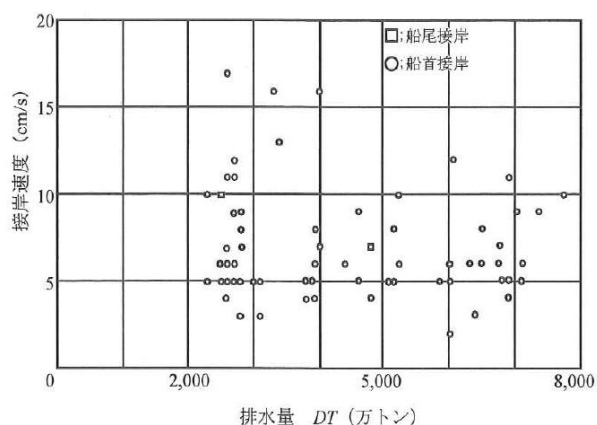


図-2 フェリーの接岸速度と排水量の関係¹⁾

(2) 大谷ら（1974）の実測結果

大谷ら⁴⁾は、大型タンカーを対象とした実測結果を整理しており、計測を行った施設は全てドルフィン構造である（表-2）。計測には超音波式の接岸速度計を用いており、海中の杭部に設置した送受波器によって船腹までの距離を10秒間隔で記録している。なお、ドルフィン前面に衝突

する直前の速度記録にばらつきがあったため、ドルフィン前面1mの距離における速度を接岸速度としている。

また、対象船舶の船型は、入港時もしくは満載時の排水トン数（DT）として記録されており、約126,000DT～292,000DTの範囲の全36データが取得されている。当該文献における計測結果も、接岸速度と船舶排水トン数の関係図として、現行の基準・同解説に記載されているものである（図-3）。

なお、本文献の実測結果は、本研究におけるタンカーの実測データとして使用する。

表-2 調査概要（大谷ら）⁴⁾

対象船種	対象港	計測場所	計測期間	計測方法
大型タンカー	千葉港沖	京葉シーバース	昭和47年9月 ～	超音波式の接岸速度計による計測
	鹿島港	鹿島石油シーバース	昭和48年3月	

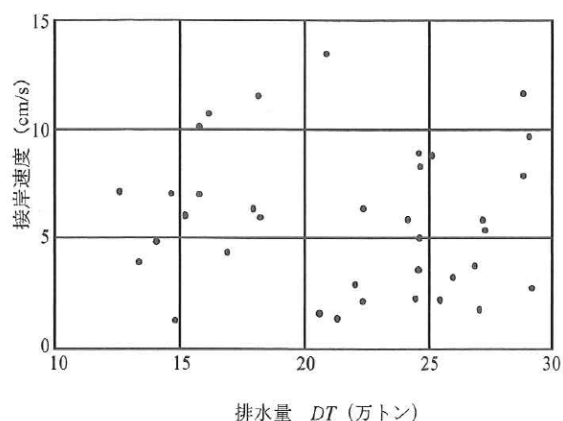


図-3 大型タンカーの接岸速度と排水量の関係¹⁾

(3) 守屋ら（1991）の実測結果

守屋ら⁵⁾は、貨物船、コンテナ船、自動車運搬船を対象とし、計46バースで接岸速度の計測を行った結果を整理している（表-3）。接岸速度の計測には、施設上に設置した押込み式の変位計を用いており、防衝工への接触直後の変位を時間間隔で除して速度としている。船首側と船尾側の2か所で計測し、片側のみ防衝工と接触した場合はその値を、両側とも接触した場合は最大値を接岸速度とみなしている。

また、対象船型は、載貨重量トン数（DWT）として記録されている（図-4）。貨物船については、約2,000DWT～40,000DWTの範囲の全58データが取得されており、自動車運搬船については、約6,000DWT～34,000DWTの範囲の全30データが取得されている。これらのデータは、本研究における貨物船および自動車専用船の実測データとして使

用する。

なお、コンテナ船に関しては、当該文献中にて全48データ（約3,000DWT～45,000DWT）が記録されている。一方、上田ら⁶⁾は、守屋ら⁵⁾の調査結果を用いてコンテナ船の接岸速度特性を検討したとしており、使用データ数は全110データ（約3,000DWT～45,000DWT）である（図-5）。このデータ数の違いについては、明確な理由が記載されていないものの、より多くのデータ数を確保するという観点から、本研究では後者のデータをコンテナ船の実測データとして使用することとする。

表-3 調査概要（守屋ら）⁵⁾

対象船種	対象港	計測場所	計測期間	計測方法
貨物船 コンテナ船 自動車運搬船	横浜港	A埠頭 (10バース)	12月下旬 ～ 3月下旬 (計測年は記載無し)	変位計による計測
		B埠頭 (28バース)		
		C埠頭 (8バース)		

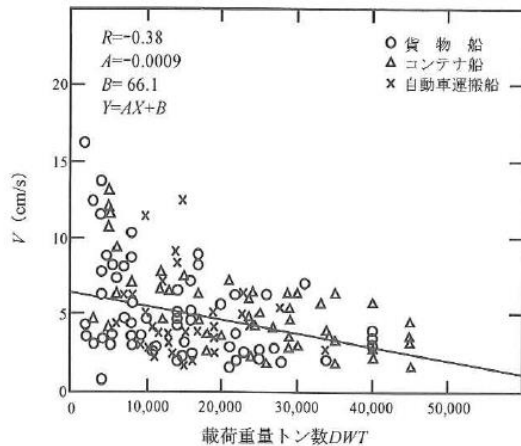


図-4 接岸速度と載貨重量トン数の関係（守屋ら）⁵⁾

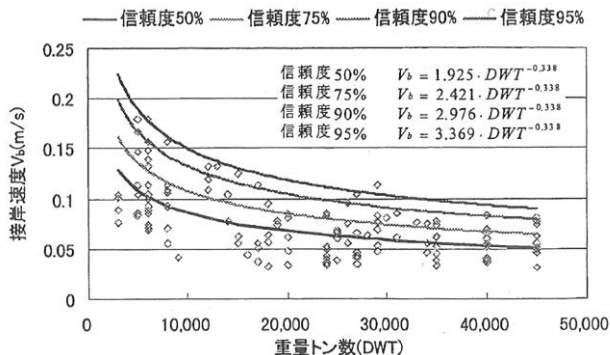


図-5 接岸速度と載貨重量トン数の関係（上田ら）⁶⁾

(4) 山瀬ら（2013）の実測結果

山瀬ら⁷⁾は、国内2か所の港（Japan Port No.1, Japan Port

No.2）のコンテナバースにおいて、コンテナ船を対象とした接岸速度の計測を実施し、対象港区ごとの接岸速度の確率分布特性の差異、接岸速度と風、波浪、接岸方法の関係性について考察している。計測はレーザー距離計を用いて、船首側および船尾側の2か所で行っている（表-4）。

Japan Port No.1（以下、J1とする）では、約10,000DWT～111,000DWTの範囲の全51データが取得されており、Japan Port No.2（以下、J2とする）では、約2,000DWT～91,000DWTの範囲の全47データが取得されている。

なお、当該文献と同名の英語文献⁸⁾（Yamaseら（2014））では、ほぼ同様の検討を行っており、その検討結果も山瀬ら⁷⁾の検討結果と同じであるものの、両文献中の計測データには若干の差異がみられた。そこで、本研究では、より最新の文献であるYamaseら⁸⁾のデータを、コンテナ船の実測データとして用いることとする（図-6、図-7）。

表-4 調査概要（山瀬ら）⁷⁾

対象船種	対象港	計測場所	計測期間	計測方法
コンテナ船	Japan Port No.1 (J1)	コンテナバース	記載無し	レーザー距離計による計測
	Japan Port No.2 (J2)	コンテナバース		

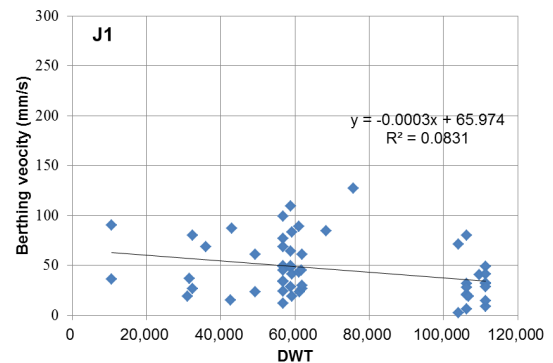


図-6 コンテナ船の接岸速度と船型の関係（J1）⁸⁾

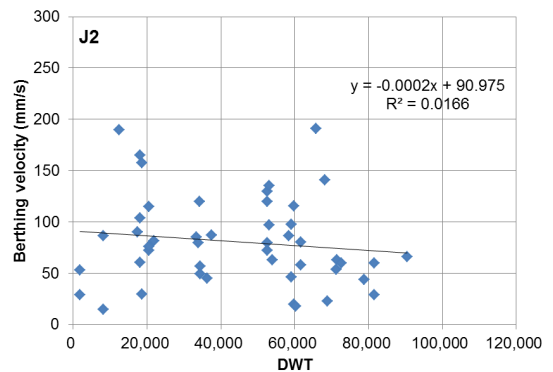


図-7 コンテナ船の接岸速度と船型の関係（J2）⁸⁾

(5) 平成23年度港湾局調査における収集データ

平成23年度、国土交通省港湾局は、港湾管理者等へのアンケート調査によって国内港湾における接岸速度に関するデータ収集を行っている（表-5）。この調査では、接岸速度の実測結果のほか、その測定方法や対象施設の諸元（施設位置、構造、設計接岸速度、接岸方法の取り決め）等を整理している。収集データのうち、接岸速度の実測値が取得された船種は、コンテナ船、バルク船、原油タンカー、LNG船の計4種である。

この調査において収集された実測結果を、本研究では、コンテナ船、バルク船、タンカー、LNG船の実測データとして使用する。

なお、この調査結果は、山瀬ら⁷⁾による計測結果と同様、平成19年の基準・同解説改訂後、新たに取得または収集されたデータであり、現行の基準・同解説には記載されていない。これらの新規データの詳細については、後述の「3. 接岸速度の実測データの整理と設計接岸速度の設定事例との比較」において説明する。

表-5 調査概要（平成23年度港湾局調査）

対象船種	対象港	計測年	計測方法
コンテナ船	A港	平成20年、平成23年	レーザー距離計
バルク船	B港	平成21年～平成23年	不明
	C港	平成23年	レーザー距離計
	D港	不明	不明
	E港	平成23年	超音波式計測機
	F港	平成20年～平成24年	レーザー距離計
原油タンカー	G港	平成21年	レーザー距離計
	H港	平成23年	不明
	I港	平成24年	レーザー距離計
	J港	平成22年～平成23年	レーザー距離計
LNG船	F港	平成21年～平成23年	レーザー距離計

2.2 接岸速度の分布形状

(1) 上田ら（1981）の検討

上田ら⁹⁾によると、大型タンカーの接岸速度の頻度分布形状は、正規分布やポアソン分布に近いものの必ずしもそうではないとし、その他の分布形としてワイブル分布による当てはめを行っている。この結果は、基準・同解説にも記載されている（図-8）。

この頻度分布に使用されている接岸速度の実測値には、昭和47年～昭和48年に京葉シーバースおよび鹿島石油シ

ーバースで取得されたデータ⁴⁾のほか、昭和53年に京葉シーバース、伊勢湾シーバース、日石喜入シーバースで取得されたデータも含まれている。これらのデータは、取得時期や取得場所がそれぞれ異なるが、計測を行った施設の対象船舶および構造形式が同じであるため、同種のものとして取り扱っている。

なお、昭和53年の3バースにおける接岸速度の計測データは、いずれも入手しておらず、本研究の検討には使用していない。

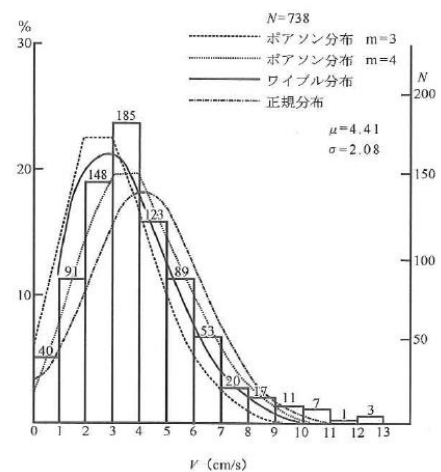


図-8 大型タンカーの接岸速度の頻度分布¹⁾

(2) 守屋ら（1991）の検討

守屋ら⁵⁾は、貨物船、コンテナ船、車両運搬船の接岸速度実測値の分布形に対し、正規分布およびワイブル分布の当てはめを行っている（図-9）。ワイブル分布は計測範囲全体で近い分布形を示すのに対し、正規分布は50mm/s以上でよく一致するとし、調査対象とした1,000～50,000DWTの船舶については、正規分布を用いて接岸速度の期待値を算出しても差し支えないとしている。なお、前述したとおり、守屋らの検討に用いられている接岸速度の実測値は、横浜港における複数のバースで取得されたものである。

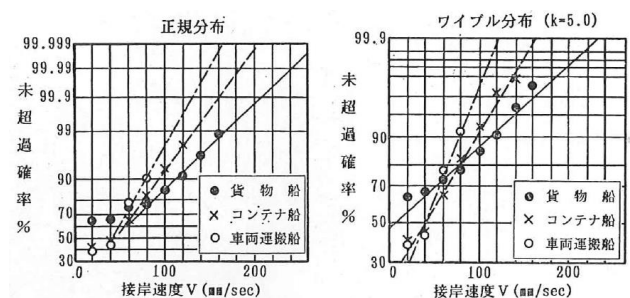


図-9 接岸速度実測値の未超過確率分布（守屋ら）⁵⁾

(3) 山瀬ら (2013) の検討

山瀬ら⁷⁾は、コンテナバース別の接岸速度の頻度分布に対し、実測データの平均値と標準偏差より算出される正規分布及び対数正規分布の理論度数分布により分布形状の当てはめを行っている(図-10、図-11)。なお、これらの頻度分布は、各バースで取得された全てのデータを用いており、船型による区分は行っていない。この結果を踏まえ、山瀬ら⁷⁾は、コンテナ船の接岸速度分布は対数正規分布に従うものとしている。

また、Yamaseら⁸⁾は、文献⁷⁾と同じ実測データを用い、接岸速度が対数正規分布に従うこととした上で、同程度の分布形を有するバースを2グループに分類している(表-6)。さらに、各グループに属するバースにおける接岸速度の統計値を参照し、分布形状と信頼水準別の設計接岸速度をグループごとに提案している(表-7)。なお、各グループでは接岸方法が異なる。GroupAでは、接岸船舶の船型に応じたタグボート支援やサイドスラスター使用といった方策が明確に定められており、係留施設前面で法線平行に一旦停止した後、緩やかに接岸されている。一方、GroupBでは、タグボートの支援の下、目標接岸速度が設計接岸速度よりも小さくなるよう接岸されている。GroupAは、GroupBと比較して平均値および標準偏差ともに小さく、より慎重な接岸が行われているとしている。

なお、表-6のうち、「J3」は既往の接岸速度の実測結果とされており、文献⁶⁾に記載されているデータ(図-5)と同じものである。「EA」は東南アジアのある国で計測されたコンテナ船の接岸速度を用いており、本研究では使用していないデータである。また、「Bulk」はバルク船を対象とした計測結果とされているが、データの詳細については記載されていないため、こちらも本研究では使用していない。

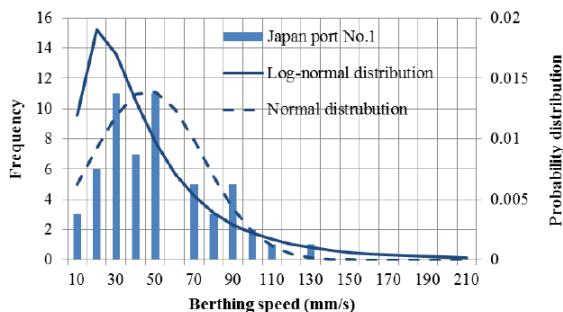


図-10 コンテナ船の接岸速度の頻度分布 (J1) ⁷⁾

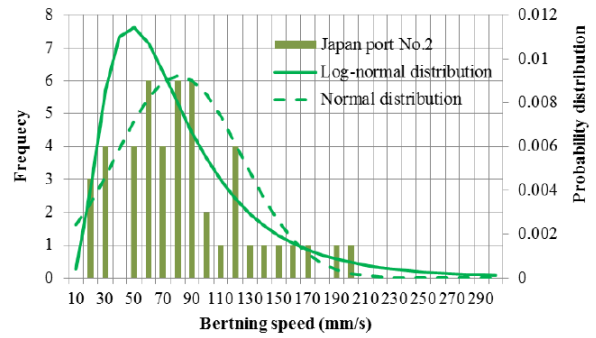


図-11 コンテナ船の接岸速度の頻度分布 (J2) ⁷⁾

表-6 接岸速度の統計値とグループ分け⁸⁾

(単位: mm/s)

	Group A		Group B		
	Vb(J1)	Vb(Bulk)	Vb(J2)	Vb(J3)	Vb(EA)
Average	46.1	34.0	80.8	78.5	91.3
SD	28.5	27.0	43.2	34.8	42.1
COV	0.62	0.79	0.53	0.44	0.46
DBV (90%)	81.1	65.1	135.0	122.9	145.0
DBV (95%)	99.8	84.1	162.3	143.6	170.2
DBV (98%)	125.9	112.0	199.1	170.5	203.6
DBV (99%)	146.6	135.2	227.8	191.1	229.0

SD: Standard Deviation

COV: Coefficient of Variation

DBV: Design Berthing Velocity for the confidence level

表-7 信頼水準別の設計接岸速度の提案⁸⁾

(単位: mm/s)

	Group A	Group B
Average	50.0	80.0
SD	30.0	40.0
COV	0.60	0.50
DBV (90%)	87.0	130.7
DBV (95%)	106.7	155.3
DBV (98%)	133.7	188.2
DBV (99%)	155.2	213.7

2.3 接岸速度と船型の関係

(1) 基準・同解説における記載

現行の基準・同解説では、守屋ら⁵⁾の調査結果(図-4)を示し、船型が大きいほど接岸速度が小さくなる傾向がみられるとしている。

また、図-12は、操船条件、防波堤等による遮へいの有無、船型と接岸速度の関係を経験的に示したものであり、この図からも同様の傾向がみられる。

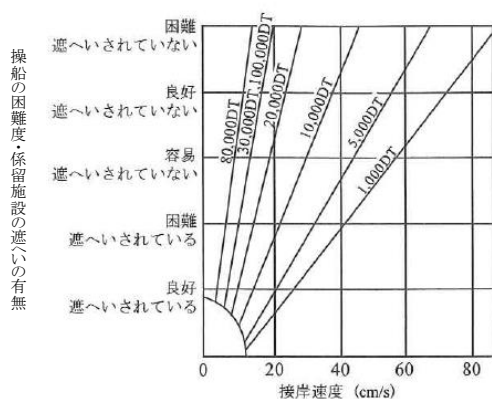


図-12 操船条件及び船型と接岸速度の関係¹⁾

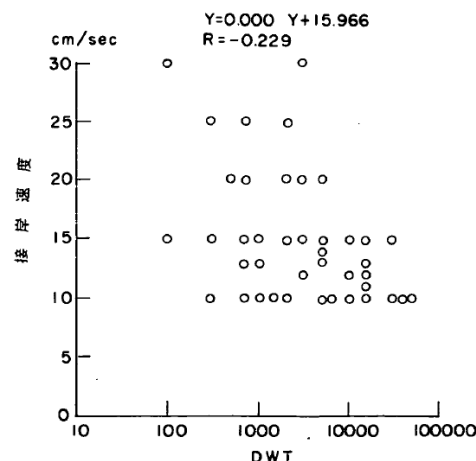


図-13 設計接岸速度と載貨重量トン数の関係（貨物船）¹¹⁾

(2) 上田ら（2000）の検討

上田ら⁶⁾は、コンテナ船の接岸速度の実測結果を基に、接岸速度と船型の関係式を信頼度別に提案している（図-5）。ここでいう信頼度とは、接岸速度の分布形より算出された非超過確率を意味し、50%、75%、90%、95%の非超過確率値の分布を船型に応じて示すものである。また、これらの関係式は、接岸速度の対数値が正規分布に従うという仮定の下に導出されたものであり¹⁰⁾、換言すれば、接岸速度が対数正規分布に従うことを仮定したものである。式の導出には守屋ら⁵⁾の接岸速度の実測結果を用いていることから、大型船であるほど接岸速度が小さく、小型船であるほど接岸速度が大きくなる特徴を有している。

2.4 設計接岸速度の調査事例

(1) 上田ら（1987）の整理

上田ら¹¹⁾は、一般貨物船、コンテナ船、フェリー等を対象に、既存施設の設計接岸速度と対象船型との関係性を整理している（図-13）。なお、この設計接岸速度は港湾構造物集覧（運輸省港湾局が取りまとめた既設構造物の事例集）の記載値であり、最大船型で約5万DWTまでの記録となっている。

上記の3船種のうち、船種別に整理されているのは一般貨物船のみであり、コンテナ船およびフェリーに関してはデータの内訳が記載されていない。よって、本研究では一般貨物船に関する設計接岸速度のみを貨物船の設計接岸速度の事例として使用する。

(2) 堀家ら（1991）の整理

堀家ら¹²⁾は、ケーソン式係船岸の設計事例を収集し、水深、潮位、震度、接岸速度等の設計条件および構造諸元について、分布やそれぞれの相関を整理している（図-14）。このうち、設計接岸速度に関しては、設計水深との関係性が示されている。

なお、船型や船種との関係性は整理されていないため、本研究では使用しない。

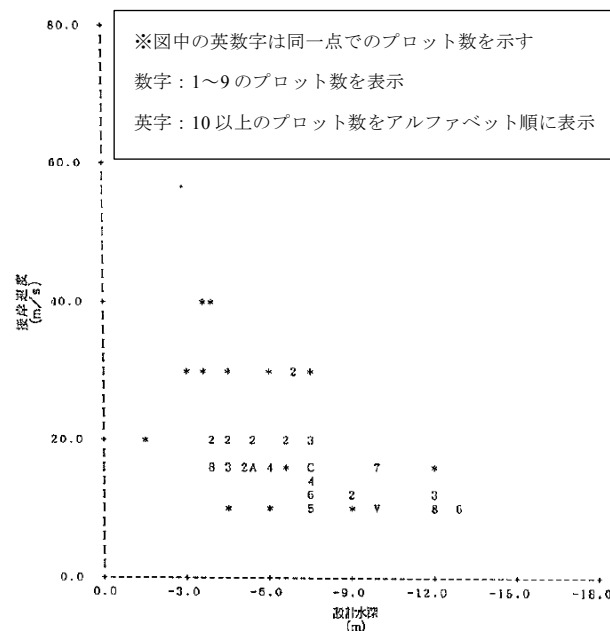


図-14 設計接岸速度と設計水深の関係¹²⁾

(3) 平成23年度港湾局調査における収集データ

平成23年度港湾局調査においては、コンテナ船、バルク船、タンカー、LNG船を対象船舶とする設計接岸速度値が収集整理されており、本研究でもこれらのデータを用いる。

(4) 港湾施設に関する事例集

運輸省港湾局がとりまとめた下記の構造事例集より、主に栈橋、ドルフィン構造もしくは防衝工に対する設計接岸速度を収集し、本研究で使用する。対象船種はタンカー、バルク船、フェリーである。

- ・シーバース構造集覧¹³⁾ (1972)
- ・カーフェリー施設集覧¹⁴⁾ (1973)

3. 接岸速度の実測データの整理と設計接岸速度との比較

3.1 データ収集整理

(1) 対象データ

本研究で使用するデータは、2章で説明したデータを対象とした（表-8）。なお、実測データの出典や基本情報については、付録Aに一覧表として示す。

実測の接岸速度および設計接岸速度の設定事例は、いずれも船型と関連付けて整理することとした。具体的には、接岸速度の実測データについては、計測対象の船舶の船型データと合わせて一組のデータとした。また、設計接岸速度の設定事例については、実際にその設計接岸速度を採用した係留施設における設計対象船舶の船型と合わせて、一組のデータとした。なお、文献によっては、接岸速度と船型の関係図から数値を読み取ったものもある。これらの内訳についても付録Aに示している。

船型については、現行の基準・同解説に従い、船種ごとに規定されている階級指標（載貨重量トン数DWT、又は総トン数GT）を利用した（表-9）。なお、既往データがこれらの区分に一致しない場合には、基準・同解説に記載されている船舶トン数の各種回帰式を用いて指標を統一した。ここで、船舶のトン数の定義を以下に示す。また、対象船種の回帰式を使用の有無によらず表-10に示す。バルク船に関しては、該当する船種の回帰式がないため、貨物船の式を準用することとした。

総 ト ン 数 GT : 船舶の密閉区間の容積トン数
 載荷重量トン数 DWT : 積載し得る貨物の最大重量
 排 水 ト ン 数 DT : 静止状態で浮いている船体が排除する水の重量

表-8 収集データ一覧

分 類	対象文献・調査	対象船種	備 考
実測データ	溝口ら(1973) ²⁾	貨物船、フェリー	港湾技研資料No.170
	大谷ら(1974) ³⁾	タンカー	港湾技研資料No.176
	守屋ら(1991) ⁴⁾	貨物船、自動車専用船	コンテナ船のデータは、上田ら(2000)のものを使用
	上田ら(2000) ⁵⁾	コンテナ船	守屋ら(1991)の調査データであると記載されている
	山瀬ら(2013) ⁶⁾ Yamaseら(2014) ⁷⁾	コンテナ船	本研究での使用データは「J1」「J2」「Bulk」「EA」は使用していない。
	平成23年度港湾局調査	コンテナ船、バルク船、タンカー、LNG船	
設計接岸速度の設定事例	上田ら(1987) ¹⁰⁾	貨物船	コンテナ船、フェリーはデータ区分が記載されていないため、使用していない
	平成23年度港湾局調査	コンテナ船、バルク船、タンカー、LNG船	
	シーバース構造集覧 ¹²⁾	タンカー、バルク船	運輸省港湾局編
	カーフェリー施設集覧 ¹³⁾	フェリー	

表-9 船型指標の区分

船型の指標	船 種
載貨重量トン数 DWT	コンテナ船、貨物船(バルク船含む)、タンカー
総トン数 GT	LNG船、フェリー、自動車専用船

表-10 船舶トン数の回帰式¹⁾

船 種	回 帰 式
貨 物 船	GT = 0.529 DWT DT = 1.139 DWT
コンテナ船	GT = 0.882 DWT DT = 1.344 DWT
タンカー	GT = 0.535 DWT DT = 1.138 DWT
自動車専用船	GT(国内) = 1.241 DWT DT = 0.652 GT (国際)
L N G 船	GT = 1.370 DWT DT = 1.015 GT
中距離フェリー	GT = 2.146 DWT DT = 1.052 GT

(2) データ解釈にあたっての留意点

既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型（DWTもしくはGT）の関係を、船種別に整理するが、これらのデータは、船種が同じであることを除き、以下に示すような様々な条件が異なっている。

- ・対象港湾の相違
- ・対象バースの相違
- ・対象バースの設計接岸速度、設計対象船舶の相違
- ・計測の年代、季節、計測方法・精度の相違
- ・計測時の気象条件や海象条件の相違

- ・取得データ数の相違
- ・船舶の操船方法の相違

接岸速度と船型との純粋な関係性を把握するためには、これらの諸条件の明確化を図り、一定の条件に揃えた上で、相互のデータを比較・評価することが望ましい。しかしながら、現時点では実測データ数に限りがあることや、各種条件を特定することが困難であるため、本研究では、同列のデータとして扱うものとする。これは、複数の港湾やバースで計測された実測データを一括りにしてデータの提示・整理を行っている、既往の文献^{例えば、3) 9)}と同じである。なお、実測データについては、どのデータをどの文献・調査から引用したものであるかが分かるよう、図中に凡例として示すこととした。

以上に示すとおり、既往の様々な接岸速度の実測データを、同列のデータとして集約・提示し、議論することについては多くの課題を有する。しかしながら、この整理により、接岸速度と船型の全体的な関係を把握することができ、かつ港湾施設の設計者が設計接岸速度を設定する際の貴重な基礎資料となると判断した。

(3) 設計接岸速度に関する留意点

2.4にて述べたとおり、本研究では、コンテナ船、貨物船、バルク船、タンカー、LNG船、フェリーに関する設計接岸速度の既往の設定事例を収集した。これらの事例は、不特定多数の既設バースにおける設計接岸速度の設定値を、船種別にできる限り収集したものである（以下、「設計接岸速度の設定事例」という）。設計接岸速度の設定事例は、必ずしも実際に接岸速度の計測を行ったバースにおける設計接岸速度を示すものではない。また、自動車専用船については、設計接岸速度の設定事例が確認できなかった。

