

# 弁才船の帆柱の立て起こし要領に関する考察

正会員 小嶋良一\*

A Study on Mast Installation Procedure of Japanese Wooden Vessel of Edo Era, Bezaisen

by Ryoichi Kojima, Member

**Key Words:** Mast, Installation, Bezaisen, Wooden ship, Edo era

## 1. 緒言

千石船とも呼ばれる江戸時代の代表的な商船「弁才船」は大きな一枚帆がその特徴である。帆は帆布と帆桁で構成されこれらを支持するのが帆柱である。帆柱は長期停泊時には、帆を取り外したのち Fig.1<sup>1)</sup>のように、横置きで保持される。この帆柱はどのようにしてここにセットされまたどのようにして立て起こされたのであろうか。

この要領を示した資料として、明治初期に来日したフランスの軍人 Paris による記録がある<sup>2)3)</sup>。筆者はこの記録をもとに帆柱の立て起こし方法について、その概略を報告<sup>4)</sup>したが、一部未検討の部分もあったため、本論文では作用荷重なども計算しながら、より詳細にその要領を推定することを目的とした。

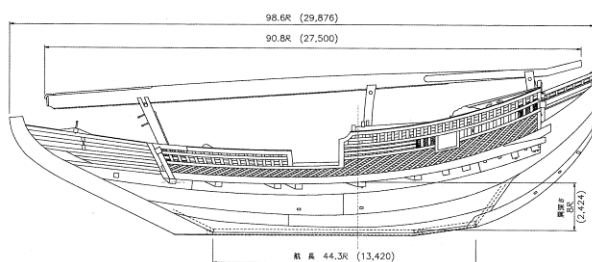


Fig.1 The mast stored on Bezaisen

## 2. 帆柱の寸法、重量及び重心

以下、本論文では帆柱、帆、弁才船の構造や寸法など検討に必要な情報は、国立国会図書館蔵の「千石積菱垣廻船式拾分一図」を参照することとした。具体的には平成11(1999)年に完成した、同図の実物大復元船「浪華丸」(なにわの海の時空館蔵—現在休館中—)の情報を利用した。

Fig.2が帆柱の形状で、これをもとに各部の体積を計算し重量重心を求めた結果がTable 1である。ここで蟬とは帆柱上端に取り付けられる滑車で、蟬挟はそれを挟んで帆柱に固定する部材である。重心高さは帆柱基部からの距離を示す。帆柱本体の材質は杉、帆柱を吊り上げる身縄を通す滑車「蟬」及びそれを挟んで帆柱本体と組み合わせる「蟬挟」は槻として比重を設定した。帆柱の総質量は5.6t、重心高さは12.2mで全高27.39mの約40%とな

っている。

Table 1 Weight and center of gravity of sailing mast

	Volume (m3)	Specific Gravity	Mass (t)	Hight of Center of Gravity (m)	Material
帆柱 (Hobashira)	12.5	0.40	5.0	10.7	Japanese Cedar
蟬 (Semi)	0.2	0.69	0.2	26.5	Zelkova
蟬挟 (semibasami)	0.7	0.69	0.5	23.4	Zelkova
Total	13.4		5.6	12.2	



Fig.2 Configuration of the mast

## 3. Paris の帆柱起倒に関する記録

先ず、Paris の Souvenirs de Marine にある図 (Fig.3) とその説明文<sup>3)</sup>を以下に示す。

「浮かした帆柱を太い根元を先にして船尾へ導き、太い綱を掛けて船室内(矢倉内部)のキャプスタン(轆轤)で捲き、船尾の大梁(床船梁)に取付けたローラー(R)の上に根元を乗せる。このローラーを孔に噛ませた槌で廻すことにより、帆柱を引揚げる。根元が筒挟 PP の間に嵌まり込み、筒挟上のローラーB の上に置かれる。帆柱の頂部が上下に動かぬ様に保ちつつ、ローラー(R)、即ち艫(船尾)の車立の胴を外し、頂部が艫倉の高欄の位置に来るまで引き揚げる。艫装解除(船囲い)の場合は AB の位置を保って、ムシロを被せる。」

