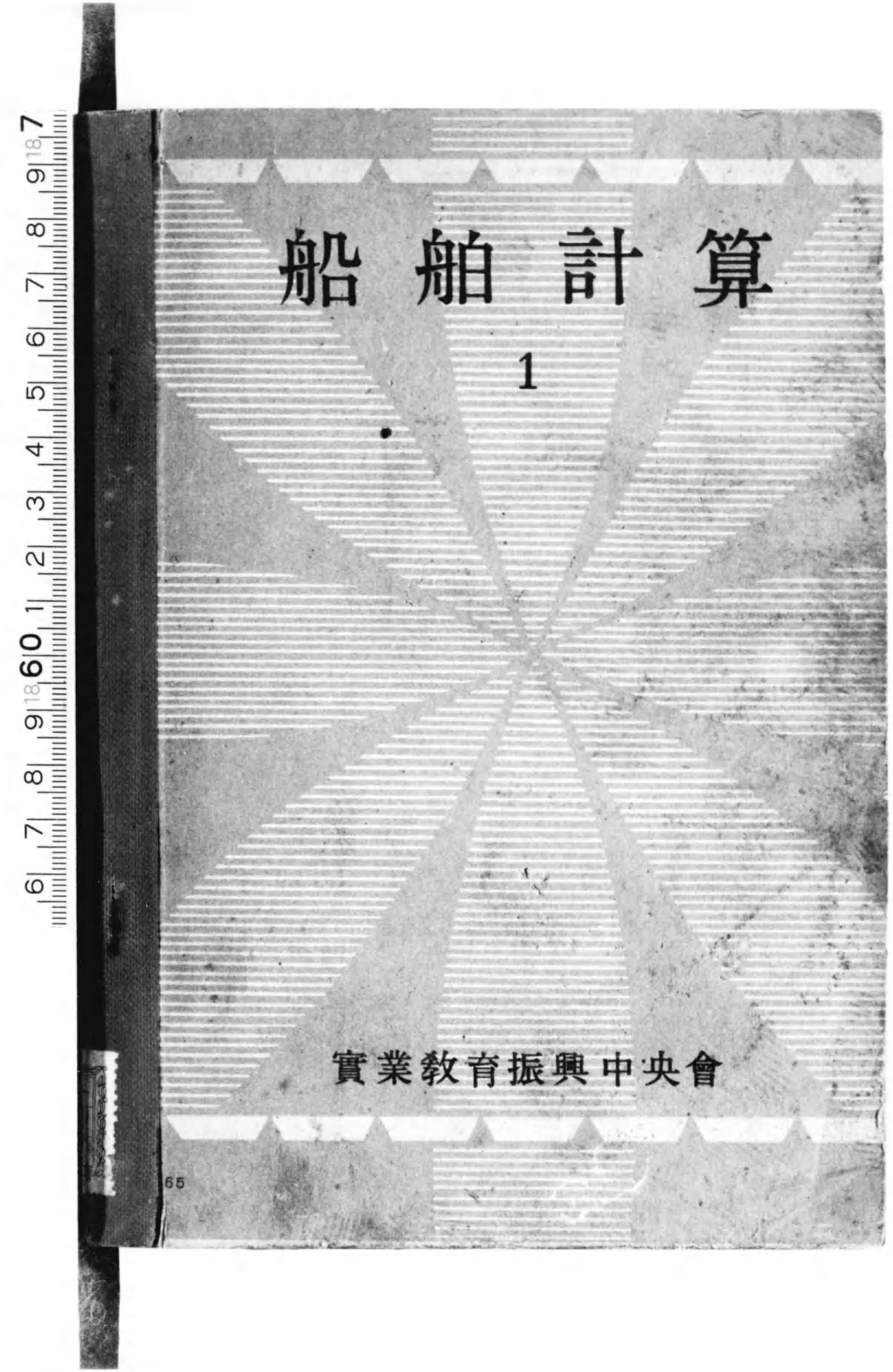
始



船舶計算

1

実業教育振興中央會

目　　次

序　言

船舶計算は,廣くいへば船舶に關する全般の法則や計算法を調べる學科である。けれども專門に學ぶ場合には,これでは餘り範圍が廣くなるから,別の科目として取扱はれる部分が多い。即ち,船の强さに關する法則や計算法を調べることなどは船舶强弱の中で取扱はれるから,船舶計算では,主として船形に關する性能の諸法則や計算法を學ぶ。

船舶計算は,船舶設計·船舶構造·船舶建造の基礎として特に重要な科目であるから,十分に理會しておかなければならない。

しかし,これから學ぶ公式を全部暗記したからとて,船舶計算に對する學力がつくものではない。これらの公式が,どのやうな理論によつて成り立つたものであるかを,自ら努めて十分に考察することによつて,始めて眞の學力がつくれるのである。

第1. 浮　　體

1. 浮體の性質

物體を水中に浸すと,物體はその水面下の部分と同體積の水の重さに等しい浮力を,周圍の水から受ける。これを浮力の法則又はアルキメデスの法則といふ。

浮力は,物體の水面下の體積の重心を通り,鉛直上方に作用する。この體積の重心を浮心といふ。

物體が水中に沒するに從つて浮力は增し,遂に浮力がその物體の重さに等しくなれば,物體は水に浮かぶやうになる。水面に浮かんでゐる物體を浮體といふ。船舶は,浮體の性質を利用したものの中で最も重要なものである。

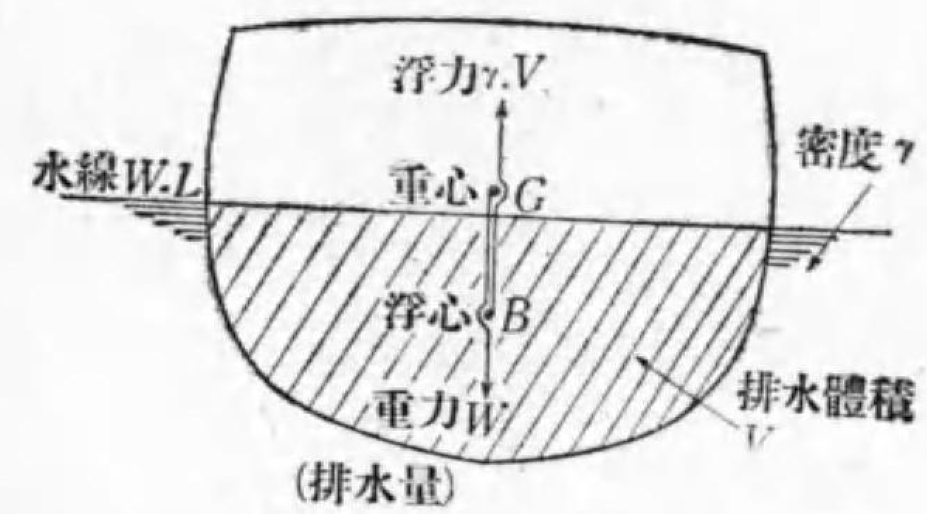
浮體が靜止してゐるときには,浮體の重心と浮心とは同一鉛直線上にあり,重力と浮力とはその大きさ等しく,その方向は反對である。

2. 排　水　量

船の重さをW(t),水面下の體積卽ち排水體積をV(m³),水の密度をγ(t/m³)とすれば,浮體の性質から次式の關係が成り立つ。

$$W = \gamma V \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1\cdot1)$$

卽ち,船の重さはその排除した水の重さに等しいから,Wを排水量といつてゐる。



第1・1圖

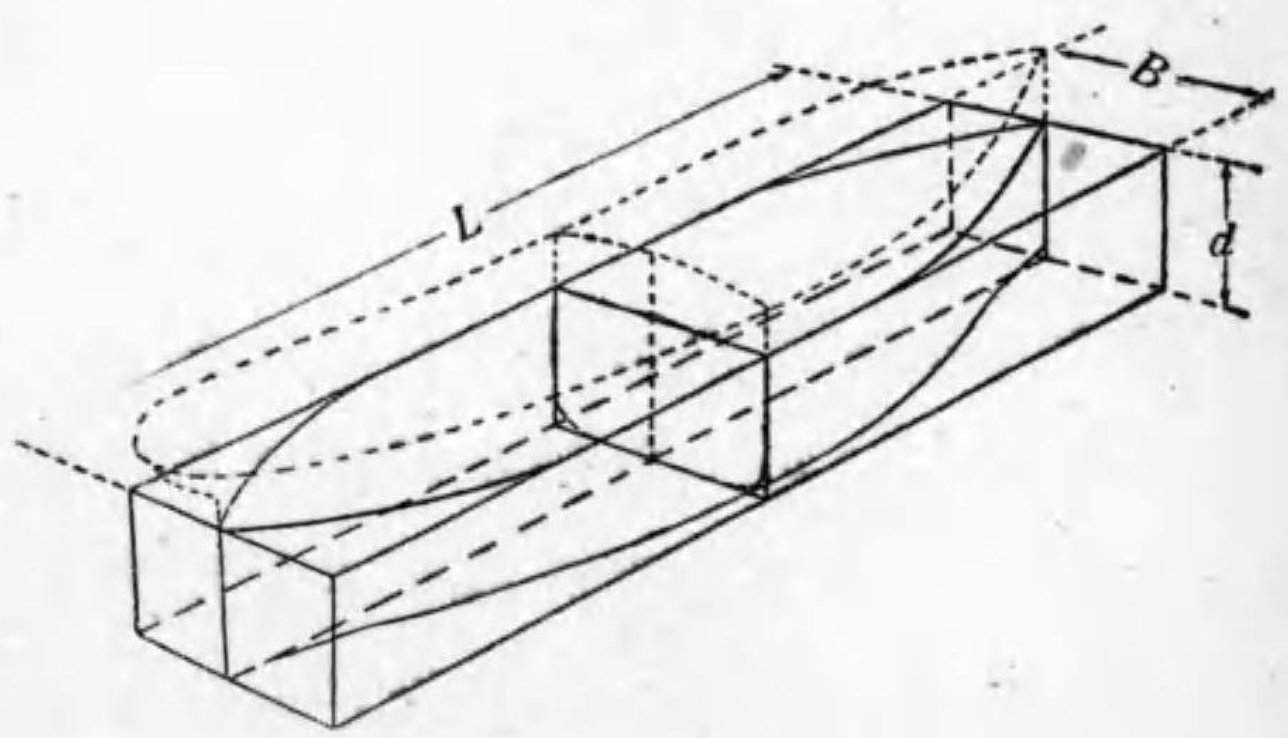
船のやうな大きな物體の重さは直接に測ることはできないが,その排水體積は船の形から容易に計算される。それ故,排水量卽ち船の重さは,排水體積に水の密度を掛ければ求められる。

排水體積は又排水容積ともいふ。

清水の密度は 1 t/m³ で,海水の密度は普通 1.025 t/m³ である。海水の密度は所により,又同じ所でも潮·河水などの影響で時間によつて異なり,船の前後·左右·上下でも異なることがあるから,正確な排水量を必要とする場合には,これらの點を考へなければならない。

3. 肥瘠係數

船はその形が種々雑多であるから,船の水面下の形狀が太形であるか細形であるか,比較の目安があると非常に便利である。このやうな



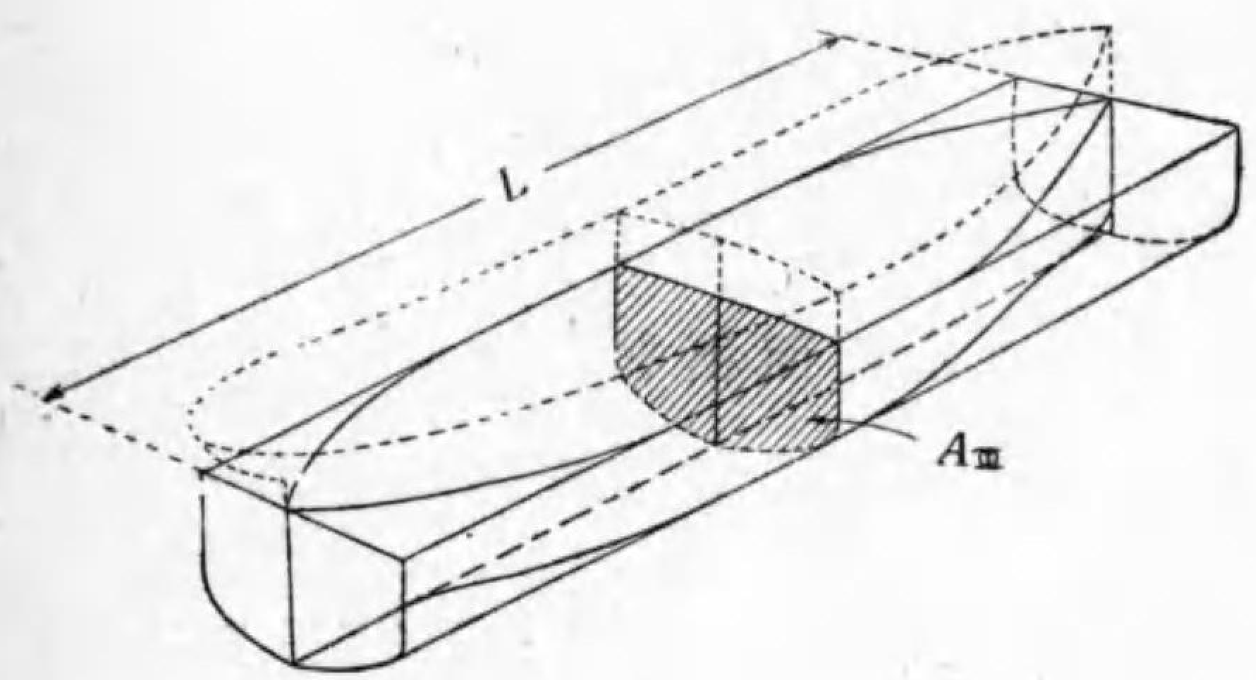
第 1·2 圖

比較の尺度として肥瘠係數が用ひられる。肥瘠係數には次の種類がある。

(1)方形肥瘠係數　第 1·2 圖に於いて船の長さを L(m),幅を B(m),吃水を d(m) とすれば,その方形肥瘠係數 C_b は次式によつて求められる。

$$C_b = \frac{V}{L\cdot B\cdot d} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1\cdot2)$$

即ち,この係數は船の排水體積と,これと長さ·幅·深さの等しい直方體の體積との比を表す。

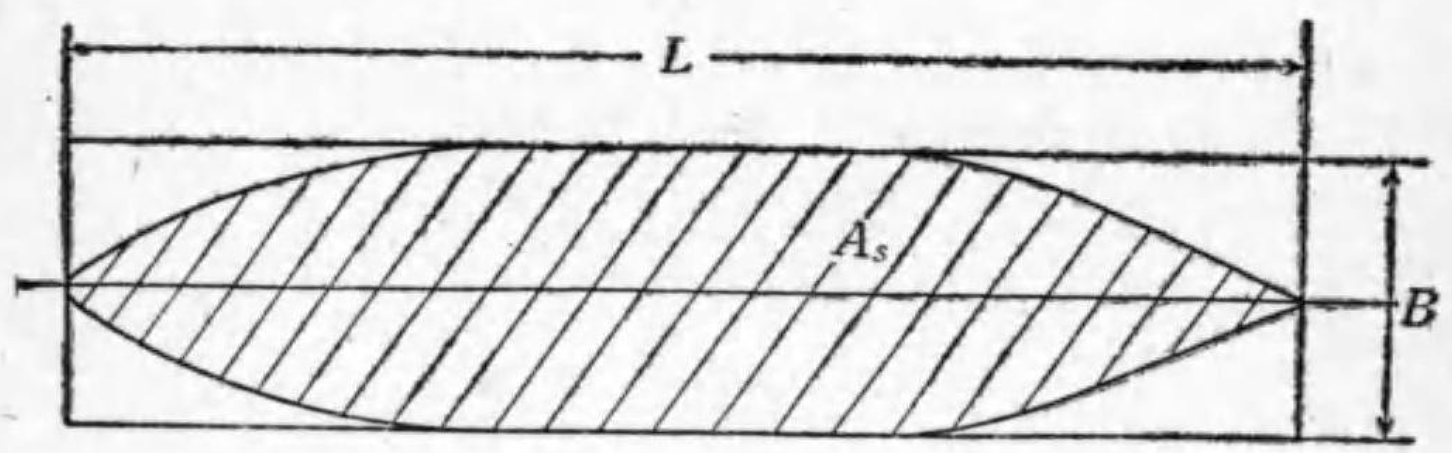


第 1·3 圖

(2)柱形肥瘠係數　第 1·3 圖に於いて船の中央横斷面の水面下の面積を $A_{⊠}$(m²) とすれば,柱形肥瘠係數 C_p は次式によつて求められる。

$$C_l = \frac{V}{A_{\boxtimes} \cdot L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\cdot3)$$

即ちこの係數は船の排水體積と,これと最大横斷面・長さがそれぞれ等しい柱狀體の體積との比を表す。



第 1・4 圖

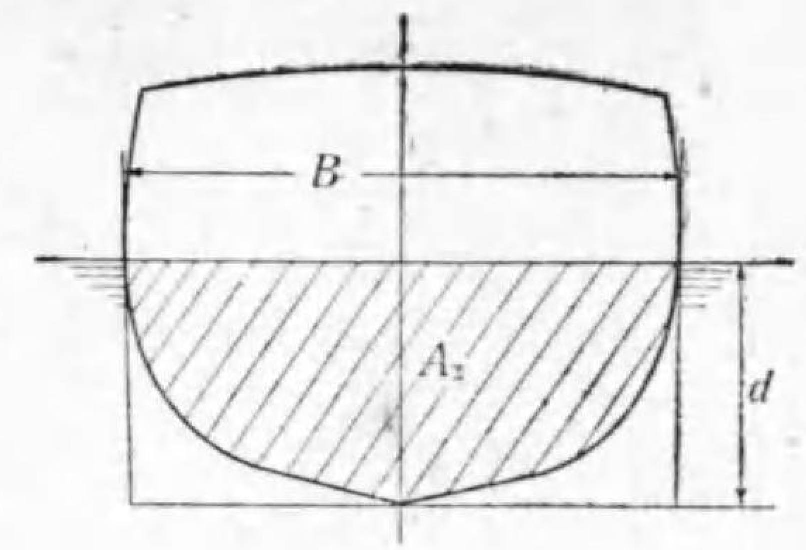
(3) 水線面積係數　第 1・4 圖に於いて,船の吃水面に於ける水線面積を A_s(m²) とすれば,水線面積係數 C_s は次式によつて求められる。

$$C_s = \frac{A_s}{L \cdot B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\cdot4)$$

即ちこの係數は水線面積と,これと長さ・幅が等しい外接長方形の面積との比を表す。

(4) 中央横斷面係數　中央横斷面係數 $C_{\boxtimes}$ は次式によつて求められる。

$$C_{\boxtimes} = \frac{A_{\boxtimes}}{B \cdot d} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\cdot5)$$



第 1・5 圖

即ちこの係數は,中央横斷面の水面下面積 $A_{\boxtimes}$ と,これと幅・深さが等しい外接長方形の面積との比を表す。方形肥瘠係數と柱形肥瘠係數との間には,

$$C_b = C_l \cdot C_{\boxtimes} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\cdot6)$$

の關係がある。

同一の船でも吃水の如何によつては,これらの肥瘠係數の値は一般に變化する。相似形の船では,相似の吃水のときの肥瘠係數の値は等しい。

次の第 1・1 表は,各種の船の肥瘠係數の一例を示すものである。

第1·1表　肥瘠係數

船の種類	方形肥瘠係數 C_b	柱形肥瘠係數 C_p	水線面積係數 C_w	中央横斷面係數 $C_{\boxtimes}$
戰艦	0.60	0.62	0.73	0.965
巡洋艦	0.56	0.62	0.68	0.90
驅逐艦	0.55	0.67	0.76	0.82
貨物船	0.73	0.77	0.83	0.95
高速貨物船	0.62	0.65	0.78	0.95
客船	0.68	0.71	0.80	0.96
高速客船	0.59	0.62	0.70	0.95
曳船	0.58	0.61	0.76	0.95

（問題）

(1) 長さ 130 m, 幅 16 m, 深さ 10.5 m の船が,海水中に吃水 6.25 m で浮かんでゐるとき,方形肥瘠係數が 0.615 ならば,その船の排水量は何 t か。

（答　8200 t）

(2) 前題に於いて柱形肥瘠係數が 0.646 であれば,中央横斷面積は何 m^2 か。（答　95.2 m^2）

(3) 同じ船の水線面積が 1580.8 m^2 であれば,水線面積係數は何程か。（答　0.763）

4.　每糎排水噸數

船に荷物を積むとき,積荷の重量に對する排水體積の增加を求めれば,吃水の增大量を知ることができる。逆に吃水の增大量を測れば,積荷の重量を知ることもできる。又積荷を卸すときも同樣である。1 cm の一樣な吃水增減に對する排水の增減量を,その水線面に於ける每糎排水噸數といふ。水線面の上下 1 cm くらゐの範圍では,水線面積は一定であるとみなして差支ないから,排水體積の增減量は $\frac{A_w}{100}$ (m^3),隨つて,每糎排水噸數 T は海水の密度を掛けて,

$$T = \frac{A_w}{100} \times 1.025 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1\cdot7)$$

となる。船舶では,普通數 cm の吃水の增減の範圍では船側が垂直であるとみなして差支ないから,この程度の荷物 w (t) を積んだときの吃水の增加量は, $\frac{w}{T}$ (cm) で與へられる。

（問題）

(1) 長さ 100 m, 幅 14 m の船が海水中で 50 t の重量を積んだところ,吃水が一樣に 4.5 cm 增大した。水線面積係數は何程か。（答　0.774）

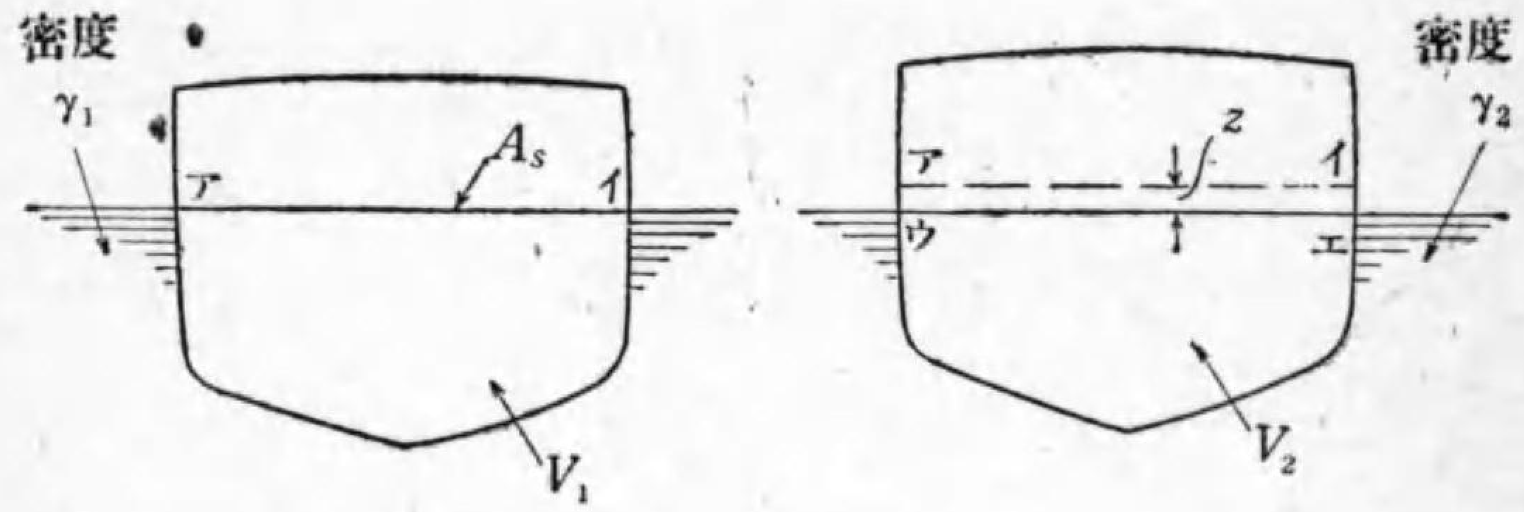
(2) 長さ 20 m,幅 3.8 m の船の水線面積係數が 0.825 であれば,清水中に於けるその每糎排水噸數は何

程か。吃水を一様に 5 cm 増大させるには何 t の重量を積めばよいか。　(答　0.628t, 3.14t)

5. 水の密度變化による吃水の増減

船が,水の密度 γ_1(t/m³) の所から γ_2(t/m³) の所へ移動したとき,船の重さ W(t) が一定であるとすれば,各々の排水體積 V_1(m³) と V_2(m³) とは,(1・1) 式から,次式のとほり求められる。

$$V_1 = \frac{W}{\gamma_1},\quad V_2 = \frac{W}{\gamma_2}$$



第 1・6 圖
水の密度變化による吃水の増減

今 $\gamma_1 < \gamma_2$ とすれば, $V_1 > V_2$ となり吃水が減少する。吃水のこの範圍で,水線面積 A_s(m²) を不變とみなせば,吃水の減少量を z(m) として,

$$V_1 - A_s \cdot z = V_2$$

の關係があるから,

$$z = \frac{V_1 - V_2}{A_s}$$

即ち,

$$z = \frac{W}{A_s}\left(\frac{1}{\gamma_1} - \frac{1}{\gamma_2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1\cdot 8)$$

である。

例へば,或る船が水の密度 1.010 t/m³ の河口の港から海上へ出るときの吃水の減少量 h(cm) は,その水線面の海水中の毎糎排水噸數 T がわかつてゐるとして, $\gamma_1 = 1.010$, $\gamma_2 = 1.025$ であるから,(1・8) 式から次式のとほり求められる。

$$h = 100z = \frac{100\,W}{1.025 A_s}\cdot\left(\frac{1.025}{1.010} - 1\right) \doteqdot \frac{W}{67\,T} \cdots (1\cdot 9)$$

