

HP『海軍砲術学校』公開資料

船 舶 理 論

防 衛 大 学 校

昭 和 44 年 7 月

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

HP『海軍砲術学校』公開資料

目 次

まえがき

第1章 造船に関する基礎的知識	1
第2章 定義及び造船幾何	13
2-1 序 説	13
2-2 船体形状と線図	13
2-3 術語と定義	16
2-4 浮体の基礎的特性	23
練習問題	27
第2章 浮 力	29
3-1 面積、容積、モーメントの計算	29
3-2 排水量	34
3-3 毎センチメートル排水トン数	35
3-4 密度ときつ水との関係	36
3-5 浮力と重力	37
3-6 箱 船	38
3-7 排水量等測線図	38
練習問題	45
第3章 浮体のつりあい	49
4-1 つりあい	49
4-2 浮体のつりあい	49
4-3 メタセンターの位置とつりあい	51
4-4 メタセンター高さ、初期復原力の大きさ	51
4-5 縦復原力	52
4-6 復原挺	53
4-7 復原範囲	53
4-8 組織内の重心移動	53
4-9 傾斜位置におけるつりあい状態	55

HP『海軍砲術学校』公開資料

練習問題	56
第5章 初期復原力	59
5-1 メタセンター半径の計算とMの位置	59
5-2 傾斜試験とメタセンター高	61
5-3 傾斜試験	62
5-4 毎センチトリムモーメントの計算	64
練習問題	65
第6章 総合復原力	68
6-1 概説	68
6-2 復原力交叉曲線	69
6-3 静的復原力曲線	69
6-4 メタセンター高と復原力曲線	77
6-5 初期復原力と復原範囲	79
6-6 船の復原力特性	81
6-7 復原力曲線から認められる復原力特性	83
練習問題	85
第7章 重量の復原力に対する影響	87
7-1 概説	87
7-2 重量物付加	89
7-3 重量物除去	95
7-4 坐礁及び入渠	100
7-5 坐礁時の重量物投棄	103
練習問題	104
第8章 自由表面及び自由通水	109
8-1 自由水	109
8-2 自由表面	109
8-3 Pocketing	112
8-4 表面透過性	113
8-5 損傷時の復原力	113
8-6 外海との自由通水	114

HP『海軍砲術学校』公開資料

8-7	初期及び総合復原力に対する自由水効果の例	117
8-8	重量付加法と浮力喪失法	120
8-9	浸水	122
8-10	容積透過性	122
	練習問題	124
第9章	動的復原力	127
9-1	動的復原力	127
9-2	動的復原力の決定	127
9-3	動的復原力対動的傾斜モーメント	129
第10章	船体構造	135
10-1	概説	135
10-2	船殻構造	135
10-3	肋骨組織	137
10-4	キールと船底	140
10-5	艦首尾構造	142
10-6	外板	145
10-7	強力甲板	147
10-8	隔壁及び垂直支持	148
10-9	船体構造材としての木材	148
第11章	船体強度	150
11-1	概説	150
11-2	縦方向の曲げモーメント及び強度曲線	152
11-3	箱舟における強度計算例	155
11-4	船体強度曲線	156
11-5	洋上における船体	158
11-6	強度曲線間の関係	160
第12章	水における波の運動	(欠)
第13章	波における船の運動	(欠)
第14章	動水力学としての水中翼船	(欠)
第15章	水中艦艇としての潜水艦	(欠)

HP『海軍砲術学校』公開資料

まえがき

この教科書は防衛大学校学生が卒業後艦艇乗組幹部として科学的思考力を十分に発揮して艦艇を指揮運用できるように、船体のつりあい、構造等を物理学的観点に立つて考察し防衛術科との関連も勘案して作成してある。この点がこの教科書の特徴といつてよからう。したがってその内容に造船学で使用される用語

例えば、浮力、つりあい、船の抵抗その他の特別な造船熟語等が使用されていてもそれは将来造船技術士官となつて艦艇を設計するための基礎的内容と同一であると即断してはならない。教務内容としての艦艇の指揮運用とその設計との間には密接な関係がある、すなわち物理学的法則と理論とは全く同一であるが個々の事象内容についての深さと、取り扱われている範囲とでは両者に大きな相違がある。

艦艇は構成単位としては複雑で独立した能力を持っている。恐らく人間が作ることができる統合的な機能を持っているものとしては最大の建造物であろう。艦艇には敵の攻撃に生き残るために最高度の移動力と、海上における不安のない安定性、及び破損に対する十分な強度と抵抗力とを保持せしめなければならない。

海上技術士官や造船技師はそのような要求を満たすような艦艇を設計し、建造することができる。しかし船の安定性や航海適応性には技術士官の能力や技術ではどうにもならないものがある。

そのどうにもならないもの、それは艦艇を運用する幹部の所謂潮をかぶつた経験的な知識と技能とであつて、この知識技能の学問的裏付けを狙つたのが本書である。

昭和44年7月

HP『海軍砲術学校』公開資料

第1章 造船に関する知識

1-1	造船という言葉について	1
1-2	船の特性	1
1-3	商船の歴史	1
1-4	軍艦の歴史	2
1-5	艦船の主要遭難事件	5
	(1) タイタニック号の遭難	5
	(2) 水雷艇友鶴の転覆	5
	(3) 第4艦隊の荒天事故	6
1-6	艦船の大きさの単位	10
1-7	船体の諸状態	12

HP『海軍砲術学校』公開資料

1-1 造船という言葉について

(1) 造船科学

ア 流体力学的研究（船形学的研究）

㊦ 船舶の安全性に関する研究

a 船体の復原性

b 船体の動揺の研究

㊧ 船舶の針路安定性に関する研究

㊨ 船舶の操縦性に関する研究

イ 構造力学的研究

㊦ 船体の構造に関する研究

㊧ 船体の工作法に関する研究

ウ 船用機関に関する研究

㊦ 抵抗推進に関する研究

㊧ 各種機関の研究

(2) 造船工業

造船は船価の7割を関連工業に依存する総合工業である。船舶の約8割は材料費で、材料費の約6割は鉄材である。

1-2 船の特性

(1) Lord Rayleigh の言葉

海面状態を支配する基本的な法則があるとすれば、それはあて嵌められるような法則が一つもないということであろう。

(2) 物体の陸上における抵抗（滑り、ころがり）は全重量に略比例する（陸上運輸交通機関）が、水の抵抗は全重量の $\frac{2}{3}$ 乗に比例する。

1-3 商船の歴史

(1) 三韓征伐（神功皇后、80艘の貢船）

(2) 千石船（千石の米を積むことのできる船、長さ80尺巾24尺） 深さ 8尺～9尺

(3) 2500石積（長さ100尺巾33尺 深さ12尺7寸）

(4) 明治17年以後船内の容積を表わす新しい単位として 10立方尺 10立方呎 1石となる。

明治21年 5000石積以上の日本型船の新造禁止

昭和 7年 トン数で船の大小を表わす。

HP『海軍砲術学校』公開資料

- (5) 紀元前8世紀のフェニキヤの船は500人以上を乗せる大型船、ローマ時代は14段の帆を並べ7500人を収容する大型船、この頃から帆船となる。

18世紀鉄骨に木材を張った船及び船体全部鉄の船となる。

1857年にグレート、イースタン号、2万4千総トンができる。

1-4 艦の歴史

- (1) 1865年(慶応元年)海軍造船所が、フランス海軍大技士を首長とする一団(43名)を招へいして横須賀に創められた。

呉、佐世保に造船部ができたのは1889年(明治22年)で、その現場指導者は横須賀造船所仕込みの人々であった。

- (2) 明治初期における上田寅吉の活躍

船大工(ロシア軍艦ディアナ号の遭難による洋式造船術の導入)

オランダ留学、軍艦開陽丸(3,000トン)のぎ装

明治19年 横須賀造船所工場長

- (3) 日露戦役は外国建造艦が主であり、技術上は英国に依存した。

- (4) 日露戦争から第1次大戦までに造艦技術はお互に自立の体制をととのえた。

外国発注最後の艦は金剛(大正2年)

日本民間造船所へ発注最初の艦 榛名、霧島(大正4年)

- (5) 第1次大戦からワシントン軍縮条約まで

日米建艦競争、英独によるジエツトランド海戦の戦訓を生かし、攻防両面に従来の計画を変更した。

長門、陸奥(34,650トン 87,500HP 26.7^{kt})の例

ア. 15吋砲から16吋砲へ、主力艦の標準主砲となる。

イ. 水中防御として、外板内方に1吋高張力鋼3枚合せの防御縦壁を設ける。(米国は多層式水中防御法)

ウ. 集中防御方式

エ. 檣、檣とした。(三脚式前檣を止める)その頂部に10米の大型測距儀を設ける。

オ. オール、ギヤード、タービンの採用、機械室の三区副並列

- (6) ワシントン軍縮条約から日華事変勃発まで。

。日英米仏伊の主力艦トン数比 3, 5, 5, 1.75, 1.75

HP『海軍砲術学校』公開資料

主力艦 単艦 35,000トン以下 主砲 16吋以下
 補助艦 単艦 1万トン以下 備砲 8吋以下
 航空母艦 27,000トン以下

。第1次大戦を転機として、大艦巨砲主義は解消し、以後15年間に亘り、大海軍国はもっぱら巡洋艦以下の補助艦を建造し質の向上をはかった。

。個艦威力の増大を計った造艦計画が、用兵上の極端な要求を受け、過大性能を織込まんとして各型艦艇に著しい性能上の欠陥を暴露した。

(7) 太平洋戦争

無条約時代における無制限な建艦競争であった。昭和17年から、終戦にいたる3年8ヶ月の建造量は90万5,000トンであったが、これは、明治初年以来の総建艦トン数290万トンの30%以上であり、昭和元年から昭和16年末までの建造量88万9,000トンとほぼ等しい。

年 別	艦艇建造量 (英トン)				商船建造量		備 考
	工 廠	民間 造船所	合 計	隻 数	1,000 総トン	隻 数	
昭和1	4,280	21,840	26,120	12	52	26	6月ジュネーブ軍縮会議
2	25,050	11,690	36,740	13	42	19	
3	7,900	30,500	37,950	13	104	37	
4	8,350	8,190	16,540	13	164	40	4月 ロンドン軍縮条約調印
5	23,400	16,800	40,200	8	151	37	
6	7,400	23,650	31,050	9	96	31	9月 満州事変
7	3,400	1,470	4,870	4	36	28	1月 上海事変
8	13,120	4,070	17,190	14	63	21	3月 友鶴艦隊事件 9月 第4艦隊事件
9	22,300	16,070	38,370	14	128	39	
10	32,800	16,300	49,100	18	134	62	
11	23,900	15,750	39,650	11	247	100	1月以降無条約 7月 日華事変
12	33,350	26,640	59,990	21	428	160	
13	18,400	31,900	50,300	23	401	141	
14	50,200	59,640	109,840	39	333	116	

HP『海軍砲術学校』公開資料

年 別	艦艇建造量 (英トン)				商船建造量		備 考
	工 廠	民間 造船所	合 計	隻 数	1000 総トン	隻 数	
昭和15	85,900	124,910	210,810	37	307	125	出動準備計画 一部発動 4月連合艦隊 戦時編制 ○商船統計は5年 までロイド統計 6年以降 海軍総局資料 16年までは 100総トン以上 17年以降は 500総トン以上 の鋼船
16	24,300	96,120	120,420	49	241	112	
17	58,500	59,970	118,470	97	260	77	
18	79,280	159,650	238,930	185	768	254	
19	186,800	274,820	461,620	389	1,609	703	
20	29,200	56,950	86,150	140	560	188	
合 計	737,830	1,056,480	1,794,310	1,108	6,214	2,316	
比 率	41%	59%	100%				

(8) 造艦技術確立上大なる功績のあった初期以来の先輩

○平賀 讓 氏 (造船中尉、東大総長、男爵)

明治34年東大卒、造船中技士、英国グリーンニッチ海大卒、日露戦争
当時から軍艦大和の設計まで軍艦計画の第1人者近代造船工学の泰斗
世界を驚かした論文 (英国造船協会から金ばい授与)

◎ Experimental Investigation on the Friction Resistance
of Planks and Shipmodel.

◎ Experimental Investigation on the Friction of Long-
planks and Ships.

第1の論文で摩擦抵抗は浸水面積に比例し、その他の寸法には従わな
い。従来のレイノルド数の打破。第2論文で新公式の実証
(従来の抵抗値は、低速で30%以上、高速で15%以上少ない)

1-5 艦船の主要遭難事件

(1) タイタニック号の遭難

○明治45年4月14日の夜半、北大西洋ニューファウンドランドの沖
合、イギリス サザンプトンからニューヨークへの処女航海で氷山に
衝突、僅かに2時間40分で沈没、全乗員の7割に近い1,490名死
亡。

○要 目 総トン数 46,328トン 50,000HP 21kt
イギリス ホワイトスター 汽船会社

HP『海軍砲術学校』公開資料

- 船舶安全法（昭和8年） 船舶設備規程（昭和9年）

② 水雷艇友鶴の転覆

◎海軍軍人の信条「艦というものは決して転覆するものではない。いかなる強風怒濤の中にあっても必ず復原する」がこの事件でぐらついた。

◎転覆の理由

判

○ロンドン軍縮条約の政限外艦艇として水雷艇を2等駆逐艦に仕立てんとして用兵者が艦の保安の根源である復原性を無視して強大な兵装を要求し、造船設計者はこれに妥協した。

すなわち従来は、大砲、水雷及び関連の電気兵器の重量と排水量との比が10%程度であるのに、友鶴は約24%であった。

○これまでに次のような転覆事件があったが、操艦者の過誤に帰し、復原力の不足に注意しなかった。

16号水雷艇（54トン）が明治28年5月台湾澎湖島附近で荒天のため転覆。

2等駆逐艦さわらび（820トン）が台湾近海を荒天時航行し転覆甲板上の物件過とう載と見做された。

○友鶴の姉妹艦千鳥の進水時に重心試験を行って重心点が30cm計画より高く、旋回公試で約28ktで舵を15°転舵したら約30°傾斜した。これらの現象に対し、抜本的対策がなされなかった。

◎復原性能改善対策

○復原力について限界を定めることはできない。なんとなれば復原性の相手は自然であり、艦の状況も環境によって千変万化するのので、理論造船学も之に明確な目標を与えることができなかった。

しかし二度と失敗を繰返さないために一応の基準を設けた。

「復原性能適用表」が作成されたが、この表で注意すべきことは従来あまり重視されなかったOG値を最も重視すべき数値の1つとされたこと、水上及び水中側面積比が明示された。また軽荷状態の数値が示された。この数値に達せぬ場合は、海水バラストを張ってこの数値に達することを目途とされた。

○さらに以後、艦の復原性には次のような細心の注意が払われるようになった。

艦の重量計算と重量実測を一層厳重に行ない、計画と実際との間に差

HP『海軍砲術学校』公開資料

が生じた場合に即刻対策が採られるよう規則が設けられた。

- 艦の完成後に新設改造が行なわれる場合には、重量増加と重心点の変化を計算し、必要に応じて必ず代償となる重量を、撤去または移動して復原性の低下を妨ぐ。
- 既成艦については、不要不急の兵器及びぎ装品の撤去、バラストのとり載、海水バラストタンクの設置。

(3) 第4艦隊の荒天事故

ア・事故の概要

昭和10年度の大演習において、第4艦隊は9月26日午後台風に遭遇、最大風速35米の荒天下に、駆逐艦初雪と夕霧は艦橋直前で船体が切断し、艦首部を喪失した。また睦月は艦橋が圧壊し又空母竜驤は艦橋前面に破損を生じ、鳳翔は飛行甲板前端を圧壊し艦橋からの操艦を不能とし、他の各艦も大小の被害を生じ、遂に行動を中止した。

イ・遭難前後の海上模様

風力は正午頃から漸次増大し、13時27米秒、1530頃最大で、30米、17時頃から風力が衰えて28米秒となり、低気圧圏の後方に出たことを感知したが、波浪はますます高まり、かつ不規則な三角波となり、風力に比し波高甚だ大きく、まだ経験しない荒天であった。

ウ・初雪船体切断時の海上模様

9月26日6時函館を出港し、第4水雷戦隊の一番隊一番艦として針路おむね105度、速力9~10.5ktにて航行、翌26日11時頃から風浪大となり、信号により異常な低気圧の近接しているのを知り、荒天準備を完成した。14時頃から風濤いよいよ強く、ことに16時30分頃は波頂で艦首を叩かれ、半速力で辛うじて航行ができるが、7kt以下とするときは風濤に任せられ、時には波浪に横倒しとなり、動揺は60~70度となる。速力は8~9kt、16時40分右艦首に大波を受け所々に損害を生じ、特に第1煙突の根本に長さ6.5mの亀裂が入った。17時頃から僚艦との衝突を避けるため短時間変針後また150度に定針した。この頃2、3回連続して波頂のうねりに会い、始めは調子よく切抜けたが、最後に尖頭形三角波に衝撃され遂に艦首が切断した。時に17時29分、艦長はとっさに「後進原速」

HP『海軍砲術学校』公開資料

次いで「防水」の号令をかけ、艦の行足が止るのを見て漂泊した。切断した艦首は右に転覆し艦底を露呈し、左舷後方に圧流されて、間もなく姿を見失った。

艦員は応急処置として第1缶室隔壁を支柱で補強し、復原力保持（重心降下）のため魚雷9本を発射して棄てた。

18時過ぎにはトリム調節のため重油の1部を排棄し、19時半第1缶室に浸水を見たので之を防水し、20時3番砲塔の弾丸160発を投棄した。この間艦は45～50度の動揺を繰返した。

17時30分探照灯で「SOS」を発し、引続いて旗艦那珂へ無線報告した。本艦は翌日重巡羽黒に曳航され、大湊に向った。

切断した艦首是那珂によって発見、監視されたが、その中に生存者が居るかも知れず、しかも何等救出する方途がなく、時間の経過とともに遂に生存者は絶望されるに至り、万事窮し機密暗号書等の喪失を防ぐため砲火で撃沈した。

エ・荒天の状況

第4艦隊の遭遇した荒天中、重巡那智航海長の観測した波は、長さ100～150m、高さ10～15米で波長と波高の比は約10であった。水雷戦隊所在の海面では、波長200m波高15mで、波長と波高の比は13.3になる。しかし之は初雪が艦首に被った時の三角波ではなくて、当時の大波の計測結果である。

以上の実情と他の調査とで次のように結論された。

日本近海にできる波の長さは風速70mで波長500m、波高23～26m、風速50mで波長280m、波高15～18m（この程度のものは日本近海では年2回位発生）、風速40mでは波長180m、波高11～14m位（年10回位発生）になる。以上によると、波長と波高の比は10～30位になり、しかも台風の場合では10位が多い。

元来波浪の観測はきわめて困難なものであって、信をおくに足る報告の数は、ことに少なく、仮りにあっても万象中の一象をもって他を推測することはできない。

造船設計者が船体強度計算の標準として採用しているのは、波長、波高比が20であり、波長が船の長さ¹に等しいとする。

HP『海軍砲術学校』公開資料

船の長さに等しい波長の時、船体に生ずる曲げモーメントが最大であることは、波形をトロコイド曲線とすると計算的に実証せられ、波長波高比を20とすることは、経験上この程度の波が限度と認められたからである。このような波を基礎とすることは所謂標準計算として万国普通であった。

そして標準計算によって得られる曲げモーメント曲線に基づいて、艦の各断面に生ずる曲げ応力は、その構造が決定すれば簡単に求められ、また曲げ応力を適当な値とするような、船体縦強力材の寸法及び構造法が決定される。問題はこの曲げ応力をどの程度の値に押えるかにある。曲げ応力は破壊応力に対し十分な安全率を見込まなければならない。

第4艦隊の遭遇した波浪は、はるかに波長、波高比20の標準より激しい巨大なものであった。現実このような波浪がわが近海に生ずる。したがって従来やって来た船体強度計算における曲げ応力の許容値の取方について重大な検討を加える必要があった。更に念のため場合によっては波長、波高比10の場合についても、船体強度計算を行なって強度の判定に資した。

オ・初雪の船体強度計算

初雪の強度は一応慎重に計算されていて、計画時の艦の状態では、普通の標準波については最大応力は決して高くはない。しかし計画に比し完成重量は非常に増加していた上、就役後いろいろと改造されて重量的に変化が生じていた。また船体縦強力は普通なら艦の前後部の応力は著しく下っておるのであるが、初雪では前後部の強力材を薄くしており、そのため前後部でも中央と同じ程度の応力となっていた。これは重量軽減上有利だと考えられたからである。標準波以上の高い波に遭うと当然艦の中央部の応力も増加するが、艦の前後部の応力の増加の割合は一様ではなく、艦によって多いものも少ないものもあり、また前後部の乾舷及び予備浮力の分布によって著しく相異なる。

初雪では波長、波高比を10とすると20の場合に比し中央部甲板の応力は45%増し、前部では69%増す。これは艦が波の谷間に来た場合の圧縮応力である。

艦が波の山に乗った場合はこの増加の程度はそれ程大ではない。

HP『海軍砲術学校』公開資料

すなわち、初雪では構造重量の軽減のため、応力分布について十分研究がなされなかった。

カ・船体強度改善の対策

- ・既成艦に対する補強工作が徹底的になされた。
- ・主要強力材に対する溶接工作の中止

△ この事件の前、7月に初雪の姉妹艦は東京湾外で、うねりの中で高速運転を行ない、程度こそ軽微であったが、艦首尾甲板にしわの発生を見た。

横須賀でその調査に当たった1造船少佐はこれを重大な強度上の欠陥によって発生した損傷であると断定し、これらの艦の大演習参加については重大な考慮を要する旨を復命したが、上司は大演習の矢先でもありこれを不問に附し、しわの発生した一艦のみ単に補強を行なったに過ぎなかった。

1-6 艦船の大きさの単位

(1) トン 酒樽 tuns または Casks の意味
軍艦(排水量)客船(総トン数)貨物船(積載重量トン)
を意味する。

(2) 重量トン (Weightton)

船に関する限りは大抵英トン単位で、2,240ポンドを1トンという。
すなわち English Ton あるいは Long Ton という。
(英トン1トンは1.016キロトン、267貫)

米トンは2,000ポンド、America Ton あるいは Short Ton という。
仏トンは1,000キログラムである。

船で重量を使うのは、排水量(Displacement)、積載重量(Deadweight)、噸トン(Tons Per cm)等が主である。

この外に石炭、水、燃料等を重量トンで何トンという。

(3) 容積トン (Volume Ton)

容積をトンで表わすのは船に限る。容積100立方呎(2.83m³)を1トンという。この容積トンを使うのは総トン数(Gross Tonnage)純トン数(Net Tonnage)甲板下トン数(Under Deck Tonnage)に限る。

また商船の船艙の容積を40立方呎を1トン(石炭の40立方呎は重量

HP『海軍砲術学校』公開資料

約1トン)として表わす載貨容積(トン)がある。

(4) 排水量 (Displacement)

船の重さである。船の重さは船の吃水線以下の船の形と同形の水、(または海水)の重量に等しい。

艦艇の標準状態は戦闘準備を完成した時で、それ以外の場合はあまり多く考える必要はなく、その標準状態は一定不変のものであるから、この時の排水量は一定不変のもので、その時の排水量で艦艇の大きさの概念を表わすことができ、艦艇のトン数といえば必ず排水量を意味するものである。しかし商船は積荷によってその吃水は非常に変化し、一定の標準状態というものがない。たとえば満載状態の吃水を標準吃水と認めるとしても、その時の排水量は実際船の概念を表わす根拠とはならず、これが商船に多く排水量を使用されないで、貨物船には積みみうべき重量、すなわち載貨重量トンを基準とし、客船には容積を表わす総トン数を用いるわけである。

(5) 載貨容積(トン) (Cargo Capacity (ton))

貨物艙内の荷物を搭載しうる総容積を指し、以前は習慣的に40立方呎を1トンとして表していたが、現今では立方呎あるいは立方メートルそのままを示すことが多い。貨物船などでは商取引上特に重要であるので「載貨容積」と「重量トン数」両者共必ず算定される。

(6) 載貨重量、重量トン数 (Dead weight tonnage, D.w)

船のLoad condition (満載状態)におけるDraftに対するDisplacementとLight condition (空船状態)におけるDraftに対するDisplacementの差をDead weight tonnage (載貨重量又は重量噸)と云って、その船に積載できる最大重量を表わすものである。

ここに云うLight conditionとは船体、機関の重量のほか法定備品属器及び航海荷役その他に要する機械器具を積載し、その上Boiler及びcondenserには普通航海状態における水を入れた場合を呼ぶことになって居る。

そしてDead weight tonnage中には貨物のほかに

- ア・燃料及び缶水の重量
- イ・圧艙物の重量
- ウ・食糧、飲料水及び消耗品の重量

HP『海軍砲術学校』公開資料

エ．乗組員及びその所持品の重量

オ．その他不明の重量 (Unknown constant)

も含まれることに注意すべきである。従つて船に積載できる貨物の最大重量は Dead weight tonnage から上記の諸要素の重量を差引いたものでこれを Net dead weight (載貨能力) と呼ぶことにする。

Net dead weight はもちろん船によつて差はあるが、大凡そ Dead weight の 90% 内外と見当をつけてよい。

Dead weight tonnage はその船に積載しできる大体の貨物の重量を表わすので、主として備船料の決定、船舶の売買等の場合に用いられる。

(7) 総トン数 (Gross Tonnage)

甲板下トン数に上甲板以上にある蔽閉した場所の容積を加えたトン数から、上甲板以上にある船の安全、衛生、航海等に必要な場所の容積を引き去つたトン数である。

1 国の保有商船のトン数は総トン数で表わす。商船の登録税、関税、手数料の基準となる。

(8) 純トン数 (Net Tonnage)

総トン数から次の容積を引去つたトン数である。

船員常用室、海図室、荷脚水艙 (物を積載できない水艙)、機関室、操舵機具等に使用される場所、水夫長倉庫、帆庫、その他船の安全、衛生、利用上上記各項に準ずるもの。

純トン数は、トン税、港税、灯台税、岸壁使用料、水先案内料算定の基準になる。

(9) その他

- ・トン数は国により、目的により少しではあるが相違している。トン数の世界的統一が提唱されている。
- ・パナマ、スエズ運河通過の際は、両運河会社の測度法によるトン数証書が必要である。コロンビヤ丸、G.T. 本邦 5,611、パナマ 6,533 スエズ 6,140。
- ・類似する船型であれば容積と重量の間には相似の関係が存在する。

$$\text{貨物船} \frac{D.W}{G.T} = \left. \begin{array}{l} 1,628 \text{ (一層甲板)} \quad 1,564 \text{ (二層甲板)} \\ 1,513 \text{ (三層甲板)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{いずれも} \\ \text{平均値} \end{array}$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

1-7 船体の諸状態

警備艦艇の諸状態につき防衛庁では次のとおり定めている。

(1) 常備状態 (Normal Condition)

船体、ぎ装、機関、武器等完備した上におおむね燃料、予備水、真水、糧食及び消耗品等の計画という載量の $\frac{2}{3}$ をとう載した状態をいう。

(2) 軽荷状態 (Light Condition)

船が完成し、予備品、備品、被服、医療品等をとう載した状態をいい乗員及び燃料等一切の消耗品はとう載していない。

(3) 満載状態 (Full Load Condition)

すべてのとう載品を計画最大量まで積み込んだ状態をいう。

(4) 消費状態 (Consumed Condition)

常備状態の $\frac{2}{3}$ とう載した量を $\frac{1}{3}$ まで消費した状態をいう。

(5) 補填軽荷状態 (Ballasted Light Condition)

艦が軽荷状態で航海することはないが、行動終了時は軽荷状態に近づく。すなわち燃料、弾薬を消費してしまうと重心点が上昇し、一方きつ水が浅くなり風圧側面積が増し復原性能は悪化する。この場合所定のバラストタンク等に所定量の海水を注入し重心を下げてきつ水を増した状態であり、軽荷状態に復原用液体、乗員及び所持品を加えたものと考えてよい。

(6) 基準状態 (Standard Condition)

艦が完成し、乗員が乗組み航海可能な状態となり、一切の兵装、弾薬消耗品等を計画量とう載した状態である。ただし、燃料と予備水はとう載しない。この排水量は大正10年華府軍縮条約で始めて国際的に艦の排水量の大小を比較するために決められたものであり、英トンをもって示す。

HP『海軍砲術学校』公開資料

第 2 章 定義及び造船幾何

2-1 序 説

船体の形状はその船の目的に最も良く合致するように設計された複曲面で包まれている。船の目的は種々雑多であるから、船の大きさと形状も共に無限に変化する。大型の航空母艦やマンモスタンカーから小型の短艇にいたるまで、その種類に応じたいくつかの系列に分類されるが、その1種類についても大きさや、形状がそれぞれ異なっている。これら船体の形状や大きさの相異に伴って、船の浮力や復原力等も船ごとに変ってくるものであるから、船を運用するものは、それぞれの船についてのこれら諸問題をよく理解していることが必要である。復原力や浮力の問題に立ち入るに先だつて、造船学において一般に使用される術語や定義等について述べることにする。

2-2 船体形状と線図

(a) 一般

船体は複曲面でできているので、船体の表面を正確に示すためには、ある基準平面を設けなければならない。

船体を図面に表わすには、図学や機械製図における平面図、側面図、正面図と同様に、一般に三つの投影図によつて示す。造船においてはこれら三つの投影図を

- (1) 半幅線図 (Half breadth plan)
- (2) 側面線図 (Sheer plan)
- (3) 正面線図 (Body plan)

と称する。

船体形状は上記の3面図に、次に述べる基準平面と船体との交線を記入して示されるが、これらを総括して線図 (Lines) という。

一般に鋼船の線図は型外形線 (Molded outline) と称するもので、これは外板を含まない、つまり骨格の外面形状を示すものである。外板は通常重ね合せて形造られるのでその外面には若干の凹凸を生ずるのが普通であるが、外板を取付ける前の型外形線は平滑な輪郭を有する曲線

HP『海軍砲術学校』公開資料

である。

(b) 関係平面

前項にのべた3投影図を書くためには、次の3種類の平面が基準となる。すなわち、水線面 (Waterline planes)、縦断面 (Bow and buttock planes)、及び横断面 (Section planes) がそれである。

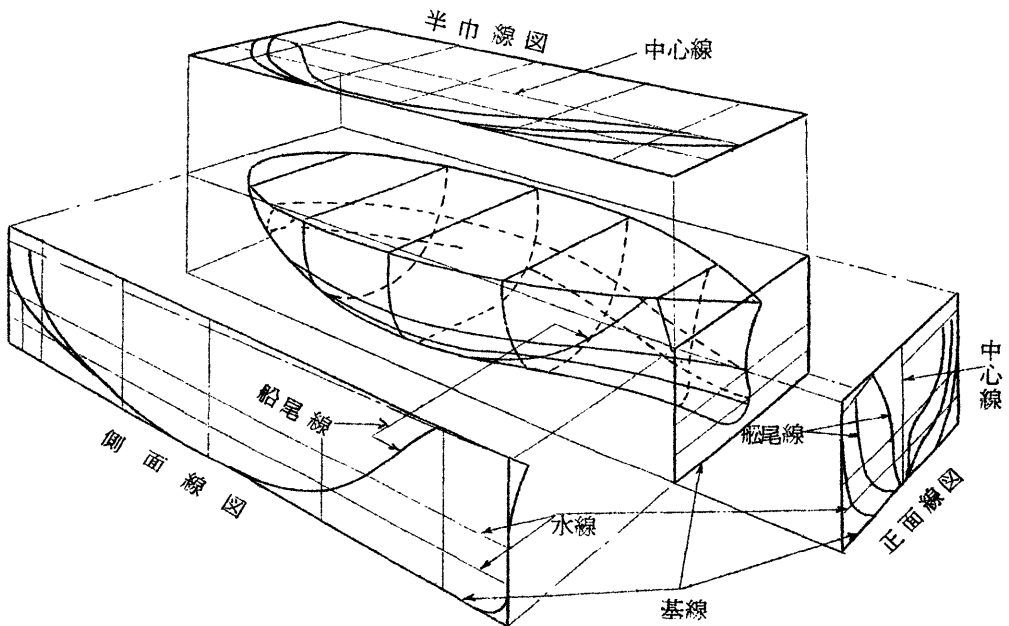
(c) 水線

水線の基準平面は一つの水平面であつて、一般には平板キール (Flat keel) の上端面を含む平面であつて、基本平面 (Base plane) と呼ばれる。

基本面に平行な平面と船体表面との交線を水線 (Waterline) という。

船がその水線で浮ぶように計画された水線を計画水線 (Designer's waterline) といい、これに平行な他の水線は一般に等間隔に引かれ、番号を付し、又は基本面からの距離を付して示す。

側面線図と正面線図における基本面の投影は型基線 (Molded base line) 又は単に基線 (Base line) という。



第2-1図 線図の投影

HP『海軍砲術学校』公開資料

(d) 船尾線 (Buttocks)

水線面に次いで第 2 の基準とする平面は縦垂直中心面 (The longitudinal Vertical Centerline Plane) である。これは基本面に垂直であつて、船の対称軸に沿つて船首 (bow) から船尾 (Buttock) まで縦に 2 等分する平面である。

縦垂直中心面に平行な平面と船体表面との交線を船首及び船尾線 (Bow and buttock lines. or Buttocks) または単に船尾線 (Buttock) といふ。

船尾の投影は側面線図 (Sheerplan) において船体の形状を表わす。又半幅線図 (Half Breadth plan) 及び正面線図 (Body plan) における縦垂直中心面の投影を中心線と称する。船尾線は中心面から外側に順次番号を付し、又は中心面からの距離を付して表わす。

(e) 横断面とステーション (Stations and Sections)

水線面と船尾面の両平面に垂直な平面が横断面であつて、横断面と船体表面との交線を横断線 (Transverse sections or Sections) と称する。

船首外形線と計画水線との交点を通る垂直線を前部垂線 (Forward Perpendicular) と称し、船尾外形線と計画水線との交点を通る垂直線を後部垂線 (After Perpendicular) と呼ぶ。

横断面の位置を決める点をステーション (Station) と称し、艦艇では前部から後部に、商船等ではその逆に、番号を付してあらわすのが例である。

横断面の間隔はステーション間隔 (Spacing) と呼ばれ、これにステーション間隔数 (ステーション数より 1 だけ少い) を掛けたものが垂線間長である。

垂線間の中央の横断面は中央横断面 (Midship section) と呼ばれ、一般に記号 Δ であらわす。

(f) 斜線 (Diagonals)

船形を明確にし、船体の表面との交点を照合するために用いられる斜線 (Diagonal) は縦中心面には傾斜し、ステーションには直交する平面

HP『海軍砲術学校』公開資料

(斜線面)と船体表面とが交叉してできる曲線である。これは前述のどの関係平面にも平行ではないのでそのままでは線図に表すことはできない。

斜線を線図に記入する場合には水線面等の基準平面に平行になるまで回転しなければならないし、一般には半巾線図に平行な位置に回転し半幅線図の反対側に示すのが例である。重要な斜線は船底彎曲部斜線 (Bilge diagonal) であつて、これは船の中央横断面の船底彎曲部を通るものである。

