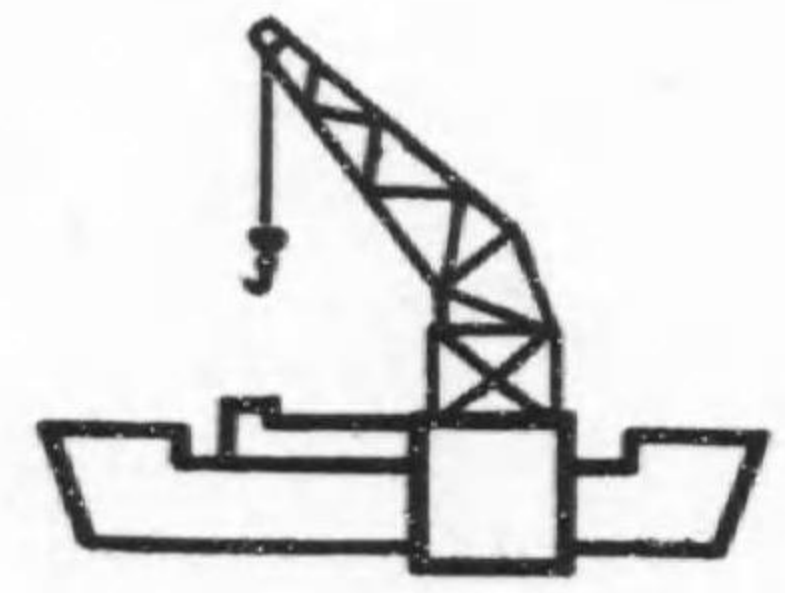


FK 4N-44

2 船舶計算

2



實業教育振興中央會



始



503

229

特217
88

昭和21年6月22日
文部省檢定済
實業學校實業科用

Approved by the Ministry of Education
(8 June 1946)



船舶計算

2



實業教育振興中央會

目次

503-224

第 5. 復原力	1
1. 復原力	1
2. 復原力曲線	3
3. 復原力に影響を及す要素	5
4. 復原力の計算	8
5. 復原挺交叉曲線	8
6. 実験的に復原挺交叉曲線をつくる法	10
7. 積分器	11
8. 積分器による復原力の計算	12
9. 動的復原力	18
第 6. 動 搖	21
1. 船の動搖	21
2. 静水中の動搖	22
3. 波浪中の動搖	26
4. 動搖の軽減	30
第 7. 進 水	33
1. 進 水	33
2. 進水計算	35
3. 進水曲線	41
4. 彎曲固定臺	44
第 8. 抵 抗	45
1. 前進する船の抵抗	45

では得られない。

第 5・1 圖に於いて露出排水體積 v の重心を g 、没入排水體積 v' の重心を g' とし、 g と g' から水線 $W_0 I_0$ に垂線 \overline{gh} 及び $\overline{g'h'}$ を下せば、浮心の水平移動距離 \overline{BR} は、一部浮力の水平移動距離が $\overline{hh'}$ であるから、

$$\overline{BR} = \overline{hh'} \cdot \frac{v}{V} \dots\dots\dots(5 \cdot 1)$$

になる。随つて \overline{BR} を計算すれば、靜的復原力は

$$\left. \begin{aligned} W \times \overline{GZ} &= W \times \overline{QR} = W \cdot (\overline{BR} - \overline{BQ}) \\ &= W \cdot \left(\frac{v \cdot \overline{hh'}}{V} - \overline{BG} \cdot \sin \theta \right) \end{aligned} \right\} \dots(5 \cdot 2)$$

から計算することができる。 \overline{GZ} を復原挺といひ、靜的復原力は單に復原力ともいふ。

(5・2)式の第1項 $W \times \overline{BR}$ は、船型だけに關係するので形狀復原力といひ、第2項 $W \times \overline{BQ}$ は重心の高さ、即ち重量分布に關係するので重量復原力といふ。随つて靜的復原力は、形狀復原力から重量復原力を引いた値で表される。

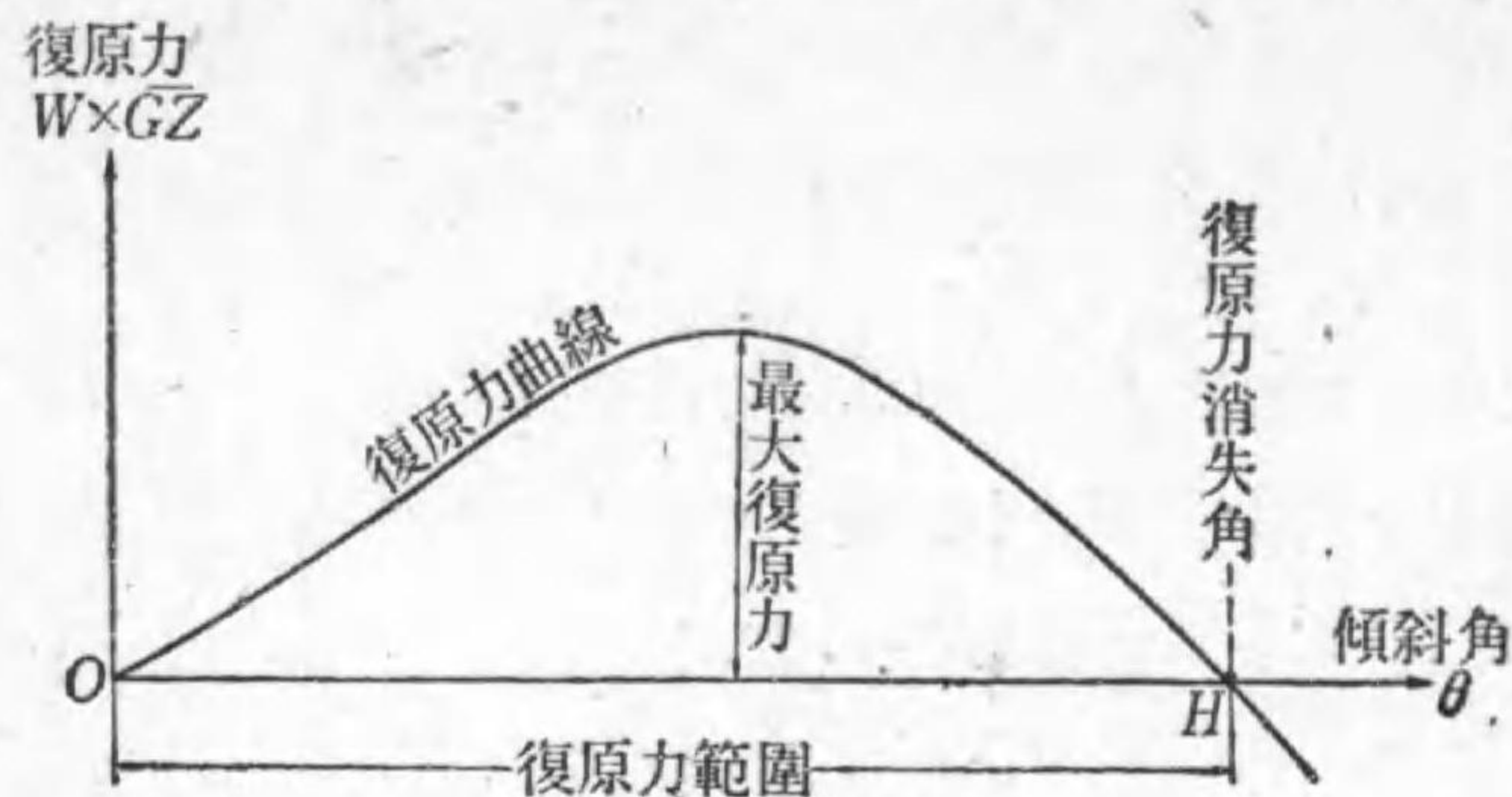
(問 題)

- (1)長さ 100m, 幅 12m, 深さ 12m の一様正方形断面の箱船が、一様吃水 6m で海水中に浮かんでゐる。この重心は底面から上方 4m にある。この船の横傾斜角 45° に於ける復原挺と靜的復原力を(5・2)式によつて求めよ。
- (2)上の問題のやうな場合は傾斜時の浮心位置が直ぐ求められる。これからこの問題の答を調べてみよ。
- (3)上の問題の船の横傾斜角 90° の復原挺と靜的復原力を求めよ。

2. 復原力曲線

第 5・2 圖のやうに x 軸に傾斜角をとり、 y 軸に復原力のモーメント(回轉能)をとれば復原力曲線が得られる。

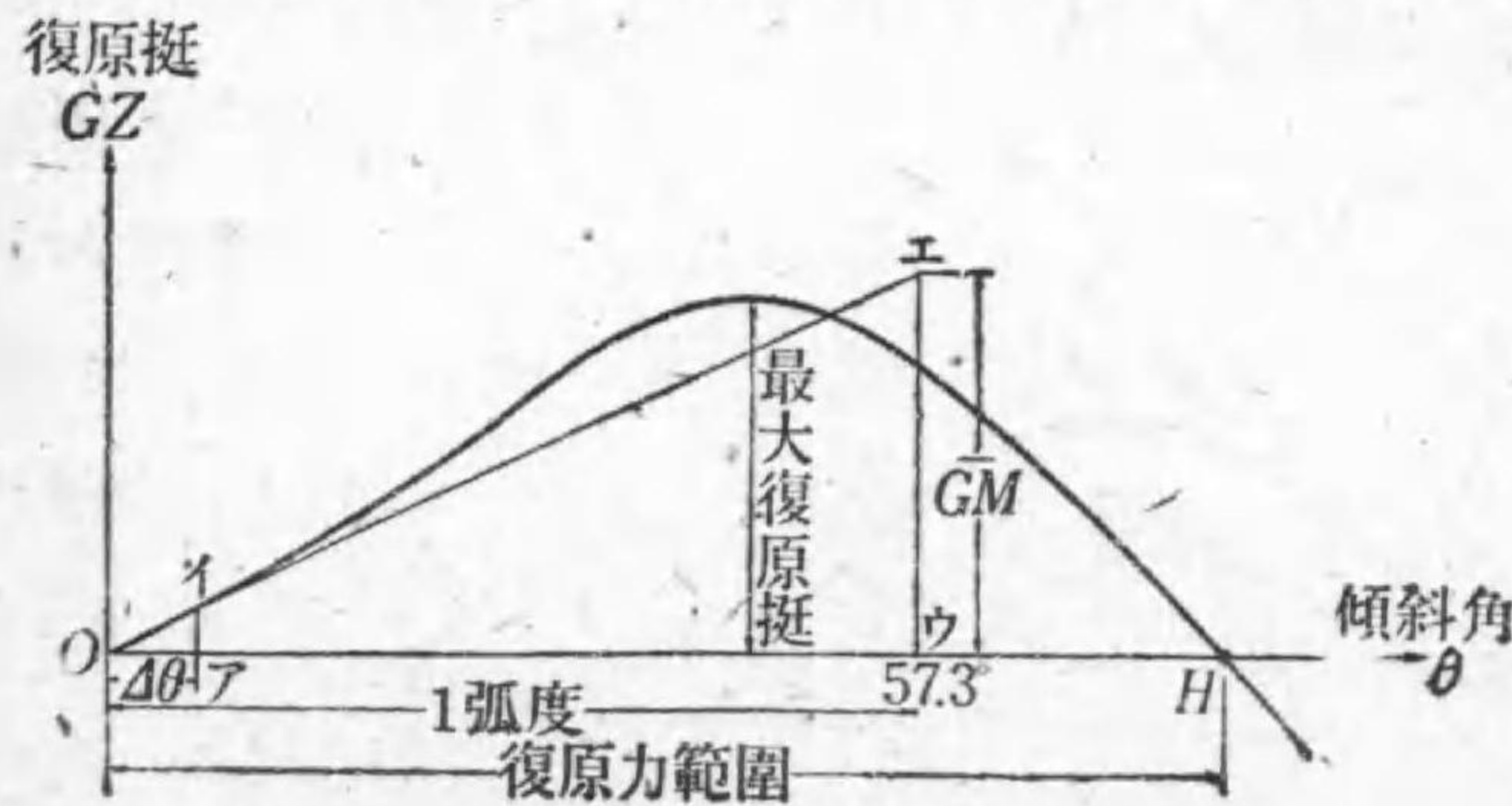
復原力の最大値を最大復原力といひ、これを超えると復原力は減少する。そして復原力が 0 になつた場合の傾斜角 H°



第 5・2 圖 復原力曲線

を復原力消失角といひ、正の復原力をもつ 0° から H° までを復原力範圍といふ。

復原力のうち W はどの傾斜角に對しても一定であるから、



第 5・3 圖 復原挺曲線

第5・3圖のやうに、 y 軸に復原挺 \overline{GZ} をとつても復原力の様子がわかる。この曲線を復原挺曲線といひ、復原挺の最大値を最大復原挺といふ。

ごく僅か $\Delta\theta$ だけ傾斜した場合は $\Delta\theta$ を弧度で表すとして、(4・5)式から復原挺 \overline{AI} は

$$\overline{GZ} = \overline{GM} \cdot \sin \Delta\theta = \overline{GM} \cdot \Delta\theta \dots\dots\dots(5 \cdot 3)$$

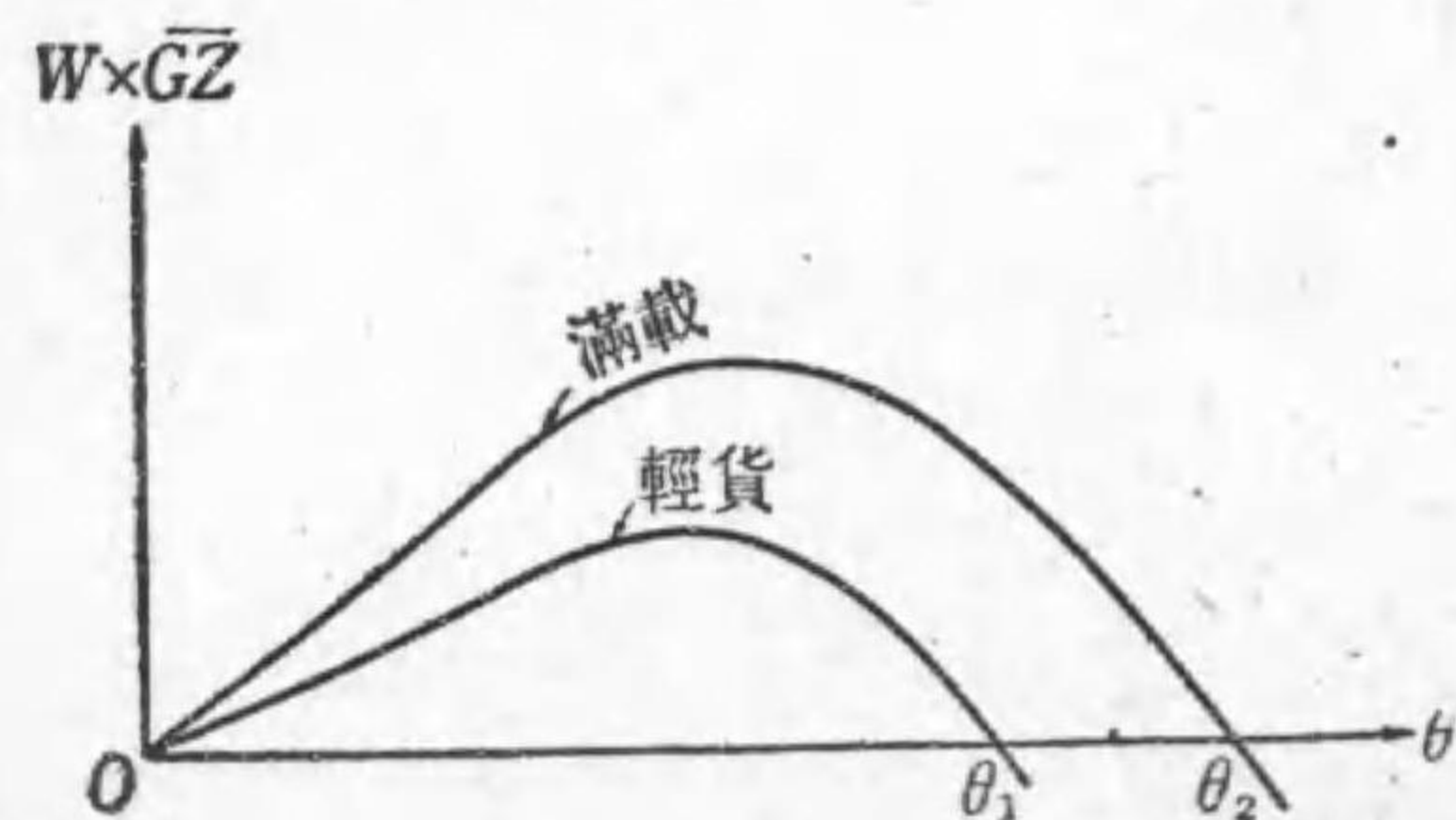
$$\therefore \frac{\overline{GZ}}{\Delta\theta} = \frac{\overline{GM}}{1} \dots\dots\dots(5 \cdot 4)$$

になる。今原点で復原挺曲線に接線をひき、 $\theta=1$ 弧度(57.3°)の点 ウ に垂線を立てて接線までの高さを $\overline{ウエ}$ とすれば、 $\Delta \text{ア}$ オイ と $\Delta \text{ウ}$ オエ は相似になる。

$$\frac{\overline{アイ}}{\Delta\theta} = \frac{\overline{ウエ}}{1} \dots\dots\dots(5 \cdot 5)$$

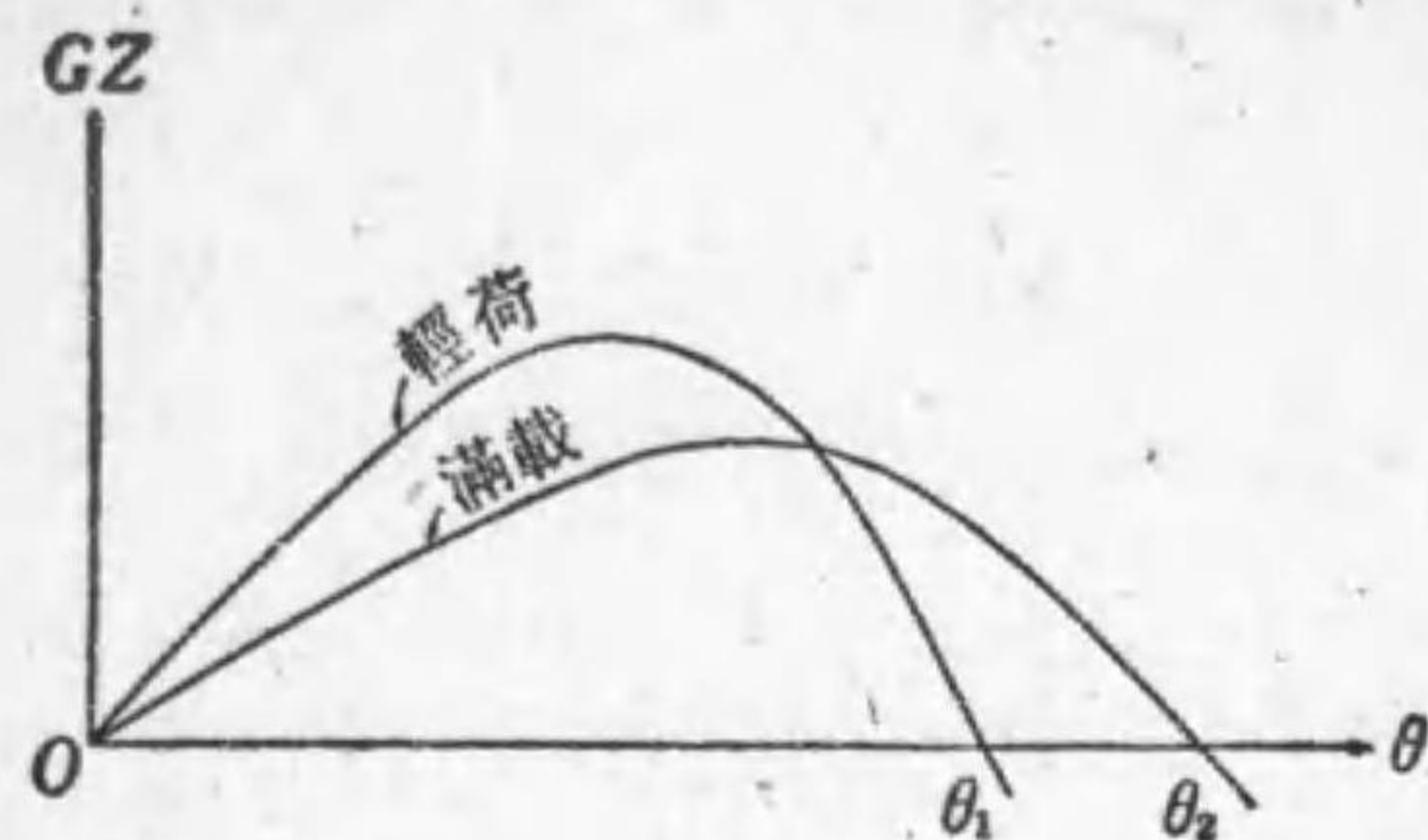
故に $\overline{アイ} = \overline{GZ}$ であるから、(5・4)式と(5・5)式から $\overline{ウエ} = \overline{GM} \dots\dots\dots(5 \cdot 6)$

の関係が得られる。随つて、復原挺曲線の出発点の傾斜度は傾心高に比例する。



第5・4圖 復原力曲線

第5・4圖と第5・5圖でわかるやうに、同じ船でも軽貨と満載とでは W も \overline{GM} も違ふから、排水量が違ふ場合は復原



第5・5圖 復原挺曲線

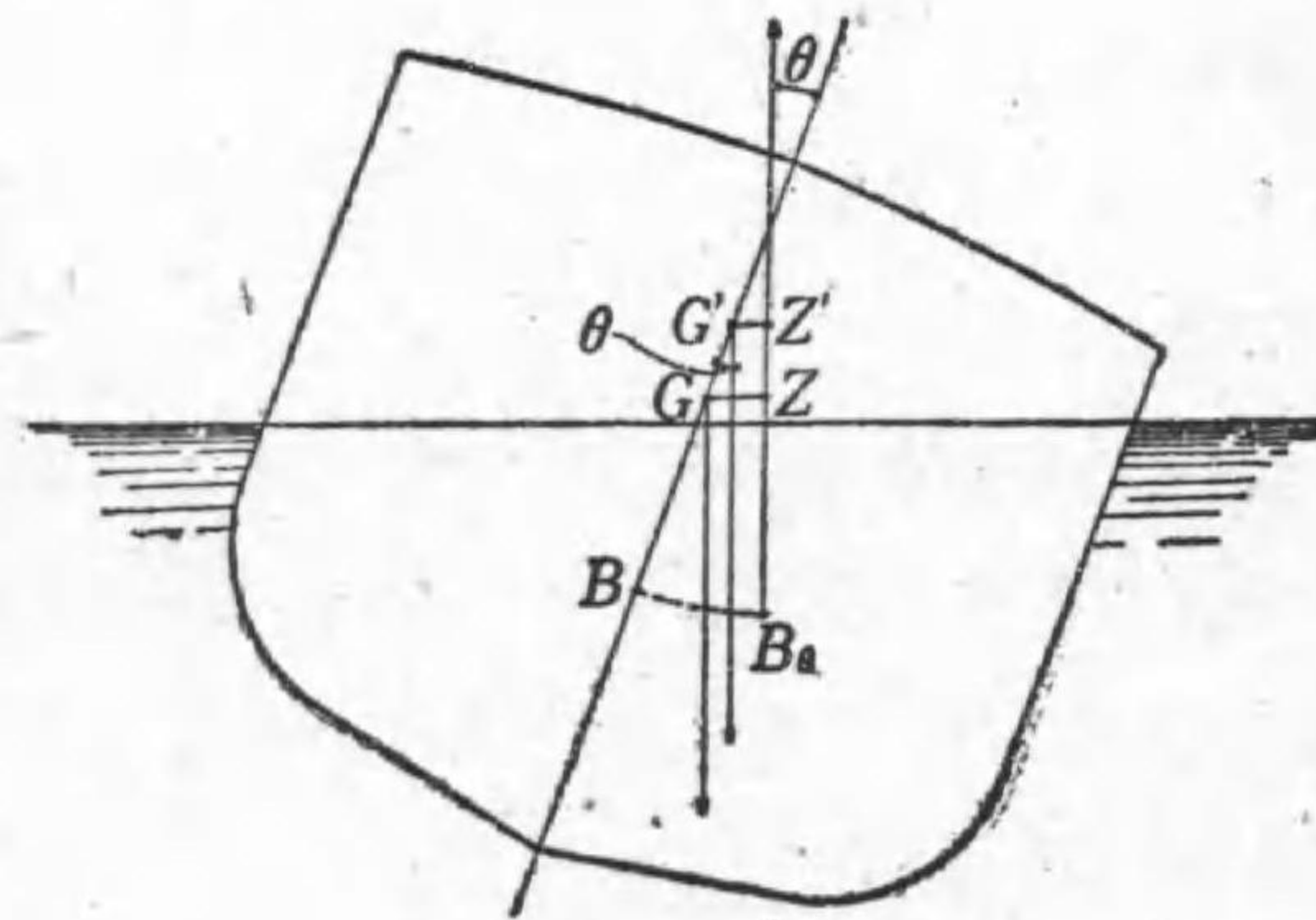
挺が大きくても必ずしも復原力が大きいとはいへない、復原挺曲線をも復原力曲線といふことがある。

3. 復原力に影響を及す要素

第5・6圖の船で、重量分布が變つて重心 G が G' に上昇したとすれば、新しい復原挺は、

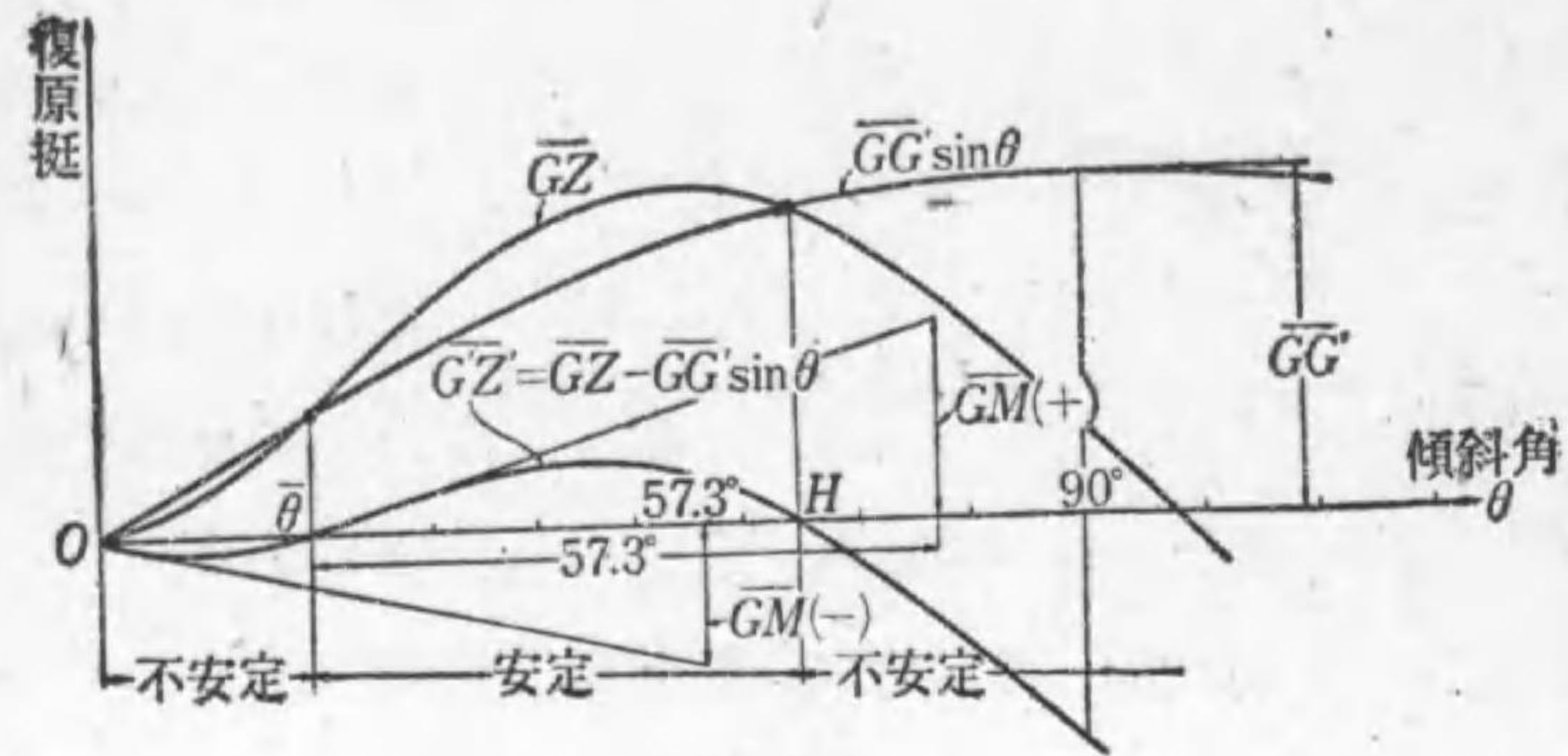
$$\overline{G'Z} = \overline{GZ} - \overline{GG'} \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(5 \cdot 7)$$

になる。重心が下降したとすれば(5・7)式の-を+にすればよい。随つて復原挺を適宜にきめた重心の高さに對して求めておけば、所定の重心の高さに對する復原挺は(5・7)式から直ぐに計算することができる。



第5・6圖 重心の上昇

重心が上昇すると復原力と復原力範圍が減少し、下降すれば増大する。重心が傾心から上昇すると直立位置で \overline{GM} が負で不安定となり、復原挺曲線は第5・7圖のやうになるから 安定の釣合になる傾斜角 θ



第 5・7 圖

重心の上昇により直立時に不安定となった場合の復原挺曲線

まで傾いて浮かぶ。重心が更に上昇すると GZ の正の部分が無くなって^{てんよく}顛覆する。

重心が傾斜角 180° の場合の傾心よりも下降すると、復原力範囲が 180° になり、且つ 180° の位置で不安定である。自己直立の救命艇は、このやうにして顛覆しないやうになつてゐる。

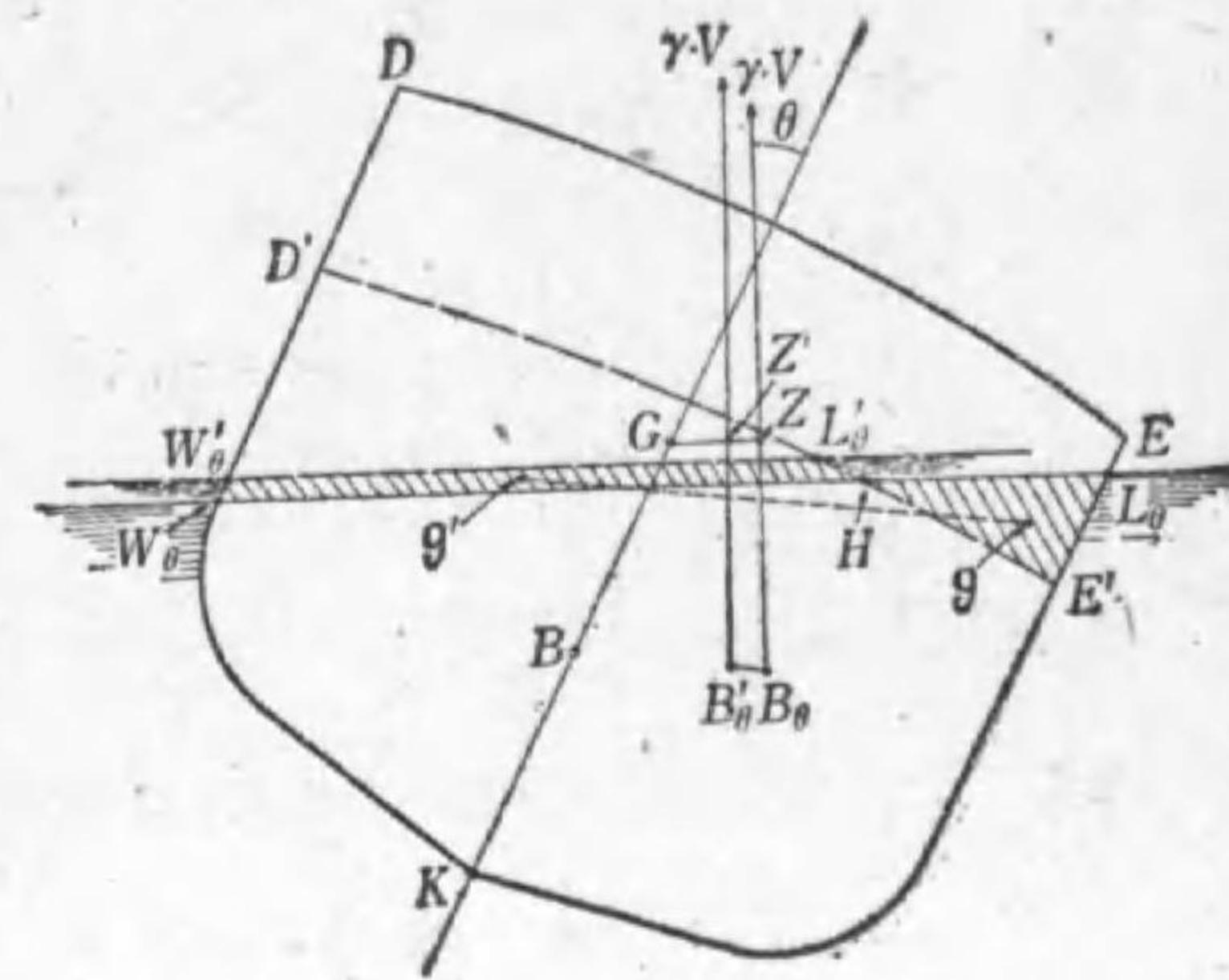
船内に遊動水や吊り下げた荷物などがあると、第 4. の 10. で學んだやうに重心が上昇した場合と同じ影響を及す。船の幅が増すと GM が大きくなるから、2. で學んだやうに復原力が増大する。

次に船型・排水量・重心の高さなどが變らず、唯^{かんげん}乾舷だけが減つた場合を考へてみよう。

第 5・8 圖で乾舷の高い船を KDE 、低い船を $KD'E'$ とする。直立から甲板縁 E が水面にはいる傾斜角 θ_1 までは

兩船の復原力は同じである。

θ_1 より大きな傾斜角 θ になつた場合、船 KDE は水線 W_0L_0 で浮かび、浮心は B_0 であるとする。乾舷の低い船 $KD'E'$ は排



第 5・8 圖 乾舷の影響

水量が等しいから、同傾斜角 θ では水線 $W'_0L'_0$ まで沈み、斜線をひいた體積 L_0HE と體積 $W_0HL'_0W'_0$ は等しくなくてはならない。それぞれの重心を g, g' とし、體積を共に v とすれば、船 $KD'E'$ の浮心 B'_0 は(4・1)と(4・2)式から

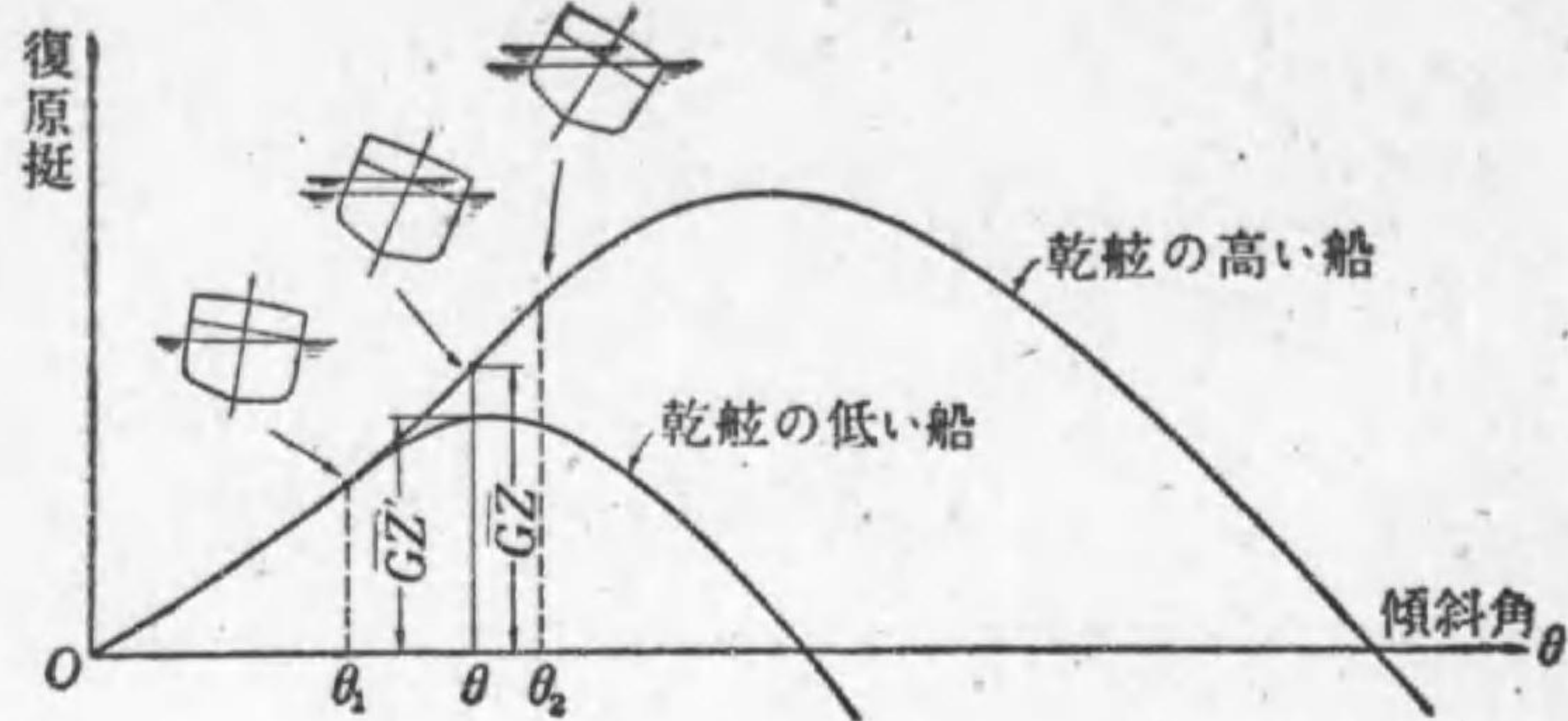
$$\overline{B_0B'_0} // \overline{gg'} \dots\dots\dots(5 \cdot 8)$$

$$\text{且つ } \overline{B_0B'_0} = \overline{gg'} \frac{v}{V} \dots\dots\dots(5 \cdot 9)$$

だけ移動する。随つて乾舷が低くなると、復原挺 $G'Z'$ は GZ に減少する。

この兩船の復原挺曲線は第 5・9 圖のやうになる。 θ_2 は船 $KD'E'$ の甲板縁 E' が水面にはいる傾斜角である。

○船の乾舷が高くなつた場合、排水量や重心などは變らないとすれば、その復原力曲線にどんな影響を及すか。又どんな點には影響がないか。



第 5.9 圖 乾舷高と復原挺曲線。

4. 復原力の計算

任意の傾斜角の復原力を求めるには、直立時の排水量に等しい排水量をもつ水線に対する浮心の水平方向の位置と重心の高さとを知らねばよい。

復原力の計算には次のような假定を設ける。

- (ア) 舷窓 石炭積込口 甲板口などはすべて水密にする。
- (イ) 傾斜中どんな重量もその重心は移動しないものとする。
- (ウ) 傾斜してもトリムは変化しないものとする。

船首樓・船橋樓・船尾樓などの上部構造物がある場合は、その水密の部分の體積を全甲板上に平均の高さに廣げ、乾舷が高くなつたとみなして計算するか、又は上部構造物がないものとして計算し、後で適當に修正する。