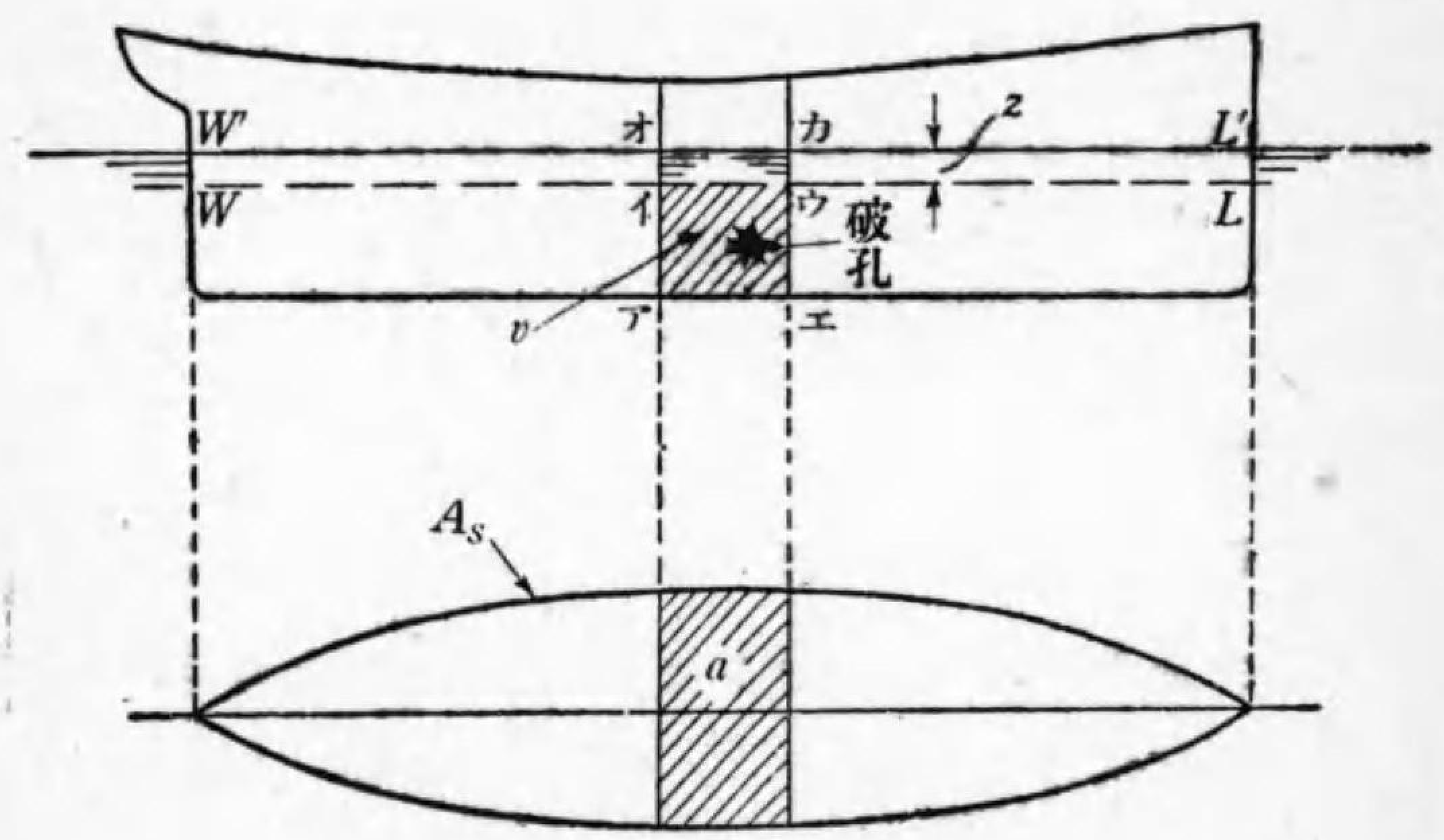
(問　題)

(1) 船が清水中から海水中に出るときの吃水の減少量を (1・9) 式のやうに $h(\text{cm}) = \dfrac{W}{nT}$ とおき, n の値を求めよ。　(答　$n = 40$)

(2) 同様に, $\gamma_1 = 1.005$ 及び 1.015 の場合の n の値を求めよ。
(答　$\gamma_1 = 1.005$ のとき, $n = 50$; $\gamma_1 = 1.015$ のとき, $n = 100$)

6. 中央區劃室の浸水による吃水の増大

船の中央區劃室の水面下に破孔を生じたため,外部の水が自由に浸入するやうになつた場合には,この區劃室は船の外部となつて,その浮力が消失したと考へてもよいし,或はこの區劃室へ浸入した水のために,船の重さが増大したと考へてもよい。いづれにしても,浮力が船の重さに等しくなるまで吃水が増して浮かぶやうになる。



第1·7圖

第1·7圖に於いて,最初の水線を WL,水線面積を A_s(m²),浸水區劃室の水線面積を a(m²),浸水後の水線を $W'L'$,吃水の増大量を z(m) とすれば次の關係が成り立つ。

(ア)浮力が消失したと考へる場合　浮力の消失した部分アイウエの體積を v(m³) とすれば,船の重さは一定と考へられるから,排水體積は浸水の前後で相等しくなければならない。區劃室を船の外部と考へると,

$$v = (A_s - a)\cdot z$$

これから次式が求められる。

$$z = \frac{v}{A_s - a} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(1\cdot10)$$

(イ)船の重さが増大したと考へる場合　このときは浸水の重さだけ排水量が増大しなければならないから,

$$\gamma(v + az) = \gamma A_s z$$

これから次式が求められる。

$$z = \frac{v}{A_s - a}$$

即ち,(ア)の場合と同一の結果が得られる。

このやうに,中央區劃室の浸水による船の沈下量は,消失排水體積を完全水線面積で割ればよい。

第 2. 面積とその重心

1. 曲線圖形の面積

長方形・三角形・梯形・圓形などの幾何學的圖形の面積は,數學上正確に求められるが,船の斷面のやうに複雜な曲線から成つてゐるものは,數學上正確に計算することが困難である。しかし船の斷面は,多く滑らかな曲線で成つてゐるから,これを適當に分割してその各〻に形がなるべく似て,しかも數學的に面積が正しく計算できる曲線におきかへれば,近似的に面積計算ができるわけである。このやうに分割すればするほど正しい計算ができる。

船舶のやうな,曲線圖形の面積計算に用ひられる近似計算法には,

(ア)梯形法則

(イ)拋物線法則

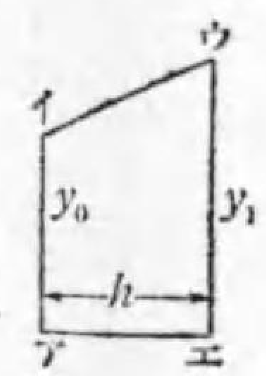
(ウ)三次拋物線法則

(エ)平均 y (縱)座標法則

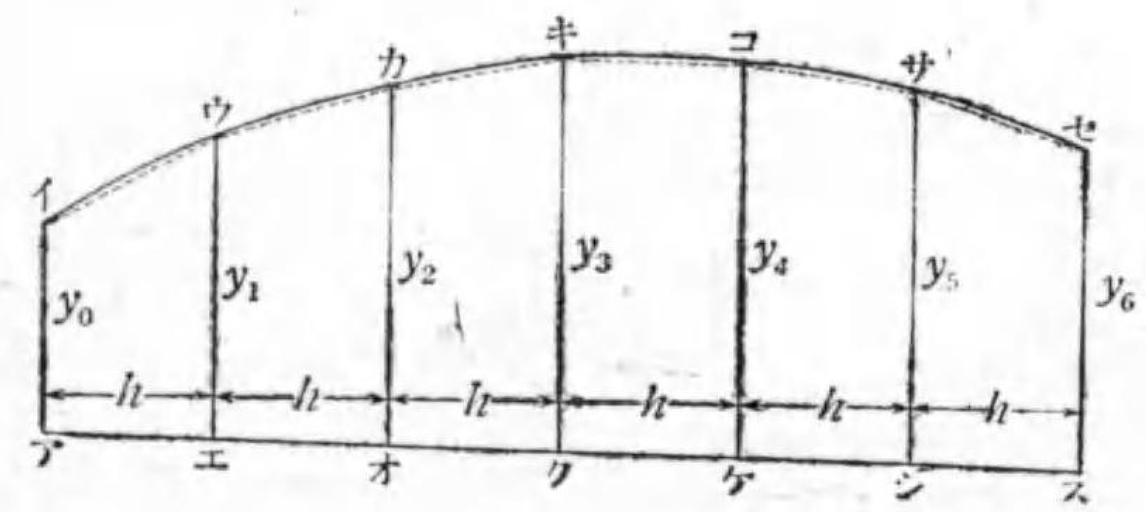
などがある。いづれも適當な注意のもとに使用すれば,船舶の計算に對して實用上十分な正しい結果が得られる。

2. 梯形法則

第 2・2 圖のやうな曲線イウカキコサセと基線アス,y 座標アイとスセによつて圍まれた曲線圖形の面積アイセスを梯形法則で求めるには,基線アスを適當な間隔 h で等分し,それぞれ



第 2・1 圖



第 2・2 圖

曲線まで達するｙ座標アイ・エウ・オカ・クキ・ケコ・シサ・スセを立てる。第2・2圖では6等分の場合を示す。

第2・1圖のやうな梯形アイウエの面積 $A_{アウ}$ は,基線アエの長さを h, ｙ座標アイ及びウエの長さをそれぞれ y_0, y_1 とすれば,次式のとほりである。

$$A_{アウ}=\frac{1}{2}(y_0+y_1)h \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(2\cdot1)$$

隨つて,第2・2圖のｙ座標アイ・エウ・オカ・クキ・ケコ・シサ・スセの長さを,それぞれ y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6 とすれば,次式のとほりである。

梯形アイウエの面積	$A_{アウ}=\frac{1}{2}(y_0+y_1)h$
〃　ウエオカ　〃	$A_{ウオ}=\frac{1}{2}(y_1+y_2)h$
〃　オカキク　〃	$A_{オキ}=\frac{1}{2}(y_2+y_3)h$
〃　キクケコ　〃	$A_{キケ}=\frac{1}{2}(y_3+y_4)h$
〃　ケコサシ　〃	$A_{ケサ}=\frac{1}{2}(y_4+y_5)h$
〃　サシスセ　〃	$A_{サス}=\frac{1}{2}(y_5+y_6)h$

これらの梯形面積を合計すれば,第2・2圖のやうに曲線が凸形になつてゐる場合には曲線圖形の面積より僅かに少い面積が得られ,曲線が凹形になつてゐる場合には僅かに多い面積が得られる。しかし,基線を適當に細かく等分してｙ座標の數を增すほど,その誤差が少くなる。隨つて,曲線圖形アイセスの面積は近似的に梯形面積の合計で表すことができるから,前の六つの式を合計すれば次式の關係が得られる。

曲線圖形アイセスの面積

$$=h\left(\frac{1}{2}y_0+y_1+y_2+y_3+y_4+y_5+\frac{1}{2}y_6\right) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(2\cdot2)$$

一般に,基線を n 等分してｙ座標 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, ……, y_{n-1}, y_n を設けた場合には,上と同樣にして次式の關係が得られる。

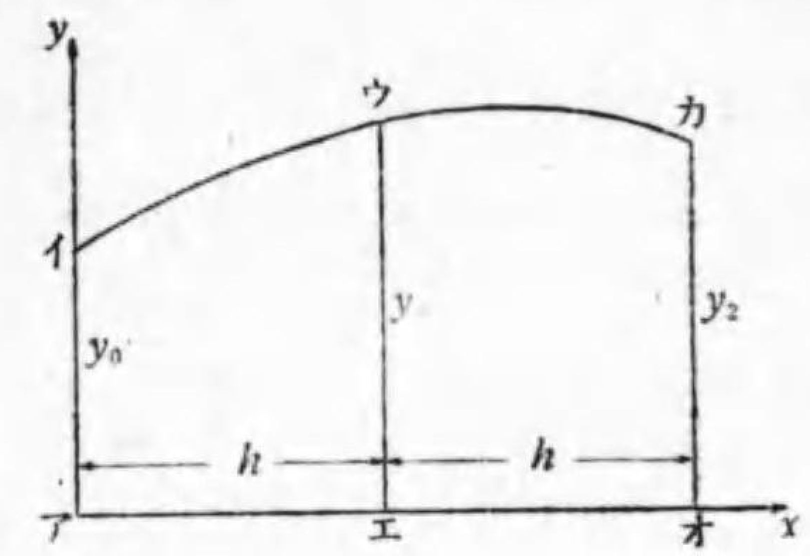
曲線圖形アイセスの面積

$$=h\left(\frac{1}{2}y_0+y_1+y_2+y_3+y_4+\cdots\cdots+y_{n-1}+\frac{1}{2}y_n\right) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(2\cdot3)$$

これを梯形法則といふ。

3. 拋物線法則

梯形法則では,曲線をいくつかに分割してその各部分を直線であるとみなし曲線圖形の面積を計算するのであるが,この各部分を拋物線の一部であるとみなした方が,更に正確に近い面積が得られる。拋物線とすれば,數學的に面積が計算できるし,且つこれが最も簡單な曲線でもある。



第 2·3 圖

第 2·3 圖に於いて基線アオをエ點で 2 等分し,y 座標アイ·エウ·オカの長さを,それぞれ y_0, y_1, y_2 とし,各 y 座標の間隔を h とし,曲線イウカを拋物線の一部であるとする。アを原點とし,アオ·アイをそれぞれ x 軸·y 軸とする直交座標によつて拋物線イウカを表せば,一般に

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad \cdots\cdots(2\cdot4)$$

のやうな x の二次式となる。ここで a_0, a_1, a_2 はイ·ウ·カの位置により定まる定數(ていすう)である。即ち,(2·4)式に於いて

$x=0$ とおけば,

$$y = \overline{アイ} = y_0 = a_0 \quad \cdots\cdots(2\cdot5)$$

$x=h$ とおけば,

$$y = \overline{エウ} = y_1 = a_0 + a_1h + a_2h^2 \quad \cdots(2\cdot6)$$

$x=2h$ とおけば,

$$y = \overline{オカ} = y_2 = a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2 \quad \cdots(2\cdot7)$$

となる。故に(2·5)〜(2·7)式から a_0, a_1, a_2 を求めれば,次式のとほりになる。

$$a_0 = y_0 \quad \cdots\cdots(2\cdot8)$$

$$a_1 = \frac{-3y_0 + 4y_1 - y_2}{2h} \quad \cdots\cdots(2\cdot9)$$

$$a_2 = \frac{y_0 - 2y_1 + y_2}{2h^2} \quad \cdots\cdots(2\cdot10)$$

曲線圖形アイカオの面積は,曲線イウカを(2·4)式の拋物線とすれば,數學的に次式の結果が得られる。

$$面積アイカオ = 2a_0h + 2a_1h^2 + \frac{8}{3}a_2h^3 \cdots\cdots(2\cdot11)$$

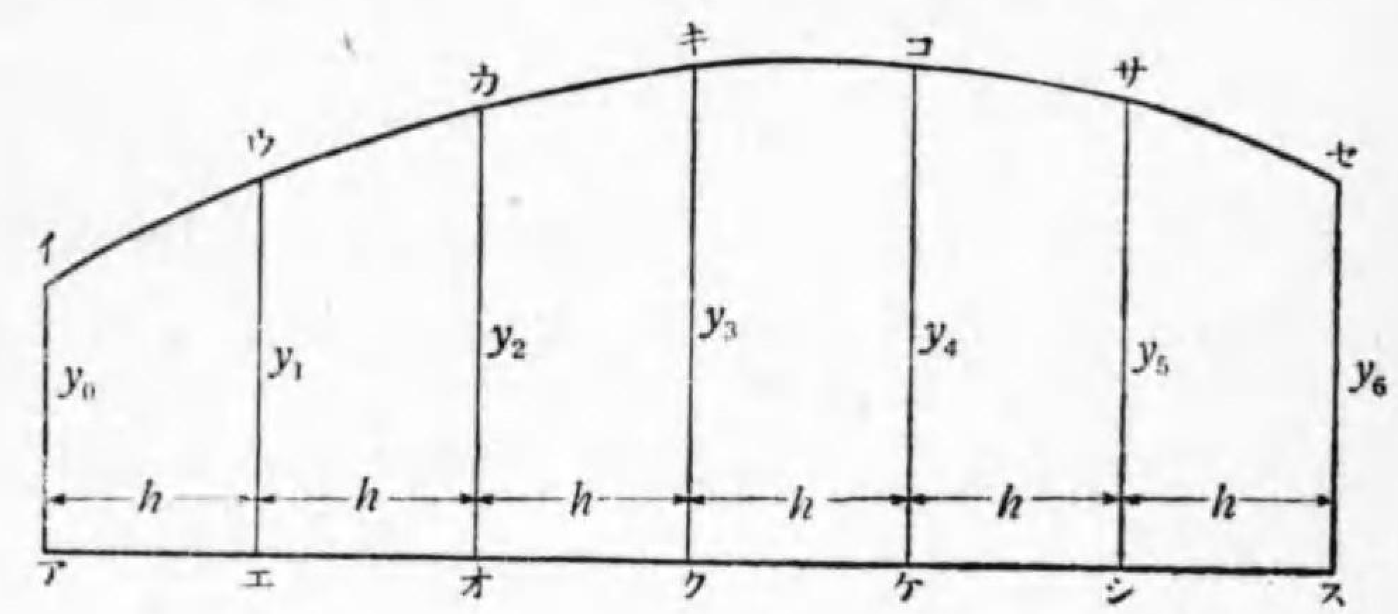
この a_0, a_1, a_2 に (2·8)〜(2·10) 式を代入すれば,

次の拋物線法則が求められる。

面積アイカオ $= \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2)$ ………(2・12)

この法則はシンプソン第一法則ともいふ。

今,第2・4圖は第2・2圖と同一の曲線圖形とし,同様に6等分してy座標を設けて曲線圖形の面積アイセスを拋物線法則で求めるには,圖形を第2・3圖のやうな部分に分割して,その各



第2・4圖

部の曲線をそれぞれ拋物線の一部であるとみなし,面積を求めて合計すればよい。即ち,分割y座標オカ・ケコで分割して曲線圖形アイカオ・カオケコ・ケコセスとし,曲線イウカ・カキコ・コサセをそれぞれ拋物線の一部とみなせば,(2・12)式から

面積アイカオ $= \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2)$

面積カオケコ $= \frac{h}{3}(y_2 + 4y_3 + y_4)$

面積ケコセス $= \frac{h}{3}(y_4 + 4y_5 + y_6)$

が求められ,これを合計すれば

曲線圖形アイセスの面積

$$= \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + y_6)$$

……………………………………(2・13)

となる。拋物線法則を用ひるには,基線を偶數箇に等分する必要がある。基線の等分數を増した場合にも,面積は(2・13)式を求めたと同様の方法で得られ,括弧内のy座標の係數は最初と

第2・1表

y 座標	$y_0\ y_1\ y_2\ y_3\ y_4\ y_5\ \cdots\cdots\ y_{n-4}\ y_{n-3}\ y_{n-2}\ y_{n-1}\ y_n$ (n 偶數)
括弧内のy座標係數	1 4 1 　1 4 1 　　1 4 1 　　　…… 　　　…… 　　　　1 4 1 + 　　　　1 4 1
	1 4 2 4 2 4 ……… 4 2 4 1

最後が1で,偶數番目が4,奇數番目が2となる。即ち,その係數は第2・1表の關係から得られる。

例題. 或る曲線圖形のy座標は2mの等間隔をもち,その長さは,一端から順次に5.88, 6.72, 7.08, 7.20, 7.26, 7.13, 6.72 m である。この曲線圖形の面積を,拋物線法則を用ひて求めよ。

(解) 曲線圖形の面積計算は,次のやうな表にして行ふと都合がよい。

(ア) 番號	(イ) y座標	(ウ) 係數	(エ)=(イ)×(ウ) 積
0	5.88	1	5.88
1	6.72	4	26.88
2	7.08	2	14.16
3	7.20	4	28.80
4	7.26	2	14.52
5	7.13	4	28.52
6	6.72	1	6.72
			合計 125.48

間隔 $h = 2\,\mathrm{m}$

$$\therefore \ \text{面積} = \frac{1}{3} \times 2 \times 125.48 = 83.65\,\mathrm{m}^2$$

第2・3圖の圖形の一部分,即ち面積アイウエを求めるには,曲線イウカをやはり(2・4)式のやうな拋物線の一部とすれば,數學的に次式の結果が得られる。

$$\text{面積アイウエ} = a_0h + \frac{a_1}{2}h^2 + \frac{a_2}{3}h^3 \quad \cdots(2\cdot14)$$

この a_0, a_1, a_2, に(2・8)～(2・10)式を代入すれば,

$$\text{面積アイウエ} = \frac{h}{12}(5y_0 + 8y_1 - y_2) \quad \cdots(2\cdot15)$$

となり,これは5, 8, −1法則といはれる。

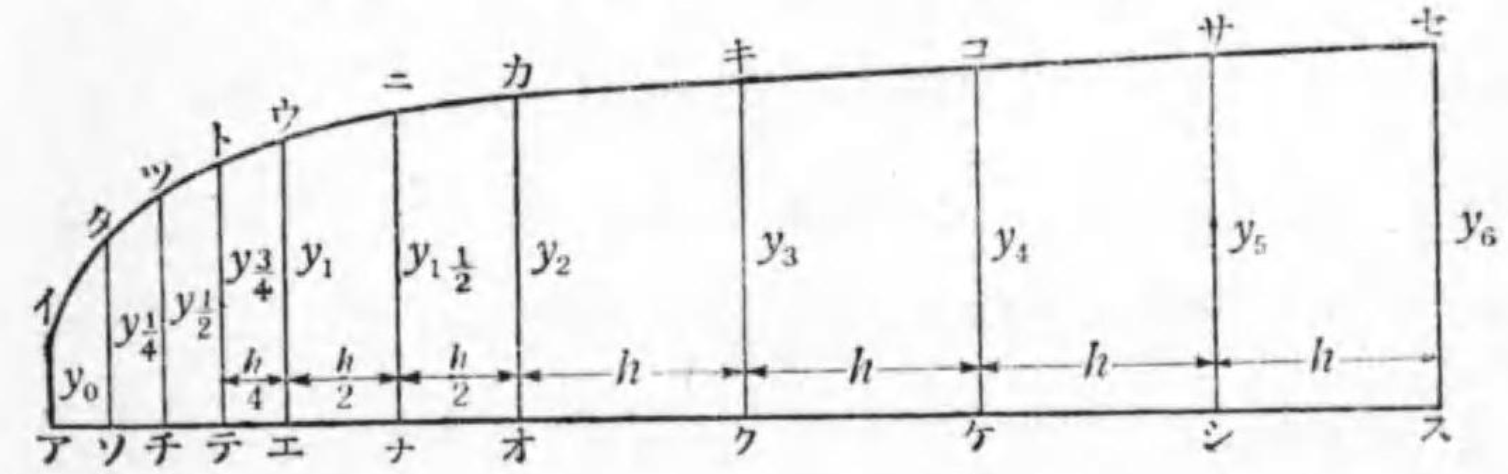
$$\text{面積ウエオカ} = \frac{h}{12}(5y_2 + 8y_1 - y_0) \quad \cdots(2\cdot16)$$

(2・15)と(2・16)式を加へると,

$$\text{面積アイカオ} = \frac{h}{12}(4y_0 + 16y_1 + 4y_2)$$

となる。即ち,(2・12)式と同一の結果が得られる。

曲線の曲りの急激になる部分があるときは,他の部分のy座標間隔 h のままでは誤差が大きくなるから,その部分は間隔を1/2或は1/4にしてy座標を增設しなければならない。例へ



第2・5圖

ば,第 2・5 圖のやうな曲線圖形の面積を求めるには,曲りの緩急に應じて間隔 h を加減する。卽ち,曲りの一番大きいイウの部分に對して,基線アエを 4 等分して y 座標ソタ・チツ・テトを增設し,それぞれの長さを $y_{\frac{1}{4}}, y_{\frac{1}{2}}, y_{\frac{3}{4}}$ とする。曲りのやや大きいウカの部分に對して,基線エオを 2 等分して y 座標ナニを增設し,その長さを $y_{1\frac{1}{2}}$ とすれば,

$$\text{面積アイツチ} = \frac{1}{3}\cdot\frac{h}{4}(y_0 + 4y_{\frac{1}{4}} + y_{\frac{1}{2}})$$

$$= \frac{h}{3}\left(\frac{1}{4}y_0 + y_{\frac{1}{4}} + \frac{1}{4}y_{\frac{1}{2}}\right)$$

となり,同様に,

$$\text{面積ツチエウ} = \frac{h}{3}\left(\frac{1}{4}y_{\frac{1}{2}} + y_{\frac{3}{4}} + \frac{1}{4}y_1\right)$$

$$\text{面積エウカオ} = \frac{h}{3}\left(\frac{1}{2}y_1 + 2y_{1\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}y_2\right)$$

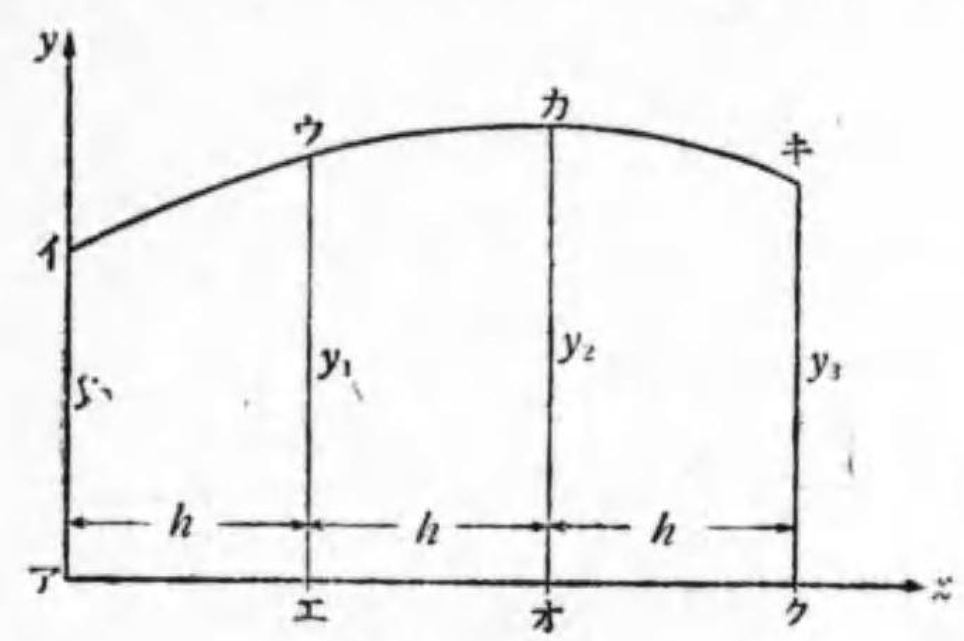
となる。卽ち, y 座標の係數は間隔を 1/4 にしたときは 1/4 にし,間隔を 1/2 にしたときは 1/2 にすれば,他の部分と同様に括弧內で取扱ふことができる。隨つて,全面積では括弧內の y 座標の係數は,第 2・2 表の關係から得られる。

第 2・2 表

y 座標	y_0	$y_{\frac{1}{4}}$	$y_{\frac{1}{2}}$	$y_{\frac{3}{4}}$	y_1	$y_{1\frac{1}{2}}$	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
括弧內のy座標係數	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$								
			$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$						
					$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}$				
							1	4	1		
	+								1	4	1
	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{4}$	2	$\frac{3}{2}$	4	2	4	1

4. 三次抛物線法則

第 2・6 圖に於いて,基線アクをエ・オで 3 等分して, y 座標アイ・エウ・オカ・クキの長さをそれぞれ y_0, y_1, y_2, y_3 とし,各 y 座標の間隔を h とし,曲線



第 2・6 圖

イウカキを三次抛物線の一部であるとする。アを原點として,アク・アイをそれぞれ x 軸・y 軸とする直交座標によつて三次抛物線を表せば,

一般に次式のやうなxの三次式となる。

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \cdots\cdots\cdots\cdots (2\cdot17)$$

