

小型船舶登録データを用いた プレジャーボート諸元の統計解析に関する研究

STATISTICAL ANALYSIS OF MAIN DIMENSIONS OF PLEASURE BOATS USING THE REGISTERED SHIP DATA

小澤敬二¹・居駒知樹²・長尾 毅³・増田光一⁴

Keiji KOZAWA, Tomoki IKOMA, Takashi NAGAO and Koichi MASUDA

¹ 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

² 博士(工学) 日本大学専任講師 理工 海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³ 正会員 工博 国土技術政策総合研究所 港湾施設研究室長 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

⁴ 工学 日本大学教授 理工 海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

An analysis method is described in this paper for application of the registered ship data of 155 thousands, which is length, width and depth of ships, to design of mooring facilities in port or marina. A corresponding ship is a motorboat of pleasure boats. It is tried that the length, the width and the depth of ships which are registered into Japan Craft Inspection Organization are modified and completed to maximum and actual form which is needed to design of the facilities. Draft values of ships are completed from the depth, and accordingly actual designed dimensions are obtained from Japanese boat manufacturers.

The methods of modification and completion are proposed and discussed. From results, it is concluded that the making of design dimensions is statistically possible and the application of the registered ship data to the design of mooring facilities is feasible in this paper.

Key Words : *Pleasure boat, Form of motorboat, Statistic analysis, Mooring facility*

1. はじめに

係留施設の設計では、設計条件として船舶の全長、全幅や喫水等を設定する必要がある。¹⁾これらは当該施設の利用が想定される実際の船舶を想定した値を用いることが望ましいことは明らかである。しかしながら、公共施設では一般に、設計段階において対象船舶を特定することはできない。特に、マリーナのような施設を想定すれば、係留施設を利用するプレジャーボートの種類や大きさは様々である。そのため、わが国では従来から、実際に就航している船舶に関するデータに基づいた統計解析により得られる船舶諸元の標準値²⁾(以下、標準船型と呼ぶ)が、設計条件の設定に適用されてきた。この標準船型は船舶の諸元に関する傾向を反映するため、時代の経過と共に適宜見直されてきている。

近年、高橋ら³⁾は貨物船のような大型船舶を対象とした新たな標準船型解析を行っている。しかしながら、プレジャーボートのような小型船舶については最近の諸元動向を反映させた検討は著者らの知る限り見られないのが現状である。その理由として、小型船舶については、現存する船舶の網羅的なデータが国内外に揃っていないことが考えられる。

平成14年度に、小型船舶登録制度が始まり、わが国におけるプレジャーボートを含む総トン数20トン未満の小型船舶に登録義務が課せられるようになった。そのため、幾つかの船舶諸元が登録されることになり、平成17年12月時点で、約155,000隻分のデータが蓄積されている。本論文ではこれを「登録データ」と称する。よって、プレジャーボートに関しても実際に就航している船舶の諸元データに基づいた係留施設設計に必要な標準船型を求められる可能性が出てきた。登録データとしての船舶諸元はそのまま設計条件に使用できるものとなっていない。その理由は、船舶に長さの基準が幾つかあることや、喫水は燃料その他の搭載物によって異なるために登録されていないなどである。

本研究はプレジャーボートの係留施設の設計に必要な標準船型を統計的に求めるためのデータとして、前述の登録データの適用可能性を検証することを目的として実施された。そして、本論文では登録データを設計条件解析用のデータに変換する方法を検討し、両データの相関関係について考察する。

2. プレジャーボート諸元データ

本研究を実施するに当たり、日本小型船舶検査機構より約 155,000 件の「登録データ」を入手した。そして、この登録データを基にして設計条件用データに変換するために、国内ボートメーカーからプレジャーボート設計データ 103 件分を入手した。

係留施設の設計に必要なプレジャーボート諸元は図-1 に示す定義のものである。

(1) 登録データの概要

日本小型船舶検査機構は、平成 14 年度より総トン数 20 トン未満の小型船舶の登録を開始した。これに伴い、船舶諸元のうち、船舶の長さ、幅、深さおよび総トン数が登録されている。これらはあくまでも①登録長さ、②登録幅、③登録深さおよび④登録総トン数である。つまり、登録長さは船舶の最大長さではなく、登録深さも喫水とは直接関係ないパラメータである。ここで、登録深さは船体の最深部から船体の主要部の天井部分までなどであり、実測される値である。総トン数は船舶全長や全幅とキャビン容積などを考慮した実測値として登録され、実際の排水トンにはならない。そして、総トン数については、実際にはほとんどデータ登録が行われておらず、本研究での解析に適用することそのものが困難である。

