(昭和22年5月17日造船協會春季講演會に於て講演)

可展面の中速船船體外板への應用

正員 工學士 木下昌雄*

准員 工學士 田中秀雄**

Abstract

Application of the Developable Surface to a Part of the Shell Plating of a Moderate Speed Vessel.

By Masao Kinoshita, *Kogakushi, Member*, and Hideo Tanaka, *Kogakushi, Associate Member*.

Aiming at the simplification of the process in working-up the shell plating of a vessel, the authors investigate the possibility in applying the developable surface—especially the tangent surface—to the forward and after parts of the shell plating, and succeed in obtaining a general method to get proper lines of a simplified hull form satisfying requirements in W.L. and prismatic curves for the loaded condition. Such a new simplified hull form is expected not only to save time, labour and cost in shipbuilding but also to keep excellent characters in resistance, propulsion and seaworthiness. An example of such a simplified hull form and the results of towing experiments at the model basin are shown in detail.

第一章 序 論

船體は一般に非常に複雑微妙な形状をしているので、従来種々の方法で工事簡易化の努力が拂われて來た。殊に戦時中の急速大量建造に當つてはそれが特に著しく、又相當進歩もしたが、熔接法が今日の様に發達していなかつた爲に、肋骨・梁及び肋板等に關する所謂撓鐵工事が、全般的な隘路であつた當時の状態の當然の結果として、従來の簡易船型と言へば、之等の形の直線化又は單純曲線化(圓弧又は橢圓弧等)⁽¹⁾であり、body planを見れば如何にも簡單の様であるが、その實外板の一部に甚しい振れを生じたり、一本

の肋骨に沿つての bevel の變化が大きかつたりして、實際には思つた程簡易化されぬ事が多く、⁽²⁾ 又出來上つた船は、抵抗推進性能や耐航性能等の上に著しい劣悪化を見せた例が多かつた様である。

著者等は専ら外板の工事簡易化に著目し、振れや二重曲率の甚しい部分を適當な可展面で置換えて、所謂“叩き出し”等の面倒な工事を省き、外板の成形は専ら所定の母線に従つて順次に press する事のみに依つて得られる様な方式で、然も得られた線圖は優速船にも充分適當した fair lines である様な新しい簡易船型に就て研究した。

簡易船型と云へば、單に戦時中のみに必要であるかの様に思われているが、かゝる中速以上の船の簡易船型は、船質を落し得ず而も工數節約を必要とする平時特に敗戦後の我國造船界に於ては、戦時以上に必要なものであると信ずる。又、斯様な可展面型船型は、木船や合板船建造に當つても一應考慮せねばならないものと考えられる。

第二章 可展面

一般に曲面を次の様に分類する事が出来る。

茲に可展面とは、之を伸縮する事無く平面に展開出来る曲面であり、線織面とは直線の運動によつて生ずる曲面をいう。従つて線織面にはその面上の一點に於ける母線は少くとも一つ存在するが、複曲面はその様な直線母線を有せず、その切平面には一點で切する。今問題とするのは、可展面中の切線面であるが、之は

* 運輸省鐵道技術研究所囑託(第7部)

** 三菱重工業株式會社神戸造船所技師見習

空間曲線の切線をその直線母線とする様な線織面である。一般に普通船型は大部分自然面であり、之を可展面で置換えようとするは、簡単な特別の場合としては柱面及び錐面が考えられ、實際之等と平面との組合せで相當良好な船型が得られる事も著者の一人及び渡邊工學士に依つて實證されたのであるが、⁽³⁾ 茲では所謂狹義の切線面のみを研究の對象とする事にする。

次に切線面が可展面である事を證明する。

一般に直線の方程式

$$x = az + a, \quad y = bz + \beta \dots\dots\dots (2.1)$$

に於て、 a, b, a 及び β が單一な補助變數 t の函數である時、二つの方程式から t を消去する事が出来る。その結果 t の變動につれて此の直線によつて生ずる曲面を表わす方程式を得る。之即ち線織面である。補助變數の二値 $t, t + \delta t$ に應ずる二つの母線の方程式は次の様になる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{x-a}{a} = \frac{y-\beta}{b} = z \\ \frac{x-a-\delta a}{a+\delta a} = \frac{y-\beta-\delta \beta}{b+\delta b} = z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

d を此の二母線間の最短距離とすれば

$$d = \frac{\delta a \delta b - \delta \beta \delta a}{\sqrt{(\delta a)^2 + (\delta b)^2 - (\delta a \delta b - \delta \beta \delta a)^2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

且、

$$a + \delta a = a + a' \delta t + a'' \frac{(\delta t)^2}{2} + \dots\dots$$

等と書けるから、 δt を微量と考へその 3 乗以上を省略して

$$d = \frac{(a'b' - \beta'a')\delta t + (a'b'' + a''b' - a'\beta'' - a''\beta')(\delta t)^2/2}{\sqrt{a'^2 + b'^2 + (a'b' - a'\beta')^2 + (a'a'' + \dots\dots)\delta t}} \dots\dots\dots (2.3')$$

を得る。之によつて

$$a'b' - \beta'a' \neq 0$$

の場合は d は δt と同位の微量であるが、若し

$$a'b' - \beta'a' = 0$$

であれば、同時に又

$$a'b'' + a''b' - a'\beta'' - a''\beta' = 0$$

であるから、 d は δt に就て 3 次又はそれ以上の微量となり、 δt が極めて小さい時は

$$d = 0$$

と見做し得る。即ち相隣れる二母線は交わる。曲面の相隣れる母線 A 及 B, B 及 C が互に相交わる時には、B 及 C で決定される平面はそれが A 及 B で決定される平面と一致する迄母線 B の周りに回轉する事が出来る。斯くて全曲面は順次母線の周りに回轉する事に依つて、一平面に展開する事が出来るわけである。