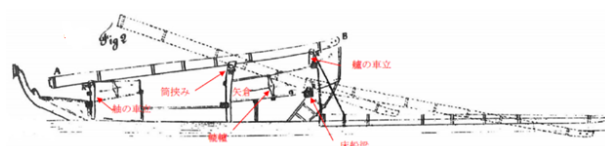


Fig.3 Procedure to store the mast by Paris

この説明文を基本に、荷重などを推定しながら具体的に作業要領を検討していこう。

## 4. 帆柱取り込み要領

浮かせた帆柱には2本のロープがかけられている。1本は艫の車立の胴に、巻かれているようである。

帆柱下端に取り付けられた綱は Fig.4<sup>5)</sup>に示す享保3(1718)年の「廻船之図」に見える柱下部の環に結ばれ、下笠木の上を通過し轆轤上部に巻き取られると考えられ

\* 関西設計(株)

原稿受付 令和4年3月4日

公開日 令和4年5月19日

春季講演会において講演 令和4年5月26, 27日

©日本船舶海洋工学会

る。これらを図示すると Fig.5 のようになる。

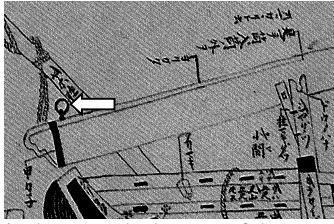


Fig.4 Kan at the bottom of the mast

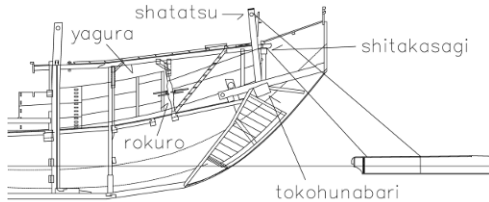


Fig.5 Rope arrangement to hoist the mast

この時、引き上げに要する荷重を帆柱の重量の 1/2 と見て 27.5kN として計算してみよう。

艫の車立と轆轤の構造例<sup>6)</sup>を Fig.6 に示す。

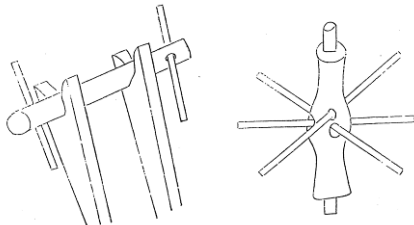


Fig.6 Shatatsu(left) and rokuro

外形しかわからないが、車立の場合、巻棒の長さが胴の直径の 5 倍と仮定すると、27.5kN を巻き込むためには、両側で作業したとしても、摩擦影響は除いて、

$$27.5 / 5 / 2 = 2.75\text{kN}$$

となり一人当たり 281kgf の力が必要となる。一方、轆轤の場合だと、浪華丸の例から轆轤の軸の直径を 0.3m、轆轤棒の長さを 2.6m とし、これを 6 人で回すとすれば、

$$27.5 / (2.6/0.3) / 6 = 0.53\text{kN}$$

となり、54kgf 程度の回転力で巻きこむことができる。すなわち巻き上げには主として轆轤が用いられ、艫の車立は補助的に使用されたものとするのが妥当と考えられる。帆柱を引き上げ、その基部を船尾の床船梁に預けた状態を Fig.7 に示す。なお、轆轤は一般に左右両舷に一基ずつ配置されるが、以下特に断らない限りは片舷一基で操作されるものとして検討した。

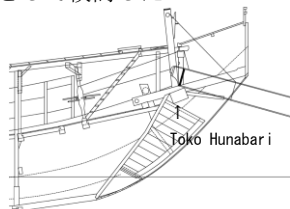


Fig.7 The bottom of the mast located on the Toko Hunabari

Fig.7 の状態から帆柱を引き込むためには、帆柱下端に取り付けられた綱を轆轤から外し、船首から引き込むように綱取りを変えなければならない。このためには、艫の車立の綱で帆柱を仮保持した状態に保つことが必要で

ある。綱取り変更後の模様は Fig.8 のようになると考えられる。ところで、Paris の図の説明によると「船尾の大梁(床船梁)に取付けたローラー(R)の上に根元を乗せる」とあり、Fig.3 にはローラー(R)が床船梁上にあるように描かれている。しかし、雛形や絵図等を調査した限りでは床船梁には該当するそのようなローラーは見つけることができなかった。Paris のこの説明文は疑問の残る所である。