登録データは実測データが基本であり、それ自体は信頼性が高いが、長さの定義や総トン数と排水量との関係が必ずしも画一化されていない。そのため、これらの諸元データを直接的に船舶の外形寸法とすることには問題がある。データ件数は 15 万件を超えるが、欠損などがあるため、本研究での解析に適用したデータ数は 148,000 件ほどである。

(2) ボート・メーカーの設計寸法データの概要

平成 18 年から数えて過去 5 年間に製造または販売されたプレジャーボートの設計寸法諸元を国内主要メーカー 4 社から入手した。入手した船舶諸元は、全長、全幅、喫水および質量（排水量に相当）である。各々の諸元データは、以下の条件での値として提供をお願いした。なお、対象とするプレジャーボートは、モーターボートとディンギーヨットとした。本論文では、これらのデータをメーカー・データと称す。これらのメーカー・データは図-1 の諸元の定義に準ずる。

- ① **全長 (m)**：バウスプリット（船首突出構造）と船尾ダビッド又はマリーン・ボート（船尾ボート）を含め、プレジャーボート最前端から最後端までの距離。
- ② **全幅 (m)**：船体の最大幅。
- ③ **喫水 (m)**：船体最下端から次に示す質量に見合った船体の水線までの深さ。（プロペラ下端が一般的である。ディンギーヨットではセンターボードを降ろしたときの最下端）
- ④ **質量 (kg)**：SI 単位が適用されている。数値は船舶で使用される工学単位の排水量に相当す

る。人員や装備品は含まず、機関や燃料（満タン）を含む船体の全質量。

表-1 に調査対象メーカーからのデータ提供件数をまとめた。モーターボートについては全 98 件を、ディンギーヨットは 5 件のデータを入手した。ただし、モーターボートには遊漁船が 15 隻含まれる。ディンギーヨットは件数が少なく、諸元の傾向を調査することが困難である。そのため、本研究で実際に使用するデータは遊漁船を除くモーターボート 83 件とする。

メーカー・データは設計寸法そのものであるもので、数値の信頼性は高く、またその基準も明確である。しかしながら、有効データ数が 83 件となり、このまま統計的に設計用データとするには標本が少なすぎる。

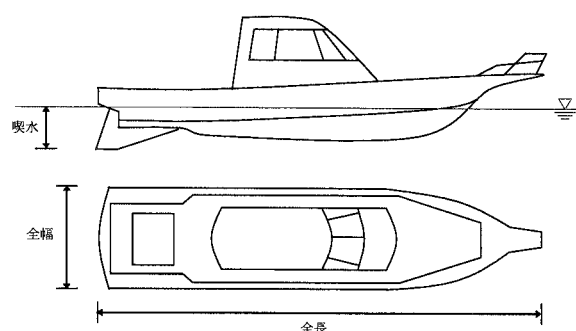


図-1 プレジャーボート諸元の設計寸法の定義

表-1 ボートメーカーからのデータ提供件数
(ボート件数は遊漁船 15 件を含む)

メーカー名	ボート件数	ディンギー件数	備考
A 社	32	5	
B 社	45	0	過去 5 年で製造・販売、6m~18m のモーターボート（遊漁船含む）
C 社	5	0	過去 5 年で製造・販売、6m~18m のモーターボート（遊漁船含む）
D 社	16	0	過去 5 年で製造・販売、6m~18m のモーターボート（遊漁船含む）
合計	98	5	

3. データの統計解析

(1) 解析概要

登録データは 15 万件程度の標本となり、統計的にプレジャーボート諸元の傾向を調べるには十分である。逆にメーカー・データはその信頼性は極めて高いが、統計的な議論を可能とするほどの標本数にならない。さらに、メーカー・データは、製造・販売されたボートというだけであり、それが何隻世の中に出ているのかの情報は一切含まない。ゆえに、現存するプレジャーボート諸元の傾向を見ることは本来不可能である。

