

復 原 性 能

海上自衛隊幹部候補生学校

班 番号 氏 名

HP『海軍砲術学校』公開資料

目

次

船体形状に関する定義	1
載荷状態に関する定義	4
復原モーメント	7
メタセンター	10
復原力曲線	15
きつ水変化と復原性	19
復原力交叉曲線	23
重心移動と復原性	26
トリム	40
自由表面	47
自由通水	53
重心試験	58
浸水	65
固定傾斜	74

船体型状に関する定義

1 主要寸法等

(1) 計画水線 (IWL)

ア 計画常備状態におけるきつ水線。

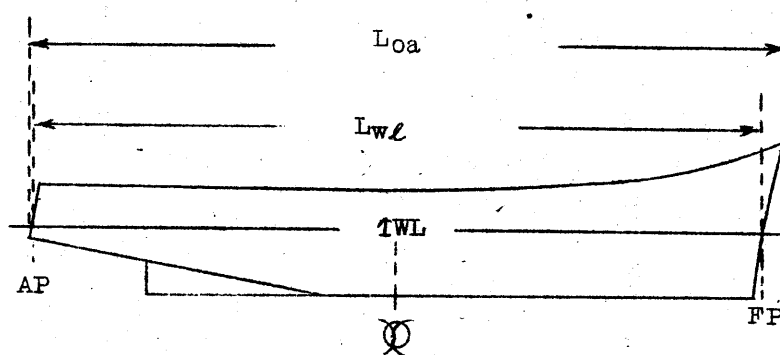
イ 完成時と異なることあり。

(2) 前部垂線 (FP)

↑ IWLと船体最前端との交点を通り IWLに直角な線

(3) 後部垂線 (AP)

↑ IWLと船体最後端との交点を通り IWLに直角な線



(4) 長さ

ア 水線長 (L_{wl})

前・後部垂線間の距離

イ 全長 (L_{oa})

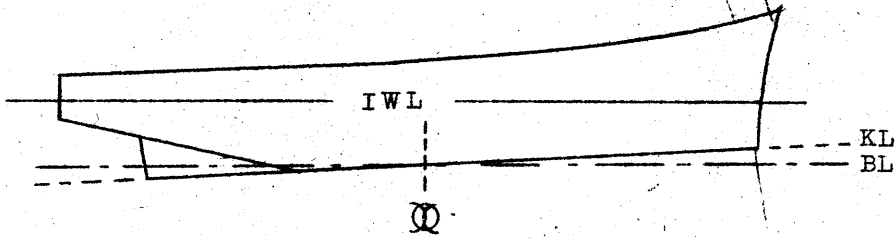
船体最前端から最後端までの距離

(5) ミッド・シップ (\ominus)

APとFPの中央

HP『海軍砲術学校』公開資料

(6) ベース・ライン (BL)

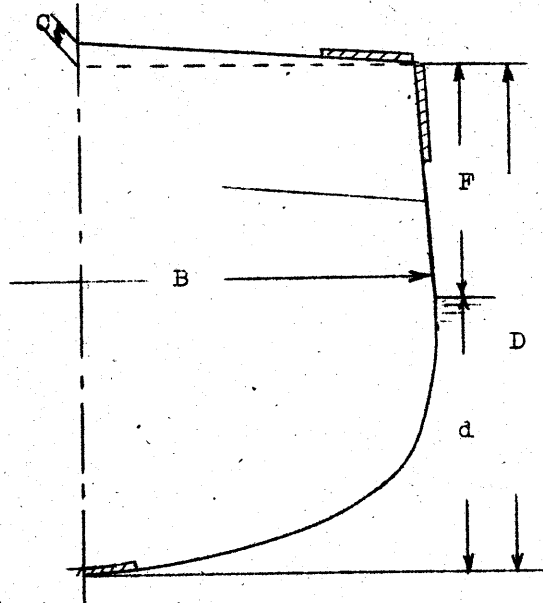


○において、キール下面を通り IWL に平行な線

(7) キール・ライン (KL)

○で、キール下面の平坦部を前後部に延長した線

(8) 横断面形状



ア 幅 (B)

最大横断面において、フレーム外面からフレーム外面まで。

イ 深 さ (D)

最大横断面において、BL から上甲板側線まで。

ウ きつ水 (d)

KL から水線まで。

エ キャンバー (C)

甲板中心線における高さ、甲板端における高さの差

オ タンプル・ホーム

外げんの内曲り

カ フレア-

HP『海軍砲術学校』公開資料

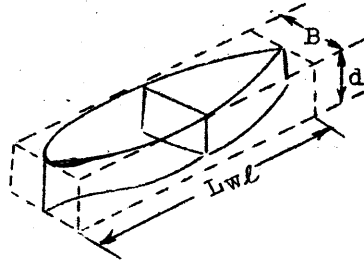
(9) シャー

前後方向における甲板高さの差

2 形状係数

$L \cdot B \cdot D \cdot d$ 等が同一であつても太さ、細さその他の性能は異なる。
計画又は設計上の比較資料とする。

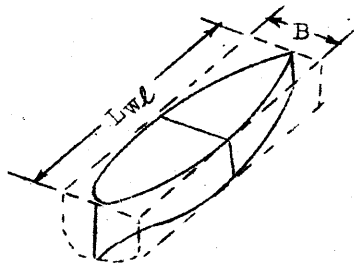
(1) 方形肥瘠係数 (C_b)



$$C_b = \frac{V}{L \cdot B \cdot d}$$

V : 水線下容積

(2) 柱形肥瘠係数 (C_p)



$$C_p = \frac{V}{A_0 \cdot L}$$

A_0 : 中央横断面面積

	L	B	D	d	C_p	C_b	速力	機関馬力
あまつかぜ	128	13.4	8.55	4.17	0.618	0.505	34	60,000
てるづき	115	12.0	8.5	4.05	0.624	0.516	32	45,000
みずとり	59	7.1	4.38	2.29	0.612	0.476	21	3,800
かさど	46	8.4	3.9	2.3	0.586	0.440	14	1,200
はまな	120	15.7	8.6	6.3	0.64	0.62	16	5,000

HP『海軍砲術学校』公開資料

載荷状態に関する定義

1 容積で示す船の大きさ

(1) 測度甲板

ア 1層又は2層の全通甲板→上甲板

イ 3層以上の全通甲板 →下から2層目

(2) 総トン数(G・T)

ア $G \cdot T = (\text{測度甲板下の容積})$

(" 上 ")

+) (上甲板上のその他囲まれた部分の容積)

イ 除外する場所

(ア) 錨鎖庫以外の甲板補機室

(イ) 2重底及びフレーム間

(ウ) 機関室・操舵室・艙室

(エ) 船楼及び甲板室で規定の開口を持つ部分

(オ) 遮浪甲板

ウ 単位

$$1 G \cdot T = 100 \text{ ft}^3 = 2.832 \text{ m}^3$$

(3) 純トン数(N・T)

ア 貨客を載んで直接利益を挙げ得る部分の容積

イ G・Tから差引く部分

(ア) 船員常用室・通路・階段・海図室

(イ) 脚荷水槽

(ウ) 水夫長倉庫・帆庫

(エ) 船舶運航に必要な場所

(4) 運河トン数

ア 運河通航料の基準

イ スエズ・パナマ運河トン数

2 重量で示す船の大きさ

(1) 排水トン数(W)

- ア 船の重さそのもの
- イ 水線下容積と同体積の水の重さ

(2) 重量トン数(D/W)

- ア 満載排水量と軽荷排水量の差
- イ 実際に積載可能な最大限の重量

3 自衛艦の各種載荷状態

(1) 軽荷状態

- ア 完成時の状態
- イ 含まれる主要物
 - (ア) 船体構造・防御材・ぎ装斉備品
 - (イ) 固定バラスト
 - (ウ) 機 関
 - (エ) 武器並びに電波測的及び航海機器
 - (オ) 短艇(とう載燃料を含まず)及び救命具
 - (カ) 図書・治療品・被服等
 - (キ) 工具予備品類等
- ウ 除外物件
 - (ア) 消費物件
 - (イ) 他船への補給物件
 - (ウ) ひん繁に変動する物件

(2) 消費状態

- ア 就航中に現われると予想される復原性不良の状態
- イ 長期間海上で実力行動に従事した後に現われると予想される状態
- ウ 軽荷状態のほかに、一般消費物件を満載状態に比し $\frac{1}{2}$ 消費した状態

(3) 常備状態

- ア 消費物件を大略 $\frac{1}{2}$ 消費した状態
- イ 実力行動開始直前の状態
- ウ 損傷に対し、最良の抵抗状態にあるように液体の量及び分布を考慮し

HP『海軍砲術学校』公開資料

たもの。

(4) 満載状態

ア 計画満載の状態

イ 他船への補給用物件，一般貨物も計画全量とう載。

(5) 復原性能最悪状態

ア 消費状態になお余裕のある船舶で，保安上許される保有量の最低値。

イ 消費物件の使用標準は，大略消費状態に準ずるが，燃料・真水・潤滑油・予備水・糧食は，同一比率で限界まで使用する。

ウ 復原性能説明書に記載し，限界を明示

エ 本状態を越え消費物件を消費するときは，代償として「海水バラスト」等をとう載しなければならない。

(6) 各種状態の比較

	軽 荷	消 費	常 備	満 載	基 準
あまつかぜ	2847	3332	3733	4075	3050
てるづき	2126	2609	2962	3255	2350
みずとり	381	479	471	498	420
かさど	298	320	323	346	340
はまな	2767	5379		7550	2900

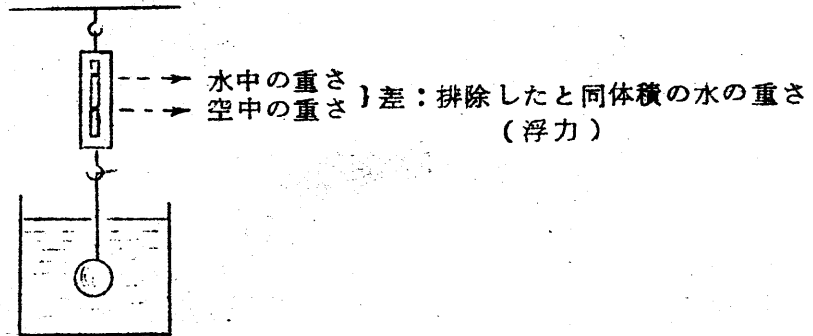
	G・T	N・T	W	D/W
貨物船	100	62	210	170
貨客船	100	59	170	90
純客船	100	50	110	20

復原モーメント (RM)

1 浮力

(1) アルキメデスの原理

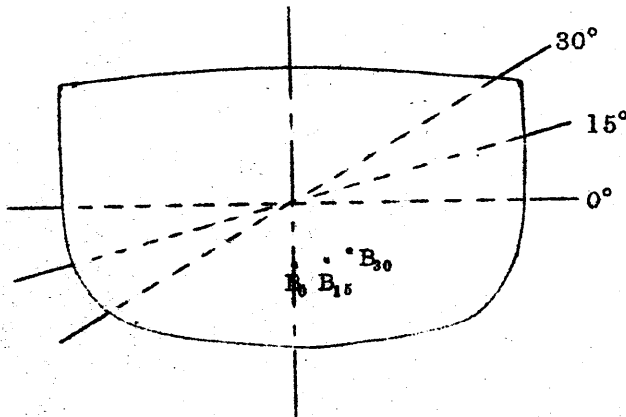
- ア 水中にある物体は、水中容積と同体積の水の重さだけ軽くなる。
- イ 排除したと同体積の水の重さに等しい浮力を受ける。



$$\text{水中の重さ} = \text{空気中の重さ} - \text{浮力}$$

(2) 浮心 (B)

- ア 浮力が作用する中心
- イ 水線下の形の中心
- ウ 水線下の形が変れば位置も変る。



2 排水量 (W)

(1) 船に作用する浮力

- ア 船の水線下容積と同体積の水の重さ。
- イ 船の重さと浮力が等しいとき、船は静に浮ぶ。
- ウ 排除したと同体積の水の重さは、船の重さそのものである。

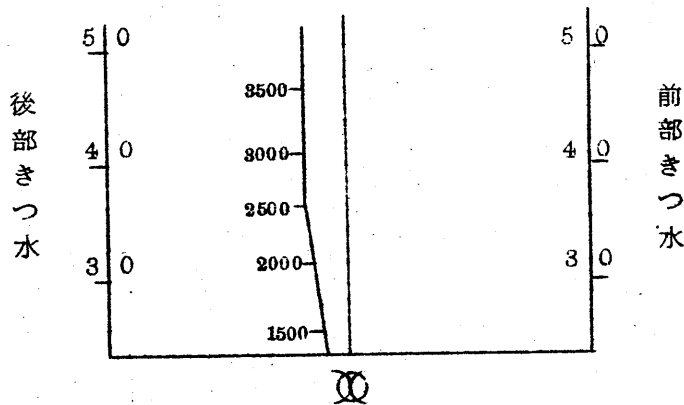
$$\text{排水量} = \text{排水容積} \times \text{海水密度}$$

$$(W) \quad (V) \quad (\rho)$$

$$\rho : 1.025 \text{ ton}/m^3$$

(2) ドラフト・ダイヤグラム

- ア 船の排水量は水線下容積が判れば決定できる。
- イ 水線下容積は、きつ水により一定
- ウ 前後部きつ水から排水量を読み取る。



3 浮体のつり合

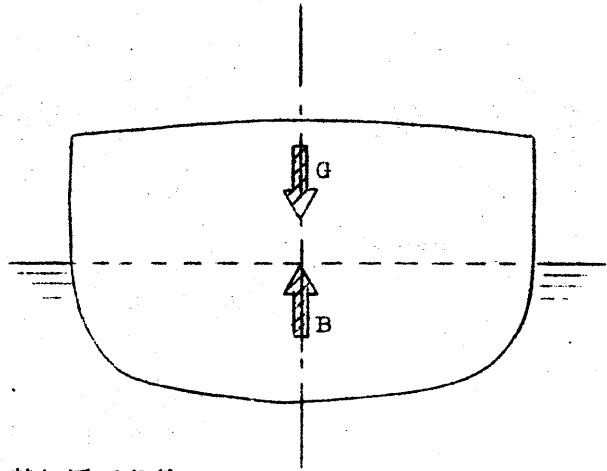
(1) 力のつり合

- ア 大きさ等しく向き反対
- イ 浮力 = 排水量

HP『海軍砲術学校』公開資料

(2) モーメントのつり合

- ア 任意の一点に対するモーメントの総和は零とならなければならない。
- イ 力が2箇だけの時は、作用線が重なる。
- ウ 重力と浮力は同一鉛直線上に重なる。



(3) 船が静に浮ぶ条件

- ア 重力（排水量）=浮力
- イ 向き反対
- ウ 作用線は重なり合う
- エ 重心と浮心とは同一鉛直線上になる。

4 復原性

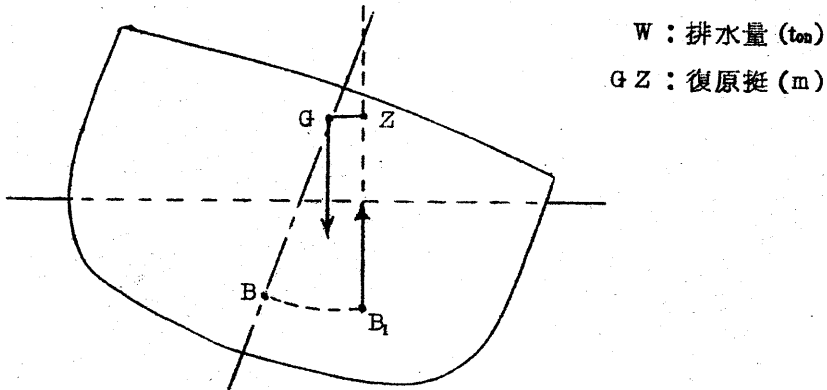
(1) 船が傾斜した場合

- ア 水線下形状変化 → 浮心移動
- イ 重量分布は不変 → 重心不動
- ウ 重力と浮力は、大きさ等しく、向きは反対であるが作用線がずれて来る。
- エ 重力と浮力は偶力を形成し、回転力を発生

(2) R・Mの大きさ

ア 偶力の大きさ = 力 × 2 力間の距離

イ $R \cdot M = W \times GZ$



W : 排水量 (ton)

GZ : 復原挺 (m)

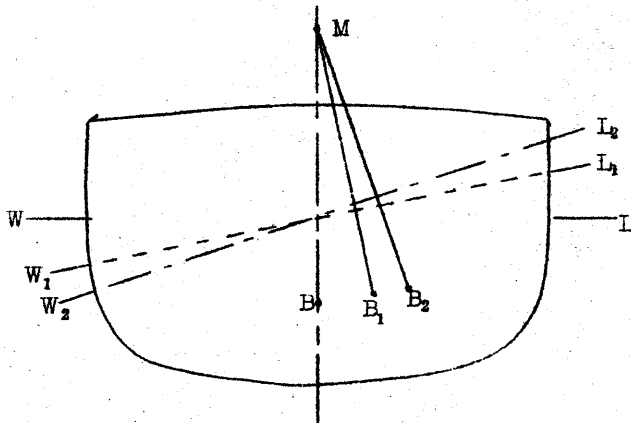
メタセンター (M)