2-3 術語と定義

1 最大幅と幅 (Beam and breadth)

一般に最大幅とは船体最広部における外板の最外側面間の距離をいう。

型幅 (Molded breadth) は船体の最大幅横断面において外板内側面間 (すなわち肋骨外側面間) を測つた幅をいう。水線から上方の舷側曲線が内方にカーブして甲板線と第2-2図Dで交わる場合、水平距離DEを内方傾斜 (Tumblehome) と称する。

又反対に水線から上方の舷側が外側に向つて張り出している彎曲は通常船の前部に見られるがこれは外曲 (Flare) と呼ばれる。

2 梁 矢 (Camber)

横断面における甲板線を中央部が舷側より高い曲線とした場合、甲板中心線と甲板端部との高さの差をCamberと称する。Camberを設けるのは、甲板の水はけをよくし、あるいは甲板の強度を増す等の目的によるものである。

3 深さと船底勾配

型深さ (Molded depth) とは中央横断面において、基線から舷側における上甲板梁の上面までの垂直距離をいい、又単に深さとも称する。

第2-2図において船底線はA点から上方に傾斜し、その切線は、舷側の型外形線に接する垂線CEとB点で交わっている。距離BCを船底勾配 (Deadrise) という。

4 きつ水、トリム及びドラグ

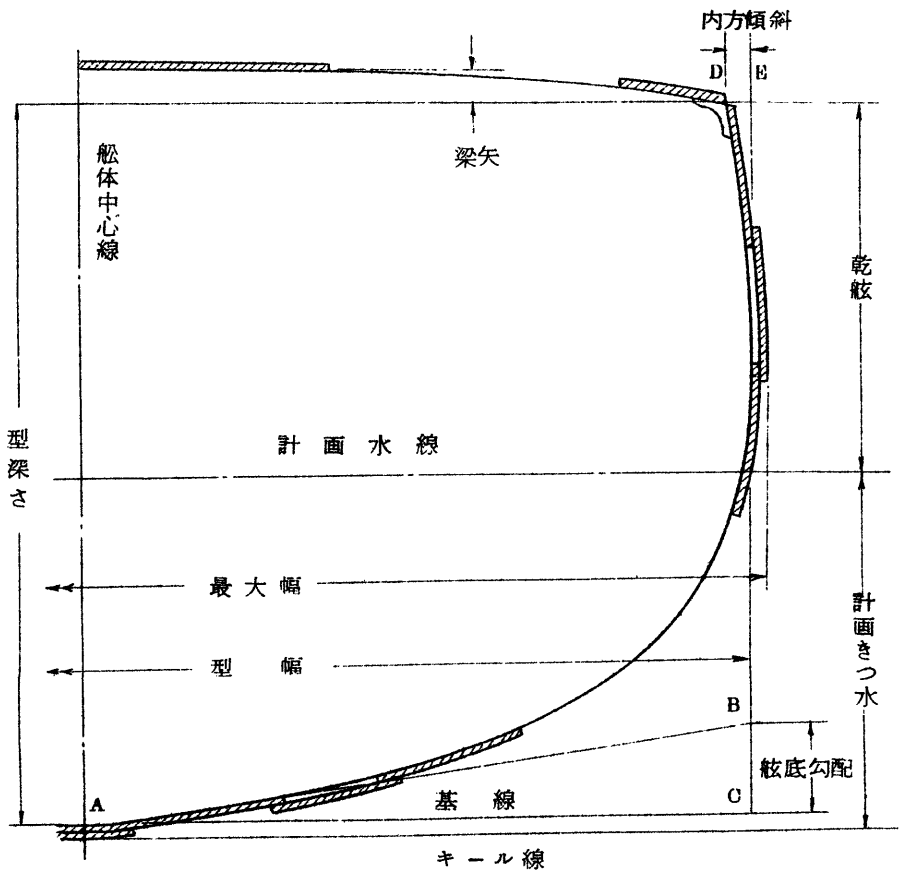
任意横断面におけるきつ水 (Draft) とは、水面からキールの底面に至る垂直距離をいう。船首あるいはその附近で測つたきつ水が前部きつ

HP『海軍砲術学校』公開資料

水 (Draft forward) であり、船尾あるいはその附近で測つたきつ水が後部きつ水 (Draft aft) である。平均きつ水 (Mean draft) とは前後部きつ水の算術平均をいう。

型きつ水 (Molded draft) は水面から基線に至る垂直距離である。

大ていの船は前後部きつ水が同じである (Even trim) ように計画される。このような船において前後部きつ水が異なる場合、その船はトリムしている (to be out of trim) といわれる。この場合もし前部きつ水が大であるときは船首トリム (down by the head, or trimmed by the bow) といい、後部きつ水が大であるときは船尾トリム (down by the stem, or trimmed by the stern) という。



第2-2図 船体断面の名称

HP『海軍砲術学校』公開資料

きつ水が変化した場合、トリム変化は前後部きつ水変化の代数的差をいう。

もしもある船において前部きつ水よりも後部きつ水が大であるように計画された場合には、その船はドラグ（Drag）を持つように計画されたといい、計画水線で浮いているときの前後部きつ水の差をドラグという。浮力や復原力の計算においては船の計画きつ水線はトリムの基準となるものである。すなわち計画きつ水線が実際の水線に対して縦方向に傾斜しているときは船はトリムしていると考えられ、実際のトリムはドラグを超過する前後部きつ水の差をいう。たとえば、前部きつ水3メートル後部きつ水3.5メートルに計画された船（この場合ドラグは0.5メートル）が前部きつ水3メートル、後部きつ水3.8メートルで浮いているとすれば、この場合のトリムは船尾トリム0.3メートルであるといわれる。

船が後部きつ水より前部きつ水が大であるように計画されることはまれである。

5 乾 舷（Freeboard）

任意の横断面における水面から露天甲板端に至る垂直距離を乾舷といい、その位置を明示して表わすことが多い。復原性に関して重要な意義をもつ最低乾舷は、一般に船体中央附近を指すことが多い。

6 舷 弧（Sheer）

任意点における乾舷と中央横断面における乾舷との差をいう。

7 横固定傾斜、横傾斜及び横動揺

船はもちろん直立して浮く様に計画され、又通常直立して浮いている。すなわち、縦垂直中心面か水の表面に対して垂直を保っている。しかしながら不つり合の搭載状態か又は外部からの力か加えられた場合は、横方向に傾く。このような傾きはその性質によつて、横固定傾斜（List）横傾斜（Heel）、或は横動揺（Roll）として表わされる。横固定傾斜は永久的性質をもつ傾斜の状態をいう。

横傾斜は一般に運動に伴う一時的、或は比較的長時間にわたる傾きをいう。横動揺は両舷に周期的に傾く運動をいう。

HP『海軍砲術学校』公開資料

船は積荷等の不つりあいにより固定傾斜をもつて航海しているとき、風浪によつてさらに動揺する。又旋回運動によつて固定傾斜のほか横傾斜が加わるのが例であり、或は強風を受けている間は横固定傾斜から多少横傾斜を生ずることもある。

8 形状係数 (Coefficients of form)

設計の初期段階において、新設計の船の性質を過去のデータと比較検討し、又性能の見積りを行う上に船体形状に関する係数が使用される。

(1) 方形肥瘠係数 (Block coefficient)

与えられたきつ水における排水容積と、これと同じ長さ、幅、きつ水を有する直方体の容積との比をいう。

すなわち、

$$C_b = \frac{V}{L \cdot B \cdot D} \dots\dots\dots (21)$$

こゝで C_b : 方形肥瘠係数

V : 排水容積

L : 水線長

B : 型幅

D : きつ水

(2) 柱形肥瘠係数 (Prismatic coefficient)

与えられたきつ水における排水容積と、この最大横断面と同じ横断面を有し、長さが等しい一様断面柱状体の容積との比をいう。

すなわち、

$$C_p = \frac{V}{A_{\text{max}} \cdot L} \dots\dots\dots (22)$$

こゝで C_p : 柱形肥瘠係数

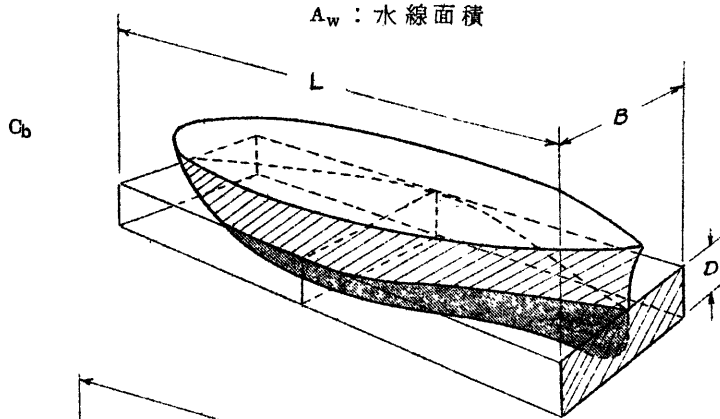
A_{max} : 最大横断面の水線下面積

(3) 中央横断面係数 (Midship Section Coefficient)

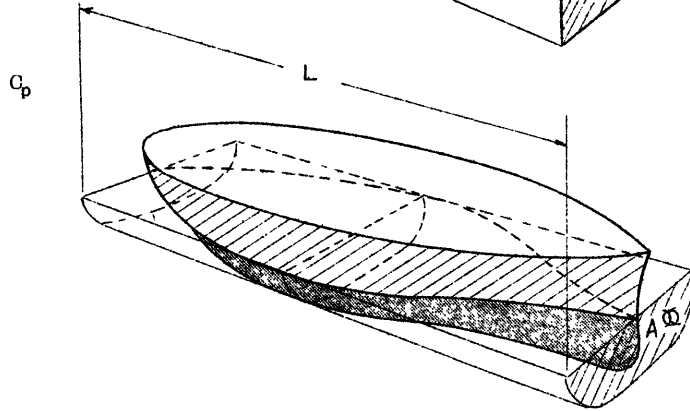
与えられたきつ水における中央横断面の水線下面積と、これと同じ幅及びきつ水を2辺とする長方形の面積との比をいう。

HP『海軍砲術学校』公開資料

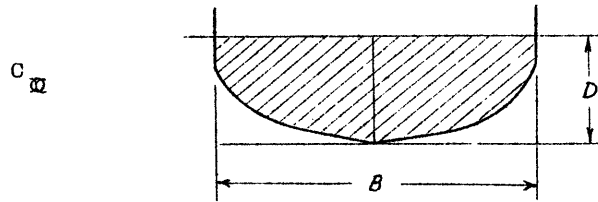
方 形



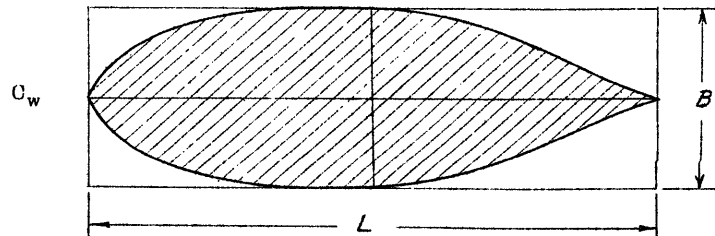
柱 形



中央横断面



水線面積



第 2 - 3 図 船体形状係数

HP『海軍砲術学校』公開資料

すなわち、

$$C_{\text{中}} = \frac{A_{\text{中}}}{B \times D} \dots\dots\dots (23)$$

ここで $C_{\text{中}}$: 中央横断面係数
(又は $C_{\text{中}}$ とも記す)

(4) 水線面積係数 (Waterline Coefficient)

水線面積と、これに外接する矩形の面積との比をいう。

すなわち、

$$C_w = \frac{A_w}{L \times B} \dots\dots\dots (24)$$

ここで C_w : 水線面積係数

(5) 各形状係数間の関係

式(21) ~ (24)から次のように各係数間の関係が得られる。

$$C_b = C_p \cdot C_{\text{中}} \dots\dots\dots (25)$$

又は

$$C_p = \frac{C_b}{C_{\text{中}}} \dots\dots\dots (25a)$$

(6) 数値の例

	C_b	C_p	$C_{\text{中}}$	C_w
戦艦	0.60 ~ 0.70		0.98 ~ 0.99	
巡洋艦	0.51 ~ 0.57		0.8 ~ 0.9	
駆逐艦	0.43 ~ 0.54	0.6 ~ 0.71	0.78 ~ 0.88	0.75 ~ 0.77
客船	0.500 ~ 0.700	0.57 ~ 0.71	0.85 ~ 0.985	0.7 ~ 0.8
貨物船	0.670 ~ 0.800	0.68 ~ 0.81	0.96 ~ 0.995	0.75 ~ 0.87

HP『海軍砲術学校』公開資料

(参 考)

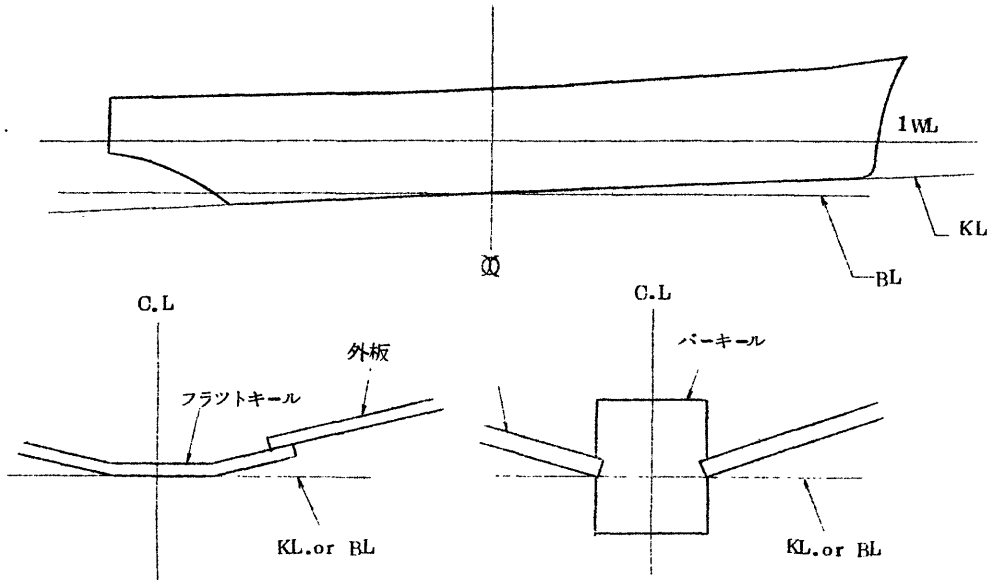
海上自衛隊艦艇における寸法等

防衛庁の艦船設計に関しては防衛庁規格に定められた名称や記号が用いられる。そのうち一般の慣例と多少異なるものをあげれば次のようなものがある。

名 称	記 号	説 明
計 画 水 線	1 W L	計画常備状態のきつ水線
水 線	W L	1 W L に平行なきつ水線 (註) 1 W L とベースラインとの間を5等分間隔に引いた水線のうち、1 W L 以下のものは順に下方へ 2 W L . 3 W L ……とし、1 W L 以上のものも 1 W L 以下と等間隔にして順に上方へ A W L . B W L ……とし、さらに各水線の間を細等分した場合にはそれぞれ $1\frac{1}{2}W L . 2\frac{1}{2}W L . \frac{A}{2}W L . \frac{B}{2}W L$ ……等とする。
ベースライン	B L	鋼船では \square で、フラットキールの下面、又は外板外面とバーキール外面との交点を通り 1 W L に平行な線(第2-4図参照)
キールライン	K L	鋼船では中央部でフラットキールの下面の平坦部を通り前後部に延長した直線、バーキールを有する場合は、外板とバーキールの外面との交点を通る直線(第2-4図参照)
深 さ	D	最大横断切断面でキールラインから上甲板側線までの高さ

HP『海軍砲術学校』公開資料

ベースラインとキールライン



第 2 - 4 図 ベースラインとキールライン

2-4 浮体の基礎的特性

1 アルキメデスの原理 (The principle of Archimedes)

この原理は液体中に沈められた物体は、その液圧により其の物体が排除した液体の重量と相等しく方向相反する上向の力を受けることを述べている。この原理は物体の全部あるいは一部が液体中に沈められたどちらの場合にも成立つ。

このことは次のようにして説明することができる。今液体中に浮んでいた船をとりのぞいたと想像する。船によつて排除されていた部分は空になるので液体は液圧によつてこの空隙に奔入するであろう。もし船がとりのぞかれた部分に船の外形と全く同じ形に厚みも目方もない隔膜があつて液体が流れ込めなかつたとしたら、そこには液圧のつり合いが生ずる。しかしこの隔膜の内部に、外部の液体と同じ密度の液体を、外部の液面と同じ高さまで満したら、圧力のつりあいはなくなる。すなわち浮かんでいた船の重量と、満した液体の重量（船が排除していた液体の重量）とは等しい。

HP『海軍砲術学校』公開資料

以上により、浮かんでいる船の水面下の、水を排除した部分の容積（排水容積） V （Volume of Displacement）と、船の重量 W との間には次の重要な関係がある。

$$W = r \cdot V \dots\dots\dots (26)$$

（ r は密度係数）

したがって一般に船の重量を排水量（Displacement）という語であらわすのである。

2 予備浮力（Reserve of buoyancy）

水線から上方の水密容積を予備浮力といい、一般に容積かあるいは計画排水量（又は排水容積）に対する百分比かで表わされる。艦艇では通常排水量の50～100%以上種々である。

3 船の重心（Center of gravity of ship）

力学上の重心と同じく、この点を通ずるいかなる軸についても船の重量のモーメントの総和が零になるような点（一般に文字 G であらわす）である。普通の形状を有する船については重心は中央横断面の近くにあつて、艦艇では普通計画きつ水線の近くに位置する。

重心の重要性は、浮力及び復原力を考えるにあつて、船の重量はこの点に集められたものとして扱いうることにある。

4 浮心（Center of buoyancy）

船の水中形状の幾何学的中心とよばれる。アルキメデスの原理によつて浮体の浸水表面に働く水圧力の垂直方向分力の総和は、その物体によつて排除せられた液体の重量に等しい。これら分力が浮力となる。浮力となる圧力の中心は浮体の水中形状の幾何学的中心と一致する。そしてこの中心は浮心とよばれ B であらわす。浮力は垂直上方に向つて浮心に作用する単一の力として取扱うことができる。浮心は船が直立している場合、水中容積の対称面である縦垂直中心面に位置する。船の重量は水線上にかなり多く含まれ、しかも水線上には浮力を生ずる容積は存在しないから大ていの船では浮心は重心よりも低い位置にある。

5 浮面心（Center of floatation）

船が浮いている場合の水線で囲まれた平面の幾何学的中心を浮面心 F と

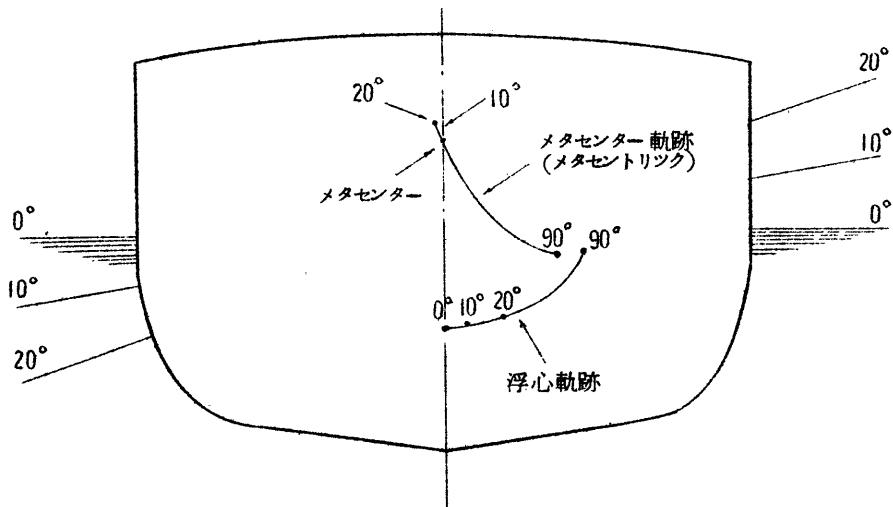
HP『海軍砲術学校』公開資料

いう。

浮面心を通り縦中心面に垂直な線はトリム軸、すなわち船がトリムする場合の中心軸となる。

6. メタセンター (Metacenter)

船をささえている浮力は浮心Bを通り垂直上方に働く。船が横に傾斜すれば船の水中形状に変化を生じ、従つて浮心は垂直中心面を離れて移動する、傾斜角が増加するにつれて浮心は一つの軌跡を描き、その形状(曲線)は船体の形状によつて定まるものである。多くの場合この軌跡は楕円状をなし、固定した中心を有しないが微小部分に対する中心、すなわち浮心の移動における瞬時的中心を見出すことができる。この瞬時的中心をメタセンターという。此等一連の瞬時的中心は又一つの軌跡を描き、これをメタセントリック (Metacentric) と称する。これは第2-5図に見られるとおりである。又初期傾斜すなわち直立位置から約7度ないし10度までの傾斜においてはメタセントリック上の点は極めて僅少の変化しかしないことが図から知られる。これは多くの船に見られる特徴であつて、初期傾斜の範囲においては實際上固定していると考えてよい、すなわちメタセンターは定点として扱うことができる。



第2-5図 メタセンター

HP『海軍砲術学校』公開資料

この場合のメタセンターはまた、船が直立位置から角 θ 傾斜したときの浮心Bを通る浮力の作用線と船の中心線との交点と定義してもよい。小角度の傾斜においてはメタセンター(M)は定点であつて、船がメタセンターの所でつり下げられていると考えることができる。

浮心BからメタセンターMに至る距離はメタセンター半径 (Metacentric radius) と呼ばれる。これはメタセンターの定義からあきらかなように小角度の傾斜においてメタセンターは浮心の軌跡の中心に当るからである。

以上は船の横傾斜についてだけ考えたものでこのメタセンターは正しくは横メタセンター (Transverse metacenter) と称せられるものである。船の縦方向の傾斜 (トリム) についても同様のことがいえるのであつて、この場合のメタセンターを縦メタセンター (Longitudinal metacenter) と呼び M' であらわす。

メタセンターが定点と考えられるのは任意の一定排水量についてであつて、排水量が増減し従つて水中部分の形状及び容積が増減すればメタセンターの位置もまた当然変るものである。

7. 水中没入物体の浮力

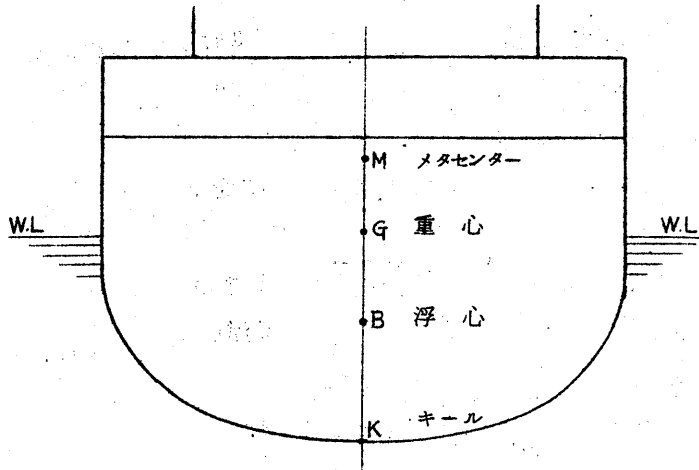
水中にある物体はそれが浮いていると沈んでいるとにかかわらず、その物体が排除した液体の重量に等しい浮力を受けることはすでに述べたとおりである。水中にある物体の排除した液体の重量よりも、物体の重量が大であればその物体は沈む。この場合でも浮力は働いているのであつて、下向きの力は重量と排除された液体の重量との差に等しい。もしも物体の重量と排除された液体の重量とが全く等しいときには、物体は浮びも沈みもせず水中においてつりあいの状態となる。

金属板はそのまゝでは水よりも密度が大であるから水中に沈没する、しかし、その金属板を用いて、その重量よりもはるかに大きな排水容積を有する容器を作ることによつて、その金属板を水に浮べることができる。その大きなものが鋼船である。

8. 各中心の関係位置

今までのべた各中心点の関係を第2 - 6図に示す。

HP『海軍砲術学校』公開資料



第2-6図 各中心の関係位置

K M - キール上メタセンターの高さ (Height of Metacenter above keel)

K B - キール上浮心の高さ (Height of center of buoyancy above keel)

B M - メタセンター半径 (Metacentric radius)

K G - キール上重心の高さ (Height of center of gravity above keel)

G M - メタセンター高さ (Metacentric height)

練習問題

1 ある船がその計画きつ水前部 21'、後部 22'6" で浮いているとすれば下記の値はいくらか。

- (1) 平均きつ水
- (2) トリム
- (3) ドラグ

答 (1) 21'9" (2) 0 (3) 1'6"

2 某艦の海水中における平均きつ水が 43m で排水量が 3250t であつた。同じ平均きつ水で清水中における排水量はいくらか。 海水の比重 1.025

答 3171t

HP『海軍砲術学校』公開資料

- 3 ある船の水線長 120m、幅 13m、きつ水 45m で方形肥瘠係数が 0.52 であつた。海水中における排水量を求めよ。

答 3742 t

- 4 長さ 100m、幅 20m、深さ 5m、重量 3850 t の箱舟が水平に浮く場合のきつ水を求めよ。但し水の比重を 1.010 とする。

答 1.91 m

- 5 (1) 直径 12'、長さ 30' の円筒形はしけを清水中に全没させたときの排水量を計算せよ。

(2) 上記はしけを海水中に全没させたときの排水量はいくらか。

(3) 海水中においてその軸を水線として浮いている場合、その重量はいくらか。

答 (1) 942 t (2) 96.6 t (3) 48.3 t

- 6 某艦の予備浮力は計画排水量の 55% である。もし損傷により排水量が 2500 t 増加し、予備浮力が 9% 減少したとすればもとの排水量はいくらか。

答 50500 t

- 7 A rectangular barge has the following dimensions:
30' x 15' x 5' with draft of 3' fore and aft.

Determine the following:

- (1) Displacement (salt water)
(2) Center of buoyancy (above keel)
(3) Center of floatation

Ans. (1) 38.6 tons

(2) 1.5 feet

(3) 15 feet from bow on center line

HP『海軍砲術学校』公開資料

第 3 章 浮 力

3-1 面積、容積、モーメントの計算

船は複雑な曲面で包まれているので、その容積や重量等は球、円筒、円錐などのように簡単な方法で計算することはできない。さらに又面の交わりとしての曲線も一般に簡単な式に表わされるような曲線ではない。

したがってこれらの曲線は正確な数学的積分により解く事はできないので近似計算法を用いなければならない。船舶算法に用いられる公式は積分近似計算法の適用にすぎない。

造船学において普通用いられる計算法は梯形法則 (Trapezoidal Rule) やシンプソン第1法則 (Simpson's First Rule) 等である。

不規則な面の面積を求める他の方法として実際によく用いられるのは面積計 (Planimeter) と称する器具を使用する方法である。この器具は図式積分を行なうもので、これにより長々しい積分近似計算法をはぶく事ができる。面積計によつて測定した横断面あるいは水線面の面積に梯形法則を適用することによつて船の容積を容易に計算することができる。

任意の図形の面積、モーメント、慣性モーメント等を機械的に計測するためには積分計 (Integrator) が使用される。又積分描図器 (Integrāph) は任意の図形の面積を積分した曲線を描くことができる。

(1) 梯形法則による面積計算

第3-1図における図形A B C Dの面積を求めるにはA Bを任意に等分し、その分割点において垂線を立てる。

梯形A D G Hの面積は次のようになる。

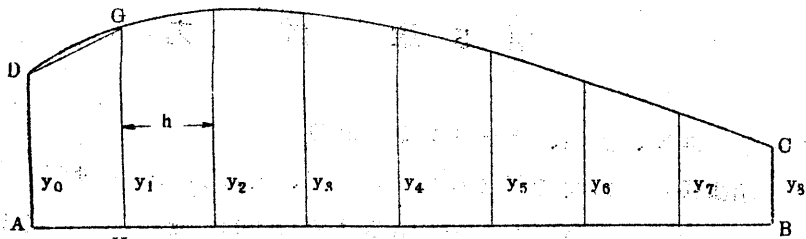
$$A = n \left(\frac{1}{2} y_0 + \frac{1}{2} y_1 \right)$$

(n は垂線間の距離)

もしも垂線が十分近接していれば曲線は弦とあまり変わらないので直線と曲線で区切られたD Gの小面積は無視できる。

第2の梯形の面積は $n \left(\frac{1}{2} y_1 + \frac{1}{2} y_2 \right)$ 、又第3は $n \left(\frac{1}{2} y_2 + \frac{1}{2} y_3 \right)$ 、以下同様であるから、図形全体A B C Dの面積は

HP『海軍砲術学校』公開資料



第 3 - 1 図

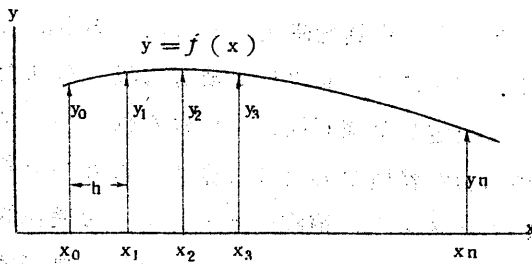
$$A = h \left(\frac{1}{2}y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + \frac{1}{2}y_8 \right)$$

すなわち一般に

$$A = h \left(\frac{1}{2}y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2}y_n \right)$$

ここで n は任意の整数である。

(2) シンプソン第 1 法則による面積計算



第 3 - 2 図

第 3 - 2 図のような曲線で囲まれた面積を計算するのに、この曲線を二次の拋物線 $y = ax^2 + bx + c$ と見なしその積分値を求める方法である。図のように縦線 y_0, y_1, \dots, y_n で偶数等分し、各間隔

を h とすると、 x_0 と x_2 の間の面積は

$$A_1 = \int_{x_0}^{x_2} y dx = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2)$$

となる。

したがって一般に基線を n なる偶数値に等分した場合の面積は

$$A = \int_{x_0}^{x_n} y dx = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 4y_{n-1} + y_n)$$

あるいは

$$A = \frac{2}{3}h \left(\frac{1}{2}y_0 + 2y_1 + y_2 + 2y_3 + y_4 + \dots + 2y_{n-1} + \frac{1}{2}y_n \right)$$

この方法は簡単でしかも精度が高いので最も実用的な公式である。又与曲線の一部の変化がはげしい場合には次のようにその一部分だけをさ

HP『海軍砲術学校』公開資料

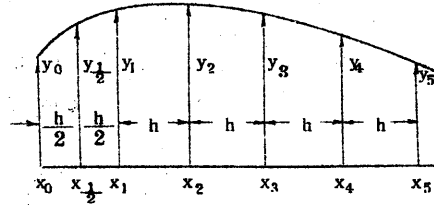
らに細分して精度を上げる利点がある。第3-3図において x_0 と x_1 の間だけ間隔を $\frac{h}{2}$ とすれば

$$A = \frac{h}{3} \left(\frac{1}{2}y_0 + 2y_{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + y_5 \right)$$

となる。

(3) 計算要領

梯形法則あるいはシンプソン第1法則による計算は次のような表によれば正確に行いうる。



第3-3図

No	y	m		m y
		梯 形	シンプソン	
0	—	½	½	—
1	—	1	2	—
2	—	1	1	—
3	:	:	2	—
:	:	:	1	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	2	—
n	—	½	½	—

$$\Sigma m y = \underline{\hspace{2cm}}$$

面積 = $\Sigma m y \times h$ (梯形法則)

= $\Sigma m y \times \frac{h}{3}$ (シンプソン第1法則)

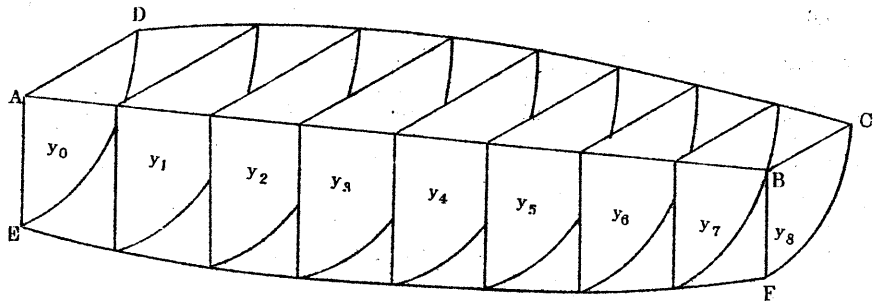
(4) 容積の計算

面積の計算法は容積計算における第1歩となる。船は不規則な形状を有するので関係平面、すなわち水線面あるいは横断面をとりそれらの面積を計算するのが最も便利である。たとえば第3-4図に示されたようなタンクにおいてその一側は船底外板によつて、両端は横隔壁により、

HP『海軍砲術学校』公開資料

頂部は平甲板により、又内側は縦隔壁によつて仕切られているものとする。このタンクを等間隔な平面で区切るとこれらの横断面積はさきくのべた方法によつて計算することができ、次にこれら横断面を容積計算の縦線として使用する。

第3-4図において各断面積が2.2, 3.8, 6.0, 6.8, 7.2, 6.2, 5.0, 3.2, 1.6平方メートルであり、各断面が1メートル間隔であつたとすればその計



第3-4図

算は次表のように行なわれる。(梯形法則)

n	y	m	$m y$
0	2.2	$\frac{1}{2}$	1.1
1	3.8	1	3.8
2	6.0	1	6.0
3	6.8	1	6.8
4	7.2	1	7.2
5	6.2	1	6.2
6	5.0	1	5.0
7	3.2	1	3.2
8	1.6	$\frac{1}{2}$	0.8

$$\Sigma m y = 40.1$$

$$V = h \times \Sigma m y = 1 \times 40.1 = 40.1 \text{ m}^3$$

(5) 図形の幾何学的中心(重心)の求め方

図形面積のモーメントとは、図形面積に直線と図形重心間の垂直距離

HP『海軍砲術学校』公開資料

を掛けた値をいゝ **Demention** は L の 3 乗である。

ある平面図形の重心を求めるにはまずある軸に関する面積のモーメントを求め、これを面積で割れば軸から重心点に至る距離が得られる。

第 3 - 5 図の曲線図形

A B C D の面積は

$$A_{ABCD} = \int dA = \int y \cdot dx$$

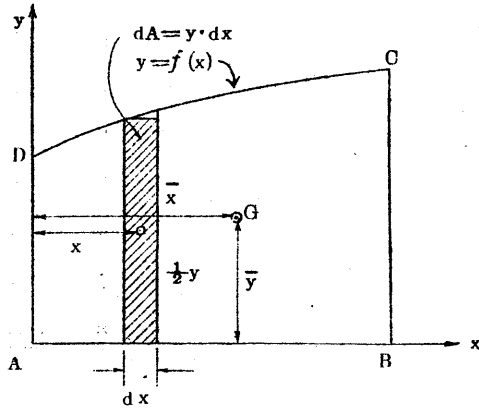
y 軸に関する図形 ABCD

のモーメントは

$$y^M_{ABCD} = \int dA \cdot x = \int xy \cdot dx$$

同様に x 軸に関するモー

メントは



第 3 - 5 図

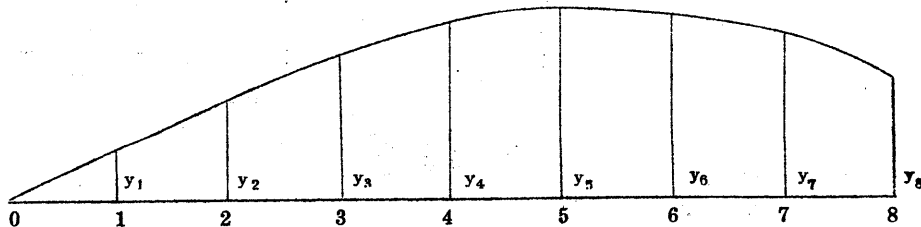
$$x^M_{ABCD} = \int dA \cdot \frac{1}{2}y = \frac{1}{2} \int y^2 \cdot dx$$

