

伊勢大湊の造船資料について

—第2報 明治期市川造船所におけるセール面積設計法—

正会員 伊藤 政光*

On the Shipbuilding Heritage in Ise-Oominato Region

2nd Report: Design Method of Sail Area at Ichikawa Shipyard in the Meiji Era

by Masamitsu Ito, Member

Key Words: Shipbuilding Heritage, Ichikawa Shipyard, Sail Area, Initial Design

1. はじめに

前報¹⁾において、伊勢市大湊に元禄15年(1702)から昭和53年(1978)まで活動した市川造船所に残された造船資料(以下、市川資料)の概要について報告した。

その内、図面については重要と思われる古いものを中心に536枚740葉(裏表あるため)が電子化されているが、その多くが設計初期の計画図であり、船名、作画時期、設計者名等の記述が無いものが多く、かなりのものの特定が出来ていない。しかしながら、船の特定はできないものの、図面上に記載された書込からは興味深い情報を得ることができる。

近代造船学が日本に本格的に導入された明治初期は、国策により艦艇や大型の鋼製商船に関しては組織的に教育および海軍工廠、大手造船所での技術普及が進んだが、それまでの和船に替わる洋式木造帆船については政策として新技術の普及が図られたようには見えない。明治中期になって漁業での連続した大量遭難を受けて国策として洋式帆船の導入が図られ、それがたまたま小型機関の一般化の時期と重なって動力化も急速に進んだ。明治期に洋式木造帆船の設計を具体的にどのように行っていたかを知る資料は少なく、その点においても市川資料は貴重な存在である。

市川資料調査の過程で、洋式帆船の帆装の全帆面積を評価している共通した内容の書込が16船について見出された。この方法は、(甲板面積)に対する比として(全帆面積)を評価している。

これまでの調査の範囲ではこの方法そのものを示した資料は見られないが、市川資料中の当時の外国書籍や、時代的には下がるが日本での木造船の標準テキストに相当する資料と比較して、その由来について推定した結果を報告する。

なお、本報告に示した船舶図面は総て伊勢市教育委員会所蔵のものである。

2. 市川資料に見る全帆面積の評価法

全帆面積を計算した記述が残されているのはTable 1に示す16船である。船名不詳のもの、船名が記述されていても建造年不詳のものも含まれるが、使用している製図用紙の種類からほとんどが明治期、遅くとも大正期のものと判断してよいと思われる。市川造船所の明治期の洋

式木造船の図面はほとんど総てが英文表記であり、これらも記述は英文であることから明治期のものと判断される。なお数は少ないものの和船の図面は日本語表記であることから、英語表記を使うことで洋式技術を用いていることを強調し船価の高い洋式船を差別化していたと思われる。

これら16船の総てに(全帆面積)と(甲板面積)の値が示され、14船については比としての値が示されている。また、2船については(甲板面積)以外の値との比も併せて示されている。電子化された図面では16船以外には帆面積に関する計算は示されていないことから、明治期の市川造船所では(全帆面積)と(甲板面積)の比をもって全帆面積の妥当性を評価していたと推察される。この(甲板面積)を用いる方法は調査した範囲では他に見当たらないことから「市川方式」ということとする。

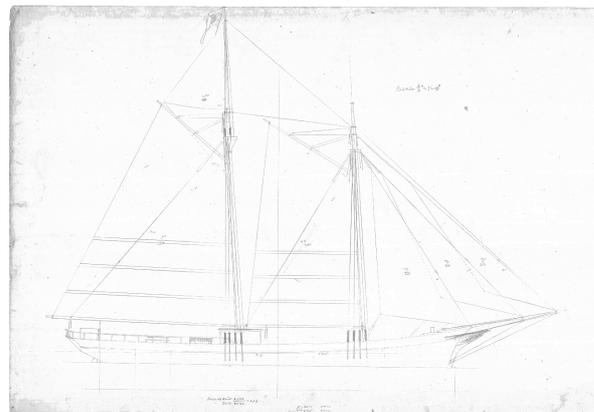


Fig. 1 Sail plan of ship "B"

