

船の可浸長を求むる一方法

正員 工學士 生 島 莊 三

Abstract.

A method of Obtaining the "Floodable Length" in a Ship.

By S. Ikushima, *Kogakushi, Member.*

In this paper, the author has tried to introduce an independent practical method for obtaining the "Floodable length" at any point of the length of a ship, as defined in the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1929.

The process for finding the "Floodable length" by this method is as following:—

- (1) A series of a floodable volume (v) of a ship's hold and the distance from the centre of the volume to the midship is found mathematically, and the floodable volume curve for the whole length of the ship is drawn.
- (2) A curve, named the proportional volume curve, representing the volume of the end part of a compartment in the ship corresponding to the floodable volume, where the compartment is bisected by a transverse plane passing through its centre, is drawn.
- (3) Integral curves of the transverse sectional areas of the ship is drawn, the areas being integrated from both ends towards amidships.
- (4) Using these curves the "Floodable length" at various points of the length of the ship are graphically found, and accordingly the floodable length curve is obtained.

This is an approximate method and the procedure is much simpler than that of the Board of Trade Method, the precision, however, may be said to be not inferior to that of the latter, in general.

緒 言

海上に於ける人命の安全の爲の國際條約即ち普通に海上安全條約と呼ばれて居る國際條約に於ては、船が其安全を確保する手段の一として、國際航海に従事する旅客船は其用途の標準 (criterion of service) 及び船の長さに応じて船内を出來得る限り有効に區畫すべき事を規定して居ることは御承知の通である。而して其具體的方法としては、船内に於て許さるべき各區畫室の長さの最大限度は可浸

長 (floodable length) に當該船舶の用途の標準即ち旅客船らしさの程度及び船の長さに應じて定められた區畫係數 (factor of subdivision) と稱する一定の係数を乘じて之を求むる事になつて居り、原則として此の長さより長い區畫室を設けることが許されないのである。

此所に船の可浸長とは即ち上記海上安全條約に所謂可浸長 (floodable length) を指すのであつて、船が一定の吃水で浮んで居る場合に於て浸水率が或る特定の値を有する船艙に浸水するとすると其船が限界線 (margin line) 即ち隔壁甲板の下方 76 ミリメートル (3 吋) の距離に於て甲板線に平行に引いた線迄恰度沈む様な船艙の部分の長さを謂ふのである。而して安全條約に於ては此の可浸長を求むる方法は各國に一任して居て、條約には何等具體的方法を指示してない。そこで日本としても此の條約の内容を採用するに付ては何等かの方法を定める必要があるのである。然るに可浸長を理論的に精確に箇々の船に就て算定することは頗る困難と言ふよりも寧ろ實際上不可能であるので、從來各國に於て種々なる近似計算方法が考案せられたのであるが、殊に英國商務院に於て規定した方法は實際に廣く採用せられ、日本の造船所に於ても從來此の方法を應用して設計をして居た様に承知して居る。然し商務院の方法は多數の基準曲線圖を常に準備して置く必要があり、實際の運用上かなり不便があり手數も相當複雑である。一方日本としては國際航海に従事する旅客船の新造は左まで多數でもないで、各船に就き獨立の計算を行ふ事にしても餘り困難はないと考へられるので、此等の點を考慮して理論上相當の精確を保ち而も實用上成るべく簡單的確なる標準算定方法を作つて見たいとの考から、先づ一案を作成し、先輩諸君の御助言に依り、實用上大體差支ないと認めらるゝ程度の方法を得たので、今日此の席上に發表することに致した次第である。就ては會員各位の御叱正に依り今後一層適切なる方法が出来るならば幸と存する。

浸水せしめ得る船艙の容積と其中心の位置との關係

第 1 圖に於て計畫滿載吃水線 W_0L_0 にて浮べる船が $ABCD$ の部分の浸水に依りて正しく限界線に對し切線となる吃水線 $W'L'$ 迄傾斜して沈んだと假定する。此の場合に於て若し船艙が空虚であるか、又は艙内に積載した物が水の爲に浮揚せず且船の傾斜の爲に移動しないと假定すると、船の排水量及重心の位置は變化なく單に $CDGH$ なる部分に相當する浮力の喪失 (貨物ある場合に於ては之に對する浮力だけは残る) に因て前記の狀態に落着いたものである。安全條約に要求する可浸長を求むる目的の爲には此の如き假定は許さるべきものと思はれるので、此處では $ABCD$ なる區畫の浸水の爲、浮力が喪失して傾斜沈下したりと考ふる代りに $CDEF$ なる部分に相當する水の重量が添加せられ、因て以て前記吃水線 $W'L'$ の傾斜狀態を惹起したものと考へることとする。蓋し此場合には當該船舶の排水量、重心及び浮力の中心は何れも變更するが $EFGH$ なる部分に付ては添加重量と浮力の増加とは相平衡し (艙内に貨物ある場合は浮力の増加の方が大となるが、之は浸水の場合の浮力の添加に相當す) 結局 $CDGH$ なる部分に相當する水の重量のみが新に添加せられたる事となり、此の部分の浮力の喪失と同一の結果を生ずべきが故である。依て

W を $W'L'$ に對する排水量

W_0 を W_0L_0 に對する排水量

とせば添加重量 w は下の算式にて表はさる。

$$w = W - W_0$$

今、排水量が W に等しくして計畫吃水線 W_0L_0 に平行なる吃水線を WL とせば WL と $W'L'$ との交點 F は吃水線 WL に於ける浮泛中心 (centre of floatation) を示す。依て船の長さの中央より浮泛中心迄の距離を f , 添加重量の重心迄の距離を d_x , 吃水線 WL と $W'L'$ との間の角を θ にて表はす事とせば、 θ は實際の船の場合に於ては通常 5 度以内に止まるを以て、一般に下の關係が成立つ。

$$\frac{W - W_0}{W} = \frac{\overline{GM} \tan \theta}{d_x \pm f}$$

即ち

$$d_x \pm f = \frac{\overline{GM} \tan \theta \times W}{W - W_0}$$

此處に $\overline{GM}$ は船の重心より吃水線 WL に於ける縦メタセンターに至る高さ、

正負の符號は浮泛中心が船の長さの中央より d_x を測る方向と反對の側に在るとき正にして同一の側に在るとき負とす。

而して實用上に於ては $\overline{GM}$ の代りに縦メタセンターより浮力の中心迄の高さ $\overline{BM}$ を採るも差支がないから $\overline{BM} = M$ と置けば

$$d_x \pm f = \frac{M \times \tan \theta \times W}{W - W_0} \dots \dots \dots (1)$$

なる算式を得。

次に吃水線 $W'L'$ が限界線に切線となる場合の $\tan \theta$ の値を求むる爲、先づ限界線を船の長さの中央に於て最低點を有する拋物線の一部と看做し、下の方程式を以て之を表はす事とする。

$$y = \frac{4s}{L^2} x^2 + c \dots \dots \dots (2)$$

但し此の方程式は吃水線 WL を x 軸、船の長さの中央に於ける垂直線を y 軸に採つた場合のもので、式中

s は限界線の船首端又は船尾端に於ける反り (Sheer)、

c は吃水線 WL より限界線の最低點に至る距離、

とす。

又吃水線 $W'L'$ は浮泛中心 F を通る直線であるから、其方程式は F が船の長さの中央より後方に在るか又は前方に在るかに従ひ下の通りとなる。

$$y = m(x \pm f) \dots\dots\dots (3)$$

方程式 (3) に依り表はさるゝ直線が (2) の曲線に對し切線となる爲の條件より、下の方程式を得。之より下記の通り m の値を求めることが出来る。

$$m^2 L^4 - 16s(c \mp mf)L^2 = 0$$

$$\therefore m = \frac{8sf}{L^2} \left\{ \mp 1 \pm \sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf^2}} \right\}$$

然して實際の適用に付ては m が正號となる場合のみを考へれば充分であるから $\sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf^2}}$ の項は正號のみを採る事とす。即ち

$$m = \frac{8sf}{L^2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf^2}} - 1 \right\} \dots\dots\dots (4)$$

依て、 $c=0$ なる場合には

$$m=0 \quad \text{又は} \quad m = \frac{16sf}{L^2} \dots\dots\dots (5)$$

又

$$\sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf^2}} = \sqrt{\frac{cL^2}{4sf^2}} \sqrt{\left(\frac{4sf^2}{cL^2} + 1\right)} = \frac{L}{2f} \left(\frac{c}{s}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{4sf^2}{cL^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{L}{2f} \left(\frac{c}{s}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{2sf^2}{cL^2} - \frac{2s^2f^4}{c^2L^4} + \dots\right)$$

