

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1395 December 2021

船舶の平行舷長さおよび受風面積に関する統計解析

米山 治男, 加島 寛章

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 研究内容	4
3. データ収集	4
3.1 調査方法	4
3.2 調査依頼先	5
3.3 船種の分類	6
3.4 データの総数	6
4. 統計解析	6
4.1 解析の方針	6
4.2 回帰式の計算方法	7
4.3 回帰式のカバー率別評価	7
5. 平行舷長さの解析結果	8
5.1 概要	8
5.2 平行舷長さの回帰式	8
5.3 平行舷長さと垂線間長との比	11
5.4 船種ごとの平行舷長さの回帰式の比較	14
6. 受風面積の解析結果	14
6.1 概要	14
6.2 側面受風面積の回帰式	14
6.3 船種ごとの受風面積の回帰式の比較	17
7. 結論	20
8. おわりに	20
謝辞	20
参考文献	20
記号表	20
付録A アンケート調査票	22
付録B 平行舷長さの回帰式（全船種）	23
付録C 平行舷長さと垂線間長との比（全船種）	31
付録D 平行舷長さの解析結果（船舶登録データベース）	35
付録E 正面受風面積の回帰式（全船種）	40
付録F 側面受風面積の回帰式（全船種）	48

Statistical Analysis on Parallel Body Lengths and Wind Receiving Areas of Ships

Haruo YONEYAMA*

Hiroaki KASHIMA**

Synopsis

The parallel body length and wind receiving areas of a ship are used for calculating the ship berthing energy in fender design and for estimating the tractive forces of the moored ship by wind loads in mooring post design, respectively. Since these parameters are not generally disclosed as ship specification data, it is difficult to obtain the accurate values of them for a design ship. In this study, we performed the statistical analysis using the data collected through questionnaire surveys in terms of the above parameters. In the statistical analysis, we calculated the regression equations of the parameters for each kind of ships.

The main conclusions of this study are as follows:

- 1) In terms of the parallel body lengths and wind receiving areas of ships, we performed the statistical analysis using the data collected through questionnaire surveys to shipowners, etc. We then presented the regression equations and basic statistics of these parameters for 8 kinds of ships in full load and ballast conditions.
- 2) The ratios of the parallel body length to the length between perpendiculars for ships are slightly larger than the 1/3 to 1/2 described in the current Japanese port technical standards and are generally in the range of 2/5 to 3/5.
- 3) The wind receiving areas of ships generally tend to be small in full load condition and conversely large in ballast condition. However, the lateral wind receiving areas of container ships show the opposite tendency due to the influence of the containers loaded on the deck.

Key Words: parallel body length, wind receiving area, statistical analysis, regression equation, fender, mooring post

* Director, Coastal and Ocean Development Department

** Senior Researcher, Coastal and Ocean Development Group, Coastal and Ocean Development Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan, Port and Airport Research Institute (PARI)
Phone : +81-46-844-5114 e-mail: yoneyama@p.mpat.go.jp

船舶の平行舷長さおよび受風面積に関する統計解析

米山 治男*・加島 寛章**

要 旨

船舶諸元の中で船舶の平行舷長さおよび受風面積については、船舶諸元データとして一般的に公表されていない。このため、防舷材の設計において船舶の接岸エネルギーを算定する際や、係船柱の設計において風荷重による係留船舶の牽引力を計算する際に、設計対象船舶に対してそれらの正確な値を求めることが難しい状況にある。そこで、本研究では、船舶の平行舷長さおよび受風面積についてアンケート調査によりデータ収集して統計解析を実施し、船種ごとにこれらの船舶諸元の回帰式等を算定した。本研究の主な結論は、以下の通りである。

- 1) 船舶の平行舷長さおよび受風面積について、船主等へのアンケート調査により得られたデータを統計解析し、船種ごとに満載時およびバラスト時における回帰式と基本統計量を提示した。
- 2) 船舶の平行舷長さおよび垂線間長との比は、現行の港湾基準で示されている 1/3～1/2 よりも少し大きく、概ね 2/5～3/5 の範囲にあることがわかった。
- 3) 船舶の受風面積は、一般的に満載時に小さくバラスト時に大きい傾向にあるが、コンテナ船の側面受風面積についてはデッキ上に積載されたコンテナの影響により逆の傾向を示すことを確認した。

キーワード：平行舷長さ、受風面積、統計解析、回帰式、防舷材、係船柱

* 海洋利用研究領域長

** 海洋利用研究領域 海洋利用研究グループ 主任研究官
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5114 e-mail: yoneyama@p.mpat.go.jp

1. はじめに

船舶諸元の中で防舷材の設計や係船柱の設計に用いられる船舶の平行舷長さと受風面積については、船舶諸元データとして一般的に公表されていない。このため、現行の港湾の技術基準である「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年版）」（日本港湾協会，2018）（以下、港湾基準と記す）では、これらの船舶諸元データについて船種ごとに明確な数値は提示されていない。したがって、防舷材の設計において船舶の接岸エネルギーを算定する際や、係船柱の設計において風荷重による係留船舶の牽引力を計算する際に、設計対象船舶に対してそれらの正確な値を求めることが難しい状況にある。

船舶の平行舷長さは、船舶の接岸エネルギーの算定式で用いられるパラメータの一つである。この船舶の平行舷長さは係留施設の設計時に不明であることが多く、港湾基準では、船舶の平行舷長さと垂線間長との比は一般に $1/3 \sim 1/2$ の値であり、対象船舶が特定できない場合には、コンテナ船・旅客船等の痩せ型船に対して $1/3$ 程度、貨物船・タンカー等の肥大船に対して $1/2$ 程度の参考値が示されている。しかしながら、これまでに船舶の平行舷長さについてデータ収集し、統計的に分析した事例は見当たらない。

一方、船舶の受風面積は、対象船舶の正面および側面に対する2種類があり、風荷重による係留船舶の牽引力を船体動揺計算等により正確に計算する際に必須となるパラメータである。一般的な係船柱の設計では、港湾基準に示されている船舶の牽引力の標準値を用いることで係船柱の規格を選定している。しかしながら、これは基本的に貨物船を対象としたものであり、コンテナ船や旅客船等の受風面積の大きい船舶では、対象船舶に作用する風圧力とその受風面積により風荷重を求めて牽引力を算定する方がより正確に設計を行うことができる。船舶の受風面積については、高橋ら（2006）において船種ごとに回帰式等が提示されている。ただし、これらは赤倉ら（1998b）が示した回帰式等を転載したものであり、20年以上前の情報となっている。

以上述べたように、船舶の平行舷長さや受風面積の統計データの収集事例は少なく、これらの回帰式や基本統計量についても提示されているものは少ない。そこで、本研究では、船舶の平行舷長さや受風面積について船主等へのアンケート調査によりデータ収集して統計解析を実施し、船種ごとにこれらの船舶諸元の回帰式と基本統計量を推定することを目的とした。

2. 研究内容

本研究は、アンケート調査による船舶諸元データの収集、得られたデータの統計解析、統計解析結果の提示の流れで実施している。まず、船舶の平行舷長さや受風面積（船体正面・船体側面）について、船主等へのアンケート調査により情報収集して整理した。平行舷長さや受風面積ともに満載時およびバラスト時のデータを収集し、船種は港湾基準を参考に貨物船、コンテナ船、旅客船等の8種類に分類した。次に、取得データを用いた統計解析により、船種ごとの載貨重量トン数（DWT）または総トン数（GT）に対する平行舷長さおよび受風面積について、べき関数によるカバー率別の回帰式と基本統計量を算定した。本研究では、得られた回帰式等の解析結果について、8種類の船種のうち、主に貨物船、コンテナ船および旅客船に関する特徴について考察する。また、防舷材および係船柱の設計における参考資料として、実施した全ての船種の統計解析結果の図表を付録として掲載する。

3. データ収集

3.1 調査方法

(1) アンケート調査

船舶の平行舷長さおよび受風面積（船体正面・船体側面）を中心とした船舶諸元データについて、海運組合等の船舶関係団体や船主・運航会社等へのアンケート調査により情報収集して整理した。アンケート調査票を付録Aに掲載する。アンケート調査票は、回答者がアンケートへ回答し易いように2枚にまとめて簡潔なものとした。なお、外国船社を対象とすることも考慮して英語のアンケート調査票も作成した。調査項目として、船舶の基本情報、平行舷長さおよび受風面積に対する設問を設定した。

a) 船舶の基本情報に関する設問

船名、船種、総トン数、載貨重量トン数、全長、垂線間長等の主要目のほか、船舶の喫水条件によって平行舷長さや受風面積が変化することから、満載喫水だけでなく、要目表には掲載されないバラスト喫水（空船時の喫水）を設問に加えた。

b) 平行舷長さに関する設問

船舶の平行舷長さは、岸壁に平行に測った防舷材接触点から船体重心までの距離に関するパラメータであり、船舶の接岸エネルギーを算出する際に必要となる。図-3.1は、船舶の側面の平行舷長さの模式図を示す。船舶の平行舷長さは、一般的には船体の側面に沿った平行舷全体の長さである（図-3.1の③）。ここで、船舶の積載状態

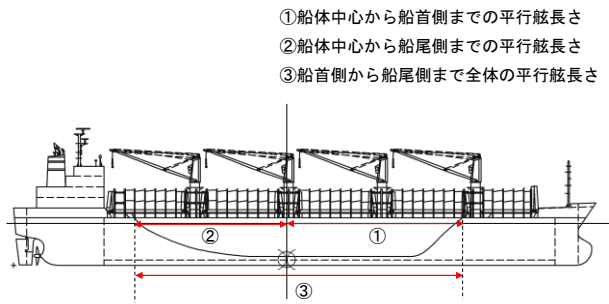


図-3.1 船舶の側面の平行舷長さ

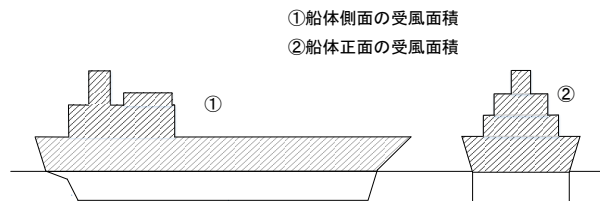


図-3.2 船舶の受風面積

によって喫水が変化し、それに伴い船舶の平行舷長さも変化することから、平行舷長さが最大となる満載時と最小となるバラスト時について質問した。また、船体が防舷材に接触する位置が船首側の場合と船尾側の場合において船舶の接岸エネルギーが変化するため、平行舷長さとして、船体中心から船首側の平行舷端の長さ（船首方向平行舷長さ、図-3.1の①）と船体中心から船尾側の平行舷端の長さ（船尾方向平行舷長さ、図-3.1の②）について質問した。実際には、船体重心からの距離が必要となるが、船体重心の位置は船体の積載状態によって変化し、ローディングマニュアル（船舶の取扱説明書）等の完成図書を参照しないと不明であり、本調査では船体中心からの距離を把握することとした。

c) 受風面積に関する設問

船舶の受風面積は、係留施設に係留されている船舶に作用する風荷重の計算に必要なパラメータであり、係留柱の規格や設置基数の検討などに重要な項目である。図-3.2は、船舶の受風面積の模式図を示す。船舶の受風面積は、風が作用する船体の水面上の投影面積を表し、船体正面の受風面積（正面受風面積、図-3.2の②）と船体側面の受風面積（側面受風面積、図-3.2の①）がある。ここで、船舶の積載状態によって喫水が変化し、それに伴い船舶の受風面積も変化することから、受風面積が最小となる満載時と最大となるバラスト時について質問した。なお、コンテナ船については、デッキ上に積載されるコンテナの積み段数によって受風面積が変化するが、ここでは、満載時はコンテナをデッキ上にフルに積載した（コンテナを受風面積に含む）状態とし、バラスト時はコンテナを

デッキ上に一切積載していない船体のみ（コンテナを受風面積に含まない）状態とした。

(2) 船体図面調査

船舶の平行舷長さおよび受風面積についてアンケート調査を行うにあたり、事前いくつかの船主・運航会社に予備的な調査（ヒアリング）を実施したところ、これら2つの情報については多くの船主等で把握していない可能性があることがわかった。すなわち、船主等では船舶の平行舷長さや受風面積に関するデータを有しておらず、船舶を建造した造船会社からの入手も難しいとのことである。このため、風の影響を受けやすい大型旅客船や自動車運搬船（PCC）等の一部の船舶以外については、平行舷長さや受風面積の情報を数値記入方式のアンケート調査では収集することが難しいと予想された。そこで、アンケート調査において数値が不明な船舶については、可能な限り一般配置図（正面図・平面図）の提供を受けて、喫水線上の平行舷長さや喫水線より上方部分の船体投影面積を計測することとした。計測には、プランメータ（図面の面積・距離計測に使用する計測器）を使用した。一般配置図等の図面がPDFなどの電子データで提供されたものについては、CADソフトにスケールを合わせて読み込むことで平行舷長さや受風面積を計測した。

(3) 船舶登録データベース調査

タンカー、LPG船、LNG船等の専用栈橋をスポットで利用する船舶においては、船体形状と係留施設側の位置関係の整合を確認する必要がある。このため、これらの船舶では、満載時およびバラスト時の平行舷長さが完成図書に記載され、船舶登録データベースに登録されているものがある。そこで、タンカー、LPG船およびLNG船の3船種に関しては、船舶登録データベースであるIHS Maritime World Shipping Encyclopedia (IHS Markit, 2019)を利用して、満載時およびバラスト時の船舶の平行舷長さについてデータを収集した。なお、船舶登録データベースによる取得データについては、3船種に限定されていることから、参考情報としての扱いとしている。

3.2 調査依頼先

アンケート調査は、アンケート調査票を効率よく配布して回収するため、基本的に海運組合等の代表的な船舶関係団体（組合・協会）に対して協力を依頼し、さらに船主・運航会社等へも個別に実施した。表-3.1は、アンケート調査に協力した団体・企業を示す。調査に協力した団体は、日本内航海運組合総連合会（内航大型船輸送海運組合、全国海運組合連合会、国内内航タンカー海運組合、全国内航輸送海運組合、全日本内航船主海運組合）、日本長

表-3.1 アンケート調査の協力団体・企業

団体	調査対象社	対象船種
日本内航海運組合総連合会 (内航大型船輸送海運組合) (全国海運組合連合会) (全国内航タンカー海運組合) (全国内航輸送海運組合) (全日本内航船主海運組合)	1,000 総トン以上の船舶を所有する事業者 (197社、374隻)	全船種 (旅客船、フェリー以外)
日本長距離フェリー協会	8社	フェリー
日本外航客船協会	8社	旅客船、RORO船
その他企業等	15社等	全船種

距離フェリー協会および日本外航客船協会である。日本内航海運組合総連合会については、1,000 総トン以上の船舶を所有する事業者を対象とし、複数隻所有の会社に対しては、できるだけ大きさや船種の異なる2~3隻程度を対象に回答を依頼した。なお、日本船舶明細書Ⅰ・日本船舶明細書Ⅱ・内航船舶明細書（日本海運集会所、2019）（以下、日本船舶明細書等と記す）によると、日本内航海運組合総連合会の5組合のいずれかに所属する1,000 総トン以上の船舶所有船主は197社、374隻（旅客船、フェリー以外の全船種）である。また、日本長距離フェリー協会および日本外航客船協会の事業者は、それぞれ8社（フェリー）および8社（旅客船、RORO船）である。個別にアンケート調査を依頼した船主・運航会社等は、約15社である。対象とした事業者は、日本船舶明細書等を参照して、船種や船型が偏らないように所有船の多い船主・運航会社を中心に選定した。

3.3 船種の分類

船種については、港湾基準を参考にして、以下の8種類に分類した。

①貨物船

※一般貨物船、バルク船、冷凍船、セメント船等

②コンテナ船

③タンカー

※白油タンカー、黒油タンカー、VLCC等

④RORO船・PCC（自動車運搬船）

⑤LPG船

⑥LNG船

⑦旅客船

⑧フェリー（中短距離フェリー、長距離フェリー）

なお、10船種に分類している港湾基準とは異なり、RORO船およびPCC（自動車運搬船）、中短距離フェリーおよび長距離フェリーをそれぞれ1つの船種としてまとめている。船舶の平行舷長さおよび受風面積の統計解析

表-3.2 データの取得数

(単位: 隻)

船種	隻数	平行舷長さ		受風面積			
		満載時 (LPSf)	バラスト時 (LPSb)	船体正面		船体側面	
				満載時 (AXf)	バラスト時 (AXb)	満載時 (AYf)	バラスト時 (AYb)
貨物船	36	35	24	31	27	36	32
コンテナ船	17	11	6	11	9	14	11
タンカー	64	64	62	54	54	64	63
RORO船・PCC	17	12	9	13	11	17	15
LPG船	9	9	9	9	9	9	9
LNG船	15	13	12	15	14	15	14
旅客船	29	14	0	25	0	27	0
フェリー	28	15	0	25	17	24	19
計	215	173	122	183	141	206	163

結果については、最も一般的な船舶である貨物船、受風面積がデッキ上に積載されたコンテナの影響を受けるコンテナ船、近年我が国への就航実績が増加しているクルーズ船を含む旅客船の3船種を対象に考察することとした。また、これら以外の船種を含む8船種全ての統計解析結果は、付録B~Fに掲載している。

3.4 データの総数

表-3.2は、アンケート調査等によって得られた船舶の平行舷長さおよび受風面積（船体正面・船体側面）に関するデータ取得数を示す。データの総数は、最大でタンカーの64隻とそれほど多くなく、LPG船のように10隻以下の船種もある。なお、旅客船およびフェリーは喫水の変化が小さいため、旅客船についてはバラスト時の平行舷長さおよび受風面積に関するデータ、またフェリーについてはバラスト時の平行舷長さに関するデータが得られていない。表には、船舶の平行舷長さおよび受風面積（船体正面・船体側面）の記号表記も示している。記号表記では、満載時（Full load condition）およびバラスト時（Ballast condition）をそれぞれ添え字fおよびbで表し、平行舷長さ（LPS）、正面受風面積（AX）および側面受風面積（AY）と組み合わせている。これらの記号は、平行舷長さおよび受風面積の統計解析結果を図示する際に使用する。

4. 統計解析

4.1 解析の方針

統計解析では、アンケート調査等により得られた船舶の平行舷長さおよび受風面積（船体正面・船体側面）のデータを用いて、船種ごとに回帰式を推定するための回帰分析を実施した。回帰分析では、船種ごとに船舶の載貨重量トン数または総トン数を説明変数、船舶の平行舷長さおよび受風面積（船体正面・船体側面）を目的変数として回帰式を算定した。ここでは、赤倉ら（1998a）が提案し

ている手法を参考にして、べき関数による非線形回帰分析を行い、港湾基準と同様に、貨物船、コンテナ船およびタンカーについては船舶の載貨重量トン数を、これら以外の船種については総トン数を採用した。また、各種統計値として、回帰係数、標準偏差、相関係数およびカバー率別（50%、75%、90%および95%）の回帰式を求めた。

船舶の平行舷長さおよび受風面積の大きさは、船舶の喫水条件によって異なる。喫水が深いほど平行舷長さは大きくなり、受風面積は小さくなる。逆に、喫水が浅いほど平行舷長さは小さくなり、受風面積は大きくなる。また、旅客船やフェリー等は喫水の変化は少ないが、貨物船は入港時と出港時で喫水が大きく変化する。これらの傾向から、各船種に対応して満載時およびバラスト時のそれぞれで船舶諸元データの回帰分析を行うこととした。

4.2 回帰式の計算方法

回帰分析では、船舶の平行舷長さ（LPS）および受風面積（船体正面（AX）・船体側面（AY））を目的変数 Y 、船舶の載貨重量トン数（DWT）または総トン数（GT）を説明変数 X とする。このとき、次式を用いて回帰分析を行うものとする。

$$Y = \alpha X^\beta \quad (1)$$

ここで、 Y は目的変数、 X は説明変数、 α および β は回帰係数である。しかしながら、この式は、べき関数による非線形な曲線関数となっているため、このまま回帰分析を行うことはやや困難である。そこで、次式のように両辺の常用対数を取ることで、回帰分析を行うのが一般的である。

$$\log Y = a + b \log X \quad (2)$$

ここで、 a および b は直線回帰係数であり、それぞれ $a = \log \alpha$ および $b = \beta$ である。この式は、一次関数による線形な直線関数となっているため、非常に簡便に回帰分析を行うことができる。船舶諸元データの標準偏差および相関係数は、この直線回帰式に対して求められる。

直線回帰分析では、 A および B をそれぞれ a および b の推計値とすると、以下の式により回帰係数の推計値を算定することができる。

$$A = \left(\sum_{i=1}^n \log y_i - \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \sum_{i=1}^n \log x_i \right) / n \quad (3)$$

$$B = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{\left(n \sum_{i=1}^n \log x_i \log y_i - \sum_{i=1}^n \log x_i \sum_{i=1}^n \log y_i \right)}{\left\{ n \sum_{i=1}^n (\log x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \log x_i \right)^2 \right\}} \quad (4)$$

ここで、 x および y は変数、 S_{xx} は変数 x の分散、 S_{xy} は変数 x 、 y の共分散、 n はデータの個数である。また、回帰式周りの分布形は、次式により求めることができる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_e}{n-2}} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} \right)} \quad (5)$$

ここで、 σ は直線回帰式周りの誤差の標準偏差、 S_e は直線回帰式周りの分散、 S_{yy} は変数 y の分散である。また、回帰式の有効性を評価するための相関係数は、次式により計算することができる。

$$R = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \quad (6)$$

ここで、 R は相関係数である。この相関係数が 1.0 に近づくほど、回帰式の有効性が高いと評価される。本研究では、相関係数が 0.8 以上の場合において、回帰式の有効性が高いと判断することとした（高橋ら、2006）。

4.3 回帰式のカバー率別評価

回帰分析で求められる回帰式は統計量の平均値を意味するため、ある船舶の大きさに対して 50% の船舶は回帰分析で得られた平均値よりも大きな値を持っている。このとき、ある船舶の大きさに対して $P\%$ の船舶を含有する回帰式のことを、カバー率（または信頼度） $P\%$ に対する回帰式と呼ぶ。カバー率とは、回帰式周りのデータ分布から推定される確率分布形の累積確率にあたり、回帰分析における信頼水準を表している。

図-4.1 は、回帰分析により求められる平均的な回帰式とカバー率 $P\%$ に対する回帰式との関係の模式図である。この図では、両対数軸上において、横軸に対応する船舶の載貨重量トン数（DWT）または総トン数（GT）と、縦軸に対応する平行舷長さ（LPS）、正面受風面積（AX）または側面受風面積（AY）が線形（直線）回帰されている。対象船舶の大きさに対する船舶の平行舷長さおよび受風面積は、回帰直線を用いると平均値（50%値）を得ることができる。

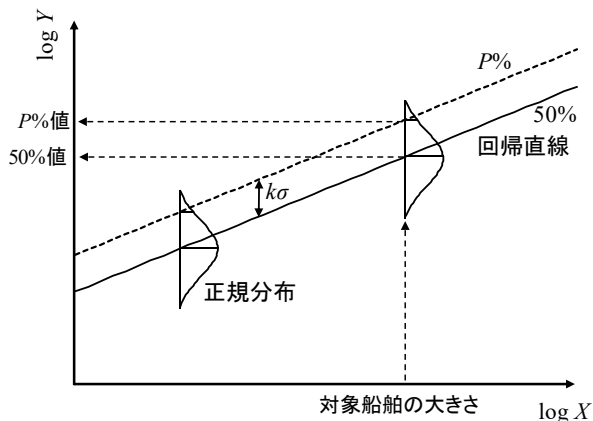


図-4.1 回帰式とカバー率の関係

一方、回帰直線周りの分布形を仮定すると、例えば、カバー率 $P\%$ を考慮した平行舷長さおよび受風面積の $P\%$ 値を得ることができる。このときの回帰直線周りの分布形は、実際のデータと回帰直線との誤差の分布を表し、一般的に正規分布により近似される。この誤差の分布形は、全てのデータの回帰直線からの誤差の分散により一意に決定される。両対数軸上では、このカバー率 $P\%$ に対する直線は、回帰直線を平行移動したものになる。表-4.1 は、分布形が正規分布の場合における回帰直線の平行移動量 $k\sigma$ のパラメータ k とカバー率 $P\%$ との関係を示す。ここで、 σ は回帰直線周りの誤差の標準偏差である。カバー率 $P\%$ に対する回帰式を求める場合には、この表を利用して、回帰直線を単に $k\sigma$ ほど平行移動させた直線を計算すればよいことになる。

5. 平行舷長さの解析結果

5.1 概要

統計解析を実施した 8 船種のうち、主に、貨物船、コンテナ船および旅客船の 3 船種を対象として、満載時およびバラスト時における船舶の平行舷長さの解析結果について考察する。まず、貨物船、コンテナ船および旅客船の平行舷長さの回帰式を示し、データとの相関性や回帰式の有効性について評価する。また、貨物船、コンテナ船および旅客船を中心に、8 種類の船種ごとの平行舷長さと垂線間長との比を示し、港湾基準に提示されている数値の妥当性について検討する。さらに、8 種類の船種ごとの平行舷長さの回帰式を比較して示し、回帰式に対する船種の影響について考察する。なお、全ての船種の満載時およびバラスト時における平行舷長さの統計解析結果について、平行舷長さの回帰式を付録 B に、平行舷長さと垂線間長との比を付録 C に掲載する。

表-4.1 平行移動量とカバー率

カバー率 P	50%	60%	75%	90%	95%	99%
パラメータ k	0.000	0.253	0.674	1.282	1.645	2.326

一方、タンカー、LPG 船および LNG 船については、船舶登録データベースに登録されている船舶の平行舷長さのデータを用いた統計解析も実施している。ただし、船種が 3 船種に限られていることから、船舶登録データベースに基づいた船舶の平行舷長さの回帰式および平行舷長さと垂線間長との比については、参考資料として扱うものとし、付録 D に掲載する。

5.2 平行舷長さの回帰式

(1) 概要

貨物船、コンテナ船および旅客船の満載時およびバラスト時における平行舷長さの回帰式について、基本統計量および回帰式の特徴について考察する。

船種ごとに、取得データ数とともに、統計解析によって得られたカバー率別の回帰係数、相関係数および標準偏差を表にして表示する。また、船種ごとに、船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) と船舶の満載時の平行舷長さ (LPSf) あるいはバラスト時の平行舷長さ (LPSb) とのカバー率別回帰式を取得データとともにグラフとして表示する。データの分布をわかり易くするため、グラフは線形軸の場合と両対数軸の場合の両方を示す。回帰式を求めるためのカバー率は、50%、75%、90% および 95% の 4 種類である。ここで、カバー率別回帰係数とは、べき関数による曲線回帰式の回帰係数 (α および β) のことである。一方、相関係数および標準偏差は、両対数軸上における直線回帰式に対するものである。

(2) 貨物船

表-5.1 および表-5.2 は、それぞれ貨物船の満載時の平行舷長さ (LPSf) およびバラスト時の平行舷長さ (LPSb) と載貨重量トン数 (DWT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を取得データ数とともに示す。図-5.1 および図-5.2 は、それぞれ貨物船の載貨重量トン数 (DWT) に対する満載時の平行舷長さ (LPSf) およびバラスト時の平行舷長さ (LPSb) のカバー率別回帰式を取得データとともに示す。図-5.3 および図-5.4 は、図-5.1 および図-5.2 の両対数軸による表記である。

貨物船の平行舷長さのデータ数は、満載時 35、バラスト時 24 と少ないが、相関係数は、満載時 0.936、バラスト時 0.905 でいずれも強い相関があり、回帰式の有効性は高いと言える。平行舷長さのデータの分布は、約 20,000DWT 以下の大きさの船舶に対して多くなっており、概ねカバー率 75% の回帰式以下に分布しているが、バラスト時で

表-5.1 平行舷長さの回帰係数等（貨物船，満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.029	0.435	0.936	0.116	35
75%	1.232	0.435			
90%	1.449	0.435			
95%	1.597	0.435			

表-5.2 平行舷長さの回帰係数等（貨物船，バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	0.668	0.463	0.905	0.141	24
75%	0.832	0.463			
90%	1.014	0.463			
95%	1.141	0.463			