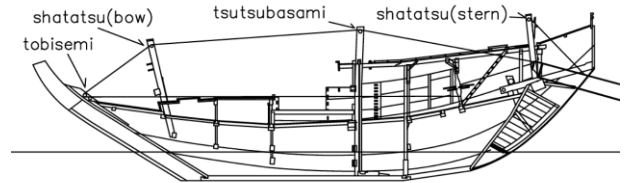


Fig.8 Rearrangement of the rope

帆柱下端に取り付けられた綱は船体中央の筒挟の胴と表(船首)の車立を経て、水押(みよし、船首材)に取り付けられた滑車、飛蟬を介して轆轤に巻き取られる。Fig.8 の状態から引き込む際の綱にかかる荷重を概算した結果が Table 2 である。帆柱と床船梁の静摩擦係数を 0.4 と仮定し、床船梁支持点での帆柱の重力と没水部の浮力による回転モーメント合計がゼロとなるような帆柱の状態を引き込み綱にかかる荷重を概算したものである。但し滑車を通過する綱に作用する摩擦力は考慮していない。

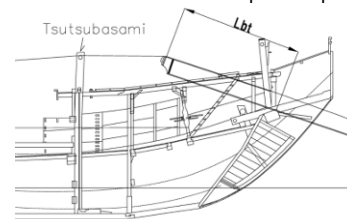
Table 2 Required forces to rotate Rokuro

Lbt(m)	T1(kN)	Fr(N)
0	9.3	178
6	12.9	248
9	18.1	348

Lbt: Distance between the bottom of the mast and Tokohunabari

T1: Rope tensions

Fr: Required forces to rotate Rokuro per one person



帆柱の重心が筒挟の胴(滑車)を通過するまでは継続的にこの状態で轆轤によって引き上げられる。一人当たりの轆轤回転力は 36kgf 程度とみられる。

帆柱下端が筒挟の胴を通過すると Fig.9 の状態になる。

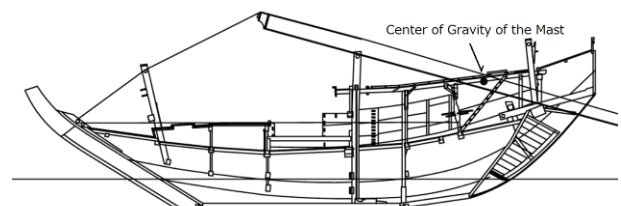


Fig.9 Pull in operation of the mast

このステップにおける轆轤に作用する荷重を概算してみよう。

Fig.9 には帆柱の重心位置も示した。床船梁と筒挟の胴との距離は約 10m である。従って、帆柱下端が筒ばさみの胴を 2m ほど通過すると、帆柱の重心は床船梁と筒挟の胴の間に来ることになる。帆柱の重量重心、床船梁及び筒挟の胴の反力、引き込み綱の張力および角度をパラメータとし、力とモーメントのつり合いを解くと綱の張力、支点の反力を求めることができる。この計算結果を Fig.10, Fig.11 に示す。なお、筒挟の胴と帆柱間の摩擦係数は滑り軸受の摩擦とみて、摩擦係数 0.1 と仮定して計算した。

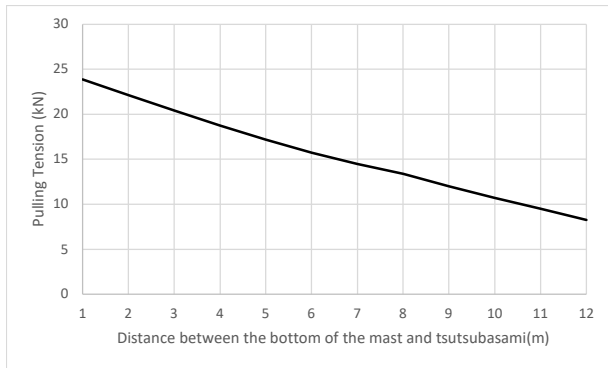


Fig.10 Tensions of the rope at the condition of Fig.9

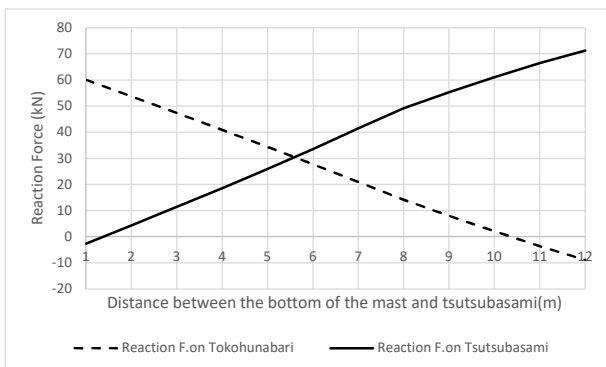


Fig.11 Reaction loads on the Tokohunabari and Tsutsubasami at the condition of Fig.9