1 定義

(1) 広義の定義

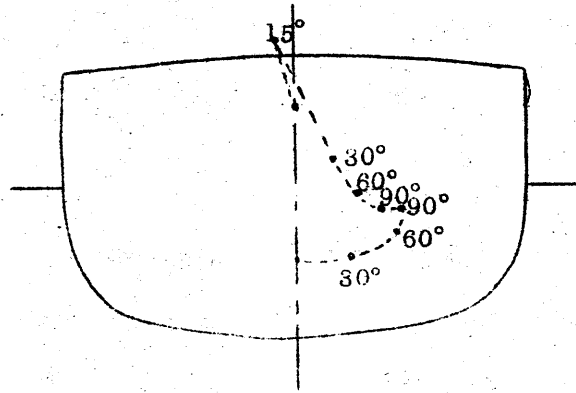
ア 傾斜角が僅に变化したとき、その前後における浮力作用線の交点

イ 浮心軌跡の曲率中心



ウ 傾斜角の変化とともにその位置も変る。

エ 各傾斜角における浮力作用線は必ず対応するメタセンターを通る。



(2) 狭義の定義

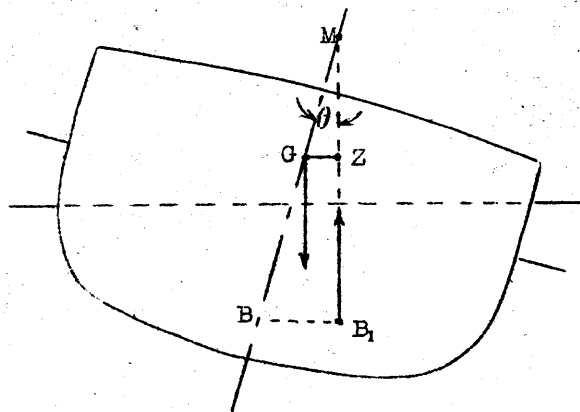
- ア 傾斜角小なる間 ($0 \sim 7^\circ$) メタセンターは中心線上一定点にとどまる。
- イ 初期メタセンターまたは単にメタセンターという。
- ウ $0 \sim 7^\circ$ の間の浮力作用線は、初期メタセンターを通る。

2 メタセンター高さ (GM)

(1) 意義

- ア 重心と初期メタセンターとの距離
- イ 復原性能の良否を示す代表的なもの。

(2) 初期復原力



ア G Z

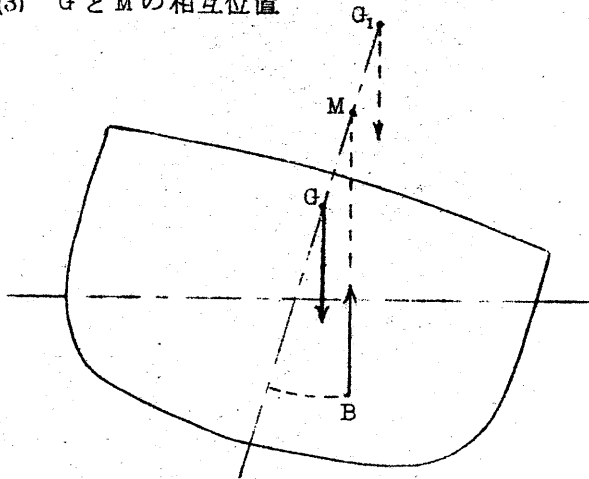
$$G Z = G M \sin \theta \quad (\text{ただし, } \theta = 0 \sim 7^\circ)$$

イ R M

$$\begin{aligned} R M &= W \cdot G Z \\ &= W \cdot G M \cdot \sin \theta \quad (\theta = 0 \sim 7^\circ) \end{aligned}$$

ウ メタセンターが中心線上にある間, R M は G M に正比例

(3) G と M の相互位置



ア G が M より下

- (ア) 復原モーメント
- (イ) + G M

イ G が M より上

- (ア) 転覆モーメント
- (イ) - G M

(4) 復原性能上 G M の意義

- ア メタセンターは, ある排水量に対しては一定 (ドラフトダイアグラム)
- イ G M は, 重心位置によつてのみ定まる.
- ウ G M は, 初期復原力の要素だけではない.
- エ G M は, 復原性能全域にわたる示標である.

HP 『海軍砲術学校』公開資料

(5) GMの概略値

	軽荷	消費	常備	満載
あまつかぜ	1.13	1.44	1.61	1.63
てるづき	0.78	1.02	1.16	1.17
いそなみ	0.66	0.87	1.05	1.07
みずとり	0.68	0.76	0.76	0.77
かさど	1.10	1.10	1.10	1.10
はまな	1.28	1.06		1.39

単位：m

完成時，自由水無視

	総トン数	軽荷	満載
貨物船	1,500 ~ 5,000	1.6 ~ 3.0	0.4 ~ 1.0
	5,000 ~ 10,000	1.6 ~ 3.8	0.4 ~ 1.1
貨客船	2,000 ~ 5,000	0.6 ~ 2.2	0.5 ~ 1.1
	5,000 ~ 17,000	0.5 ~ 1.8	0.6 ~ 1.2
油槽船	200 ~ 3,000	1.0 ~ 2.5	0.8 ~ 1.2
	7,000 ~ 10,000	3.0 ~ 4.0	1.6 ~ 2.2
漁船	20 ~ 1,000	0.3 ~ 0.8	0.5 ~ 0.8

(6) 動揺周期

ア 静水中の自動揺

$$T = \frac{C \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

T：動揺周期 sec

B：船の幅 m

C：定数

$$\begin{cases} C \doteq 0.80 & \leftarrow m \\ C = 0.443 & \leftarrow \frac{1}{t} \end{cases}$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

1 動揺周期実測例

	排水量	幅	GM	周期
あまつかぜ	3,770	13.4	1.41	9.22
てるづき	2,962	12.0	1.16	9.20
いそなみ	2,095	10.7	1.05	8.66
みずとり	471	7.1	0.77	6.80
かさど	323	8.4	0.93	6.55
はまな	7,550	15.7	1.35	11.2

復原力曲線

1 傾斜角とGZ

(1) 傾斜角約7°未満

ア メタセンターはほぼ一定点

イ $GZ = GM \sin \theta$

(2) 傾斜角約7°以上

ア メタセンターは中心線からそれる。

イ 計算は出来ない。

ウ 図面を用い、^各傾斜角に対するGZの値を求める。

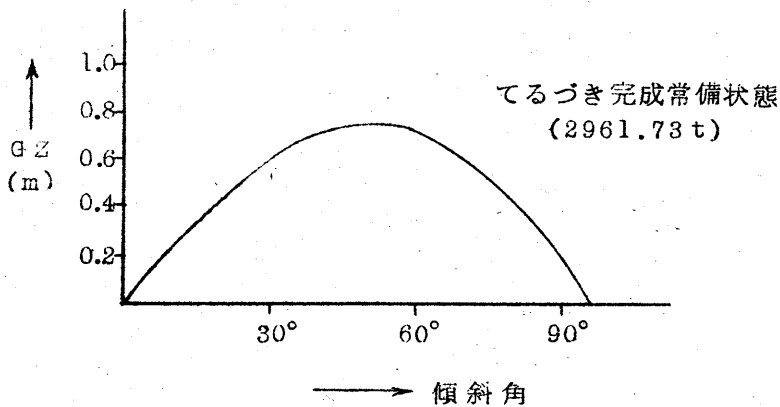
(3) 復原力曲線

ア $R \cdot M = W \times GZ$

イ 船が傾斜しても、排水量は一定

ウ R・Mは、一定Wに対してはGZに比例

エ R・Mに代えGZの変化を表にしたものを静的復原力曲線または単に復原力曲線という。

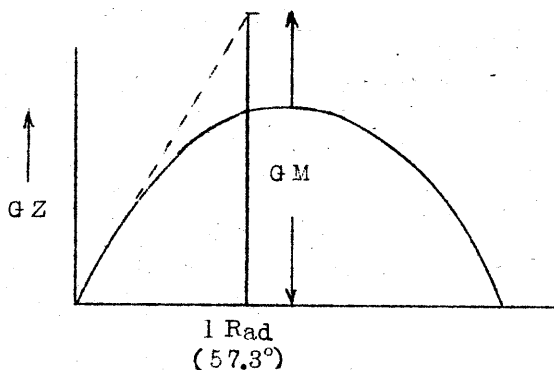


オ GZ曲線の大小のみでは、RMの大きさを比較できない。

2 復原力曲線の要素

(1) GM

ア 復原力曲線の 0° に対する接線と、傾斜角の軸における 1 Rad (57.3°) に立てた垂線との交点の高さは GM を表わす。



参考： $GZ = GM \sin \theta$

$$\frac{d}{d\theta}(GZ) = GM \cos \theta$$

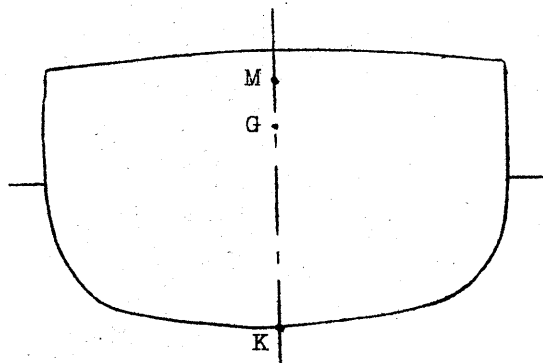
$$\frac{d}{d\theta}(GZ) \theta = 0 = GM$$

イ 応用法

(ア) 実際に 0° における接線の作図は非常に困難

(イ) GM は、計算により求め得る。

$$GM = KM - KG$$



KM：ドラフトダイヤ
グラムによる。

KG：与えられた状況

HP 『海軍砲術学校』 公開資料

(ウ) 復原力曲線を描く場合、計算によりあらかじめGMを求めておき、接線となるべき線を引いておく。

(エ) 復原力曲線の0°付近のカーブが、上記接線と一致する如く描く。

(2) 最大復原挺 (GZ_{max})

(3) 最大復原挺を生ずる角度 ($\theta_{GZ_{max}}$)

実用上の傾斜角限度

(4) 復原範囲 (θ_R)

ア 静水中の理論的傾斜角限度

イ 重 働力・浮力以外の力は作用せず、重心は移動しないと考えたとき。

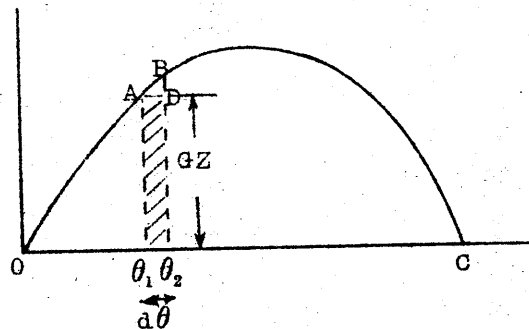
(5) 動的復原力 (D・S)

ア モーメントの仕事

$$[\text{仕事}]_{t-m} = [\text{モーメント}]_{t-m} \times [\text{回転角度}]_{\text{rad}}$$

イ 任意の角度だけ船を傾けるに要する仕事量

$$W \times GZ \times (\theta_2 - \theta_1) \\ = W \cdot GZ \cdot d\theta$$



$$(\because \theta_1 AB \theta_2 \div \theta_1 AD \theta_2)$$

θ_1 と θ_2 の間に復原力曲線が占める面積に等しい。

HP『海軍砲術学校』公開資料

ウ 全動的復原力

(7) 船を転覆させるに要する仕事量

(1) 単に動的復原力と言つた場合はこれを示す。

$$D \cdot S = W \times (\text{復原力曲線の占める面積})$$

W : 排水量

復原力曲線の占める面積

$$: G Z_{(m)} \times d\theta (\text{Rad})$$

ゆえに [m] · [Rad]

単に [m] で示される。

エ 復原性能の良否

復原性能の良否は、単に復原力曲線の要素を比較するのみでは不可。

船を転覆させるに必要な仕事量はいくら必要か。すなわち船の抵抗力は何メートルであるかとの $D \cdot S$ が最も重要な示標となる。

HP『海軍砲術学校』公開資料

きつ水変化と復原性能

1 予備浮力 (R・B)

(1) 定義

- ア 水線上の水密部分と同体積の海水重量
- イ きつ水が増加した場合の浮力増加量
- ウ 「トン数」で示す。

(2) 艦艇性能上の意義

- ア 損傷時の復原性能の要因
- イ 平時に、重量増加を防止する必要あり
増加重量 = 予備浮力減少量
強度・速力・復原力の低下を来す。

(3) 重量増加した場合の影響例

		G & M (m)	G Z _{max} (m)	θ_R (度)	R・B (ton)	基準排水量 (ton)
はるかぜ	竣工時	0.93	0.51	83.2	2,832	1,700
	改造時	0.88	0.49	81.0	2,777	
ゆきかぜ	竣工時	0.92	0.50	81.9	2,837	1,700
	改造時	0.87	0.47	80.0	2,770	
いかづち	竣工時	0.82	0.49	94.1	1,691	1,070
	改造時	0.76	0.46	90.7		
いなづま	竣工時	0.81	0.48	101.0	1,692	1,070
	改造時	0.77	0.46	93.9	1,672	

(4) 重量増加の原因

	修理関係	需品関係	不明重量
はるかぜ	13 ton	14 ton	28 ton
ゆきかぜ	10 ton	8 ton	34 ton
いかづち	5 ton	-1 ton	11 ton
いなづま	4 ton	3 ton	13 ton

ア 修理関係

(ア) 代償重量の処理

(イ) 正規^規の手続きによらない工事(不明重量ともなる)

イ 需品関係

(ア) 定数変動時の手続き未済

(イ) 要交換物件の返納

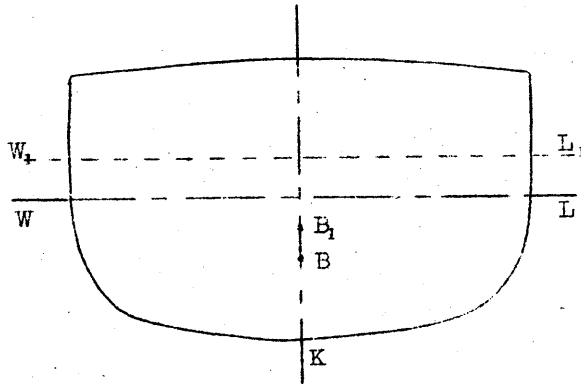
(ウ) 不要物件の除去

ウ 不明重量

(ア) 塗料の2重・3重塗り

(イ) 不当な荷物の持込み

2 基線上浮心高さ(KB)



(1) 直立状態にある船のBL上CBまでの高さ

(2) きつ水変化と共に値も変る。

3 メタセンター半径(BM)

(1) 浮心上メタセンターまでの距離

(2) 傾斜角小なる間

ア BはMを中心とする円周上を動く。

イ BMはその半径となる。

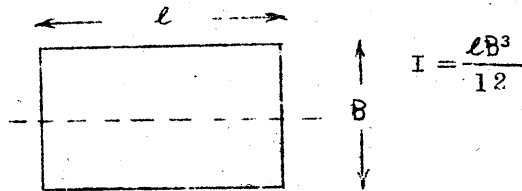
HP 『海軍砲術学校』 公開資料

(3) BMの値

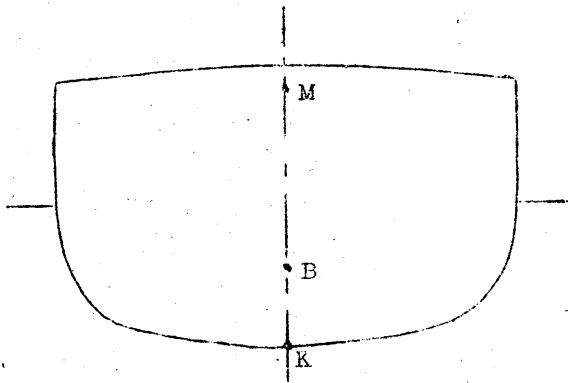
$$BM = \frac{I}{V}$$

I : 水線面の傾斜軸に対する慣性モーメント (m⁴)
 V : 排水容積 (m³)

(4) 矩形の慣性モーメント



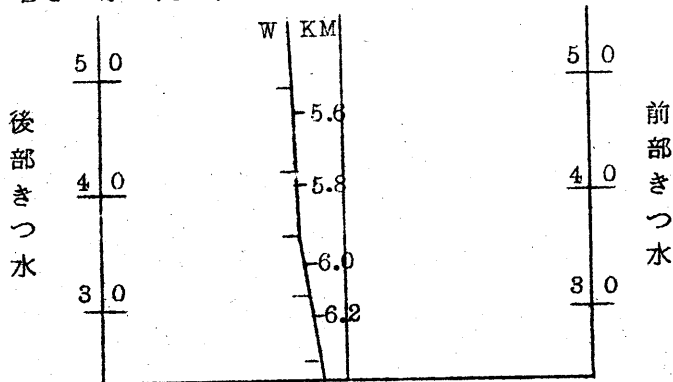
4 基線上メタセンター高さ (KM)



$$KM = KB + BM$$

$$= KB + \frac{I}{V}$$

- (1) 船の外型及びきつ水のみで定まる。
- (2) 一定の船に対しては、きつ水が定まれば算出可能
- (3) 各きつ水に対し、図表として準備



HP『海軍砲術学校』公開資料

演

習

1 $L \cdot B \cdot D \cdot (d) = 30 \cdot 15 \cdot 5$ (3)mの箱型バージにつき、下記事項を求めよ。

(海中)

(1) 排水量

(2) $K B$

(3) $B M$

(4) $K M$

2 一辺の長さ a の正方形断面を有する、比重 0.5 の均質木材が清水中でその一側面を水平にして浮くときは、不安定であり、その角を真下にして浮くときは、安定な釣合いになることを示せ。

復原力交叉曲線

1 復原挺の要素 (GZ に影響を与える事項)

(1) 傾斜角 (θ)

船体が傾斜すれば

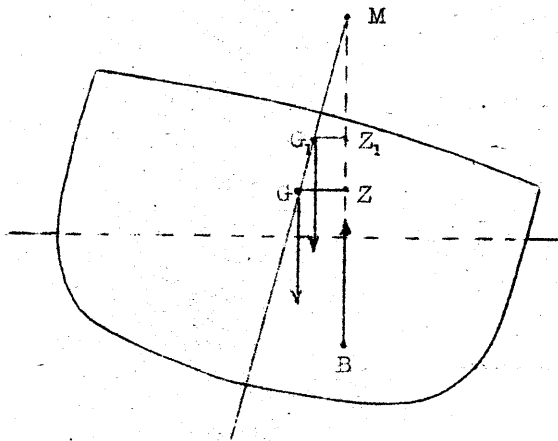
ア 水線下形状変化

イ 浮心移動

ウ GZ 変化

静的復原力曲線として表示

(2) 重心位置 (G)



傾斜角及び排水量一定とし、重心のみが上下した場合

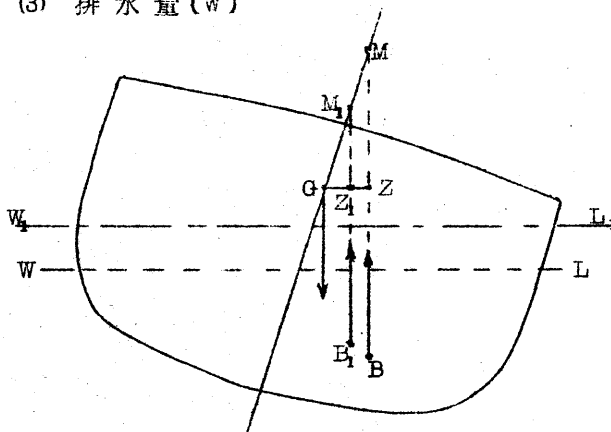
ア 水線下形状不変

イ 浮心位置不変

ウ 重心の作用線のみ移動

エ $GZ \rightarrow G_1Z_1$

(3) 排水量 (W)



傾斜角及び重心位置一定とし、排水量のみが変化した場合

ア 水線下形状変化

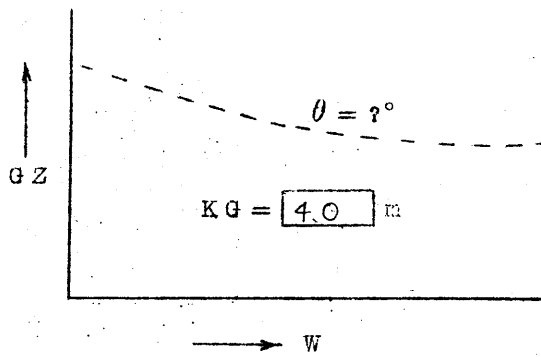
イ 浮心移動

ウ GZ変化

エ 浮心移動の向きは、船体の外形によつてのみ定まる。

オ 「W-GZ曲線」

(カ) 重心位置を一定とし、任意の傾斜角につき、Wに対するGZを画いたもの。



2 復原挺曲面

(1) $GZ = f(\theta, g, w)$.