次に

$$\left. \begin{aligned} \frac{x-a}{a} = \frac{y-\beta}{b} = z \\ \frac{x-a-a'\delta t}{a+a'\delta t} = \frac{y-\beta-\beta'\delta t}{b+b'\delta t} = z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.4)$$

が可展面の隣接した二本の母線を表わす時には、之等の交點は一つの補助變數 t を以て表わされるから、相隣接した母線の交點の軌跡は一つの曲線である事が判る。又更にこの空間曲線の式から切線の式を作つて見れば、その點を通る母線の式に歸し、結局切線面が可展面である事が判るのである。⁽⁴⁾

任意の空間曲線を

$$\left. \begin{aligned} x = F_1(y) \\ z = F_2(y) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.5)$$

で表わすとすれば、

$$y = f_2(t)$$

と置き、 t を補助變數とすれば、(2.5) 式は、

$$x = f_1(t), \quad y = f_2(t), \quad z = f_3(t) \dots\dots\dots (2.6)$$

となる。之の任意の一點(t)に於ける切線の方程式は

$$\frac{X-f_1(t)}{f_1'(t)} = \frac{Y-f_2(t)}{f_2'(t)} = \frac{Z-f_3(t)}{f_3'(t)} \dots\dots (2.7)$$

となり、之から t を消去すれば切線面の方程式となる。

第三章 切線面の船體外板への應用

〔Ⅲ—1〕 研究方針

(1) 可展面の應用が特に必要と認められるのは、垂線間を 10 等分した場合に、船尾部分では A. P. 附近から Sq. St. No. 1 $\frac{1}{2}$ 附近迄、船首部分では Sq. St. No. 9 附近より前方の部分と考えられるので、この兩者をとり夫々別箇に考慮の對象とした。

(2) 普通船型の上記兩部分の形に成る可く類似した形の切線面を得る様な空間曲線を探し、之を基としてその曲線を表わす式の中に含まれる諸常數を變化せしめて、その切線面形狀に及ぼす影響を調査した。

(3) 比較の對象として或る普通船型を考え、之と L. W. L. 及び prismatic curve を略々等しくする様な可展面船型を表わす爲の前記諸常數を決定する方法を見出した。

〔Ⅲ—2〕 船尾部分

§ 1. 概 論

記述を簡單にする爲にこの部分の可展面の應用法の概要を第 1 圖に表わした。坐標軸の採方も同圖中に示す通りとする。以下空間曲線の満足すべき條件を研究した結果を記す。

第 1 圖

- 1) 各水線が船尾部分から中央平行部に fair に移る爲には

$$x = F_1(y)$$

なる (2.5) 式の函数は、その對應する處で曲率零にならねばならぬ。斯様な點を簡單に得るには餘弦曲線の變曲點を用い、そこから先の中央平行部に對應する部分は直線を接續せしめれば無理なく行く。

- 2) 各水線が A. P. 附近で船體中心線に切し込む様にするには

$$z = F_3(y)$$

なる曲線は z 軸に切する事が必要である。

- 3) 上記の $x = F_1(y)$ なる餘弦曲線の極値が x 軸上で生ずる様にし、略、 x 軸を propeller post に一致せしめると上の部分の水線が具合よく行く事が分つた。(第2圖)

- 4) 色々作圖してみると、船尾肋骨線形狀を普通船形に成る可く近からしめる爲には結局

$$z = F_3(y)$$

なる曲線としては楕圓が適している事が判つた。

他にも更に適當な曲線がある事は想像されるが、一應この部分に適した空間曲線としては

$$\begin{cases} x = c \cos \frac{\pi}{l} y \dots (3.2.1) \\ z = \frac{b}{a} \sqrt{2ay - y^2} \dots (3.2.2) \end{cases}$$

を選ぶ事にする。(第2圖参照)

第1圖の様に坐標軸をとつたから、

$$z = \text{一定}$$

なる水平面は水線面を表わし、

$$y = \text{一定}$$

なる鉛直面は船體横截面を表わす

第3圖に於て、

$$z = h \quad (h > 0)$$

を L. W. L. とし、

$$z = k \quad (k > 0)$$

を可展面で形成されるべき部分の最高水線として之を A. W. L. と名付ける。

$$z = 0$$

は L. W. L. と基線との間にある任意の W. L. である。

$$y = -m \quad (m > 0)$$

を square station No. 1 なる横截面とし、

$$y = 0$$

は前述の如く propeller post の位置とするが、一般には Sq. St. No. 1/4 と一致せしめて差支ない。之によつて A. P. 及び Sq. St. No. 1 の位置は夫々

$$y = \frac{L}{40}, \quad y = -m = -\frac{3}{40} L$$

となる。 yz 平面に於ける $y = 0$ 附近の形は大體 propeller post から counter に變遷する部分の形狀を表わしている。尙 (3.2.1) 式から判る様に變曲點(直線と餘弦曲線との接續點)は $y = \frac{l}{2}$ である。