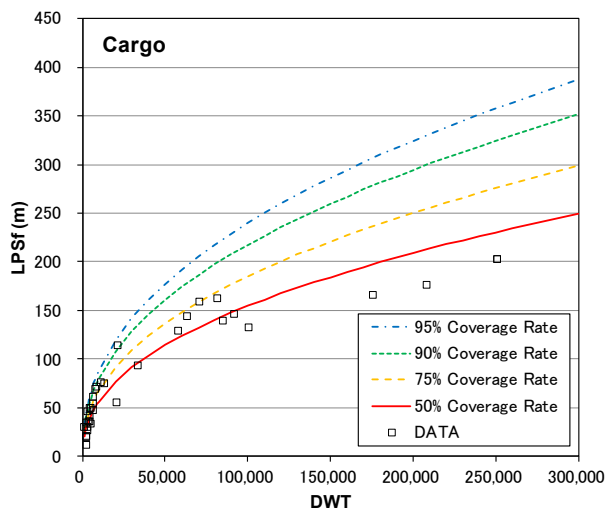


図-5.1 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（貨物船，満載時） ※線形グラフ

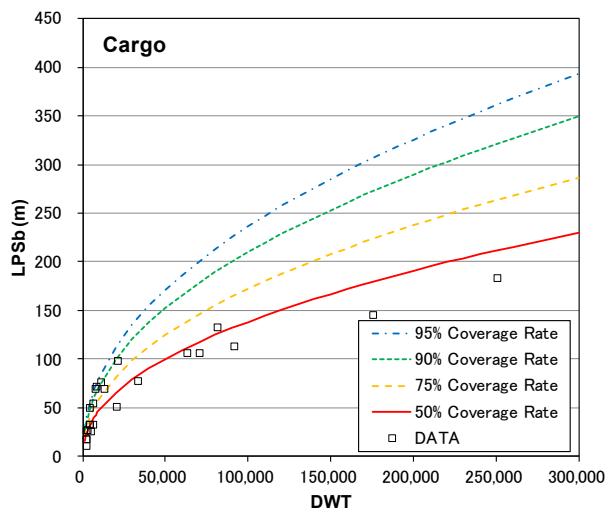


図-5.2 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（貨物船，バラスト時） ※線形グラフ

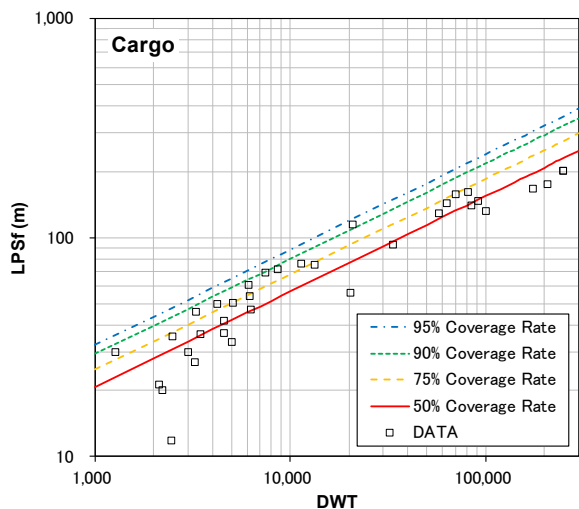


図-5.3 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（貨物船，満載時） ※両対数グラフ

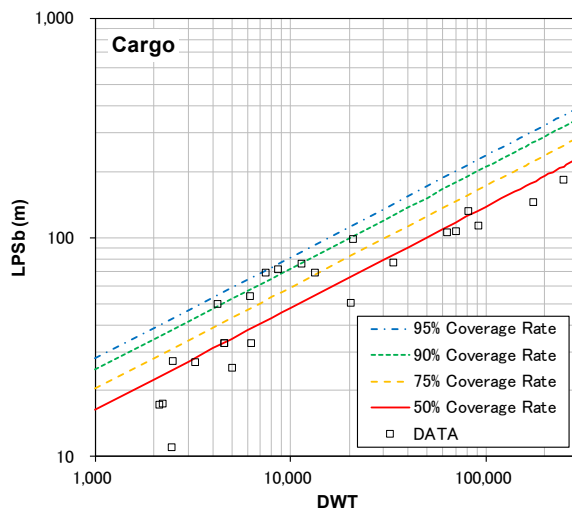


図-5.4 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（貨物船，バラスト時） ※両対数グラフ

は満載時に比べて多少ばらつきが大きくなっている。

(3) コンテナ船

表-5.3 および表-5.4 は、それぞれコンテナ船の満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）と載貨重量トン数（DWT）との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を取得データ数とともに示す。図-5.5 および図-5.6 は、それぞれコンテナ船の載貨重量トン数（DWT）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）

およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）のカバー率別回帰式を取得データとともに示す。図-5.7 および図-5.8 は、図-5.5 および図-5.6 の両対数軸による表記である。

コンテナ船の平行舷長さのデータ数は、満載時 11、バラスト時 6 と非常に少ないが、相関係数は、満載時 0.839、バラスト時 0.975 で少なくとも十分な相関があり、回帰式の有効性は高いと言える。平行舷長さのデータの分布は、全体的にばらついてはいるが、ほぼ全てカバー率 75%の

表-5.3 平行舷長さの回帰係数等（コンテナ船，満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	14.141	0.212	0.839	0.092	11
75%	16.310	0.212			
90%	18.545	0.212			
95%	20.026	0.212			

表-5.4 平行舷長さの回帰係数等（コンテナ船，バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	0.015	0.729	0.975	0.112	6
75%	0.018	0.729			
90%	0.021	0.729			
95%	0.023	0.729			

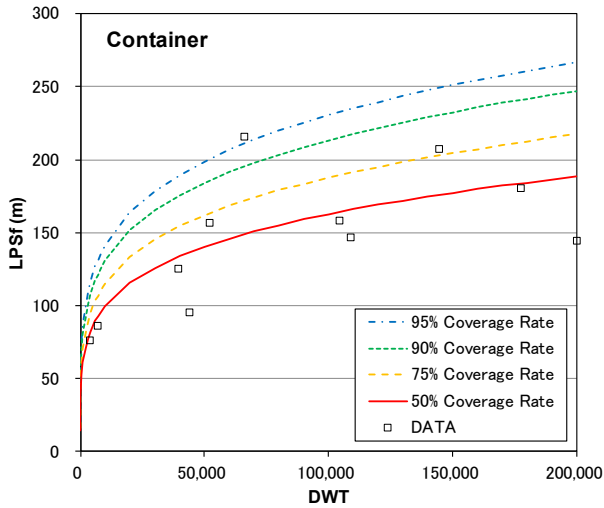


図-5.5 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（コンテナ船，満載時） ※線形グラフ

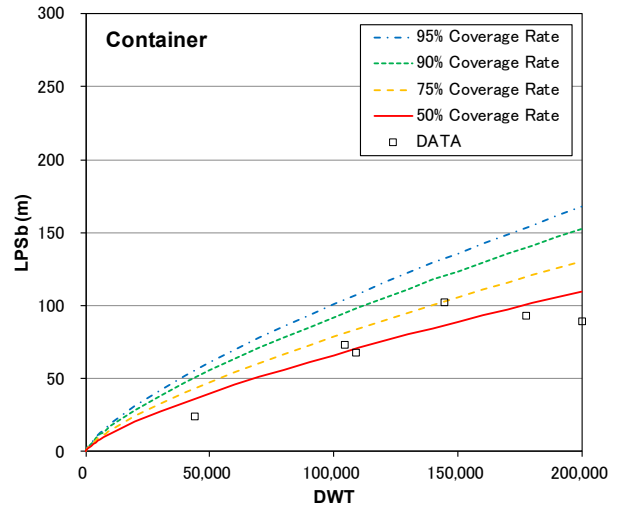


図-5.6 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（コンテナ船，バラスト時） ※線形グラフ

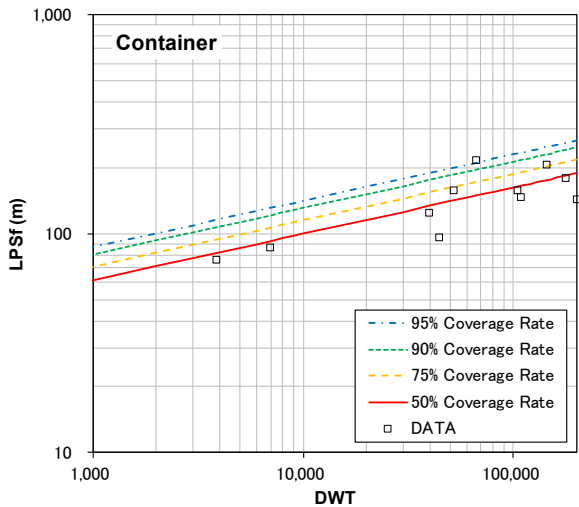


図-5.7 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（コンテナ船，満載時） ※両対数グラフ

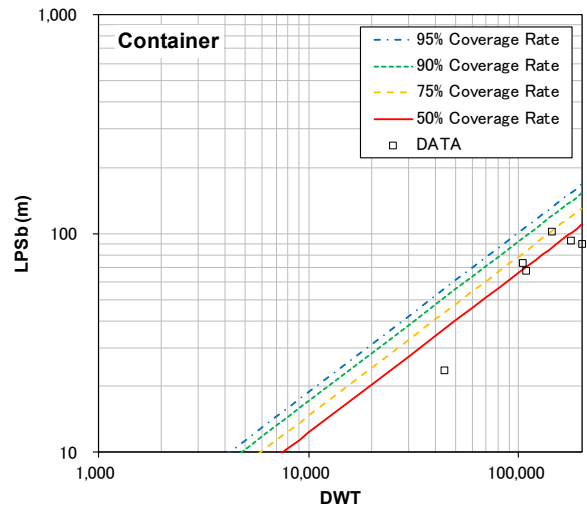


図-5.8 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（コンテナ船，バラスト時） ※両対数グラフ

回帰式以下に位置している。

(4) 旅客船

表-5.5 は、旅客船の満載時の平行舷長さ（LPSf）と総トン数（GT）との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を取得データ数とともに示す。図-5.9 は、旅客船の総トン数（GT）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）のカバー率別回帰式を取得データとともに示す。図-5.10 は、図-5.9 の両対数軸による表記である。旅客船について

では、バラスト時の平行舷長さに関するデータが得られていない。

旅客船の満載時の平行舷長さのデータ数は、14 と非常に少ないが、相関係数は、0.957 で非常に強い相関があり、回帰式の有効性は高いと言える。平行舷長さのデータの分布は、約 150,000GT 付近の大きさの船舶に対して多くなっているが、1 隻を除き概ねカバー率 75% の回帰式以下に分布しており、大きなばらつきは見られない。

表-5.5 平行舷長さの回帰係数等（旅客船，満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	0.304	0.518	0.957	0.086	14
75%	0.347	0.518			
90%	0.392	0.518			
95%	0.421	0.518			

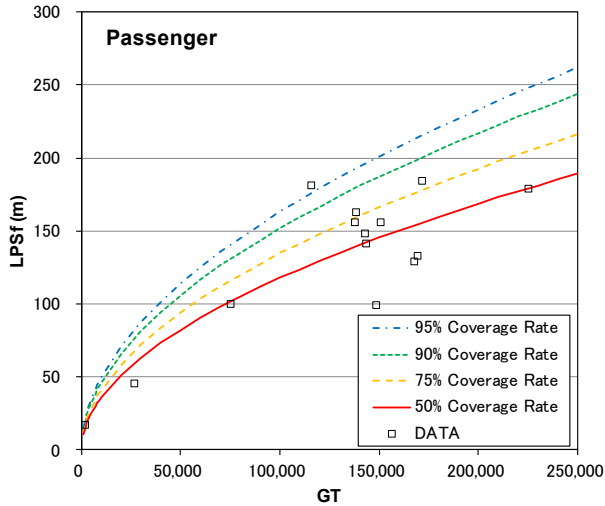


図-5.9 総トン数と平行舷長さの関係（旅客船，満載時） ※線形グラフ

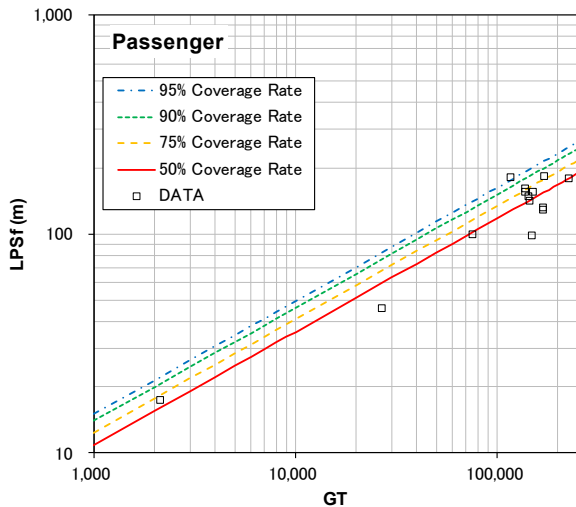


図-5.10 総トン数と平行舷長さの関係（旅客船，満載時） ※両対数グラフ

5.3 平行舷長さ と 垂線間長 と の 比

(1) 概要

貨物船，コンテナ船および旅客船の満載時およびバラスト時における平行舷長さ と 垂線間長 と の 比 について考察する。

船種ごとに，船舶の垂線間長（Lpp）と満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）との関係について原点を通る回帰直線で示し，取得データ

とともにグラフとして表示する．このとき，船体中心から船首側までの船首方向平行舷長さ（満載時：LPSf(MS to Fwd)，バラスト時：LPSb(MS to Fwd)) および船体中心から船尾側までの船尾方向平行舷長さ（満載時：LPSf(MS to Aft)，バラスト時：LPSb(MS to Aft)) に関する回帰直線と取得データも併せて示す．また，8種類の全ての船種について，船舶の垂線間長（Lpp）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）の回帰直線の傾きを満載時およびバラスト時における垂線間長に対する平行舷長さの比として，表にして表示する．

(2) 貨物船

図-5.11 および図-5.12 は，それぞれ貨物船の垂線間長（Lpp）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）の回帰直線を取得データとともに示す．

貨物船の垂線間長に対する平行舷長さの比は，満載時で約 0.60，バラスト時で約 0.50 となっており，貨物船に対する港湾基準の値である 1/2 よりもやや大きいか，ほぼ同等である．船首方向平行舷長さおよび船尾方向平行舷長さの比については，貨物船の場合は，満載時ではこれらの比が概ね同等であるが，バラスト時では船首方向平行舷長さの比の方が若干大きくなっている．

(3) コンテナ船

図-5.13 および図-5.14 は，それぞれコンテナ船の垂線間長（Lpp）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）の回帰直線を取得データとともに示す．

コンテナ船の垂線間長に対する平行舷長さの比は，満載時で約 0.53，バラスト時で約 0.24 であり，喫水条件によって大きく異なっている．また，コンテナ船に対する港湾基準の値である 1/3 は，これらの間にあり，バラスト時の値の方に近いことがわかる．船首方向平行舷長さおよび船尾方向平行舷長さの比については，コンテナ船の場合は，満載時およびバラスト時のいずれも船尾方向平行舷長さの比の方が大きく，どちらも 2 倍以上の差となっている．

(4) 旅客船

図-5.15 は，旅客船の垂線間長（Lpp）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）の回帰直線を取得データとともに示す．

旅客船の垂線間長に対する平行舷長さの比は，満載時で約 0.49 であり，旅客船に対する港湾基準の値である 1/3 よりもかなり大きく 1/2 に近い値となっている．船首方向平行舷長さおよび船尾方向平行舷長さの比については，旅客船の場合は，船尾方向平行舷長さの比の方が船首方

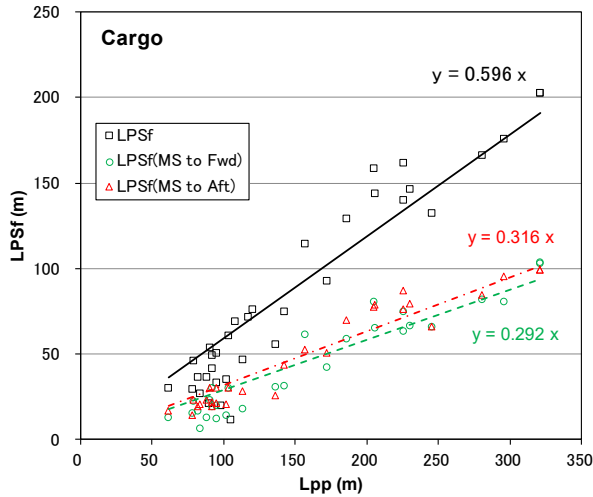


図-5.11 垂線間長と平行舷長さの関係 (貨物船, 満載時)

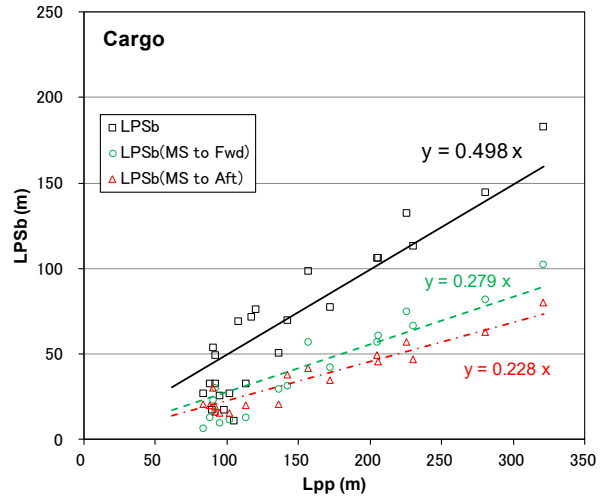


図-5.12 垂線間長と平行舷長さの関係 (貨物船, バラスト時)

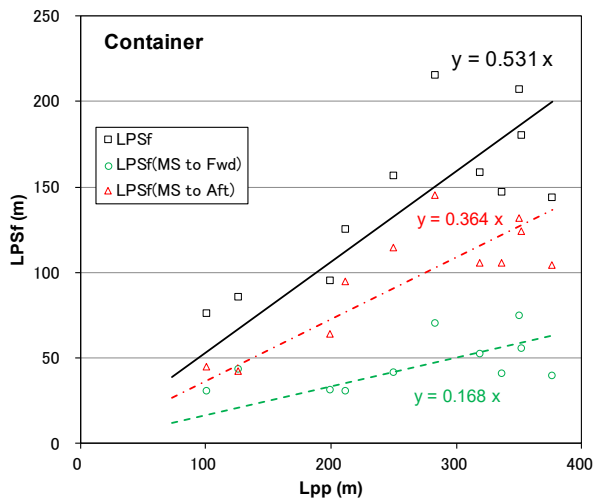


図-5.13 垂線間長と平行舷長さの関係 (コンテナ船, 満載時)

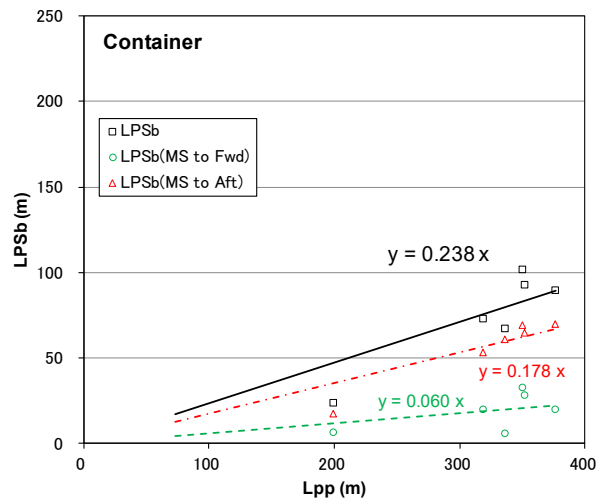


図-5.14 垂線間長と平行舷長さの関係 (コンテナ船, バラスト時)

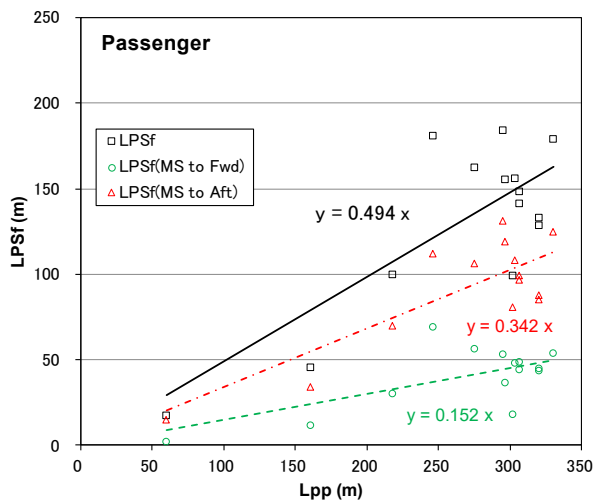


図-5.15 垂線間長と平行舷長さの関係 (旅客船, 満載時)

表-5.6 垂線間長に対する平行舷長さの比 (全船種)

船種	分類	垂線間長に対する平行舷長さの比	
		満載時	バラスト時
貨物船	肥大船	0.596	0.498
タンカー		0.513	0.446
LPG船		0.541	0.469
LNG船		0.533	0.504
コンテナ船	痩せ型船	0.531	0.238
RORO船・PCC		0.464	0.405
旅客船		0.494	-
フェリー		0.599	-

向平行舷長さの比と比較して2倍以上大きくくなっている。

(5) 全船種 (まとめ)

表-5.6 は、貨物船、コンテナ船および旅客船と同様にして求めた船種ごとの船舶の垂線間長 (L_{pp}) に対する満載時の平行舷長さ (LPS_f) の比およびバラスト時の平行舷長さ (LPS_b) の比を示す。ここでは、港湾基準を参考に、

貨物船、タンカー、LPG 船および LNG 船を肥大船とし、コンテナ船、RORO 船・PCC、旅客船およびフェリーを痩せ型船とした。なお、肥大船は船舶のブロック係数が 0.7 以上、また痩せ型船は 0.7 未満である (高橋ら, 2006)。

貨物船、タンカー、LPG 船および LNG 船については、垂線間長に対する平行舷長さの比は、肥大船に対する港

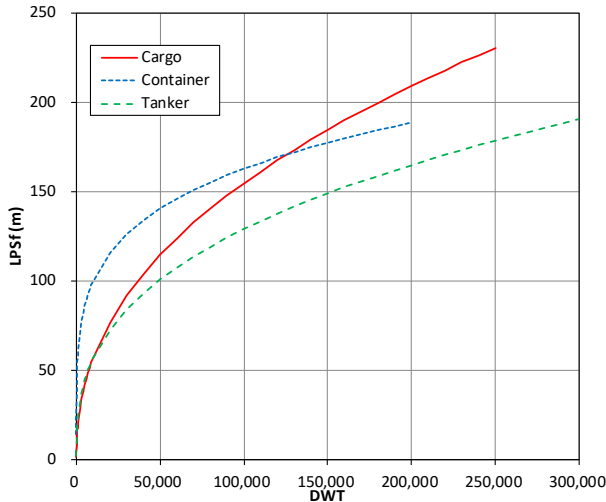


図-5.16 船種ごとの平行舷長さの回帰式の比較 (満載時)
 <貨物船, コンテナ船, タンカー>

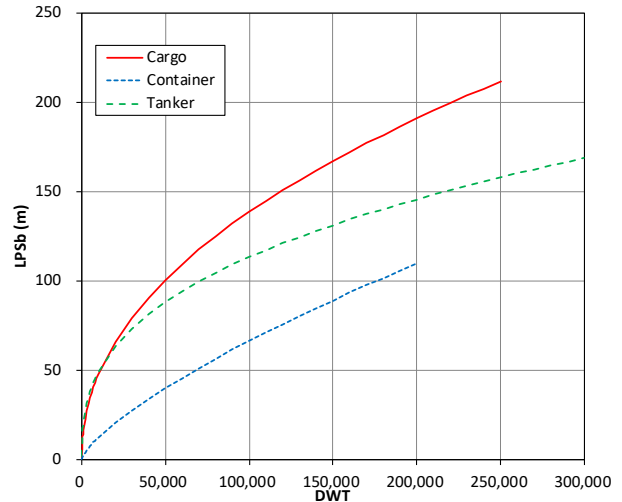


図-5.17 船種ごとの平行舷長さの回帰式の比較 (バラスト時)
 <貨物船, コンテナ船, タンカー>

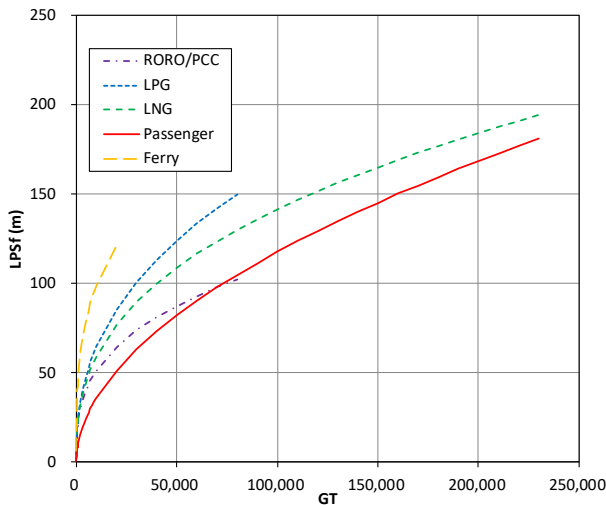


図-5.18 船種ごとの平行舷長さの回帰式の比較 (満載時)
 <RORO 船・PCC, LPG 船, LNG 船, 旅客船, フェリー>

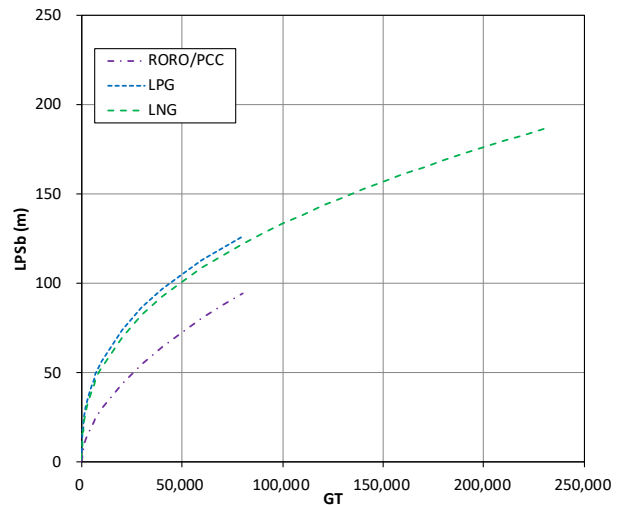


図-5.19 船種ごとの平行舷長さの回帰式の比較 (バラスト時)
 <RORO 船・PCC, LPG 船, LNG 船>

表-5.7 平行舷長さの回帰係数等 (全船種, 満載時)

船種	データ数	回帰係数 (カバー率50%)		相関係数	標準偏差
	N	α	β		
貨物船	35	1.029	0.435	0.936	0.116
コンテナ船	11	14.141	0.212	0.839	0.092
タンカー	64	2.150	0.355	0.951	0.056
RORO船・PCC	12	2.369	0.333	0.734	0.155
LPG船	9	1.556	0.404	0.996	0.028
LNG船	13	1.781	0.380	0.949	0.081
旅客船	14	0.304	0.518	0.957	0.086
フェリー	15	6.210	0.301	0.871	0.055

表-5.8 平行舷長さの回帰係数等 (全船種, バラスト時)

船種	データ数	回帰係数 (カバー率50%)		相関係数	標準偏差
	N	α	β		
貨物船	24	0.668	0.463	0.905	0.141
コンテナ船	6	0.015	0.729	0.975	0.112
タンカー	62	1.734	0.363	0.926	0.065
RORO船・PCC	9	0.185	0.552	0.709	0.303
LPG船	9	1.600	0.387	0.982	0.056
LNG船	12	1.315	0.401	0.987	0.044

湾基準の値である 1/2 とほぼ同等である。なお、船舶登録データベースによるデータを用いた解析結果（付録 D）では、タンカー、LPG 船および LNG 船について、表と概ね同程度の値となっている。一方、コンテナ船の垂線間長に対する平行舷長さの比は、喫水条件によって大きく異なり、瘦せ型船に対する港湾基準の値である 1/3 はバラスト時の値の方に近い。また、RORO 船・PCC および旅客船の垂線間長に対する平行舷長さの比は、1/3 よりも大きく 1/2 に近い値であり、フェリーについては 1/2 よりも大きい。この表から、船舶の垂線間長に対する平行舷長さの比は、港湾基準で示されている 1/3～1/2 よりも少し大きく、概ね 2/5～3/5 の範囲にあると言える。船舶の接岸エネルギーを算定する際には、この表を参考にして、対象船舶の垂線間長に対する平行舷長さの比を求めることができる。

5.4 船種ごとの平行舷長さの回帰式の比較

(1) 概要

統計解析を実施した 8 船種を対象として、船舶の平行舷長さの回帰式について船種ごとに比較して考察する。

船舶の載貨重量トン数に対する回帰式を求めている貨物船、コンテナ船およびタンカーの 3 船種と、総トン数に対する回帰式を求めている ROLO 船・PCC、LPG 船、LNG 船、旅客船およびフェリーの 5 船種に分けて、カバー率 50% の回帰式について比較する。ここでは、船種ごとの平行舷長さの基本的な特徴を相互比較し易いように、平均的關係を表すカバー率 50% の回帰式を用いた。また、船舶の平行舷長さに対する回帰式の回帰係数および基本統計量について、船種ごとに一覧として提示する。

(2) 平行舷長さの回帰式

図-5.16 および図-5.17 は、貨物船、コンテナ船およびタンカーについて、それぞれ載貨重量トン数（DWT）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）のカバー率 50% の回帰式を比較して示す。また、図-5.18 および図-5.19 は、ROLO 船・PCC、LPG 船、LNG 船、旅客船およびフェリーについて、それぞれ総トン数（GT）に対する満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）のカバー率 50% の回帰式を比較して示す。

貨物船等の回帰式の比較からは、船型に対する平行舷長さの増加は貨物船が著しい傾向にあり、コンテナ船およびタンカーはそれよりも穏やかな傾向を示していることがわかる。また、コンテナ船の平行舷長さは、喫水条件によって大きく異なり、バラスト時は満載時の 1/2 程度以下と大きく減少している。一方、ROLO 船・PCC 等の回帰式の比較からは、船型に対する平行舷長さの増加傾向

は船種ごとに異なるが、他の船種に比べて旅客船の平行舷長さが短くなっていることがわかる。また、LNG 船については、喫水条件の影響は比較的小さいと考えられる。

表-5.7 および表-5.8 は、それぞれ満載時の平行舷長さ（LPSf）およびバラスト時の平行舷長さ（LPSb）について、統計解析によって得られたカバー率 50% の回帰係数、相関係数および標準偏差を取得データ数とともに示す。