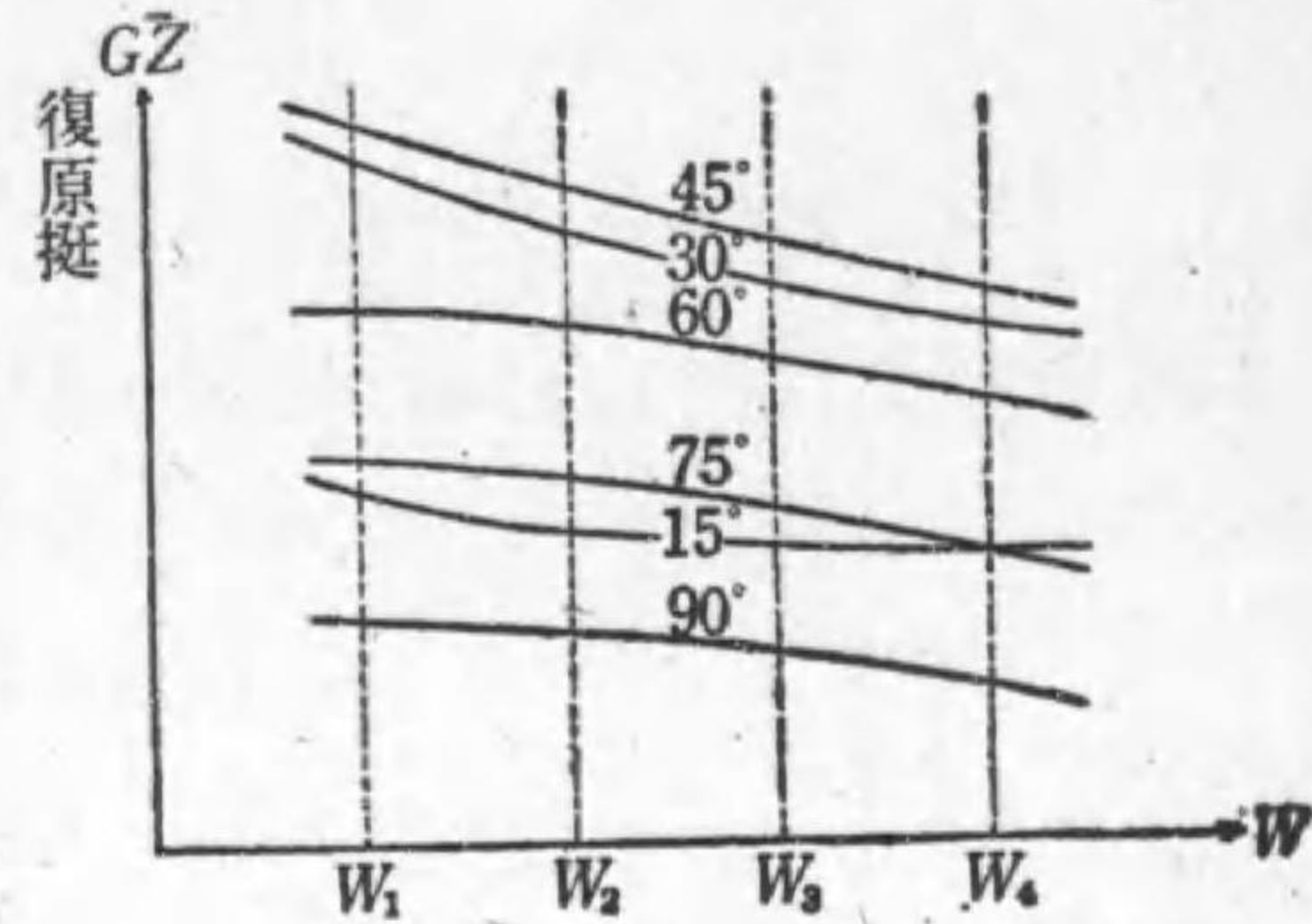
5. 復原挺交叉曲線

船は積荷の多少によつて排水量が違ふから、或る排水量に對する復原力曲線を計算しても、他の排水量の場合はやはり同様の計算をしなければならない不便がある。又直立時の排

水量と等しい排水量をもつ傾斜時の水線の位置を求めることも面倒である。

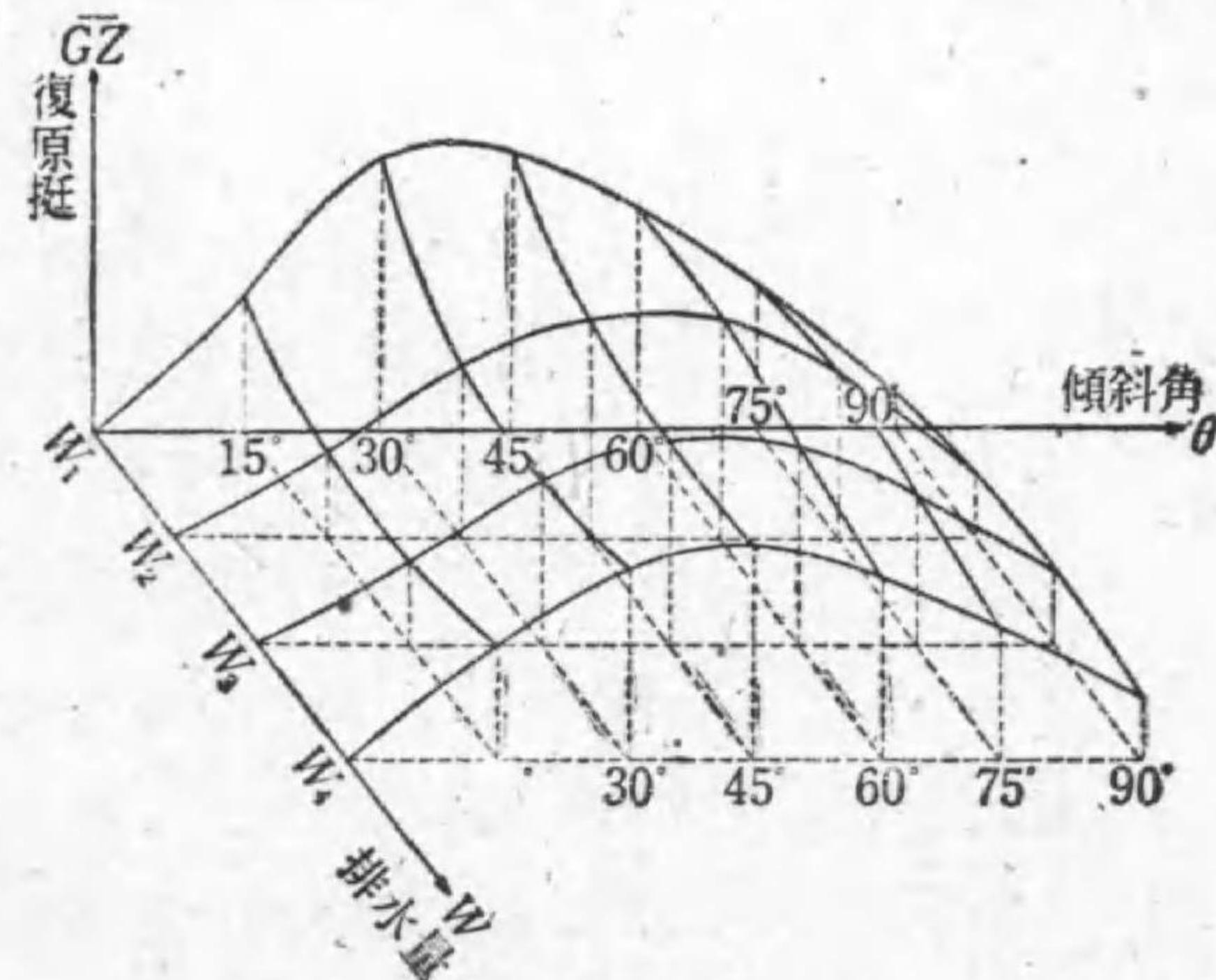
それ故、各傾斜角に於いて適當な間隔をもつ數箇の水線に對して、排水量及び

復原挺を求めておけば第 5.10 圖のやうに x 軸に排水量をと、 y 軸に復原挺をとつて一定傾斜角に於ける復原挺を示す曲線がつくれる。こ



第 5.10 圖 復原挺交叉曲線

のやうな曲線を復原挺交叉曲線といひ、第 5.11 圖のやうに立體的に表したものを左手正面から見た圖であると考へるこ



第 5.11 圖

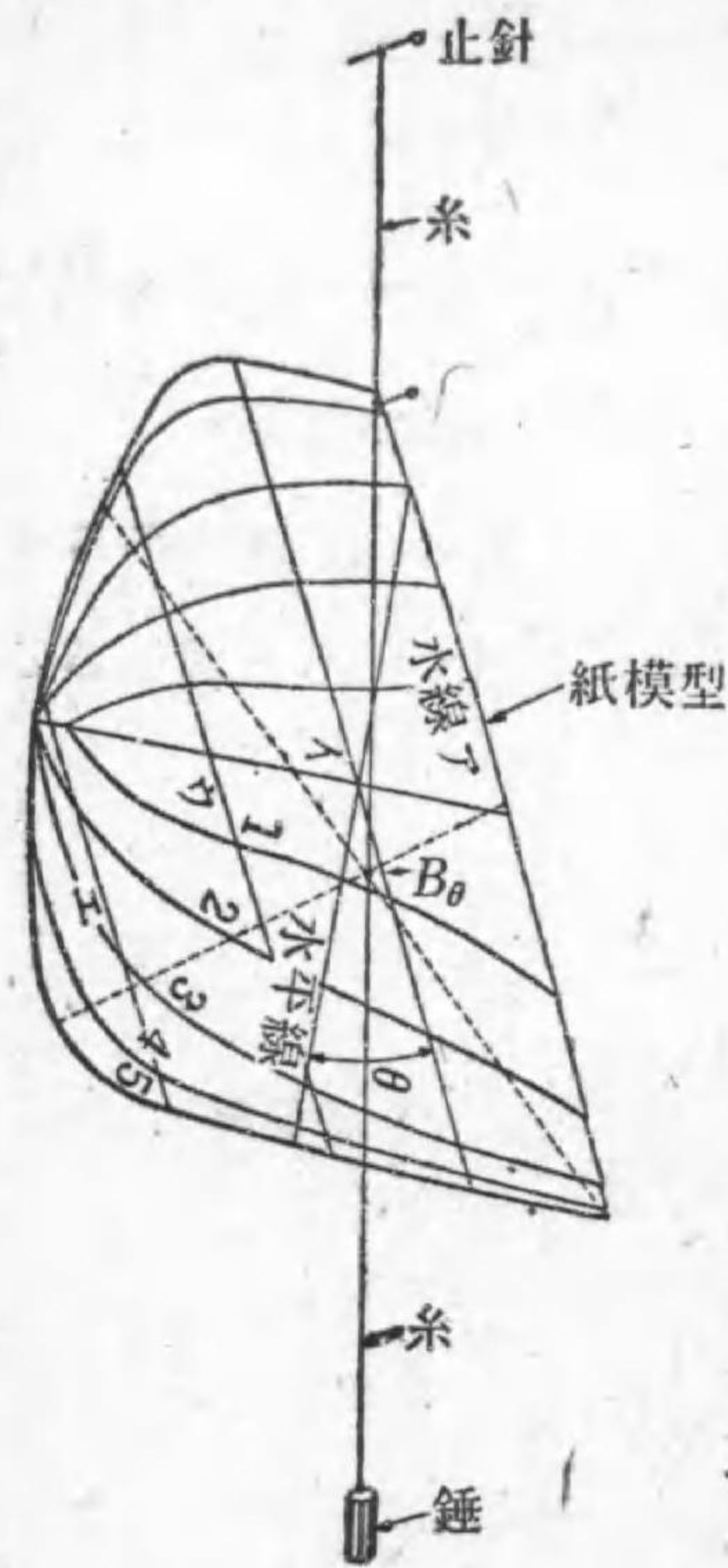
復原挺交叉曲線と復原挺曲線との關係

とができる。随つて復原挺交叉曲線からは、直ぐ任意の所定排水量の場合の復原挺曲線が得られる。

復原挺交叉曲線は、復原力交叉曲線或は單に交叉曲線ともいふ。

6. 實驗的に復原挺交叉曲線をつくる法

厚紙又は製圖用紙に正面線圖の等間隔の各横斷面の形を針



第 5・12 圖
紙模型を吊して浮
心位置を求める法

で刺して寫しとり、中心線に對して兩側をふがき、各斷面を切り抜く。各斷面は全部等しい間隔の斷面位置のものでなければならぬ。これに水線を記入してもとの相互位置に重ね合はせ、できるだけ少い糊で貼り合はせる。

この紙模型の一番上の水線から上部を切り取つて模型の目方を正確に計る。順次に下の水線に對して同様に模型の目方を計れば、これは排水量に比例すると考へられるから、排水量曲線圖から模型の目方と排水量との關係がわかる。

別に同様の紙模型をつくり、

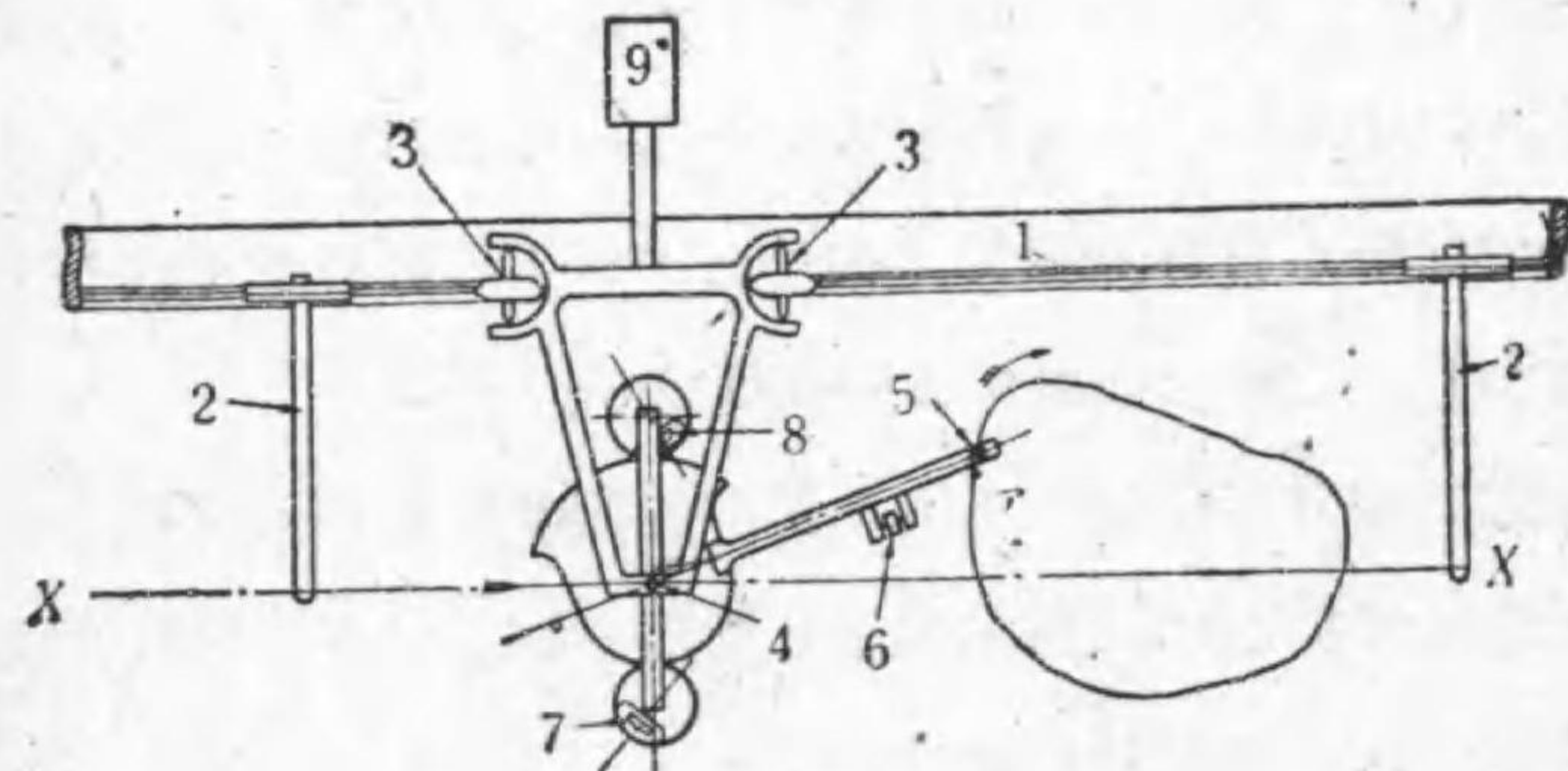
所定の傾斜角の水線を適當な等間隔で數本記入する。この一番上の水線から上部を切り取つて模型の目方を計れば、このときの排水量がわかる。次に第 5・12 圖のやうにして、模型の重心を求めれば浮心の位置がわかる。重心を計畫滿載水線面の高さにあるとすれば、これから \overline{GZ} が求められる。

順次に下の水線に對しても同様の方法で \overline{GZ} を求めれば、所定の傾斜角の復原挺交叉曲線をつくることができる。

○直立及び各傾斜角の組に分け、各組同じ厚さの紙で紙模型をつくり、今學んだやうに實驗して、全部の組の結果から復原挺交叉曲線をつくつてみよ。

7. 積分器

第 5・13 圖の積分器を用ひれば、任意の平面圖形の面積と



第 5・13 圖 積分器

軸 XX に對するモーメントとを同時に機械的に求めることができる。

①は鋼製の直線定木の溝で、間隔指示片②によつて軸 XX

と一定間隔で平行に定置し、その溝中をころがる車⑧によつて、積分器の中心④は常に軸 XX の上を移動する。この場合の XX を積分器の軸といふ。指示針⑤を圖形の周圍上の 1 點⑦に置き、轉輪⑥と⑦の目盛を読みとる。⑤を⑦から時計の針の進む方向へ圖形の周圍に沿つて一廻りし、もとの出發點⑦に戻つたときの⑥と⑦の目盛を読みとる。⑥の最後と最初との讀みの差に、積分器に示す⑥の係数を掛ければ圖形の面積が得られ、⑦の最後と最初との讀みの差に積分器に示す⑦の係数を掛ければ、軸 XX に対する圖形のモーメントが得られる。モーメントの値が+か-かによつて、圖形の重心は軸 XX から直線定木の側にあるか、又はその反対側にあるかがわかる。

このほか、軸 XX に対する圖形の二次モーメントの値を求める二次モーメント轉輪⑧をそなへてゐる積分器があるが、造船では排水量計算表で二次モーメントの計算をくはしく行なふから、これを使用する必要はない。

係数は積分器に示してあるが、使用前に面積及び重心の位置が既知の圖形で、指示針を 3 回ほど廻してその平均から係数の値を求めた方がよい。

8. 積分器による復原力の計算

船型線圖の正面圖から兩舷全部をよがいた復原力計算用の横断面圖をつくる。この大きさは、積分器の使用に差支へないやう適當な大きさによがく。前半部と後半部は線の色を變

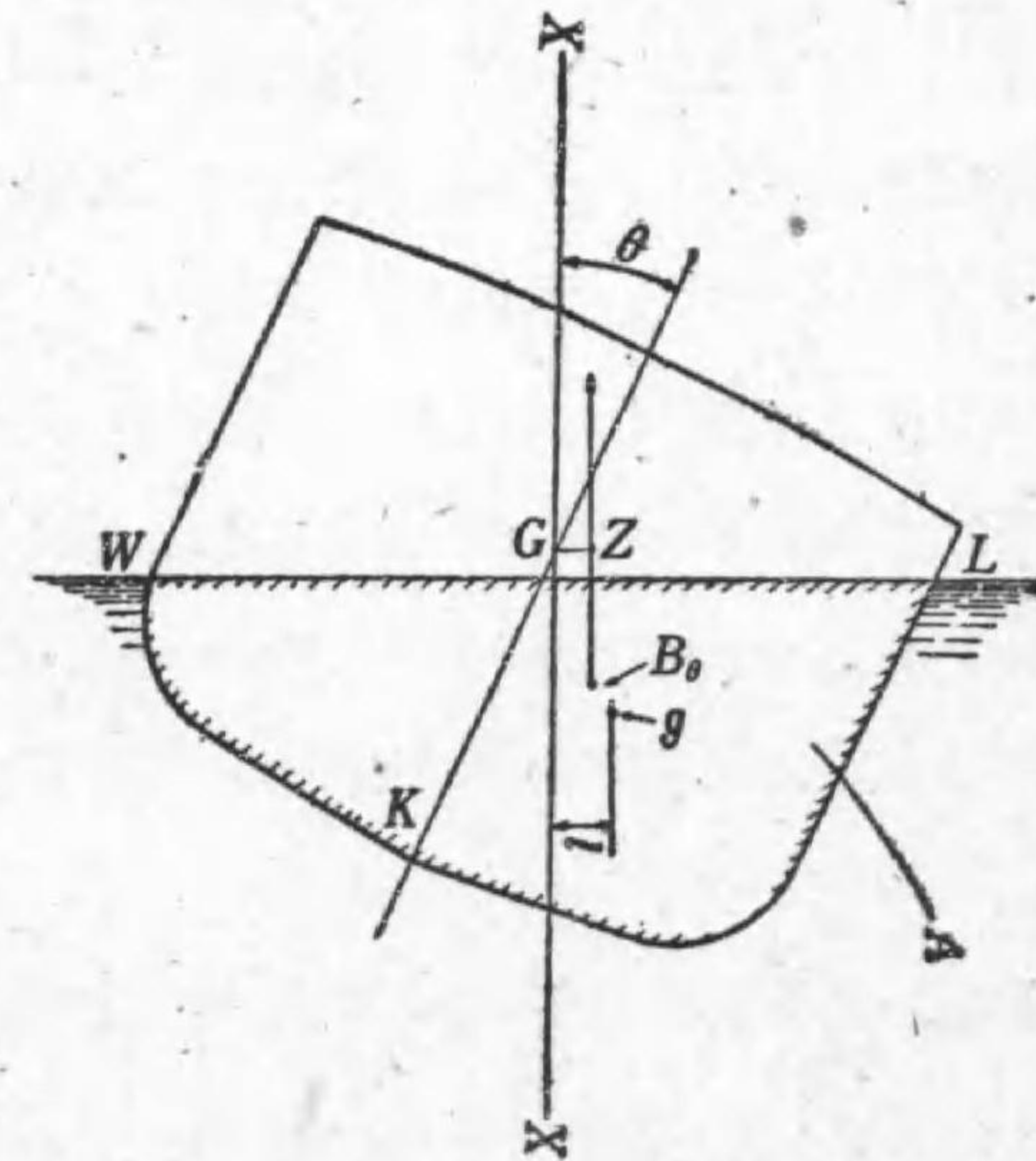
へるか、又は實線と點線とで示せばわかりがよい。

横断面の位置は、座標數 8 箇の場合の平均 y 座標法則が適用できるやうにとれば計算が簡單である。即ち船の長さ L を基線にとれば、横断面の位置は後端から $0.513L, 2.031L, 2.969L, 4.487L, 5.513L, 7.031L, 7.969L, 9.487L$ になるから、正面線圖の $\frac{1}{2}, 2, 3, 4\frac{1}{2}, 5\frac{1}{2}, 7, 8, 9\frac{1}{2}$ 断面を近似的にそのまま利用することができる。このうちで $4\frac{1}{2}$ と $5\frac{1}{2}$ は正面線圖には普通よがいてないが、船の中央部は平行なことが多いので中央横断面を利用する。

重心の位置は満載水線面の附近にあるから、假定重心の高さは満載水線面にとればよい。

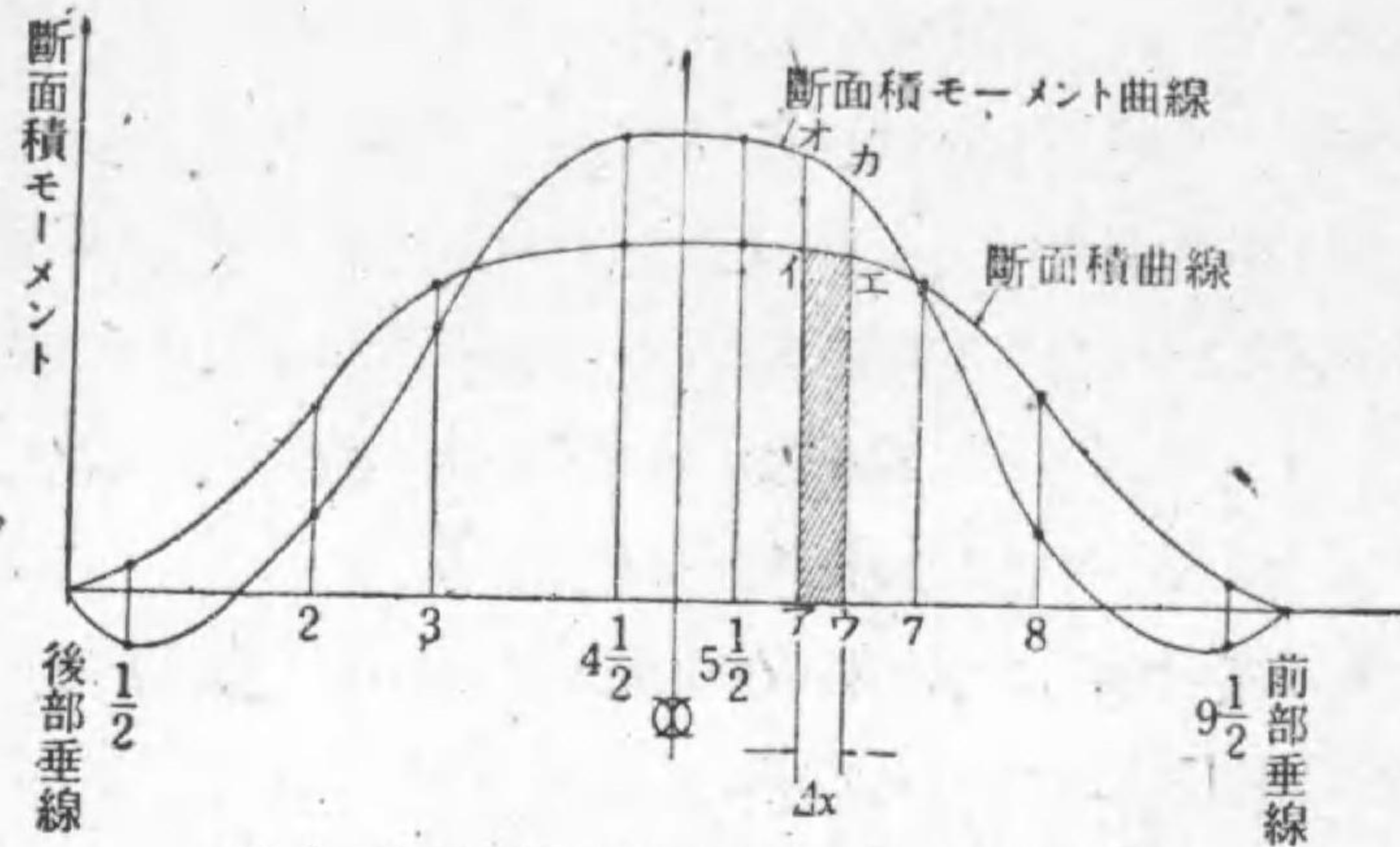
第 5・14 圖のやうに、所定の傾斜角 θ で假定重心 G を通る

鉛直線 XX を積分器の軸と一致させ、任意の断面の水線以下 KWL を指示針で周圍を一巡すると、その断面積 A と軸 XX に対する断面積のモーメントがわかる。軸 XX から断面の重心 g までの距離を l とすれば、モ



第 5・14 圖

ーメントは $A \times l$ を表す。これを各断面で行なふと、第5・15圖のやうな断面積曲線と軸 XX に對する断面積のモーメント曲線がつくれる。



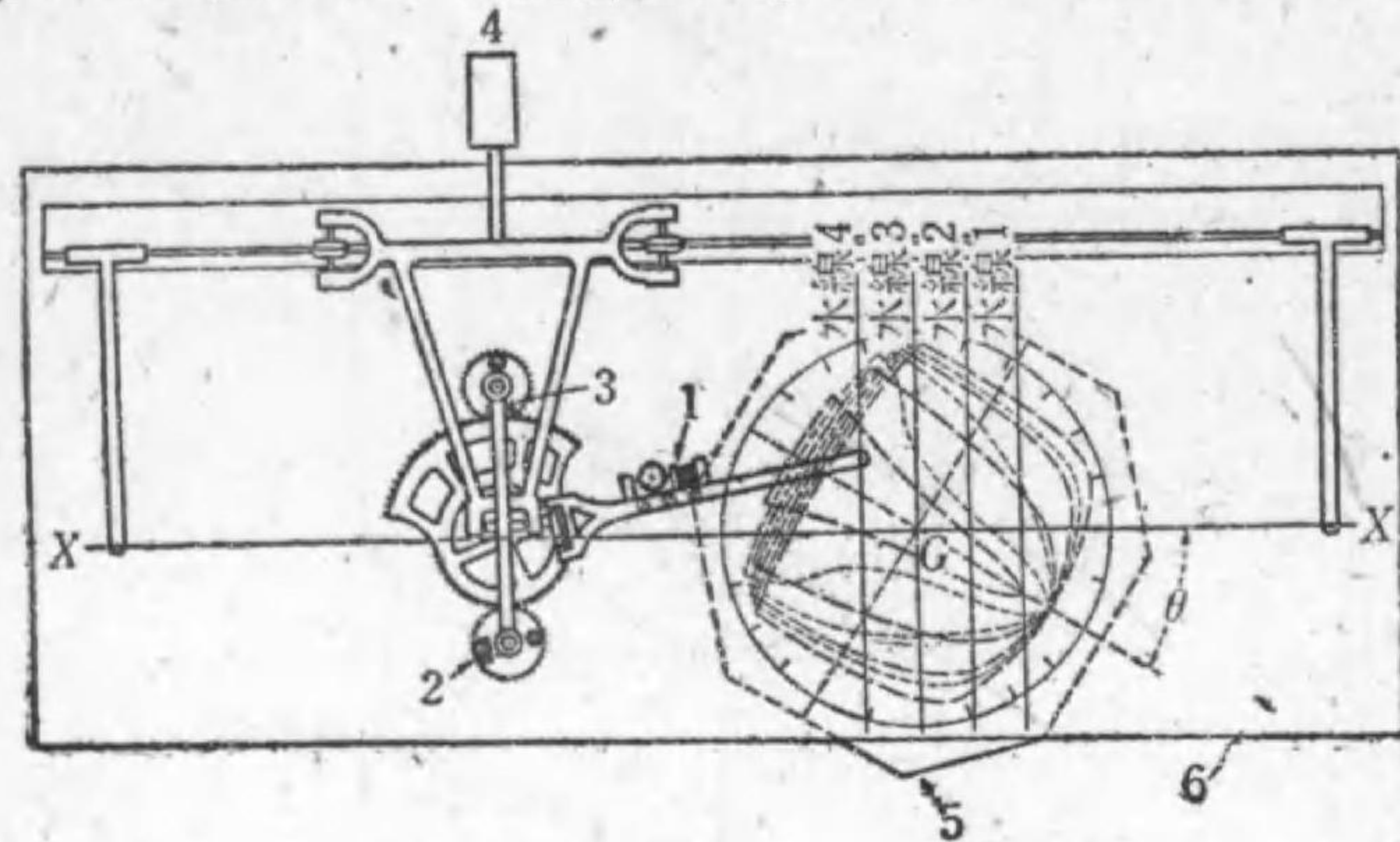
第5・15圖 断面積とそのモーメント曲線

ごく小さい長さ Δx の部分の断面積曲線の面積アイエウは、その部分の長さ Δx の間の排水體積を表し、モーメント曲線の面積アオカウは、軸 XX に對する上の排水體積のモーメントを表す。随つて、平均 y 座標法則で兩曲線の面積を求めれば、水線 WL 以下の排水體積と軸 XX に對するそのモーメントとがわかるから、このモーメントを排水體積で割れば、軸 XX から浮心 B_0 までの距離がわかり、これは復原艇 \overline{GZ} に等しい。

實際の計算では第5・15圖のやうな曲線を作圖する必要はなく、又その y 座標の長さの合計は全断面を連続して積分器の指示針を廻せば、 A 轉輪と M 轉輪の讀みに機械的に表れる

から、これに積分器の係數と圖面の縮尺に對する乘數と $\frac{L}{8}$ とを掛ければよい。實際の計算は次のやうにする。

第5・16圖のやうに横断面圖⑤の上に、軸 XX とこれに



第5・16圖 積分器による復原力の計算

直角の數本の等間隔の水線とを記入した大きな透寫紙⑥を置き、軸 XX を積分器の軸に一致させて積分器をその上に定置する。

假定重心 G を軸 XX に一致させて⑥の上から針で G ををさへ、⑥を所定の傾斜角まで回轉させる。積分器の指示針を中心線と水線1の交點上に置き、面積轉輪①及びモーメント轉輪②の目盛を讀みとつて記録する。

これは後で學ぶやうな計算表に記録して計算を行なふ。それから指示針で水線1以下の各断面を連続的にすべて廻し終つて、もとの位置に指示針が戻つたとき①と②の讀みを記録する。同様に水線1と2の間の全断面を連続的に廻して最初と最後の讀みを記録する。

(参考) 第 5・2 表で、乗数 C_1 の式の中で 100^2 で割つてあるのは断面積の cm^2 を m^2 に直すためである。乗数 C_2 の式の中で 100 で割つてあるのは復原挺の cm を m に直すためである。総合計算表の値から復原挺交叉曲線がつくれる。

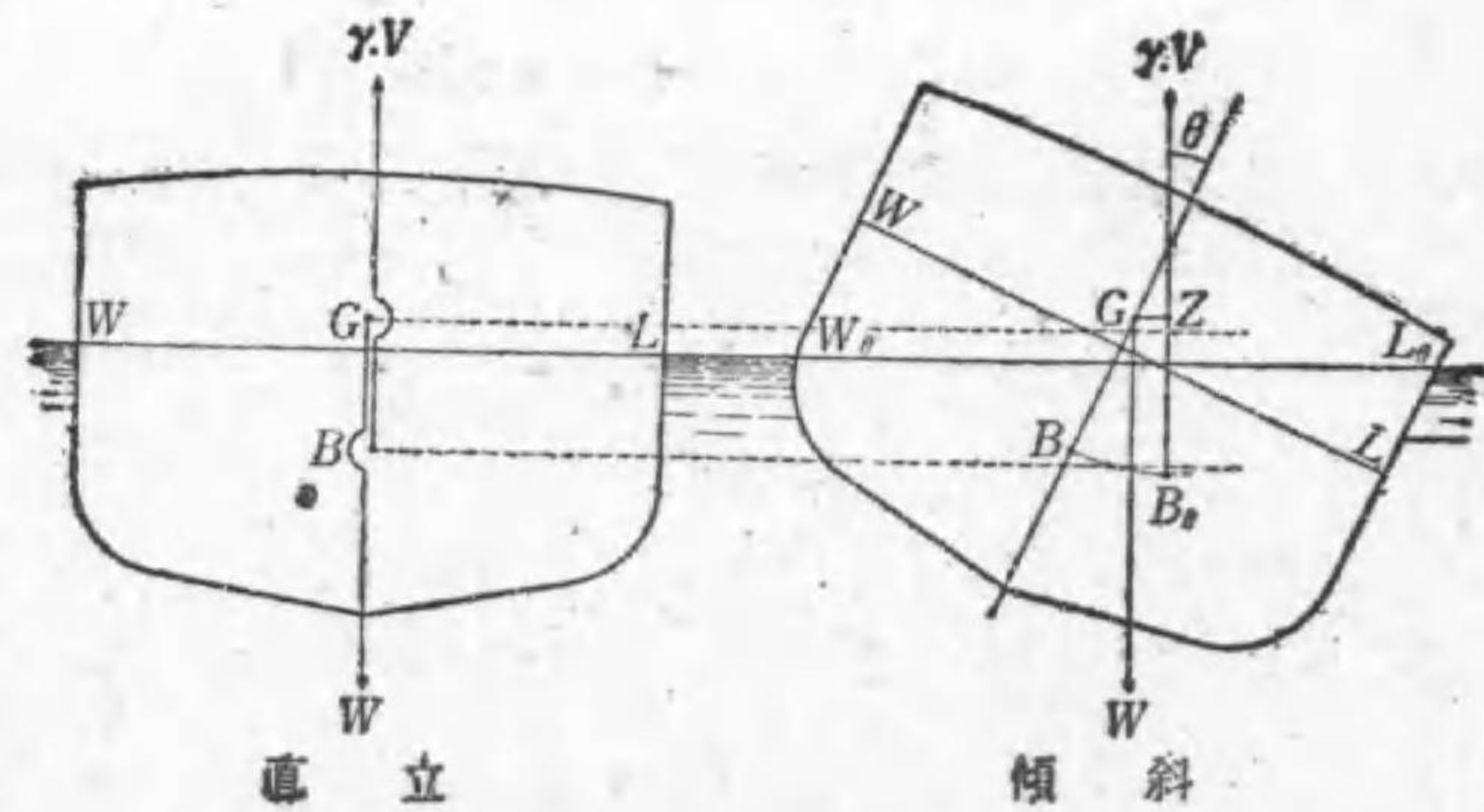
9. 動的復原力

動的復原力の意味は 1. で學んだ。仕事の大きさ又は量は、抵抗する力とそれに逆らつてその力の作用線と反対方向へ移動させた距離との積で表される。船が傾斜する際に働いてゐる力は鉛直方向の重力と浮力で、それに逆らつて移動させる距離は重心の上昇距離と浮心の下降距離である。

第 5・18 圖でわかるやうに $\overline{B_0Z}$ から \overline{BG} を引けば、重心の上昇量と浮心の下降量との和を得るから、傾斜に要した仕事の量は排水量に $(\overline{B_0Z} - \overline{BG})$ を掛けて求める。随つて

$$\text{動的復原力} = W \times (\overline{B_0Z} - \overline{BG}) \dots\dots\dots (5.10)$$

になる。



第 5・18 圖 動的復原力

$$\text{今 } \overline{B_0Z} - \overline{BG} = h_a \dots\dots\dots (5.11)$$

とすれば、

$$\text{動的復原力} = W \times h_a \dots\dots\dots (5.12)$$

で表すことができる。 h_a を動復原挺といふ。

第 5・1 圖で B_0 の B に對する相對的降下量 $\overline{B_0R}$ は、一部體積 v が g から g' まで降下して生じたのであるから、

$$\overline{B_0R} = (\overline{gh} + \overline{g'h'}) \frac{v}{V} \dots\dots\dots (5.13)$$

$$\text{又 } \overline{RZ} = \overline{BG} \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (5.14)$$

になる。けれども

$$\begin{aligned} \overline{B_0Z} &= \overline{B_0R} + \overline{RZ} \\ &= \frac{v(\overline{gh} + \overline{g'h'})}{V} + \overline{BG} \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (5.15) \end{aligned}$$

であるから、これを(5.10)式に代入すれば

$$\text{動的復原力} = W \left\{ \frac{v(\overline{gh} + \overline{g'h'})}{V} - \overline{BG}(1 - \cos \theta) \right\} \dots\dots\dots (5.16)$$

が得られ、中括弧のうちが動復原挺の値を表す。(5.16)式は(5.2)式によく似てゐて、第1項は船型だけに關係し、第2項は重心の高さに關係する。

(問題)

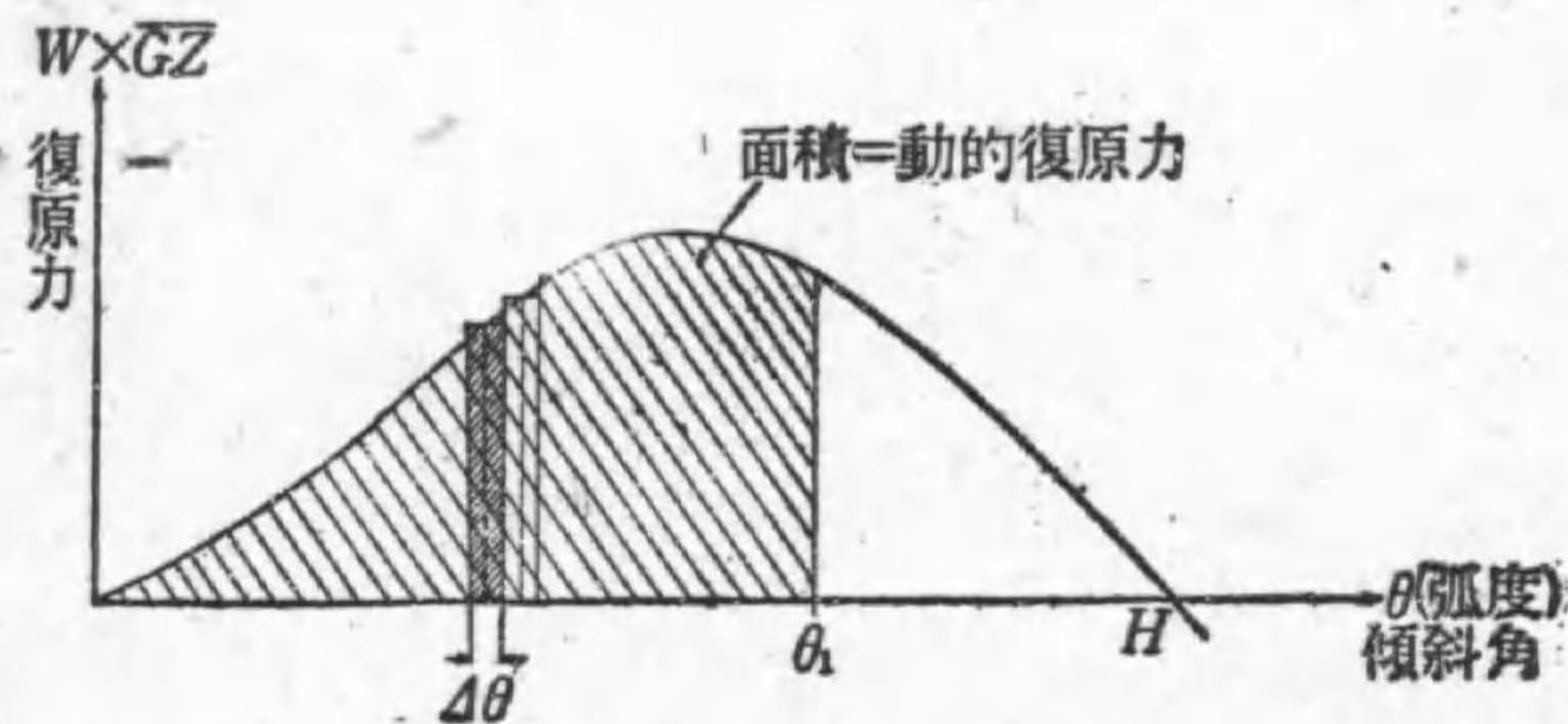
(1)長さ 100m, 幅 12m, 深さ 12m の一様正方形断面の船で、横傾斜角 45° に於ける動復原挺と動的復原力を(5.16)式によつて求めよ。

(2)同じ場合の浮心位置は直ぐ求められるから、これによつて(5・11)式と(5・12)式から2頁の問題の答を調べよ。

(3)上の問題の船で、横傾斜角 90° に於ける動復原挺と動的復原力を求めよ。

仕事の量は、偶力の大きさとそれに逆らつて回轉させた角(弧度)との積でも表される。

傾斜角をごく小さい角 $\Delta\theta$ (弧度)で多くに分ければ、その各範圍では復原力 $W \times \overline{GZ}$ は殆ど變化せず一定と考へられるから、 $\Delta\theta$ だけ傾斜させるのに要する仕事は $W \cdot \overline{GZ} \cdot \Delta\theta$ である。これは第5・19圖でこまかい斜線をひいた細長片の面