故に算式 (4) は下の如く變形せらる。

$$m = \frac{8sf}{L^2} \left\{ \frac{L}{2f} \left(\frac{c}{s}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{2sf^2}{cL^2} - \frac{2s^2f^4}{c^2L^4} + \dots\right) - 1 \right\}$$

$\frac{1}{L^3}$ 以下の項を省略して

$$m = \frac{4s}{L} \left(\frac{c}{s}\right)^{\frac{1}{2}} \mp \frac{8sf}{L^2} = \frac{4}{L} \left(\sqrt{sc} \mp \frac{2sf}{L}\right) \dots\dots\dots (6)$$

此の m の値を算式 (1) に於ける $\tan \theta$ に代入すれば浸水せしめ得べき重量 ($W - W_0$) と該重量の重心より船の長さの中央に至る水平距離 d_{X} との關係が求め得られる。即ち

(1) $c=0$ するとき

$$d_{\text{X}} \pm f = 0 \quad \text{又は} \quad = \frac{MW}{(W - W_0)} \times \frac{16sf}{L^2}$$

$$\therefore d_{\text{X}} = \frac{4WM}{L(W - W_0)} \left(\frac{2sf}{L} \mp \frac{2sf}{L} \right) \mp f \dots\dots\dots (7)$$

(2) $c=0$ ならざるとき

$$d_{\text{X}} \pm f = \frac{MW}{W - W_0} \times \frac{4}{L} \left(\sqrt{sc} \mp \frac{2sf}{L} \right)$$

$$\therefore d_{\Sigma} = \frac{4WM}{L(W - W_0)} \left(\sqrt{s} \mp \frac{2sf}{L} \right) \mp f \quad \dots\dots\dots (8)$$

以上は船の或る部分に浸水したる場合に於て吃水線が正しく限界線に對し切線となることを條件としたのであるが、浸水後の吃水の平均が船の深さに對し比較的小なる場合、換言せば c が割合に大なるとき又は限界線の反りが比較的小なるときは浸水後の吃水線は限界線の船首尾端外への延長部に於てに非ざれば切線とならざることがある。斯る場合に於ては浸水後の吃水線が船の前端又は後端に於て限界線と交はる迄浸水せしめて差支ない譯である故、方程式 (2) 及び (3) に依り表はさるゝ二つの線が相切する條件の代りに右兩線が $x = \pm \frac{L}{2}$ の點に於て相交はる條件を採用して下の方程式を得、之に依り m の値を求むれば宜しい。

$$\frac{4s}{L^2} \times \frac{L^2}{4} + c = m \left(\frac{L}{2} \pm f \right)$$

$$\therefore m = \frac{2(s+c)}{L \pm 2f}$$

此の値を算式 (1) に於ける $\tan \theta$ に代入すれば算式 (8) の代りに下の算式が得られる。

$$d_{\Sigma} = \frac{2WM(c+s)}{(W - W_0)(L \pm 2f)} \mp f \quad \dots\dots\dots (9)$$

是等の算式 (7) (8) 及び (9) に於て正負の符號は、浮泛中心 F が船の長さの中央より d_{Σ} を測る方向と反對の側に在るときは上方の符號、同一の側に在るときは下方の符號を採るべきものとす。

さて、算式 (8) を用ふべき場合と、算式 (9) を用ふべき場合とを判別する爲、浸水後の吃水線が船の前端又は後端に於て正しく限界線に對し切線となる場合に於ける c, s, f 及び L の關係を考ふるに、限界線 $y = \frac{4s}{L^2}x^2 + c$ と切線 $y = \frac{8sf}{L^2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf^2}} \pm 1 \right\} (x \mp f)$ との切點に於ては x の値は一般に下の算式に依り表はさる。

$$x = f \left\{ \sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf^2}} \mp 1 \right\}$$

故に切點が船の首尾端に在る場合に於ては次の關係が成立つ。

$$\frac{L}{2} = f \left\{ \sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf^2}} \mp 1 \right\}$$

$$\therefore c = \left(1 \pm \frac{4f}{L} \right) s \quad \dots\dots\dots (10)$$

而して f は實際上 L の $\frac{1}{100}$ 程度で、従つて $\frac{4f}{L}$ は比較的小なる値のものである故、之を假に省略する事とせば $c = s$ なる關係が得られる。即ち大體に於て c が限界線の船首端又は船尾端に於ける反りに等しきか又は之より大なるときは算式 (8) を用ひずして (9) を採用すべきである事が解る。是等の算式の應用に付ては以下追々に述べることにする。

算式 (7) (8) 及び (9) に於ける $(W - W_0)$ なる重量の水を浸入せしめ得る船艙の容積 v は

$(W - W_0)$ を浸入せしめ得る海水の重量 (トンにて)

μ を當該船艙の浸水率 (百分率にて)

とせば下の算式を以て之を表はすことが出来る。

$$v = \frac{100(W - W_0)}{1.025\mu} = \frac{97.56(W - W_0)}{\mu} \quad \text{立方メートル} \dots\dots\dots (11)$$

依て計畫満載吃水線以上の任意の吃水に付 $(W - W_0)$, M , f 及 c を求め、算式 (7), (8), (9) 及び (11) を用ひて計算を行へば船艙の浸水せしめ得る容積 v と其中心より船の長さの中央に至る水平距離 $d_{\text{中}}$ とを求めることが出来る。此の計算を計畫満載吃水線と限界線の最低點を通る吃水線との間の種々なる吃水に對し行ふときは、船の全長に亘り v と $d_{\text{中}}$ との關係を示す曲線を描き得るのである。此の曲線を此處では可浸容積曲線と名ける。

可浸容積曲線を描く爲には $d_{\text{中}}$ が船の長さの $\frac{1}{2}$ より大なる場合に對し計算を行ふ必要なことは勿論であるが、それには限界線の最低點を通る吃水線から始めて大體計畫吃水に其 $\frac{1}{10}$ を加へた吃水附近の便宜の吃水線迄の間の數箇の吃水に付て計算すれば宜しい。此の計算は添附の計算表の如き様式で之を行へば比較的簡便正確に出来ます。

尙、算式 (8) に依る曲線と算式 (9) に依る曲線との關係は第 2 圖に示す通りで、即ち $c = \left(1 \pm \frac{4f}{L}\right)s$ に相當する點 P に於て二つの曲線は相切し、算式 (9) に依る曲線 $A'PB'$ は常に算式 (8) に依る曲線 APB の外側に在ることになる。依て求むる可浸容積曲線としては P 點より上方に於ては算式 (8) に依る曲線、其下方に於ては算式 (9) に依る曲線を探り $A'PB$ なる曲線を描くべきである。

可 浸 長 の 決 定

前述の可浸容積曲線を利用し、下に述ぶる方法で可浸長曲線を描けば、船の長さの任意の點に於ける可浸長は容易に求め得られる。

其爲には先づ船の長さの各點に於ける限界線迄の横截面積を示す曲線を描き、更に該横截面積を船の首尾兩端より中央に向つて積分したる横截面積積分曲線を描く。此の曲線を以て表はす容積は可浸容積曲線の表はすものと同一の單位で且同一の縮尺を以て表はされることが必要である。

次に可浸容積に R なる係數を乗じたる容積を示す曲線——假に之を比例容積曲線と名ける——を描くことを要する。此の係數 R は船の長さの或點に於ける可浸長の間に含まるゝ船内の容積が其中心 (即ち此の部分に浸水した場合に於ける該水量の重心) を通る横通平面に依つて 2 分される場合に船の長さの端に近き部分の容積が全容積に對する比を示すもので、其値は可浸容積を當該點に於ける横截面積にて除したる商を假に該點に於ける可浸長と看做し、第 3 圖の如く横截面積曲線を利用して各横截面積 a_1, a_2, a_3, a_2' 及び a_3' を求め、Simpson 規則を適用して下の様に之を求め得るのである。

$$\left. \begin{aligned}
 V &= v_1 + v_2 = \frac{l}{6}(a_1 + 4a_2 + a_3) \\
 v_1 &= \frac{X}{6}(a_1 + 4a_2' + a_3') \\
 X &= l \frac{2a_2 + a_3}{a_1 + 4a_2 + a_3} \\
 \therefore R &= \frac{v_1}{V} = \frac{X}{l} \frac{a_1 + 4a_2' + a_3'}{a_1 + 4a_2 + a_3} = \frac{(2a_2 + a_3)(a_1 + 4a_2' + a_3')}{(a_1 + 4a_2 + a_3)^2}
 \end{aligned} \right\} \text{(第3圖参照)}$$