ゆゑに重心 G の位置 \bar{x} , \bar{y} は

$$\bar{x} = \frac{y^M_{ABCD}}{A_{ABCD}} = \frac{\int xy \cdot dx}{\int y \cdot dx}$$

$$\bar{y} = \frac{x^M_{ABCD}}{A_{ABCD}} = \frac{\frac{1}{2} \int y^2 \cdot dx}{\int y \cdot dx}$$

たとえば第 3 - 6 図のような図形の重心位置を求める。



イ \bar{x} の求め方

第 3 - 6 図

比較的重心に近いと見られる y_4 に関するモーメントを求め、面積で割れば y_4 から重心までの距離が得られる。(モーメント軸としては任意のものをつてよい)

HP『海軍砲術学校』公開資料

梯形法則を用いれば

$\%$	y	m	my	n	mny
0	0	$\frac{1}{2}$	0	+ 4	0
1	5	1	5	+ 3	+ 15
2	10	1	10	+ 2	+ 20
3	14	1	14	+ 1	+ 14
4	16.5	1	16.5	0	0
5	17.8	1	17.8	- 1	- 17.8
6	17.1	1	17.1	- 2	- 34.2
7	15.3	1	15.3	- 3	- 45.9
8	11.4	$\frac{1}{2}$	5.7	- 4	- 22.8

$$\Sigma my = 101.4 \quad \Sigma mny = -71.7$$

$$h = 10$$

$$A = h \Sigma my = 10 \times 101.4 = 1014$$

$$My_4 = h^2 \Sigma mny = 100 \times (-71.7) = -7170$$

$$\therefore \bar{x} = \frac{-7170}{1014} = -7.05 \text{ (m.)}$$

すなわち y_4 の右方 7.05 m に重心がある。

□ \bar{y} の求め方

$\%$	y	m	my	y^2	my^2
0	0	$\frac{1}{2}$	0	0	0
1	5	1	-	-	-
2	-	:	-	-	-
:	-	:	-	-	-

$$\Sigma my$$

$$\Sigma my^2$$

$$\bar{y} = \frac{1}{2} \frac{\Sigma my^2}{\Sigma my}$$

3-2 排水量

任意きつ水に対する排水量は水中容積に密度係数を乗ずれば得られる。

((1.6)式)

清水及び海水の密度係数は次のとおりである。

1 清 水

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$r = 1,000 (t/m^3)$$

$$= 62.4 (lbs/ft^3)$$

$$= \frac{1}{36} (T/ft^3)$$

ここにおいて 1 t = 1 グラムトン = 0.9842 英トン

$$1 T = 1 英トン (ロングトン) = 2240 lbs$$

$$= 10160 t$$

2 海水

場所によつて 1.02~1.03 と異なるが設計の基準としては次の値を用いる。

$$r = 1.025 (t/m^3)$$

$$= 64 (lbs/ft^3)$$

$$= \frac{1}{35} (T/ft^3)$$

上述の計算によつて得た値から清水及び海水中におけるきつ水対排水量の曲線が描かれる。

3-3 毎センチメートル排水トン数 (Tons per cm Immersion)

船の排水量が変化した時にきつ水の変化を迅速に計算することは極めて有用な事である。その最も便利な方法は排水量の変化を毎センチメートル排水トン数で割る方法である。

毎センチメートル排水トン数 (又は単に毎センチトンともいう) とは平均きつ水を 1 cm 変化させるに要するトン数をいう。通常船が浮いているきつ水では、水線附近の舷側はほとんど垂直であつて、きつ水が 1 cm 変化しても水線面積に大きな変化はないと見なしてよい。このように仮定するならば船が 1 cm 沈下した事によつて増加した排水容積は水線面積に 1 cm を掛けて求められることは明らかである。したがつて

$$T_c = \frac{Aw}{100} r \quad (3 \cdot 1)$$

$$\text{海水中、} T_c = \frac{1.025}{100} Aw \quad (3 \cdot 1 \cdot a)$$

$$\text{清水中、} T_c = \frac{Aw}{100} \quad (3 \cdot 1 \cdot b)$$

同様に平均きつ水を 1 インチ変化させるに要するトン数を毎インチ排水トン数 (又は毎インチトン) (Tons per inch immersion) という。

HP『海軍砲術学校』公開資料

1 f t = 1 2 i n であるから

$$T_{i n} = \frac{A_w}{12} \cdot r \quad \dots \dots \dots (3 \cdot 2)$$

海水中、 $T_{i n} = \frac{A_w}{12} \times \frac{1}{35} = \frac{A_w}{420} \quad \dots \dots \dots (3 \cdot 2 \cdot a)$

清水中、 $T_{i n} = \frac{A_w}{12} \times \frac{1}{36} = \frac{A_w}{432} \quad \dots \dots \dots (3 \cdot 2 \cdot b)$

単に毎センチメートル(インチ)排水トン数といえば普通は海水中の場合を指す。 T_c と $T_{i n}$ の数値の間には次の関係がある。

$$\left. \begin{array}{l} T_{i n} = 2.5 T_c \\ T_c = 0.4 T_{i n} \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots (3 \cdot 3)$$

3-4 密度ときつ水との関係

海水と清水とでは密度が異なるので与えられた排水量すなわち重量の船はこの二つの液体の中においてはそれぞれ異なつたきつ水となる。すなわち排水量が一定であれば排水容積は密度に逆比例するので海水中のきつ水は清水中のそれより小となる。ただし、海水と清水の密度比が 1.025 であるから海水中のきつ水に 1.025 を乗ずれば清水中のきつ水が得られると速断してはならない。それは船の場合排水容積は密度に逆比例するがきつ水は船の容積を形成する三可変寸法の一にすぎないからである。すなわちもし単に箱状の物体で水線面積がどの部分でも一様であるならば排水容積はきつ水に比例するが、船では船底に近づくにしたがつて水線面積が小となつていことに注意を要する。

今ある船が密度 r の水から密度 r_1 の水に移る場合、排水量 W は同じであるが排水容積 V は V_1 となりその関係は次のとおりである。

$$V = \frac{W}{r}$$

$$V_1 = \frac{W}{r_1}$$

きつ水増加量を正とし、 Δd (m) 又は δ (cm) であらわせば、これは一般に小さいからこの範囲では水線面積 A_w は一定と考えてよい。

したがつて $V_1 - V = A_w \cdot \Delta d$

$$\therefore \Delta d = \frac{V_1 - V}{A_w} = \frac{W}{A_w} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right)$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

△d を δ であらわせば

$$\delta = 100\Delta d = \frac{100W}{Aw} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right)$$

これをさらに毎センチ排水トン数 (3・i・a) であらわせば

$$\delta = \frac{1.025W}{Tc} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right) \dots\dots\dots (3 \cdot 4)$$

船が海水から清水に移行する場合には、 $r = 1.025$ $r_1 = 1$ であるから

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1.025W}{Tc} \left(1 - \frac{1}{1.025} \right) \\ &= 0.025 \frac{W}{Tc} (cm) \\ &= \frac{W}{40Tc} (cm) \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \delta &= \frac{1.025W}{Tc} \left(1 - \frac{1}{1.025} \right) \\ &= 0.025 \frac{W}{Tc} (cm) \\ &= \frac{W}{40Tc} (cm) \end{aligned}} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 4 \cdot a)$$

清水から海水に移行する場合には

$$\begin{aligned} \delta &= -0.025 \frac{W}{Tc} (cm) \\ &= -\frac{W}{40Tc} (cm) \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \delta &= -0.025 \frac{W}{Tc} (cm) \\ &= -\frac{W}{40Tc} (cm) \end{aligned}} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 4 \cdot b)$$

同様に δ をインチ、T を毎インチ排水トン数 Tin で表わせば

$$\begin{aligned} \text{海水} \rightarrow \text{清水} \quad \delta &= \frac{W}{35Tin} (in) \\ \text{清水} \rightarrow \text{海水} \quad \delta &= -\frac{W}{35Tin} (in) \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \delta &= \frac{W}{35Tin} (in) \\ \delta &= -\frac{W}{35Tin} (in) \end{aligned}} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 4 \cdot c)$$

3-5 浮力と重力

1 浮力

船体の水中部分に作用している浮力はすべて浮心 (Center of buoyancy) という一点に作用する一つの合成力に置きかえることができる。浮心の位置は船体内部に位置し、船体及びその突出物の水線下形状の幾何学的中心にある。

浮心の垂直方向の位置は一般にキールの底面と浮心との垂直距離で測り、記号 KB であらわされる。又縦方向の位置は一般に中央横断面からの水平距離で測り、記号を MB であらわされる。

2 重力

すべての浮体において全重力は全浮力とその大きさ等しく、その方向

HP『海軍砲術学校』公開資料

は反対である。重力の合成されたものが作用する点は重心であつて、艦艇にあつては通常浮心の上方に位置する。これは水線の上方に相当の重量物があるから当然のことである。重心は非常に移動しやすいものであつて、きつ水や水線下形状その他の状態によつて定まる点ではないことに注意を要する。重心は主として重量物と船の構造物及びぎ装品の重量の集結した位置によつて決まるものである。したがつて船の排水量やきつ水等の状態から重心を決定するような関連曲線は存在しない。

重心の位置は普通キールの底面からの垂直距離で測り、記号KGであらわされる。

浮心と重心との関係については後でさらにくわしく述べられるが、船のあらゆる復原性能を考える上に重要な要素となるものである。

3 - 6 箱舟 (Box-shaped Lighter)

実際の船の船体形状というものは複雑な曲面で囲まれているので水線面積、排水量、浮心、浮面心等の算出はきわめて複雑なものである。しかもこれらは造船学を学ぶ上に不可欠の要素であり、その値を知るためにはその複雑な計算を進めるか、あるいは排水量等測線図(後述)を参考にするかしなければならない。

そこで形状が簡単でしかも船と同様の理論を適用できる箱舟が用いられる。これは直方体であるから大部分の幾何学的特質はほとんど基礎的数学で計算できる。たとえば排水容積は長さ L と幅 B ときつ水 d との積であり、浮心の高さは平均きつ水の $\frac{1}{2}$ であり、浮面心は中央横断面にあることは明白である。また縦中心線に関する水線面の慣性モーメントは幅の3乗と長さの積の $\frac{1}{12}$ すなわち $\frac{B^3 L}{12}$ である。

種々の理論や法則は実際の艦船の形状に対するものと同様のことが箱舟にも適用できる。

3 - 7 排水量等測線図 (Displacement and Other Curves)

HP『海軍砲術学校』公開資料

第3-7及び9図は排水量その他の諸曲線で排水量等測線図といい、これら曲線は線図から計算によつて求められる。これら曲線から船体の特徴に関する多くの資料を得、又応急作業に必要な諸計算を行うことができるので、この使用法を十分理解しておくことが必要である。各種所要の数値は縦軸の平均きつ水に対する横軸上の目盛で与えられている。以下第3-7図について説明する。

1 排水量 (Δ)

この曲線は最も多く使用される。たとえば平均きつ水4 mにおける「あきづき」の排水量は約2910 tであることがわかる。

2 排水容積 (∇)

排水量と同様に求められる。(単位： m^3)。単位をtとすれば清水中における排水量となる。

3 基線から浮心までの高さ (KB)

平均きつ水4 mに対するKBは横軸上KBの目盛から2.42 mがえられる。

4 莧から浮心までの距離 (莧B)

艦首尾線上の浮心の位置を知るもので莧からの水平距離であらわし艦尾方向を正、艦首方向を負としてある。たとえば平均きつ水4メートルの場合、莧B目盛上約1.27 mで、浮心は中央横断面の後方約1.27 mにあることを示している。

5 莧から浮面心までの距離 (莧F)

4の莧Bと全く同様である。たとえば平均きつ水4 mの場合浮面心は莧の後方6.25 mの位置にあることがわかる。

6 水線面積 (A_w)

各きつ水における A_w をあらわす。たとえば平均きつ水4 mに対し約1060 m^2 の水線面面積を有することがわかる。

7 毎センチ排水トン数 (TPC)

各平均きつ水における海水中の毎センチ排水トン数をしめす。

8 最大横切断面積 (A_{max})

水線下部分の最大横断面の面積を示す。

HP『海軍砲術学校』公開資料

9 ベースラインから横メタセンターまでの高さ (TKM)

KMを示す。たとえば平均きつ水4mの場合KMは5.86mである。
一方曲線3からKB=2.42mであるからこの場合のメタセンター半径
 $BM=KM-KB=5.86-2.42=3.44$ mが得られる。

10 ベースラインから縦メタセンターまでの高さ (LKM)

KM' がえられる。

11 浸水面積 (S)

水線下の船体表面を示すもので、主として摩擦抵抗等の計算に用いられる。

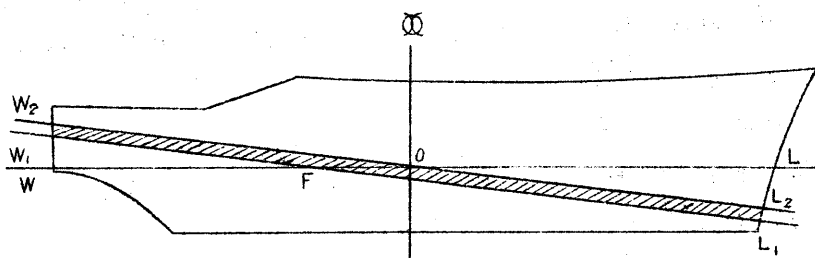
12 毎センチトリム力率 (MTC)

船のトリムを1cm変化させるに要するモーメントを示す。

13 毎10cmトリムに対する排水量修正

艦がトリムしている時、平均きつ水から求めた排水量に対して修正すべき量をしめすものである。

一般に船が船尾トリムであるときは、同じ平均きつ水のトリム零のときよりも排水量が大である。これは一般に水線面の形状は船体後半部の方が広く、浮面心は船体中央よりも後方にあることに基因する。第3-8図においてWL水線(トリム零)で浮いていた船が排水量の変化なしに船尾トリムするとき浮面心Fを軸として前後部きつ水が変化する。



第3-8図

このときの水線を W_1, L_1 とすれば新らしく水中に没した部分 W_1, F_1 の容積は浮き上った部分 LFL_1 の容積に等しい。この場合後部きつ水増加量 WW は前部きつ水減少量 LL_1 より小であるから平均きつ水は減少して

HP『海軍砲術学校』公開資料

る。トリム変化がおこつても平均きつ水が以前と同じ状態は水線 $W_2 O L_2$ で示されている。ゆえにこの図から明らかなように $W_2 L_2$ 水線の時は $W_1 L_1$ 水線の時よりも斜線部分だけ排水量が大きいことがわかる。すなわち $W_1 L_1$ と $W_2 L_2$ の水線間の排水量は船尾トリムにある時の平均きつ水から曲線(1)によつて求めた排水量にプラスさるべき修正量である。

船首トリムの場合は逆に修正量をマイナスしなければならない。

また曲線(5)から明らかなようにきつ水がある線まで低下すれば浮面心は中央横断面に一致しそれ以下のきつ水では船首方向に移る。したがつてこの場合にはトリムによる排水量の修正も逆になる。

次にこの曲線による排水量修正の例を示す。

たとえば「あきづき」がそのきつ水前部 3.80m、後部 4.20m であつたとする。平均きつ水 = $\frac{1}{2}(3.80+4.20)=4.00$ m 曲線 1 から排水量は 2910t 曲線 1 3 から平均きつ水 4.00 m における艦尾トリム 10cm に対する修正量は (+) 5.9 t

$$\text{トリム} = 4.20 - 3.80 = 0.40 \text{ m} = 40 \text{ cm (艦尾)}$$

$$\therefore \text{修正量} = 5.9 \times 4 = 23.6 \text{ t}$$

$$\therefore \text{修正排水量} = 2910 + 23.6 = 2933.6 \text{ t}$$

(またもし艦首トリムであつたとすれば排水量は $2910 - 23.6 = 2886.4 \text{ t}$ である。)

なお毎 1cm トリム修正トン数は次式で求めることができる。

$$\propto F \times \frac{\text{TPC}}{L}$$

ここで L = 水線長

- 14 方形肥瘠係数 (C_b)
- 15 柱形肥瘠係数 (C_p)
- 16 水線面係数 (C_w)
- 17 最大横切断面係数 (C_M)

14 から 17 までは各係数を示す。

HP『海軍砲術学校』公開資料

(参考)

第3-9図は米国海軍のギアリング(Gearing)級駆逐艦の排水量等測線図を示す。次にこの曲線について説明する。

HP『海軍砲術学校』公開資料

曲線(1) Displacement in salt Water.

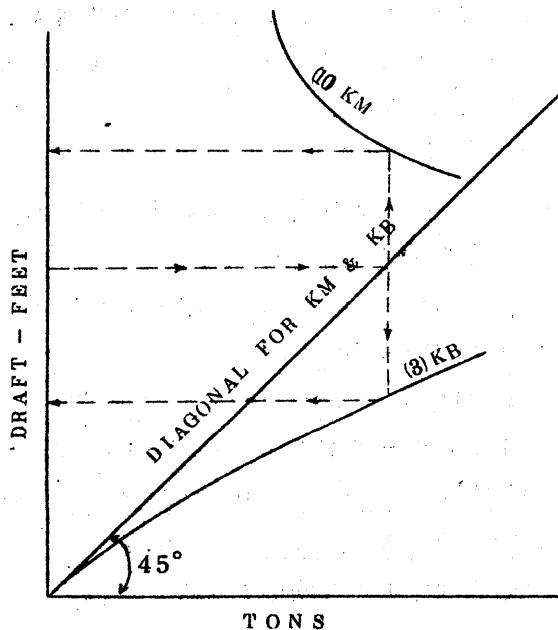
前例の場合と同様であつて、平均きつ水13ft に対する排水量は3010T であることがわかる。

曲線(2) Displacement in Fresh Water

前例の2と同様である。

曲線(3) Vertical Position of Buoyancy.

前例の3 (KB) に相当する。ただしこの曲線上に SCALE:100TONS = 1FT とあるのは横軸目盛100t が1ft, であることを示す。すなわち平均きつ水13ft の場合この曲線から横軸上目盛約780T が得られKBは約7.8ft であることがわかる。以下の各曲線とも得られた横軸目盛をその曲線に示された scale によつて換算しなければならない。(なお艦によつては曲線3の用法が全く異なるものがある。すなわち第3-10 図に示すように、原点から45°の角度をなす斜線があつて与えられたきつ水とこの斜線との交点から垂直下方に曲線(3)上の点を取り、



第 3 - 1 0 図

HP『海軍砲術学校』公開資料

ふたたび水平にきつ水目盛を読めばKBの値がftで得られるものである。なおこの斜線は後の曲線(10)基線上横メタセンター高さを求めるときも同様に使用される。

曲線(4) Longitudinal Position of Center of Buoyancy.

αB を示すもので曲線の屈折点から上は α から後方、下は前方であることを示す。

曲線(5) Areas of Waterlines.

A_w を示す。scale:100T=1000ft²

曲線(6) Center of Gravity of Waterplane Aft of Section.

10.

αF を示すもので曲線(4)の場合と同様である。

曲線(7) Tons per Inch Immersion.

毎インチ排水トン数を示す。100T=2T

曲線(8) Area of station No 10.

A_{α} 100T=50ft²

曲線(9) Outline of the Midship Section.

外板および防御鋼板を含む中央横断面の輪郭図。100T=1ft

曲線(10) Height of the Transvers Metacenter Above the Bottom of the Keel.

KM. 100T=2ft

曲線(3)と同様45°の斜線を利用し、上方のカーブ(10)からきつ水目盛にもどる式のものもある。

曲線(11) Longitudinal Metacentric Radius

BM' 100T=200ft

曲線(12) Approximate Moment to Alter Trim One Inch.

毎インチトリムモーメント、100T=100ft・ton

曲線(13) Addition to Displacement When the Vessel is Trimmed One Foot by the Stern.

前例における曲線13と同様である。

この曲線のScaleは100T=2Tである。

HP『海軍砲術学校』公開資料

たとえば平均きつ水 13ft において、トリム 1ft に対する修正量は (+) 19.8T であることがわかる。

曲線(14) Area of Wetted Surface.

浸水表面積、 $1T = 10ft^2$

曲線(15) Curve of Sectional Areas.

計画きつ水線に至る各セクションの面積をステーション上に縦軸の長さであらわした点を結んだ曲線 $1inch = 100ft^2$

曲線(16) Outboard Profile.

船のフレーム番号とステーション位置との関係等を示す。

練習問題

- 1 曲線と直線とによつて区切られた平面が 4 m の間隔でそれぞれ次のような長さを持つ縦線で区分されているとき、その基線に対する重心の位置を求めよ。

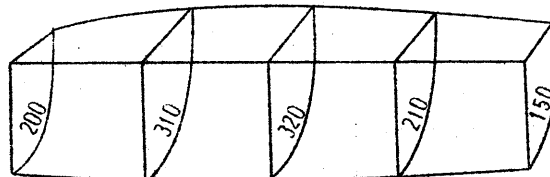
縦線の長さは、0 m, 1.25 m, 1.43 m, 1.51 m, 1.55 m, 1.54 m, 1.48 m, 0 m である。

答 7.3 m

- 2 ある主隔壁の半巾寸法は、キール上 2 ft 間隔に計測してそれぞれ、0.4', 7.2', 10.8', 12.8', 13.8', 14.1', 14.2', 14.1', 14.1', 14.0', 13.9', 13.8', 13.6' であつた。この隔壁の重心はキール上どれほどの高さのところにあるか。

答 1.319 ft

- 3 ある船のタンクは 5 ft の等間隔で仕切られ、その各仕切の断面積は下記のとおりである (ft^2)。このタンクに海水を満したときと清水を満した



HP『海軍砲術学校』公開資料

ときの重量の差を求めよ。

答 4.03 T

- 4 長さ100m、幅14mの船が海水に浮んでおり、その水線面係数が0.774である。この船に50tの重量を積んだ場合の平均きつ水の増加量を求めよ。

答 4.5cm

- 5 ある船が海水中(比重1.025)でも河水中(比重1.009)におけると同一きつ水で浮ぶためには175tの荷を積込む必要のある事がわかった。海水中における排水量はいくらか。

答 11,200 t

- 6 A loaded box-shaped lighter 80' X36' ,in fresh water, displaces 350tons.The lighter is now towed into salt water where additional stores are taken on board until the new mean draft is the same as when in fresh water How many tons of stores are taken on board?

Ans 10 tons

- 7 ある船が清水中で錨泊していた。その平均きつ水は30ftで、その船の毎インチ排水トン数は海水中で100Tである。この船がその錨地を出港し途中燃料を積み、又300Tの燃料と100Tの需品とを消費して目的の海上に到達した。この時の平均きつ水が30' 5"で排水量が32000Tであつたとすれば途中で積込んだ燃料はいくらか。(毎インチ排水トン数はこの範囲のきつ水変化に対しては一定と仮定する。)

答 1775 T

- 8 護衛艦あきづきが海水中で平均きつ水4mであつたとき清水中に移行すれば平均きつ水はいくらになるか。

答 4.06 m

- 9 護衛艦あきづきが平均きつ水4.1mであるとき、排水量等曲線から次の値を求めよ。

- (1) 海水中における排水量
- (2) 清水中における排水量
- (3) 毎センチ排水トン数

HP『海軍砲術学校』公開資料

- (4) 基線上浮心迄の高さ
- (5) 基線上横メタセンターの高さ
- (6) 浮面心の位置

答 (1) 3.0 2'0t (2) 29 50t (3) 10.85t
(4) 2.45m (5) 5.8m (6) 艮 後方 6.2 m

10. A destroyer of the DD-692 (long hull) Class has a draft forward 13' 10" and 14' 2" aft as anchors in salt water.

- (a) What is her displacement?
- (b) Her tons Per inch immersion?
- (c) Moment to change trim one inch?
- (d) Longitudinal metacentric radius?
- (e) Height of the transverse metacentre above the keel?
- (f) Vertical Position of center of buoyancy above the keel?
- (g) Transverse metacentric radius?
- (h) Assuming no change of trim. What will be her draft forward and aft after she has taken on 85 tons of stores?

Ans. (a) 33566 tons (b) 2836 tons/in
(c) 640 ft•tons (d) 874 ft
(e) 19.2 ft (f) 8.4 ft
(g) 10.8 ft (h) 14' 5" aft 14' 1" fwd

11. After taking on stores the ship in problem 10 gets underway and steams into fresh water. Neglecting fuel used.

- (a) What will be her new mean draft?
- (b) Longitudinal position of center of floatation from the forward perpendicular?

HP『海軍砲術学校』公開資料

Ans. (a) 14' 65"

(b) 2139ft. aft F.P.

12 From the displacement and other curves of the destroyer of DD-692 class, determine:

- (a) The overall length
- (b) The waterline length (between perpendiculars)
- (c) The distance of station 6 from the \bar{X}
- (d) The area below designer's waterline of station 15

Ans. (a) 3905ft

(b) 383ft

(c) 766ft

(d) 337.5ft

13 A bulkhead in the DD-692 is located at frame 69. How far forward of the center of flotation at a mean draft of 12' 6" is it?

Ans. 9325ft

HP『海軍砲術学校』公開資料

第4章 浮体のつりあい

4-1 つりあい (Equilibrium)

静止している物体はつりあいの状態にあるといわれる。

もしもこの物体が外力によつて動揺されその外力が取除かれたとき、もとの位置にもどるならばその物体は安定のつりあい (Stable equilibrium) にあるといわれる。同様に船が直立の状態から傾斜させられたとき、元にもどろうとする傾向がある、すなわち自身で真直ぐになるならば安定しているといわれる。

他方において、外力を取除いても最初の運動を続けようとする物体は不安定のつりあい (Unstable equilibrium) にあるといわれる。ある微小な力によつて傾けられた後、傾斜を続けてついに転覆するに至る船は不安定であるといわれる。最初不安定な船がある場合には段々傾き、ついにある角度において安定のつりあいに達することもある。

物体が動かされた任意の位置において静止する場合はその物体は中性のつりあい (Neutral equilibrium) にあるといわれる。円筒形均質の物体が水に浮いている場合は中性のつりあいにある。

このように物体のつりあいには三つの状態すなわち、安定、中性、不安定がある。

安定のつりあいにある物体が水平面に対する向きが変化させられた場合に自身でまっすぐの位置にもどろうとする力を静力学的復原力 (Statistical stability) あるいは静的復原力 (Static stability) という。

4-2 浮体のつりあい

静水の表面にまっすぐに浮いている船を考えると、静止すなわちつりあいの状態を保つためにはそれに作用する不つりあいの力やモーメントがあつてはならない。

船が静止しているとき、船に働いている二つの力は重力と浮力とであつて、これら2力は同じ垂直線上に作用しており、又その量は全く等しく方向反対である。

重力は重心に集中して働き、浮力は浮心に集中して働いていると考えら

HP『海軍砲術学校』公開資料

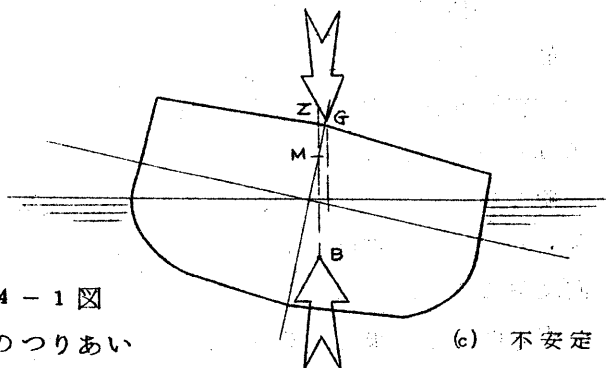
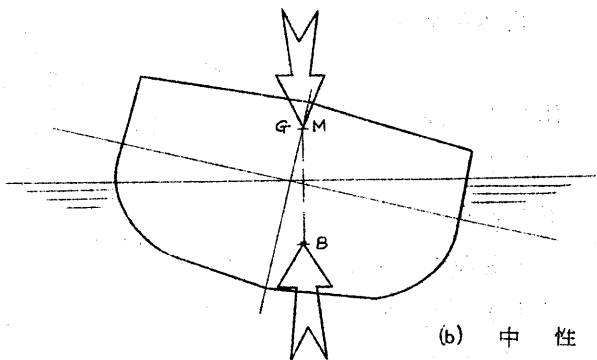
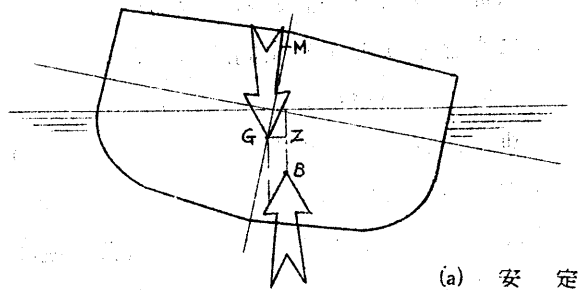
れるから、結局船の重心を通り垂直下方に作用する重力と、これと大きさ等しい浮力が浮心を通り垂直上方に作用して船はつりあいを保っている。

浮心は船の水中部分の幾何学的中心であるから、船が傾くことにより水中部分の形状が変化すれば浮心の位置も移動する。この事は船のつりあいを考えるうえに重要な意義がある。此の二つの大きさの等しく方向相反する力の作用が分離すると偶力を生ずる。

第4-1図(a)の場合には、此のモーメントは船を直立の状態にもどす方向に作用するもので復原モーメント (Righting Moment) と称し、2作用線間の距離 (GZ) を復原挺 (Righting Arm) と称する。

(a)のような状態の船は安定のつりあいにあるわけである。

次に(b)のように重心位置が高く、メタセンターMと一致した場合を考えてみると、船が外力によつて傾けられた場合に重力と浮力の作用線



第4-1図
船体のつりあい

HP『海軍砲術学校』公開資料

は分離しないので、モーメントは生じない。すなわち復原モーメントは生じない。したがって図のように傾いたまゝの状態に静止する。つまりこの船は中性のつりあい状態にある。

もしも重心を更に高所に移し(c)図のようにすれば船がわずかに傾いた時の2力の作用線の分離によつて生ずるモーメントは(a)図の場合と逆の方向にある。すなわちこの場合船は負の復原モーメントあるいは転覆モーメント(Upsetting Moment)を有する。このモーメントのアーム(GZ)は負の復原挺(Negative righting Arm)又は転覆挺(Upsetting Arm)といわれる。すなわちこの船は不安定のつりあい状態にある。

4-3 メタセンターの位置とつりあい

傾斜角が 0° から7ないし 10° くらいの範囲まではメタセンターMは浮力の作用線と中心線との交点として定義することができ、ほとんど動かない定点と見なしうる。したがって浮心は常にメタセンターの垂直下方にある。又は船がメタセンターでつり下げられていると考えてもよい。

したがって第4-1図(a)の様にメタセンターが重心の上方にあれば、船の傾きにより正の復原モーメントを生じ船は安定のつりあいにある。

メタセンターと重心とが図(b)の様に一致すれば、モーメントは生ぜず従つて船は中性のつりあいにある。

又メタセンターが図(c)の様に重心の下方にあれば負の復原モーメントすなわち転覆モーメントが生じ船は不安定のつりあいにある。

メタセンターと船のつりあい状態との間を考える場合に、船の傾斜角が大になると、メタセンターは浮力の作用線と船の中心線との交点とはならない。したがって、復原モーメントの基準としてメタセンターと重心との関係位置を用いるのは、小傾斜角に限定される。(もちろん傾斜角度が 10° 以上でも復原力自体は充分存在する。)

メタセンターを定点と考える範囲の小傾斜の場合の復原モーメントを初期復原力(Initial Stability)といい、総合復原力(Overall stability)と区別して考える必要がある。

4-4 メタセンター高さ、初期復原力の大きさ

船が小角度 θ だけ傾斜した時に生ずる復原モーメントは、重力又は浮力

HP『海軍砲術学校』公開資料

と復原艇との積である。すなわち

$$\begin{aligned} \text{初期復原力} &= W \times GZ \\ &= W \cdot GM \cdot \sin \theta \dots \dots \dots (4 \cdot 1) \end{aligned}$$

上式から明らかなように初期復原力はGMに比例するからGMは初期復原力の尺度である。

GMは重心とメタセンターとの距離であつてメタセンター高 (Meta-centric height) と呼ばれる。もし重心Gが垂直中心面上にない場合にはメタセンター高は重心とメタセンターとの垂直距離であらわす。たとえば第4-4図の船では重心がGのときもG₁のときもメタセンター高はGMである。

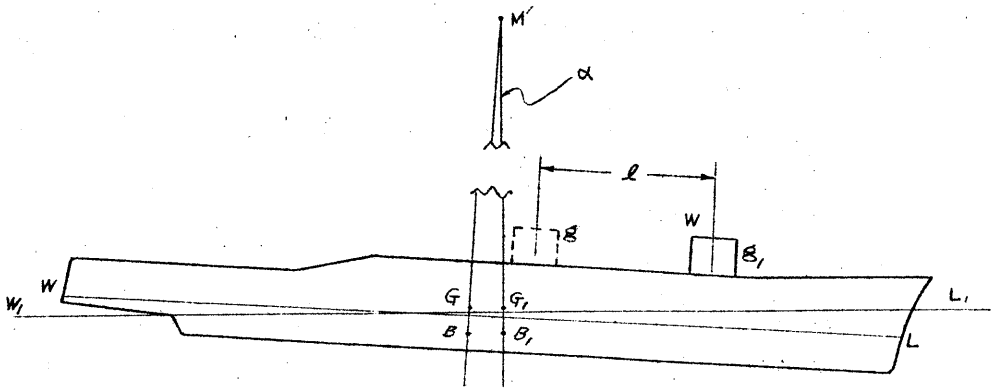
特に明記されない限りメタセンター及びメタセンター高とは横メタセンター高 (Transvers metacentric height) をいう。もしも縦方向メタセンターについて論ずる場合は、メタセンター高はGM' と記され縦メタセンター高 (Longitudinal metacentric height) と称される。

もしもMがGの上方にあればメタセンター高は正であり、またMがGの下方にあればGMは負である。船の安定性をGMで説明するならば次のようになる。すなわち正のGMを有する船は直立に浮かうとする傾向を有しかつ初期傾斜力に抵抗する。負のGMを有する船は小さな外力によつて傾斜し、直立に浮いていられない。そのような船は初期不安定にあるといわれるが、不安定のつりあい状態にあるというのは間違いである。というのは直立状態では不安定であつてもある角度まで傾けばそれ以上の傾斜に対しては抵抗力を生じその傾斜では安定のつりあい状態になるからである。