船舶の平行舷長さについては、多くの船種で相関係数が 0.9 以上と強い相関を示しているが、ROLO 船・PCC の相関係数は 0.7 台と相関が低くなっている。このため、この船種以外の平行舷長さの回帰式の有効性は高いと考えられる。また、標準偏差はほとんどの船種で 0.1 以下であるが、ROLO 船・PCC など一部の船種では大きな標準偏差を示している。

なお、カバー率 50% 以外の他のカバー率の回帰式は、4. 統計解析で説明した方法により作成することができる。ただし、船種によってはデータ数が少ないため、カバー率 50% 以外の回帰式を利用する際には注意が必要である。

6. 受風面積の解析結果

6.1 概要

船舶の平行舷長さの場合と同様に、統計解析を実施した 8 船種のうち、主に、貨物船、コンテナ船および旅客船の 3 船種を対象として、満載時およびバラスト時における船舶の受風面積（船体正面・船体側面）の解析結果について考察する。まず、貨物船、コンテナ船および旅客船について、係留船舶への風荷重の算定に大きく影響する側面受風面積の回帰式を示し、データとの相関性や回帰式の有効性について評価する。また、8 種類の船種ごとの正面受風面積および側面受風面積の回帰式を比較して示し、回帰式に対する船種の影響について考察する。なお、全ての船種の満載時およびバラスト時における受風面積の統計解析結果について、正面受風面積の回帰式を付録 E に、側面受風面積の回帰式を付録 F に掲載する。

6.2 側面受風面積の回帰式

(1) 概要

貨物船、コンテナ船および旅客船の満載時およびバラスト時における側面受風面積の回帰式について、基本統計量および回帰式の特徴について考察する。

船種ごとに、取得データ数とともに、統計解析によって得られたカバー率別の回帰係数、相関係数および標準偏差を表にして表示する。また、船種ごとに、船舶の載貨重量トン数（DWT）または総トン数（GT）と船舶の満載時

表-6.1 側面受風面積の回帰係数等（貨物船，満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	17.017	0.427	0.941	0.107	36
75%	20.104	0.427			
90%	23.358	0.427			
95%	25.553	0.427			

表-6.2 側面受風面積の回帰係数等（貨物船，バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	10.277	0.520	0.964	0.093	32
75%	11.879	0.520			
90%	13.533	0.520			
95%	14.631	0.520			

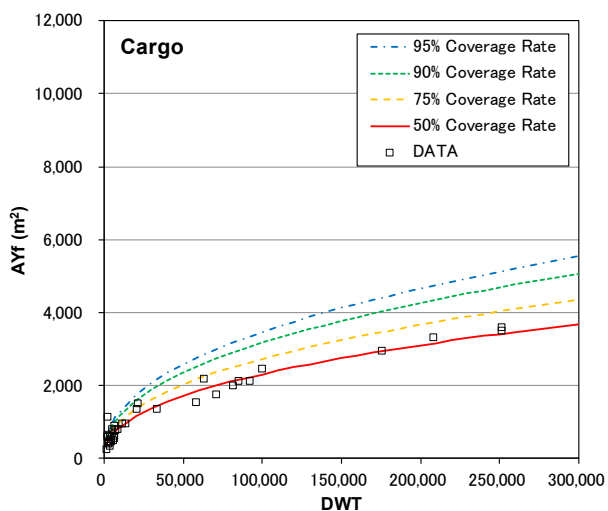


図-6.1 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（貨物船，満載時） ※線形グラフ

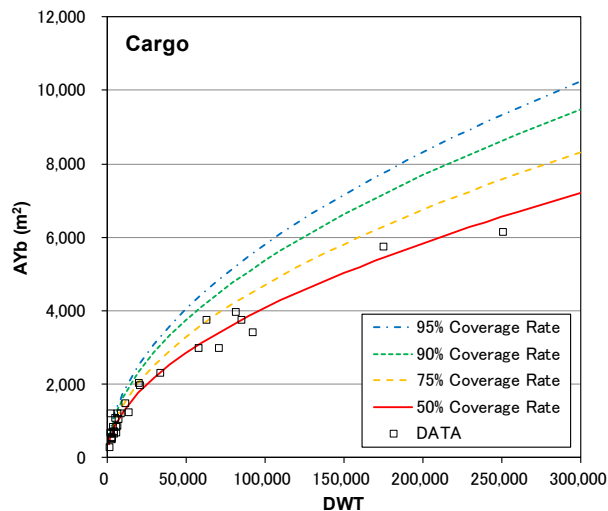


図-6.2 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（貨物船，バラスト時） ※線形グラフ

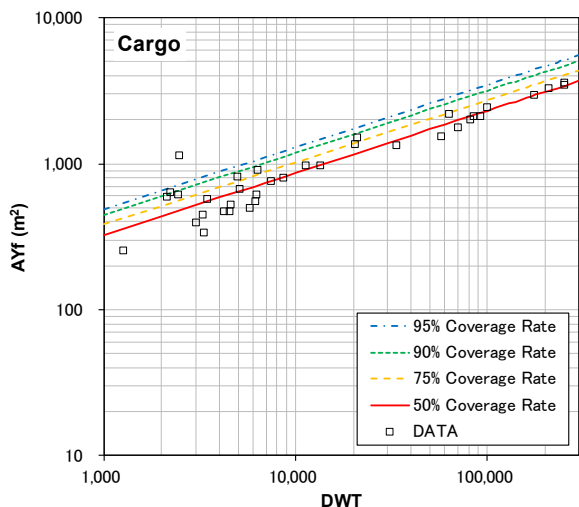


図-6.3 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（貨物船，満載時） ※両対数グラフ

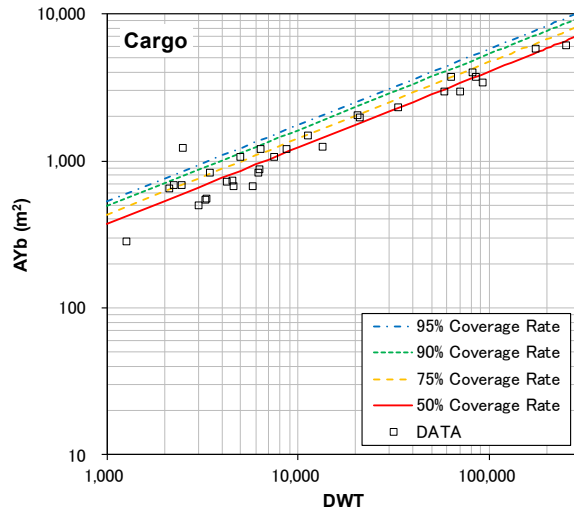


図-6.4 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（貨物船，バラスト時） ※両対数グラフ

の側面受風面積（AYf）あるいはバラスト時の側面受風面積（AYb）とのカバー率別回帰式を取得データとともにグラフとして表示する。なお、表およびグラフの表示方法は、船舶の平行舷長さの場合と同様である。

(2) 貨物船

表-6.1 および表-6.2 は、それぞれ貨物船の満載時の側面受風面積（AYf）およびバラスト時の側面受風面積（AYb）と載貨重量トン数（DWT）との回帰分析から得られた回

帰係数と基本統計量を取得データ数とともに示す。図-6.1 および図-6.2 は、それぞれ貨物船の載貨重量トン数（DWT）に対する満載時の側面受風面積（AYf）およびバラスト時の側面受風面積（AYb）のカバー率別回帰式を取得データとともに示す。図-6.3 および図-6.4 は、図-6.1 および図-6.2 の両対数軸による表記である。

貨物船の側面受風面積のデータ数は、満載時 36、バラスト時 32 と少ないが、相関係数は、満載時 0.941、バラス

表-6.3 側面受風面積の回帰係数等（コンテナ船，満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	24.647	0.525	0.974	0.128	14
75%	30.067	0.525			
90%	35.958	0.525			
95%	40.021	0.525			

表-6.4 側面受風面積の回帰係数等（コンテナ船，バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	25.585	0.486	0.998	0.112	11
75%	30.428	0.486			
90%	35.567	0.486			
95%	39.048	0.486			

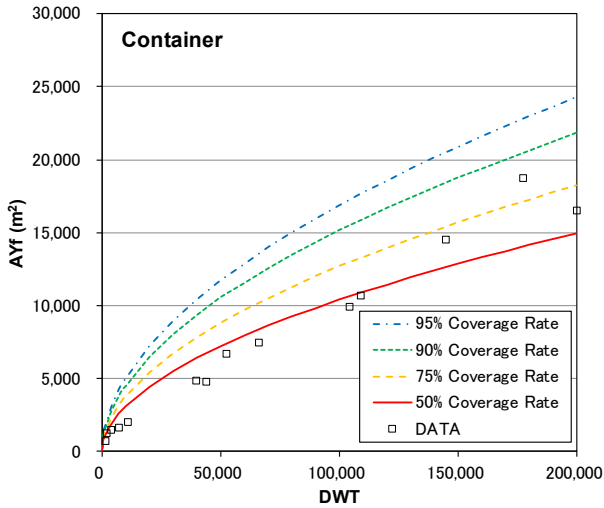


図-6.5 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（コンテナ船，満載時） ※線形グラフ

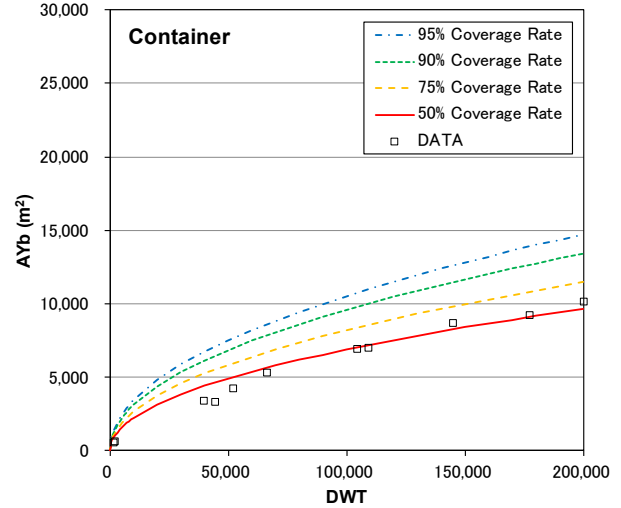


図-6.6 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（コンテナ船，バラスト時） ※線形グラフ

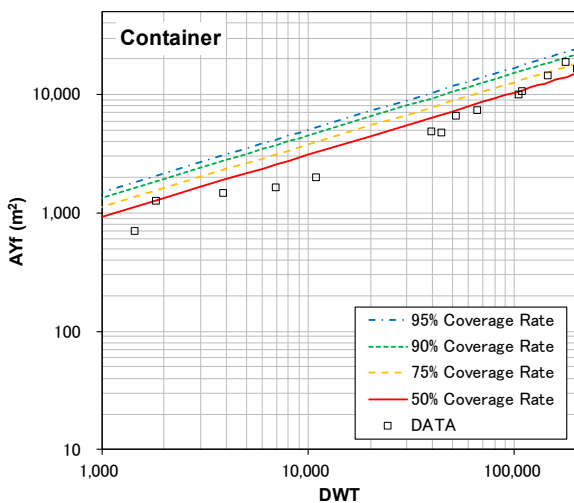


図-6.7 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（コンテナ船，満載時） ※両対数グラフ

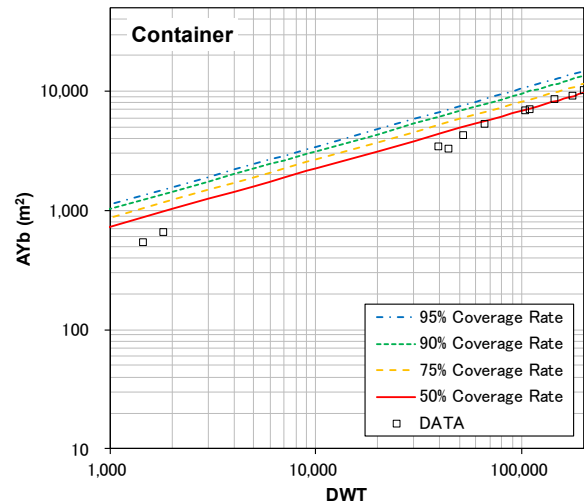


図-6.8 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（コンテナ船，バラスト時） ※両対数グラフ

ト時 0.964 で少なくとも強い相関があり，回帰式の有効性は高いと言える．側面受風面積のデータの分布は，1 隻を除き概ねカバー率 75%の回帰式以下に分布しており，大きなばらつきは見られない．また，貨物船の満載時およびバラスト時の側面受風面積を比較すると，バラスト時の方が満載時よりも 1.8 倍程度大きくなっている．

(3) コンテナ船

表-6.3 および表-6.4 は，それぞれコンテナ船の満載時

の側面受風面積（AYf）およびバラスト時の側面受風面積（AYb）と載貨重量トン数（DWT）との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を取得データ数とともに示す．図-6.5 および図-6.6 は，それぞれコンテナ船の載貨重量トン数（DWT）に対する満載時の側面受風面積（AYf）およびバラスト時の側面受風面積（AYb）のカバー率別回帰式を取得データとともに示す．図-6.7 および図-6.8 は，図-6.5 および図-6.6 の両対数軸による表記である．

表-6.5 側面受風面積の回帰係数等 (旅客船, 満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	3.495	0.690	0.997	0.024	27
75%	3.629	0.690			
90%	3.754	0.690			
95%	3.831	0.690			

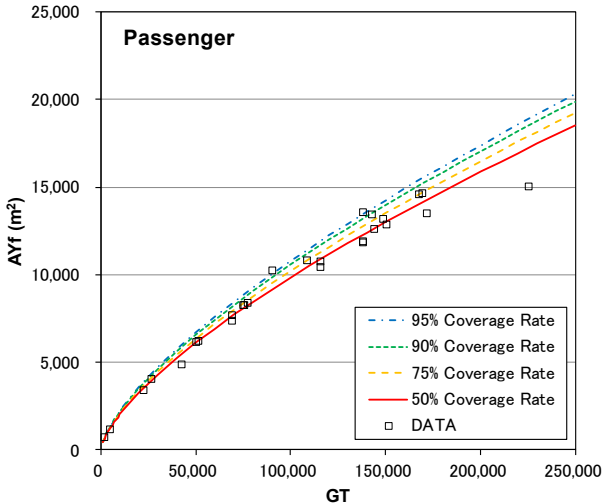


図-6.9 総トン数と側面受風面積の関係 (旅客船, 満載時) ※線形グラフ

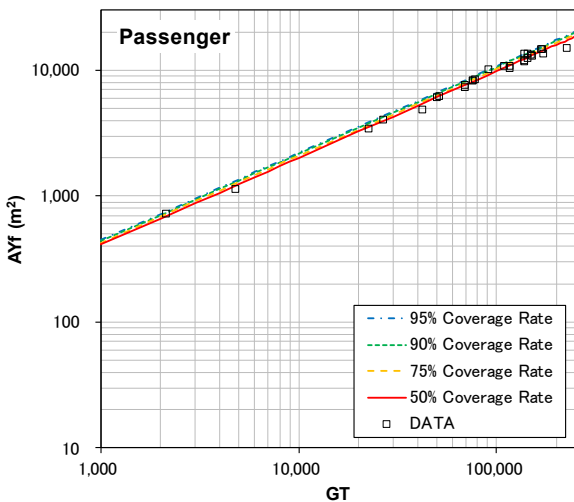


図-6.10 総トン数と側面受風面積の関係 (旅客船, 満載時) ※両対数グラフ

コンテナ船の側面受風面積のデータ数は、満載時 14、バラスト時 11 と非常に少ないが、相関係数は、満載時 0.974、バラスト時 0.998 で非常に強い相関があり、回帰式の有効性は高いと言える。側面受風面積のデータの分布は、大きなばらつきは見られず、カバー率 50%の回帰式を中心にほぼ全てカバー率 75%の回帰式以下に位置している。また、コンテナ船の満載時の側面受風面積は、バラスト時と比べて約 1.5 倍も大きくなっており、デッキ上に

積載されたコンテナの影響が非常に大きいことがわかる。

(4) 旅客船

表-6.5 は、旅客船の満載時の側面受風面積 (AYf) と総トン数 (GT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を取得データ数とともに示す。図-6.9 は、旅客船の総トン数 (GT) に対する満載時の側面受風面積 (AYf) のカバー率別回帰式を取得データとともに示す。図-6.10 は、図-6.9 の両対数軸による表記である。旅客船については、バラスト時の受風面積に関するデータが得られていない。

旅客船の満載時の側面受風面積のデータ数は、27 と少ないが、相関係数は、0.997 で非常に強い相関があり、回帰式の有効性は高いと言える。側面受風面積のデータの分布は、2 隻を除き概ねカバー率 75%の回帰式以下に分布しており、大きなばらつきは見られない。また、貨物船の場合と比較すると、旅客船の側面受風面積の方が極端に大きいことがわかる。

6.3 船種ごとの受風面積の回帰式の比較

(1) 概要

統計解析を実施した 8 船種を対象として、船舶の正面受風面積および側面受風面積の回帰式について船種ごとに比較して考察する。

船舶の平行舷長さの場合と同様に、船舶の載貨重量トン数に対する回帰式を求めている貨物船、コンテナ船およびタンカーの 3 船種と、総トン数に対する回帰式を求めている RORO 船・PCC、LPG 船、LNG 船、旅客船およびフェリーの 5 船種に分けて、カバー率 50%の回帰式について比較する。また、船舶の正面受風面積および側面受風面積に対する回帰式の回帰係数および基本統計量について、船種ごとに一覧として提示する。

(2) 正面受風面積の回帰式

図-6.11 および図-6.12 は、貨物船、コンテナ船およびタンカーについて、それぞれ載貨重量トン数 (DWT) に対する満載時の正面受風面積 (AXf) およびバラスト時の正面受風面積 (AXb) のカバー率 50%の回帰式を比較して示す。また、図-6.13 および図-6.14 は、RORO 船・PCC、LPG 船、LNG 船、旅客船およびフェリーについて、それぞれ総トン数 (GT) に対する満載時の正面受風面積 (AXf) およびバラスト時の正面受風面積 (AXb) のカバー率 50%の回帰式を比較して示す。

貨物船等の回帰式の比較からは、船型に対する正面受風面積の増加はコンテナ船が著しい傾向にあることがわかる。また、これらの船舶の正面受風面積は満載時に小さくバラスト時に大きい、コンテナ船はその差異が小さ

くなっている。コンテナ船の正面受風面積がデッキ上に積載されたコンテナの影響を受けないのは、船橋（ブリッジ）が正面受風面積に考慮されているためである。一方、RORO 船・PCC 等の回帰式の比較からは、船型に対する正面受風面積の増加傾向は船種ごとに大きく変化せず、喫水条件の影響はほとんどないことがわかる。

表-6.6 および表-6.7 は、それぞれ満載時の正面受風面積（AXf）およびバラスト時の正面受風面積（AXb）について、統計解析によって得られたカバー率 50%の回帰係数、相関係数および標準偏差を取得データ数とともに示す。

船舶の正面受風面積については、RORO 船・PCC を除

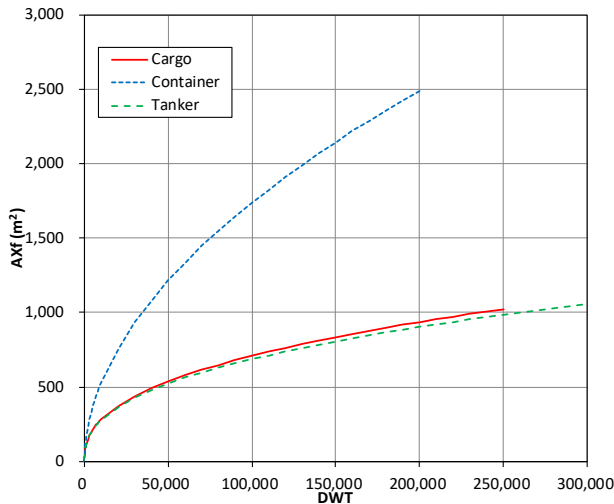


図-6.11 船種ごとの正面受風面積の回帰式の比較（満載時）
＜貨物船，コンテナ船，タンカー＞

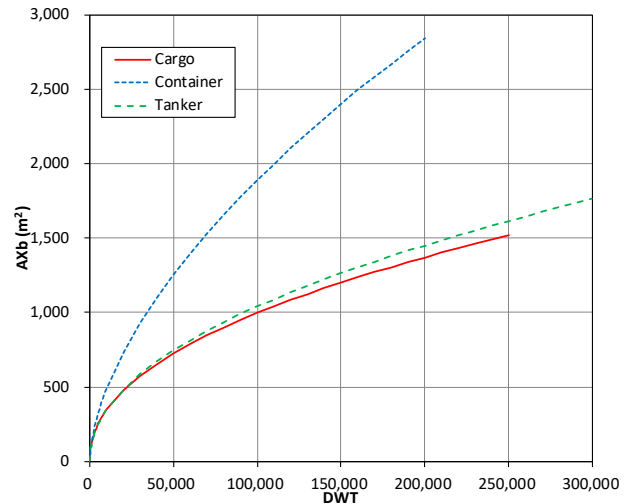


図-6.12 船種ごとの正面受風面積の回帰式の比較（バラスト時）
＜貨物船，コンテナ船，タンカー＞

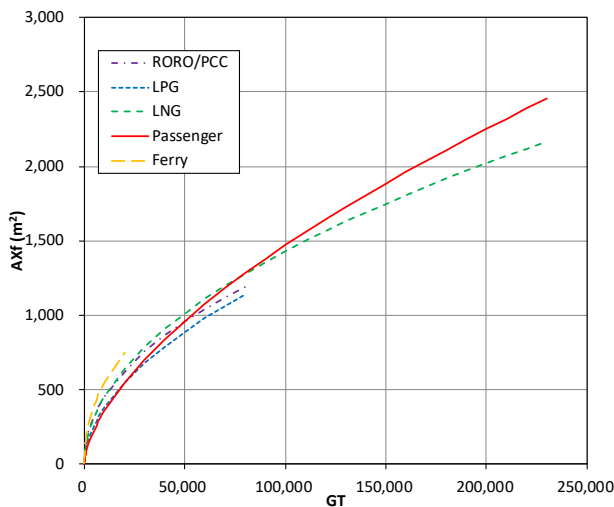


図-6.13 船種ごとの正面受風面積の回帰式の比較（満載時）
＜RORO 船・PCC，LPG 船，LNG 船，旅客船，フェリー＞

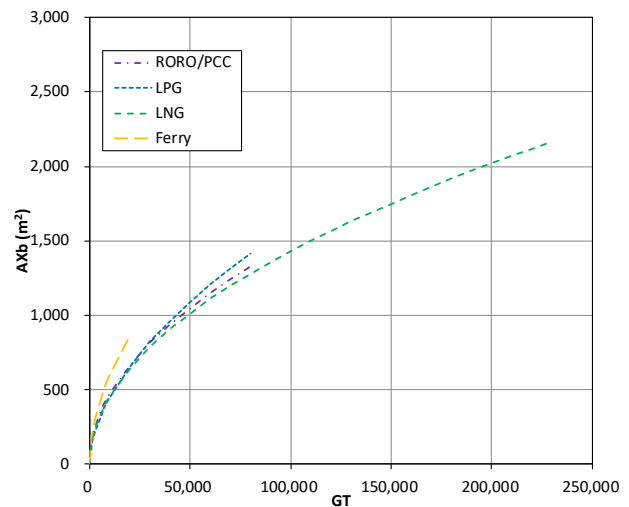


図-6.14 船種ごとの正面受風面積の回帰式の比較（バラスト時）
＜RORO 船・PCC，LPG 船，LNG 船，フェリー＞

表-6.6 正面受風面積の回帰係数等（全船種，満載時）

船種	データ数	回帰係数 (カバー率50%)		相関係数	標準偏差
		α	β		
貨物船	31	6.982	0.401	0.976	0.066
コンテナ船	11	4.465	0.518	0.978	0.080
タンカー	54	7.495	0.392	0.931	0.079
RORO船・PCC	13	6.014	0.469	0.871	0.117
LPG船	9	2.838	0.531	0.996	0.037
LNG船	15	4.571	0.499	0.988	0.057
旅客船	25	1.229	0.616	0.934	0.062
フェリー	25	8.446	0.453	0.939	0.049

表-6.7 正面受風面積の回帰係数等（全船種，バラスト時）

船種	データ数	回帰係数 (カバー率50%)		相関係数	標準偏差
		α	β		
貨物船	27	5.037	0.459	0.983	0.059
コンテナ船	9	2.118	0.590	0.981	0.077
タンカー	54	4.159	0.480	0.949	0.082
RORO船・PCC	11	4.904	0.496	0.899	0.115
LPG船	9	2.685	0.555	0.992	0.054
LNG船	14	5.199	0.494	0.993	0.044
フェリー	17	4.598	0.529	0.981	0.033

いたほぼ全ての船種で相関係数が 0.9 以上と強い相関を示している。ただし、RORO 船・PCC の場合でも相関係数は 0.8 台後半であり、全ての船種について正面受風面積の回帰式の有効性は高いと考えられる。また、標準偏差についても、RORO 船・PCC 以外の船種では 0.1 以下となっている。

(3) 側面受風面積の回帰式

図-6.15 および図-6.16 は、貨物船、コンテナ船およびタンカーについて、それぞれ載貨重量トン数 (DWT) に対する満載時の側面受風面積 (AYf) およびバラスト時の側面受風面積 (AYb) のカバー率 50% の回帰式を比較して示す。また、図-6.17 および図-6.18 は、RORO 船・PCC,

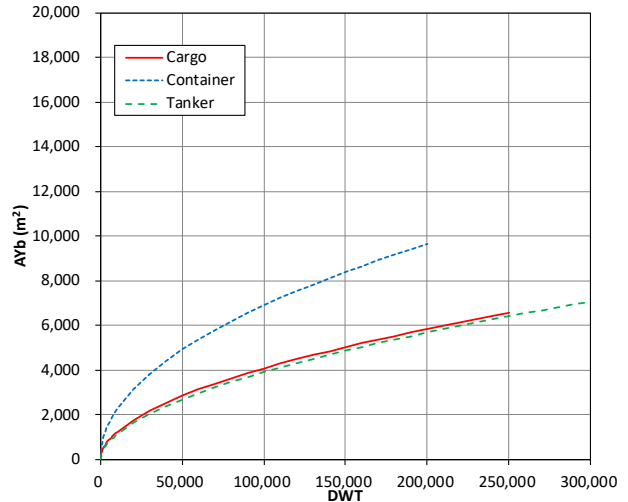
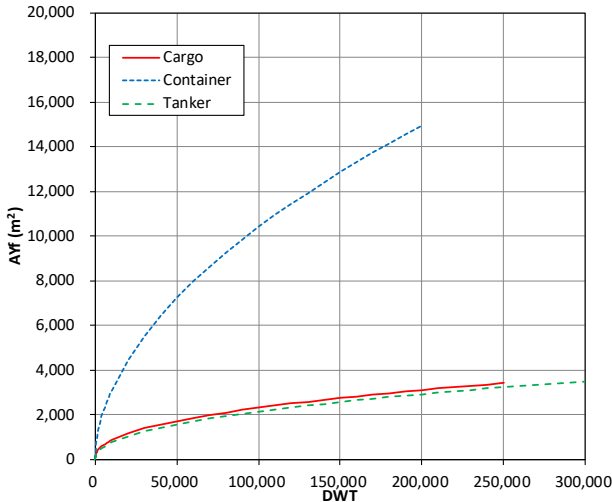


図-6.15 船種ごとの側面受風面積の回帰式の比較 (満載時) <貨物船, コンテナ船, タンカー>

図-6.16 船種ごとの側面受風面積の回帰式の比較 (バラスト時) <貨物船, コンテナ船, タンカー>

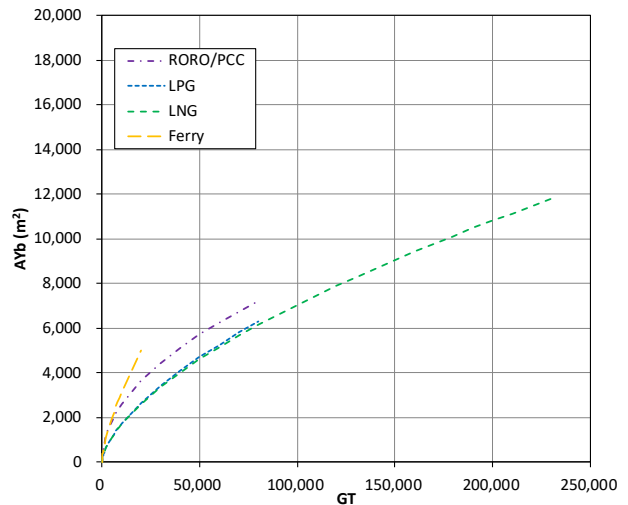
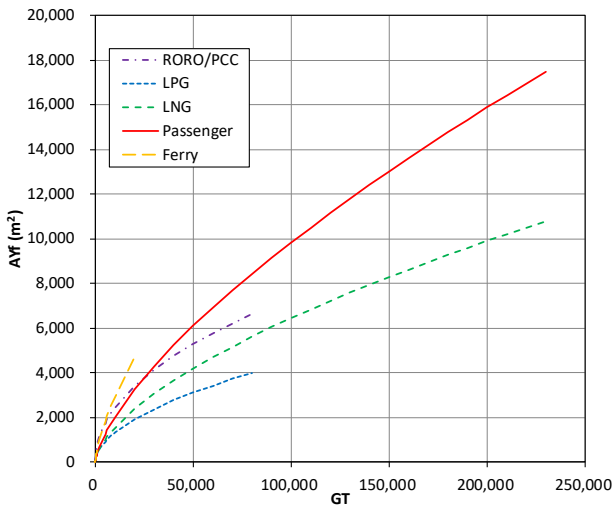


図-6.17 船種ごとの側面受風面積の回帰式の比較 (満載時) <RORO 船・PCC, LPG 船, LNG 船, 旅客船, フェリー>

図-6.18 船種ごとの側面受風面積の回帰式の比較 (バラスト時) <RORO 船・PCC, LPG 船, LNG 船, フェリー>

表-6.8 側面受風面積の回帰係数等 (全船種, 満載時)

船種	データ数	回帰係数 (カバー率50%)		相関係数	標準偏差
	N	α	β		
貨物船	36	17.017	0.427	0.941	0.107
コンテナ船	14	24.647	0.525	0.974	0.128
タンカー	64	12.072	0.450	0.914	0.096
RORO船・PCC	17	28.602	0.482	0.939	0.082
LPG船	9	9.527	0.535	0.997	0.031
LNG船	15	5.171	0.619	0.995	0.044
旅客船	27	3.495	0.690	0.997	0.024
フェリー	24	5.733	0.677	0.988	0.029

表-6.9 側面受風面積の回帰係数等 (全船種, バラスト時)

船種	データ数	回帰係数 (カバー率50%)		相関係数	標準偏差
	N	α	β		
貨物船	32	10.277	0.520	0.964	0.093
コンテナ船	11	25.585	0.486	0.998	0.112
タンカー	63	7.689	0.541	0.965	0.071
RORO船・PCC	15	27.071	0.494	0.949	0.080
LPG船	9	5.183	0.629	0.988	0.074
LNG船	14	5.756	0.618	0.997	0.037
フェリー	19	5.960	0.679	0.985	0.036

LPG 船, LNG 船, 旅客船およびフェリーについて, それぞれ総トン数 (GT) に対する満載時の側面受風面積 (AYf) およびバラスト時の側面受風面積 (AYb) のカバー率 50% の回帰式を比較して示す.