然し實際上には横截面積曲線が當該可浸長の部分に於て直線を爲すものと假定し、次の如くにして求めた R の概略の値を採用しても大なる誤差はない。

$$\begin{aligned}
 X - \frac{l}{2} &= l \left(\frac{2a_2 + a_3}{a_1 + 4a_2 + a_3} - \frac{1}{2} \right) = \frac{l}{6} \left(\frac{a_3 - a_1}{a_3 + a_1} \right) \\
 V &= \frac{l}{2}(a_1 + a_3) \\
 v_1 &= \frac{l}{24}(5a_3 + 7a_1) + \frac{l}{72} \frac{(a_3 - a_1)^3}{(a_3 + a_1)^2} \\
 \therefore R &= \frac{v_1}{V} = \frac{1}{12} \left(\frac{5a_3 + 7a_1}{a_3 + a_1} \right) + \frac{1}{36} \left(\frac{a_3 - a_1}{a_3 + a_1} \right)^3
 \end{aligned}$$

$\frac{a_1}{a_3} = r$ と置き

$$R = \frac{1}{12} \left(\frac{5+7r}{1+r} \right) + \frac{1}{36} \left(\frac{1-r}{1+r} \right)^3 \dots\dots\dots (12)$$

r が 1 に近き場合に於ては第 2 項を省略し得るを以て

$$R = \frac{1}{12} \left(\frac{5+7r}{1+r} \right) \dots\dots\dots (13)$$

更に $r=1$ とせば

$$R = \frac{1}{2} = 0.50 \dots\dots\dots (14)$$

即ち普通の船の場合に於ては R の値は首尾兩端に近き部分の外は算式 (13) を用ひ、中央部に於ては (14) に依り之を求めて差支ない。又首尾兩端に於ては $r=0$ となる故算式 (12) より

$$R = \frac{4}{9} = 0.444$$

となるが、實際の船に於ては横截面積曲線は直線ではないので、此の點を考慮に入れ且實例に付調査した結果に基づき

$$R = 0.45 \dots\dots\dots (15)$$

を採用することが適當と思はれる。

依つて普通の場合に於て比例容積曲線を描くには第4圖に示すが如く、一應首尾兩端より船の長さの $\frac{1}{10}$ 乃至 $\frac{2}{10}$ の附近に於て可浸容積 v に 0.45 を乗じたる ($v \times .45$) の曲線を描きて積分曲線に交らしめ、其交點を P とす。又中央部船の長さの約 $\frac{4}{10}$ 間に於て ($v \times .50$) の曲線を描き、積分曲線中の略直線を爲す部分の終點 s より基線上に垂線を下し、其脚を T とし、 T より積分曲線の直線部に平行なる直線 TX を引き兩者を Q 點に於て交らしめる。然るときは P 及び Q は夫々求むる比例容積曲線上の 1 點であると看做することが出来る。又 Q より船の長さの中央部に至る部分に於ては ($v \times .50$) 曲線が其儘比例容積曲線となる譯である。 P と Q との中間の部分は兩點間の適宜の位置に付算式 (12) 或は (13) に依り R を求め ($v \times R$) に相當する點 O を得、 POQ を通る曲線を描けば求むる比例容積曲線となるのである。

尤も P は正確に比例容積曲線上の 1 點でない場合もあるから、強て此の點を通すことなく QO を通る平滑なる曲線が P の附近に於て ($v \times .45$) 曲線と結合する様にすれば宜しいのである。

さて、第 5 圖に示すが如く船の長さの或る點、例へば (30) の點に於て基線に對して垂線を立て、該垂線上に於て積分曲線の上下に v_2 及び v_1 を夫々可浸容積曲線と比例容積曲線との間の距離及び比例容積曲線と基線との間の距離に等しく取り、其各端より積分曲線に向つて水平線を引き、兩線の交點から基線に對し夫々垂線を下すときは兩垂線間の船舶の容積は一つの可浸容積に該當する事となる。依て兩垂線間の距離 l_x は其中央點に於ける可浸長を表はす事になる故、 l_x の中央點に於て垂線を立て、其上に基線から l_x に等しき距離の點を採れば、此の點は可浸長曲線上の一點となる。此の方法を船の長さの種々の點に於て繰返せば可浸長曲線上の諸點が求め得らるゝのであるが、可浸長曲線の兩端點を求むるには横截面積積分曲線と比例容積曲線との交點 P を通る垂線を立て、該垂線が可浸容積曲線と交はる點から積分曲線に向つて水平線を引き、兩線の交點から基線に垂線を下せば、此の垂線と船首又は船尾端との間の距離 l_a は船首又は船尾端に於ける區畫室の可浸長となる。依て l_a の中央點に於ける垂線上に基線より l_a に等しき距離の點を採れば即ち求むる可浸長曲線の終端點となるのである。

以上は説明の便宜上、浸水率 μ が船の全長を通じて一樣なものとして述べたのであるが、實際は機關室及び其前後部は夫々異なる浸水率を有することが普通であるから可浸容積曲線、比例容積曲線及び可浸長曲線は何れも船の全長を通じて連續のものとならない事は勿論である。

又機關室の部分は通常船の中央部を占め、横截面積の變化が少い故、上記の如き作圖法に依らずして下の算式に依り可浸長を求めても差支ない場合が多い事と思ふ。

$$l = \frac{v}{a} \dots\dots\dots (16)$$

l は船の長さの任意の點に於ける可浸長

v は當該點に對する可浸容積

a は當該點に於ける限界線迄の船體横截面積

近似法採用の影響に関する考察

本文に述べたる可浸長を求むる方法に於て近似法を採用した主なる點を擧ぐれば下の通りである。

(1) $\overline{GM}$ の代りに $\overline{BM}$ を採用したること、

(2) 算式 (8) を誘導する場合に於て

$$m = \frac{8sf}{L^2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{cL^2}{4sf}} \mp 1 \right\} \dots\dots\dots (I)$$

の代りに

$$m = \frac{4}{L} \left(\sqrt{sc} \mp \frac{2sf}{L} \right) \dots\dots\dots (II)$$

を採用したること、

(3) 限界線の形狀を常に $y = \frac{4s}{L^2} x^2$ にて表はし得る二次の拋物線と看做したること、

(4) 比例容積の算定に於て係數 R の近似値を採用したること、

(5) 船の損傷したる場合に於ては實際浸水するは浸水後の傾斜吃水線 $W' L'$ 迄なるを限界線迄と假定したること。

上記の内、(1) の點は此の種の計算に於て普通に許さるゝ近似法で且實際上一々の船に付 $\overline{GM}$ を求むることは困難なるのみならず、假に之を求め得たりとしても實際船が航海する場合には其場合々々に依り $\overline{GM}$ の値は異なるのであるから無意味になる。依て此の點は問題とする必要がないと考へる。

(2) に関しては試に算式 (I) 及び (II) に依り算定する m の値に實際上幾何の差を生ずるやを見ることにする。

普通の船に於ける例を採り

f は船の長さ (L) の中央より後方に於て $\frac{L}{100}$

s は船首端に於ては $\frac{L}{50}$ 、船尾端に於て $\frac{L}{100}$

c は計畫吃水の最小限度を大體船の深さの $\frac{2}{3}$ とし、之に $\frac{1}{10}$ を加へたる吃水の場合の乾舷を

c の最大限とし、且船の長さとの比を 12 と假定せば最大 $\frac{L}{45}$ 、最小 0 となる。

右の値を算式 (I) 及び (II) に適用して m を求むれば下の結果を得。

c	m			
	船首に傾斜する場合		船尾に傾斜する場合	
	算式 (I) に依るとき	算式 (II) に依るとき	算式 (I) に依るとき	算式 (II) に依るとき
$L/45$	0.0827	0.0827	0.0604	0.0604
$L/50$	0.0784	0.0784	0.0574	0.0574
$L/100$	0.0550	0.0550	0.0408	0.0408
$L/200$	0.0384	0.0384	0.0291	0.0291
$L/400$	0.0267	0.0267	0.0208	0.0208
$L/600$	0.0216	0.0215	0.0172	0.0171
$L/800$	0.0185	0.0184	0.0150	0.0149
$L/1000$	0.0164	0.0163	0.0135	0.0134
0	0	-0.0016	0.0916	0.0008

即ち算式 (II) なる近似式を採用する爲の影響は c の小なる場合程大であつて、 c が比較的大なるときは實際上誤差なしと言ふを得べく、 c が $\frac{L}{600}$ 以下なる場合には m は實際より約 0.5% 小となり、 c が零に近き場合には適用すべからざる事が知れる。依て $c=0$ なるときは前述の通り算式 (I) を其儘適用したる算式 (7) を $d_{\text{中}}$ の算定に採用する事としたのである。