ここでa_0, a_1, a_2, a_3は,イ・ウ・カ・キの位置によつて定まる定數である。

即ち,(2・17)式に於いて

$x = 0$ とおけば,

$$y = \overline{アイ} = y_0 = a_0 \cdots\cdots\cdots\cdots (2\cdot18)$$

$x = h$ とおけば,

$$y = \overline{エウ} = y_1 = a_0 + a_1h + a_2h^2 + a_3h^3 \cdots\cdots\cdots (2\cdot19)$$

$x = 2h$ とおけば,

$$y = \overline{オカ} = y_2 = a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2 + 8a_3h^3 \cdots (2\cdot20)$$

$x = 3h$ とおけば,

$$y = \overline{クキ} = y_3 = a_0 + 3a_1h + 9a_2h^2 + 27a_3h^3 \cdots (2\cdot21)$$

となる。故に(2・18)〜(2・21)式からa_0, a_1, a_2, a^3を求めれば,次式のとほりになる。

$$a_0 = y_0 \cdots\cdots\cdots\cdots (2\cdot22)$$

$$a_1 = \frac{-11y_0 + 18y_1 - 9y_2 + 2y_3}{6h} \cdots\cdots (2\cdot23)$$

$$a_2 = \frac{2y_0 - 5y_1 + 4y_2 - y_3}{2h^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (2\cdot24)$$

$$a_3 = \frac{-y_0 + 3y_1 - 3y_2 + y_3}{6h^3} \cdots\cdots\cdots\cdots (2\cdot25)$$

曲線圖形アイキクの面積は,曲線イウカキを(2・17)式の三次拋物線とすれば,數學的には次式の結果が得られる。

$$面積アイキク = 3a_0h + \frac{9}{2}a_1h^2 + 9a_2h^3 + \frac{81}{4}a_3h^4$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots (2\cdot26)$$

このa_0, a_1, a_2, a_3に(2・22)〜(2・25)式を代入すれば,

$$面積アイキク = \frac{3}{8}h(y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3) \cdots (2\cdot27)$$

なる三次拋物線法則が求められる。この法則は,シンプソン第二法則ともいふ。

第2・4圖の曲線圖形アイセスの面積を三次拋物線法則で求めるには,圖形を第2・6圖のやうな部分に分割して,その各部の曲線をそれぞれ三次拋物線の一部であるとみなし,面積を求めて合計すればよい。即ち,y座標クキで曲線圖形アイキク・キクスセに分割し,曲線イウカキ・キコサセをそれぞれ三次拋物線の一部とみなせば,(2・27)式から

$$面積アイキク = \frac{3}{8}h(y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3)$$

$$面積キクスセ = \frac{3}{8}h(y_3 + 3y_4 + 3y_5 + y_6)$$

となり,これを合計すれば,

曲線圖形アイセスの面積

$$=\frac{3}{8}h(y_0+3y_1+3y_2+2y_3+3y_4+3y_5+y_6) \qquad \cdots\cdots(2\cdot28)$$

となる。故に三次拋物線法則を用ひるには,基線を3の倍數に等分する必要がある。基線の等分數を增した場合にも,括弧內のy座標の係數は前節3と同樣にして得られる。

(例題) 前節3の例題の曲線圖形の面積を三次拋物線法則を用ひて求めよ。

(解) 面積計算は前節3と同樣の表にして行ふと都合がよい。

(ア) 番號	(イ) y座標	(ウ) 係數	(エ)=(イ)×(ウ) 積
0	5.88	1	5.88
1	6.72	3	20.16
2	7.08	3	21.24
3	7.20	2	14.40
4	7.26	3	21.78
5	7.13	3	21.39
6	6.72	1	6.72
			合計 111.57

間隔 $h=2\,\mathrm{m}$

$$\therefore \text{面積}=\frac{3}{8}\times2\times111.57=83.68\,\mathrm{m^2}$$

5. 平均y座標法則

これまでの諸法則はy座標を等間隔に設けたもので,y座標の係數はその位置によつて相違してゐる。平均y座標法則は,このy座標の係數がみな同一になるやうに工夫したものである。y座標は,基線の中央に對して左右對稱的に配置し,y座標の數がn箇のときは曲線をn次の拋物線の一部であるとみなして面積を表す式を求め,そのy座標の係數がみな同一になるやうにy座標の位置を定めたものである。隨つて,y座標の長さを直ちに合計して單一の係數を掛けるだけで,簡單に面積を求めることができ,他の法則のやうにそれぞれ別箇の係數を掛ける手數がはぶける。又一般に他の法則よりも遙かに少いy座標數で,同樣の正確な結果を得ることができる。

y 座標數が,8 箇又は10箇の場合は存在しないから,中央の兩側の部分に,それぞれ y 座標が 4 箇か 5 箇の場合を應用すればよい。

基線の中央から測つた y 座標位置は第 2・3 表のとほりである。數値は,基線の長さの半分に對する割合で示す。

第 2・3 表

y座標數	基線の中央より測つたy座標位置（左右同樣）(基線長さの $\frac{1}{2}$ に對する比で示す)				
	中央				端
2	0.5773				
3	0	0.7071			
4	0.1876	0.7947			
5	0	0.3745	0.8325		
6	0.2666	0.4225	0.8662		
7	0	0.3239	0.5297	0.8839	
8	0.1026	0.4062	0.5938	0.8974	
9	0	0.1679	0.5288	0.6010	0.9116
10	0.0838	0.3127	0.5000	0.6873	0.9162

y 座標の位置を上表のやうにとり,y 座標の長さを測れば,面積は次式によつて計算される。

$$\text{面積} = \frac{(\text{基線の長さ})}{(\text{y 座標數})} \times (\text{y 座標の長さの合計}) \qquad \cdots\cdots(2\cdot29)$$

即ち,面積 ≒ (基線の長さ) × (平均 y 座標) で與へられるから,これを平均 y 座標法則といふ。この法則はチエビチエフ法則ともいふ。

6. 面　積　計

第 2・7 圖に示す面積計によると,任意の平面圖形の面積が機械的に求められる。圖の①は針で,これを圖形外の適當な位置に錘を載せて固定し,接手②によつて連結する棒の先端の指示針③を圖形の周圍上の一點アに置き,他端の轉輪④の目盛を讀取る。③をアから時計の針の方向に圖形の周圍に沿つて一巡し,もとの出發點アに戻つたときの④の目盛を讀取る。④の回轉數

第 2・7 圖　面　積　計

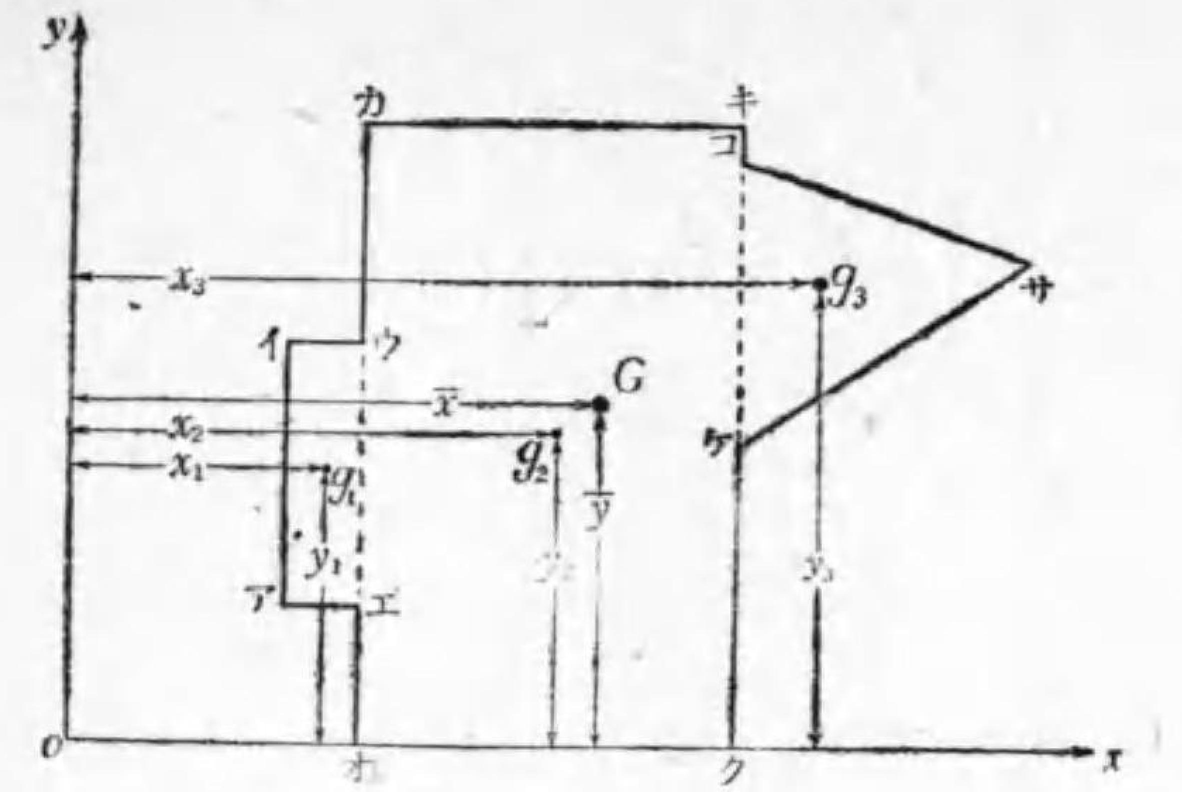
は水平圓板⑤に示される。最後と最初の讀みの差に,面積計に示す係數を掛けると圖形の面積が得られる。係數は②の固定位置によつて相違し,面積計に示されてゐるが,使用前に各自に面積既知の圖形で面積計を3回ほど巡回してその平均から係數を求めた方がよい。

7. 面積のモーメントとその重心

或る直線に對する圖形面積のモーメントとは,圖形面積に直線と圖形重心間の垂直距離を掛けた値をいふ。圖形が數箇の部分から成る場合には,各部分のモーメントを合計したものが,全圖形のモーメントである。

或る直線に對する圖形のモーメントがわかつてをれば,これを圖形面積で割ると直線からその重心までの距離が得られる。隨つて,互に平行でない二つの直線に對して圖形のモーメントを求め,それぞれを面積で割れば,その重心位置を決定することができる。

例へば,第2・8圖の圖形の重心をGとし,y軸



第2・8圖

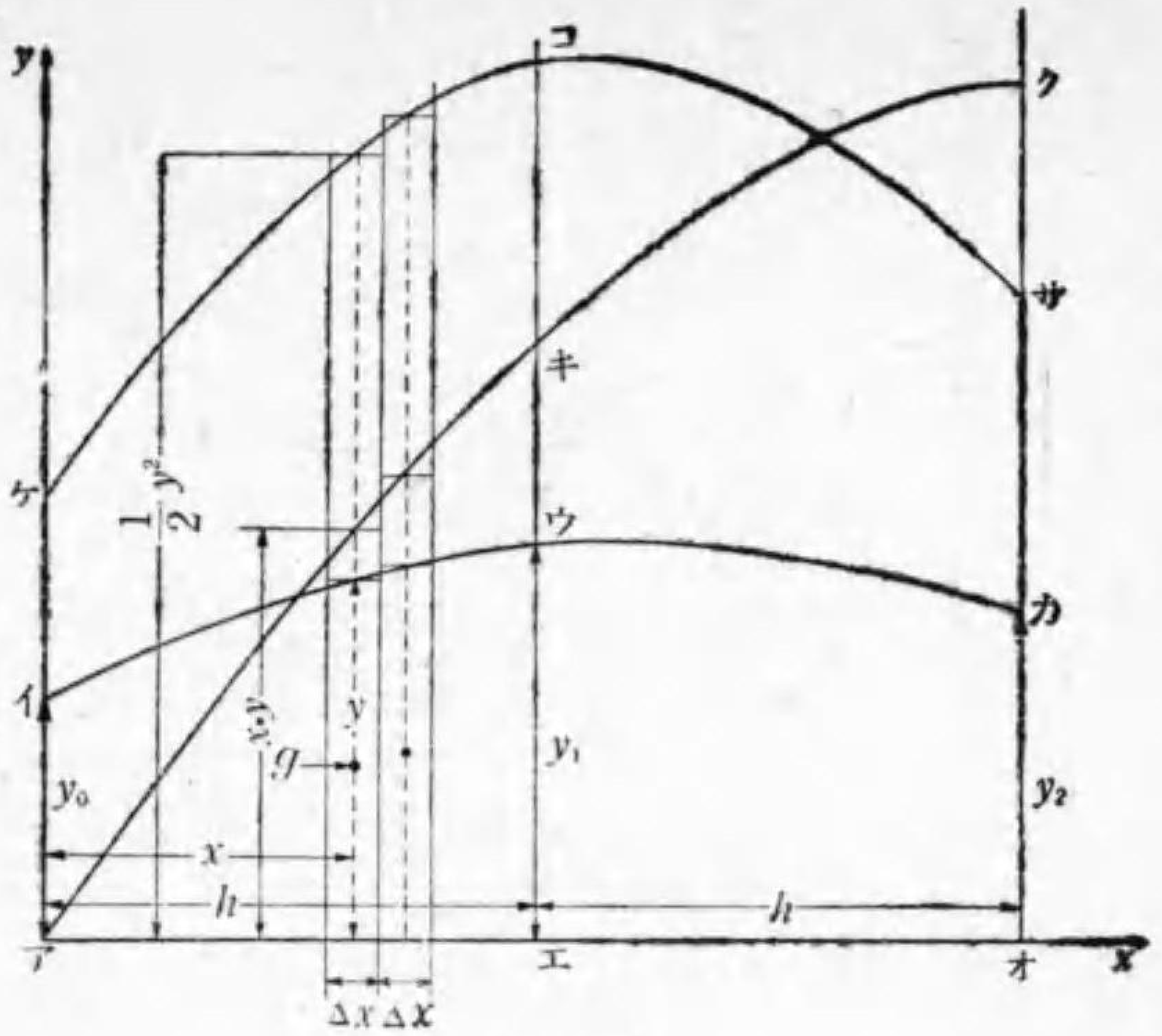
及びx軸からGまでの距離$\bar{x}$及び$\bar{y}$を求めるには,面積アイウエ・オカキク・ケコサをそれぞれa_1, a_2, a_3とし,y軸及びx軸からの距離をそれぞれx_1, x_2, x_3及びy_1, y_2, y_3とすれば,

$$\left.\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3}{a_1 + a_2 + a_3} = \frac{\Sigma ax}{\Sigma a} \\ \bar{y} &= \frac{a_1y_1 + a_2y_2 + a_3y_3}{a_1 + a_2 + a_3} = \frac{\Sigma ay}{\Sigma a}\end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2\cdot30)$$

から計算できる。更に多くの部分から成つてゐる場合も同様である。

8. 曲線圖形のモーメントとその重心

1. 端y座標から曲線圖形の重心までの距離



第 2・9 圖

第 2・9 圖の曲線圖形アイカオの基線アオをごく小さい間隔$\varDelta x$で多數に等分し,その各中央の y 座標の長さを高さとする多數の細長い矩形に分割すれば,圖形は殆どこれらの全矩形に等しいとみなすことができる。各矩形の重心 g と y 座標アイとの距離を x とすれば,矩形の高さは g を通る y 座標の長さ y であるから,アイに對する各矩形のモーメントは$(y\cdot\varDelta x)x$, 即ち $xy\cdot\varDelta x$ である。ここに,g の所に長さ $x\cdot y$ なる y 座標を立て,同じ幅$\varDelta x$の新しい矩形を作れば,

この面積は上のモーメント$xy\cdot\varDelta x$に等しい。隨つて,このやうな新しい矩形の全面積は,アイに對する圖形アイカオのモーメントを表す。$x\cdot y$ なる値は,y 座標アイ・エウ・オカに於いて $0\times y_0=0$, $h\times y_1=\overline{\text{エキ}}$, $2h\times y_2=\overline{\text{オク}}$ となるから,結局モーメントは新しい圖形アキクオの面積で表されることとなる。

第 2・4 圖の,曲線圖形アイセスのモーメントをアイに對して求めるには,$y_0, y_1, y_2, \cdots\cdots, y_6$ の代りにそれぞれ $0, h\cdot y_1, 2h\cdot y_2, \cdots\cdots, 6h\cdot y_6$ の y 座標のある新しい曲線圖形の面積を,抛物線法則を用ひて求めればよい。この新しい曲線は作圖する必要はない。各 y 座標の h は共通であるから,後に示すやうに最後で掛けると計算が簡單になる。このモーメントを圖形アイセスの面積で割れば,y 座標アイから重心までの横方向距離が得られる。

2. 基線から曲線圖形の重心までの距離

第 2・9 圖の曲線アイカオを前と同樣のごく細長い矩形に分割すれば,基線に對する各矩形

のモーメントは$(y\cdot\Delta x)\cdot\frac{1}{2}y$, 即ち$\frac{1}{2}y^2\cdot\Delta x$である。ここに,各重心の所に長さ$\frac{1}{2}y^2$なるy座標を立て,同じ幅$\Delta x$の新しい矩形を作れば,この面積は上のモーメント$\frac{1}{2}y^2\cdot\Delta x$に等しい。隨つて,このやうな新しい矩形の全面積は,基線に對する圖形アイカオのモーメントを表す。$\frac{1}{2}y^2$なる値は,y座標アイ・エウ・オカの位置で$\frac{1}{2}y_0^2=\overline{アケ}$, $\frac{1}{2}y_1^2=\overline{エコ}$, $\frac{1}{2}y_2^2=\overline{オサ}$となるから,結局モーメントは新しい圖形アケコサオの面積で表される。

第2・4圖の曲線圖形アイセスのモーメントを,基線に對して求めるには$y_0, y_1, y_2, \cdots\cdots, y_6$の代りに,それぞれ$y_0^2, y_1^2, y_2^2, \cdots\cdots, y_6^2$のy座標のある新しい曲線圖形の面積を,拋物線法則を用ひて求め,$\frac{1}{2}$を掛ければよい。この新しい曲線は作圖する必要はない。このモーントを圖形アイセスの面積で割れば,基線から重心までの高さが得られる。

曲線圖形の重心位置の計算は,次のやうな第2・4表にして行ふと都合がよい。これは,第2・4圖の圖形に拋物線法則を用ひた場合を示す。

第2・4表

(ア) y座標	(イ) 係數	(ウ)=(ア)×(イ) 積	(エ) 間隔數	(オ)=(ウ)×(エ) 積	(カ)=(ア)^2 y座標の二乘	(キ)=(イ) 係數	(ク)=(カ)×(キ) 積
y_0	1	y_0	0	0	y_0^2	1	y_0^2
y_1	4	$4y_1$	1	$4y_1$	y_1^2	4	$4y_1^2$
y_2	2	$2y_2$	2	$4y_2$	y_2^2	2	$2y_2^2$
y_3	4	$4y_3$	3	$12y_3$	y_3^2	4	$4y_3^2$
y_4	2	$2y_4$	4	$8y_4$	y_4^2	2	$2y_4^2$
y_5	4	$4y_5$	5	$20y_5$	y_5^2	4	$4y_5^2$
y_6	1	y_6	6	$6y_6$	y_6^2	1	y_6^2
		合計$=S_1$		合計$=S_2$			合計$=S_3$

面積$=S_1\times\frac{h}{3}$

y_0座標に對するモーメント

$$=S_2\times h\times\frac{h}{3}=S_2\times\frac{h^2}{3}$$

基線に對するモーメント

$$=S_3\times\frac{1}{2}\times\frac{h}{3}$$

y_0座標から重心までの距離

$$=\frac{S_2\cdot\frac{h^2}{3}}{S_1\cdot\frac{h}{3}}=\frac{S_2}{S_1}\times h$$

基線から重心までの距離

$$= \frac{S_3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{3}}{S_1 \cdot \frac{h}{3}} = \frac{S_3}{S_1} \times \frac{1}{2}$$

卽ち,S_2, S_3を求めればモーメントの値を求めなくてもよい。

(問　題) 3. の例題の曲線圖形の重心位置を,左端y座標と基線とに對して抛物線法則により計算せよ。　　(答　6.10m, 3.49m)

9.　水線面積とその重心

水線面は,一般にその中心線に對して左右對稱であるから,水線面積はその片側だけについて計算し2倍すればよい。又,重心もこの片側について前後方向の位置だけを計算すればよい。それ故,前節8と全く同様の方法で計算される。唯計算を簡單にするために,重心は普通中央y座標に對して求める。

例題. 長さ20mを有する水線面の等間隔の半幅が,後端からそれぞれ0, 1.55, 2.36, 2.78, 2.95, 3.00, 2.74, 2.38, 1.77, 1.05, 0mであるとき,水線面積及び中央y座標からその重心までの距離を求めよ。

(解) このやうな場合には係數を1/2にして,最後で2倍すると計算が簡單である。

(ア) 番號	(イ) 半幅	(ウ) 係數	(エ)=(イ)×(ウ) 積	(オ) 間隔數	(カ)=(エ)×(オ) 積
0	0	$\frac{1}{2}$	0	−5	0
1	1.55	2	3.10	−4	−12.40
2	2.36	1	2.36	−3	− 7.08
3	2.78	2	5.56	−2	−11.12
4	2.95	1	2.95	−1	− 2.95
5	3.00	2	6.00	0	計−33.55
6	2.74	1	2.74	1	2.74
7	2.38	2	4.76	2	9.52
8	1.77	1	1.77	3	5.31
9	1.05	2	2.10	4	8.40
10	0	$\frac{1}{2}$	0	5	0
			合計 31.34		計 25.97

$$2 \times 2 \times \frac{h}{3} = 2.667$$

水線面積 $= 31.34 \times 2.667 = 83.584\ \mathrm{m}^2$

$$-33.55 + 25.97 = -7.58$$

中央y座標から重心までの距離

$$= \frac{-7.58}{31.34} \times h = -0.484\ \mathrm{m}$$ (中央より後方)

(問　題)

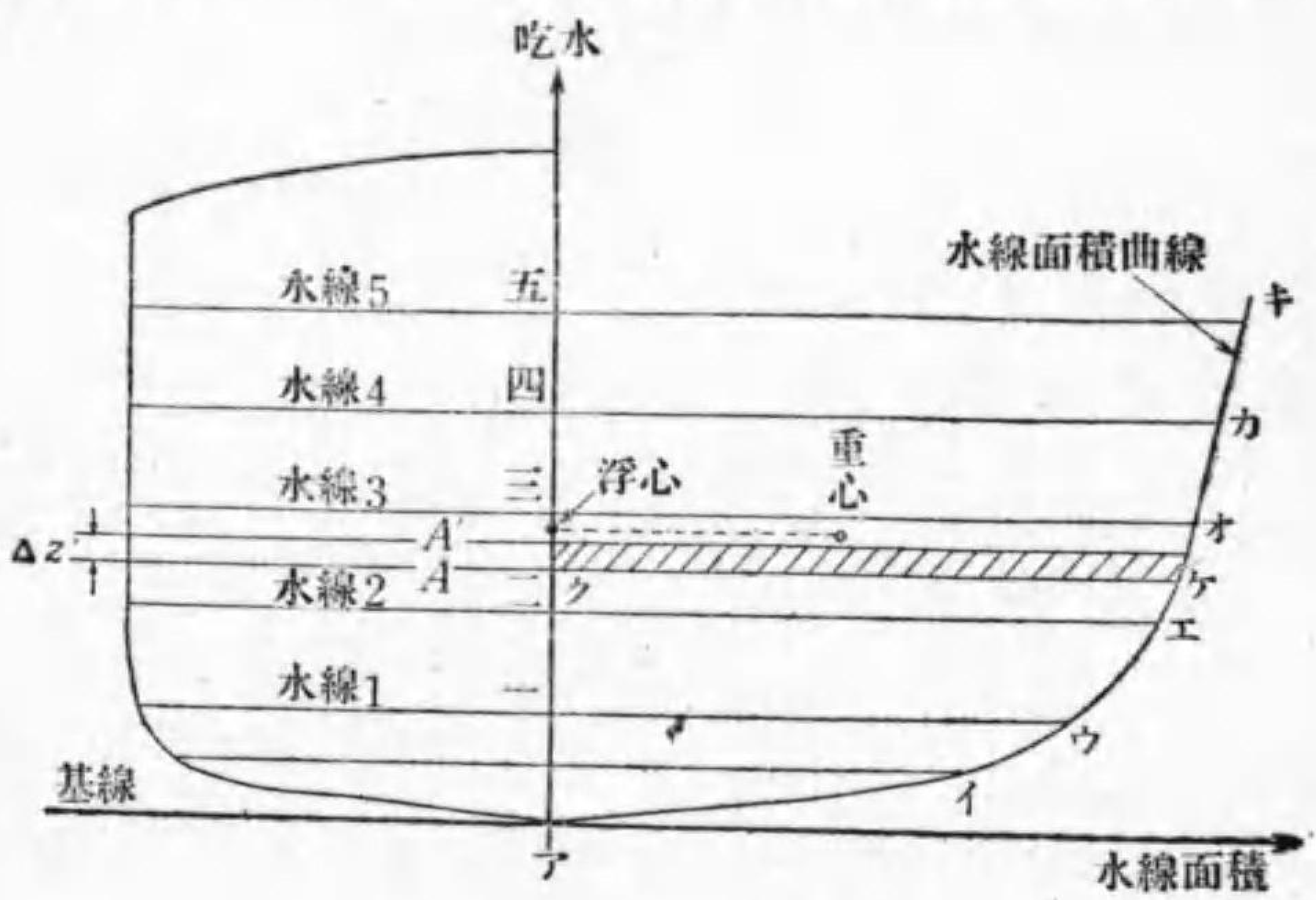
(1) 例題の水線面の片側面積の重心位置を,中心線に對して求めよ。　　(答　1.192m)

(2) 例題及び問題(1)で水線面のモーメントを計算したのは,どんな形の曲線圖形の面積を計算したことになるか。

第 3. 體積とその重心

1. 排水體積の計算

船に,適宜な數の等間隔の水平斷面を考へ,それぞれの水線面積を計算し,第 3・1 圖のやうに各水線の位置にそれぞれの水線面積を x (横) 座標にとつて,その各頂點を通る滑かな曲線アイウエオカキをひけば,水線面積曲線が得られる。