貨物船等の回帰式の比較からは, 正面受風面積の場合と同様に, 船型に対する側面受風面積の増加はコンテナ船が著しい傾向にあることがわかる. また, 貨物船およびタンカーの側面受風面積は満載時に小さくバラスト時に大きい, コンテナ船についてはデッキ上に積載されたコンテナの影響により逆の傾向を示している. 一方, RORO 船・PCC 等の回帰式の比較からは, 船型に対する側面受風面積の増加傾向は船種ごとに多少異なるが, LPG 船以外の船種では, 喫水条件の影響は比較的小さいことがわかる.

表-6.8 および表-6.9 は, それぞれ満載時の側面受風面積 (AYf) およびバラスト時の側面受風面積 (AYb) について, 統計解析によって得られたカバー率 50% の回帰係数, 相関係数および標準偏差を取得データ数とともに示す.

船舶の側面受風面積については, 全ての船種で相関係数が 0.9 以上と強い相関を示しており, 側面受風面積の回帰式の有効性は高いと言える. また, 標準偏差については, コンテナ船等一部の船種を除いて 0.1 以下となっている.

なお, 船舶の受風面積についても, 船種によってはデータ数が少ないことから利用に注意を要するが, 4. 統計解析で説明した方法によりカバー率 50% 以外の他のカバー率の回帰式を作成することができる.

7. 結論

本研究では, 船舶の平行舷長さ受風面積についてアンケート調査によりデータ収集して統計解析を実施し, 船種ごとにこれらの船舶諸元の回帰式等を算定した.

本研究の主な結論は, 以下の通りである.

- 1) 船舶の平行舷長さ受風面積について, 船主等へのアンケート調査により得られたデータを統計解析し, 船種ごとに満載時およびバラスト時における回帰式と基本統計量を提示した.
- 2) 船舶の平行舷長さ受風面積との比は, 現行の港湾基準で示されている 1/3~1/2 よりも少し大きく, 概ね 2/5~3/5 の範囲にあることがわかった.
- 3) 船舶の受風面積は, 一般的に満載時に小さくバラスト時に大きい傾向にあるが, コンテナ船の側面受風面積についてはデッキ上に積載されたコンテナの影響により逆の傾向を示すことを確認した.

8. おわりに

本研究の成果は, 防舷材および係船柱の設計実務において, 現状よりも高精度に設計を実施するための参考資料として利用することができる. すなわち, 対象船舶の諸元が不明な場合に本研究で提示した船舶の平行舷長さおよび受風面積の回帰式を用いれば, 船種ごとの特性を考慮することにより, 船舶の接岸エネルギーや風荷重による係留船舶の牽引力をより正確に算定することが可能である.

(2021年11月5日受付)

謝辞

本研究において, 船主等へのアンケート調査などに基づく船舶の平行舷長さおよび受風面積のデータ収集は, 株式会社日本海洋科学の原大地氏, 西澤慶介氏を中心に実施して頂いたものである. ここに記して深く感謝の意を表する.

参考文献

- 赤倉康寛・高橋宏直・中本隆 (1998a) : 統計解析等による対象船舶の諸元, 港湾技研資料, No.910, 23p.
- 赤倉康寛・高橋宏直 (1998b) : Ship Dimensions of Design Ship under Given Confidence Limits 信頼度を与条件とした船舶諸元, 港湾技研資料, No.911, 23p.
- 高橋宏直・後藤文子・安部智久 (2006) : 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)一, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.28, 125p.
- 日本海運集会所 (2019) : 日本船舶明細書I・日本船舶明細書II・内航船舶明細書 (2019年版).
- 日本港湾協会 (2018) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (平成30年版), pp.430-443.
- IHS Markit (2019): IHS Maritime World Shipping Encyclopedia (2019 Edition).

記号表

- A : 直線回帰係数 a の推計値
- a : 直線回帰係数 (定数部分)
- AX : 船舶の正面受風面積 (m^2)
- AXb : 船舶の正面受風面積 (バラスト時) (m^2)
- AXf : 船舶の正面受風面積 (満載時) (m^2)
- AY : 船舶の側面受風面積 (m^2)
- AYb : 船舶の側面受風面積 (バラスト時) (m^2)
- AYf : 船舶の側面受風面積 (満載時) (m^2)

B : 直線回帰係数 b の推計値
 b : 直線回帰係数 (係数部分)
DWT : 船舶の載貨重量トン数 (トン)
GT : 船舶の総トン数 (トン)
 k : 回帰直線の平行移動量のパラメータ
Lpp : 船舶の垂線間長 (m)
LPS : 船舶の平行舷長さ (m)
LPSb : 船舶の平行舷長さ (バラスト時) (m)
LPSb(MS to Aft) : 船尾方向平行舷長さ (バラスト時) (m)
LPSb(MS to Fwd) : 船首方向平行舷長さ (バラスト時) (m)
LPSf : 船舶の平行舷長さ (満載時) (m)
LPSf(MS to Aft) : 船尾方向平行舷長さ (満載時) (m)
LPSf(MS to Fwd) : 船首方向平行舷長さ (満載時) (m)
 n : データの個数
 P : 回帰式のカバー率 (または信頼度) (%)
 R : 相関係数
 S_e : 直線回帰式周りの分散
 S_{xx} : 変数 x の分散
 S_{xy} : 変数 x, y の共分散
 S_{yy} : 変数 y の分散
 X : 説明変数
 x : 変数 (説明変数に対応)
 Y : 目的変数
 y : 変数 (目的変数に対応)
 α : 回帰係数 (係数部分)
 β : 回帰係数 (指数部分)
 σ : 直線回帰式周りの誤差の標準偏差

付録 A アンケート調査票

表-A.1 アンケート調査票（日本語版）「1 枚目」

船舶の諸元に関するアンケートにご協力ください。

Q1 船舶の主要目（①～⑩）を記入ください。

①船名	_____
②船種	例) 貨物船、タンカー、コンテナ船
③総トン数	GT
④載貨重量トン数	MT
⑤満載排水トン数	MT
⑥全長	m
⑦垂線間長	m
⑧型幅	m
⑨満載喫水	m
⑩バラスト時の平均喫水	m

Q2 船体平行舷の長さ（下図の①及び②、もしくは③）をご記入ください。
可能であれば、満載時とバラスト時のそれぞれで回答ください。
※平行舷：水面上における船体側面の平行舷

①船体中心から船首側の平行舷の長さ	満載時	バラスト時
	m /	m
②船体中心から船尾側の平行舷の長さ	満載時	バラスト時
	m /	m
もしくは、		
③船首側から船尾側までの平行舷の長さ	満載時	バラスト時
	m /	m

(2 枚目もご記入ください)

表-A.2 アンケート調査票（日本語版）「2 枚目」

Q3 船体の正面及び側面の受風面積（水面上の投影面積 下図の斜線部）をご記入ください。
満載時とバラスト時のそれぞれで回答いただくか、ある喫水時での数値をご記入ください。

①船体側面の受風面積	満載時	バラスト時	(あるいは喫水	m 時)
	m ² /	m ² (m ²)
②船体正面の受風面積	満載時	バラスト時	(あるいは喫水	m 時)
	m ² /	m ² (m ²)

※船体平行舷の長さや受風面積が不明である場合、一般配置図（側面図及び正面図）のコピーをご提供くだされば、当方にて必要な情報を計測したのちコピーを廃棄します。また、データでご提供いただいた場合も計測後データを削除します。

以上です。ご協力ありがとうございました。
ご回答いただいた情報については、本調査の目的以外に使用することはありません。

表-A.3 アンケート調査票（英語版）「1 枚目」

Please cooperate with the questionnaire about the dimensions of the ship.

Q1 Please fill in below(1-10)

1) Ship Name	_____
2) Type of Ship	exp.) Cargo, Tanker, Container, etc.
3) Gross tonnage	GT
4) Dead Weight tonnage	MT
5) Displacement tonnage (loaded)	MT
6) Length OA	m
7) Length PP	m
8) Breadth	m
9) Summer draught	m
10) Ballast draught	m

Q2 Please fill in the length of **flat body** (in the figure below (1) and (2), or (3)).
※Flat body : Flat body of the hull on the water surface

① Flat body length from midship to bow	Loaded	Ballast
	m /	m
② Flat body length from midship to stern	Loaded	Ballast
	m /	m
OR		
③ Flat body length from bow to stern	Loaded	Ballast
	m /	m

(Please fill in the second sheet)

表-A.4 アンケート調査票（英語版）「2 枚目」

Q3 Please fill in the **windage area** on the front and side of the hull (projected area above the water surface).
Please answer at loaded and ballast.

(1) Side of hull	loaded	ballast
	m ² /	m ²
(2) Front of hull	loaded	ballast
	m ² /	m ²

※If windage area or flat body length is unknown, please provide us a copy of General Arrangement (side view and front view).

Thank you for your cooperation.
The information you provide will not be used for any other purpose.

付録B 平行舷長さの回帰式（全船種）

<貨物船>

表-B.1 平行舷長さの回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.029	0.435	0.936	0.116	35
75%	1.232	0.435			
90%	1.449	0.435			
95%	1.597	0.435			

表-B.2 平行舷長さの回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	0.668	0.463	0.905	0.141	24
75%	0.832	0.463			
90%	1.014	0.463			
95%	1.141	0.463			

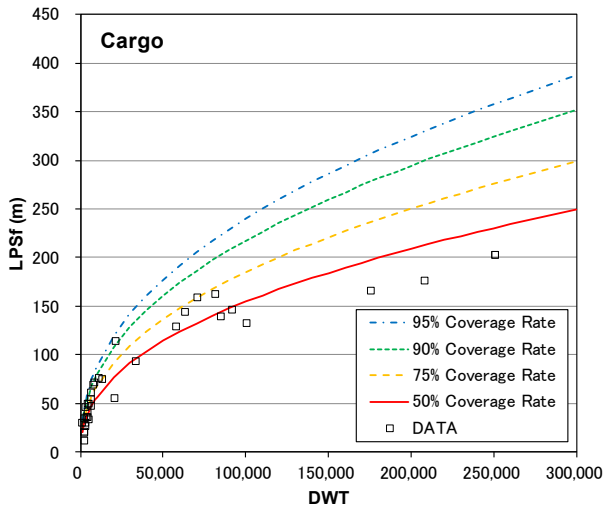


図-B.1 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（満載時） ※線形グラフ

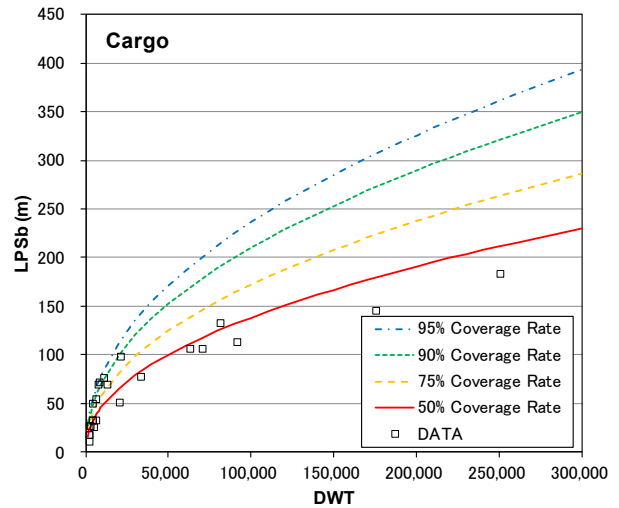


図-B.2 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（バラスト時） ※線形グラフ

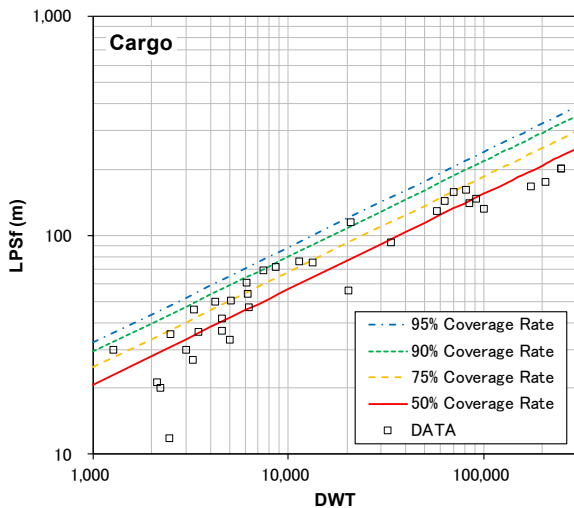


図-B.3 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（満載時） ※両対数グラフ

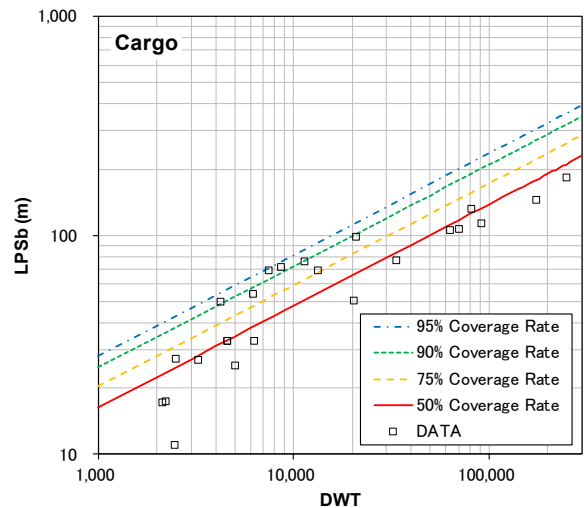


図-B.4 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（バラスト時） ※両対数グラフ

<コンテナ船>

表-B.3 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	14.141	0.212	0.839	0.092	11
75%	16.310	0.212			
90%	18.545	0.212			
95%	20.026	0.212			

表-B.4 平行舷長さの回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	0.015	0.729	0.975	0.112	6
75%	0.018	0.729			
90%	0.021	0.729			
95%	0.023	0.729			

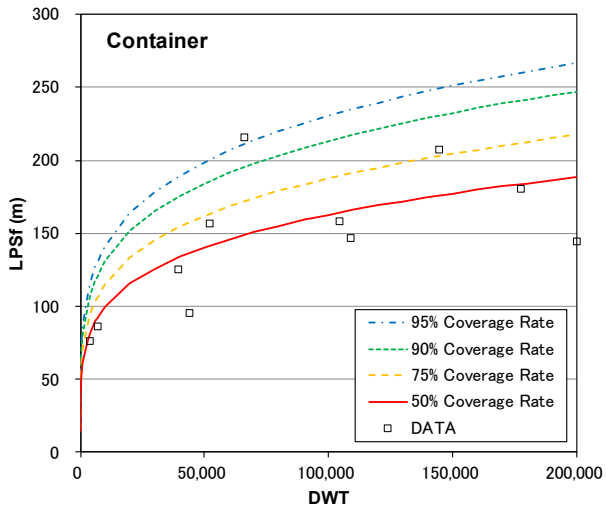


図-B.5 載貨重量トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

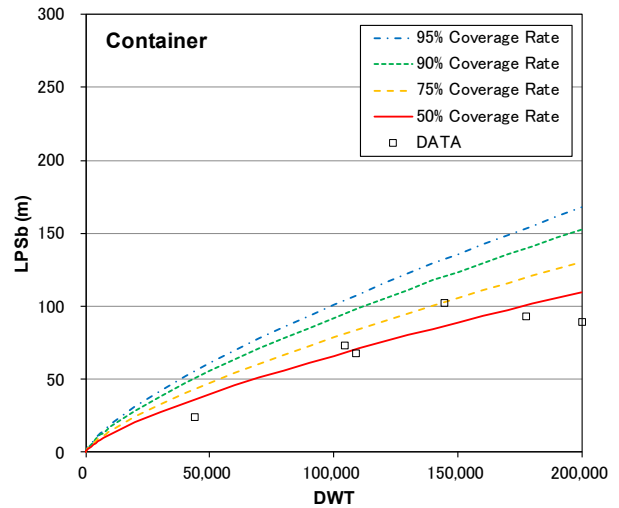


図-B.6 載貨重量トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※線形グラフ

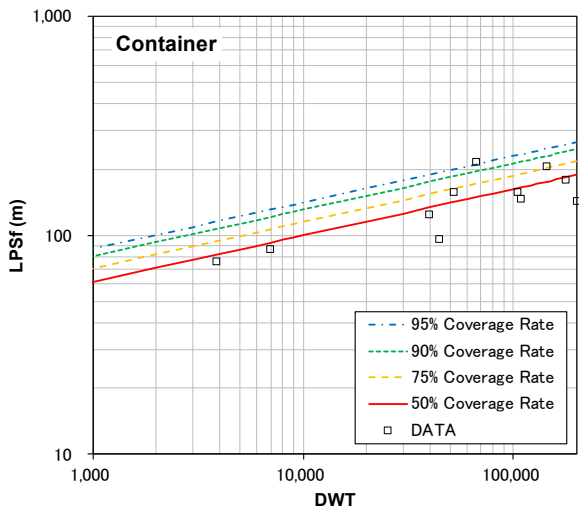


図-B.7 載貨重量トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

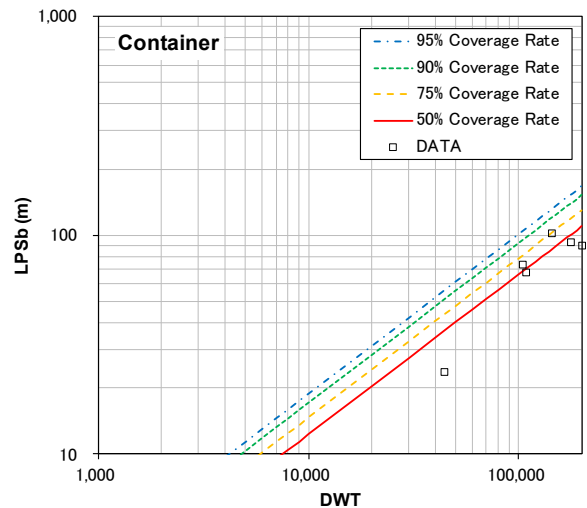


図-B.8 載貨重量トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<タンカー>

表-B.5 平行舷長さの回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	2.150	0.355	0.951	0.056	64
75%	2.345	0.355			
90%	2.535	0.355			
95%	2.656	0.355			

表-B.6 平行舷長さの回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.734	0.363	0.926	0.065	62
75%	1.918	0.363			
90%	2.100	0.363			
95%	2.217	0.363			

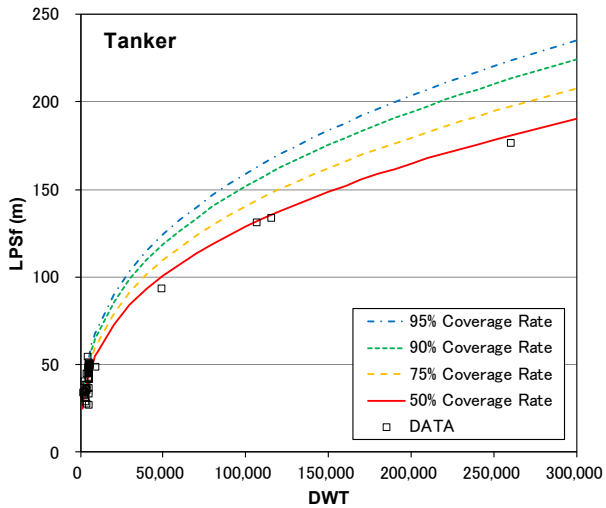


図-B.9 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（満載時） ※線形グラフ

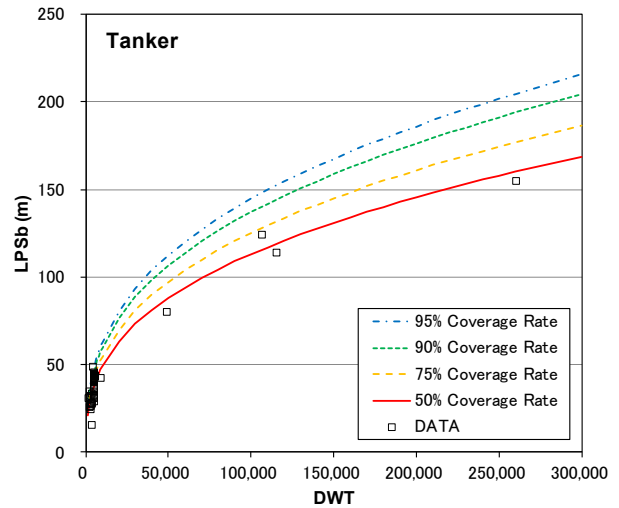


図-B.10 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（バラスト時） ※線形グラフ

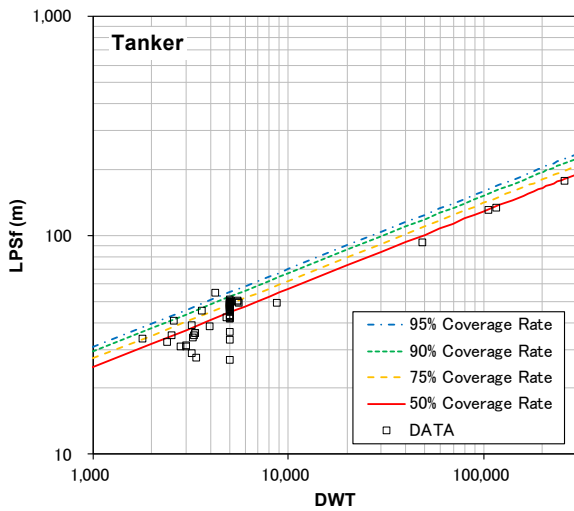


図-B.11 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（満載時） ※両対数グラフ

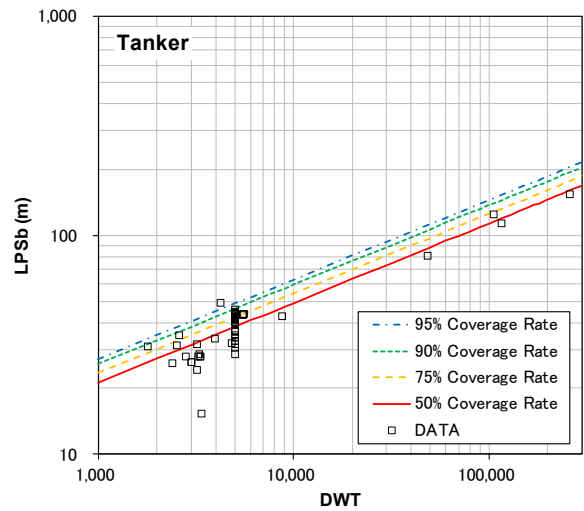


図-B.12 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（バラスト時） ※両対数グラフ

<RORO 船・PCC>

表-B.7 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	2.369	0.333	0.734	0.155	12
75%	3.013	0.333			
90%	3.740	0.333			
95%	4.257	0.333			

表-B.8 平行舷長さの回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	0.185	0.552	0.709	0.303	9
75%	0.296	0.552			
90%	0.453	0.552			
95%	0.583	0.552			

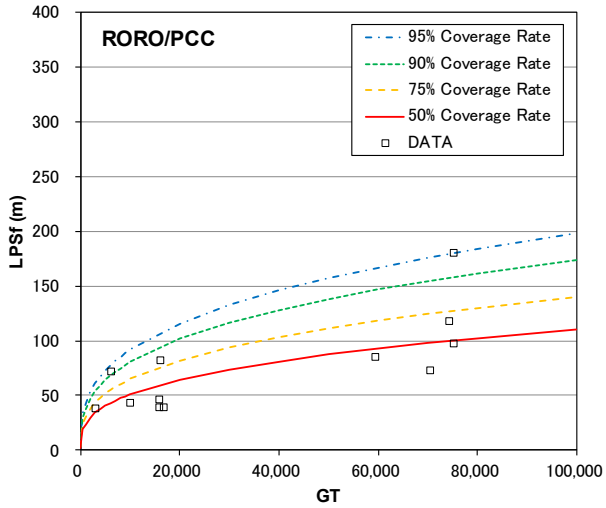


図-B.13 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

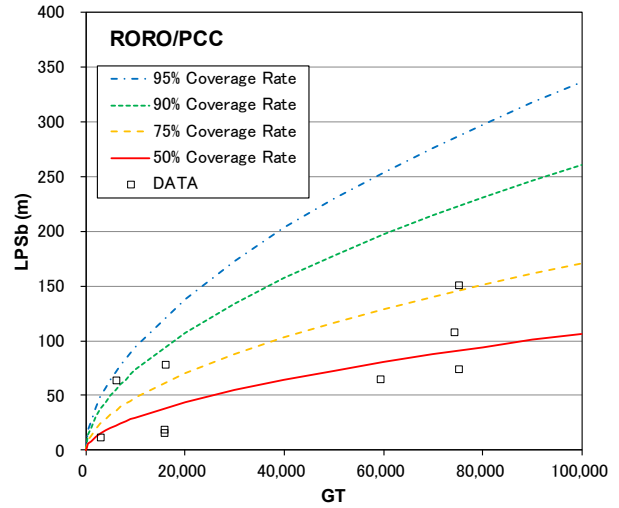


図-B.14 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※線形グラフ

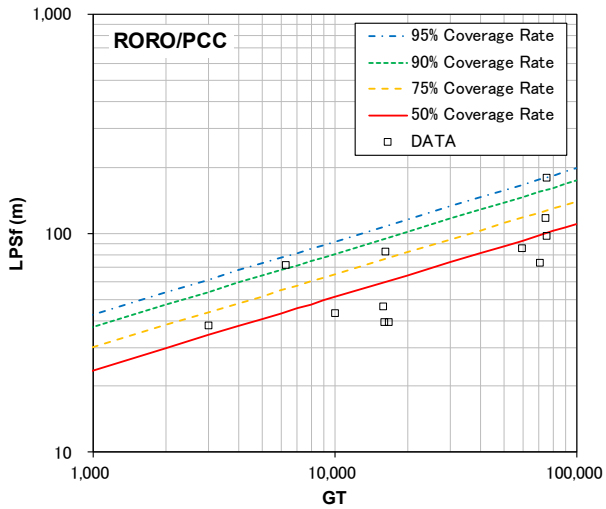


図-B.15 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

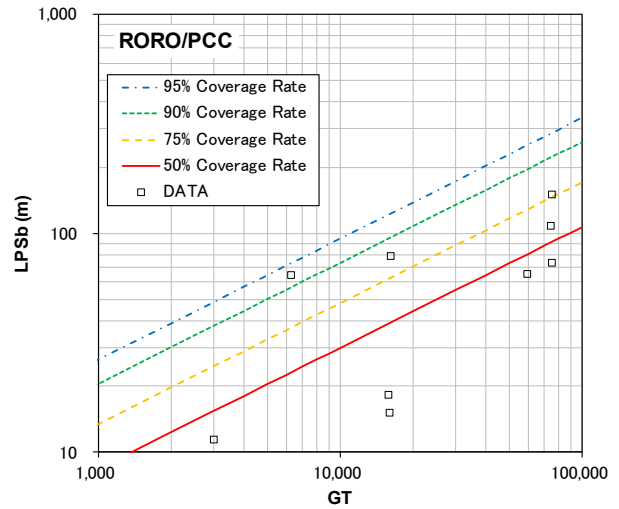


図-B.16 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<LPG 船>

表-B.9 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.556	0.404	0.996	0.028	9
75%	1.626	0.404			
90%	1.691	0.404			
95%	1.731	0.404			