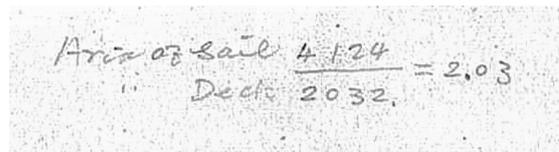


Fig. 2 Ratio of sail area and deck area of ship "B"

表示の例としてFig. 1にB船(日魯第1号)を示すが、セイルプランの下部にFig. 2のように、(全帆面積)と(甲板面積)の比が2.03であることが示されている。ほとんどがごく簡単にこのように比の値を記入している。

(甲板面積)以外の値との比が記入されている例としてFig. 3にF船(第2房総丸)を示す。上段左側に1/8"スケール(1/96)でセイルプランが描かれ、各セイルについて面積と図心位置が小さく記入されている。残された補助線より図心位置は作図によって求めていることが判明した。

* 鳥羽商船高等専門学校名誉教授

原稿受付 平成30年3月23日

春季講演会において講演 平成30年5月21, 22日

©日本船舶海洋工学会

Table 1 List of ships marked ratio of sail area and deck area on drawings

Ship	Name	Year	Kind of ship	L x B x D	GT	S _A /S _D	Rigging
A	Nitto maru	M40	Fisher	79.0' x 21.6' x 8.3'	90.65	2.68	2 masted schooner
B	#1 Nichiro	N/A	(Fish cargo ship)	(92.3') x (25.6') x (12.7')	N/A	2.03	2 masted schooner
C	N/A	N/A	Fisher	85.0' x 23.0' x 11.0'	N/A	2.57	2 masted schooner
D	Fuji maru	M39	Fishing research ship	56.0' x 12.6' x 8.0'	43	2.55	Ketch
E	Toyokuni maru	M38	Fishing research ship	48.7' x 12.2' x 4.7'	19	2.56	Ketch
F	#2 Boso maru	M37	Fisher	(83.0') x (22.6') x (19.6')	N/A	1.76	2 masted schooner
G	N/A	N/A	(Cargo-passenger)	139.5'(Loa) x 28.0' x 14.0'	N/A	2.6	3 masted schooner
H	#2 Tateyama maru	N/A	(Cargo)	90.0' x 25.3' x 12.5'	199.8	3.14	Brigantine
I	#1 Enyo maru	M40	(Cargo)	(141.0') x (30.0') x 16.0'	N/A	4.3	3 masted bark
J	N/A	N/A	(Cargo)	(91.0') x (24.0') x (12.0')	N/A	2.49	3 masted schooner
K	Kippou maru	M44	(Cargo)	96.5'(Lpp) x 23.3' x 11.3'	N/A	2.628	2 masted schooner
L	Nachi maru	M37	Fishing research ship	43.6' x 10.6' x 4.6'	13	2.7	Ketch
M	N/A	N/A	Fisher	(32.0') x (7.0') x (3.0')	N/A	2.7	Ketch
N	Kiei maru	N/A	Cargo	(84.5') x N/A x N/A	N/A	2.7	3 masted schooner
O	Seikei maru	N/A	(Cargo)	(83.3') x N/A x N/A	N/A	2.15	2 masted schooner
P	#3 Kyodai maru	N/A	(Cargo)	75.0' x 21.5' x 9.0'	N/A	2.5	3 masted schooner

L x B x D : Values in parentheses are values read from drawings and L is registered length if not specified

Kind of ship: Items in parentheses are estimated ones. S_A/S_D: (Sail area)/(Deck area)