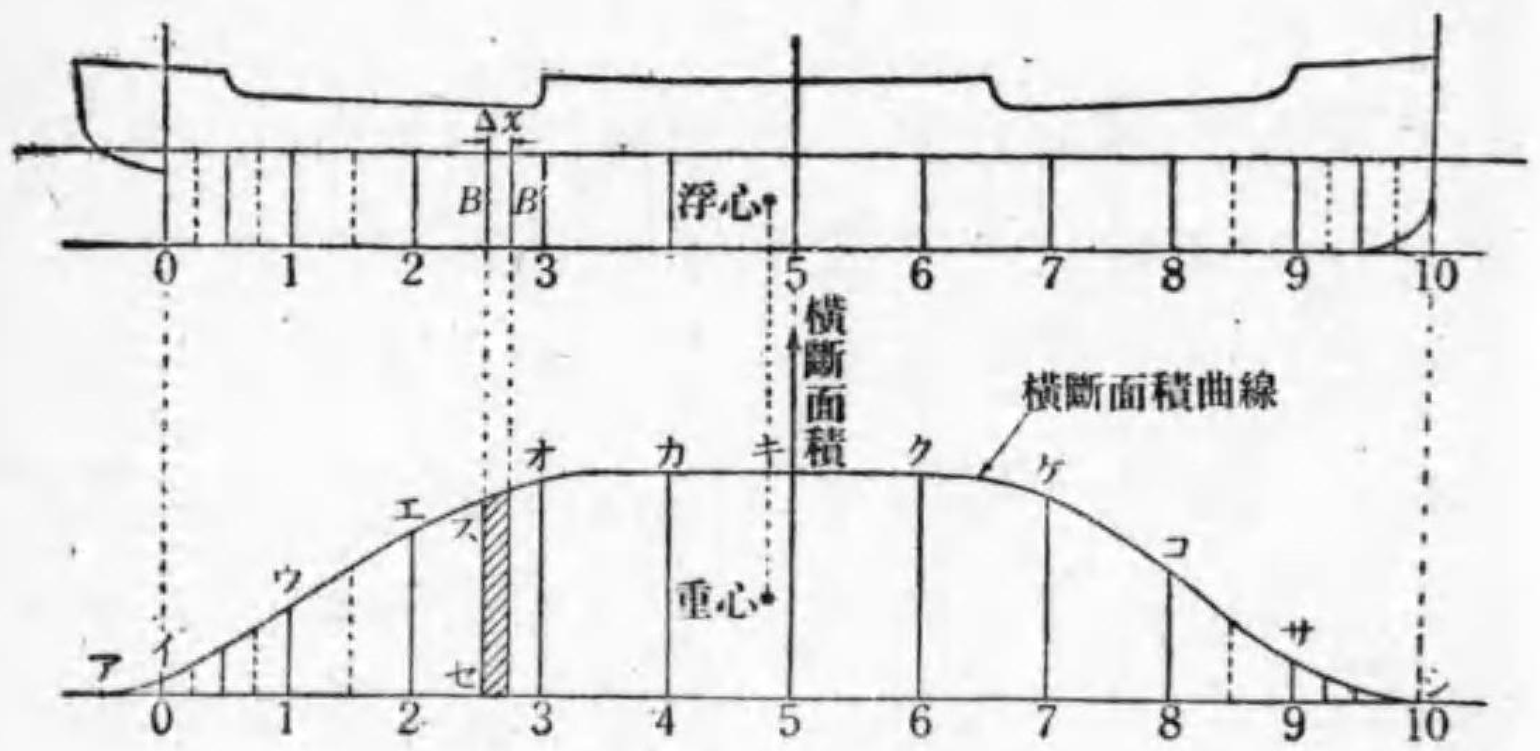
第 3・1 圖　水線面積曲線

この曲線から,任意の吃水に於ける水線面積を知ることができる。例へば,水線 A で浮かんでゐるときの水線面積 A_z は,$\overline{クケ}$ の長さからわかる。A とごく僅か Δz 離れた水線 A' との間の排水體積 ΔV は $A_z \cdot \Delta z$ で,これは $\overline{クケ} \cdot \Delta z$, 即ち水線面積曲線の斜線を入れた部分の面積に等しい。隨つて,吃水線以下の水線面積曲線の面積を計算すれば,排水體積を求めることができる。

この曲線は,作圖しなくても拋物線法則を用ひて計算される。水線は最初に拋物線法則に都合のよいやうに設けておく。船底彎曲部以下は,曲線の曲りが急で誤差が大きくなるので,下方附加部といつてこれから學ぶが別の方法で求めて加へる。例へば,第 3・1 圖では水線 1 以下を下方附加部にした方がよい。

排水體積は又次のやうな方法でも計算することができる。船の長さを適宜な數に等分する鉛直の横斷面を考へ,各水面下横斷面積を計算し,第 3・2 圖のやうに各横斷面の位置に各横斷面積を y 座標にとつて,その各頂點を通る滑

らかな曲線アイウエ……サシをひけば,横斷面積曲線が得られる。これから任意の位置の横斷面積を知ることができる。例へば,斷面 B の横斷面積は $\overline{セス}$ の長さからわかる。斷面 B と



第3・2圖　横斷面積曲線

B' 間の排水體積は,横斷面積曲線の斜線を入れた部分の面積に等しい。隨つて,横斷面積曲線と基線に圍まれた面積を計算すれば,排水體積を求めることができる。兩方法で求めた排水體積は,全く一致しなければならないから,排水量の計算にはこれから學ぶが兩方法共に用ひて正確を期してゐる。一般に横斷面は拋物線法則に都合のよいやうに設けて,同法則により

計算する。下方附加部の横斷面積は面積計で求めるとよい。0番斷面から後方の部分は,計算の便宜のために後方附加部として別に求めて加へる。

2. 浮心位置の計算

船は,中央縱斷面に對して左右對稱であるから,直立してゐる船の浮心位置は,上下方向と前後方向だけを求めれば確定できる。

1. 浮心の上下方向位置の求め方

第3・1圖の水線 AA' 間の層の重心の上下方向位置は,水線面積曲線の斜線を入れた面積の重心の上下方向位置で表される。隨つて,排水體積の重心,卽ち浮心の上下方向位置は,吃水線以下の水線面積曲線の面積の上下方向重心位置で與へられる。卽ち,第2の8の1のやうな方法で,龍骨アを通る基線に對して水線面積曲線の重心の高さを求めれば,龍骨から浮心までの高さが得られる。實際の計算法は,排水量計算表を見ればわかる。

浮心の上下方向位置は,次の近似式でも相當正確に知ることができる。

吃水線以下浮心までの距離

$$= \frac{1}{3}\left(\frac{d}{2} + \frac{V}{A_s}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (3\cdot1)$$

又は,

吃水線以下浮心までの距離

$$= \frac{C_b}{C_b + C_s}\cdot d \cdots\cdots\cdots\cdots (3\cdot2)$$

浮心は,ほぼ吃水線以下 $0.40 \sim 0.45\,d$ くらゐの所にある。

(問　題) (3・1)式を(3・2)式のやうに d, C_b, C_s を以って表すやうに書き改めよ。

2. 浮心の前後方向位置の求め方

第3・2圖の斷面 B と B' 間の部分の重心の前後方向位置は,横斷面積曲線の斜線を入れた面積の重心の前後方向位置で表される。隨って,浮心の前後方向位置は,横斷面積曲線の前後方向重心位置で與へられる。

即ち,第2の8の1のやうな方法で,船の中央(5番斷面)から横斷面積曲線の重心までの距離

を求めれば,5番斷面から前方か後方の浮心までの距離が得られる。實際の計算法は,排水量計算表中に示されてゐる。一般に,浮心は船の中央からやや後方にある。

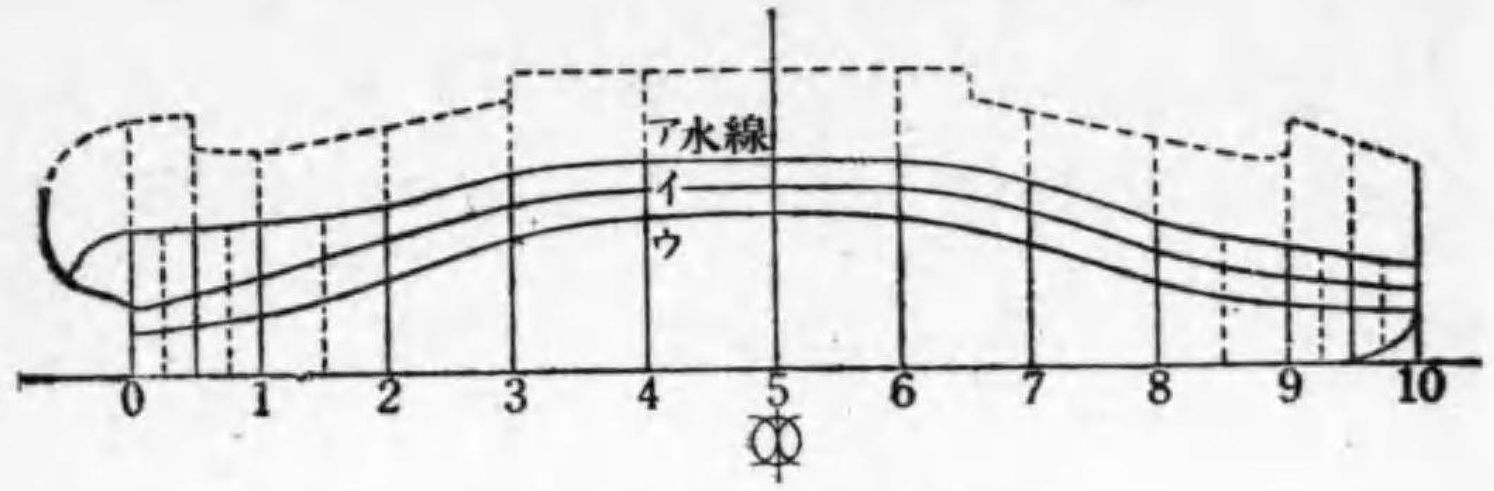
3. 排水量の計算

船の排水量 W は,そのときの吃水線以下の排水體積 V を前節 **1** の方法で計算し,(1・1)式に示すやうに水の密度 γ を掛ければ求められる。

船型は建造の都合上,木船のほかは外板の內側で線圖に表してあるから,これから計算した排水量は外板のものを含まない。それ故,外板の排水量をも計算し附加部の一つとして加へる必要がある。

外板が,外の水と接觸してゐる面積を浸水表面積といふ。隨つて,浸水表面積に外板の平均の厚さを掛ければ,外板の排水體積が得られ,更に水の密度を掛ければ外板の排水量が得られる。

第3・3圖のやうな各鉛直横斷面に於いて,各



第3·3圖　ガース曲線

水線以下の胴周り長さ,即ちガースを測り,各斷面位置のy座標として基線上に立て,各頂點を通り滑らかな曲線をひけば,ガース曲線が得られる。ガースは普通片側だけを測り,最後に2倍する。各水線以下のガース曲線の面積を,拋物線法則を用ひて計算すれば,各〻の浸水表面積が求められる。船の表面は平面上に完全に展開できないから,これは近似方法である。

なほ,浸水表面積S(m²)を概算するには次の近似式がある。

$$S = 1.7Ld + \frac{V}{d} \quad \cdots\cdots\cdots (3\cdot3)$$

又は,

$$S = 2.62\sqrt{V\cdot L} \quad \cdots\cdots\cdots (3\cdot4)$$

V:排水體積(m³)

L:船の長さ(m)

d:吃　水(m)

排水量の計算のとき,附加部として別に計算して後に加へるものに次のものがある。

(ア)下方附加部　(イ)後方附加部·前方附加部

(ウ)外　板　(エ)舵

(オ)推進器　(カ)推進器軸·軸肘材

(キ)方形龍骨·彎曲部龍骨　(ク)船體膨出部

排水體積から附加部を除いた部分を主體といふ。

4.　排水量計算表

排水量の計算は,わが國では一般に拋物線法則を用ひてゐる。この計算は,巻末に示すやうな計算表にすると,はつきりして間違を生ずることが少くて便利である。

各計算表を一定の順序に排列·印刷した排水量計算用紙を備へておき,その用紙上で計算すると1-2枚で全計算を行ふことができる。巻

末に排水量計算用紙とその計算の一例を示す。

計算表の中で横傾心·縱傾心·毎糎トリムモーメント·毎糎トリム修正聴數などとある部分は，第4を學びながら見るやうにするとよい。

例に示すものは,或る鋼製漁船の排水量計算表である。水線面の各斷面位置に於ける半幅寸法(m)は太い數字で示してある。各自に計算するときには赤色で書き入れるとよくわかつてよい。

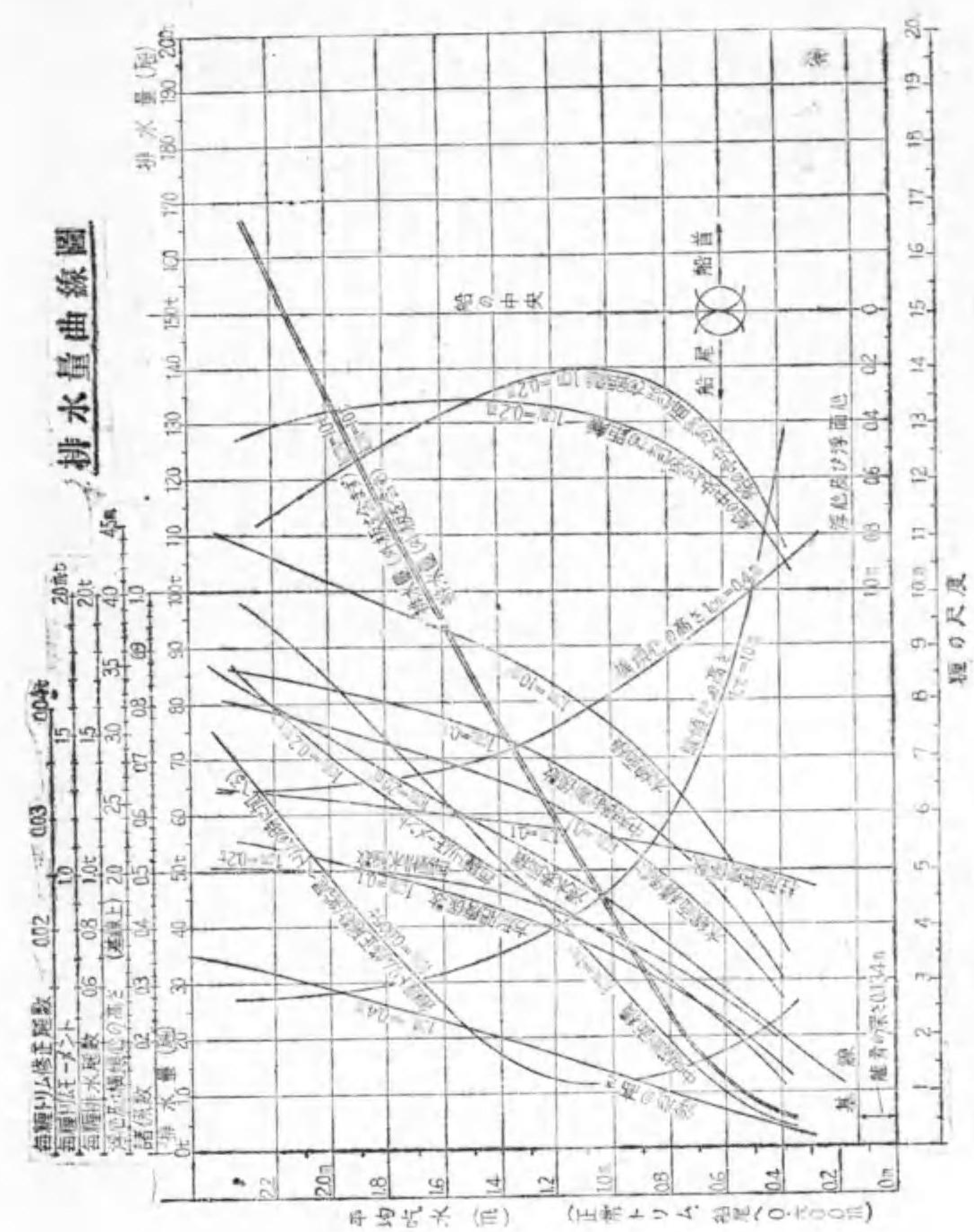
海水の密度 γ は1.026(t/m^3)として計算し,又別に0.300 m水線以下を下方附加部として計算してある。

外板の平均厚さは8mmであるから,浸水表面積から外板の排水量が計算できる。

(參考) 毎糎トリムモーメントは $\overline{GM_L}$ の代りに近似的に $\overline{BM_L}$ をとつてあるが,重心位置が確定してゐるときには直ちに正確な値を計算することができる。

5. 排水量曲線圖

排水量綜合計算表の諸結果を次のやうな圖表に作成しておくと,任意の吃水に於ける値を直ちに讀取ることができて非常に便利である。



これを排水量曲線圖といふ。

排水量計算は型寸法によるから,吃水は水面から基線までの型吃水であるが,實際の船の吃水は前後共龍骨の下面の線に對して測られるから,龍骨下面を吃水の目盛の原點としなければならない。

例に示すものは同じ鋼製漁船の排水量曲線圖である。

計畫のときに船に與へるトリムを正常トリムといふ. この漁船は 0.600 m の正常トリムを有してゐる. 正常トリムのある船は前後の平均吃水を以つて吃水の目盛とする。

この漁船の基線は,船の中央に於ける方形龍骨の上面である。

船の中央に對する前後位置を表すには,圖の右手の方に⊗の印をつけた所を船の中央として,その左方を船尾側,右方を船首側とし,それぞれに相當する吃水の位置で表す。各曲線には,その名稱と縮尺の割合とを記入しておく。

次の各組の曲線は,それぞれ同じ縮尺の割合で書いておくと見やすくて便利である。

(ア)浮心と横傾心の高さ

(イ)各肥瘠係數

(ウ)船の中央に對する浮心と浮面心の前後位置。

6. 重量とその重心の計算

各重量と重心位置のわかつた多數の部分から成る全體重量は,各箇の重量の合計である。又,全體の重心は (2・30) 式の各箇の面積の代りに各箇の重量をおきかへるだけで,全く同様に求めることができる。

例題. 或る船は排水量 5678 t で,重心が滿載水線から上方 0.05 m, 船の中央から後方 3.10 m にある。

重量	重心位置			
212 t	滿載水線下方	1.25 m,	船の中央から	前方 15.20 m
321 t	〃	0.85 m,	〃	後方 17.60 m

を積んだときの船の排水量と重心位置とを求めよ。

(解)

重　量 (t)	上下方向(満載水線面に對し)		前後方向(船の中央に對し)	
	距　離	モーメント	距　離	モーメント
5678	+ 0.05	+ 333.90	− 3.10	−1,7601.8
212	− 1.25	− 265.00	+ 15.20	+ 3222.4
321	− 0.85	− 272.85	− 17.60	− 5649.6
6211		) − 203.95		) −2,0029.0
		− 0.33		− 3.23

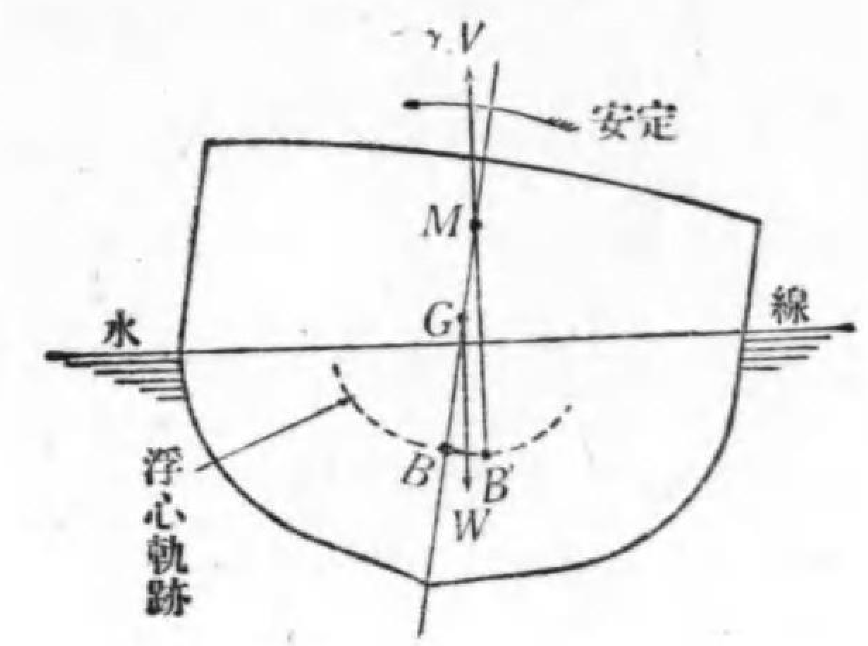
(答　6211 t, 重心は満載水線面下方 0.33 m
船の中央の後方 3.23 m)

重量の項目が更に澤山あるときは,(+)と(−)の欄を別別に設けると計算が容易である。

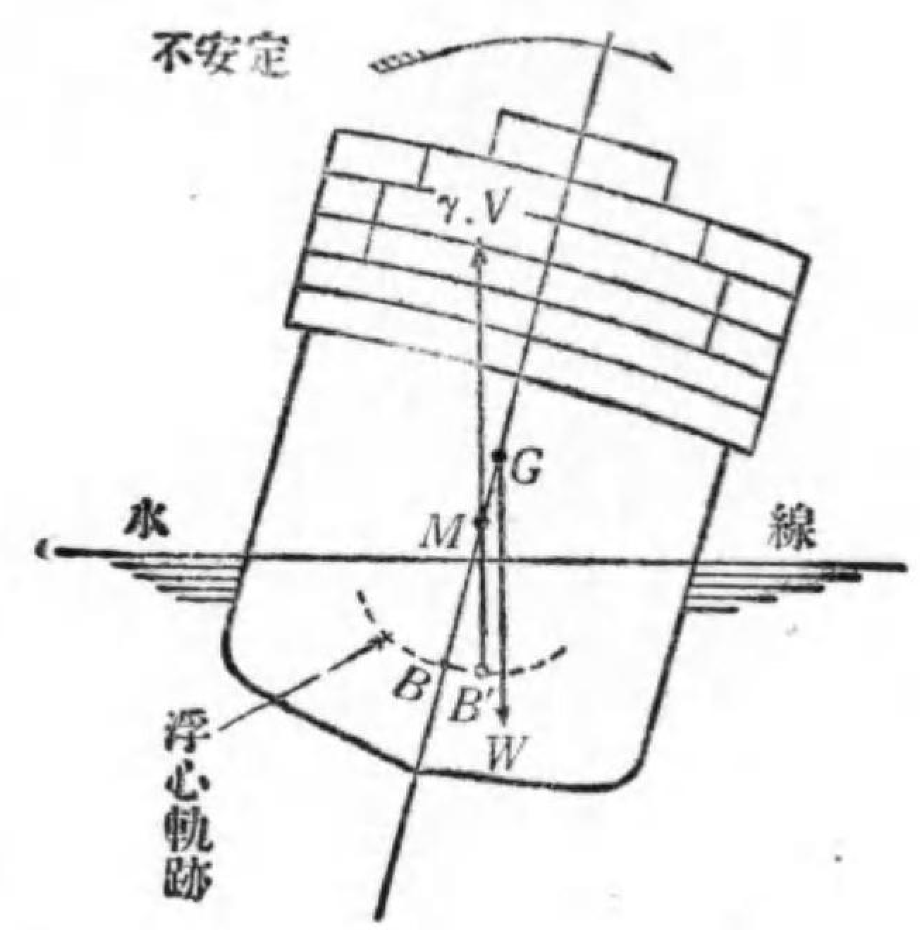
第 4.　浮體の釣合

1.　浮體の釣合

浮體の釣合には安定･不安定･中立の三つがある。浮體をその靜止の位置から僅かに傾けた場合,もとに戻る傾向にあるときを安定といひ,更に傾く傾向にあるときを不安定といひ,いづれの傾向もないときを中立といふ。

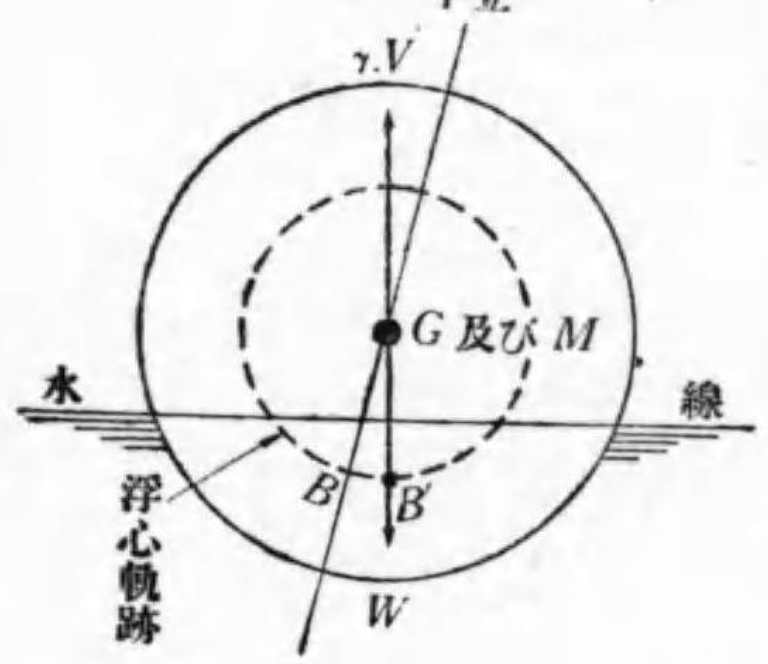


第 4･1 圖
安定の場合



第 4･2 圖
不安定の場合

船が傾くとその排水體積は不變ではあるが,その形狀が中央縱斷面に對して對稱でなくなり,隨つて浮心Bは或る軌跡をゑがいて第4•1圖のやうにB'に移動する。これを浮心軌跡といふ。B'を通る浮力の作用線と船の中心線との交點Mが重心Gよりも上方にある場合は安定,下方にある場合は不安定,一致する場合は中立である。船をごく僅かに傾けたときのM點の位置が傾心である。傾心はメタセンターともいふ。一般に,10°くらゐまでの傾斜の範圍ではM點は殆ど移動しないから,小傾斜のときはM點は常に傾心にあるとみなしてよい。隨つて,この範圍では浮心が傾斜につれて移動すると考へる代りに,浮心が傾心の位置にあつて移動しないと考へてもよい。或は傾心