又 c が比較的小なる場合には $d_{\text{中}}$ も比較的小となり、即ち船の長さの中央部附近に浸水する場合に該當するのであるが、此の部分は横截面積の變化が殆どないのであるから大體可浸長は m に比例する事となり、従つて上表に示す通り m が實際より小なることは即ち可浸長も實際より小となる事を示す譯で、誤差は安全の側に在る。假に船の中央部附近の可浸長を $\frac{30}{100}L$ とせば誤差は約 $\frac{15}{10,000}L$ にして、船の長さ 150 メートルなる場合には 0.225 メートルとなる。此の程度の誤差は作圖上に於て屢々起り得る範圍を出でないものであらうと思はれる。

(3) 限界線の形狀に關する問題は、一般に限界線は隔壁甲板の舷弧に平行と見て差支がないのであるが、甲板の舷弧の標準形を二次の拋物線とすることは國際滿載吃水線條約の規定にもある所であり又實際の船に於ても大體右の標準に據つて舷弧が定められてある様に思はれる。試に近年本邦に於て新造された船に付、乾舷計算上測定せられた乾舷甲板の長さの 6 等分點に於ける舷弧の高さと標準形即ち $y = \frac{4s}{L^2}x^2$ に依るものとの比較を次に示す。

船 名	船の長さ (L)	乾舷甲板の舷弧の高さ { 實際の高さ 標準形のものゝ高さ								
		船 首 (sf)	船 首 よ り					船 尾 (sa)	$\frac{L}{sf}$	$\frac{L}{sa}$
			L/6	2L/6	3L/6	4L/6	5L/6			
淺 間 丸	560	9.00	4.00	1.00	0	.36	1.44	3.25	62	172
		9.00	4.00	1.00	0	.36	1.44	3.25		
照 國 丸	505	8.25	3.67	.92	0	.36	1.44	3.25	61	155
		8.25	3.67	.92	0	.36	1.44	3.25		
小 牧 丸	450	8.50	3.94	.94	0	.57	2.33	5.27	53	85
		8.50	3.78	.94	0	.59	2.34	5.27		
吾 妻 山 丸	450	8.00	3.55	.88	0	.48	1.91	4.25	49.5	105
		8.00	3.56	.89	0	.47	1.89	4.25		
鞍 馬 丸	435	7.57	4.08	1.75	0	.75	2.04	3.99	53	110
		7.57	3.36	.84	0	.44	1.77	3.99		
さん と す 丸	430	8.00	3.63	.95	0	.45	1.58	3.50	54	122
		8.00	3.56	.89	0	.39	1.56	3.50		
さん ぢ ゑ ご 丸	430	10.00	4.45	1.15	0	.55	2.20	5.00	43	86
		10.00	4.44	1.11	0	.56	2.22	5.00		

昭 洋 丸	430	9.00 9.00	4.01 4.00	1.07 1.00	0 0	.53 .51	1.99 2.04	4.58 4.58	48	94
幸 和 船	415	7.23 7.23	3.91 2.41	1.67 .80	0 0	.68 .43	1.85 1.71	3.84 3.84	57	108
淨 寶 樓 丸	410	9.50 9.50	4.25 4.22	1.05 1.06	0 0	.55 .56	2.20 2.22	5.00 5.00	43	82
おりんぴあ丸	405	9.75 9.75	4.35 4.33	1.10 1.08	0 0	.43 .50	2.00 2.00	4.50 4.50	41.5	90
赤 城 山 丸	375	7.00 7.00	3.02 3.11	.79 .78	0 0	.10 .40	1.30 1.59	3.57 3.57	54	103
那 岐 山 丸	360	7.75 7.75	3.44 3.44	.84 .86	0 0	.43 .44	1.75 1.78	4.00 4.00	46.5	90
那 智 山 丸	338	6.25 6.25	2.76 2.78	.65 .69	0 0	.33 .36	1.46 1.44	3.25 3.25	54	102
河 南 丸	335	7.00 7.00	3.10 3.11	.80 .78	0 0	.49 .39	1.55 1.56	3.50 3.50	48	96
日 本 海 丸	299.25	5.75 5.75	2.56 2.56	.64 .64	0 0	.31 .34	1.30 1.33	3.08 3.08	52	97
伊 奈 波 山 丸	190	5.00 5.00	2.42 2.22	1.00 .56	0 0	0 .20	.67 .81	1.83 1.83	38	102

備考：標準形舷弧の高さは首尾兩端に於ける高さを實際のもの、通りとし、船の長さの中央と兩端との間に於ては $y = \frac{4s}{L^2}x^2$ なる算式に依り算定したるものとす。

上表に於て鞍馬丸及幸和丸の 2 隻は船首尾の舷弧高に比し中間部の舷弧高が比較的大であつて標準形とは著しく相違して居り、又伊奈波山丸も稍標準形と離れた形の舷弧を有して居るが、其他の船に於ては殆ど標準形に一致せることが解る。依つて普通の場合に於ては限界線の形狀を二次の拋物線と看做することは實際上差支ない事と考へられる。若し實際の限界線の形狀が標準形と異なる場合には誤差を安全の側に在らしむる爲、英國商務院の規則の通り、下記の規定に依り修正したる標準形限界線を横截面積の算定其他の計算の基準に使用することが適當と思はる。

(イ) 船の長さ (L) の中央より前方 (又は後方) に於て $\frac{L}{4}$ の點に於ける限界線の反りが船首、又は船尾) 端に於ける反りの $\frac{1}{4}$ より大なるときは、船首 (又は船尾) 端に於ける反りが實際のものに等しき標準形に修正すること、

(ロ) 船の長さ (L) の中央より前方 (又は後方) に於て $\frac{L}{4}$ の點に於ける限界線の反りが船首 (又

は船尾) 端に於ける反りの $\frac{1}{4}$ より小なるときは其 4 倍を船首 (又は船尾) 端に於ける反りとする標準形に修正すること。

尙實際の限界線の形状が全く特殊のものなる場合は特別に考慮する必要があらう。例へば若し反りが全く無く限界線が直線を爲す場合には算式 (9) に於て $s=0$ と置きたる下の算式に依り常に d_{Σ} と $(W-W_0)$ との關係を求むることが出来る。

$$d_{\Sigma} = \frac{2WMc}{(W-W_0)(L \pm 2f)} \mp f \dots\dots\dots (III)$$

又中央部に於て一定の長さの間は限界線が直線を爲し、船首尾部に於て拋物線より成るが如き場合に於ては各部分に付別々に考慮して d_{Σ} と $(W-W_0)$ との關係を求め、それに依り可浸容積曲線を描くことが適當であらう。

(4) 次に比例容積曲線を求むる場合の係数 R は普通の形状の船では中央部の或る長さの間は横截面積曲線が殆ど水平なる直線を爲す故、此の部分に於て $R=0.50$ となすことは實際上誤差なく、又假に若干の誤差ありとするも可浸長には影響なしと言ふ事が出来る。中央部以外の部分に於て横截面積曲線を直線と看做し R を求むることは一見甚だ誤差多きが如くに思はれるが、事實 V 及び v_i の容積其物には相當の誤差あるは免れぬけれども、兩者の比なる R に就ては左したる誤差を生じないのである。或る實例に付船首尾端及び兩端より $\frac{20}{100}L$ 乃至 $\frac{30}{100}L$ 附近に於ける區畫に對し精密なる計算及び近似法に依る R の値を求めた結果を比較して見ると下に示す通りで、大體 1% 程度の誤差を生ずるに過ぎない。

位 置	船 尾 端	船 尾 よ り $\frac{20L}{100}$	" "	" "	船 首 端
精密なる計算に依る R	.453	.486	.498	.482	.445
近似法に依る R	.450	.488	.492	.476	.450
誤 差	0.7%	0.4%	1.2%	1.2%	1.1%

備考： 近似法に依る R は首尾兩端に於けるものゝ外は何れも $R = \frac{1}{12} \left(\frac{5+7r}{1+r} \right)$ に依り算定したるものとす。

而して假に船の全長を通じ $R=0.50$ として可浸長を求めても其誤差は普通、首尾兩端に於て約 2%、兩端より $\frac{20}{100}L$ 附近に於て約 1% に過ぎないので、 R の値の 1% の誤差は多くとも 0.2% 程度の誤差を可浸長に及ぼすに過ぎないと思はる。尙 R と可浸長との關係は R が大となれば可浸長も亦増大し、誤差は不安全の側となるのであるが、近似法に依る誤差は上表に見る通り増減何れの側にも生じ、場合に依り一様でない。依つて若し船首尾端に於ける可浸長を出來得る限り正確に求めむとする場合には、第 4 圖に於ける比例容積曲線を描く場合に船首尾附近に於て $(v \times .45)$ 曲線を描