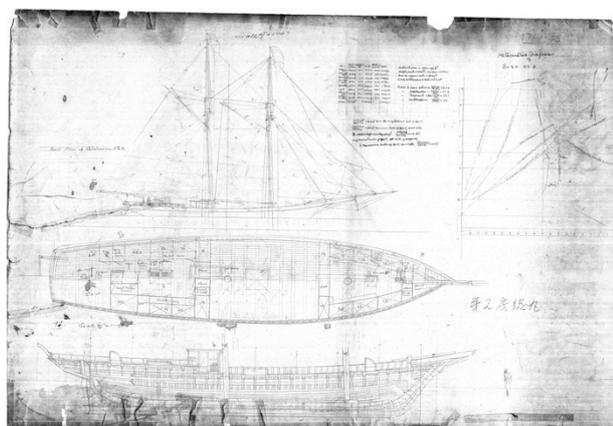


Fig. 3 Sail plan and general arrangement of ship "F"

上段右側には排水量等曲線(Hydrostatic Curves)が書かれており、その間に Fig. 4 に示す全帆面積の計算、総ての帆の面積中心（風圧の圧力中心とみなす）の計算、さらに全帆面積の甲板面積に対する比(2.76)、中央横断面面積に対する比(51.4)、排水量(ton)に対する比(33.1)、浸水表面積に対する比(3.00)がそれぞれ計算されている。

本図では大変詳細な計算結果が示されているが、ここまで細かいと本来は別計算書として記録されるものと思われるが、何らかの事情により1葉に記載されたものと思われる。

次に S_A/S_D= (全帆面積) / (甲板面積) の値を見ると、16 船中 14 船は縦帆のスクーナおよびケッチであり、最小値は 2.03, 最大値は 2.76 である。この内 3 船は揃って 2.7 であり、1 船を除いて 2.7 より小さい値であって、この数値を縦帆船の上限の基準としていたように見える。最大値を持つ F 船は獵虎漁船であり、マストが比較的低く、トップセイルを持たず、パウスプリットおよびメインブームが長い特徴を持っているので傾斜モーメントが小さい分だけ帆面積を増したのかもしれない。しかし F 船の後に建造された同じ獵虎漁船 A 船は 2.7 より小さな値を取っているのが興味深い。

横帆船は 2 船のみであり、帆装形式はブリガンティンとバークである。横帆は同じ高さであっても形状的に面積が大きくなるので (全帆面積) / (甲板面積) の値も大きな値を取っている。市川造船所で建造された洋式木造船の帆装形式は圧倒的に縦帆を持つものが多く、とりわけスクーナが多い。これは縦帆船では乗員が少なく、比較的少人数で運航していた弁才船およびそれから派生したあいのこ船に経済的に対抗するためではないかと思われる。

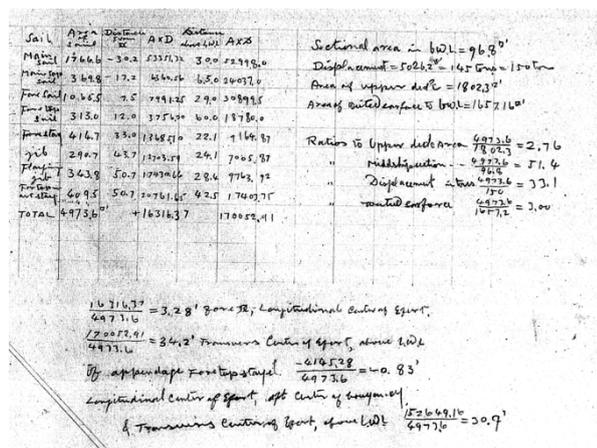


Fig. 4 Calculation of sail area, center of effort and ratio of sail area to deck area of ship "F"

3. 関係文献による市川方式の評価

3.1 古典的方法による全帆面積決定法

今日のように帆走に関する理論的、実験的知見が豊富でなく、かつ大量の計算が不可能であった時代には、帆船、ヨットの帆走中の復原力の評価は細部の相違は存在するが以下のようになされていた。例えば、大串²⁾によれば、