そこで、本研究では「登録データの標本数」と「メーカー・データの信頼性」というそれぞれの長所を活かすことを考えた。

- ① メーカー・データは過去 5 年間に製造・販売されたボートが対象となっているが、さらに過去に遡ったときにそれほど大きな諸元変更はないと仮定する。
- ② すると、現存するプレジャーボートの多くはメーカー・データのプレジャーボートの内の 1 つ、あるいはそれに近い船体諸元を有するボートであると仮定できる。

これらの仮定から、登録データの統計的性質を調べ、その統計量そのものをメーカー・データを基準として図-1 に対応する実データに対応させる。つまり、登録データを実データに変換することに他ならない。ここで、実データとはメーカー・データの諸元の定義と同じ量のデータを意味し、すなわち、これらを設計長さ、設計幅、設計喫水、設計質量のように表現できる。

ただし、幅のデータについては登録幅もメーカー・データの設計幅も最大幅と考えられる。そこで、本研究では、全幅を両データを関連付ける基準パラメータとすることにする。

(2) 船舶の長さ

まず、登録データとしての船舶長さ 15 万件ほどがどのように分布しているのかをヒストグラムで図-2 に示す。これによれば登録長さは 5.5 m ～ 7.5 m 程度の船舶がほとんどであることが分かる。図-3 にはメーカー・データの設計長さのヒストグラムを示す。これは製造・販売された船舶の長さの分布傾向であり、販売隻数などは一切考慮されていない。図-3 からメーカーが製造している船舶の内、全長 8 m 程度を中心に種類が豊富であることが伺える。また、12 m 以上の件数が多いことから、近年のプレジャーボートの大型化に対応した船種の充実を伺うことができる。

次に、登録長さを設計長さに変換するために、それぞれの傾向を調べる。1 つの船体に対しては、ある船体幅（全幅）に対応する船体長さ（登録長さや設計長さ）を有していると考ええる。よって、登録長さや設計長さは基本的には 1 対 1 で対応すると考える。ただし、実際にはあるマージンの範囲で考慮されるべきデータの変換である。

図-4 に全幅に対する全長を登録データおよびメーカー・データそれぞれについてプロットする。同時にそれぞれの分布に対して、最小二乗法により指数関数で近似させた曲線を示す。登録長さは全幅 B に対して、

$$L = 3.58e^{0.28B} \quad (1)$$

なる関数で、また、設計長さは、

$$L = 3.59e^{0.33B} \quad (2)$$

で近似できる。

登録長さの全幅との相関係数 R は 0.67 と少し低い値となった。メーカーの設計長さについては $R=0.89$ と比較的よい相関が見られる。設計寸法としての全幅と全長の相関が比較的良くない船種が多

く現存して登録されている可能性を考慮すれば、設計寸法における相関係数よりも登録データにおける相関係数が悪くなることは妥当であると推察できる。なお、登録データの近似曲線がデータの分布性状に対して下方によっているように見えるが、曲線付近のデータ点数が極めて多く、密になっているためである。したがって、この原因は数点が $B>6.0$ m に存在する影響ではない。

次に登録長さの近似関数(1)式を設計長さのそれである(2)式と等しくするために必要な修正関数 $C_L(B)$ を求める。これは(2)式を(1)式で除せばよい。

$$\begin{aligned} C_L(B) &= \frac{3.59}{3.58} \exp\{(0.33-0.28)B\} \\ &= \exp\{0.05B\} \end{aligned} \quad (3)$$

この修正関数 $C_L(B)$ を登録長さに乗ずることによって修正すると、図-5 のような分布に変換される。登録長さに対して設計長さは長くなる。修正された登録長さの全幅との相関係数は修正前よりも若干良くなっている。登録データの修正関数を図-6 に示す。また、修正後の長さの分布をみるために、ヒストグラムを図-7 に示す。図-2 の登録長さのヒストグラムと比較すると 12 m 以上の隻数が増えていることと、元々大きかった船舶がより大きく見積もられることとなり、現在のプレジャーボートの大型化を説明できるような結果となっている。