第5・19圖 動的復原力

積で表される。随つて直立から θ_1 弧度まで傾斜させるのに要する仕事は、このやうな θ_1 細長片の面積の θ_1 までの合計で表される。即ち傾斜角 θ_1 に於ける動的復原力は、直立から θ_1 までの復原力曲線と横軸間の面積で表される。この場合 x 軸の θ は度数でなく弧度で測らなければならない。随つて直立から H までの復原力曲線の面積が大きくなほど、その船は顛覆しにくいことがわかる。

第6. 動 搖

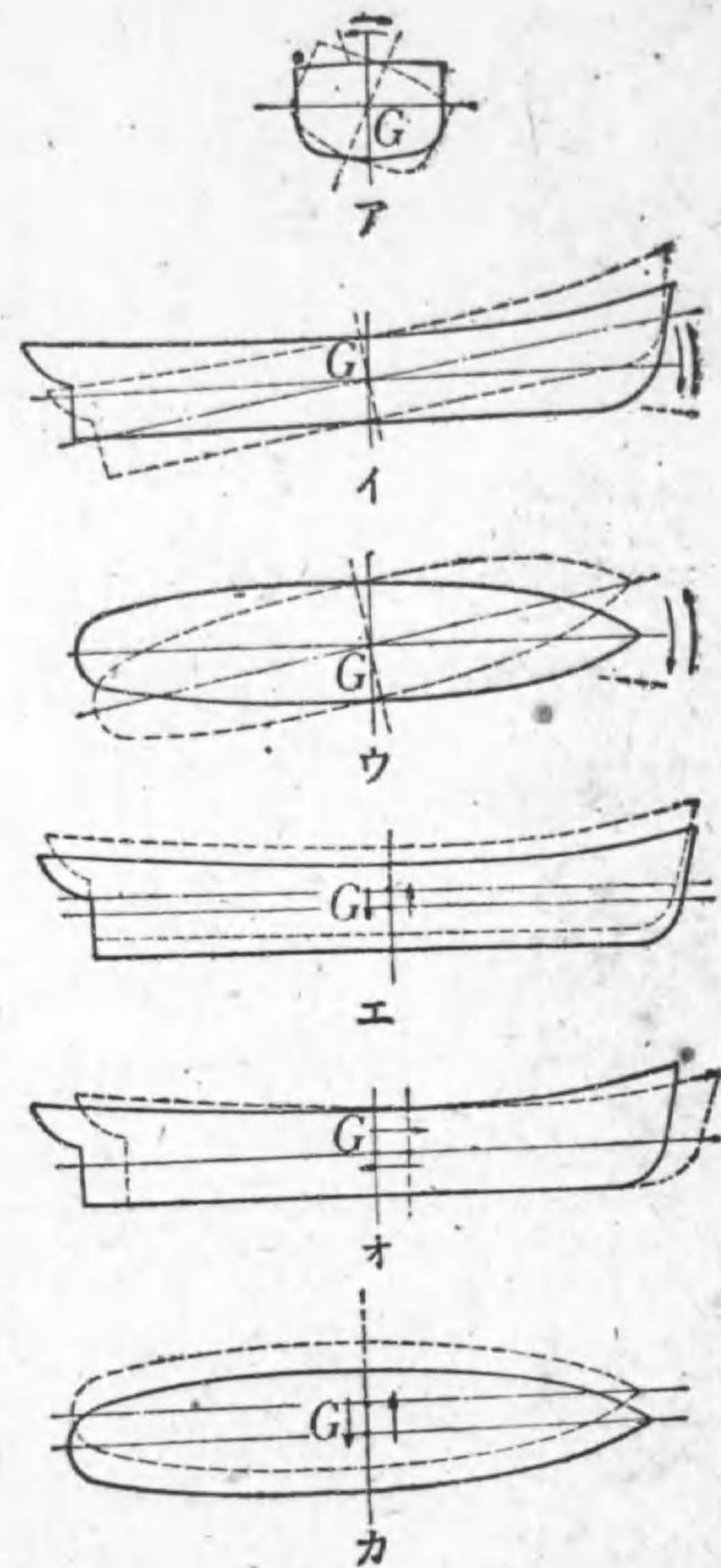
1. 船の動搖

船は航海中、風や波など外界の作用を受けていつも動搖する。

船の動搖には横搖・縦搖・船首搖(偏搖)などの回轉運動と、上下動・左右動・前後動などの平行移動運動とがある。

回轉動搖の運動の中心軸の位置は一定してゐないが、普通は船の重心の附近にあるので、船は重心を通る軸を回轉軸として動搖するものと考へて差支へない。

船の動搖には普通數種類の原因が同時に發生する。船に一つだけの動搖が單獨に生ずることは稀で、たとへば横搖を單獨



第6・1圖 船の動搖

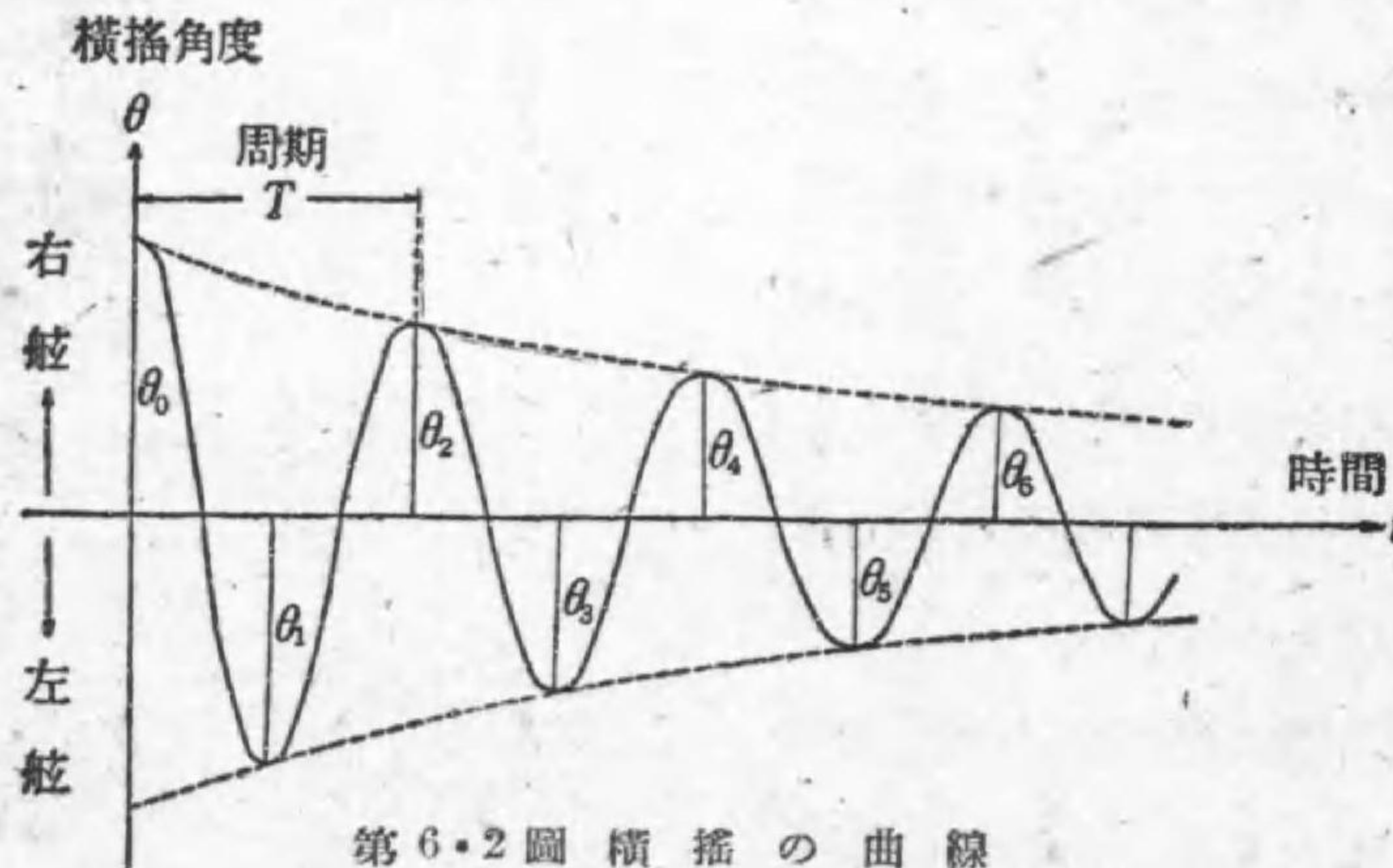
- ㊦横搖 ㊧縦搖 ㊨船首搖(偏搖)
- ㊩上下動 ㊪前後動 ㊫左右動

に生じさせようとしても、船は前後と上下方向とに對稱でないから、これに伴つて普通縦揺上下動も生ずる。船の動揺は、乗心地だけでなくその性能に重大な影響を及す。特に横揺が第一で、次に縦揺の影響が大きい。

2. 静水中の動揺

静水中の船の動揺は、釣合の位置から變位させた場合に復原力が作用して生ずる。又静水中では、船に横揺・縦揺・上下動を生じさせることができる。このうち一番重要な横揺に就いて調べてみよう。

静水中で船に横揺を生じさせると、水や空氣の抵抗のため、第6・2圖のやうに時間と共にその横揺角は漸次に減つてゆ



く。横揺角が最大値に達した時間から、再び同方向舷の最大値に達するまでの時間を横揺の周期といふ。又その途中の反對舷の最大値に達するまでの時間も周期といふことがあるの

で、これを區別するため前者を全周期、後者を半周期といふ。普通に周期といへば全周期のことである。

一般に横揺角度が10°ぐらゐまでの範圍では、横揺角に關せず周期は一定である。このやうな横揺を等時横揺といひ、周期 $T(s)$ は次の式で計算する。

$$T = 2.01 \frac{k}{\sqrt{GM}} \dots\dots\dots (6 \cdot 1)$$

GM : 傾心高(m)

k は、横揺軸からの船の重量分布によつてきまる値であつて、環動半徑(m)といふ。環動半徑 k は、船の最大幅を B とすれば、ほぼ $0.33 \sim 0.40B$ 、即ち $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{5}B$ である。

船の重量をごく小さい部分に分けてそれぞれの重さを w 、その重心と回轉軸との間の距離を r とし、回轉軸に對する全重量の二次モーメントを求め、これを I とすれば

$$I = \sum w \times r^2 \dots\dots\dots (6 \cdot 2)$$

になる。これを回轉慣性量(慣性モーメント)といふ。

船の排水量 W と等しい重量をもち、回轉軸から距離 k にある大きさのごく小さい質點を考へ、これが船と等しい回轉慣性量をもつとすれば、

$$I = W \cdot k^2 \dots\dots\dots (6 \cdot 3)$$

である。故に(6・2)式と(6・3)式から次のやうになる。

$$k^2 = \frac{I}{W} = \frac{\sum w \times r^2}{W} \dots\dots\dots (6 \cdot 4)$$

(6・4)式の関係から得られる距離 k の長さをその船の環動半徑と

いふ。即ち船と等しい重さの質点が船と等しい回轉慣性量をもつ場合、回轉軸からその質点までの距離をいふ。

(6・1)式から次のことがわかる。船の重量が横揺軸から遠くの方へ分布するほどその周期が永くなる。船の周期は傾心高の平方根に反比例するから、傾心高が大きくなるほど周期は短くなる。しかし船の重量分布や傾心高は、それぞれ各船型に就いて大體一定してゐるので、その横揺周期は次の程度である。

大型客船 20~26s 小型客船 10~14s

貨物船は荷物の積み方によつて周期の範圍も一定しない。

傾心高がごく小さくなると、横揺角が小さくても等時横揺をしなくなるので、(6・1)式では誤差が大きい。

傾心高が0か、ごく小さい場合の周期 $T(s)$ は次の式で計算する。

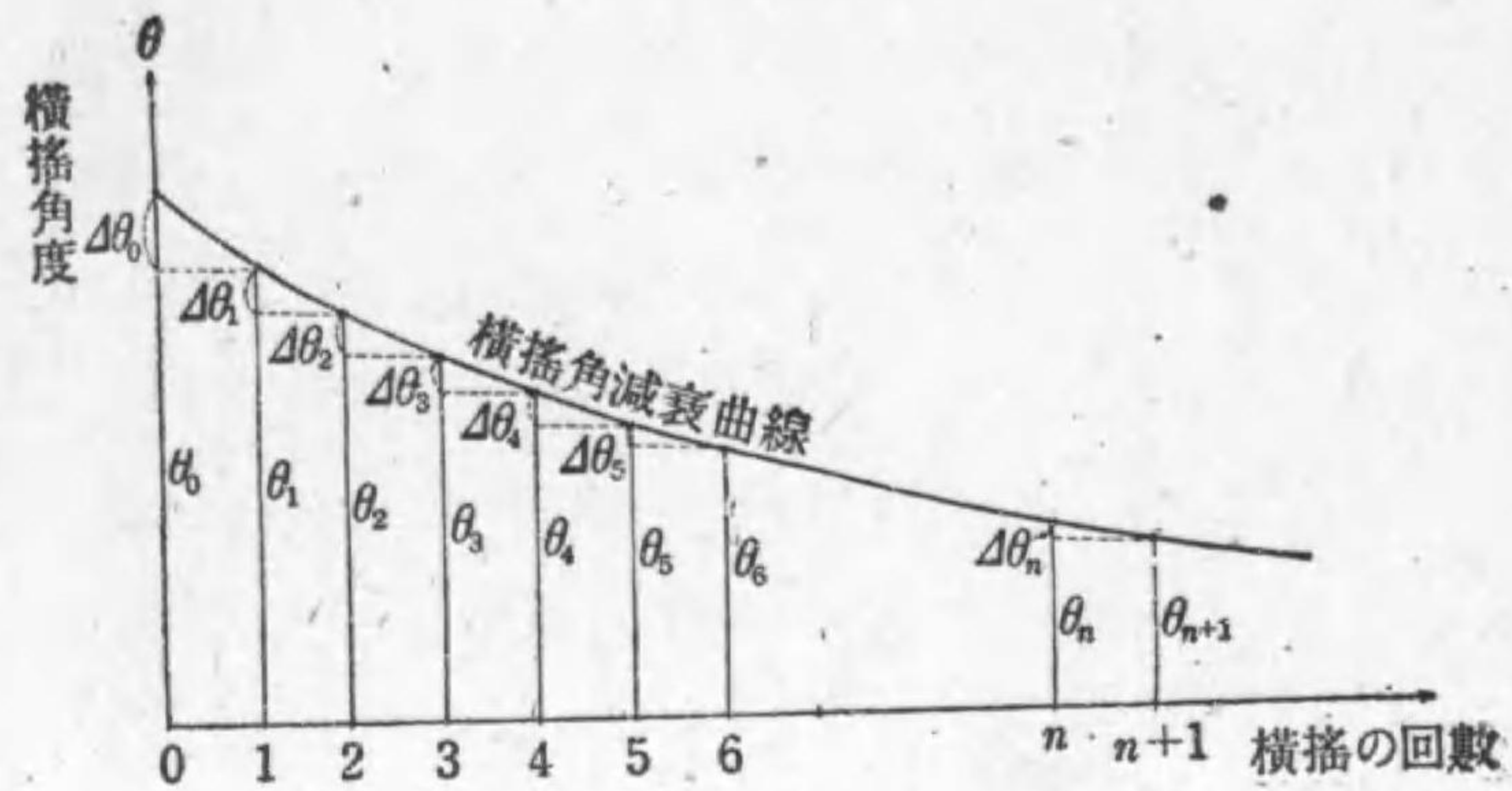
$$T = \frac{192}{\theta} \cdot \frac{k}{\sqrt{BM}} \dots\dots\dots(6 \cdot 5)$$

θ : 横揺角度($^\circ$) k : 環動半徑(m) \overline{BM} : 傾心半徑(m)

横揺角度が約 10° 以上になれば一般に等時横揺をしなくなる。即ち周期は一定でなく横揺角に關係する。

第 6・2 圖の横揺角度を y 座標に、片舷から他舷までの横揺の回数を x 座標にとり、第 6・3 圖のやうにその各頂點を通る滑かな曲線をひけば、横揺角減衰曲線が得られる。

この曲線から毎回の横揺角減少量 $\Delta\theta_0 = \theta_0 - \theta_1$, $\Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta_2$, $\Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_3$を求めて第 6・4 圖のやうに y 座標とし、それぞれの平均横揺角度 $\frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$, $\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$に相當する x 座標



第 6・3 圖 横揺角減衰曲線

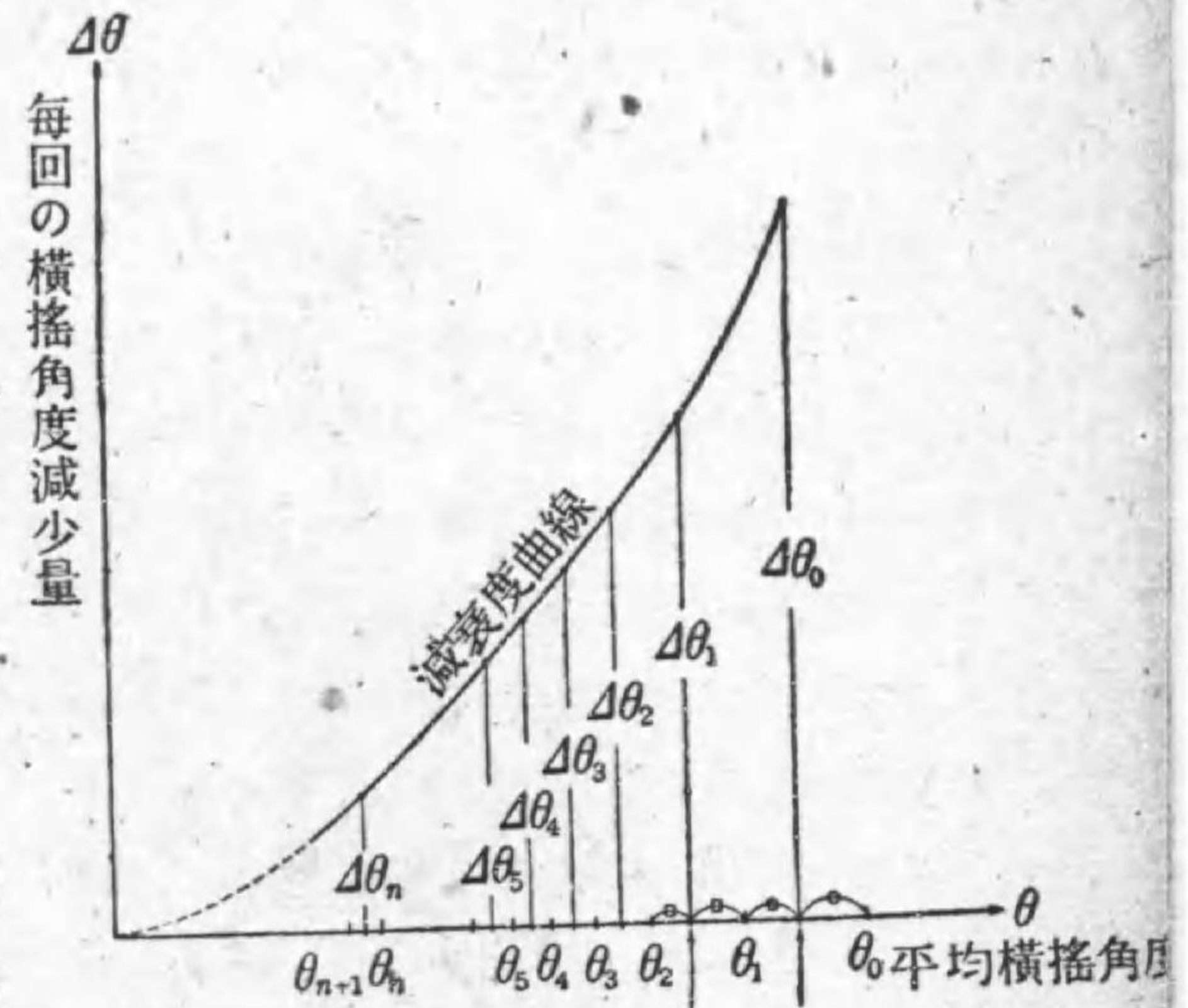
の位置にたてて各頂點を通る滑かな曲線をひけば減衰度曲線が得られる。

實船の横揺實驗の減衰度曲線をつつて式で表せば

$$\Delta\theta = a\theta + b\theta^2 \dots\dots\dots(6 \cdot 6)$$

になる。これを減衰度方程式といひ、

右邊の θ は平均横揺角を表す。式中 a と b は各船によつて違ふ係数である。船で實驗した結果は $\Delta\theta$, θ を度数で表して $a=0.065$, $b=0.0170$ であつた。この船の彎曲部龍骨をとつ



第 6・4 圖 減衰度曲線平均

て実験した結果は $a=0.012$, $b=0.0025$ になつた。

静水中で船を横揺するには、船の等時横揺と同一周期で乗組員を片舷から他舷へ横方向に走らせ、これを續ければ横揺角を大きくすることができる。所要の横揺角に達したならば、乗組員を中心線で停止させ、横揺角と時間との観測をする。

船の縦揺の周期は、縦揺角が小さい範囲では縦揺角に関係なく一定である。縦揺の周期 T_L (s) は次の式で計算する。

$$T_L = 2.01 \frac{k_L}{\sqrt{GM_L}} \dots\dots\dots (6 \cdot 7)$$

\overline{GM}_L : 縦傾心高(m) k_L : 縦環動半徑(m)

縦揺の周期は横揺の周期の約 1/2~1/3 である。

(問題)

- (1)排水量 3,5000 噸 の船の静水中に於ける横揺の周期が 18.60s で、この場合の傾心高を 1.72m とすれば、環動半徑は何mか。船の幅を 30m とすれば環動半徑は幅 B の何程になるか。
- (2)この船の横揺軸に對する回轉慣性量は何程か。
- (3)或る船の横揺実験の横揺角は 15.0° , 13.5° , 12.2° ,であつた。この減衰度曲線が(6.6)式で表されるとして、その減衰度方程式を二つたててみよ。
- (4)上の問題の減衰度方程式を解いて係數 a 及び b の値を求めよ。

3. 波浪中の動揺

深海の波は海水の移動でなく、各部分がそれぞれの一定點の周りに圓運動をするため波形が移動するのである。小さな木片を海面に浮かべると、海水の移動しないことがわかる。

波の移動速度 v_1 (m/s) は波長を L_1 (m) として

$$v_1 = \sqrt{\frac{gL_1}{2\pi}} \dots\dots\dots (6 \cdot 8)$$

$$= 1.25\sqrt{L_1}$$

である。波の移動速度を V_1 (ノット)で表せば上の式は

$$V_1 = 2.43\sqrt{L_1} \dots\dots\dots (6 \cdot 9)$$

のやうになる。ここで1ノットとは次のやうな速さをいふ。

$$1 \text{ ノット} = 1852 \text{ m/h} \dots\dots\dots (6 \cdot 10)$$

$$= 0.514 \text{ m/s}$$

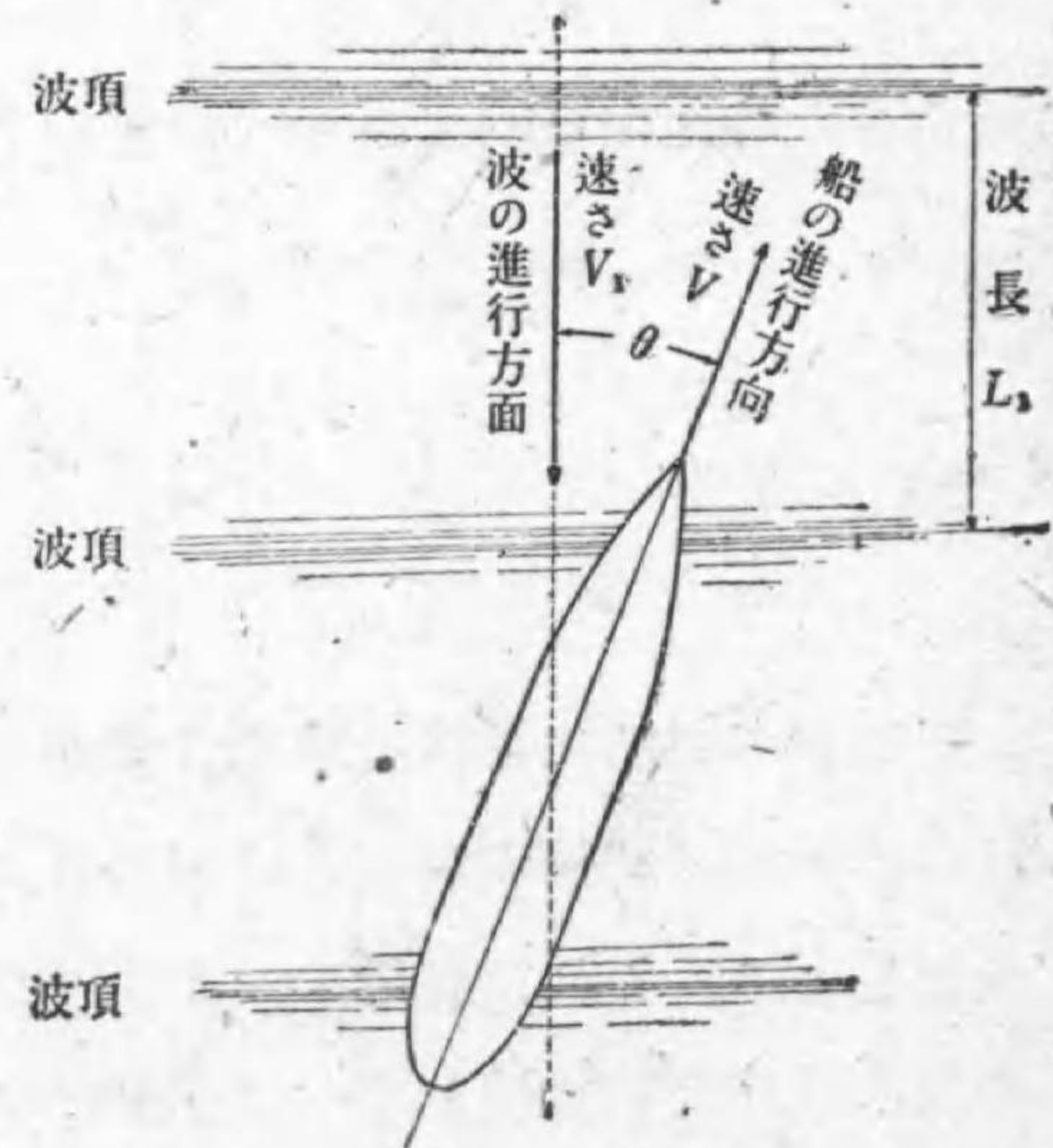
波が1波長を進行する時間を波の周期 T_1 (s) といふ。

$$T_1 = \frac{L_1}{v_1} = \frac{L_1}{0.514 V_1} \dots\dots\dots (6 \cdot 11)$$

$$T_1 = 0.80\sqrt{L_1} \dots\dots\dots (6 \cdot 12)$$

船が波の進行方向へ直角に浮かんでゐるとすれば、船は波と等しい周期で横傾斜の作用を受けて横揺を生ずる。

波の周期が船の静水中に於ける横揺の周期にごく近いか、又は等しい場合は船の横揺角は非常に大きくなり、波が高いときは船は横揺のために顛覆する。この



第6.5圖 波の見掛の周期

やうに波と船の周期が一致した場合を同調又は同期といふ。

船が第 6・5 圖のやうに、波の進行方向と逆に速さ V (ノット) で進む場合、船と波との進行方向のつくる角を θ とすれば、波の速さを V_1 (ノット) としたとき、波は船に對して $V_1 + V \cdot \cos \theta$ の速さで進んでくる。これを波の見掛の速さといふ。隣り合ふ波頂に出あふまでの時間を見掛の周期といふ。

見掛の速さを V' (ノット)、見掛の周期を T' とすれば

$$V' = V_1 + V \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots(6.13)$$

$$T' = \frac{L'}{0.514 V'} \quad \dots\dots\dots(6.14)$$

になるが、波の実際の周期 T_1 は(6.11)式のやうに、

$$T_1 = \frac{L_a}{0.514 V_1} \quad \dots\dots\dots(6.15)$$

である。故に(6.14)式と(6.15)式から次の式が得られる。

$$T' = T_1 \cdot \frac{V_1}{V'}$$

即ち
$$T = \frac{T'}{1 + \frac{V}{V_1} \cdot \cos \theta} \quad \dots\dots\dots(6.16)$$

船は波のために見掛の周期で動搖の作用を受けるから、これが横搖又は縦搖の周期と同調すると、はげしい横搖又は縦搖を生ずる。これを避けるには(6.16)式でわかるやうに、船の速さ又は進行方向を變へて見掛の周期を同調から遠ざければよい。

(問題)

(1)第 6・5 圖で波の進行方向が逆になり、船と波とが同方向へ θ の角度で進行してゐる場合の見掛の周期 T' を表す式をつくれ。

$$T' = \dots\dots\dots(6.17)$$

(2)或る船が波長 150m の波の進行方向と逆方向へ、且つ斜に θ の角度で速さ 17 ノットで航進した場合、その縦搖が同調を生じてはげしくなつた。船の縦搖の周期を 7s とすれば θ は何度か。

(3)上の船が波長 150m の波の進行方向と同方向へ、且つ斜めに θ の角度で速さ 19 ノットで進んだ場合、その横搖が同調を生じてはげしくなつた。船の横搖の周期を 14s とすれば θ は何度か。

薄い板を海面に浮かべると、板は波の表面と同じ傾斜で動搖する。薄い板の動搖の周期は、波の周期に比べて非常に短い。これと同様に周期の非常に短い船は波面の傾斜と同様な動搖をするから、少しでも波が高いと乗心地がよくない。傾心高の大きな船は復原力が大きくて安全であるが、周期が短いからこのやうな缺點がある。

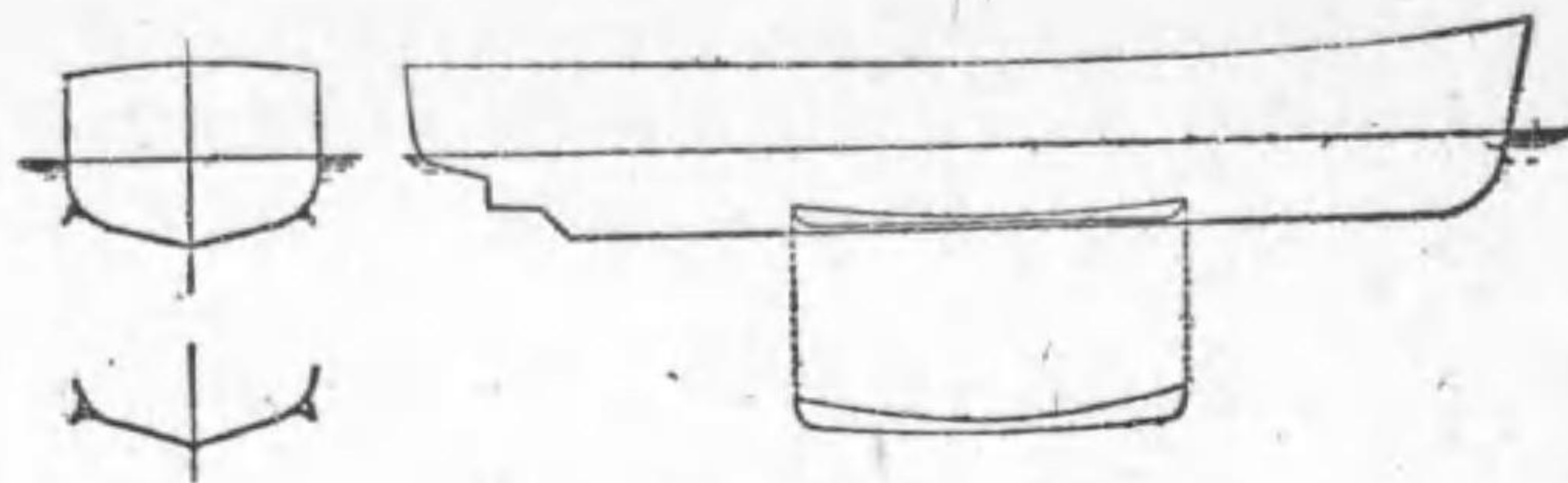
長くて軽い棒の一端に適當な錘をつけて海面に浮かべると、棒は直立して浮かび、波の表面の傾斜には殆ど無關係に目だつた動搖をしない。棒の動搖の周期は波の周期に比べて非常に長い。これと同様に周期の非常に長い船は、波面の傾斜には殆ど無關係であまり動搖しないから乗心地がよい。傾心高の小さな船は、周期が長くて波浪中でも乗心地がよいが、復原力が小さいから危険が多い。

このやうに船の傾心高の大小は、動搖と復原力とに對して

利害が相反する作用を及すから、傾心高はこの點を考慮して適當な値をきめなければならない。

4. 動搖の輕減

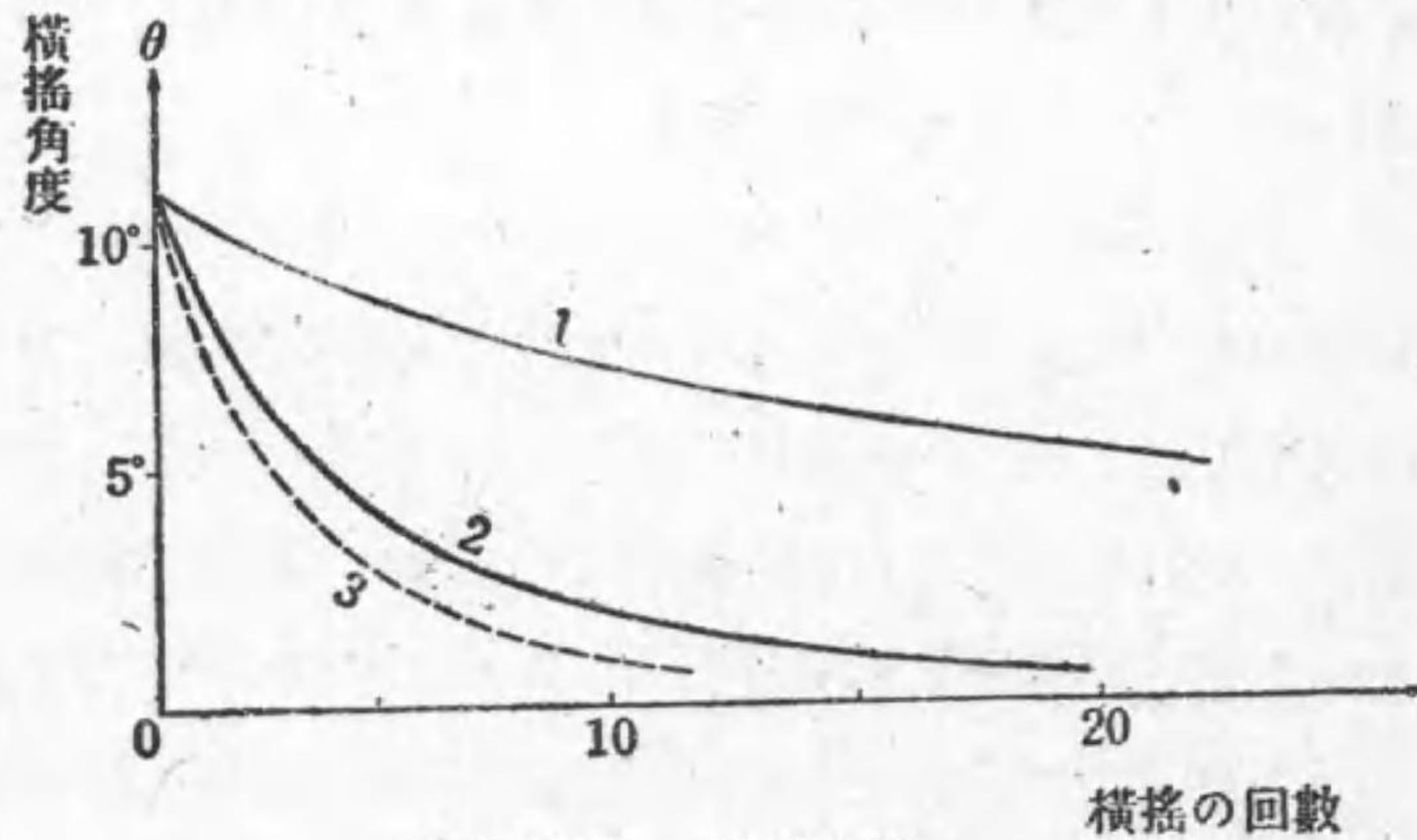
3. で學んだやうに、船は動搖にばかり都合のよいやうに設計されないから、種々な動搖輕減法が考案されてゐる。そのうち最も簡單で有效なものは第 6・6 圖の彎曲部龍骨で、殆



第 6・6 圖 彎曲部龍骨

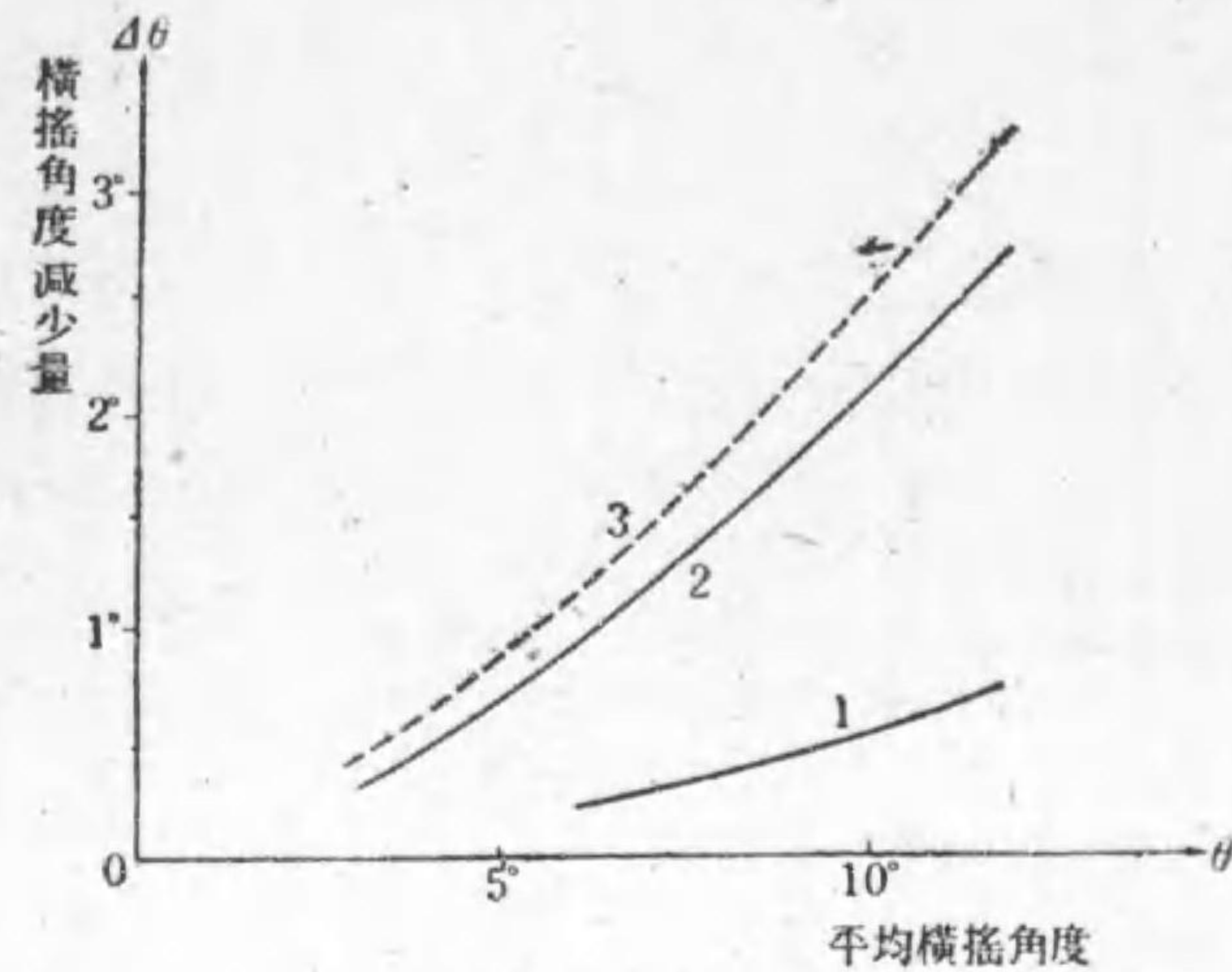
どすべての船につけてある。

船に彎曲部龍骨をつけた場合と、これを除いた場合との靜



第 6・7 圖 減衰曲線

- ① 彎曲部龍骨をとつた場合
- ② 彎曲部龍骨をつけた場合
- ③ 彎曲部龍骨をつけて前進中



第 6・8 圖 減衰度曲線

- ① 彎曲部龍骨をとつた場合
- ② 彎曲部龍骨をつけた場合
- ③ 彎曲部龍骨をつけて前進中

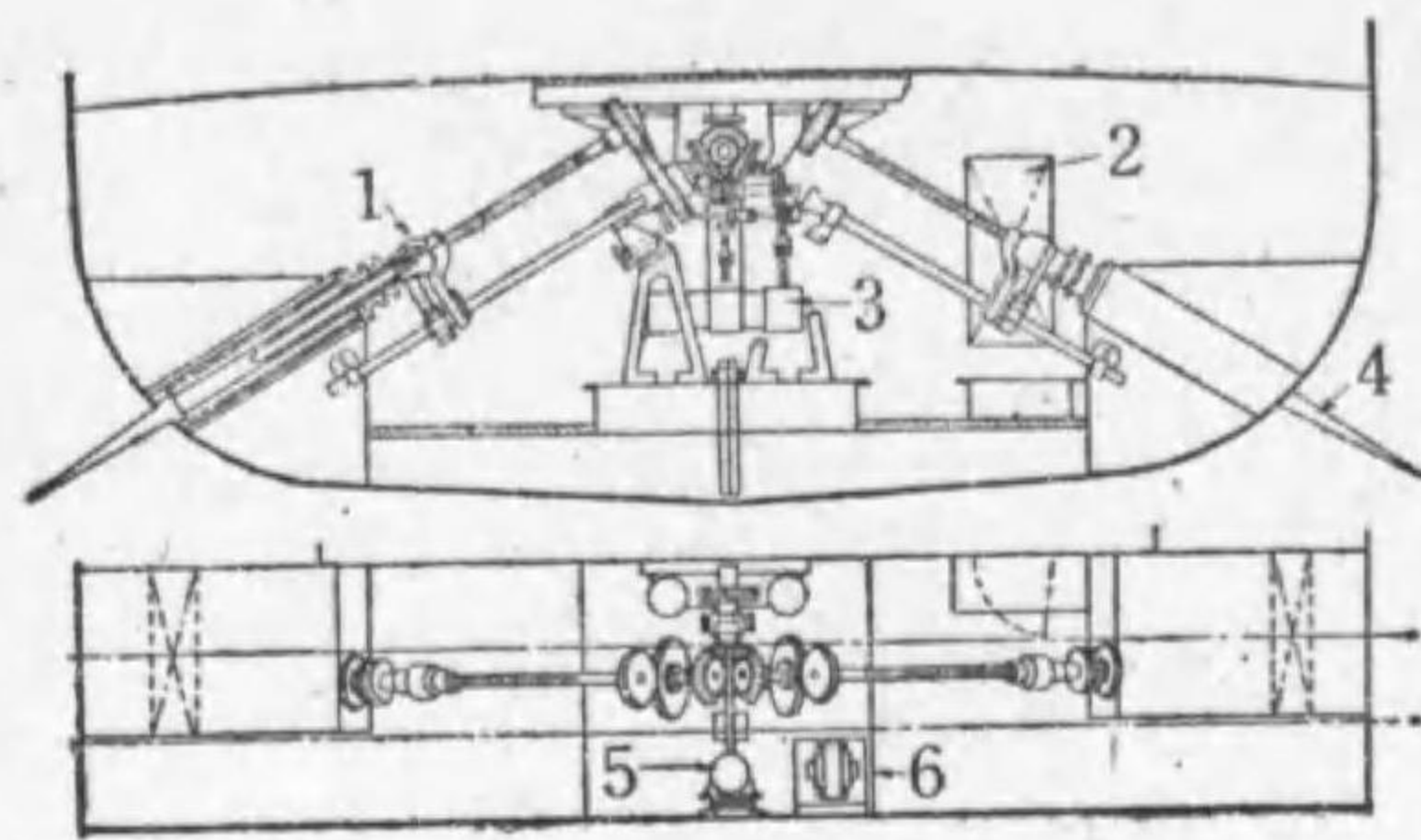
水中の横搖實驗からみれば、その減衰曲線は第 6・7 圖のやうになり、減衰度曲線は第 6・8 圖のやうになる。