ア θ, g, w 3者の関数

イ 4次元となり表示不能

(2) 重心位置一定と仮定

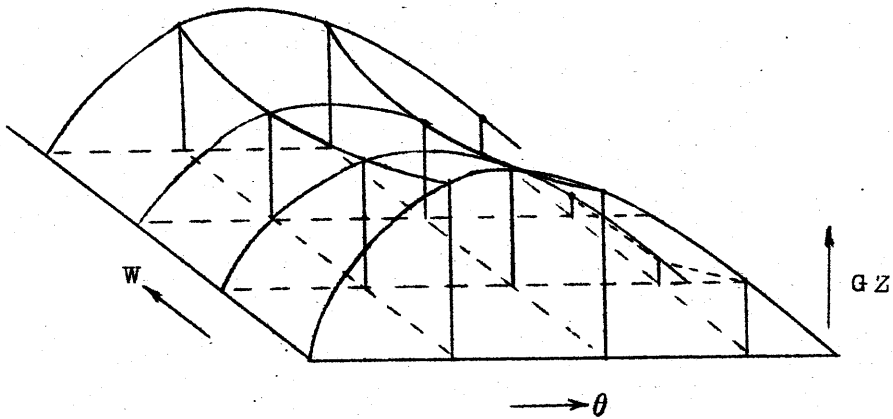
ア $G : \text{const}$

イ $GZ = f(\theta, w)_{G: \text{const}}$

ウ 横軸: w

縦軸: θ

垂直軸: GZ



- エ 傾斜角側から見るとき，復原力曲線
- オ 排水量側から見るとき， $W-GZ$ 曲線

3 クロスカープ・オブ・スタビリティイ

(1) 定義

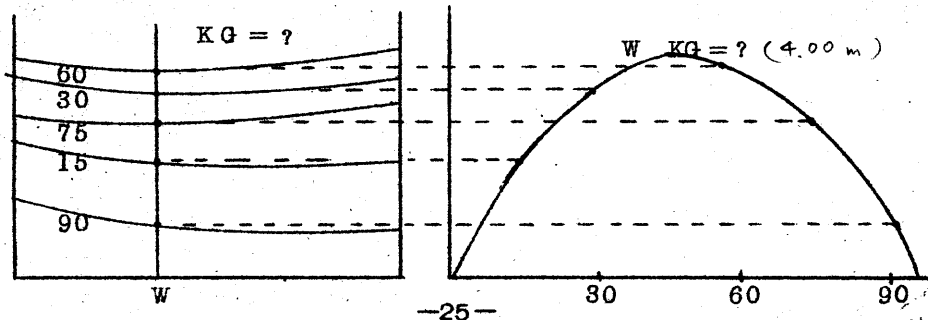
- ア あらゆる傾斜角に対し， $W-GZ$ 曲線を描いたもの。
- イ 復原挺曲面の排水量側からの投影図

(2) 使用目的

一定の重心位置に対し，あらゆる排水量の復原力曲線を求める。

(3) 使用法

- ア 所要の排水量に垂線を立てる。
- イ 各傾斜角に対する GZ をプロット
- ウ 復原力曲線の対応する点に転記
- エ 各点を滑らかな線で結ぶ。



重心移動と復原性

1 重量移動と全重心の移動

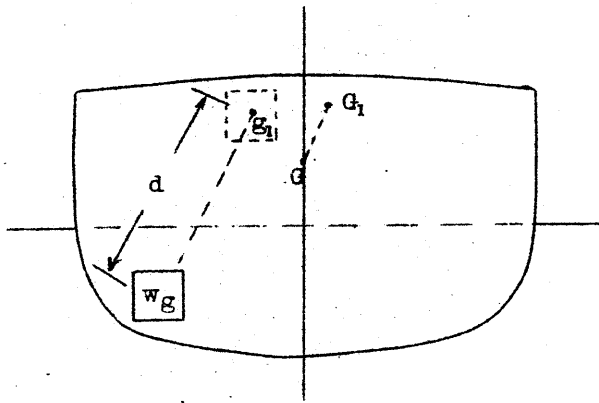
艦内で重量物移動を行なった場合

(1) 移動の前後に、排水量は不変

(2) 全重心の移動

ア 移動重量と平行かつ同じ向き。

イ 移動量



$$GG_1 = \frac{w \cdot d}{W}$$

$$GG_1 \parallel Gg_1$$

W : 排水量 (ton)

w : 移動重量 (ton)

d : 移動距離 (m)

2 重心の上下移動と復原性

(1) GM

ア 艦内で重量物を移動した場合、排水量（水線下の形状）不変

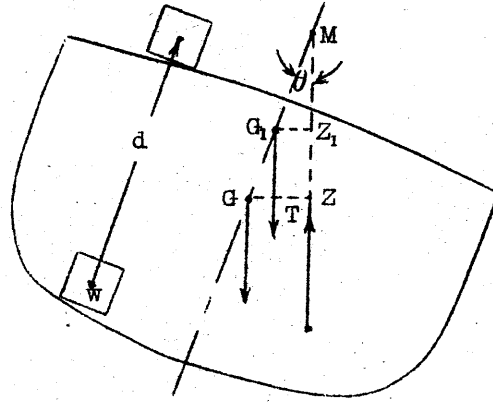
イ メタセンター位置不変

ウ GMの変化は、重心位置の上下移動量に等しい。

(ア) G 上昇 GM 減少

(イ) G 下降 GM 増加

(2) GZ



ア w を垂直上方
 d だけ移動

$$G G_1 = \frac{w \cdot d}{W}$$

イ GZ は $G_1 Z_1$
 に変化

$$\begin{aligned} G_1 Z_1 &= GZ - GT \\ &= GZ - GG_1 \sin \theta \end{aligned}$$

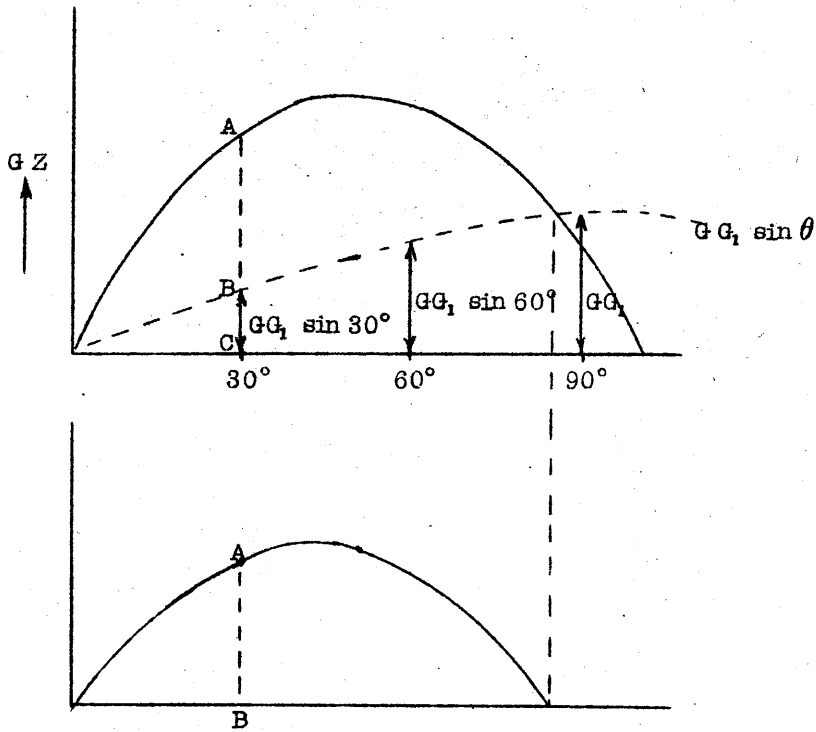
ウ 重心降下の場合

$$\begin{aligned} G_1 Z_1 &= GZ + GT \\ &= GZ + GG_1 \sin \theta \end{aligned}$$

(3) 復原力曲線の変化

ア 各角度において、復原挺 GZ は重心上昇量にその傾斜角度の \sin を乗じた分だけ減少する。

イ 修正法



$AC : GZ$

$BC : GG_1 \sin \theta$

$AB : G_1 Z_1$

$AB = AC - BC$

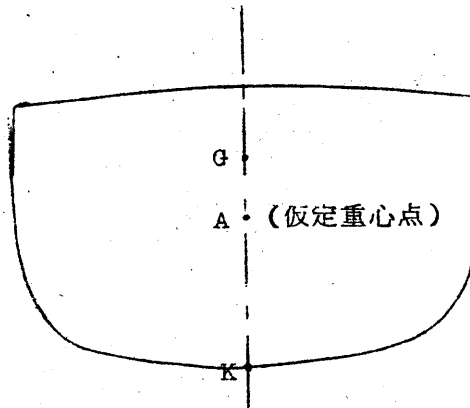
(4) クロス・カーブえの修正

ア クロス・カーブから得たGZカーブは、^心仮定重量高さに対するもの

$$\therefore GZ = f(w, \theta)_G; \text{const}$$

イ 実際の高さとの差を修正

ウ 修正法



(ウ) $KG > KA$

$$- AG \sin \theta$$

(イ) $KG < KA$

$$+ AG \sin \theta$$

3 重心の横移動と復原性

(1) GM

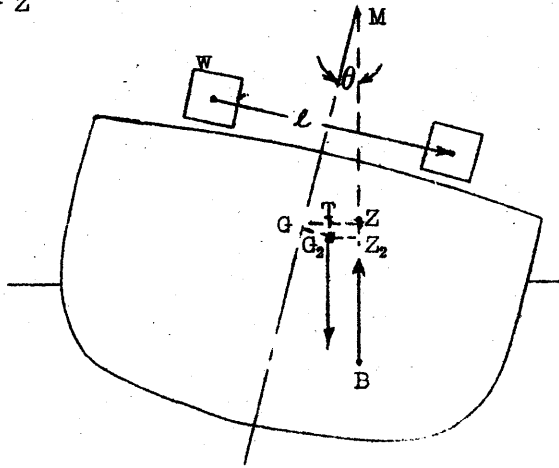
ア 重心の横移動による船体傾斜は微少で、省略し得るものと考えた場合

Mの位置は不変

イ Gが横移動した場合でも、GとMとの垂直距離は変わらない。

ウ GMは、単に直立時についてのみ考えればよい。

(2) GZ



ア W を l だけ真横に移動
重心 G は G_2 に移動

$$GG_2 = \frac{w \cdot l}{W}$$

イ GZ は G_2Z_2 に変化

$$\begin{aligned} G_2Z_2 &= GZ - GT \\ &= GZ - GG_2 \cos \theta \end{aligned}$$

ウ 反対舷に傾斜の場合は増加することになる。

LIST (固定傾斜) を発生

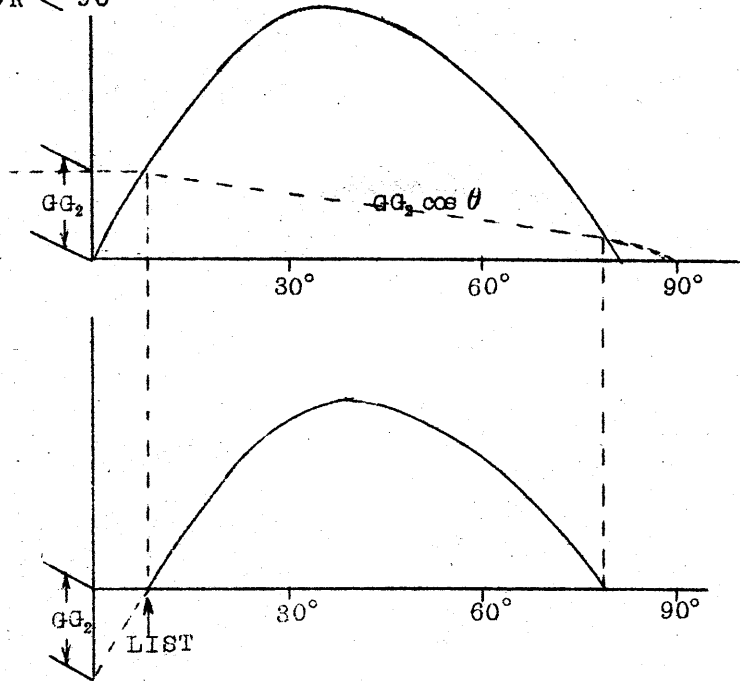
(3) 復原力曲線の変化

ア 各角度において、復原艇 GZ は重心の横移動量にその傾斜角度の \cos を乗じた分だけ減少する。

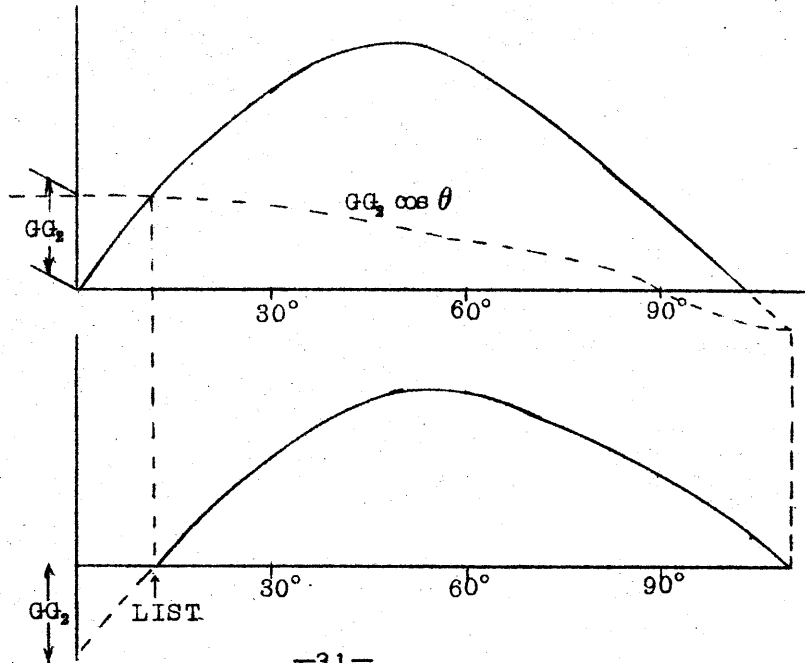
HP 『海軍砲術学校』 公開資料

1 修正法

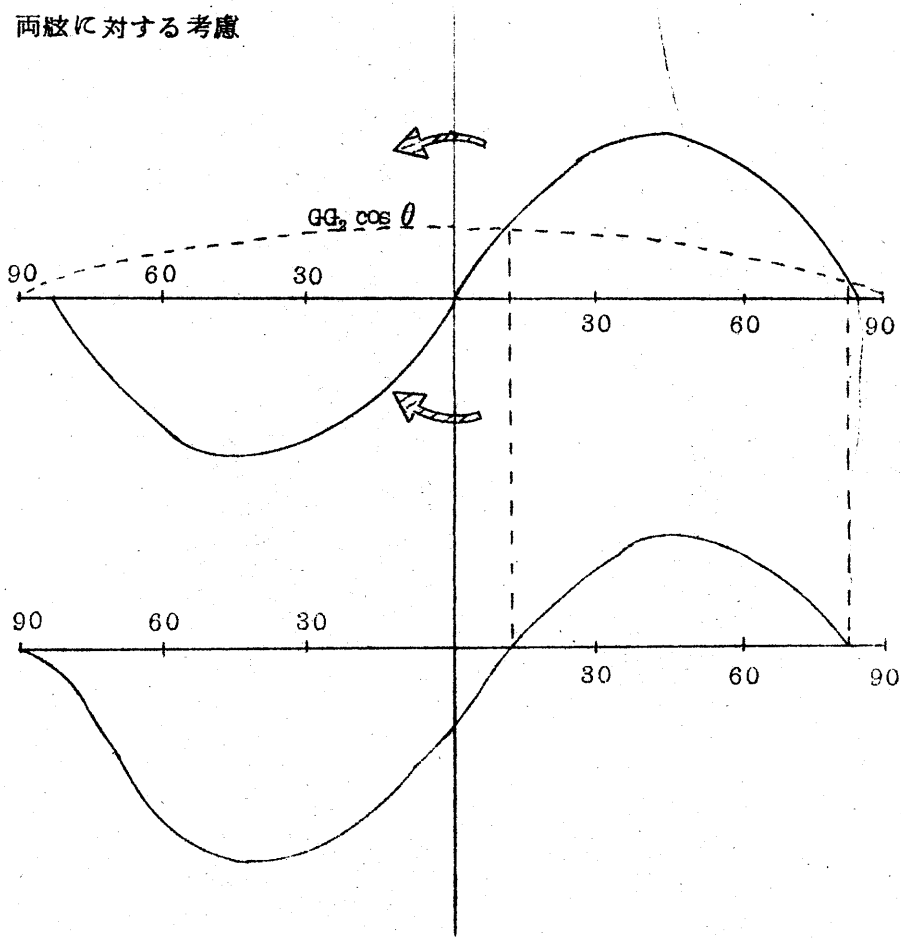
(a) $\theta_R < 90^\circ$



(b) $\theta_R > 90^\circ$

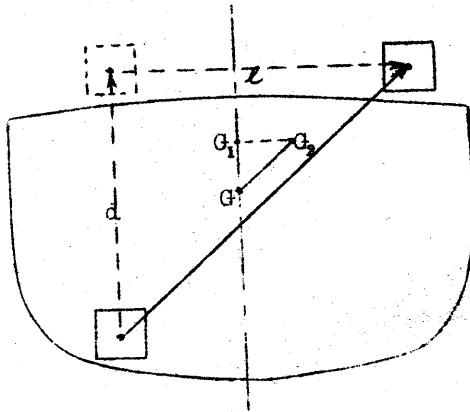


(4) 兩舷に対する考慮



- ア 重心が移動した舷の復原力は減少するが、その反対舷においては増加する。
- イ 復原力が減少する方の舷を考える必要がある。
- ウ 垂直移動の場合は、 \sin 曲線のため両舷とも等分に減少する。