く代りに、首尾兩端より例へば $\frac{15}{100}L$, $\frac{20}{100}L$ 及 $\frac{25}{100}L$ 迄の横截面積曲線に付下の算式に依り夫
 夫容積の中心の位置及 R を求め、各中心の位置に於ける垂線上に基線より $(v \times R)$ に相當する點を
 採りて之を通過する曲線を描き、該曲線と横截面積積分曲線との交點を P とすれば宜しいのである。

$$\left. \begin{aligned} \text{首尾兩端より容積の中心迄の距離 } X &= l \frac{2a_2 + a_3}{4a_2 + a_3} \\ \text{係數 } R &= \frac{X}{l} \frac{4a_2' + a_3'}{4a_2 + a_3} \end{aligned} \right\} \text{(第2圖参照)}$$

(5) 傾斜吃水線 $W'L'$ 迄の横截面積の代りに限界線迄の横截面積を使用し、其積分曲線に依り可
 浸長を求め又は算式 $\frac{v}{a}$ に依り可浸長を算定することは、精確なる可浸長よりは小なる値を得る結果
 となり、即ち誤差は安全の側に在るのであるが、本方法の中では最も大なる誤差の要素を爲すのであ
 る。

試に普通の貨客船の標準的の例として重要寸法等に下記の關係ある船を假想し、此に付て右誤差の
 程度を調査して見やう。

船の長さ	L
船の幅	$B = \frac{L}{8}$
船の深さ (限界線迄)	$D = \frac{L}{12}$
満載吃水	$D_0 = \frac{L}{17} \left(\div \frac{7}{10} D \right)$
肥瘠係數	$C_b = 0.70$
吃水面積係數	$C_w = 0.85$
中央横截面積係數	$C_M = 0.96$
船の長さの中央より浮泛中心迄の距離	$f = 0$
浮力の中心より縦メタセンター迄の高さ	$M = L$
限界線の反り	船首端 $gf = \frac{L}{50}$
	船尾船 $ga = \frac{L}{100}$
満載吃水に對する排水量	$W_0 = L \times B \times D_0 \times .70 = \frac{51.47}{10,000} L^3$
吃水毎 $\frac{L}{400}$ 排水量 (満載吃水線以上)	$W = L \times B \times \frac{L}{400} \times .85 = \frac{2.66}{10,000} L^3$
中央横截面積	$A_M = B \times D \times .96 = \frac{1}{100} L^2$

上記の資料に依り添加重量の重心 G 及び之に相當する傾斜吃水線が限界線に切する點 (又は船の
 前端若は後端點) P 並に傾斜吃水線の傾斜角度 θ の關係を計算して見ると、下表に示す通りで、 G
 が船の長さの中央から遠くなるに従ひ θ は大となるが、 G と P との隔りは G が船の長さの中央
 から $\frac{15}{100}L$ 乃至 $\frac{20}{100}L$ 附近に相當する場合に最も大きく、殊に限界線の反りの小なる船尾の方

に傾斜する場合に於て一層甚しい。従つて可浸長の誤差も亦船の長さの中央の後方 $\frac{20}{100}L$ 附近に於て最大となり、其値は大體 L の 1.0% 以上となるが、船尾端では 0.5%、船の長さの中央の前方 $\frac{10}{100}L$ 附近では 0.3%、船首端では 0.1% 内外となる様である。

吃水 (D_r)	乾舷 (c)	$(W-W_0)$	船首部 ($s_f = \frac{L}{50}$)				船尾部 ($s_a = \frac{L}{100}$)			
			長さの中央より		$(t_{\text{中}} - d_{\text{中}})$	$\tan \theta$	長さの中央より		$(t_{\text{中}} - d_{\text{中}})$	$\tan \theta$
			G 迄 ($d_{\text{中}}$)	P 迄 ($t_{\text{中}}$)			G 迄 ($d_{\text{中}}$)	P 迄 ($t_{\text{中}}$)		
$\frac{L}{12}$	0	$\frac{L^3}{10,000}$ 26.04	$\frac{L}{100}$ 0.00	$\frac{L}{100}$ 0.00	$\frac{L}{100}$ 0.00	$\frac{1}{100}$ 0.00	$\frac{L}{100}$ 0.00	$\frac{L}{100}$ 0.00	$\frac{L}{100}$ 0.00	$\frac{1}{100}$ 0.00
$\frac{L}{12} - \frac{L}{400}$	$\frac{L}{400}$	23.38	8.89	17.70	8.81	2.83	6.26	24.95	18.69	2.00
$\frac{L}{12} - \frac{2L}{400}$	$\frac{2L}{400}$	20.72	13.60	25.00	11.40	4.00	9.59	35.25	25.66	2.82
$\frac{L}{12} - \frac{3L}{400}$	$\frac{3L}{400}$	18.06	18.42	30.70	12.28	4.91	12.99	43.30	30.31	3.46
$\frac{L}{12} - \frac{4L}{400}$	$\frac{4L}{400}$	15.40	23.83	35.35	11.52	5.66	16.82	50.00	33.18	4.00
$\frac{L}{12} - \frac{5L}{400}$	$\frac{5L}{400}$	12.74	30.97	39.50	8.53	6.32	21.97	50.00	28.03	4.50
$\frac{L}{12} - \frac{6L}{400}$	$\frac{6L}{400}$	10.08	41.09	43.25	2.16	6.92	29.51	50.00	20.49	5.00
$\frac{L}{12} - \frac{7L}{400}$	$\frac{7L}{400}$	7.42	57.22	46.75	—	7.48	42.17	50.00	7.83	5.50

故に實用上、普通の場合には殊更修正を爲す必要もないと思はれるが、若し一層精確なる可浸長を求めんとせば次に述ぶる方法に依ることが便利であらう。

第 6 圖に於て傾斜吃水線 $W'L'$ に對する可浸容積の重心を G 、斜線を施したる部分を可浸區畫とし、且該區畫の吃水線 $W'L'$ 迄の容積を V' 、限界線迄の容積を V とす。然るときは本文に於て述べたる方法に依り求めた可浸長に $\frac{V}{V'}$ を乗すれば殆ど正確に近き可浸長を得る譯であるが、 V 及び V' の値を一々の場合に算定する事は可なり困難であるから、近似的方法として $\frac{V}{V'}$ の代りに G を通る横截面に於ける龍骨の上面より限界線迄の深さと傾斜吃水線 $W'L'$ 迄の深さとの比を採る事にするも大なる誤差はない。即ち

$$\begin{aligned} \frac{V}{V'} &= \frac{D + 4s \left(\frac{d_{\text{中}}}{L} \right)^2}{D_r + \delta \times \tan \theta} \\ &= \frac{D + 4s \left(\frac{d_{\text{中}}}{L} \right)^2}{D_r + \frac{4}{L} \left(\frac{2sf}{L} \mp \frac{2sf}{L} \right) \delta} \quad c=0 \text{ するとき} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 &= \frac{D + 4s \left(\frac{d_{\Sigma}}{L} \right)^2}{D_r + \frac{4}{L} \left(\sqrt{sc} \mp \frac{2sf}{L} \right) \delta} & c \leq s \left(1 \pm \frac{4f}{L} \right) \text{ なるとき} \\
 &= \frac{D + 4s \left(\frac{d_{\Sigma}}{L} \right)^2}{D_r + \frac{2(c+s)}{(L \pm 2f)} \delta} & c > s \left(1 \pm \frac{4f}{L} \right) \text{ なるとき}
 \end{aligned} \right\} \dots (IV)$$

而して實際の方法としては初めより算式 (11) に依る可浸容積 $v = \frac{97.56(W - W_0)}{\mu}$ の代りに之に $\frac{V}{V'}$ を乗じたる可浸區畫の限界線迄の容積を採用して可浸容積曲線を描き、其他は總て本文に述べたる通りの方法を用ふる方便にして而も前記の修正を爲したると同一の結果が得られる。何となれば前掲の算式 (IV) に於ける各項の値は何れも可浸容積と其重心の位置との關係を求むる爲の計算に於て算定を要するものであるから $\frac{V}{V'}$ の近似値も同時に容易に求め得らるゝからである。

此の $\frac{V}{V'}$ の近似値を前掲の標準的の例に於ける c の種々なる値に付て計算して見ると下に示す通りとなる。

c	船 首 部		船 尾 部	
	d_{Σ}	$\frac{V}{V'}$	d_{Σ}	$\frac{V}{V'}$
0	$\frac{L}{100}$	1.000	$\frac{L}{100}$	1.000
$\frac{L}{400}$	8.89	1.007	6.23	1.017
$\frac{2L}{400}$	13.60	1.013	9.59	1.033
$\frac{3L}{400}$	18.42	1.014	12.99	1.046
$\frac{4L}{400}$	23.83	1.012	16.82	1.055
$\frac{5L}{400}$	30.97	1.006	21.97	1.058
$\frac{6L}{400}$	41.09	1.000	29.51	1.016
$\frac{7L}{400}$	57.22	—	42.17	1.016