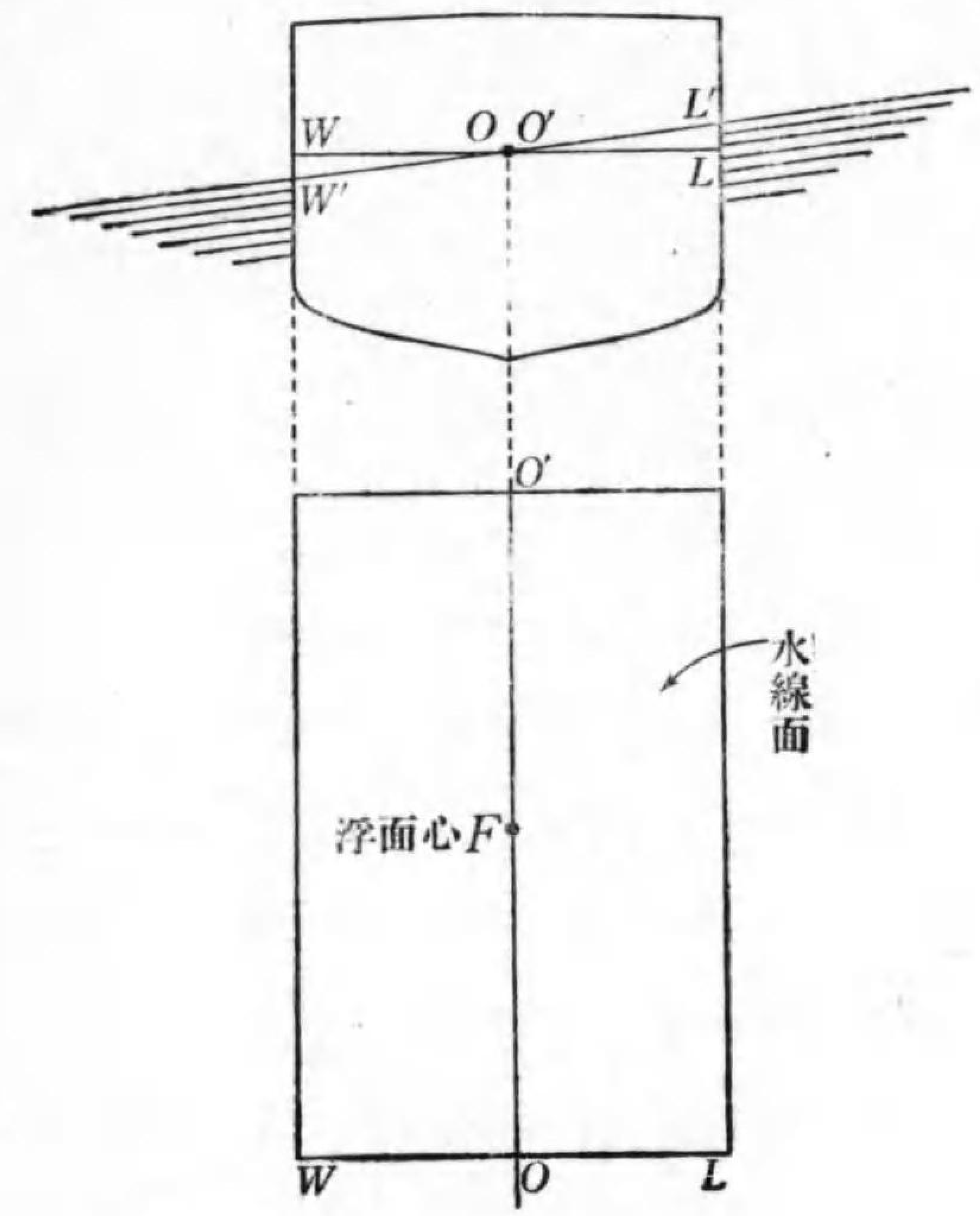


第4•3圖　中立の場合

の所で船が吊下げられてゐると考へることもできる。

2. 浮　面　心

船の水線面の面積の重心を浮面心といふ。第4•4圖のやうな一樣斷面のある船が,僅か傾



第4•4圖

斜して水線が WL から $W'L'$ になつたとすれば，排水量は一定であるから，楔形の露出排水體積 WOW' は沒入排水體積 LOL' に等しくなければならない。

即ち，船の長さを L とすれば，

$$\left(\frac{1}{2}\cdot\overline{OW}\cdot\overline{WW'}\right)\cdot L=\left(\frac{1}{2}\cdot\overline{OL}\cdot\overline{LL'}\right)\cdot L$$

$$\left(\frac{1}{2}\cdot\overline{OW}\cdot\overline{OW}\cdot\tan\theta\right)\cdot L=\left(\frac{1}{2}\cdot\overline{OL}\cdot\overline{OL}\cdot\tan\theta\right)\cdot L$$

これから，次式が求められる。

$$\overline{OW}=\overline{OL}$$

隨つて，水線面 WL と $W'L'$ との交線 OO' は，水線面 WL の浮面心 F を通らなければならない。

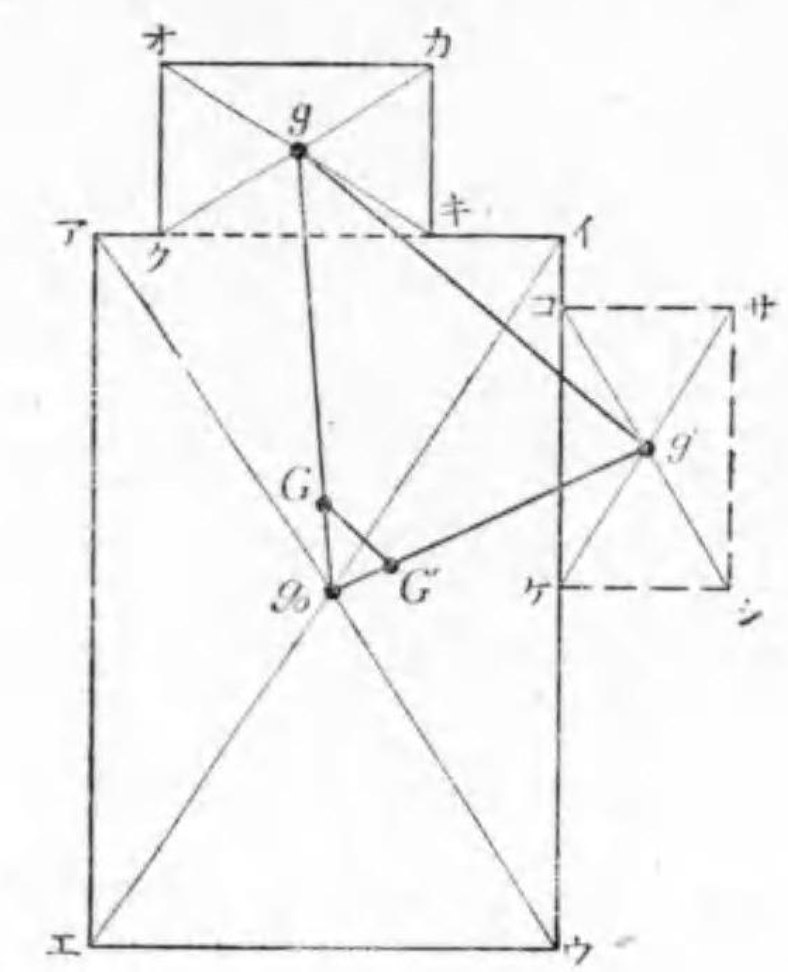
一般に水線面がどんな形狀をしてゐても，又どんな方向に傾斜する場合でも，小傾斜をした場合，水線面の交線は浮面心を通るべきことを證明することができる。船側がすべて鉛直のときは，甲板が水中に入つたり，船底が水上に出たりしない限り，大きな傾斜でも水線面の交線は浮面心を通る。

3. 面積の一部移動による圖形重心の移動

第 4・5 圖のアクオカキイウエの面積を A，重心を G とし，その一部オカキクの面積を a，重心を g とすれば，殘りの面積アイウエは $(A-a)$，重心は g_0 で g, G, g_0 は同一直線上にあり，且つ

$$\frac{\overline{g_0G}}{\overline{g_0g}}=\frac{a}{A}$$

である。



第 4・5 圖

圖形重心の移動

ここに，面積オカキクがケコサシの部分に移動したため，その重心が g から g' に移動したとする。移動後の圖形アイコサシケウエの重心 G' は，g_0 と g' を結ぶ線上にあつて，

$$\frac{\overline{g_0G'}}{\overline{g_0g'}}=\frac{a}{A}$$

隨つて，$\triangle g_0GG'$ と $\triangle g_0gg'$ とは相似であるから，

$$\frac{\overline{g_0G}}{g_0g}=\frac{\overline{g_0G'}}{g_0g'}=\frac{\overline{GG'}}{gg'}=\frac{a}{A}$$

故に，

$$\overline{GG'}\,//\,\overline{gg'} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot1)$$

且つ，

$$\overline{GG'}=\overline{gg'}\cdot\frac{a}{A} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot2)$$

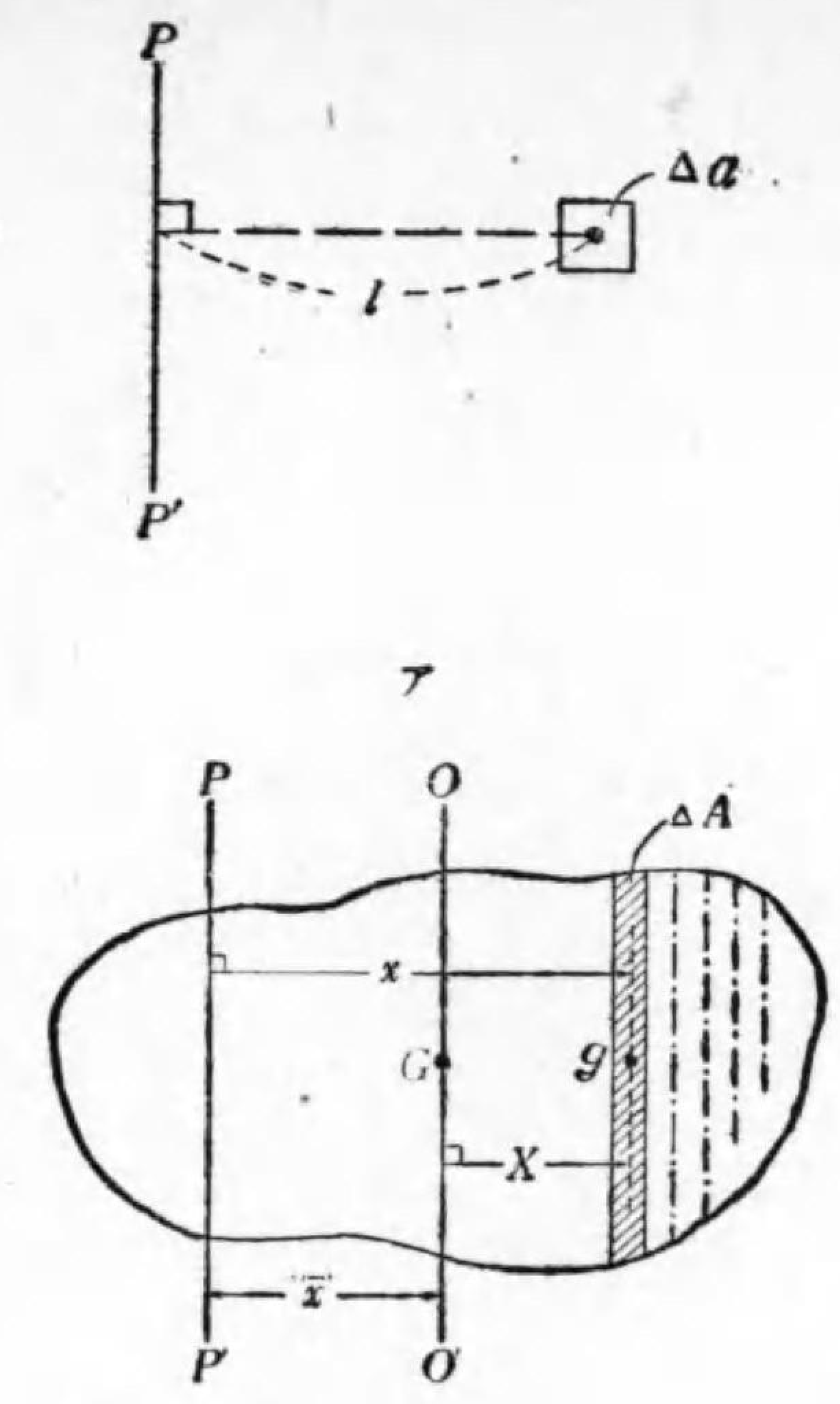
となる。

卽ち全圖形の重心は，一部圖形の重心移動に平行に(4·2)式の $\overline{GG'}$ だけ移動する。一般に，圖形がどんな形をしてゐても同樣である。又，面積の代りに體積或は重量の一部移動を考へる場合にも，その重心の移動については全く同樣の關係が成り立つ。

4. 面積の二次モーメント

第4·6圖㋐の軸 PP' に對する微小面積 $\varDelta a$ の二次モーメントとは，$\varDelta a$ に軸からその重心までの垂直距離の二乘を掛けた $\varDelta a\cdot l^2$ である。

第4·6圖㋑のやうな圖形の軸 PP' に對する



第4·6圖
面積の二次モーメント

二次モーメント $I_{PP'}$ を求めるには，圖形を軸 PP' に平行で幅のごく狹い細長片にわけ，その任意の一つの面積を $\varDelta A$，重心 g と軸 PP' 間の距離を x とすれば，次式のとほり求められる。

$$I_{PP'}=\Sigma\varDelta A\cdot x^2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot3)$$

全圖形の重心 G と軸 PP' 間の距離 $\bar{x}$ は，全圖

形の面積を A として(2・30)式から,

$$\bar{x} = \frac{\Sigma\Delta A\cdot x}{\Sigma\Delta A} = \frac{\Sigma\Delta A\cdot x}{A}$$

$x = \bar{x} + X$ であるから,次式のとほりになる。

$$I_{PP'} = \Sigma\Delta A(X + \bar{x})^2$$
$$= \Sigma\Delta A\cdot X^2 + 2\Sigma\Delta A\cdot X\cdot\bar{x} + \Sigma\Delta A\cdot\bar{x}^2$$

然るに,軸 PP に平行で且つ重心 G を通る軸 OO' に對する圖形の二次モーメント $I_{OO'}$ は,(4・3)式から

$$I_{OO'} = \Sigma\Delta A\cdot X^2$$

となつて,$\bar{x}$ は一定値であるから,Σ の符號の外に出すことができる。

$\Sigma\Delta A = A$ であるから,

$$I_{PP'} = I_{OO'} + 2\bar{x}\cdot\Sigma\Delta A\cdot X + A\cdot\bar{x}^2$$

となる。然るに,$\Sigma\Delta A\cdot X$ は重心を通る軸 OO' に對する圖形のモーメントであるから,0である。

$$\therefore\ I_{PP'} = I_{OO'} + A\cdot\bar{x}^2 \quad\cdots\cdots(4\cdot4)$$

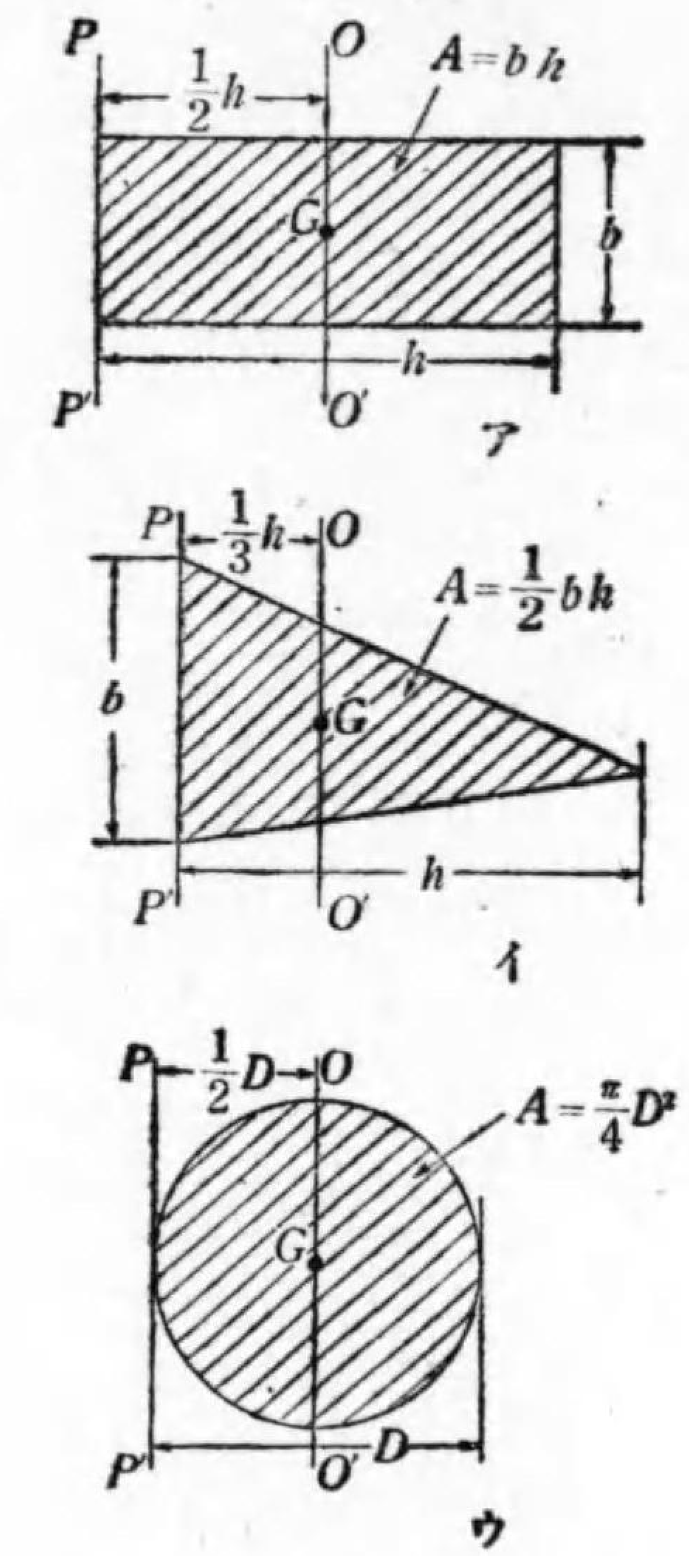
隨つて,重心を通る軸に對する二次モーメントは,これに平行な軸に對する二次モーメントのうちで最小であることがわかる。

第4・7圖のやうな簡單な圖形の二次モーメントを次に示す。

(ア)矩　形

$$I_{OO'} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}Ah^2$$

$$I_{PP'} = \frac{1}{3}bh^3 = \frac{1}{3}Ah^2$$



第4・7圖

(イ)三角形

$$I_{OO'} = \frac{1}{36}bh^3 = \frac{1}{18}Ah^2$$

$$I_{PP'} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{6}Ah^2$$

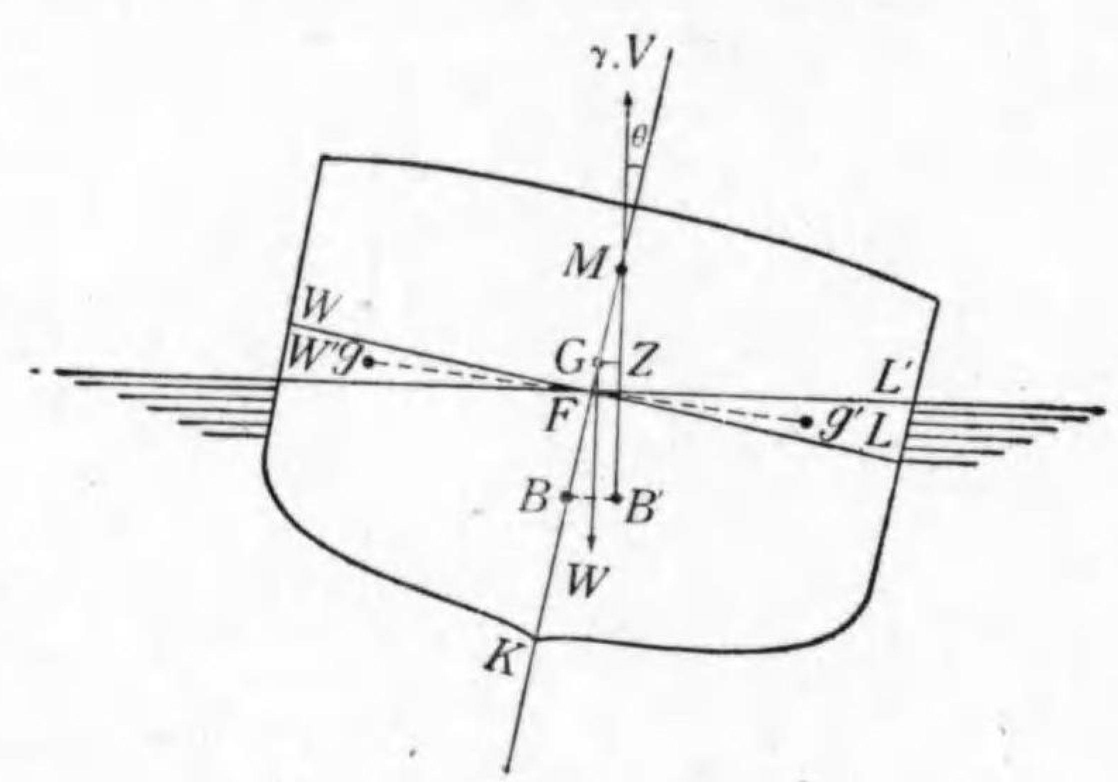
(ウ)圓　形

$$I_{OO'} = \frac{1}{64}\pi D^4 = \frac{1}{16}AD^2$$

$$I_{PP'} = \frac{5}{64}\pi D^4 = \frac{5}{16}AD^2$$

5. 初期復原力

第4·8圖で,船が安定な釣合で靜止してゐるときの水線を WL,浮心を B とし,θ だけ傾斜したときの水線を $W'L'$,浮心を B' とする。B' を通



第4·8圖　靜的復原力

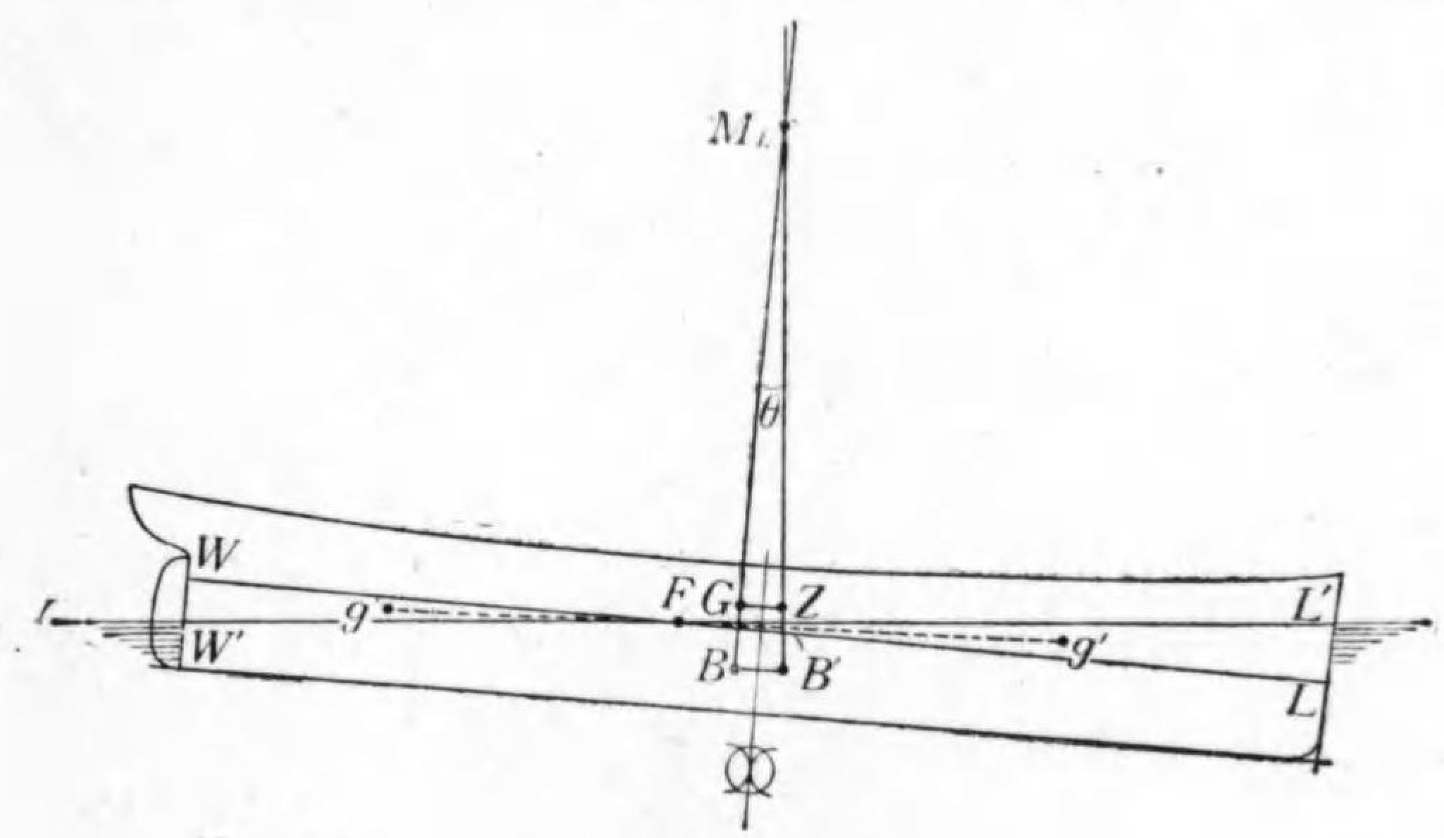
る新しい浮力作用線に,重心 G から垂線をひきその足を Z とすれば,船をもとに戻さうとする偶力のモーメントは $W \times \overline{GZ}$ で,この復原モーメントを靜的復原力といふ。M 點が殆ど移動しない小傾斜の範圍の靜的復原力を,初期復原力といふ。

初期復原力 $= W \cdot \overline{GZ} = W \cdot \overline{GM} \cdot \sin\theta$ ……(4·5)

$\overline{GM}$ は重心と傾心との間の距離で,これを傾心高といふ。

6. 横傾心と縦傾心

第4·8圖のやうに横傾斜のときの傾心 M を



第4·9圖　縦傾心

横傾心といひ,第 4・9 圖のやうに縦傾斜のときの傾心 M_L を縦傾心といふ。

重心と横傾心との間の距離 $\overline{GM}$ を横傾心高といひ,重心と縦傾心との間の距離 $\overline{GM_L}$ を縦傾心高といふ。

浮心と横傾心との間の距離 $\overline{BM}$ を横傾心半徑といひ,浮心と縦傾心との間の距離 $\overline{BM_L}$ を縦傾心半徑といふ。

7. 横傾心半徑と縦傾心半徑

第 4・8 圖で,露出排水體積 v の重心を g とし,沒入排水體積 v の重心を g' とすれば,横傾斜のために一部分の浮力 $\gamma\cdot v$ が g から g' に移動するから,前節 **3** の法則により,全體の浮力 $\gamma\cdot V$ は gg' に平行に B から B' に移動する。

$$\overline{BB'}=\overline{gg'}\cdot\frac{v}{V} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot6)$$

傾斜がごく僅かのときには,BB' は WL 或は $W'L'$ に平行とみなしても差支ない。

$$\overline{BM}\cdot\tan\theta=\overline{BB'}$$

$$\therefore\quad \overline{BM}=\frac{\overline{BB'}}{\tan\theta}=\frac{v\cdot\overline{gg'}}{V\cdot\tan\theta}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot7)$$