4 重心の斜め移動と復原性



(1) 重心の移動

ア 垂直・水平の2方向の移動に別けて考える。

イ 前兩者を合成，全重心の新しい位置を算出

(1) 垂直移動量

$$GG_1 = \frac{w \cdot d}{W}$$

(2) 横移動量

$$G_1G_2 = \frac{w \cdot z}{W}$$

(2) 復原力曲線の変化

ア 垂直移動に対する修正

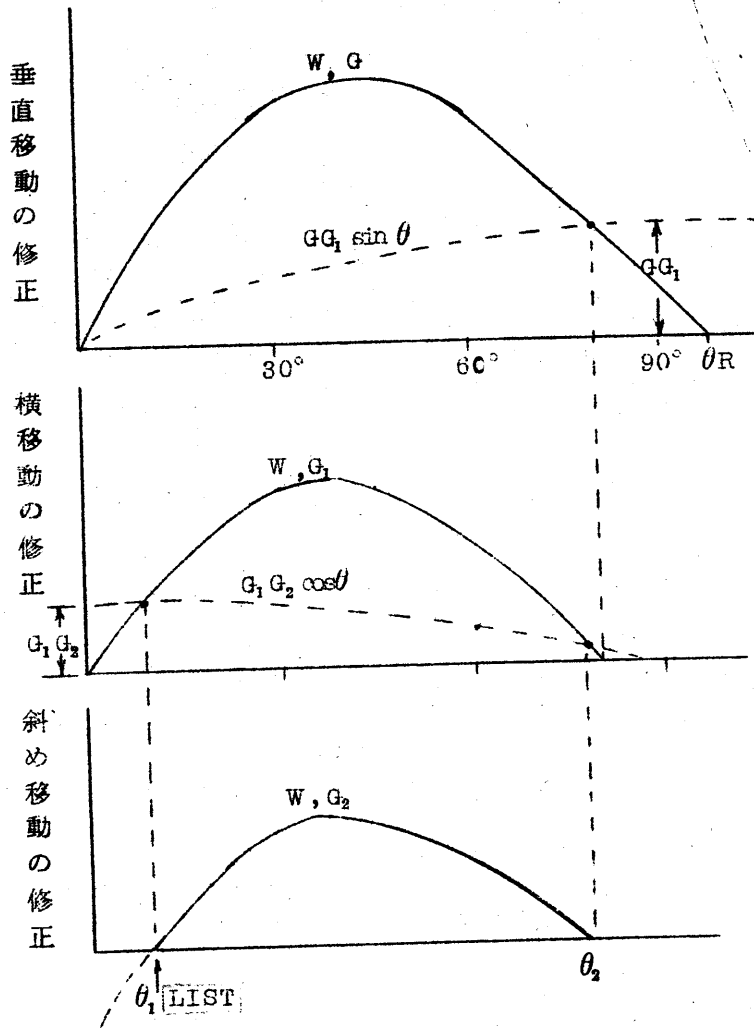
(1) 重心点Gの復原力曲線上に $GG_1 \sin \theta$ 曲線を重ねる。

(2) $(GZ) - (GG_1 \sin \theta)$ の曲線を求める。

イ 横移動に対する修正

(1) $(GZ - GG_1 \sin \theta)$ 曲線上に $G_1G_2 \cos \theta$ 曲線を重ねる。

(2) $\{(GZ - GG_1 \sin \theta) - G_1G_2 \cos \theta\}$ 曲線を求める。



ウ GM

GMは、垂直移動の際 GG_1 だけ減少
横移動の際は、変化なしと考える。

エ 復原範囲

$0 \sim \theta_R$ が、 $\theta_1 \sim \theta_2$ に変化

5 重量付加（除去）と復原性

(1) 重量増加の影響

- ア きつ水・排水量 → 増加
- イ $K B$ → 上昇
- ウ ~~$K M$~~ → ~~大体増加の傾向~~
- エ $G M$

$$G M = (K B + B M) - K G$$

各々の要素により変化不定

(2) 復原性能を変化させる要素

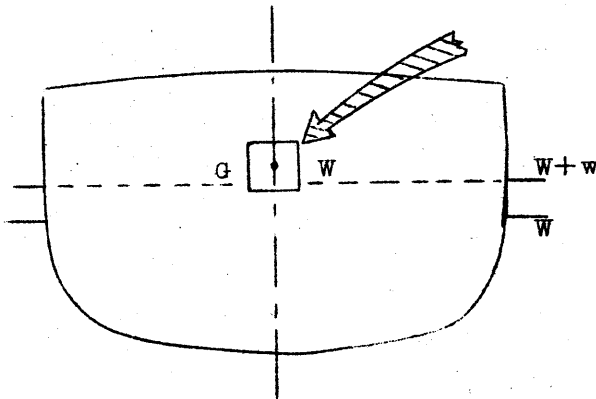
- ア 排水容積
- イ 水線面の慣性モーメント
- ウ 重心位置 → 影響最も大

(3) 重量付加計算法 ($\frac{1}{2}$)

- ア 付加重量の重心と全重心と一致してとう載

きつ水・排水量 → 増加

重心位置 → 不変



- イ とう載前の重心点から所要の点まで移動したと考える。

きつ水・排水量 → 不変

重心位置 → 移動

ウ 重心移動量

$$G G_1 = \frac{w \cdot d}{(W + w)}$$

w : 付加重量

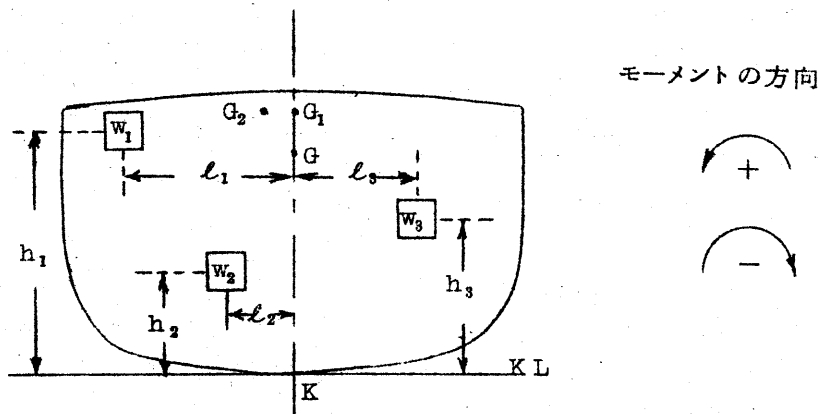
W : 付加前の排水量

d : 付加前の重心と付加点との距離

(4) 重量付加計算法 ($\frac{2}{2}$)

ア 多数の重量物を同時にとう載する場合、前述の計算式では、重量物一個につき一回あて計算する必要がある。

イ キール・ライン及びセンターライン に対するモーメント計算により一度で新重心位置を求める。



$$K G_1 (W + w_1 + w_2 + w_3) = W \cdot K G + w_1 h_1 + w_2 h_2 + w_3 h_3$$

$$K G_1 = \frac{W \cdot K G + w_1 h_1 + w_2 h_2 + w_3 h_3}{W + w_1 + w_2 + w_3}$$

$$G_1 G_2 (W + w_1 + w_2 + w_3) = w_1 l_1 + w_2 l_2 - w_3 l_3$$

$$G_1 G_2 = \frac{w_1 l_1 + w_2 l_2 - w_3 l_3}{W + w_1 + w_2 + w_3}$$

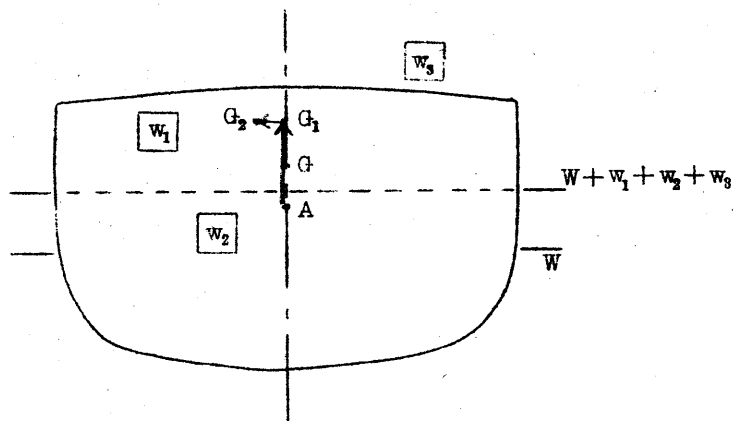
(5) 復原力曲線の作成

ア 基本曲線

排水量 ($W + w_1 + w_2 + w_3 + \dots$)

に対する GZ カurve をクロス・カurve からとる。

イ 重心の垂直移動に対する修正



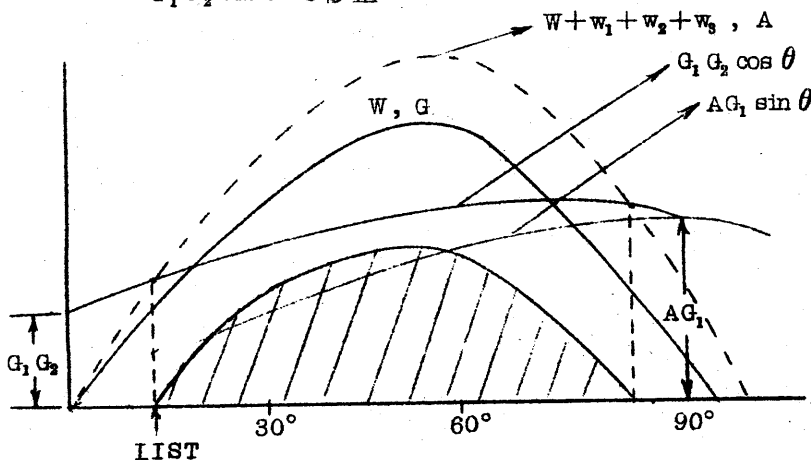
(ア) GG_1 の計算

(イ) GZ 曲線の修正

$$(KG_1 - KA) \sin \theta$$

ウ 重心の横移動に対する修正

$G_1G_2 \cos \theta$ で修正



(6) 重量除去計算法

$$K G_1 \cdot \{ W - (w_1 + w_2 + w_3) \} = K G \cdot W - (w_1 h_1 + w_2 h_2 + w_3 h_3)$$

$$K G_1 = \frac{K G \cdot W - (w_1 h_1 + w_2 h_2 + w_3 h_3)}{W - (w_1 + w_2 + w_3)}$$

$$\mathcal{L} G_1 \{ W - (w_1 + w_2 + w_3) \} = \mathcal{L} G \cdot W - (w_1 l_1 + w_2 l_2 - w_3 l_3)$$

$$\mathcal{L} G_1 = \frac{\mathcal{L} G \cdot W - (w_1 l_1 + w_2 l_2 - w_3 l_3)}{W - (w_1 + w_2 + w_3)}$$

G : 除去前の重心位置

G₁ : 除去後の重心位置

ℒ G : 除去前の中心線からの重心までの距離

ℒ G₁ : 除去後の中心線からの重心までの距離

HP『海軍砲術学校』公開資料

演

習

- 1 護衛艦「てるづき」の排水量 3,000 ton, キール上重心高さ 4.8 m に対する復原力曲線の要素を求めよ。
- 2 護衛艦「てるづき」が排水量 2,800 ton $KG = 4.5$ m のとき, 40 ton の重量物をキール上 9 m の所にとり載した。新しい復原力曲線の要素を求めよ。
- 3 護衛艦「てるづき」が排水量 3,000 ton $KG = 4.7$ m のとき, 下記のごとく重量物をとり載した。新旧復原力曲線の要素を比較せよ。

	とり載重量	キール上高さ	中心線からの距離
w_1	20 ton	8 m	左え 3 m
w_2	30 ton	4 m	左え 2 m
w_3	40 ton	6 m	右え 3 m

ト リ ム

1 トリム変化

(1) トリム

ア 前部きつ水と後部きつ水の差

イ 艦首きつ水 > 艦尾きつ水

艦首トリム (TRIM BY THE BOW)

ウ 艦首きつ水 < 艦尾きつ水

艦尾トリム (TRIM BY THE STERN)

(2) トリムの影響

ア 速 力 低下

イ 推進器 効率低下

ウ 凌波性 艦尾トリムで向上

エ 入渠時 $L/100$ 以下にする

盤木圧潰

船体損傷

オ 復原力 $L/100$ 以下修正不要

(3) 重量移動とトリム

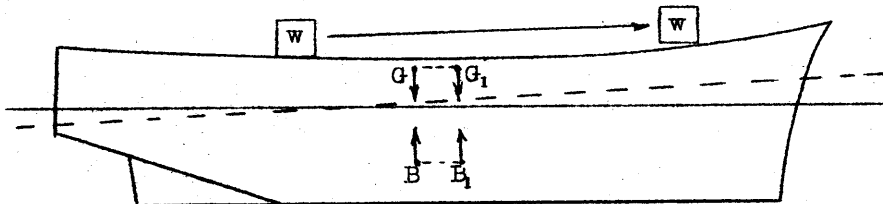
ア 縦方向重量移動

(ア) 横方向と同一原理

(イ) 縦方向に重心移動

(ウ) トリム・モーメント発生

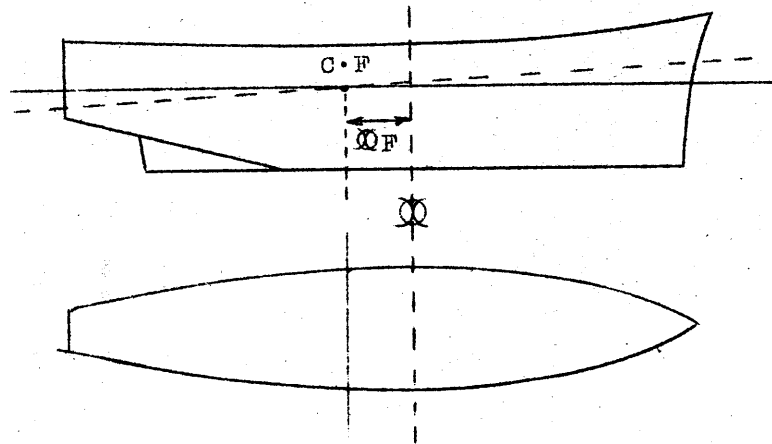
(エ) 重心と浮心が同一鉛直線上になるように水線下形状変化



HP『海軍砲術学校』公開資料

イ 浮面心 (C・F)

- (ア) トリム前後排水量不変
- (イ) 没入部容積 = 露出部容積
- (ウ) 水線面の重心 (面積中心) を通る軸を中心として回転
- (エ) 水線面重心 = 浮面心



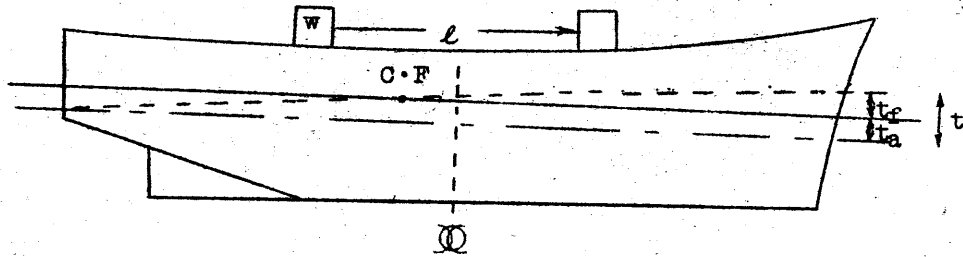
(4) トリム変化 (t)

- ア 前後部きつ水差の変化
- イ 前部きつ水の変化量と後部きつ水の変化量の和
- ウ トリム・モーメントに比例
- エ $M \cdot T \cdot C$