次に與えられた L. W. L. となる爲の條件としては
(第3圖)

a) A. W. L. が定點 S を通る。即ち空間曲線の $y = \frac{l}{2}$ に於ける切線が點 $(x_s, -m, k)$ を通る。但し S の位置は與えられた L. W. L. 上の點 T を L. W. L. が通る様に調節推定する。

b) L. W. L. が定點 R を通る。即ち $y = y_Q$ に於ける切線が $(x_R, 0, h)$ なる點を通る。

以上によつて L. W. L. 及びその附近の形状が與えられたものに略々一致させる事が出来る。要するに (3.2.1), (3.2.2) 兩式に於て,

$$\begin{cases} x_s - c, x_R - c, m \cdots \cdots \text{既 知} \\ l, h, k \cdots \cdots \text{基本可變常數} \\ a, b, c; y_Q (\text{補助的}) \cdots \cdots \text{未 知} \end{cases}$$

但し a, b は夫々橢圓曲線の長徑及び短徑の半分, c, l は夫々餘弦曲線の振幅及び波長である。こゝで l, h, k を適當に定めて計算し、又之等を種々變化させる事によつて, prismatic curve を變化させ所要のものに一致させるのである。

§ 2. 常數 a, b, c 及 y_Q の決定

空間曲線の平面圖への射影は

$$x = c \cos \frac{\pi}{l} y, \quad 0 \leq y \leq \frac{l}{2} \quad (\text{前掲}) \quad \cdots \cdots (3.2.1)$$

この曲線上の任意の點 (x, y) に於ける切線の方程式は

$$X = c \cos \frac{\pi}{l} y - \frac{c\pi}{l} (Y - y) \sin \frac{\pi}{l} y \quad \cdots \cdots (3.2.3)$$

空間曲線の立面圖への射影は,

$$z = \frac{b}{a} \sqrt{2ay - y^2}, \quad 0 \leq y \leq a \quad (\text{前掲}) \quad \cdots \cdots (3.2.2)$$

この曲線上の任意の點 (y, z) に於ける切線の方程式は,

$$\begin{aligned} Z &= \frac{b}{a} \sqrt{2ay - y^2} \\ &+ \frac{b}{a} \frac{a - y}{\sqrt{2ay - y^2}} (Y - y) \quad \cdots \cdots (3.2.4) \end{aligned}$$

條件 a) に依つて (3.2.3) 式より次の式を得る。

$$c = \frac{x_s - c}{\pi \left(\frac{m}{l} + \frac{1}{2} \right) - 1} \quad \cdots \cdots (3.2.5)$$

茲に於て $x_s - c, l, m$ は既知である故之から c を得る。

條件 b) に依つて (3.2.4) 式より次式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{l} y_Q \sin \frac{\pi}{l} y_Q + \cos \frac{\pi}{l} y_Q - 1 \\ - \frac{x_R - c}{c} = 0 \quad \cdots \cdots (3.2.6) \end{aligned}$$

上式から y_Q が求められる。

條件 a) に依つて (3.2.4) 式から次式を得る。

$$ak \sqrt{al - \frac{l^2}{4}} = b \left(\frac{al}{2} - am + \frac{lm}{2} \right) \quad \cdots \cdots (3.2.7)$$

條件 b) に依つて (3.2.4) 式から

$$h \sqrt{2ay_Q - y_Q^2} = b y_Q \quad \cdots \cdots (3.2.8)$$

(3.2.7) 及び (3.2.8) 兩式から

$$\begin{aligned} \{4l y_Q k^2 - 2h^2 (l - 2m)^2\} a^3 + \{-l^2 y_Q k^2 \\ + y_Q h^2 (l - 2m)^2 - 4l m h^2 (l - 2m)\} a^2 \\ + \{2l m y_Q h^2 (l - 2m) - 2l^2 m^2 h^2\} a \\ + l^2 m^2 y_Q h^2 = 0 \quad \cdots \cdots (3.2.9) \end{aligned}$$

上式から a が三次方程式の根として得られる。従つて (3.2.9) 式より次の如く b が得られる。

$$b = h \sqrt{\frac{2a}{y_Q} - 1} \quad \cdots \cdots (3.2.10)$$

尙第3圖から明かな様に, $a > \frac{l}{2}$, $b > k$ なる関係があるが, 研究の結果この爲には次の條件が必要である事が判つた。

$$\begin{aligned} l &> \frac{\pi m}{\frac{x_s - c}{x_R - c} (\Gamma \sin \Gamma + \cos \Gamma - 1) - 0.5708}, \\ \Gamma &= \frac{\pi h^2}{h^2 + k^2} \quad \cdots \cdots (3.2.11) \end{aligned}$$

§ 3. OFF SET の計算

空間曲線を決定した場合、之に對應する展開面の half breadth plan 及び body plan はその切線を無數に作つて圖式に求める事も出来るが、面倒且不正確であるから、直接計算で各 W. L. の半幅を求める方が有利である。

t を parameter として船尾部分の空間曲線を表わせば,

$$\begin{cases} x = c \cos \frac{\pi}{l} t = f_1(t) \\ y = t = f_2(t) \\ z = \frac{b}{a} \sqrt{2at - t^2} = f_3(t) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} f_1'(t) &= -\frac{c\pi}{l} \sin \frac{\pi}{l} t \\ \therefore f_2'(t) &= 1 \\ f_3'(t) &= \frac{b}{a} \frac{a - t}{\sqrt{2at - t^2}} \end{aligned}$$