4-5 縦復原力 (Longitudinal Stability)

今まで述べた説明は一般に横傾斜を考えてきたが、これらの理論はトリム変化のような縦傾斜についても同様に適用しうる。傾斜に関しては縦方向についても横方向についても理論上の差異はない。しかし船は縦方向に非常に大きな寸法を有するから縦メタセンターの位置は常にきわめて高所にあり、したがつて縦メタセンター高 (GM') は常に正である。(第4-2図参照)

HP『海軍砲術学校』公開資料



第4-2図 縦傾斜

4-6 復原挺 (Righting Arm)

浮力と重力で形成された偶力は船の重さと2力間の距離との相乗積である。2力の作用線の垂直距離は復原挺あるいはGZと呼ばれている。この場合船の重さ、すなわち排水量は一定であるからGZの値がすべての傾斜角を通じて静的復原力の尺度として用いることができる。

小傾斜角度に対してはGZはGM・sinθに等しい。(θは度で表わした傾斜角度)

4-7 復原範囲 (Range of Stability)

復原範囲とは船がつりあい状態にある位置から右舷或は左舷に静的復原力を保持する傾斜の範囲を度で示したものをいう。

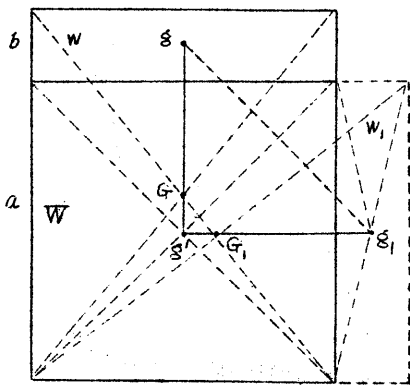
復原範囲の大きさは主として乾舷と幅と重心の位置等の関係によるものである。復原範囲はその定義の示すように転覆しない安全な傾斜角度を示すものではあるが、これを文字通りに受入れることは適當ではない。これは静水中において徐々に傾斜させた場合船を転覆せずに傾けうる角度を示すに過ぎないもので実際的な価値は比較的少いものである。これよりも重要なのは復原挺が最大となる角度であるがこれについては後に述べる。実際の傾斜が最大復原挺の時の角度に近づくと船は転覆に対する危険性が大になる。

4-8 組織内の重心移動 (重量移動)

今第4-3図において重量がWで重心がG点にある物体の一部(重量w)

HP『海軍砲術学校』公開資料

が移動し、その重心が g 点から g_1 点に移つたとすれば、 G についてのモーメントをとると



第 4 - 3 図

$$W \times GG_1 = w \times gg_1$$

あるいは

$$GG_1 = \frac{w \times gg_1}{W} \dots\dots\dots (42)$$

此の場合移動の方向には関係なく GG_1 と gg_1 とは平行であり、又同一の方向である。

船の場合、重量の移動及びこれにともなう重心の移動はこれを船の三つの基本面に平行な分力におきかえて考えることが必要である。

すなわち重量及び重心の移動量を垂直、横、及び縦方向の移動に分解して計算するのである。

ある重量が第 2 甲板左舷後部 (g 点) から第 1 甲板右舷前部 (g_3 点) に移動されたものとする。

第 1 に重量が第 2 甲板の g 点から垂直に g_3 点と同じ高さ g_1 まで移動されたとすれば、船の重心点 G は (42) 式から次のように垂直に移動する。

$$GG_1 (\text{垂直}) = \frac{w \times gg_1}{W} \dots\dots\dots (43)$$

w = 移動した重量

W = 船の排水量 (w を含む)

第 2 に重量が g_1 点から縦方向に g_3 点とならぶ点 g_2 まで移動すると船の重心の縦移動量は

$$G_1G_2 (\text{縦}) = \frac{w \times g_1g_2}{W} \dots\dots\dots (44)$$

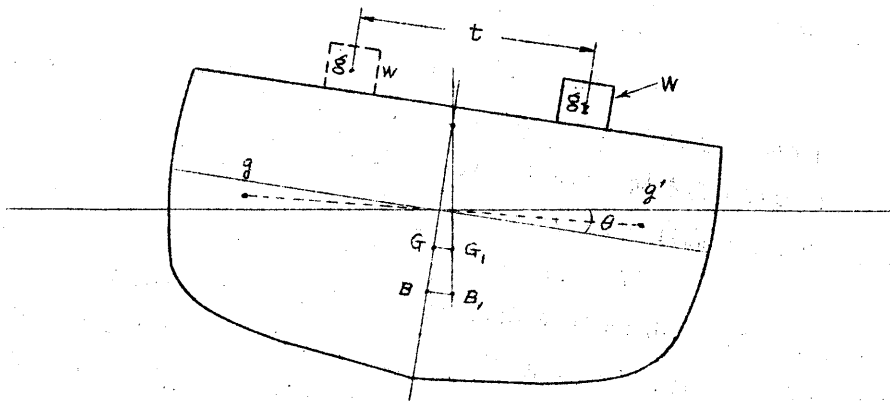
最後に重量が g_2 点から横方向に g_3 点まで移動すれば船の重心は次のように横方向に移動する。

$$G_2G_3 (\text{横}) = \frac{w \times g_2g_3}{W} \dots\dots\dots (45)$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

4-9 傾斜位置におけるつりあい状態

第4-4図のように傾斜位置でつりあっている船は、浮体の法則に従い浮心を通る垂直線上に重心があるから、傾斜角を θ とすれば重心は船の垂直中心面をはずれたある位置 G_1 にある。



第4-4図

船が直立状態のとき、重心は垂直中心面上の G 点にあつた。

この重量系のある重量 w が g から g_1 まで横移動したために重心が G から G_1 に移動したのであるから

$$GG_1(\text{横}) = \frac{w \times t}{W}$$

W = 排水量

t = 重量 w の横移動距離

もしもその移動が縦垂直中心面に対して垂直に生じたとすれば

$$GG_1(\text{横}) = GM \tan \theta = \frac{w \times t}{W}$$

故に $w t = W \cdot GM \cdot \tan \theta \dots\dots\dots (46)$

ここで $\theta = 7 \sim 10^\circ$ 以下の傾斜角

縦方向の傾斜に対しても同じ原理が適用される。すなわち縦メタセンタ $-M'$ と(44)式から第4-2図において

$$W \times GM' \cdot \tan \alpha = w \times \ell \dots\dots\dots (47)$$

ここで α = 縦傾斜角度

HP『海軍砲術学校』公開資料

この場合

$$\tan \alpha = \frac{\text{トリム変化}}{\text{船の水線長}}$$

練習問題

- 1 ある箱船の寸法は10m×4m×2mで、海水中のきつ水が1mであるとき2tの重量物を横方向に3m動かして9°の傾斜を生じたとすれば、横メタセンター高はいくらか。

答 0.92m

- 2 長さ100ft、巾25ftの箱船が清水中においてきつ水3.5ftで水平に浮いている場合、10Tの重量物が甲板上、中心線から8ft右舷寄りの処にあるとすれば、左舷へ3度の傾斜を与えるためには、この重量物をどこまで動かさねばならないか。ただしGMは13'である。

答 16.55ft

- 3 護衛艦あきづきが海水中において前部きつ水3.7m、後部きつ水3.9mであるとき、KGが4.5mであつたとすれば横メタセンター高、縦メタセンター高は各いくらか。

答 1.4m、 303.5m

- 4 DD710が海水中において前後部きつ水13'で浮いている場合に、そのKGが15'であつたとすれば横メタセンター高はいくらか、又縦メタセンター高はいくらか。

答 4.5' 943'

- 5 護衛艦あきづきの海水中におけるきつ水が前後部共41mでKGが4.8mであるとき、その重心がキールの上方2mのところにある40tの重量物を横に移動して4度の傾斜を生じさせるには、この重量物をいくら横移動すればよいか。

答 5.25m

- 6 寸法が30m×10m×3mのポンツーンが清水中において前後部きつ水1mである場合、ある重量を後部から前部へ20m移動して0.8mのトリム変化を生じたとする。もしも縦メタセンター高が75mであるならば移動した重量はいくらか。

HP『海軍砲術学校』公開資料

答 30t

7. 護衛艦あきづきにおいて、10tの重量物を甲板上中心線に対し右舷寄り4mの位置から左舷寄り5mの位置に移動した。この時のきつ水は前後部共3.95mで又KGは4.7mであつた。

- (1) GMはいくらか
(2) もしも船が最初傾斜していなかつたとすれば、移動後の傾斜角はいくらか

答 1.2m 1°30'

8. DD710が海水中において前部きつ水12'6"後部きつ水14'0"で浮いている。

- (1) KGが145'であるならば横メタセンター高はいくらか。
(2) 正確な排水量はいくらか

答 (1) 4.9' (2) 3125t

9. 護衛艦あきづきの重心がキール上46.5mで前後部きつ水が4mで海水中に浮いている。重心がキール上2mの位置にある重さ20tの機械がキール上10mの高さに持ち上げられたとする。

- (1) 船の重心はどの方向へどの位移動したか
(2) 最後のGMはいくらか

答 (1) 0.055m (2) 1.145m

10. A vessel of 3100 tons is 280 feet long at the waterline and has a draft forward and aft of 15 feet. Her $GM' = 326$ feet. How many tons of coal must be moved from a forward to an after bunker to give her a draft forward of 14 feet? The distance between centers of the coal bunkers is 180.5 feet. Assume center of flotation at \square

Ans. 40 tons.

11. 次の船のトリムを6°変化させるに要するモーメントを求めよ。

排水量 17300t

水線長 420'

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$BM' = 452'$$

$$C.GはC.B上10'$$

答 9103ft-ton s)

- 12 長さ100m、排水量2000tの船がある。前部きつ水を15cm減ずるために前部から後部へ移動すべき燃料は何トンか。タンクの間隔の距離は75mで、 $GM' = 100m$ 、又浮面心は真にあるものとする。

答 8t

- 13 排水量5000tの船で第二甲板上にあつた100tの荷物を、26m上方の上甲板上かつ20m後方にその重心を移動させたとき、その船の重心の上昇量と後方移動量を求めよ。

答 上昇量 0.052m 後方移動量 0.40m

HP『海軍砲術学校』公開資料

第 5 章 初期復原力

5-1 メタセンター半径の計算と M の位置

初期復原力の尺度であるメタセンター高は浮力及び復原力の計算においては重要な事項である。

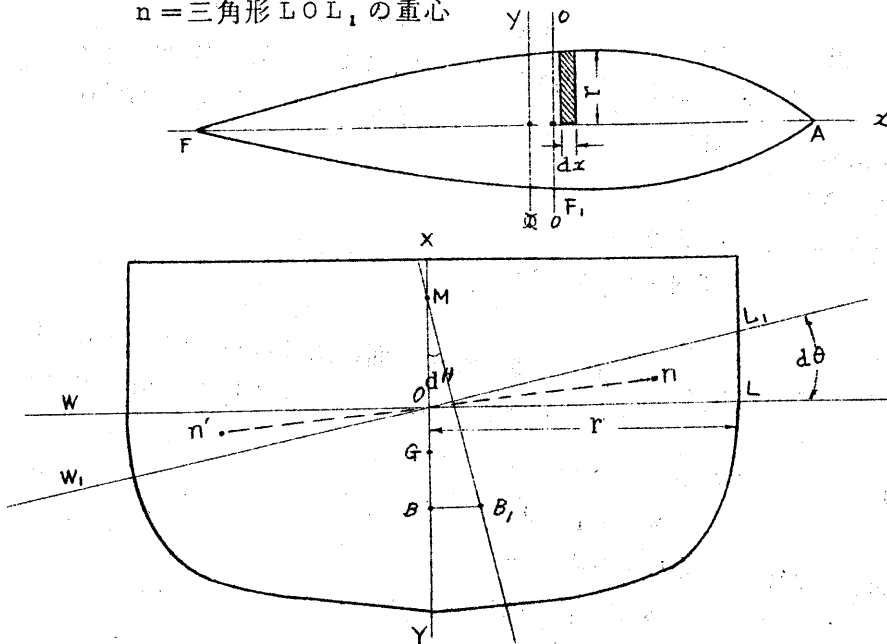
横あるいは縦のメタセンター高の値を数的にあらわすために、キール底面上方のメタセンター及び重心の垂直位置を確定する必要がある。これらの値は一般に KM 又は KM' 、及び KG と呼ばれている。このうち KM 又は KM' の値の計算方法を次に述べる。

第 5-1 図の上方は船の水線面、下方は横断面をあらわす。船はある外部モーメントによつて小角度の傾斜を与えられ、そのため水線 WL が W_1L_1 に代り、浮心は B から B_1 に移動する。この場合排水容積の移動モーメントを求める。

今 r = 船の半幅

$d\theta$ = ラジアンで示した小傾斜角

n = 三角形 LOL_1 の重心



第 5-1 図 浮心の計算

HP『海軍砲術学校』公開資料

dx = 船の長さ L の微小部分

V = 排水容積

とすれば三角形 LOL_1 の面積は $\frac{1}{2} r \times r \cdot d\theta$ である。

頂点 O から重心 n までの距離は小角度 $d\theta$ に対して $\frac{2}{3} r$ にひとしい。よつて三角形 LOL_1 の面積の縦中心面に関するモーメントは

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} r \times r d\theta \times \frac{2}{3} r \\ &= \frac{1}{3} r \times r d\theta \times \frac{2}{3} r \\ &= \frac{2}{9} r^3 d\theta \end{aligned}$$

次に断面 LOL_1 で厚さ dx を有するくさび形部のモーメントは

$$\frac{2}{9} r^3 \cdot d\theta \cdot dx$$

したがつて船の全長に対してはこれを積分して

$$\int \frac{2}{9} \cdot r^3 \cdot d\theta \cdot dx$$

となる。

水中から出たくさび形 WOW_1 の容積は水中に沈んだくさび形 LOL_1 に等しいから LOL_1 によつて増加した浮力は WOW_1 によつて失つた浮力に等しい。(ゆゑに二つの相等しいモーメントが中心面に関して同じ方向に作用している。)

よつてモーメントの総和は

$$\int \frac{2}{9} \cdot r^3 d\theta \cdot dx$$

である。

此の全モーメントは船が傾いた時の縦中心面に関する船の排水容積の移動モーメントに等しい。第 5-1 図から中心面に関する排水容積のモーメントは $V \times BB_1$ である。したがつて

$$V \times BB_1 = \int \frac{2}{9} r^3 \cdot d\theta \cdot dx$$

小傾斜の時は $BB_1 = BM \cdot d\theta$ であるから

$$\begin{aligned} V \times BB_1 &= V \times BM \cdot d\theta \\ &= \frac{2}{9} \cdot d\theta \int r^3 \cdot dx \end{aligned}$$

$$BM = \frac{\frac{2}{9} \int r^3 \cdot dx}{V} \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで $\frac{2}{9} \int r^3 \cdot dx$ は縦中心面に関する水線面の慣性モーメント (Moment

HP『海軍砲術学校』公開資料

of inertia) であるからこれを I で表わせば

$$BM = \frac{I}{V} \dots\dots\dots (5.2)$$

同様にして縦方向について

$$BM' = \frac{I'}{V} \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで BM' は縦メタセンター半径であり、又 I' は浮面心を通ずる横軸に関する水線面の慣性モーメントである。

キール上メタセンターの高さ KM を求めるには BM にキール上浮心までの高さ KB を加えればよい。

箱舟の I は $\frac{1}{12} B^3 L$ 、 I' は $\frac{1}{12} BL^3$ である。

5-2 傾斜試験とメタセンター高

前項において浮心及びメタセンターの位置はキールとの関係で求められたので同様に重心もキールとの関係位置を定めなければならない。

設計の初期段階においては、重心は既成の類似艦艇の実際の位置から見積もられる。設計の終期になると、船全体の各品目についてのすべての重量やモーメントから煩雑な計算で重心位置が求められる。此の計算は単に重心を見積もるだけではなく、船の全重量が計画の排水量に合致するかどうかを確認する手段としても重要である。

重心はその性質上、その実際位置を考える場合にはその位置はメタセンターや浮心の場合のように船体形状のかん数ではなく、船内の重量配分のかん数であることを忘れてはならない。ゆえに、重心はきつ水や排水量から独立した別個のものであつて、船のきつ水や排水量に関連して重心位置を示す曲線を描く事はできない。艦内の重量物が移動すれば重心も移動するのであるから排水量やきつ水が一定であつても重心点は無数に存在し得る。

しかしながら、容易に移動しうる重量がその全重量に対しきわめてわずかであるときは、ある基準となる搭載状態に対する正確な重心位置が決定しうる。その後重量配分が基準状態からはづれたときは、後章において述べる方法によつて重心の移動量を計算すればよい。

搭載基準状態における重心の垂直位置を正確に決定するために次に述べる傾斜試験を行う。

HP『海軍砲術学校』公開資料

5-3 傾斜試験 (Inclining Experiment)

傾斜試験の理論は公式 (4.6) で与えられた傾斜位置におけるつりあいの条件に基づくものである。すなわち復原モーメントは傾斜モーメントに等しいということである。

$$W \cdot GM \cdot \tan \theta = w \times t$$
$$\therefore GM = \frac{w \times t}{W \cdot \tan \theta}$$

したがって既知の重量 w を距離 t 移動することにより生じた傾斜角 θ を測定すれば GM は求められる。

試験を実施する前に、 w と t との値を決定する。甲板上における試験用重量の横方向移動可能距離 t が決まれば、ある小角度の傾斜を生ずるに要する重量 w の大体の量は類似艦船の実績や計算による GM 見積もりから求められる。

傾斜用重量は一般に鋼塊又は鉄塊が用いられ、其等の重量は正確に測定され、重心位置と共にその上に記入し、船体中心線から所定の距離におく。重量は一般に 3 組あるいは 4 組に分割し、甲板に縦方向に分散配置する。これは甲板構造に過大な負荷が集中するのを防止するためである。

船の傾斜は艦内の数ヶ所に重錘を糸でつるした振子を設け、重錘の振れ動いた量によつて測定する。傾斜角が大であると M 位置が変動するから $2 \sim 3^\circ$ 程度の傾斜とし、かつ振子の移動量を明確にするため振子は十分の長さを必要とする。したがつて振子は機関室や倉庫のハッチ開口部のように垂直距離を長く取れる場所に設ける。振子の長さは試験前に正確に測定する。

試験は次のようにして行う。

- 1 船は自由に浮いていなければならない。
- 2 係留索はすべてゆるめ、船内各タンクやボイラ内の液体は自由水効果をなくするために空にするか又は満たし、又ビルヂも完全に排除して自由水を最小に保持する。
- 3 風潮の強い時をさけ、できるならば乾ドック内で門扉を閉めて行うことがのぞましい。
- 4 艦内の重量物は移動しないよう固はくする。各倉庫の内容をしらべる。

HP『海軍砲術学校』公開資料

5 乗員は全部陸上にあげる。もしも艦内におく場合は記録しておくのに都合のよい場所に限定する。

6 傾斜用重量が置かれ、試験開始の直前に次のデータを記録する。

(1) 前後部きつ水

(2) 水 温

(3) 水の比重

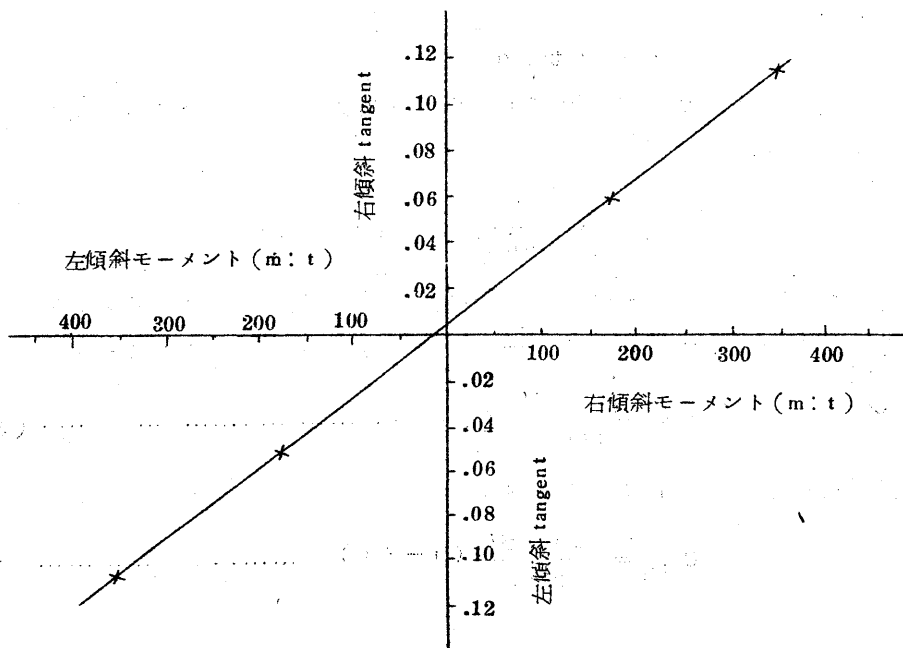
これ等データと排水量等曲線から、排水量 W は正確にわかる。

7 準備が完成したところで、前もつて決められた順序に従い、重量を移動する。移動完了の合図で計測員は次の計測と記録を行う。

(1) 振子の偏位置

(2) 傾斜用重量の重さ (w) と移動距離 (t)

振子の偏位置によつて傾斜角 θ を測ることができ、 w 及び t の値からメタセンター高 $G M$ が計算できる。普通零点において中間の照合を行いながら左右両舷に数回の傾斜を行う。その場合最初の位置からの傾斜角



第 5 - 2 図

HP『海軍砲術学校』公開資料

度の tangent を傾斜重量モーメント（左右舷共）に対してプロットする。理論的には傾斜モーメントに応ずる tangent の点は一直線上に並ぶべきである。求めた点が直線から偏位している事は試験状態が良くなかつたか、何か錯誤があつたかを示している。

第5-2図から勾配 = $\frac{\tan \theta}{\text{傾斜モーメント}}$ である。この場合 $\tan \theta$ はある傾斜角に対する値であり、モーメントはその時の対応する値である。

$$GM = \frac{w \times t}{W \tan \theta} = \frac{1}{W \times \text{勾配}}$$

このようにしてGMの値が決定される。次に排水量等曲線図から、キール上のメタセンターの高さKMの値をとり、GMの値をマイナスすればキール上重心の高さKGが得られる。 (KG=KM-GM)

5-4 毎センチトリムモーメントの計算

縦方向のつりあいに影響する重量の縦方向移動は(47式)によつて与えられる。

$$W \times GM' \tan \alpha = w \times \ell$$

一般に角 α は微小であつて 1° 以下が普通である。今この傾斜をトリム変化 t (cm)であらわせば

$$W \times GM' \frac{t}{100L} = w \times \ell (t-m)$$

上式における $w \times \ell$ はトリム t cmを生ずるに要するモーメントである。よつてトリム 1 cmを生ずるモーメント C (毎センチトリムモーメント)は

$$C = \frac{W \times GM'}{100L} (t-m) \dots \dots \dots (5.4)$$

同様に毎インチトリムモーメント C_{in} は、

$$C_{in} = \frac{W \times GM'}{12L} (t-ft) \dots \dots \dots (5.4')$$

(参考)

GM'の長さに比しBGは極めて小であるからGM'の代りにBM'を用い

HP『海軍砲術学校』公開資料

てもトリムモーメントの値は極めて近似の値が得られる。米海軍の排水量等曲線図において曲線(12)毎インチトリムモーメントが「Approximate Moment to Alter Trim One Inch」とあるのはこのためである。

練習問題

- 1 ある船の長さは水線において115m、排水量は2760t、縦メタセンター高GM'は302mであつた。この状態における毎センチトリムモーメントを計算せよ。

答 72.5m・t

- 2 長さ28m、幅10mの箱舟が浮いておりそのきつ水は2mである。キール上横メタセンター高を計算せよ。

答 5.17m

- 3 ある箱舟の長さは25m、幅は8mで排水量は369tである。海上に浮いている場合の横メタセンターはキール上いくらの高さにあるか。

答 3.86m

- 4 長さ85'、幅32'の箱舟が460tの排水量で海上に浮ぶ場合、キール上の横メタセンターの高さはいくらか。

答 17.36'

- 5 30m×10m×2mの箱舟が前後部きつ水1mであるとき、重心はキール上1.5mにあつたとすれば横メタセンター高はいくらか。

答 7.33m

- 6 A light cruiser is 550 feet long at the waterline and GM' is 480 feet. Displacement is 7000 tons. How many tons of fresh water were transferred from a forward tank to an after tank if the change of trim is 295 inches? Distance between tank center is 300 feet.

Ans. 500.6t

- 7 長さ30m、直径15mの円筒形の舟がその軸を水線として曳航されている。横メタセンター半径はいくらか。

HP『海軍砲術学校』公開資料

答 3.18 m

8 寸法 40 m × 12 m × 3 m の箱舟がきつ水 1.2 m で海水に浮いている。下記を計算せよ。

- (1) 排水量
- (2) KB (キール上浮心の高さ)
- (3) BM (横メタセンター半径)
- (4) KM (キール上横メタセンターの高さ)

答 (1) 590.4 t (2) 0.6 m

(3) 10 m (4) 10.6 m

9 ある箱舟の寸法は長さ 35 m、幅 12 m、深さ 2.5 m で、海水に 1 m のきつ水で平均に浮いている。KG = 1.3 m として次を計算せよ。

- (1) KB
- (2) 排水容積
- (3) KM
- (4) 横メタセンター高
- (5) 排水量
- (6) 縦中心線に関する水線面の慣性モーメント

答 (1) 0.5 m (2) 420 m³ (3) 12.5 m

(4) 11.2 m (5) 430.5 t (6) 5040 m⁴

10 前問の船について下記の値を計算せよ。

- (1) 横中心線に関する水線面の慣性モーメント
- (2) KM' (キール上縦メタセンターの高さ)
- (3) GM' (縦メタセンター高)

答 (1) 42875 m⁴ (2) 102.6 m

(3) 101.3 m

11 排水量 10000 t の船の甲板上で重量 40 t を横方向に 15 m 移動させて傾斜試験を行った時、傾斜角の tangent の平均値が 0.043 であつた。

メタセンター高を求めよ。

答 1.40 m

12 護衛艦あきづきが前後部きつ水 3.80 m で浮いているとき、15 t の重量

HP『海軍砲術学校』公開資料

を横方向へ8 m移動させたことによつて横傾斜を生じ、傾斜角の tangent が0.0374であつた。この時の海水の比重が1.015であつたとして次を計算せよ。

- (1) 排水量
- (2) メタセンター高
- (3) 重心の垂直方向の位置

答 (1) 2675 t (2) 1.20 m
(3) KG=4.73 m

- 13 前後部きつ水12'1"で浮いている船において傾斜試験を行い、次のような結果を得た。

	モーメント	直立状態からの傾斜角の tangent
右舷	150 ft.tons	0.0202
〃	300 〃	0.0406
左舷	150 〃	0.0203
〃	300 〃	0.0404

比重計によつて測定した海水の比重は1.0080、水温は66°Fで、水温に対して修正された比重は1.0079である。この船の形状曲線から平均きつ水12'1"に対する清水中の排水量は2500tで、メタセンターはキール上19.80'である。

次の値を算出せよ。

- (1) 排水量
- (2) メタセンター高
- (3) 重心の垂直方向の位置

答 (1) 2519.8 t
(2) 2.94'
(3) KG=16.86'

HP『海軍砲術学校』公開資料

第6章 総合復原力

6-1 概 説

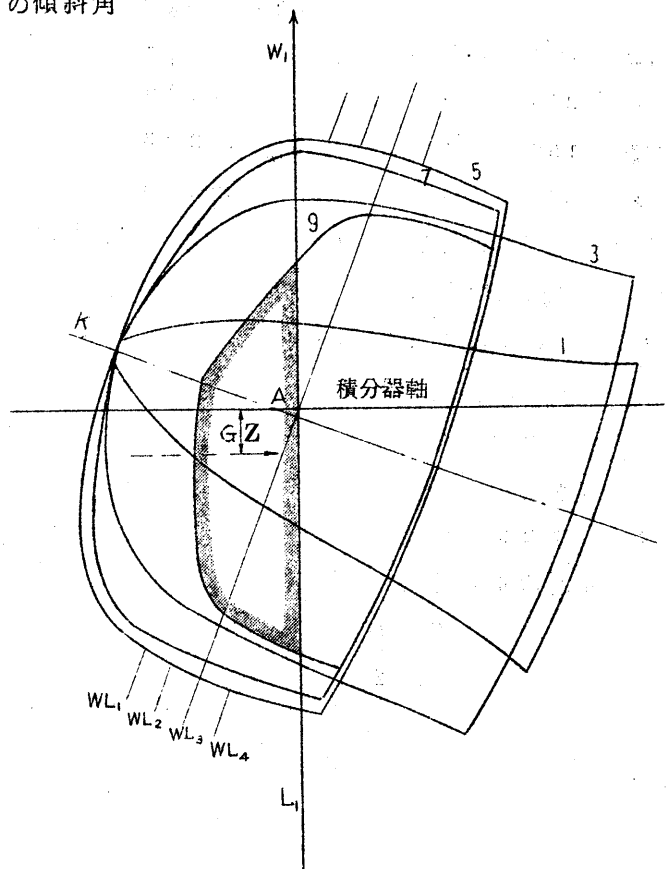
復原性能は単にGMの値だけで判断することはできないものであつて、これを最も完全に表わすものには各種排水量における各傾斜角度に対する復原挺を示した図表、すなわち復原挺曲線がある。この復原艇曲線は一般に静的復原力曲線 (Statical Stability Curve) と言われる。この復原力曲線から次のような各種排水量に対する復原性能の特質を知ることができる。

- 1 任意の横軸傾斜角に対する復原挺
- 2 GM
- 3 最大復原挺とその傾斜角
- 4 復原範囲
- 5 動的復原力

(参 考)

傾斜角の全範囲に対するGZを計算することは非常に煩雑な手数を要するもので、之は又設計者の分野に属するが、一応静的復原力曲線の根源を理解するためにその一方法を簡単に述べる。

船の各横断面の両舷の形状を表わす正面線図を描く。第6-1図はその一部を示すもので



第6-1図

HP『海軍砲術学校』公開資料

図を簡略にするため偶数番号の横断面を省略してある。

此の正面線図の上に積分器 (Integrator) を置き、復原挺を決定しようとする傾斜水線 (此の場合 $W_1 L_1$) に対し積分器の軸が垂直になるようにし、又垂直中心線上のある点すなわち A 点を通過させる。それから器具の追尾指標を以て各横断面の水中部分をたどると積分器の周りの各横断面の面積と面積のモーメントが記録される。面積と面積のモーメントとを水線の長さ方向に梯形法則で集計する。面積の集計は傾斜水線下の水中容積となり、密度係数を乗ずれば排水量が得られる。又面積のモーメントの集計は器具軸を通り、且横断面に垂直な面に関する容積のモーメントとなる。容積のモーメントを容積でわれば積分器の軸から浮心までの距離が得られる。したがつてもしも船の重心点が A 点にあると仮定すればこの距離は GZ である。

この方法を WL_1, WL_2, \dots と各きつ水線について、又傾斜角をかえてくりかえし、各きつ水、各傾斜角に対する GZ を計算することができる。

6-2 復原力交叉曲線 (Cross Curves of Stability)

船の各排水量、各傾斜角における GZ は重心点を一点に仮想して前項 (参考) にのべた要領によつて計算することができる。

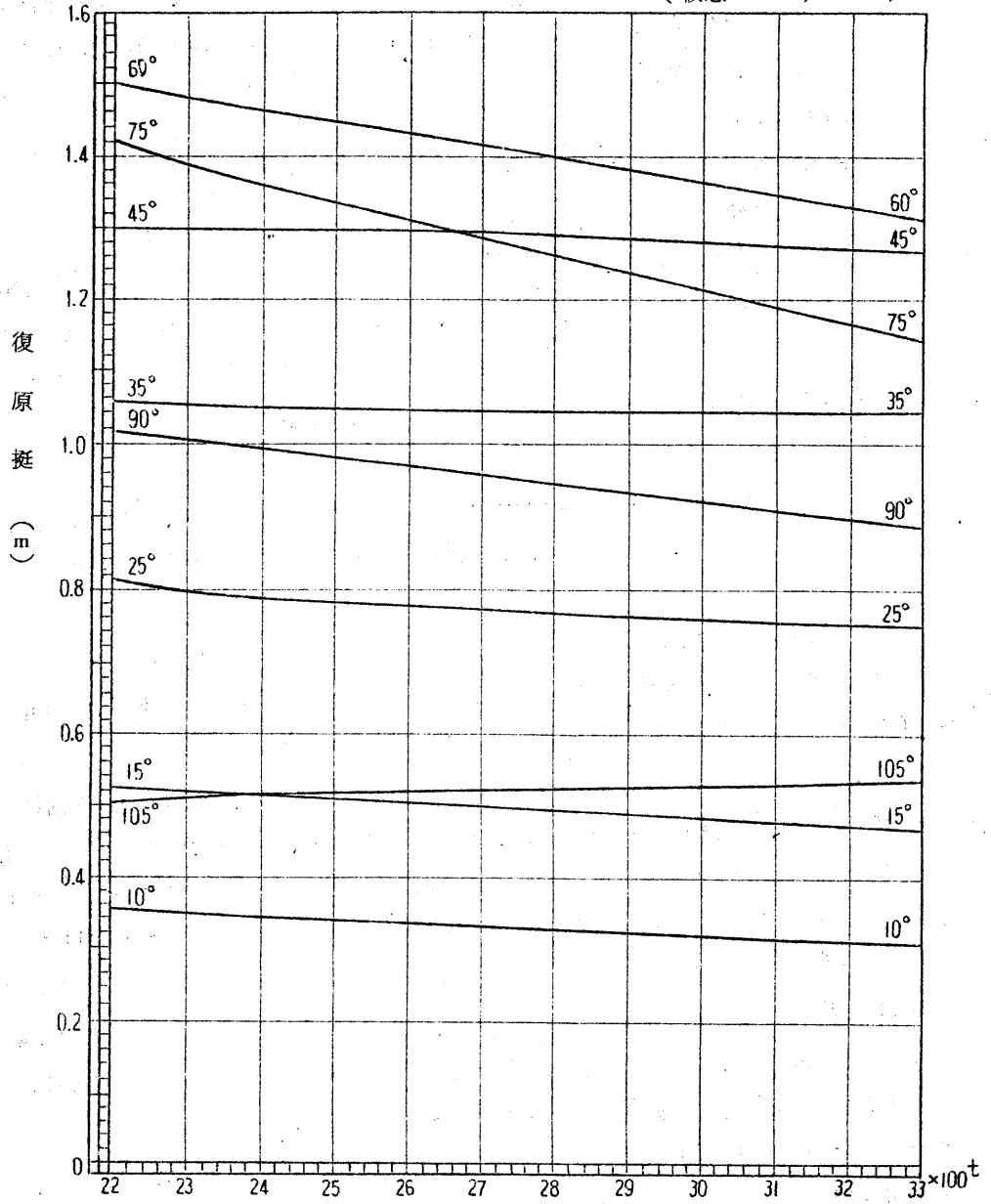
このようにして算出した GZ の値を各傾斜角ごとに、排水量を横軸にとり復原挺を縦軸とした曲線として描くことが出来、これを復原力交叉曲線と称する。第 6-2 図、及び第 6-3 図はその例を示す。第 6-2 図において「仮想 $KG = 4.0 m$ 」、第 6-3 図において「AXIS ASSUMED TO BE 14' ABOVE BOTTOM OF KEEL AMIDSHIPS」と記されているのはそれぞれ GZ の計算において仮想した重心 G がキール上 $4 m$ あるいは $14 ft$ のところにある、すなわち積分器の軸は中心線とキール上 $4 m$ あるいは $14 ft$ の処で交叉することを示している。