なお、上記の6船種のうち、バルク船、タンカー、LNG船に関しては、実測データの対象バースにおける設計接岸速度（以下、「実測対象バースにおける設計接岸速度」という）が取得されているため、以降の実測データとの比較には、実測対象バースにおける設計接岸速度を用いた。

一方、コンテナ船、貨物船、フェリーに関しては、実測対象バースにおける設計接岸速度が取得されていないため、実測データとの比較には、設計接岸速度の設定事例を用いることとした。先に述べたとおり、設計接岸速度の設定事例は実測対象バースにおける設計接岸速度を示すものではないものの、実測データの分布に対し、設計接岸速度の設定事例がどの程度の範囲に分布するかを把握することは、設計接岸速度を決定する際の貴重な判断材料となると考えた。

3.2 コンテナ船の実測接岸速度

図-15に、コンテナ船を対象として、既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型(DWT)の関係を示す。また、図-16には、設計接岸速度の設定事例と設計対象船舶の船型との関係を示す。表-11は、収集した実測値と設計接岸速度の設定事例について、船型階級別のデータ数を示したものである。

接岸速度の実測値については、守屋ら⁵⁾の実測結果に加え、基準・同解説発刊後に新たに実施された検討および調査（山瀬ら⁷⁾、平成23年度港湾局調査）が追加されていることにより、100,000DWTを超える大型船舶まで、船型との関係性が明らかとなっている。全体として、船型が大きくなるにつれ接岸速度が小さくなるという傾向は有しているものの、守屋ら⁵⁾の結果のみをみた場合よりも、その減少傾向は緩やかである。

また、十分なデータ数とは言い難いが、コンテナ船に対する設計接岸速度は、30,000DWT～70,000DWTで10cm/s～15cm/s、70,000DWT～140,000DWTで10cm/sが採用されている。この採用範囲を図-15と比較すると、設計接岸速度の設定事例は実測の接岸速度の上限に近い範囲で設定されていることがわかる。

3.3 貨物船の実測接岸速度

図-17に、貨物船を対象として、既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型(DWT)の関係を示す。また、図-18には、設計接岸速度の設定事例と設計対象船舶の船型との関係を示す。表-12は、収集した実測値と設計接岸速度の設定事例について、船型階級別のデータ数を示したものである。

接岸速度の実測値は、溝口ら³⁾、守屋ら⁵⁾の計測結果によるものである。両者ともに、50,000DWT未満の船舶を対象に計測しており、実測値の分布もよく似ている。また、設計接岸速度は、5,000DWT以下で10cm/s～30cm/s、5,000DWT～35,000DWTで10cm/s～15cm/s、35,000DWT～55,000DWTで10cm/sが採用されている。コンテナ船と同様、設計接岸速度の設定事例は実測値の分布の上方に位置し、実測値の上限に近い範囲で設定されている。

3.4 バルク船の実測接岸速度

図-19に、バルク船を対象として、既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型(DWT)の関係を示す。また、図-20には、設計接岸速度と設計対象船舶の船型との関係を示す。表-13は、収集した実測値と設計接岸速度の設定事例について、船型階級別のデータ数を示したものである。

接岸速度の実測値および設計接岸速度の設定事例ともに、収集したデータは船型が50,000DWT以上のものが主であり、それ未満のデータ数は極端に少ない。

接岸速度の実測値については、コンテナ船や貨物船のような、船型に応じて接岸速度が変化するという傾向はあまりみられない。実測対象バースにおける設計接岸速度は10cm/s～15 cm/sであり（図-19），実測値の分布の上限に近い範囲で設定されていることがわかる。なお、いくつか設計接岸速度を超過しているデータがみられるが、これらのデータはいずれも、設計対象船舶よりはるかに小型の船が接岸した際の実測データである。

なお、設計接岸速度の設定事例については、150,000DWT以下の船型で5cm/s～15cm/s、150,000DWT～350,000DWTで5cm/s～12cm/sの設計接岸速度が採用されている。

3.5 タンカーの実測接岸速度

図-21に、タンカーを対象として、既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型（DWT）の関係を示す。また、図-22には、設計接岸速度と設計対象船舶の船型との関係を示す。表-14は、収集した実測値と設計接岸速度の設定事例について、船型階級別のデータ数を示したものである。

接岸速度の実測値の内訳としては、大谷ら（1974）は100,000DWT～250,000DWTにかけて広範囲の船型のデータを取得しているのに対し、平成23年度港湾局調査にて新たに取得されたデータは100,000DWTと300,000DWT付近に二極化している。全体の傾向としては、100,000DWT以上の大型船によるデータが主であり、船型に応じた接岸速度の減少傾向がみられる。また、実測対象バースにおける設計接岸速度は10cm/s～15 cm/sであり（図-21），実測値の分布の上限に近い範囲で設定されていることがわかる。

なお、タンカーに関する各地の設計接岸速度の設定事例については、船型に応じた変化はなく、広い範囲で5cm/s～20cm/sの値が採用されている。取得データ中最大である500,000DWTの大型船に対しても20cm/sの設計値を用いている事例もあり、他船種に比べて、特に大型船の設計接岸速度の設定事例は大きい傾向にある。

3.6 LNG船の実測接岸速度

図-23に、LNG船を対象として、既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型（GT）の関係を示す。また、図-24には、設計接岸速度の設定事例と設計対象船舶の船型との関係を示す。表-15は、収集した実測値と設計接岸速度の設定事例について、船型階級別のデータ数を示したものである。

接岸速度の実測値は同一船型のデータのみであり、船型に応じた接岸速度の変化は確認出来ない。また、これらのデータは同一バースで計測されたものであり、実測対象バースにおける設計接岸速度は15cm/sである。一方、接岸速度の実測値が2cm/s～7cm/s程度であるため、設計接岸速度に対して余裕をもった接岸がなされていると考えられる。

また、設計接岸速度の設定事例の分布をみると（図-24），約90,000GT～125,000GTでは10cm/s～15cm/s、125,000GT以上では15cm/sが用いられており、15.0cm/sを設計接岸速度とした事例が多い。

3.7 フェリーの実測接岸速度

図-25に、フェリーを対象として、既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型（GT）の関係を示す。また、図-26には、設計接岸速度の設定事例と設計対象船舶の船型との関係を示す。表-16は、収集した実測値と設計接岸速度の設定事例について、船型階級別のデータ数を示したものである。

接岸速度の実測値は、溝口ら³⁾により複数の港湾で計測されたものであり、船型に応じた接岸速度の減少傾向がみられる。また、設計接岸速度の設定事例は、10,000GT未満の範囲で15cm/s～30cm/sであり、概ね実測値に比べて大きい範囲で設定されている。

3.8 自動車専用船の実測接岸速度

図-27に、自動車専用船を対象として、既往の実測結果より収集した接岸速度の実測値と船型（GT）の関係を示す。なお、自動車専用船については、設計接岸速度の設定事例が収集されていない。また、表-17は、収集した実測値について、船型階級別のデータ数を示したものである。

接岸速度の実測値は、守屋ら⁵⁾の調査結果によるものである。データ数が少ないものの、船型が大きくなるにつれて、接岸速度が小さくなっているようにみえる。

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析
/ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男

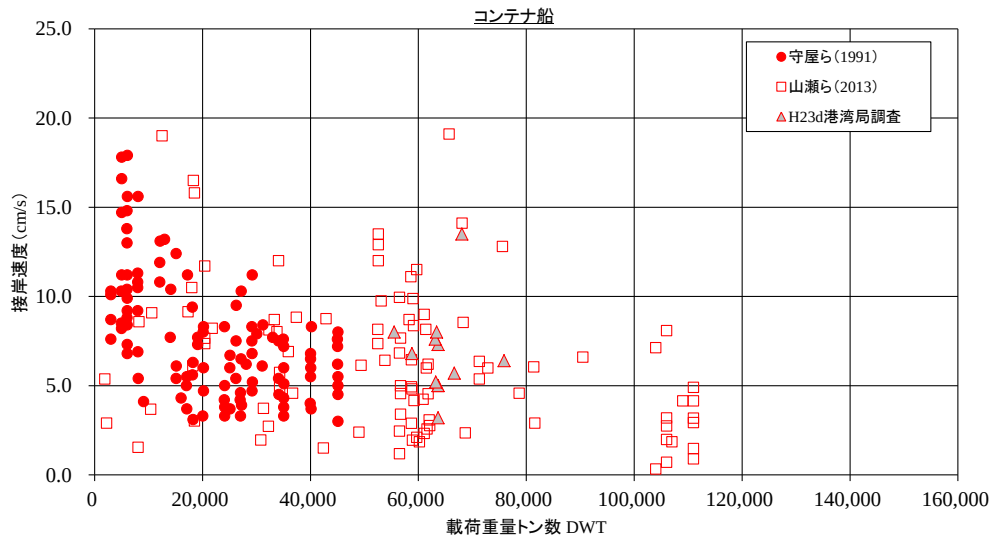


図-15 接岸速度の実測値 (コンテナ船)

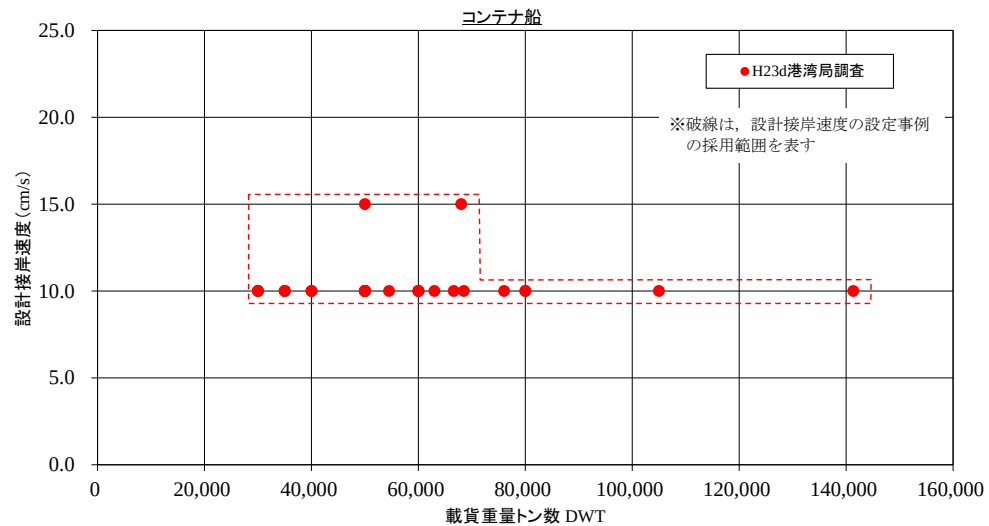


図-16 設計接岸速度の設定事例 (コンテナ船)

表-11 船型階級別の収集データ数一覧 (コンテナ船)

船型 (DWT)			実測値	設計接岸速度 の設定事例
	～	10,000	36	
10,000	～	20,000	29	
20,000	～	30,000	33	3
30,000	～	40,000	27	5
40,000	～	50,000	18	7
50,000	～	60,000	29	4
60,000	～	100,000	33	7
100,000	～	140,000	15	1
140,000	～	165,000		1
165,000	～			
合 計			220	28

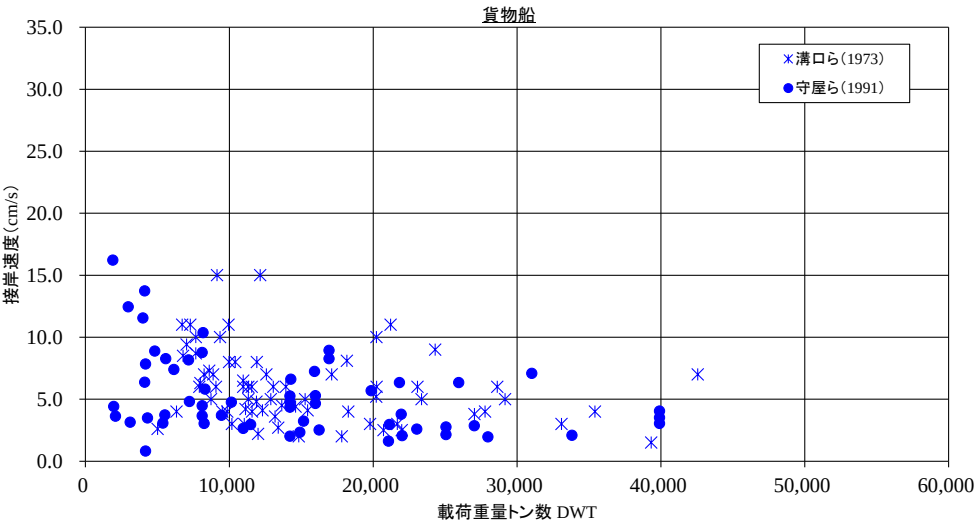


図-17 接岸速度の実測値（貨物船）

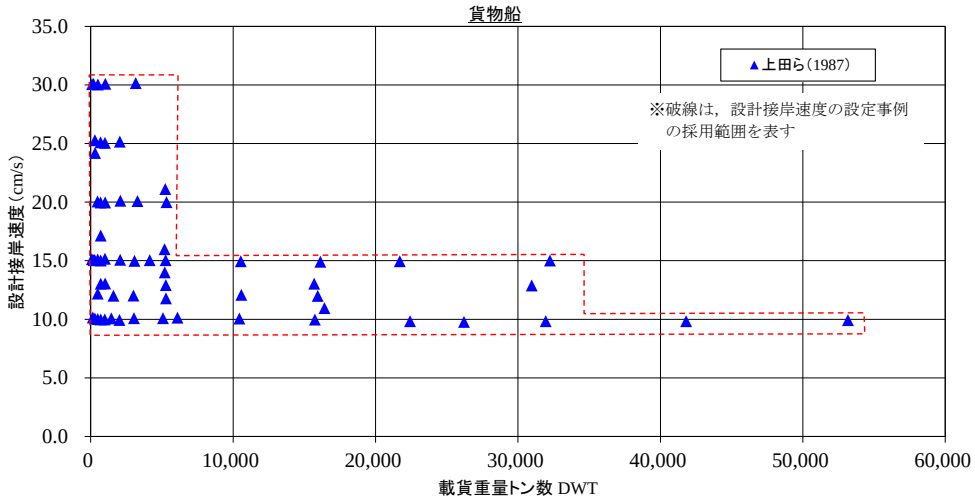


図-18 設計接岸速度の設定事例（貨物船）

表-12 船型階級別の収集データ数一覧（貨物船）

船型 (DWT)		実測値	設計接岸速度 の設定事例
～	10,000	46	47
10,000	～ 18,000	44	8
18,000	～ 30,000	29	3
30,000	～ 40,000	8	3
40,000	～ 55,000	1	2
55,000	～		
合 計		128	63

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析
/ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男

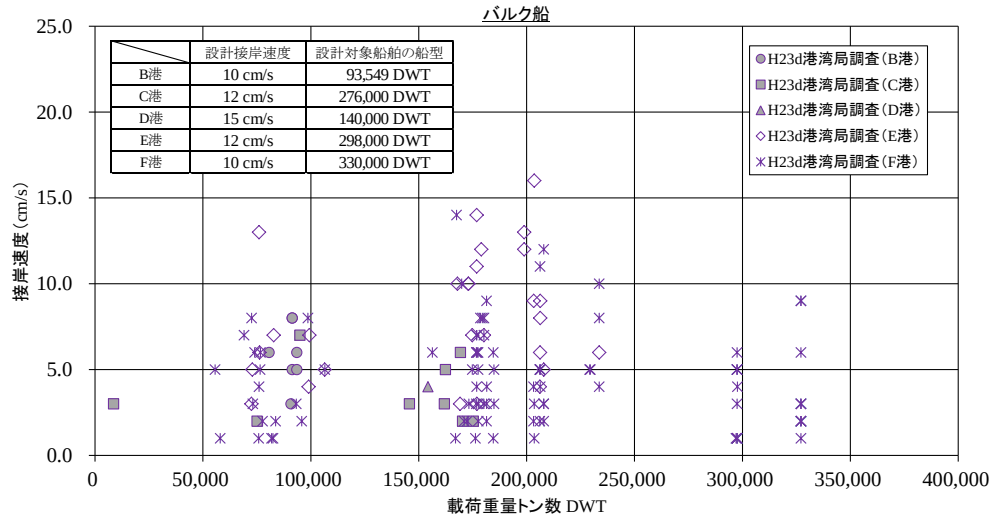


図-19 接岸速度の実測値 (バルク船)

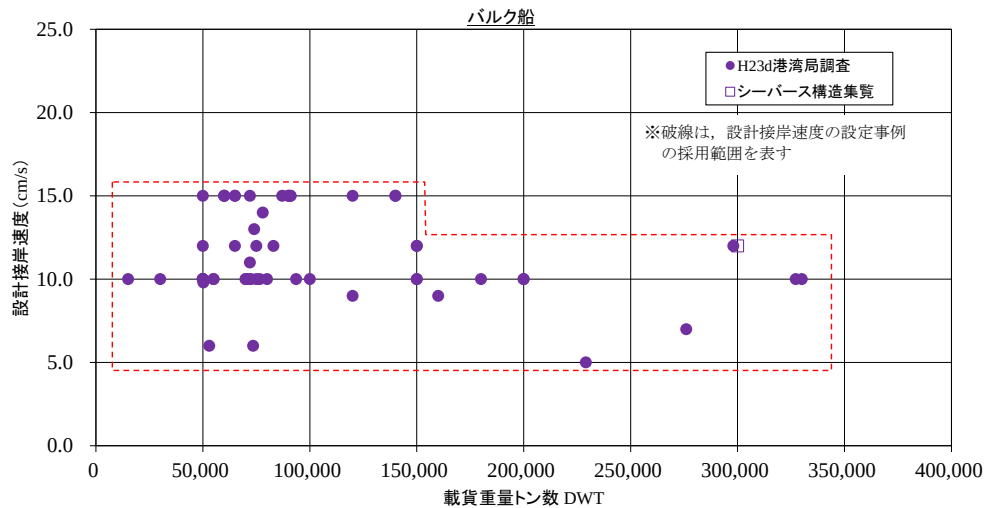


図-20 設計接岸速度の設定事例 (バルク船)

表-13 船型階級別の収集データ数一覧 (バルク船)

船型 (DWT)		実測値	設計接岸速度 の設定事例
～	10,000	1	
10,000	～ 20,000		1
20,000	～ 30,000		1
30,000	～ 40,000		
40,000	～ 50,000		7
50,000	～ 100,000	33	31
100,000	～ 150,000	3	8
150,000	～ 200,000	51	4
200,000	～ 250,000	28	1
250,000	～ 300,000	11	3
300,000	～ 350,000	11	2
350,000	～		
合 計		138	58

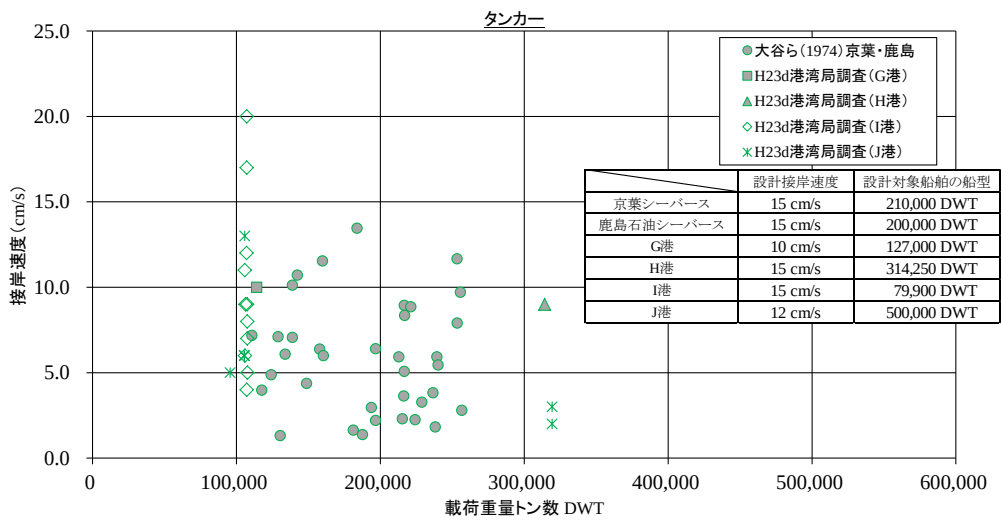


図-21 接岸速度の実測値（タンカー）

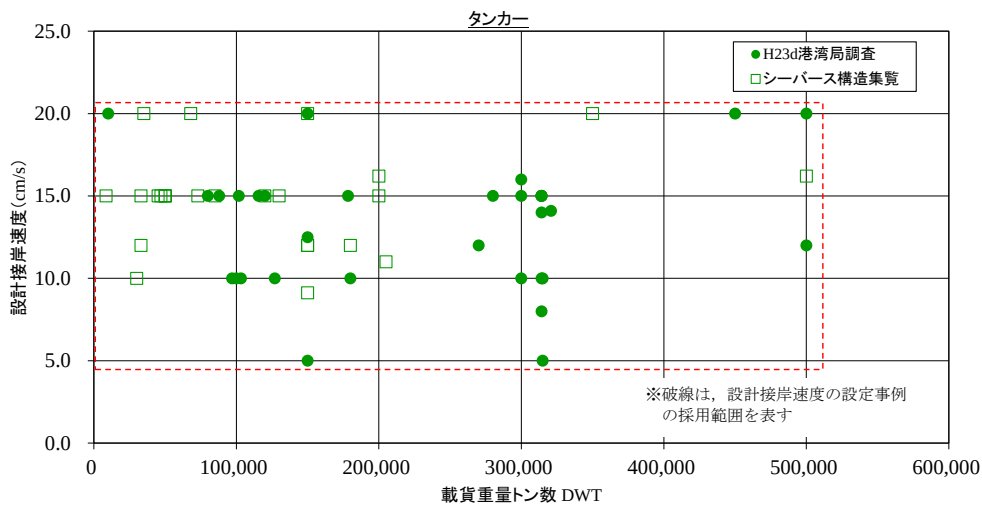


図-22 設計接岸速度の設定事例（タンカー）

表-14 船型階級別の収集データ数一覧（タンカー）

船型 (DWT)		実測値	設計接岸速度 の設定事例
5,000	～ 5,000		
5,000	～ 10,000		2
10,000	～ 15,000		
15,000	～ 20,000		
20,000	～ 30,000		1
30,000	～ 50,000		8
50,000	～ 70,000		1
70,000	～ 90,000		4
90,000	～ 100,000	1	2
100,000	～ 150,000	26	14
150,000	～ 300,000	26	11
300,000	～	3	15
合 計		56	58

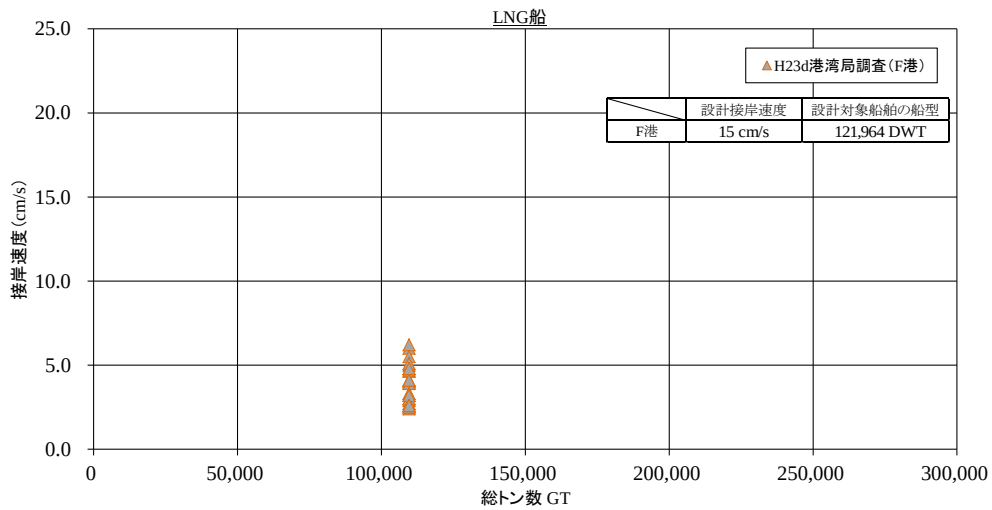


図-23 接岸速度の実測値 (LNG 船)

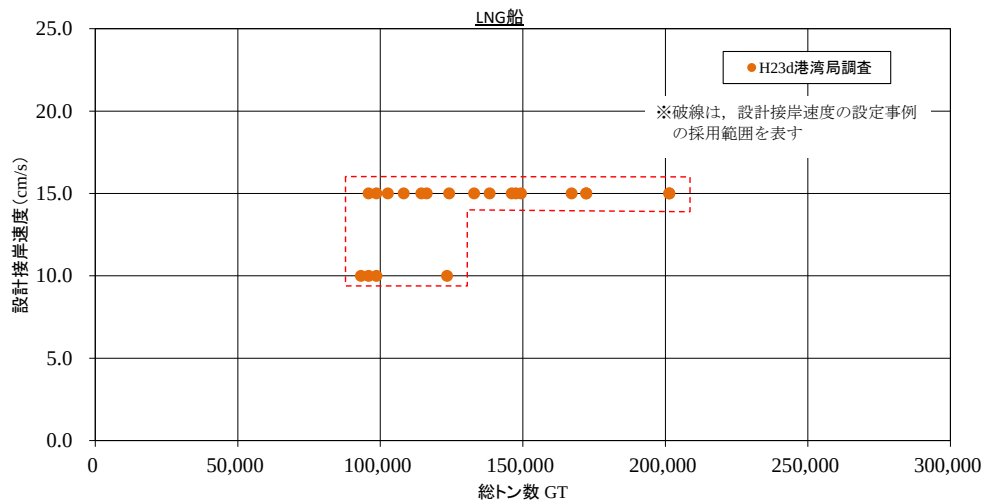


図-24 設計接岸速度の設定事例 (LNG 船)

表-15 船型階級別の収集データ数一覧 (LNG 船)

船型 (GT)		実測値	設計接岸速度 の設定事例
～	20,000		
20,000	～ 30,000		
30,000	～ 50,000		
50,000	～ 80,000		
80,000	～ 100,000		5
100,000	～	30	16
合 計		30	21

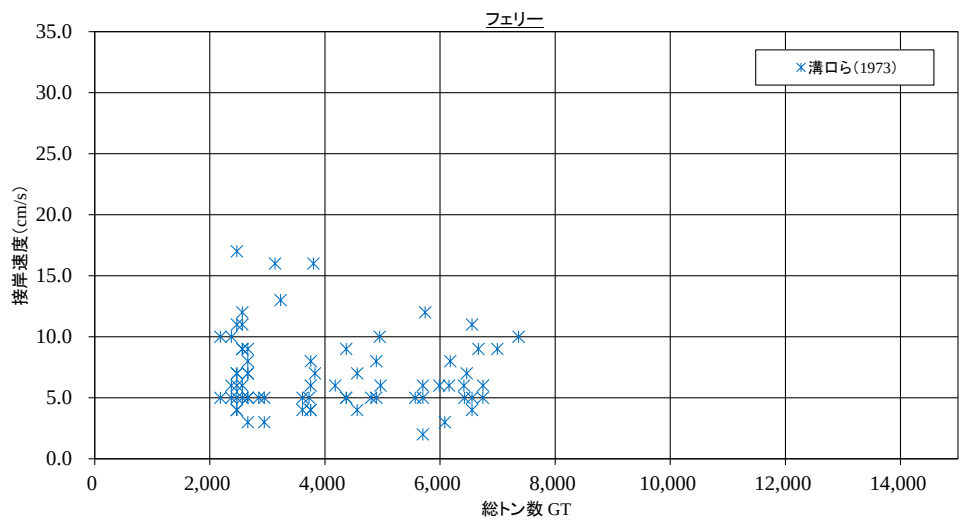


図-25 接岸速度の実測値（フェリー）

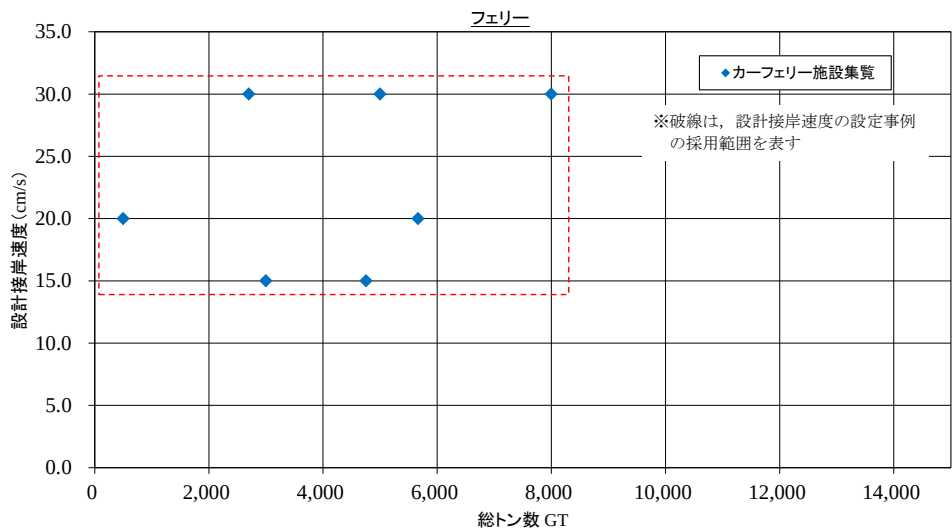


図-26 設計接岸速度の設定事例（フェリー）

表-16 船型階級別の収集データ数一覧（フェリー）

船型 (GT)			実測値	設計接岸速度 の設定事例
～	1,000			1
1,000	～	3,000	29	2
3,000	～	7,000	41	3
7,000	～	10,000	1	1
10,000	～	13,000		
13,000	～			
合 計			71	7