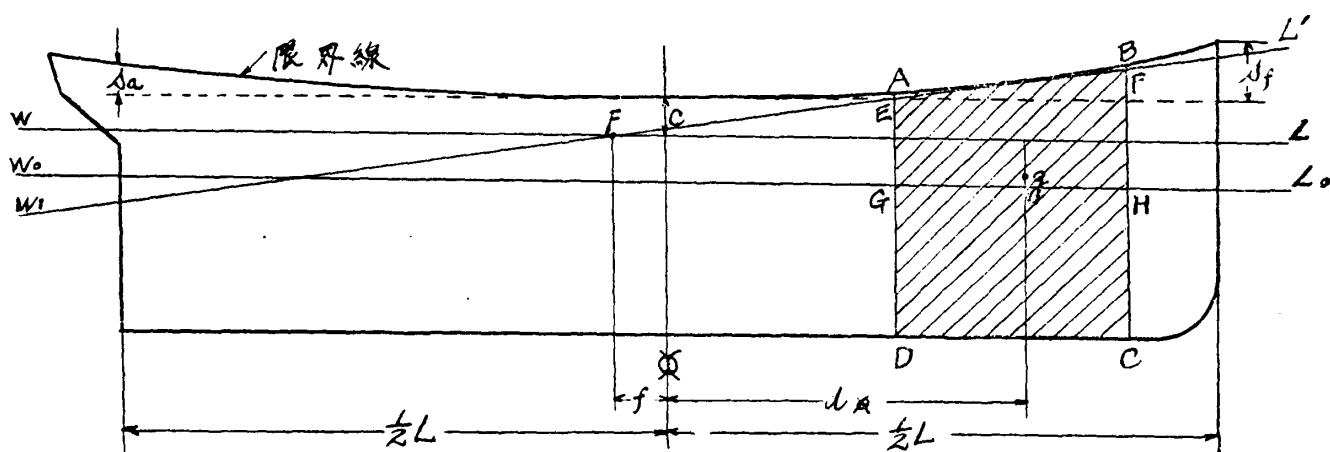
以上の考察に採り了解せらるゝ通り、本方法は可浸長を求むる實際的方法として之を普通の形状の船に適用して差支ないものと信ずる。又多少特殊なる形状を有する船の場合にも之に適應する様幾分の修正を施して應用する事が比較的容易に出来ると考へられる。

参考の爲、實際の船に付本方法及び英國商務院規則に依り求めたる可浸長曲線の一例を添附するこ

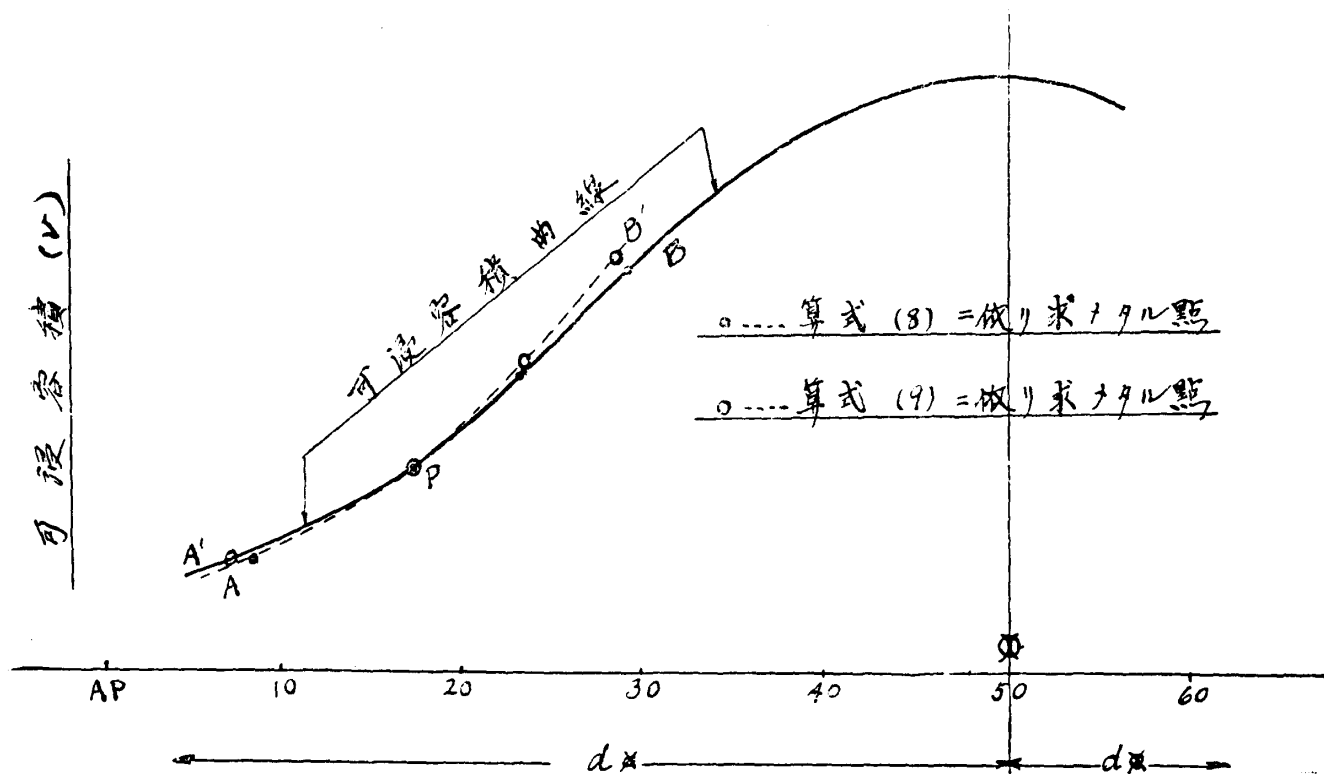
とにした。此の例に於ては船内の浸水率を船の全長を通じて一様に 63% と假定して計算したものであつて、兩方法に依る可浸長は船首端に於ては本方法に依る方 L の約 2% 程大なる結果を示して居るが、他の部分に於ては兩者殆ど一致して居る。尙、此の例では限界線迄の船體横截面積を用ひたる爲に生ずる誤差を修正した場合の可浸長は却つて商務院規則に依るものとの間に差違を生ぜしむる結果を見せて居る。他の例に於ても、時に相當著しき差違を示す部分もあるが、一般的には兩者極めて相近き結果を得る様である。而して可浸長算定の手數に於ては本方法に依る方頗る簡單であると言つて差支ないと思ふ。

終に臨み本論文の發表に對し機會を與へられたる重光船舶課長に篤く御禮を申上ぐると共に、本方法の考案に際し緊要適切なる助言を賜りたる井上要氏及玉井喬介氏、重要なる資料を提供せられたる三菱造船株式會社長崎造船所及び日本郵船株式會社竝に本論文に於ける計算及び圖面の作製に當られたる小野木敏雄君、川崎周三郎君、其他の同僚諸君に對し深厚なる感謝の意を表す。

吃水線



可浸容積 (V)