故に切線の方程式は

$$X = c \cos \frac{\pi}{l} t - \frac{c\pi}{l} (Y - t) \sin \frac{\pi}{l} t \quad \cdots \cdots (3.2.12)$$

$$Z = \frac{b}{a} \sqrt{2at - t^2} + \frac{b}{a} \frac{a - t}{\sqrt{2at - t^2}} (Y - t) \quad \cdots \cdots (3.2.13)$$

$$\beta = \frac{\xi}{l-1 \{ \lambda (s+l) - l \}} \dots\dots\dots (3.3.8)$$

以上の諸式によつてこの順番に諸常数が決定する。

§ 3. OFF SET の計算

船尾部分と同様にして切線面の方程式は次の様になる

$$\begin{cases} X = \lambda \beta Y t^{l-1} - (\lambda-1) \beta t^l \dots\dots\dots (3.3.9) \\ t^3 - \frac{3}{2} (Y+l) t^2 + 3 l Y t + \frac{l^2}{2} (l-3Y) \\ - \frac{Z}{2p} = 0 \dots\dots\dots 3.3.10 \end{cases}$$

(3.3.10) 式から $Y = \text{const.}$, $Z = \text{const.}$ に対する t の値が得られ、夫を (3.3.9) 式に代入すればその Sq. St., その W.L. に於ける半幅が得られる。尚 $0 \leq t \leq l$ に適する t を與える式は (3.3.10) 式を解いて次の如く得られる。

$$t = (Y-l) \cos \left(\frac{u}{3} + 240^\circ \right) + \frac{Y+l}{2},$$

$$u = \cos^{-1} \left\{ \frac{Z}{p} \frac{2}{(Y-l)^3} + 1 \right\} \dots\dots\dots (3.3.10)$$

第四章 可展面應用の實例

比較の標準となる普通船型としては C 型平時標準船を母型とし之に 30% $Lp.p.$ の中央平行部を加えたものを選ぶ。可展面應用船型と前者とは L.W.L. 及び

満載状態の prismatic curve を略々同一ならしめ、主要要目は次の如くする。

$$L p p = 250 \text{ cm}$$

$$B_{M.L.D} = 37.10 \text{ cm}$$

$$\text{FULL LOADED DRAUGHT} = 9.18 \text{ cm}$$

$$\text{LIGHT DRAUGHT} = 9.18 \text{ cm}$$

可展面應用範圍 $\begin{cases} \text{船尾部分} \cdots \text{A.P.} \sim \text{Sq. St. No. 1}^{1/2} \\ \text{船首部分} \cdots \text{Sq. St. No. 9} \sim \text{F.P.} \end{cases}$

[IV-1] 船尾部分

既知常数は普通船型より推定し又は與えられたりして決定し、基本可變常数を適當に定め (3.2.5) 乃至 (3.2.10) 式に依つて曲線を決定し、(3.2.14) 式及び (3.2.15) 式から off set を算出するのであるが、機械的計算が非常に多いので、計算表によつて計算をする事にする。(以下寸法の單位はすべて cm とする。)

既知常數 $\cdots x_s - c = 14.25$ (推定)

$x_R - c = 5.00$ (與えられた L.W.L. より決定)

$m = 13.75$ (Sq. St. No. $1/4 \sim 1$ の距離)

基本可變常數 $\cdots h = 13.52$, $k = 20.28$

(3.2.11) 式より $l > 126.54$ 従つて一應 $l = 129$ とする。

l	A	B	C	c	D
	m/l	$A+0.5$	$\pi B-1$	$\frac{x_s-c}{C}$	$\frac{x_R-c}{c} + 1$
129	0.14535	0.64535	1.0274	13.870	1.3605

π/l	$180/l$	$c\pi/l$	$l/4$	$y_Q/2$	h^2	k^2	$l-2m$	$(l-2m)^2$	l^2	m^2
0.024553	1.3953	0.33778	32.25	19.7	182.79	411.28	91.5	8372.25	16641	351.5625

y_Q	E	E'	F	G	H	I
	π/y_Q	$\frac{180^\circ}{l} y_Q$	$\sin E'$	$\cos E'$	$E \cdot F$	$G+H-D$
38	0.9524	$53^\circ 1'$	0.7938	0.6016	0.7392	-0.0197
40	0.9741	$55^\circ 49'$	0.8272	0.5618	0.8053	+0.0071
42	1.0223	$58^\circ 36'$	0.8536	0.5210	0.873	+0.0335

$\rightarrow y_Q = 39.4$

ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8
$4l y_Q k^2$	$\frac{l}{4} \phi_1$	$\frac{2h^2}{2} \times (l-2m)^2$	$\frac{y_Q}{2} \phi_3$	$\frac{4lmh^2}{2} \times (l-2m)$	$\frac{y_Q}{2} \phi_5$	$2l^2 m^2 h^2$	$\frac{y_Q}{2} \phi_7$
8,361,487,269,657,956	3,060,727	60,296,322	161,817,132	3,187,797,500	2,158,771,520	42,133,798,944	

Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4	π_1	π_2	π_3	J	K	L
$\phi_1-\phi_3$	$-\phi_2+\phi_4-\phi_5$	$\phi_6-\phi_7$	ϕ_8	Ω_2/Ω_1	Ω_3/Ω_1	Ω_4/Ω_1	$\pi_1/3$	$\pi_2/3$	$\pi_2/2$
5,300,760	-371,178,766	1,049,025,930	42,133,798,944	-70,024	197,90	7948.6	-23,341	65.97	98.95