この兩圖でわかるやうに、彎曲部龍骨をつけると横搖を早くなくすることができる。彎曲部龍骨の面積を大きくするほどこの作用は大きい、その長さや幅とが或る程度以上の大きさになると、他に差支へが生じてくる。

○彎曲部龍骨を大きくすれば、どんな點に差支へを生ずるか考へてみよ。

第 6・7 圖と第 6・8 圖の點線で示すやうに、彎曲部龍骨はその船が靜止してゐる場合よりも大きな速さで前進するほど横搖を早く減衰させる。

船が前進してゐる場合は、彎曲部龍骨の代りに第 6・9 圖



第 6・9 圖 鰭型安定機

- ①鰭引込装置 ②出入口 ③操縦機關
- ④鰭 ⑤管制装置 ⑥轉輪儀

のやうに鰭の角度を變へ、水流による揚力を利用して横搖と反對方向の作用を加へれば、横搖が輕減できる。

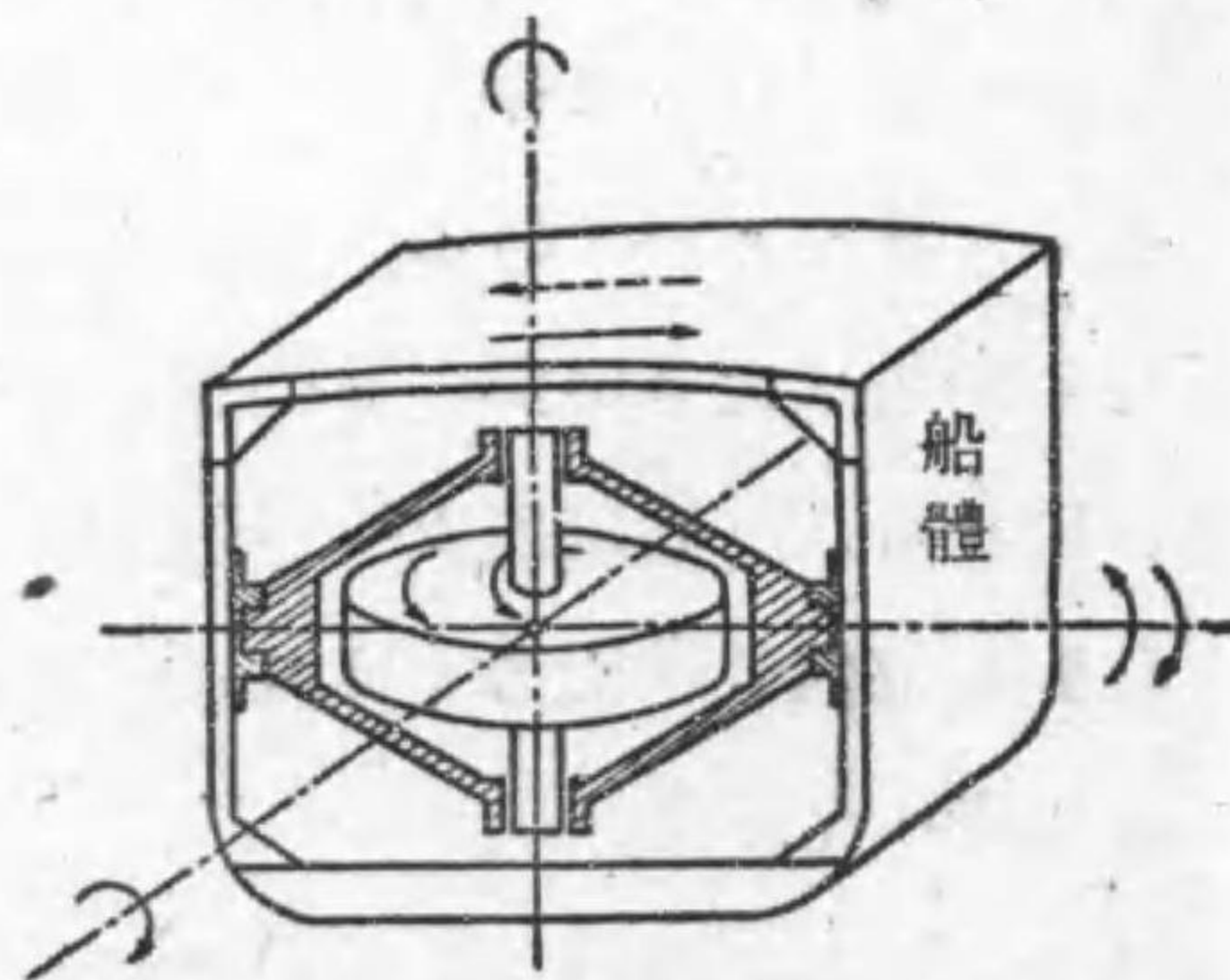
この装置は元良

式安定機ともいふ。

鰭の操作は、小さな轉輪儀によつて自動的に操縦機關を働かせて行なふ。鰭は、不要の際は船體の内部にひき入れられる。

轉輪儀はコマと同様に回轉軸を傾けようとすれば大きい力で抵抗するから、大きな轉輪儀を船に取り付けて動搖を輕減することができる。

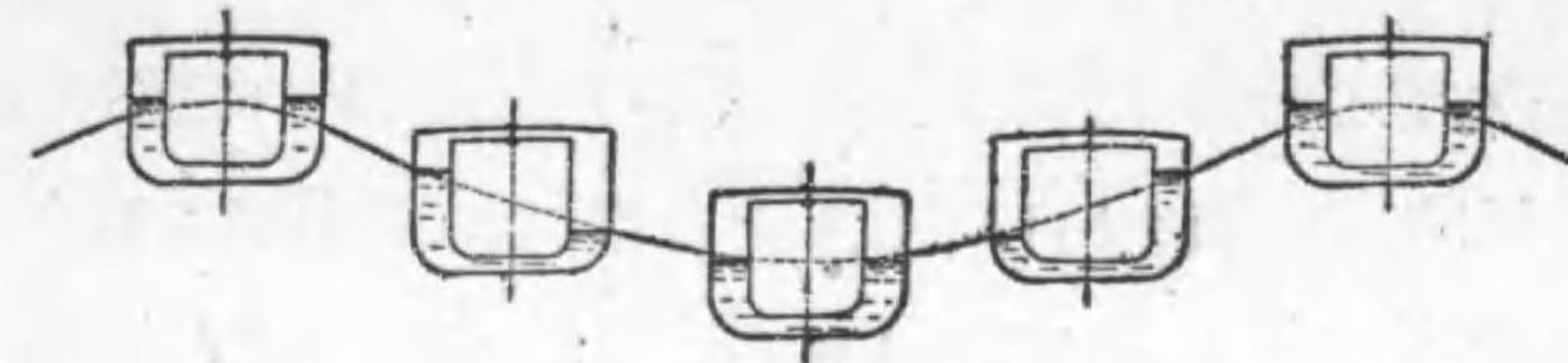
轉輪の回轉數は毎分約 1000 回で、重さは排水量の約 0.8%，安定機の全重量は排水量の約 1.7% で相當有效である。



第 6・10 圖 轉輪安定機

しかし鰭型及び轉輪安定機は、貴重な船内の場所をとり、重量を増し、作動の動力を要するほか、燃料を消費する缺點がある。

船内の重量を横方向に左右舷へ移動できるやうに装置し、常に横搖を直立へ戻すやうにその重量を移動させても、横搖を輕減することができるが、實際は行なはれてゐない。



第 6・11 圖 安定水槽

又水槽内の水を左右舷へ移動できる装置にすれば横搖を輕減できる。これを安定水槽といふ。

水の移動や周期の調節は上方の空氣通路の弁の開閉で行なふが、不規則な波の場合はこの調節が困難であるからまだ廣く實用されてゐない。

○横搖の輕減法のうちで、何がどういふわけで最も廣く行なはれてゐるか。

○横搖の主な輕減法と、その長所と短所とを調べてみよ。

第 7. 進 水

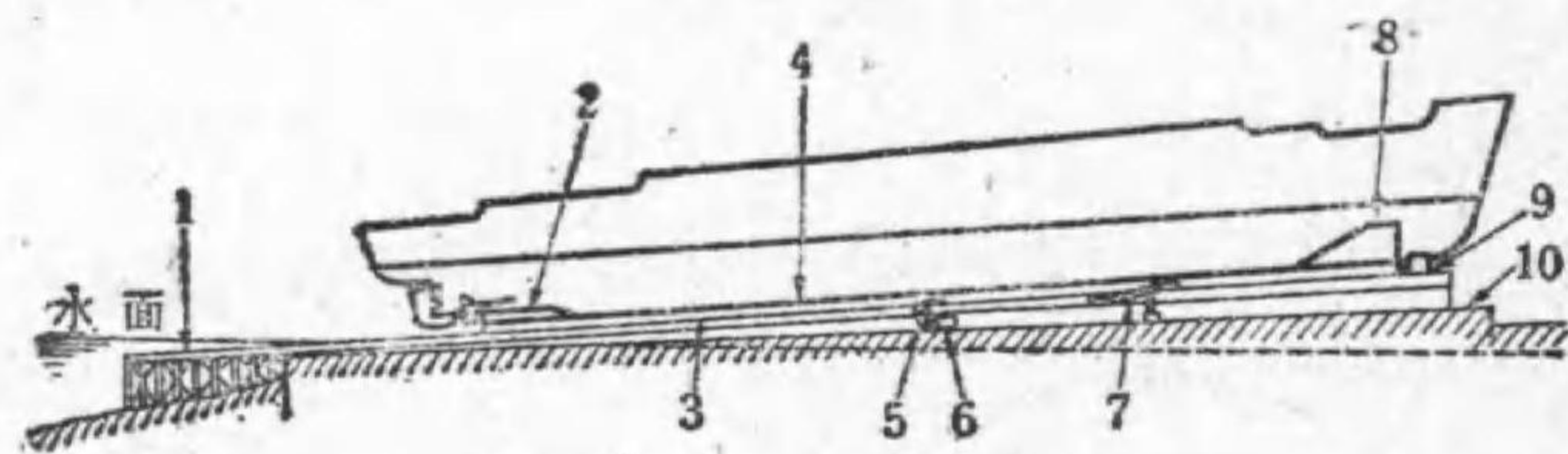
1. 進 水

造船臺の上で船殼工事が大體終ると、船を水上に浮かべて儀装を始める。船を造船臺から水に浮かべることを進水とい

ひ、この際行なふ儀式を進水式といふ。進水には、岸と平行して船をつくつて横方向へ進水させる横進水と、岸と直角につくつて縦方向へ進水させる縦進水とがある。造船臺の前の水面が狭い場合、又は船の長さに比べてその深さがごく小さい河船や湖水船などは、横進水を行なふこともあるが殆ど縦進水である。

造船船渠の設備のある所では船渠内で行なふ、船渠に水を入れて浮かべ、引き出して進水を行なふ。普通は造船臺の上で船をつくり縦進水を行なふから、この場合の進水に就いて學ぶことにしよう。

船の進水工事が完成すれば大體第 7・1 圖のやうになる。



第 7・1 圖 進水前の船

- ①水中進水臺 ②船尾抱臺 ③固定臺 ④進水架 ⑤トリガー
- ⑥水壓器 ⑦行止支柱 ⑧船首抱臺 ⑨水壓器 ⑩造船臺

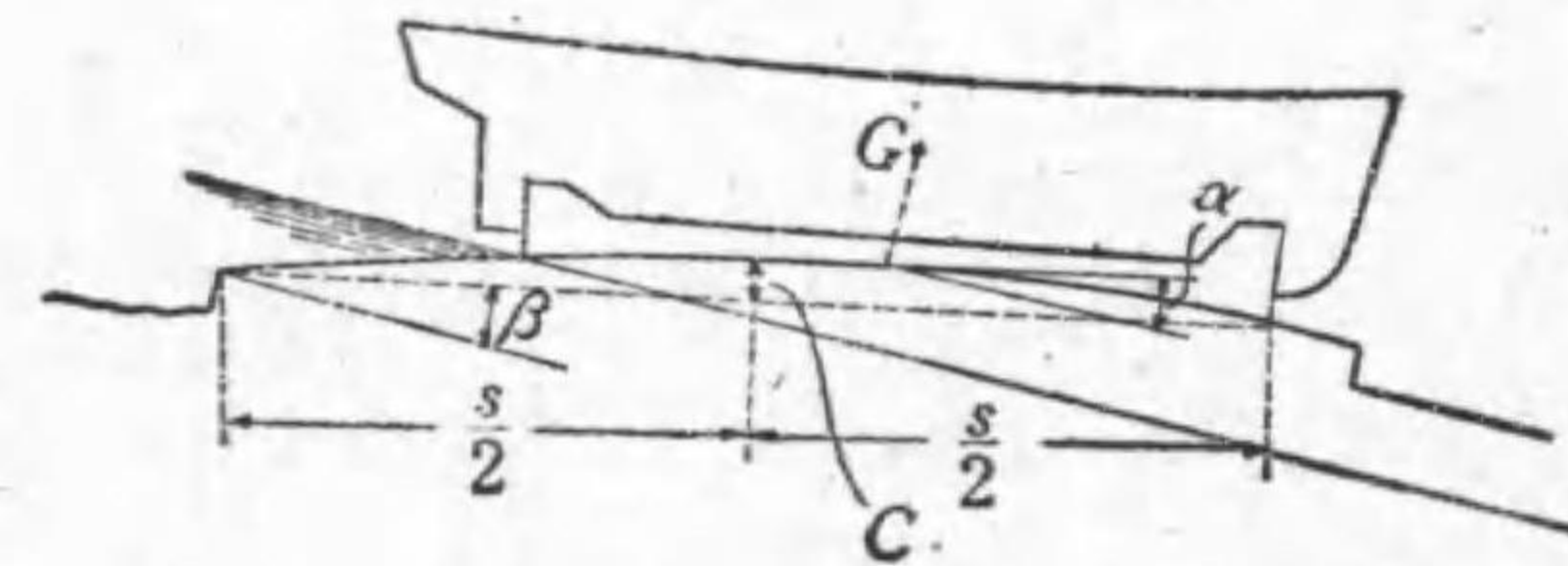
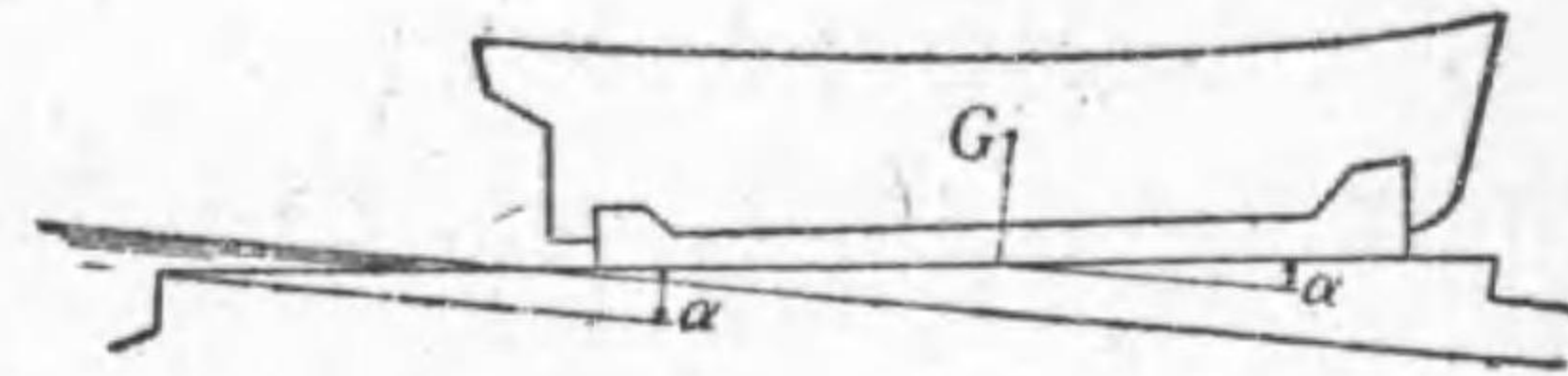
固定臺は木製の丈夫な滑り臺で、上面に温めた獸脂を流して固め、表面に軟石鹼を塗つて進水架のスベリをよくする。船は進水架の上に乗る、船首部と船尾部は船首抱臺と船尾抱臺とで支へられてゐる。固定臺と進水架とを一しよにして進水臺といふ。船體の重量は船が完成した場合の輕吃水状態の重量の 70~75% ぐらゐで、進水重量はこれに進水架の重量を

加へたものである。進水架の接觸壓力は大體次の値になるやうに接觸面積をきめる。

平均接觸壓力	船の大きさ
$p=10\sim15\text{ t/m}^2$	$L=50\text{ m}$
$p=15\sim20\text{ ''}$	$L=100\text{ ''}$
$p=20\sim25\text{ ''}$	$L=150\text{ ''}$
$p=25\sim30\text{ ''}$	$L=200\text{ '' 以上}$

これによつて固定臺の幅が決定する。固定臺は普通 2 本で、その間隔は船の幅の約 1/2

である。船體の重量が大きな場合は、4 本の固定臺を設けることがある。固定臺には第 7・2



第 7・2 圖

- ⑦直線固定臺 ⑧彎曲固定臺

圖⑦のやうに

直線狀の直線固定臺と、⑧のやうに圓弧狀の彎曲固定臺とがある。彎曲固定臺の中央の弧の高さを反り又は梁矢といふ。反りは固定臺の長さの 1/500~1/700 ぐらゐである。

2. 進水計算

船を安全に進水させるには、進水中の模様を前以つてくは

しく調べ、船がらくにすべり出して途中でとまらず、船體・進水架・固定臺などに少しの破損も生ぜず、且つ安定に浮かぶやうにしなければならない。これに必要な計算を進水計算といふ。

先づ船體の重量と重心位置の計算をする。これによつて進水した場合、安定に浮かぶかどうかはわかり、又進水臺の寸法をきめることもできる。

次に船の進水中の模様を調べるのであるが、これは次のやうに4期に分けて學ぶことにしよう。

第1期 船がすべり始めてから船體の一部が水面に達するまで

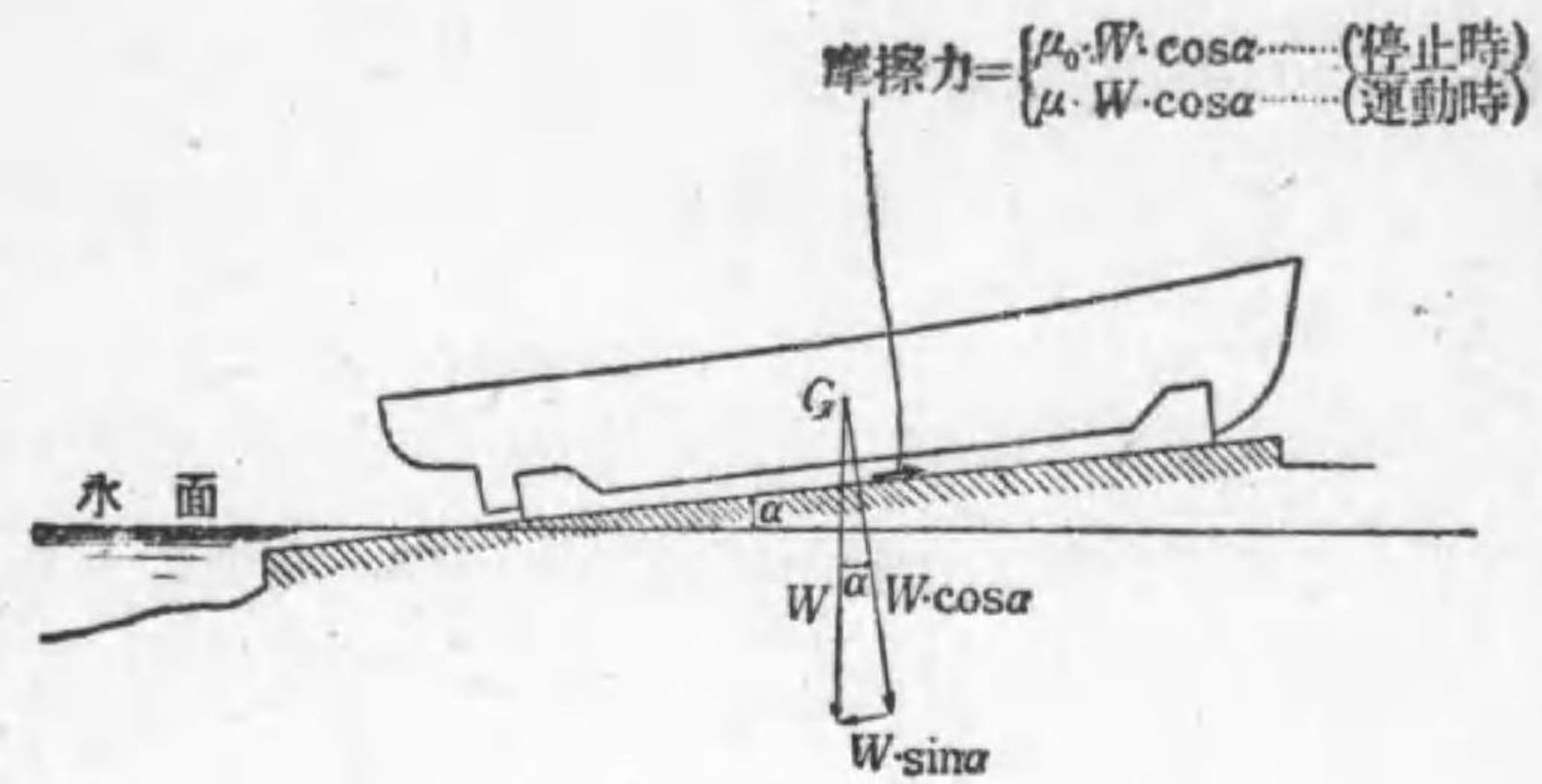
第2期 船體の一部が水にはいり始めてから船尾が浮揚し始めるまで

第3期 船尾が浮揚し始めてから船が自由に浮かぶまで

第4期 船が自由に浮かんでから全く停止するまで。

この結果から、進水中の固定臺上の壓力分布などがわかり、船體・進水架・固定臺などの適當な強さ並びに構造がきめられる。

(1)第1期 第7・3圖の船の進水重量を $W(t)$ 、船の重心の位置を G 、固定臺の傾斜角を α 、その静摩擦係数を μ_0 とする。重力の固定臺方向の分力は $W \cdot \sin \alpha$ で、この値が摩擦力 $\mu_0 W \cdot \cos \alpha$ よりも大きくなければ船はすべり出さない。 μ_0 は氣温などによつて變化し、高温のときは小さく低温のと



第7・3圖 進水の第1期

きは大きくなるが、大體 0.03~0.08 ぐらゐである。随つてすべり出すためには

$$W \cdot \sin \alpha > \mu_0 \cdot W \cdot \cos \alpha \quad \dots\dots\dots(7 \cdot 1)$$

になるやうに固定臺の傾斜角 α をきめなければならない。上の式を書き直せば

$$\tan \alpha > \mu_0 \quad \dots\dots\dots(7 \cdot 2)$$

になり、即ち固定臺の傾斜度 $\tan \alpha$ は μ_0 よりも大きくなければならない。固定臺の傾斜度は一般に次のやうである。

$$\left. \begin{array}{l} \text{固定臺の} \\ \text{傾斜度} \end{array} \right\} \tan \alpha = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{12} \sim \frac{1}{14} \text{ (小型船)} \\ \frac{1}{16} \sim \frac{1}{18} \text{ (中型船)} \\ \frac{1}{20} \sim \frac{1}{24} \text{ (大型船)} \end{array} \right\} \dots\dots(7 \cdot 3)$$

船の龍骨は船底工事の都合で造船臺と大體平行に据ゑ附けるから、一般に龍骨は固定臺よりもその傾斜が少い。彎曲固

定臺の場合は船の重心の真下の傾斜度を(7・3)式の値にとる。

○(7・3)式から、固定臺の傾斜角 α はそれぞれ何度ぐらゐになるか。

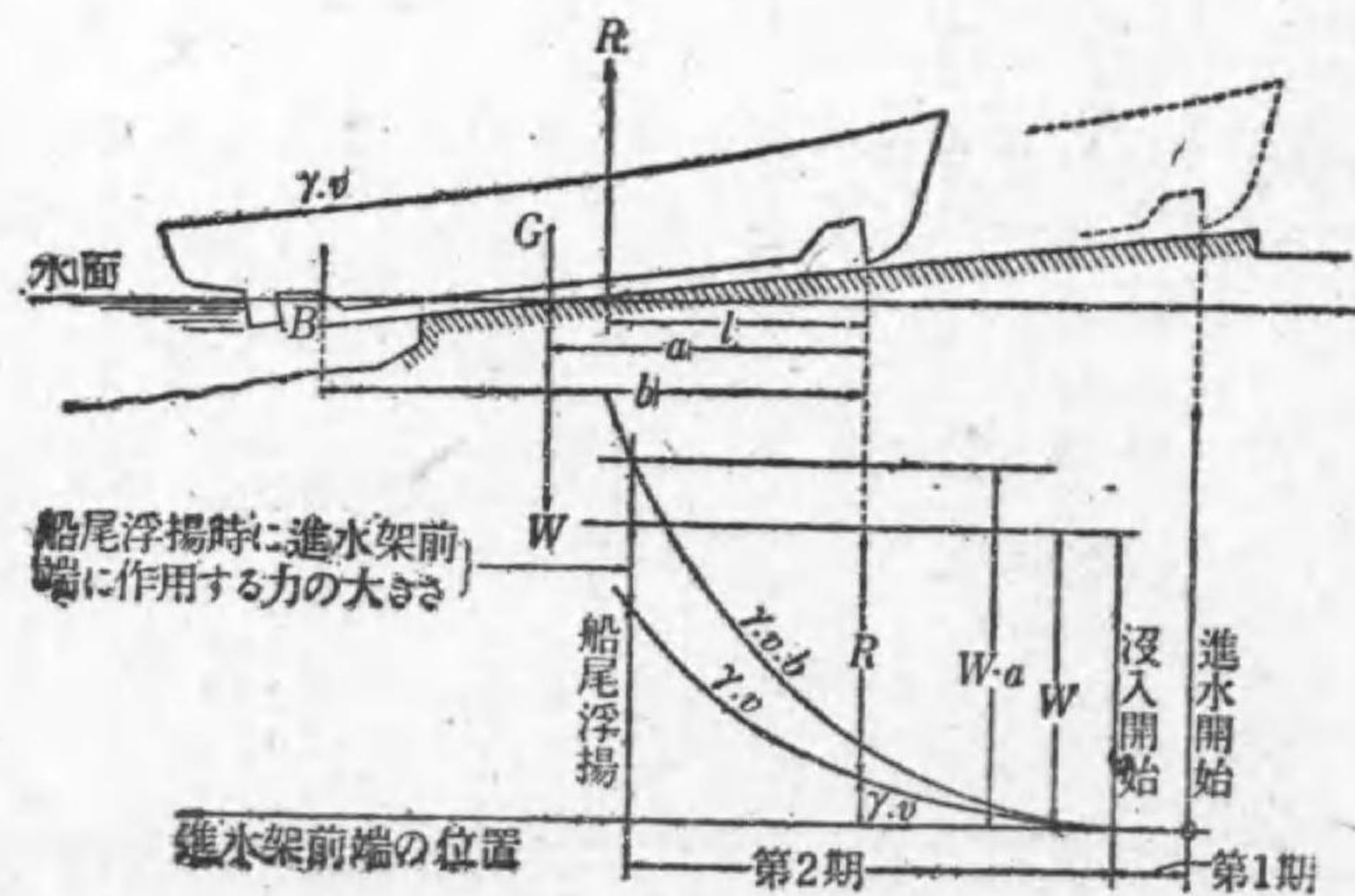
船がすべり出すと摩擦力は急に小さくなつて $\mu \cdot W \cdot \cos \alpha$ になる。この場合の μ を動摩擦係数といひ、高温のときは小さく低温のときは大きくなるが、大體次のやうである。

$$\text{動摩擦係数 } \mu = \begin{cases} 0.030 \sim 0.045 (p=10 \text{ t/m}^2 \text{ の場合}) \\ 0.020 \sim 0.035 (p=20 \text{ t/m}^2 \text{ "}) \\ 0.015 \sim 0.028 (p=30 \text{ t/m}^2 \text{ "}) \end{cases} \dots (7 \cdot 4)$$

(2)第2期 第7・4圖で船の排水體積を v 、その浮心を B とすれば、固定臺の反力 R と船首抱臺前端から R までの距離 l は、次の二つの關係式から計算することができる。

$$R = W - \gamma \cdot v \dots (7 \cdot 5)$$

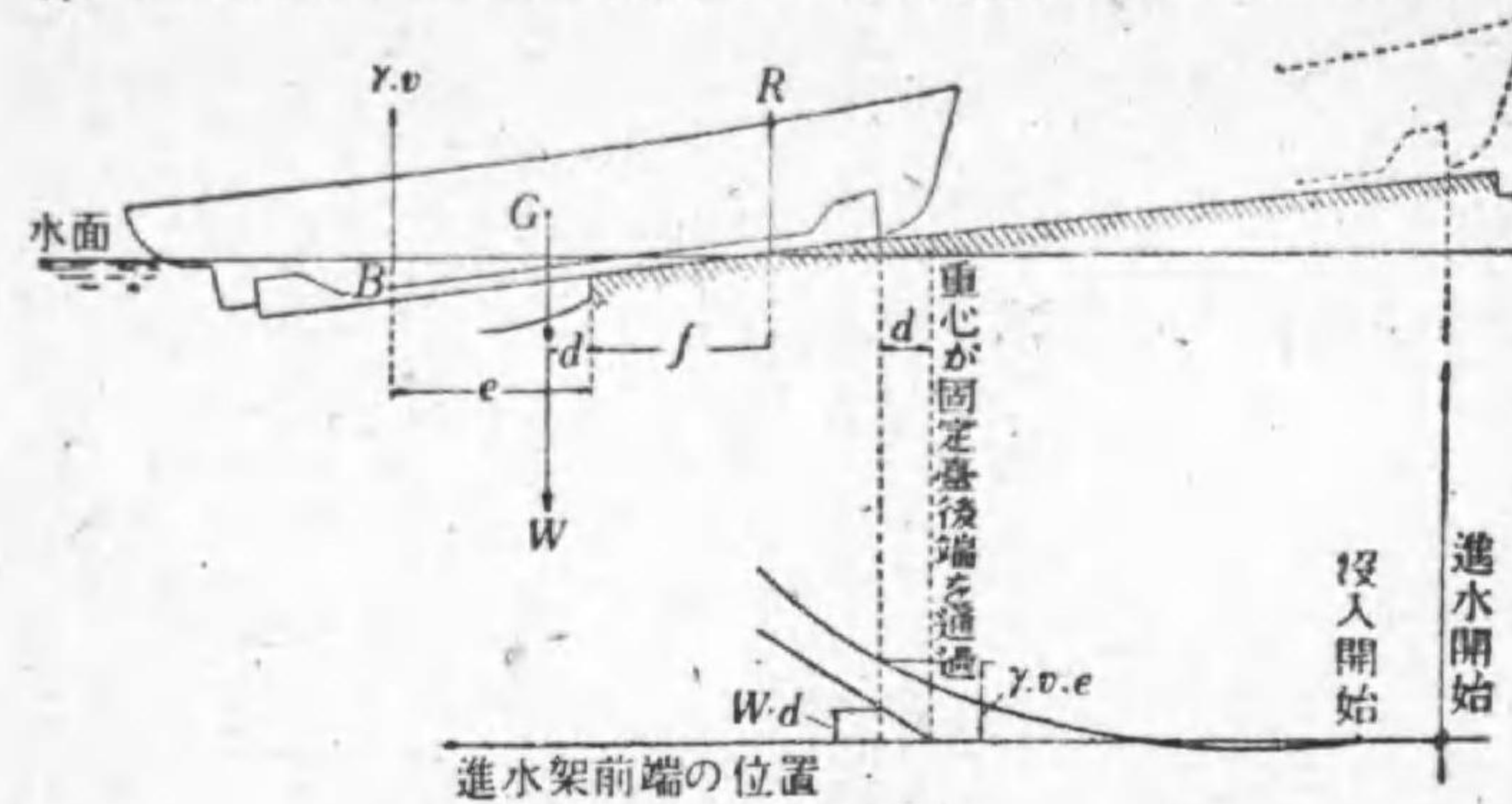
$$R \cdot l = W \cdot a - \gamma v \cdot b \dots (7 \cdot 6)$$



第7・4圖 進水の第2期

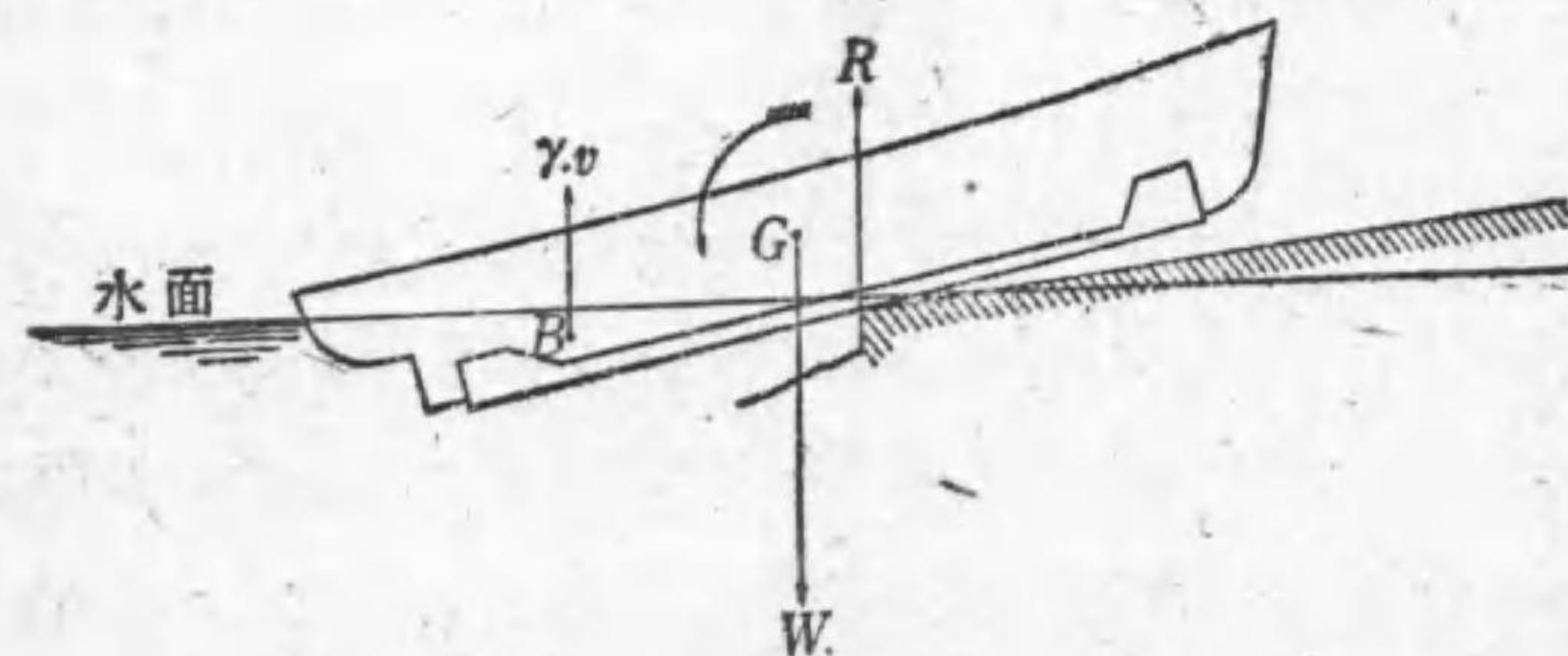
滑走距離を x 軸にとり、 $\gamma \cdot v$ と $\gamma \cdot v \cdot b$ の値の曲線を第7・4圖下のやうにつくれば、 $\gamma \cdot v \cdot b$ が $W \cdot a$ の値と等しくなる點で船尾浮揚が始る。この場合は(7・6)式により $l=0$ であるから、反力は前端に作用する。この場合の $\gamma \cdot v$ の値を W から引いたものが反力の大きさを表す。

第7・5圖のやうに水面下の固定臺が短かく、船尾浮揚ま



第7・5圖

でに重心が固定臺後端 A を通過するときは、 A 點に對するモーメントを考へて、 $\gamma \cdot v \cdot e < W \cdot d$ ならば第7・6圖のやうに船尾沈下を生じて船がとまつたり船底が破損したりする。



第7・6圖 船尾沈下

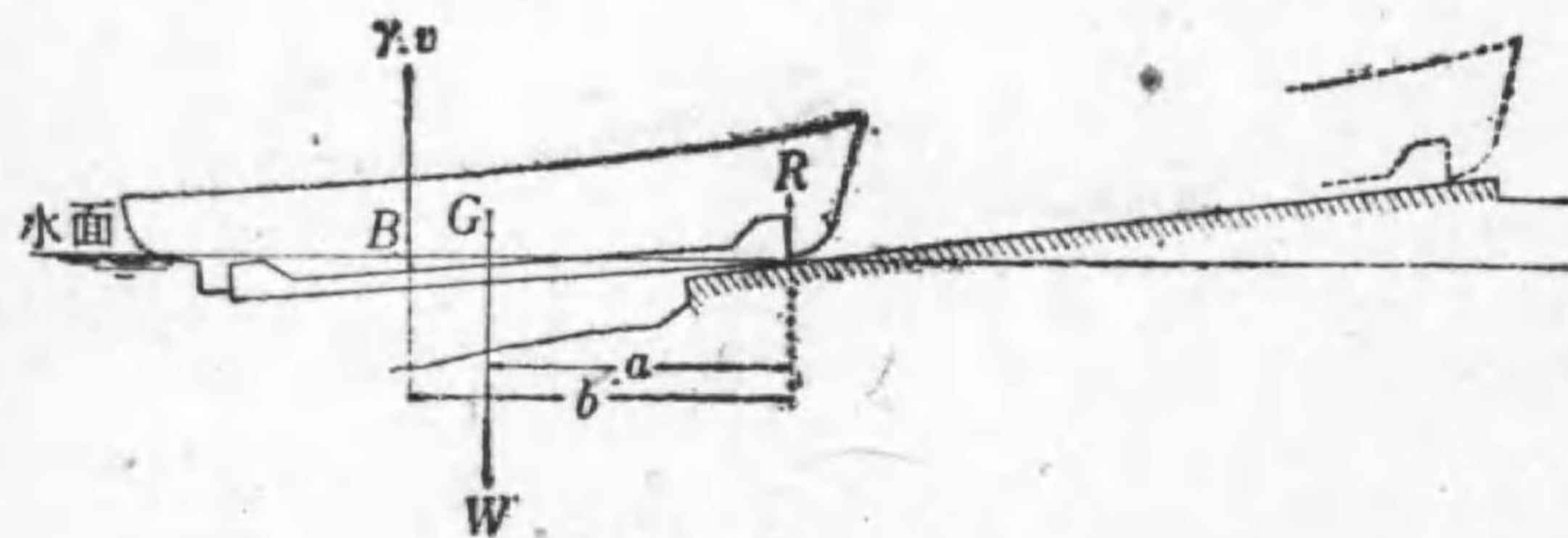
これを避けるには第 7・5 圖下のやうに $\gamma \cdot v \cdot e$ と $W \cdot d$ の曲線をつくり、 $\gamma \cdot v \cdot e$ の曲線が常に $W \cdot d$ の直線の上にあるやうにすればよい。船尾沈下を防ぐには次の方法がある。