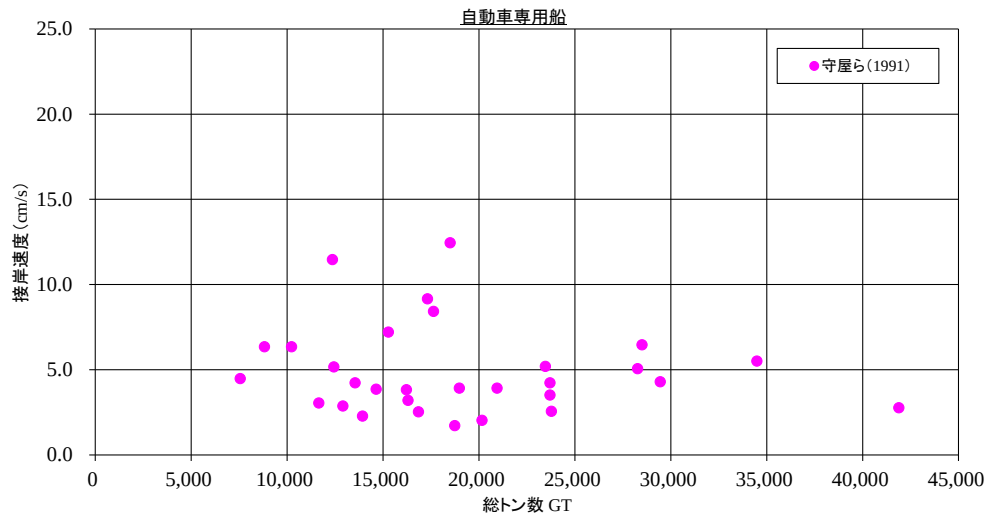


図-27 接岸速度の実測値（自動車専用船）

表-17 船型階級別の収集データ数一覧（自動車専用船）

船型 (GT)			実測値	設計接岸速度 の設定事例
	～	5,000		
5,000	～	12,000	4	
12,000	～	20,000	15	
20,000	～	30,000	9	
30,000	～	40,000	1	
40,000	～	60,000	1	
60,000	～			
合 計			30	0

4. 接岸速度と船型の信頼水準別関係式の検討

4.1 検討概要

国際航路協会（PIANC）では、接岸速度の統計的特性を基に、設計接岸速度を一定の信頼水準値（95%以上）として設定することが議論されている。この国際的な動向に対し、わが国における接岸速度の統計的特性に関する検討は十分ではなく、現行の基準・同解説では設計接岸速度の設定値がどの程度の信頼水準であるかが判断できない。

また、船舶の接岸力が主要外力となり得る棧橋やドルフィンの設計において、接岸力に大きく影響する接岸速度の設定は重要課題であり、その信頼性設計法の確立には接岸速度の確率特性の検証が不可欠である。以上のことから、接岸速度の信頼水準値について整理することは有用であるといえる。

なお、2.3 (2) に示したとおり、上田ら⁶⁾ は、コンテナ船を対象に接岸速度と船型の回帰式を信頼水準別に作成している。そこで、本研究では、上田ら⁶⁾ の回帰手法を踏襲し、接岸速度の実測データを収集した船種を対象に、信頼水準別の回帰式を作成することとした。上田ら⁶⁾ の手法は、接岸速度が回帰式周りで対数正規分布に従うことを仮定したものであり、その詳細は次節にて述べる。加えて、作成した回帰式の分布と、実測対象バースにおける設計接岸速度もしくは設計接岸速度の設定事例との位置関係を比較し、その値がどの程度の信頼水準を有しているかを検証した。なお、収集データの取扱いに対する留意点および本研究での判断、また設計接岸速度との比較については、3.1 (1) (2) に述べたとおりである。

4.2 回帰分析の手法

(1) 回帰分析について

接岸速度と船型の関係、すなわち、船型に応じた接岸速度は回帰分析によって求め、回帰式は次式によるものとする。

$$V = \alpha X^{\beta} \quad (1)$$

ここに

V : 接岸速度 (m/s)

X : 船型 (DWT または GT)

α, β : 回帰係数

式(1)は、両辺を自然対数化すると単純な直線回帰が可能となり、基準・同解説における船舶の標準諸元を求める際に用いられている¹⁵⁾。

$$\ln V = \ln \alpha + \beta \ln X \quad (2)$$

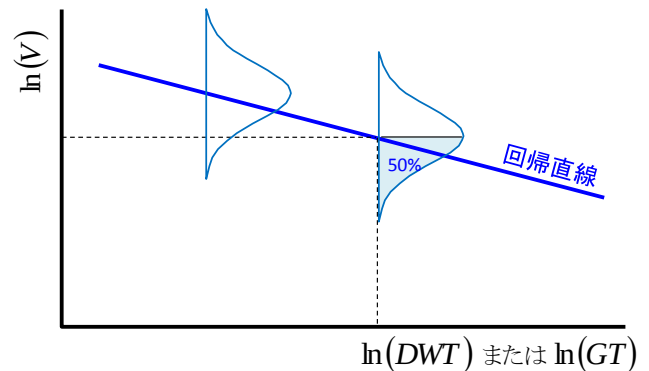


図-28 両対数軸上での分布形

また、Uedaら（2002）の研究¹⁰⁾では、接岸速度は両対数軸上にて船型によらず同一の正規分布に従うと仮定している（図-28）。これは、自然軸上では接岸速度が対数正規分布に従うことを仮定するものである。

このとき、両対数軸上の回帰直線は、船型対数値に対応する接岸速度対数値の平均値にあたる。なお、一般に、正規分布は平均を中心に対称の分布形であるため、平均値と中央値（50%確率値）が等しいが、対数正規分布においては、平均値と中央値は等しくないことに注意が必要である。対数正規分布に従う変数の対数値の平均を $\mu_{\ln}$ 、標準偏差を $\sigma_{\ln}$ としたとき、対数正規分布の平均値および中央値は以下のとおり与えられる。

$$\text{対数正規分布の平均値} \quad e^{\mu_{\ln} + \frac{\sigma_{\ln}^2}{2}} \quad (3)$$

$$\text{対数正規分布の中央値} \quad e^{\mu_{\ln}} \quad (4)$$

本研究では、接岸速度と船型の関係を信頼水準別に示すことを目的としているため、平均値ではなく中央値、つまり、50%確率値として両者の関係式を導出する。換言すれば、両対数軸上で得られる直線回帰式の両辺に指数関数を取り、カバー率50%の関係式とする。

なお、カバー率とは実測データより推定される確率分布形の累積確率にあたり¹⁵⁾、例えば、カバー率75%の接岸速度とは、その値以下の速度をとる確率が75%であることを意味する。以降、本資料では、信頼水準の表現として、この「カバー率」を用いる。ここで、上田ら⁶⁾ の検討における信頼水準は、「信頼度」と表記されており、これはカバー率と同義である。本研究で検討する信頼水準は、上田ら⁶⁾ の検討における50%、75%、90%、95%に加え、98%および99%も対象とした。また、実測データの船型が全て同

じであるLNG船に関しては、船型を考慮した回帰分析の実施ができないため、検討対象外とした。

(2) 任意のカバー率に対する関係式について

図-29のとおり、両対数軸上の回帰直線まわりの分布形を考えた場合、任意のカバー率 $P\%$ に対応する関係式は回帰直線を水平移動させることで求めることができ、正規分布を仮定しているため、その移動量は回帰直線まわりの標準偏差によって決定される。回帰直線まわりの標準偏差を ξ とすると、移動量は $S\xi$ と表され、このときの係数 S はカバー率 $P\%$ に応じて表-18のとおり与えられる。

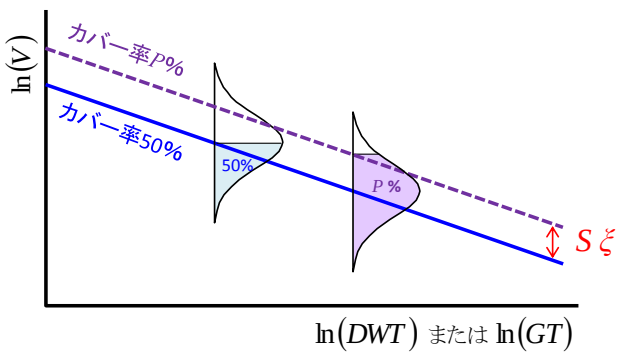


図-29 任意のカバー率の考え方

表-18 カバー率に応じた係数 S

P	50%	75%	90%	95%	98%	99%
S	0.000	0.674	1.282	1.645	2.054	2.326

ここで、ある船型における接岸速度対数値の分布を考えると（図-30）、その平均値は直線回帰式から得られる予測値であり、標準偏差は回帰直線まわりの標準偏差 ξ である。よって、任意のカバー率 $P\%$ に対応する接岸速度の対数値 $\ln V_P$ は、式(5)で表される。また、式(5)を係数 S について変形すると式(6)となる。

$$\ln V_P = (\ln \alpha + \beta \ln X) + S\xi \quad (5)$$

$$S = \frac{\ln V_P - (\ln \alpha + \beta \ln X)}{\xi} \quad (6)$$

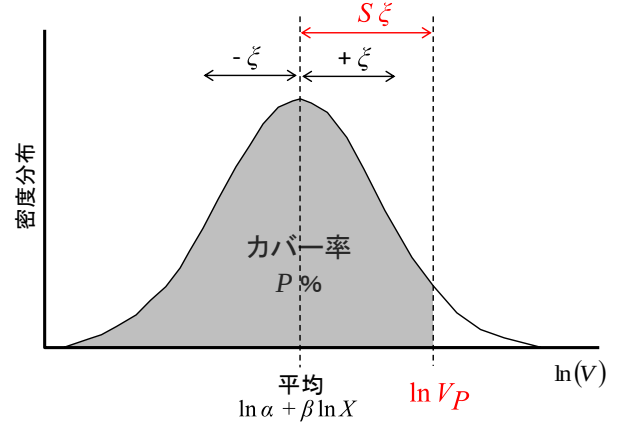


図-30 ある船型における接岸速度対数値の分布

このとき、式(6)に示す係数 S は、図-30の正規分布を標準化した形をとり、表-18に示すカバー率に対応した係数 S の値は、標準正規分布の累積分布関数を用いて算出することができる。したがって、接岸速度対数値が正規分布に従うという仮定の下では、その分布形状によらず表-18の値は一定である。

$$\Phi(S) = \frac{P}{100} \quad (7)$$

ここに

Φ : 標準正規確率分布関数

以上により、任意のカバー率に対する関係式は、式(5)の両辺に指数関数をとった式(8)で算出できる。

$$V_P = \alpha e^{S\xi} X^\beta \quad (8)$$

また、回帰直線まわりの標準偏差 ξ は、式(9)より算出できる。

$$\xi = \sqrt{\frac{n}{n-2} \left(\sigma_v^2 - \frac{\sigma_{xv}^2}{\sigma_x^2} \right)} \quad (9)$$

ここに

σ_x^2 : 変数 x ($= \ln X$) の分散

σ_v^2 : 変数 v ($= \ln V$) の分散

σ_{xv} : 変数 x, v の共分散

n : データ数

4.3 船種別の回帰分析の結果

(1) コンテナ船

前述の方法に従い、コンテナ船に関するカバー率別の接岸速度 (m/s) と船型 (DWT) との関係式を、式(10)～式(15)のとおり、導出した。図-31は、各回帰式の分布を実測値のプロットと併せて図示したものである。また、図-32には、設計接岸速度との関係性を示しており、図中のハッチングは、3.2で述べた設計接岸速度の設定事例の範囲を示すものである。

なお、これらの回帰式は、約2,000DWT～111,000DWTの実測データを用いて作成したものであるため、回帰式の適用範囲もこの船型区間に限定される。このため、設計接岸速度との関係性については、回帰式の適用範囲に限って評価することを基本とする。

設計接岸速度の設定事例を回帰分析結果と比較すると、既往の設計接岸速度の設定範囲は、30,000DWT～70,000DWTの範囲で75%～98%程度、70,000DWT～111,000DWTの範囲で90%～95%程度の信頼水準にあたることわかる。

$$\text{カバー率50\% : } V = 1.071 \cdot DWT^{-0.280} \quad (10)$$

$$\text{カバー率75\% : } V = 1.558 \cdot DWT^{-0.280} \quad (11)$$

$$\text{カバー率90\% : } V = 2.184 \cdot DWT^{-0.280} \quad (12)$$

$$\text{カバー率95\% : } V = 2.672 \cdot DWT^{-0.280} \quad (13)$$

$$\text{カバー率98\% : } V = 3.353 \cdot DWT^{-0.280} \quad (14)$$

$$\text{カバー率99\% : } V = 3.900 \cdot DWT^{-0.280} \quad (15)$$

(2) 貨物船

貨物船に関する回帰分析結果を、式(16)～式(21)および図-33に示す。なお、これらの回帰式は、約2,000DWT～43,000DWTの実測データを用いて作成したものであるため、回帰式の適用範囲もこの船型区間に限定される。また、図-34には、設計接岸速度との関係性を示している。

設計接岸速度の設定事例を回帰分析結果と比較すると、既往の設計接岸速度の採用範囲は、2,000DWT～5,000DWTの範囲で約75%以上、5,000DWT～20,000DWTの範囲で75%～99%程度、20,000DWT～43,000DWTの範囲で95%以上の信頼水準にあたることわかる。

$$\text{カバー率50\% : } V = 0.563 \cdot DWT^{-0.260} \quad (16)$$

$$\text{カバー率75\% : } V = 0.800 \cdot DWT^{-0.260} \quad (17)$$

$$\text{カバー率90\% : } V = 1.099 \cdot DWT^{-0.260} \quad (18)$$

$$\text{カバー率95\% : } V = 1.328 \cdot DWT^{-0.260} \quad (19)$$

$$\text{カバー率98\% : } V = 1.644 \cdot DWT^{-0.260} \quad (20)$$

$$\text{カバー率99\% : } V = 1.895 \cdot DWT^{-0.260} \quad (21)$$

(3) バルク船

バルク船に関する回帰分析結果を式(22)～式(27)および図-35に示す。なお、各回帰式の適用範囲は、約9,000DWT～327,000DWTである。また、図-36には、設計接岸速度との関係性を示している。

バルク船の実測対象バースにおける設計接岸速度を回帰分析結果と比較すると、9,000DWT～327,000DWTの範囲で90%～95%程度の信頼水準にあたることわかる。

$$\text{カバー率50\% : } V = 0.074 \cdot DWT^{-0.048} \quad (22)$$

$$\text{カバー率75\% : } V = 0.119 \cdot DWT^{-0.048} \quad (23)$$

$$\text{カバー率90\% : } V = 0.183 \cdot DWT^{-0.048} \quad (24)$$

$$\text{カバー率95\% : } V = 0.237 \cdot DWT^{-0.048} \quad (25)$$

$$\text{カバー率98\% : } V = 0.316 \cdot DWT^{-0.048} \quad (26)$$

$$\text{カバー率99\% : } V = 0.384 \cdot DWT^{-0.048} \quad (27)$$

(4) タンカー

タンカーに関する回帰分析結果を式(28)～式(33)および図-37に示す。なお、各回帰式の適用範囲は、約96,000DWT～319,000DWTである。また、図-38には、設計接岸速度との関係性を示している。

タンカーの実測対象バースにおける設計接岸速度を回帰分析結果と比較すると、130,000DWT付近で75%、200,000DWT付近で95%～98%程度、310,000DWT付近で99%程度の信頼水準にあたることわかる。

$$\text{カバー率50\% : } V = 92.235 \cdot DWT^{-0.616} \quad (28)$$

$$\text{カバー率75\% : } V = 138.360 \cdot DWT^{-0.616} \quad (29)$$

$$\text{カバー率90\% : } V = 199.471 \cdot DWT^{-0.616} \quad (30)$$

$$\text{カバー率95\% : } V = 248.160 \cdot DWT^{-0.616} \quad (31)$$

$$\text{カバー率98\% : } V = 317.398 \cdot DWT^{-0.616} \quad (32)$$

$$\text{カバー率99\% : } V = 373.833 \cdot DWT^{-0.616} \quad (33)$$

(5) フェリー

フェリーに関する回帰分析結果を式(34)～式(39)および図-39に示す。なお、各回帰式の適用範囲は、約2,000GT～7,000GTである。また、図-40には、設計接岸速度との関係性を示している。

設計接岸速度の設定事例を回帰分析結果と比較すると、既往の設計接岸速度事例の設定範囲は、2,000GT～4,000GTの範囲で95%以上、4,000GT～7,000GTの範囲で98%以上の信頼水準にあたることわかる。

$$\text{カバー率50\% : } V = 0.163 \cdot GT^{-0.114} \quad (34)$$

$$\text{カバー率75\% : } V = 0.216 \cdot GT^{-0.114} \quad (35)$$

$$\text{カバー率90\% : } V = 0.279 \cdot GT^{-0.114} \quad (36)$$

$$\text{カバー率95\% : } V = 0.325 \cdot GT^{-0.114} \quad (37)$$

$$\text{カバー率98\% : } V = 0.387 \cdot GT^{-0.114} \quad (38)$$

$$\text{カバー率99\% : } V = 0.434 \cdot GT^{-0.114} \quad (39)$$

(6) 自動車専用船

自動車専用船に関する検討結果を式(40)～式(45)および図-41に示す。自動車専用船については、接岸速度の実測データ数が他船種と比べて少なく、回帰分析の精度もその分低いものと考えられる。なお、設計接岸速度の設定事例は収集されていない。