6-3 静的復原力曲線 (Curves of Statical Stability)

船の横傾斜にともなう復原力の変化の模様を示すのに第 6-4 図のように横軸に傾斜角をとり、縦軸に復原力又は復原挺をとつたものを静的復原力曲線と称する。この曲線は船の復原性能の一部、すなわち特定の排水量

HP『海軍砲術学校』公開資料

(仮想 KG = 4,000 m)



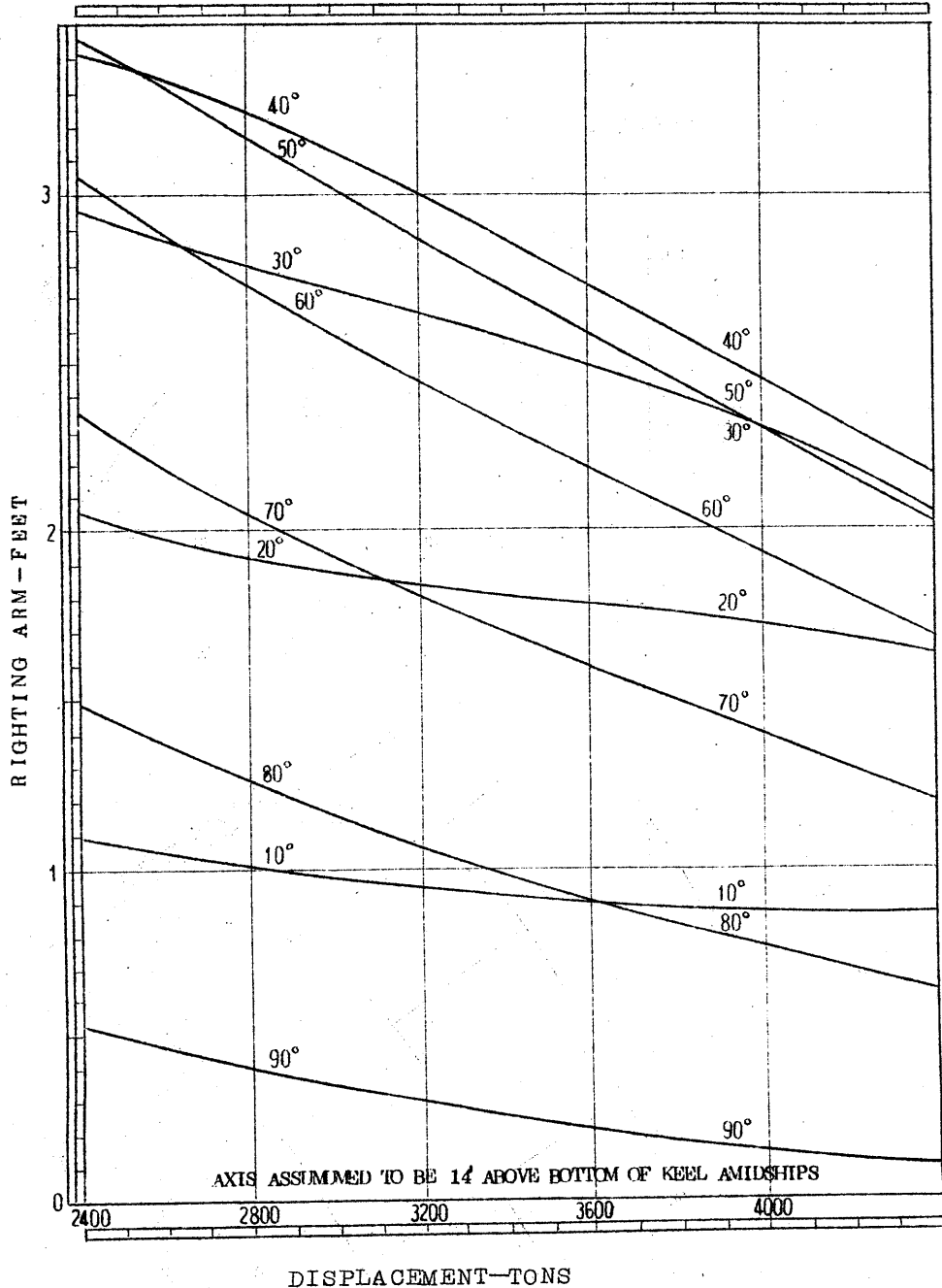
排水量 (t)

あきづき復原力交叉曲線

第 6 - 2 図

HP 『海軍砲術学校』 公開資料

(仮想 KG=14')

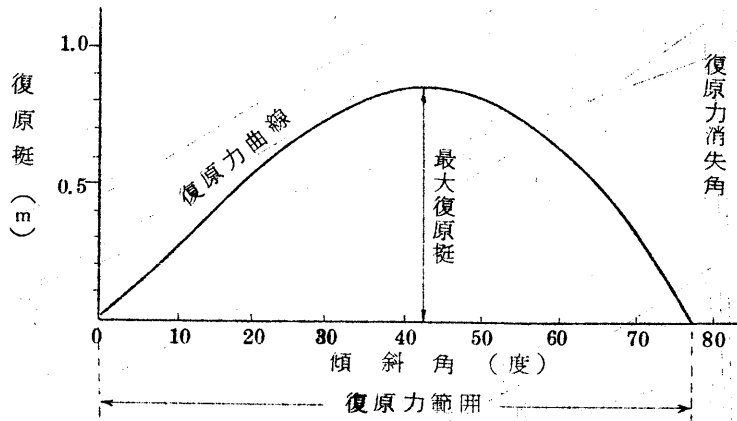


CROSS CURVES OF STABILITY, USS GEARING

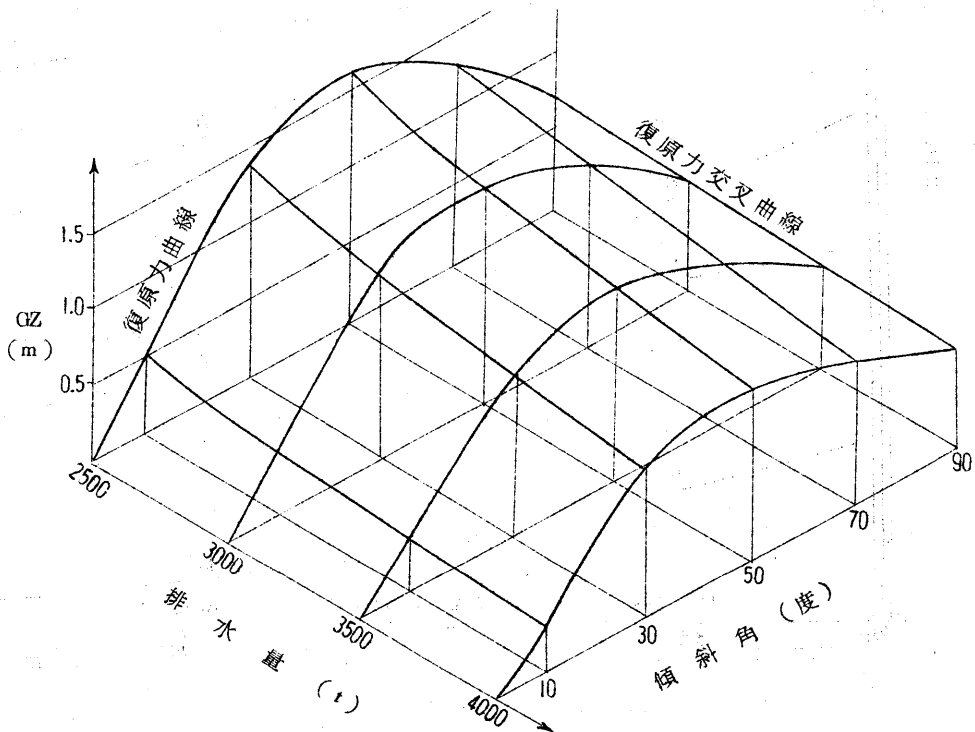
第 6 - 3 図

HP『海軍砲術学校』公開資料

に対する復原性を示しているもので、復原力交叉曲線におけるある排水量を横軸上に選り、その上に立てた垂線と各傾斜角の曲線との交点が示す復原艇の値から描くことができる。



第 6 - 4 図 静的復原力曲線



第 6 - 5 図 復原力曲線と復原力交叉曲線

HP『海軍砲術学校』公開資料

復原力交叉曲線を2次元ではなく3次元で表わすならば第6-5図に示すような立体図が得られる。この曲面を傾斜角の座標軸に平行に見た投影図が復原力交叉曲線であり、各排水量の線に平行で且つ底面に垂直な平面と曲面との交線が静的復原力曲線である。

1 重心位置に対する垂直方向修正

復原力交叉曲線における重心位置は復原挺計算に際して仮定されていた事は前述のとおりである。傾斜試験の結果基準搭載状態における重心位置が測定されたならばその重心位置に対する基準どう載状態の排水量における復原挺を見だし、静的復原力曲線を描く。この曲線を作るためには重心の実際位置と仮定位置間の距離に対する修正を施す必要がある。

第6-6図において、重心の仮定位置がA点であつたのに対し、この排水量で実際の搭載状態における重心がA点より上方の点Gにあつたとする。

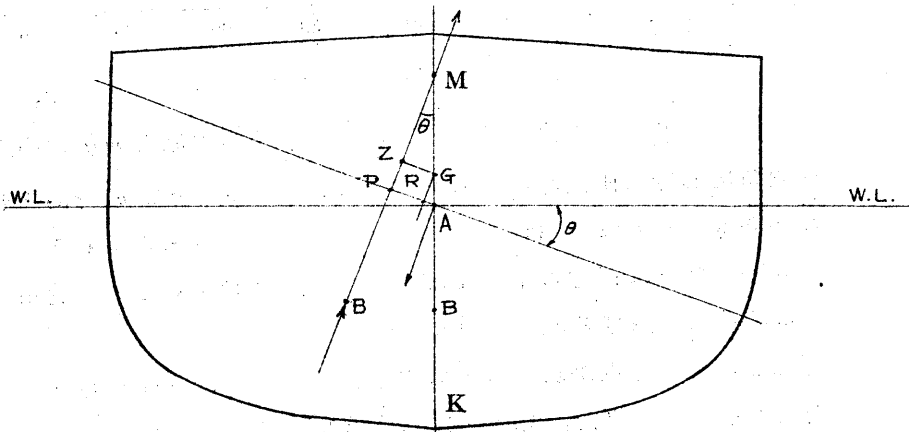
今この船を θ° だけ傾けたとすれば、仮定重心Aに対する復原挺はAPであらわされるのに対し、実際の復原挺はGZである。図から

$$GZ = AP - AR$$

しかるに

$$AR = AG \sin \theta$$

$$\therefore GZ = AP - AG \sin \theta$$



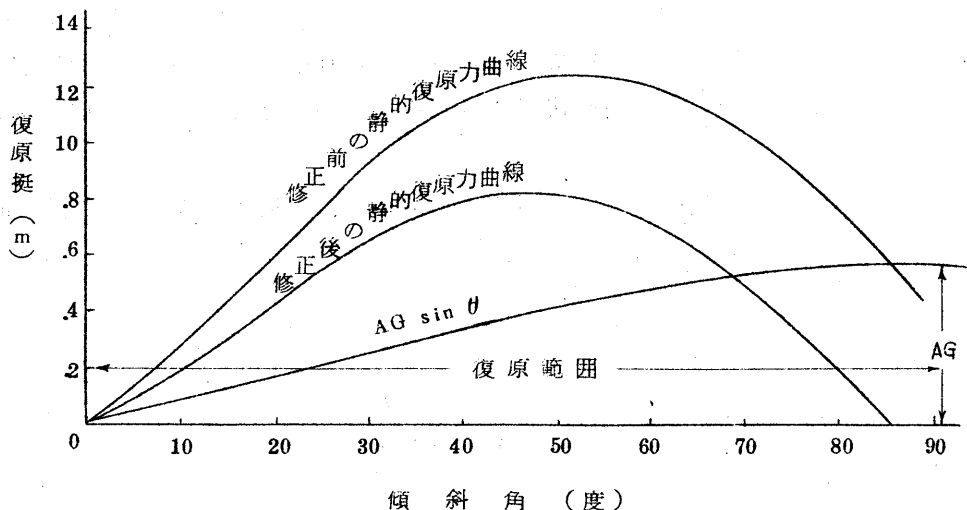
第6-6図 重心の垂直移動に対する修正

HP『海軍砲術学校』公開資料

すなわち、実際の復原挺は仮定重心に対する復原挺（復原力交叉曲線における復原挺）よりも $AG \sin \theta$ だけ小である。

又もしも実際の重心 G が仮定重心位置よりも下方にある場合は、仮定重心に対する復原挺に $AG \sin \theta$ を加えたものが実際の復原挺となる。

したがって任意の排水量における修正復原力曲線を得るには、交叉曲線から得た復原力曲線に修正を加える事が必要である。 $AG \sin \theta$ の曲線は復原力曲線と同一の尺度で、 90° の点に AG をとり sine curve を描けばよい。 G が A の上方にある場合は $AG \sin \theta$ を横軸の上方に描き、又 G が A の下方にある場合は横軸の下方に描く。これによつて任意



第 6 - 7 図 重心上昇に対する静的復原力曲線の修正

傾斜角における両曲線間の垂直距離は $GZ \pm AG \sin \theta$ をあらわす。すなわち sine curve は GZ の新しい横軸となるのである。

sine 修正は任意の重心位置の垂直方向移動に対しても適用される。

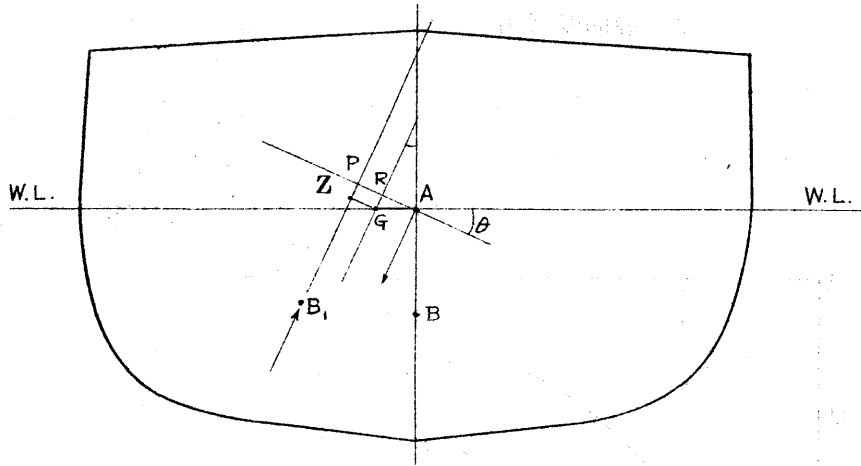
2 重心位置に対する横方向修正

もし船の重心点が船の縦垂直中心面上になく、片舷に偏位している場合にも前述の垂直方向修正と同様に修正することができる。

第 6 - 8 図において仮定重心点 A に対し実際重心点はその同一水平面

HP『海軍砲術学校』公開資料

上の点Gにあるとすると、仮定重心に対する復原挺APに対して実際の



第6-8図 重心の横移動に対する修正

復原挺はGZである。図から明らかなように

$$GZ = AP - AR$$

しかるに

$$AR = AG \cos \theta$$

ゆえに

$$GZ = AP - AG \cos \theta$$

すなわち重量の横方向移動により船の重心が中心線から横方向に移動した距離に傾斜角の cosine を乗じた量だけ復原挺が減少した事がわかる。此の復原挺の喪失 $AG \cos \theta$ は船の傾斜挺 (Inclining arm) といわれ、排水量 W を乗じたものは傾斜モーメント (Inclining Moment) という。

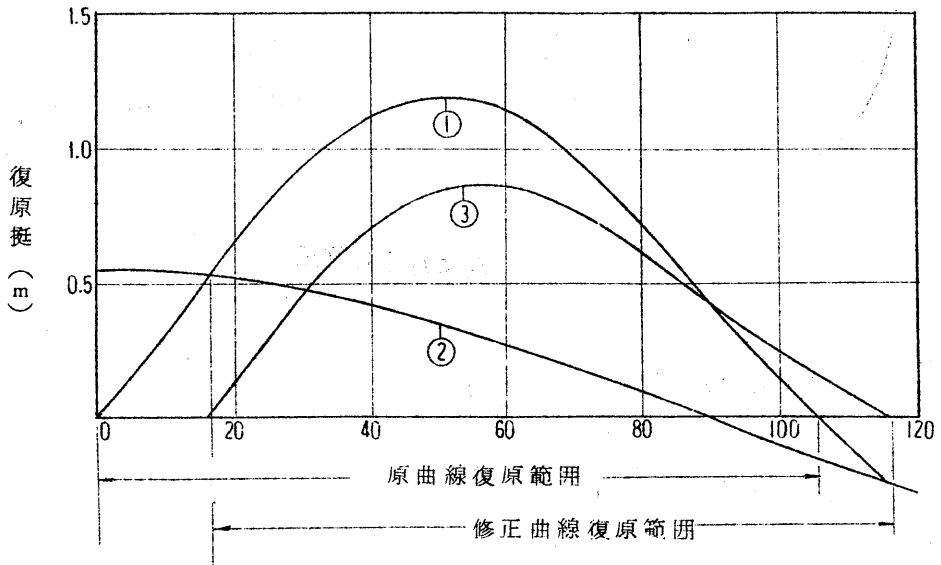
なおこの図においては重心のかたよつている方向に傾斜しているので $GZ = AP - AG \cos \theta$ となつたが、反対舷に傾斜した場合は $GZ = AP + AG \cos \theta$ となることに注意を要する。

つりあい状態となるときは、傾斜モーメントと傾斜挺の生じた側の傾斜角に対する復原モーメントとがつりあわなければならない。横固定傾斜をした場合には傾斜している側における総合復原力はある量だけ低下

HP『海軍砲術学校』公開資料

する。これらの関係は第6-9図の静的復原力曲線で明らかに示されている。この図の中で静的復原力の最初の曲線は 105° の範囲で正の復原挺

- 1 原復原力曲線
- 2 $AG \cos \theta$ 曲線
- 3 修正復原力曲線



第6-9図

を有するが横方向の重心移動により $AG \cos \theta$ だけ右舷への傾斜挺を生じた事を示している。

この修正曲線は、左舷及び右舷の復原力曲線を調べる場合、 G が右舷側にあれば軸の上方に、又 G が左舷側にあれば軸の下方に描く。

左右両舷に対する復原力曲線が必要な時には、第6-10図に示すように第1象限に右舷の正の値を、第3象限に左舷の正の値をとつて曲線を描くのが例となつている。又もし片側だけの復原力曲線を描く時は第1象限に描くのが普通である。この場合には船の重心が復原力曲線の描かれた側にかたよつていときは cosine 修正曲線は横軸の上方に書く。又重心が他舷にはずれている時は cosine 曲線は横軸の下方に描く。

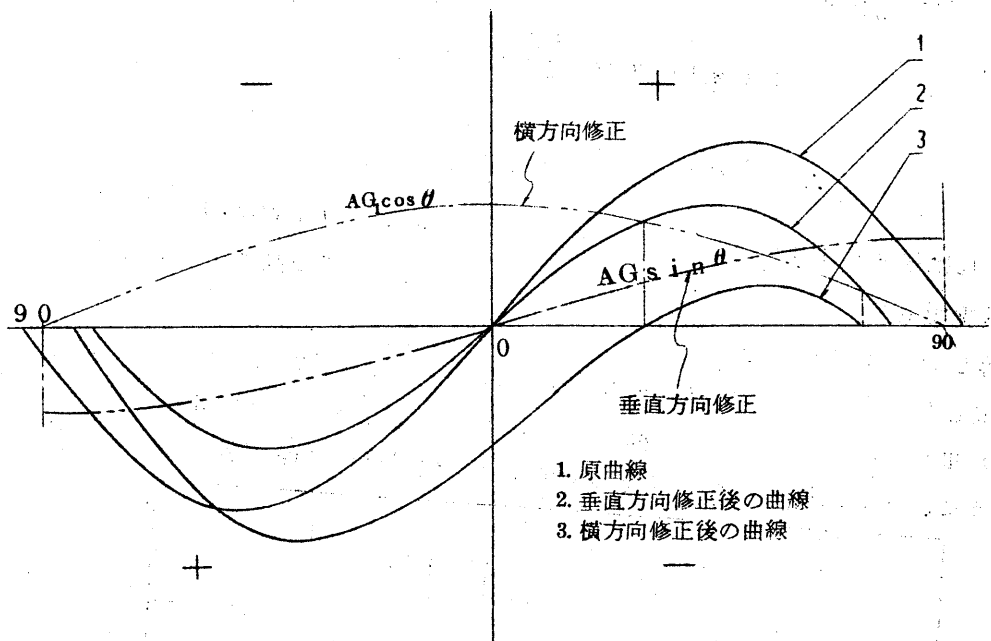
傾斜挺曲線が復原挺(静的復原力)曲線と交わる処がすなわちつりあ

HP『海軍砲術学校』公開資料

この点である。これは又横固定傾斜角が θ° となる事を示す。修正された総合復原力曲線の縦座標は最初の復原力曲線から傾斜挺曲線の縦座標を差し引いて求められる。

Gの横方向移動をもたらした重量移動はGの垂直方向高さも排水量も変化させる作用はない。又メタセンターの位置は排水量によつて決まるからこれも変化しない。ゆえに水平方向の重量移動によつてメタセンター高GMは変化せずそのまま保たれている。復原性範囲に対する影響は、下方限界はいうまでもなく傾斜によつて変化し、上方限界は修正前の範囲が 90° より大であれば増加し、 90° より小であれば減少する。

又Gのある反対舷に関する復原挺は $A G \cos \theta$ だけ増加する。



第6-10図 総合復原力曲線

第6-10図は重心の垂直方向と横方向の移動に対する修正を施した場合の左右両舷における復原挺の変化状態をあらわした曲線である。

6-4 メタセンター高と復原力曲線

復原力曲線の原点附近での切線の勾配を $\tan \alpha$ とすれば、

$$\tan \alpha = \frac{GZ}{\theta}$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

微小角 θ に対して $\sin \theta = \theta$ であるから

$$\tan \alpha = \frac{GZ}{\sin \theta}$$

小角度の傾斜では

$$GZ = GM \sin \theta$$

$$\therefore GM = \frac{GZ}{\sin \theta}$$

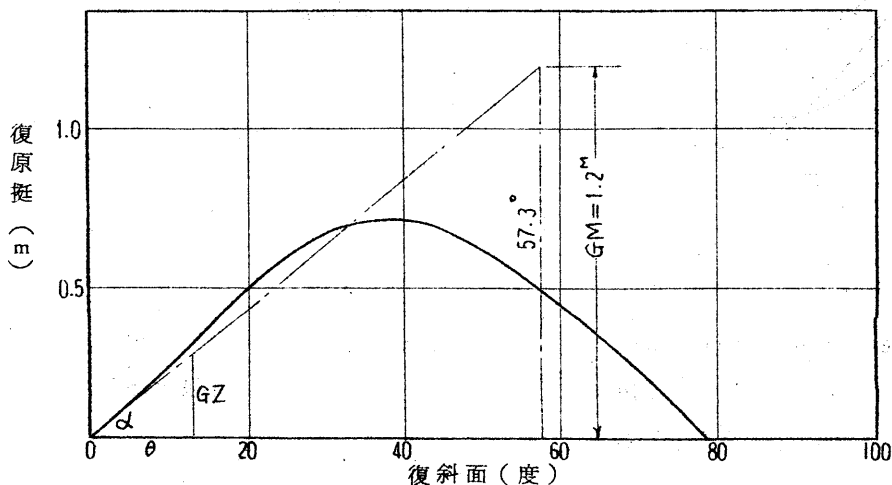
しかるに $\frac{GZ}{\sin \theta} = \tan \alpha$ であるから

$$GM = \tan \alpha = \frac{GZ}{\theta}$$

$$\therefore \tan \alpha = \frac{GZ}{\theta \text{ rad}} = \frac{GM}{1 \text{ rad}}$$

これは第 6-11 図の復原力曲線上の傾斜角 5.73° (1 rad.) のところに垂線を立てた時原点における曲線の切線との交点までの高さは GM の値に等しいことを示す。

重心が中心上にない場合、重心の横方向移動に対して修正された静的復原力曲線の勾配からは GM を測定することはできない。6-3 項で述べたように、 GM は重量の水平方向移動により変化されずに保持されているか



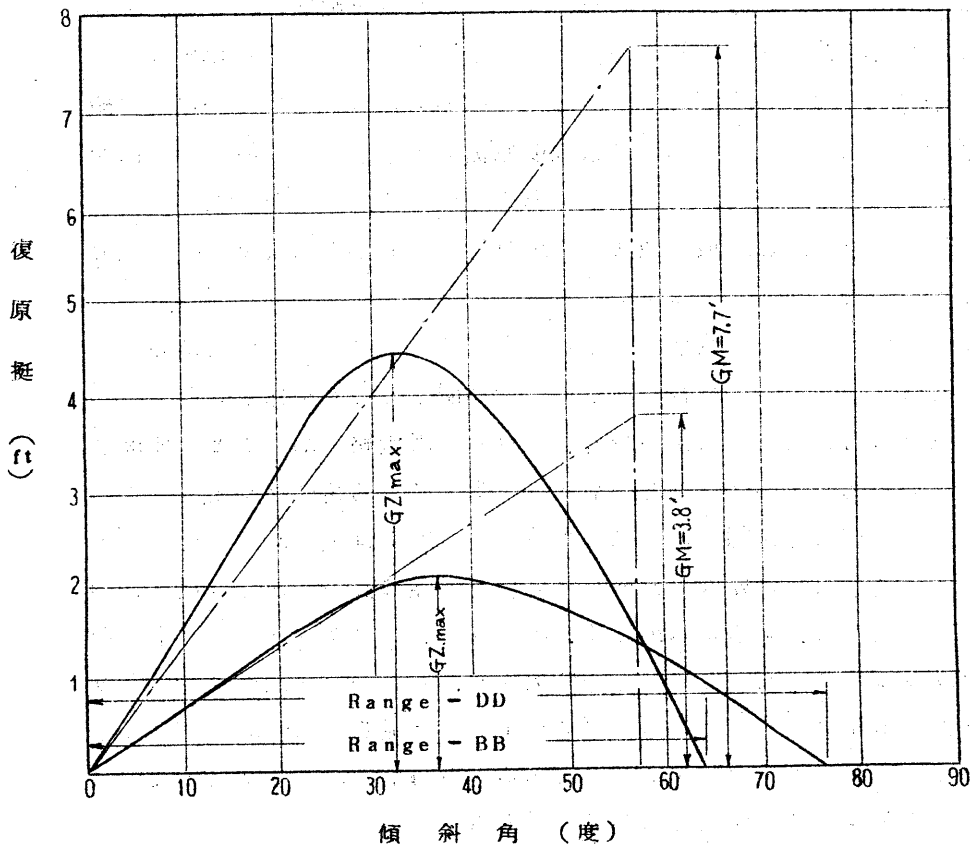
第 6-11 図 GM の表示

HP『海軍砲術学校』公開資料

ら、図上からGMを求めるには修正前の静的復原力曲線の原点附近の勾配を測定することが必要である。

6-5 初期復原力と復原範囲

軽頭船 (Stiff Ship) と呼ばれるものは短い早い動揺をするので最初傾けるのが困難な船である。換言すれば大きな初期復原挺を有する船である。又このような船は大きなGMをもっている。GMは初期復原力の尺度であり、これが大であれば初期復原モーメントが高率に発生することを意味する。一般に軽頭船は重頭船 (Tender Ship) すなわち傾きやすい船にくらべて本質的にはるかに安定であり又安全であると誤解しやすい。しかしながら復原力曲線を調べ、比較してみれば総合復原力の特質がわかり、



第6-12図 戦艦と駆逐艦の復原性

HP『海軍砲術学校』公開資料

このような見解が誤りであることが知られる。

最もよく引用される比較の例は戦艦と駆逐艦の場合である。第6-12図に示されるように戦艦のGMは駆逐艦のそれのほぼ2倍であるが一方戦艦の復原範囲は駆逐艦のそれよりも少い。したがってGMの値は静的復原力の範囲の標準とはなり得ない。駆逐艦と戦艦との復原力曲線の比較は、これらの初期復原力と復原範囲とが別個の問題であることを強調するために引用した例である。その他の復原力特性については類似の型の船の復原力曲線を比較することがより有意義であることに留意する必要がある。

客船のGMは旅客の乗心地を考慮し、一般に小であるが、復原範囲は一般に大きいものである。

船の安全に対するおもな判断の標準はGMでも復原範囲でもなく、実は最大復原挺とそれを生ずる傾斜角である。さりとてまたそれらの値はGM及び復原範囲とは全く関係がないというわけのものでもない。一般には船の復原力特性はGMが大であれば最大復原挺も大となり、又最大復原挺を生ずる角が大であれば復原範囲も大であるといつてさしつかえない。

以上を要すれば艦艇に最も望ましい復原特性は適当な最大復原挺と十分な復原範囲との結合したものである。

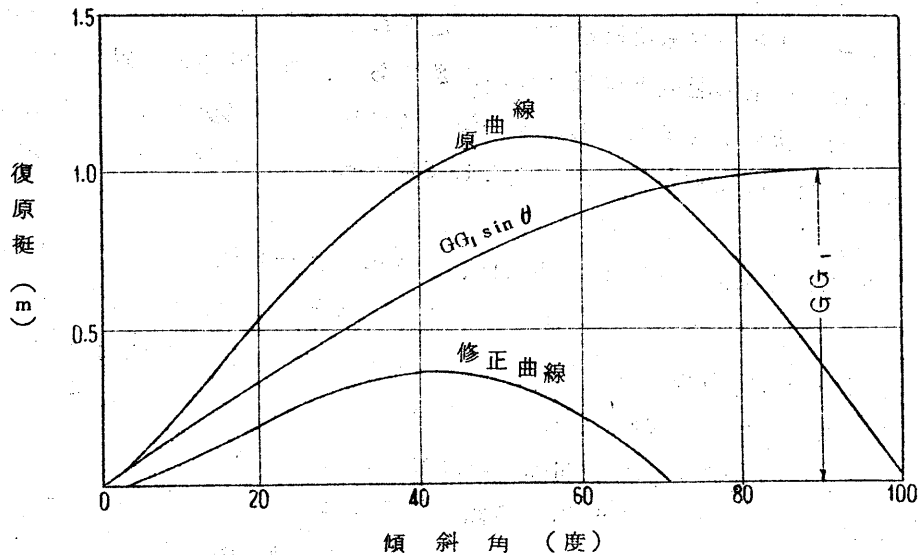
上述の説明はきわめて概括的なものであつて艦の目的によつては必ずしもそうとばかりいえない場合もあることを銘記する必要がある。たとえば航空母艦は本質的に最も動揺が少く、安定した滑走路であることが要求される。このためには一般にたとい最大復原挺を生ずる角度は小であつても予期される如何なる状態においても復原モーメントは失われないような大きなGMと排水量とが要求される。他方、駆逐艦は高速と運動性能とに適するように作られ、排水量は小さく、幅が狭く、メタセンター高も小である。駆逐艦の乾舷は他の寸法の割合に大きく、したがって比較的大きな復原挺と復原範囲とを有している。第6-12図に見るとおり駆逐艦の復原力曲線の初期傾斜の勾配はゆるやかであるから海上においては大きな復原挺を生ずる角度まで動揺するのが普通である。

以上述べたところによつて、船の復原特性は設計によつて決定しているものであるから艦船乗員としては自分の艦の復原性能に関してはほどこす

HP『海軍砲術学校』公開資料

すべがないかのような印象を受けるかも知れない。この印象を訂正するため、ここで簡単に船の特性と、復原性能に寄与する事項について復習する。

根本的に船の静的復原力曲線の形と大きさは(1)船体形状と(2)重心の位置とによつて決まるものである。後者の位置は変化するものであるからその変化とその影響について注意を払わなければならない。すでに説明したように重心の上昇に対しては垂直移動量 GG_1 に対し $GG_1 \sin \theta$ を復原力曲線からマイナスしなければならない。第6-13図において重心が GG_1 だ



第6-13図

け上昇したときの修正復原力曲線は図のとおりであつて、 GG_1 の上昇がさらに大であれば復原力は全く喪失してしまうであろう。

6-6 船の復原力特性

GM の見地からの初期復原力と、静的復原力曲線の形状の見地からの総合復原力とを考へる場合には、これら特性の中に含まれるあらゆる要素を頭に入れておくことは重要である。その最も重要な事は、 GM の適用について混同してはならないということである。すなわち一般に GM は 10° 位までの小範囲の傾斜についてのみ適用しうる。静的復原力曲線がその原点における切線から逸出する点は、 GM の適用範囲からはずれる点である。

HP『海軍砲術学校』公開資料

第2にGとMとは分離した別個の点であつて、互に独立しているということである。Gは重量の移動、増減によつて変化するものであり、Mは水線下の形状によつて移動するものである。したがつて、GMの計算においてはGの位置とMの位置とはそれぞれ別個に考えなくてはならない。

復原力一般及び復原力曲線の形状を考える上にまず注意すべき点はGZの値である。任意傾斜角の復原挺の量を変化させる要因があれば復原力曲線の形は変化する。ここで再度重心の問題にふれる。距離GZは重力と浮力との作用線間の垂直距離で、復原力曲線の形は基本的には各傾斜角におけるBとGとの関係位置によつて決定されるものである。Gの位置は上述のとおり重量の配列と位置とのかん数であり、他方浮心の位置は船体の幾何学的形状のかん数である。船が傾くにつれてBは移動するが、どこまで又どんな方向に移動するかは主として幅と新しい水線下形状と乾舷とによる。

浮心の移動における幅の関係は、メタセンター半径の公式(52)により $BM = I/V$ であらわされる。ここでIは幅の3乗のかん数である。概して幅が大であれば与えられた小傾斜角に対する作用線の離間距離GZは大となる。もしも復原力が主として幅が広いことによつて生じたものであれば、大きなGMのため曲線は急上昇し、比較的小傾斜角において大きな最大復原挺に達し、それ以上の傾斜角になれば復原力曲線は急激に降下する。すなわち曲線は急激でかつ高くなるが復原範囲は小である。これは戦艦のように幅が広く、艦底は平で、又乾舷が比較的低い船において生ずる特性である。

総合復原力の見地からは、復原力曲線はなるべくゆるやかな傾斜ではじまり、傾斜が増大するに従つて復原挺が増し、大きな最大復原挺に到達することが望ましい。これは乾舷が比較的高く、かつ大きな外曲(Flare)を有する船の場合に起る。