- (ア) 水中進水臺を延長する ($W \cdot d$ の直線を左方にずらせる)。
- (イ) 満潮のときに進水を行なふ ($\gamma \cdot v \cdot e$ の曲線を右方にずらせる)。
- (ウ) 彎曲固定臺を用ひる ($\gamma \cdot v \cdot e$ の値を大きくさせる)。

(3) 第 3 期 船尾浮揚後は第 7・7 圖のやうに抗力 R は船首抱臺前端に来て、その値は(7・5)式で得られる。

船は進水するにつれ、常に

$$\gamma \cdot v \cdot b = W \cdot a \quad \dots\dots\dots(7 \cdot 7)$$



第 7・7 圖 進水の第 3 期

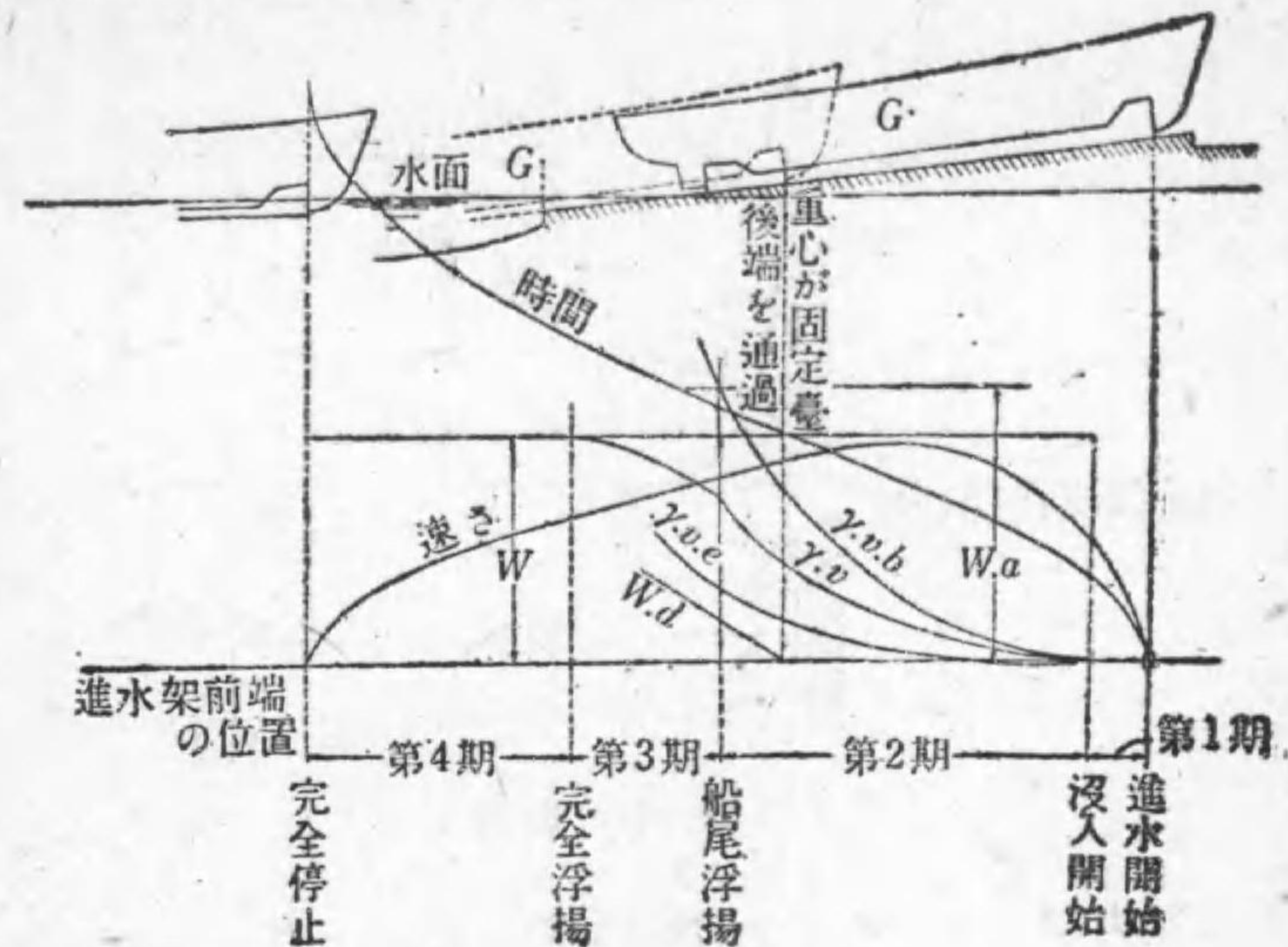
になるやうに順次トリムを減少してくる。 $\gamma \cdot v$ が次第に増大して、遂に W と等しくなれば $R=0$ になり船は自由に浮かぶ。それまでに進水架前端が固定臺後端を通過すると、船首部が沈下して海底に衝突するおそれがあるから注意を要する。

(4) 第 4 期 進水する水面が河川や入江などで場所が制限されてゐる場合は、船が對岸に衝突しないやうになるべく早く停止させなければならないから、制動鎖をひきずらせたり錨

を投げ込んで制動力を大きくする。

3. 進水曲線

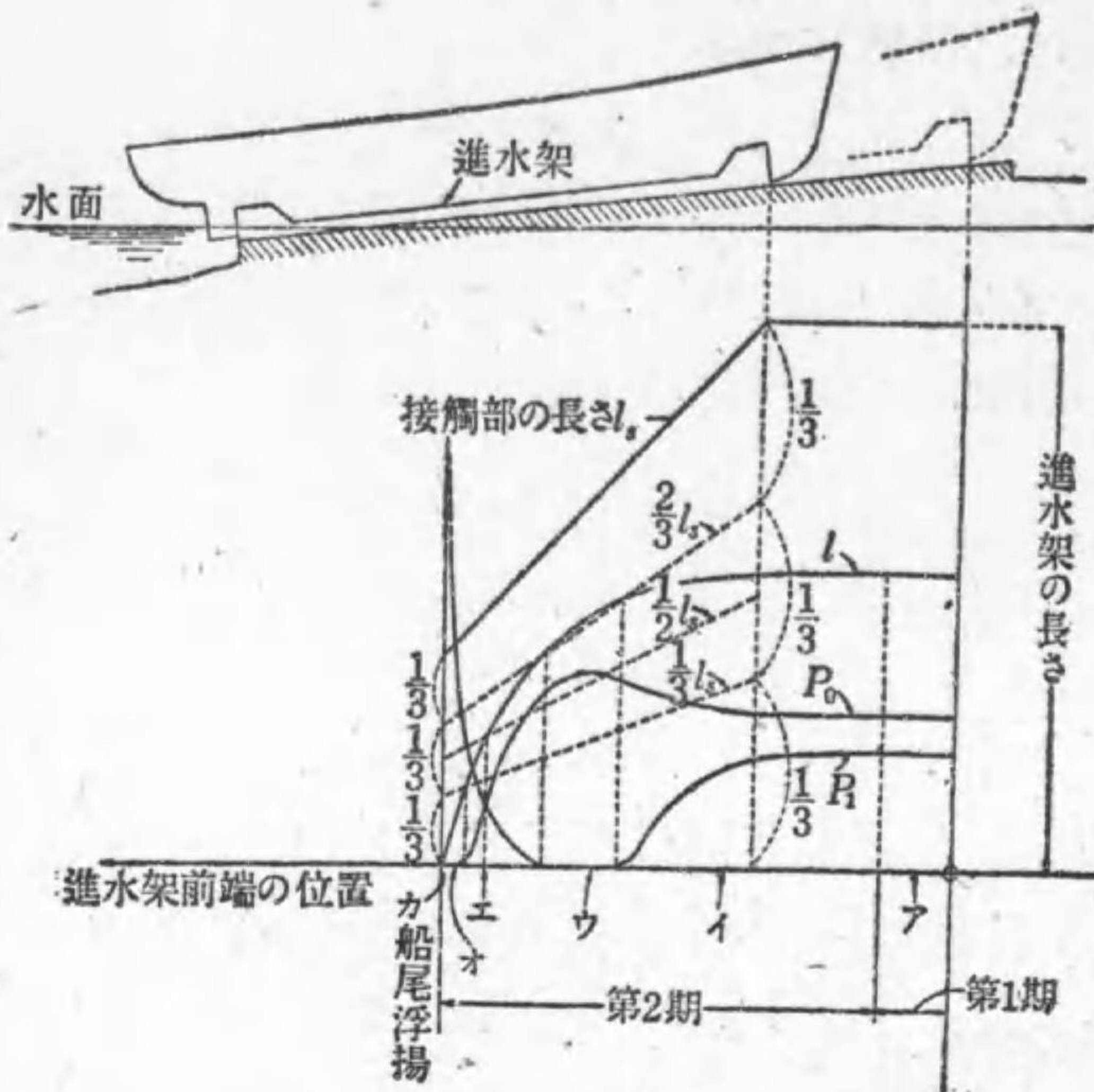
進水計算の結果を用ひて、進水中の各値の變化の模様を第 7・8 圖と第 7・9 圖のやうに曲線で表せば便利である。これらの諸曲線を進水曲線といふ。



第 7・8 圖 進水曲線 (1)

すべり出したときから各位置までの所要時間を實測し、完全停止までの時間曲線をえがくと速度曲線がわかる。速さは最大 10~15 ノットぐらゐになる。すべり出してから停止までの所要時間は 1~2 分である。

第 7・9 圖に於いて抗力 $R(t)$ 、進水架前端から R までの距離 l 、進水臺の接觸部の長さ l_1 の曲線をつくると、接觸壓力を第 7・10 圖のやうに直線的に分布してゐると考へて、



第7・9圖 進水曲線(2)

後端の壓力 P_0 (t/m²) 及び前端の壓力 P_1 (t/m²) の曲線が
くれる。

即ち第7・10圖⑦と⑧の場合は

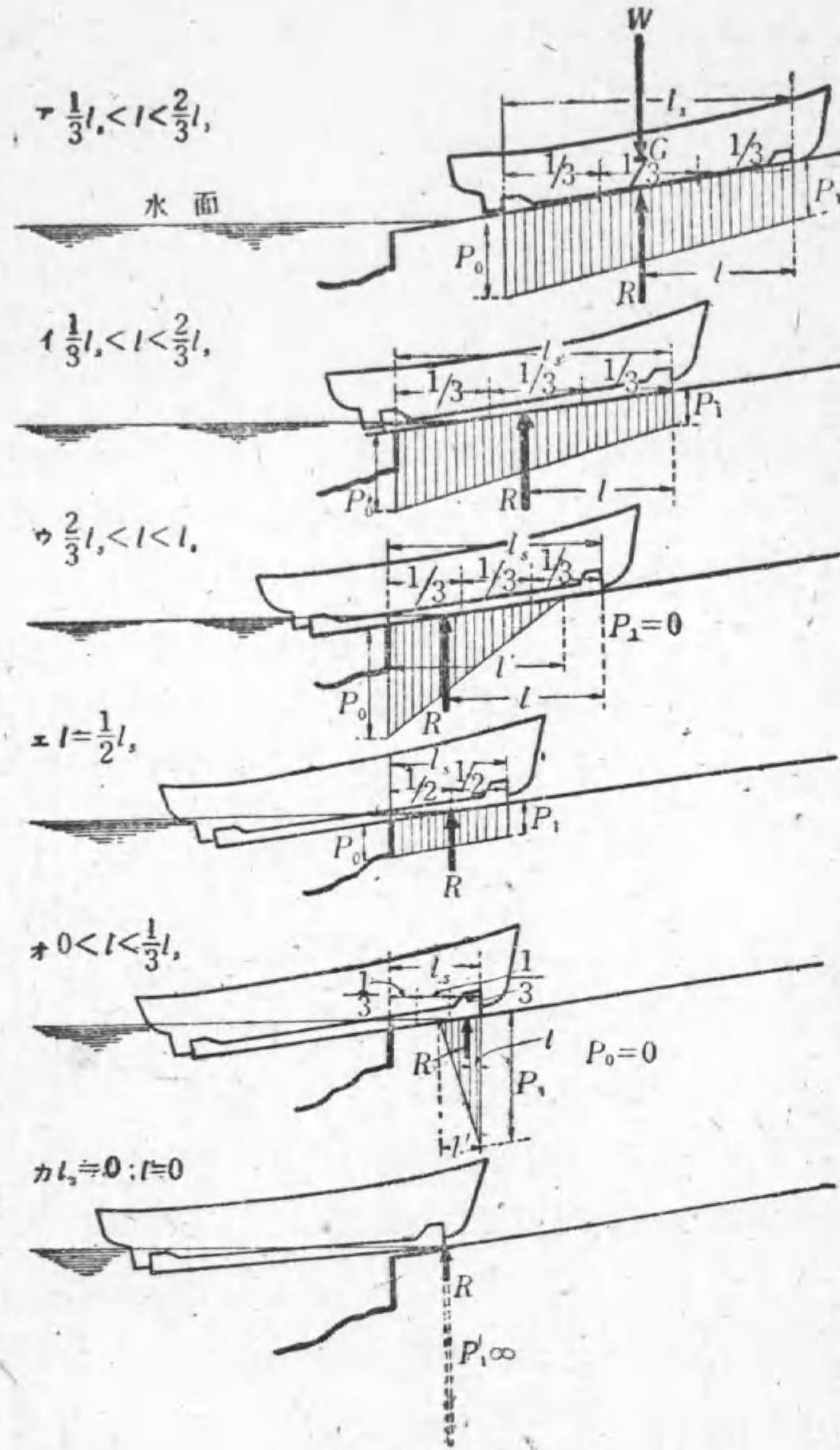
$$P_0 = \frac{2R}{l_s} \left(\frac{3l}{l_s} - 1 \right) \dots\dots\dots(7 \cdot 8)$$

$$P_1 = \frac{2R}{l_s} \left(2 - \frac{3l}{l_s} \right) \dots\dots\dots(7 \cdot 9)$$

になる。⑦の場合は l' を壓力の作用する部分の長さとして、

$$P_0 = \frac{2R}{3(l_s - l)} \dots\dots\dots(7 \cdot 10)$$

$$l' = 3(l_s - l) \dots\dots\dots(7 \cdot 11)$$



第7・10圖

㊦の場合は $l = \frac{1}{2}l_s$ で

$$P_0 = P_1 = \frac{R}{l_s} \dots\dots\dots(7.12)$$

㊧の場合は

$$P_1 = \frac{2R}{3l} \dots\dots\dots(7.13)$$

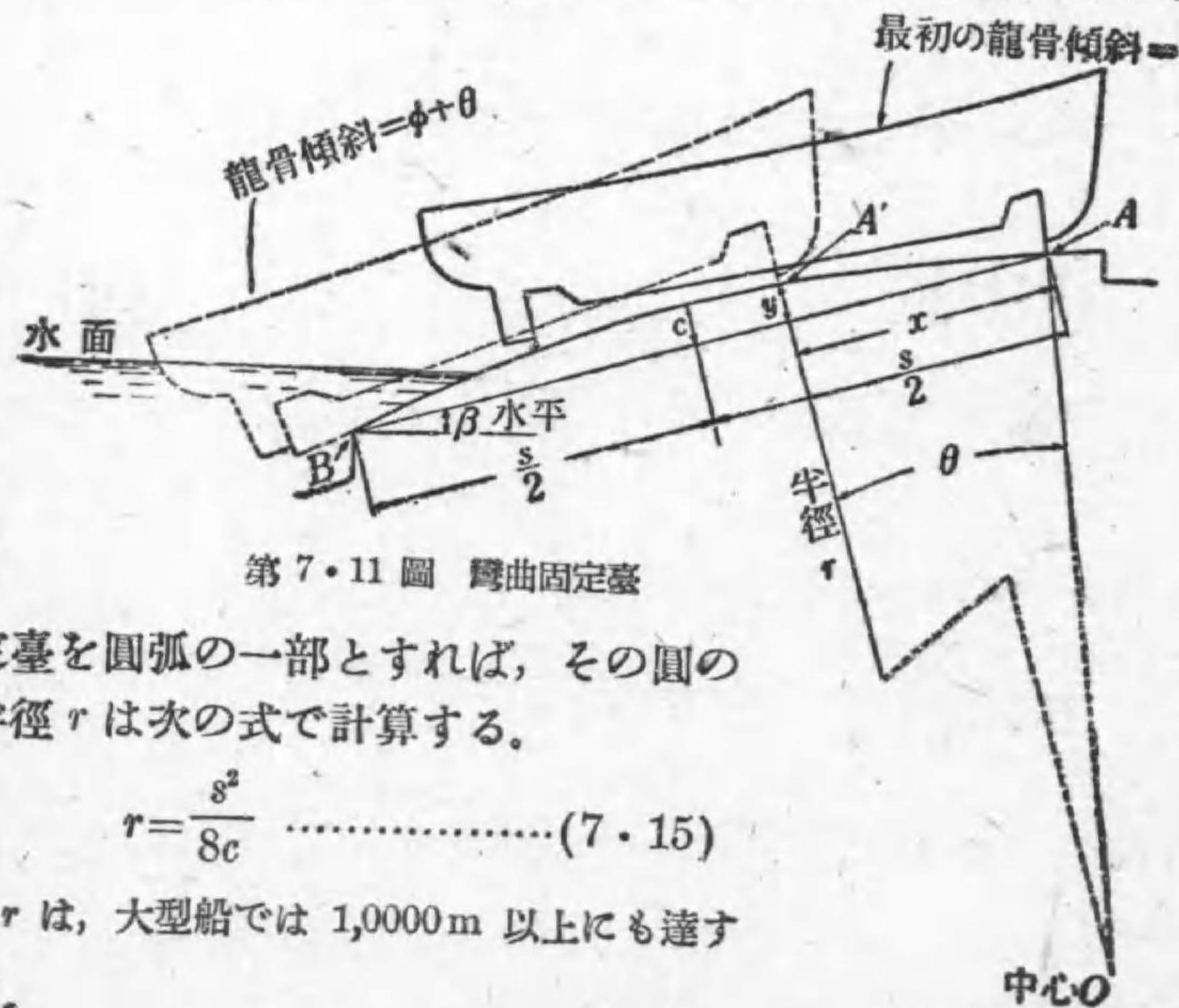
$$l' = 3l \dots\dots\dots(7.14)$$

になる。

㊨の場合は船尾浮揚のときで $l=0$ になり、 R は1点で支へられて圧力は無限大になるから、この場合もなるべく広い面積で支へて、圧力を少なくするやうに船首抱臺の構造を工夫してゐる。

4. 彎曲固定臺

第7.11圖で彎曲固定臺の長さを s 、中央の反りを c 、固



第7.11圖 彎曲固定臺

定臺を圓弧の一部とすれば、その圓の半径 r は次の式で計算する。

$$r = \frac{s^2}{8c} \dots\dots\dots(7.15)$$

r は、大型船では 1,0000m 以上にも達する。

又進水架前端 A が A' まで距離 x を滑走した際の弦 AB に對する高さ y は次の式で計算する。

$$y = \frac{x(s-x)}{2r} = \frac{4cx(s-x)}{s^2} \dots\dots\dots(7.16)$$

又 A から A' までの龍骨の傾斜増加 θ は、

$$\theta = \frac{x}{r} = \frac{8cx}{s^2} \dots\dots\dots(7.17)$$

であるから、最初 A 點で龍骨傾斜 ϕ であれば、 A' 點では $\phi + \theta$ になる。随つて任意の滑走距離 x に對して、(7.16)式と(7.17)式とから船の位置が求めることができる。彎曲固定臺では滑走するにつれて傾斜が増大し、後部の吃水も深くなるから船尾浮揚を早め、船尾沈下のおそれを少なくすることができる。

第8. 抵抗

1. 前進する船の抵抗

棒を水中に入れて動かさうとすると抵抗を感じる。速く動かさうとすればするほど大きな抵抗を受けるから、これに勝つためには大きな力を働かせなければならない。これと同様に船を前進させようとする場合にも抵抗を受ける。船を所定の速さで航進させるには、抵抗の大きさを前以つて知り、これに勝つに必要な馬力を出す機關と推進器とを取り付けなければならない。

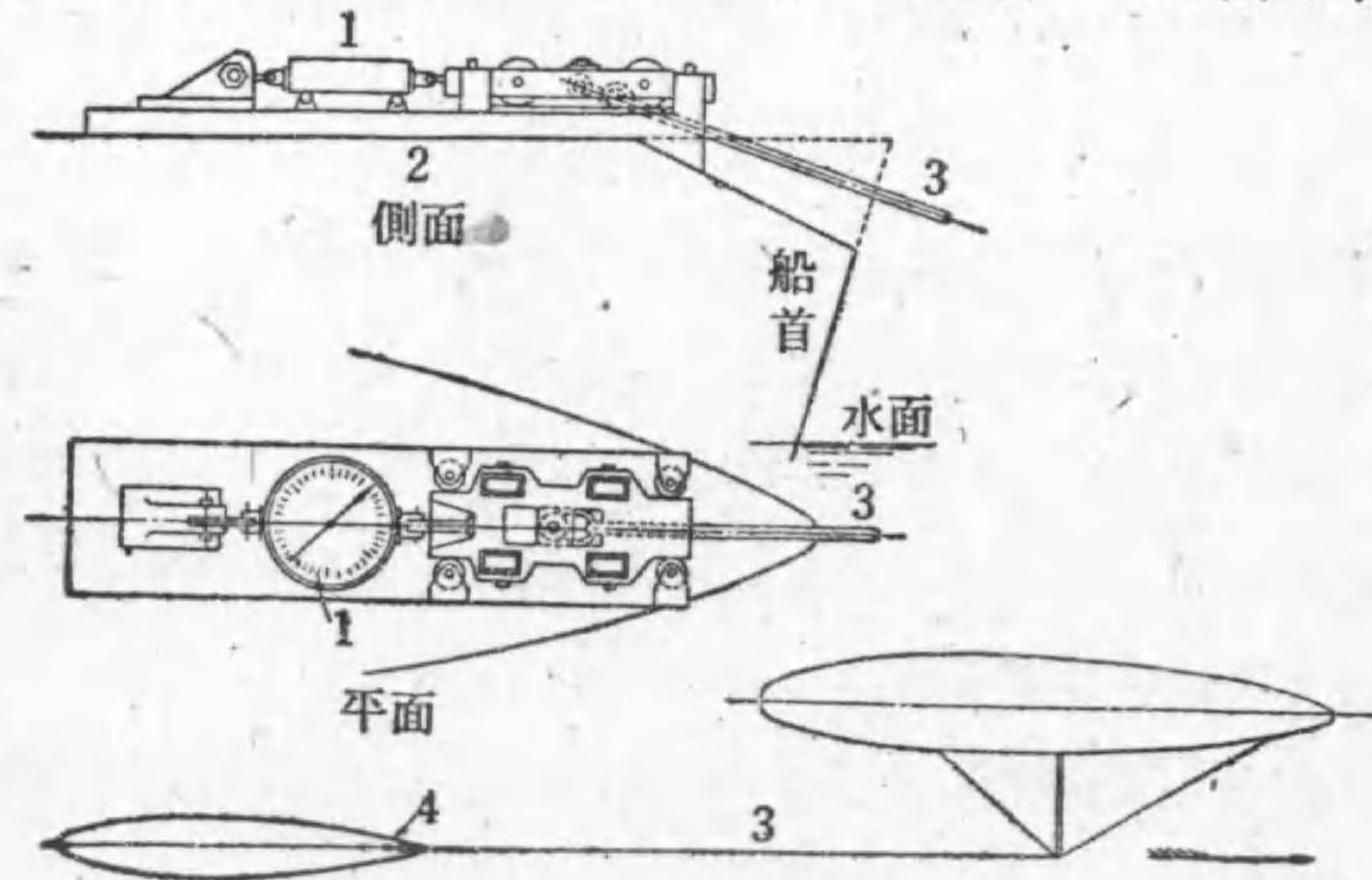
前進する船の受ける抵抗には水抵抗と空氣抵抗とがある。

空気抵抗は普通ごく少くて、殆ど大部分は水抵抗である。水抵抗は摩擦抵抗・造波抵抗・渦抵抗に分けて考へられる。このうち摩擦抵抗が大部分であるが、高速度になれば造波抵抗が急激に増して、摩擦抵抗と同じ割合か或はそれ以上にも達する。

最近船型をなるべく流線型としてゐるから渦抵抗は非常に小さくなった。随つて、ごく小さな渦抵抗と空気抵抗とを造波抵抗の中に入れて、船の抵抗は2種類と考へられる。即ち、摩擦抵抗と他を一まとめにした剰餘抵抗とである。一般に剰餘抵抗の大部分は、造波抵抗であると考へても差支へない。

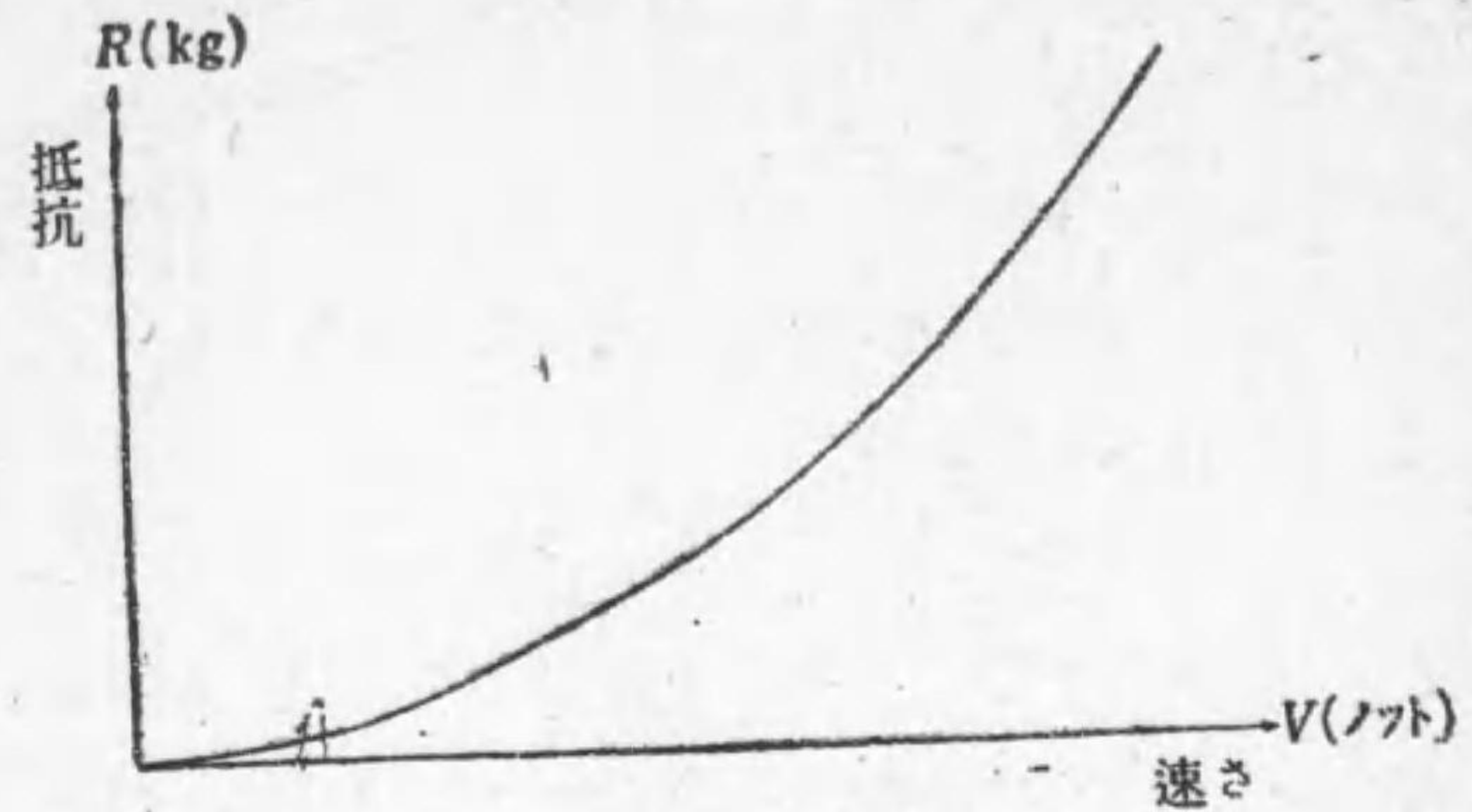
2. 曳航試験

船を前進させる場合の抵抗の大きさは、第8・1圖のやう



第8・1圖 曳航試験

①バネ秤 ②甲板 ③曳索 ④抵抗測定装置



第8・2圖 抵抗曲線

にその船を他船で曳航し、曳索の張力の水平分力を船首で測ればよい。これを曳航試験といふ。前方の船の推進器で亂れた水流を避けるには、張り出した棒の先に曳索をつけて曳航する。このやうにして、各速度 V (ノット) のときの抵抗 R (kg) を測れば、第8・2圖の抵抗曲線が出来る。

實船の曳航試験は大仕掛で費用も多くかかるし、船の大きさや曳航速度にも限度があるから、今までに世界でも數回しか行なはれてゐない。

3. 馬力

1秒間に $75 \text{ kg} \cdot \text{m}$ の仕事をする力を馬力といふ。即ち馬力は、單位時間でする仕事量の大きさを表す尺度である。

曳航試験で抵抗 R (kg) の船を V (ノット) で前進させるために、曳索を通じて船に傳達する馬力を曳索馬力といふ。これは抵抗に勝つて船を前進させるのに、全部が有効に消費される馬力であるから有効馬力ともいふ。

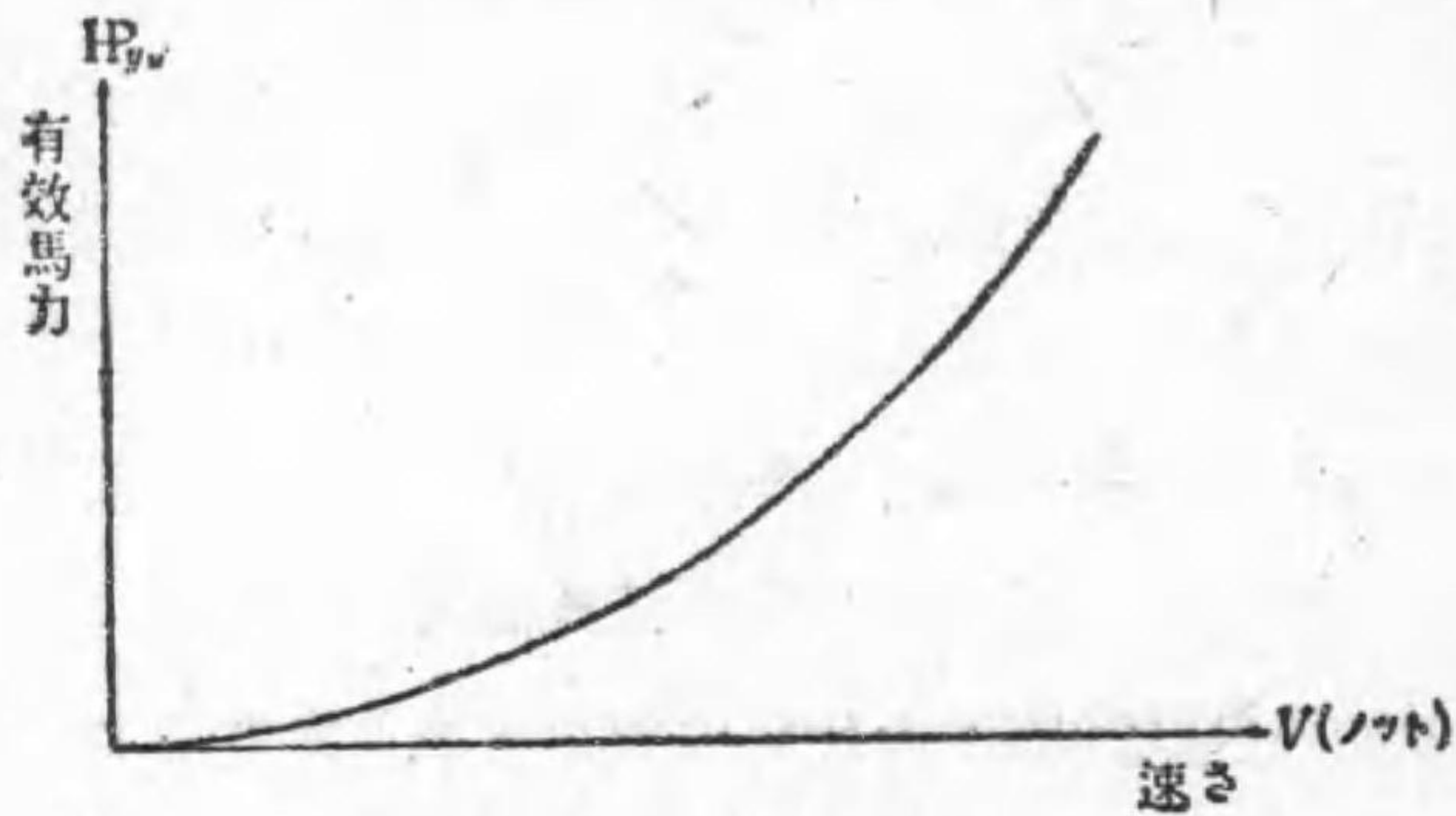
速さ V (ノット)は(6.10)式から v (m/s) に直すと

$$v = 0.514 V \dots\dots\dots(8.1)$$

であるから、有効馬力 HP_{yu} は次の式で計算する。

$$\begin{aligned}
 HP_{yu} &= \frac{R \cdot v}{75} \\
 &= \frac{0.514 R \cdot V}{75} = \frac{R \cdot V}{145.7}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots(8.2)$$

第 8.2 圖の抵抗曲線から第 8.3 圖の有効馬力曲線がえ

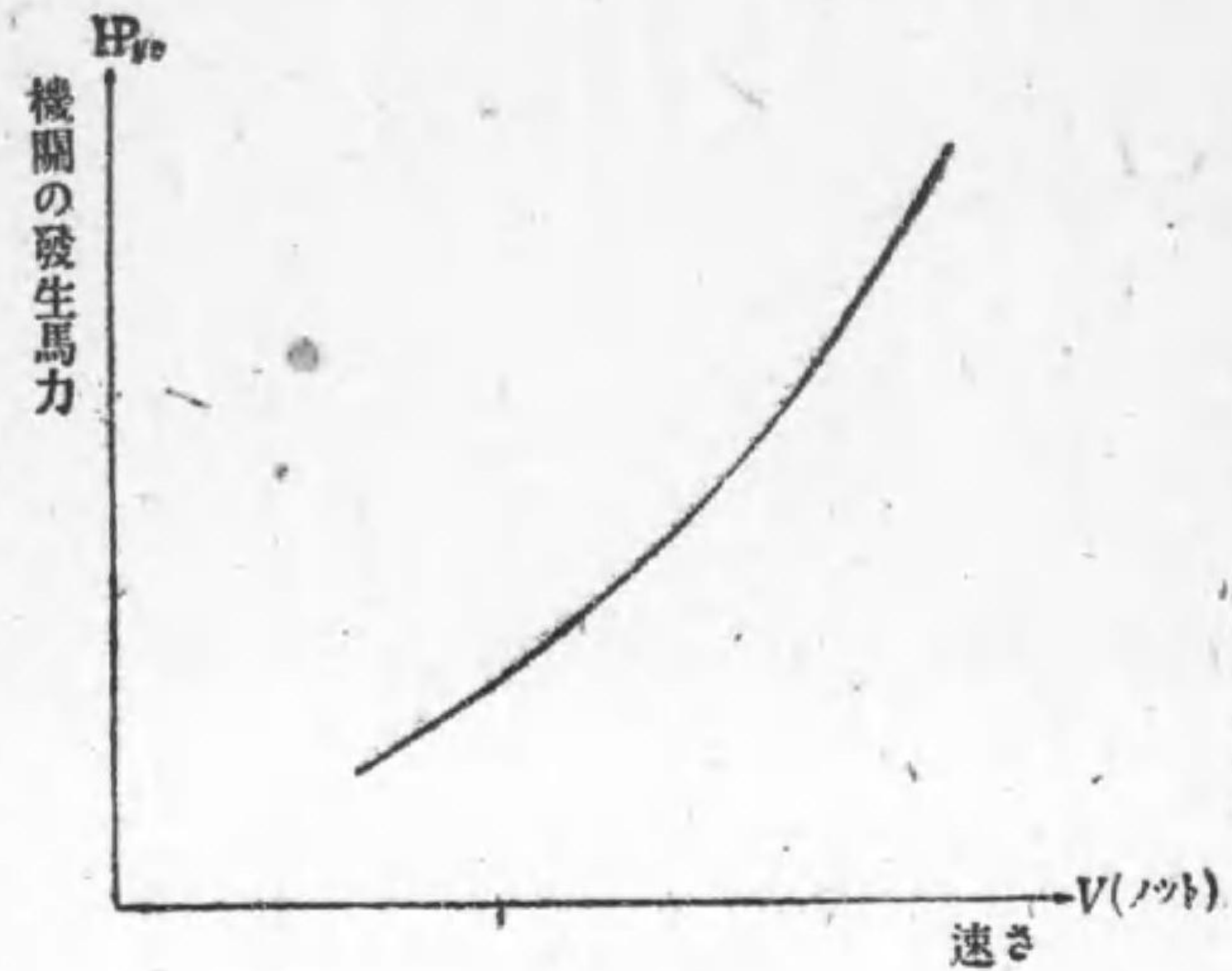


第 8.3 圖 有効馬力曲線

がかれる。

船を自身の機関で航走させて機関の生ずる馬力と、そのときの速さとの関係を求めることを速度試験又は試運転といふ。機関の生ずる馬力は、往復動蒸気機関の場合は指示馬力、タービンでは軸馬力、内燃機関では制動馬力で表す。

曳航した船をその機関で航走させて速度試験をした結果、第 8.4 圖のやうな曲線を得たとする。第 8.3 圖と第 8.4 圖との同じ速さのときの馬力を比べてみれば、機関の生ず



第 8.4 圖

る馬力は有効馬力の約 2 倍以上になつてゐる。随つて機関の發生馬力は、途中の機械的摩擦などで消費され、約半分が航走に有効に働いてゐるに過ぎないことがわかる。

推進効率 η_{su} とは次の比をいふ。

$$\eta_{su} = \frac{\text{有効馬力 } HP_{yu}}{\text{機関の發生馬力 } P} \dots\dots\dots(8.3)$$

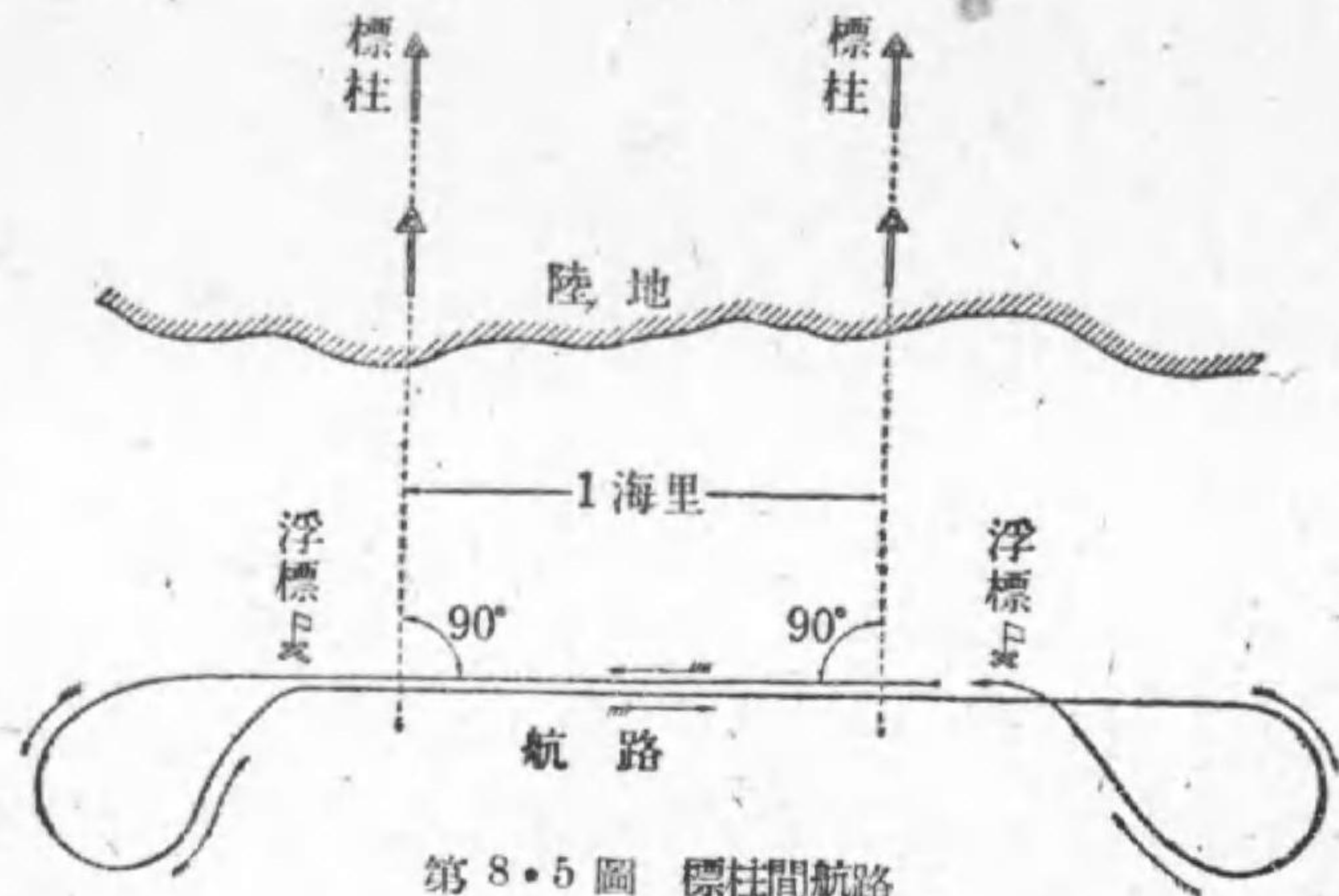
推進効率は、同一の船でも速さによつて違ひ、又同じ速さでも排水量の大小によつて違ふ。推進効率は大体 0.40~0.50 で、船型と推進器が良好であれば効率もよくなり、0.50~0.55 ぐらゐに達することもある。