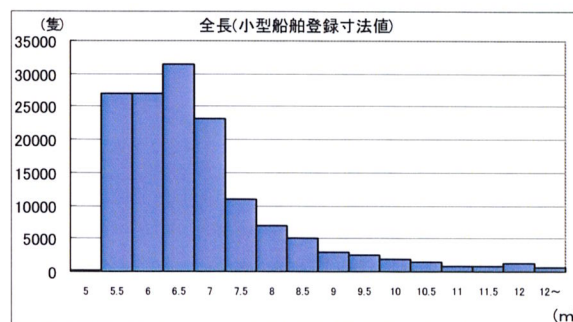


図-2 登録長さのヒストグラム

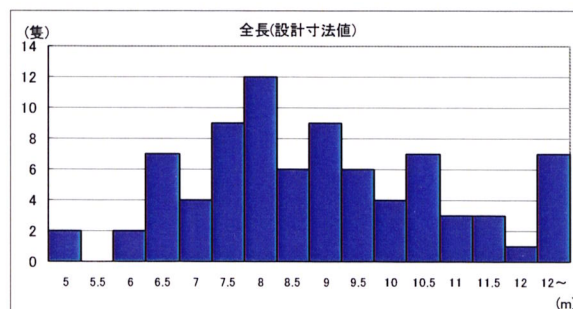


図-3 メーカーの設計長さのヒストグラム

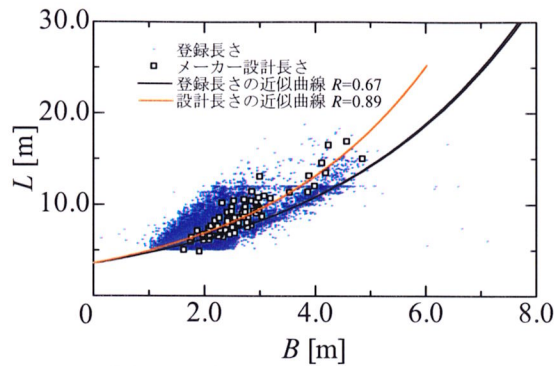


図-4 全幅に対する船舶長さの関係と近似関数

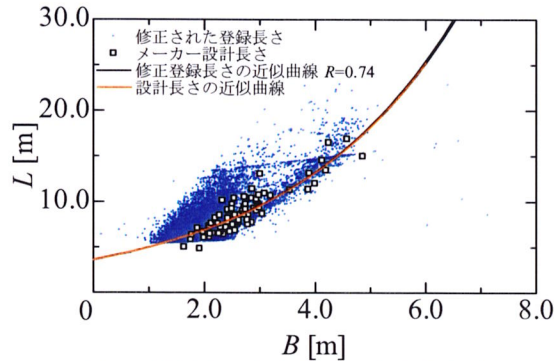


図-5 設計長さに修正された登録長さ

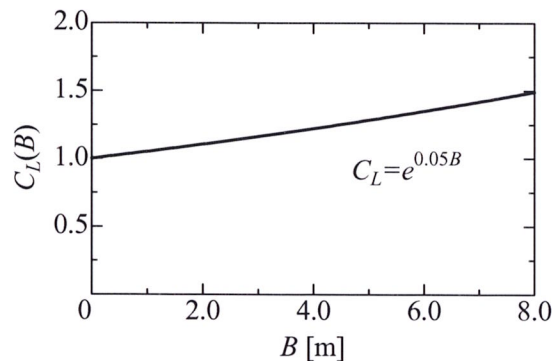


図-6 登録長さの設計長さへの修正関数

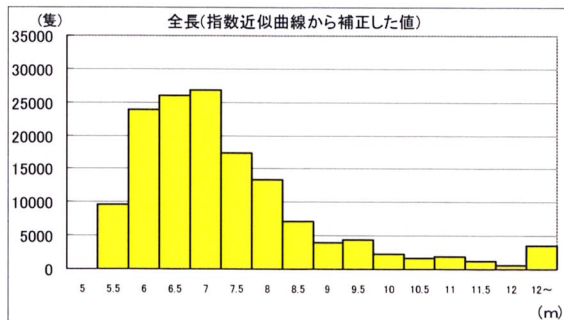


図-7 設計長さへ修正後のヒストグラム

(3) 船舶の深さと喫水

登録データには船舶深さというかたちでデータが存在する。係留施設設計上は航路や栈橋設置位置の水深設定などの観点から、むしろ船舶の喫水情報が重要である。登録データの深さの計測方法は船舶の種類や形状によって実際にはまちまちである。そ

こで、機械的に、ある全幅を有する場合の船舶の喫水は一意に決定されると仮定する。そのため、メーカー・データの喫水の全幅に対する近似関数に登録深さの近似関数が重なるように修正する。