M	p	q	N	0	u	P	Q	a	R	b		
$\pi_3/2$	$-J^2+K$	$\frac{J^3-J}{L+M}$	p^3+q^2	$\sqrt{-p}$	$q/p\sqrt{-p}$	$\cos^{-1}O$	$u/3$	$\cos u/3$	$2P\sqrt{-p}$	$Q-J$	$2a/ya-1$	$h\sqrt{R}$
3974.3	-478.83	-6432	負	21.88	0.6139	52°8′	17°23′	0.9543	41.76	65.101	2.3046	20.523

即ち、 $a=65.101$ 、 $b=20.525$ 、 $c=13.870$ が先ず決定される。

以上で空間曲線の諸常数が決定したから、次に (3.2.14) 式及び (3.2.15) 式により off set を計算する。

Sq. St.	Y	ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク
		Y^2	a^2	b^2	$a - Y$	$エ^2$	$ウ \cdot オ$	$Y \cdot ウ \cdot エ$	$ア \cdot イ \cdot ウ$
A. P.	+6.25	39.06	4238.1	421.19	58.851	3463.4	1,458,749	+154,922	69,723,871
$1/4$	0	0	4238.1	421.19	65.101	4238.1	1,785,045	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

A. P. (Y=6.25)

W. L.	Z	Z^2	ケ	コ	サ	シ	ス	セ	ソ	タ
			$イ \cdot Z^2$	カ+ケ	キーケ	$\frac{a \times \text{サ}}{\text{コ}}$	$シ^2$	ク/コ	スーセ	$\sqrt{\text{ソ}}$
-2	20.28	411.28	1,745,046	3,201,795	-1,588,124	-32.29	1042.64	21.78	1020.86	31.95
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

* t	チ	ツ	テ	ト	ナ	ニ	X-c	W. L. 半幅	W. L.
±ターシ	$\frac{180^\circ}{l} t$	sinチ	cosチ	Y-t	$\frac{c\pi}{l} \text{ト} \cdot \text{ツ}$	c・テ	ニーナーc	$\frac{W. L. (X-c)}{+0.2}$	
64.24	89°38'	1.0000	0.0064	-57.99	-19.59	0.09	5.81	6.01	-2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

square station No. $1/4$ 其他も計算表としては A. のものである。

P. の場合と同様である。*t に就ては下の如き条件がある。

$Z > 0$ なる時は $t = + \text{ターシ}$

$Z < 0$ " " $t = - \text{ターシ}$

$Z = 0$ " " $t = - \text{シ}$ (タ=0となる)

[IV-2] 船首部分

既知常数... d (load draught)=16.9

$c=16.5$ (推定)

$s=37.5$ (Sq. St. No. $3 1/2 \sim$ F. P. の距離)

尚「W. L. 半幅」は X-c に船尾材の厚さを加算した

基本可變常数... $l=200$, $\xi=21.0$

l	p		B	C	D	E	u	v ₁	v	F	G	H	k
	l ³	d/A	s+l	l/B	C ³	2D-1	cos ⁻¹ E	u/3	v ₁ + 240°	cos v ₃	B·F	s-l/2	G -H
200 8, 000, 000	0, 000, 002115	237.50	0.8421	0.59716	0.1943	78° 48'	26° 16'	266° 16'	-0.0651	-15.46	-81.25	65.79	

λ	I	J	K	L	M	N	O	P
	l/k	$l^{\lambda-1}$	$s+k$	$\lambda K-k$	$\lambda B-l$	$J \cdot M/L$	ξ/c	$N-O$
1.2	3.04	1.249	103.29	58.16	85.00	1.613	1.273	+ 0.340
1.1	"	1.118	"	47.83	61.45	1.438	"	+ 0.165
1.0	"	1.000	"	37.50	37.50	1.000	"	- 0.273

$\rightarrow \lambda = 1.06$

Q	R	β		
l^{-1}	$\lambda B - l$	$\xi/Q \cdot R$	$\lambda\beta$	$(\lambda-1)\beta$
1.374	51.75	0.295	0.3125	0.01770

故に, $p=0.000002115$, $\beta=0.295$, $\lambda=1.06$, $k=65.79$ となる。

Sp. St.	Y	S	T	V	W
		$Y-l$	S^3	$(Y+l)/2$	$\lambda\beta Y$
$8\frac{1}{2}$	0	-200	-8,000,000	100	0
9	-12.5	-212.5	-9,595,700	93.75	-3.91
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Square Station 9 ($Y=-12.5$)

W.L.	Z	U	$\mathcal{T}$	$\mathcal{I}$	u	v_1	v_3	ψ
		$Z \cdot P$	$2U/T$	$\mathcal{T}+1$	$\cos^{-1}\mathcal{I}$	$u/3$	v_1+240°	$\cos v_3$
L. W. L.	16.90	8,000,000	-1.6674	-0.6674	$131^\circ 52'$	$43^\circ 57'$	$283^\circ 57'$	0.2411
1	13.52	6,400,000	-1.3339	-0.3339	$109^\circ 31'$	$36^\circ 30'$	$276^\circ 30'$	0.1132
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

エ	t	ケ	コ	サ	ース	セ	X	W.L. 半幅	W.L.
$S \cdot \psi$	$\mathcal{E}+V$	$\log t$	$\lambda \text{ ケ}$	$\text{anti log } \mathcal{C}$	$\frac{W \cdot \text{サ}}{\mathcal{K}}$	$(\lambda-1) \cdot \beta$	スーセ	$X+c$	
-51.23	42.52	1.6286	1.7263	53.25	-4.90	0.94	-5.84	10.66	L.W.L.
-24.06	69.69	1.8432	1.9533	89.91	-5.05	1.59	-6.64	9.86	1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