(問題) 或る船の曳航試験で速さ 6.3, 12.1, 15.3, 18.1, 20.6, 22.7, 24.4, 26.3, ノットの抵抗は、それぞれ 0.7, 2.5, 4.9, 5.9, 9.1, 12.2, 14.5, 16.8t であつた。この船の抵抗曲線と有効馬力曲線と

をつくれ。

4. 試 運 轉

船の速度試験は、一般に第 8・5 圖のやうな標柱間航路を



往復して行なふから標柱間速度試験ともいふ。標柱間航路は、造船所に近く潮流などが少く且つ水深の非常に大きな所がよい。水深が小さいと水底の影響を受けて船の抵抗が一般に大きくなり、速さが低下する。

速度試験は、なるべく風波の少い晴れた日を選び、風や潮流などの影響を除くために 2 回から 3 回往復して、各速さの平均の平均をとる。たとへば 2 回往復して、その速さが順次に 15.13, 14.61, 15.66, 14.11 ノットであれば、平均の平均は第 8・1 表のやうにして 15.006 ノットが求められる。普通の平均では 14.88 ノットである。

機関の回転数を數種に変更し、それぞれこれと同様の速

第 8・1 表

速 さ (ノット)	第 1 平均の 2 倍	第 2 平均の 4 倍	平均の平均の 8 倍
15.13	} 29.74	} 60.11	} 120.05
14.61			
15.66			
14.11			
			+8)

平均の平均=15.006 ノット

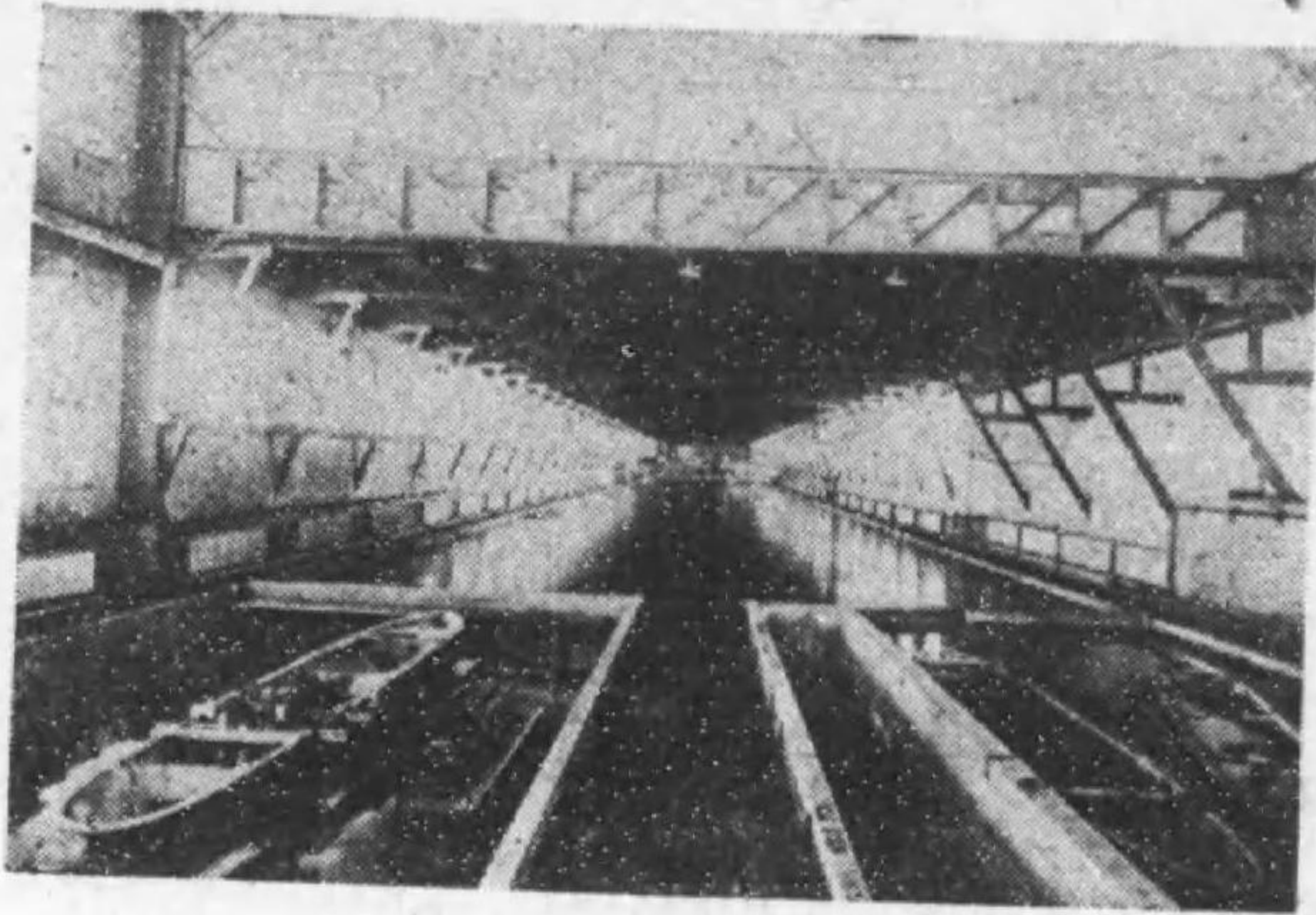
度試験をすれば、第 8・4 圖のやうな速さと機関の發生馬力との關係を表す曲線が^{ていそ}ふがかれる。この試験を^{ていそ}遞増速度試験といひ、船の設計と運航とに非常な參考になる。

5. 試 験 水 槽

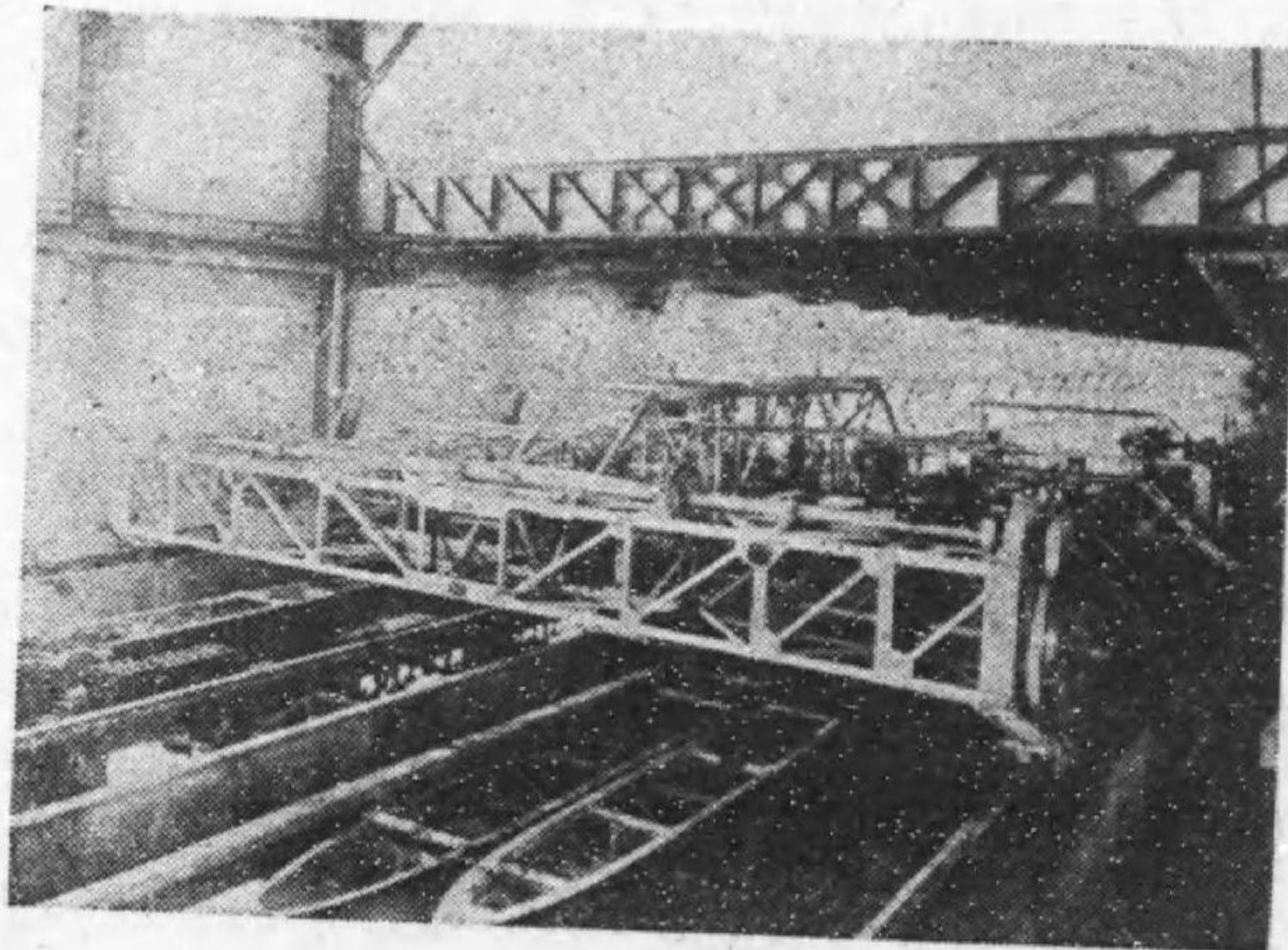
船の相似模型をつくり、船型試験水槽で曳航試験をして抵抗曲線を求めるのを船型試験又は水槽試験といふ。船型試験によると、船型の變化が抵抗に及ぶ影響が簡単に且つ少い費用でわかるから便利である。又後で學ぶやうに實船の抵抗を計算することもできる。

船型試験水槽は、断面が矩形の長大な鐵筋コンクリート製の水槽で、大型のものは長さ 200~300m, 幅 10~12m, 水深 4~8m ぐらゐである。水槽の兩側には、正確に水面と平行で真直ぐな軌道を敷き、その上を模型牽引車が電力で模型船を曳航しながら一定の速さで走る。最高速度は 6~10m/s であるが、最近は特殊な試験もできるやうに 20m/s ぐらゐの高速のものもある。

模型船の大きさは大型水槽では 5~7m ぐらゐで、一般に

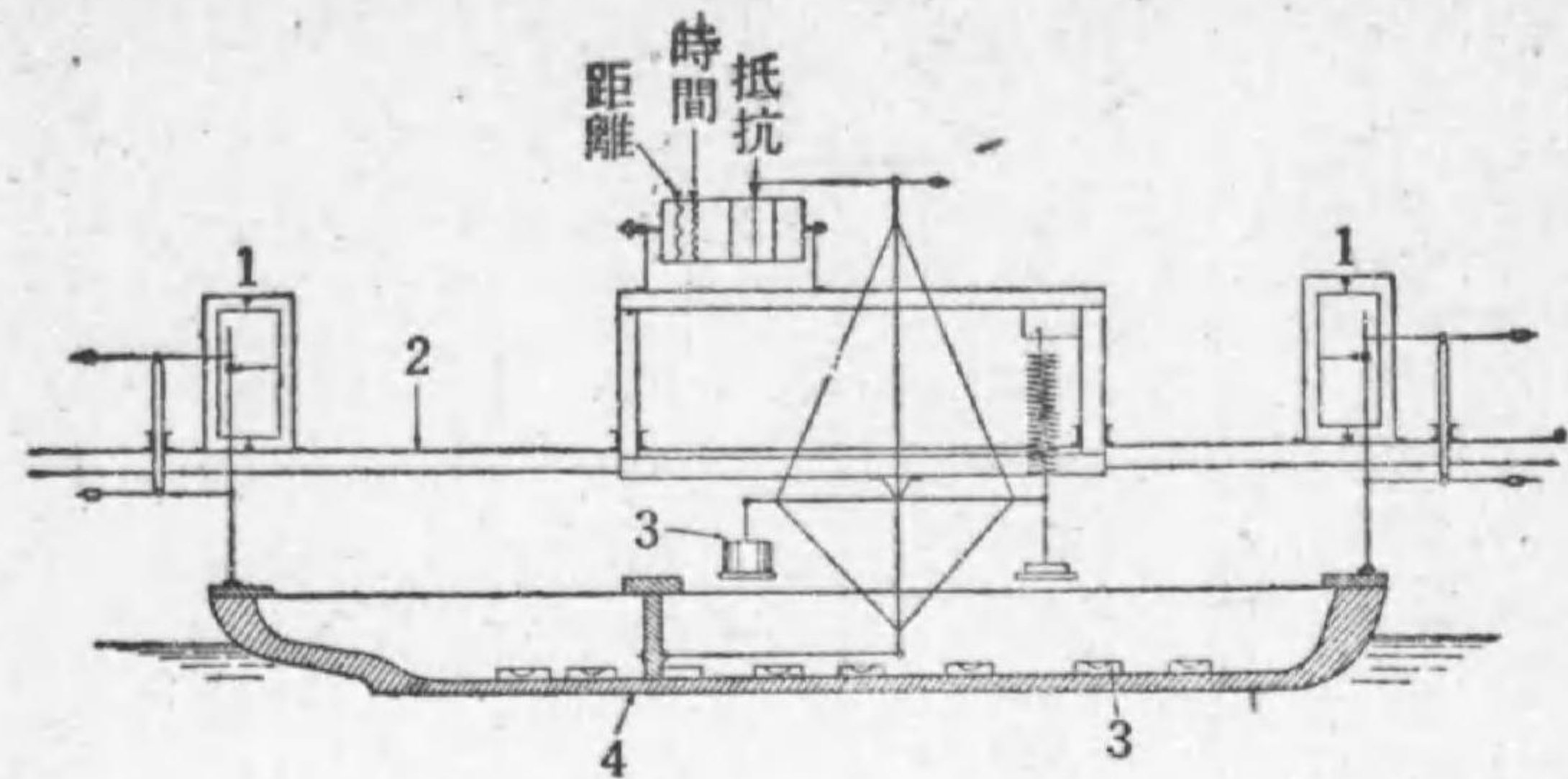


第 8・6 圖 船型試験水槽



第 8・7 圖 模型牽引車

パラフィン蠟で鑄造し正確な船型に削つて仕上げるが、ときには木製も使用する。模型船の抵抗は抵抗動力計で測定する。動力計は、抵抗の力をバネと天秤で釣り合はせ、その力の大きさを回轉記録筒に記入させるやうになつてゐる。秒時間と進行距離との記録も同時に記入されるから速さを知ること



第 8・8 圖 抵抗動力計

①トリム測定装置 ②模型牽引車 ③鐘 ④模型船

ができる。

6. 摩擦抵抗

水の摩擦抵抗を求めるには、試験水槽で長短の平板を縦方向に各速さで曳走し、摩擦抵抗を測つて抵抗曲線を求めればよい。各種の板を系統的に實驗した結果、摩擦抵抗は次の項目に關係のあることがわかつた。

- (ア)板の浸水表面積 $S(m^2)$ (イ)板の表面の平滑度
- (ウ)板の長さ $L(m)$ (エ)水の密度 $\gamma(t/m^3)$
- (オ)板の曳走速度 $v(m/s)$

平板の摩擦抵抗 $R_m(kg)$ は、表面が平滑な場合は $v^{1.825}$ に比例し、表面の凹凸が甚だしい場合は $v^{2.15}$ に比例する。平滑な板の摩擦抵抗 $R_m(kg)$ は、實驗によつて次の式で表すことができる。

$$R_m = \lambda \cdot \gamma \cdot S \cdot v^{1.825} \dots\dots\dots(8 \cdot 4)$$

λ: 板の長さや表面の平滑度とに關する係數(摩擦係數)

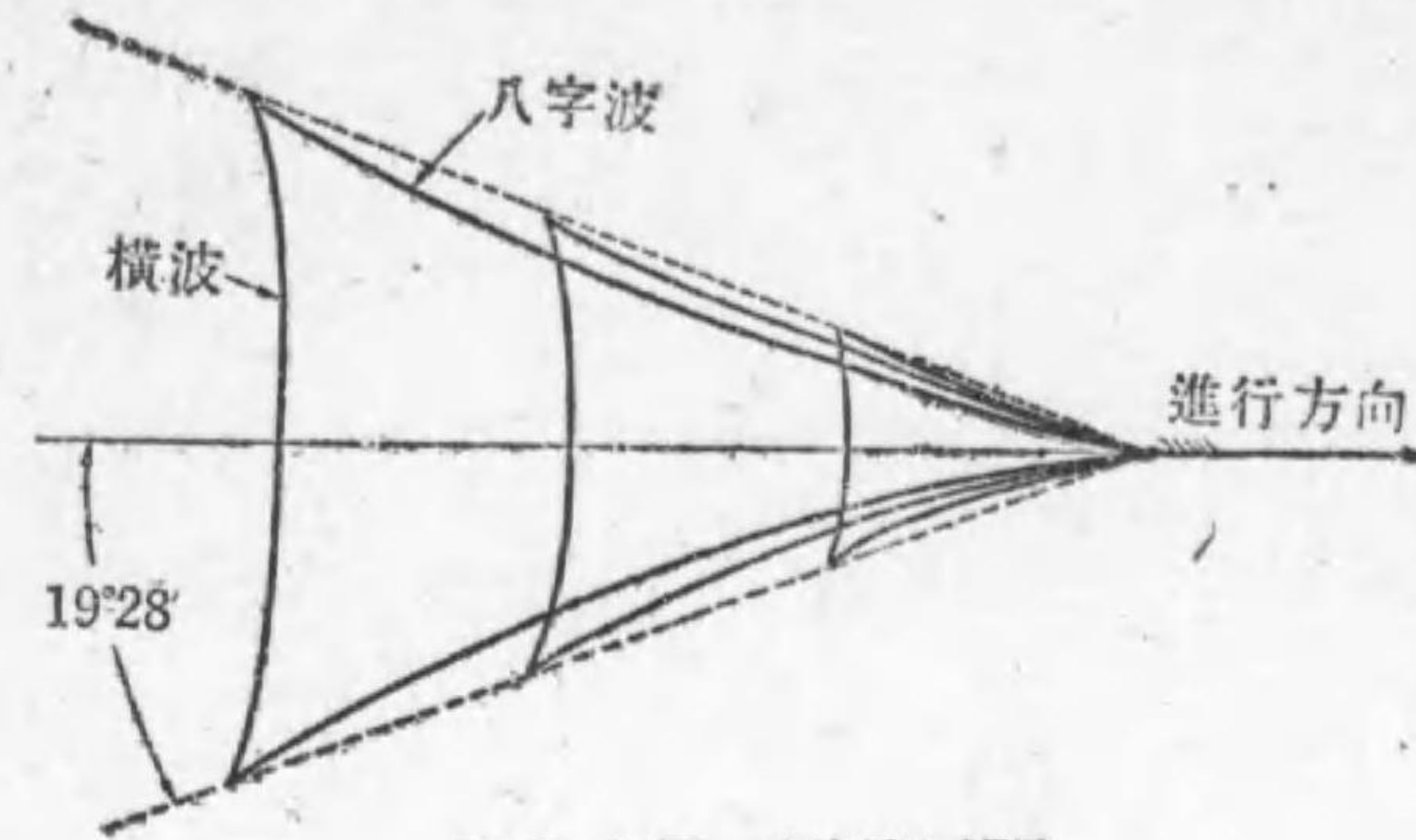
第8・2表

板又は船の長さ $L(m)$	摩擦係数 λ	板又は船の長さ $L(m)$	摩擦係数 λ
1.50	0.2017	20.00	0.1507
2.00	0.1955	30.00	0.1474
2.50	0.1902	40.00	0.1457
3.00	0.1857	60.00	0.1439
3.50	0.1817	80.00	0.1429
4.00	0.1782	100.00	0.1421
4.50	0.1752	120.00	0.1414
5.00	0.1727	140.00	0.1408
6.00	0.1687	160.00	0.1402
7.00	0.1658	180.00	0.1397
8.00	0.1634	200.00	0.1392
9.00	0.1614	250.00	0.1380
10.00	0.1595	300.00	0.1372
15.00	0.1539	350.00	0.1366

船の摩擦抵抗は、それと同じ長さと同じ浸水表面積とをもつ板の摩擦抵抗に等しいと考へられる。摩擦係数 λ の値は、パラフィン蠟・ワニス塗・ペイント塗などの平滑な表面に對して次の値をもち、長さが大きくなるほど係数の値は小さくなる。

7. 造波抵抗

船が水面を航進すると、船首部と船尾部は水の圧力が高くなつて水面が上昇し、船の中央部は圧力が低くなつて水面が低下する。この水面の動搖は波を生じさせてエネルギーを消費する。これが造波抵抗である。よく觀察すると、船が水面

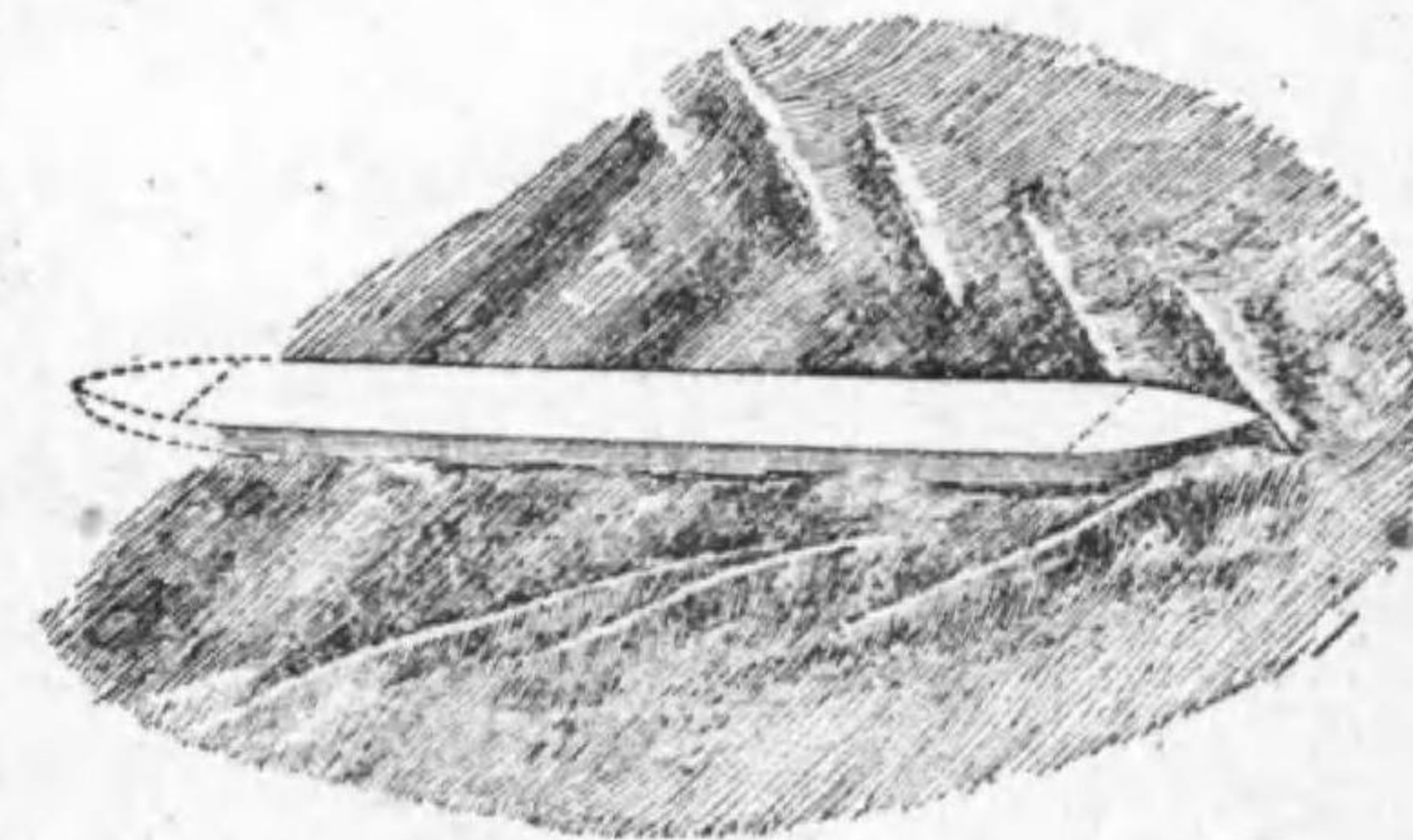


第8・9圖 八字波と横波

を航進する場合は船首部から船首波を生じ、船尾部から船尾波を生ずる。船首波も船尾波も共に八字波と横波とから成つてゐる。船の模型を水面に浮かべて速く動かしても八字波と横波を生ずることがわかる。

八字波は波頂が八字形に後方に廣がり、横波は左右の八字波の間に生じ、波頂は船の進行方向と直角で、大體直線状である。

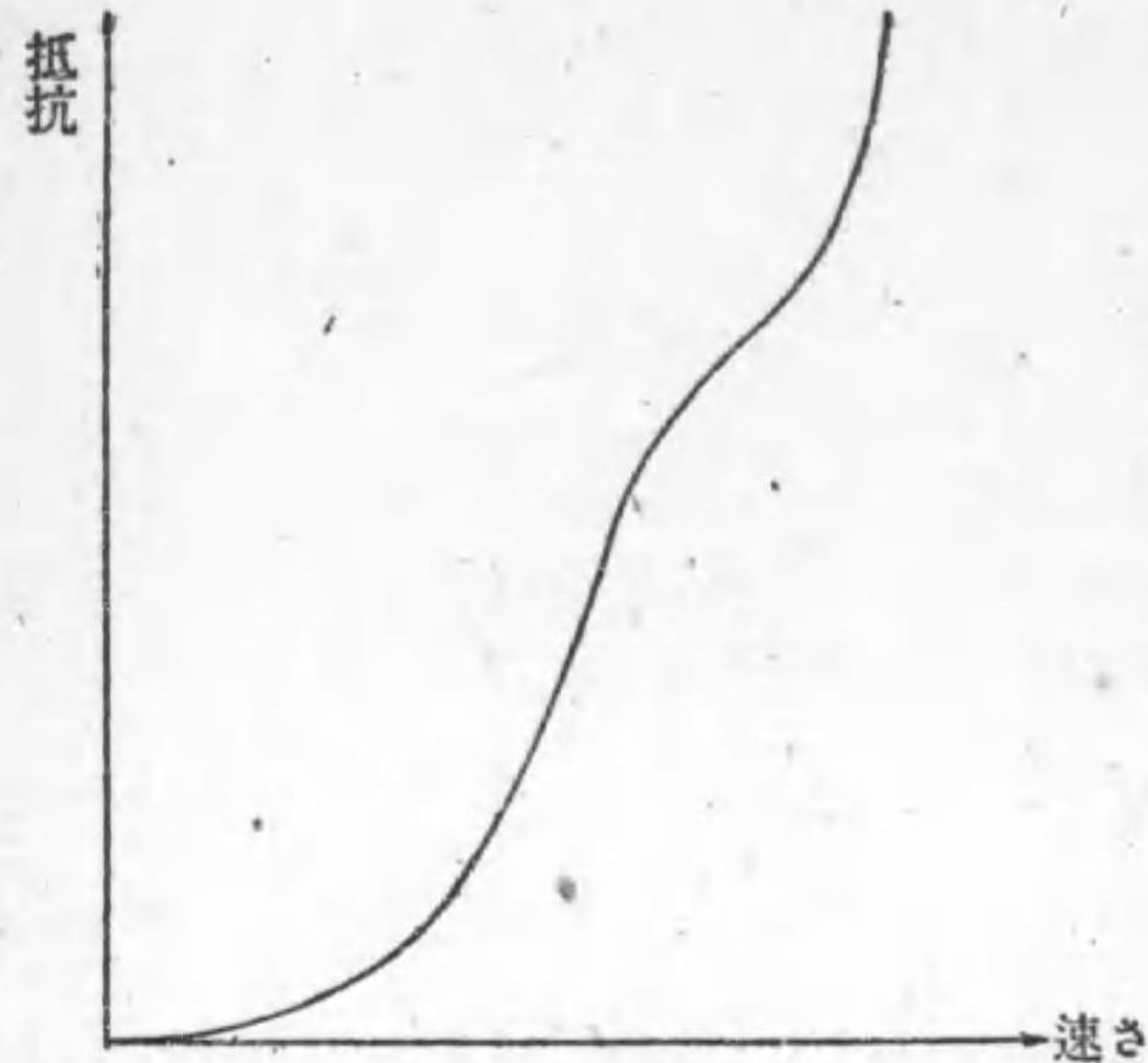
横波の波頂間の距離は船の速さの2乗に比例して長くなる。随つて或る速さになると、船首横波の波頂と船尾横波の波頂とが一致して波が高くなり、造波抵抗の増し方が急に大きくなる。又兩横波の波頂と波底が一致するやうな速さになる



第8・10圖 船首波

又兩横波の波頂と波底が一致するやうな速さになる

と、波が小さくなつて造波抵抗が急に減少する。造波抵抗の



第 8・11 圖

大きさは水の密度に比例するが、船の柱形肥瘠係数・幅と長さとの比・幅と吃水との比などによつて非常に變化するので、任意の船型の造波抵抗を前以つて知ることはむづかしい。そこで相似模型の

水槽試験をして、次に學ぶやうな比較法則を用ひて造波抵抗を計算する。

○適当な船の模型をつくり、糸をつけて水面に浮かべ種々な速さでひいて生ずる波を観察せよ。

○水槽試験によつて船の抵抗曲線をえがくと、第 8・11 圖のやうに高速の部分に凹凸が出来る。なぜか。

8. 比較法則

長さ 10m の船に對して 15 ノットでは高速度であるが、150m の船では中ぐらゐの速さといへる。このやうに同じ速さでも船の大きさによつて高速度或は低速度といはれる。

高速度と低速度との比較の基準は速長比による。船の速さ

を v (m/s), 長さを L (m) とすれば、速長比は次の式で計算する。

$$\text{速長比} = \frac{v}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots (8 \cdot 5)$$

普通速長比が 0.5 以下の場合には低速度, 0.5~0.7 では中速度, 0.7~1.0 では準高速度, 1.0 以上の場合には高速度である。

船の速さは V (ノット) で表すことが多いので, $\frac{V}{\sqrt{L}}$ をも速長比といふことがある。

○この速長比と(8・5)式の値との關係を次に記入せよ。

$$\frac{v}{\sqrt{L}} = (\quad) \times \frac{V}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots (8 \cdot 6)$$

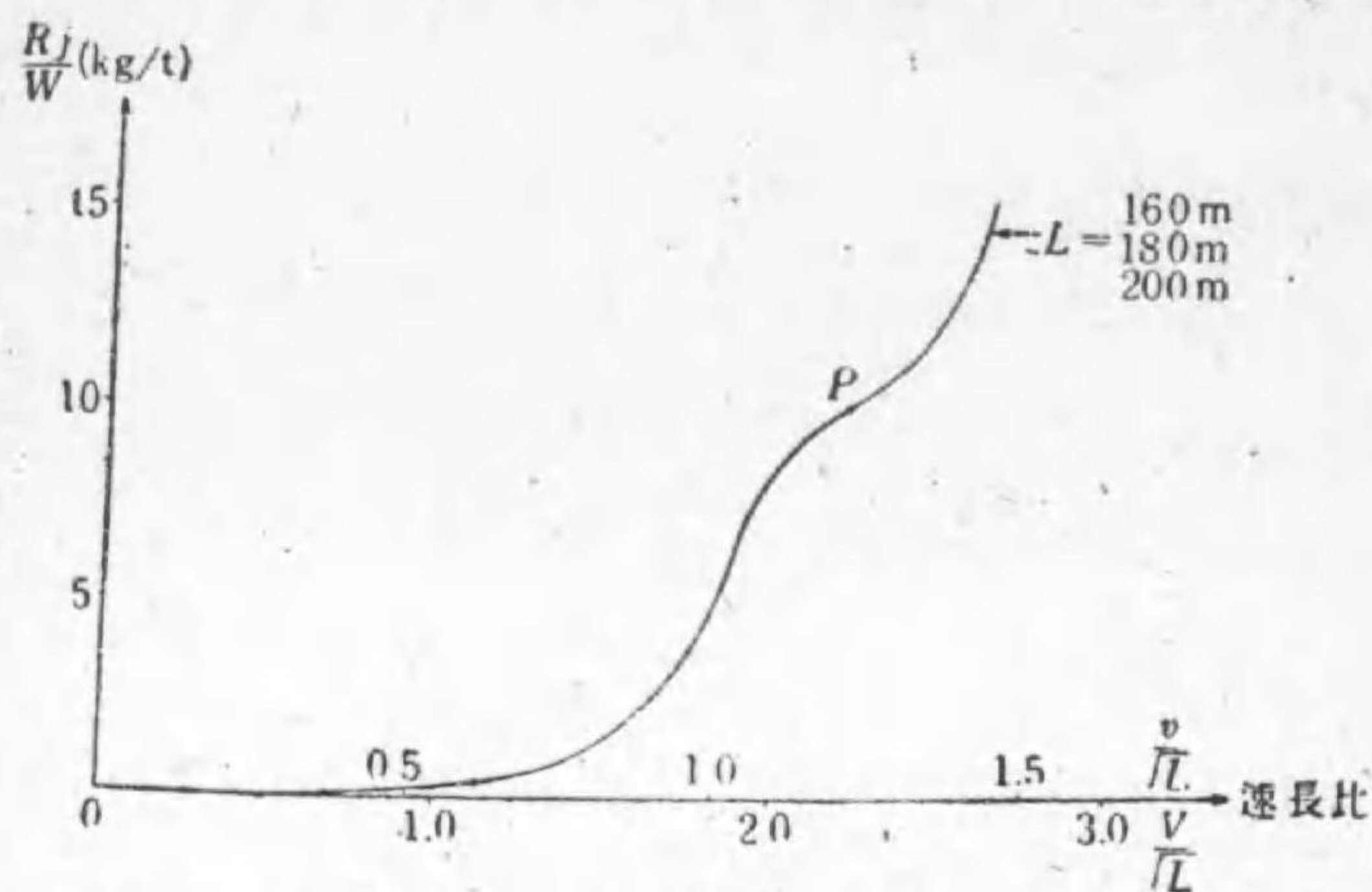
$$\frac{V}{\sqrt{L}} = (\quad) \times \frac{v}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots (8 \cdot 7)$$

○ $\frac{V}{\sqrt{L}}$ の値がどのくらゐの場合に低速度・中速度・準高速度・高速度であるか。

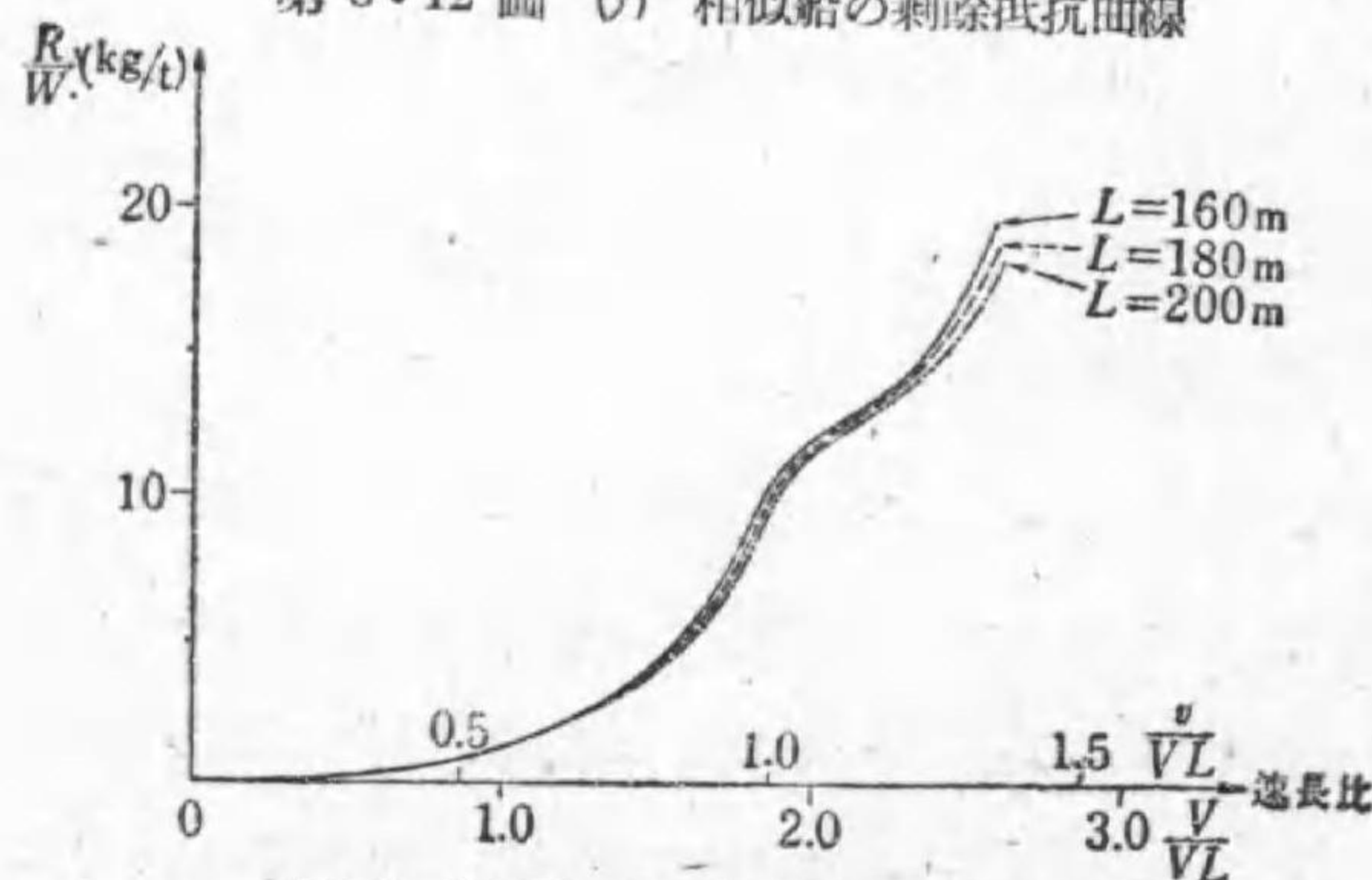
船の相似模型をつくつて水槽試験を行なふ場合、實船と同じ割合の速さで走らせるには速長比を等しくすればよい。この場合の模型と實船との速さを相對速度といふ。模型が實船の $\frac{1}{n}$ 縮尺であると、模型の相對速度は實船の速さの $\frac{1}{\sqrt{n}}$ である。

相似形の二つの船の相對速度に於ける剩餘抵抗は、その尺度の 3 乗即ち排水量に比例する。これを比較法則又は相似法則といふ。即ち相似形の船は同一の速長比に於いて、剩餘抵

抗 R_j (kg) を排水量 W (t) で割つた値 $\frac{R_j}{W}$ はすべて等しい。随つて第 8・12 圖のやうに x 軸に速長比をと、 y 軸に $\frac{R_j}{W}$



第 8・12 圖 (b) 相似船の剩餘抵抗曲線



第 8・12 圖 (a) 相似船の抵抗曲線

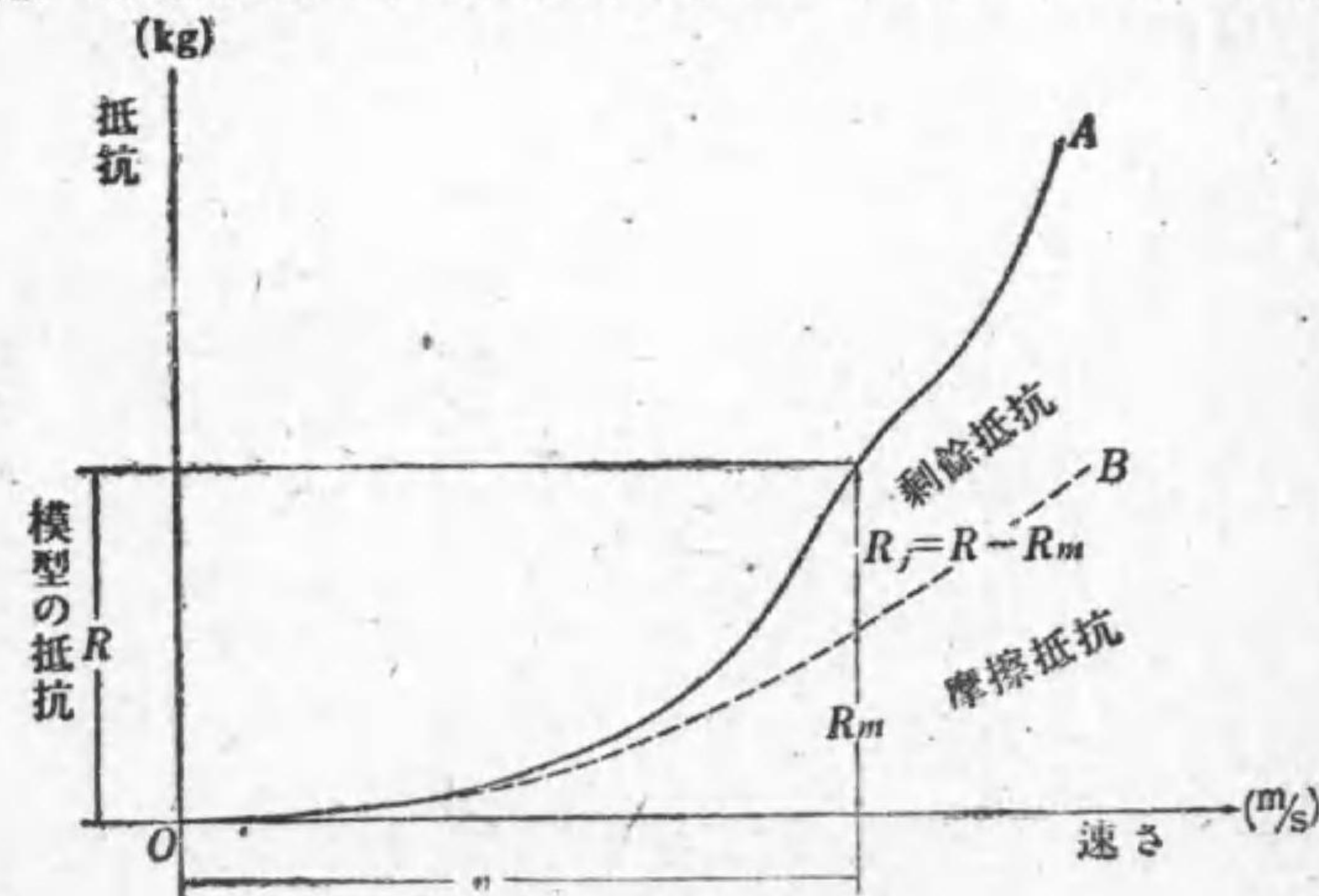
をとつて剩餘抵抗曲線を表せば、相似形の船に対してはアのやうに大きさに関係なく、すべて 1 本の曲線で表される。この曲線の傾斜の最も少い P 點の $\frac{V}{\sqrt{L}}$ の値になるやうに船の長さとな速さとの関係を設計の場合に選んでおけば、僅かに馬

