

円弧法—16,7世紀の船型描画法について

正会員 平山次清*

On the Sweep-Method by Arc
— Drawing Method of Ship Shape during 16,7th Centuries

by Tsugukiyo Hirayama, Member

Key Words: Drawing Method, Sweep Method, 16,7th centuries, Ship Profile, Body Plan

1. 緒言

17世紀初頭、1613年に石巻で建造され、日本国としてではないにしても、伊達藩の公式使節を乗せて、初めて太平洋を往復した木造ガレオン船サン・ファン・パウティスタが、380年の時を経て宮城県石巻で1993年に木造再建された。Photo.1は建造中の写真である。



Photo 1. Reconstructed San Juan Bautista at City Ishinomaki ¹⁾

しかしながら再建後約30年経って腐朽も進んだという判断が所有者の宮城県によってなされ解体される運命となった(以後原船をサン・ファン号、再建船を再建サン・ファン号と記載)。

再建船は技術的・文化財的遺産としても貴重であり、更なる腐朽を抑え補修する余地もあるということから、解体阻止・保存運動にも協力するため、種々調べた。その結果は日本船舶海洋工学会誌に寄稿した²⁾。

その際、当時のサン・ファン号の建造では図面をどのように描き、更には現図をどのように描いたかについては全く記録がなく、想像の域を出なかった。また再建を主導した故實田博士がどのように描画したかについても記載はなかったが¹⁾、再建に関わったことのある住友重機械工業勤務の太田克哉氏から「サン・ファン号のラインズをコンパスで描くことを實田氏から教わった」とい

った話を聞くに及んで改めて調査を行った。その結果はエッセイとして海事技術史研究会誌22号³⁾に寄稿したが本文はそれを論文として改めて報告するものである。

なお、基本的には円弧を使用するという点で本稿の表題では「円弧法」と書いたが英文ではCircle Methodという表現はなく、Sweep(掃引、ゆるやかな曲線といった意味)という用語が使用されている方法である。

2. 円弧法—吉岡勲論文⁴⁾

我が国で16,7世紀の船体作図法について注目した研究に吉岡の論文がある。故吉岡教授は船舶復原性が専門で横浜国立大学を定年退官されたあとは大分工業大学で教鞭をとられる傍ら船舶復原性理論の歴史など技術史の調査研究をされた。

その論文を拝見すると、次節の山田論文の引用文献とは異なり、英国現地調査を含む一次資料的な文献調査から「円弧法」が可成り具体具体的に示されていると言える。

Fig.1は「Bushnell」の作図法(1664年)として紹介されているもので、船体最広部の高さは半幅くらい、船底部の傾斜程度、船底部曲線はAD、BDの長さの2/9を通る円弧で中心はEF、HG上にとるなど、ある程度決まった作図法があったこと、但し円の中心をどこに置かかはっきりしない点もある、としている。

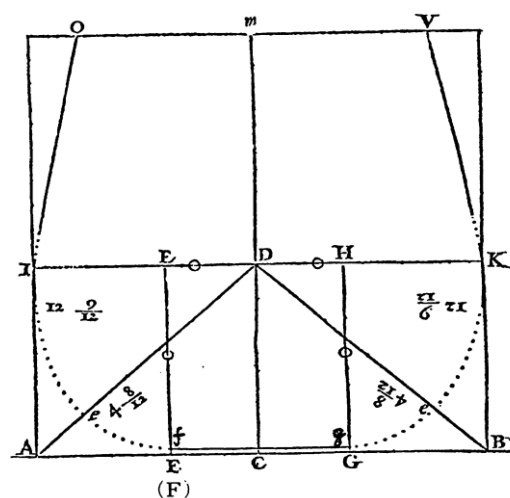


Fig.1 Drawing of Body Plan⁴⁾

なお用語については同じ記載でも現在の意味とは異なるものも多く、Bend of moulds(=Body Plan(現在))、

* 横浜国立大学名誉教授

原稿受付 令和4年3月4日

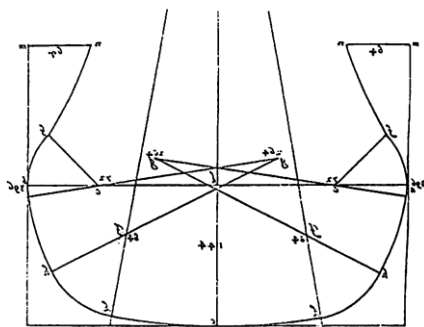
公開日 令和4年5月19日

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

Midship(=船体中央ではなく最大幅の位置)といった注意をしている。

また Dssie の作図法 (1677)、Hardingham(1709)、Sutherland の意見 (1711)、Bouguer の作図法 (1746)、Duhamel の作図法 (1752) というのも紹介している。Fig. 2 は 1600 年から 1620 年頃の例である。



The manner of Building Ship, c1600~1620から
"Almost excellent brief and easie treatise..."