$$\text{カバー率50\% : } V = 0.223 \cdot GT^{-0.167} \quad (40)$$

$$\text{カバー率75\% : } V = 0.312 \cdot GT^{-0.167} \quad (41)$$

$$\text{カバー率90\% : } V = 0.422 \cdot GT^{-0.167} \quad (42)$$

$$\text{カバー率95\% : } V = 0.505 \cdot GT^{-0.167} \quad (43)$$

$$\text{カバー率98\% : } V = 0.619 \cdot GT^{-0.167} \quad (44)$$

$$\text{カバー率99\% : } V = 0.709 \cdot GT^{-0.167} \quad (45)$$

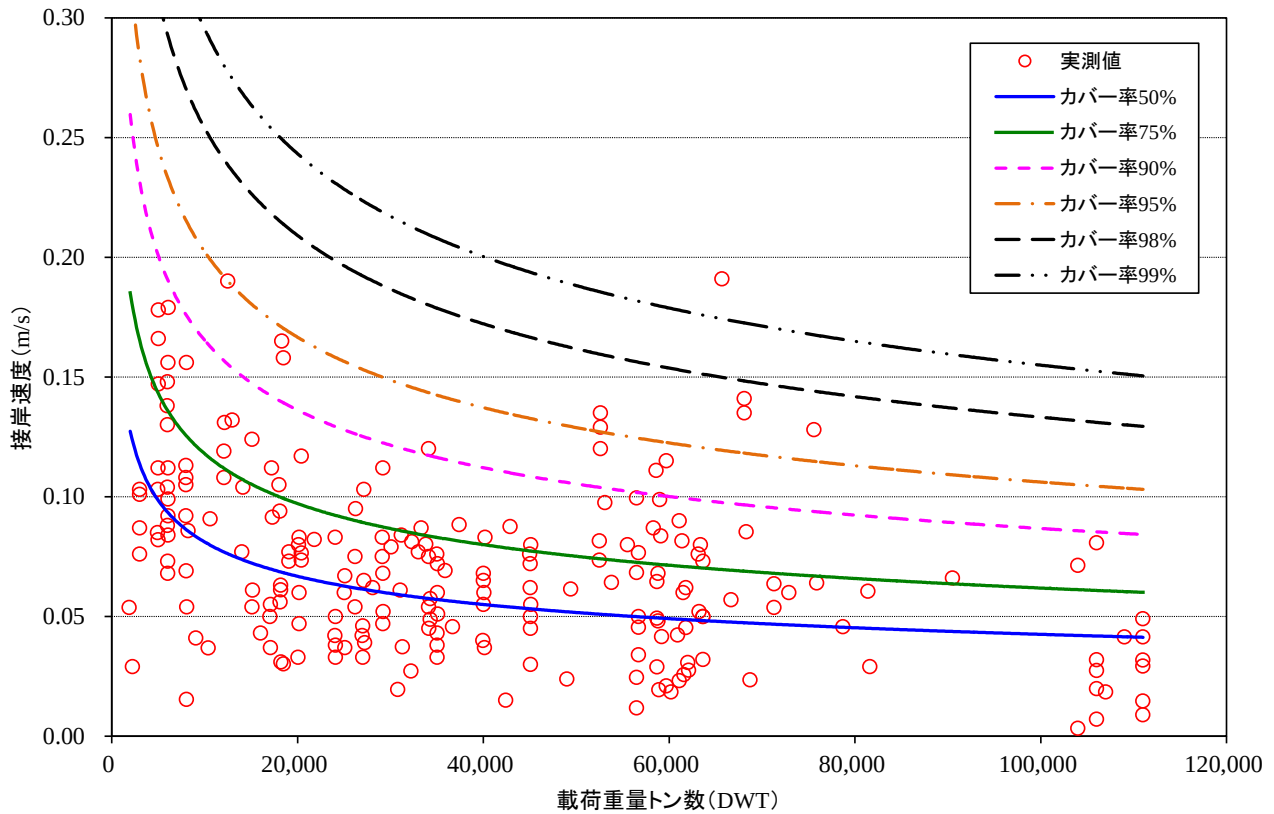


図-31 カバー率別の接岸速度と船型の関係（コンテナ船）

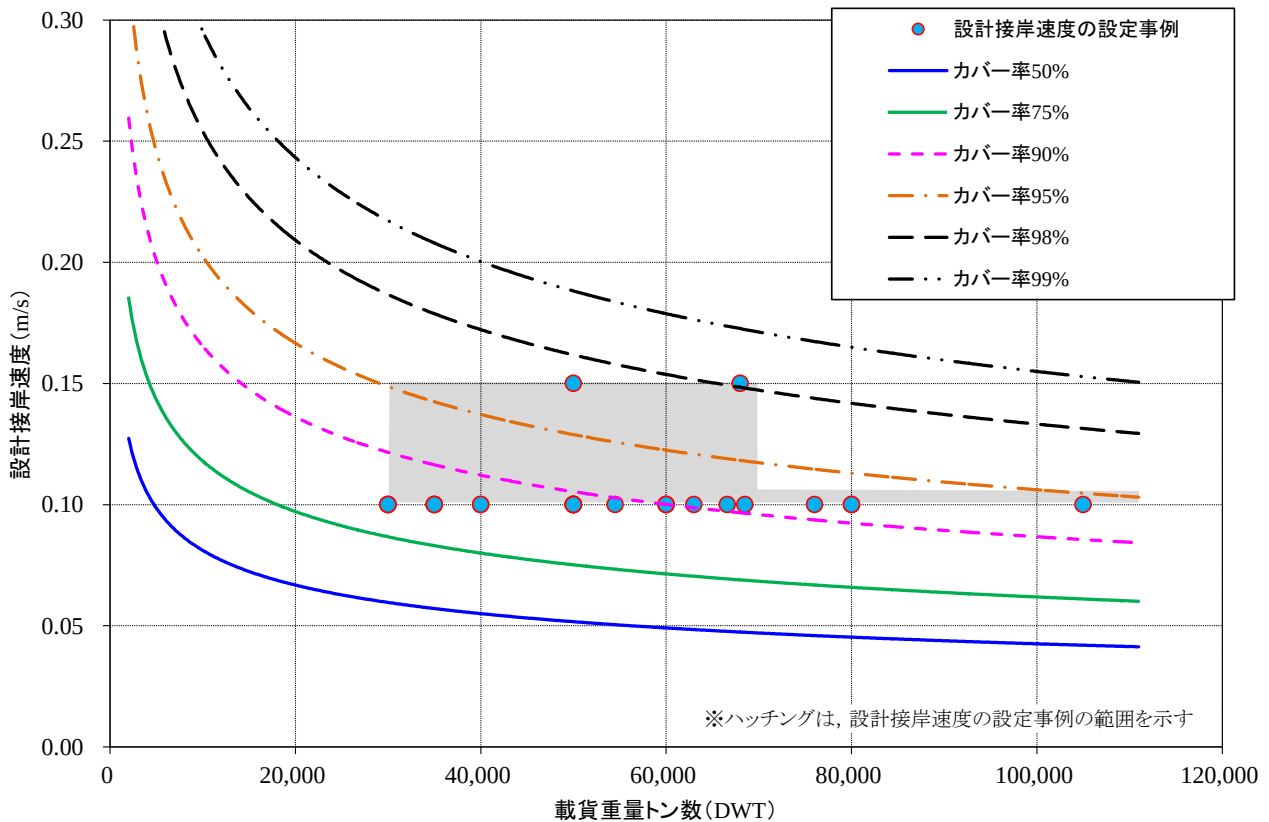


図-32 設計接岸速度の設定事例との関係（コンテナ船）

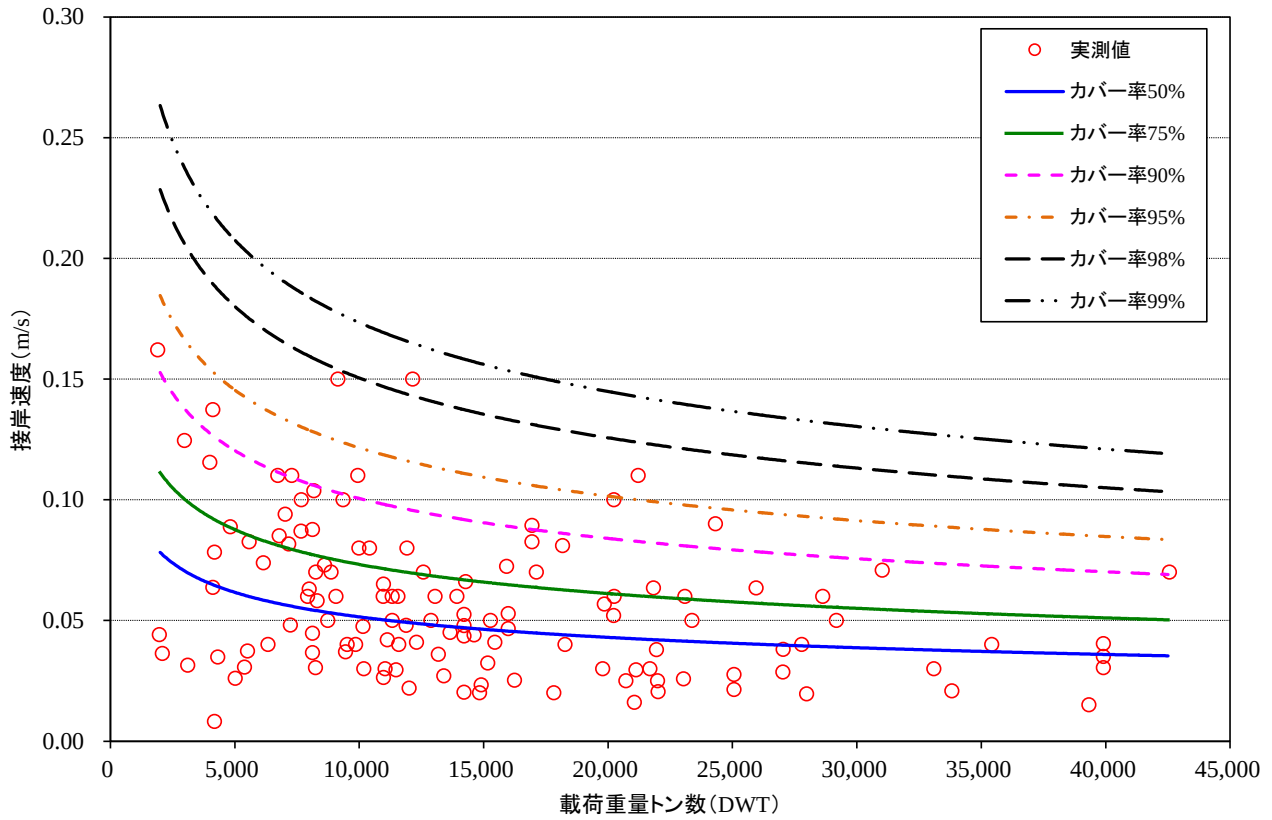


図-33 カバー率別の接岸速度と船型の関係（貨物船）

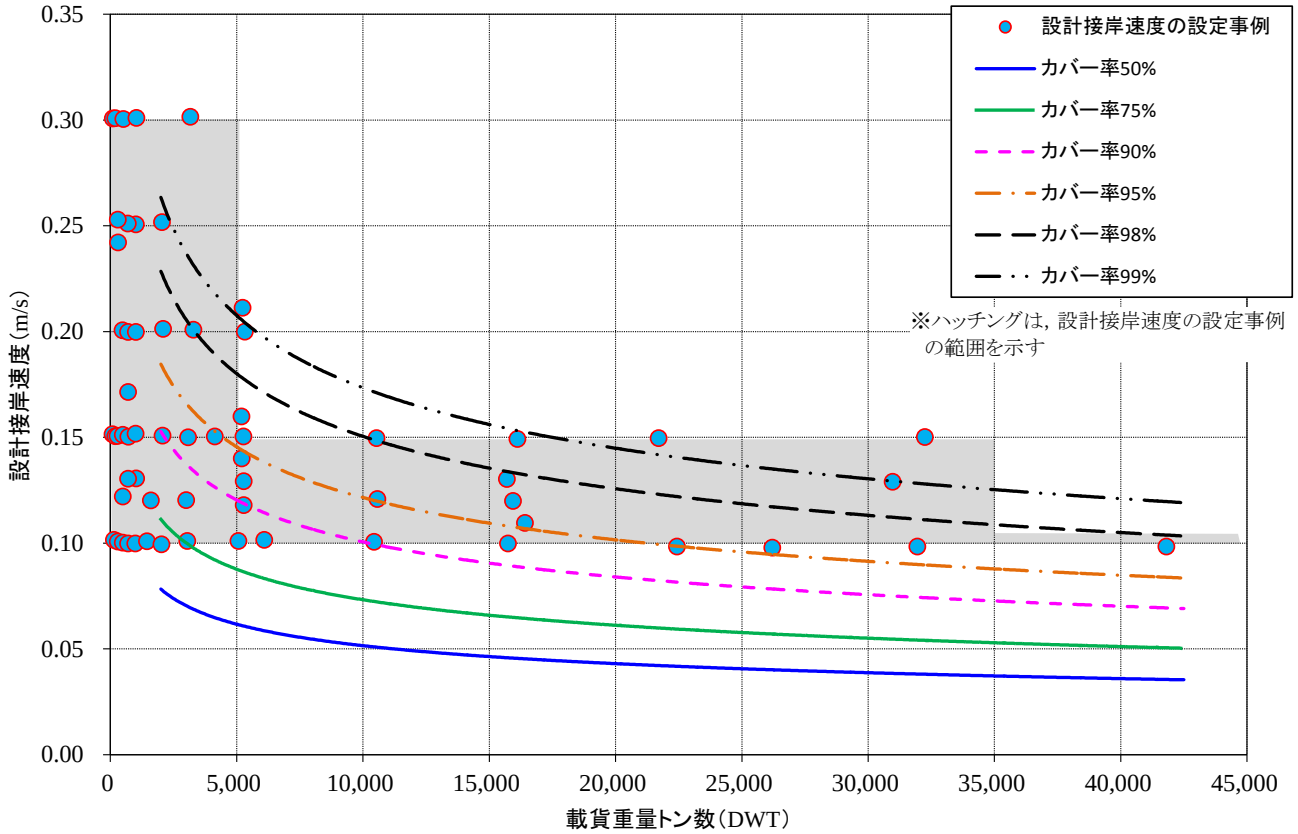


図-34 設計接岸速度の設定事例との関係（貨物船）

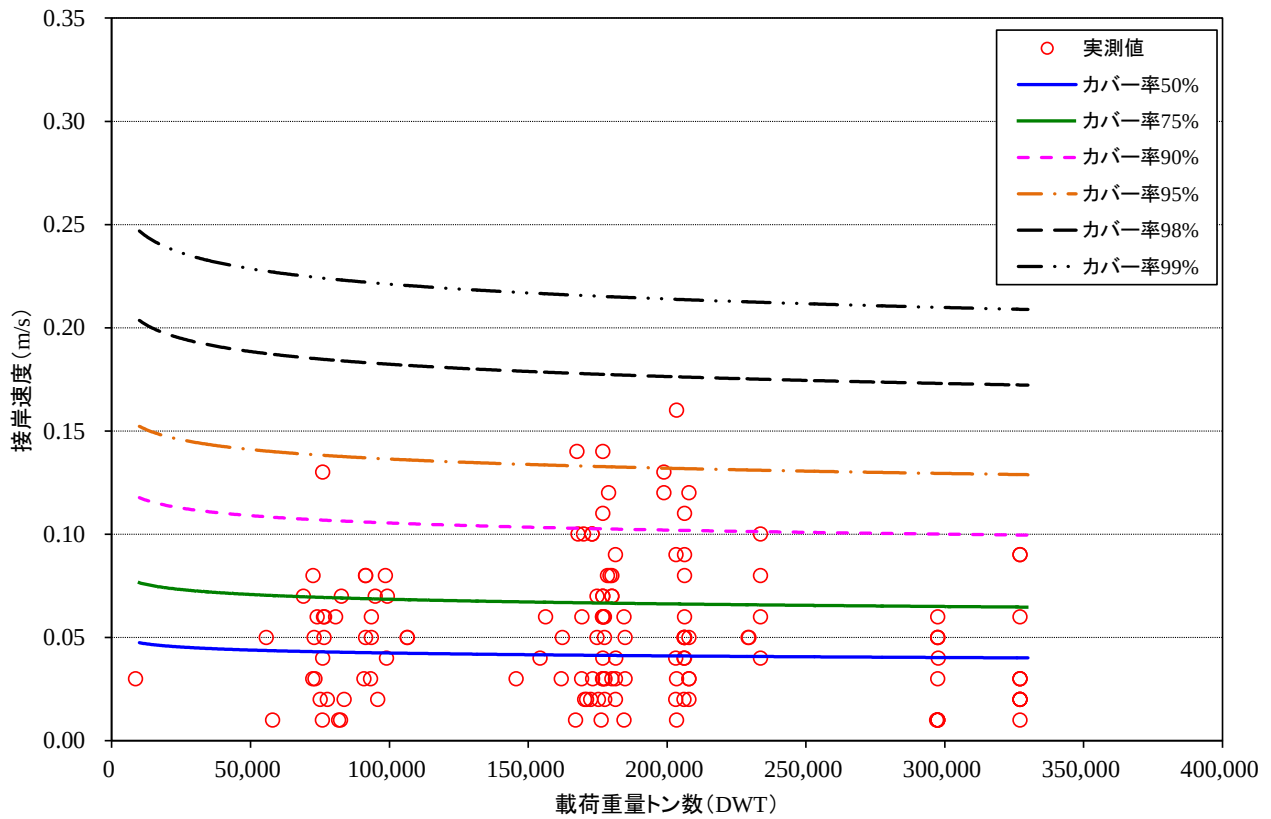


図-35 カバー率別の接岸速度と船型の関係 (バルク船)

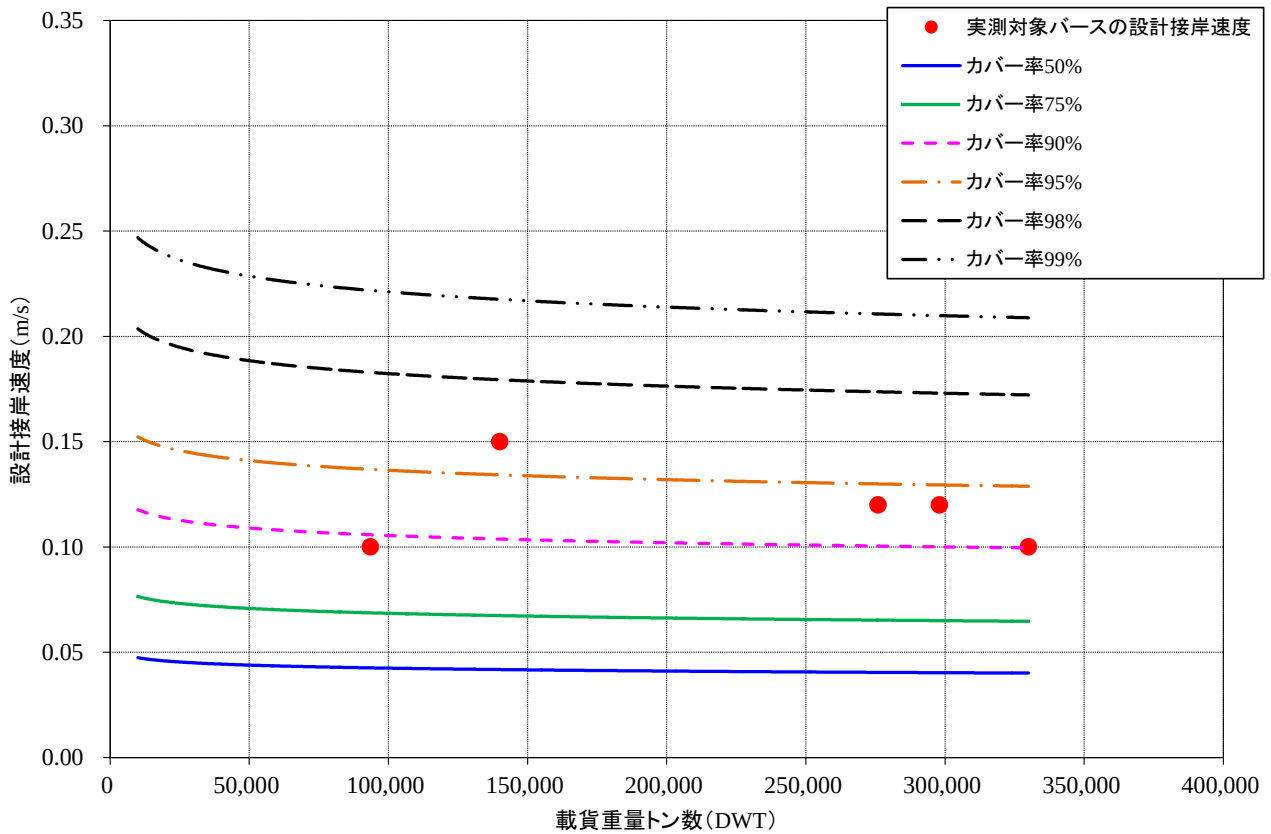


図-36 実測対象バースにおける設計接岸速度との関係 (バルク船)

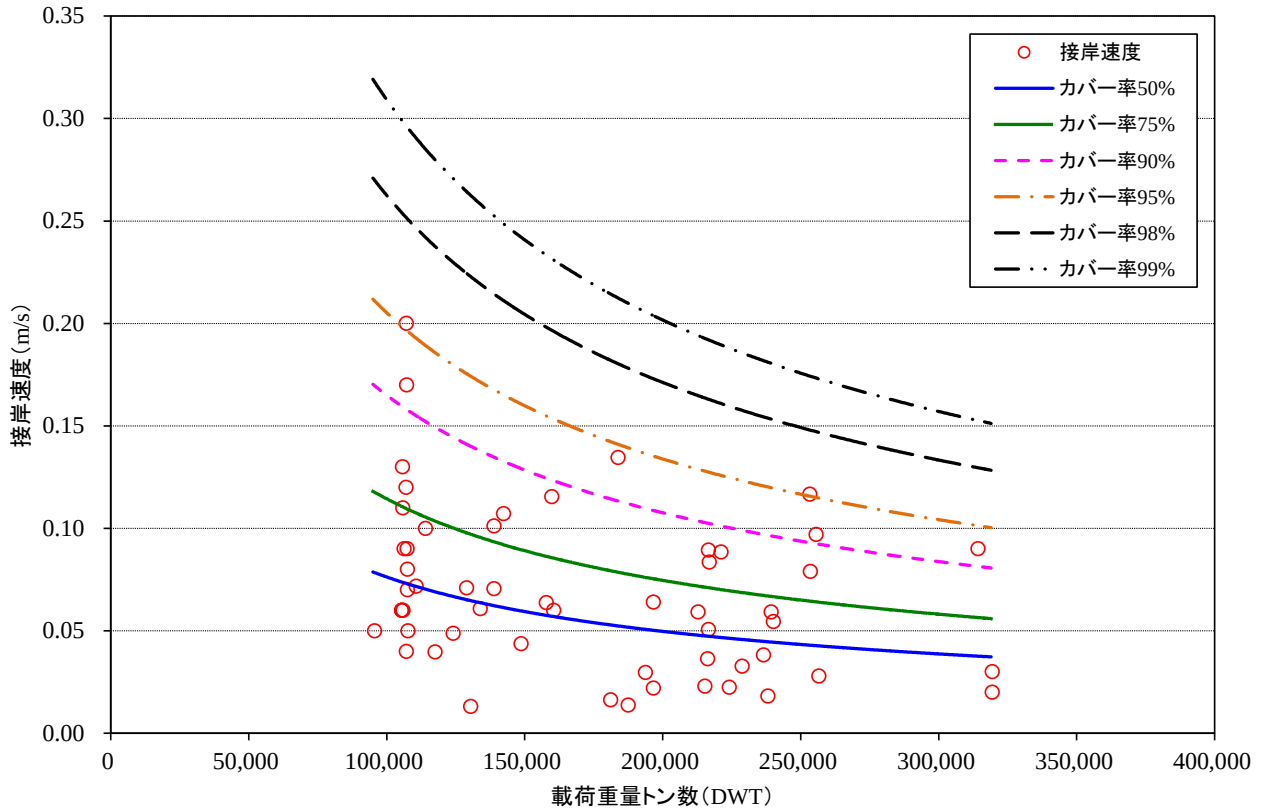


図-37 カバール率別の接岸速度と船型の関係 (タンカー)

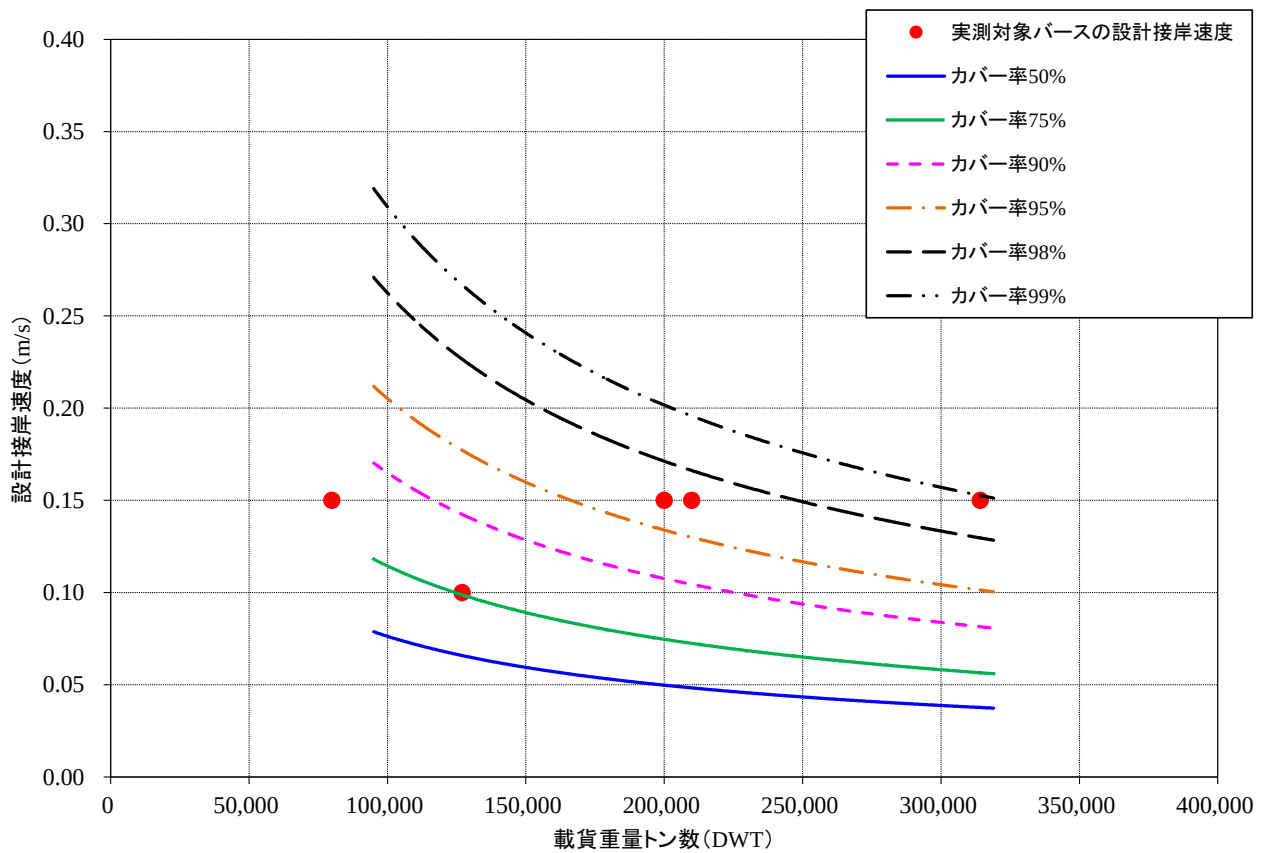


図-38 実測対象バースにおける設計接岸速度との関係 (タンカー)

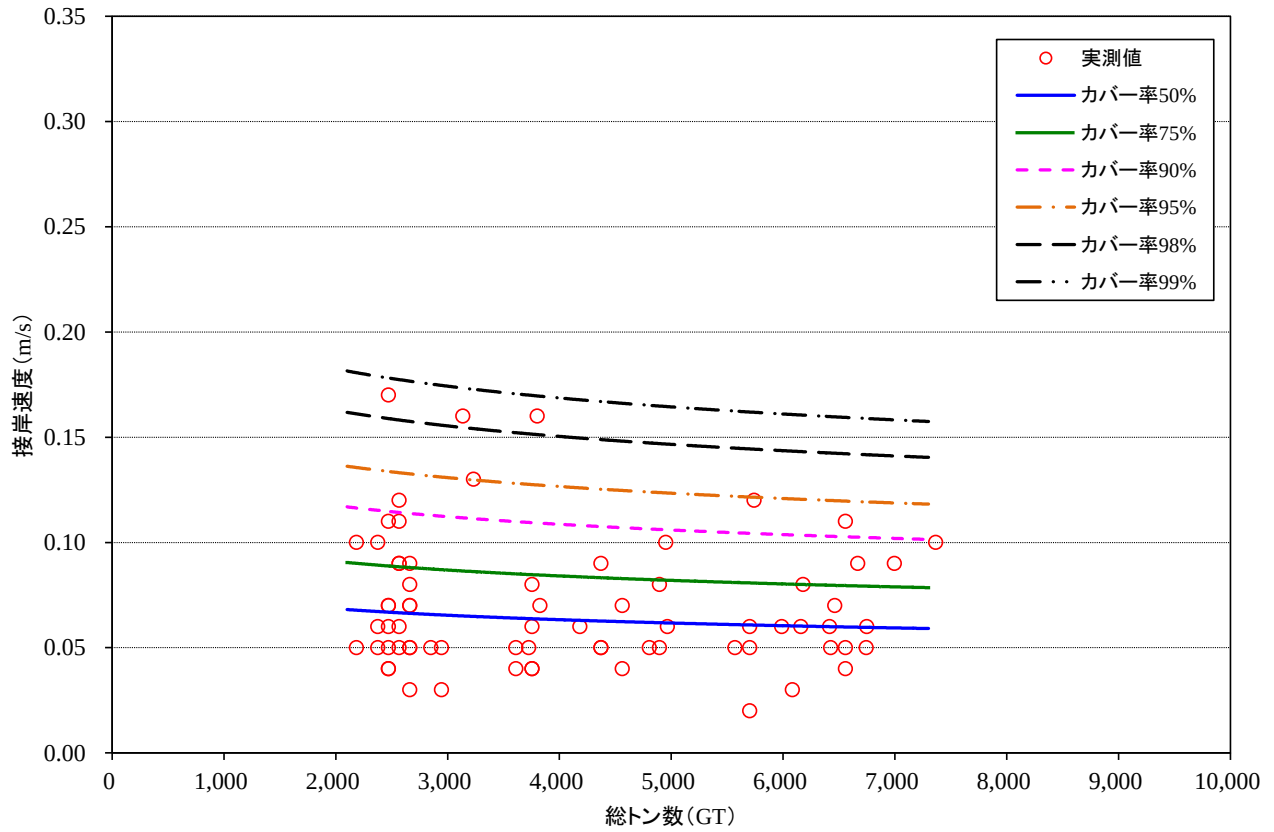


図-39 カバ-率別の接岸速度と船型の関係 (フェリー)

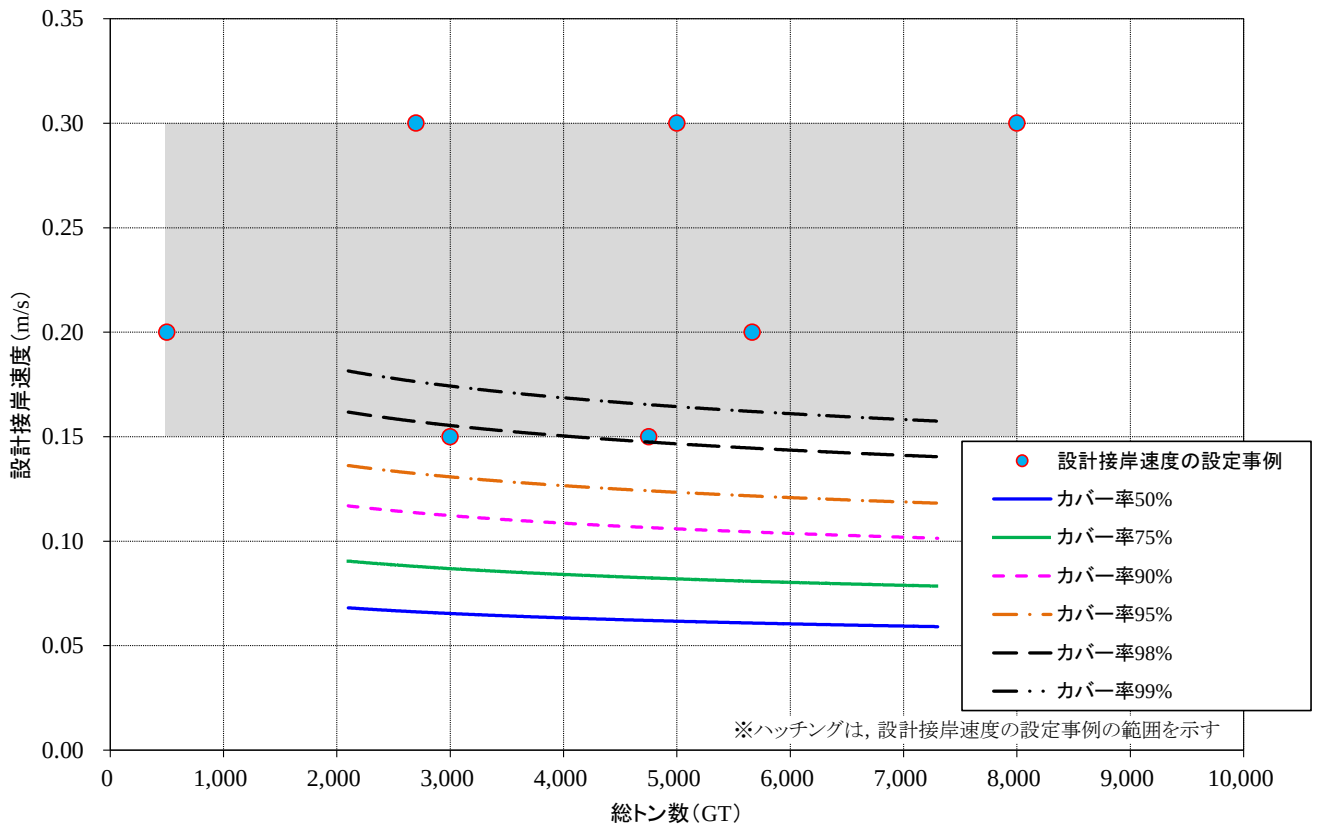


図-40 設計接岸速度の設定事例との関係 (フェリー)

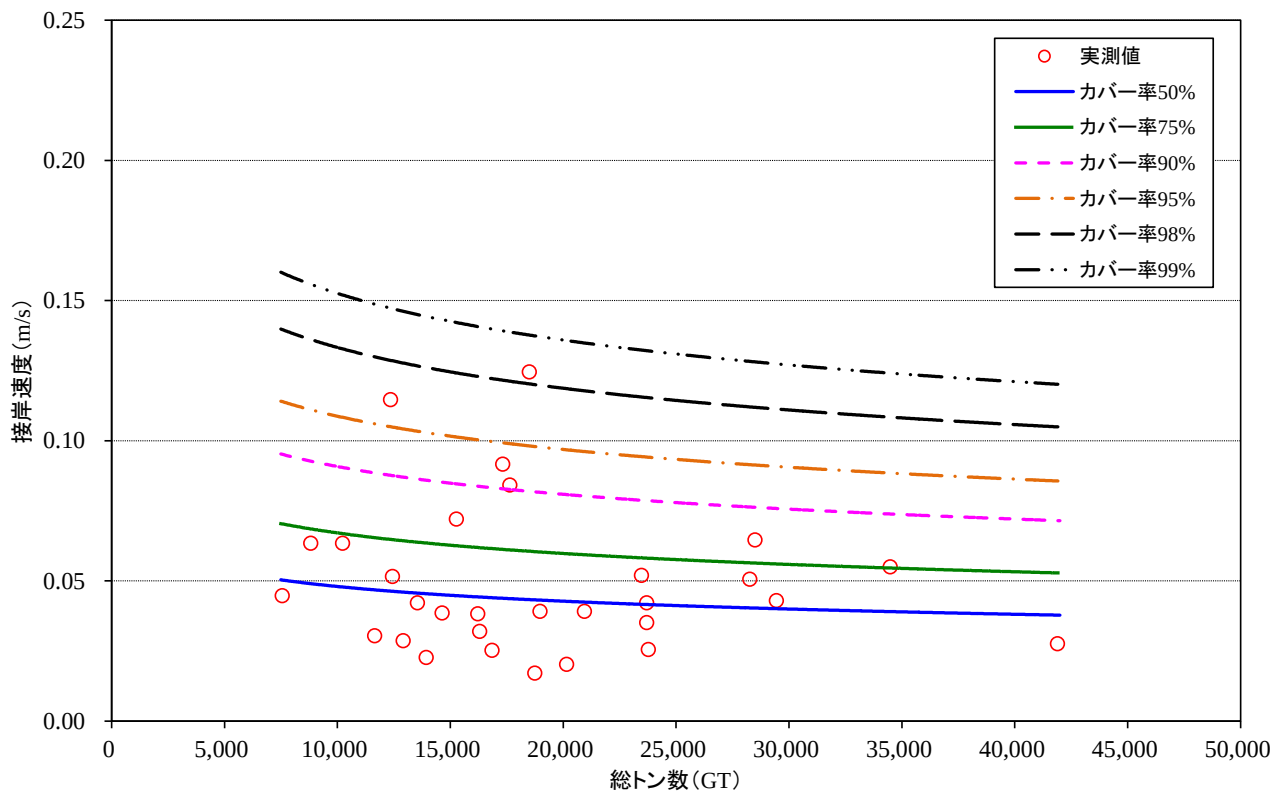


図-41 カバー率別の接岸速度と船型の関係（自動車専用船）

4.4 接岸速度の分布形の確認

(1) 確率分布の形状比較

前節までに示した接岸速度と船型の関係式は、接岸速度が対数正規分布に従うという仮定の下に算出したものである。ここでは、カバー率50%の関係式を用い、実測値の回帰式まわりの分布を対数正規分布としてモデル化することの妥当性を確認した。具体的には、関係式による予測値と実測値の位置関係を、式(46)を用いて正規化し、正規化された接岸速度の分布形を確認した。

$$V^* = \frac{V}{V_{50\%}} \quad (46)$$

ここに

V : 接岸速度の実測値 (m/s)

$V_{50\%}$: カバー率50%式による期待値 (m/s)

V^* : 正規化接岸速度

図-42(a)～図-42(f)は、正規化接岸速度と船型の関係を船種別に示したものである。これによると、正規化接岸速度は船型によらず同程度の分布を示すようにみられる。また、図-43(a)～図-43(f)は、正規化接岸速度の相対度数分布を示したものであり、比較対象として、正規化接岸速度 V^* (または $\ln V^*$)の平均値および標準偏差より得られる正規分布と対数正規分布の確率分布も併せて示している。確立分布形状を比較すると、正規分布より対数正規分布の方が正規化接岸速度の分布形に近いことが確認された。