1 cm のトリム変化を発生させるに必要なモーメントの大きさ。

$$t = \frac{\text{トリム・モーメント}}{M \cdot T \cdot C} \quad (\text{cm})$$

HP 『海軍砲術学校』 公開資料



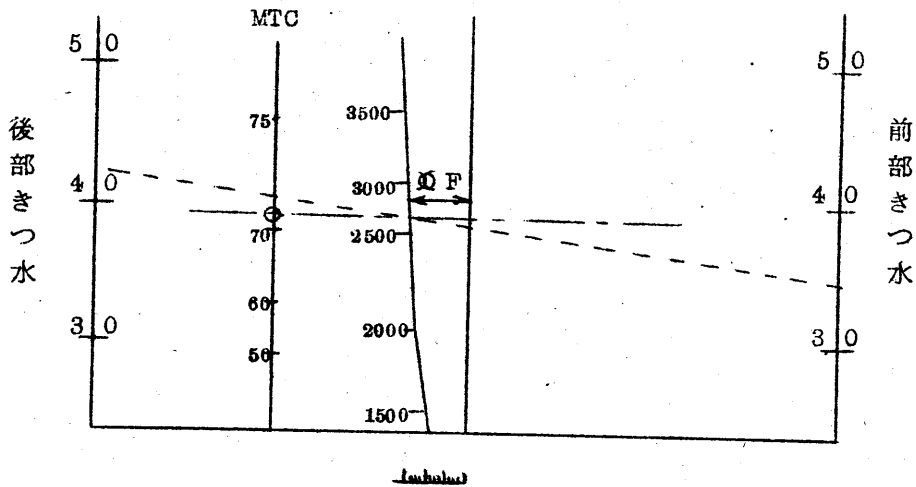
$$t = \frac{\text{トリム・モーメント}}{\text{毎cmトリム・モーメント}} \quad t : \text{トリム変化量}$$

$$= \frac{W \times l}{M \cdot T \cdot C}$$

$W \times l$: トリム・モーメント

W : 移動重量

l : 移動距離

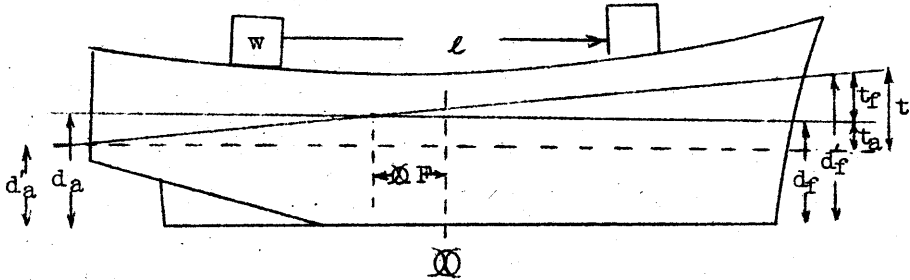


2 重量移動とトリム

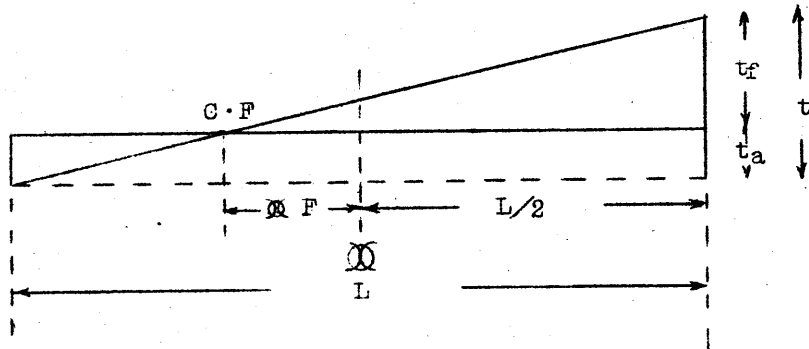
(1) トリム計算 (重量移動)

ア トリム変化量 (t)

$$t = \frac{T \cdot M_t}{M \cdot T \cdot C} = \frac{w \cdot l}{M \cdot T \cdot C}$$



イ 前後部きつ水変化量



$$\frac{t}{L} = \frac{t_f}{\left(\frac{L}{2} + QF\right)}$$

$$\therefore t_f =$$

$$t_a =$$

ウ 新しい前後部きつ水

$$d'_f = d_f \pm t_f$$

$$d'_a = d_a \mp t_a$$

(2) 例題

「てるづき」が前部きつ水 4.0 m, 後部きつ水 4.2 m であるとき 50 ton の重量物を艀首に向け 70 m 移動した。

新しい前後部きつ水を求めよ。

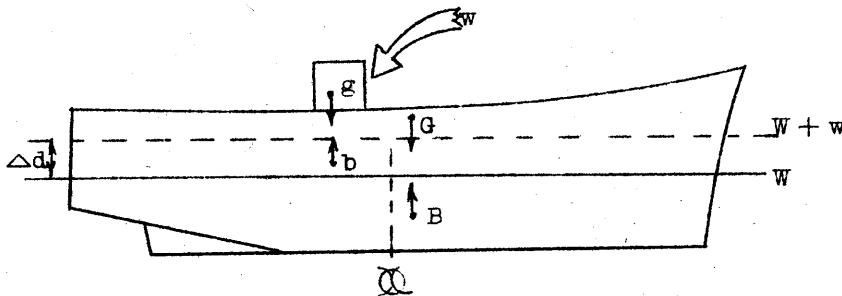
3 重量とろ載(撤去)とトリム

(1) 重量とろ載

ア 排水量 → 増加

イ 水線下形状変化

ウ トリム変化が起らないような位置に重量物をとろ載したと仮定



エ C・F の真上にとろ載する。

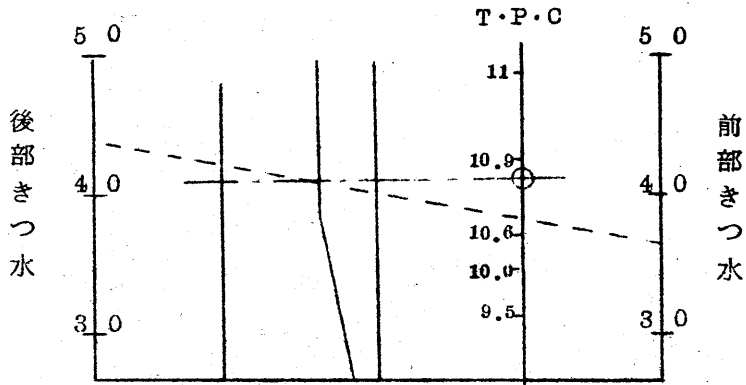
(2) 平行沈下量 (Δd)

ア 毎cm排水トン数 (T・P・C)

(イ) 任意のきつ水において, きつ水を平行に 1 cm だけ変化させるに必要な重量

HP 『海軍砲術学校』 公開資料

(1) ドラフト・ダイアグラムから求める。



$$イ \quad \Delta d = \frac{w}{T \cdot P \cdot C}$$

(3) トリム計算法

ア C.F 上に重量付加と仮定

(1) トリム変化 : なし

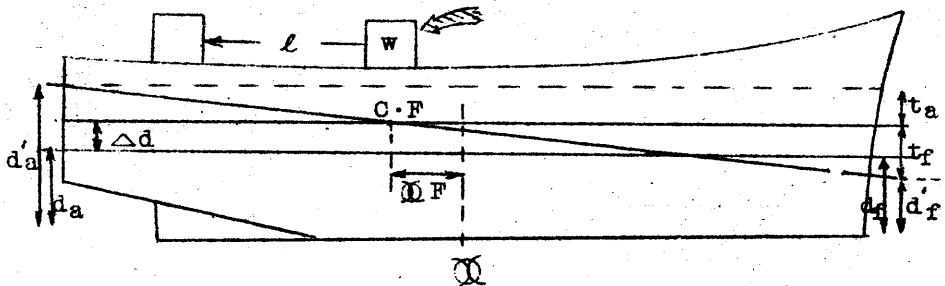
(2) 前・後きつ水 : 平行に沈下

$$\Delta d = \frac{w}{M \cdot T \cdot C}$$

イ C.F 上から所要点まで重量を移動したとしてトリム計算

(1) C.F のきつ水

$$(2) \quad t = \frac{(C.F \text{ から実際とう載点までの距離}) \times (\text{とう載重量})}{(M \cdot T \cdot C)}$$



ウ 前・後きつ水変化

エ 新しい前後きつ水

$$d'_f = d_f + \Delta d \mp t_f$$

$$d'_a = d_a + \Delta d \pm t_a$$

(4) 重量物撤去

ア C・Fまで移動 — 前後きつ水変化計算

イ C・F上で除去 — 平行浮上

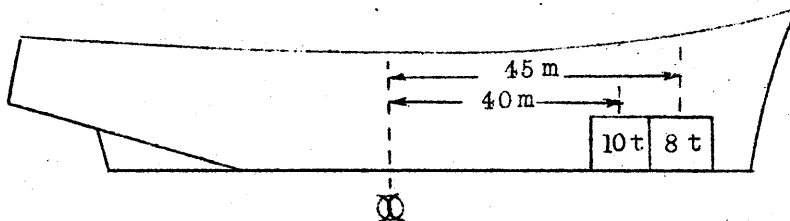
(5) 諸数値のとり方

$$\left. \begin{array}{l} T \cdot P \cdot C \\ \text{O} \cdot F \\ M \cdot T \cdot C \end{array} \right\} \text{旧水線の値}$$

(6) 例題

「てるづき」が $d_f = 4.1\text{m}$, $d_a = 4.3\text{m}$ のとき図のような位置に重量を付加した。

新きつ水を求めよ。



自由表面

1 自由表面と初期復原力

(1) 自由水

ア 自由表面

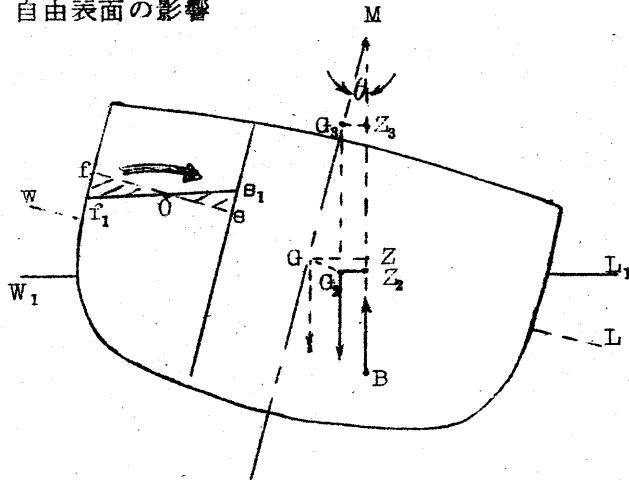
(ア) 区面に満載されず、その一部分にのみ液体をとり載した場合、動揺につれて表面は常に水平になる。

(イ) 液体は、一方から他方に移動し、常に水平を保つ。

イ 自由水

自由表面を有する液体

(2) 自由表面の影響



ア 重心移動

(ア) $\triangle fof_1$ は
 $\triangle oab$ に移動

(イ) $G \rightarrow G_2$ に
移動

イ GZ

(ア) $GZ \rightarrow G_2Z_2$

(イ) 固定重量の横移動の場合は、移動した位置で、その後は動かない。

(ウ) 自由表面の場合は、傾斜角の変化につれて、その移動量も変る。

移動量の変化とともに、重心位置を刻々と位置を変え GZ の減少量をだんだんと大きくする。

(3) 見掛けの重心上昇

ア 傾斜前

- (ア) 重心： G
- (イ) 自由表面： $f s$

イ 傾斜後（微少傾斜角）

- (ア) $\Delta f o f_1$, $\Delta s o s_1$ 部に移動
- (イ) 全重心 G_2 に移動

傾斜角とともに変化

各傾斜角に対し計算不能

(ウ) $G Z$

$$G_2 Z_2 = G_1 Z_1$$

重心が G_2 点に上昇したと同様、計算の便法上、 G_1 点を
重心位置と考える。

$G G_2$ を見掛けの重心上昇量

ウ 算法

i : 自由表面の動揺軸に対する慣性モーメント

$$G G_2 = \frac{i}{V}$$

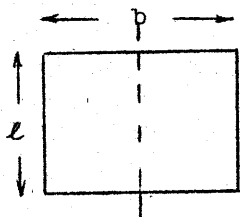
V : 排水容積

実際は、横移動する重心を、 $G G_2$ だけ垂直に上昇したのものとして取扱
い得る。（自由表面効果）

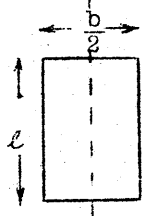
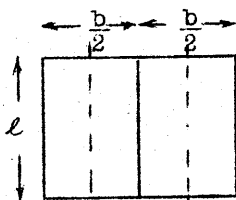
エ 自由表面効果に影響する事項

(ア) 自由表面の幅

3乗に比例



$$\frac{I}{\Delta \sigma_s} = \frac{l b^3}{12}$$



(イ) 自由表面の長さ

(ロ) 排水容積

演

習

排水量 2,050 ton で浮ぶ船に、長さ 6 m、幅 3 m の自由表面を生じた。
見掛けの重心上昇量を求めよ。

2 自由表面と復原力

(1) 微少傾斜角

ア GM の減少量は、見掛けの重心上昇量 ($GG_2 = i/V$) に等しい。

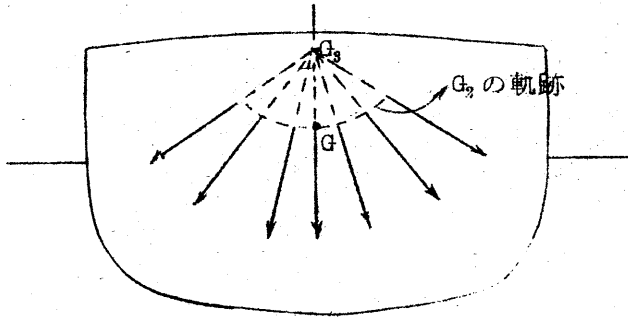
イ 重心が G_2 点に上昇したと同様に考え得る。

(2) 大傾斜角度

ア G_2 点は傾斜角とともに移動、位置の計算不能

イ 自由表面の幅が変化しないとき、重力の作用線の延長は、 G_2 点で交わる。

ウ 自由表面の幅が多少変化しても、一定点 G_2 でほぼ交わると考える。



エ 重心が G から G_2 に上昇したと考える。

オ 固定重量物の垂直移動と同様

3 復原力曲線

(1) GZの減少量

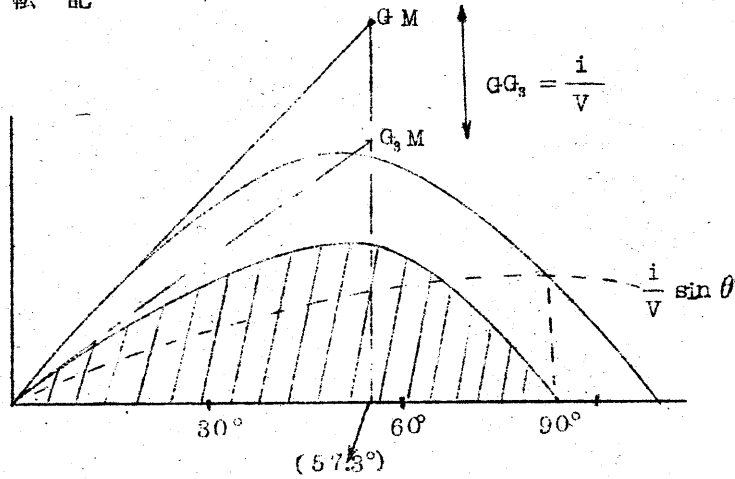
$$\begin{aligned} G_3 Z_3 &= G_2 Z_2 = GZ - GG_3 \sin \theta \\ &= GZ - \frac{i}{V} \sin \theta \end{aligned}$$

(2) 復原力曲線の修正

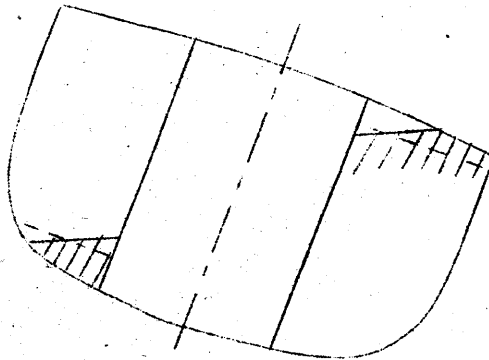
ア $i/V \sin \theta$ の修正曲線

イ $GZ - i/V \sin \theta$ 計算

ウ 転記



4 ポケットイング

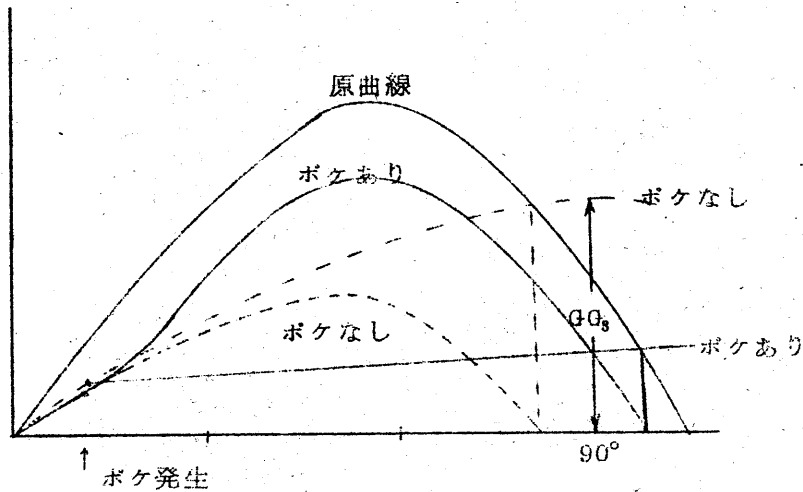


- (1) ほとんど満載または、ほとんど空のとき僅かの傾斜により頂板、底板により妨げられ自由表面の幅が制限される。

HP『海軍砲術学校』公開資料

(2) ポケッティングの影響

- ア 自由表面の幅が急激に減少し、液体の横移動の制限を受ける。
- イ GZ の減少は、 $i/v \sin \theta$ より少な目となるが、僅かずつは減少する。
- ウ GM の減少には無関係 — (減少防ぎ得ず)



(3) ポケッティングと復原力曲線

- ア ポケッティング発生点から上向き。
- イ ポケッティングは、発生するまでに失なわれた復原力を恢復はし得ない。
- ウ タンクの96%満載
 - (ア) ポケッティングにより復原性の損失を防ぐ。
 - (イ) GM の損失は、防ぎ得ない。
 - (ウ) 50%位が最も悪い。