- ・帆は平面で船の前後方向の中心線上に張られ、風による変形、帆相互間の干渉はない。
- ・風は船の真横方向から吹く。
- ・単位面積あたりの風圧は帆の形状、位置に関係なく一定で、風速のみで変化する。
- ・風圧中心(C.E.)は帆の投影面積の図心とし、そこに総ての風による力が働くものとする。
- ・船体の水に対する側圧中心(C.L.R.)は中央縦断面の水面下面積中心とする。

これらの仮定のもとで帆に働く風による傾斜モーメントと船の復原モーメントが釣り合えばよい。

すなわち、

$$p \cdot A \cdot h \cdot \cos^2 \theta = 1000 \cdot W \cdot \overline{GZ} \quad (1)$$

ここで、

- A : 全帆面積(m²)
- p : 単位面積あたりの風圧力(kgf/m²)
- h : 風圧中心と側圧中心の間の垂直距離(m)
- θ : 傾斜角
- \overline{GZ} : 復原艇 ($\overline{GZ} \approx \overline{GM} \cdot \sin \theta$)

この釣り合い式から想定する風速において想定する横傾斜角となるように全帆面積を求めればよいこととなる。

3.2 Rankine のテキストに見る全帆面積の算定

第1報において市川造船所での洋式木造船建造技術の導入には同社の市川源吉が主導的な役割を行ったことを示した。帆船の復原性について明治期の市川造船所がどのような知見を持って市川方式とも言える帆面積評価を行っていたかを推定できる書籍が市川資料に残されている。市川資料には何冊かの外国書籍が含まれており、その中に Rankine³⁾による、

William John Macquorn Rankine 編, Isaac Watts 著 “Shipbuilding, Theoretical and Practical”, Mackenzie, 1866

なる当時の船舶の設計・建造法等をほぼ網羅する大判(300 p)の書籍 (Fig. 5) がある。編者の Rankine は著名な物理学者であり、現在の造船学の分野でもその恩恵を多く受けている。非常に大切にされていたようであるが、よく読まれていたためか背の部分の痛みが一番激しい。この中で帆装の計画の部分にいくつかの書き込みがあり、計算例の数値間違いを訂正していた痕も残っている。

この本の中で古典的方法が紹介されていて、セイルによる最大傾斜モーメントは想定される傾斜角での復原モーメントと等しいとしている。最終的には設計結果を基に計算による確認を行うとしているが、初期設計で用いる実例に基づく簡便な方法が記述されている。本書での例示数値は、有名な Fincham⁴⁾ による非常に詳細な設計説明書のデータを基にしている。文献4)では帆船の帆装についての各寸法が多数のテーブルとして示されているが、本書ではそれらを数値あるいは簡単な数式としてまとめ直して示している。

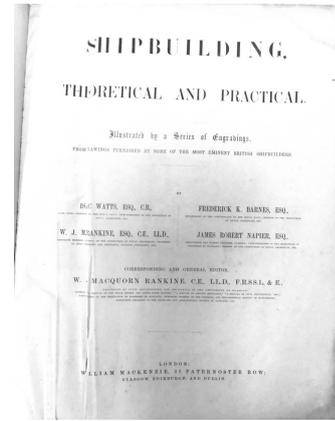


Fig. 5 Front page of Ref. 3

その中で普通の船であれば、セイルの前後方向の長さは船の長さに、そして高さは船の幅にほぼ比例することより、全帆面積を水面面積と関連付けて示している。船種ごとに文献4)の例示データから得られたという Table 2 に示す数値が示されている。

Table 2 Proportion of sail area to area of plane of flotation

Kind of vessels	Sail area / area of plane of flotation
Boats	2.0 ~ 4.0
Cutters	3.2 ~ 3.6
Schooners	3.6 ~ 5.0
Brigs	3.5 ~ 3.75
Corvettes and Frigates	3.1 ~ 3.9
Ships of the Lines	2.9 ~ 3.25
Ordinary Limits for Decked Vessels	3.5 ~ 4.5