他の Sq. St., 他の W.L. も同様にして計算出来る。

[IV-3] 結果

以上によつて Sq. St. No. $1\frac{1}{2}$ ~ A.P. 及び Sq. St. No. 9 ~ F.P. の -2W.L. 以下の各水線面の半幅が計算出来たが、之によつて第5圖の様な線圖を得た。こ

の中肋骨線 A ~ $1\frac{1}{2}$ 及び 9 ~ F.P. が可展面による肋骨線であるが、上記計算のままで行くと點線の如くなる所を、實用的見地から下部は錐面を用いて實線の如く修正し、Sq. St. $1\frac{1}{2}$ の上部は中央部に fair に接續させる爲に適當に直したものである。之と比較すべき普通船型は第6圖である。

(第5圖) D. S. Ⅱ MODEL - 例
 $\sigma^2 \text{Sec} = \mathcal{E} \cdot \mathcal{C} \cdot \mathcal{I} = \sigma^2 \text{Sec} (4)$

〔IV—4〕 基本可變常數の Prismatic Curve に及ぼす影響

船尾部分に對する l, h, k , 船首部分に對する l, ξ の變化が prismatic curve に及ぼす影響に關しては、數學的に表わす事は困難であるから、下表に示す様な數通りの場合に就て實際に off set を求め、然る後に prismatic curve を描き、之と常數との關係を實際的に曲線に表わした。

船尾部分は：—

① $m=18.75$,	$h=13.52$,	$k=20.28$,	
	$l=129 (>126.54)$	1.946%	
② $m=18.75$,	$h=13.52$,	$k=20.28$,	
	$l=125 (>104.5)$	19.62%	
③ $m=6.25$,	$h=10.14$,	$k=16.90$,	
	$l=125 (<111)$	12.62%	
④ $m=6.25$,	$h=10.14$,	$k=16.90$,	
	$l=500 (>111)$	350%	
⑤ $m=18.75$,	$h=10.14$,	$k=16.90$,	
	$l=200 (>179.5)$	11.42%	
⑥ $m=31.25$,	$h=13.52$,	$k=20.28$,	
	$l=150 (>127.1)$	18.02%	

(% は l の最小値よりの超過割合を示す)

船首部分は：—

① $l=200$,	$\xi=22.0$ ($c=16.5$)
② $l=200$,	$\xi=22.3$ ($c=16.5$)
③ $l=200$,	$\xi=24.0$ ($c=16.5$)
④ $l=20$,	$\xi=20.0$ ($c=15.1$)
⑤ $l=20$,	$\xi=25.3$ ($c=15.1$)
⑥ $l=30$,	$\xi=20.4$ ($c=15.5$)
⑦ $l=60$,	$\xi=20.9$ ($c=16.0$)
⑧ $l=200$,	$\xi=22.0$ ($c=17.0$)

之の結果は第7圖 a 及び b に示す通りである。要するに船尾部分では h の影響が極めて大きく、prismatic curve を與えられたものに合せるのには、大體の所をこの h を用い、その後の細かい所を l に依つて修正をするのがよい事が判る。

第7圖 (a)
船尾部分

第7圖 (b)
船首部分

船首部分では $\xi-c$ の値が大きいく程、船首の prismatic curve は fine になる。 l の變化は prismatic curve には大きな響形はないが、frame line の形を變化させるのに役立つ。

第五章 抵抗比較試験結果及び結論

前章に掲げた二つの線圖によつて模型を作り、東京帝大第一工学部船型試験水槽に於て抵抗試験を行つたその要目は次の通りである。

項 目	可展面船型		普通船型	
状 態	満載状態	公試状態	満載状態	公試状態
排水量(kg)	116.15	60.0	116.156	59.995
L_{pp} (cm)	250.0	250.0	250.0	250.0
B (cm)	37.1	37.1	37.1	37.1
d (cm)	16.9	9.18	16.9	9.18
浸水面積 (cm^2)	14015	10060	14083	10080
C_p	0.738		0.738	

實驗結果は $V/\sqrt{L}(m)/s/\sqrt{m}$ に對する排水量1噸當りの剩餘抵抗 (R/Δ) の形で纏め第8圖及び第9圖に示した。尙お兩方の模型の prismatic curve と L.W.L. は第10圖に示す通りである。

この際摩擦抵抗の値は水温の變化を考慮した R.E.

第8圖
普通船型、可展面船型、
排水量1噸當りの剩餘抵抗比較圖
(満載状態)

第9圖
普通船型、可展面船型、
排水量1噸當りの剩餘抵抗比較圖
(公試状態)

第10圖
普通船型、可展面船型、
PRISMATIC CURVE & L.W.L. 比較圖
—— 普通船型
- - - - 可展面船型

Froude 氏の式を使つて計算した。即ち

$$R_f = \sigma \lambda \{1 + 0.0043 (15 - t)\} S V^{1.825}$$

R_f : 摩擦抵抗 (kg)

σ : 流體の比重

λ : 係數 ($L=2.500m$ に對しては $\lambda=0.1902$)

t : 流體の溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

S : 浸水面積 (m^2)

V : 模型の速度 (m/sec.)