Fig.10 より、綱の張力は、帆柱が引き込まれるにつれ低下し、24kN から 8kN 程度までとなっていることが分かる。それぞれ、一人当たり 47kgf、15kgf の轆轤回転力となる。Fig.11 によれば、帆柱が引き込まれるにつれ筒挟の胴の反力は増加し、床船梁のそれは減少していく。綱の張力減少の理由は摩擦力の少ない筒挟の胴の反力負担分が増加することによるものである。帆柱下端と筒挟の胴との距離が約 1.5m までの間及び約 10.5m を超す場合にそれぞれ筒挟の胴の反力及び床船梁の反力が負になるがこれらのケースでは、帆柱の浮き上がり防止のために下向きの拘束力を与える必要があることを示している。

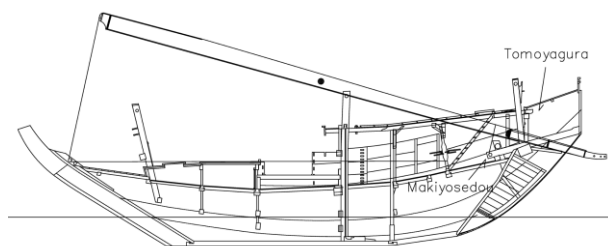


Fig.12 Center of gravity of the mast located fore of Tsutsubasami

帆柱の重心が筒挟の胴を通過した後の状態を Fig.12 に示す。Fig.12 の状態で帆柱は船首方向に回転しようとするが、艫の車立より船尾側には艫矢倉があって接触してしまう。そこでここでも帆柱頂部を下方に拘束する力が必要となる。Fig.12 に示すように刳木 (はねぎ) 前端に設けられた、舵保持用の巻寄胴もしくはその近傍の梁などに綱をかけ、帆柱頂部を保持したのではないかと考えられる。

Fig.1 に示すように表の車立と筒挟の胴で帆柱を支持するためには、帆柱頂部が下笠木の前方まで移動し、筒挟の胴のまわりに回転しなければならない。この時の帆柱の位置関係を示した図が Fig.13 である。

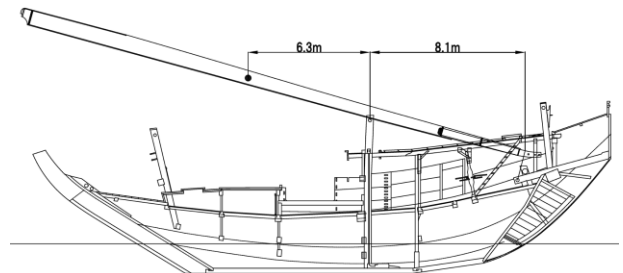


Fig.13 Position of the mast shifted extremely to the bow

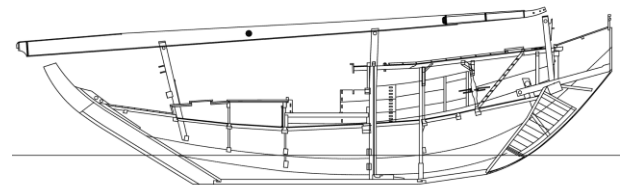


Fig.14 Position of the mast rotated from the condition shown in Fig.13

Fig.13 の帆柱の位置関係から計算すると帆柱頂部の拘束力は 43kN で、筒挟の胴の反力は 98kN となる。この状態では帆柱基部から綱をとって引き込むことができないので綱は緩められているであろう。従って、帆柱の船首方向への移動は筒挟の胴を回転させることによって行われたと考えられる。この時の回転力は、巻棒の長さが胴の直径の 5 倍、回転摩擦係数を 0.1、作業員 2 人と仮定すると、

必要回転力 (Fig.13 状態) =  $98 \times 0.1 / 5 / 2 = 0.98 \text{ kN}$

即ち、最大 100kgf の力で巻棒を回転させる必要がある。摩擦係数や作業要領にもよるが、必要回転力が大きいように思われるので別の牽引綱をとり付けた可能性もある。