スクーナについて市川方式の約 2.7 程度の値と比較すると、水線面積と甲板面積の比を考慮しても市川方式のほうがやや小さな全帆面積となっているように見える。逆に横帆船については市川方式がやや大きいように思われる。

また、個々の帆装形式について詳述している”Division Fifth”では”two-masted schooner”について、

$$\begin{aligned} \text{“Area of sail} &= \text{area of load water-water section} \times 3.6 \\ &= \text{line of flotation} \times \text{extreme breadth} \times 2.7” \end{aligned}$$

と水線長ささと全幅の比の関係も示している。ここで市川方式の結果に見られる 2.7 という値が出てくることが興味深い。また”Three-masted schooner”については式では示さずに、”two-masted schooner”よりも大きな帆を張ることができるとし、その最大は水面面積の 5 倍にもなるとしている。

ケッチについては記述が少なく、他の帆装方式よりも帆面積は小さくなるとだけ記されている。

市川造船所は少なくとも Rankine によって示された全帆面積と水面面積との関係は把握していたと考えるのが当然であろう。

3.3 橋本徳壽のテキストに見る全帆面積の算定

1章で明治期の造船学の教育は艦艇、大型商船を主対象として始まったことを述べたが、地方の中小造船所においても近代造船学に基づく造船業を指向するようになった。このため、大湊造船徒弟学校⁵⁾を始めとする実務

的な造船教育を行う教育機関が明治中期より全国に開校され、中堅技術者の養成が進んだ。さらに全国津々浦々に存在した中小の木造船造船所で働く中心的な造船技師の教育、再教育を行うために、戦前から戦中にかけての大日本水産會主導の造船講習会（船匠講習会）⁶⁾が開催された。受講者数 5,000 名を超えと言われていて、我国の木造船造船所の技術力の平均を大きく上げることに多大の寄与をした。

造船講習会の中心的人物は橋本徳寿であり、本人も 25 年間にわたって全国を回って技術指導をしたが、その弟子、孫弟子がまた講師となり全国的な指導を行った。既に確固とした木造船建造技術を確立していた市川造船所を始めとする大湊造船業は橋本徳寿と密接な関係があり、講師派遣や技術情報の提供で支援を行っていた。橋本徳寿は多くの木造船に関する著作を執筆しており、木造船建造のバイブルといえるほど影響力があったのは、造船講習会での指導内容をまとめた「木造船と其の艤装」⁷⁾である。昭和 10 年に初版が出され、戦後も出版社を変えて版を重ねた。この本に纏められた事項は、明治期に導入された洋式木造船の技術が市川造船所を含む日本の木造船造船所において咀嚼され、さらに日本の海象気象、海運業、漁業に適応できるように発達した成果を示している。したがってここに示された内容をもって、先行した技術を知ることができる。

「木造船と其の艤装」の「第 58 章 帆の全面積」という章が設けられており、古典的方法に基づく全帆面積の初期設定法が記されている。帆に働く風による傾斜モーメントと船の復原モーメントの釣り合いを基本としながら、突風への配慮を行うとして、（最大静的復原モーメント）は（正立状態の帆に働く全風圧力のモーメント）の二倍以上とするとしている。

ここで、最大復原モーメントの計算として大傾斜時の復原艇 \overline{GZ} の値は、正立時のメタセンター高さ \overline{GM}_0 を用いて傾斜角 45 度が最大であるとして $\sin 45^\circ = 0.7$ を乗じて \overline{GZ} としている。帆の全風圧力は 3.1 で示した方法で計算するとしている。なお、計算風速はビューフォート・スケール 5 の疾風 (Flesh Breeze, 12.28 m/s) とし、単位面積あたりの風圧力は James 式を使用して 3.82 pound/ft² としている。