ここで、正規化接岸速度 V^* とその自然対数値 $\ln V^*$ の平均値および標準偏差を表-19に示す。これらの値は、船種別に整理した全ての実測データを用いて算出したものである。なお、表-20は、データ数がほぼ均等となるよう船型を2～3区間に分け、各区間における V^* および $\ln V^*$ の平均値と標準偏差を算出した結果を示したものである。これによると、特にコンテナ船の標準偏差にばらつきがあるものの、表-19に示す値と比較的近い値となっている。また、図-44(a)～図-44(f)は、各区間の統計量から得られる対数正規分布を比較して示したものである。これらの図から、各区間別の対数正規分布は、それぞれの分布形状が似ていることがわかった。このため、正規化接岸速度 V^* は、船型によらずほぼ一定の分布に従うものと判断できる。

表-19 V^* および $\ln V^*$ の平均値と標準偏差

船種	正規化接岸速度 V^*		V^* の自然対数 $\ln V^*$	
	平均 μ	標準偏差 σ	平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
コンテナ船	1.143	0.569	0.000	0.553
貨物船	1.132	0.553	0.000	0.518
バルク船	1.245	0.781	0.000	0.704
タンカー	1.174	0.644	0.000	0.591
フェリー	1.091	0.480	0.000	0.415
自動車専用船	1.126	0.584	0.000	0.480

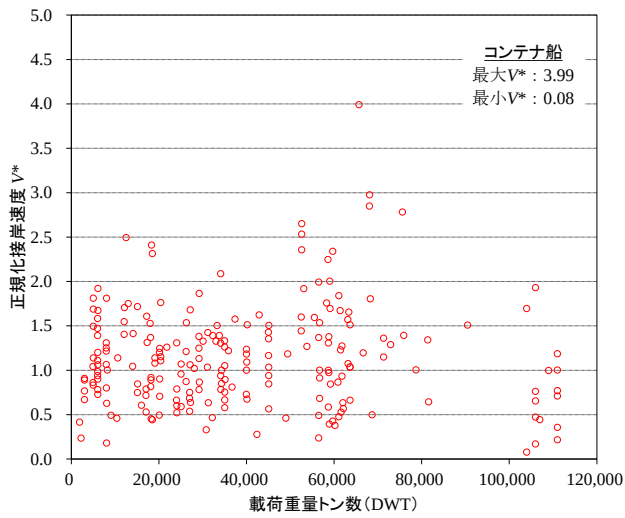


図-42(a) 正規化接岸速度と船型の関係 (コンテナ船)

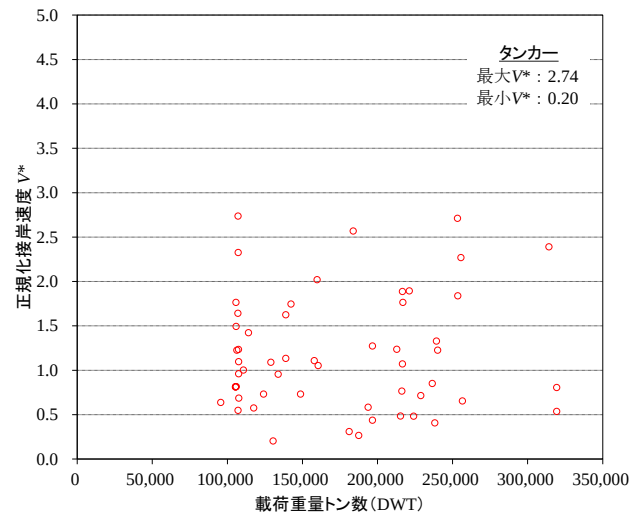


図-42(d) 正規化接岸速度と船型の関係 (タンカー)

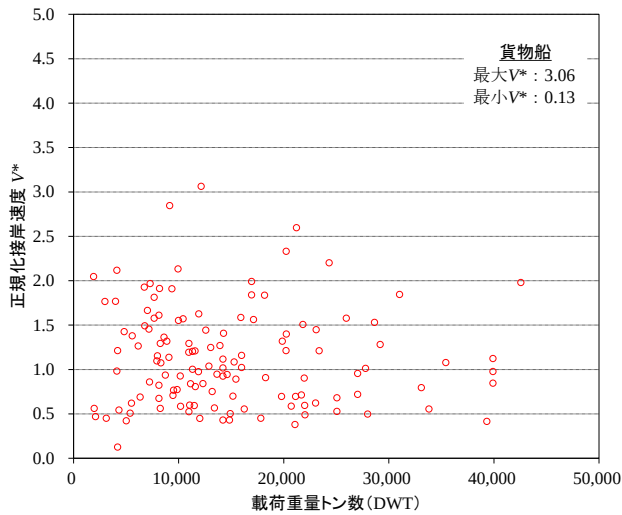


図-42(b) 正規化接岸速度と船型の関係 (貨物船)

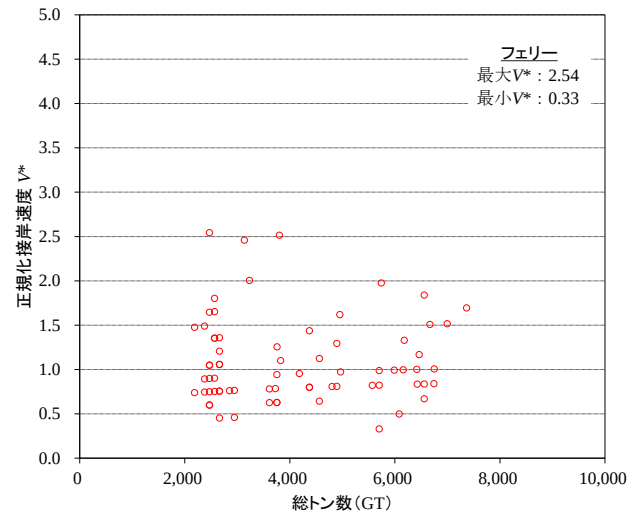


図-42(e) 正規化接岸速度と船型の関係 (フェリー)

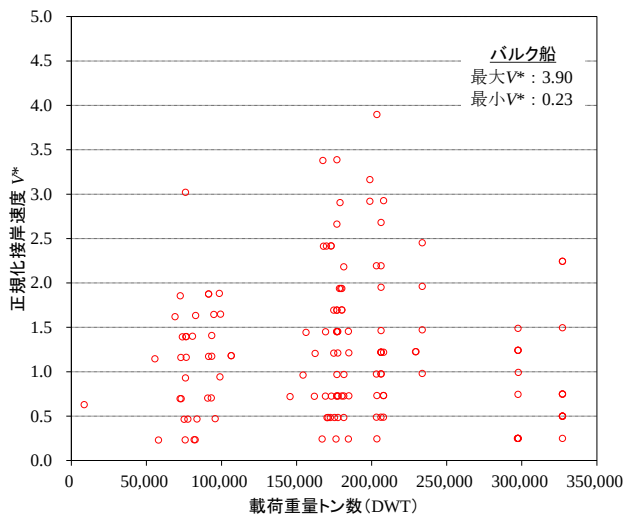


図-42(c) 正規化接岸速度と船型の関係 (バルク船)

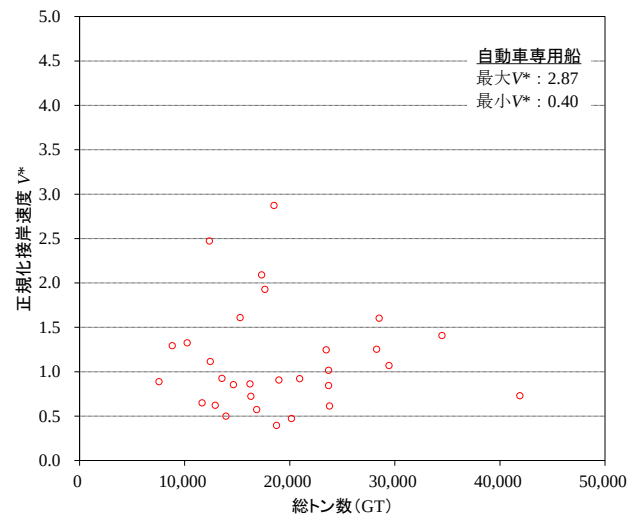


図-42(f) 正規化接岸速度と船型の関係 (自動車専用船)

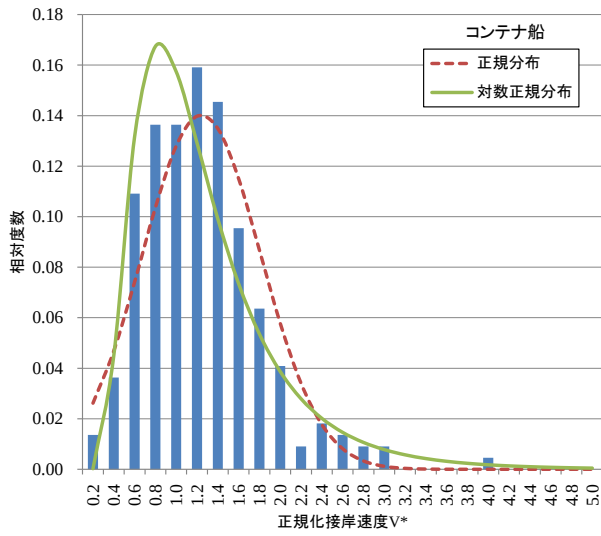


図-43(a) 正規化接岸速度の分布形（コンテナ船）

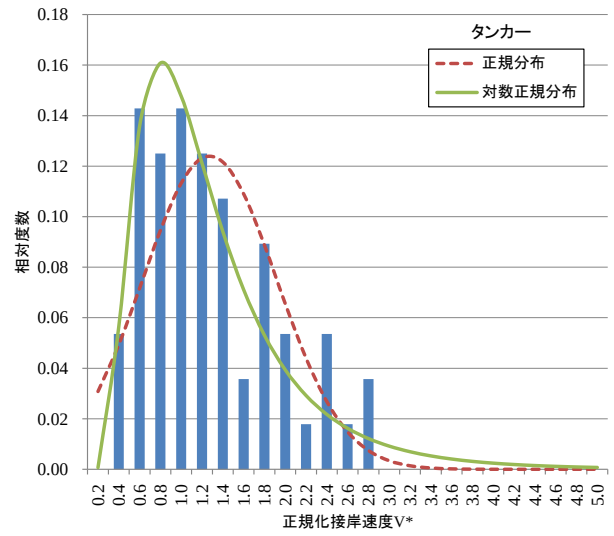


図-43(d) 正規化接岸速度の分布形（タンカー）

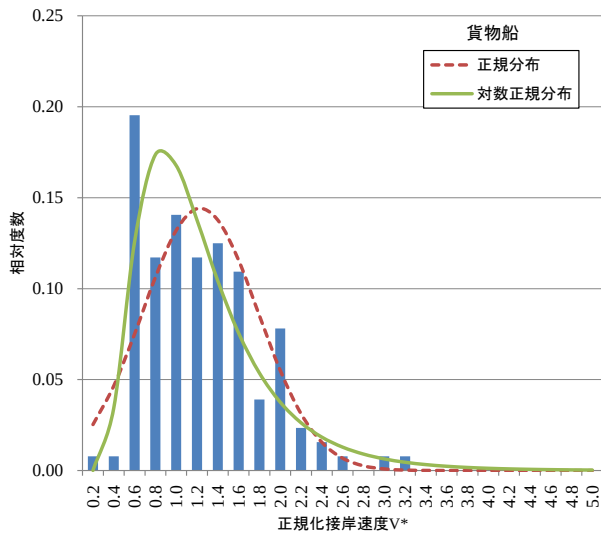


図-43(b) 正規化接岸速度の分布形（貨物船）

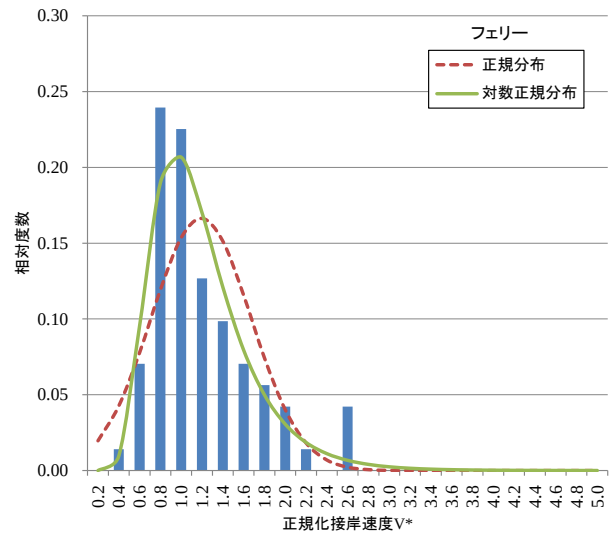


図-43(e) 正規化接岸速度の分布形（フェリー）

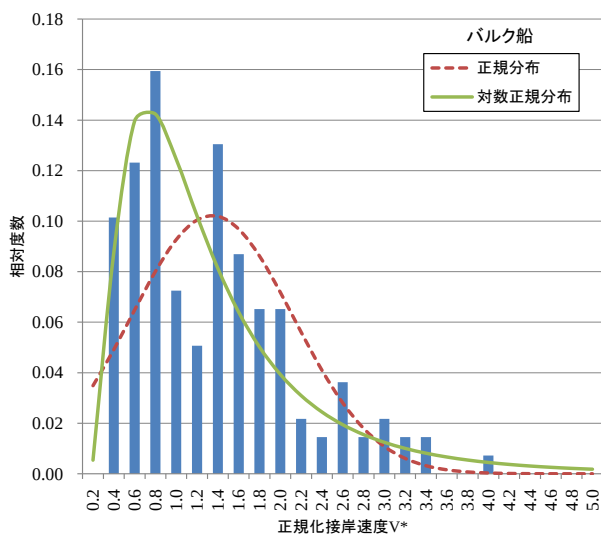


図-43(c) 正規化接岸速度の分布形（バルク船）

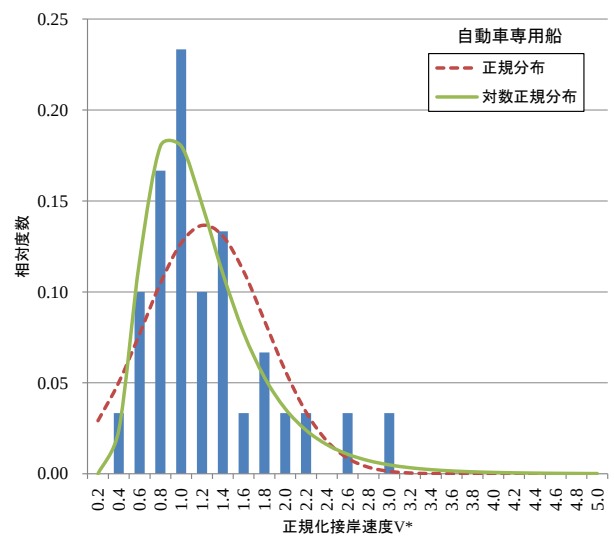


図-43(f) 正規化接岸速度の分布形（自動車専用船）

表-20 船型区分別の統計量

船 種		コンテナ船					
船型区分 (DWT)		データ 数	正規化接岸速度 V^*			$\ln V^*$	
			平均 μ	標準偏差 σ	変動係数	平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
①	～ 25,000	79	1.103	0.481	0.436	-0.008	0.489
②	25,000 ～ 55,000	71	1.146	0.476	0.416	0.047	0.439
③	55,000 ～	70	1.184	0.723	0.611	-0.038	0.702
船 種		貨物船					
船型区分 (DWT)		データ 数	正規化接岸速度 V^*			$\ln V^*$	
			平均 μ	標準偏差 σ	変動係数	平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
①	～ 12,000	61	1.175	0.543	0.462	0.037	0.539
②	12,000 ～	67	1.093	0.560	0.512	-0.033	0.478
船 種		バルク船					
船型区分 (DWT)		データ 数	正規化接岸速度 V^*			$\ln V^*$	
			平均 μ	標準偏差 σ	変動係数	平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
①	～ 140,000	71	1.221	0.734	0.601	-0.001	0.675
②	140,000 ～	67	1.270	0.827	0.652	0.001	0.734
船 種		タンカー					
船型区分 (DWT)		データ 数	正規化接岸速度 V^*			$\ln V^*$	
			平均 μ	標準偏差 σ	変動係数	平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
①	～ 150,000	27	1.141	0.554	0.485	0.011	0.515
②	150,000 ～	29	1.204	0.716	0.594	-0.011	0.653
船 種		フェリー					
船型区分 (GT)		データ 数	正規化接岸速度 V^*			$\ln V^*$	
			平均 μ	標準偏差 σ	変動係数	平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
①	～ 3,800	38	1.079	0.505	0.468	-0.020	0.427
②	3,800 ～	33	1.106	0.448	0.405	0.023	0.401
船 種		自動車専用船					
船型区分 (GT)		データ 数	正規化接岸速度 V^*			$\ln V^*$	
			平均 μ	標準偏差 σ	変動係数	平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
①	～ 18,000	16	1.152	0.573	0.498	0.027	0.471
②	18,000 ～	14	1.096	0.594	0.542	-0.031	0.489

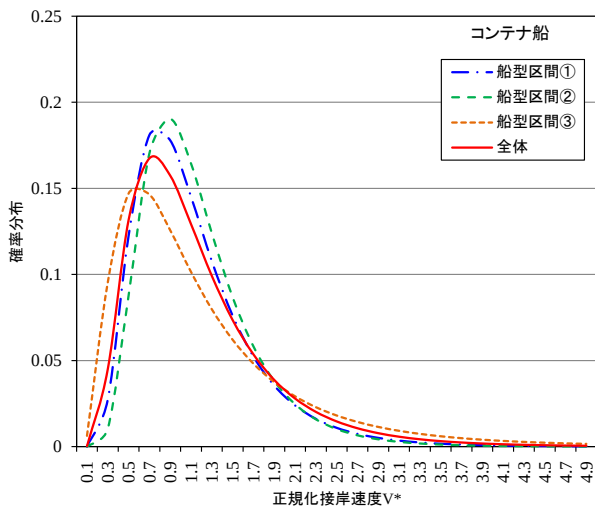


図-44(a) 船型区間別の確率分布 (コンテナ船)

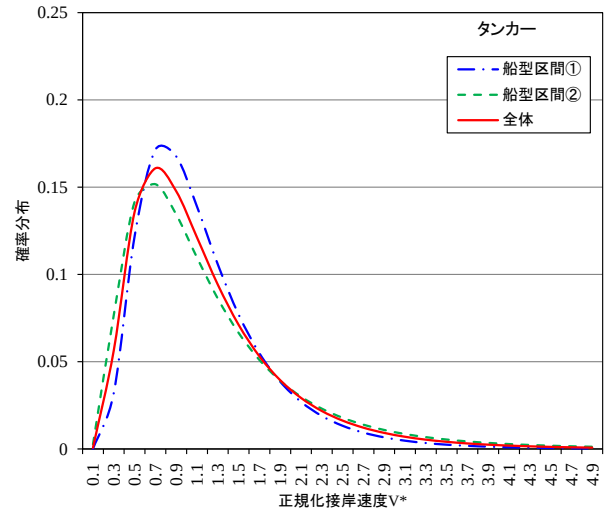


図-44(d) 船型区間別の確率分布 (タンカー)

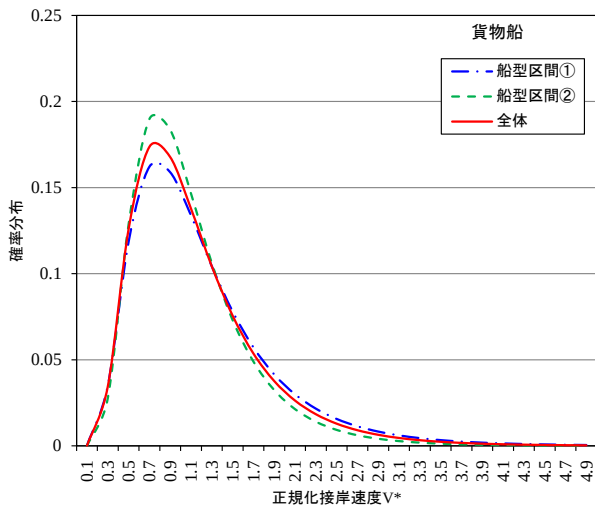


図-44(b) 船型区間別の確率分布 (貨物船)

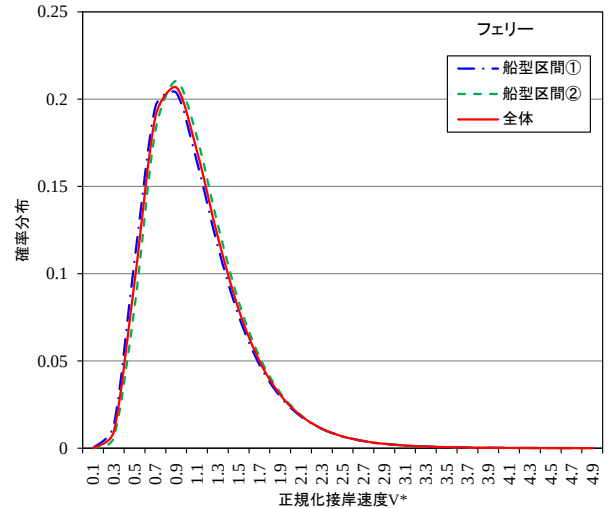


図-44(e) 船型区間別の確率分布 (フェリー)

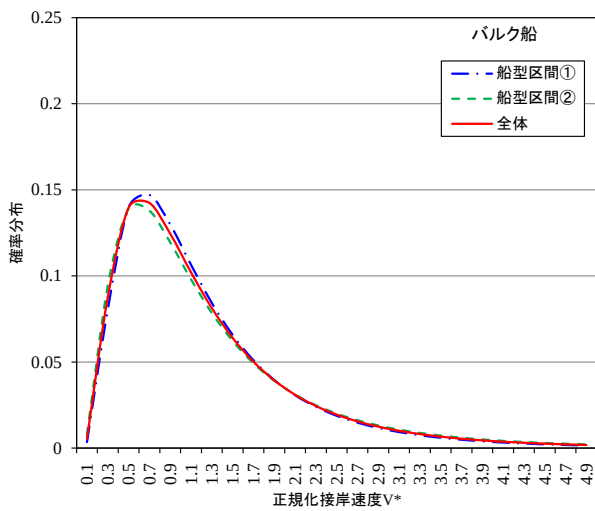


図-44(c) 船型区間別の確率分布 (バルク船)

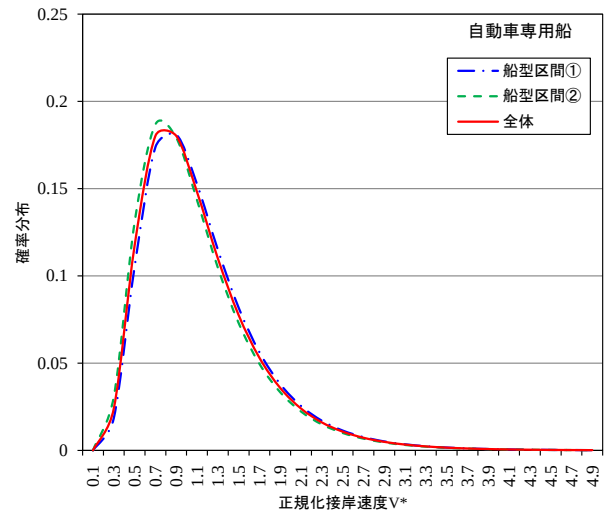


図-44(f) 船型区間別の確率分布 (自動車専用船)

(2) Q-Qプロットによる確認

正規化接岸速度 V^* の確率分布形のより詳細な検証として、船種別のQ-Qプロットによる確認を行った。図-45(a)～図-45(f)は、Q-Qプロットを船種別に示したものである。図中の横軸は接岸速度実測値から得られた V^* の値であり、縦軸は $\ln V^*$ の平均値および標準偏差より求められる理論対数正規分布によって与えられる分位値 (quantile) である。両者の値が近いほど、つまり、図中のプロットの分布が傾き1の直線に近いほど、正規化接岸速度 V^* の確率分布形に対する対数正規分布の適合性が高いことを意味する。各船種とも、分布の上方は直線より外れる傾向にあるものの、この範囲のデータ数は少なく、表-21に示すように累積確率より全データのおよそ83%～96%が直線付近に分布しているといえる。なお、表-21中には、図-45(a)～図-45(f)より、実測データが直線とほぼ一致していると判断したデータ区間を太枠線で示している。

表-21 正規化接岸速度の頻度分布

正規化接岸速度 V^* の階級	コンテナ船		貨物船		バルク船		タンカー		フェリー		自動車専用船	
	頻度	累積 確率	頻度	累積 確率	頻度	累積 確率	頻度	累積 確率	頻度	累積 確率	頻度	累積 確率
0.00 ～0.20	3	1.4%	1	0.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
0.20 ～0.40	8	5.0%	1	1.6%	14	10.1%	3	5.4%	1	1.4%	1	3.3%
0.40 ～0.60	24	15.9%	25	21.1%	17	22.5%	8	19.6%	5	8.5%	3	13.3%
0.60 ～0.80	30	29.5%	15	32.8%	22	38.4%	7	32.1%	17	32.4%	5	30.0%
0.80 ～1.00	30	43.2%	18	46.9%	10	45.7%	8	46.4%	16	54.9%	7	53.3%
1.00 ～1.20	35	59.1%	15	58.6%	7	50.7%	7	58.9%	9	67.6%	3	63.3%
1.20 ～1.40	32	73.6%	16	71.1%	18	63.8%	6	69.6%	7	77.5%	4	76.7%
1.40 ～1.60	21	83.2%	14	82.0%	12	72.5%	2	73.2%	5	84.5%	1	80.0%
1.60 ～1.80	14	89.5%	5	85.9%	9	79.0%	5	82.1%	4	90.1%	2	86.7%
1.80 ～2.00	9	93.6%	10	93.8%	9	85.5%	3	87.5%	3	94.4%	1	90.0%
2.00 ～2.20	2	94.5%	3	96.1%	3	87.7%	1	89.3%	1	95.8%	1	93.3%
2.20 ～2.40	4	96.4%	2	97.7%	2	89.1%	3	94.6%	0	95.8%	0	93.3%
2.40 ～2.60	3	97.7%	1	98.4%	5	92.8%	1	96.4%	3	100.0%	1	96.7%
2.60 ～2.80	2	98.6%	0	98.4%	2	94.2%	2	100.0%			0	96.7%
2.80 ～3.00	2	99.5%	1	99.2%	3	96.4%					1	100.0%
3.00 ～3.20	0	99.5%	1	100.0%	2	97.8%						
3.20 ～3.40	0	99.5%			2	99.3%						
3.40 ～3.60	0	99.5%			0	99.3%						
3.60 ～3.80	0	99.5%			0	99.3%						
3.80 ～4.00	1	100.0%			1	100.0%						
合 計	220		128		138		56		71		30	

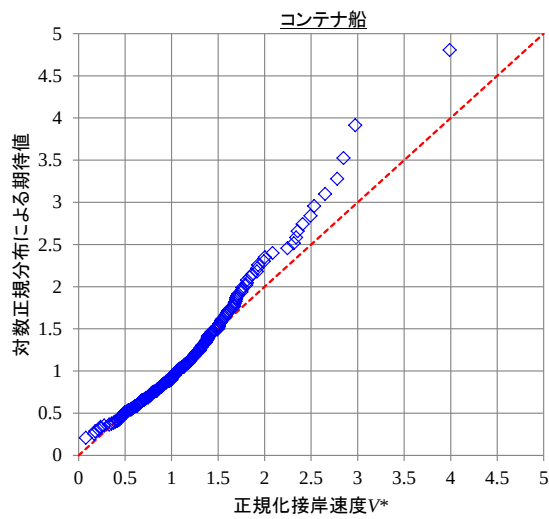


図-45(a) Q-Qプロット (コンテナ船)

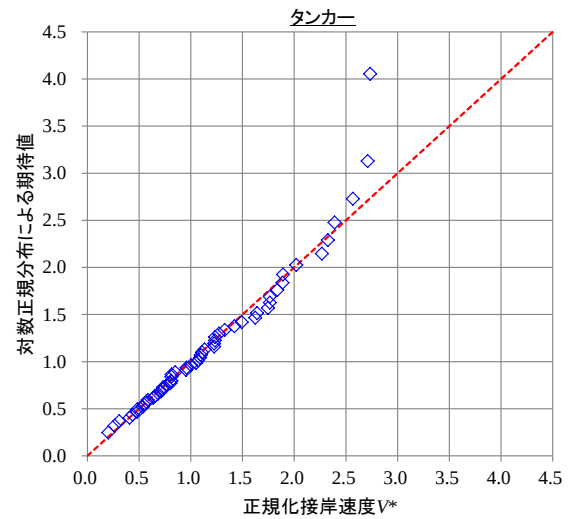


図-45(d) Q-Qプロット (タンカー)