傾斜に際し、露天甲板(最上部の完全水密甲板)が水面下に没すると、復原力は急激に低下する。これは露天甲板の端が水中にはいると共に、水線面がその最大幅から減少し始め、Bの外方移動が減少するからである。此の影響を緩和する唯一の手段は乾舷を増加することであつて、乾舷を大

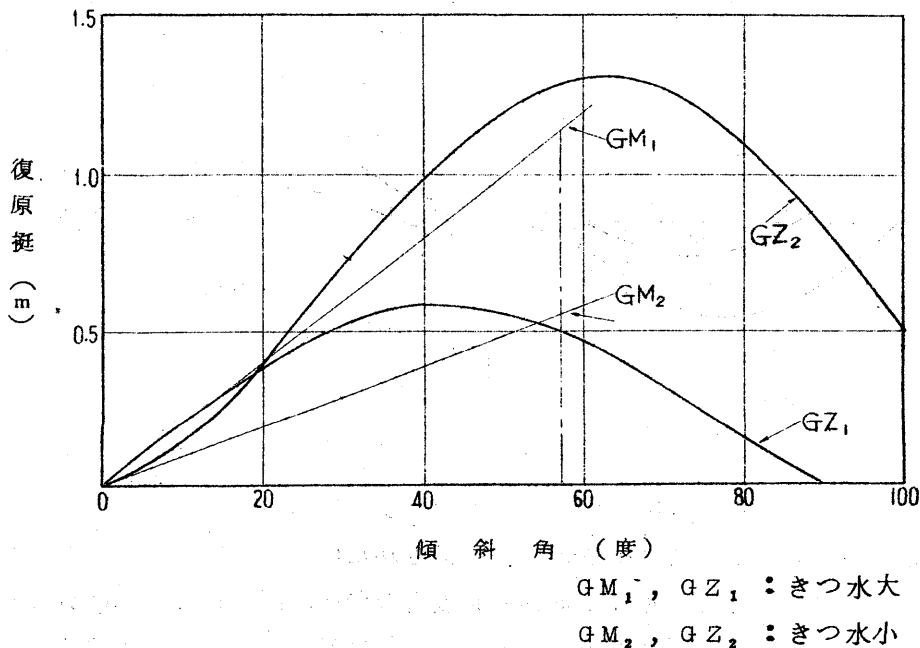
HP『海軍砲術学校』公開資料

きくすることはそれだけで復原範囲の増加に役立つものである。

上述の要素は望ましい復原力特性という見地からは有利であるが反面他の不利益があるのでその適用には限界がある。一定排水量で幅が過大であると他の主要寸法を減じ船の抵抗を増大する結果となり、外曲を過大にすると乗り心地が悪くなり、又乾舷が過大であると排水量が増大すると共に重心上昇のため復原範囲増大の利益を相殺する結果となる。ゆえに一般にこれらの要素はその他の船体形状特性と共に艦の目的に最も良く適合するように勘案して決定されるべきものである。

6-7 復原力曲線から認められる復原力特性

第6-12図において指摘してあるように戦艦と駆逐艦の復原力曲線は相異なるが、それぞれ艦の目的に合致させてある。これら2曲線は2種類の異なる艦の、ある搭載状態における例である。艦の応急長は自艦の復原力曲線を理解すると共に、その曲線に関して生ずるであろう変化を具体化しうることが必要である。

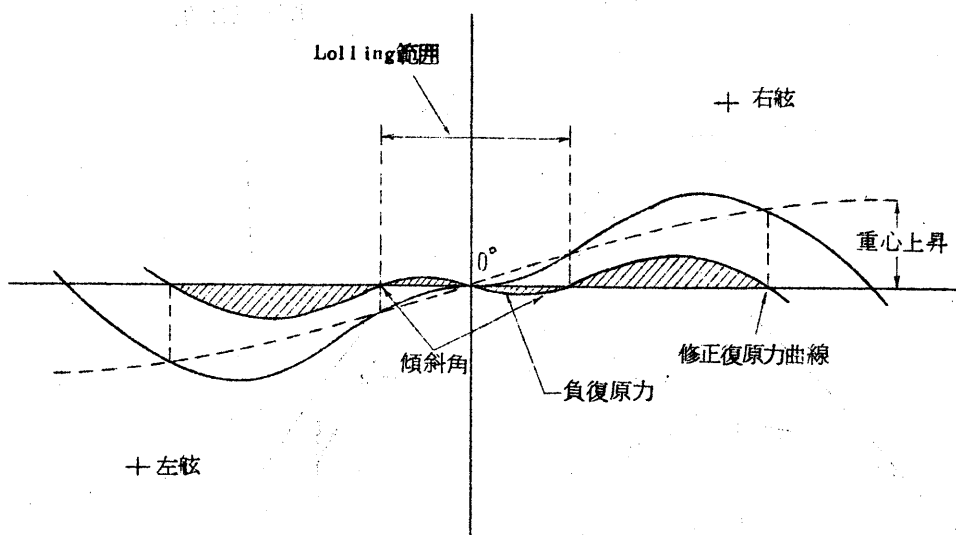


第6-14図

HP『海軍砲術学校』公開資料

船型試験の研究と実艦運用上の経験から復原力に関するある一定の特質が各搭載状態について見いだされている。これら特質はほとんどあらゆる船に適用できるもので、そのうちにはある特定艦船については浅いきつ水から深いきつ水に変化する場合GMの値と総合復原力の大きさは相反比例するという事例がある。この事は前記6-5項中2艦の比較に関する一般通念を否定するものではなく、GMそのものは復原力に関する基準として信頼し得るものではないということを裏づけるものである。これら特性は、総合復原力は深いきつ水において最小となり、又初期復原力は浅いきつ水において最小となることを示す。第6-14図は二つの極端な搭載状態の艦船におけるそれらの特性を説明している。

多くの艦船特に巡洋艦及び駆逐艦においては、曲線の最初の勾配はゆるやかで、GMの値は比較的少いがこれらの曲線は第6-15図に示すように、傾斜角が増すにつれ勾配が急に増加している。



第6-15図 負の復原力を有する復原力曲線

重心位置の上昇が大である場合、修正された復原力曲線について考えてみると、第6-15図の如く曲線の原点付近では勾配が負でGMは負であることを示す。このような場合には図のように対称的な傾斜を生ずる。この状態においては船は直立状態を保てず、復原力が正となる傾斜角まで、

HP『海軍砲術学校』公開資料

最初に加えられた傾斜モーメントの方向により片舷に傾斜する。このような状態は lolling といわれる。積荷のない貨物船においてこのような状態がしばしば見られる。しかしながら貨物船は重心の広範囲な垂直位置に対して設計され、又たとい GM が負となつても十分な復原範囲と最大復原挺とを維持する正の復原力があるので、このような状態は左程重大なことではない。又このような状態に至つても再度貨物を積み、あるいはバラストを積むことによつて修正できる。しかし艦艇はそのような設計はなされていないので、このような対称的傾斜はきわめて危険な状態と考えなければならぬ。

以上を要約すれば、船の傾斜の原因には二つの場合が考えられることがわかる。すなわち、重心が中心線上から横方向に偏位しているために生ずる傾斜モーメントによる場合と、重心がきわめて高い位置にあるため初期傾斜段階において負の復原挺となる場合とである。前者の場合にはもちろん、重心の偏位している側に傾斜を生じ、総合復原力は非対称の状態となり、後者の場合には総合復原力は対称の状態となり、傾斜はいずれの舷にも起り得る。

練習問題

- 1 護衛艦あきづきの復原力交叉曲線から排水量 2800t に対する修正しない静的復原力曲線を作れ。
- 2 護衛艦あきづきの排水量 2950t における $KG = 4.00m$ に対する静的復原力曲線を描き、次に $KG = 4.70m$ に対する修正を行い、且つ修正された GM 、復原範囲、最大復原挺 (GZ_{max}) とその生ずる角度を示せ。
答 $GM = 1.15m$
 $GZ_{max} = 0.82m (51^\circ)$
復原範囲 $= 99^\circ$
- 3 護衛艦あきづきが前後部きつ水 4.20m で海上に直立して浮いており、その重心はキール上 4.75m の位置にあるとする。今艦上にある 75t の重

HP『海軍砲術学校』公開資料

量物が6 m右舷に移動されたとして、両舷にわたる静的復原力曲線を描き、傾斜角、復原範囲、最大復原挺及びその生ずる角を示せ。

答 傾斜角： 右8°

復原範囲： 右舷8°～98°

左舷右8°～左96°

GZ_{max}： 右 0.67 m (52°)

左 0.86 m (49°)

- 4 If the DD-710 displaces 3,300 tons with a CG 15.5 feet above the keel and has a 10° list to port, show by plot of static stability curve the distance the G is off the centerline axis of the ship. Plot both port and starboard righting arms.

Ans. CG. is 0.67 ft. to port of centerline

Range to port. 10° to 72°

Range to stbd. from 10° to port to 76° to

stbd. 1.45ft. maximum righting arm at 39°

to port 2.50ft. maximum righting arm at 35°

to stbd.

- 5 A 120-ton weight is lifted from a position 2 feet above the keel of a DD-692(long hull) Class ship to 25 feet above the keel. If the displacement is 3,200 tons in salt water and KG before the weight shift is 15 feet. determine by plot:

(a) the final GM

(b) the range of stability

(c) the maximum righting arm

(d) the angle at which maximum righting arm occurs.

Ans. (a) 3.45 ft.

(b) 71°

(c) 1.81 ft.

(d) 36°

HP『海軍砲術学校』公開資料

第7章 重量の復原力に対する影響

7-1 概 説

重量物の加除が艦船の復原力に及ぼす影響については幹部は絶えず注意を払っていないからならない。貨物船においては重量変化は必然的に大きい、広範囲の搭載荷重変化と排水量変化に適する設計がなされている。

他方軍艦は連搬用に設計されてはおらず、艦内の空間は艦の主任務に関連した一定の目的のために最大限に活用されている。消耗品の貯蔵区割は全体に比し小さな容積を占めるにすぎない。艦の一生において、兵装の変化や、諸設備の変化等による増設要求に対し、その適用される場所は多くの場合水線上にあるので、重心位置を上昇させ復原力を減少させる結果となることは珍しいことではない。

重量物の除去についても注意が必要である。艦船における最も普通の例は燃料と弾薬及び需品の消耗であるが、燃料タンクや弾火薬庫は重心の下方にあり、高所への重量物付加の場合と同様に復原力の減少を生ずる。低所の重量物除去と高所への重量物付加が伴えばその影響はきわめて大となる。

次に復原力に対する重量変化の影響を理解するため、重量組織内における重心の移動に関する理論を述べることにする。

1. ある1個の重量物の付加による重量組織の重心移動は、もとの組織の重心に関する付加重量のモーメントを最終組織の全重量で割つたものに等しい。

この関係は次の式であらわされる。

$$GG_1 = \frac{w \times Gg}{W+w} = \frac{w \times Gg}{W_1} \dots\dots\dots (7 \cdot 1)$$

- ここで
- W : 最初の重量
 - W₁ : 最終重量
 - w : 付加重量
 - G : Wの重心位置
 - G₁ : W₁の重心位置
 - g : wの重心位置

HP『海軍砲術学校』公開資料

船舶算法においてはキールに関する重心位置のモーメントをとつた方が便利なが多い。

そこでモーメントの理論から

$$K G_1 \times W_1 = K G \times W + w \times K g$$

ゆえに

$$K G_1 = \frac{K G \times W + w \times K g}{W_1} \dots\dots\dots (7 \cdot 2)$$

(7.2)式は(7.1)式よりも多くの利点を持つている。すなわち

- (1) キール上の重心位置が得られる。
- (2) 付加重量は1個に限られない。付加モーメントのすべては最終モーメントを算出するために最初のモーメントに加える事ができる。
- (3) Gの上下の移動方向の混乱がない。
- (4) 特に坐礁及び入渠の問題に適用できる。

2. 1個の重量除去によつて生ずる重量組織の重心移動は、元の組織の重心に関する除去重量のモーメントを最終組織の全重量で割つたものに等しい。すなわち

$$G G_1 = \frac{w \times G g}{W - w} \dots\dots\dots (7 \cdot 3)$$

これをキールに関するモーメントをとると次式のとおりとなる。

$$K G_1 = \frac{K G \times W - w \times K g}{W_1} \dots\dots\dots (7 \cdot 4)$$

この場合 $W_1 = W - w$ である。

ある組織に重量物が付加される場合は其の組織の重心は最初の重心と付加重量の重心とを結ぶ線上を付加重量の方向に移動し、除去される場合には反対方向に移動する。

重量移動が船の復原力に及ぼす影響を計算する場合、新しいGMと新しい復原力曲線とを得るためには重心の移動の影響は最も重要である。

また重量物の加除は船のきつ水変化ひいては水線下形状変化を伴うから、従つて重心の移動と同様にメタセンター及び浮心の新しい位置をも求めなければならない。

HP『海軍砲術学校』公開資料

7-2 重量物付加

重量物付加によつて生ずる復原力特性の変化を順序に従つて解説する
今与えられているデータは次のとおりとする。

前後部きつ水 (D_f 及び D_a)

キール上重心位置 (KG)

付加重量 (w) τ

付加重量の位置

1 排水量の増加

(1) 平均きつ水を求める。

$$D_m = \frac{D_f + D_a}{2}$$

(2) 排水量 (W) を求める。

曲線により D_m に対する排水量を求めトリムに対する修正を行う。

(3) 新排水量 (W_1) を求める。

$$W_1 = W + w$$

2 G 及び M の垂直方向移動

(1) 重心の位置

重量付加によつて重心 G の垂直方向位置は変化し、新しい重心位置は (7・2) 式で求められる。

$$KG_1 = \frac{W \times KG + w \times K_g}{W_1}$$

(2) メタセンターの位置

排水量の増加はきつ水の増加をきたすからメタセンター位置も移動する。

イ 平均きつ水の増加量を求める。

$$\Delta D_m = \frac{w}{T}$$

ここで T は毎センチ (インチ) 排水トン数

ロ 新平均きつ水

$$D_{m1} = D_m + \Delta D_m$$

ハ KM_1 は D_{m1} に対し曲線から求められる。

(3) 新しいメタセンター高

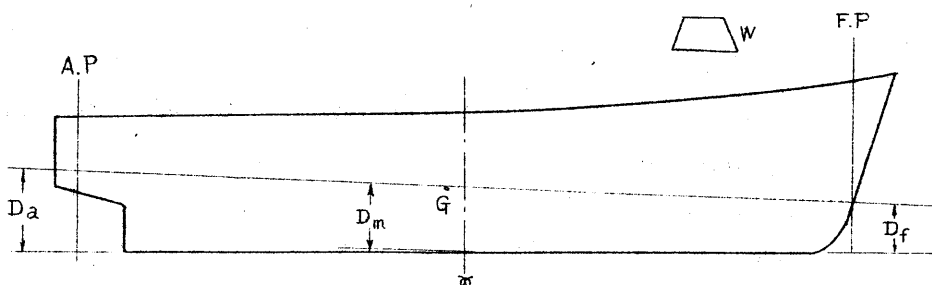
HP『海軍砲術学校』公開資料

$$G_1 M_1 = K M_1 - K G_1$$

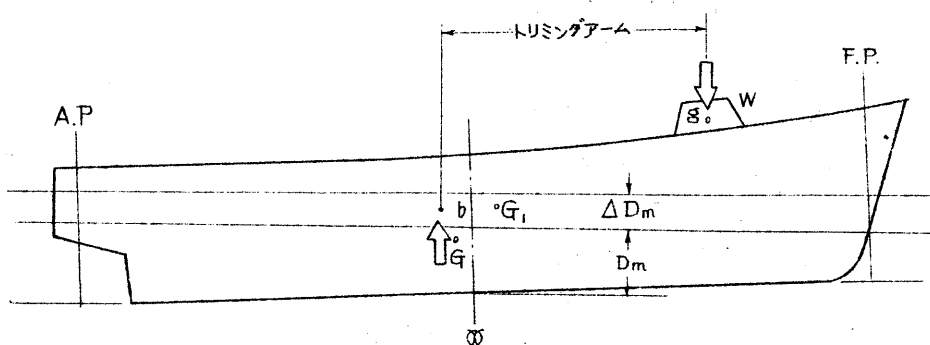
3. トリム変化及びきつ水変化

重量付加により多くの場合トリムモーメントが加わる。このトリムモーメントは二つの新たに生じた力の作用に基くものと考えることができる。すなわち付加重量の重心を通る下向きの付加重力と、増加した浮力層の中心を通る上向きの増加浮力とがトリムモーメントでその大きさは $w \times l$ (l は 2 力間の水平距離) であらわされる。

このモーメントによつて生ずるトリム変化は、新排水量における水線面のトリム軸に関して生ずる。すなわち、新平均きつ水における浮面心を通り、縦中心面に垂直な軸がトリム軸となる。



第 7 - 1 (a) 図 最初の状態



第 7 - 1 (b) 図 重量付加 (水平沈下)

上図における b は増加浮力層の中心を示す。

- (1) トリムモーメントを求める。

HP『海軍砲術学校』公開資料

イ トリミングアーム, l

b の位置は D_m における浮面心位置 αF と D_{m1} における浮面心位置 αF_1 の平均値をとる。

$$(1) \alpha b = \frac{\alpha F + \alpha F_1}{2}$$

$$(2) l = \alpha g \pm \alpha b$$

ロ トリムモーメント

$$\text{トリムモーメント} = w \times l$$

(2) トリム変化

イ 毎センチ (インチ) トリムモーメント = C

(D_{m1} に対して曲線から求められる)

ロ トリム変化

$$\Delta T = \frac{w \times l}{C}$$

(3) きつ水変化

前後部の最終きつ水は、最初の前後部きつ水に増加重量による平均きつ水変化を加え、さらにトリム変化による前後部きつ水変化の代数和で求められる。

トリム変化によるきつ水変化はトリム軸からの距離に比例する。すなわち第 7-1(c) 図において F.P. と A.P. の水平距離を L とすれば、トリム軸は $C.F_1$ 点であるから

$$\frac{d_f}{d_a} = \frac{C.F_1 \text{ と F.P. の 距離}}{C.F_1 \text{ と A.P. の 距離}}$$

$$d_f + d_a = \Delta T$$

ゆえに

$$d_f = \Delta T \times \frac{C.F_1 \text{ と F.P. の 距離}}{L}$$

$$d_a = \Delta T \times \frac{C.F_1 \text{ と A.P. の 距離}}{L}$$

となる。

以上により、きつ水変化は次の順序で求められる。

イ トリム軸の位置 = αF_1

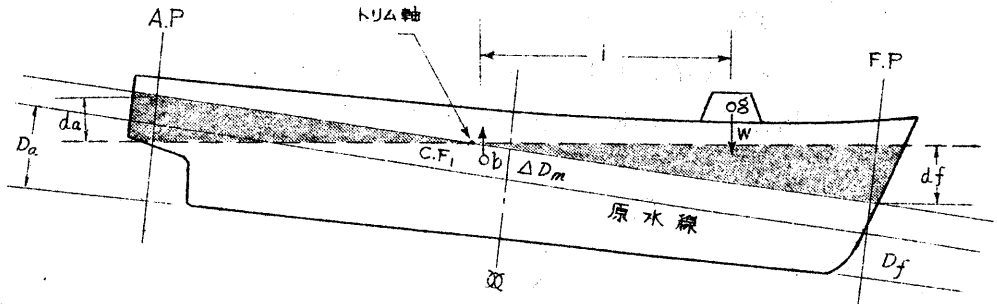
HP『海軍砲術学校』公開資料

- ロ トリムによる前部きつ水変化

$$df = \Delta T \times \frac{\text{船首から } CF_1 \text{ までの距離}}{L}$$
- ハ トリムによる後部きつ水変化

$$da = \Delta T - df$$
- ニ 最終前部きつ水

$$Df_1 = Df + \Delta D_m \pm df$$



第7-1(c)図

- ホ 最終後部きつ水

$$Dd_1 = Dd + \Delta D_m \mp da$$

4 横傾斜

付加重量の重心位置が船の縦垂直中心面からはずれている場合には傾斜モーメントを生ずる。この場合の傾斜角、GM、排水量、傾斜モーメントの関係は(46)式から求められる。すなわち

$$\tan \theta = \frac{w \times t}{W_1 \times G_1 M_1}$$

5 計算例

護衛艦あきづきが海水に浮いており、そのきつ水前部3.80m、後部4.20m、KGが4.70mであるとき、120tの重量がその重心位置の前方20m、中心線の左3.5m、キール上6mのところにおかれたとして新しい前後部きつ水及び横傾斜角を計算する。

平均きつ水は $\frac{1}{2}(3.80 + 4.20) = 4.00$ mであるから排水量は

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$2.913t + 23.4t (\text{トリム修正量}) = 2.936.4t$$

新排水量は

$$W_1 = W + w = 2.936.4 + 120 = 3.056.4t$$

新重心位置は

$$KG_1 = \frac{2.936.4 \times 4.7 + 120 \times 6}{3.056.4} = 4.75m$$

平均きつ水増加は

$$\Delta D_m = \frac{120}{10.84} = 11.1cm$$

ゆえに

$$D_{m1} = 4.00m + 0.111m = 4.111m$$

D_{m1} に対する KM_1 は曲線から

$$KM_1 = 5.84m$$

$$\therefore G_1 M_1 = KM_1 - KG_1 = 5.84 - 4.75 = 1.09m$$

曲線から D_m における浮面心位置は

$$C.F = 6.24m (\text{後方})$$

同じく D_{m1} においては

$$C.F_1 = 6.16m (\text{後方})$$

したがって平均浮面心の位置は Σ の後方 6.20m である。

ゆえにトリミングアーム l は

$$l = 6.20m + 20m = 26.2m$$

トリムモーメントは

$$l \times w = 26.2 \times 120 = 3.144m \cdot t$$

また 4.11m 水線における毎センチトリムモーメントは曲線から

$$MTC = 73.4m \cdot t$$

ゆえにトリム変化は

$$\Delta T = \frac{3.144}{73.4} = 42.8cm$$

トリム軸は D_{m1} 水線における浮面心を通る。F.P. と Σ との距離は $\frac{115}{25}m$
= 57.5m で C.F₁ は Σ の後方 6.16m であるからトリム軸は F.P. から

$$57.5 + 6.16 = 63.66m$$

の距離にある。

HP『海軍砲術学校』公開資料

ゆえに

$$df = 42.8 \times \frac{63.66}{115} = 23.7 \text{ cm (増加)}$$

$$d_a = 42.8 - 23.7 = 19.1 \text{ cm (減少)}$$

ゆえに最終前後部きつ水は

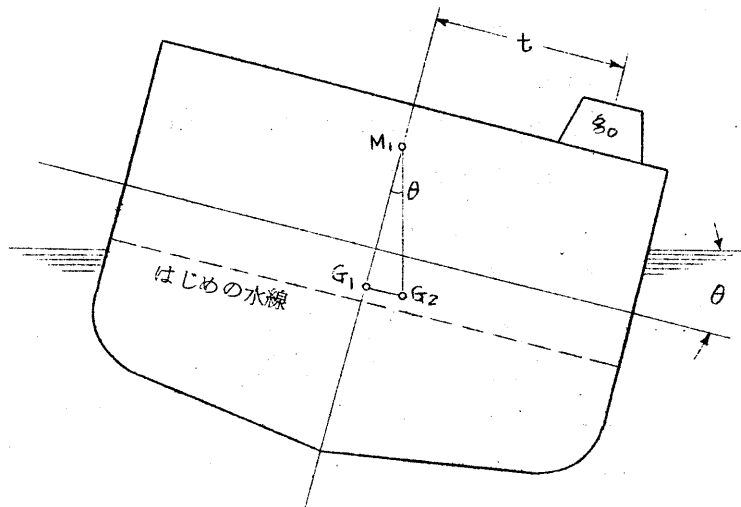
$$D_{f1} = D_f + \Delta D_m + df = 3.80 \text{ m} + 0.111 \text{ m} + 0.237 \text{ m} = 4.148 \text{ m}$$

$$D_{a1} = D_a + \Delta D_m - d_a = 4.20 \text{ m} + 0.111 \text{ m} - 0.191 \text{ m} = 4.120 \text{ m}$$

傾斜角は

$$\tan \theta = \frac{w \times t}{W_1 \times G_1 M_1} = \frac{120 \times 35}{3,056.4 \times 1.09} = 0.1260$$

$$\therefore \theta \doteq 7^\circ 10' \quad (\text{左})$$



第7-1(d)図

6 総合復原力

前例における最終状態に対する復原力曲線は次のようにして描かれる。

復原力交叉曲線から最終排水量 3,056.4 t に対する縦座標の値をとり第7-2図に示す①曲線を描く。

次に $AG_1 \sin \theta$ 曲線 (②曲線) を描き、復原力曲線を修正する (③曲線) この場合交叉曲線の仮定重心高は 4 m で、 $KG_1 = 4.75 \text{ m}$ であるから $AG_1 (\text{垂直}) = 0.75 \text{ m}$ にとる。

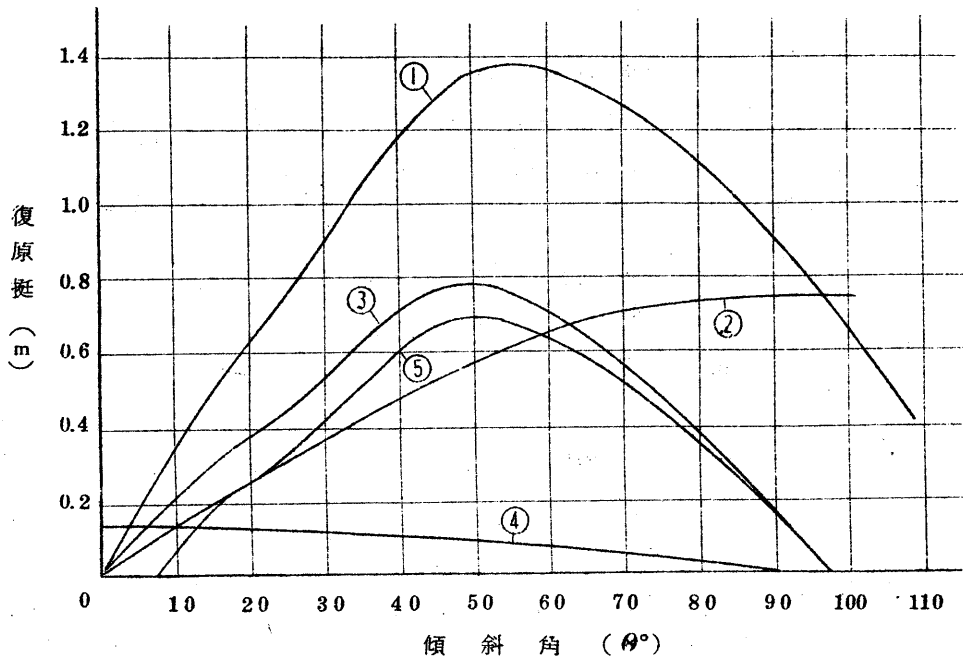
重心の水平移動距離は

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$C_1 G_2 (\text{横}) = \frac{W \times t}{W_1} = \frac{120 \times 3.5}{3.0564} = 0.137 \text{ m}$$

したがって0.137 mの最大縦座標をもつ cosine 曲線を描き(④曲線)前の修正復原力曲線(③)から引けば最終静的復原力曲線(⑤曲線)が得られる。

この曲線から横傾斜は約7°で左舷における復原範囲は7°から97°であり、50°におけるGZ maxは0.69 mであることがわかる。



第7-2図

7-3 重量物除去

1 きつ水及びトリム変化

重量物除去がトリム及びきつ水の変化に及ぼす影響を計算する方法は重量物付加の場合と同様に行われる。

- (1) 重量除去による排水量減少に伴うきつ水変化を求め、つづいてKG、KMの変化を求める。
- (2) トリム変化を求め、重量付加と同様手順により最終きつ水を求める。トリム軸は重量除去後の平均きつ水 D_{m1} 水線における浮面心を通る軸

HP『海軍砲術学校』公開資料

をとる。

(例)

前例のあきづきの最終状態は次のとおりであつた。

$$Df = 4.148 \text{ m}$$

$$Da = 4.120 \text{ m}$$

$$KG = 4.75 \text{ m}$$

いまこの状態から120tの重量を前例と同じ位置から除去したとする。

$$D_m = \frac{1}{2} (4.148 + 4.120) = 4.134 \text{ m}$$

曲線から $W = 3,060 \text{ t} - 1.6 \text{ t}$ (トリム修正) $= 3,058.2 \text{ t}$

$$W_1 = W - w = 3,058.2 \text{ t} - 120 \text{ t} = 2,938.2 \text{ t}$$

重心位置は

$$KG_1 = \frac{3,058.2 \times 4.75 - 120 \times 6}{2,938.2} = 4.70 \text{ m}$$

平均きつ水の変化は

$$\Delta D_m = \frac{120}{10.86} = 11 \text{ cm}$$

$$D_{m1} = D_m - \Delta D_m$$

$$\therefore D_{m1} = 4.134 \text{ m} - 0.11 \text{ m} = 4.024 \text{ m}$$

D_m における浮面心位置は艮後方 6.15 m

D_{m1} における " " " " 6.23 m

$$\therefore \text{浮力喪失層の浮面心は艮後方 } 6.19 \text{ m}$$

よつてトリムモーメントは

$$(6.19 + 20) \times 120 = 3,142.8 \text{ m t}$$

D_{m1} における毎センチトリムモーメントは

$$MTC = 73.5 \text{ m} \cdot \text{t}$$

$$\therefore \Delta T = \frac{3,142.8}{73.5} = 42.8 \text{ cm}$$

トリム軸は最終平均きつ水の浮面心であるからその位置は F . P から

$$57.5 + 6.23 = 63.73 \text{ m}$$

よつて前部きつ水変化は

$$df = 42.8 \times \frac{63.73}{115} = 23.7 \text{ cm} (-)$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$d_a = 42.8 - 23.7 = 19.1 \text{ cm (+)}$$

$$\therefore D_{f1} = D_f - \Delta D_m - d_f = 4.148 - 0.11 - 0.237 = 3.801 \text{ m}$$

$$D_{a1} = D_a - \Delta D_m + d_a = 4.120 - 0.11 + 0.192 = 4.201 \text{ m}$$

この最終きつ水は前例における最初のきつ水と完全に一致してはいないがその誤差は実用上無視し得るものである。

2 傾斜の変化、モーメントの分析

重量物除去により生ずる傾斜の決定の際は傾斜の原因に関して考慮が必要である。現存する傾斜が、除去される重量だけに基因する場合にはそれを除去すれば中心線上にGを有する直立の状態に復する。此の様な場合には傾斜の変化を決定する方法は重量物附加の方法の単なる逆を行えばよい。

しかし実際には重量物除去が上記のように簡単な状態だけとは限らない。船の最初の状態は直立していることもあるし傾斜していることもあり、重量物の除去によつて傾斜が変化し、最終傾斜が残る。このような状態は燃料及び需品の消費、甲板上の荷物、短艇等のおろし方等のような日常の出来事として起るし、又坐礁や海中投棄の問題としても起るであろう。このような重量物除去の場合には一般に残留傾斜モーメントを生ずる。残留傾斜を生ずるような重量物除去についての問題は次のようにして解くことができる。

- (1) 中心からはずれている重心の最初の位置を見いだす。
- (2) 重量物除去による重心の横移動量を求める。
- (3) 上記で得た二つの値から重心の偏位量と、それによる傾斜を求める。

3 モーメントの方程式による残留傾斜

前述した残留傾斜角は方程式にあらわずことができる。傾斜の変化は除去重量物のモーメントの結果であり、中心面に関するこのモーメントは $w \times t$ であつて (w は除去された重量で、 t は中心線に対する横距離を表わす。) これを重量除去の前と後の傾斜モーメントの差に相当する。この関係を式で表わすと次のようになる。

$$W \times G M \tan \theta - W_1 \times G_1 M_1 \tan \theta_1 = w \times t$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$\tan \theta_1 = \frac{W \times GM \tan \theta - w \times t}{W_1 \times G_1 M_1} \dots\dots\dots (7 \cdot 5)$$

ここで W = 重量除去前の排水量
 w = 除去重量
 w_1 = 重量除去後の排水量
 GM = 重量除去前のメタセンター高
 $G_1 M_1$ = 重量除去後のメタセンター高
 t = w から船の中心線までの水平距離
 θ = 最初の傾斜角
 θ_1 = 残留傾斜角

(7・5) 式は重量物の位置あるいは重量除去前後の傾斜に関係なく適用できる。(ただし GM の適用範囲内の角度である) たとえもし直立状態の船の中心線から偏位した重量を除去したとすれば残留傾斜は、 $\theta = 0^\circ$ として

$$\tan \theta_1 = \frac{-w \times t}{W_1 \times G_1 M_1} \dots\dots\dots (7 \cdot 6)$$

となり、この場合 θ_1 は負となり、重量除去の反対舷に傾くことを示す。

4 残留傾斜と総合復原力

傾斜角が大で初期傾斜の範囲外 (GM の適用範囲外) であるときは、復原力曲線に頼る必要がある。復原力曲線を用いれば、残留傾斜ばかりでなく総合復原力も明らかにすることができる。

(例題)

DD 69 2 が 3,200 T の排水量で傾斜なしで海水中に浮いている時、 KG が 15.5' であつた。今重心が中心線から右 11' でキール上 10' にある 200 T の重量物が除去された。残留傾斜角と総合復原力曲線を描け。

(解)

$$W_1 = 3,200 - 200 = 3,000 \text{ T}$$

$$KG_1 = \frac{3,200 \times 15.5 - 200 \times 10}{3,000} = 15.9'$$

復原力交叉曲線から排水量 W_1 (3,000 T) に対する静的復原力曲線

HP『海軍砲術学校』公開資料

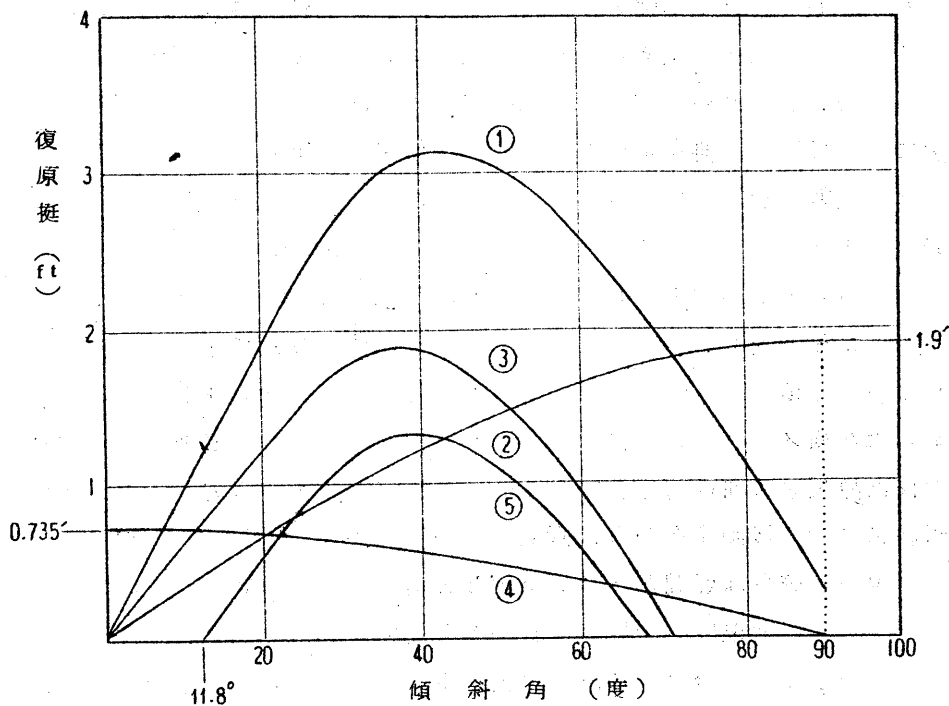
を描く。(第7-3図①曲線)