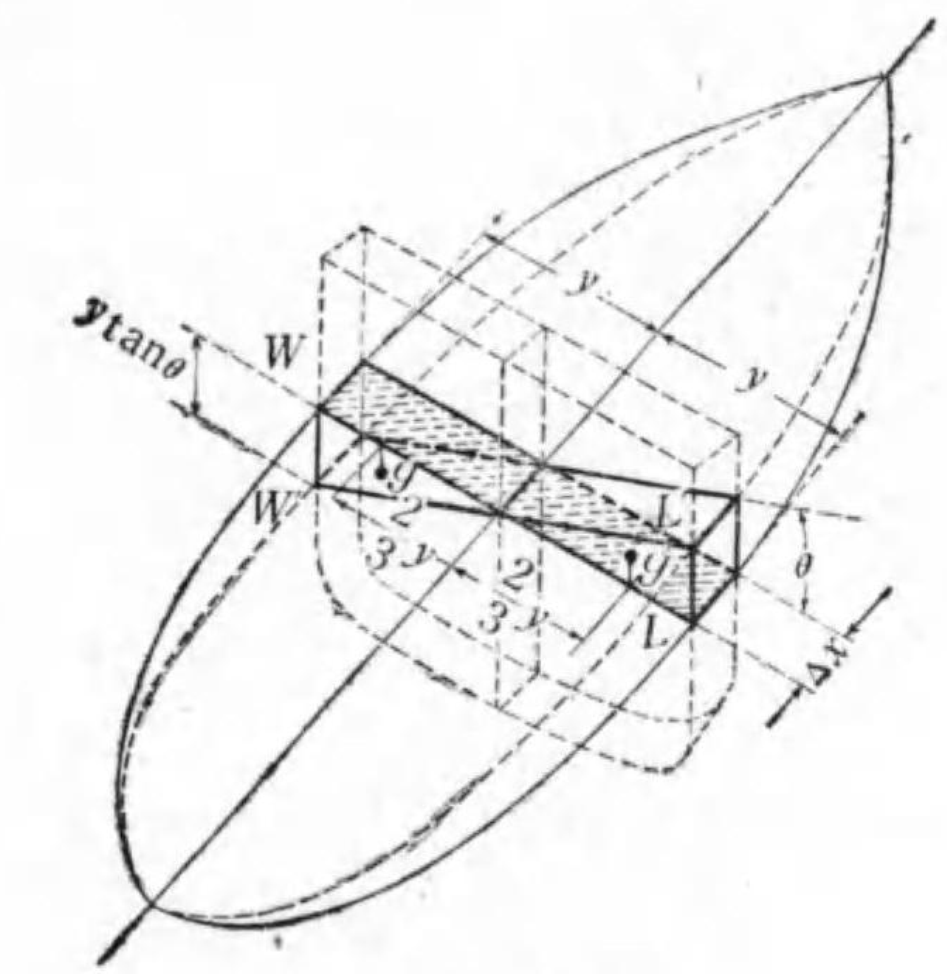
ここに,第 4・10 圖のやうにごく小さい長さ $\varDelta x$ の部分を考へ,その水線面の半幅を y とし,露出又は沒水排水體積を $\varDelta v$ とすれば,

$$\varDelta v\cdot\overline{gg'}=\left(\frac{1}{2}\cdot y\cdot y\tan\theta\cdot\varDelta x\right)\cdot2\cdot\frac{2}{3}y$$

$$=\frac{2}{3}y^3\cdot\varDelta x\cdot\tan\theta$$

となる。隨つて全長に亙つて合計すれば $v\cdot\overline{gg'}$ が得られるから,

$$v\cdot\overline{gg'}=\varSigma\varDelta v\cdot\overline{gg'}=\tan\theta\cdot\varSigma\frac{2}{3}y^3\cdot\varDelta x$$



第 4・10 圖

となる。然るに第4・10圖で水線面の斜線をひいた部分の中心線に對する二次モーメントは，$2\left(\frac{1}{3}y\cdot\Delta x\cdot y^2\right)$であるから，$\Sigma\frac{2}{3}y^3\cdot\Delta x$は中心線に對する水線面の二次モーメントを表す。これをIとすれば，$v\cdot gg' = I\cdot\tan\theta$となる。この關係を(4・7)式に入れれば,横傾心半徑は次式のとほり求められる。

$$\overline{BM} = \frac{I}{V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4\cdot8)$$

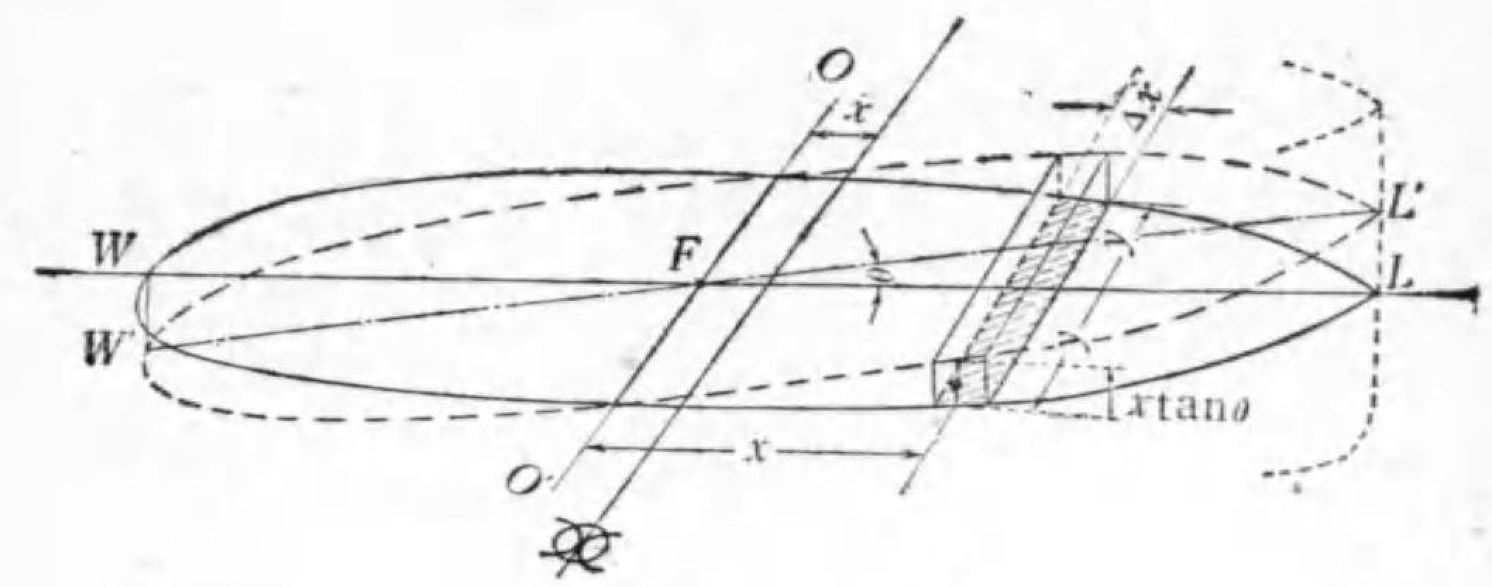
これによつて横傾心の位置がわかる。

縦傾斜の場合も同様である。第4・9圖で露出及び沒入排水體積をv,重心をそれぞれg, g'とすれば,一部浮力$\gamma\cdot v$がgからg'に移動するための浮心の移動量$\overline{BB'}$は(4・6)式と同様であるから,

$$\overline{BM_L} = \frac{\overline{BB'}}{\tan\theta} = \frac{v\cdot\overline{gg'}}{V\cdot\tan\theta} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4\cdot9)$$

となる。$v\cdot\overline{gg'}$を求めるには,$v\cdot\overline{gF} + v\cdot\overline{Fg'}$を計算すればよい。

ここに,第4・11圖のやうに,露出又は沒入排水體積をごく小さい長さΔxの部分にわけてその



第4・11圖

體積をΔvとし,浮面心Fからその重心までの距離をx,水線面の半幅をyとすれば,

$$\Delta v = 2y\cdot\Delta x\cdot x\tan\theta$$

となる。これにxを掛けて,Fから後方を合計すれば$v\cdot\overline{gF}$が得られ,Fから前方を合計すれば$v\cdot\overline{Fg'}$が得られる。随つて,水線面全體を合計すれば,$v\cdot\overline{gg'}$が求められる。

$$\therefore\ v\cdot\overline{gg'} = \Sigma\Delta v\cdot x = \Sigma 2x^2y\cdot\Delta x\cdot\tan\theta$$
$$= \tan\theta\cdot\Sigma 2y\Delta x\cdot x^2$$

然るに,$2y\Delta x$は水線面の斜線をひいた部分の面積で,$2y\Delta x\cdot x^2$はFを通る軸OO'に對するその二次モーメントであるから,$\Sigma 2y\Delta x\cdot x^2$は$F$を

通る軸 OO' に對する水線面の二次モーメントを表す。これを I_L とすれば

$$v\cdot\overline{gg'} = I_L\cdot\tan\theta$$

となり,この關係を(4・9)式に入れれば,縦傾心半徑は,

$$\overline{BM_L} = \frac{I_L}{V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot10)$$

となる。

これによつて縦傾心の位置がわかる。

8. 水線面二次モーメントの計算

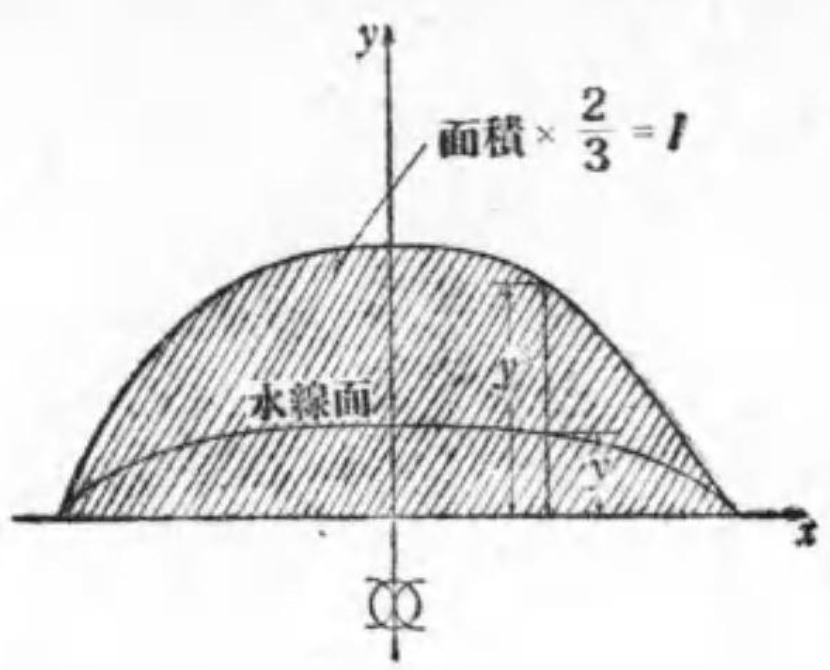
前節7で,中心線に對する水線面二次モーメント I と,浮面心を通る x 軸に對する縦方向の水線面二次モーメント I_L は,

$$I = \frac{2}{3}\Sigma y^3\cdot\Delta x \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot11)$$

$$I_L = 2\Sigma x^2 y\cdot\Delta x \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot12)$$

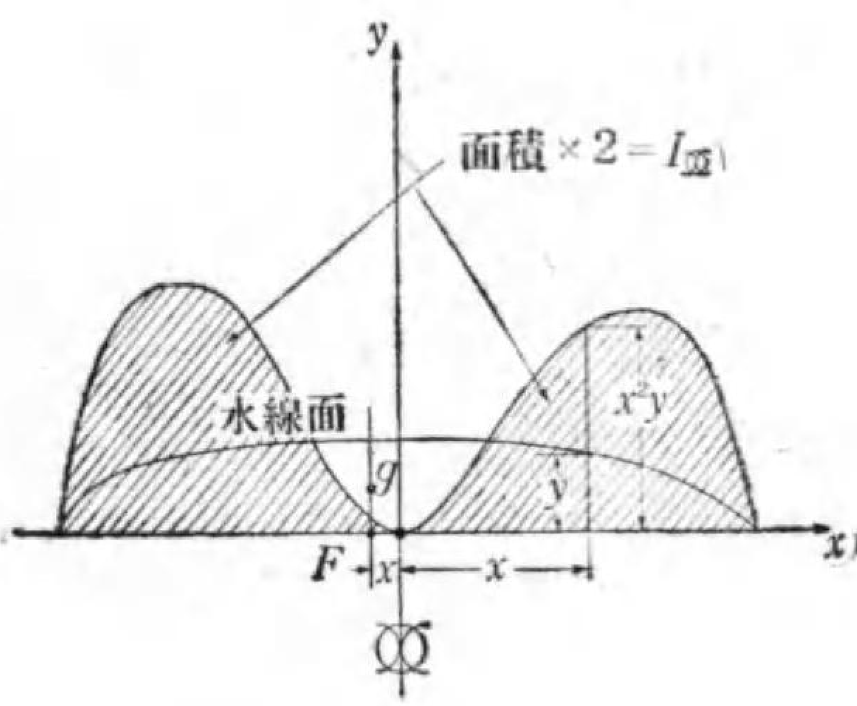
で求められることを知つた。第2の8の面積のモーメント計算のときと同様に,第4・12圖のやうに水線面の半幅の三乘を y 座標とする曲線圖形の面積を計算して $\frac{2}{3}$ 倍すれば I が得られる。(4・8)と(4・11)式とから,横傾心半徑の計

算は排水量計算表に示すやうに行ふ。



第4・12圖　Iの計算

又,第4・13圖のやうに船の中央に原點をとり,水線面の半幅 y に,原點からの距離 x の二乘を掛けた値を新しい y 座標とする曲線圖形の面積を計算して2倍すれば,y 軸に對する水線面の二次モーメント I_{ϕ} が得られる。それ故 I_L は(4・4)式から,次式のとほり求められる。



第4・13圖　I_{ϕ}の計算

$$I_L = I_{\phi} - A_w\cdot\bar{x}^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot13)$$

(4・10)と(4・13)式から縦傾心半徑の計算は,排

水量計算表に示すやうにして行ふ。

（問　題）第2の9の例題に示す水線面の I 及び I_L の計算を表示せよ。

（答　$I=176.58\,\mathrm{m}^4$, $I_L=1765.46\,\mathrm{m}^4$）

9. 横傾心高と縦傾心高

基線から浮心までの距離 $\overline{KB}$ と,浮心から傾心までの距離 $\overline{BM}$ とは,船型線圖の寸法から排水量計算表で計算できる。重心 G の位置は,荷物の積み方などによつて異なるが,基線から重心までの高さ $\overline{KG}$ がわかれば,第4・8圖によつて次式が成り立つことがわかる。

$$\overline{GM}=\overline{KB}+\overline{BM}-\overline{KG} \quad \cdots\cdots(4\cdot14)$$

縦方向のときも同様である。

（問　題）(3・1)と(3・2)式から $\overline{KB}$ を求める近似式を作れ。

(3・1)式から,

$$\overline{KB}= \quad \cdots\cdots(4\cdot15)$$

(3・2)式から,

$$\overline{KB}= \quad \cdots\cdots(4\cdot16)$$

次に $\overline{BM}$ の近似式を考へてみる。前節4で

學んだやうに,面積の二次モーメントは n を或る係數として $I=nAh^2$ の形で表されることがわかる。

水線面のときは,

$$I=nLB^3 \quad \cdots\cdots(4\cdot17)$$

$$I_L=n'BL^3 \quad \cdots\cdots(4\cdot18)$$

で表される。大體に於いて,

水線面が細形のとき, $n=0.04$, $n'=0.03$

水線面が普通のとき, $n=0.05$, $n'=0.04$

水線面が太形のとき, $n=0.06$, $n'=0.05$

くらゐである。

（問　題）前節8の問題で計算した水線面では,n と n' は何程になるか。

又 $V=C_b\cdot L\cdot B\cdot d$ であるから, $\overline{BM}$ の近似式は次のとほりである。

$$\overline{BM}=a\frac{B^2}{d} \quad \cdots\cdots(4\cdot19)$$

$$\overline{BM_L}=b\cdot\frac{L^2}{d} \quad \cdots\cdots(4\cdot20)$$

ここに a, b は或る係數で,ほぼ a は 0.085, b は 0.075 くらゐである。

船の長さの中央で,基線から最上の全通甲板側緣までの高さをDとすれば,$\overline{KG}$は大體 0.55〜0.65D である。

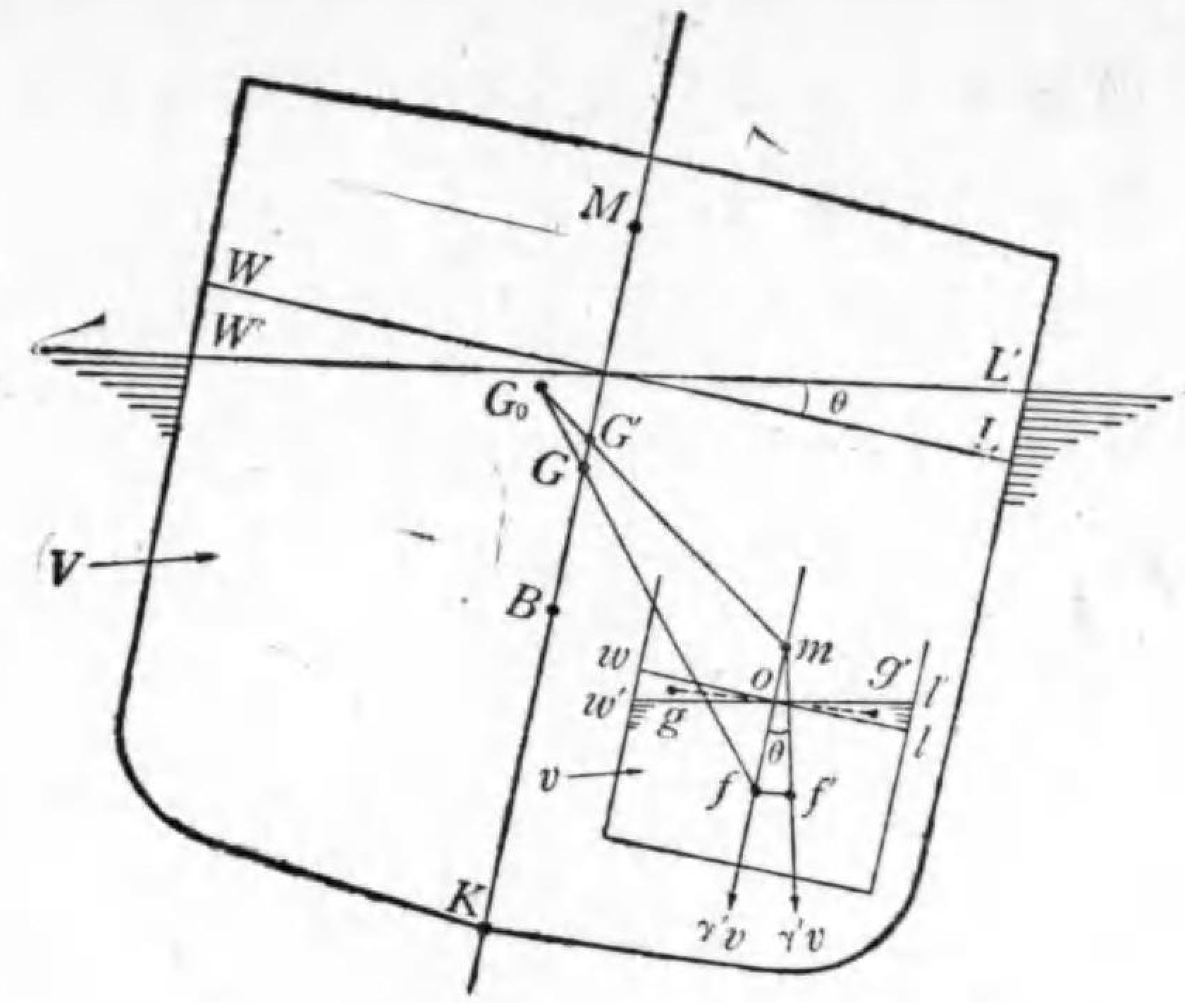
傾心高 $\overline{GM}$ は,船の安定と乘心地に大きな關係があるから,適當な値にする必要がある。

普通は大體次のやうである。

戰　艦	$\overline{GM}$ = 150〜200 cm
巡洋艦	〃 = 60〜120 cm
驅逐艦	〃 = 50〜70 cm
砲　艦(淺吃水)	〃 = 300〜350 cm
貨物船	〃 = 30〜90 cm
客　船	〃 = 40〜110 cm
曳　船	〃 = 35〜45 cm
帆　船	〃 = 90〜110 cm

10. 遊動水の影響

空氣と觸れてゐる水面を自由表面といひ,船內にあつて自由表面を有する水を遊動水といふ。第4・14圖で,船が小傾斜すると遊動水の自由表面wlは常に水平を保たうとして$w'l'$にな



第4・14圖　遊　動　水

るから,wow'部分がlol'へと移動する。隨つて遊動水の重心fはf'に移動する。f, f'を通る重力の作用線の交點をmとすれば,前節7の浮力を重力,傾心をm點と考へ(4・8)式と同樣にすれば次式が得られる。

$$\overline{fm} = \frac{i}{v} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot21)$$

i: 自由表面の傾斜軸に對するその二次モーメント

v. 遊動水の體積

卽ち,遊動水は重心が移動すると考へる代り

に,遊動水を固體とみなしてその重心 f を m まで上昇して重心が移動しないと考へることができる。船が浮いてゐる水の密度を γ,遊動水の密度を γ' とすれば,遊動水が $\overline{fm}$ だけ上昇することによる船全體の重心 G の上昇量 $\overline{GG'}$ は,(4・2)式から次式が成り立つ。

$$\overline{GG'}=\overline{fm}\cdot\frac{\gamma'\cdot v}{\gamma\cdot V}=\frac{\gamma'}{\gamma}\cdot\frac{i}{V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot22)$$

即ち,遊動水があると,傾心高は $\overline{GG'}$ だけ減少する。船の内外の水が同一密度であれば,

$$\left.\begin{array}{l}\text{遊動水が存在するときの}\\\text{傾心高の減少量}\end{array}\right\}=\frac{i}{V} \quad \cdots\cdots(4\cdot23)$$

となる。これから,傾心高の減少量は遊動水の量には無關係で,その自由表面の二次モーメントにだけ關係することがわかる。

(問　題)

(1) 遊動水が存在するときの初期復原力を表す式を作れ。

(2) 遊動水の自由表面の中心線に縦隔壁を設けると傾心高の減少量は何分の一となるか。
縦隔壁を3箇にして4等分すると減少量を何分の一にすることができるか。

(3) 罐の蓋を水に浮かべ,蓋の中へ水を入れるとどうなるか。この蓋がまつすぐに安定するためにはどうすればよいか。これには二つの方法がある。

(4) 第4・14圖の G_0 はどんな點か。

11. 重量の横移動による横傾斜

第4・15圖のやうに,既に船上にある重量 w を g から g' まで横方向に距離 l だけ移動させると,このために船の重心 G は G' に移動する。その移動量 $\overline{GG'}$ は(4・2)式から,次式のとほりになる。

$$\overline{GG'}=\frac{wl}{W}$$

このために,新しい浮心 B' が G' と同一鉛直線内にくる所まで傾斜する。傾斜角 θ が小さいときは B' を通る鉛直線と中心線の交點 M は傾心にあると考へてよいから,

$$\overline{GM}\cdot\tan\theta=\overline{GG'}$$

$\overline{GG'}$ に前の値を入れて $\overline{GM}$ について解けば,

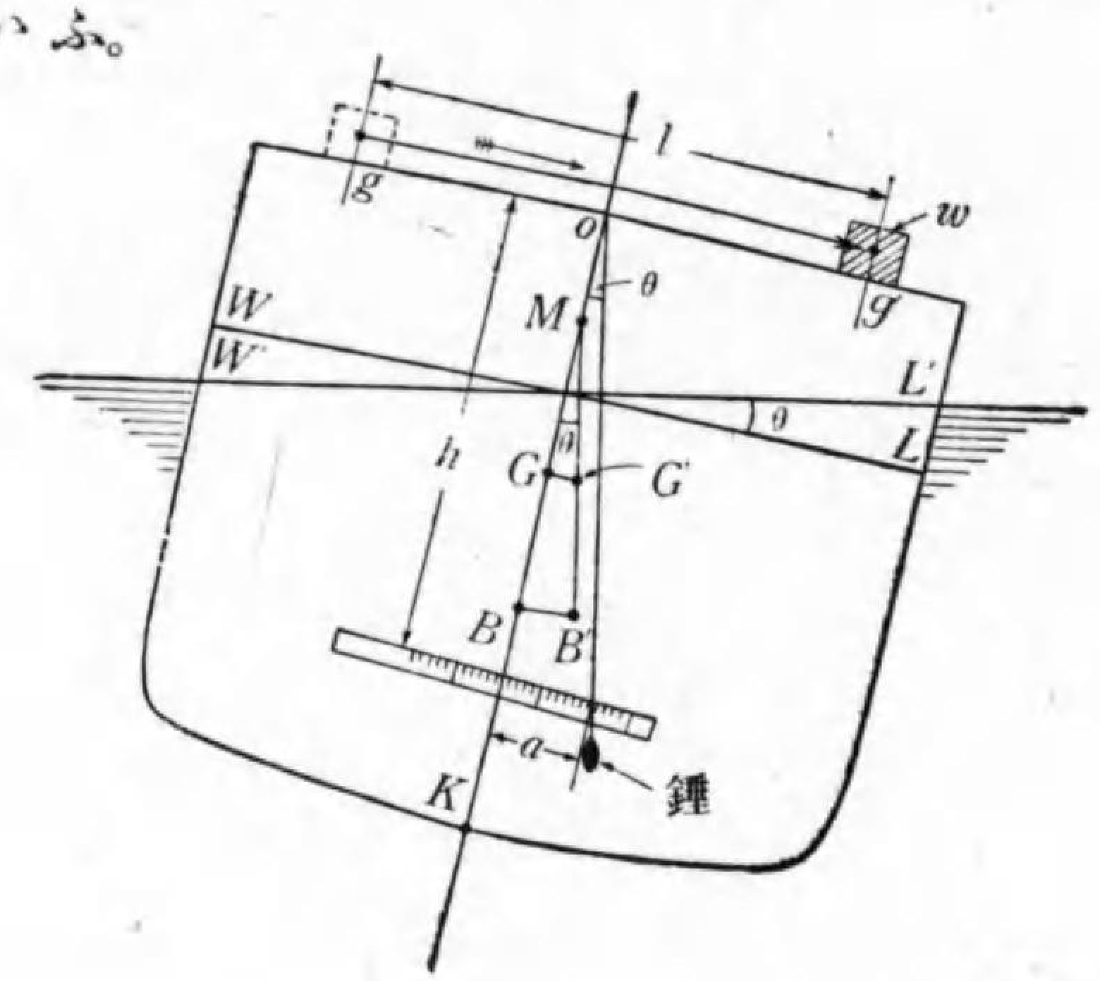
$$\overline{GM}=\frac{wl}{W\cdot\tan\theta} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot24)$$

となる。但し $\overline{GM}$ がごく小さいときにはたと

ひθが小さくてもM點は傾心にあると考へると大きな誤差が生じるから,この式は使用できない。

12. 傾斜試驗

船上の重量を横移動させて傾斜角を測定すれば,(4・24)式からその船の傾心高がわかる。傾心の位置は,排水量曲線圖から讀取られるから,船の重心の高さを知ることができる。このやうにして船の重心の高さを求めることを傾斜試驗といふ。