図-8 に全幅に対する登録深さ D の分布と設計喫水 d の分布を示し、それぞれの近似関数を同時に示す。ここでの近似には指数あるいは高次関数よりも線形関数の方が相応しいと判断して、1 次式による近似直線を最小二乗法によって求めた。

近似直線は、登録深さ D に対しては、

$$D = -0.36 + 0.60B \quad (4)$$

であり、設計喫水 d に対しては次式で与えられる。

$$d = 0.14 + 0.25B \quad (5)$$

全幅に対する両パラメータの相関係数は 0.85 程度であり、比較的良好な結果となった。なお、プロットされる登録深さには $B < 1.0$ m の点が存在するが、データの信頼性に問題があるため無視する。これらの影響は近似直線の解析には考慮されているが、15 万点ほどの標本の内の数点であるので、これを考慮するか否かは近似式の予測にほとんど影響しないと考ええる。

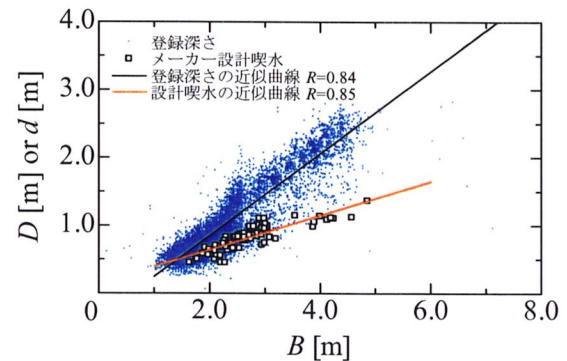


図-8 全幅に対する登録深さと設計喫水の関係および近似関数

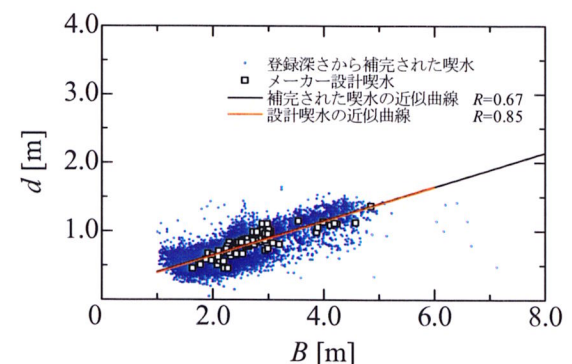


図-9 登録深さから補完された喫水

登録深さを設計喫水に補完する。そのために、(5)式を(4)式で除して補完関数を以下のように算出する。

$$C_d(B) = \frac{0.14 + 0.25B}{-0.36 + 0.6B} \quad (6)$$

ただし、(6)式は $B = 0.6$ で発散してしまう。図-7 より、 $B < 1.0$ の登録深さに問題がある可能性がある

ことも考慮して、全幅が 1.0 m 以上の範囲に(6)式を適用すべきと判断する。

登録深さに補完関数を乗ずることで設計喫水に変換する。その結果を図-9 に示す。相関係数は 0.67 と低くなってしまった。ただし、深さを喫水に変換していることを考慮すれば、相関が悪くなる傾向は妥当であるとも判断できる。

図-10 に補完関数の分布を示す。有効領域は全幅が 1.0 m 以上の範囲である。また、図-11 および図-12 には登録深さのヒストグラムと補完された喫水のヒストグラムをそれぞれ示す。図-11 の深さの分布の広がり大きいのが、変換後の喫水は 0.7 m から 0.8 m 付近に集中し、ばらつきが小さくなり標準偏差が減少する傾向が伺える。実際のプレジャーボートの喫水の分布はそれほど広くないと予想されることから、本解析は妥当であると判断できる。