力を高めても速さを多く増すことができ都合がよい。

又長さのさほど違はない相似船では、その摩擦係數 λ が殆ど等しく、摩擦抵抗 R_m は大體 v^2 に比例すると考へてよいから、 R_m は $S \cdot v^2$ に比例する。 S は L^2 に比例するから R_m は $L^2 \cdot v^2$ 即ち $L^3 \cdot \frac{v^2}{L}$ に比例する。 L^3 は W に比例するから R_m は $W \cdot \frac{v^2}{L}$ に比例する。即ち長さのさほど違はない相似船では、相對速度に於いて $\frac{R_m}{W}$ の値は大體等しい。随つて $\frac{R}{W} = \frac{R_m}{W} + \frac{R_j}{W}$ も第 8・12 圖(a)のやうに殆ど等しいから、全抵抗も大體排水量に比例する。しかし長さの甚だしく違ふ模型と實船とでは、 R/W の値は等しくならない。

模型船の水槽試験をして實船の抵抗を求めるには、比較法則を用ひて次のやうに計算する。

實船の相似模型を水槽試験して第 8・13 圖のやうな抵抗曲



第 8・13 圖 模型の抵抗曲線

第 8・3 表 $\frac{R_m}{S} = \lambda \cdot v^{1.825} \text{ (kg)}$ の値 (清水中 $\gamma = 1.000$)

模型の長さ $v \text{ (m/s)}$	$\frac{R_m}{S} = \lambda \cdot v^{1.825} \text{ (kg)}$ の値 (清水中 $\gamma = 1.000$)									
	$L=1.5 \text{ m}$	$L=2.0 \text{ m}$	$L=2.5 \text{ m}$	$L=3 \text{ m}$	$L=4 \text{ m}$	$L=5 \text{ m}$	$L=6 \text{ m}$	$L=7 \text{ m}$	$L=9 \text{ m}$	
1.0	0.202	0.196	0.190	0.186	0.178	0.173	0.169	0.166	0.161	
2.0	0.715	0.693	0.674	0.658	0.631	0.612	0.598	0.587	0.572	
3.0	1.498	1.452	1.412	1.379	1.323	1.283	1.253	1.231	1.199	
4.0	2.532	2.454	2.388	2.331	2.237	2.168	2.118	2.081	2.026	
5.0	3.805	3.688	3.588	3.503	3.361	3.258	3.182	3.128	3.045	
5.5	4.528	4.388	4.269	4.168	4.000	3.877	3.787	3.722	3.628	
6.0	5.307	5.144	5.004	4.886	4.688	4.544	4.439	4.362	4.246	
6.5	6.142	5.953	5.791	5.654	5.426	5.259	5.137	5.048	4.915	
7.0	7.031	6.815	6.630	6.473	6.212	6.020	5.881	5.780	5.626	
7.5	7.974	7.729	7.520	7.342	7.045	6.828	6.670	6.555	6.381	
8.0	8.971	8.695	8.460	8.259	7.926	7.681	7.503	7.374	7.179	
8.5	10.021	9.713	9.449	9.226	8.853	8.580	8.381	8.237	8.019	
9.0	11.122	10.781	10.488	10.240	9.827	9.523	9.303	9.143	8.900	
9.5	12.276	11.899	11.576	11.302	10.846	10.511	10.267	10.091	9.823	
10.0	13.480	13.066	12.712	12.411	11.910	11.542	11.275	11.081	10.787	

線 OA を得たとする。

模型の浸水表面積 $S(\text{m}^2)$ 及び長さに対応する λ の値を用ひて、(8・4)式から各速さの摩擦抵抗 $R_m(\text{kg})$ がわかるから、摩擦抵抗曲線 OB がふがける。或は第 8・3 表に示す模型船の浸水表面積の毎 m^2 に對する清水中 ($\gamma=1$) の摩擦抵抗の値 $\lambda v^{1.825}(\text{kg})$ に、模型の浸水表面積 $S(\text{m}^2)$ を掛ければ、その摩擦抵抗がわかる。

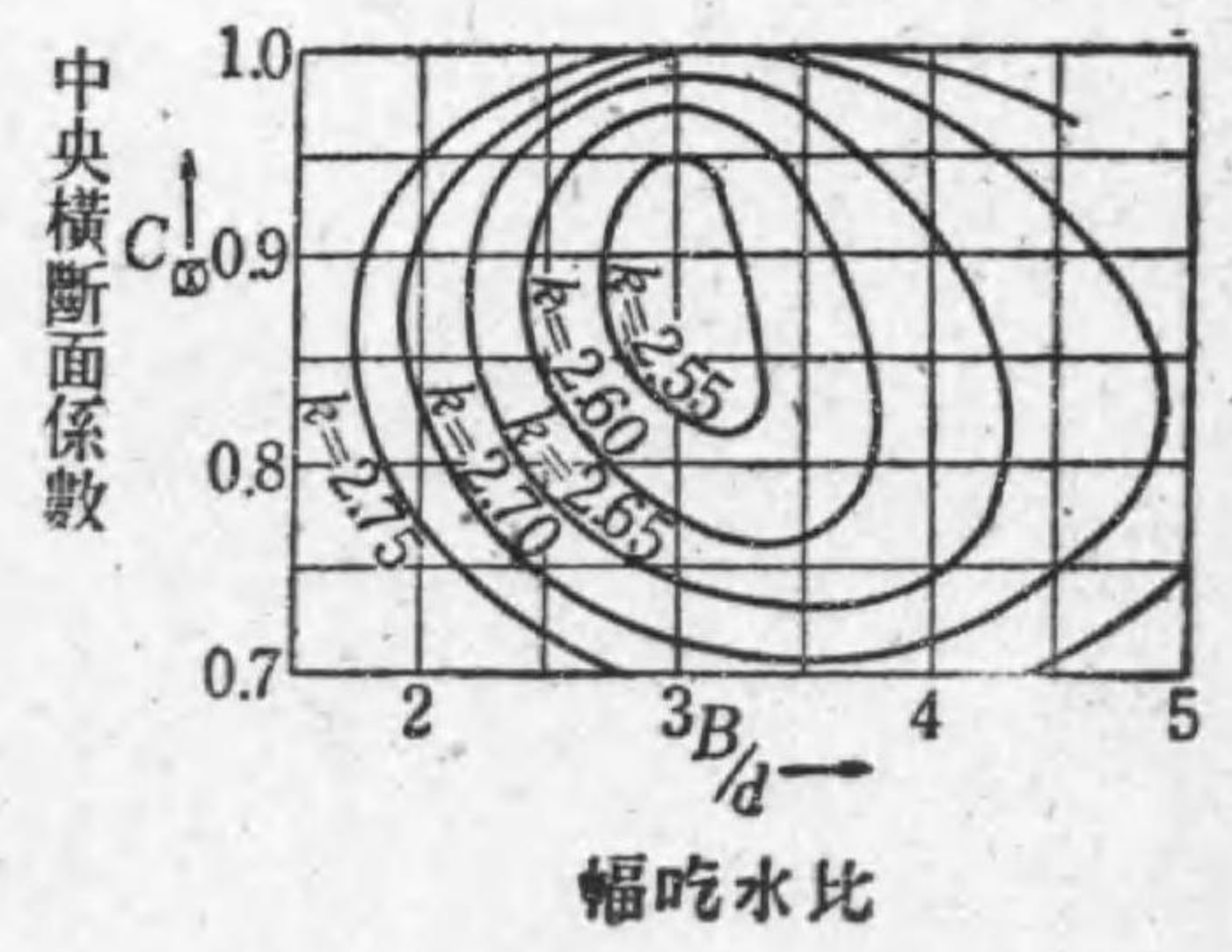
船の浸水表面積 $S(\text{m}^2)$ は、近似的には(3・4)式でも得られるが、次の式による方がやや正確である。

$$S = k \sqrt{V \cdot L} \dots\dots\dots (8 \cdot 8)$$

L : 船の長さ(m) V : 船の排水體積(m^3)
 k : 係數(第 8・14 圖)

第 8・13 圖の曲線 OA と OB との間の高さが剩餘抵抗である。速さ $v(\text{m/s})$ のときの剩餘抵抗を $R_r(\text{kg})$ とする。實船

に對する模型の縮尺を $\frac{1}{n}$ とすれば、相對速度 $\sqrt{n} \cdot v(\text{m/s})$ 、即ち $1.944 \sqrt{n} \cdot v(\text{ノット})$ に於ける實船の剩餘抵抗は比較法則によつて $n^3 R_r(\text{kg})$ になり、海水中に直せば $1.025 n^3 R_r(\text{kg})$ になる。同様



第 8・14 圖 k の値
 B =船の幅 d =吃水

第 8・4 表 $\frac{R_m}{S} = 0.3048\lambda \cdot V^{1.825}$ (kg) の値 (海水中 $\gamma = 1.025$)

船の長さ V (ノット)	L=10m	L=20m	L=30m	L=50m	L=100m	L=150m	L=200m	L=250m	L=300m	L=350m
2	0.172	0.163	0.159	0.156	0.154	0.152	0.150	0.149	0.148	0.148
4	0.610	0.577	0.564	0.553	0.544	0.538	0.533	0.528	0.525	0.523
6	1.279	1.209	1.182	1.160	1.140	1.127	1.116	1.107	1.100	1.095
8	2.160	2.042	1.997	1.958	1.925	1.903	1.886	1.870	1.858	1.850
10	3.248	3.069	3.002	2.944	2.895	2.861	2.835	2.811	2.793	2.781
12	4.531	4.281	4.187	4.107	4.037	3.990	3.954	3.921	3.896	3.880
14	6.063	5.673	5.548	5.441	5.350	5.287	5.239	5.195	5.162	5.140
16	7.650	7.238	7.079	6.943	6.826	6.746	6.685	6.629	6.587	6.559
18	9.499	8.976	8.779	8.610	8.465	8.366	8.291	8.221	8.169	8.134
20	11.511	10.877	10.638	10.433	10.257	10.138	10.046	9.962	9.898	9.856
22	13.698	12.944	12.659	12.416	12.206	12.064	11.955	11.855	11.779	11.729
24	16.055	15.171	14.838	14.553	14.307	14.140	14.013	13.895	13.806	13.748
26	18.581	17.558	17.172	16.842	16.558	16.365	16.217	16.081	15.978	15.910
28	21.269	20.098	19.656	19.279	18.954	18.732	18.563	18.407	18.290	18.212
30	24.123	22.796	22.294	21.866	21.497	21.246	21.055	20.877	20.745	20.656
35	31.963	30.204	29.539	28.972	28.484	28.151	27.897	27.663	27.486	27.369
40	40.783	38.538	37.690	36.967	36.343	35.919	35.595	35.295	35.071	34.921
45	50.592	47.779	46.727	45.830	45.057	44.532	44.130	43.758	43.480	43.295
50	61.281	57.908	56.633	55.546	54.609	53.972	53.485	53.035	52.698	52.473

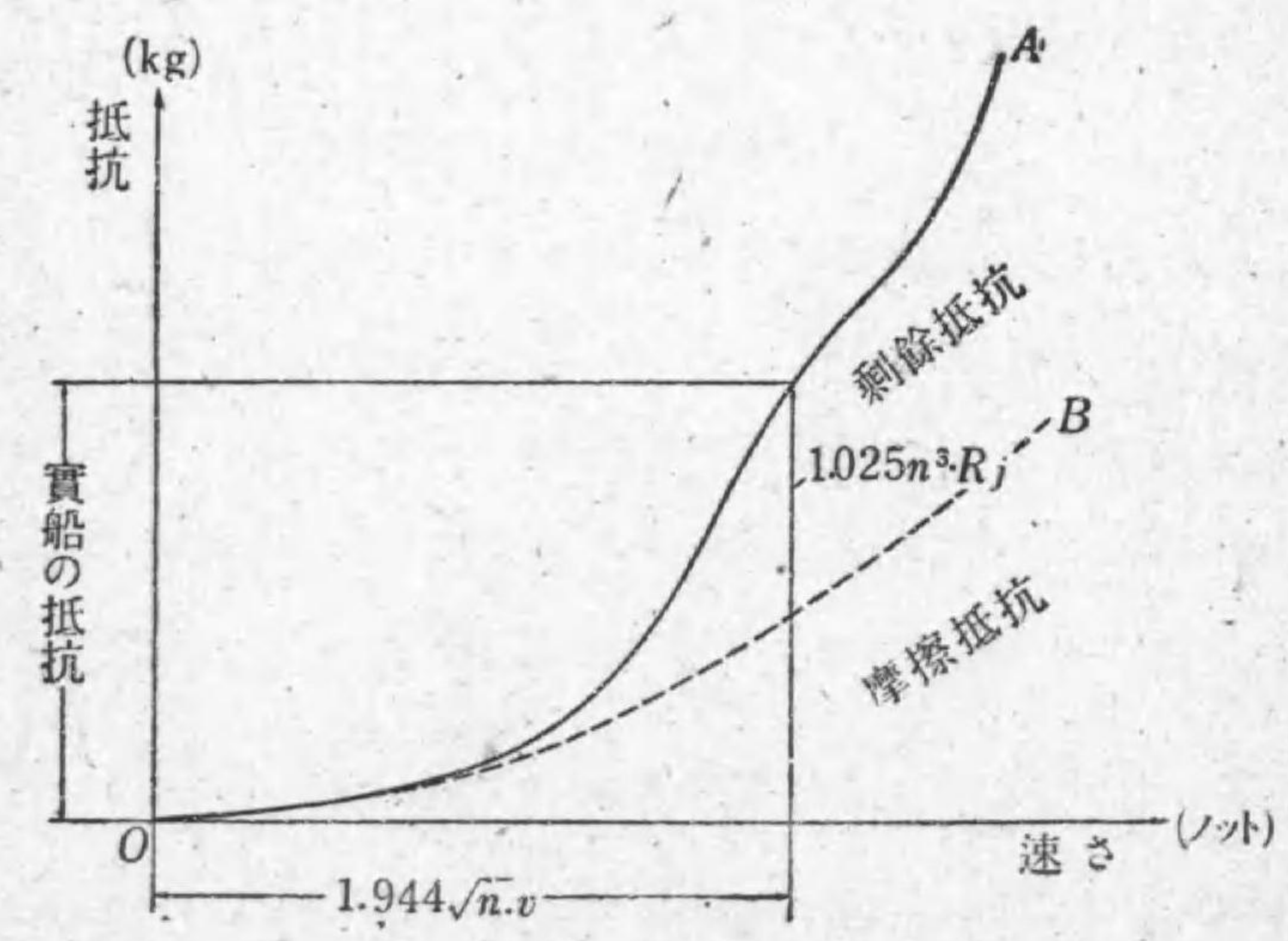
にして實船の各速さに於ける剩餘抵抗がわかる。實船の速さは一般に V(ノット)で表すから、(8・4)式の摩擦抵抗を海水中として書き直せば次のやうになる。

$$R_m = 0.3048\lambda \cdot S \cdot V^{1.825} (\text{kg}) \dots\dots\dots (8 \cdot 9)$$

或は、第 8・4 表に示す浸水表面積の毎 m² に對する海水中の摩擦抵抗の値 $0.3048\lambda V^{1.825} (\text{kg})$ に、實船の浸水表面積 S(m²) を掛ければよい。

實船の摩擦抵抗を計算して、これを第 8・15 圖の曲線 OB のやうにゑがき、この上に比較法則から求めた剩餘抵抗を加へて曲線 OA をゑがけば、これが求める實船の抵抗曲線である。

模型試験の場合は、舵・彎曲部龍骨などをつけずに曳航試



第 8・15 圖 實船の抵抗曲線

験を行なふことが多いので、これらに對しては附加部抵抗として後に加へる。

模型船を線圖の型寸法によつてつくれば、外板を含んでゐないから約2%を増す。舵をつけない場合にはこれに對して約1%を増し、舵が2枚の場合には舵をつけて試験を行なふ方がよい。又彎曲部龍骨をつけない場合には約2~5%を増し、双螺旋の船體膨出部をつけずに試験する場合は約5~10%を増す。

實船の抵抗曲線がわかれば、これから有効馬力曲線が得られるので、適當な推進効率で割つて指定速度に對する機關の所要馬力をきめることができる。しかし船が長期の航海を続けると、船底に貝殻や海藻が附着して抵抗が大きくなり、同一馬力を出してゐても速さが遅くなる。

9. 機關の馬力の見積り

船の設計の初期に機關の所要馬力の大體の値を知らなければならぬが、この場合はまだ船型が決定してゐないので、模型試験をせずに所要馬力の見積りをする。

前に學んだやうに大きさのさほど違はない相似船では、 R_m は大體 $W \cdot \frac{V^3}{L}$ に比例するから、 K_1 を比例定數として大體 $R_m = K_1 \cdot W \cdot \frac{V^3}{L}$ で表せる。随つて相對速度では、 K_2 を比例定數として全抵抗も $R = K_2 \cdot W \cdot \frac{V^3}{L}$ で表せる。 W は L^3 に比例するから K_3 を比例定數とすれば、

$$R = K_3 \cdot W^{\frac{2}{3}} \cdot V^3 \dots\dots\dots (8.10)$$

になり、随つて有効馬力 HP_{η_m} は、 K_4 を比例定數とすれば次のやうになる。

$$HP_{\eta_m} = K_4 \cdot W^{\frac{2}{3}} \cdot V^3 \dots\dots\dots (8.11)$$

相似船の推進機關も推進効率も等しいとみられる場合は K_5 を比例定數とし、機關の馬力は、

$$HP = K_5 \cdot W^{\frac{2}{3}} \cdot V^3 \dots\dots\dots (8.12)$$

になる。或は K_5 の代りにその逆數 K を用ひて表すことができる。

$$HP = \frac{W^{\frac{2}{3}} \cdot V^3}{K} \dots\dots\dots (8.13)$$

K は馬力係數・速度係數・アドミラルチー係數ともいふ。

大きさのあまり違はない相似の船或は相似に近い船が、同種の推進機關と等しい推進効率をもつ場合は、相對速度で等しい馬力係數を用ひることができる。馬力係數 K の値は、最高速度に對して凡そ 180~330 ぐらゐの範圍にある。同一の船でも速さによつて、この係數の値は種々に變化する。

(問題)

- (1) 排水量 5,000 噸の船が機關の馬力 11,300 で 28 ノットの速力が出た。(8.13)式の K の値は何程か。
- (2) 排水量 6500 噸の或る船の速さ 16 ノットの K の値を、相似船の試運轉の成績から 220 と見積つた。この船の機關の馬力、速さ 16 ノットに對して大體何程を要するか。

第9. 推 進

1. 伴 流

船が前進すると、周囲の水は粘性をもつから船に引張られて前進速度を生じ、この速さは船體に近いほど大きく、船尾の方になるほど増大する。このやうな水の運動を伴流といふ。

船の螺旋推進器は、伴流の中を回轉しながら前進する。推進器翼の回轉圓内の伴流の速さは所によつて違ふが、推進器に對してこれと同一作用を及す或る一樣な速さの伴流があると考へても差支へない。このやうな一樣な伴流の速さが、船の速さ V に或る係數 w を掛けた値に等しいとすれば次のやうになる。

$$\text{伴流の速さ} = wV \dots\dots\dots(9 \cdot 1)$$

w : 伴流率(又は伴流係數)

推進器が船の中心線にある單螺旋船では、 w は約0.20~0.30ぐらゐで、中心線から離れた所にある双螺旋船では約0~0.10である。

随つて水に對する推進器の前進速度 V_p は次のやうになる。

$$V_p = V \cdot (1 - w) \dots\dots\dots(9 \cdot 2)$$

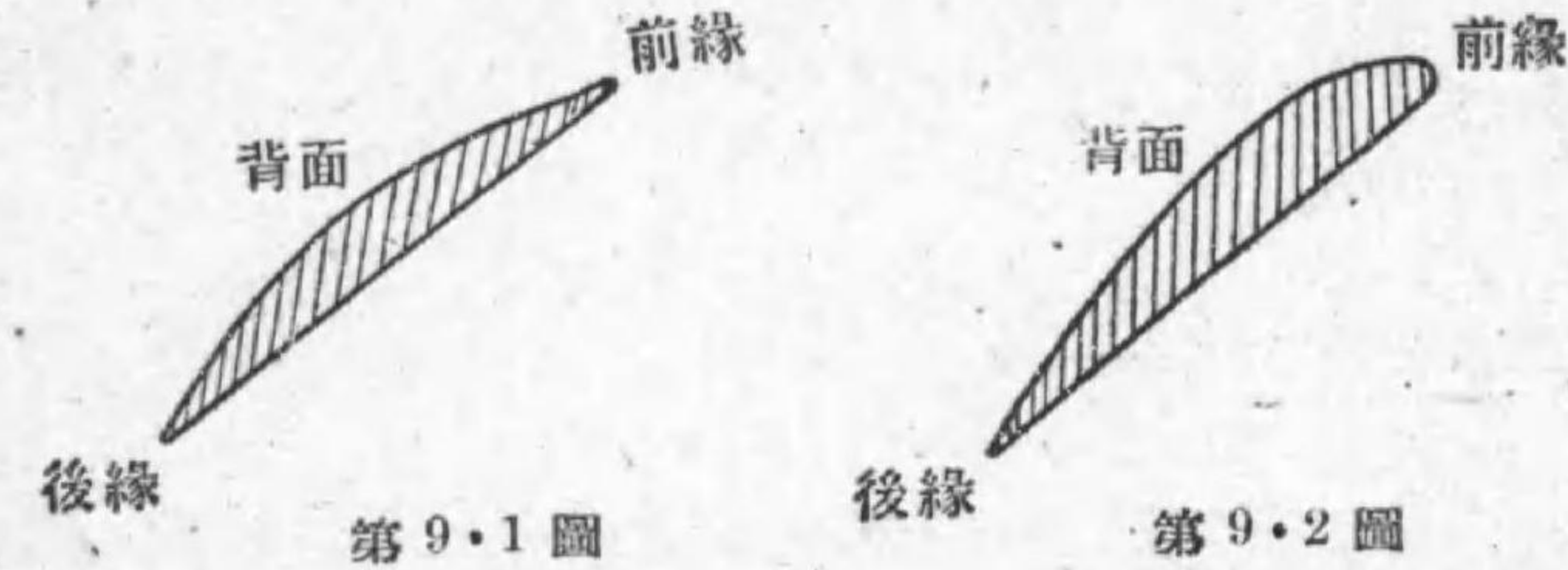
2. 螺旋推進器

螺旋推進器の翼は3枚か4枚で、大型船では4枚が多い。翼の船尾側の面は螺旋面になつてゐる。螺旋面とは、軸に直角についてゐる直線が軸の周りを一定の角速度で回轉しなが

ら軸方向へ一定の速さで前進する場合、その直線によつてゑがられる面をいふ。1回轉に對する前進距離を螺距といふ。

推進器軸を軸とする或る半徑の圓筒面と翼との交りを、その半徑に於ける翼の斷面といふ。圓筒面を平面に展開すると翼の斷面形が得られる。翼の斷面形はこれまでは第9・1圖のやうであつたが、最近は第9・2圖のやうな形のものを用ひるやうになつた。

回轉軸を中心として翼端を通る圓の直徑を推進器の直徑と



いひ、その面積を全圓面積といふ。推進器軸の方向から見た翼の面積の合計を投影翼面積といひ、翼の螺旋面の面積の合計を展開翼面積といふ。展開翼面積と全圓面積との比を翼面積比といふ。

3. 失 脚

翼の螺旋面に接する水が少しも移動しないとして、推進器の毎分回轉數を N 、螺距を $P(m)$ とすれば、その毎分の前進速度は $P \cdot N(m/min)$ にならなければならない。

螺距 P と推進器の直徑 D との比を螺距比といふ。螺距比を p とすれば

$$p = \frac{P}{D} \dots\dots\dots(9 \cdot 3)$$

になる。p の値は一般に 0.9~1.15 ぐらゐである。

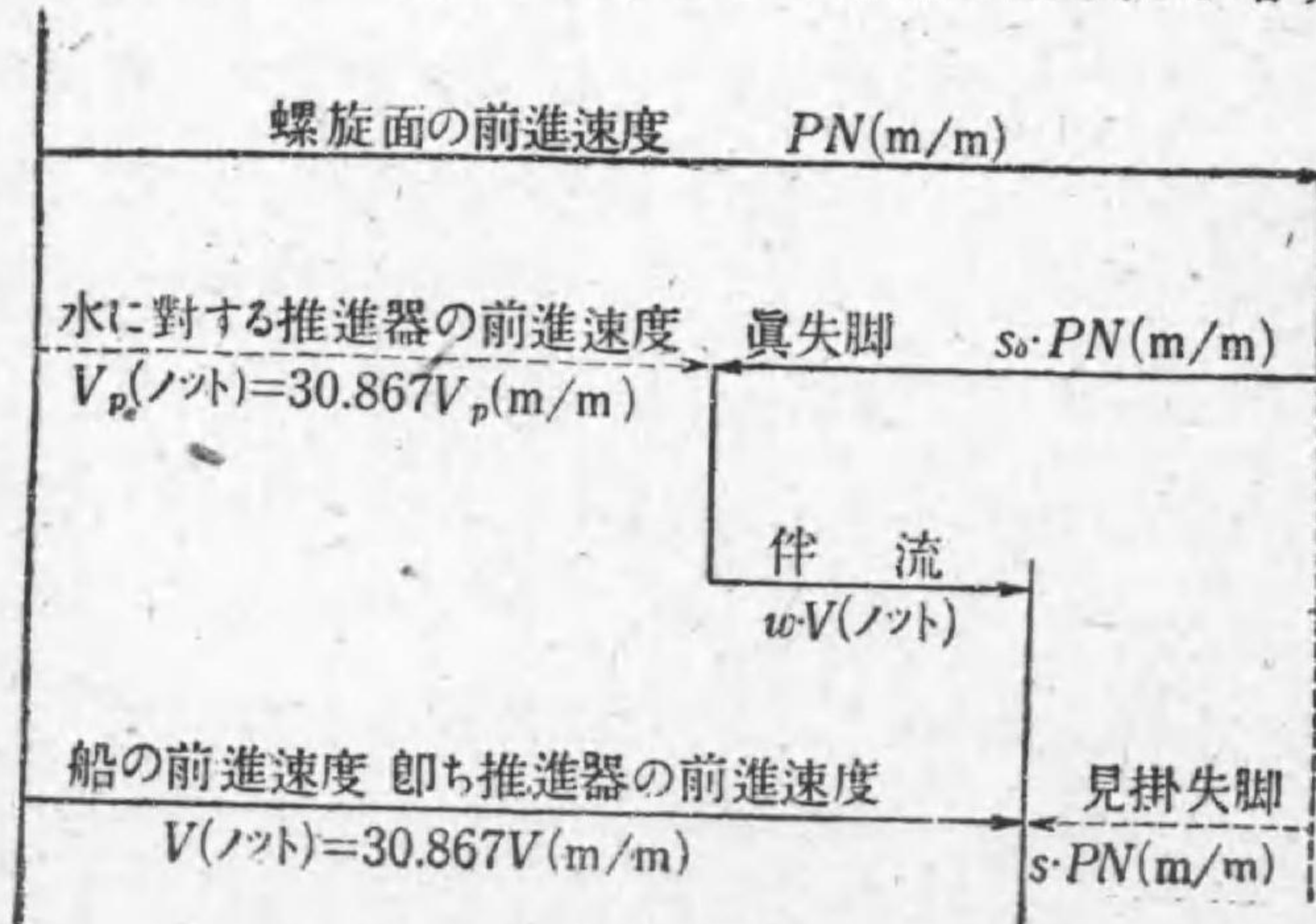
實際は螺旋面に接する水は後方へ押しやられる。この速さを眞失脚といひ、P・N との比を眞失脚率といふ。水に對する推進器の前進速度 V_p (ノット) は、P・N から眞失脚を引いたものであるから

$$\begin{aligned} \text{眞失脚} &= P \cdot N - \frac{1852}{60} \cdot V_p (\text{m/min}) \\ &= P \cdot N - 30.867 V_p (\text{m/min}) \dots\dots\dots(9 \cdot 4) \end{aligned}$$

になる。よつて、

$$\text{眞失脚率 } s_0 = \frac{P \cdot N - 30.867 V_p}{P \cdot N} \dots\dots\dots(9 \cdot 5)$$

になるが、水は伴流による前進速度をもつてゐるから、推進器の前進速度は V_p (ノット) よりも伴流の速さだけ増すこと



第 9・3 圖

になる。推進器の前進速度は、即ち船の前進速度 V (ノット) である。 V_p の値は直接にはわからないから、 $P \cdot N$ と船の前進速度との差を見掛失脚といひ、見掛失脚と $P \cdot N$ との比を見掛失脚率といふ。即ち次のやうである。

$$\text{見掛失脚} = P \cdot N - 30.867 V \dots\dots\dots(9 \cdot 6)$$

$$\text{見掛失脚率 } s = \frac{P \cdot N - 30.867 V}{P \cdot N} \dots\dots\dots(9 \cdot 7)$$

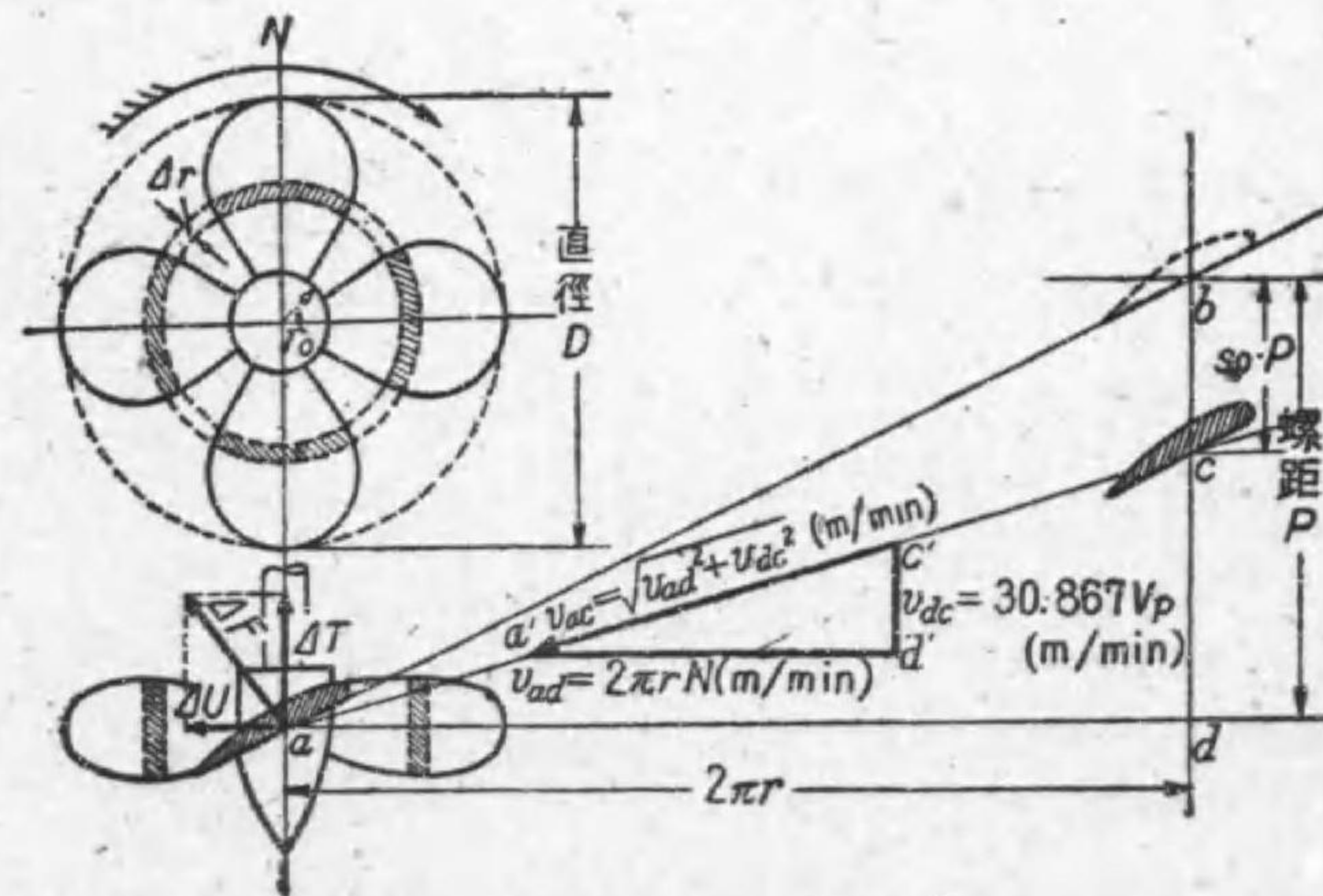
以上の關係は第 9・3 圖で表すとよくわかる。

○伴流率と失脚率との間には、次の關係があることを證明せよ。

$$1 - w = \frac{1 - s_0}{1 - s} \dots\dots\dots(9 \cdot 8)$$

4. 推進器の作用

第 9・4 圖のやうに回轉軸を中心とし半径 r 及び $r + \Delta r$ (m)



第 9・4 圖 推進器の作用

の2圓筒面で推進器を切斷した翼片の作用を考へてみよう。
Δrを非常に小さなものとすれば、翼片の斷面形は一様である
とみなせる。

翼の斷面形 a の運動を調べてみると、1 回轉すれば横方向
に $\overline{ad}=2\pi r$ 移動し、前方向は $\overline{db}=P$ だけ移動するはずである
が、一般には失脚があるから $\overline{dc}=s_0 \cdot P$ だけ前進し、伴流が
あれば $\overline{dc}=s \cdot P$ だけ前進する。随つて翼片は水に對して \overline{ac}
の方向へ運動する。或は翼片が a に靜止してゐて水が、 \overline{ca} の
方向へ運動すると考へてもよい。

\overline{ad} 方向の移動速度は $v_{ad}=2\pi r N$ (m/min) で、 \overline{dc} 方向の
前進速度は V_p (ノット) 即ち $v_{dc}=30.867 V_p$ (m/min) である
から、速さの三角形 $a'c'd'$ をつくれば \overline{ac} 方向の運動速度
 $v_{ac}=\sqrt{v_{ad}^2+v_{dc}^2}$ (m/min) である。随つて翼片が靜止してゐて
水が速さ v_{ac} で \overline{ca} 方向から流れてくると考へられる。

$\angle cab$ を翼形 a の迎角といひ、翼片はこれによつて力 ΔF
を受け、推力 ΔT と回轉抗力 ΔU とを生ずる。ΔU による
回轉能 ΔQ は ΔU×r に等しい。

翼全體をこのやうなごく薄い翼片に分け、同様にそれぞれの
の推力と回轉能とを求めて翼全體を合計すれば、1 枚の翼の
の推力と回轉能が得られ、翼が n 枚として n 倍すれば推進器の
の推力 T(kg) と回轉能 Q(kg·m) が得られる。

$$T=n \sum_{r=r_0}^{r=\frac{D}{2}} \Delta T \dots\dots\dots(9 \cdot 9)$$

$$Q=n \sum_{r=r_0}^{r=\frac{D}{2}} \Delta Q \dots\dots\dots(9 \cdot 10)$$

5. 船殼效率

速さ V(ノット)の船の抵抗 R(kg) を曳航試験から求められ
ば、推進器はこれに勝つ推力を生じなければならない。R は
推進器が作動してゐない場合の抵抗であるが、推進器が回轉
して自航する際には、船尾の方の水流を亂して抵抗は R よ
りも増大するから、推進器はこの増大した抵抗に等しい推力
T(kg) を出さなければ速さ V で前進させることができない。
随つて T は R よりも大きくなければならないので次のやう
になる。

$$R=T(1-t) \dots\dots\dots(9 \cdot 11)$$

これから

$$t=\frac{T-R}{T} \dots\dots\dots(9 \cdot 12)$$

を得る。抵抗が増大すると考へる代りに、推進器の前方に船
體があるので推力 T が R に減少すると考へても差支へない
から、t を推力減少率といふ。t は、單螺旋船では凡そ 0.15
~0.30 で、雙螺旋船では 0.10~0.20 ぐらゐである。

推進器のする仕事は T·V_p であるが、船に對する有效仕事
と推力のする仕事との比の値は船型に關係するから、船型效
率又は船殼效率といふ。これを η_{sc} で表せば次のやうになる。

$$\eta_{sc}=\frac{R \cdot V}{T \cdot V_p} \dots\dots\dots(9 \cdot 13)$$

これに(9・2)式と(9・11)式の関係を入れれば

$$\eta_{se} = \frac{1-t}{1-w} \dots\dots\dots(9\cdot14)$$

になる。K η_{se} の値は単螺旋船でも双螺旋船でも凡そ1.0に近い。

6. 馬力と効率

機関の馬力は、その種類によつて測る位置と測り方が違ふが、測つた位置から推進器まで馬力が傳達される間に、途中の軸の摩擦などによつて一部分が消費され、残りが推進器を回轉させるために有効に使用される。この馬力を推進器馬力HP_pといふ。

$$HP_p = \frac{2\pi QN}{60 \times 75} = \frac{Q \cdot N}{716} \dots\dots\dots(9\cdot15)$$

推進器馬力と馬力との比を機械効率 η_{kt} といひ、馬力を機関の馬力發生のもとで測る場合は η_{kt} を機関効率といふ。

$$\eta_{kt} = \frac{HP_p}{HP} \dots\dots\dots(9\cdot16)$$

船を前進させるために、推進器の推力による仕事に用ひる馬力を推力馬力HP_Tといふ。

$$HP_T = \frac{T \times 0.514 V_p}{75} = \frac{T \cdot V_p}{14.7} \dots\dots\dots(9\cdot17)$$

(8・2)と(9・17)式とから船殻効率は次のやうになる。

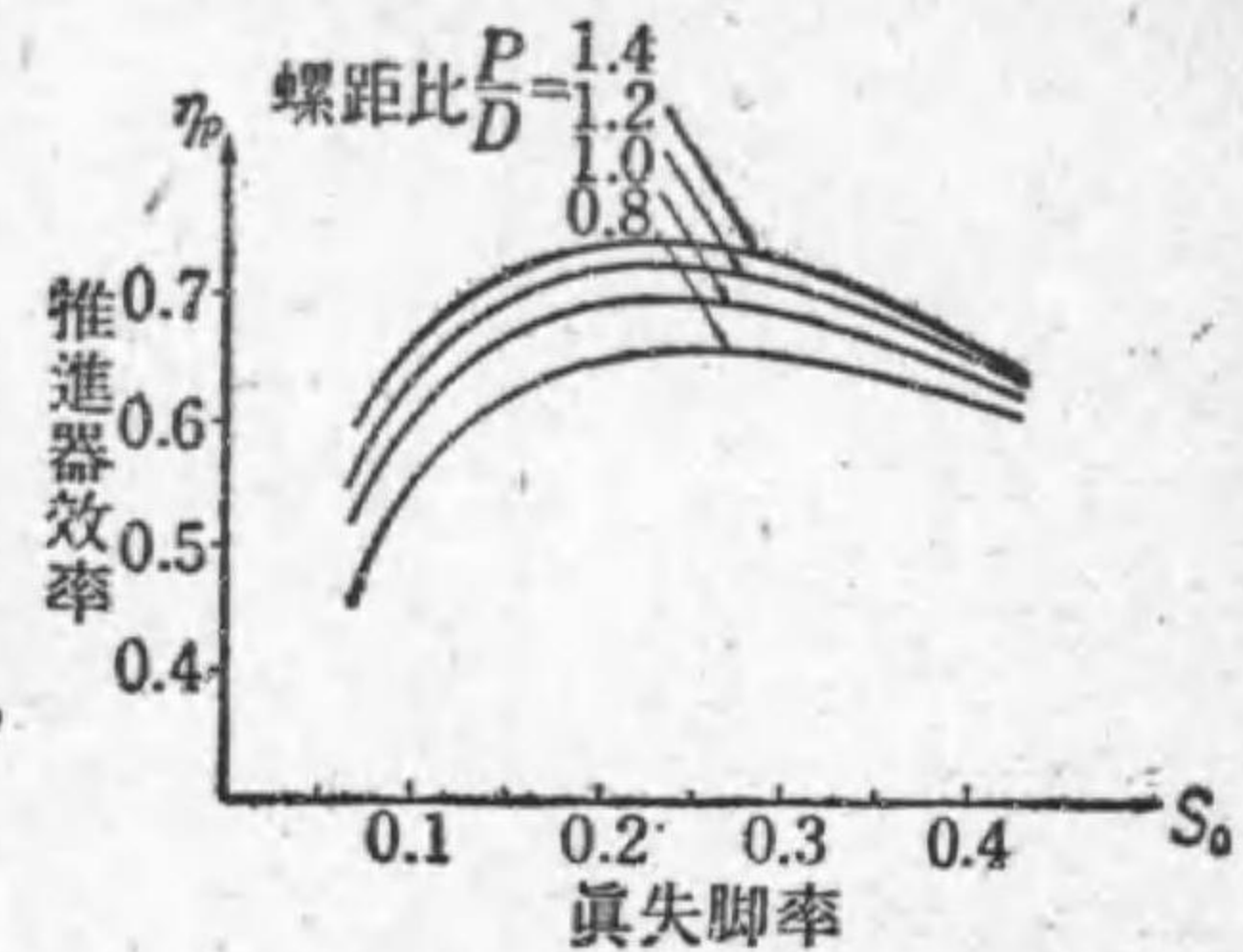
$$\frac{HP_{yu}}{HP_T} = \frac{R \cdot V}{T \cdot V_p} = \eta_{se} \dots\dots\dots(9\cdot18)$$