第4・15圖　傾斜試驗

船の中央Oから糸で錘を吊し,Oから下方hに目盛尺を水平に置き,錘の片寄つた長さaを讀取れば,

$$\tan\theta = \frac{a}{h}$$

によつて傾斜角θがわかる。この關係を(4・24)式に入れれば次式が得られる。

$$\overline{GM} = \frac{wl}{W\cdot\frac{a}{h}} \quad \cdots\cdots\cdots(4\cdot25)$$

誤差が大きくならないため,θを3～5°くらゐにするやうに$w\cdot l$を適當に定める。θは2-3箇所で測定して平均する。Wを正確に知るために吃水を船の前・中央・後の左右舷で,又水の密度を前・中央・後の左右舷の表面・下方などで測定する。

傾斜試驗をするときは靜かな日を選び,遊動水や移動しやすい物をなるべくなくし,又船への出入の橋や繫索を取はづす。

傾斜角を讀取るときは船内の人はみな中心線に集り,船が完全に靜止してから行ふ。

$\overline{GM}$ がごく小さいときには船の底へ重量を積んで,GM を相當大きくしてから傾斜試驗を行ふ。

(問　題) 長さ 50m, 幅 10m, 深さ 5m の箱型の船が,一様の吃水 3.2m で平均密度 1.025 t/m³ の海水中に浮かんでゐるとき,既に船上にある 10 t の重量を横方向に 8m 移動したところ, 5m の長さの錘が 25.5 cm 片寄つた。このときの船の重心の高さを求めよ。　　　(答　底面から上方 3.24 m)

13. 重量の縦移動による トリム變化

船のトリムとは前後吃水の差をいふ。後部吃水の方が 50cm 大であるときは,船尾へ 50cm トリムといひ,前部の方が 50cm 大であるときは,船首へ 50cm トリムといふ。船の前後吃水の値が變つた場合に,後部吃水の增加量と前部吃水の減少量との和を船尾へのトリム變化といひ,後部の減少量と前部の增加量との和を船首へのトリム變化といふ。隨つて,前後共に同一の吃水增加又は減少量のあるときはトリム變化がない。

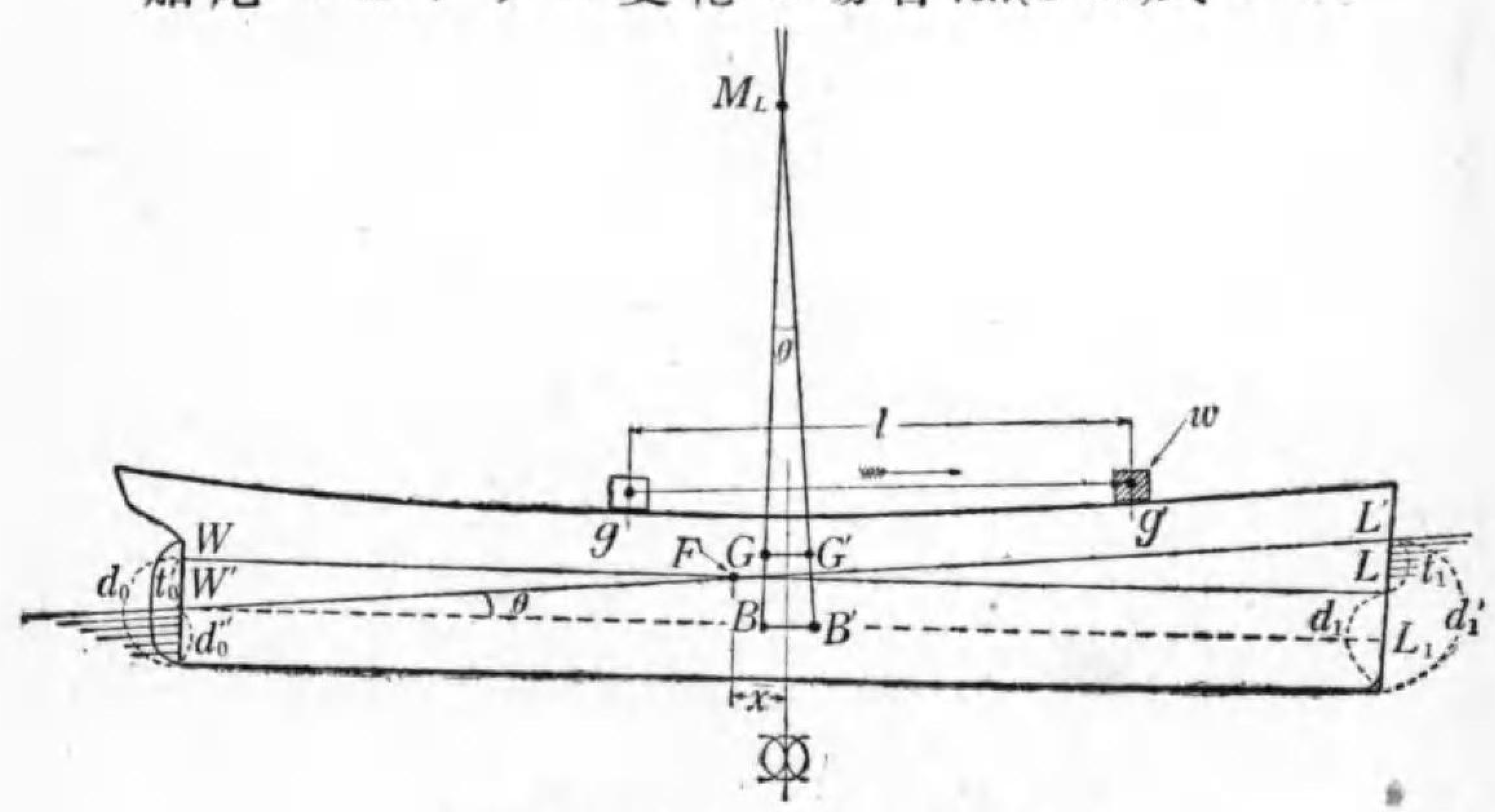
第4・16圖で,船の最初の水線 WL に於ける後部・前部吃水を d_0, d_1 とし,傾斜後の水線 $W'L'$ に於ける吃水を d_0', d_1' とし,後部吃水の減少量 $\overline{WW'}$ を t_0 前部吃水の增加量 $\overline{LL'}$ を t_1 とすれば,船首へのトリム變化 t は次式で表される。

$$t = t_0 + t_1 \text{ (cm)} \cdots\cdots (4\cdot26)$$

なほ,

$$\left.\begin{aligned} d_0' &= d_0 - t_0 \\ d_1' &= d_1 + t_1 \end{aligned}\right\} \text{(cm)} \cdots\cdots (4\cdot27)$$

船尾へのトリム變化の場合は,(4・27)式の＋－



第 4・16 圖　トリム變化

の符號を逆にすればよい。

既に,船上にある重量 w(t) を第4・16圖のやうに g から g' まで縱方向に距離 l(m) だけ移動させると,このため船の重心 G は G' に移動する。

この移動量 $\overline{GG'}$ は,

$$\overline{GG'} = \frac{wl}{W}$$

となり,このため新しい浮心 B' が G' と同一鉛直線内にくる所まで縱傾斜する。この傾斜角 θ が小さいときは,浮力作用線の交點 M_L は縱傾心であるから次式が成り立つ。

$$\overline{GM_L}\cdot\tan\theta = \overline{GG'}$$

以上2式から,

$$\tan\theta = \frac{wl}{W\cdot GM_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot28)$$

となる。W' を通り水線 WL に平行に $W'L_1$ をひけば,船の長さを L(m),トリム變化を t(cm) として,

$$\tan\theta = \frac{\overline{L_1L'}}{W'L_1} = \frac{t}{100L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot29)$$

となる。(4・28) と (4・29)式から,トリム變化は,

$$t = 100L\cdot\frac{wl}{W\cdot GM_L}\,(\mathrm{cm}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot30)$$

である。重量移動によつて,1cmのトリム變化を生じさせる傾斜モーメント wl の値を毎糎トリムモーメントといふ。これを M で表せば,(4・30)式より,次式が求められる。

$$M = \frac{W\cdot\overline{GM_L}}{100\cdot L}\,(\mathrm{m\cdot t}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot31)$$

隨つて,毎糎トリムモーメントがわかつてゐれば,トリム變化 t は,次式のとほりである。

$$t = \frac{wl}{M}\,(\mathrm{cm}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot32)$$

傾斜したときの水線面 $W'L'$ は, WL の浮面心 F を通り, $\triangle WFW'$ と $\triangle LFL'$ とは相似であるから,次式が成り立つ。

$$\frac{\overline{WW'}}{\overline{LL'}} = \frac{FW}{FL} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot33)$$

浮面心 F が船の中央から $\bar{x}$(m) だけ後方にあるとすれば,上式は次のとほりになる。

$$\frac{t_0}{t_1} = \frac{\dfrac{L}{2} - \bar{x}}{\dfrac{L}{2} + \bar{x}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot34)$$

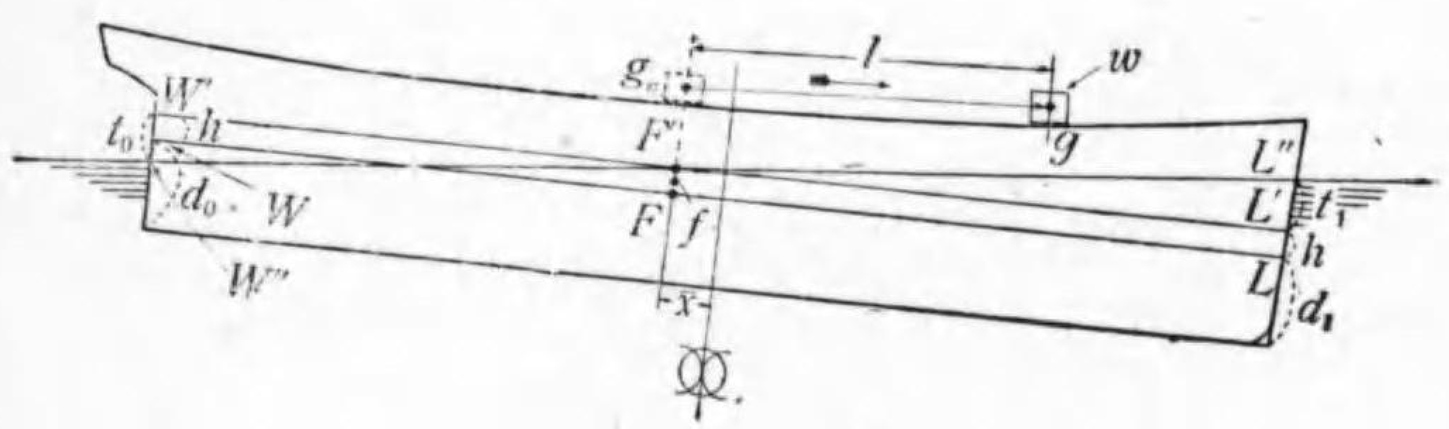
(4・26) と (4・34)式から t_0, t_1 を解けば,

$$\left.\begin{aligned} t_0 &= \frac{\dfrac{L}{2} - \bar{x}}{L}\, t \\ t_1 &= \frac{\dfrac{L}{2} + \bar{x}}{L}\, t \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (4\cdot35)$$

となる。 随つて,(4・27)式から前後吃水がわかる。浮面心が船の中央から前方にある場合は,(4・35)式の＋－を逆にすればよい。

14. 重量の積卸による前部・後部吃水の變化

第4・17圖のやうに,任意の點 g に重量 w を積んだときの前後吃水の變化は,(ア)重量を水線面 WL の浮面心 F の眞上の點 g_0 に積む,(イ) g_0 から g に重量を移動すると2段にわけて考へても結果は同じである。



第 4・17 圖

(ア)重量 w を WL の浮面心 F の眞上の g_0 に積んだとき,重量が餘り大きくないとすれば,トリムを變へずに一様に水線面 $W'L'$ まで沈下する。これは, WL 及び $W'L'$ 間の層の浮心 b は F と同一鉛直線内にあるとみなせるからである。 その沈下量 h(cm) は次式で表される。

$$h = \frac{w}{T} \cdots\cdots\cdots\cdots (4\cdot36)$$

(イ)重量 w を g_0 から g まで移動するとき,船首への移動距離を l(m) とすれば,前節13と同様に水線面 $W'L'$ に對する毎糎トリムモーメントを M' (m・t) として,トリム變化 t は(4・32)式から,次式のとほり求められる。

$$t = \frac{wl}{M'}\ \text{(cm)} \cdots\cdots\cdots\cdots (4\cdot37)$$

傾斜したときの水線面 $W''L''$ は $W'L'$ の浮面心 F' を通るから,F' が船の中央から $\bar{x}$(m) 後方にあるとすれば,(4・35) と (4・37) 式から $\overline{W'W''} = t_0$(cm) 及び $\overline{L'L''} = t_1$(cm) は,

$$
\left.\begin{aligned}
t_0 &= \frac{\dfrac{L}{2} - \bar{x}}{L} \cdot \frac{wl}{M'} \\
t_1 &= \frac{\dfrac{L}{2} + \bar{x}}{L} \cdot \frac{wl}{M'}
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot38)
$$

となる。船の最初の後部·前部吃水を d_0, d_1 とし，最後の吃水をそれぞれ d_0', d_1' とすれば，(ア)と(イ)との結果を組合はせて次式が得られる。

$$
\left.\begin{aligned}
d_0' &= d_0 + h - t_0 \\
&= d_0 + \frac{w}{T} - \frac{\dfrac{L}{2} - \bar{x}}{L} \cdot \frac{wl}{M'} \\
d_1' &= d_1 + h + t_1 \\
&= d_1 + \frac{w}{T} + \frac{\dfrac{L}{2} + \bar{x}}{L} \cdot \frac{wl}{M'}
\end{aligned}\right\}(\mathrm{cm})\cdots(4\cdot39)
$$

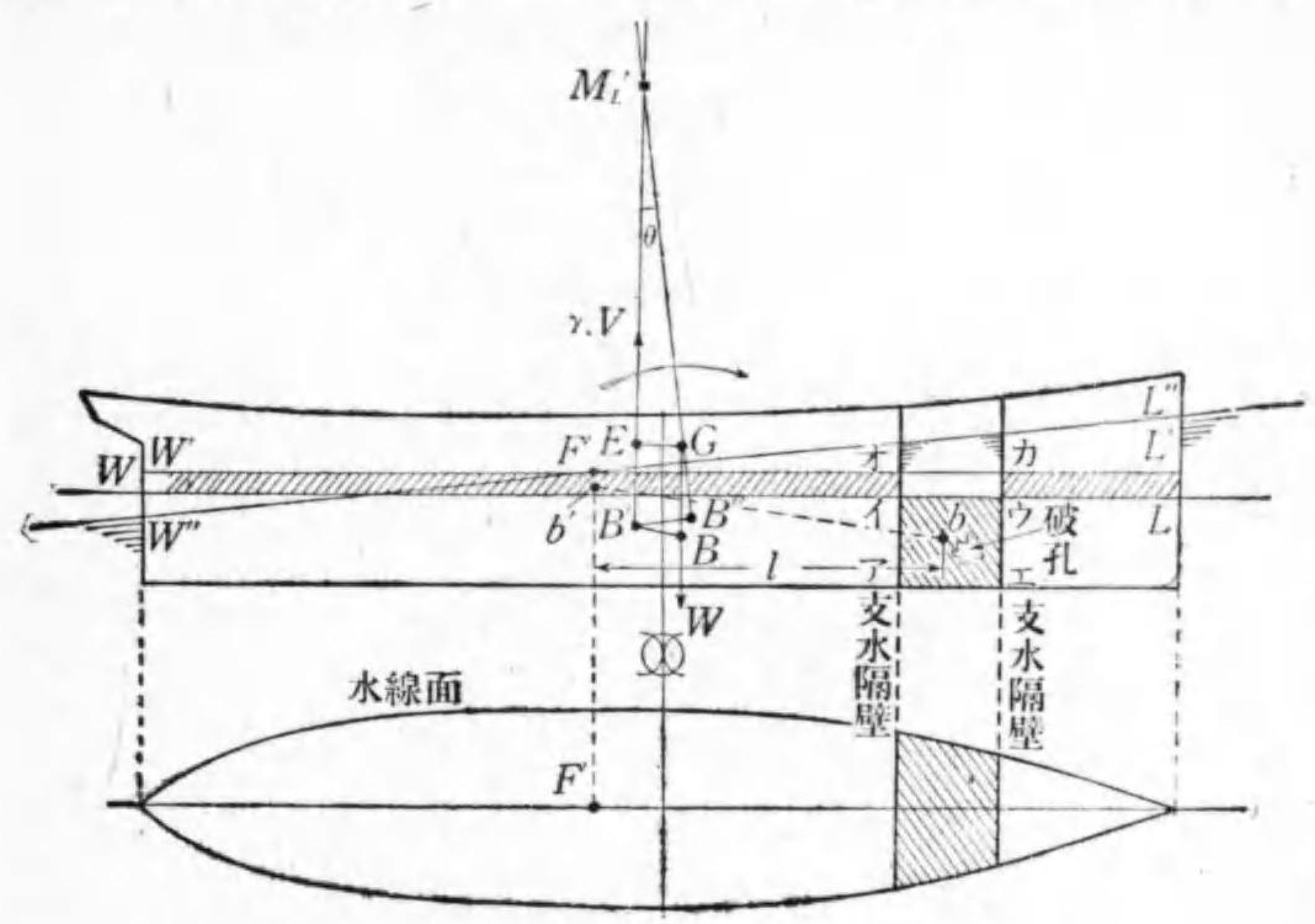
重量を浮面心から後方に積んだときには，t_0, t_1 の前の符號＋－を逆にすればよい。重量 w を卸す場合は，$-w$ の重量を積むと考へて，(4·39)式の w の代りに $-w$ を入れればよい。

積卸する重量が，船の排水量に比べてごく小さいときは，水線 $W'L'$ の毎糎トリムモーメント

M' の代りに，水線 WL の毎糎トリムモーメント M を用ひても差支ない。

15. 區劃室の浸水による前部·後部吃水の變化

第4·18圖のやうに，船が最初に水線 WL で浮かんでゐるときには，その重心 G と浮心 B は同



第 4·18 圖　區畫室浸水による前後吃水の變化

一鉛直線內にある。ここに，前面·後面を支水隔壁で圍まれた一區劃室が水面下に破孔を生じたために浸水したとする。この區劃室の浮力

は消失するから,この區劃室は船の外部になつたとみなすことができる。この場合も前節14のやうに2段にわけて考へる。

(ア)區劃室の浮力消失による船の一様沈下量

一様沈下量を h(cm) とすれば,(1・10)式から,

$$h = 100 \cdot \frac{v}{A_s - a} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4 \cdot 40)$$

v:浮力の消失した部分アイウエの體積(m³)

A_s:水線 WL の面積(m²)

a:水線 WL のうち浸水した部分の面積(m²)

即ち,(體積 $WLL'W'$)-(體積イオカウ)

=(體積アイウエ)

になる所まで沈下する。左邊の體積の重心を b',右邊の重心を b とすれば,區劃室の浸水のために一部の浮力 γv が b から b' に移動したことになるから,全體の浮力 γV も B から B' に移動する。b と b' 間の水平距離を l とすれば,B と B' 間の水平距離は,G から B' を通る浮力作用線に下した垂線の長さ $\overline{GE}$ に等しい。故に,

$$\overline{GE} = \frac{\gamma vl}{\gamma V} \doteqdot \frac{vl}{V}$$

である。隨つて,船は偶力 $W \times \overline{GE} = \gamma vl$ による傾斜モーメントを受けて,トリム變化をすることになる。

(問　題) 第1の6では,區劃室が浸水してもトリム變化はないと考へてゐたが,これはどんな場合に限るか。

(2)トリム變化　傾斜モーメント γvl のために,船は新しい浮心 B'' が重心 G と同一鉛直線上にくる所までトリム變化をする。傾斜水線 $W''L''$ は,水線 $W'L'$ の浸水區劃室の部分を除いた水線面積の浮面心 F'' を通る。傾斜角 θ が小さいときは,浮力作用線の交點 M_L' は縦傾心であるから,次式のとほりになる。

$$\overline{B'M_L} = \frac{I_L'}{V}$$

I_L': F' を通る x 軸に對する水線面 $W'L'$ の浸水區劃室を除く部分の二次モーメント

又,　$$\overline{EM_L'} \cdot \tan\theta = \overline{GE}$$

即ち,　$$\overline{EM_L'} \cdot \frac{t}{100L} = \frac{\gamma vl}{W}$$

$$\therefore\ t=\frac{\gamma vl}{\dfrac{W\cdot \overline{EM_L'}}{100L}}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot41)$$

となる。右邊の分母は,水線$W'L'$で浮んでゐるときの毎糎トリムモーメントに相當する。隨つて,傾斜モーメントを毎糎トリムモーメントで割れば,トリム變化tが得られるから,(4・41)式は(4・37)式と同型である。(4・41)式を書きかへると,

$$t=100L\cdot\frac{vl}{V\cdot\overline{EM_L'}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot42)$$

となる。$\overline{B'E}$は$\overline{EM_L'}$に比べて大變小さく,隨つて$\overline{EM_L'}$は一般に$\overline{B'M_L'}$に非常に近いから,$\overline{EM_L'}$の代りに$\overline{B'M_L'}$を用ひても大差はない。このときには,(4・41)式は,次式のとほりになる。

$$t\fallingdotseq100L\cdot\frac{vl}{V\cdot\overline{B'M_L'}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot43)$$

船の中央から浮面心F'までの距離$\bar{x}$を計算すれば,トリム變化tから,後部と前部の吃水變化量$\overline{W'W''}=t_0$と$\overline{L'L''}=t_1$が求められる。

(ア)と(イ)の結果を組合はせれば,最後の吃水を求めることができる。

(問　題)

(1) この船の最初の後部と前部の吃水をd_0, d_1とし,最後の吃水をそれぞれd_0', d_1'とするとき,前の(4・38)式のやうに(ア)と(イ)との結果を組合はせて,d_0', d_1'を求める公式を作れ。

$$\left.\begin{aligned}d_0'&=\\&=\\d_1'&=\\&=\end{aligned}\right\}\cdots(4\cdot44)$$

(2) 長さ60 m, 幅20 m, 深さ5 mの箱型船が密度1.025 t/m³の海水中で2.5 mの等吃水で浮んでゐて,重心はちやうど水線面の高さにある。前端から3 mの所に船首隔壁があり,これから前方の舷側水線下に破孔ができたときの前部と後部の吃水を求めよ。（答 後部 221 cm, 前部 310 cm）

(3) 前題の船が浸水して傾斜した狀態で浮んでゐるときには,船首區劃室内には何tの海水がはいつてゐるか。（答 189.1 t）

(4) 傾斜狀態で浮んでゐるときには,破孔を塞いでも船の吃水には變化はないから,中にはいつてゐる海水は船に積んだ荷物と考へることができる。問題(2)の船が破孔を生ぜずに,船首區劃

室内に前題の結果と同量の海水を積込んだとして,最後の吃水を求めよ. その結果は問題(2)の結果と同一になるはずである。この場合には,遊動水とみなしてもその影響は縦傾心高に比べてごく僅かである。

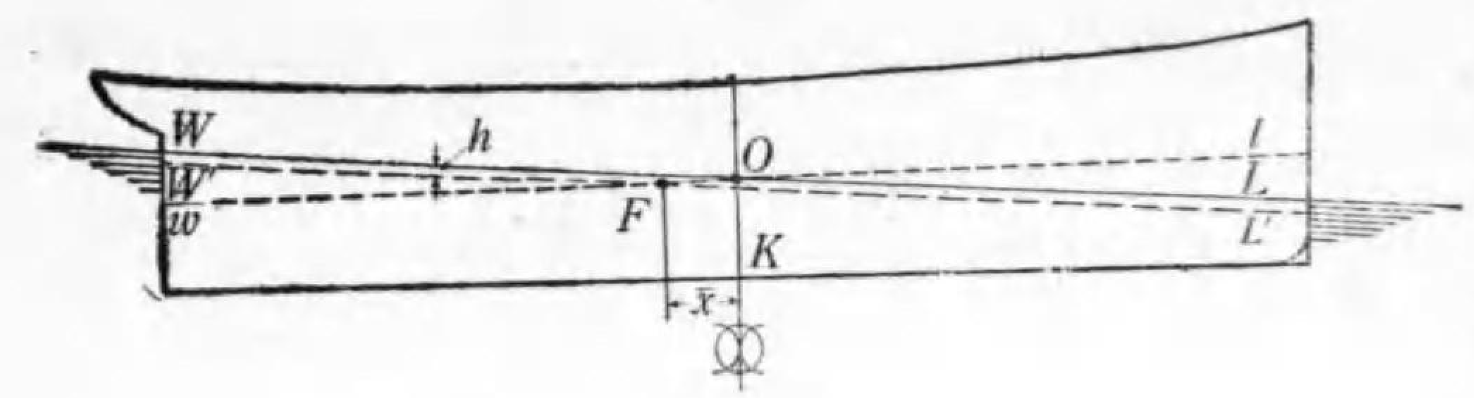
(5)前題で積込んだ海水を遊動水とみなしたときの傾心高の減少量は何程か。 (答 1.4 cm)

16. 計畫外のトリムに於ける排水量

計畫のときと同じトリムで浮んでゐる船の水線面は,排水量計算のときの水線面と平行であるから,排水量曲線圖から直ちに排水量を讀取ることができる。

計畫外のトリムで浮んでゐるときは,トリム變化が餘り大きくない限り,別に排水量計算をしなくても次のやうな修正をするだけで,正確に近い排水量を求めることができる。

第4・19圖のやうに,計畫時よりも船尾へt(cm)だけトリムして,水線 WL で浮かんでゐる船の



第4・19圖 計畫外のトリムに於ける排水量

排水量Wを求めるには,前後吃水を平均した平均吃水 $\overline{KO}$ の所へ計畫水線に平行な水線 wl をひくと,水線 wl に對する排水量 W_{wl} は排水量曲線圖から讀取ることができる。又,水線 wl の中央からその浮面心 F までの距離 $\bar{x}$(m) も讀取ることができる。次に,F を通り水線 WL に平行に $W'L'$ をひくと,F を通る兩水線 wl と $W'L'$ に對する排水量は共に W_{wl} に等しい。随つて,水線 WL の排水量 W は W_{wl} に水線 $W'L'$ と WL 間の層の排水量 w を修正礎數として加へれば求められる。

水線 wl と $W'L'$ 間の傾斜角を θ とし,水線 $W'L'$ と WL 間の層の厚さを h(cm) とすれば,次式が求められる.

$$h = 100\bar{x}\cdot\sin\theta$$

傾斜角 θ が小さいときには, $\sin\theta$ の代りに $\tan\theta$ を用ひても差支ないから,

$$h = 100\bar{x}\cdot\tan\theta = 100\bar{x}\cdot\frac{t}{100L} = \frac{\bar{x}}{L}\cdot t$$