Fig.13 の状態から帆柱頂部の拘束綱を緩め、帆柱はその基部が表の車立に支持されるまで回転され Fig.14 の状態となる。この作業の前に艫の車立の胴を外しておくことになる。

この状態から表の車立および筒挟の胴を回転させて Fig.1 の状態まで帆柱を移動させて、帆柱の取り込みを完了させる。この時の回転力は概略、

必要回転力 (Fig.14 状態) =  $55 / 2 \times 0.1 / 5 / 2 = 0.28 \text{ kN}$

即ち、最大 29kgf の力で巻棒を回転させることになる。移動完了後に艫の車立の胴を取り付ける。最終的な保持状態で、帆柱は表の車立と筒挟の胴で支持され、艫の車立では支持しない状態となる。

## 5. 帆柱立て起こし要領

続いて、Fig.1 に示す状態から帆柱を立て起こす要領について検討する。

まず、帆柱を船尾側に移動して Fig.15 の CASE A の状態とする。後の帆柱立て起こしに必要な管緒をあらかじめ取り付けしておく必要がある。

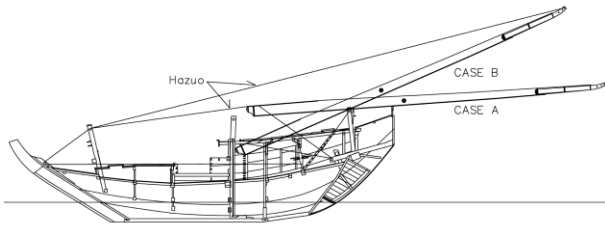


Fig.15 Starting operation to make the mast upright

この工程について、堀内は以下のように述べている<sup>7)</sup>。

「檣を立てるときは、艫・表の車立及び筒挟の胴上に横置されている檣をこれらの胴の上をすべらせてまず艫の方へ移動させ、檣の下端が筒挟の胴をかわると檣は艫の車立の胴だけで支えられた形となり、支点の関係で檣の下部側が上昇しようとする。これを両舷へ正横方向に張り渡した索（索名不明）で抑え、檣の折込環に折込綱を付け滑車を利用して檣の下部を下方へ引き下ろし、あるいは足で踏み込んだりした。」

Fig.15 でもわかるとおり帆柱の重心は艫の車立の後方に来るため、帆柱底部をおさえる綱が必要であることは理解できるがその詳細は明らかにされていない。因みに帆柱を倒す場合にも同様の状態が発生するが、堀内によればこの時は Fig.16 のような支持綱が使用されたとしている<sup>8)</sup>。

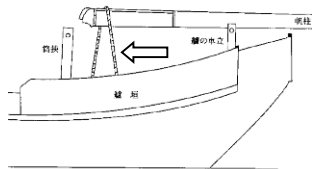


Fig.16 Holding ropes to prevent the mast from overturning

この綱は帆柱下端を引き下げる役割も担わなければならない。そこで Fig.15 に示すとおり、この綱は巻寄胴に取られたのではないかと推定した。Fig.15 の CASE A の状態における荷重を概算すると、帆柱下端と巻寄胴を結ぶ綱の張力は 63kN、水平とのなす角度は 35° となる。すなわち、帆柱下端に作用する張力は、

$$\text{鉛直成分} : 63 \times \sin 35^\circ = 36 \text{ kN}$$

$$\text{水平成分} : 63 \times \cos 35^\circ = 52 \text{ kN}$$

となる。したがってこの張力の水平成分は帆柱を船尾側に移動させる荷重となるが、これには管緒の張力で対応させていると推量される。

CASE B の状態における管緒の張力は、他の綱からの張力などを無視すると 39kN で、前述のように轆轤の軸の直径を 0.3m、轆轤棒の長さを 2.6m とし、これを 6 人で回すとすれば、

$$39 / (2.6/0.3) / 6 = 0.75 \text{ kN}$$

一人当たり 77kgf 程度の回転力で立て起こすことが可能である。この荷重は帆柱の水平に対する角度が大きくなるにしたがって減少していく。帆柱の重心は艫の車立の後方にあるため、轆轤で帆柱頂部を前方に引けば、帆

柱下部はそれに従って下方に移動すると考えられるがこれを制御するために筒挟の胴から帆柱基部に支綱をとった可能性も考えられる。Fig.17 は帆柱基部が船底材上に達した状態、Fig.18 はさらに立て起こしが進み最終的に帆柱が直立状態になり完了した状態を示す。なお帆柱下部は Fig.18 に示す筒<sup>9)</sup>にガイドされて引き込まれ、その溝にはまりこむようになっている。