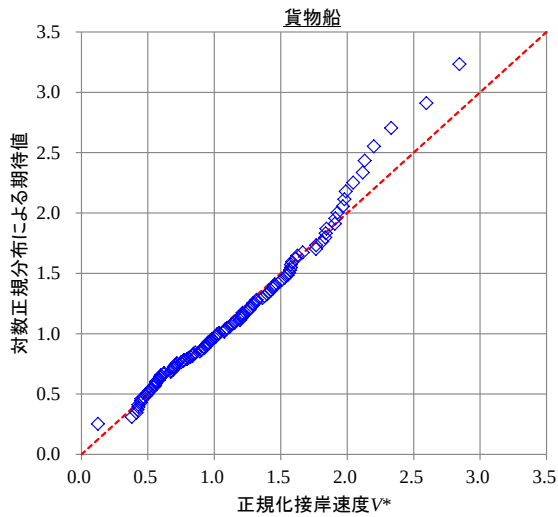


図-45(b) Q-Qプロット (貨物船)

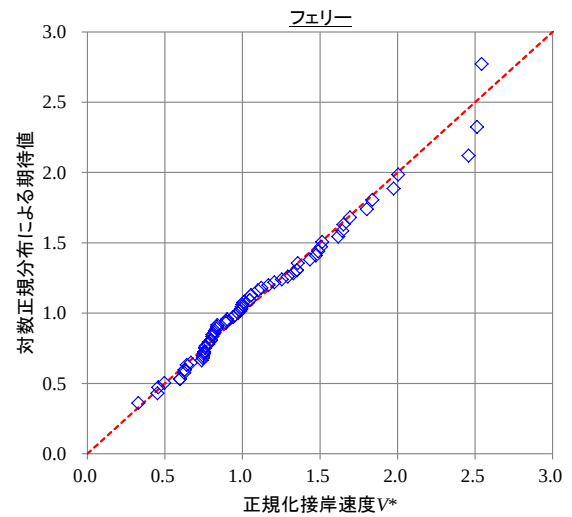


図-45(e) Q-Qプロット (フェリー)

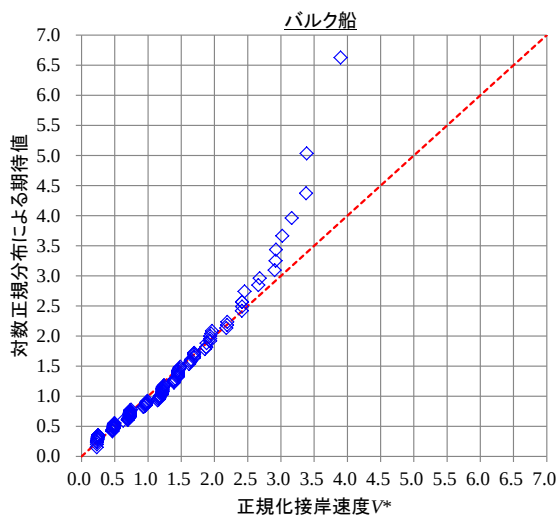


図-45(c) Q-Qプロット (バルク船)

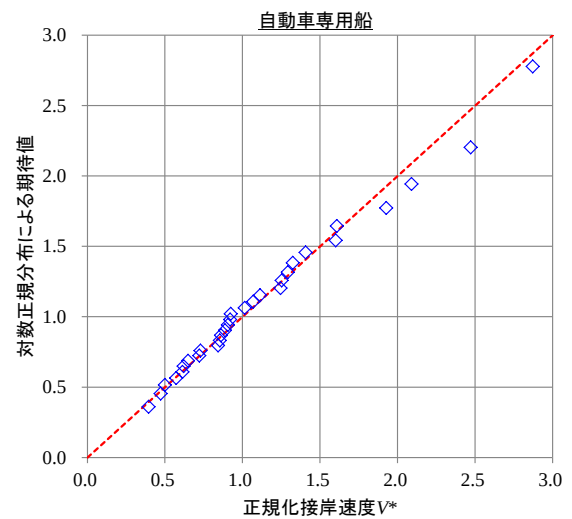


図-45(f) Q-Qプロット (自動車専用船)

(3) 適合度検定

次に、分布形状の適合性の検定手法として一般的なカイ二乗法、コルモゴロフスミルノフ (Kolmogorov-Smirnov) 法 (以下、K-S法とする)、アンダーソンダーリング (Anderson-Darling) 法 (以下、A-D法とする) による適合度検定をそれぞれ行った。なお、これらの手法のうち、特にA-D法は分布の裾の一致性に対する検定感度が高い。

各検定法の共通条件として、検定仮説は「正規化接岸速度 V^* は、 V^* の自然対数値の平均および標準偏差より与えられる理論対数正規分布に従う」こととし (表-22)、有意水準は1%および5%とした。なお、仮説検定に際しては、最終的に否定したい仮説を設定し、これを「帰無仮説」として表記することが一般的である。しかし、以下における仮説検定は、設定した仮説の妥当性を検証するものであり、検定に用いる仮説の否定を目的としたものではないため、検定に用いる仮説の表現を「検定仮説」とした。検定の目的に応じた仮説の表現に関しては、例えば文献¹⁶⁾に記載されている。

各手法における検定統計量および棄却限界値については以下で述べるが、どの手法においても検定統計量が棄却限界値以上となる場合は検定仮説が棄却されることは共通事項である。一方、検定統計量が棄却限界値未満となる場合は検定仮説が棄却されず、指定の有意水準において「 V^* は理論対数正規分布に従わないとは言えない」との結果となる。本資料ではこの場合、「仮説が採択された」と記すこととする。

表-22 検定対象の理論分布形

船種	検定対象 分布形	LN($\mu_{\ln}, \sigma_{\ln}^2$)	
		$\mu_{\ln}$	$\sigma_{\ln}$
コンテナ船	対数正規分布	0.000	0.553
貨物船	対数正規分布	0.000	0.518
バルク船	対数正規分布	0.000	0.704
タンカー	対数正規分布	0.000	0.591
フェリー	対数正規分布	0.000	0.415
自動車専用船	対数正規分布	0.000	0.480

まず、カイ二乗法における検定統計量 χ^2 は、実測データによる頻度と仮定した理論分布による期待度数より算出される (式(47))。なお、検定統計量は階級区分により値が変化し、カイ二乗法の適用において十分な結果を得るためには、一般には階級数 $N \geq 5$ および期待度数 $f_i^* \geq 5$ とすることが必要とされる。ただし、接岸速度の実測データ数が少ないフェリーおよび自動車専用船に関しては、この条件を満足することが困難であるため、最低限、階級数 N が5

となるよう階級を区分することとした。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left((f_i - f_i^*)^2 / f_i^* \right) \quad (47)$$

ここに

χ^2 : 検定統計量

f_i : 実測データに基づく階級別の観測頻度

f_i^* : 理論対数正規分布による階級別の期待度数

N : 階級数

階級区分と各度数、また、カイ二乗法による検定結果を表-23に示す。このうち、棄却限界値は自由度 $N-1$ のカイ二乗分布より求められ、分布の上側確率が有意水準と同じとなるパーセント点である。これによると、有意水準1%および5%で、バルク船、タンカー、自動車専用船については仮説が採択された。

次に、K-S法における検定統計量 D は、式(48)より求められる。ただし、このときの $V^*_{*1}, V^*_{*2}, \dots, V^*_{*k}, \dots, V^*_{*n}$ は、正規化接岸速度を昇順に順序づけたものである。また、棄却限界値は、有意水準に応じて式(49)および式(50)のとおり求められる。K-S法による検定結果を表-24に示す。検定の結果、船種を問わず、有意水準1%および5%で仮説が採択された。

$$D = \max_{1 \leq k \leq n} |S(V^*_{*k}) - F(V^*_{*k})| \quad (48)$$

ここに

D : 検定統計量

$S(V^*_{*k})$: V^*_{*k} に対する計測データの累積確率 ($= k / n$)

$F(V^*_{*k})$: V^*_{*k} に対する理論対数正規分布の累積確率

n : 実測データ数

$$\text{有意水準1\% : } 1.62 / \sqrt{n} \quad (49)$$

$$\text{有意水準5\% : } 1.36 / \sqrt{n} \quad (50)$$

最後に、A-D法による検定結果を示す。A-D法の検定統計量は式(51)より求められ、式(52)によってデータ数の影響を考慮した補正を行う。また、棄却限界値 C_α は式(53)および式(54)より求められる。なお、式(52)～式(54)は、検定対象の理論分布が正規分布である場合の式である。これらに対数正規分布の検定に用いる場合、正規化接岸速度 V^* の自然対数値を変量と考えればよい。すなわち、A-D法に関しては、 $\ln V^*$ に対する正規分布の適合性を検定した。A-D法による検定結果を表-25に示す。検定の結果、貨物船、タンカー、フェリー、自動車専用船では、有意水準1%お

よび5%で仮説が採択された。

$$A^2 = -S - n \quad (51)$$

$$S = \sum_{k=1}^n \left[\frac{(2k-1)}{n} \left\{ \ln(F(V_k^*)) + \ln(1 - F(V_{n+1-k}^*)) \right\} \right]$$

$$A^* = A^2 (1 + 0.75/n + 2.25/n^2) \quad (52)$$

ここに

A^2 : 検定統計量

A^* : データ数による修正検定量

$$\text{有意水準1\% : } 1.0348 (1 - 1.013/n - 0.93/n) \quad (53)$$

$$\text{有意水準5\% : } 0.7514 (1 - 0.795/n - 0.89/n) \quad (54)$$

上記の3手法の全てで仮説が採択、つまり、指定した有意水準において正規化接岸速度が対数正規分布に従うという仮説が棄却されなかったのは、タンカーおよび自動車専用船のみである。一方、コンテナ船、貨物船、バルク船、フェリーに関しては、1手法または2手法において仮説が採択された。なお、本検定は、取得している標本データに対する分布の当てはめの妥当性を評価するものであり、仮定した理論分布の真否を判断するものではない。前述のとおり、全ての検定手法で対数正規分布による当てはめが棄却された船種は無く、正規化接岸速度の分布に対する理論対数正規分布の当てはめは、ある程度妥当なものであると判断できる。

表-23 カイ二乗法における検定統計量と検定結果

船 種	コンテナ船			船 種	貨物船		
正規化接岸速度 V^*	観測度数 f	期待度数 f^*	$\frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}$	正規化接岸速度 V^*	観測度数 f	期待度数 f^*	$\frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}$
0.00 ~ 0.50	25	13.72	9.26	0.00 ~ 0.50	12	5.48	7.78
0.50 ~ 1.00	70	92.40	5.43	0.50 ~ 1.00	48	56.34	1.24
1.00 ~ 1.50	74	58.51	4.10	1.00 ~ 1.50	37	35.95	0.03
1.50 ~ 2.00	37	27.17	3.55	1.50 ~ 2.00	23	15.71	3.38
2.00 ~ 2.50	8	12.04	1.35	2.00 ~	8	14.52	2.93
2.50 ~	6	16.15	6.38				
合 計	220	220.00	30.08	合 計	128	128.00	15.35
有意水準1%	棄却限界値		15.09	有意水準1%	棄却限界値		13.28
	検定結果		棄却		検定結果		棄却
有意水準5%	棄却限界値		11.07	有意水準5%	棄却限界値		9.49
	検定結果		棄却		検定結果		棄却
船 種	バルク船			船 種	タンカー		
正規化接岸速度 V^*	観測度数 f	期待度数 f^*	$\frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}$	正規化接岸速度 V^*	観測度数 f	期待度数 f^*	$\frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}$
0.00 ~ 0.50	31	22.52	3.19	0.00 ~ 0.51	7	5.21	0.61
0.50 ~ 1.00	32	47.95	5.30	0.51 ~ 1.02	20	22.75	0.33
1.00 ~ 1.50	37	29.74	1.77	1.02 ~ 1.53	14	13.90	0.00
1.50 ~ 2.00	18	16.29	0.18	1.53 ~ 2.04	9	6.68	0.81
2.00 ~ 2.50	10	8.95	0.12	2.04 ~	6	7.46	0.29
2.50 ~ 3.00	5	5.07	0.00				
3.00 ~	5	7.48	0.83				
合 計	138	138.00	11.40	合 計	56	56.00	2.04
有意水準1%	棄却限界値		16.81	有意水準1%	棄却限界値		13.28
	検定結果		採択		検定結果		採択
有意水準5%	棄却限界値		12.59	有意水準5%	棄却限界値		9.49
	検定結果		採択		検定結果		採択
船 種	フェリー			船 種	自動車専用船		
正規化接岸速度 V^*	観測度数 f	期待度数 f^*	$\frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}$	正規化接岸速度 V^*	観測度数 f	期待度数 f^*	$\frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}$
0.00 ~ 0.50	4	0.52	23.38	0.00 ~ 0.50	3	0.77	6.43
0.50 ~ 1.00	35	35.77	0.02	0.50 ~ 1.00	13	13.89	0.06
1.00 ~ 1.50	19	23.62	0.90	1.00 ~ 1.50	8	8.95	0.10
1.50 ~ 2.00	9	7.86	0.17	1.50 ~ 2.00	3	3.61	0.10
2.00 ~	4	3.23	0.18	2.00 ~	3	2.78	0.02
合 計	71	71.00	24.65	合 計	30	30.00	6.71
有意水準1%	棄却限界値		13.28	有意水準1%	棄却限界値		13.28
	検定結果		棄却		検定結果		採択
有意水準5%	棄却限界値		9.49	有意水準5%	棄却限界値		9.49
	検定結果		棄却		検定結果		採択

表-24 K-S 法における検定統計量と検定結果

船 種	検定統計量 D	棄却限界値		検定結果	
		有意水準1%	有意水準5%	有意水準1%	有意水準5%
コンテナ船	0.075	0.110	0.092	採択	採択
貨物船	0.051	0.144	0.120	採択	採択
バルク船	0.112	0.139	0.116	採択	採択
タンカー	0.046	0.218	0.182	採択	採択
フェリー	0.087	0.193	0.161	採択	採択
自動車専用船	0.098	0.298	0.248	採択	採択

表-25 A-D 法における検定統計量と検定結果

船 種	検定統計量 A*	棄却限界値		検定結果	
		有意水準1%	有意水準5%	有意水準1%	有意水準5%
コンテナ船	1.885	1.030	0.749	棄却	棄却
貨物船	0.575	1.027	0.747	採択	採択
バルク船	1.851	1.027	0.747	棄却	棄却
タンカー	0.245	1.016	0.741	採択	採択
フェリー	0.499	1.020	0.743	採択	採択
自動車専用船	0.168	0.999	0.731	採択	採択

4.5 全船種を包括した回帰分析結果

第3章および4.3では、接岸速度と船型との関係を船種別に分けて整理し、回帰分析を行った。本節では、参考として、船種の区分なく、全船種の全データを用いて実測データおよび設計接岸速度の整理、また、回帰分析を行った結果を示す。なお、これらの結果の取扱いには、十分注意を要するが、船種に関係なく全体的な傾向を把握することも重要であると判断し、結果を提示するものである。

全船種の全実測データを図-46に、設計接岸速度を図-47に示す。なお、図-47中に示す設計接岸速度は、バルク船、タンカー、LNG船に関しては実測対象バースにおける設計接岸速度であり、コンテナ船、貨物船、フェリーに関しては設計接岸速度の採用事例である。

回帰分析結果を式(55)～式(60)および図-48に示す。この回帰分析には全船種の全実測データを用いており、タンカーの実測データも含んでいる。また、回帰式の適用範囲は、約1,000～327,000DWTである。図-49には、設計接岸速度との関係性を示しており、図中のハッチングは図-47における設計接岸速度の分布範囲を示すものである。

設計接岸速度の分布範囲を回帰分析結果と比較すると、1,000 DWT～5,000DWTの範囲で75%～99%程度、5,000 DWT～100,000DWTの範囲で75%～98%程度、100,000 DWT～150,000DWTの範囲で90%～98%程度、150,000 DWT～327,000DWTの範囲で90%～99%程度の信頼水準にあたることがわかる。

$$\text{カバー率50\% : } V = 0.149 \cdot DWT^{-0.102} \quad (55)$$

$$\text{カバー率75\% : } V = 0.222 \cdot DWT^{-0.102} \quad (56)$$

$$\text{カバー率90\% : } V = 0.319 \cdot DWT^{-0.102} \quad (57)$$

$$\text{カバー率95\% : } V = 0.395 \cdot DWT^{-0.102} \quad (58)$$

$$\text{カバー率98\% : } V = 0.504 \cdot DWT^{-0.102} \quad (59)$$

$$\text{カバー率99\% : } V = 0.592 \cdot DWT^{-0.102} \quad (60)$$

次に、船種別の検討と同じく、式(46)による正規化接岸速度の分布形を確認した。図-50に正規化接岸速度と載貨重量トン数の関係を、図-51に正規化接岸速度の確率分布を示す。この確率分布は対数正規分布とよく一致するようにみられた。また、図-52のQ-Qプロットをみると、船種別のQ-Qプロットと同様に、分布の上方は直線より外れる傾向にあるが、表-26に示すように全データの約94%は直線付近に分布している。このとき、対数正規分布形状の設定に用いた $\ln V^*$ の平均値および標準偏差は、それぞれ0.000、0.593であり、これらの値は、全実測データより算出したものである。ここで、表-27に示すように、船型を4つの区間に分け、各区間における $\ln V^*$ の統計量を整理すると、特に

大型の船型区間の標準偏差に違いはあるものの比較的近い値となった。また、図-53は、各区間の統計量から得られる対数正規分布を比較して示したものである。この図から、各区間別の対数正規分布も近い形状となっていることがわかる。