となる。水線 wl の毎糎排水噸數 T も,排水量曲線圖から讀取ることができ,これは又水線 $W'L'$ の毎糎排水噸數に等しいと考へてもよいから,

$$w = h\cdot T = \frac{\bar{x}\cdot T}{L}\cdot t \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot45)$$

隨つて,求める排水量は次式で表される。

$$W = W_{wl} + \frac{\bar{x}\cdot T}{L}\cdot t \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\cdot46)$$

トリム 1cm に對する修正噸數,即ち $\dfrac{\bar{x}\cdot T}{L}$ を毎糎トリム修正噸數といふ。正常トリムより更に船尾へトリムしてゐるときは,修正噸數を加へ,更に船首へトリムしてゐるときは引く。浮面心が船の中央から前方にあるときは逆になる。

(問　題) 適宜な船の船型線圖を書き,その船の排水量曲線圖を作成せよ。

船舶計算 1 終

排水量計算表 (1)

第「　　」號船

主要寸法

垂線間の長さ	26.000 m	船底勾配	0.450 m
幅　(型寸法)	5.200 m	横断面間隔	2.600 m
深さ(型寸法)	2.500 m	水線面間隔	0.300 m
龍骨の深さ	0.134 m	正常トリム	0.600 m

水線 断面番號	挺	乗數	0.300 m (1)	0.600 m (4)	0.900 m (1)	面積の函數	面積の乗積	モーメント
0	−5	1/2	······ ······ ······	······ ······ ······	······ ······ ······	······	······	······
1/2	−4 1/2	2	······ ······ ······	**.030** .060 .120	**.053** .106 .053	.173	.346	− 1.557
1	−4	1	**.127** .127 .127	**.237** .237 .948	**.407** .407 .407	1.482	1.482	− 5.928
1 1/2	−3 1/2	2	**.300** .600 .300	**.558** 1.116 2.232	**.880** .1760 .880	3.412	6.824	−23.884
2	−3	3/2	**.570** .855 .570	**.976** 14.64 3.904	**1.390** 2.085 1.390	5.864	8.796	−26.388
3	−2	4	**1.185** 4.740 1.185	**1.770** 7.080 7.080	**2.135** 8.540 2.135	10.400	41.600	−83.200
4	−1	2	**1.600** 3.200 1.600	**2.228** 4.456 8.912	**2.460** 4.920 2.460	12.972	25.944	−25.944
5	0	4	**1.700** 6.800 1.700	**2.360** 9.440 9.440	**2.540** 10.160 2.540	13.680	54.720	0
6	1	2	**1.347** 2.694 1.347	**2.110** 4.220 8.440	**2.400** 4.800 2.400	12.187	24.374	24.374
7	2	4	**.780** 3.120 .780	**1.523** 6.092 6.092	**1.920** 7.680 1.920	8.792	35.168	70.336
8	3	3/2	**.300** .450 .300	**.820** 1.230 3.280	**1.185** 1.7775 1.185	4.765	7.1475	21.4425
8 1/2	3 1/2	2	**.142** .284 .142	**.504** 1.008 2.016	**.785** .1570 .785	2.943	5.886	20.601
9	4	1	**.045** .045 .045	**.230** .230 .920	**.408** .408 .408	1.373	1.373	5.492
9 1/2	4 1/2	2	······ ······ ······	······ ······ ······	**.065** .130 .065	0.065	.130	.585
10	5	1/2	······ ······ ······	······ ······ ······	······ ······ ······	······	······	······
水線面の函數			22.915	36.633	44.3435		213.7905	−166.901
乗數			1	4	1		0.1778°	142.8305
水線面の乗積			22.915	146.532	44.3435	213.7905	§38.012	−24.0705
挺			1	2	3			† 2.600
モーメントの函數			22.915	293.064	133.0305	449.0095	123.7905)	−62.5833
						* 0.300	浮心前後位置	−0.293
					213.7905	)134.7029		
					基線上浮心高	0.630		

水線 断面番號	0.900 m (1)	1.200 m (4)	1.500 m (1)	面積の函數	面積の乗積	モーメント
0	······ ······ ······	······ ······ ······	······ ······ ······	······	······	······
1/2	**.053** .106 .053	**.130** .260 .520	**.300** .600 .300	.873	1.746	− 7.857
1	**.407** .407 .407	**.668** .668 2.672	**1.022** 1.022 1.022	4.101	4.101	−16.404
1 1/2	**.880** 1.760 .880	**1.250** 2.500 5.000	**1.650** 3.300 1.650	7.530	15.060	−52.710
2	**1.390** 2.085 1.390	**1.770** 2.655 7.080	**2.085** 3.1275 2.085	10.555	15.8325	−47.4975
3	**2.135** 8.540 2.135	**2.352** 9.408 9.408	**2.490** 9.960 2.490	14.033	56.132	−112.264
4	**2.460** 4.920 2.460	**2.552** 5.104 10.208	**2.595** 5.190 2.595	15.263	30.526	−30.526
5	**2.540** 10.160 2.540	**2.592** 10.368 10.368	**2.600** 10.400 2.600	15.508	62.032	0
6	**2.400** 4.800 2.400	**2.530** 5.060 10.120	**2.580** 5.160 2.580	15.100	30.200	30.200
7	**1.920** 7.680 1.920	**2.172** 8.688 8.688	**2.334** 9.336 2.334	12.942	51.768	103.536
8	**1.185** 1.7775 1.185	**1.458** 2.187 5.832	**1.680** 2.520 1.680	8.697	13.0455	39.1365
8 1/2	**.785** 1.570 .785	**1.022** 2.044 4.088	**1.227** 2.454 1.227	6.100	12.200	42.700
9	**.408** .408 .408	**.575** .575 2.300	**.727** .727 .727	3.435	3.435	13.740
9 1/2	**.065** .130 .065	**.142** .284 .568	**.220** .440 .220	.853	1.706	7.677
10	······ ······ ······	······ ······ ······	······ ······ ······	······	······	······
水線面の函數	44.3435	49.801	54.2365		297.784	−267.2585
乗數	1	4	1		0.1778°	236.9895
水線面の乗積	44.3435	199.204	54.2365	297.784	§52.946	−30.269
挺	3	4	5			† 2.600
モーメントの函數	133.0305	796.816	271.1825	1201.029	297.784)	−78.6994
				* 0.300	浮心前後位置	−0.264
			297.784	)360.3087		
			基線上浮心高	1.201		

水線 断面番號	1.500 m (1)	1.800 m (4)	2.100 m (1)	面積の函數	面積の乗積	モーメント
0	······ ······ ······	······ ······ ······	······ ······ ······	······	······	······
1/2	**.300** .600 .300	**.625** 1.250 2.500	**1.127** 2.254 2.254	3.927	7.854	−35.343
1	**1.020** 1.020 1.020	**1.449** 1.449 5.796	**1.880** 1.880 1.880	8.698	8.798	−34.792
1 1/2	**1.650** 3.300 1.650	**2.018** 4.036 8.072	**2.298** 4.596 2.298	12.020	24.040	−84.140
2	**2.085** 3.1275 2.085	**2.320** 3.480 9.280	**2.482** 3.723 2.482	13.847	20.7705	−62.3115
3	**2.490** 9.960 2.490	**2.570** 10.280 10.280	**2.600** 10.400 2.600	15.370	61.480	−122.960
4	**2.595** 5.190 2.595	**2.600** 5.206 10.400	**2.600** 5.200 2.600	15.595	31.190	−31.190
5	**2.600** 10.400 2.600	**2.600** 10.400 10.400	**2.600** 10.400 2.600	15.600	62.400	0
6	**2.580** 5.160 2.580	**2.597** 5.194 10.388	**2.600** 5.200 2.600	15.568	31.136	31.136
7	**2.334** 9.336 2.334	**2.436** 9.744 9.744	**2.507** 10.028 2.507	14.585	58.340	116.680
8	**1.680** 2.520 1.680	**1.863** 2.7945 7.452	**2.017** 3.0255 2.017	11.149	16.7235	50.1705
8 1/2	**1.227** 2.454 1.227	**1.410** 2.820 5.640	**1.570** 3.140 1.570	8.437	16.874	59.059
9	**.727** .727 .727	**.870** .870 3.480	**1.018** 1.018 1.018	5.225	5.225	20.900
9 1/2	**.220** .440 .220	**.303** .606 1.212	**.393** .786 .393	1.823	3.650	16.425
10	······ ······ ······	······ ······ ······	······ ······ ······	······	······	······
水線面の函數	54.2365	58.1235	61.6505		348.381	−370.7365
乗數	1	4	1		0.1778°	294.3750
水線面の乗積	54.2365	232.494	61.6505	348.381	§61.942	−76.366
挺	5	6	7			† 2.600
モーメントの函數	271.1825	1394.964	431.5535	2097.700	348.381)	−198.5516
				* 0.300	浮心前後位置	−0.570
			348.381	)629.310		
			基線上浮心高	1.806		

m	m	m	面積の函數	面積の乗積	モーメント	乗數	挺	断面番號
						1/2	−5	0
						2	−4 1/2	1/2
						1	−4	1
						2	−3 1/2	1 1/2
						3/2	−3	2
						4	−2	3
						2	−1	4
						4	0	5
						2	1	6
						4	2	7
						3/2	3	8
						2	3 1/2	8 1/2
						1	4	9
						2	4 1/2	9 1/2
						1/2	5	10
						水線面の函數		
						乗數		
				§		水線面の乗積		
					†	挺		
				)		モーメントの函數		
			*	浮心前後位置				
		)						
		基線上浮心高						

○ 排水量乗數

* 水線面間隔

† 横断面間隔　$\circ = 1.026 \times \frac{*0.300}{3} \times \frac{\dagger 2.600}{3} \times 2 = 0.1778$

§ 排水量 (t)

計算年月日＿＿＿＿＿＿＿＿

計算者姓名＿＿＿＿＿＿＿＿

排 水 量 計 算 表 (2 の 1)

横 傾 心 と 縦 傾 心

横

断面番號	乘數	0.3 m 水線面の半幅	横 半幅の三乘	横 三乘の函數	0.9 m 水線面の半幅	横 半幅の三乘	横 三乘の函數
0	$\frac{1}{2}$	……	………	………	……	………	………
$\frac{1}{2}$	2	……	………	………	.053	0.000149	0.000298
1	1	.127	0.002048	0.002048	.407	0.067419	0.067419
$1\frac{1}{2}$	2	.300	0.027000	0.054000	.880	0.681472	1.362944
2	$\frac{3}{2}$	.570	0.185193	0.277789	1.390	2.685619	4.028428
3	4	1.185	1.664006	6.656024	2.135	9.731810	38.927241
4	2	1.600	4.096000	8.192000	2.460	14.886936	29.773872
5	4	1.700	4.913000	22.352000	2.540	16.387064	65.548256
6	2	1.347	2.444009	4.888018	2.400	13.824000	39.168000
7	4	.780	0.474552	1.898108	1.920	7.077880	28.311552
8	$\frac{3}{2}$	.300	0.027000	0.040500	1.185	1.664006	2.496100
$8\frac{1}{2}$	2	.142	0.002863	0.005726	.785	0.483736	0.967473
9	1	.045	0.000091	0.000091	.408	0.0679178	0.067917
$9\frac{1}{2}$	2	……	………	………	.065	0.000275	0.000550
10	$\frac{1}{2}$	……	………	………	……	………	………

断面番號	1.5 m 水線面の半幅	横 半幅の三乘	横 三乘の函數	2.1 m 水線面の半幅	横 半幅の三乘	横 三乘の函數	m 水線面の半幅	横 半幅の三乘	横 三乘の函數
0	……	………	………	……	………	………			
$\frac{1}{2}$	.300	0.027000	0.054000	1.127	1.431435	2.862870			
1	1.022	1.067462	1.067462	1.880	6.644672	6.644672			
$1\frac{1}{2}$	1.650	4.492125	8.984250	2.298	12.135288	24.270576			
2	2.085	9.063964	13.595946	2.482	15.289924	22.934886			
3	2.490	15.438249	61.752996	2.600	17.576000	70.304000			
4	2.595	17.474795	34.949590	2.600	17.576000	35.152000			
5	2.600	17.576000	70.304000	2.600	17.576000	70.152000			
6	2.580	17.173512	34.347024	2.600	17.576000	35.152000			
7	2.334	12.714596	50.856383	2.507	15.756618	63.026470			
8	1.680	4.741632	7.112448	2.017	8.205739	12.308608			
$8\frac{1}{2}$	1.227	1.847284	3.694568	1.570	3.869893	7.739786			
9	.727	0.384241	0.384246	1.018	1.054978	1.054978			
$9\frac{1}{2}$	.220	0.010648	0.021296	.393	0.060698	0.121396			
10	……	………	………	……	………	………			

○乘 數 $\frac{† \times 1.026 \times 2}{3 \times 3} = † \times 0.228 = 0.5928$

	0.3 m	0.9 m	1.5 m	2.1 m	m
三乘の函數の和	44.366401	210.719500	287.510771	351.876242	
×乘數	0.5928○	0.5928○	0.5928○	0.5928○	○
排水量 ††)	6.778 ††) 26.300403	44.780 ††) 124.914520	97.726 ††) 170.436384	159.668 ††) 208.592236	††)
浮心上横傾心までの距離	(0.3 m 水線) $\overline{BM}$ = 3.588 m	(0.9 m 水線) $\overline{BM}$ = 2.779 m	(1.5 m 水線) $\overline{BM}$ = 1.743 m	(2.1 m 水線) $\overline{BM}$ = 1.306 m	(m 水線) $\overline{BM}$ =

縦

断面番號	挺	0.3 m 半幅の函數 (N)	水線面重心の函數 (M)	挺	水線面二次モーメントの函數(O)	0.9 m 半幅の函數 (N)	水線面重心の函數 (M)	挺	水線面二次モーメントの函數(O)
0	−5	……	……	−5	……	……	……	−5	……
$\frac{1}{2}$	$-4\frac{1}{2}$	……	……	$-4\frac{1}{2}$	……	.106	− .477	$-4\frac{1}{2}$	2.1465
1	−4	.127	− .508	−4	2.032	.407	−1.628	−4	6.512
$1\frac{1}{2}$	$-3\frac{1}{2}$	.600	−2.100	$-3\frac{1}{2}$	7.350	1.760	−6.160	$-3\frac{1}{2}$	21.560
2	−3	.855	−2.565	−3	7.695	2.085	−6.255	−3	18.765
3	−2	4.740	−9.480	−2	18.960	8.540	−17.080	−2	34.160
4	−1	3.200	−3.200	−1	3.200	4.920	−4.920	−1	4.920
5	0	6.800	0	0	0	10.160	0	0	0
6	+1	2.694	2.694	+1	2.694	4.800	4.800	+1	4.800
7	+2	3.120	6.240	+2	12.480	7.680	15.360	+2	30.720
8	+3	.450	1.350	+3	4.050	1.7775	5.3325	+3	15.9975
$8\frac{1}{2}$	$+3\frac{1}{2}$	.284	.994	$+3\frac{1}{2}$	3.479	1.570	5.495	$+3\frac{1}{2}$	19.2325
9	+4	.045	.180	+4	.720	.408	1.632	+4	6.528
$9\frac{1}{2}$	$+4\frac{1}{2}$	……	……	$+4\frac{1}{2}$	……	.130	.585	$+4\frac{1}{2}$	2.6325
10	+5	……	……	+5	……	……	……	+5	……

断面番號	1.5 m 半幅の函數 (N)	水線面重心の函數 (M)	挺	水線面二次モーメントの函數(O)	2.1 m 半幅の函數 (N)	水線面重心の函數 (M)	挺	水線面二次モーメントの函數(O)	m 半幅の函數 (N)	水線面重心の函數 (M)	挺	水線面二次モーメントの函數(O)
0	……	……	−5	……	……	……	−5	……				
$\frac{1}{2}$	.600	− 2.700	$-4\frac{1}{2}$	12.150	2.254	−10.143	$-4\frac{1}{2}$	46.5435				
1	1.022	− 4.088	−4	16.352	1.880	−7.520	−4	30.080				
$1\frac{1}{2}$	3.300	−11.550	$-3\frac{1}{2}$	40.424	4.596	−16.086	$-3\frac{1}{2}$	56.301				
2	3.1275	− 9.3825	−3	28.2275	3.723	−11.169	−3	33.507				
3	9.960	−19.920	−2	39.840	10.400	−20.800	−2	41.600				
4	5.190	− 5.190	−1	5.190	5.200	− 5.200	−1	5.200				
5	10.400	0	0	0	10.400	0	0	0				
6	5.160	5.160	+1	5.160	5.200	5.200	+1	5.200				
7	9.336	18.672	+2	37.344	10.028	20.056	+2	40.112				
8	2.520	7.560	+3	22.680	3.0255	9.0765	+3	27.2295				
$8\frac{1}{2}$	2.454	8.589	$+3\frac{1}{2}$	30.0615	3.140	10.990	$+3\frac{1}{2}$	38.465				
9	.727	2.908	+4	11.632	1.018	4.072	+4	16.288				
$9\frac{1}{2}$	.440	1.980	$+4\frac{1}{2}$	8.910	.786	3.537	$+4\frac{1}{2}$	15.5165				
10	……	……	+5	……	……	……	+5	……				

×乘數 $= \frac{†^3 \times 1.026 \times 2}{3} = †^3 \times 0.684 = 17.576 \times 0.864 = 12.022$

	0.3 m	0.9 m	1.5 m	2.1 m	m
N の和	22.915	44.3435	54.2365	61.6505	
M の和	−17.853 / 11.458	−36.520 / 33.2045	−52.8305 / 44.869	−70.918 / 52.9315	
$M=$	− 6.395	−3.3155	−7.9615	−17.9865	
O の和	62.660	167.974	257.892	355.5425	
$\frac{†2.6}{N}=$	0.113	0.059	0.048	0.042	
$\frac{M^2}{N}=$	1.7841	0.247	1.168	5.2576	
図より重心	−0.726	−0.197	−0.382	−0.755	
$O-\frac{M^2}{N}=$	60.8759	167.727	256.724	350.294	
×	12.022 ×	12.022 ×	12.022 ×	12.022 ×	×
排水量 ††)	6.778 ††) 731.851	44.780 ††) 2016.441	97.726 ††) 3086.336	159.668 ††) 4211.234	††)
浮心上縦傾心までの距離	(0.3 m 水線) $\overline{BM_L}$ = 107.974	(0.9 m 水線) $\overline{BM_L}$ = 45.030	(1.5 m 水線) $\overline{BM_L}$ = 31.380	(2.1 m 水線) $\overline{BM_L}$ = 26.380	(m 水線) $\overline{BM_L}$ =

† 横断面間隔 = 2.6 m

†† 排水量 外板を含まず

(木船のときは外板を含む)

計算年月日

計算者姓名

排 水 量 計 算 表 (2の2)

綜 合 計 算 表

水線面					中央横斷面			排水量						毎糎トリム修正噸數	毎糎トリムモーメント M		上下			縦			
乗數 = $\frac{†2.600 \times 2}{3}$ = 1.733					乗數 = $\frac{*0.300 \times 2}{3}$ = 0.2			型寸法															
水線	水線面の函數	水線面積 $=A_s$ (m²)	係數 $C_s=\frac{A_s}{L\times B}$	毎糎排水噸數 $\frac{A_s\times 1.026}{100}$	中央横斷面積の函數	面積 $=A_{⊠}$ (m²)	係數 $C_{⊠}=\frac{A_{⊠}}{B\times d}$	排水量 (t)	方形肥瘠係數 C_b $\frac{排水量}{1.026L\cdot B\cdot d}$	柱形肥瘠係數 C_p $\frac{C_b}{C_{⊠}}$	附加部排水量 (t)	附加部を含む排水量 (t)	浸水表面積 S (m²)	⊠より浮面心までの距離を $\bar{z}$ として $\frac{\bar{z}\cdot T}{L}$	重心上縦傾心まで $=H$ ($\doteqdot \overline{BM_L}$)	$M=\frac{H\times 排水量}{L\times 100}$ (m·t)	基線上浮心まで $\overline{KB}$ (m)	浮心上横傾心まで $\overline{BM}$ (m)	基線上横傾心まで $\overline{KM}$ (m)	⊠より浮心まで (m)	⊠より浮面心まで (m)	浮心上縦傾心まで $\overline{BM_L}$ (m)	基線上縦傾心まで $\overline{KM_L}$ (m)
0.300 m	22.915	39.712	0.294	0.407	2.55	0.510	0.327	6.778	0.163	0.498	0.352	7.130	43.940	0.011	107.974	0.281	0.202	3.588	3.790	−0.811	−0.726	107.974	108.176
0.900 m	44.3435	76.848	0.568	0.788	16.230	3.246	0.692	44.780	0.359	0.519	0.749	45.579	93.575	0.006	45.030	0.776	0.565	2.779	3.344	−0.372	−0.197	45.030	45.595
1.500 m	54.2365	93.993	0.695	0.964	31.738	6.348	0.814	97.726	0.450	0.553	1.036	98.672	129.474	0.014	31.582	1.187	0.915	1.743	2.658	−0.313	−0.382	31.582	32.497
2.100 m	61.6505	106.841	0.790	1.096	47.306	9.461	0.866	159.668	0.548	0.632	1.326	160.994	165.753	0.032	26.380	1.618	1.264	1.306	2.570	−0.413	−0.755	26.380	27.644

* 水線面間隔 = 0.300 m † 横斷面間隔 = 2.600 m

下方附加部 0.300 m 水線以下

斷面番號	乗數	面積	面積の函數	水平挺	水平モーメントの函數	垂直挺	垂直モーメントの函數
0	$\frac{1}{2}$	……	……	−5	……	……	……
$\frac{1}{2}$	2	……	……	$-4\frac{1}{2}$	……	……	……
1	1	0.069	0.069	−4	−0.276	0.120	0.008
$1\frac{1}{2}$	2	0.154	0.306	$-3\frac{1}{2}$	−1.071	0.130	0.040
2	$1\frac{1}{2}$	0.273	0.410	−3	−1.230	0.140	0.057
3	4	0.497	1.987	−2	−3.974	0.160	0.318
4	2	0.576	1.152	−1	−1.152	0.180	0.207
5	4	0.510	2.400	0	0	0.200	0.480
6	2	0.323	0.646	1	0.646	0.220	0.142
7	4	0.141	0.564	2	1.128	0.240	0.135
8	$1\frac{1}{2}$	0.036	0.054	3	1.632	0.260	0.141
$8\frac{1}{2}$	2	0.013	0.026	$3\frac{1}{2}$	0.104	0.270	0.007
9	1	0.003	0.003	4	0.012	0.280	0.001
$9\frac{1}{2}$	2	……	……	$4\frac{1}{2}$	……	……	……
10	$\frac{1}{2}$	……	……	5	……	……	……
			7.617		−2.181		) 1.536
		$\frac{1}{3}$ × †2.600 =	0.867		† 2.6	重心 =	0.202
		體積(m³) =	6.604		) −5.671		
		排水量(t)=體積×1.026 =	6.778	重心 =	−0.745		

浸水表面積及び外板排水量 ($t^{mm}=8$)

0.3 m 水線 片側ガース	0.3 m 水線 積	0.9 m 水線 片側ガース	0.9 m 水線 積	1.5 m 水線 片側ガース	1.5 m 水線 積	2.1 m 水線 片側ガース	2.1 m 水線 積	m 水線 片側ガース	m 水線 積
……	……	……	……	……	……	……	……		
0.550	1.100	1.170	2.340	1.825	3.650	2.880	5.760		
0.550	0.550	1.220	1.220	2.080	2.080	3.130	3.130		
0.560	1.120	1.390	2.780	2.370	4.740	3.230	6.460		
0.700	1.050	1.730	2.595	2.660	3.990	3.380	5.070		
1.220	4.880	2.360	9.440	3.080	12.320	3.680	14.720		
1.590	3.180	2.720	5.440	3.350	6.700	3.940	7.880		
1.710	6.840	2.810	11.240	3.420	13.680	4.200	16.800		
1.360	2.720	2.600	5.200	3.240	6.480	3.840	7.680		
0.700	3.080	2.100	8.400	0.320	11.280	3.460	13.840		
0.280	0.420	1.380	2.070	2.170	3.255	2.860	4.290		
0.160	0.320	1.050	2.100	1.790	3.580	2.490	4.980		
0.080	0.080	0.770	0.770	1.455	1.455	2.120	2.120		
……	……	0.185	0.370	0.810	1.620	1.430	2.860		
……	……	……	……	……	……	……	……		
	† 25.340		53.965		74.830		95.590		
$\frac{2}{3}$ × 2.6 =	1.734		1.734		1.734		1.734		
浸水表面積 =	43.940		93.575		129.474		165.753		
$\frac{t^{mm}\times 1.026}{1000}$ =	0.008		0.008		0.008		0.008		
外板排水量 =	0.352		0.749		1.036		1.326		

各水線に對する排水量と浮心位置

項目	0.300 m 水線 排水量 (t)	鉛直 挺	鉛直 モーメント	水平 挺	水平 モーメント	0.900 m 水線 排水量 (t)	鉛直 挺	鉛直 モーメント	水平 挺	水平 モーメント	1.500 m 水線 排水量 (t)	鉛直 挺	鉛直 モーメント	水平 挺	水平 モーメント	2.100 m 水線 排水量 (t)	鉛直 挺	鉛直 モーメント	水平 挺	水平 モーメント	m 水線 排水量 (t)	鉛直 挺	鉛直 モーメント	水平 挺	水平 モーメント
0.300 m 水線	6.778	0.202	1.369	−0.745	−5.500	6.778	0.202	1.369	−0.745	− 5.500	6.778	0.202	1.369	−0.745	− 5.500	6.778	0.202	1.369	−0.745	− 5.500					
0.900 m 水線						38.012	0.630	23.948	−0.293	−11.138	38.012	0.630	23.948	−0.293	−11.138	38.012	0.630	23.948	−0.293	−11.138					
1.500 m 水線											52.946	1.210	64.065	−0.2643	−13.978	52.946	1.210	64.065	−0.2643	−13.978					
2.100 m 水線																61.942	1.806	111.867	−0.5699	−35.307					
全排水量 (t)	6.778		) 1.369		) −5.500	44.780		) 25.317		) −16.638	97.726		) 89.382		) 30.616	159.668		) 201.249		) −65.923			)		)
浮心位置			0.202		−0.811			0.565		0.372			0.915		−0.313			1.264		−0.413					

昭和19年2月10日印刷
昭和19年2月20日發行

船舶計算 1

(定價65錢)

不許複製

著作權者　財團法人 實業教育振興中央會

發行者　實業教科書株式會社
代表者　取締役社長　倉橋藤治郎
東京都麴町區五番町五番地

印刷者　大日本印刷株式會社(東東一)
代表者　佐久間長吉郎
東京都牛込區市谷加賀町一丁目十二番地

發行所　實業教科書株式會社
東京都麴町區五番町五番地
電話九段(33) 0374・2277番 / 3581・4413番
振替東京183260番

(日本出版會會員番號112572)

配給元　東京都神田區淡路町二丁目九番地　日本出版配給株式會社

終