第 3 圖



第 4 圖

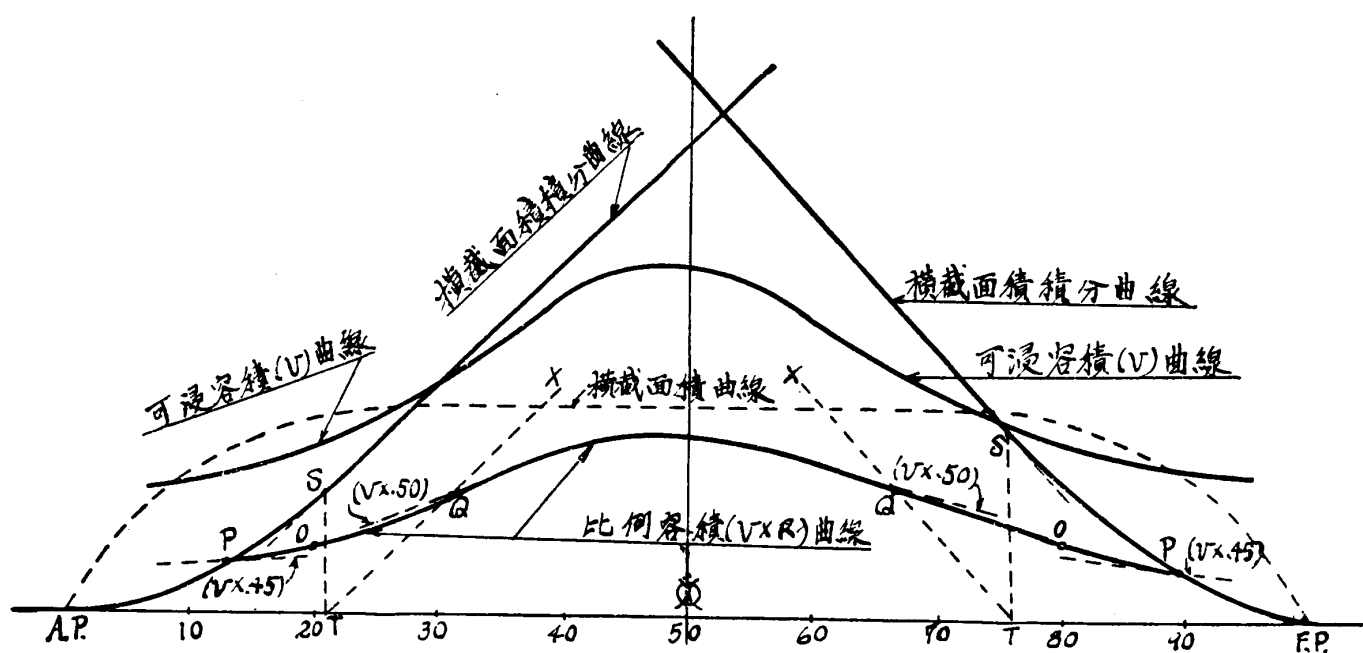


Figure 10 is a graph showing the relationship between the angle of inclination θ and the length of the submerged part of a cylinder. The x-axis represents the angle θ in degrees, with markings at 10, 20, 30, and 40. The y-axis represents the length of the submerged part. Four curves are plotted:

- 橫截面體積分曲線 (Cross-sectional volume integration curve)
- 可浸容積曲線 (Immersible volume curve)
- 可浸長曲線 (Immersible length curve)
- 比例容積曲線 (Proportional volume curve)

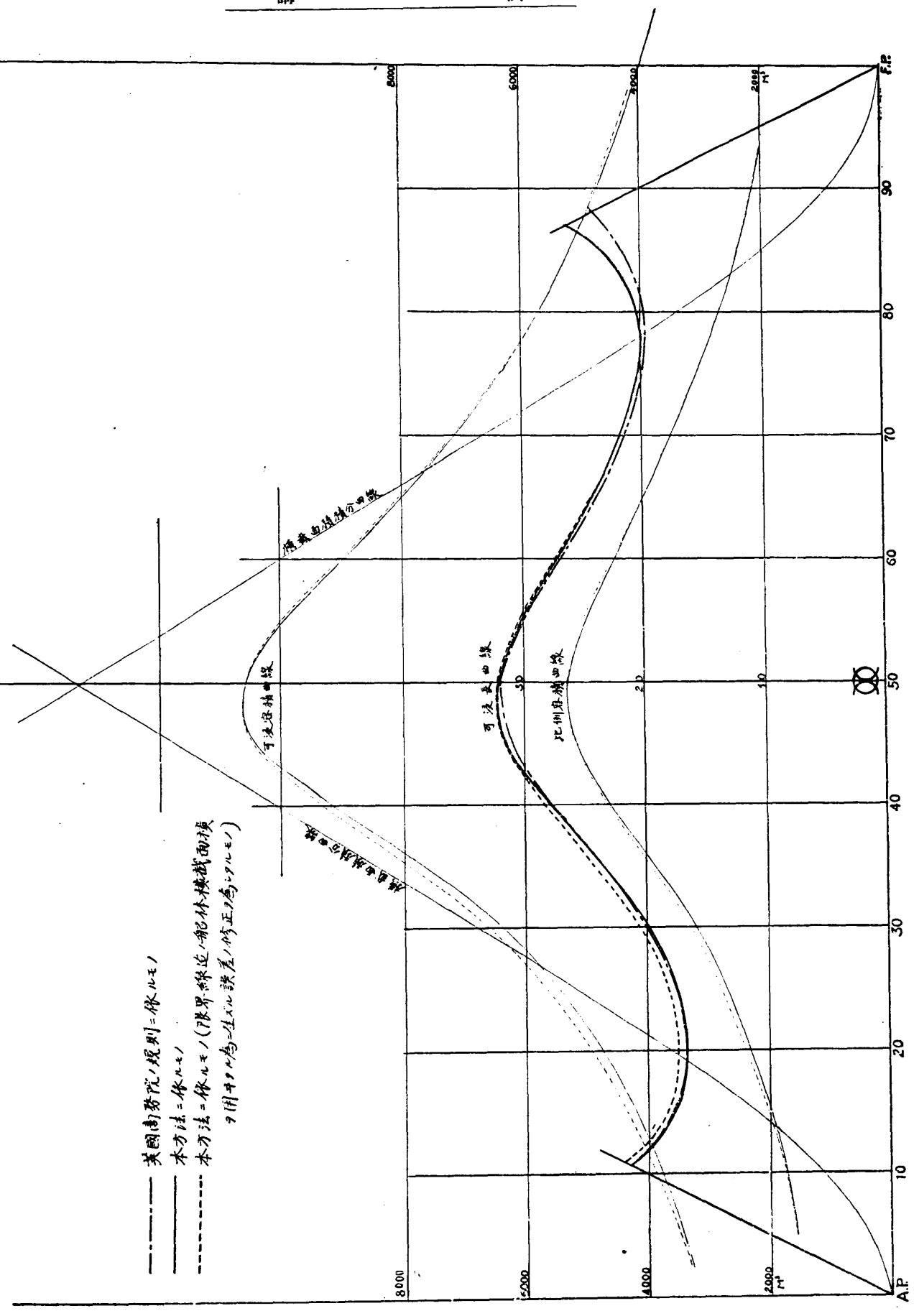
The curves intersect at points labeled P and Q. The angle θ is labeled as $\theta = \arctg z$. The horizontal axis is also labeled with $\frac{l_a}{2}$ and $\frac{l_x}{2}$.

[illegible]

可 浸 長 曲 線

153.924 × 19.507 = 11.278

- 英國商學院規則 = 依此
- 本方法 = 依此
- 本方法 = 依此 (限界線近, 船體橫截面損, 9 用 40 為 2 生 1 誤差, 修正 9 為 20 用)



船舶番號		汽船B丸乾舷計算法							第十五號表	
									區畫滿載吃水線用	
可浸容積の重心の位置の算定										
*1 Lの中央に於て龍骨の上面より限界線迄の深さ	*2 區畫滿載吃水		*3 限界線の後端		*4 後端		*5 前端		*6 前端	
	區畫滿載吃水に於ける排水量		浸水率		前船區域		機關室區域		前船區域	
	D ₀ =8.500		d ₀ =6.700		W ₀ =7830		s _A =1.320		s _F =2.500	
							μ _A =70.25		μ _M =79.22	
							μ _F =63.00			
吃水	8.500	8.400	8.300	8.100	7.900	7.700	7.500	7.300		
排水量 W	10420	10290	10130	9840	9540	9240	8960	8670		
排水量の差 (W-W ₀)	2590	2460	2300	2010	1710	1410	1130	840		
可浸容積 100(W-W ₀) 1.025μ	3600	3420	3190	2790	2370	1960	1570	1170		
立方メートル	3190	3030	2830	2480	2110	1740	1390	1030		
浮力の中心より縦「メタセンター」に至る高さM	4010	3810	3560	3120	2650	2180	1750	1300		
Lの中心より浮上(後方)中心に至る距離	108	108	109	110	111	112	114	115		
Lの中心より浮上(後方)中心に至る距離	1.91	1.83	1.75	1.59	1.45	1.29	1.14	1.00		
Lの中心より浮上(後方)中心に至る距離	0	100	200	400	600	800	1000	1200		
算式 $\delta = \frac{4WM}{L(W-W_0)} \left(\sqrt{s_c + \frac{2sf}{L}} \right)$ に依る計算										
	15.8	16.4	17.5	19.6	22.5	26.7	32.9	43.2		
	.36	.51	.73	.89	1.03	1.15	1.26			
	.05	.04	.04	.03	.03	.03	.02			
	.40	.55	.77	.92	1.06	1.18	1.28			
	1.6	6.6	9.6	15.1	20.7	28.3	38.8	55.3		
	3.5	8.4	11.4	16.7	23.2	29.6	39.9	56.3		
	3.2	7.6	10.5	15.2	20.2	26.5	36.3	51.2		
	46.8	42.4	39.5	34.8	29.8	23.5	13.7	-1.2		
	0	.50	.71	1.00	1.23	1.41	1.58	1.73		
	.08	.08	.07	.07	.06	.05	.05			
	.42	.63	.93	1.16	1.35	1.53	1.68			
	0	6.9	11.0	18.2	26.1	36.0	50.3	72.6		
	-1.9	5.1	9.2	16.6	24.6	34.7	49.2	71.6		
	-1.7	4.6	8.4	15.1	22.4	31.5	44.7	65.1		
	48.3	54.6	58.4	65.1	72.4	81.5	94.7	115.1		
*6 算式 $\delta = \frac{2WM(c+s)}{(W-W_0)(L \pm 2f)}$ に依る計算										
								</		