さらにおおよその全帆面積について、上記の基準を満足する条件として「大体において船の喫水線の長さ。喫水線の幅とを乗けたものの 2 倍半以内、先ず 2 倍位とするのがよいのだ。」とし、さらに章の最後に「帆の全面積 = 喫水線長 × 喫水線幅 × 2」と 2 倍であることを再度強調している。

この記述から日本の洋式木造船の初期設計においては全帆面積は（喫水線長）×（喫水線幅）をパラメータとして用いていたと思われる。

4. 推定される市川方式の理由

全帆面積の概算法として Rankine および橋本徳寿のテキストに示された値と、市川方式の値を F 船について調査してみる。図面に記された甲板面積は 1802.3 ft²、図面より概算した（喫水線長）×（喫水線幅）は 1811 ft² となりほぼ等しく、全帆面積の（喫水線長）×（喫水線幅）に対する比は 2.75 となる。したがって後の基準である 2.0 あるいは最大値 2.5 よりはやや大きい帆面積であるが、基準値の性格上、改定されるたびにどうしても安全側に

振る傾向があることを考えれば、明治 40 年前後では妥当と判断しても仕方なかったと思われる。（喫水線長）×（喫水線幅）の値が（甲板面積）に近いということは重要な事項であり、何らかの理由で（喫水線長）×（喫水線幅）の値を（甲板面積）で置き換えたのでは推定される。計算としてはただの乗算で済む（喫水線長）×（喫水線幅）よりも（甲板面積）の計算量が多い。実際に Simpson 則で（甲板面積）を計算している書込が見られる。

一つの仮説としては、計画図の段階では一般配置図とセイルプランを先行して発注者との調整を行い、ある程度固まった段階で（手間のかかる）線図に着手したのではと考える。この際、経験的に（喫水線長）×（喫水線幅）の値が（甲板面積）に近いことで、（甲板面積）を標準的に用いようになったのでは推察する。勿論、セイルプランが固まった時点で古典的方法により設計の妥当性を検討していたことは、帆全体の図心すなわち圧力中心の位置を計算していることから確実と思われる。

明治期の早い段階で、当時の先進的な英国の標準的な造船学の内容を理解し、独自の修正を加えて実務に使用していたと思われることは、市川造船所を始めとする日本の地方木造船造船所の造船に関する熱意を感じる。

5. おわりに

明治期に伊勢大湊の市川造船所で行われていた洋式木造船の初期設計における全帆面積の決定法について、関連資料と比較してその由来を検討し、それが古典的な方法に基づく合理的な方法であると推定した。しかしこの独自の方法が市川造船所で見出されたものか、あるいは他所での技術を導入したものかは不明である。今後は文書資料の精査を通じて、市川造船所の洋式木造船の設計方法をさらに把握したいと考えている。

謝 辞

本報告をまとめるに当たり、元市川造船専務の西勝利氏、伊勢の造船資料を継承する会、大水門会（おおみなとかい）会員各位、伊勢市教育委員会文化振興課の各位のご協力に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 伊藤政光:伊勢大湊の造船資料について—第 1 報—旧市川造船所造船資料の概要—, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 24 号, pp.97-102, 2017.
- 2) 大串雅信:理論船舶工学(上巻), 海文堂, 1971.
- 3) William John Macquorn Rankine (ed), Isaac Watts: Shipbuilding, Theoretical and Practical, Mackenzie, 1866
- 4) John Fincham: A Treatise on Mastng Ships and Mast Making Explnating Their Principles and Practical Operations the Mode of Forming and Combining Made Masts, Whittaker and Co., 1843.
- 5) 三重県立伊勢工業高等学校:七十年史, 三重県立伊勢工業高等学校, 1968.
- 6) 橋本徳寿:日本木造船史話, 長谷川書房, 1952.
- 7) 橋本徳寿:木造船と其の艤装, 漁船協会, 1940. (本書は出版社, 版により全一巻のものや上下二巻のものがあるが, 本論では全一巻の漁船協会版を引用した。)