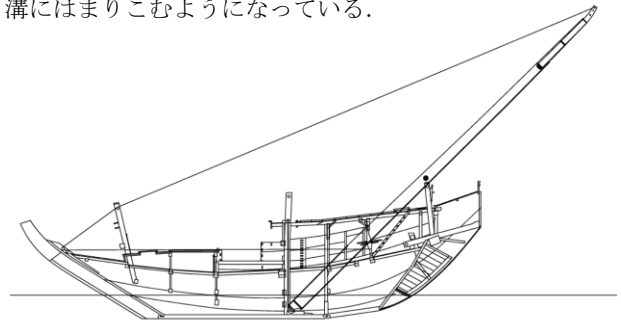


Fig.17 Bottom of the mast contacting the keel

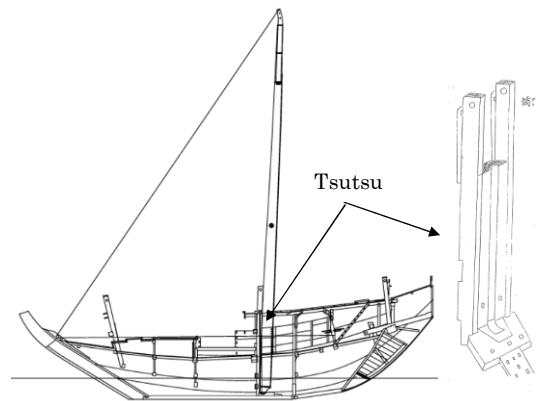


Fig.18 Completion of mast erection operation

## 6. 帆の巻き上げ要領

Fig.18 の状態から、管緒の下端に滑車をとりつけ帆柱の頂部を前方に引き付けるよう張力をかけるとともに帆柱基部を縄で固定する (Fig.19)。

引き続き帆桁と帆布を帆柱に取り付ける要領について述べる。Fig.19 に示す通り、あらかじめ帆柱頂部の蟬（滑車）に 2 本の身縄を通し、一方は帆柱基部に置かれた帆布付きの帆桁の中央に結び付けられ、他方は左右舷の轆轤に導かれる。身縄は帆柱立て起こし前にセットされていなければならない。蟬を通った身縄は矢倉の天井に取り付けられた天井車（滑車）を経て、艫の飛蟬を通過して轆轤に巻き取られる。

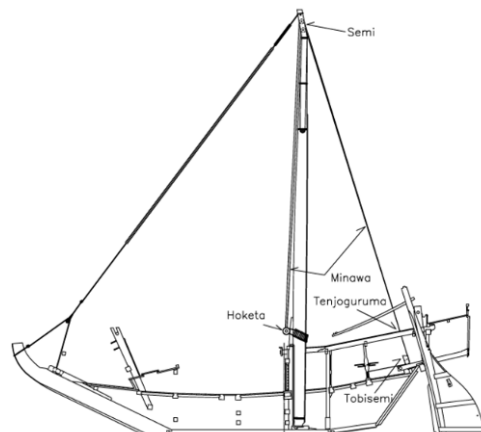


Fig.19 Starting condition to lift the sail

轆轤は左右に1基、轆轤棒は3本ずつあるので合計12人で巻きあげることができる。  
ここで帆桁と帆柱の重量を概算する。

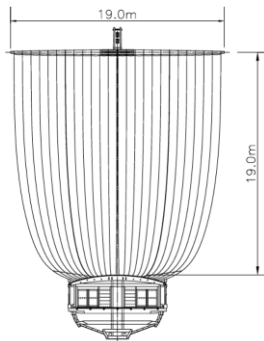


Fig.20 The sail of Naniwa-maru

Fig.20 は復元菱垣廻船浪華丸の正面図でその帆の外形寸法を示す。

帆桁はほぼ円形の断面で端部直径が0.21m、中央部直径が約0.45mの杉材で比重0.4とすると、約9kNとなる。一方帆布はいわゆる松右衛門帆で、太い木綿糸縦糸二筋、横糸二筋で織ったもので一反2.5尺(0.75m)である。また帆布の厚みは3.0から3.5mmとされる<sup>10)</sup>。一般に千石積級弁才船の帆の反数は24反とされており、浪華丸の場合帆の全幅は $24 \times 0.75 = 18\text{m}$ となっている。木綿糸の比重は含水率によって大きく変わると考えられるが、仮に1.5<sup>11)</sup>とし、高さを19mとした場合、

$$\text{帆布重量} = 18 \times 19 \times 0.0035 \times 1.5 \times 9.8 = 18 \text{ kN}$$