Fig. 2 On the sweep method⁴⁾

共通しているのは「円弧の継ぎ足しによって船型を定める方法」と言える。

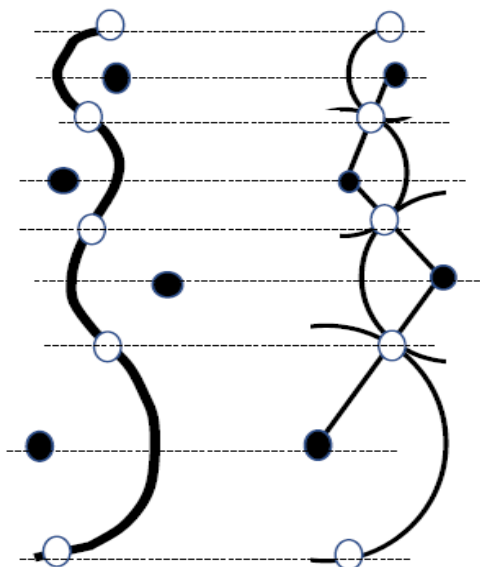


Fig. 3 Description of smooth connection of series of arcs. (●=Center of circle.○=Ending and starting point)

これは説明図 Fig. 3 をみれば明らかである。●は円の中心。○は円弧の端点で次の円弧の始点でもある。○における接線に垂直に交わる線上に次の円弧の中心があれば、次の円弧の接線は前の円弧の接線を共有するから円弧は滑らかにつながっていく、というわけである。改めて Photo. 1 を見るとサン・ファン号もこの方式で再建されたことがわかる。

何故このような方法が用いられたかについては、吉岡⁴⁾は「円というのは完全な曲線と考えられていたので、観念的にはいわば自然哲学的な意味があったのであり、実践的には扱い易いために円が尊重されたということであろう」と述べている。なお喫水線上下位置は、復原性の観点から最大幅より少し下にとっていた⁴⁾とのことで、

当時は経験的につかんでいたとは言え興味深い。

3. 円弧法—山田義裕論文⁵⁾

山田⁵⁾も円弧法について調査している。山田論文における引用文献が一番古いもので1954であり前出の吉岡論文が一次資料的なものであるのに対して二次資料的なものの引用となっている。

最初にサンファン号のレプリカ建造の話を紹介されているが、これはバスクの捕鯨船「サン・ファン号(カナダで1565年沈没と推定されたものが発掘された)」の事であり、石巻の再建船とは異なる船である。

山田は海外研究者による近年の出版物を参照し、16, 17世紀の数学を使った、主として船の円弧法による描画法について36頁にわたって詳細に検討紹介している点が特筆される。ここで「設計法」と書かなかったのは、当時の船体の幅長さ比や、半幅喫水比などは、量産のため固定的に決まっており、自由な設計がなされていたわけではないからである。

また山田も注意しているように、当時は船の性能設計のための物理に数学を用いたのではなく、あくまで形状を表現・計算するのに円弧や対数を導入したのであった。

Fig. 4 に描画図例を示す。説明は不要であろう。前節でも述べたように、水線が最大幅より少し下に描かれていることに注意されたい。

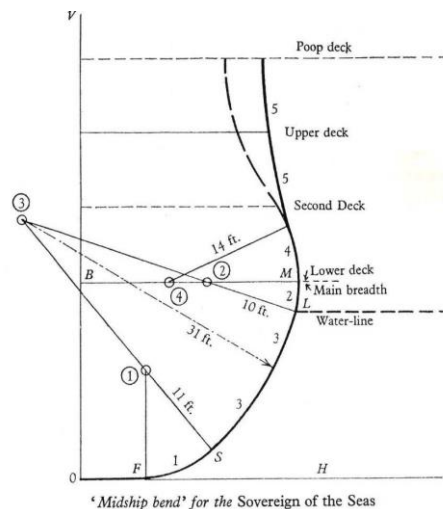


Fig. 4 Maximum cross section of the Sovereign of the Seas. Center of drawing circles and radius are shown.⁵⁾

4. その他文献

石巻のサン・ファン号再建に尽力した故寶田教授の遺された英文蔵書を見直してみると関連の既述があることがわかったので、ここではそれらについても一部を紹介する。

既に紹介した円弧法について分かり易い記載があるのは、スーザン・コンスタント (SUSAN CONSTANT) 号についての図書⁶⁾である。

スーザン・コンスタント号(120重量トン)はメイ・フラワー号がピルグリム・ファーザーズを乗せてアメリカに到着する15年前の1605年に英国から入植者を乗せてアメリカ大陸に到着した英国ガレオン船であり、同号の再建に際して調べた結果が記載されている。同書から描