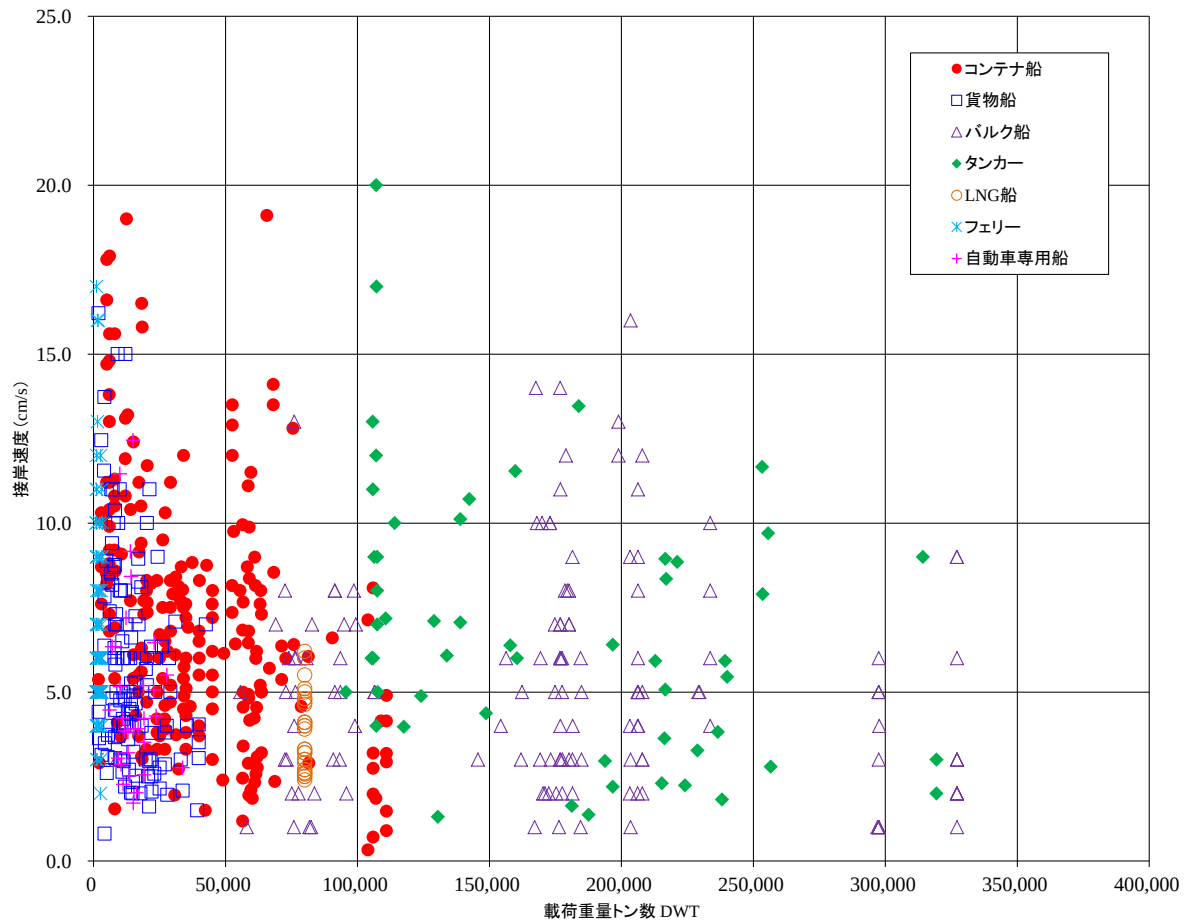


図-46 接岸速度の実測値（全船種）

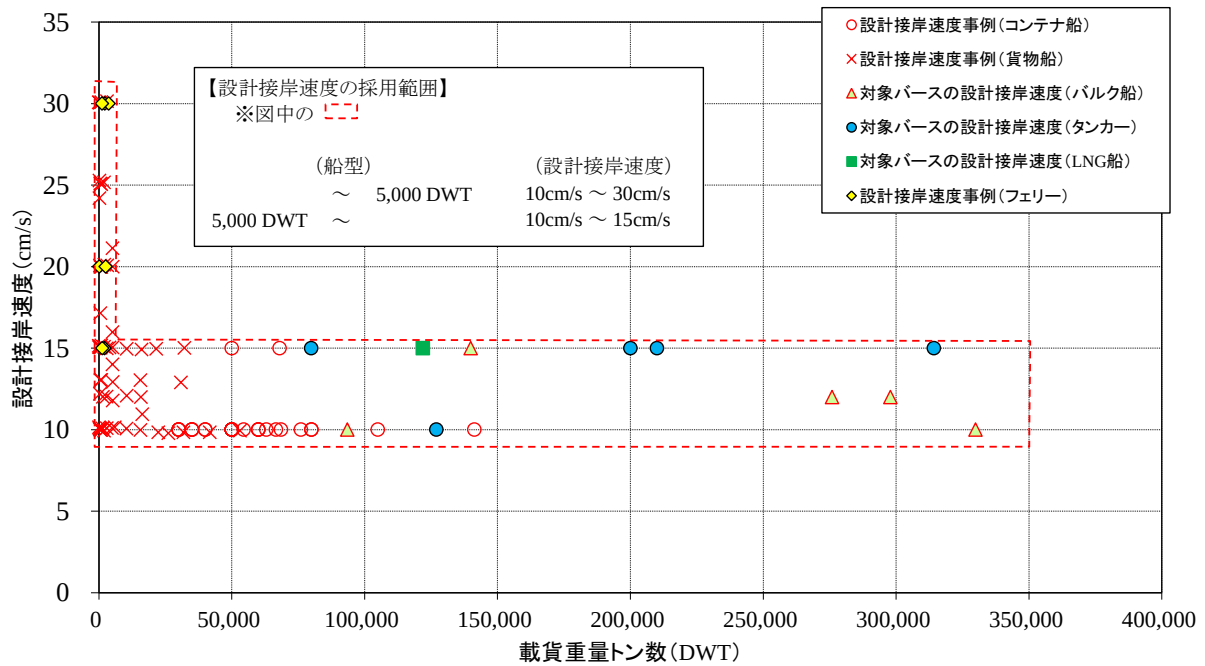


図-47 設計接岸速度の分布（全船種）

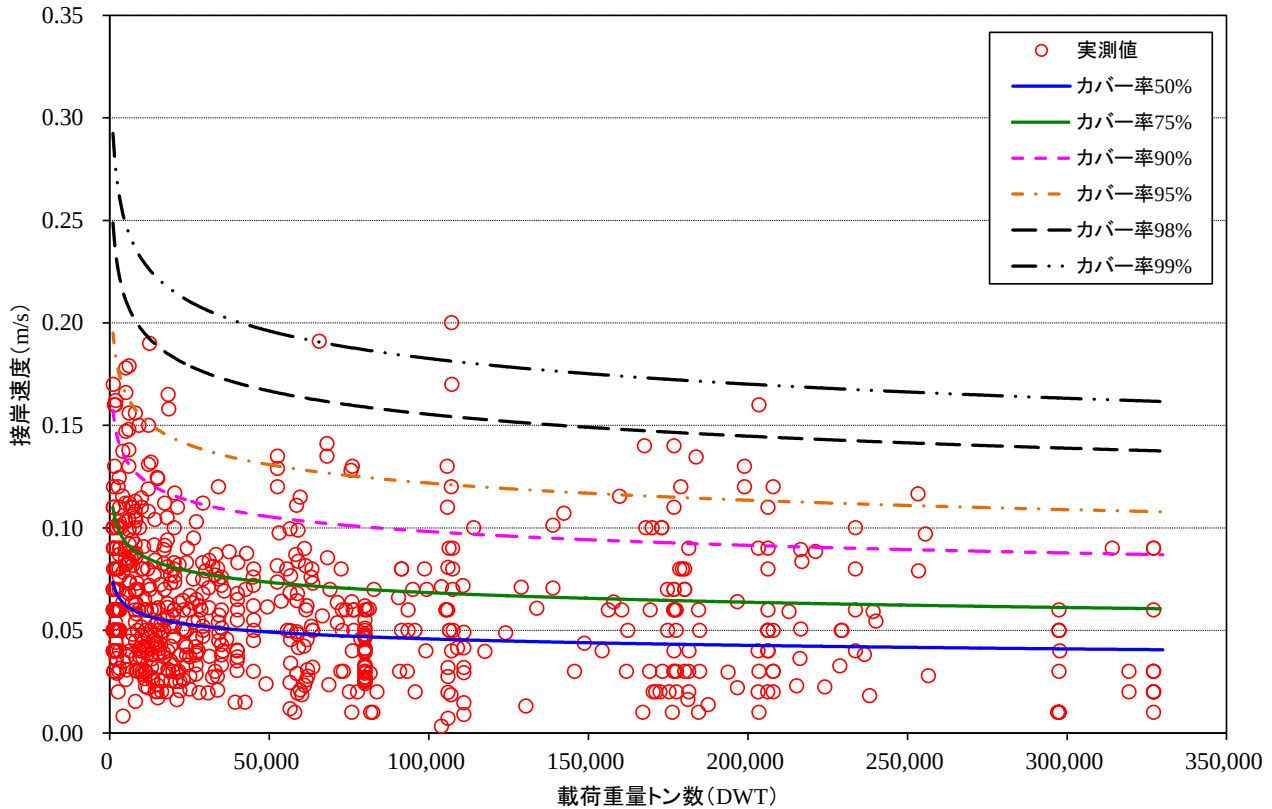


図-48 カバー率別の接岸速度と船型の関係（全船種）

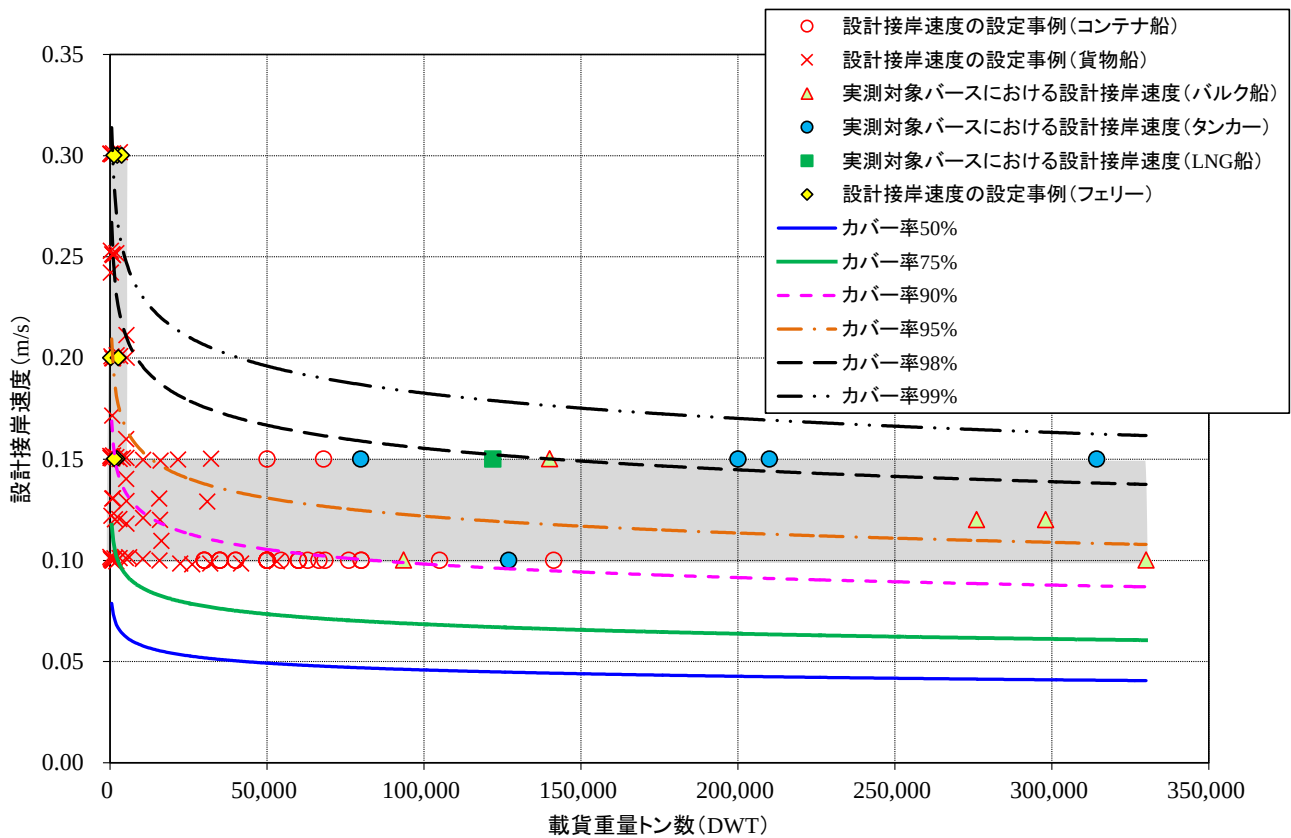


図-49 設計接岸速度との関係（全船種）

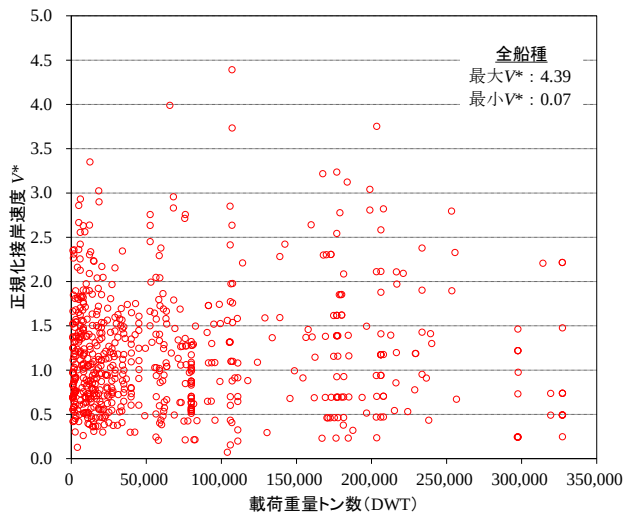


図-50 正規化接岸速度と船型の関係（全船種）

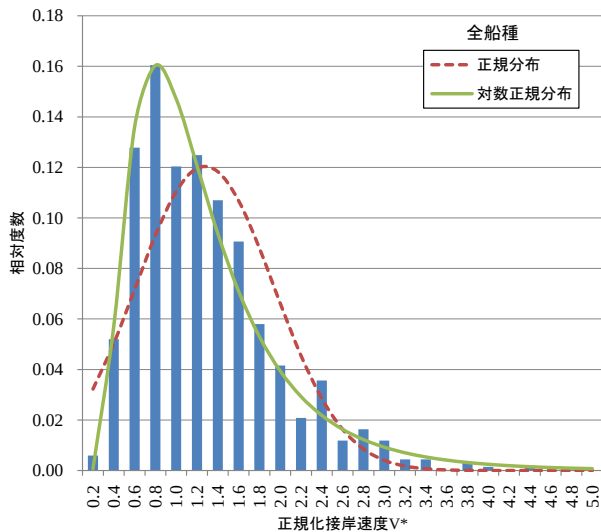


図-51 正規化接岸速度の分布形（全船種）

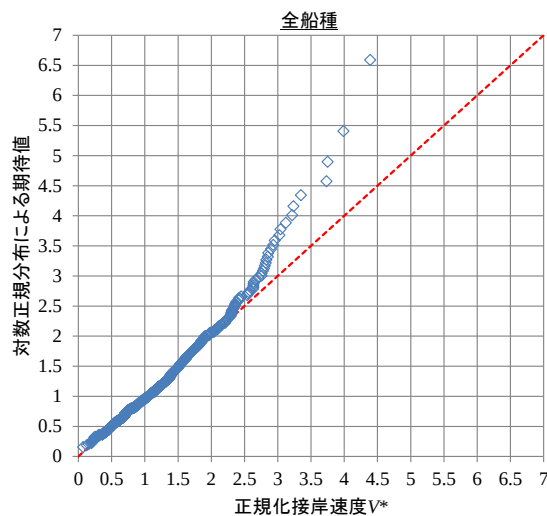


図-52 Q-Qプロット（全船種）

表-26 正規化接岸速度の頻度分布（全船種）

正規化接岸速度 V^* の階級	全船種	
	頻度	累積確率
0.00 ～ 0.20	4	0.6%
0.20 ～ 0.40	35	5.8%
0.40 ～ 0.60	86	18.6%
0.60 ～ 0.80	108	34.6%
0.80 ～ 1.00	81	46.7%
1.00 ～ 1.20	84	59.1%
1.20 ～ 1.40	72	69.8%
1.40 ～ 1.60	61	78.9%
1.60 ～ 1.80	39	84.7%
1.80 ～ 2.00	28	88.9%
2.00 ～ 2.20	14	90.9%
2.20 ～ 2.40	24	94.5%
2.40 ～ 2.60	8	95.7%
2.60 ～ 2.80	11	97.3%
2.80 ～ 3.00	8	98.5%
3.00 ～ 3.20	3	99.0%
3.20 ～ 3.40	3	99.4%
3.40 ～ 3.60	0	99.4%
3.60 ～ 3.80	2	99.7%
3.80 ～ 4.00	1	99.9%
4.00 ～ 4.20	0	99.9%
4.20 ～ 4.40	1	100.0%
合 計	673	

表-27 船型区分別の統計量（全船種）

船型区分 (DWT)		デー タ 数	$\ln V^*$	
			平均 $\mu_{\ln}$	標準偏差 $\sigma_{\ln}$
①	～ 11,000	170	0.037	0.518
②	11,000 ～ 35,000	169	-0.041	0.521
③	35,000 ～ 105,000	162	-0.034	0.595
④	105,000 ～	172	0.036	0.711

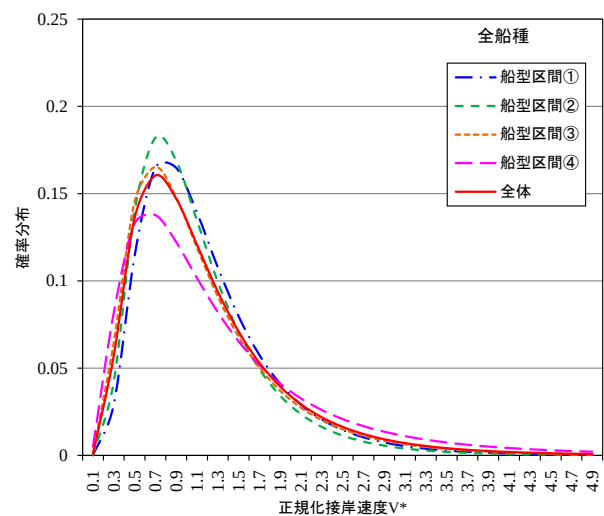


図-53 船型区間別の確率分布（全船種）

5. おわりに

1.2に示した基準・同解説の次期改訂に向けての課題に対し、本研究では以下の成果を得た。

- ・ 現時点で収集できる全てのデータを用いて、接岸速度の実測値と船型の関係を船種別に整理した。
- ・ 最新の計測データの収集により、より広範囲の船型に対する実測データを整理した。
- ・ バルク船およびLNG船に関する接岸速度と船型の関係を新たに整理した。これらの船種の実測データは、現行の基準・同解説には記載されていない。
- ・ 接岸速度と船型の回帰式を信頼水準（カバー率）別に作成し、その回帰式の分布と比較することで、設計接岸速度の信頼水準を試行的に評価した。その結果、どの船種においても船型が小さいほど信頼水準も小さい傾向にあるが、最低でも75%程度、概ね90%以上の信頼水準にあたり、わが国で使用されている設計接岸速度はある程度高い信頼水準を有していることがわかった。

なお、本研究では、接岸速度の実測データを船種別に整理・分析したが、計測地、施設諸元（計画水深、対象船舶、設計接岸速度）、計測時期、接岸方法等の違いは十分に考慮していない。接岸速度と船型との純粋な関係性を把握するためには、これらの条件を明確にする必要があるが、既往の調査結果より各種条件を特定することは困難である。そのため、今後の接岸速度の計測においては、これらの情報も同時に蓄積していく必要があると考えられる。

また、本研究の対象外であるRORO船、LPG船、旅客船といった船種に関しては、接岸速度の実測結果が確認されていない。今後、これらの船種に関する接岸速度の実測も必要と考えられる。

(2015年8月31日受付)

謝辞

本資料をとりまとめるにあたり、北海道科学大学の白石悟教授には、計測データが内包する条件（例えば、計測施設の設計接岸速度）の重要性についてご指摘を頂いた。また、国土交通省港湾局技術監理室より船舶接岸に関する基礎データをご提供頂いた。既往データの収集・整理においては、港湾施設研究室非常勤職員の海老沼京子氏に協力頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 2) 井上 岳，赤倉康寛：貨物船・コンテナ船・タンカーの船舶諸元分析に関する基礎的研究，国土技術政策総合研究所資料，No.600，2010.
- 3) 溝口正仁，中山種清：船舶接岸力調査，港湾技術研究所資料，No.170，1973.
- 4) 大谷博包，上田 茂，市川 建，杉原賢正：大型タンカーの接岸力調査，港湾技術研究所資料，No.176，1974.
- 5) 守屋義一，吉田行秀，伊勢 博，宮崎和行，杉浦 淳：船舶の接岸速度に関する現地調査，海岸工学論文集，第38巻，pp.751-755，1991.
- 6) 上田 茂，梅村 亮，白石 悟，山本修司，赤倉康寛，山瀬晴義：統計的手法による船舶接岸用防舷材の設計に関する研究，海岸工学論文集，第47巻，pp.866-870，2000.
- 7) 山瀬晴義，上田 茂，岡田達彦，荒井章之，清水謙太郎：実測接岸速度の特性と船舶接岸用防舷材設計への適用，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol.69，No.2，pp.I_67-I_72，2013.
- 8) Seigi Yamase, Shigeru Ueda, Tatsuhiko Okada, Akiyuki Arai and Kentaro Shimizu: CHARACTERISTICS OF MEASURED BERTHING VELOCITY AND THE APPLICATION FOR FENDER DESIGN OF BERTHING SHIP, PIANC World Congress San Francisco, USA, 2014.
- 9) 上田 茂：大型タンカーの接岸力に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.20，No.2，1981.
- 10) Shigeru Ueda, Toshihiro Hirano, Satoru Shiraishi, Seigi Yamase: Reliability Design Method Of Fender For Berthing Ship, Proc. of the 30th PIANC, pp.692-707，2002.
- 11) 上田 茂，大井栄二郎：港湾の係留施設における防衝工の設計について，港湾技術研究所資料，No.596，1987.
- 12) 堀家 正，春日井康夫：ケーソン式係船岸の構造諸元の統計的分析，港湾技術研究所資料，No.702，1991.
- 13) 運輸省：シーバース構造集覧（4）～（8），1972.
- 14) 運輸省：カーフェリー施設集覧（1）～（4），1973.
- 15) 高橋宏直，後藤文子，安部智久：統計解析による船舶諸元に関する研究－船舶の主要諸元の計画基準(案)－，国土技術政策総合研究所研究報告，No.28，2006.
- 16) 綾 皓二郎：統計的仮説検定において学習者の理解を難しくする幾つかの要因の検討，PC Conference，2014.

付録 A 接岸速度実測値の収集データ一覧

次頁以降に、本研究で収集した接岸速度の実測データを、
計測地・施設諸元（計画水深，対象船舶，設計接岸速度）・
計測方法・接岸方法等の情報も併せ，船種別に一覧表で示
す．

付表 A-1 接岸速度の実測データ一覧（コンテナ船 1/3）

No.	港湾・地区名	埠頭・バース・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)		設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果						備考 (計測方法等)	出典	データの 種類			
							計測日	接岸船型	計測接岸速度 (cm/s)			接岸角度 (°)						
1	A港	バースNo.1	13.5	68,500	DWT	10.0			2008/8/29	63.645	DWT	7.3	船尾	5.2	7.3	2.2	斜め	レーザー距離計による 計測
2							2008/9/2	63.645	DWT			5.0	5.0	0.0	水平			
3							2008/9/8	66.654	DWT			5.7	5.7	0.0	水平			
4							2008/9/22	68.087	DWT	13.5	船首	5.7	13.5	0.6	斜め			
5							2008/9/25	63.645	DWT			3.2	3.2	0.1	水平			
6							2008/9/27	63.645	DWT			5.0	5.0	0.0	水平			
7	バースNo.2	15.0	63,000	DWT	10.0	2008/1/29	63.216	DWT			5.2	5.2	0.0	水平	レーザー距離計による 計測			
8						2008/2/14	63.126	DWT	7.6	船首	6.0	7.6	0.5	斜め				
9						2008/2/19	63.388	DWT	8.0	船首	5.2	8.0	1.2	斜め				
10						2008/2/20	55.515	DWT	8.0	船首	6.1	8.0	0.8	斜め				
11						2008/2/29	75.898	DWT			6.4	6.4	0.0	水平				
12	バースNo.3	13.5	68,500	DWT	10.0	2011/2/16	58.811	DWT	6.8	船首	4.2	6.8						
13	横浜港	A埠頭 B埠頭 C埠頭	記載無し	記載無し	記載無し	12月下旬 ～ 3月下旬		6.078	DWT				17.9			岸壁上に設置した変位 計を用いて計測 (インダクタンス式変位 計)	海岸工学論文集、 第38巻『船舶の接 岸速度に関する現 地調査』(1991, 守 屋ら) ↓ 海岸工学論文集、 第47巻『統計的方 法による船舶接岸 用防舷材の設計』 (2000, 上田ら)	グラフからの 読み取り値 ※1991年の 調査結果を用 いて作成され たコンテナ船 DWTと接岸速 度の関係図 (2000年)より
14								5.031	DWT				17.8					
15								3.009	DWT				7.6					
16								3.012	DWT				8.7					
17								3.017	DWT				10.1					
18								3.017	DWT				10.3					
19								5.010	DWT				11.2					
20								6.057	DWT				11.2					
21								6.002	DWT				10.4					
22								6.053	DWT				9.9					
23								6.050	DWT				9.2					
24								5.997	DWT				8.8					
25								6.048	DWT				8.4					
26								4.949	DWT				8.5					
27								5.000	DWT				8.2					
28								4.955	DWT				10.3					
29								6.044	DWT				7.3					
30								6.043	DWT				6.8					
31								8.033	DWT				6.9					
32								8.080	DWT				5.4					
33								9.071	DWT				4.1					
34								7.988	DWT				9.2					
35								7.992	DWT				10.5					
36								7.993	DWT				10.8					
37								7.994	DWT				11.3					
38								6.010	DWT				13.0					
39								5.961	DWT				13.8					
40								6.016	DWT				14.8					
41								5.021	DWT				14.7					
42								6.071	DWT				15.6					
43								5.027	DWT				16.6					
44								8.061	DWT				15.6					
45								12.136	DWT				13.1					
46								12.974	DWT				13.2					
47								12.080	DWT				11.9					
48								12.076	DWT				10.8					
49								14.117	DWT				10.4					
50								15.119	DWT				12.4					
51								17.209	DWT				11.2					
52								18.093	DWT				9.4					
53								14.004	DWT				7.7					
54								15.151	DWT				6.1					
55								15.096	DWT				5.4					
56								16.035	DWT				4.3					
57								17.032	DWT				5.0					
58								17.086	DWT				5.5					
59								18.133	DWT				5.6					
60								18.188	DWT				6.3					
61								19.081	DWT				7.3					
62								19.082	DWT				7.7					
63								20.130	DWT				8.0					
64								20.184	DWT				8.3					
65								20.176	DWT				6.0					
66								20.172	DWT				4.7					
67								20.063	DWT				3.3					
68								18.230	DWT				3.1					
69								17.080	DWT				3.7					
70								29.198	DWT				11.2					
71								27.154	DWT				10.3					
72								24.058	DWT				8.3					
73								26.261	DWT				9.5					
74								29.137	DWT				8.3					
75								29.134	DWT				7.5					
76								29.184	DWT				6.8					
77								30.078	DWT				7.9					
78								31.179	DWT				8.4					
79								26.202	DWT				7.5					
80								25.100	DWT				6.7					
81								25.045	DWT				6.0					
82								24.100	DWT				5.0					
83								24.045	DWT				4.2					
84								24.096	DWT				3.8					
85								24.094	DWT				3.3					
86								25.090	DWT				3.7					
87								26.195	DWT				5.4					
88								27.141	DWT				6.5					
89								28.083	DWT				6.2					
90								27.030	DWT				4.6					
91								26.977	DWT				4.2					
92								27.238	DWT				3.9					
93								27.026	DWT				3.3					
94								29.177	DWT				4.7					
95								29.231	DWT				5.2					
96								31.067	DWT				6.1					
97								33.009	DWT				7.7					
98								34.108	DWT				7.5					
99								34.998	DWT				7.6					
100								35.049	DWT				7.2					

海岸工学論文集、
第38巻『船舶の接
岸速度に関する現
地調査』(1991, 守
屋ら)
↓
海岸工学論文集、
第47巻『統計的手
法による船舶接岸
用防舷材の設計
に関する研究』
(2000, 上田ら)

グラフからの
読み取り値
※1991年の
調査結果を用
いて作成され
たコンテナ船
DWTと接岸速
度の関係図
(2000年)より

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析
/ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男

付表 A-2 接岸速度の実測データ一覧（コンテナ船 2/3）

No.	港湾・地区名	埠頭・バース・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計接岸速度 (cm/s)	計測日	計測結果				備考 (計測方法等)	出典	データの種類	
							接岸船型	計測接岸速度 (cm/s)						接岸角度 (°)
								初期接触	着岸	採用				
101	"	"	"	"	"	"	35,046 DWT			6.0	"	"	"	
102							34,101 DWT			5.4				
103							35,095 DWT			5.1				
104							35,040 DWT			4.3				
105							35,038 DWT			3.8				
106							35,037 DWT			3.3				
107							34,151 DWT			4.5				
108							40,116 DWT			3.7				
109							39,961 DWT			4.0				
110							40,018 DWT			5.5				
111							40,072 DWT			6.0				
112							40,022 DWT			6.8				
113							40,184 DWT			8.3				
114							45,104 DWT			8.0				
115							44,998 DWT			7.6				
116							45,049 DWT			7.2				
117							45,046 DWT			6.2				
118							45,096 DWT			5.5				
119							45,095 DWT			5.0				
120							45,093 DWT			4.5				
121	45,088 DWT			3.0										
122	40,021 DWT			6.5										
123	Japan Port No.1 (J1)	記載無し (コンテナバース)	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し	10,400 DWT			3.7	※岸壁法線に対して水平に停止した後、緩やかに接岸されている。 ※船型に応じてタグポート・スラスターの使用数が規定されている。 ※レーザー距離計による計測	【日本語論文】海洋開発論文集 Vol.69, No.2『実測接岸速度の特性と船舶接岸用防舷材設計への適用』(山瀬ら,2013) ↓ 【英語論文】PIANC World Congress San Francisco ,USA 2014『CHRACTERISTICS OF MEASURED BERTHING VELOCITY AND THE APPLICATION FOR FENDER DESIGN OF BERTHING SHIP』	グラフからの読み取り値 ※英語論文と日本語論文でグラフが若干異なる。 ※最新の英語論文内のグラフより読み取り	
124							10,600 DWT			9.1				
125							30,800 DWT			2.0				
126							32,200 DWT			2.7				
127							31,300 DWT			3.7				
128							35,900 DWT			6.9				
129							32,300 DWT			8.1				
130							42,400 DWT			1.5				
131							49,000 DWT			2.4				
132							56,500 DWT			1.2				
133							56,500 DWT			2.5				
134							56,700 DWT			3.4				
135							56,700 DWT			4.6				
136							56,700 DWT			5.0				
137							58,900 DWT			1.9				
138							58,700 DWT			2.9				
139							59,200 DWT			4.2				
140							58,700 DWT			4.9				
141							49,400 DWT			6.1				
142							42,900 DWT			8.8				
143							56,500 DWT			6.8				
144							56,700 DWT			7.7				
145							56,500 DWT			10.0				
146							58,700 DWT			6.5				
147							59,100 DWT			8.4				
148							58,600 DWT			11.1				
149							61,100 DWT			2.3				
150							61,600 DWT			2.6				
151							62,100 DWT			2.8				
152							62,000 DWT			3.1				
153							60,900 DWT			4.2				
154							61,800 DWT			4.5				
155							61,800 DWT			6.2				
156							61,100 DWT			9.0				
157							68,300 DWT			8.5				
158							75,600 DWT			12.8				
159							104,000 DWT			0.3				
160							106,000 DWT			0.7				
161							107,000 DWT			1.9				
162							106,000 DWT			2.0				
163							106,000 DWT			2.7				
164							106,000 DWT			3.2				
165							109,000 DWT			4.1				
166							111,000 DWT			0.9				
167							111,000 DWT			1.5				
168							111,000 DWT			2.9				
169							111,000 DWT			3.2				
170							111,000 DWT			4.1				
171							111,000 DWT			4.9				
172							104,000 DWT			7.1				
173							106,000 DWT			8.1				
174	Japan Port No.2 (J2)	記載無し (コンテナバース)	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し	2,230 DWT			2.9	※レーザー距離計による計測	【日本語論文】海洋開発論文集 Vol.69, No.2『実測接岸速度の特性と船舶接岸用防舷材設計への適用』(山瀬ら,2013) ↓ 【英語論文】PIANC World Congress San Francisco ,USA 2014『CHRACTERISTICS OF MEASURED BERTHING VELOCITY AND THE APPLICATION FOR FENDER DESIGN OF BERTHING SHIP』	グラフからの読み取り値 ※英語論文と日本語論文でグラフが若干異なる。 ※最新の英語論文内のグラフより読み取り	
175							1,890 DWT			5.4				
176							8,060 DWT			1.5				
177							8,230 DWT			8.6				
178							18,500 DWT			3.0				
179							18,200 DWT			6.1				
180							17,300 DWT			9.1				
181							18,000 DWT			10.5				
182							18,500 DWT			15.8				
183							18,300 DWT			16.5				
184							12,500 DWT			19.0				
185							20,400 DWT			7.4				
186							20,400 DWT			7.7				
187							21,800 DWT			8.2				
188							20,400 DWT			11.7				
189							36,700 DWT			4.6				
190							34,300 DWT			4.9				
191							34,300 DWT			5.7				
192							33,800 DWT			8.0				
193							33,300 DWT			8.7				
194							34,100 DWT			12.0				
195							37,400 DWT			8.8				
196							53,800 DWT			6.4				
197							52,500 DWT			7.4				
198							52,500 DWT			8.2				
199							53,100 DWT			9.8				
200							52,600 DWT			12.0				

付表 A-3 接岸速度の実測データ一覧（コンテナ船 3/3）

No.	港湾・ 地区名	埠頭・バース ・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果					備 考 (計測方法等)	出典	データの 種類	
						計測日	接岸船型	計測接岸速度(cm/s)						接岸角度 (°)
								初期接触	着岸	採用				
201	"	"	"	"	"		52,600 DWT			12.9		"	"	"
202							52,600 DWT			13.5				
203							60,200 DWT			1.9				
204							59,700 DWT			2.1				
205							58,800 DWT			4.8				
206							58,300 DWT			8.7				
207							59,000 DWT			9.9				
208							59,700 DWT			11.5				
209							61,500 DWT			6.0				
210							61,400 DWT			8.2				
211							68,700 DWT			2.4				
212							71,300 DWT			5.4				
213							72,900 DWT			6.0				
214							71,300 DWT			6.4				
215							68,100 DWT			14.1				
216							65,700 DWT			19.1				
217							78,700 DWT			4.6				
218							81,600 DWT			2.9				
219							81,400 DWT			6.1				
220							90,500 DWT			6.6				

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析
/ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男

付表 A-4 接岸速度の実測データ一覧（貨物船 1/2）

No.	港湾・地区名	埠頭・バース・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測日	計測結果				備考 (計測方法等)	出典	データの 種類
							接岸船型	計測接岸速度 (cm/s)		接岸角度 (°)			
1	横浜港 神戸港 北九州港	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し	昭和47年 8月 ～ 昭和47年 11月	12.150 DWT			15.0	※計測対象船舶の船舶 トン数は入港時の排水 トン数であったため、 H19港湾基準p396の回 帰式(貨物船)を用いて DWTに変換している。 ※この回歸式における 排水トン数は厳密には 満載時の排水量にあた る。	港研資料No.170 『船舶接岸力調 査』(1973) ↓ 港湾の施設の技 術上の基準・同解 説(平成19年7月) p402	生データ ※一部追加 (グラフ読み取 り)
23.371 DWT									5.0				
17.823 DWT									2.0				
8.736 DWT									5.0				
11.326 DWT									6.0				
20.225 DWT									5.2				
24.320 DWT									9.0				
39.333 DWT									1.5				
10.975 DWT									6.5				
21.686 DWT									3.0				
21.997 DWT									2.5				
12.888 DWT									5.0				
20.237 DWT									10.0				
18.279 DWT									4.0				
18.174 DWT									8.1				
17.120 DWT									7.0				
9.359 DWT									10.0				
29.175 DWT									5.0				
6.338 DWT									4.0				
13.187 DWT									3.6				
19.789 DWT									3.0				
23.090 DWT									6.0				
20.720 DWT									2.5				
11.892 DWT									4.8				
9.861 DWT									4.0				
13.406 DWT									2.7				
14.838 DWT									2.0				
35.426 DWT									4.0				
7.989 DWT									6.3				
13.056 DWT									6.0				
15.277 DWT									5.0				
15.452 DWT									4.1				
9.947 DWT									11.0				
12.011 DWT									2.2				
14.618 DWT									4.4				
13.933 DWT									6.0				
11.045 DWT									3.0				
27.041 DWT									3.8				
7.678 DWT									10.0				
6.734 DWT									11.0				
10.421 DWT									8.0				
27.785 DWT									4.0				
11.589 DWT									4.0				
11.560 DWT									6.0				
9.991 DWT									8.0				
7.295 DWT									11.0				
8.253 DWT									7.0				
11.326 DWT									5.0				
10.966 DWT									6.0				
20.248 DWT									6.0				
6.784 DWT									8.5				
8.876 DWT									7.0				
11.923 DWT									8.0				
7.925 DWT									6.0				
42.570 DWT									7.0				
21.220 DWT									11.0				
9.145 DWT									15.0				
12.577 DWT									7.0				
28.634 DWT									6.0				
11.132 DWT									4.2				
12.309 DWT									4.1				
9.517 DWT									4.0				
5.021 DWT									2.6				
13.652 DWT									4.5				
7.031 DWT									9.4				
8.608 DWT									7.3				
9.073 DWT									6.0				
7.671 DWT									8.7				
10.184 DWT									3.0				
33.099 DWT									3.0				
1.904 DWT	横浜港 A埠頭 B埠頭 C埠頭	記載無し	記載無し	記載無し	12月下旬 ～ 3月下旬	1.904 DWT			16.2	岸壁上に設置した変位 計を用いて計測 (インダクタンス式変位 計)	海岸工学論文集 第38巻『船舶の接 岸速度に関する現 地調査』(1991, 守 屋ら) ↓ 港湾の施設の技 術上の基準・同解 説(平成19年7月) p403	グラフからの 読み取り値 ※1991年の 調査結果を用 いて作成され たH19基準上 の関係図より	
4.124 DWT								13.7					
2.982 DWT								12.5					
3.997 DWT								11.6					
8.185 DWT								10.4					
8.122 DWT								8.8					
7.170 DWT								8.2					
5.584 DWT								8.3					
4.822 DWT								8.9					
4.188 DWT								7.8					
6.155 DWT								7.4					
4.124 DWT								6.4					
8.312 DWT								5.8					
1.967 DWT								4.4					
2.094 DWT								3.6					
3.109 DWT								3.1					
4.315 DWT								3.5					
5.520 DWT								3.7					
5.393 DWT								3.1					
4.188 DWT								0.8					
7.234 DWT								4.8					
8.122 DWT								4.5					
8.122 DWT								3.7					
9.454 DWT								3.7					
8.249 DWT								3.0					
10.152 DWT								4.8					
11.485 DWT								3.0					
10.977 DWT								2.6					
14.213 DWT			2.0										
14.911 DWT			2.3										