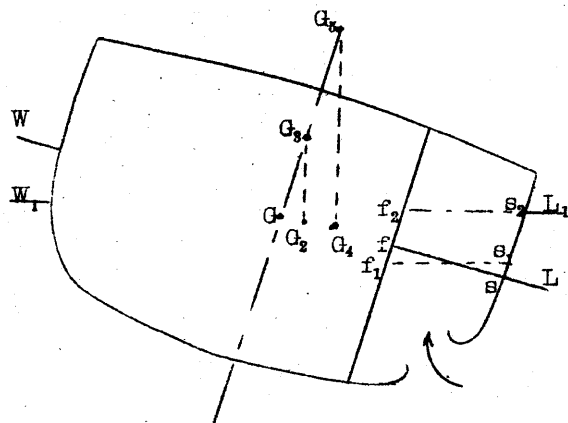
自由通水

1 定義

- (1) 区画内液体が外部と連絡し、傾斜とともに増減する現象
- (2) 自由表面効果を伴う。

2 自由通水の効果

- (1) 破孔側に傾斜した場合



ア 自由表面効果

(ア) $f s \rightarrow f_1 s_1$

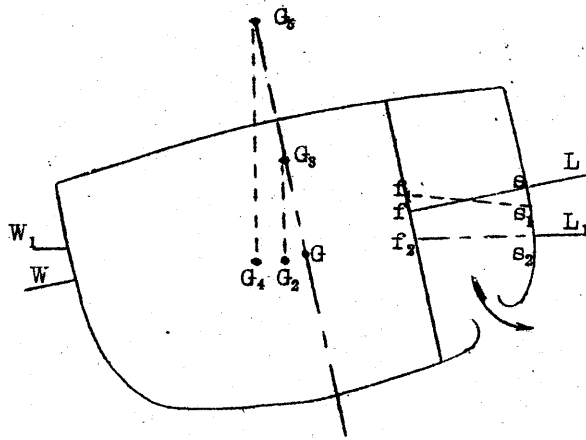
(イ) $G \rightarrow G_2$

(ウ) $G G_3 = \frac{i}{V}$

イ 自由通水効果

- (ア) 水線 $W_1 L_1$ と一致するまで、更に浸水を増し $f_2 s_2$ とする。
- (イ) $f_1 s_1 s_2 f_2$ は、破孔が外海に通じているため、さらに付加される海水の量となる。
- (ウ) 中心を外れた重畳付加、重心は G_3 からさらに G_4 に移動する。
- (エ) G_4 点は、船の傾斜角の変化につれて付加重量が増えるため、その位置も変化する。
- (オ) G_4 点の移動は、自由表面効果における G_2 点と同様であり、 G_5 点に上昇したと同様の効果となる。
- (カ) $G_3 G_5$: 自由通水効果による見掛けの重心上昇量

(2) 破孔と反対側に傾斜した場合



自由表面効果

(ア) $f s \rightarrow f_1 s_1$

(イ) $G \rightarrow G_3$

(ウ) $G G_3 = \frac{i}{V}$

イ 自由通水効果

(ア) $f_1 s_1 \rightarrow f_2 s_2$

(イ) $f_1 s_1 f_2 s_2$: 中心を外れた重量の除去

(ウ) $G_2 \rightarrow G_4$

(エ) $G_3 G_5$: 自由通水効果による見掛けの重心上昇量

(3) 自由通水効果の要因

ア 自由表面効果：楔形部分の移動

イ 自由通水効果：海水の出入による。

3 影 響

(1) 重 心

ア 常に傾斜側に移動

イ 傾斜角の変化に応じ、その移動量も変化する。

(2) 総合復原力

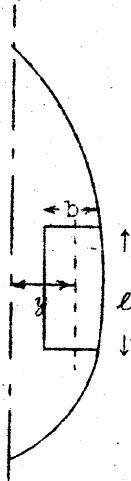
ア 直立時の浸水

イ 自由表面効果

ウ 自由通水効果

4 見掛けの重心上昇

(1) 算 法



$$G_s G_s = \frac{a \cdot y^2}{V}$$

a : 自由通水の表面積 ($b \times l$)

y : 自由表面の中心と船体中心線との距離

V : 排水容積

(2) 影響する事項

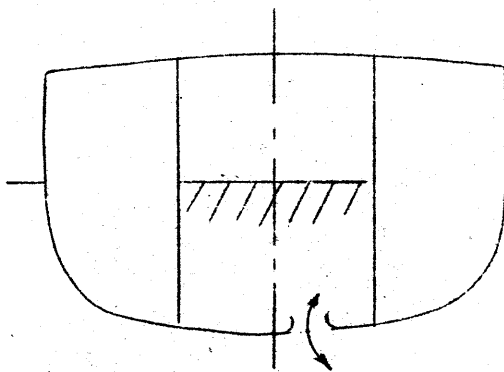
ア 自由表面の表面積

イ 自由表面の中心と船体中心線との距離

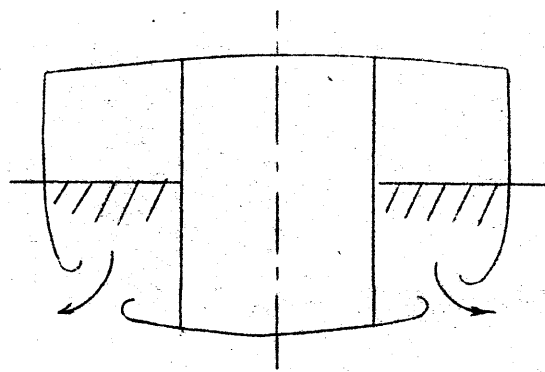
(ア) 自乗に比例

(イ) 船体中心線に対し、対称な区画では効果はない。

(効果零)



(効果は片側の2倍)



5 復原力曲線

(1) 重心移動

自由表面効果と同様実際の重心は G_4 に移動するが、その移動量は傾斜角により変化し計算不能である。

ただし、各傾斜角における重力の作用線は G_5 点でほぼ交る。

従つて、 G_5 点を実際上の重心と考え、重心が G_5 点に上昇したものととして取り扱い得る。

(2) 復原挺の減少量

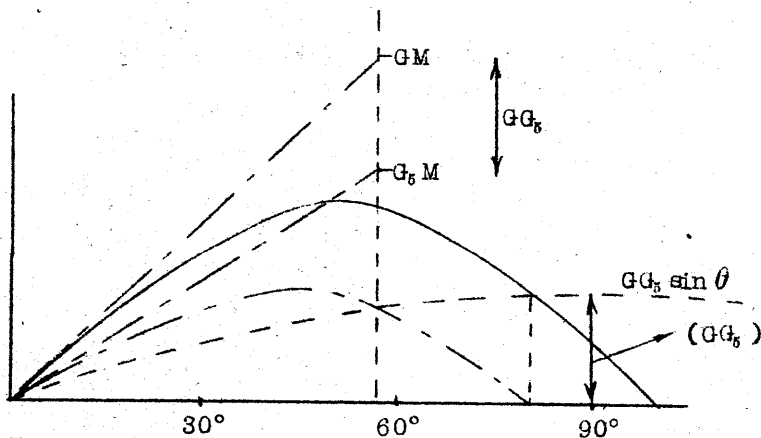
$$\begin{aligned} G_5 Z_5 &= GZ - (GG_5 + G_5 G_5) \sin \theta \\ &= GZ - \left(\frac{i}{V} + \frac{a y}{V} \right) \sin \theta \end{aligned}$$

(3) 復原力曲線の修正

ア 重心が G_5 点に上昇したものと考える。

イ 自由表面効果も合せ考える。

ウ $(GG_5) + (G_5 G_5)$ で修正



HP『海軍砲術学校』公開資料

6 諸影響

(1) ポケットイング

- ア 区画の頂板が水線付近
- イ 破孔が水線上に出る場合
- ウ 自由表面効果と同様

(2) 浸水率

ア 浸水区画内に障害物があり出入する水の量が制限される場合、効果は減少する。

イ 効果の割合

機械室・ボイラ室	0.8
弾薬庫	0.8
糧食庫	0.7
諸倉庫	0.8
居住区・通路	0.95
錨鎖庫	0.7
諸タンク	1.00

(3) 破孔の大きさ

破孔の大きさが小さくなる程、傾斜の変化に応ずる水の出入量は少なくなり効果減少する。

重心試験

1 実施時期

- (1) 完成時
- (2) 大改造時
- (3) 大修理(特修)時

2 原理

- (1) GMの値を実測し得る唯一の方法

$$KG = KM - GM$$

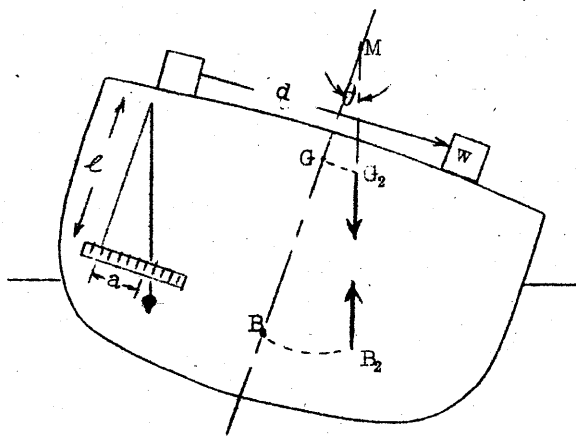
KM : 排水量等曲線, トラフト・ダイヤグラムから

GM : 重心試験で実測

(2) 計測法

ア 重量物の横移動により横傾斜を起す。

イ 傾斜モーメント, 傾斜角, 排水量から算出



$$GG_2 = \frac{w \cdot d}{W}$$

$$= GM \tan \theta$$

$$= GM \frac{a}{l}$$

$$GM = \frac{w \cdot d}{W} \cdot \frac{l}{a}$$

W : 排水量 • ton

w : 移動重量 • ton

d : 重量移動距離 • m

l : 下げ振り長さ • cm

a : 下げ振り下端移動距離 • cm

HP『海軍砲術学校』公開資料

3 準備

(1) 重量目録

ア 軽荷状態に対する過不足の調査

（ア）未とう載品

（イ）残工事

（ウ）軽荷状態に含まれない控除物件

上記各物件の正確な重量，重心位置，明細表の作成

イ 艦全体にわたる徹底的調査，重量計測

（ア）重量実測

（イ）液体測深

（ウ）機関関係液体は特に正確に

(2) 船体の傾斜

ア 直立を標準

イ やむ得ない時でも最大 1° 以内

(3) トリム

ア 少ないほど良い。

イ 最大限 $L/100$ 以内

W, KB, $\bar{M}B$, タンク容量，重心位置の修正必要

(4) 自由表面の除去

ア 諸タンク残留液体，ビルジ等の排除

イ 諸タンク，空所は極力空とする。

ウ やむ得ない所は，満タンクとし試験中動かないように。

エ 満載時の注意

（ア）上部の空気溜り

（イ）管系の弁

(5) 試験時の外力

ア 移動重量以外の外力の影響をなくす。

イ 舷梯，防舷物，ブーム等移動物の固縛

ウ 乗艦者

（ア）関係作業員のみ，残余は艦外

（イ）常備状態で試験時は，対空戦闘配置につき動かない。

エ 係留状態

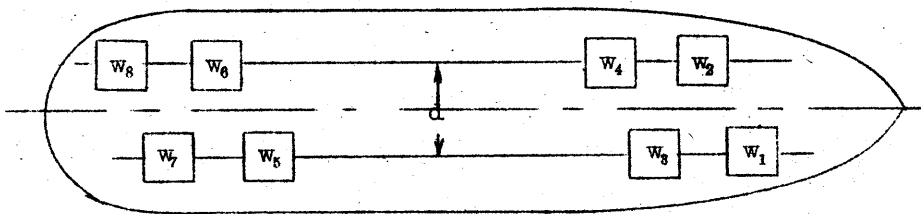
- ㊦ 係留索は、艦首1本又は艦首艦尾各1本
- ㊧ だ管、電線等の撤去
- ㊨ 風、潮の影響を避けるため沖出しが望ましい。

オ とう載液体

- ㊦ 試験前後に計測
- ㊧ 漏えい、移動の確認

(6) 移動重量

- ア 重量及び重心位置の明確なもの。
- イ 適当な傾斜角度を発生する重量
 - ㊦ 傾斜角 1.5 ~ 3°
 - ㊧ 傾斜角が大きくなるとMが中心線を外れる。
- ウ 8等分し、両げんに分けとう載



(7) 下げ振り

- ア 前、中、後部 計3ヶ所
- イ 長さ、移動距離

常備排水量 (t)	長さ (m)	下端移動距離 (mm)
2,000 以下	1.65 ~ 3.3	65 ~ 130
2,000 ~ 5,000	4.0 ~ 5.0	90 ~ 180

ウ 制振装置

- エ 風の影響を受け易い。

HP『海軍砲術学校』公開資料

(8) きつ水標示

ア. すべての算出の基礎となるから必要ならば事前に調査

イ Sag. Hog に対する修正

(ア) 修正用として, χ に標示

(イ) $L < 30m$ 不用

4 実施法

(1) きつ水計測

ア. 試験前後各 1 回

イ 前, 中, 後部

ウ 両げん同時計測

エ 読取り $\frac{1}{100}$ 単位

(2) 水温・比重・気温

ア 比重

長さ方向, 深さ方向に対する平均値

イ 水温・気温

同時計測

(3) 重量移動

ア 原点計測

イ 重量移動

ウ 静に, 不必要な動揺を起さない。

回次	移動すべき重量番号	移動方向	重量の位置	
			左舷	右舷
原位置	—	—	2 4 6 8	1 3 5 7
第 1 回	1・5	左 ← 右	1 2 4 5 6 8	3 7
第 2 回	3・7	左 ← 右	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 5 6 7
第 3 回	1・3・5・7	左 → 右	2 4 6 8	1 3 5 7
第 4 回	2・6	左 → 右	4 8	1 2 3 5 6 7
第 5 回	4・8	左 → 右		1 2 3 4 5 6 7 8
第 6 回	2・4・6・8	左 ← 右	2 4 6 8	1 3 5 7

(4) 傾斜角測定

ア 3ヶ所同時計測

イ 読取り

ウ 振動するとき、最大10回の平均値

(5) チェック・ダイヤ・グラム

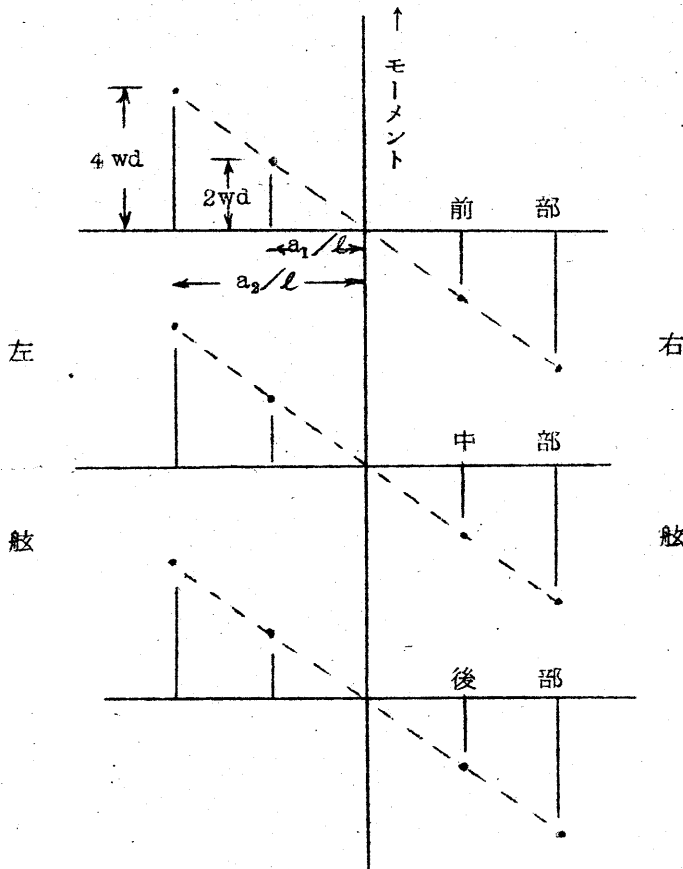
ア 試験成否の具体的資料

イ 縦 軸：傾斜モーメント

横 軸：傾斜角の \tan

ウ 各回次チェック

エ プロットした各点が、原点を通る直線に乗るまで、再試験の要がある。



5 試験結果の解析

(1) 船殻重心性能試験（公試）成績表

試験実施時の状態，性能

(2) 重心性能（公試）成績表

ア 試験状態から軽荷状態へ換算した結果

イ 軽荷状態から各種状態へ換算した結果

(3) 復原性能説明書

ア 主要寸法

イ きつ水標示

ウ 復原性能表

(ア) きつ水

(イ) 重心関係

(ウ) 復原性

(ニ) 風 圧

(ホ) 予備浮力

(カ) 動揺周期

エ 重量・重心

オ 10 ton重量追加によるGM及びきつ水変化

カ 排水量等測線

キ クロス・カーブ

ク 復原力曲線

ケ 同調波表

コ 重量・重心・明細表

サ 諸タンク概略配置及び容量・重心

6 動揺試験

(1) 一般式

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} \frac{G \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

(2) GMの計測

- ア 静水中の横揺れ周期から逆算
- イ 人員・重量物の横移動により横揺れを発生

(3) 実施要領

- ア 人員移動
 - ㊦ 船の動揺に対し、位相を90°進める。
 - ㊧ 人員は上り坂を移動
- イ 動揺が片舷5°を越えたら人員を中心線上に集合
- ウ 船は動揺に対し自由な状態とし、他船 陸岸とは30m以上離す。
- エ 移動人員以外は定所