となり帆桁と帆布の合計重量は27kNとなる。前述の通り、轆轤の軸の直径を0.3m、轆轤棒の長さを2.6mとし、これを12人で回すとすれば、帆布の重量がかからない巻き上げ当初は、途中の滑車の摩擦を除外して考えれば、

$$\text{一人当たり巻き上げ力} : 9 / (2.6/0.3) / 12 = 0.09\text{kN}$$

帆桁を所定の位置まで引き上げた場合は、

$$\text{一人当たり巻き上げ力} : 27 / (2.6/0.3) / 12 = 0.26\text{kN}$$

となる。すなわち巻き上げはじめは、9kgf程度の必要力であるが、所定の位置まで巻き上げると27kgf程度の力が必要になってくる。

Fig.21 に所定の位置まで引き上げられた帆桁と帆布の状態を示す。

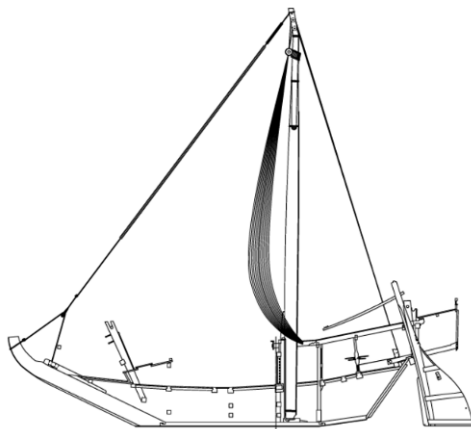


Fig.21 Completion of installation of the sail.

浪華丸の大阪湾における海上運転で、帆を揚げた際のスナップ写真をFig.22<sup>12)</sup>に示す。筆者も経験したが帆の巻き始めはそれほど力を必要としなかったが、帆桁が上が

るにつれて重くなり、回転の速度も遅くなったと記憶している。



Fig.22 Operation to lift the sail of Naniwa-maru by Rokuro

## 7. 結 言

弁才船の帆柱の立て起こし要領については、フランス軍人 Paris の明治初期における記録<sup>2,3)</sup>や堀内の古老からの聞き取り行った記録<sup>7)</sup>などがあるが、断片的であり一貫した詳細な作業要領を把握するには不足する部分があることは否めなかった。

本報告では、復元菱垣廻船浪華丸の建造実績も踏まえ、作業者が実施できると考えられる立て起こし要領を、帆や帆柱の重量重心も考慮した計算も行って検討した。

今となっては確認する手立てもほとんどないが、一連の作業としてある程度推定できたのではないかと考える。

帆や帆柱の撤去には触れられなかったが、概ね逆の手順で実施可能と考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) なにわの海の時空館：復元された菱垣廻船「浪華丸」, pp.31, 2001
- 2) Vice-Amiral Paris : "Souvenirs de Marine", Editions des 4 Seigneurs, Grenoble, 1975
- 3) 「フランス人の見た幕末・明治初期の和船」, 日本船舶海洋工学会のホームページ, <https://zousen-shiryokan.jasnaoe.or.jp/report/2109/>
- 4) 小嶋良一：弁才船の帆柱の起倒法, 海事技術史研究会誌第15号, pp.18-25, 2014
- 5) 安達裕之：雛形からみた弁才船 上, 船の科学館叢書5, pp.69, 2001
- 6) 通信省管船局：大和形船製造寸法書, pp.101, 明治35年
- 7) 堀内雅文：大和型船(船体・船道具編), 成山堂書店, pp.131, 平成13年
- 8) 同前, pp.133
- 9) 前掲, 大和形船製造寸法書, pp.147
- 10) 工楽松右衛門公式サイト <https://matsuemon.net/feature.html>
- 11) たとえば繊維に関するデータ集, [http://www.jcfa.gr.jp/img/about\\_kasen/knowledge/data/index/fiber\\_data.pdf](http://www.jcfa.gr.jp/img/about_kasen/knowledge/data/index/fiber_data.pdf)
- 12) 前掲, 復元された菱垣廻船「浪華丸」, pp.100