付表 A-5 接岸速度の実測データ一覧（貨物船 2/2）

No.	港湾・ 地区名	埠頭・バース ・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果					備 考 (計測方法等)	出典	データの 種類
						計測日	接岸船型	計測接岸速度(cm/s)			接岸角度 (°)		
101							16,244 DWT			2.5			
102							15,165 DWT			3.2			
103							14,213 DWT			4.4			
104							14,213 DWT			5.3			
105							14,213 DWT			4.8			
106							14,277 DWT			6.6			
107							15,926 DWT			7.2			
108							16,942 DWT			8.3			
109							16,942 DWT			8.9			
110							15,990 DWT			5.3			
111							15,990 DWT			4.7			
112							19,860 DWT			5.7			
113							21,827 DWT			6.3			
114	"	"	"	"	"	"	25,952 DWT			6.3	"	"	"
115							31,028 DWT			7.1			
116							21,954 DWT			3.8			
117							21,129 DWT			3.0			
118							21,066 DWT			1.6			
119							22,018 DWT			2.1			
120							23,033 DWT			2.6			
121							25,063 DWT			2.8			
122							25,063 DWT			2.1			
123							27,030 DWT			2.9			
124							27,982 DWT			2.0			
125							33,820 DWT			2.1			
126							39,911 DWT			4.0			
127							39,911 DWT			3.5			
128							39,911 DWT			3.0			

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析
/ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男

付表 A-6 接岸速度の実測データ一覧 (バルク船 1/2)

No.	港湾・地区名	埠頭・バース・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果						備考 (計測方法等)	出典	データの 種類											
						計測日	接岸船型	計測接岸速度 (cm/s)			接岸角度 (°)														
1	B港	バースNo.4	14.0	93.549	DWT	10.0	2011/4/8	93.549	DWT	4.0	船尾	6.0	6.0	・タグボート3隻使用 (船首・中央・船尾) ・目標接岸速度は 8cm/s											
2							2011/4/10	90.844	DWT	3.0	船尾	1.0	3.0												
3							2011/3/22	80.679	DWT	6.0	船尾	4.0	6.0												
4							2010/12/19	91.439	DWT	8.0	船首		8.0												
5							2010/2/15	91.439	DWT	8.0	船尾	3.0	8.0												
6							2009/12/23	91.439	DWT	5.0	船尾	5.0	5.0												
7							2009/6/9	93.549	DWT	5.0	船尾	3.0	5.0												
8	C港	バースNo.5	18.0	276.000	DWT	12.0	2011/6/21	169.382	DWT	6.0	船首		6.0	※レーザー距離計による計測 ※計測船型の記録は GTであったため、H19港湾基準p396の回帰式 (貨物船)を用いてDWT Iに変換している。											
9							2011/7/2	162.386	DWT	5.0	船首	1.0	5.0												
10							2011/7/11	8.624	DWT	3.0	船尾		3.0												
11							2011/7/12	170.342	DWT	2.0	船首		2.0												
12							2011/7/23	75.115	DWT	2.0	船首	2.0	2.0												
13							2011/7/26	145.681	DWT	3.0	船首		3.0												
14							2011/8/9	175.335	DWT	2.0	船首		2.0												
15	D港	バースNo.6	14.0	140.000	DWT	15.0	2011/8/22	94.968	DWT	7.0	船首		7.0	目標接岸速度は5cm/s											
16							2011/8/25	161.934	DWT	3.0	船尾	3.0	3.0												
17							154.324	DWT			4.0	4.0													
18							E港	バースNo.7	17.0	298.000	DWT	12.0	2011/7/4				198.906	DWT			12.0	12.0	超音波式計測機		
19													2011/7/8				168.000	DWT			10.0	10.0			
20													2011/7/13				99.047	DWT	4.0	船首		4.0			
21													2011/7/15				72.917	DWT	3.0	船首	5.0	5.0			
22	2011/7/16	206.306	DWT	9.0	船首	8.0							9.0												
23	2011/7/19	198.906	DWT	9.0	船首	13.0							13.0												
24	2011/7/23	233.694	DWT			6.0							6.0												
25	2011/7/24	177.000	DWT	3.0	船首	3.0							3.0												
26	2011/7/26	76.015	DWT	4.0	船尾	13.0							13.0												
27	2011/7/29	203.512	DWT			16.0							16.0												
28	2011/8/1	207.973	DWT	3.0	船首	5.0							5.0												
29	2011/8/4	176.859	DWT	14.0	船尾	13.0							14.0												
30	2011/8/9	206.312	DWT	7.0	船首	8.0							8.0												
31	2011/8/12	173.000	DWT	8.0	船首	10.0							10.0												
32	2011/8/20	72.495	DWT	3.0	船首								3.0												
33	2011/8/22	178.978	DWT	8.0	船首	12.0							12.0												
34	2011/8/26	206.291	DWT	6.0	船首	2.0							6.0												
35	2011/8/29	169.233	DWT	3.0	船尾								3.0												
36	2011/8/31	206.180	DWT	1.0	船首	4.0							4.0												
37	2011/9/4	180.201	DWT	7.0	船首	3.0							7.0												
38	2011/9/7	106.445	DWT	3.0	船首	5.0							5.0												
39	2011/9/10	76.288	DWT	6.0	船首	6.0							6.0												
40	2011/9/13	174.810	DWT	7.0	船首	5.0							7.0												
41	2011/9/18	203.266	DWT	2.0	船首	9.0							9.0												
42	2011/9/19	82.790	DWT	2.0	船尾	7.0							7.0												
43	2011/9/21	99.347	DWT	7.0	船尾	7.0							7.0												
44	2011/9/23	173.000	DWT	3.0	船尾	10.0							10.0												
45	2011/9/26	176.882	DWT			11.0	11.0																		
46	F港	バースNo.8	27.0	330.000	DWT	10.0	2008/3/8	327.180	DWT			6.0	6.0	・レーザー距離計による計測 ・タグボート3～5隻使用	H23年度 港湾局調査	生データ									
47							2008/6/14	327.180	DWT			3.0	3.0												
48							2009/2/3	297.541	DWT			1.0	1.0												
49							2009/5/30	297.541	DWT			1.0	1.0												
50							2009/7/12	327.127	DWT			2.0	2.0												
51							2009/8/19	297.541	DWT			1.0	1.0												
52							2009/9/23	297.541	DWT			1.0	1.0												
53							2009/11/23	327.180	DWT			1.0	1.0												
54							2010/12/11	297.541	DWT			6.0	6.0												
55							2011/2/9	327.180	DWT			2.0	2.0												
56							2011/3/1	58.015	DWT			1.0	1.0												
57							2011/3/9	98.650	DWT			8.0	8.0												
58							2011/3/10	73.193	DWT			3.0	3.0												
59							2011/3/13	95.790	DWT			2.0	2.0												
60							2011/3/15	180.201	DWT			8.0	8.0												
61							2011/3/17	184.550	DWT			6.0	6.0												
62							2011/3/21	184.887	DWT			3.0	3.0												
63							2011/3/21	176.827	DWT			6.0	6.0												
64							2011/3/22	178.623	DWT			8.0	8.0												
65							2011/3/23	176.760	DWT			6.0	6.0												
66							2011/3/25	206.291	DWT			11.0	11.0												
67							2011/3/26	93.262	DWT			3.0	3.0												
68							2011/3/26	206.366	DWT			4.0	4.0												
69							2011/3/27	81.800	DWT			1.0	1.0												
70							2011/3/28	72.562	DWT			8.0	8.0												
71							2011/3/29	297.541	DWT			5.0	5.0												
72							2011/3/30	75.884	DWT			1.0	1.0												
73							2011/3/31	233.694	DWT			10.0	10.0												
74							2011/4/4	207.973	DWT			12.0	12.0												
75							2011/4/5	176.882	DWT			4.0	4.0												
76							2011/4/6	169.963	DWT			10.0	10.0												
77							2011/4/8	229.545	DWT			5.0	5.0												
78							2011/4/10	73.992	DWT			6.0	6.0												
79							2011/4/10	203.212	DWT			4.0	4.0												
80							2011/4/12	167.109	DWT			1.0	1.0												
81							2011/4/12	206.306	DWT			5.0	5.0												
82	2011/4/16	173.246	DWT			3.0	3.0																		
83	2011/4/18	207.933	DWT			2.0	2.0																		
84	2011/4/19	177.544	DWT			5.0	5.0																		
85	2011/4/20	206.180	DWT			5.0	5.0																		
86	2011/4/21	167.573	DWT			14.0	14.0																		
87	2011/4/23	297.088	DWT			1.0	1.0																		
88	2011/4/26	181.480	DWT			3.0	3.0																		
89	2011/4/28	69.058	DWT			7.0	7.0																		
90	2011/5/1	82.471	DWT			1.0	1.0																		
91	2011/5/4	76.509	DWT			5.0	5.0																		
92	2011/5/9	55.677	DWT			5.0	5.0																		
93	2011/5/10	184.550	DWT			1.0	1.0																		
94	2011/5/12	77.672	DWT			2.0	2.0																		
95	2011/5/15	181.569	DWT			4.0	4.0																		
96	2011/5/18	171.075	DWT			2.0	2.0																		
97	2011/5/21	180.201	DWT			7.0	7.0																		
98	2011/5/24	207.933	DWT			3.0	3.0																		
99	2011/5/25	176.760	DWT			3.0	3.0																		
100	2011/5/30	106.552	DWT			5.0	5.0																		

付表 A-7 接岸速度の実測データ一覧（バルク船 2/2）

No.	港湾・ 地区名	埠頭・バース ・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果						備考 (計測方法等)	出典	データの 種類		
						計測日	接岸船型	計測接岸速度(cm/s)			接岸角度 (°)					
								初期接触	着岸	採用						
101	"	"	"	"	DWT	"	2011/6/1	177.544	DWT		6.0	6.0		"	"	"
102							2011/6/3	177.656	DWT		3.0	3.0				
103							2011/6/3	203.512	DWT		1.0	1.0				
104							2011/6/6	327.180	DWT		3.0	3.0				
105							2011/6/9	177.638	DWT		2.0	2.0				
106							2011/6/11	181.480	DWT		2.0	2.0				
107							2011/6/13	233.694	DWT		8.0	8.0				
108							2011/6/15	83.730	DWT		2.0	2.0				
109							2011/6/15	174.845	DWT		5.0	5.0				
110							2011/6/21	172.498	DWT		2.0	2.0				
111							2011/6/21	203.212	DWT		2.0	2.0				
112							2011/6/22	76.662	DWT		6.0	6.0				
113							2011/6/24	76.015	DWT		4.0	4.0				
114							2011/6/25	206.291	DWT		5.0	5.0				
115							2011/6/28	176.347	DWT		1.0	1.0				
116							2011/7/1	180.201	DWT		3.0	3.0				
117							2011/7/1	206.312	DWT		5.0	5.0				
118							2011/7/3	176.877	DWT		7.0	7.0				
119							2011/7/4	176.859	DWT		7.0	7.0				
120							2011/7/6	297.541	DWT		5.0	5.0				
121							2011/7/8	181.494	DWT		9.0	9.0				
122							2011/7/11	206.180	DWT		2.0	2.0				
123							2011/7/11	327.127	DWT		2.0	2.0				
124							2011/7/14	229.228	DWT		5.0	5.0				
125							2011/7/14	156.326	DWT		6.0	6.0				
126							2011/7/16	297.736	DWT		4.0	4.0				
127							2011/7/20	184.887	DWT		5.0	5.0				
128							2011/7/21	233.694	DWT		4.0	4.0				
129							2011/7/23	203.512	DWT		3.0	3.0				
130							2011/7/24	177.173	DWT		6.0	6.0				
131							2011/7/25	207.973	DWT		3.0	3.0				
132							2011/7/27	179.488	DWT		8.0	8.0				
133							2011/9/18	327.180	DWT		2.0	2.0				
134							2011/10/4	297.541	DWT		3.0	3.0				
135							2011/10/20	327.127	DWT		9.0	9.0				
136							2012/1/9	297.541	DWT		5.0	5.0				
137							2012/1/21	327.180	DWT		3.0	3.0				
138							2012/2/1	327.127	DWT		9.0	9.0				

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析
/ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男

付表 A-8 接岸速度の実測データ一覧 (タンカー)

No.	港湾・地区名	埠頭・バース・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果								備考 (計測方法等)	出典	データの 種類		
						計測日	接岸船型	計測接岸速度 (cm/s)			接岸角度 (°)							
								初期接触	着岸	採用								
1	G港	バースNo.9	16.0	127,000	DWT	10.0	2009/10/23	114,106	DWT	10.0	船首		10.0	1.0	斜め	レーザー距離計による計測	H23年度 港湾局調査	生データ
2	H港	バースNo.10	26.0	314,250	DWT	15.0	2011/7/12	314,250	DWT	9.0	船首		9.0	1.0	斜め			
3	I港	バースNo.11	A・P-14	79,900	DWT	15.0	2011/6/3	107,160	DWT	4.0	船尾	3.0	4.0	0.8	斜め	レーザー距離計による計測 ・タグボート3隻使用 (船首・中央・船尾)		
4							2011/7/7	106,361	DWT	9.0	船首	6.0	9.0	1.1	斜め			
5							2011/7/13	107,198	DWT	17.0	船尾	4.0	17.0	1.7	斜め			
6							2011/7/24	107,500	DWT	8.0	船尾	4.0	8.0	8.8	斜め			
7							2011/7/26	107,113	DWT	20.0	船尾	7.0	20.0	0.7	斜め			
8							2011/8/3	107,687	DWT	1.0	船尾	5.0	5.0	2.1	斜め			
9							2011/9/7	105,941	DWT	6.0	船首	4.0	6.0	0.5	斜め			
10							2011/9/10	107,500	DWT			7.0	7.0	0.3	水平			
11							2011/10/18	107,081	DWT	6.0	船尾	12.0	12.0	2.2	斜め			
12							2011/11/25	105,860	DWT	11.0	船尾	3.0	11.0	3.2	斜め			
13	J港	バースNo.12	32.0	500,000	DWT	500,000DWT =12 300,000DWT =16	2011/12/1	107,471	DWT	9.0	船首	3.0	9.0	3.1	斜め	レーザー距離計による計測 ・目標接岸速度は 5cm/s (船型問わず) ・船型に応じたタグボート 隻数の規定あり		
14							2010/5/28	105,433	DWT	4.0	船尾	6.0	6.0	3.0	斜め			
15							2010/6/23	105,433	DWT	6.0	船尾	3.0	6.0	1.0	斜め			
16							2010/7/10	105,782	DWT			13.0	13.0	0.0	水平			
17							2010/7/12	95,636	DWT			5.0	5.0	0.0	水平			
18							2011/2/23	319,400	DWT			2.0	2.0	0.0	水平			
19							2011/3/10	105,535	DWT	5.0	船尾	6.0	6.0	1.0	斜め			
20							2011/4/5	319,400	DWT			3.0	3.0	0.0	水平			
21	千葉港沖 or 鹿島港	京葉シーバース or 鹿島石油シーバース	20.0 or 22.0	記載無し	210,000DWT =15 200,000DWT =15	昭和47年 9月 ~ 昭和48年 3月		110,719	DWT				7.2		・超音波式距離計による計測 ※計測対象船舶の船舶トン数は入港時・満載時の排水トン数であったため、H19港湾基準p396の回帰式(タンカー)を用いてDWTに変換している。	港研資料No.176『大型タンカーの接岸力調査』(1974) ↓ 港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成19年7月)p402	グラフからの読み取り値 ※1974年の調査結果を用いて作成されたH19基準上の関係図より	
22								117,573	DWT				4.0					
23								124,100	DWT				4.9					
24								128,996	DWT				7.1					
25								138,949	DWT				10.1					
26								142,376	DWT				10.7					
27								159,837	DWT				11.5					
28								183,824	DWT				13.5					
29								138,949	DWT				7.1					
30								133,891	DWT				6.1					
31								148,740	DWT				4.4					
32								130,464	DWT				1.3					
33								157,879	DWT				6.4					
34								160,489	DWT				6.0					
35								181,214	DWT				1.6					
36								187,577	DWT				1.4					
37								196,716	DWT				2.2					
38								193,779	DWT				3.0					
39								196,716	DWT				6.4					
40								212,871	DWT				5.9					
41								216,624	DWT				5.1					
42								216,624	DWT				8.9					
43								216,951	DWT				8.4					
44								221,193	DWT				8.9					
45								253,340	DWT				11.7					
46								255,625	DWT				9.7					
47								253,504	DWT				7.9					
48								239,307	DWT				5.9					
49								240,122	DWT				5.5					
50								256,604	DWT				2.8					
51								236,533	DWT				3.8					
52								238,164	DWT				1.8					
53								228,863	DWT				3.3					
54								224,130	DWT				2.2					
55								215,318	DWT				2.3					
56								216,298	DWT				3.6					

付表 A-9 接岸速度の実測データ一覧 (LNG 船)

No.	港湾・地区名	埠頭・バース・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果							備 考 (計測方法等)	出典	データの 種類			
						計測日	接岸船型	計測接岸速度 (cm/s)			接岸角度 (°)							
								初期接触	着岸	採用								
1	F港	バースNo.13	LWL-14	121,964	DWT	15.0	2009/8/31	109.632	GT			2.4	2.4	0.0	水平	※計測対象船舶の船舶 トン数はDWTであったた め、H19港湾基準p396 の回帰式 (LNG船) を用 いてGTに変換してい る。 ・レーザ距離計による 計測 ・目標接岸速度は 10cm/s ・タグポート4隻使用 (船 首2隻・船尾2隻)	H23年度 港湾局調査	生データ
2							2009/10/19	109.632	GT			2.6	2.6	0.0	水平			
3							2009/11/9	109.632	GT			5.0	5.0	0.0	水平			
4							2009/12/5	109.632	GT			4.6	4.6	0.0	水平			
5							2009/12/29	109.632	GT			3.2	3.2	0.0	水平			
6							2010/1/21	109.632	GT			3.0	3.0	0.0	水平			
7							2010/2/13	109.632	GT			2.5	2.5	0.0	水平			
8							2010/3/11	109.632	GT			6.0	6.0	0.0	水平			
9							2010/4/1	109.632	GT			3.3	3.3	0.0	水平			
10							2010/4/23	109.632	GT			2.5	2.5	0.0	水平			
11							2010/5/27	109.632	GT			2.7	2.7	0.0	水平			
12							2010/6/29	109.632	GT			2.9	2.9	0.0	水平			
13							2010/7/23	109.632	GT			6.2	6.2	0.0	水平			
14							2010/8/18	109.632	GT			4.1	4.1	0.0	水平			
15							2010/9/9	109.632	GT			2.6	2.6	0.0	水平			
16							2010/10/13	109.632	GT			5.5	5.5	0.0	水平			
17							2010/11/5	109.632	GT			3.0	3.0	0.0	水平			
18							2010/11/29	109.632	GT			2.7	2.7	0.0	水平			
19							2010/12/20	109.632	GT			4.0	4.0	0.0	水平			
20							2011/1/18	109.632	GT			4.8	4.8	0.0	水平			
21							2011/2/8	109.632	GT			5.1	5.1	0.0	水平			
22							2011/3/1	109.632	GT			4.0	4.0	0.0	水平			
23							2011/3/21	109.632	GT			3.9	3.9	0.0	水平			
24							2011/4/18	109.632	GT			3.3	3.3	0.0	水平			
25							2011/5/12	109.632	GT			4.1	4.1	0.0	水平			
26							2011/6/2	109.632	GT			4.7	4.7	0.0	水平			
27							2011/6/23	109.632	GT			3.2	3.2	0.0	水平			
28							2011/7/14	109.632	GT			4.1	4.1	0.0	水平			
29							2011/8/5	109.632	GT			4.8	4.8	0.0	水平			
30							2011/8/25	109.632	GT			2.6	2.6	0.0	水平			

付表 A-10 接岸速度の実測データ一覧（フェリー）

No.	港湾・地区名	埠頭・バース・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測日	計測結果				備 考 (計測方法等)	出典	データの 種類
							接岸船型	計測接岸速度 (cm/s)			接岸角度 (°)		
1							2,186	GT			5.0		
2							2,471	GT			4.0		
3							5,703	GT			2.0		
4							4,563	GT			7.0		
5							2,947	GT			3.0		
6							3,232	GT			13.0		
7							2,471	GT			17.0		
8							2,376	GT			10.0		
9							2,662	GT			3.0		
10							4,183	GT			6.0		
11							2,852	GT			5.0		
12							2,567	GT			9.0		
13							3,802	GT			16.0		
14							2,186	GT			10.0		
15							2,662	GT			7.0		
16							2,471	GT			7.0		
17							6,084	GT			3.0		
18							2,471	GT			5.0		
19							2,471	GT			7.0		
20							5,703	GT			6.0		
21							2,662	GT			7.0		
22							6,559	GT			11.0		
23							2,567	GT			5.0		
24							4,373	GT			5.0		
25							6,559	GT			5.0		
26							4,563	GT			4.0		
27							2,376	GT			5.0		
28							2,662	GT			5.0		
29							3,137	GT			16.0		
30							5,703	GT			5.0		
31							6,749	GT			6.0		
32							2,662	GT			9.0		
33							6,464	GT			7.0		
34	神戸港	神戸市営フェリーターミナル				昭和47年	6,179	GT			8.0		
35						10月	2,567	GT			6.0		
36	or	or	記載無し	記載無し	記載無し	～	2,376	GT			6.0		
37						昭和47年	2,662	GT			8.0		
38	北九州港	北九州小倉阪九フェリー埠頭				11月	2,947	GT			5.0		
39							2,471	GT			11.0		
40							2,471	GT			6.0		
41							4,373	GT			5.0		
42							2,567	GT			12.0		
43							2,567	GT			9.0		
44							2,471	GT			4.0		
45							2,567	GT			11.0		
46							6,559	GT			4.0		
47							2,662	GT			5.0		
48							4,373	GT			9.0		
49							4,895	GT			8.0		
50							7,367	GT			10.0		
51							3,612	GT			5.0		
52							4,895	GT			5.0		
53							6,416	GT			6.0		
54							3,757	GT			8.0		
55							5,570	GT			5.0		
56							6,996	GT			9.0		
57							5,989	GT			6.0		
58							4,952	GT			10.0		
59							6,159	GT			6.0		
60							3,826	GT			7.0		
61							4,967	GT			6.0		
62							6,668	GT			9.0		
63							5,741	GT			12.0		
64							3,755	GT			4.0		
65							3,726	GT			5.0		
66							4,805	GT			5.0		
67							3,755	GT			6.0		
68							3,755	GT			4.0		
69							3,612	GT			4.0		
70							6,426	GT			5.0		
71							6,744	GT			5.0		

※計測対象船舶の船舶
トン数は入港時の排水
トン数であったため、
H19港湾基準p396の回
帰式(中距離フェリー)を
用いてGTに変換してい
る。
※この回帰式における
排水トン数は厳密には
満載時の排水量にあた
る。

港研資料No.170
『船舶接岸力調
査』(1973)
↓
港湾の施設の技
術上の基準・同解
説(平成19年7月)
p402

生データ
※一部修正
(グラフに合わ
せている)

船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析
/ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男

付表 A-11 接岸速度の実測データ一覧（自動車専用船）

No.	港湾・ 地区名	埠頭・バース ・施設名	水深 (m)	対象船型 (最大トン数)	設計 接岸速度 (cm/s)	計測結果					備 考 (計測方法等)	出典	データの 種類	
						計測日	接岸船型	計測接岸速度(cm/s)						接岸角度 (°)
								初期接触	着岸	採用				
1	横浜港	A埠頭 B埠頭 C埠頭	記載無し	不明記載無し	記載無し	12月下旬～ 3月下旬	12,363	GT			11.5	※計測対象船舶の船舶 トン数はDWTであったた め、H19港湾基準p396 の回帰式(自動車専用 船)を用いてGT(国内) に変換している。 岸壁上に設置した変位 計を用いて計測 (インダクタンス式変位 計)	海岸工学論文集、 第38巻『船舶の接 岸速度に関する現 地調査』(1991,守 屋ら) ↓ 港湾の施設の技 術上の基準・同解 説(平成19年7月) p403	グラフからの 読み取り値 ※1991年の 調査結果を用 いて作成され たH19基準上 の関係図より
2							18,505	GT			12.5			
3							8,820	GT			6.3			
4							10,237	GT			6.3			
5							15,277	GT			7.2			
6							17,638	GT			8.4			
7							17,323	GT			9.2			
8							12,441	GT			5.2			
9							7,559	GT			4.5			
10							11,654	GT			3.0			
11							13,938	GT			2.3			
12							12,914	GT			2.9			
13							13,544	GT			4.2			
14							14,646	GT			3.9			
15							16,221	GT			3.8			
16							16,301	GT			3.2			
17							16,852	GT			2.5			
18							18,977	GT			3.9			
19							20,946	GT			3.9			
20							20,159	GT			2.0			
21							18,742	GT			1.7			
22							23,466	GT			5.2			
23							23,702	GT			4.2			
24							23,702	GT			3.5			
25							23,780	GT			2.6			
26							29,450	GT			4.3			
27							28,269	GT			5.1			
28							28,506	GT			6.5			
29							34,490	GT			5.5			
30							41,891	GT			2.8			

付録 B 統計処理から関係式導出までの計算値一覧

次頁の付表B-1に、実測値の統計処理から関係式導出までの計算値を一覧で示す.

付表 B-1 計算値一覧

船種			コンテナ船	貨物船	バルク船	タンカー	LNG船	フェリー	自動車専用船	全船種
統計値	接岸速度V (m/s)	データ数	220	128	138	56	30	71	30	673
		最 大	0.191	0.162	0.160	0.200	0.062	0.170	0.125	0.200
		最 小	0.003	0.008	0.010	0.013	0.024	0.020	0.017	0.003
		平 均	0.071	0.056	0.052	0.068	0.038	0.070	0.049	0.061
		標準偏差	0.037	0.030	0.032	0.039	0.011	0.031	0.026	0.035
	ln(V)	最 大	-1.655	-1.820	-1.833	-1.609	-2.781	-1.772	-2.083	-1.609
		最 小	-5.723	-4.816	-4.605	-4.335	-3.730	-3.912	-4.069	-5.723
		平 均	-2.804	-3.019	-3.182	-2.867	-3.316	-2.754	-3.131	-2.960
		標準偏差	0.610	0.545	0.705	0.631	0.284	0.418	0.484	0.613
	船型X (DWT or GT)	データ数	220	128	138	56	30	71	30	673
		最 大	111,000	42,570	327,180	319,400	109,632	7,367	41,891	327,180
		最 小	1,890	1,904	8,624	95,636	109,632	2,186	7,559	1,019
		平 均	39,491	14,865	180,035	172,084	109,632	4,103	19,077	71,426
		標準偏差	28,015	9,021	75,582	63,008	0	1,592	7,624	81,439
	ln(X)	最 大	11.617	10.659	12.698	12.674	11.605	8.905	10.643	12.698
		最 小	7.544	7.552	9.062	11.468	11.605	7.690	8.930	6.926
		平 均	10.254	9.415	11.991	11.990	11.605	8.245	9.781	10.318
		標準偏差	0.915	0.651	0.521	0.361	0.000	0.385	0.388	1.524
回帰分析	傾き β		-0.280	-0.260	-0.048	-0.616		-0.114	-0.167	-0.102
	切片ln(α)		0.069	-0.575	-2.608	4.524		-1.816	-1.500	-1.905
	決定係数R ²		0.177	0.096	0.001	0.124		0.011	0.018	0.064
	回帰直線まわりの標準偏差 ξ		0.556	0.522	0.709	0.602		0.421	0.497	0.594
関係式(※)	β		-0.280	-0.260	-0.048	-0.616		-0.114	-0.167	-0.102
	カバー率50%	α	1.071	0.563	0.074	92.235		0.163	0.223	0.149
	カバー率75%	S_{ξ}	0.375	0.352	0.478	0.406		0.284	0.335	0.400
		$\alpha e^{S_{\xi}}$	1.558	0.800	0.119	138.360		0.216	0.312	0.222
	カバー率90%	S_{ξ}	0.712	0.669	0.909	0.771		0.540	0.637	0.762
		$\alpha e^{S_{\xi}}$	2.184	1.099	0.183	199.471		0.279	0.422	0.319
	カバー率95%	S_{ξ}	0.914	0.858	1.167	0.990		0.693	0.818	0.977
		$\alpha e^{S_{\xi}}$	2.672	1.328	0.237	248.160		0.325	0.505	0.395
	カバー率98%	S_{ξ}	1.141	1.072	1.457	1.236		0.865	1.021	1.220
		$\alpha e^{S_{\xi}}$	3.353	1.644	0.316	317.398		0.387	0.619	0.504
	カバー率99%	S_{ξ}	1.292	1.214	1.650	1.399		0.980	1.156	1.382
		$\alpha e^{S_{\xi}}$	3.900	1.895	0.384	373.833		0.434	0.709	0.592

※接岸速度と船型の関係式

(カバー率50%) $V = \alpha X^{\beta}$ (カバー率50%以外) $V = \alpha e^{S_{\xi}} X^{\beta}$

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 864 September 2015

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019