浸 水

1 概 説

(1) 浸水の原因

- ア 水線下損傷
- イ 甲板下爆発
- ウ 水線付近外板破孔
- エ 衝 突
- オ 消 防 水
- カ 管系破損
- キ 弾火薬庫注散水
- ク 応急注水

(2) 浸水の種類

ア 完全浸水

(ウ) 区画全般に浸水・自由表面なし。

(イ) 固定重量の付加と同様

イ 部分浸水

(ウ) 区画の一部にのみ浸水，必ず自由表面を持つ。

(イ) 自由通水を伴うものと，伴はないものに分れる。

2 完全浸水

(1) 条 件

- ア 通常水線下区画に発生
- イ 空気抜き管が必要

(2) 影 響

- ア 排水量：増 加
- イ 乾 舷：減 少
- ウ 予備浮力：減 少
- エ 重 心：通常下降，横移動

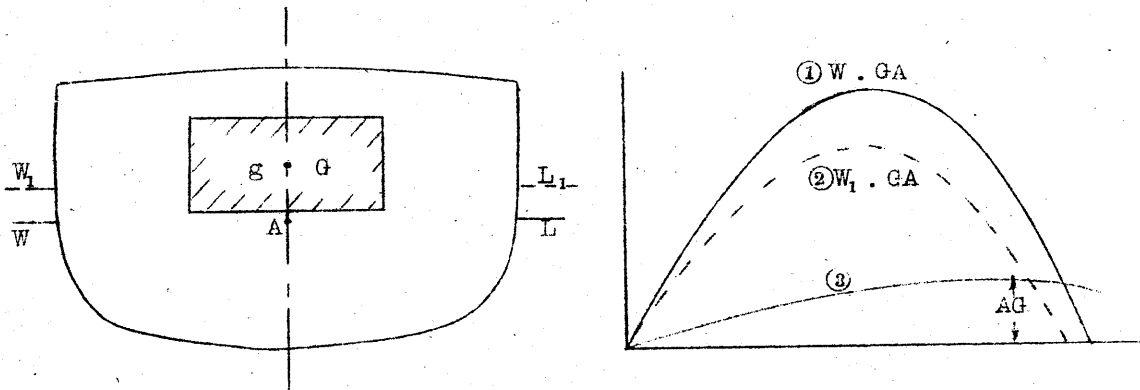
3 部分浸水

(1) 影 響

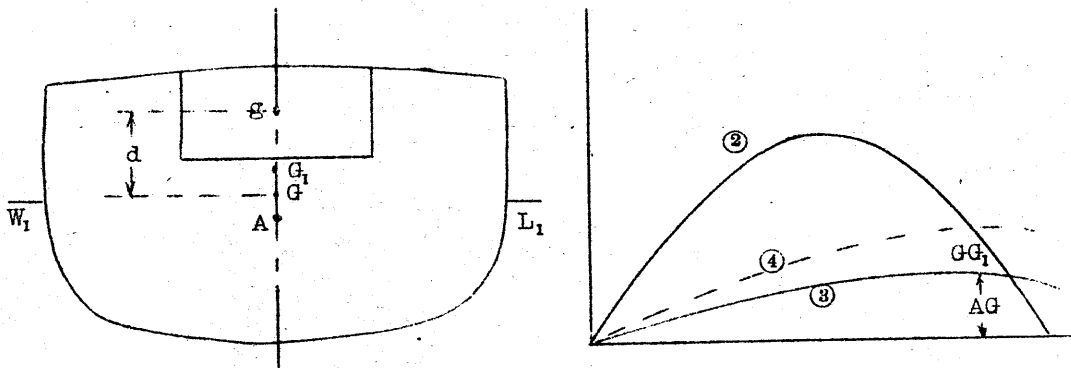
- ア 排水量：増加
- イ 乾 舷：減少
- ウ 予備浮力：減少
- エ 重 心：浸水位置へ移る
 - (ア) 浸水位置により上・下
 - (イ) 自由表面効果により上昇
 - (ウ) 中心を外れた重量付加により横移動

(2) 復原力曲線の修正

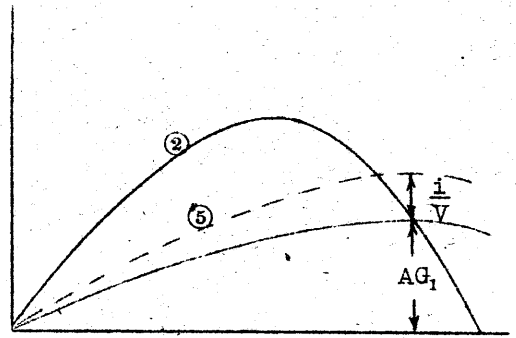
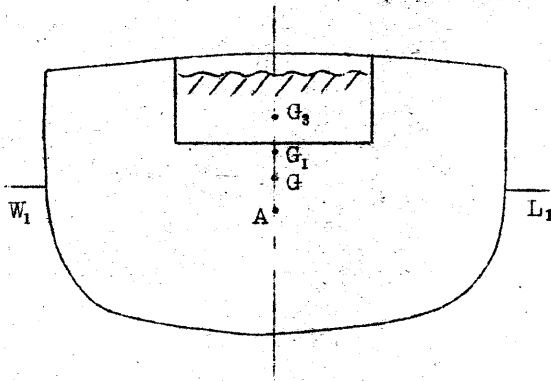
ア 第1段：重心(G)と一致して重量(浸水重量)付加



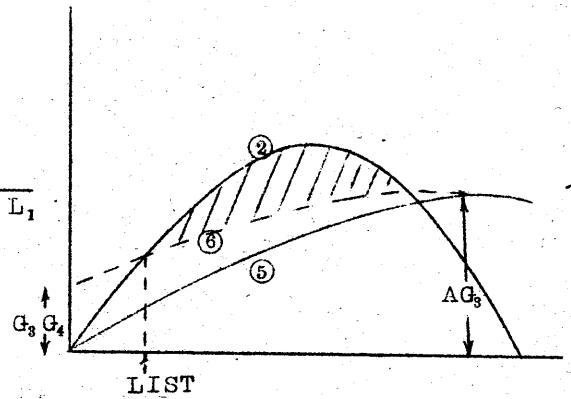
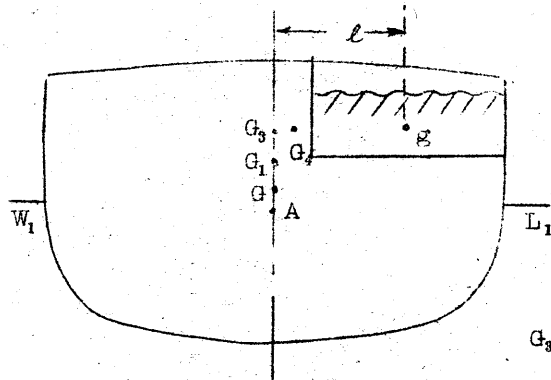
イ 第2段：実際の浸水部に上昇



ウ 第3段：自由表面効果



エ 第4段：実際の浸水部に横移動



$$AG_3 = (KG - KA) + (w \cdot d / W_1) + i / V_1$$

$$G_3G_4 = w \cdot l / W_1$$

4 自由通水のある部分浸水

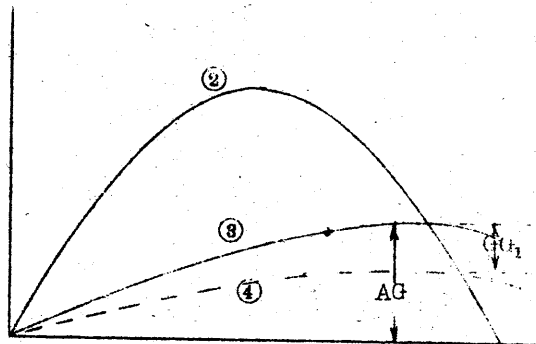
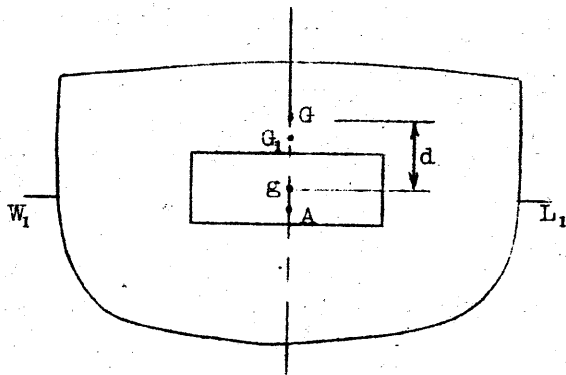
(1) 影響

- ア 排水量：増加
- イ 乾舷：増加減
- ウ 予備浮力：減少
- エ 重心

- (ア) 浸水位置は、大体重心より下方
- (イ) 自由表面および自由通水効果により重心上昇
- (ウ) 横移動

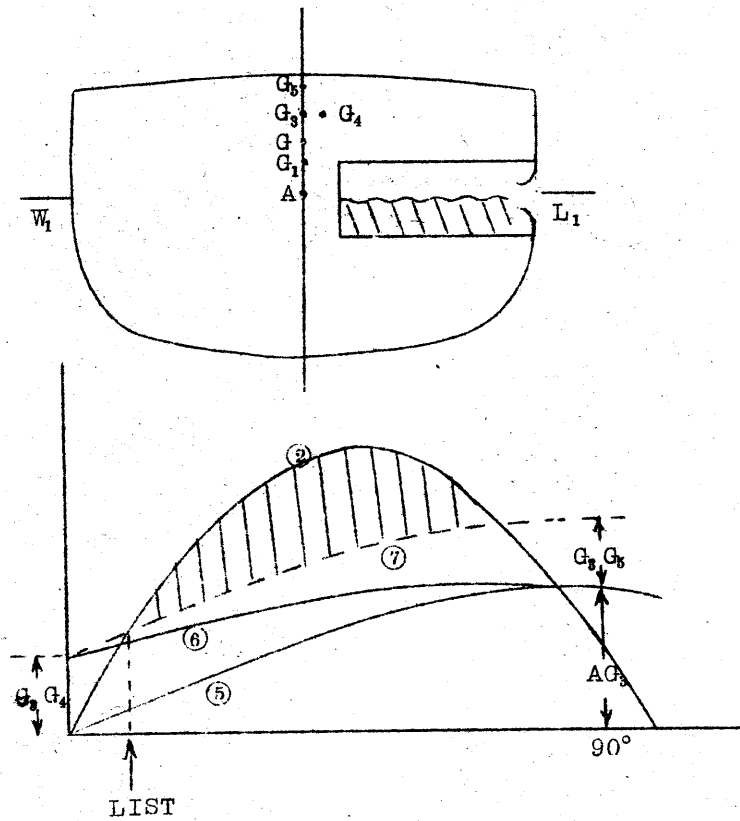
(2) 復原力曲線の修正

- ア 第1段：重心(G)と一致して、浸水重量付加
- イ 第2段：実際の浸水部に下降



G_1 は、 G より下方に下るため、④は⑧の下に書く。

- ウ 第3段：自由表面効果
- エ 第4段：実際の浸水部に横移動
- オ 第5段：自由通水効果



$$AG_3 = (KG - KA) - GG_1 + G_1G_3 + G_3G_5$$

$$= (KA - KG) - \frac{w \cdot d}{W_1} + \frac{i}{V_1} + \frac{a \gamma^2}{V_1}$$

$$G_3 G_4 = \frac{w \cdot \ell}{W_1}$$

5 復原力の評価

(1) 復原力要表

- ア 長水による，排水量，重心位置の計算用紙
- イ 各区分につき，あらかじめ計算し得る要素は算出しておく。

(2) 復原力図表

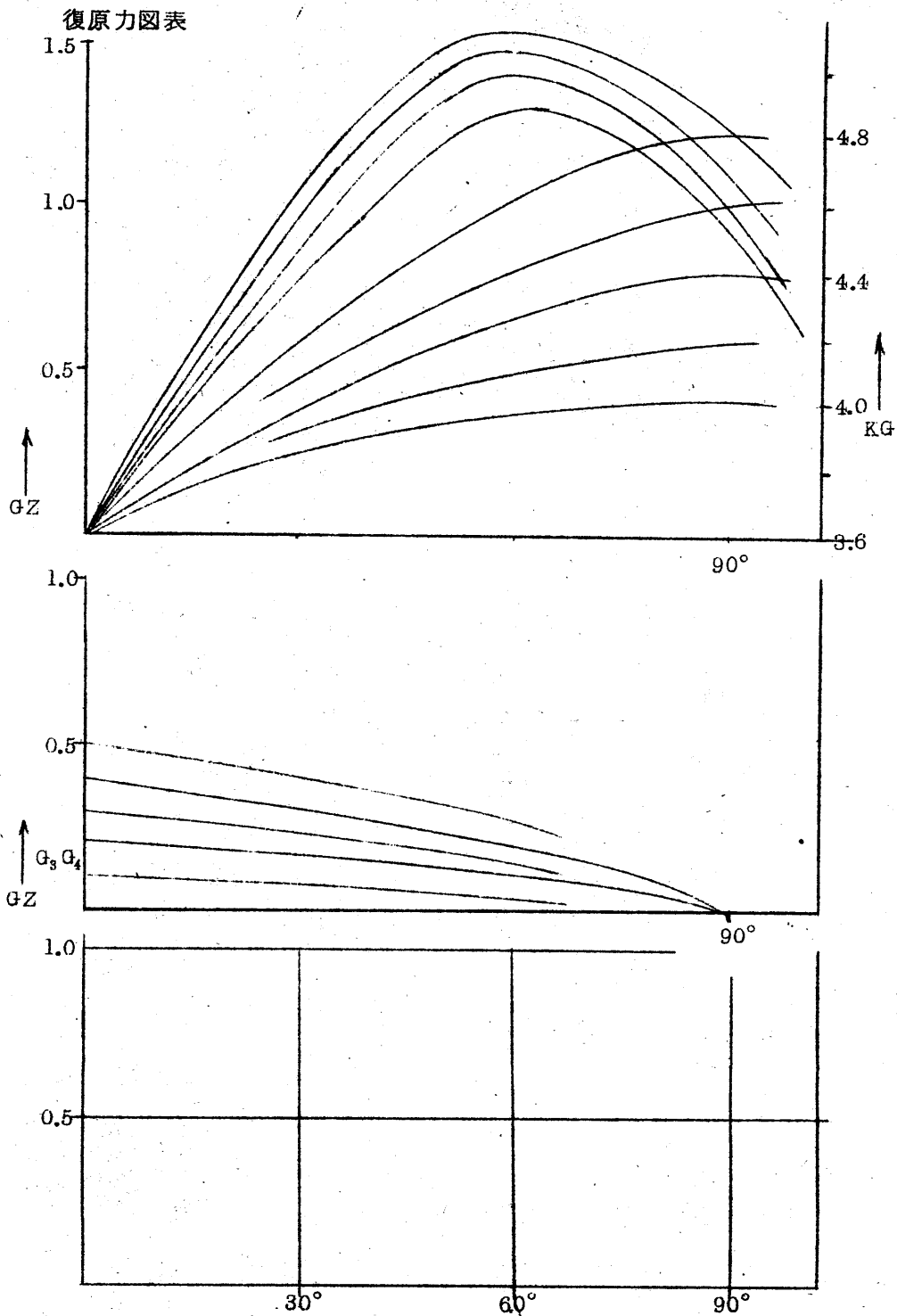
- ア 復原力要表による計算結果用い，復原力曲線を作成する用紙
- イ あらかじめ各重心高さ及び中心線からの重心距離に対する修正曲線，並びに各排水量に対する曲線を記入してある。

HP『海軍砲術学校』公開資料

復原力要表

1	2	3	4	5	6	7a	7b	8	9	10a	10b
区画記号	位置 中心c 左p 右s	自由表面寸法 $a = b \cdot l$ (m^2)	重量中心 から中心 線までの 距離 y (m)	重量増減 増+ 減- w (ton)	キール 上高さ kg (m)	上下方向 モーメント 増加 + w · kg [5] × [6]	上下方向 モーメント 減少 - w · kg [5] × [6]	i $\frac{b^3 \cdot l}{12}$ (m^4)	$a \cdot y^2$ [3] × [4] ²	右舷 傾斜 モーメント w · y [4] × [5]	左舷 傾斜 モーメント [4] × [5]
合			計								
浸水前											
排水量 (ton)		排水量: $W_1 = W \pm [5] = () \pm () = ()$						正味傾斜モーメント $[10a] - [10b] = ()$			
KG (自由表面効果修正せず) (m)		正味上下方向モーメント = $\pm w \cdot kg = [7a] - [7a] =$						重心の横移動 ($G_3 G_4$)			
艦内タンクの自由表面効果		$KG_1 = \frac{w \cdot KG \pm w \cdot kg}{W_1} = \frac{() \pm ()}{()} ()$						正味傾斜モーメント $= \frac{()}{W_1} =$			
$i_0/V =$ (m)		自由水効果 = $\frac{i_0 + i + ay^2}{V_1} = \frac{(i_0 + [8] + [9]) \cdot 1.025}{W_1}$						$KG_1 = ()$			
$i_0 =$ (m^4)		=						$G_1 G_5 = ()$			
								$KG_5 = ()$			

HP 『海軍砲術学校』 公開資料



固定傾斜

1 定義

(1) 動揺 (ROLL)

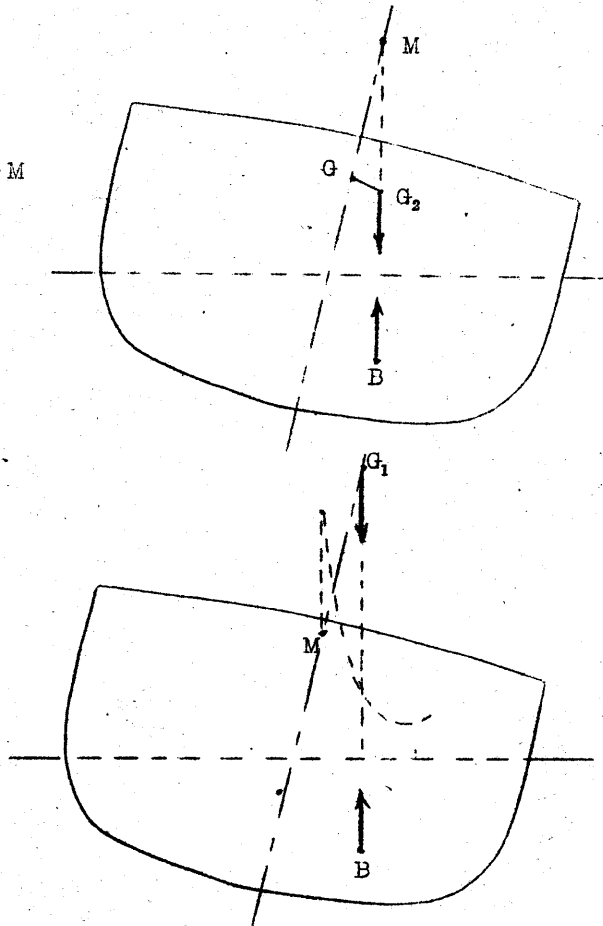
- ア 片舷から片舷に交互傾斜
- イ 静水中は、固有周期で繰り返す。

(2) 固定傾斜 (LIST)