船舶番號			汽船 A 丸 乾 舷 計 算 表										第 十 五 號 表					
													區畫滿載吃水線用					
可 浸 容 積 の 重 心 の 位 置 の 算 定																		
*1 船の長さ L の中央に於て龍骨の上面より限界線迄の深さ	米		D ₀ = 11.278		*3 限界線の反り	後 端		米		s _A = .988								
						前 端				s _F = 2.515								
*2 區畫滿載吃水	米		d ₀ = 8.687		*3 浸 水 率	後 艙 區 域		%		μ _A = 65.00								
*2 區畫滿載吃水に於ける排水量	噸		W ₀ = 19.300			機 關 室 區 域		%		μ ₁₁ = 85.00								
						前 艙 區 域		%		μ _F = 63.00								
吃 水 米 11.278 11.000 10.750 10.500 10.300 10.100 9.900 9.700 9.500																		
排 水 量 W 噸 26160 25420 24760 24090 23550 23020 22480 21960 21420																		
排水量の差 (W - W ₀) 噸 6860 6120 5460 4790 4250 3720 3180 2660 2120																		
可浸容積 100(W - W ₀) 1.025μ	前 艙 區 域		10300		9190		8200		7190		6380		558		4770		3990	
	機 關 室 區 域		7830		7020		6270		5500		4880		4270		3650		3050	
立方英尺		10620		9480		8460		7420		6580		5760		4920		4120		
浮力の中心より縦「メタセーター」に至る高さ M		米		174		176		178		180		181		183		185		
L の中央より浮泛 (後方) 中心に至る距離 f		米		3.27		3.11		2.97		2.83		2.72		2.62		2.51		
L の中央に於て吃水線より限界線に至る高さ c		米		0		.278		.528		.778		.978		1.178		1.378		
算式 δ = $\frac{4WM}{L(W - W_0)} \left(\sqrt{s_{AC} + \frac{2s_A f}{L}} \right)$ に依る計算																		
17.2 19.0 21.0 23.5 26.1 29.4 34.0 39.9 49.4																		
0 .52 .72 .88 .98 1.08																		
.04 .04 .04 .04 .03 .03																		
.56 .76 .92 1.01 1.11																		
1.4 10.6 16.0 21.6 26.4 32.6																		
4.7 13.7 19.0 24.4 29.1 35.2																		
3.1 8.9 12.3 15.9 18.9 22.9																		
46.9 41.1 37.7 34.1 31.1 27.1																		
0 .84 1.15 1.40 1.57 1.72 1.86 1.99 2.11																		
.10 .10 .09 .09 .08 .08 .08																		
.74 1.05 1.31 1.48 1.63 1.78 1.91 2.03																		
0 14.1 22.1 30.8 38.6 47.9 60.5 76.2 104.2																		
-3.3 11.0 19.1 28.0 35.9 45.3 58.0 73.8 101.9																		
-2.1 7.1 12.4 18.2 23.3 29.4 37.7 48.0 66.2																		
47.9 57.1 62.4 68.2 73.3 79.4 87.7 98.0 116.2																		
算式 δ = $\frac{2WM(c + s)}{(W - W_0)(L \pm 2f)}$ に依る計算																		
2010 2260 2610 3070 3800																		
1.97 2.19 2.37 2.57 2.77																		
148.5 143.7 148.9 149.1 149.3																		
26.7 33.0 41.5 52.9 70.5																		
29.4 35.6 44.0 55.3 72.8																		
19.1 23.1 28.6 35.9 47.3																		
30.9 26.9 21.4 14.1 2.7																		
c + s _F																		
L ± 2f																		
δ _F																		
船の長さの中央より距離 δ _F ± f = d																		
d																		
船尾よりの距離 50 + $\frac{d}{L}$																		

討 論

○會長代理(井口常雄君) 唯今の御講演に對し御質問又は御意見のある方は御述べを願ひます。

○小野暢三君 私は最近此の paper の方法を教へられて應用の機會を得、尙且此處で御講演を拜聴した事を感謝致します。英國の Board of Trade の方法では時間が掛り又計算後に吃水を變更する時等にはまだるつこくて困るが、此の方法では前の計算が應用され、行り直しに便利です。Board of Trade の計算法に對して夫程手数を要せざる簡便法即ち Foster King, Dr. Webster, Dr. Abell, W. J. Lovett 其他の近似法があるが生島君の新しい根本的な本方法とは殆ど計算に要する時間は變らないので此の paper に價值のあるものなる事を認めて感謝致します。

○山本幸男君 國際海上安全會議でも此の方面を擔當せられ、爾來五年間も行つて居られ長い間の御經驗で此の簡易法を組立てられた事を感謝致します。管船局で此の日本特有の良方法を御採用になるとすれば誠に結構の事と思ひます。一言申上げ度いのは第 170 頁 14 行目の日本としては國際航海に従事する旅客船は多數でもない云々と述べられた事ですが、私は國際航海に従事しない旅客船にも船主並に造船所が此の方法に依つて安全を保障し、更に一般貨物船にも運航經濟の許す限り、或る程度の allowable floodable length を求めて出来る丈安全を保障されん事を希望致します。獨逸には貨物船の水密區畫規程があり又 German Lloyd の船名錄には bulkhead の arrangement が記されて居ます。cargo boat に就ても明記して居ます。之は獨り海上安全の見地からのみならず、國防上にも必要な事で、特に政府が助成する船に就ては貨物船にも政府に於て此の點に付き相當の考慮を拂はるゝ様希望する次第であります。

○渡邊惠弘君 一寸御伺ひ致します。第 1 圖で W_1L_1 と WL とが centre of floatation が交はる事は side が vertical でないと Abell 其他の人がやつて居る様に Leclert の correction が必要になります。

○生島莊三君 精確にはさうですが此の方法は approximate ですから neglect したのであります。實用上には此の程度で差支へなからうかと思ひます。(追記参照)

○會長代理(井口常雄君) 他に御發言の方が無い様ですから一言御禮を申上げます。生島君は船の安全と云ふ重大な事に對して行らねばならぬ計算に對し經驗と資料等により、新しくて時間の掛らぬ方法を得られ、且之に對し正確なりとの證明も附加へられた事は、造船家に大いに利益するものと存じます。御講演に對し、諸君と共に拍手を以て感謝の意を表し度いと思ひます。(一同拍手)

追 記

○生島莊三君 本論文に述べた方法は素より近似計算法であるから、理論的に全く精確でないことは勿論であります。而して近似法を採用した主なる點に付ては既に本文に述べて置きましたが、其他

の點でも近似法を用いた點がないではありません。傾斜吃水線 $W'L'$ と計畫吃水線に平行なる吃水線 WL との交點 F を吃水線 WL に於ける浮泛中心なりと認めたことも其一例でありまして、傾斜角 θ は實際の場合餘り大きくないから、此の種の近似計算法としては差支ないものと認めて、特に論及しなかつた次第であります。添加重量と傾斜角度との關係を示す算式中 $\overline{GM}$ を吃水線 WL に於ける縦のメタセンターの高さとした事に付ても同様であります。

然し、浮泛中心の問題に就ては御質問の次第もありますので一應近似法採用の影響を考察して見る事に致します。

Leclert's Theorem に依れば傾斜角度 θ が比較的小なる場合に於ては浮泛中心の軌跡は圓弧線を成すものであつて、其半徑 r は下の算式を以て表はされます。

$$r = \frac{dI}{dV}$$

式中 dI は計畫吃水線に平行なる吃水線 WL に於ける排水容積 dV の増減に對する縦慣性能率の増減であります。依つて吃水線 WL と $W'L'$ との交點は吃水線 WL に於ける浮泛中心より傾斜の方向に $r \times \tan \frac{\theta}{2}$ だけ移動する事になります。従つて本論文に述べた各算式中 f の代りに下の算式にて示す f' を採用すれば此の點に關する修正が出来るのであります。

$$f' = f \mp (r \times \tan \frac{\theta}{2})$$

本論文に例示した汽船 A 丸に就て大略此の計算を行つて見ますと r の値は約 100 メートル(船の長さ L の約 20%)となり、 $(r \times \tan \frac{\theta}{2})$ は L の約 0.7% に達する場合がありますが、可浸長への影響は L の約 0.5% に止まる様に思はれます。而も此の結果は可浸長が大きくなるのでありますから、修正なしの近似法採用の誤差は安全の側に在るのであります。