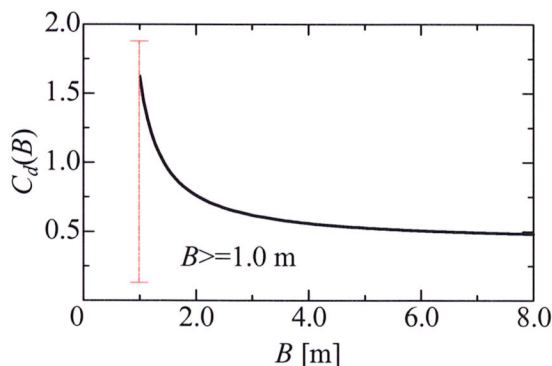


図-10 登録深さから設計喫水への補完関数

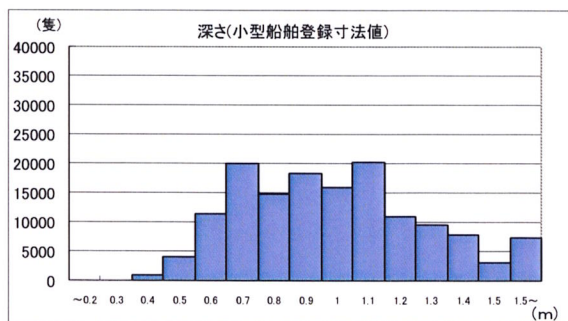


図-11 登録深さのヒストグラム

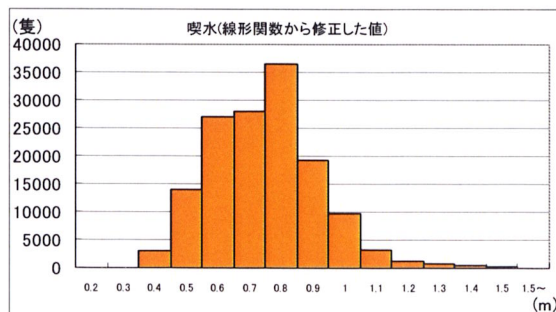


図-12 補完された喫水のヒストグラム

(4) 船舶の質量（排水量）

登録データの項目として総トン数があるが、実際にはほとんど登録されておらず（入手した状態が

悪い可能性も考えられる）、このデータを利用することは不可能である。つまり、登録データには実質的に質量（排水量）に相当するデータが皆無である。

そこで、全幅のデータと先に求めた設計長さ、設計喫水とメーカーから入手した質量データを使って、登録船舶 15 万隻に対応する質量（排水量）データを作成する。船舶では重量の標記に排水量が適用される。これは排水トンであり、元々は工学単位系の重量（トン）に等しい。メーカーから入手した質量 m kg は SI 単位系での量である。船舶に用いられる排水量 W_t ton に数値を合わせるために、

$$\text{ボート排水量} : m [\text{kg}] / 1000 \rightarrow W_t [\text{tf}] \quad (7)$$

なる操作を施し、便宜的に排水量を表現する。これ以降、便宜的に工学単位系で考える。

船舶重量 W kgf は海水比重量 $\rho g = 1025 \text{ kgf/m}^3$ と排水容積 $V \text{ m}^3$ によって、

$$W = \rho g V = 1000 W_t \quad (8)$$

で表現できる。いま、新たに工学単位系における船舶質量を $M \text{ kgfs}^2/\text{m}$ とする。質量 M の値はメーカーより入手した SI 単位の質量 m kg とは次の関係となる。

$$M = \frac{W}{g} \rightarrow \frac{m}{g} \quad (9)$$

また、船舶の排水容積 V は次式となる。

$$V = \frac{W}{\rho g} \quad (10)$$

次に、船舶の全幅 B と設計長さ L および設計喫水 d を用いて、直方体体積 Δ を次式で定義する。

$$\Delta = L B d \quad (11)$$

船舶の排水容積 V を Δ で除すことで、いわゆる船型の肥り具合を表す係数に相当する方形係数 C_b を定義する。

$$C_b = \frac{V}{\Delta} \quad (12)$$

この係数 C_b が導入されることで、設計長さ、設計幅および喫水の情報を基に排水容積 V が算出され、結果的に(10)式と(8)式より排水量（トン） W_t が決定される。

方形係数 C_b は、船舶諸元によって決定されるため、それ自身がそれらの諸元の関数となってしまう。そこで、 C_b についても先述の設計寸法算出と同様に全幅 B に対する関数として考えることにする。メーカー・データの 83 件に対して、(12)式を適用する。離散的な係数と、最小二乗法を適用した指数関数近似によって、全幅に対する方形関数 $C_b(B)$ として求めた。メーカー・データには質量データが含まれていることを改めて断っておく。その結果を図-13 に示す。方形関数は、

$$C_b(B) = 0.067 \exp\{0.22B\} \quad (13)$$

のように近似できる。方形関数の決定の際には先述までの長さや喫水の近似と違って、(13)式中にどの程度の切片を設定するかが問題となる。この方形関数によって排水量が 50% 近く変わる可能性がある