画例を Fig.5 に、説明文を Fig.6 に示す。英文の説明文中に[SWEEP]という記載があることに注意されたい。

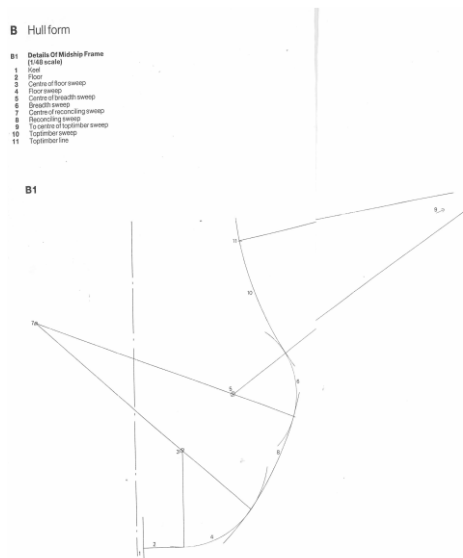


Fig.5 Sample of drawing by swing method⁶⁾.

5. 結言

16, 7 世紀のガレオン船の断面形状も含めた曲線的な船体形状描画法は幾何学原理を応用した円弧法であって、バテンを使う方法やスプライン関数を使う現代的方法の先駆けと言える。円弧法の適用では円の中心位置と半径の値は船のサイズによらず比例的に決まっていたようで、必ずしも物理的に決められたわけではなく、経験的に時を重ねてゆっくりと変化したものようである。

従って当時のガレオン船は、主要寸法のどれかがわかっていれば、残りの主要寸法、ひいては断面形状も円弧法で描くことが可能である。

寶田⁷⁾はこの事実を用いて時代的に変化する船形のパラメーター変化を独自の統計解析から見出しサン・ファン号再建を可能ならしめたのであった。またこの解析から、サン・ファン号については船体形状に対して、伊達

藩に残るマストの寸法の方に時代的にずれがあり、マスト仕様が船体建造時代より 30 年前の古いものであることを指摘したのである。

一方、我が国で伝統化された規矩術・規矩法（定規とぶんまわし（コンパス）による）は、建築物は別として、平板の組み合わせによるモノコック構造の和船船体形状設計には用いられなかったと思われる³⁾。

謝辞

本稿を草するに当たって故寶田直之助教授の奥様・お嬢様から文献⁶⁾を含む貴重な遺品書類などを見せていただいた。また住友重機械工業の太田克哉氏からは円弧法の調査のきっかけをいただいた。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 慶長遣欧使節船協会：復元船サン・ファン・パウテスタ大図鑑、河北新報出版センター、2019
- 2) 平山次清：サン・ファン号は如何に再建されたか、KANRIN2021 年 11 月号（日本船舶海洋工学会会誌）、pp63-68、2021
- 3) 平山次清：円弧法—16, 7 世紀の船型描画法雑感、海事技術史研究会誌 22 号、pp88-92、2021
- 4) 吉岡勲：近世ヨーロッパ帆船の船型について—線図の歴史序論—、大分工業大学紀要第 6 巻第 1 号、1978 年 2 月
- 5) 山田義裕「16 世紀末-17 世紀初頭の英国の造船における数学の導入」日本海事史学会例会、2019 年 12 月 21 日
- 6) Brian Lavery: The Colonial Merchantman SUSAN CONSTANT 1605, Conway Maritime Press, 1988
- 7) 寶田直之助：16 世紀 17 世紀の帆船—慶長遣欧使節船の復元に因んで—（その 1、~21、日本造船学会誌、778 号（1994/4）~824 号 1998/2）

HULL FORM

THE MIDSHIP SECTION (B1)

The midship section, like every other frame in the ship, is made up of a series of straight lines and segments of circles. The bottom part of the midship frame, known as the floor, is a straight horizontal line at the level of the top of the keel. The curve known as the floor sweep forms a tangent to this line, and begins to carry the shape upwards. The floor sweep is tangential to the reconciling sweep, which has a considerably greater radius. That in turn is tangential to the breadth sweep, which has a slightly smaller radius than the floor sweep. As its name implies, the breadth sweep is placed at the maximum breadth of the ship at each individual frame, and carries on a little way above the breadth. It joins the top timber sweep, which is equal to the reconciling sweep in radius.

The breadth of the ship in midships is already known to be 22ft 9in, while the height of the maximum breadth (ie, depth in hold) from the top of the keel is 9ft 6½in. The breadth of the floor is given by Harriot as half the difference between the breadth and the depth. The half floor is therefore 3ft 3¾in.

The radius of the floor sweep is from half to 7/12 of the half breadth, according to Harriot. Using half, gives a radius of 5ft 8¼ in. Harriot gives the radius of the breadth sweep as 2/5 of the half breadth, which gives 4ft 6½in. This sweep is carried on above the breadth line, where it will meet the top timber sweep.

The reconciling sweep can be 17/10 of the half breadth, according to Harriot, or equal to the full breadth, according to the Admiralty Library manuscript. Using Harriot, gives a radius of 19ft 4in. This sweep has to be made tangential to both the breadth and the floor sweep. This completes the curves below the breadth.

Fig.6 Explanation of swing method⁶⁾