推力馬力と推進器馬力との比を推進器効率 η_p といふ。

$$\eta_p = \frac{HP_T}{HP_p} \dots\dots\dots(9\cdot18')$$

推進器を静水中で單獨に種々な速さで前進させ、推力・回轉能・毎分回轉數及び速さを測り、又直徑や螺距比がわかつてゐれば、第9・5圖のやうな η_p 効率曲線が得られる。

η_p は眞失脚率0.20~0.25ぐらゐで最大値をもち、 η_p の最大値は0.60~0.70ぐらゐである。



η_p 曲線は螺距比・翼斷面形・翼面積比・翼の數などで種々に變化するが、いづれも同様な傾向の曲線になる。以上の關係か

第9・5圖 効率曲線

ら推進効率 η_{su} は次のやうになる。

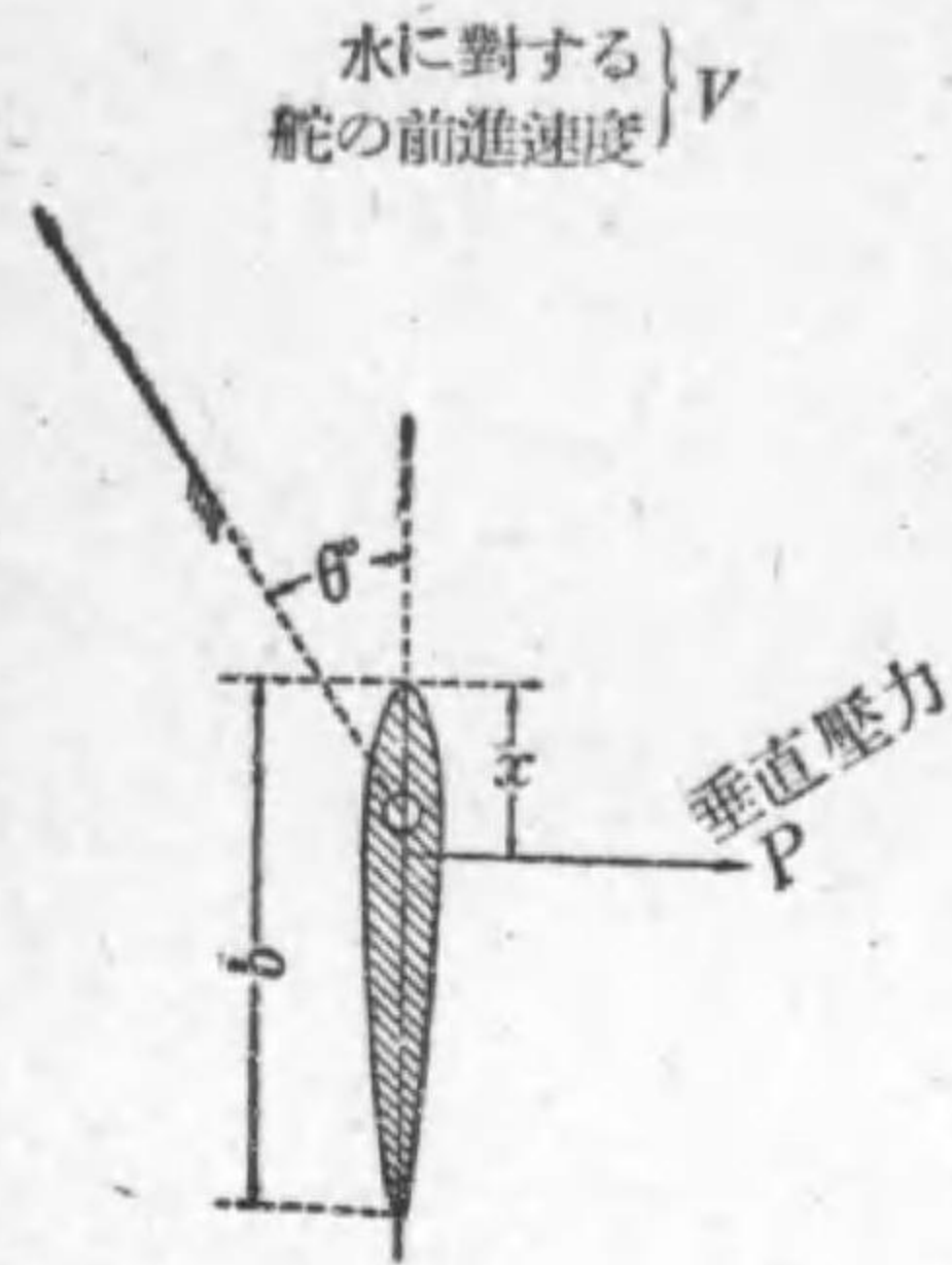
$$\eta_{su} = \frac{HP_{yu}}{HP} = \frac{HP_p}{HP} \cdot \frac{HP_T}{HP_p} \cdot \frac{HP_{yu}}{HP_T} = \eta_{kt} \cdot \eta_p \cdot \eta_{se} \dots\dots\dots(9\cdot19)$$

第10. 旋 回

1. 舵

第10・1圖のやうに舵角 θ° で舵を速さV(ノット)で静水中を前進させ、水流のために受ける垂直壓力P(kg)を測つてみると、舵の面積をA(m²)として次の實驗式が得られる。

$$P = 11 AV^2 \sin^2 \theta \dots \dots \dots (10.1)$$



第 10.1 圖 舵

この式は舵角 $\theta = 35^\circ$ 以上では使用できない。舵の前端から垂直圧力の作用点までの距離 $x(m)$ は、舵の前後方向の幅を $b(m)$ として

$$x = (0.195 + 0.30 \sin \theta) b \dots \dots \dots (10.2)$$

で計算することができる。舵角 θ は一般に最大が 35° であるから、この場合は $x = 0.37b$ になる。即ち

P は舵の前端から約 $\frac{3}{8}b$ の所に作用する。

舵軸をこの附近にすれば、操舵はごく小さな偶力でよく、これを釣合舵といふ。しかし、推進器を逆回転して船が後進中にも轉舵する必要がある。この場合は P が後端から $\frac{3}{8}b$ ぐらゐの所に作用するので、この偶力に打ち勝つて操舵できなければならない。船の後進速度は、一般に最大前進速度の $1/2$ 以下である。

舵は多く船尾部推進器の直後にあるから、舵の所の水流の速さは、船の速さに伴流と真失脚流との速さを加減したもので、即ち船の速さに見掛失脚流が加つたものである。随つて舵が推進器の直後にある場合は、(10.1) 式の V は船の速さの約 1.2 倍にしなければならない。推進器の直後に舵のある場合は、舵の垂直圧力が大きくて舵の働きがよい。推進器が

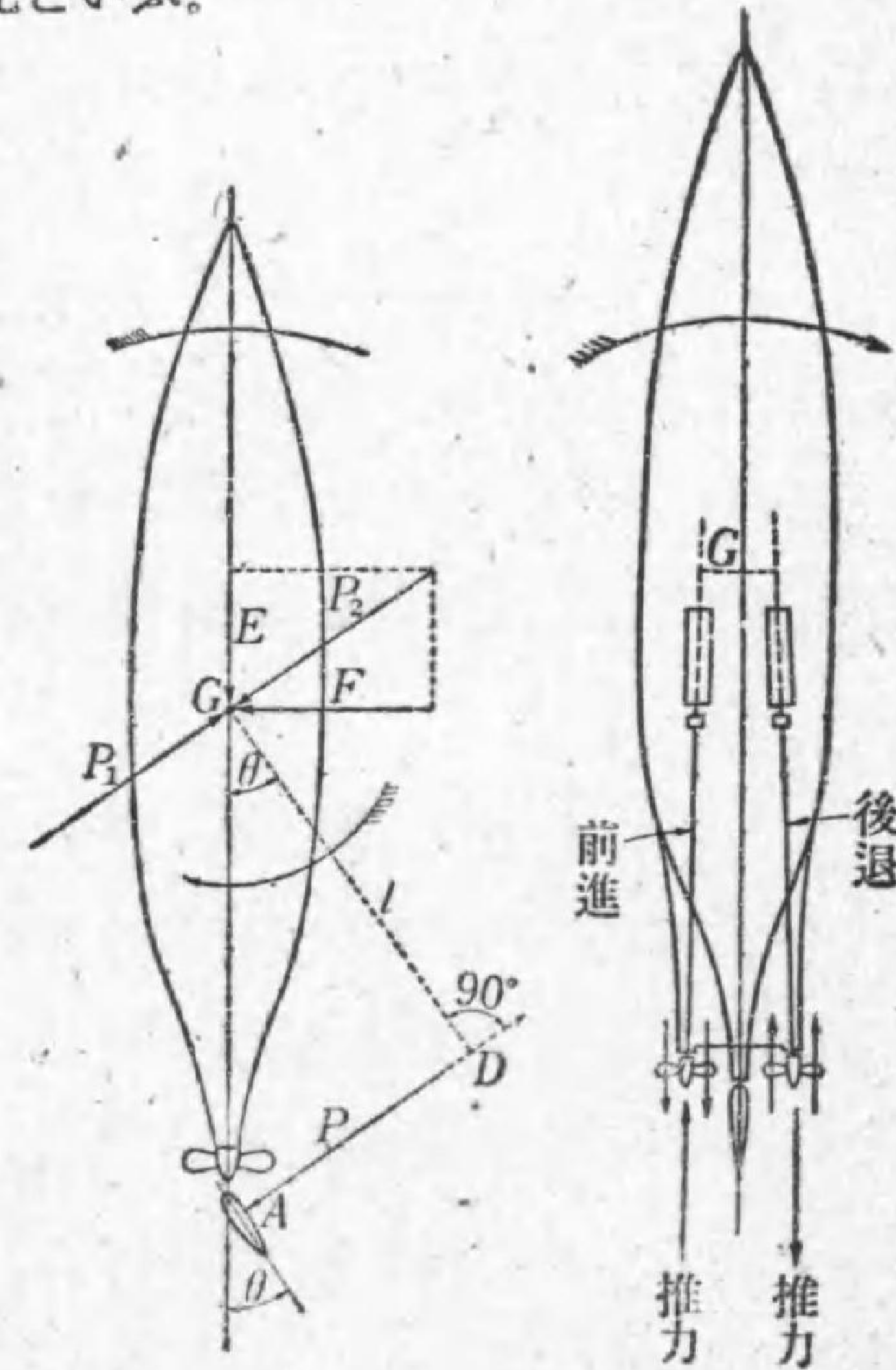
回轉してゐれば見掛失脚流があるので、船が殆ど前進してゐない場合でも舵で船を旋回させることができる。

(問題) 舵角 $\theta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ の場合の P の作用点の位置を求めよ。

2. 舵の旋回作用

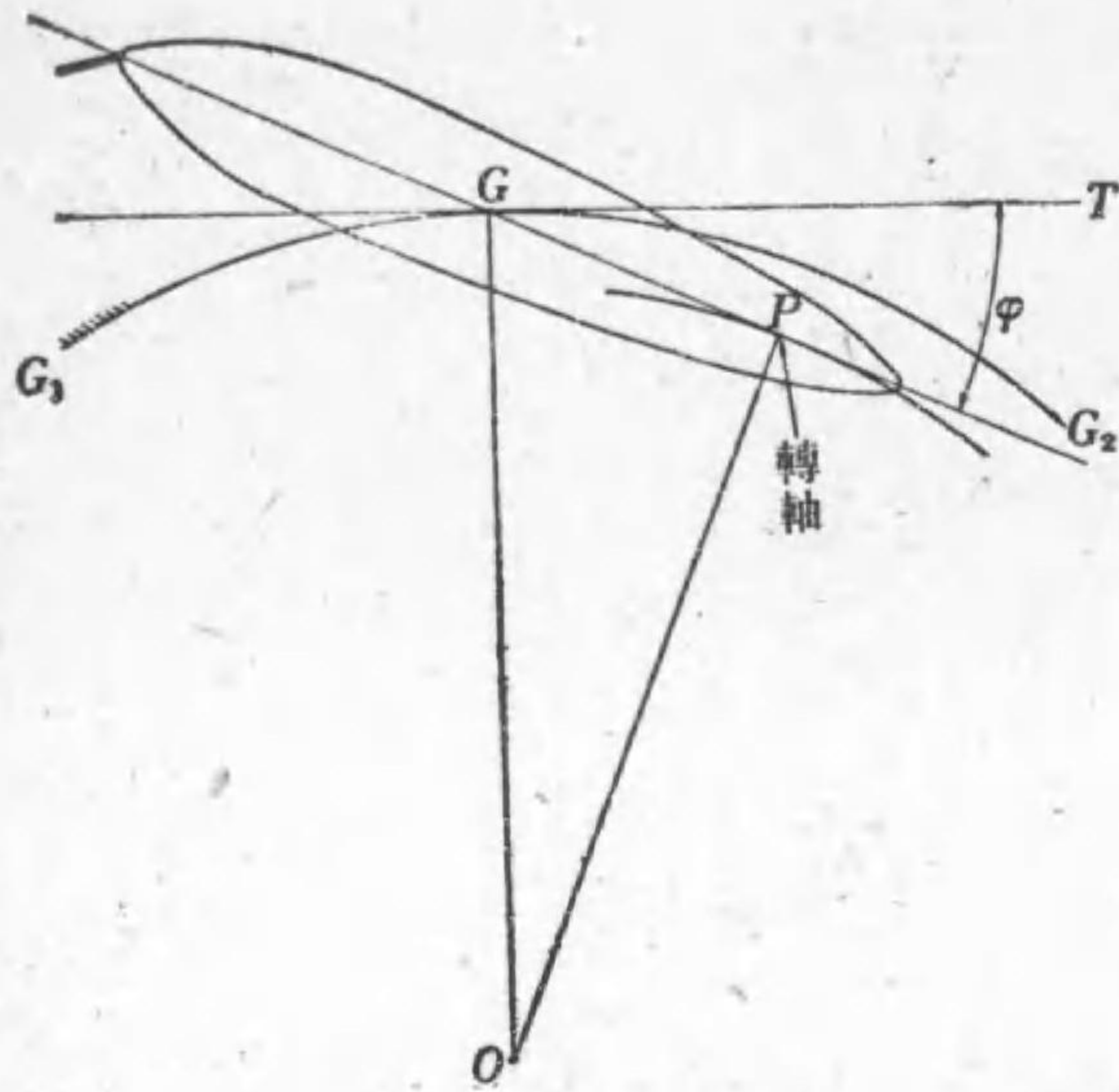
第 10.2 圖のやうに、舵の後端が右舷側にくるやうに轉舵し、船を右舷側に旋回させるのを面舵といひ、その反対側に旋回させるのを取舵といふ。

前進してゐる船を第 10.2 圖のやうに面舵 θ とすると、舵の A 點に垂直圧力 P が作用する。今船の重心 G 點に、 P の作用線と平行で且つ P の値と等しい力 P_1, P_2 の二つを互ひに反対方向へ作用させたと考へても、船の運動には變りがない。 P と P_1 とは平行



第 10.2 圖
船の旋回

第 10.3 圖
推進器による旋回



第 10・5 圖

中心として回轉してゐるやうに見えるので、この P 點を轉軸といふ。轉軸は大體船の中央から $\frac{L}{3}$ ぐらゐ前方にある。旋回の始めには轉軸が船首よりも前方にくるこ

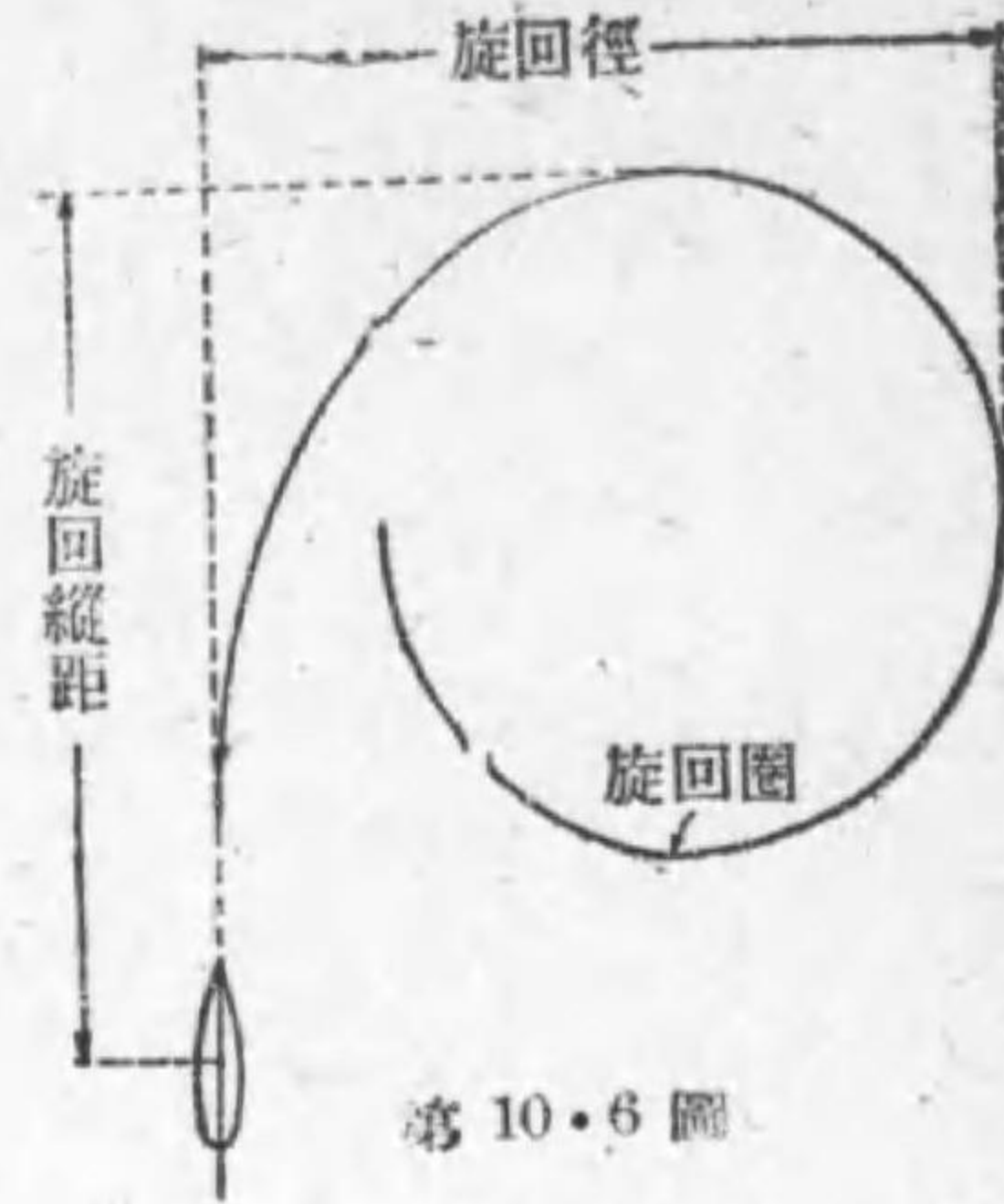
とがある。

旋回圈を實測するには、第 10・4 圖のやうに旗を立てた筏が大體中心にくるやうにその周圍を旋回する。船首と船尾との 2 點 a, b に角度の目盛をした水平圓板を置き、その上を回轉する見透器みとほしきによつて絶えず筏をねらひ、船の中心線に對する方位角を讀みとる。a, b 間の距離を正確に測定しておけば筏に對する船の位置を知ることができる。

舵をとり始めたときの船の位置及び船の針路と時間とを基準とし、羅針盤の指針が 45° 即ち 4 點廻る毎に合圖をして方位角と時間とを測り、船が 32 點の旋回を終るまで行なへばその旋回圈と旋回中の速さの變化を求めることができる。こ

れから旋回縦距と旋回徑とが測定できる。船の旋回圈を求めた場合、第 10・6 圖のやうに簡単に測つて旋回縦距と旋回徑とにとることがある。

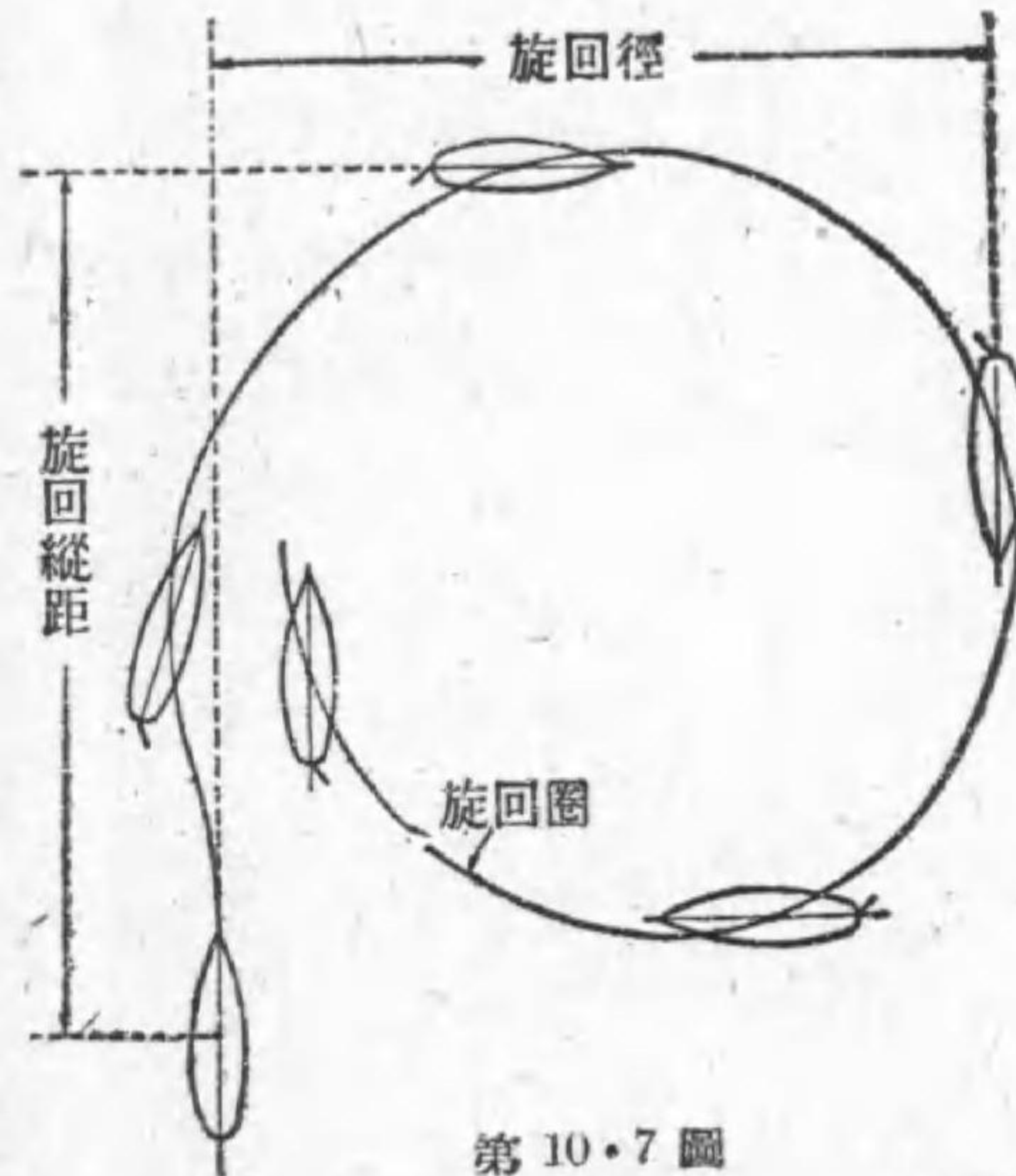
船の幅に比べて長さや吃水とが比較的少い太型の船は、横方向の運動に對する抗抗が



第 10・6 圖

比較的少いから、第 10・2 圖の分力 F による横方向運動が目だつてくる。殊に短時間で最大舵角までの轉舵ができる船では、その旋回圈は第 10・7 圖のやうになる。

旋回徑は、商船では普通船の長さ



第 10・7 圖

の 4.5 倍である。

4. 舵の面積

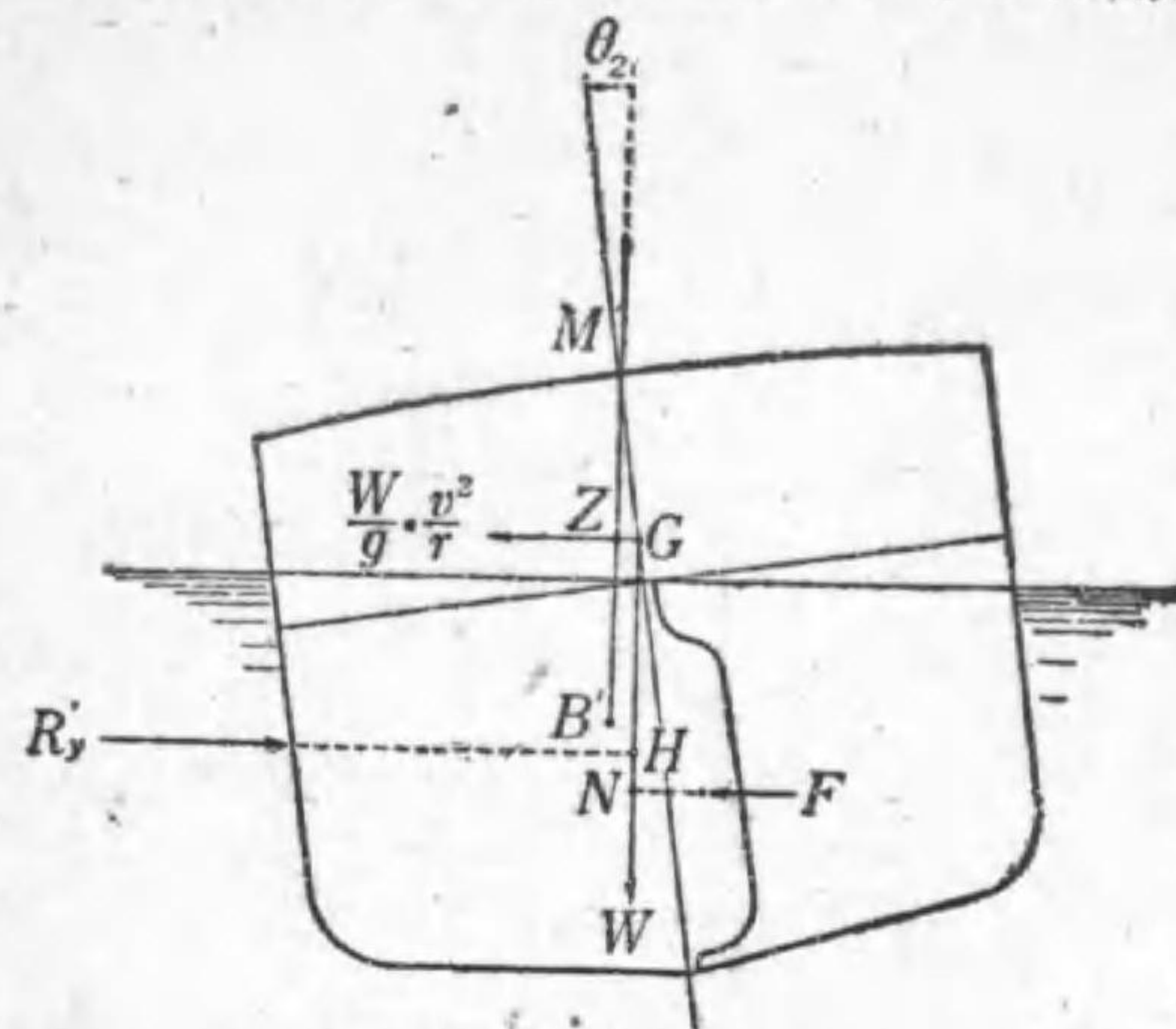
舵の面積 $A(m^2)$ は、船の前後垂線間の長さを $L(m)$ 、吃水を $d(m)$ とすれば一般に次の値が用ひられる。

貨物船 $A = \frac{1}{60} \sim \frac{1}{70} \cdot L \cdot d$ 大型高速客船 $A = \frac{1}{50} \sim \frac{1}{55} \cdot L \cdot d$

舟艇 $A = \frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \cdot L \cdot d$ 曳船 $A = \frac{1}{25} \cdot L \cdot d$

5. 旋回中の船の横傾斜

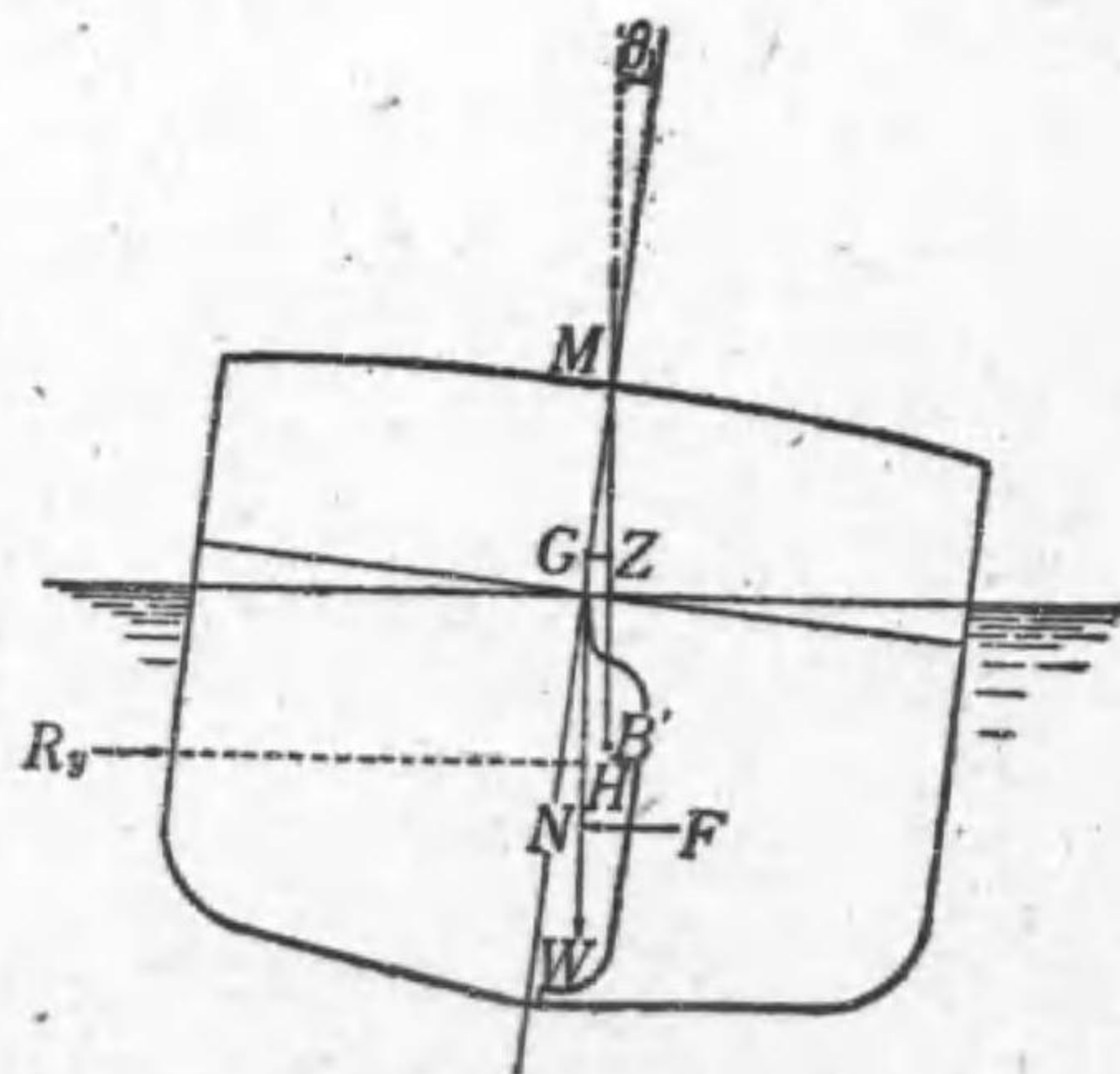
直進中の船が、第 10・8 圖のやうに面舵をとつた場合に働



第 10・8 圖 旋回の始め

く舵の横方向水平分力を F とすれば、 F で船は横方向に押され、水の抵抗力 $R_y = F$ が作用する。特殊の船で舵が下方にあつて速さが大きければ、 F は R_y よりも下方に働いて

その値が大きいかから、右舷側即ち内側に傾斜する。この傾斜角を θ_1 とすれば、重心 G の周りのモーメントの釣合を考へて次の関係が得られる。



第 10・9 圖 旋回の中頃

$$W \cdot \overline{GM} \sin \theta_1 = F \cdot (\overline{GN} - \overline{GH}) = F \cdot \overline{HN} \dots (10 \cdot 3)$$

しかしこの関係は最初の間だけで、船が次第に旋回を始めて円形運動をするやうになれば、第 10・9 圖のやうに遠心力が重心に働いて、左舷側即ち外側へ傾斜する。

水の抵抗力 R_y' は F と遠心力との和に等しい。船の速さを v (m/s)、排水量を W (t)、旋回の半径を r (m) とすれば遠心力は $\frac{W}{g} \cdot \frac{v^2}{r}$ (t) である。力をすべて t で表せば次の式が得られる。

$$R_y' = F + \frac{W}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \dots (10 \cdot 4)$$

重心の周りのモーメントの釣合を考へれば、外側への傾斜角を θ_2 として

$$W \cdot \overline{GM} \cdot \sin \theta_2 = R_y' \cdot \overline{GH} - F \cdot \overline{GN} \\ = \left(F + \frac{W}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \right) \cdot \overline{GH} - F \cdot \overline{GN}$$

$$\text{即ち } W \cdot \overline{GM} \cdot \sin \theta_2 = \frac{W}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \cdot \overline{GH} - F \cdot \overline{HN} \dots (10 \cdot 5)$$

の関係が得られる。右邊の第 2 項は他項に比べて一般に無視されるほど小さい。又 H はほぼ吃水の中央にあつて重心は水線の近くにあるから、 \overline{GH} は大體吃水 d の $1/2$ とみなしてよい。故に (10・5) 式は次のやうになる。

$$\sin \theta_2 \doteq \frac{1}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \cdot \frac{d/2}{\overline{GM}} \dots (10 \cdot 6)$$

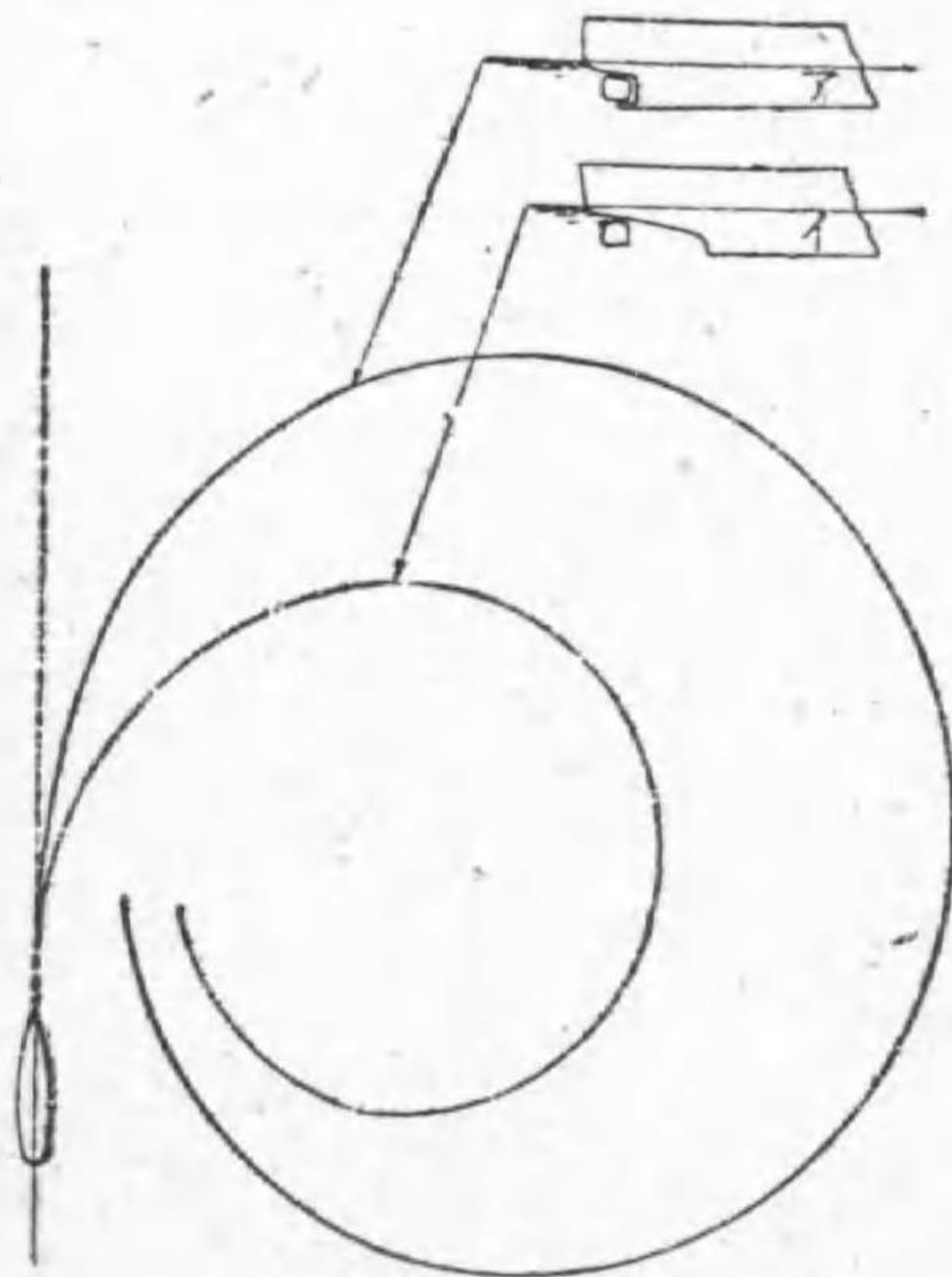
重心が水線面からずつと離れてゐる場合は、 $\frac{d}{2}$ の代りに \overline{GH} を用ひなければならない。

船の速度を V (ノット)とすれば(8・1)式の関係がある。又 $g=9.8(m/s^2)$ であるから、これらを(10・6)式に入れば

$$\sin \theta_2 \doteq 0.0135 \frac{V^2}{r} \cdot \frac{d}{GM} \dots\dots\dots(10\cdot7)$$

になる。随つて旋回中の傾斜角 θ_2 を計算することができる。傾斜角は、速さの 2 乗に比例し、旋回径と傾心高に逆比例することがわかる。

(問題) 長さ 200 m の或る船の旋回径は、その長さの 3.5 倍で、吃水は 6 m、傾心高は 0.95 m である。速さ 30 (ノット) で直進中から旋回した場合の外側への横傾斜角度を求めよ。但し旋回中



第 10・10 圖 船型と旋回性能

の半径は旋回径の 1/2 とみなし、旋回中の船の速さは旋回前よりも 15% 低くなるものとする。

6. 船型と旋回性能

船の旋回中は第 10・5 圖でわかるやうに、偏角が 0 の轉軸の附近以外は水流が斜に當るから旋回に對する抵抗を生ずる。この力は轉軸 P から遠くなる

ほど大きい。随つて第 10・10 圖のやうに、船尾に力材のある船⑦に比べて、力材のない④船は旋回に對する抵抗が非常に少いから、兩船の旋回圈を比べると④船の方が遙かに小さくなる。

船首部の形狀に就いてもこれと同様の影響がある。

結 言

船舶計算は廣い範圍にわたつてゐる。これまでに學んだのは主に基礎的な事からに就いてである。

われわれは、實地の仕事にたづさはつた場合は、今までに學んだ知識を活用して造船に努めると共に、常に數學・物象などに關する學力を高め、實際上の技術の錬磨と理論上の知識の向上とに努力しなければならない。

船舶計算に關する諸計算のうちでも、特に排水量計算表による計算と排水量曲線圖の作成とは、造船の第一歩であり、又一番大切な基本計算でもあるから十分に理會しておくことが大切で、これによつて復原力計算も進水計算も容易に會得することができる。



昭和 21 年 6 月 8 日 印 刷
昭和 21 年 6 月 22 日 發 行

船舶計算 2

不許複製

(定價 2 圓 90 錢)

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 水谷三郎
東京都麹町區五番町五番地

印刷者 大日本印刷株式會社(東京一)
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
東京都麹町區五番町五番地
(假事務所) 東京都日本橋區通三丁目八番地
振替東京 1 8 3 2 6 0 番

714N-44

特217

88

終