からである。これについては今後の課題である。より実際の排水量データと直接的に比較する必要があると考えられる。

図-14 に本解析方法で推定された船舶排水量の全幅に対する分布を示す。排水量の値はおおよそ妥当であると判断できる。この排水量の相関係数は 0.81 と比較的良好な傾向が見られる。前述したように方形関数の切片項の影響による絶対量の決定には課題が残る。また、本手法の妥当性を検討するために実際のデータとの比較が必要であると思われる。

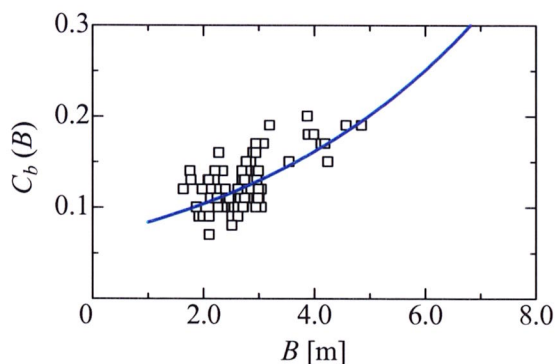


図-13 全幅に対する方形関数

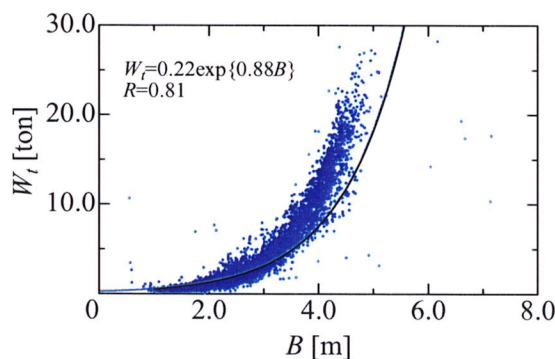


図-14 全幅に対する排水量の推定値分布

4. まとめ

本研究では、小型船舶の 15 万件ほどの登録データを、如何に係留施設設計用のデータとして利用するかについて検討した。そのために、国内主要メーカーからプレジャーボートの設計寸法を入手した。そして、15 万件の登録データの統計的性質を活かすために、信頼できるメーカー・データを基準として登録データを修正あるいは補完することで、15 万件の設計寸法データを作成することを試みた。

本研究におけるデータ修正・補完方法およびその結果から以下のような知見を得た。

- 1) 登録長さを設計長さに修正することで、近年のプレジャーボートの大型の傾向を見て取れるヒストグラムが得られた。
- 2) 登録深さから設計喫水に変換した。ここで得られた喫水の 15 万件の分布は 0.8 m 程度を中心とした集中度の高い正規分布に近づいた。
- 3) 修正・補完された船舶諸元と全幅を使い、メーカー・データの質量から船舶排水量を推定した。方形関数の決定には実際の排水量データとの比較を行っていく必要がある。
- 4) 本研究で検討した各諸元の量は全幅を基準として操作されたが、各々の量は全幅との相関は平均して良く、最も相関が悪い場合でも相関係数は 0.67 程度であった。多くは 0.8 程度の相関があった。よって、全幅を基準とした諸元の整理は妥当な判断であったといえる。

以上の知見やこれまでの考察を整理すると、15 万件の登録データを設計用データとして利用することは十分可能であると考えられる。特に、長さや喫水については大きな問題はないと判断できる。それに対して、排水量の推定方法は、限られた情報の下で全く異なる量からの推定であるため、より現実的なデータとの比較などによって検証する余地がある。

本研究成果に基づき、これらのデータ整理・解析方法によって、本来の目的である、現存する船舶諸元データに基づいたプレジャーボートの標準船型を求めていくことが可能であると考えられる。

謝辞：本研究で使用したボートメーカーの設計寸法は、(社)日本マリーナ・ビーチ協会から各メーカーに依頼して頂き、それを利用して頂いた。また、小型船舶登録データも同協会を通して入手した。同協会の中井清常務理事にはこれらの作業の仲介をして頂きました。ここに深く謝意を表します。ヤマハ発動機(株)の高岩千人氏にはデータ整理や結果の考察を含めて、本研究の進め方や本論文のまとめ方について多くの助言を頂いたことを記し、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本マリーナ・ビーチ協会編：プレジャーボート用簡易係留施設設計計算書
- 2) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999。
- 3) 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報告，第 28 号，2006。