表-B.10 平行舷長さの回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.600	0.387	0.982	0.056	9
75%	1.746	0.387			
90%	1.889	0.387			
95%	1.980	0.387			

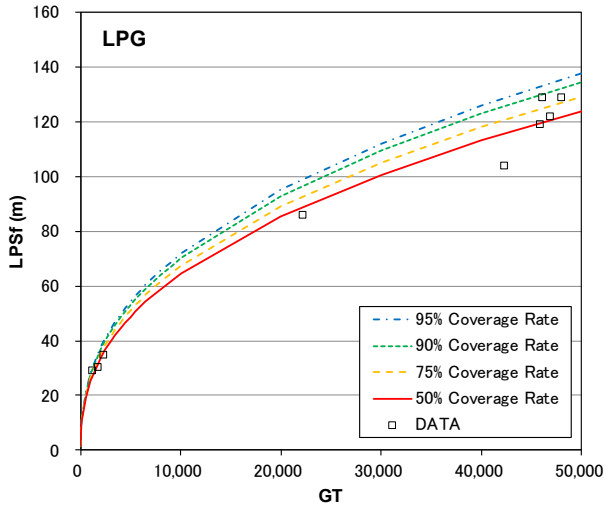


図-B.17 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

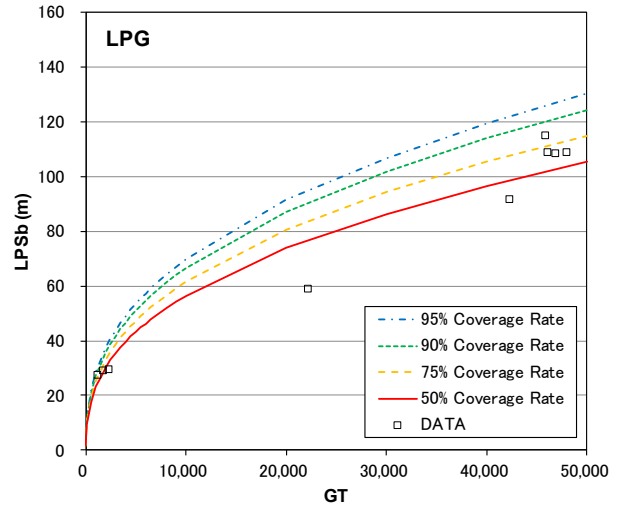


図-B.18 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※線形グラフ

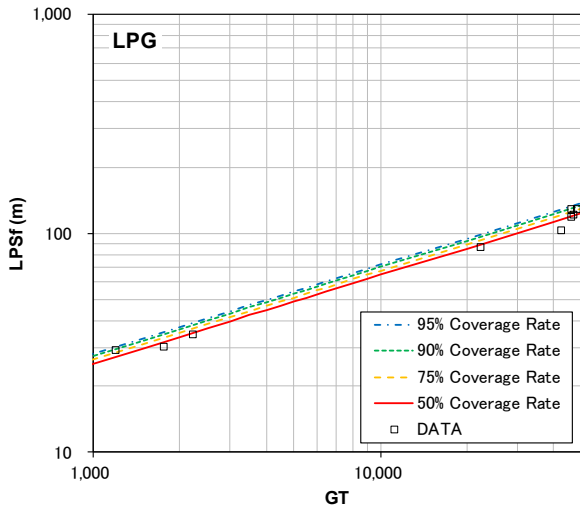


図-B.19 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

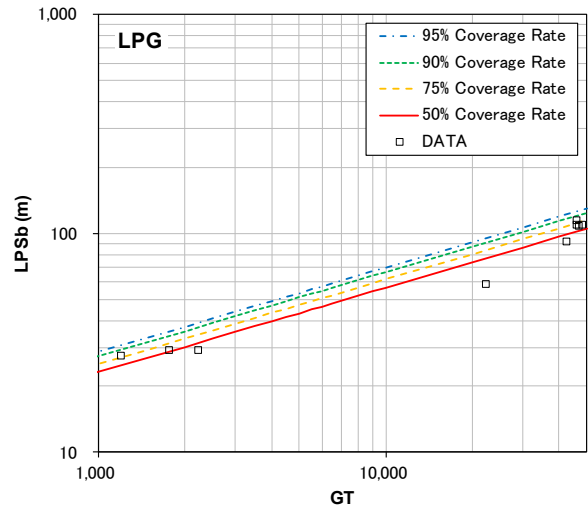


図-B.20 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<LNG 船>

表-B.11 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.781	0.380	0.949	0.081	13
75%	2.021	0.380			
90%	2.265	0.380			
95%	2.424	0.380			

表-B.12 平行舷長さの回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.315	0.401	0.987	0.044	12
75%	1.409	0.401			
90%	1.499	0.401			
95%	1.556	0.401			

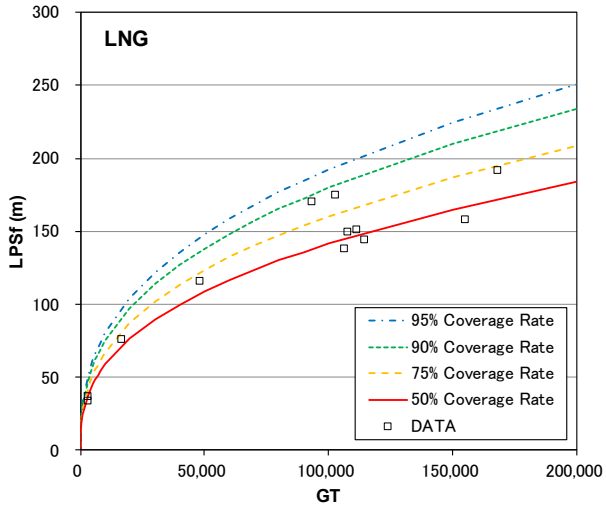


図-B.21 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

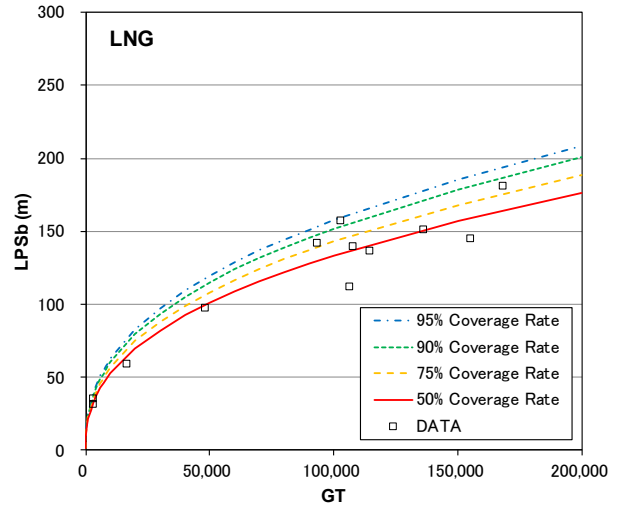


図-B.22 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※線形グラフ

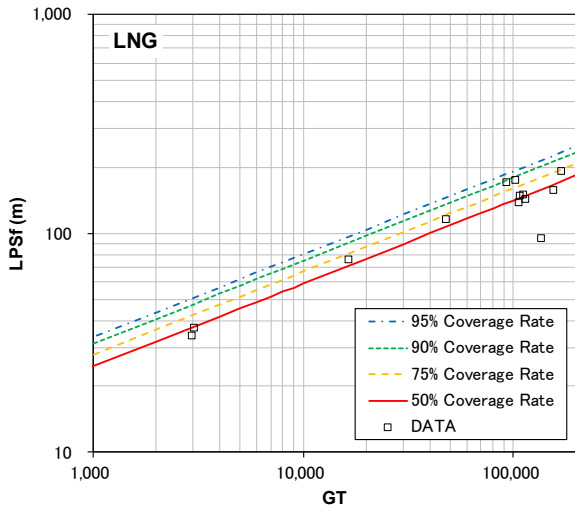


図-B.23 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

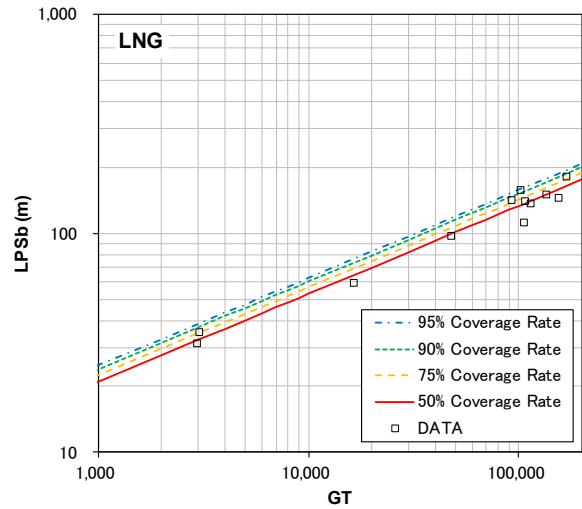


図-B.24 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<旅客船>

表-B.13 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	0.304	0.518	0.957	0.086	14
75%	0.347	0.518			
90%	0.392	0.518			
95%	0.421	0.518			

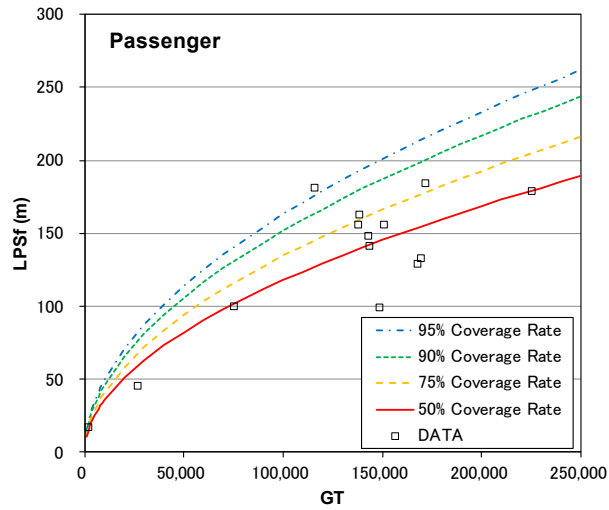


図-B.25 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

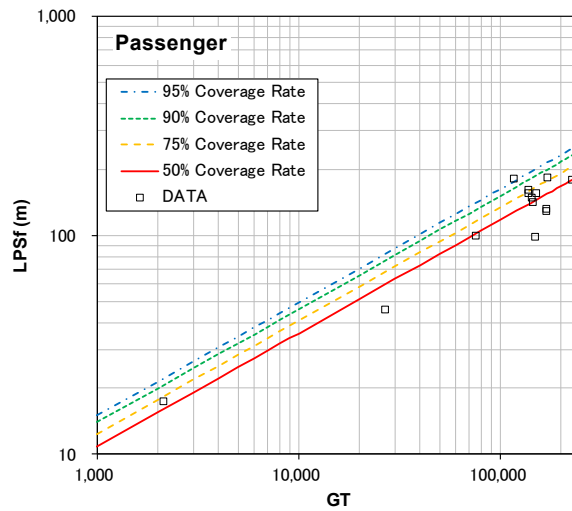


図-B.26 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

<フェリー>

表-B.14 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	6.210	0.301	0.871	0.055	15
75%	6.759	0.301			
90%	7.295	0.301			
95%	7.636	0.301			

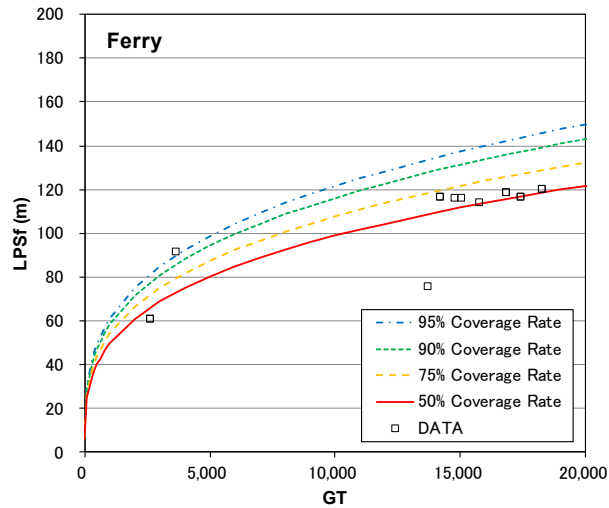


図-B.27 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

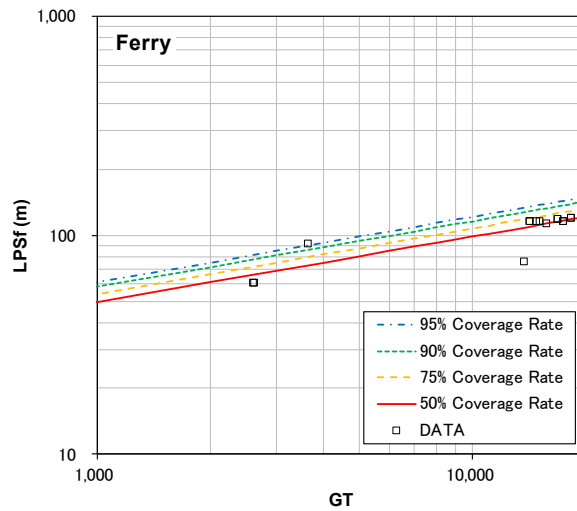


図-B.28 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

付録C 平行舷長さと垂線間長との比（全船種）

<貨物船>

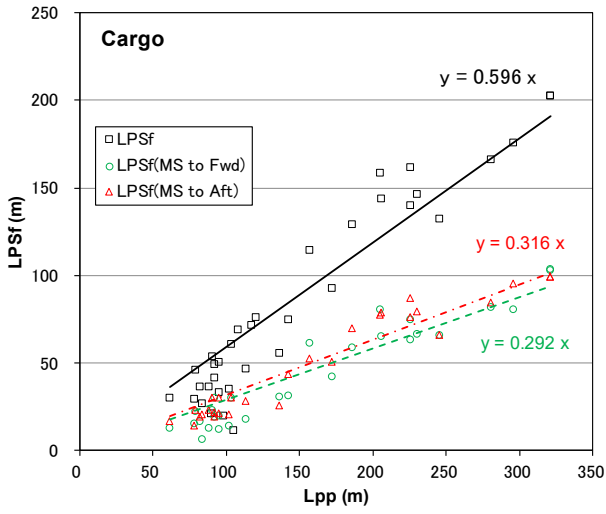


図-C.1 垂線間長と平行舷長さの関係
(満載時)

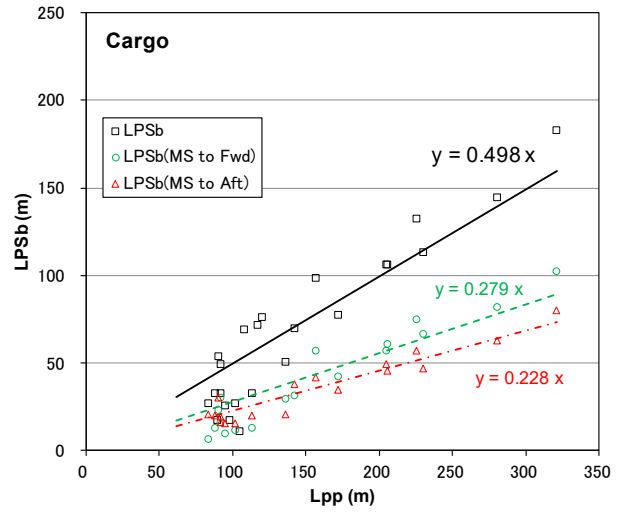


図-C.2 垂線間長と平行舷長さの関係
(バラスト時)

<コンテナ船>

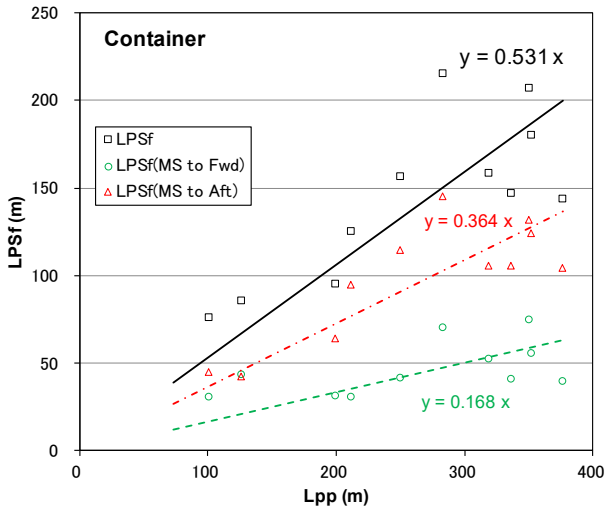


図-C.3 垂線間長と平行舷長さの関係
(満載時)

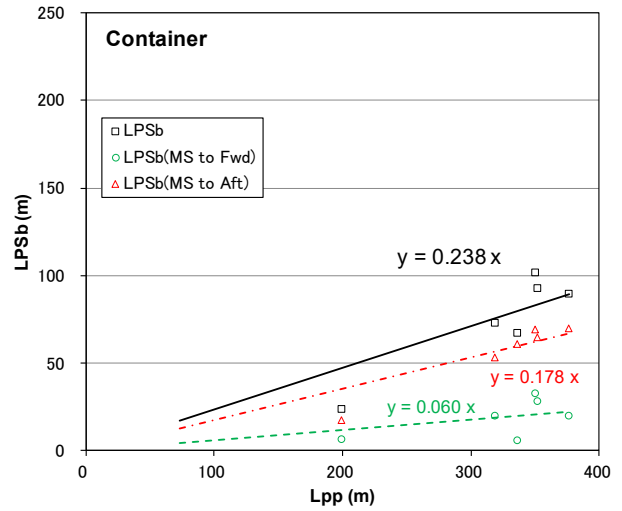


図-C.4 垂線間長と平行舷長さの関係
(バラスト時)

<タンカー>

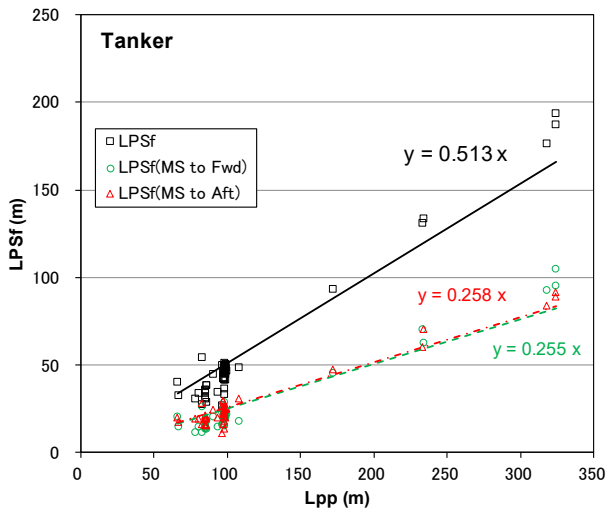


図-C.5 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

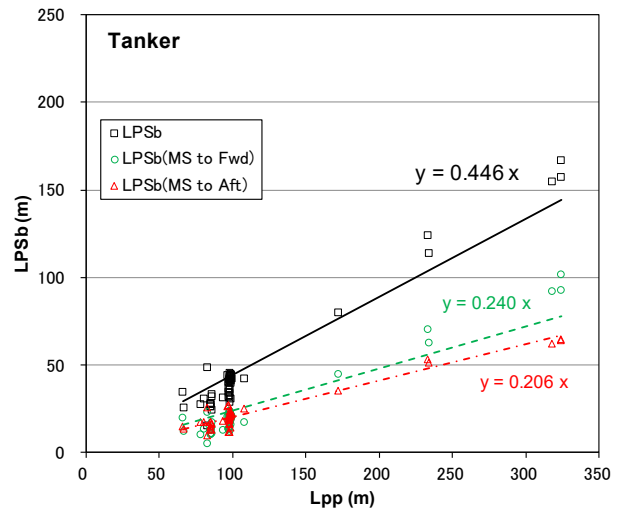


図-C.6 垂線間長と平行舷長さの関係 (バラスト時)

<RORO 船・PCC>

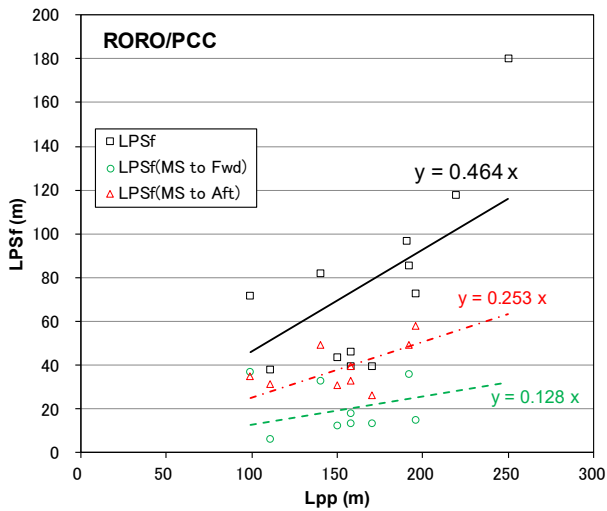


図-C.7 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

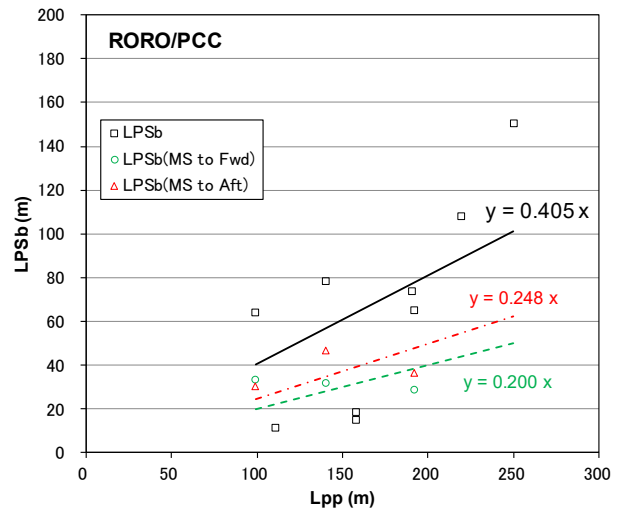


図-C.8 垂線間長と平行舷長さの関係 (バラスト時)

<LPG 船>

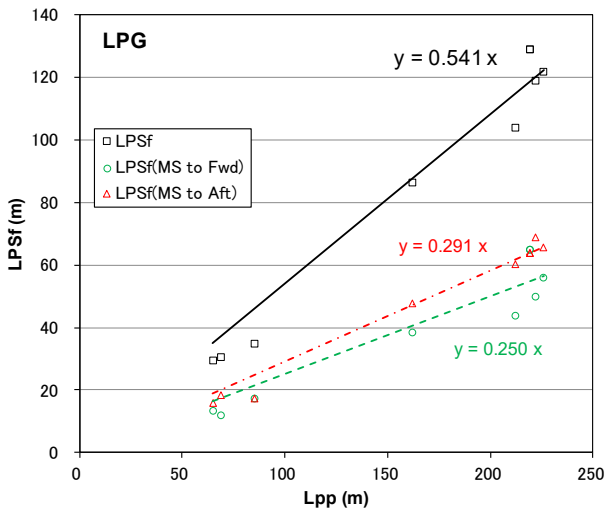


図-C. 9 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

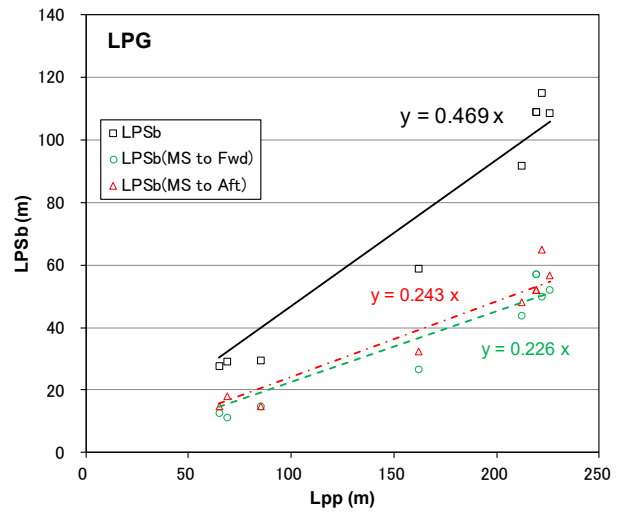


図-C. 10 垂線間長と平行舷長さの関係 (バラスト時)

<LNG 船>

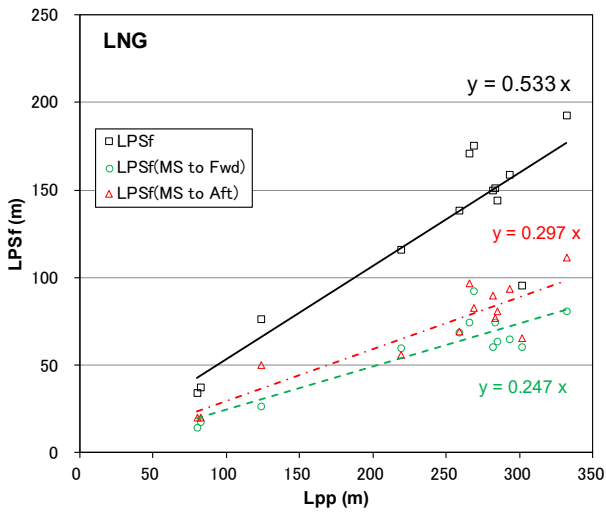


図-C. 11 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

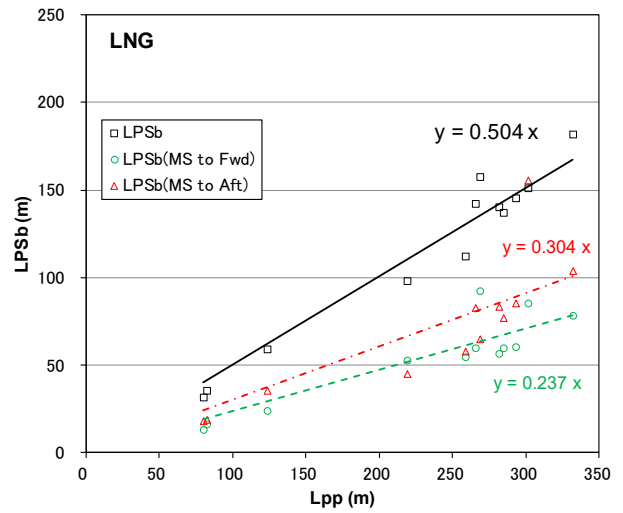


図-C. 12 垂線間長と平行舷長さの関係 (バラスト時)

<旅客船>

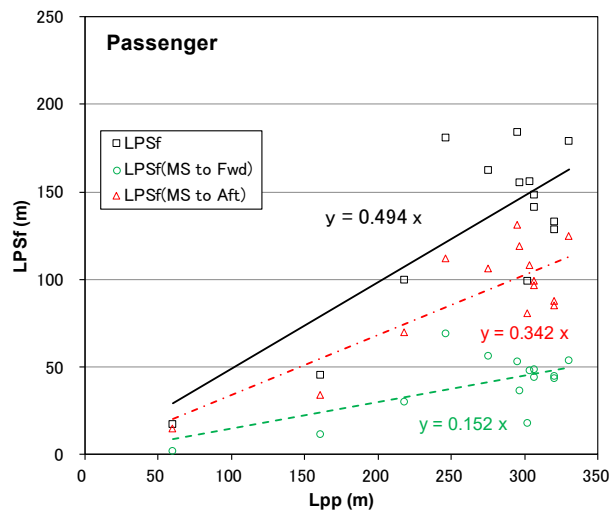


図-C.13 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

<フェリー>

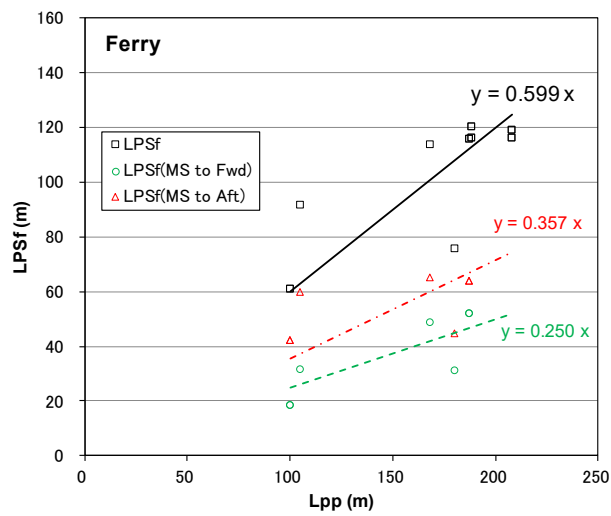


図-C.14 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

付録D 平行舷長さの解析結果（船舶登録データベース）

D.1 平行舷長さの回帰式

<タンカー>

表-D.1 平行舷長さの回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	4.513	0.288	0.913	0.073	8137
75%	5.054	0.288			
90%	5.596	0.288			
95%	5.948	0.288			

表-D.2 平行舷長さの回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	3.756	0.291	0.891	0.084	8111
75%	4.277	0.291			
90%	4.806	0.291			
95%	5.154	0.291			