公試状態は L.W.L. 及び prismatic curve が共に異なる爲、比較の對象にはならないが、満載状態では普通船型に比し、可展面船型は優るとも劣らぬ成績を示している。従つて抵抗の面から考えても、平時の中速以上の船に充分應用出来るものと信ずる。尙お参考迄にこの實驗に用いた可展面船型の模型の、主として可展面の部分を寫眞に撮影して掲げておいた。第11及び第12圖)。

Prismatic curve を描くに當り、可展面部分は數學的に表わされているから、この部分は横截面積も數學的に出て来る筈であるが、事實やつて見ると反つて非常に計算が厄介で實用的でない事が判つたので之は從來の方法に依る事とした。

又この船型の場合の特別な外板展開法も研究したが之にはまだ研究の餘地があり、紙數制限の關係もあつて省略する事にする。

第11圖

第 12 圖

以上で切線面を船體外板に應用する一方法に就いて述べたのであるが、空間曲線にしても他に適當なものもあろうし、應用さるべき船體部分にしてももつと擴張出来るようになるかも知れない。又中央平行部から首尾へ移る肩の部分に應用する方法も考えて見たが、時間の關係で發表出来る迄に至らなかつた。

外板加工に對する工事簡易化、線圖作成にあたりその *fairing* の輕減、外板展開の簡易化、*girth length* や *wetted area* の數學的計算の可能性等、相當利點多く而も抵抗の方から見ても普通船型に比し遜色がないのであるから、更に今後の研究によつては平時簡易船型の現想的なものと爲し得ると思われる。未だ參考文獻も殆どなく、全く初期の研究である爲今回は切線面を數學的分野から抽出して船體に應用する方法と言う事に主眼を置き、抵抗實驗は全く從とした。従つてこの點には尙遺憾な點も多く不充分でもあるが、之は今後の研究に譲る事にする。(以上)

参 考 文 献

- (1) 例えば 小野暢三 "Two Patent Systems of Simplified Hull Form" 造船協會會報, 第 63 號, 昭和 13 年 12 月. p. 190-212.
- (2) 例えば A. M. Robb "Straight-Frame Ships" Discussion. Trans. of I. E. & S. B. in Scot. Vol. LXVIII, 1924-1925. p. 313-361.
- (3) 木下昌雄・渡邊恭二 "展開曲面を外板に應用した比較的優速船用の簡易船型の一・二の例に就いて" 昭和 20 年 1 月.
- (4) 例えば 窪田忠彦著 "微分幾何學" 岩波書店.

討 論

○重川 涉君 今までの簡易船型では double curv-

ature をもたせていないことは勿論 single curvature も持たせないのそこに parallel body のよきを出していたと思います。この body plan で普通型と比較すると、どこが簡易型か分かりません。寧ろ普通型に似た可展面を求めていると思います。次に speed-length ratio が 0.83 で 20% も抵抗が減少するとありますが、之は可成高速で普通の商船では現在考えられませんので、斯かるものを中速船と言うかどうか問題ですが designed speed range 外の比較で直ちに其の速度に適している船型と言うことが出来るかどうか疑問だと思ひます。

○木下昌雄君 speed-length ratio の 0.83 は V は m/sec , L は m 單位でありますから之を $ft-knot$ 單位で表わすと、0.95 位になります。従つて超高速と言う程度ではなく稍高速位だと思います。この論文で中速船と言われて居りますのはそう判然とした定義を考えたものでなく、例えば驅逐艦の様なものや高速艇等は高速の部に入れるものとし之等よりも $V/\sqrt{L}$ の値の低いもの、例えば現在ある鐵道連絡船の中の速い船や漁船の中の或る種のもの等は當然中速船に入つて居るとお考え下さつて結構です。

○重川 涉君 この實驗は 0.8 から 1.0 までおやりの様ですが我々の實驗は C 型では 0.45 から 0.75 までしかやりません。即ちその範圍をねらつて設計された船型です。然しこの實驗は C 型の trial speed より高い速度範圍の比較です。

○木下昌雄君 その點は本論文中にも特に断りしてある通りで、實驗は 0.55~1.10 の範圍でやり圖面で御覽の通り 0.55~0.80 では大差がなく、0.80~1.00 で反つてよくなるという結果になっておりますが、著者と致しましては勿論之等の數字自體は決して重視している譯ではなく殊に C 型船を基準にしてやつた 30% parallel body の船で 0.80 以上の速度長比のあたりを云々する事の無理なことは繰返し申述べた通りでありまして、唯中速以上でも抵抗性能が悪くないと言うことの例證として擧げたにすぎません 又先程お尋ねの可展面、不可展面との違いは簡単に言えば相隣る母線が無限に近づいた時に前者では交わるが後者では交わらぬの違いであります。

○栖原二郎君 私は専門の分野は異なりますが可展面を使用して有利となる點に就て氣のついた事を申述べさせていただきます。第一に可展面を用いれば、曲面を伸縮せずに平面に展開出来るから generating line を圖面上に適當に作圖する事に依り double curvature を有する曲面の展開に關する從來の近似作圖法より簡單で然も精密な展開作圖法が考えられる筈です。第二

に以上の方法で得られた generating line を現場で板材に直接 marking して置けばその方向に roller の軸を一致させる様にして rolling する事に依り、多くの面倒な加熱を要する撓鐵工事が冷間加工で済みます事が出来るから工事の簡易化が出来る筈です。第三に可展面の上では Euclid 幾何學が成立するから Pythagoras の定理を初め初等幾何に於ける諸定理を用いる事が出来ますから圖面上で寸法をとる上にも、作圖を畫法幾何學的に行う上にも多々便宜がある筈ですが double curvature を有する曲面上では夫等の便宜は得られない譯です。