この曲線を $KG_1 = 15.9'$ に対して修正する。(②③曲線)

重心の横移動すなわち傾斜挺は

$$G_1 G_2 = \frac{w \times t}{W_1} = \frac{2.00 \times 1.0}{3.000} = 0.735'$$

次に $0.735' \cos \theta$ の曲線(④曲線)を描き最終復原力曲線(⑤曲線)を得る。この曲線から重量除去後の傾斜角は 11.8° で復原範囲は 11.8° から 68.5° までであり、最大復原挺は 38° において $1.33'$ であることがわかる。



- 1 修正前復原力曲線
- 2 $AG \sin \theta$
- 3 $KG_1 = 15.9'$ に対する修正復原力曲線
- 4 $G_1 G_2 \cos \theta$
- 5 最終修正復原力曲線

第7-3図 重量除去後の復原力曲線

HP『海軍砲術学校』公開資料

7-4 坐礁及び入渠

坐礁 (Grounding) と入渠 (Dry-docking) の場合、四囲の状態は同一の性格のもので、いずれの場合も船は一部分が水中に浮かぶことになり、船の重量の残り部分は船渠の底又は海底で支えられる。

船が珊瑚礁の頭や、とがった岩のような海中の障害物に乗り上げて生じた坐礁はその形式がきわめて雑多で、したがってそのような問題に対する基準となる方法を説明することはできない。

ここで論ずる坐礁と入渠の場合はすべて船底にそつて生じたもので、両者は同じ問題として考えることができる。

これらの問題は重量物除去の特殊な状態として取扱えば最も容易に説明できる。船がキールで支えられるようになり、もはや自由な浮体ではなくなつた場合、船は最初の排水量を保持することはできない。そのきつ水の減少によつて生じた排水量の減少は船底に作用する上向きの力のためである。此の状態の船は尚排水量の減少した浮体であつて、減少した排水量は船底に作用する上向の力に等しいから、重量の一部を除去したと考えることができる。重量物除去の1例と考えれば上向の力の作用する点すなわちキールが仮想の重量除去点に相当する。此の状態を算式で示すには水上に現れた層の容積と新しい G 及び M の位置で説明できる。 G と M の変化から新たな横メタセンター高が求められる。これによつて必要ならば理論上の修正静復原力曲線も描くことができるが、船底に作用する力の作用点は船の傾斜によつて移動するから、直立状態の特性から計算したこの修正静復原力曲線の正確さは疑問がある。坐礁と入渠の場合に考慮すべき直接の問題は修正した初期復原力特性すなわち新しい $G M$ である。この $G M$ の値は入渠に際しキール台の上に直立静止する船の傾向を知るのに役立つし、又坐礁に際しては転覆の可能性を判断することができる。

重量物除去の場合の新しい重心位置を見いだす公式は (7.4) 式で与えられた。

$$K G_1 = \frac{K G \times W - w \times K g}{W_1} \quad (W_1 = W - w)$$

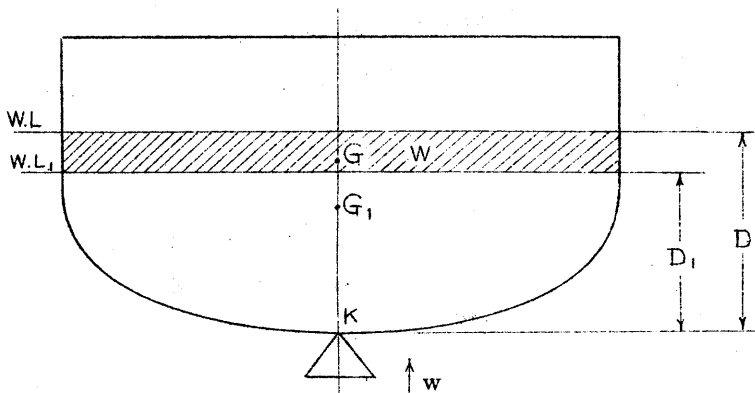
そこで、入渠及び坐礁の場合、重量物はキールの所で除去されたものと

HP『海軍砲術学校』公開資料

考えられるからモーメント $w \times K G = 0$ となり上式は次のように表わされる。

$$K G_1 = \frac{K G \times W}{W_1} \dots\dots\dots (7 \cdot 7)$$

上式によつて求められた $K G_1$ は重量物除去すなわちこの場合は船底に働く上向の力 w による移動後の重心位置を示すものであるが、この場合実際には船の重量自体には変化がないから重心の実際位置には変化がなく、 $K G_1$ は見掛け上の新重心位置を示している。すなわち船の復元状態に関しては、重心位置は見掛けの位置 G_1 に移動したのと同じ特性を有するからである。



第7-4図

次に入渠の問題の1例を示す。

(例題)

護衛艦「あきづき」が入渠前次の状態であつたとする。

$K G = 4.8 \text{ m}$

前後部きつ水 = 3.9 m

入渠の際、きつ水の読みがいくらの時に船側台がその位置に置かれていなければならないか。(有効メタセンター高 $G_1 M_1 = 0$ となるきつ水はいくらか。)

(解)

この問題では各きつ水に対する $G M$ の値を計算し、きつ水対 $G M$ をプロットした曲線を作図して $G M = 0$ に対するきつ水を求める。

HP『海軍砲術学校』公開資料

- (1) きつ水 3.7 m の時の GM を求める。

$$KG_1 = \frac{KG \times W}{W_1}$$

$$\text{曲線から } W = 2800 \text{ t}$$

$$W_1 = 2590 \text{ t}$$

$$\therefore KG_1 = \frac{4.8 \times 2800}{2590} = 5.19 \text{ (m)}$$

$$\text{曲線から } KM_1 = 5.95 \text{ m}$$

$$\therefore G_1 M_1 = KM_1 - KG_1 = 5.95 - 5.19 = 0.76 \text{ (m)}$$

- (2) きつ水 3.5 m の時の GM を求める。

$$\text{曲線から } W_2 = 2380 \text{ t}$$

$$KM_2 = 6.0 \text{ m}$$

$$KG_2 = \frac{4.8 \times 2800}{2380} = 5.65 \text{ (m)}$$

$$G_2 M_2 = 6.0 - 5.65 = 0.35 \text{ (m)}$$

- (3) きつ水 3.3 m の時の GM を求める。

$$\text{曲線から } W_3 = 2180 \text{ t}$$

$$KM_3 = 6.07 \text{ m}$$

$$KG_3 = \frac{4.8 \times 2800}{2180} = 6.17 \text{ (m)}$$

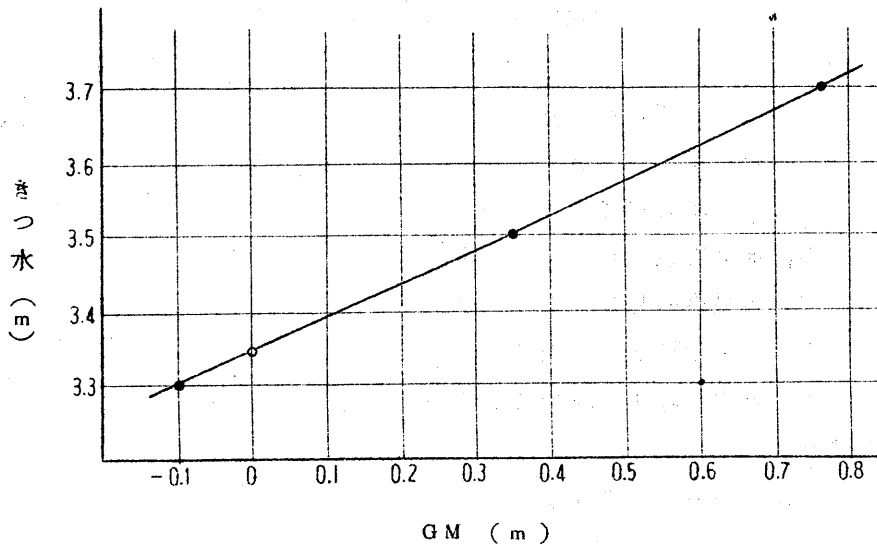
$$G_3 M_3 = 6.07 - 6.17 = -0.1 \text{ (m)}$$

(1)(2)(3)によつて求められた GM 対きつ水の関係を図で示せば第 7-5 図が得られ、GM = 0 に対するきつ水は 3.35 m であることがわかる。すなわち船側台はきつ水がこの読みとなるまで船渠の水を排水する以前に定位置にすえなければならない。

上例においてはきつ水が減少するに従い KM の値が増加しているが、船の形によつては逆に KM の値が減少することもある。

きつ水の減少に伴いキール台の上向きの力は増加し見掛けの G はさらに上昇する。この例及び大部分の船の場合には G の上昇は M の上昇よりも急激で KM と KG の曲線が交叉して GM が 0 となる点が生ずる。しかしながら、ある場合には KM の増加する割合が急激に進み KG の

HP『海軍砲術学校』公開資料



第 7 - 5 図 入渠時のきつ水対有効 GM

値がそれに追いつかず船の一部が水中に浮ぶ間は安定している。これは船底が平らな船において起り得る。又 KG 曲線と KM 曲線が 2 回交叉し、GM 値が正から負に移り、再び正にもどるような状態が起る事も考えられる。

又上の例は船が砂や泥の平らな浅瀬や、勾配のゆるやかな海岸などにキールにそつて坐礁した場合、潮が引く時の安全性の判断にも適用できる。

7 - 5 坐礁時の重量物投棄

自由に浮いている船の重量物投棄 (jettisoning) は、単なる重量物除去だけの問題であるが、坐礁している船においては、考慮しなければならぬ重大な問題を含んでいる。シーマンシップ、あるいは坐礁した船の再浮上の総合見地からいえば、船が軽くなつたためさらに陸岸寄りの浅い方にのし上げるのを防ぎ得ない場合には、重量物投棄をやるべきではない。それはもちろんその時の状況に応じて艦長が決断すべき事であつて、上記のような危険がない場合には投棄を禁ずる理由はない。

坐礁時の重量投棄を考えるにあつて (離礁しないものとして) は、二つの問題に分けて考えることができる。すなわち、重量除去と坐礁との二つである。

HP『海軍砲術学校』公開資料

坐礁して重量投棄を行つた船は、同じ重量物を同じ個所から除去したのち坐礁した場合と復原性に関してはなんら異なる所がない。

今後者の場合

W = 浮いているときの排水量

KG = 浮いているときの最初の重心高さ

$w = KG$ の高さから除去した重量

W_1 = 坐礁後の排水量 (坐礁きつ水に対する)

KG_2 = 最終の見掛け重心高さ

W_A = 重量除去後の排水量 ($W_A = W - w$)

KG_A = 重量除去後浮いている時の重心高さ

とすれば

重量除去の公式 (7.4) から

$$KG_A = \frac{W \times KG - w \times KG}{W_A} = \frac{W \times KG - w \times KG}{W - w}$$

次にこの船が坐礁すれば公式 (7.7) から

$$KG_2 = \frac{W_A \times KG_A}{W_1}$$

この式に W_A 、 KG_A の値を代入すれば

$$KG_2 = \frac{(W - w) \times \frac{W \times KG - w \times KG}{W - w}}{W_1} = \frac{W \times KG - w \times KG}{W_1} \quad (7.8)$$

前に述べたように重量投棄により軽くなつたため風浪によつてさらに浅い所に坐礁する危険がある場合には、むしろ船の底部に重量を加えた方が安全である。

練習問題

1. 50 m × 12 m × 3 m の箱船が前後部きつ水 1.2 m で海水に浮いており、重心は水線面上にある。50 t の重量が甲板の凶心上、甲板から 0.8 m 上方に置かれたとして次の値を求めよ。

(1) 新排水容積

(2) 新横メタセンターのキール上の高さ

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) 新横メタセンター高

答 (1) $768.8m$ (2) $10m$ (3) $8.64m$

2 もしも前問の重量が $10m$ 前方に移されたならば前後部きつ水はそれぞれいくらになるか。

答 前部 $1.38m$ 後部 $1.18m$

3 前問の重量がさらに船の中央右舷寄り、中心線から $3m$ の距離に移されたならば傾斜角はいくらになるか。

答 $1^{\circ}15'$

4 長さ $150'$ 、巾 $30'$ 、深さ $6'$ の箱船が前後部きつ水 $3'6''$ で海水に浮いており、その重心はキール上 $4'$ の高さにある。 $40t$ の重量物を、その重心が甲板上 $2'$ で、且つ中心線上の前方 $20'$ の位置になるように積んだならば次の値はいくらになるか。

(1) 新しい排水容積

(2) 新しい KM

(3) 新しい GM

答 (1) $17,150ft^3$

(2) $21.6'$ (3) $17.2'$

5 A distroyer of the DD-692(long hull)Class at a mean draft in salt water of $13ft$ is trimmed 6 inches by the stern. Her KG is $14ft$. If she takes on 150 tons of fuel in a tank whose c. g. is $85ft$. aft of Δ and $5ft$. above the keel on the longitudinal centerline,

Calculate : (a) New GM.

(b) New drafts forward and aft.

Ans. (a) $5.80ft$

(b) $12ft. 6.1in.$ fwd., $14ft.$

$2.9in.$ aft.

6 長さ $130m$ 、前部きつ水 $6.00m$ 、後部きつ水 $6.50m$ で浮いている船がある。この船に次の如く荷物を積んだ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

重量	積込位置	浮面心からの距離
10 t	後方	40 m
50 t	〃	15
45 t	前方	35
30 t	〃	20

平均きつ水に対する毎センチ排水トン数を18 t、毎センチトリムモーメントを125 m・t、浮面心を夏の後方1.25 mとして新しい前後部きつ水を求めよ。

答 前部きつ水 6.117 m
後部きつ水 6.535 m

- 7 護衛艦あきづきが海上において前後部きつ水4.00 m、KGが5.02 mであるとき、3番燃料タンク(重心位置はOの前方23.3 m、キール上2.0 m中心線上)に70 K ρ の燃料(比重0.93)を搭載した。(1)新しいGM、(2)トリム変化を計算せよ。

答 (1) 0.87 m (2) 26.2 cm

- 8 USS Gearing at a mean draft of 12 ft. 6 in. in salt water and a KG of 14 feet has a 100-ton weight placed aboard at station #9. 20ft. above the keel and 10ft. to starboard of the centerline. Assuming an original trim of 6 inches by the stern and no list.

Calculate: (a) Final drafts fwd. and aft.

(b) Final list

Ans. (a) 12 ft. 10.17 in. fwd. 12 ft.

9.74 in. aft

(b) 3° 36' stbd.

- 9 A barge used to transport tanks for the Normandy Invasion was 218 feet long 45 feet wide and 12 feet deep. The barge, when empty, displaced 1,000 tons and its c.g. was 4 feet above the keel. Each tank loaded on the barge weighed 70 tons and its c.g. was 3 ft.

HP『海軍砲術学校』公開資料

above the top of the barge. How many tanks were to be loaded on the barge so that its draft would be 9.57 feet?

Ans. 24 tanks

10. If the tanks in Prob. 9 were to be distributed equally in three rows on the barge, one centerline row, the other two centered on lines 11 feet to the port and starboard of the centerline, what angle of list would the barge assume if all the port side tanks were removed first?

Ans. $10^{\circ} 6'$ list to stbd.

11. A tanker has a gasoline astowage with center of gravity at station #5. In order to avoid the formation of an explosive mixture of gasoline vapor, the tanks are kept completely full at all times, sea water being admitted at the bottom as gasoline is drawn off the top. The specific volume of the gasoline is 51.43 cu. ft. per ton. (One cu. ft. = 7.48 gals.)

The ship draws 23 ft. forward and aft in salt water. She then discharges 130,000 gals. of gasoline. Assuming the ship trims about the midship section (station #10), find new draft forward and aft.

Using the following data taken from displacement and other curves for this ship. Moment to change trim 1 inch = 1,350 foot tons; Tons per inch immersion = 49.75; Station spacing = 22 ft. 9 inches.

Ans. Fwd. 23 ft. 9.84 in.

Aft. 22 ft. 8.52 in.

12. 護衛艦あきづきが入渠しようとしている。入渠前の前後部きつ水は3.8mで、KGは4.8mである。GMが零となる時のきつ水はいくらか。

HP『海軍砲術学校』公開資料

答 3.22m

13 A DD-692(long hull) Class destroyer goes aground evenly on a sandy shoal in the Bahamas at 1,000. Just before grounding her draft was 12 ft. 3 inches forward and 13 ft. 6 inches aft. and $KG = 140$ ft. The table show low tide to be at 1,230 with a depth of water of 9 ft. 9 in. fore and aft. Will she be unstable at low tide?

Ans. Yes, (-0.6ft. GM)

14 If the destroyer of problem 13 could jettison deck cargo from a height of 20 feet above the keel as the tide is falling and after she is firmly aground. how much weight it be necessary to jettison in order to have a positive metacentric height of 6 inches at low tide?

Ans. 107.5 tons.

HP『海軍砲術学校』公開資料

第8章 自由表面及び自由通水

8-1 自由水 (Loose Water)

前の各章では静的復原力曲線について説明し、又これに対する重量物移動や重量変化の影響を述べた。そしてこれら移動重量物や加除重量物はその重心が船の運動に関係なく船内に固定されているものとして扱つて来た。固体の場合にはその物体が移動しないように固定してあればこの事は正しいし、液体であつてもそれが容器に完全に満たされている場合には誤りはない、しかしながらもしもタンクあるいは区画がその液体で完全に満たされていない場合には、液体はその表面を水平に保持しようとして船の動揺につれて船の一方から他方に運動する。このような区画の水を自由水と称する。船内のある区画は真水、燃料等の自由水あるいは液体を有しているし、損傷によつてはさらに自由水が増加する。自由水の存在は初期復原力及び総合復原力の両者に有害な影響を与えるものである。

8-2 自由表面 (Free Surface)

区画の1部しか満たしていない液体は自由表面を有するといわれ、この表面は常に水平を保持しようとする傾向を有する。この影響は船が傾斜すれば液体は低い方すなわち傾斜した舷に向つて流れ、傾斜モーメントを増大する。

この液体の運動は実際には重量物の横移動であつて傾斜角によつて変化するものであるが、自由表面の影響を考えるにあつては、液体の運動を重心の見掛けの変化として扱つた方が都合がよい、

初期復原力及び総合復原力に対する自由水の影響を考えるにあつて、タンク内の液面がタンクの天井に達せず、又底面を露出しないような微小な傾斜角を考えることにする。第8-1図において、船が小角度 θ だけ傾斜すれば自由表面 wl は $w_1 l_1$ に変わり、水平を保つ。第8-1図において

b = 直立位置におけるタンク内液体の重心

b_1 = 傾斜位置におけるタンク内液体の重心

g = 三角形 wsw_1 の重心

g_1 = 三角形 lsl_1 の重心

HP『海軍砲術学校』公開資料

h = タンク 水線の半幅

θ = 傾斜角

dz = タンクの微小長さ

v = タンク内液体の容積

j = 自由表面の面積の重心を通る縦軸に関する自由表面の面積の慣性モーメント

m = タンク内液体のメタセンター

δ = タンク内液体の比重

δ' = 船が浮いている液体の比重

w = 液体の重量 ($v\delta$)

V = 船の排水容積

w = 船の排水量 ($V\delta'$)

とする。船が直立の場合には水の重心を通る垂直面に関するタンク内の水のモーメントは零に等しい。船が θ° だけ傾斜した場合は図の wsw_1 で表わされた水の容積は lsl_1 に移る。比の移動によるモーメントは直立状態からの水のモーメントの変化に等しい。すなわち

$$v \times bb_1 = E \times g g_1 \int_0^Z dz$$

$$E = \Delta w s w_1 \text{ の面積} = \Delta l s l_1 \text{ の面積}$$

今小角度において

$$\sin \theta = \theta$$

$$\cos \theta = 1$$

$$gs = g_1 \quad s = \frac{2}{3}h$$

$$\text{又 } E = \frac{1}{2}h \times h \theta$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに } E \times g g_1 \int_0^Z dz &= \frac{1}{2}h \times h \theta \times \frac{4}{3}h \int_0^Z dz \\ &= \frac{2}{3}h^3 \theta \int_0^Z dz \end{aligned}$$

$$v \times bb_1 = v \times bms \sin \theta = v \times bm \theta$$

$$= \frac{2}{3}h^3 \theta \int_0^Z dz$$

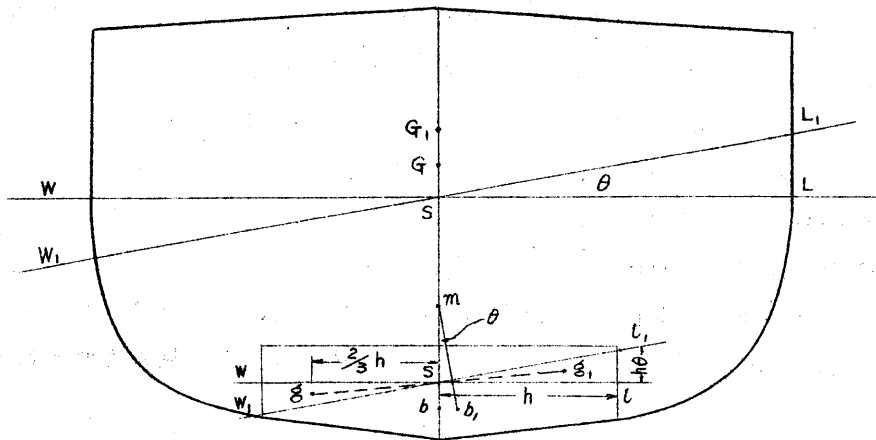
$$\therefore v \times bm = \frac{2}{3}h^3 \int_0^Z dz$$

$$\text{しかるに } \int_0^Z \frac{2}{3}h^3 dz = i$$

$$\text{ゆえに } bm = \frac{i}{v}$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

上記から明らかなように液体の重心**b**はそのメタセンター**m**の周りに回転する。このように水の重量はそれ自体の重心**b**点でなく**m**点からつり下



第 8 - 1 図 自由表面効果

げられたように作用する。すなわち水の重心は見掛け上**b**から**m**に上昇したと同じ結果になる。

w が b から m に見掛けの垂直移動に基いて船の重心も下記のように見掛けの上昇を生ずる。

$$W \times GG_1 = w \times bm$$

$$GG_1 = \frac{w}{W} \times bm$$

$$= \frac{w}{W} \times \frac{1}{v}$$

$$= \frac{\delta}{\delta'} \times \frac{1}{V} \dots \dots \dots (8-1)$$

G はタンク内の自由水が氷結したものと考えた直立の場合の船の重心位置であつて、この見掛けの上昇 GG_1 を自由表面効果 (Free Surface-Effect) という。比の関係はタンクの位置に関係なく成り立つ。

近似的に $\frac{\delta}{\delta'} = 1$ と見なせば

$$GG_1 = \frac{1}{V} \dots \dots \dots (8-2)$$

ただし V は船の排水容積であつて自由水の容積には関係がないことに注意を要する。

今迄は小傾斜の範囲について考えたが、このようにして誘導された関係

HP『海軍砲術学校』公開資料

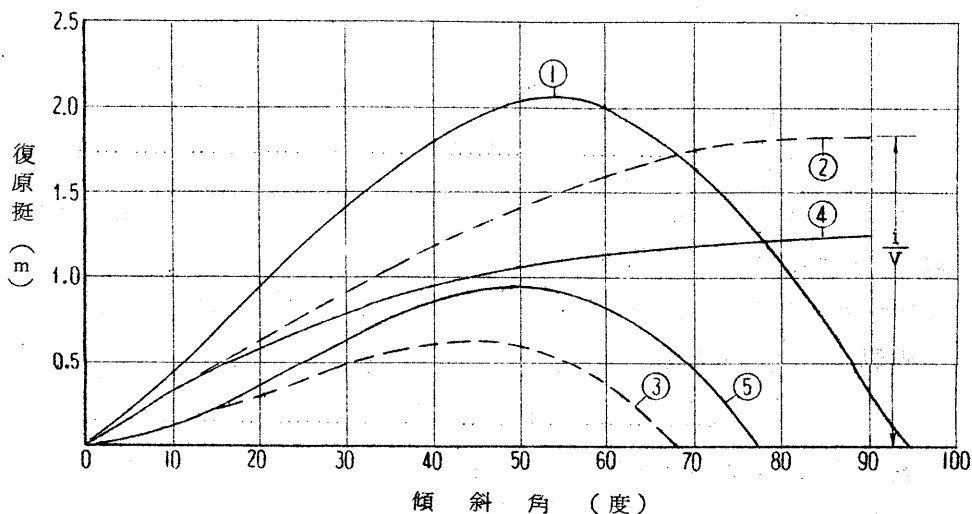
は自由表面によるGMの減少と考えることができる。自由表面効果は小傾斜だけでなく普通の傾斜角に対しても適用できるので、任意傾斜角 θ における復原挺を $\frac{i}{V} \sin \theta$ だけ減少させるもので、この修正は復原力曲線において普通の重心垂直上昇の修正法と同様に行う。

自由表面効果をなるべく少なくするには自由表面の i を少なくするようタンク等は縦方向に分割し、横幅をなるべく小にする必要がある。しかしながら一方幅が狭く深いタンクは傾斜の増大と共に自由表面が大となることに注意を要する。液体に限らず石炭、鉱石、穀物等のばら積みや、固はくしていない重量物も自由水と同様の影響があるし、つり下げられた重量物ではその重量の重心はついている点まで上昇していると見なされることは自由水と同様である。

8-3 Pocketing

自由表面によるGM、 $\sin \theta$ の影響はつねにPocketingによつてある程度

- 1 未修正復原力曲線
- 2 Pocketingなしの自由表面効果
- 3 同上に対する修正復原力曲線
- 4 Pocketingあるときの自由表面効果
- 5 同上に対する修正復原力曲線



第 8 - 2 図 Pocketingの影響

HP『海軍砲術学校』公開資料

修正される、これは傾斜角がある角度に達すると液体がタンクの一方に片寄る結果、液面がタンクの天井に接するか、あるいはタンクの底面が露出し、自由表面の幅を減少する現象をいう。これはタンクの形状、大きさ、及び液体の量によつて種々に変化するので簡単に解くことはできないが、Pocketing が生ずることによつて自由表面の増加はさまたげられる結果となり、実際には全傾斜範囲にわたつて $GG_1 \sin \theta$ がそのまま適用されるものではない。前項において述べた狭く深いタンクの場合も傾斜によつて増加する自由表面面積も Pocketing のため修正され自由表面効果は緩和される。しかしながら Pocketing が不確定な要素であるから安全のためにはこれを無視し、自由表面効果を全範囲に適用した極端な復原力曲線を描くことが多い、この状況を第 8-2 図に示す。

燃料油の運搬に当つてはタンクは 95% 搭載して小さな傾斜角でポケットさせる。(5% を残すのは油の膨脹を許すためである。)

8-4 表面透過性 (Surface Permeability)

船の区画の中には大いその区画内に入った液体の表面に突出する物体がある。もしこれらの物体が堅固に固定されており、流動したりあるいは液体を流過させたりしなければ、区画内の液体の自由表面効果はその物体によつて減少した自由表面面積に比例して減少する。区画内のこれら物体は数も多く、又形や大きさ、又高さも種々雑多であるから、この影響を受ける表面積も変化が多い。

表面透過率とは表面に突出する物体がない場合の同一表面の慣性モーメントに対し、突出物がある実際の自由表面の慣性モーメントの比率をいい符号 μ_s であらわす。

実際の自由表面の慣性モーメントを求めるには、突出物のない自由表面の慣性モーメント i に μ_s を乗ずればよい。係数の値は、傾斜角度、液面の高さ、区画内の内容物等によつて区々であるから判断にまつほかはない。

Pocketing と同様に、表面透過性を無視すれば、計算上の復原力は船が実際に有する復原力よりも小さい値となる。

8-5 損傷時の復原力

復原力は一般に下記状態のいずれかによつてそこなわれる。

HP『海軍砲術学校』公開資料

- 1 重量の付加、除去、及び移動
- 2 水線下船形状の変化
- 3 自由表面を有する自由水
- 4 外海と自由通水する自由水

上記のうち第4の項以外は通常の航海中の船(損傷を受けていない)においてこれらが全部同時にあるいは各別個に起ることがある。損傷を受けた船においてはさらにはげしく起る。其の影響はこれまでに述べられたもので、これらの理論は損傷艦船であると否とにかかわらず適用される。

8-6 外海との自由通水

水線下の船体外壁が損傷を受け破口を生ずると、海水が浸入し、船の動揺につれて損傷区画に自由に流入流出する。このような状態を外海と自由通水する部分浸水という。浸水は水線下であり、浸水区画の重心は船の重心より下方にあるのが普通であるから、一般に浸水の場合は重心位置が低下し、GMの値は増加する。同時に浸水による自由表面効果の増加による重心の見掛けの上昇があるほか、以下に説明する自由通水効果による見掛けの重心上昇が伴う。

浸水の重量により船は第8-3図においてWL水線から W_1 L_1 水線に沈下する。そのため重心及びメタセンター位置は共に変化する。

浸水区画が船の中心をはずれているので、船は傾斜し、浸水の自由表面効果によつて傾斜はさらに増す、傾斜の増加によつて又浸水量が増し、ついにある最終傾斜水線 W_2 L_2 に達する。後の傾斜、すなわち最初の浸水量にもとづく傾斜角を越える傾斜は、中心をはずれた区画の中に流入する自由水量の増加によるもので、これを自由通水効果と称する。これは常に復原力を悪化するもので、重心の見掛けの上昇として容易に算式で表わすことができる。中心線上の区画の場合には外海からの浸入による浸水の増加はなく、自由通水効果はない。

自由通水効果の正確な算式を求めるのに今まで述べた方法から導くことは、浸水量の変動及びそれに伴う傾斜角及び排水量の変動等から事実上不可能である。しかしながら重量物付加法は復原力の研究に便利であるのでこの方法を用いて自由通水効果の近似計算法を考えてみることにする。

HP『海軍砲術学校』公開資料

- 1 最初の浸水により、最初の水線 $W L_1$ に平行に $w_1 L_1$ に達するまで船が沈下した。この水の量 (w) は浸水区画の $w_1 L_1$ から下方部分の容積によつて決める。この附加重量 w によつて船の重心は G から G_1 へ垂直に移動する。

$$K G_1 = \frac{W \times K G + w \times K g}{W_1}$$

W = 最初の排水量

w = 水線 $w_1 L_1$ までの浸水重量

$W_1 = W + w =$ 水線 $w_1 L_1$ における船の排水量

$K G$ = 船の最初の重心高さ

$K G_1 =$ 排水量が W_1 となつた時の船の重心高さ

$K g =$ 浸水 w の重心高さ

- 2 自由表面が出来た為 \therefore 重心は G_1 から G_2 へ見掛けの上昇を生ずる。

$$G_1 G_2 \text{ (垂直)} = \frac{i}{V_1}$$

$V_1 =$ 水線 $w_1 L_1$ における排水容積

$i =$ 自由表面の重心を通る縦方向軸に関する自由表面面積の慣性モーメント

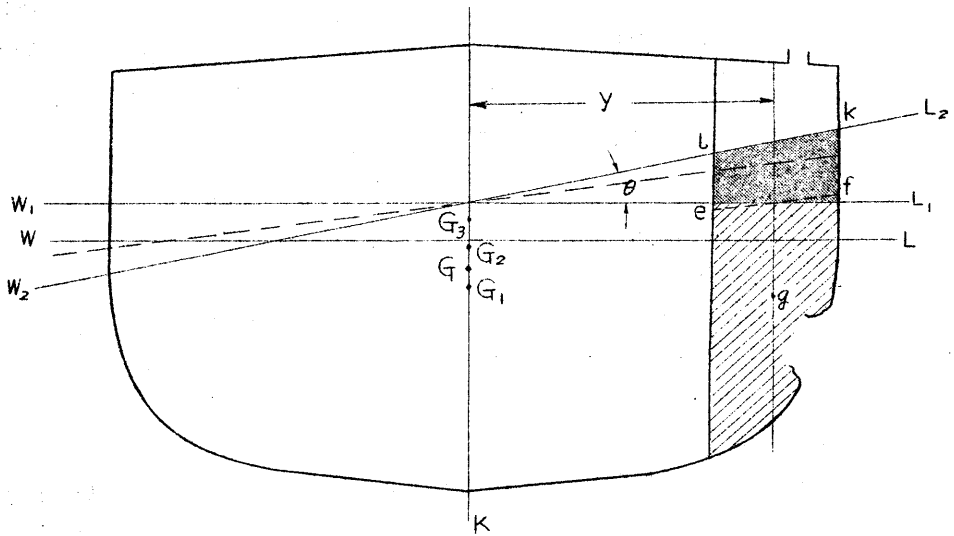
- 3 船は中心をはずれた重量 w によつて傾斜し、水の付加流入を生ずる。

もしも外板の開孔がなければ船は点線の位置まで傾斜し、浸水の表面は $e f$ にそい点線に平行になる。面積 $e f k l$ で表わされる浸水 w_1 は船底に孔のあいた区画の水平面積、傾斜角及び区画の重心から船の中心線までの距離によつて左右される量である。

復原力に対する自由通水効果はモーメントの理論によつて最も近似的計算ができる。傾斜角 θ におけるモーメントは $W_1 \times G_2 M_1 \tan \theta$ である。(ここで M_1 は $w_1 L_1$ 水線で浮いているときのメタセンターの位置) そこに面積 $e f k l$ で示される付加水量 w_1 が流入することによつて、横モーメント $w_1 \times y$ が加わり、(y は浸水の重心と船の中心線の中心線との横距離) 又重心 G_2 はさらに G_1 に上昇する。この傾斜角 θ_1 におけるモーメントは $(W_1 + w_1) \times G_3 M_1 \tan \theta_1$ である。このモーメントの変化は付加浸水にもとづくものであるから次のように書くことができる。

$$W_1 \times G_2 M_1 \tan \theta - (W_1 + w_1) G_3 M_1 \tan \theta_1 = w_1 \times y$$

HP『海軍砲術学校』公開資料



第一八三図 自由通水

ここで w_1 は W_1 に比して小であり、又 $\tan \theta_1$ は $\tan \theta$ とほぼ等しいから上式は

$$W_1 \times G_2 G_3 \tan \theta - W_1 \times G_3 M_1 \tan \theta = w_1 \times y$$