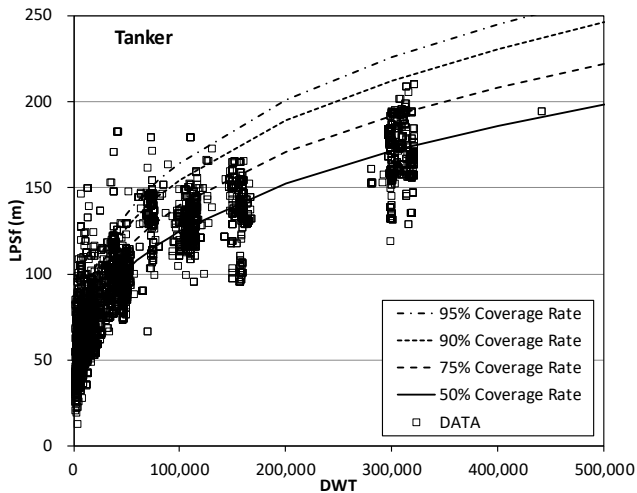


図-D.1 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（満載時） ※線形グラフ

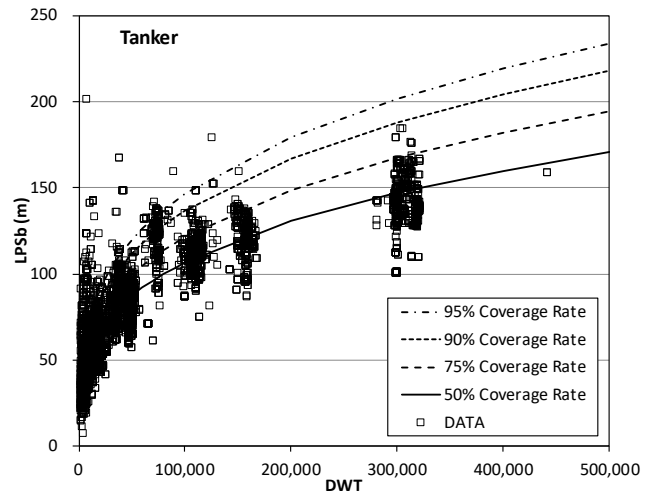


図-D.2 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（バラスト時） ※線形グラフ

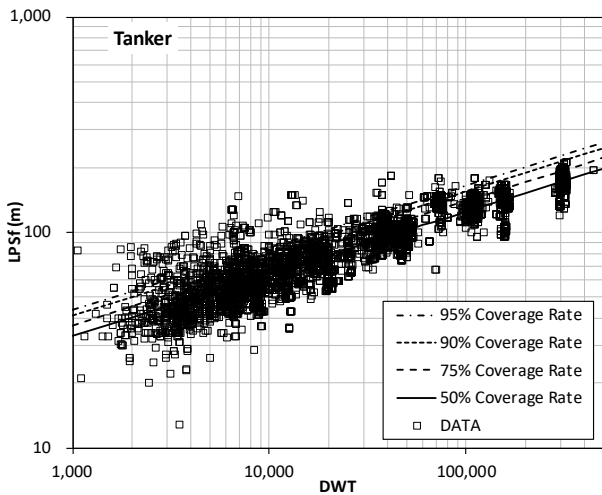


図-D.3 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（満載時） ※両対数グラフ

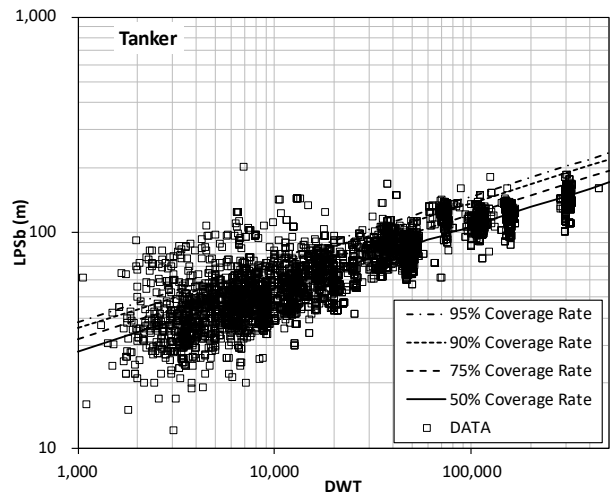


図-D.4 載貨重量トン数と平行舷長さの関係（バラスト時） ※両対数グラフ

<LPG 船>

表-D.3 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	3.408	0.323	0.906	0.071	965
75%	3.808	0.323			
90%	4.208	0.323			
95%	4.467	0.323			

表-D.4 平行舷長さの回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	3.196	0.311	0.882	0.078	965
75%	3.610	0.311			
90%	4.028	0.311			
95%	4.302	0.311			

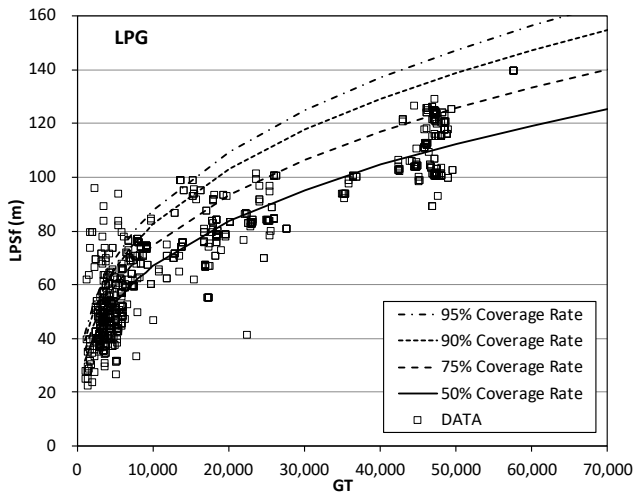


図-D.5 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

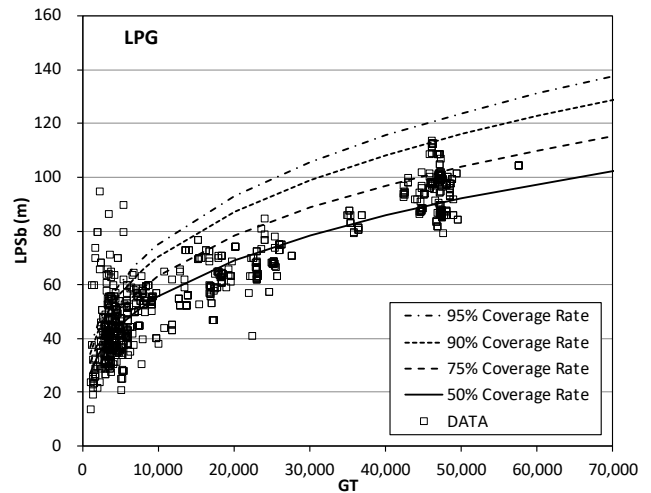


図-D.6 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※線形グラフ

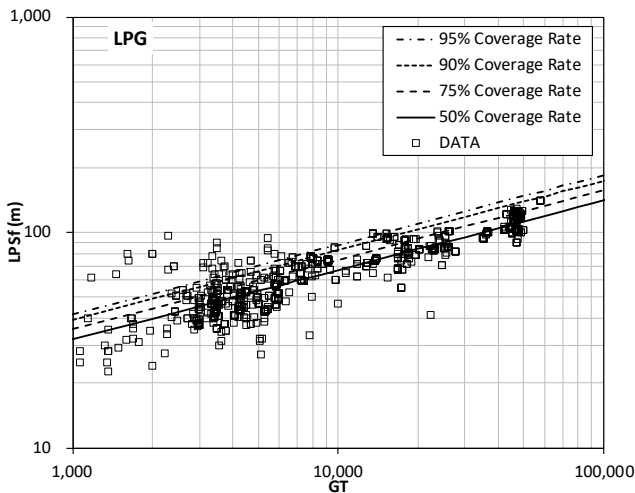


図-D.7 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

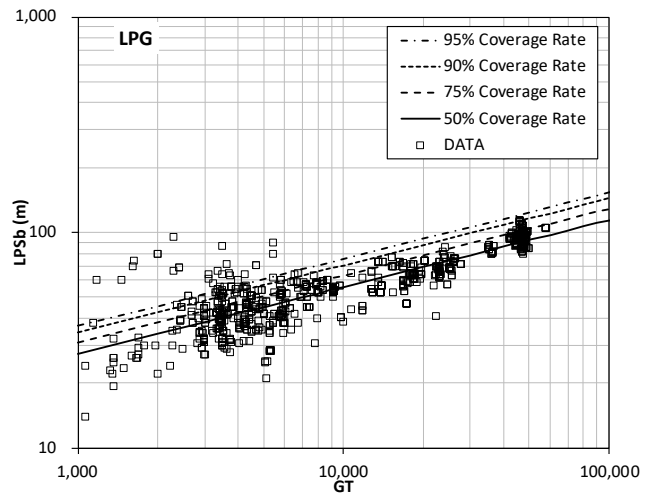


図-D.8 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<LNG 船>

表-D.5 平行舷長さの回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	3.838	0.316	0.782	0.040	372
75%	4.081	0.316			
90%	4.313	0.316			
95%	4.458	0.316			

表-D.6 平行舷長さの回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.084	0.283	0.645	0.048	369
75%	5.477	0.283			
90%	5.857	0.283			
95%	6.096	0.283			

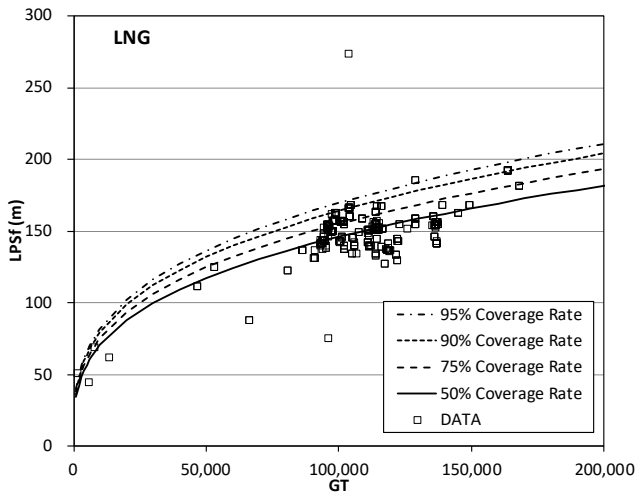


図-D.9 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※線形グラフ

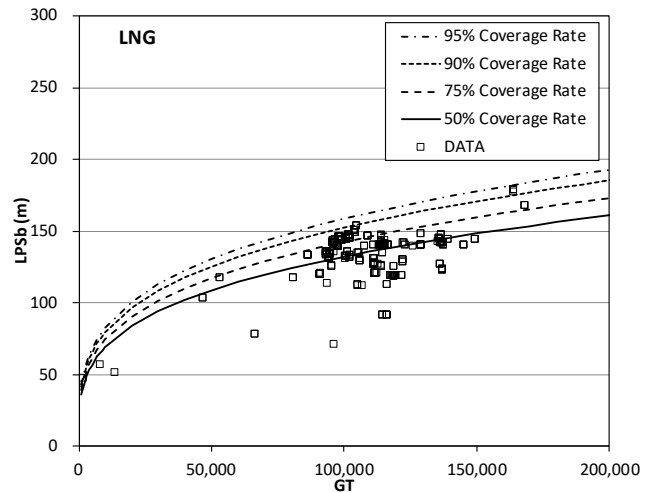


図-D.10 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※線形グラフ

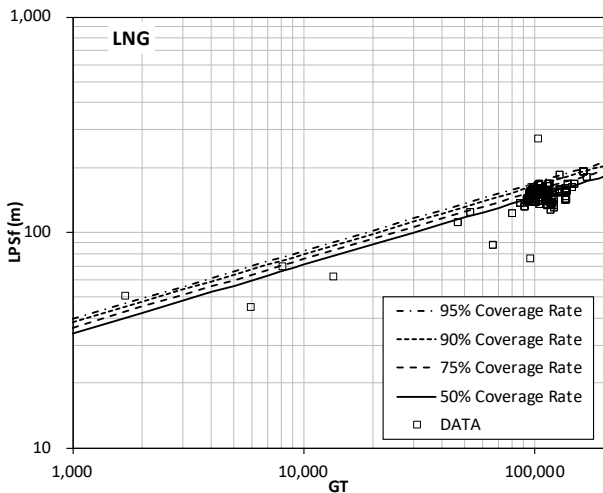


図-D.11 総トン数と平行舷長さの関係 (満載時) ※両対数グラフ

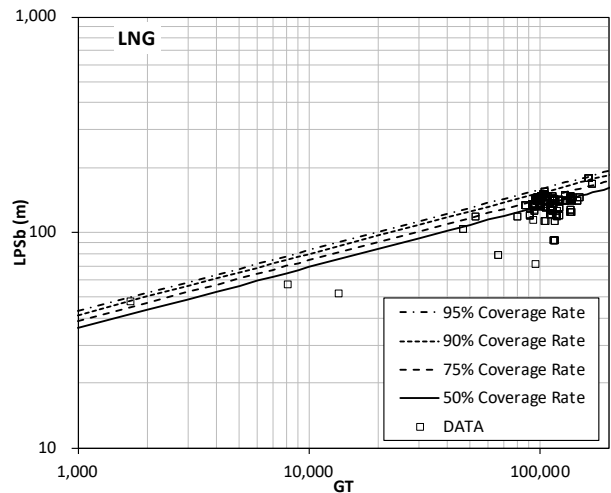


図-D.12 総トン数と平行舷長さの関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

D.2 平行舷長さと垂線間長との比

<タンカー>

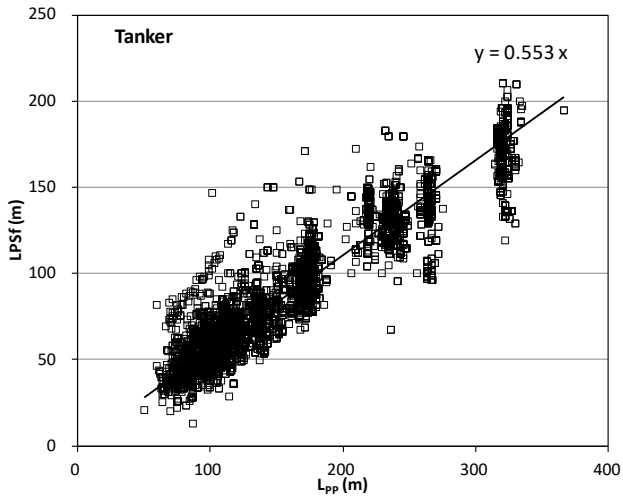


図-D.13 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

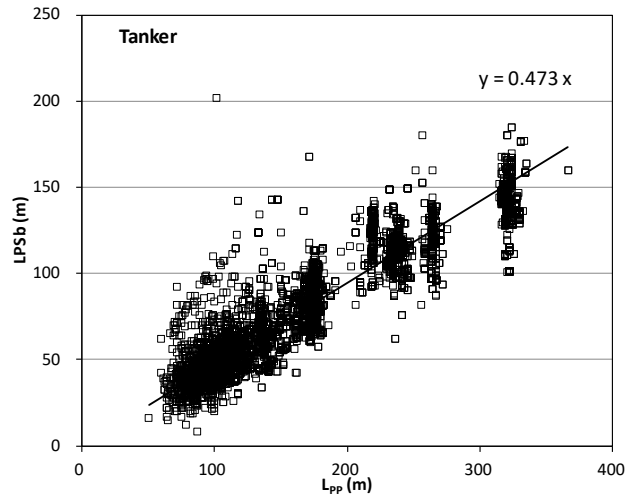


図-D.14 垂線間長と平行舷長さの関係 (バラスト時)

<LPG 船>

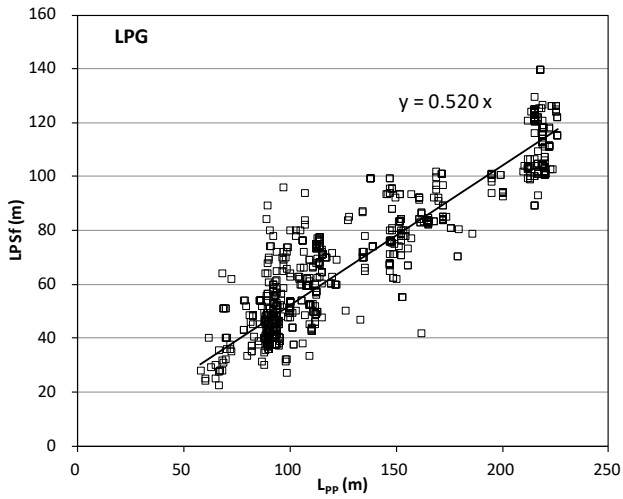


図-D.15 垂線間長と平行舷長さの関係 (満載時)

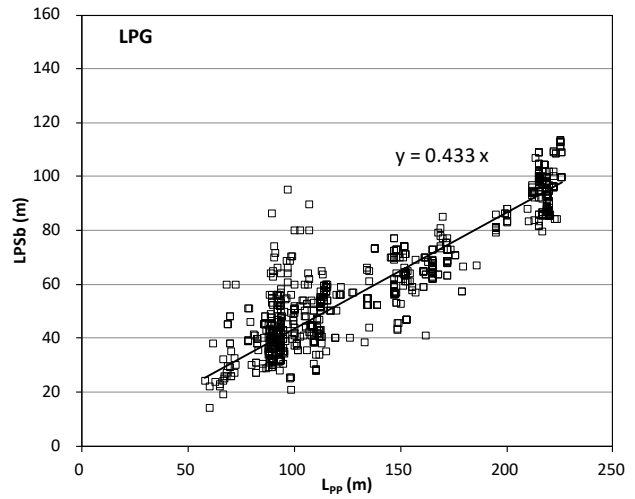


図-D.16 垂線間長と平行舷長さの関係 (バラスト時)

<LNG 船>

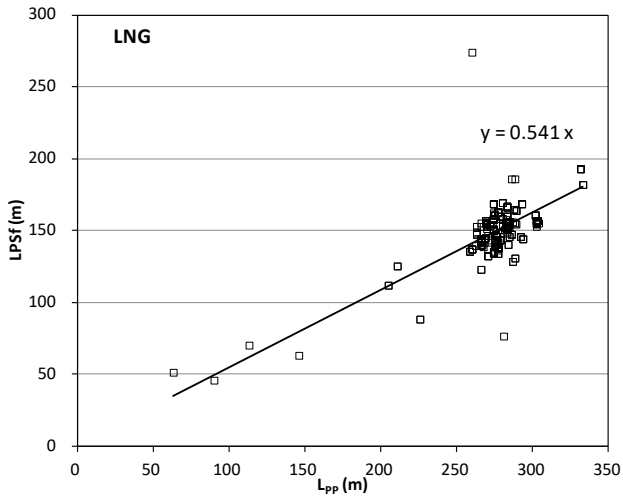


図-D.17 垂線間長と平行舷長さの関係
(満載時)

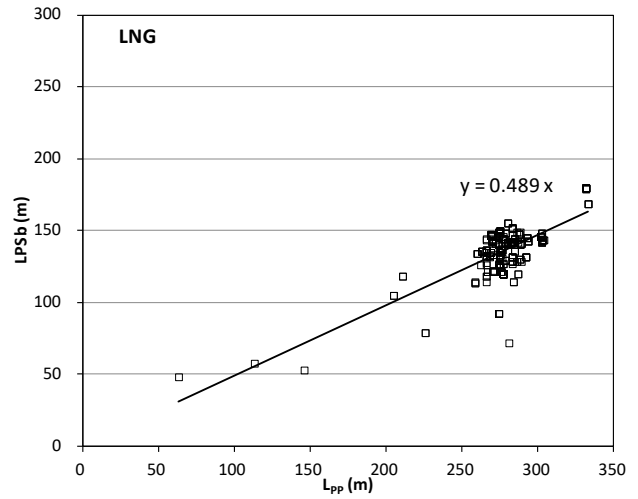


図-D.18 垂線間長と平行舷長さの関係
(バラスト時)

付録 E 正面受風面積の回帰式（全船種）

<貨物船>

表-E.1 正面受風面積の回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	6.982	0.401	0.976	0.066	31
75%	7.734	0.401			
90%	8.479	0.401			
95%	8.960	0.401			

表-E.2 正面受風面積の回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.037	0.459	0.983	0.059	27
75%	5.524	0.459			
90%	6.002	0.459			
95%	6.308	0.459			

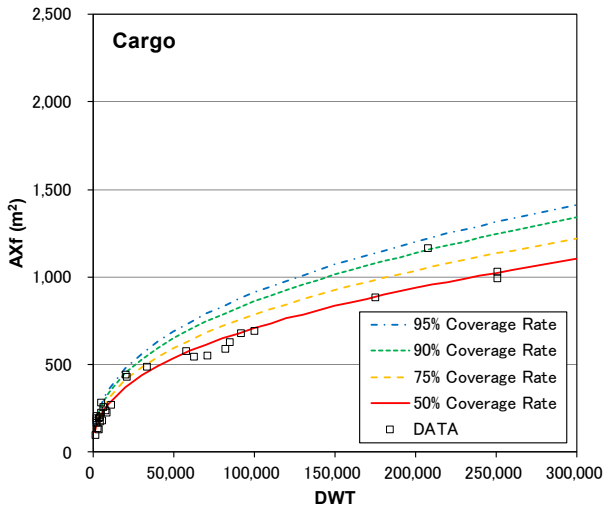


図-E.1 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※線形グラフ

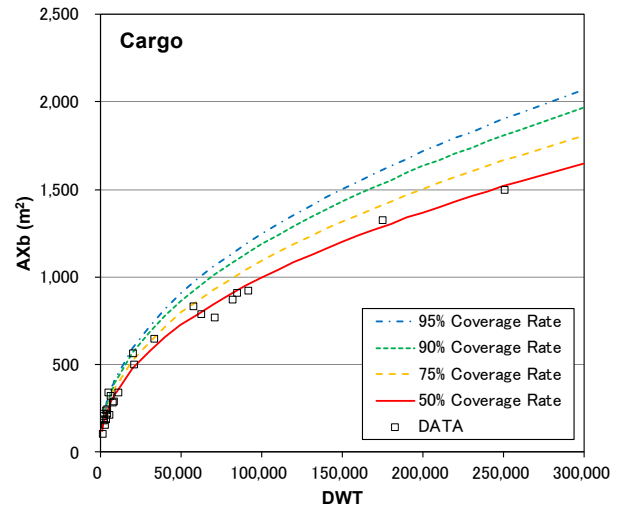


図-E.2 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（バラスト時） ※線形グラフ

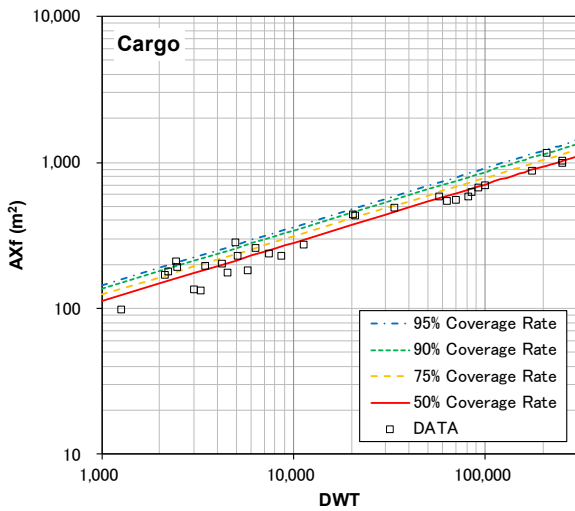


図-E.3 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※両対数グラフ

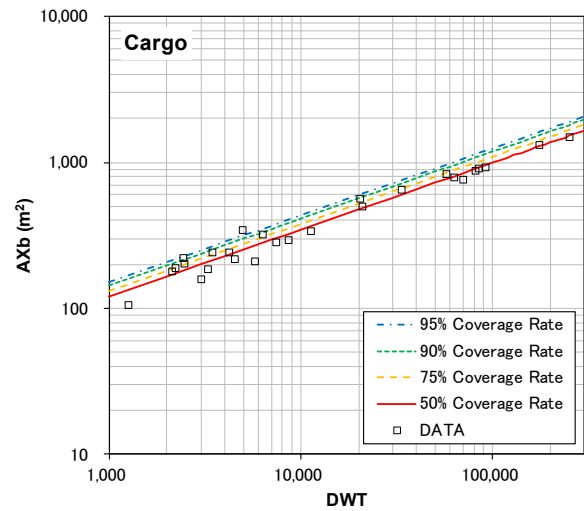


図-E.4 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（バラスト時） ※両対数グラフ

<コンテナ船>

表-E.3 正面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	4.465	0.518	0.978	0.080	11
75%	5.056	0.518			
90%	5.655	0.518			
95%	6.047	0.518			

表-E.4 正面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	2.118	0.590	0.981	0.077	9
75%	2.388	0.590			
90%	2.660	0.590			
95%	2.838	0.590			

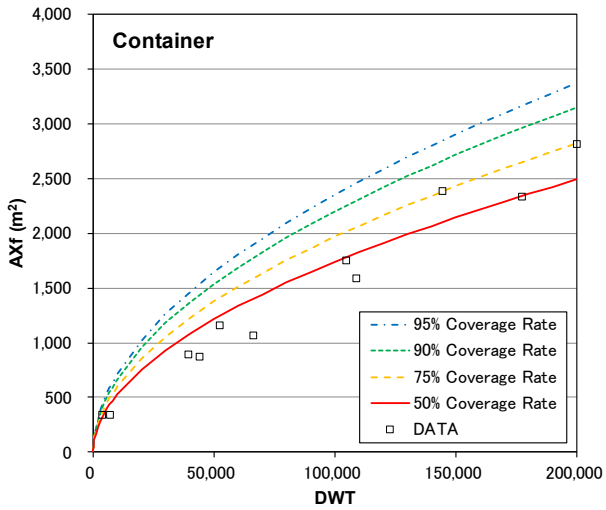


図-E.5 載貨重量トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

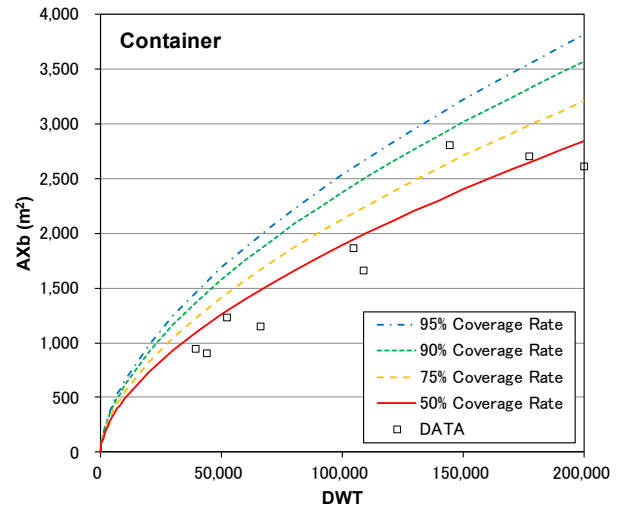


図-E.6 載貨重量トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

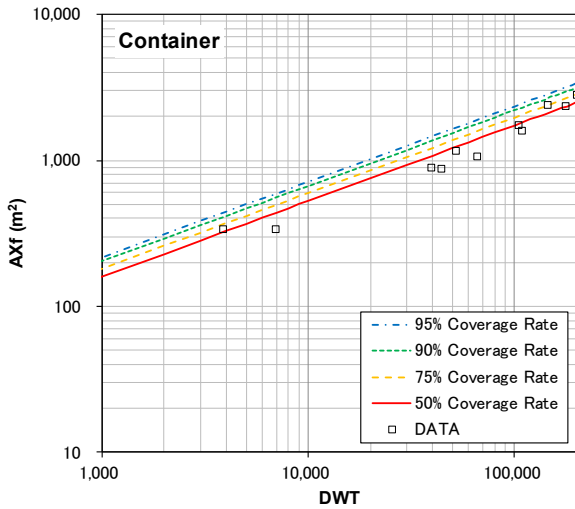


図-E.7 載貨重量トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

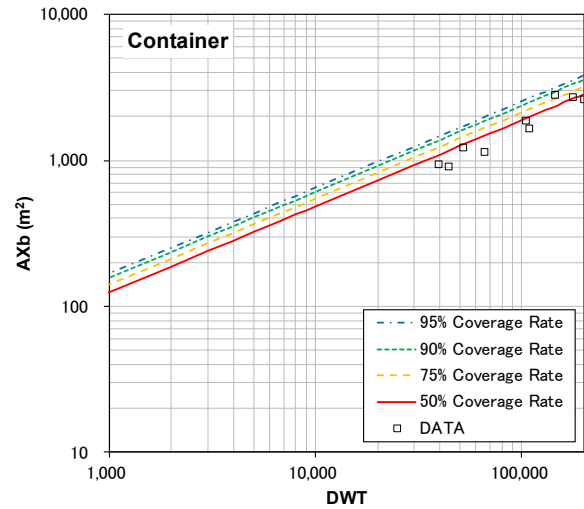


図-E.8 載貨重量トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<タンカー>

表-E.5 正面受風面積の回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	7.495	0.392	0.931	0.079	54
75%	8.472	0.392			
90%	9.460	0.392			
95%	10.106	0.392			

表-E.6 正面受風面積の回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	4.159	0.480	0.949	0.082	54
75%	4.724	0.480			
90%	5.297	0.480			
95%	5.673	0.480			