○木下昌雄君 全く御意見の通り考えて居ります。

offset の計算及 prismatic curve は數式のみによつて求める事が出来ますが、それは或る部分は簡單であります、ある部分は反つて非常に複雑になりますから結局之等は普通どおり mechanical integration を用いた方がよいと思います。工場の press や roller の span が長ければ母線を roller の軸の方向に平行にした方が好いのではないのでしょうか。又母線を豫め外板の罫書面や mould の上に mark する事は容易に出来ます。

○菅 四郎君 speed-length ratio 0.88 の附近の剩餘抵抗の減少率が非常に目立つので、之は何に因るものであるかと一寸考えて見た。今 body plan の比較圖を自分の從來の觀念に基いて眺めて見ると、簡易型の方が aft で肋骨線が稍 V 型になっているのが主な差異の様に考えられる。勿論これで全部が説明されるとは考えないが……これ位の船では肋骨線を aft で V 型にすれば抵抗は相當に減少する傾向があるが一面に於て推進係数も一般に低下し、時には SHP が反對に高くなる場合もある。従て船型の優劣の判定には自航試験を行う必要があると思う。次に critical Reynolds' number に就てはあるが、使用模型船は長さ 2.5m で比較的小さいので turbulent flow に安定させる爲の何等かの措置が模型試験に要するのではないかと考えます。

○木下昌雄君 今の御意見に對し私も同感でございます。若し斯様な船型の推進性能に重點を置いて研究するのであれば當然自航試験までやらなければならないと思いますし又私も實はやりたかつたのですが、今日の研究が可展面の船體外板への應用と言う所謂造船幾何學の面に重點を置いたものでありましたので結局抵抗の方でもそう悪くないと言う程度の結論で我慢せねばならなかつたのであります。今後暇をみてやつて見たいと思います。船尾の turbulent flow の状態につきましては多少は變る事が有り得ると考えますが研究の重

點の關係上特別に措置する事は致しませんでした。模型の長さ 2.5m で速度長比が 0.88 ならば皆 critical Reynolds' number を超して居りまして stem の傾斜がこの位でありますと、浸水面積の大部分が turbulent になつて居ると思います。然し前にも申しました様にこの試験の數字そのものは重點をおいて居りません。結果は實船に換算しなかつたのも實はその爲であります。parallel body が長いから hump と hollow が普通よりも誇張されて出て居ります。これがこの兩船型の EHP の差を著しくした一つの原因でないかと思ひます。兩模型船で turbulent の boundary layer の部分が占める割合はそう變らないが、實船の EHP に換算する時には特に低速の場合は問題になると思ひます。之でこの研究で模型の排水量 I 適當りの剩餘抵抗のみで比較致しました。

○小野暢三君 質問でなくて所感を述べさせていただきます。私は以前造船協會で著者の所謂古い簡易船型の二つに就いて講演した事があります。その後直線舷側船型は浦賀ドックで何十隻かを實際に造りましたが外板、肋骨の工事は非常に簡單であります。その system は主として中央を取扱ひ端の方は重きをおかなかつたが、今日この講演に於て船首尾について簡単なやり方を示して下さいたのでこの兩者を結合出来ればよいと思ひます。その當時はおもては圓錐形になりましたが、もとの方は U. V. shape の關係からそう出来なかつた。外板工事では船尾のこの範圍でもあまり苦しみませんでした。parallel 部分から curve に向つる bilge の附近が難物でした。この部分について尙別な方面からやさしい方法を考へていただければ結構と思ひます。

○田中秀雄君 著者の一人と致しまして説明いたします。parallel body から ends へのうつりめは數式によるやり方で、ある程度出来ていたのですが時間の不足のため stern と stem を一應まとめて夫れにより船型を作り抵抗試験をする爲に中止した譯です。parallel body からうつる所もあと 2,3 ヶ月かければ出来る所まで行つておりました。係数のきめ方も table により決めるように作り prismatic curve と L. W. L. の形が與えられた時にそれから順に決めてゆく様にしてあります。

○山縣昌夫君 body plan の黒い線は上でしぼつてありますが、constant をかえれば夫は自由に出来るのですか。

○田中秀雄君 數學的方法で一種の空間曲線では圖の如くにしかならなかつたのです。別の種類の空間曲線を順につないで行く様にすれば夫も出来ると思ひま

す。

○木下昌雄君 船首又は船尾の部分全體をある一つの系統の可展面でやるから無理になるのです。ある母線を境にして別種類の可展面で順々に置きかえて行く様にすれば大分楽になります。例えば船尾の空間曲線の zy 平面への投影曲線を ellipse のみでなく色々かえれば好いのではないかと思います。この研究は trial and error の方法でやるより外に方法がなく、徹底的に研究するには莫大な時間と人手を要しますので未だ不完全なものだと思いますが初めての試みでありますから今後まだまだ多くの船型を考えて見度いと思います。

○座長(山縣昌夫君) 私から一言御禮申し上げます。終戦後各方面の賃金が上りました結果、日本の海運を復興させるには優秀な造船技術を基盤としなければなりません。之には第一に建造船價を安くすること、然し決して悪くない性能のものでなければなりません。即ち比較的工数の少い簡易な然も優秀な船型を造る事が重要な課題であります。この意味に於て極めて有益な論文と思います。今後共何分この方面の御研究をお続けにならんことを望みます。皆様の御賛同を得て拍手をもつて著者の御講演に對し感謝の意を表したいと思ひます。