- ア 永久的横傾斜
- イ 航海中等は、固定傾斜角を中心に動揺
- ウ 静水中は、LISTを保持

2 原因

- (1) 中心外重量
- (2) $-GM$
- (3) 中心外重量及び $-GM$



HP『海軍砲術学校』公開資料

3 特 性

(1) 中心外重量

ア 固定重量の横移動に同じ

(ア) 重心横移動

(イ) G, B 転覆モーメント発生

(ウ) 傾斜 \rightarrow 水線下形状変化 \rightarrow 浮心移動

(エ) G, B 同一鉛直線上に重なり、傾斜モーメント零となり釣合う。

イ 重心横移動の原因

(ア) 中心線に対し非対称な浸水

(イ) 重量移動

爆発、液体、載荷、重量移動

(ウ) 重量除去

爆発、衝突、液体流出、排出

非対称重量投棄

ウ 固定傾斜角の大きさ

(ア) 傾斜挺

(イ) 復原挺

エ 復原性

(ア) GM — 大きさ不変

(イ) 傾斜角 — 計算結果と大体一致

(ウ) 識 別

a 固定傾斜角以上に対し、傾き難い。

b 固定傾斜角以後に現われる GZ は大きい。

(2) $-GM$

ア 重心は船体中心線上にあるが、 M より上

(ア) 小傾斜 \rightarrow 転覆挺

(イ) 傾斜増加 \rightarrow 水線下形状変化 \rightarrow 浮心、メタセンター共に移動

(ウ) 重力と浮力作用線が重なり釣合う。

イ 重心上昇の原因

- (ア) 高所重量付加
- (イ) 低所重量除去
- (ウ) 自由水

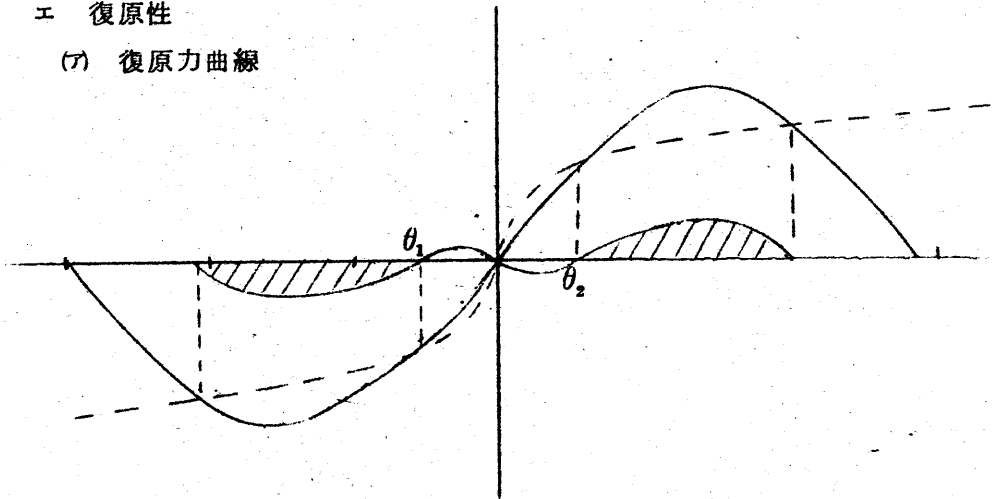
艦艇では戦闘被害による浸水のため重心の見掛けの上昇を起し、
-GMとなる場合が多い。

ウ 固定傾斜角の大きさ

- (ア) -GMの大きさ
- (イ) 船体の形状
- (ウ) ポケットイング

エ 復原性

- (ア) 復原力曲線



- (イ) 固定傾斜角： θ_1 θ_2
- (ウ) $\theta_1 \sim 0 \sim \theta_2$ の間では転覆モーメント
- (エ) 両げん いずれにでも固定傾斜
- (オ) 識別
 - a 両げん傾斜
 - b 動揺端でゆつくり復原
 - c 大量の高所重量
 - d バラスト不足
 - e 大きな自由水

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) -GM及び中心外重量

オ 重心は中心線上になく、かつメタセンターより上にある。

イ 損傷時の一般的状態

(ア) 非対称浸水：中心外重量

(イ) 自由水：-GM

ウ -GMとほぼ同様な原因

エ 復原性

(ア) 固定傾斜角 → 計算の数倍

(イ) 残存復原力少なく転覆のおそれ大

(ウ) 識別

a 動揺回復は非常にゆるやか

b 動揺端で一瞬停止する感じ

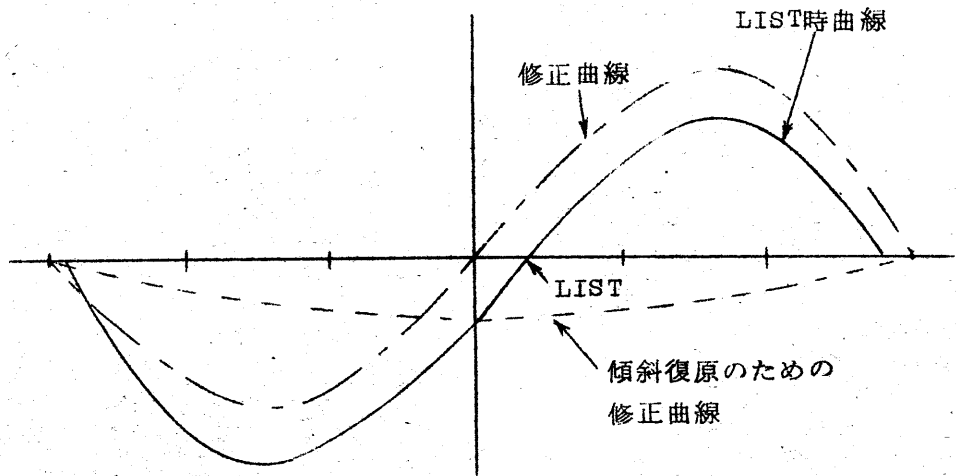
c 大きな自由表面を持つ非対称浸水

4 傾斜の復原

(1) 中心外重量の場合

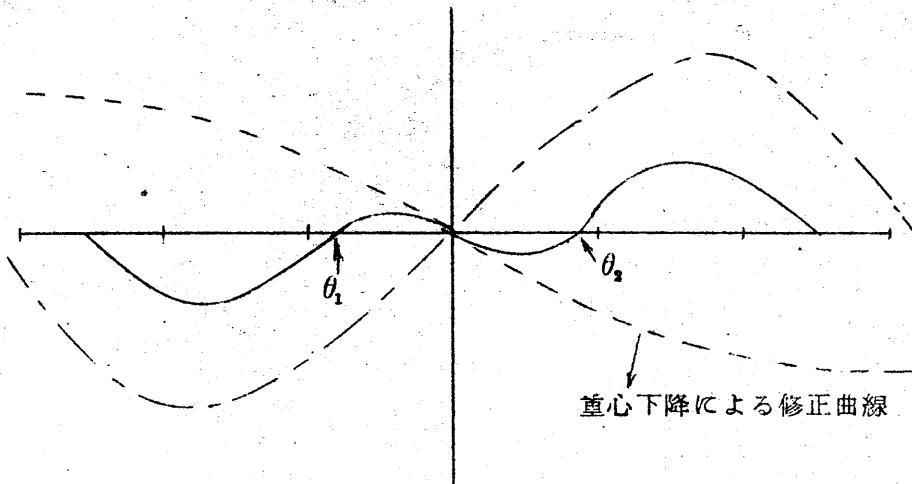
ア 横方向重量移動

イ 重心を船体中心線上にもどす。

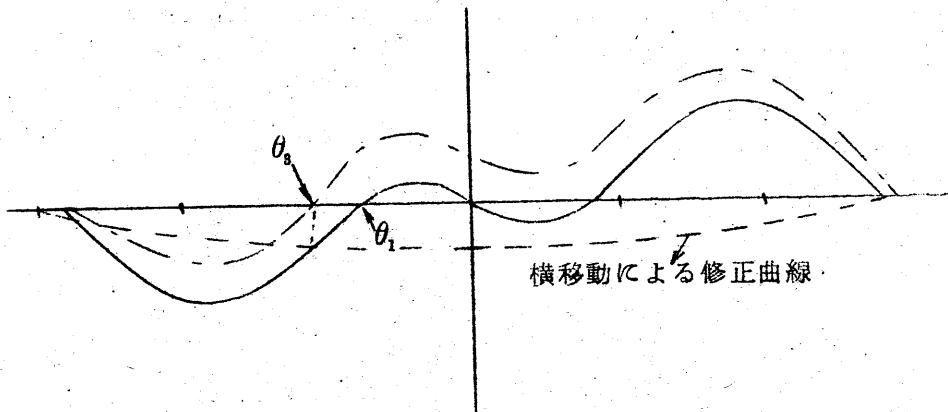


(2) -GMの場合

ア 重心をメタセンターより下げる。



イ 横方向重量移動を行なった場合



(ア) 修正曲線は, \cos

(イ) 右舷の固定傾斜はなくなるが, 重心を左舷に寄せたため LIST 角 θ_1 から θ_2 と大となる。

(ウ) 右舷の復原力は改善されるが, 左舷は非常に減せられ, 左舷に転覆するおそれ大きい。

(3) 中心外重量及び一GM

- ア 艦艇の損傷による固定傾斜は、ほとんどこの状態である。
- イ 傾斜復原のための第1手段は、重心をメタセンターより下げる。
 - (ア) 自由水の除去
自由表面の制限・自由通水の阻止
 - (イ) 重量物投棄
- ウ 重量物の横移動は、+GMであることが明確になったのち行なり。
(反対舷への転覆防止)

5 固定傾斜の予防

(1) 燃料タンクの使用要領

- ア 適当な低所重量の確保
- イ 舷側タンクは、水線まで使用しておく。
- ウ 自由表面に対する配慮
- エ バラスト出来ないタンクから使用

(2) 燃料タンクの使用順序

ア 原則

- (ア) サービス・タンクは、50%以下にしない。
- (イ) 重油兼バラストタンクは、常に燃料96%か、海水100%のバラストを実施しておく。

イ 具体的使用順序

- (ア) 各サービスタンクについて、50%以内を順次使用。
- (イ) 重油兼バラストタンク1箇分の空間を作る。
- (ウ) 任意の重油兼バラストタンクから一挙に各サービスタンクへ移動
- (エ) 移動を終えた重油兼バラストタンクは、海水100%のバラストを実施しておく。

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) 留意事項

ア 重油兼バラストタンクの燃料移動開始から、バラスト終了までの間に
注意

イ 各サービスタンクの幅が最大幅の半分以下のときは、自由表面効果の
心配はさほどない。

ウ 燃料の分布は、船体強度にも大なる影響を与えるものである。

HP『海軍砲術学校』公開資料

復原性演習問題集

幹部候補生学校

<http://navgunschl.sakura.ne.jp/>

HP 『海軍砲術学校』 公開資料

<http://navgunschl.sakura.ne.jp/>

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 1

$L \cdot B \cdot D \cdot d = 30 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \cdot 3 \text{ m}$ の箱型バージにつき、下記事項を求めよ。(海水中)

- (1) 排水量
- (2) KB
- (3) BM
- (4) KM

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 2

長さ40m、幅15m、深さ10mの箱型バージが6mのきつ水で海水中に浮かんでいる。下記事項を求めよ。ただし、KG 4.0mとする。

- (1) 排水量
- (2) KB
- (3) BM
- (4) KM
- (5) GM

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 3

- (1) 長さ10 m、幅2 m、きつ水1 mの箱船のKMを求めよ。
- (2) 上記の箱船を2個、中心線の間隙6 mで平行に並べて連結したところ、きつ水が1.2 mとなった。KMを求めよ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 4

一辺の長さ a の正方形断面を有する、比重 0.5 の均質木材が清水中でその一側面を水平にして浮くときは、不安定であり、その角を真下にして浮くときは安定な釣合いになることを示せ。(長さ: L)

護衛艦「てゐづき」が排水量 2,960 トン、KG 4.7 m に対する復原力曲線の要素を求めよ。(ただし、動的復原力を除く。)

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 6

護衛艇「てるづき」の排水量 3,000 トン、キール上重心高さ 4.8 m に対する
復原力曲線の要素を求めよ。(ただし、動的復原力を除く。)

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 7

護衛艦「てるづき」の下記状態に対する復原力曲線の要素を求めよ。

(ただし、動的復原力を除く。)

}	排水量	2,850トン
	キール上重心高さ	4.80 m

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 8

護衛艦「てるづき」において前部きつ水3.75 m、後部きつ水3.95 mのときKGは4.80 mであつた。

24 弾薬40 トンを艦内で、上方へ6 m移動したときの復原力曲線の要素を求めよ。(動的復原力を除く。)

前問において、さらに右舷へ5 m、移動したときの復原力曲線の要素を求めよ。(動的復原力を除く)

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 9

護衛艦「てるづき」が常備状態(2,960トン)のとき、弾薬100トンを上方へ6 m、右方へ4 m移動した。この時の復原力曲線を作成し、各要素を求めよ。ただし、動的復原力を除く。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 10

護衛艦「てるづき」が排水量 2,600 トン、 $KG = 4.95 \text{ m}$ のとき、40 トンの重量物をキール上 9 m の所にとり載した。新しい復原力曲線の要素を求めよ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.11

護衛艦「てるづき」が、前部きつ水4.00 m、後部きつ水4.10 m、KG
4.70 mのとき、キール上高さ9 mに50トンの重量物をとり載した。とう
載後の復原力曲線を描き要素を求めよ。

(ただし、動的復原力を除く)

(最終曲線のみ赤鉛筆で描く、右舷のみ作成する)

さらに、この重量物を右方へ6 m移動した後の復原力曲線を描き、
各要素及び固定傾斜角を求めよ。(動的復原力を除く)

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.12

護衛艦「てるづき」が常備状態 2,960 トンのとき、弾薬 100 トンを上方へ 6 m、右方へ 4 m にとう載した。とう載後の復原力曲線を作成し要素を求めよ。 ($K_G = 4.70 \text{ m}$)

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.13

護衛艦「てるづき」において排水量3,100トン、KG 4.60 mのとき、50トンの重量物をキール上10 m、中心線から右方に4 mのところにとり載した。とり載前・後の復原力曲線の要素を比較せよ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.14

護衛艦「てるづき」が排水量 3,000 トン、 $KG = 4.7 \text{ m}$ のとき、下記のごとく重量物をとり載した。新旧復原力曲線の要素を比較せよ。

	とり載重量	キール上高さ	Cからの距離
w_1	20 トン	8 m	左へ 3 m
w_2	30 トン	4 m	左へ 2 m
w_3	40 トン	6 m	右へ 3 m

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.15

護衛艦「てるづき」が、前部きつ水4.07 m、後部きつ水4.53 mのとき、艦内において30トンの重量物を80 m前方に移動した。新しいきつ水を求めよ。ただし、 $L = 115$ mとする。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.16

護衛艦「てるづき」が前部きつ水4.0 m、後部きつ水4.2 mであるとき、50トンの重量物を艦首に向け70 m移動した。

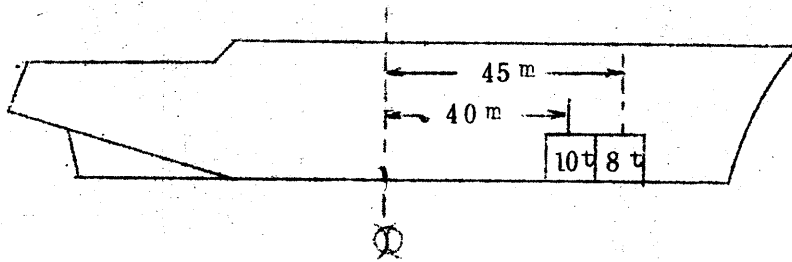
新しい前・後部きつ水を求めよ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.17

ある護衛艦が、前部きつ水4.0 m、後部きつ水4.2 m、垂線間長100 m
MTC 60 t-m 、 QF 10 m のとき、50 トンの重量物を艦首方向へ60 m 移
動した。新して前・後部きつ水を求めよ。

護衛艦「てるづき」が前部きつ水4.1 m、後部きつ水4.3 mのとき、図のような位置に重量物をとる載した。新しいきつ水を求めよ。



HP『海軍砲術学校』公開資料

No.19

護衛艦「てるづき」が、前部きつ水 3.80 m、後部きつ水 4.10 m のとき、
⊗ から前方へ 30 m の位置に 30 トン及び同じく 40 m の位置に 20 トンの重量
物をとりに載した。新しいきつ水を求めよ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No.20

護衛艦「てるづき」において、前部きつ水3.9 m、後部きつ水4.1 mのとき、 Δ の後方26 mの上甲板上に重量物37 トンをとう載した。新きつ水を求めよ。

排水量 2,050 トンで浮かぶ艦に長さ 6 m、幅 3 m の自由表面を生じた。
見掛けの重心上昇量を求めよ。

排水量2,050トンの艦に長さ6 m、幅2 m、船体中心線から浸水表面の中心までの距離5 mの自由通水を生じた。見かけの重心上昇量を求めよ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

No. 23

排水量 3,075 トンの艦に長さ 8 m、幅 6 m、船体中心線から区画中心までの距離 5 m の区画に破孔を生じた。自由表面効果及び自由通水効果による見掛けの重心上昇量を求めよ。ただし、海水の比重は、1.025 とする。

HP 『海軍砲術学校』 公開資料

3 角 函 数 表

角度	sin	cos	tan	角度	sin	cos	tan
0	0.0000	1.0000	0.0000	50	7660	6428	1.1918
2	0349	9994	0349	2	7880	6157	1.2799
4	0693	9976	0699	4	8090	5878	1.3764
6	1045	9948	1051	6	8290	5592	4826
8	1392	9903	1405	8	8480	5299	6003
10	1736	9848	1763	60	8660	5000	7321
2	2079	9781	2126	2	8829	4695	8807
4	2419	9703	2493	4	8988	4383	2.0503
6	2756	9613	2867	6	9135	4067	2460
8	3090	9511	3249	8	9272	3746	4751
20	3420	9397	3640	70	9397	3420	7475
2	3746	9272	4040	2	9511	3090	3.0777
4	4067	9135	4452	4	9613	2756	4874
6	4384	8988	4877	6	9703	2419	4.0108
8	4695	8829	5317	8	9781	2079	7046
30	5000	8660	5774	80	9848	1736	5.6713
2	5299	8480	6249	2	9903	1392	7.1154
4	5592	8290	6745	4	9945	1045	9.5144
6	5878	8090	7265	6	9976	0693	14.3007
8	6157	7880	7813	8	9994	0349	23.6363
40	6428	7660	8391	90	1.0000	0.0000	∞
2	6691	7431	9004				
4	6947	7193	9657				
45	7071	7071	1.0000				
6	7193	6947	1.0355				
8	7431	6691	1.1106				
50	7660	6428	1.1918				

5	0872	9962	0875
15	2588	9659	2679
25	4226	9063	4663
35	5736	8192	7002
55	8192	5736	1.4281
65	9063	4226	2.1445
75	9659	2588	3.7321
85	9962	0872	11.4301