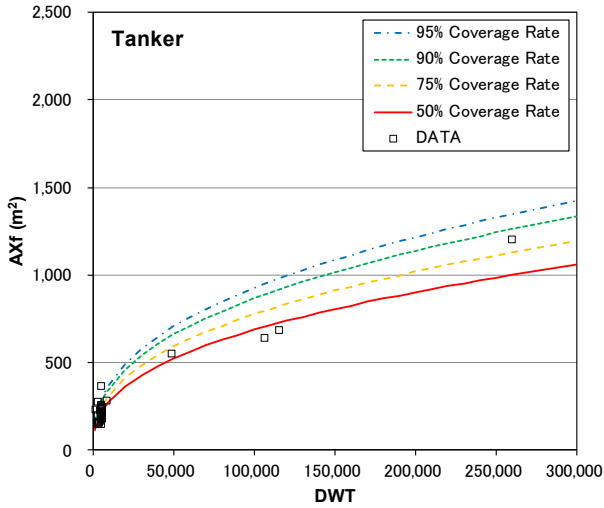


図-E.9 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※線形グラフ

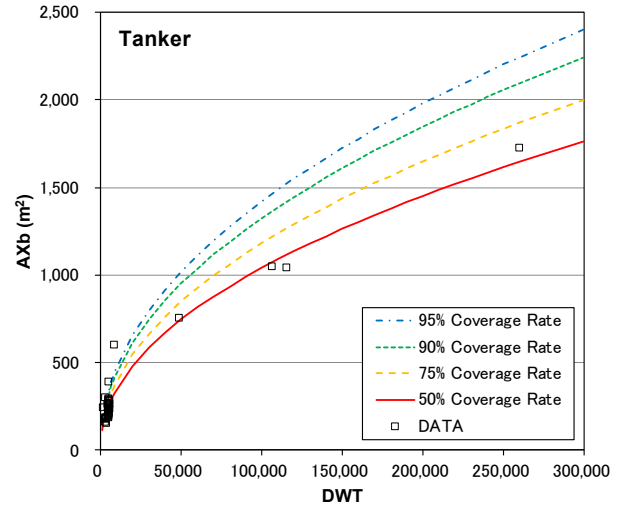


図-E.10 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（バラスト時） ※線形グラフ

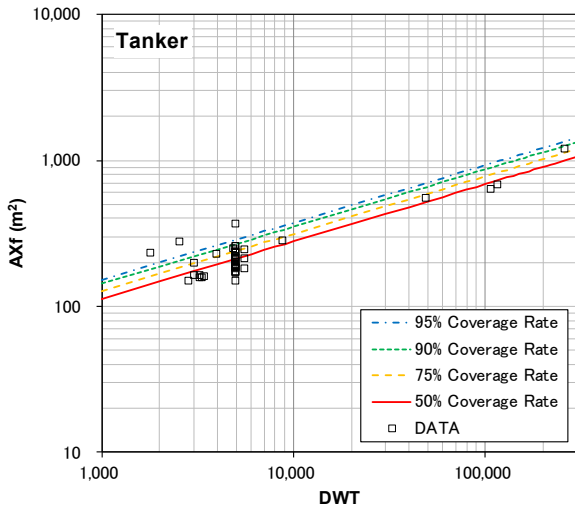


図-E.11 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※両対数グラフ

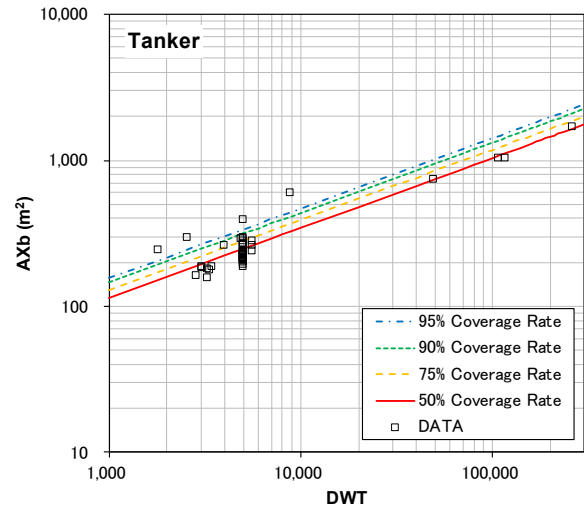


図-E.12 載貨重量トン数と正面受風面積の関係（バラスト時） ※両対数グラフ

<RORO 船・PCC>

表-E.7 正面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	6.014	0.469	0.871	0.117	13
75%	7.210	0.469			
90%	8.489	0.469			
95%	9.361	0.469			

表-E.8 正面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	4.904	0.496	0.899	0.115	11
75%	5.859	0.496			
90%	6.877	0.496			
95%	7.568	0.496			

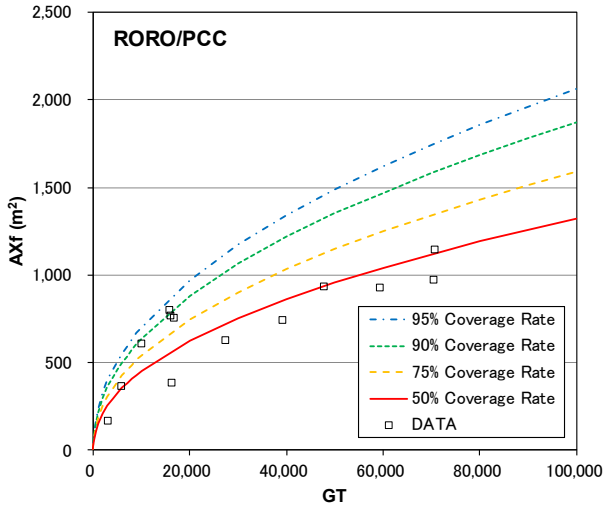


図-E.13 総トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

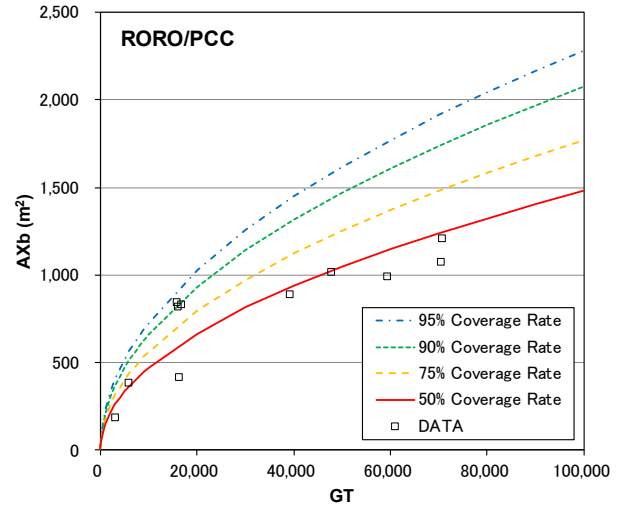


図-E.14 総トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

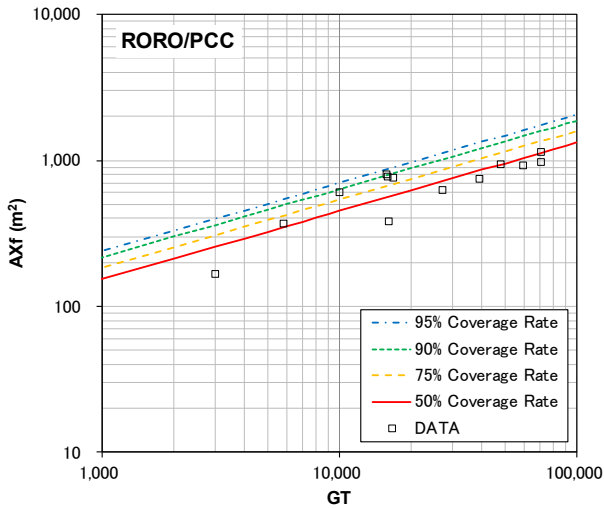


図-E.15 総トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

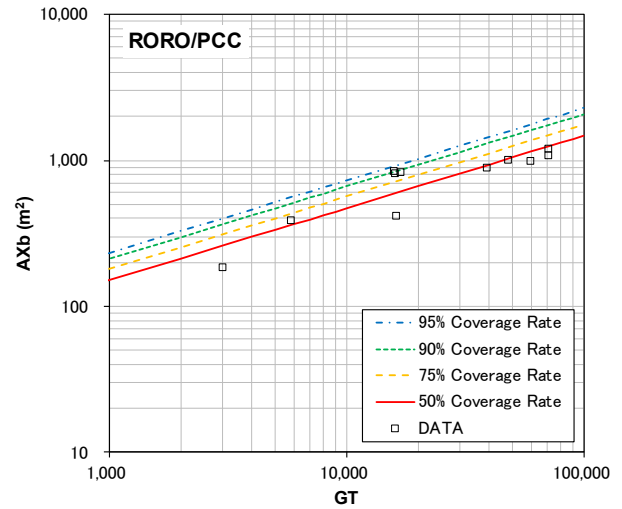


図-E.16 総トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<LPG 船>

表-E.9 正面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	2.838	0.531	0.996	0.037	9
75%	3.007	0.531			
90%	3.168	0.531			
95%	3.268	0.531			

表-E.10 正面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	2.685	0.555	0.992	0.054	9
75%	2.921	0.555			
90%	3.150	0.555			
95%	3.296	0.555			

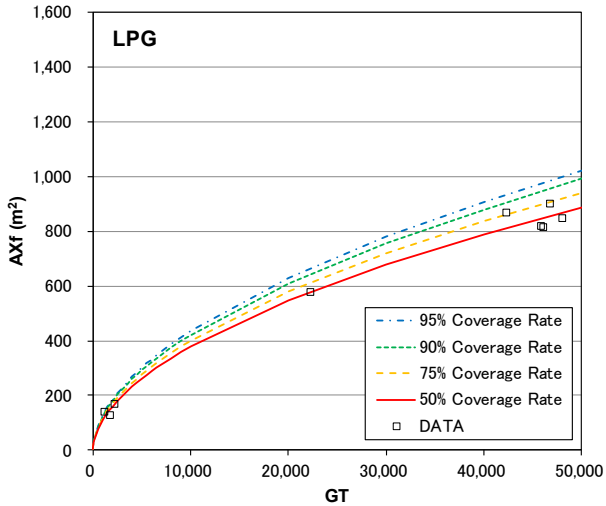


図-E.17 総トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

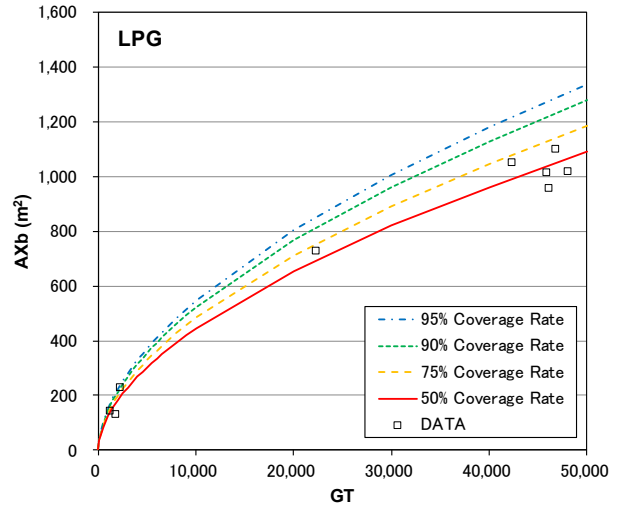


図-E.18 総トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

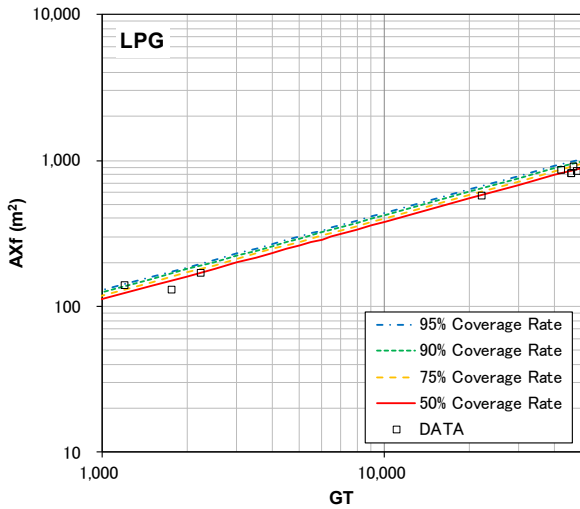


図-E.19 総トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

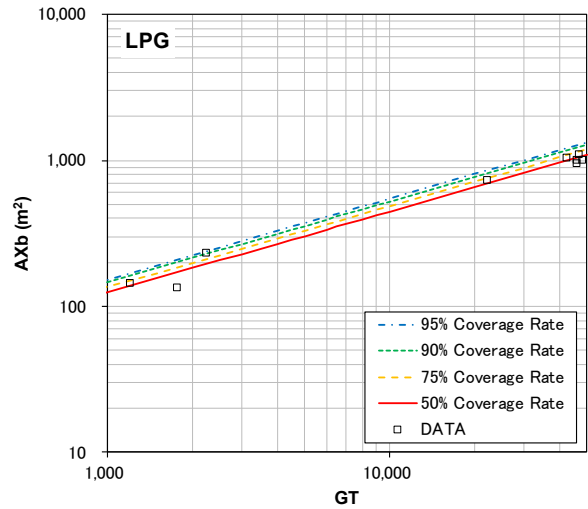


図-E.20 総トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<LNG 船>

表-E.11 正面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	4.571	0.499	0.988	0.057	15
75%	4.998	0.499			
90%	5.416	0.499			
95%	5.683	0.499			

表-E.12 正面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.199	0.494	0.993	0.044	14
75%	5.565	0.494			
90%	5.917	0.494			
95%	6.138	0.494			

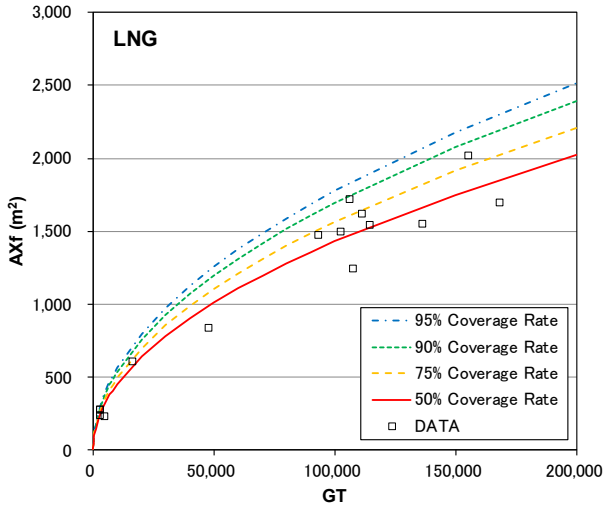


図-E.21 総トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

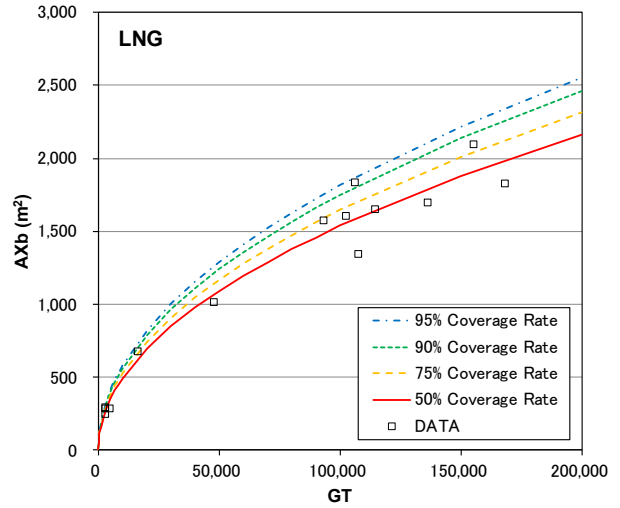


図-E.22 総トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

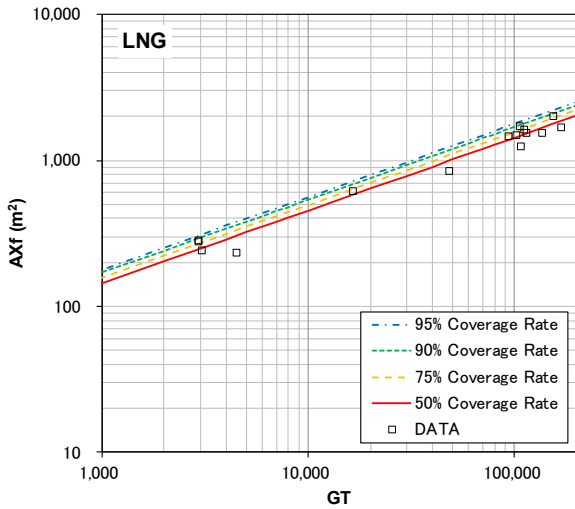


図-E.23 総トン数と正面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

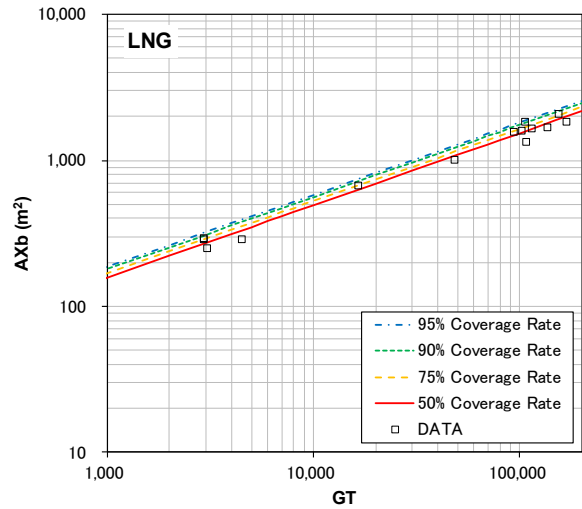


図-E.24 総トン数と正面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<旅客船>

表-E.13 正面受風面積の回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	1.229	0.616	0.934	0.062	25
75%	1.354	0.616			
90%	1.477	0.616			
95%	1.556	0.616			

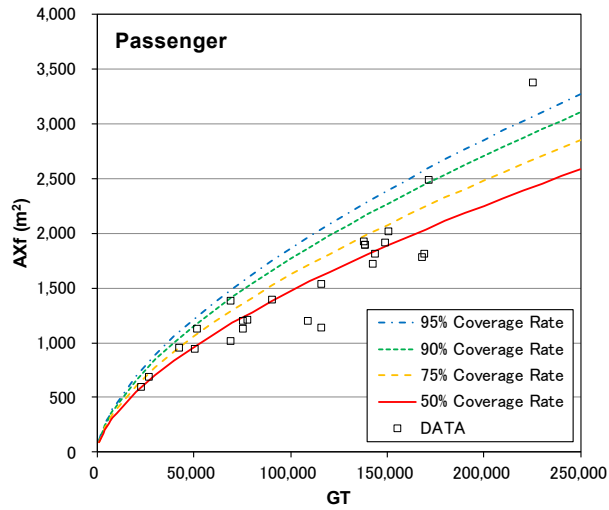


図-E.25 総トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※線形グラフ

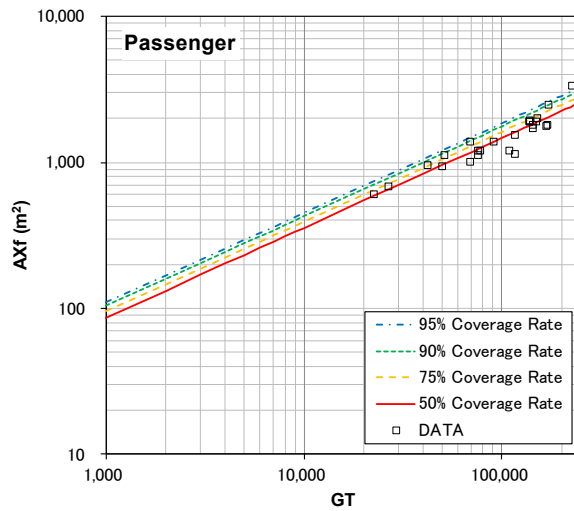


図-E.26 総トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※両対数グラフ

<フェリー>

表-E.14 正面受風面積の回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	8.446	0.453	0.939	0.049	25
75%	9.107	0.453			
90%	9.747	0.453			
95%	10.151	0.453			

表-E.15 正面受風面積の回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	4.598	0.529	0.981	0.033	17
75%	4.840	0.529			
90%	5.068	0.529			
95%	5.210	0.529			

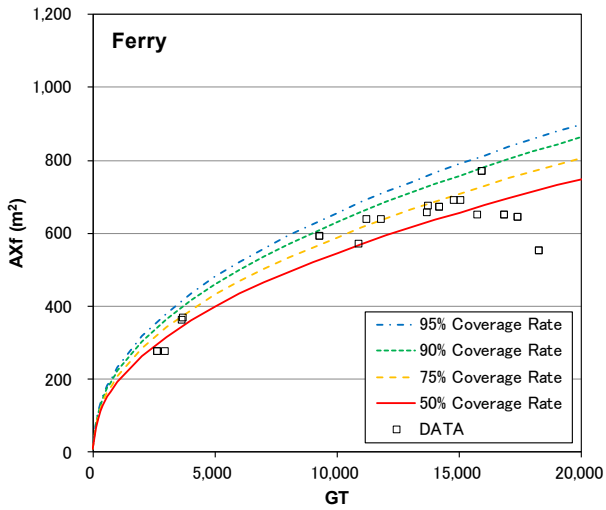


図-E.27 総トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※線形グラフ

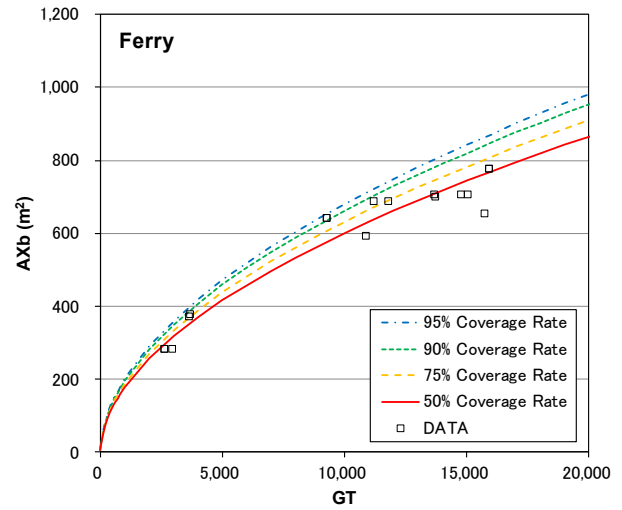


図-E.28 総トン数と正面受風面積の関係（バラスト時） ※線形グラフ

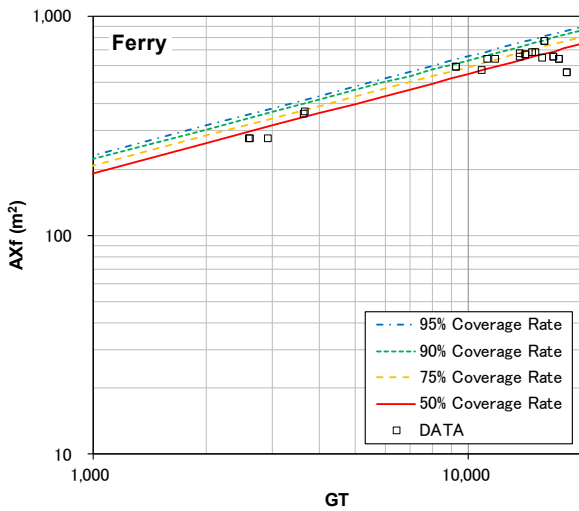


図-E.29 総トン数と正面受風面積の関係（満載時） ※両対数グラフ

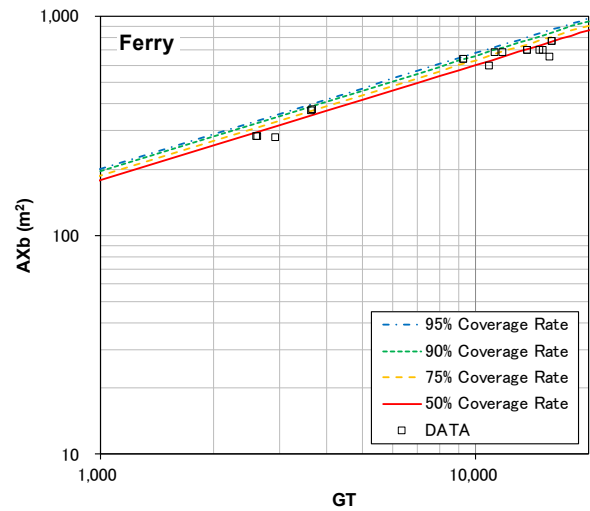


図-E.30 総トン数と正面受風面積の関係（バラスト時） ※両対数グラフ

付録 F 側面受風面積の回帰式（全船種）

<貨物船>

表-F.1 側面受風面積の回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	17.017	0.427	0.941	0.107	36
75%	20.104	0.427			
90%	23.358	0.427			
95%	25.553	0.427			

表-F.2 側面受風面積の回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	10.277	0.520	0.964	0.093	32
75%	11.879	0.520			
90%	13.533	0.520			
95%	14.631	0.520			

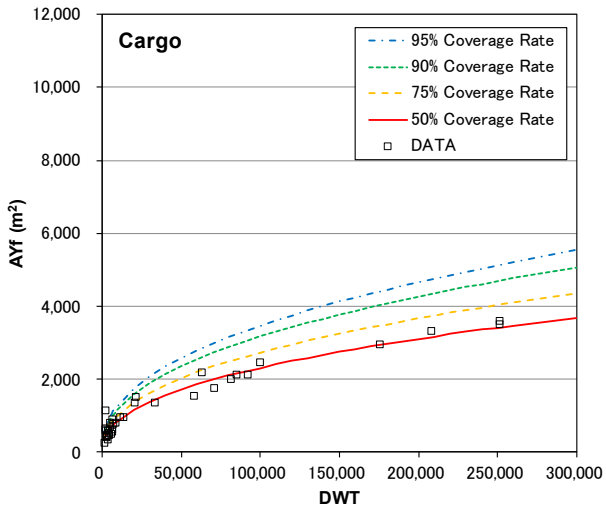


図-F.1 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（満載時） ※線形グラフ

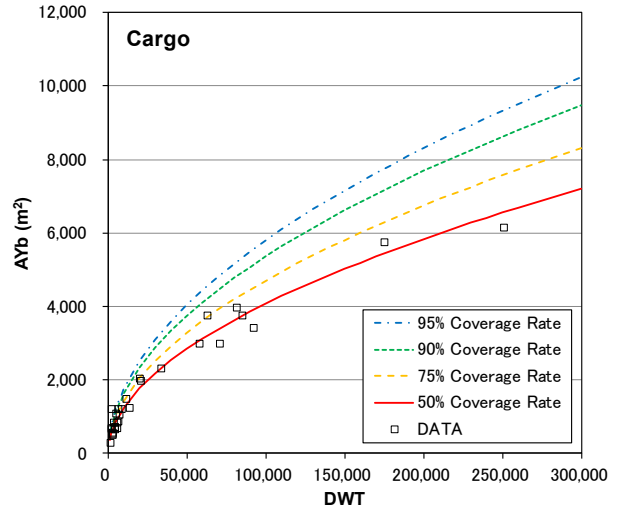


図-F.2 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（バラスト時） ※線形グラフ

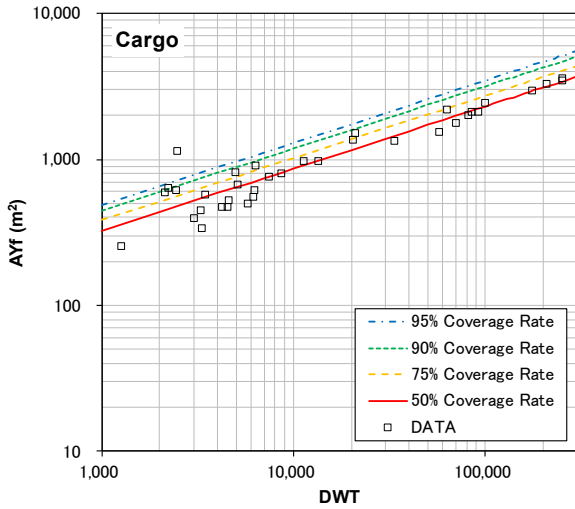


図-F.3 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（満載時） ※両対数グラフ

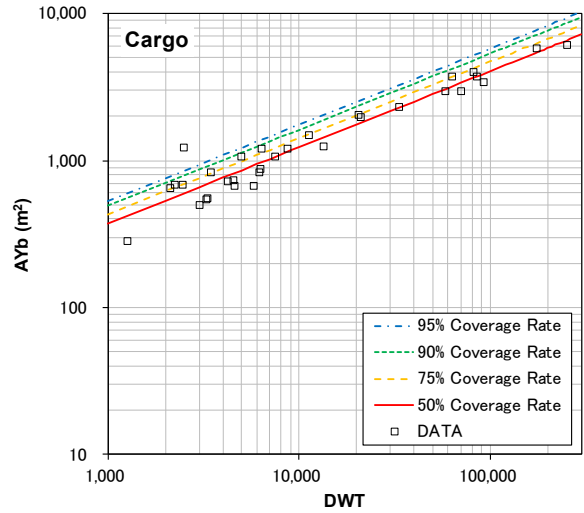


図-F.4 載貨重量トン数と側面受風面積の関係（バラスト時） ※両対数グラフ

<コンテナ船>

表-F.3 側面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	24.647	0.525	0.974	0.128	14
75%	30.067	0.525			
90%	35.958	0.525			
95%	40.021	0.525			

表-F.4 側面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	25.585	0.486	0.998	0.112	11
75%	30.428	0.486			
90%	35.567	0.486			
95%	39.048	0.486			

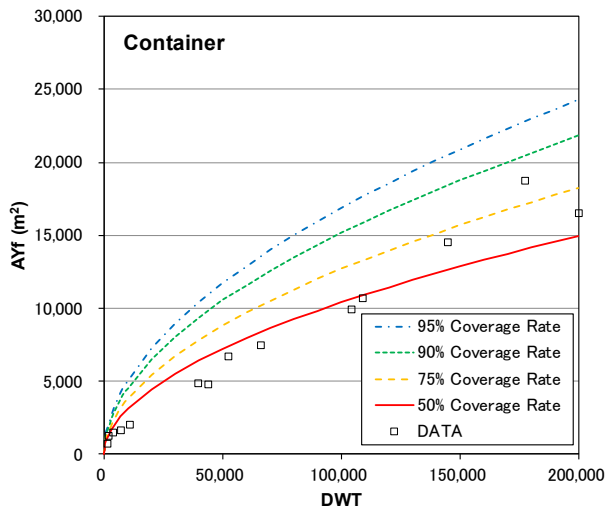


図-F.5 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

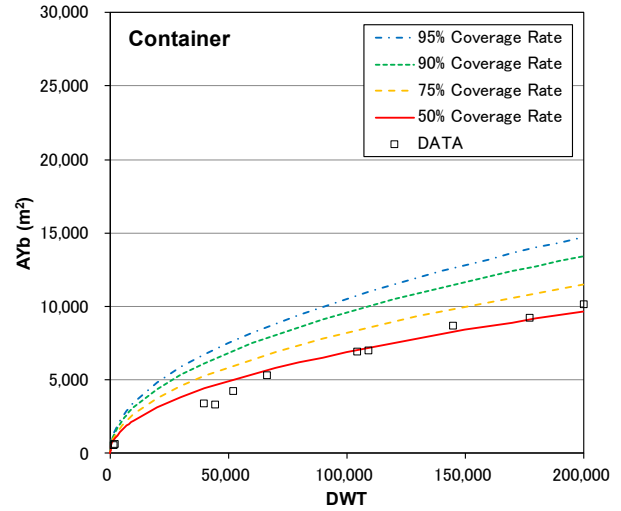


図-F.6 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

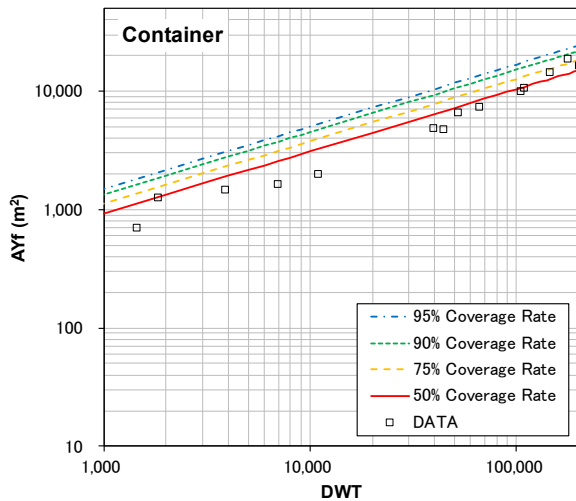


図-F.7 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

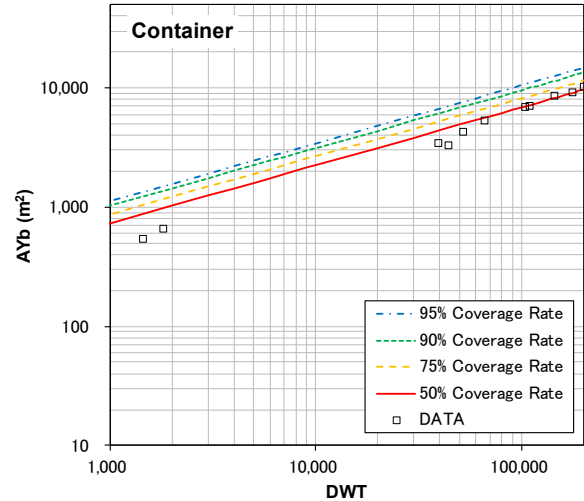


図-F.8 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<タンカー>

表-F.5 側面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	12.072	0.450	0.914	0.096	64
75%	14.013	0.450			
90%	16.026	0.450			
95%	17.366	0.450			

表-F.6 側面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	7.689	0.541	0.965	0.071	63
75%	8.591	0.541			
90%	9.493	0.541			
95%	10.078	0.541			

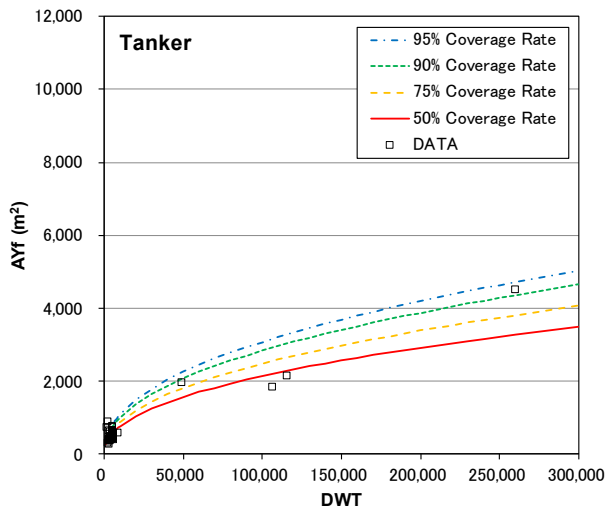


図-F.9 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

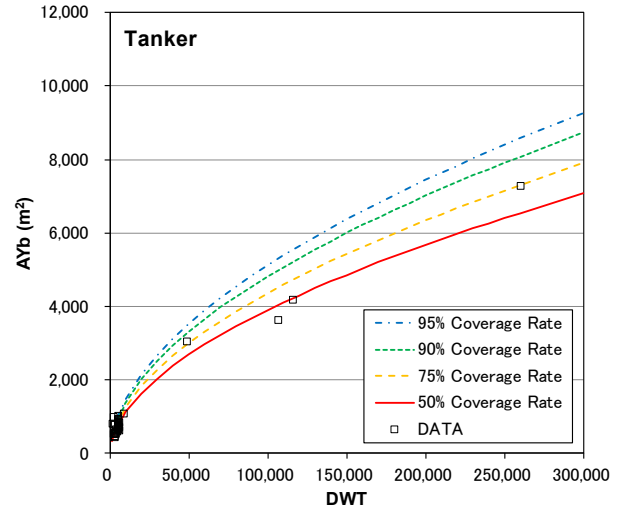


図-F.10 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

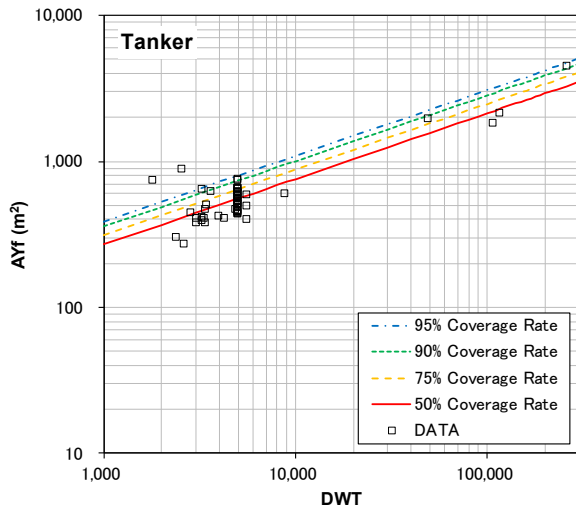


図-F.11 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

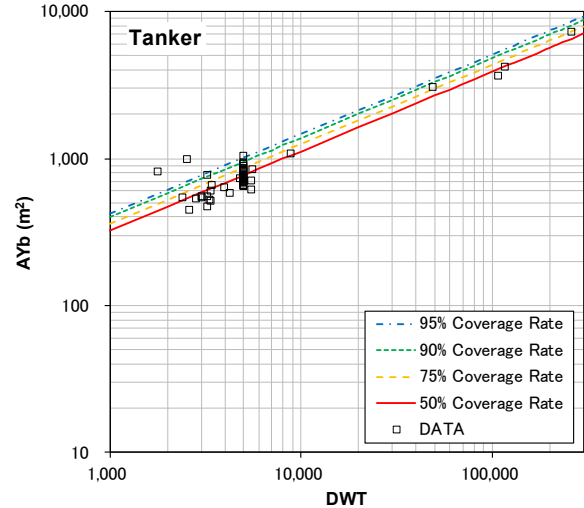


図-F.12 載貨重量トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<RORO 船・PCC>

表-F.7 側面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	28.602	0.482	0.939	0.082	17
75%	32.499	0.482			
90%	36.458	0.482			
95%	39.054	0.482			

表-F.8 側面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	27.071	0.494	0.949	0.080	15
75%	30.650	0.494			
90%	34.275	0.494			
95%	36.645	0.494			

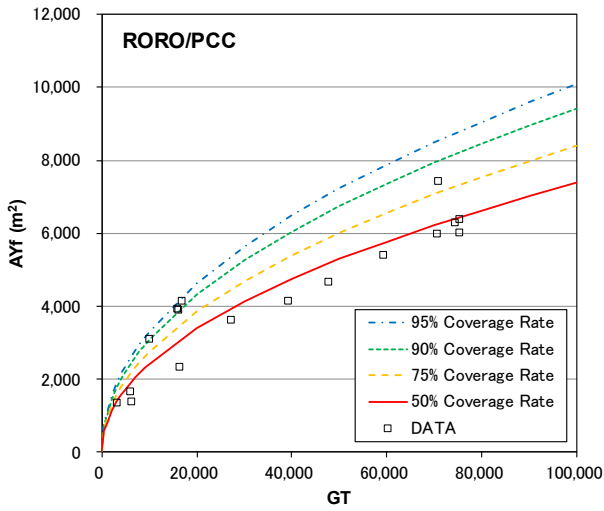


図-F.13 総トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

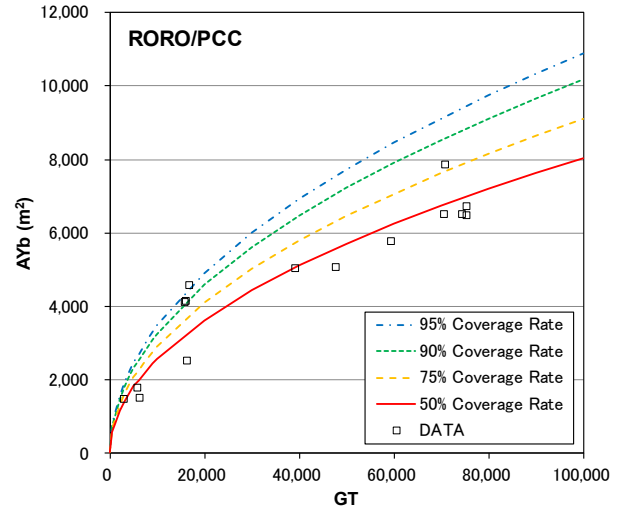


図-F.14 総トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

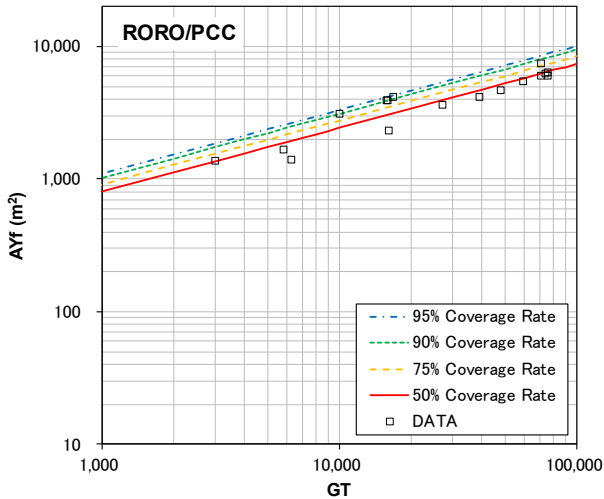


図-F.15 総トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

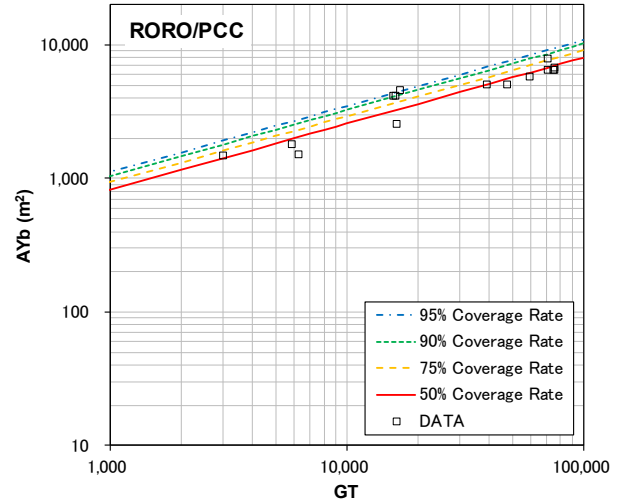


図-F.16 総トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<LPG 船>

表-F.9 側面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	9.527	0.535	0.997	0.031	9
75%	10.002	0.535			
90%	10.449	0.535			
95%	10.726	0.535			

表-F.10 側面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.183	0.629	0.988	0.074	9
75%	5.817	0.629			
90%	6.454	0.629			
95%	6.868	0.629			

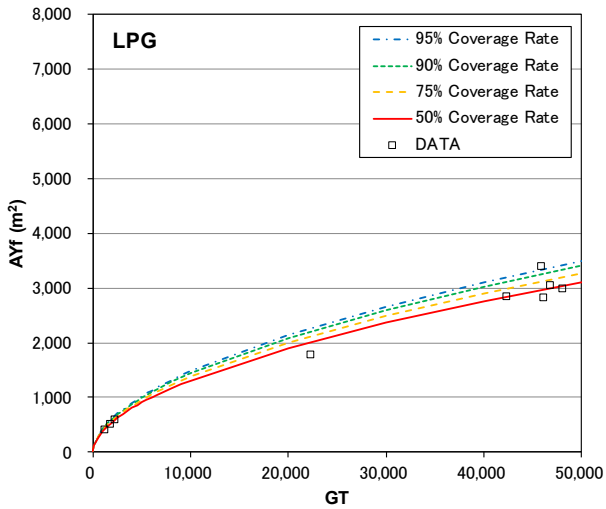


図-F.17 総トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

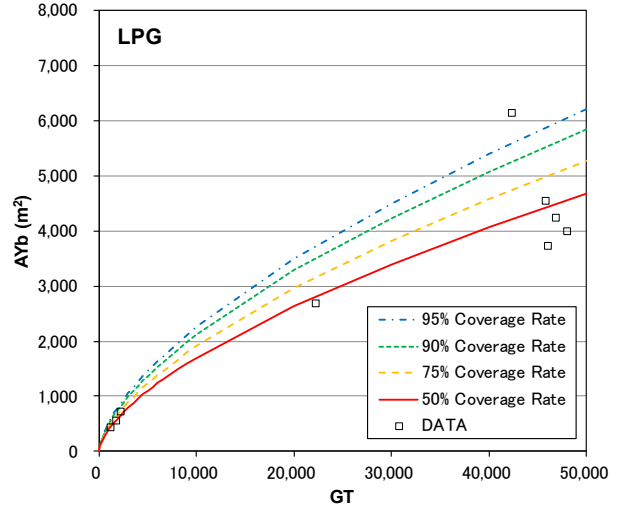


図-F.18 総トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

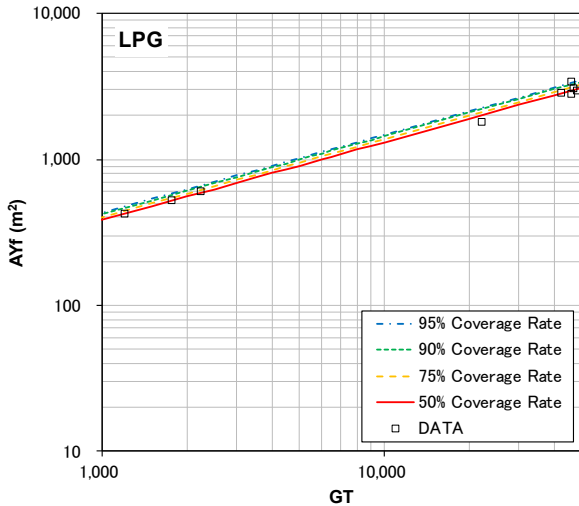


図-F.19 総トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

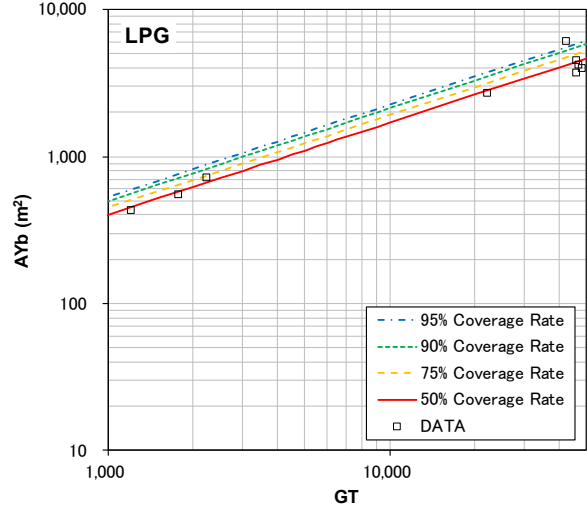


図-F.20 総トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<LNG 船>

表-F.11 側面受風面積の回帰係数等 (満載時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.171	0.619	0.995	0.044	15
75%	5.540	0.619			
90%	5.894	0.619			
95%	6.117	0.619			

表-F.12 側面受風面積の回帰係数等 (バラスト時)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.756	0.618	0.997	0.037	14
75%	6.096	0.618			
90%	6.419	0.618			
95%	6.620	0.618			

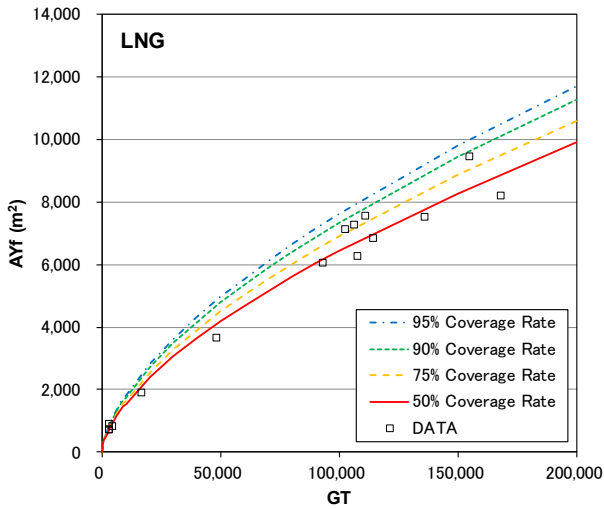


図-F.21 総トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※線形グラフ

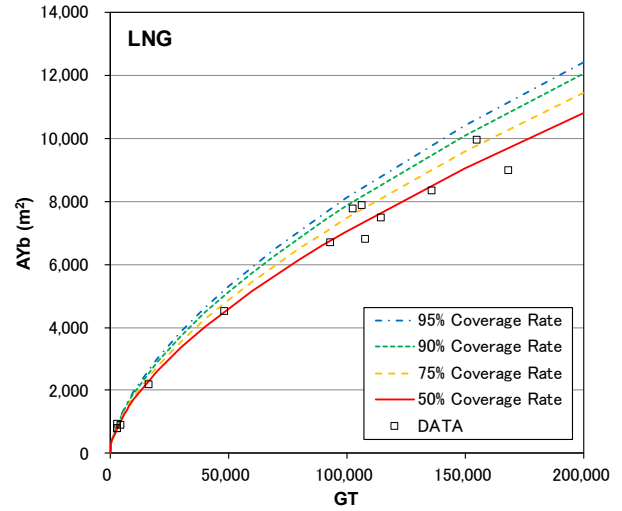


図-F.22 総トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※線形グラフ

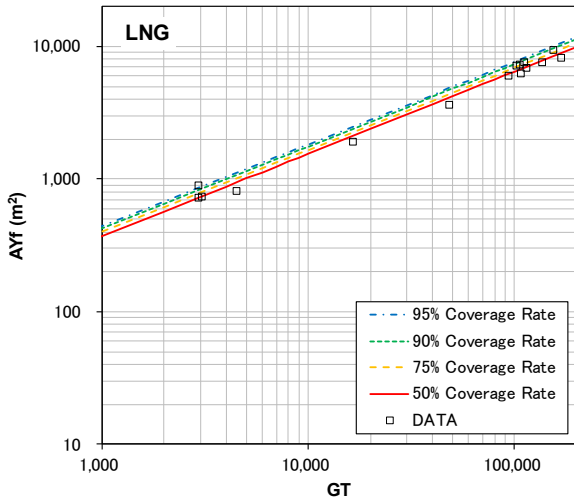


図-F.23 総トン数と側面受風面積の関係 (満載時) ※両対数グラフ

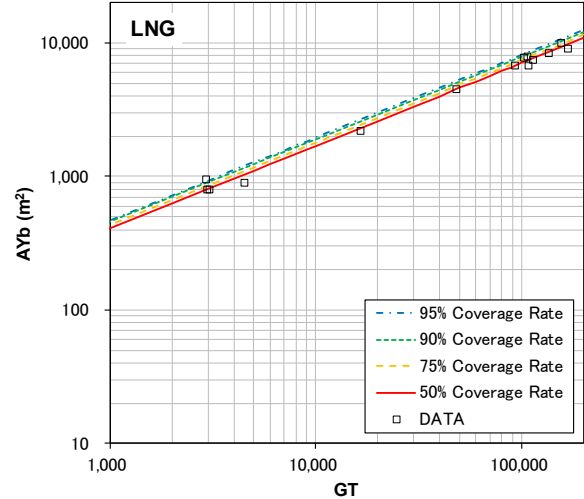


図-F.24 総トン数と側面受風面積の関係 (バラスト時) ※両対数グラフ

<旅客船>

表-F.13 側面受風面積の回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	3.495	0.690	0.997	0.024	27
75%	3.629	0.690			
90%	3.754	0.690			
95%	3.831	0.690			

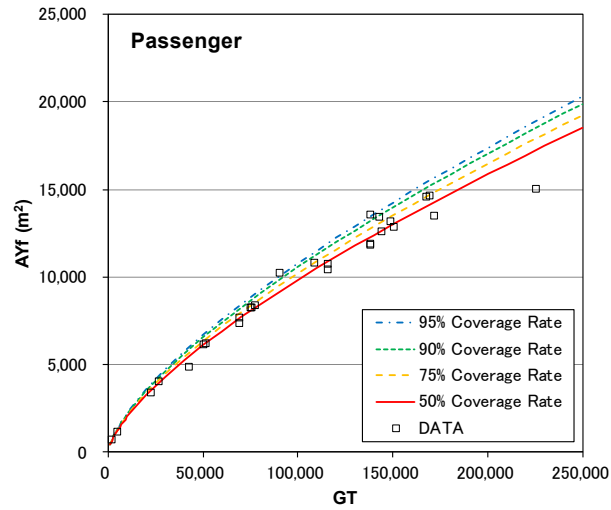


図-F.25 総トン数と側面受風面積の関係（満載時） ※線形グラフ

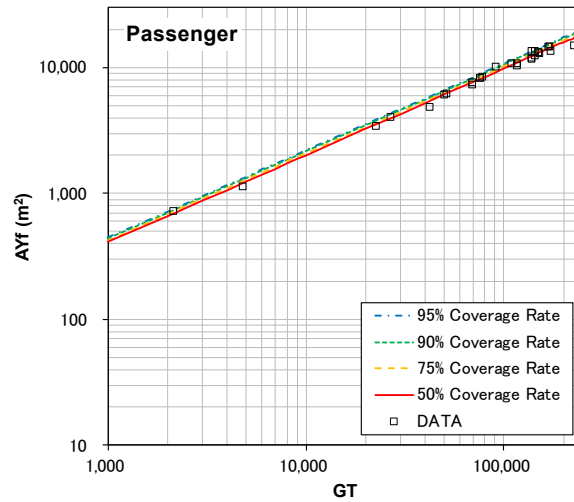


図-F.26 総トン数と側面受風面積の関係（満載時） ※両対数グラフ

<フェリー>

表-F.14 側面受風面積の回帰係数等（満載時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.733	0.677	0.988	0.029	24
75%	5.993	0.677			
90%	6.237	0.677			
95%	6.388	0.677			

表-F.15 側面受風面積の回帰係数等（バラスト時）

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差	データ数
	α	β			
50%	5.960	0.679	0.985	0.036	19
75%	6.301	0.679			
90%	6.625	0.679			
95%	6.827	0.679			

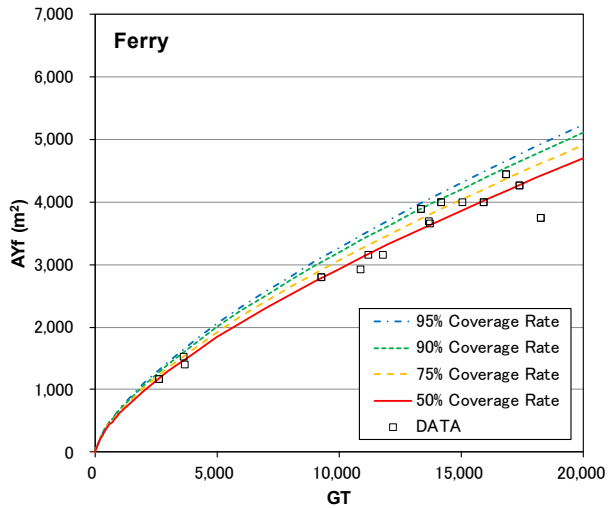


図-F.27 総トン数と側面受風面積の関係（満載時） ※線形グラフ

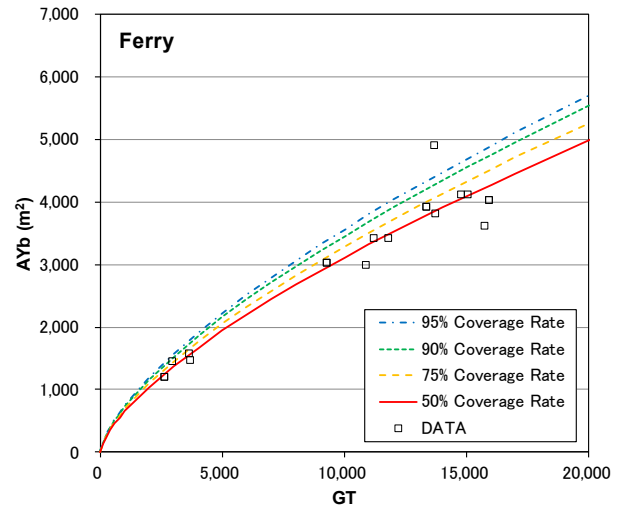


図-F.28 総トン数と側面受風面積の関係（バラスト時） ※線形グラフ

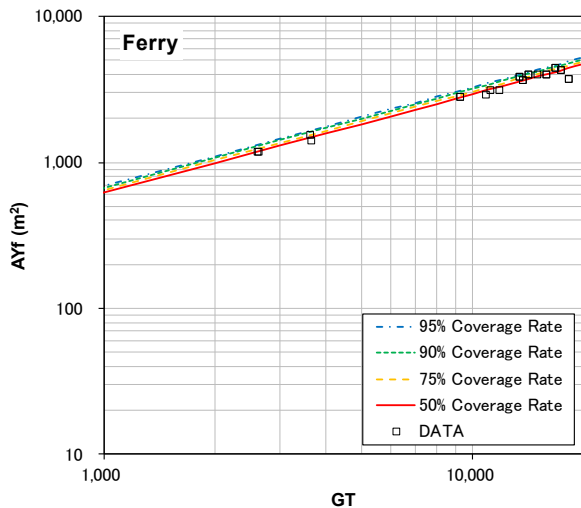


図-F.29 総トン数と側面受風面積の関係（満載時） ※両対数グラフ

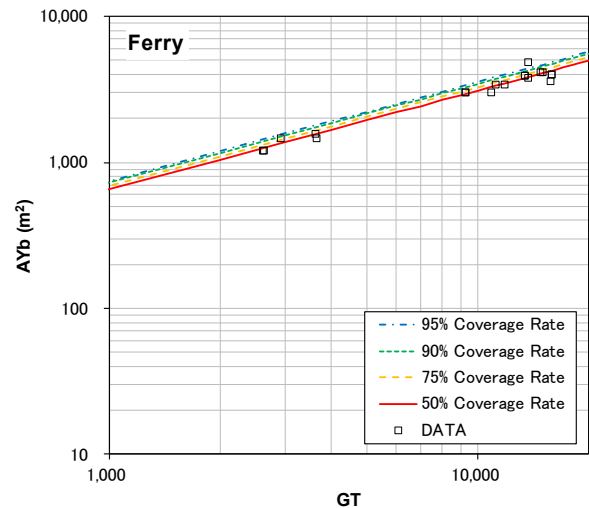


図-F.30 総トン数と側面受風面積の関係（バラスト時） ※両対数グラフ

港湾空港技術研究所資料 No.1395

2021. 12

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

Copyright © (2021) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。