よつて

$$W_1 \times G_2 G_3 (\text{垂直}) \tan \theta = w_1 \times y$$

図から

$$w_1 = \delta \cdot a \cdot y \tan \theta$$

ここで a = 浸水区画の水平切断面積

δ = 浸水液体の比重

$$\therefore W_1 \times G_2 G_3 (\text{垂直}) \tan \theta = \delta \cdot a \cdot y^2 \tan \theta$$

$$\therefore G_2 G_3 (\text{垂直}) = \frac{\delta \cdot a \cdot y^2}{W_1}$$

$$= \frac{a \cdot y^2}{v_1} \dots \dots \dots (8-3)$$

$G_2 G_3$ は自由表面効果からさらに見掛けの重心上昇をした量で、自由通水効果と呼ばれ、自由表面効果と同様に $G_2 G_3$ だけメタセンター高を減少して初期復原力を小にし、又 $G_2 G_3 \sin \theta$ の量だけ全傾斜角における復原挺を減じて総合復原力を害するものである。

HP『海軍砲術学校』公開資料

以上を要約すれば外海と自由通水する部分浸水を生じた損傷艦においては増加排水量に対する静的復原力曲線は下記の3つの曲線の値について修正しなければならない、

- (1) $GG_1 \sin \theta$: 付加重量に対する修正
- (2) $\frac{i}{V_1} \sin \theta$: 自由表面効果に対する修正
- (3) $\frac{ay^2}{V_1} \sin \theta$: 自由通水効果に対する修正

修正を簡単にするため上述の3曲線を描く代りにGの総合的見掛けの上昇として一括すれば、

$$GG_3 (\text{垂直}) = \pm GG_1 + \frac{i}{V_1} + \frac{ay^2}{V_1}$$

又総合的 \sin 修正量は $GG_3 \sin \theta$ である。又最初の中心をはずれた重量 w により、静的復原力曲線はさらに減少するがこの修正量は

$$G_3 G_4 \cos \theta = \frac{wxvcos\theta}{W_1}$$

である。

8-7 初期及び総合復原力に対する自由水効果の例

初期及び総合復原力に対する自由水効果を説明するため、DD692が損傷を受けたと想像した計算例を示す。今DD692が前後部きつ水13'その実重心はキール上17'であるが艦内の自由液体により合計0.5'の自由表面効果があるため見掛けの重心位置はキール上17.5'であるものとする。

今この状態で衝突のため水線附近に破口を生じ、長さ3.5'巾1.7'の区画に100Tの浸水があつた。浸水の重心は船体中心線から8.5'の距離にありキール上8'の高さにある。

(71)式から重心の実際位置は浸水によつて次の通り降下する。

$$GG_1 (\text{垂直}) = \frac{100(17-8)}{3.010+100} = 0.290'$$

(ここで3.010はきつ水13'に対する海水中の排水量である。)

損傷前に存在した自由表面効果は浸水の結果減少する。これは(8-2)式であらわされる自由表面効果において分子 i は変化しないが分母 V が増大したからである。増加した排水量に対する当初の自由表面効果は

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$0.5 \times \frac{3.010}{3.110} = 0.484'$$

ゆえに浸水後の重心の見掛けの位置は（浸水の自由表面効果及び自由通水効果は含まない）

$$KG'_1 = 17 - 0.290 + 0.484 = 17.194'$$

（8-2）式から浸水の自由表面効果は

$$G_1 G_2 \text{ (垂直)} = \frac{i}{V_1} = \frac{35 \times 17^3}{12 \times 3,110 \times 35} = 0.132' \text{ (上昇)}$$

（8-3）式から自由通水効果は

$$G_2 G_3 \text{ (垂直)} = \frac{ay^2}{V_1} = \frac{35 \times 17 \times 8.5^2}{3,110 \times 35} = 0.395' \text{ (上昇)}$$

浸水による船の重心の横移動は

$$G_3 G_4 \text{ (横)} = \frac{w \times y}{W} = \frac{100 \times 8.5}{3,110} = 0.274'$$

最終の重心の見掛け位置は、

$$KG_3 = 17 - 0.290 + 0.484 + 0.132 + 0.395 = 17.721 = 17.7'$$

最終排水量に対し $KM_1 = 19.4'$ であるから最終メタセンター高は

$$G_3 M_1 = 19.4' - 17.7' = 1.7'$$

第8-4図は最終の総合復原力曲線を示す。この図では損傷前の完全な状態における復原力曲線は示されていないが、自由表面効果及び自由通水効果による sine 修正曲線及び中心外浸水による cosine 修正曲線により総合復原力が実質的に減少していることが認められる。8-4図から次のような重要点が判る。

- 1 傾斜角は 9.5° である。
- 2 最大復原挺は傾斜角 3.3° の時で $0.65'$
- 3 復原範囲は 9.5° から 4.9° までである。

ここで浸水による重心移動の計算を、見掛け重心位置からそのまま（6.1）式にあてはめておこなつても前述の計算と同じ結果が得られることについて再考してみる必要がある。

$$GQ' \text{ (垂直)} = \frac{100(17.5-8)}{3,010+100} = 0.306'$$

$$\therefore KG'_1 = 17.5 - 0.306 = 17.194'$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

これは最初の自由表面効果0.5'は前に別に分けて考えた時と同様排水量の比 $\frac{3010}{3110}$ の割合で減少しているからである。

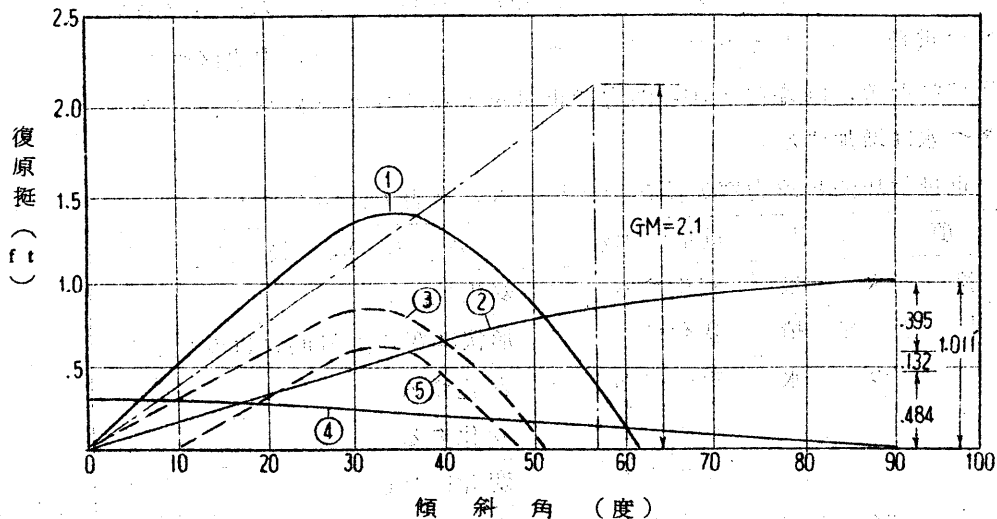
このことは(7.1)式の代りに(7.2)式を用いるとなお明白である。

$$KG'_1 = \frac{3010 \times 17.5 + 100 \times 8}{3110} = 17.194'$$

以上のことから判るように、(7.1)から(7.4)までのようなモーメントの式に見掛けの重心の高さを用いても誤差は生じない。しかしながらこのような計算では船の実際重心と見掛けの重心の関係が判らなくなる。もつと大切なことは、重要変化の過程において見掛けの重心上昇が見落されその結果誤った解答が得られる可能性がある。

その例として、10Tの液体を適切な個所に充当することによつて最初

- ① 最終排水量と実重心位置に対する復原力曲線
($W_1 = 3,110T, KG_1 = 16.7'$)
- ② $G_1 G_3 \sin \theta$
- ③ 見かけ重心上昇に対し修正した復原力曲線
- ④ $G_3 G_4 \cos \theta$
- ⑤ 最終復原力曲線



第8-4図 損傷舷の復原力曲線

HP『海軍砲術学校』公開資料

の自由表面効果を打消することが可能であるかもしれない。この10Tの重量は船の実際重心位置にはほとんど影響を与えることなしに、見掛けの重心を0.5' 降下させ実際の重心に一致させることができる。この変化はもし見掛け重心位置から直接モーメントの式で計算したら現れないものである。

以上の説明によつて、自由表面効果は実際の重心移動と分けて考える方がよいことが判るであろう。

8-8 重量付加法と浮力喪失法

今までの説明では、部分浸水でも、充満浸水でも、又自由通水の有無に関係なく、浸水した船ではその重量すなわち排水量が浸水重量によつて増加したものと考へた。この方法は重量付加法と呼ばれ、水の浮力を受ける船体表面はそこなわれていないという仮定に立つている。

これに対し浮力喪失法と呼ばれるものは、自由通水する浸水区画はも早外海の一部であつて船の浮力に役立たないものである。すなわち浮力の一部を喪失したとの考へに立つている。

今空の箱舟があり、その重量は自体の構造重量だけであつて、その長さを三つの区画に仕切つてあるものと想像する。この中央区画に自由通水を生じた。浮力喪失法ではこの区画は外海の一部であつて、浮力を失つたと考へる。しかしながら箱舟の自重は浸水の有無にかかわらず一定であり、この重量に釣りあふ浮力で支えられなければならない。中央区画の浮力を失つたので、両端の区画の浮力で重量を支持することになり、両端区画のきつ水は増加する。

重量付加法と浮力喪失法とを比較すると次表のとおりである。

項 目	重量付加法	浮 力 喪 失 法
排 水 量	変化する	変化しない
排 水 容 積	変化する	形状は変るか量的には変化なし
き つ 水	変化する	変化する
浮 心	変化する	変化する
重 心	変化する	変化しない
メ タ セ ン タ ー 位 置	変化する	変化する

HP『海軍砲術学校』公開資料

さきに述べた箱舟の長さ30 m、幅10 m深さ3 mで清水中にきつ水1 mで浮いていた時、中央区画に破口を生じ、又この区画は上甲板で通気している（水は自由通水の状態である）ものとする。

最終きつ水をXとすれば

○浮力喪失法の場合

排水容積には変化かないから

$$2 \times 10 \times 10 \times X = 30 \times 10 \times 1$$

$$\therefore X = 1.5 \text{ m}$$

○重量付加法の場合

浸水重量 = きつ水増加による排水増加

$$\frac{10 \times 10 \times X}{1} = \frac{30 \times 10 \times (X - 1)}{1}$$

$$\therefore 100 X = 300 X - 300$$

$$\therefore X = 1.5 \text{ m}$$

このように両法による計算の結果は合致する。初期復原力について比較する場合、最初の重心はキール上1.5 mのところにあつたとすれば、

○浮力喪失法の場合

$$KB_1 = \frac{1.5}{2} = 0.75 \text{ m}$$

$$KG = KG_1 = 1.5 \text{ m}$$

$$B_1 M_1 = \frac{I_1}{V_1} = \frac{10^3 \times 20}{12 \times 20 \times 10 \times 1.5} = 5.55 \text{ m}$$

$$\therefore KM_1 = 0.75 + 5.55 = 6.30 \text{ m}$$

$$\therefore G_1 M_1 = 6.30 - 1.5 = 4.80 \text{ m}$$

○重量付加法の場合

$$KB_1 = 0.75 \text{ m}$$

$$B_1 M_1 = \frac{I_1}{V_1} = \frac{10^3 \times 30}{12 \times 30 \times 10 \times 1.5} = 5.55 \text{ m}$$

$$\therefore KM_1 = 0.75 + 5.55 = 6.30 \text{ m}$$

$$KG_1 = \frac{KG \times W + K_g \times \omega}{W_1} = \frac{1.5 \times 30 \times 10 \times 1 + 0.75 \times 10 \times 10 \times 1.5}{30 \times 10 \times 1.5} = 1.25 \text{ m}$$

自由表面効果は

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$G_1 G_2 = \frac{i}{V_1} = \frac{10^3 \times 10}{12 \times 30 \times 10 \times 1.5} = 1.85 m$$

$$\therefore KG_2 = 1.25 + 1.85 = 3.1 m$$

$$\therefore G_2 M_1 = 6.3 - 3.1 = 3.2 m$$

二つの解法におけるGM値には大きな差があり、重大な矛盾あるいは錯誤を示すように見えるかも知れないが、GMはある排水量に対する初期復原力の尺度である。2隻の類似船がその排水量を異にする場合、同じGM値であれば復原力特性が異なるものとなる。同じ復原特性を示すためには復原モーメントが等しくなければならないのである。

この浮力喪失法と重量付加法との比較においては排水量の計算が異なっている。

○浮力喪失法の場合

損傷前排水量は

$$W = 30 \times 10 \times 1 = 300 t$$

損傷後中央区画は浮力に関係がなく、両端のポンツーンに支持された橋のようなものであるから、この状態における排水量は、

$$W_1 = 2 \times 10 \times 10 \times 1.5 = 300 t$$

○重量付加法の場合

$$W_1 = 30 \times 10 \times 1.5 = 450 t$$

以上から初期復原モーメントを計算すれば

○浮力喪失法の場合

$$W_1 \cdot G_1 M_1 \sin \theta = 300 \times 4.8 \times \sin \theta = 1,440 \sin \theta \text{ m} \cdot t$$

○重量付加法の場合

$$W_1 \cdot G_2 M_1 \sin \theta = 450 \times 3.2 \times \sin \theta = 1,440 \sin \theta \text{ m} \cdot t$$

となり二つの解法による計算結果は一致することかわかる。

自由通水を浮力喪失法で計算すると、より正確な結果が得られるか、実際の使用に当つては必ずしも便利ではなく、重量付加法の方が正確さは劣るが実用的である。

8-9 浸水

浸水が復原力特性に及ぼす影響については一般に次の3要素が考えられ

HP『海軍砲術学校』公開資料

る。

1 区画との関係

- (1) 充満浸水
- (2) 外海と自由通水しない部分浸水
- (3) 外海と自由通水する部分浸水

2 高さの関係

- (1) 浸水の重心 g が船の重心 G の上方にある。
- (2) g が G の下方にある。
- (3) g が G と一致する。

3 船の中心線との関係

- (1) 対称的浸水
- (2) 中心をはずれた浸水

上記分類は浸水を伴う損傷において、復原性に関する影響を分析する場合必要なことである。どんな浸水もこの3種類のうちの一つづつの状態で表わされる。

たとえば、ある艦が機雷によつて水線下に損傷を受け、左舷数個の低区画に完全に浸水又他の区画内は完全であつて、部分浸水はないものとする。この状態は

- 1 充満浸水
- 2 浸水の重心は船の重心より下方にある。
- 3 浸水は中心線を外れている。

又これに対する予備的分析として

- 1 浸水区画に海水の満水重量(自由表面及び自由通水効果なし)の付加を生じた。
- 2 乾舷は減少し、 G は降下したので、新しい排水量と G の位置の降下に対する復原力曲線を必要とする。
- 3 中心外重量による非対称の復原力曲線となり、又傾斜を生じた。

G_1 G_2 (横) $\cos \theta$ だけ $\cos \theta$ 修正曲線を適用する必要がある。

8-10 容積透過性 (Volume Permeability)

充満浸水あるいは部分浸水のいずれの場合にも、もう一つ考えなければ

HP『海軍砲術学校』公開資料

ならない要素として容積透過性がある。

浸水区画内に機械、その他の装備品や、種々の家具や、貯蔵品等がありそれら自体には水が浸入しないか、あるいは僅かしか浸水しないような場合、その区画内に実際浸水し得る水の量はその区画の容積より小である。区画の容積に対する区画の実際浸水し得る容積の比を容積透過率といい、 μ であらわす。

表面透過率と容積透過率の用法上の区分は、表面透過率(μ_s)は自由表面効果 $\frac{i}{V}$ と、自由通水効果 $\frac{ay^2}{V}$ に乗ずるもので、一方容積透過率(μ)は透過容積のみに乗じ、増加排水量の計算にだけ用いる。

練習問題

- 1 ある船の海中における排水量は45,000 tで横メタセンター高は2.3 mである。もしも下記寸法の油タンク内に自由表面が存在するならば有効横メタセンター高はいくらか。(油の比重=0.90)

長さ: 30 m、巾: 15 m、深さ6 m

答 2.13 m

- 2 120'×35'×10'の箱舟が海上に浮いており、そのきつ水は4.0'、KGは5.0'である。この箱舟のタンク(長さ35'、巾15')に深さ4'の浸水を生じた。浸水の重心は船の中心線から右舷寄り10'、浮面心の後方40'、キール上5'の位置にある。下記を計算せよ。

- (1) 新排水量
- (2) 新平均きつ水
- (3) 自由表面を含むGM
- (4) 傾斜角

答(1) 540 t

(2) 4'6"

(3) 19.43'

(4) 右へ3°16'

HP 『海軍砲術学校』 公開資料

3 A 692(long hull) Class destroyer has a displacement of 3010 tons in salt water and a GM of 3.0 feet. She later has a serious fire. While fighting the fire 75 tons of salt water collect in a space 50 feet fore and aft by 15 feet athwartships. The c. g. of the water is 20 feet above the keel and 7 feet starboard of the centerline. Find:

- (a) KM_1 ,
- (b) KG_1 , due to added weight
- (c) KG_2 , corrected for free surface
- (d) Final metacentric height
- (e) List in degrees.

Ans. (a) 19.40 ft.

(b) 16.60 ft.

(c) 16.73 ft.

(d) 2.67 ft.

(e) $3^\circ 40'$ to stbd.

4 A 692(long hull) Class destroyer draws 12 ft. 6 in in salt water. $GM=3$ ft. No list. The ship is later damaged below the waterline and floods a compartment 25' fore and aft and 14' athwartships with 90 tons of salt water in free communication with the sea. The c. g. of the flooding water is 10' above the keel and 7' to starboard of the centerline. Find:

- (a) KM_1 and KG_1 , due to weight alone of flooding water.
- (b) Free surface effect.
- (c) Free communication effect.
- (d) Final metacentric height after flooding.
- (e) List due to flooding.

Ans. (a) 19.64 ft., 16.51 ft.

HP 『海軍砲術学校』 公開資料

(b) 0.0559 ft.

(c) 0.1671 ft.

(d) 2.91 ft.

(e) $4^{\circ} 14'$ to stbd.

5 The USS Gearing DD-692 (long hull) Class, on an even keel with no trim, has a displacement of 3000 tons in salt water. The center of gravity of the ship is 16 feet above the keel. Damage is now sustained, resulting in partial flooding with boundaries intact. 100 tons of water were taken on board. The c. g. of the flooding water is 12 feet above the keel. The surface of the flooding water measures 398 feet fore and aft by 30 feet athwartships. The ship now has a 10° list to starboard,

Plot the final static stability curve and indicate the following values:

(a) Range of stability.

(b) Maximum righting arm.

(c) Angle at which maximum righting arm occurs.

Ans. (a) 10° to 59° .

(b) 0.97 ft.

(c) 35° .

6 The USS Gearing has a displacement of 2950 tons in salt water. KG is 16 ft. She is holed in a compartment 40 ft. fore and aft by 15 ft. athwartships so that the compartment is in free communication with the sea. One hundred tons of water enter the compartment. The KG of this water is 8 ft. and the center of gravity of the compartment is 6 ft. to starboard of the centerline. Compute:

(a) The final GM.

(b) Angle of list.

Ans. (a) 3.43 ft.

(b) $3^{\circ} 17'$ stbd.

HP『海軍砲術学校』公開資料

第9章 動的復原力

9-1 動的復原力(Dynamical Stability)

動的復原力とは船をつりあい位置からある角度まで傾斜させるに要する仕事量をいう。

船を其のつりあい位置からある角度 θ_1 だけ傾斜させるに要する仕事の量は(すなわち角 θ_1 における動的復原力)次のとおりである。

$$E_{\theta_1} = \int_0^{\theta_1} M_{\theta} \cdot d\theta$$

ここで E_{θ_1} = 角 θ_1 まで船を傾斜させるに要した仕事

M_{θ} = 任意角における船の復原モーメント

$d\theta$ = ラジアンで表わした微小傾斜角

しかるに $M_{\theta} = W \times GZ$

$$\text{ゆえに } E_{\theta_1} = \int_0^{\theta_1} W \cdot GZ \cdot d\theta$$

W は一定であるから

$$E_{\theta_1} = W \int_0^{\theta_1} GZ \cdot d\theta \dots\dots\dots (9.1)$$

もしも傾斜モーメントが徐々に加えられたならば、船は傾斜モーメントと復原モーメントとが等しくなる或る角度まで傾斜する。船を傾けるに要した仕事量は(9.1)式によつて示される。

9-2 動的復原力の決定

(9.1)式から判るように任意角における動的復原力は復原モーメントをその角度まで積分したものと見える。この基礎的關係から、任意角、あるいは復原範囲にわたり、一定間隔の傾斜に対する動的復原力の数値を求めることが可能である。復原範囲全体にわたつて、縦軸に動的復原力、横軸に傾斜角をとつて描いた曲線を動的復原力曲線と称する。

静的復原力曲線の縦座標に復原モーメントをとり、各傾斜角に対する復原モーメントの値を読み、これらの積分値から動的復原力曲線を描く。第9-1図において、傾斜角の 10° に対する復原モーメントは $600m \cdot t20^\circ$ では $1275mt$ 、 30° では $1940mt$ である。積分近似計算法として梯形法則を使用し、間隔 h を 10° にとれば

HP『海軍砲術学校』公開資料

10° に対し

$$E = \frac{10}{57.3} \times \frac{600}{2} = 524 \text{ m-t}$$

20° に対し

y	m	my
0	$\frac{1}{2}$	0
600	1	600
1275	$\frac{1}{2}$	637

$$E = h \times \sum m y$$

$$= \frac{10}{57.3} \times 1237 = 215.5 \text{ m.t}$$

$$\sum m y = 1237$$

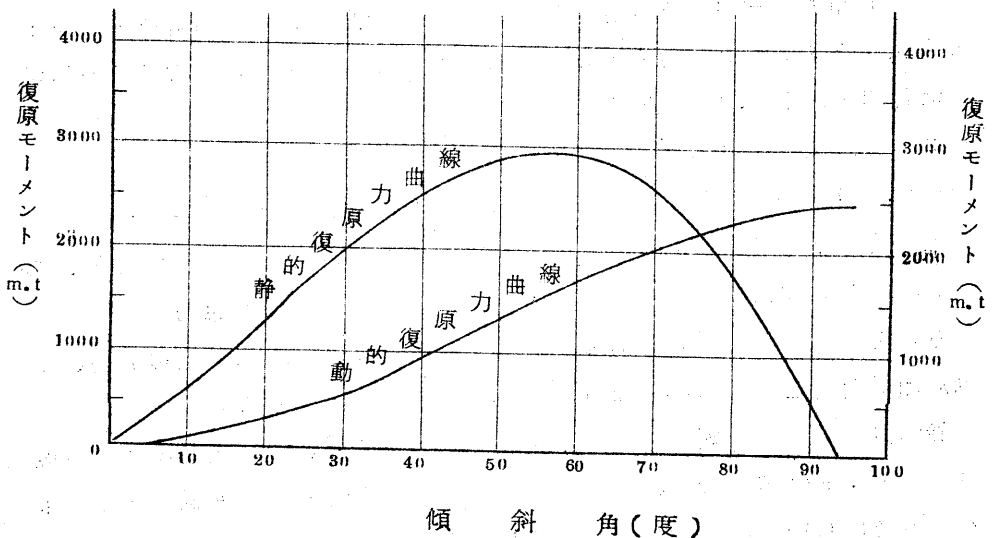
30° に対し

y	m	my
0	$\frac{1}{2}$	0
600	1	600
1275	1	1275
1940	$\frac{1}{2}$	970

$$E = h \times \sum m y$$

$$= \frac{10}{57.3} \times 2845 = 497 \text{ m.t}$$

$$\sum m y = 2845$$



第9-1図 静的及び動的復原力曲線

HP『海軍砲術学校』公開資料

此の計算を復原範囲にわたつて続け図上にPlotして行けば、動的復原力曲線は第9-1図に示すような曲線となる。

9-3 動的復原力対動的傾斜モーメント

1. 動的傾斜モーメント(Dynamic Heeling Moment)

復原力におけると同様に傾斜モーメントにも静的と動的の2種類がある。

静的傾斜モーメントについては前記各章において静的復原力に関連して述べられている。

船の動的復原力に関連してこゝで考えられるこれらモーメントは船が釣りあいの状態にある場合に急激に加えられるものと考えればよい。

たとえば風が不意に帆に衝動を与えたり、或いは甲板舷側上から重量物を投棄させたような場合の現象である。もしもこれらの力が徐々に加えられたとしたならば、船は徐々に傾斜して、傾斜モーメントが復原モーメントに等しくなつた傾斜角で釣りあい状態となる。

これに対して、急激に力が加えられた場合には、船は静的釣りあいの点を越える角度まで一旦傾斜し、次にはもどりの運動となり、動揺をくり返すであろう。

2. 復原エネルギーに対する傾斜エネルギーの決定

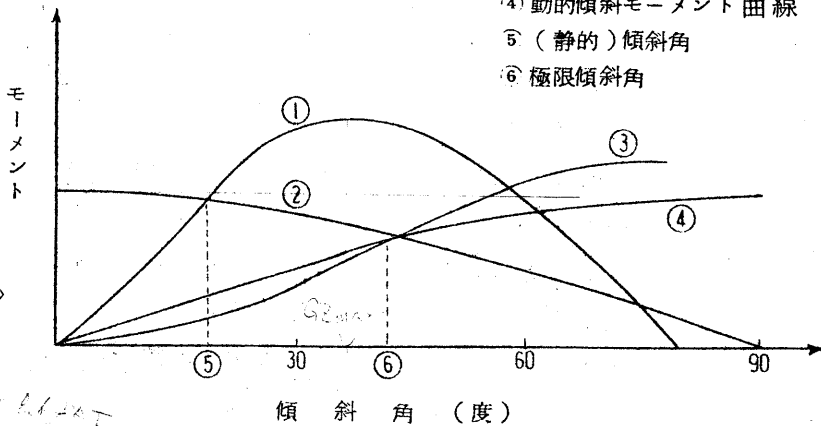
純然たる動的モーメントを表わすためには釣りあいの位置にある船に対し、その最大量が瞬間的に加えられた場合の例を考えることとする。

この釣りあいの位置においては傾斜モーメントは最大であるが、未だ傾斜が生じていないから復原挺が零であり、したがつて復原モーメントは零である。

静的復原力曲線と同一座標上に傾斜モーメント曲線を描く場合には傾斜角のcosineの函数となり、第9-2図における②曲線で示すように静的傾斜モーメント曲線と称する。この復原力曲線の船で、直立位置において瞬間的に傾斜モーメントが作用したとすれば、それは動的モーメントを考えることができる。動的傾斜モーメントの曲線を求めるには静的復原力曲線を積分して動的復原力曲線を得たと同様に静的傾斜モー

HP『海軍砲術学校』公開資料

- ① 静的復原力曲線
- ② 静的傾斜モーメント曲線
- ③ 動的復原力曲線
- ④ 動的傾斜モーメント曲線
- ⑤ (静的)傾斜角
- ⑥ 極限傾斜角



第9-2図 動的復原力及び傾斜モーメント

ント曲線を積分すればよい。

$\int_0^{\theta} \cos \theta d\theta = \sin \theta + c$ であるから、Cosine 曲線と同一振幅の sine 曲線が得られる。

任意傾斜角におけるこの曲線の縦座標はその傾斜角に達する迄に船になされた傾斜の仕事すなわち動的傾斜モーメントを示す。この動的傾斜モーメント曲線が動的復原力曲線と交わる点(第9-2図における⑥)は傾斜エネルギーと復原エネルギーとが等しいことを示す点である。この点は船が動揺する場合、傾斜の極限の角度となる。すなわちもしもこの点を越えると復原エネルギーが傾斜エネルギーを超過するから船がこれ以上傾斜することはない。又この図からこの最大傾斜角における静的復原モーメントは静的傾斜モーメントよりも大であつて、この角においては静的つりあいは成立しないことが明らかである。したがつて船は静的モーメントのつりあいのために、直立位置に向つてもどる動揺が起り、もし船体表面と水との間に摩擦がなければ無限に継続されるものであるが、実際には摩擦があるため次第に減衰しついに静的つりあい点において静止する。

最初のモーメントがきわめて大きく、それによつて生じた動的傾斜モ

HP『海軍砲術学校』公開資料

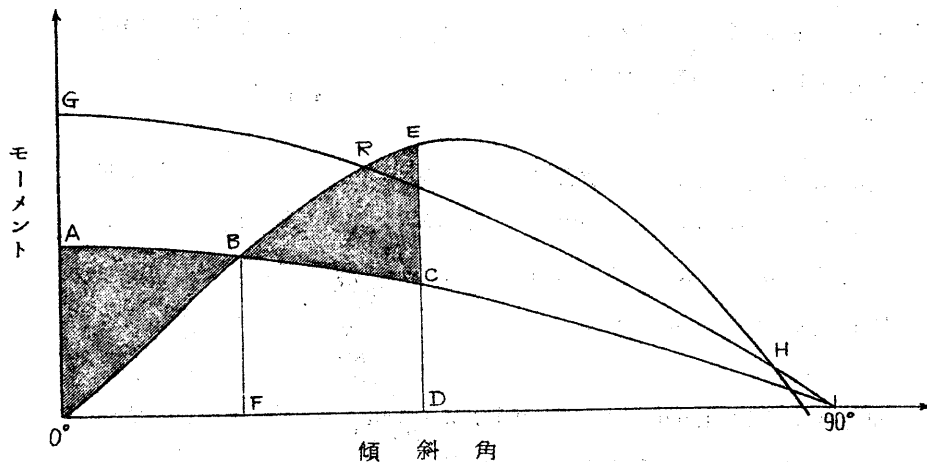
ーメント曲線が動的復原力曲線と交わらないならば、船は転覆する。

3. 動的復原力と傾斜エネルギーとの図表による比較

静的復原力曲線と静的傾斜モーメント曲線だけから動的復原力の問題を扱うことができる。又この図は静的及び動的復原力との関係を明確に示すものである。

動的復原力は静的復原力曲線で囲まれた面積で示されることは前述したところである。今第9-3図において、直立位置の船に傾斜モーメントO Aが急激に加えられたとすれば、静的つりあいの角であるFまでの傾斜エネルギーは傾斜モーメント曲線の下方の面積A B F Oで示される。

この傾斜エネルギーに抵抗するエネルギーは角Fにおける動的復原力で、静的復原力曲線の下方の面積O B Fで示される。この二つの面積A B F OとO B Fとを比較すれば、明らかに傾斜エネルギーは復原エネルギーよりも



第9-3図 復原モーメントと傾斜モーメント

面積O A Bの量だけ大であることが判る。これは静的つりあいの角においてはつりあわないことを示すものであつて、船の傾斜は止まらず、傾斜エネルギーが動的復原力とつり合うある点に至つて止る。この点は角Dの処で、この場合三角形B E Cの面積はO A Bの面積に等しい。すなわちDの傾斜角における動的傾斜モーメントは面積O A C Dで表わされ、一方動的復原モーメントは面積O B Dで表わされるが、面積O A B = 面

HP『海軍砲術学校』公開資料

積 BEC であるから両者の面積は等しく、動的つりあいになる点である。しかしこの点においては静的復原力 ED は静的傾斜モーメント CD をはるかに上廻るから、船は静止することなく押しもどされて静的つりあい点 F を中心に動揺し、最後に F の位置で静止する。

次に最初の傾斜モーメントが OG で示すように大きな量であつたと仮定すれば、過度の傾斜エネルギーに釣りあうためには R におけるつりあい角をこえる予備の動的復原力が不充分であることは明らかである。すなわち面積 OGH は面積 REH より大で、この場合には船は転覆するに至る。

なお第9-3図に関連して、比較的小さな傾斜モーメントと小さな傾斜角度においては面積の比較によるエネルギー算出は、簡単な幾何学的解法を適用できることがわかる。すなわち小角度の傾斜では、復原力曲線と傾斜モーメント曲線との微少な彎曲は無視できるので、三角形と梯形との面積と見なし、近似的計算が成立する。

(例)

排水量が $1,900T$ で縦及び横傾斜のないある船上に $100T$ の重量物が中心線から右舷寄り $3m$ の甲板上に急激に置かれたと仮定する。そのために KG が $4m$ になつたとすればその動揺の最大角とその角における動的復原力とを概算する。

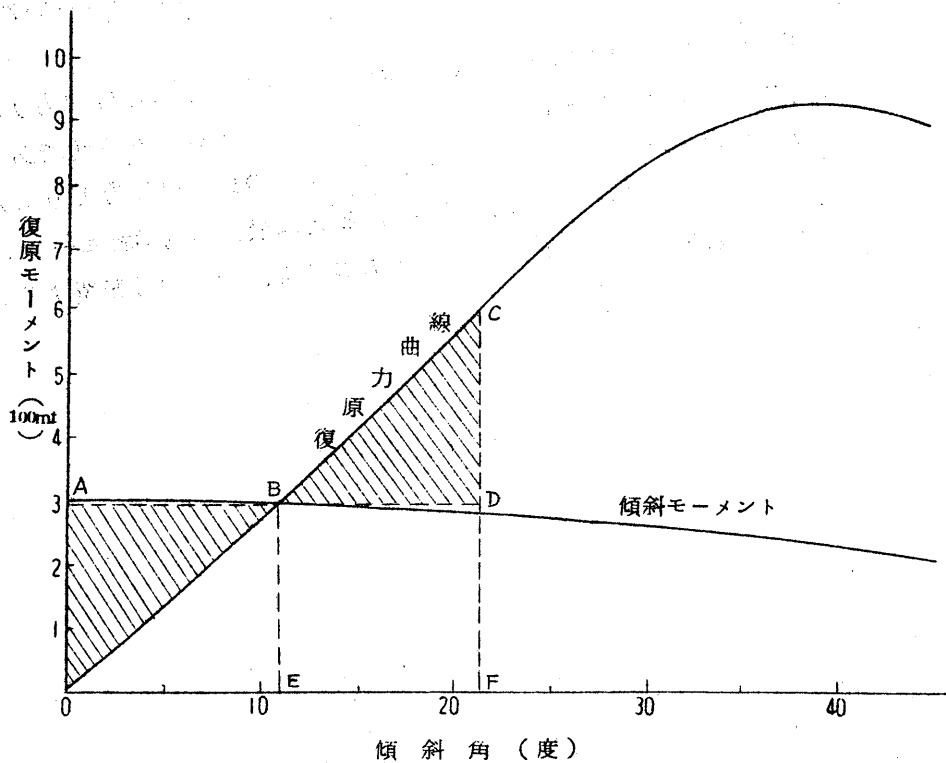
(解法)

排水量 $2,000T(1,900T+100T)$ 、 $KG:4m$ に対する復原力曲線は第9-4図のとおりであつた。(縦座標は復原モーメント)

次に傾斜モーメント曲線 $Wt \cos \theta$ を描く。この曲線において θ に対する縦座標は $3 \times 100 = 300m \cdot t$ である。そこでこの復原力曲線の特性を調べると、復原挺の勾配は約 25° まではほぼ不変と見なし得る。

傾斜モーメント曲線と復原力曲線との交点は静的つりあいの位置で(図の B 点)、傾斜角は約 11° である。 B 点を通る水平な直線が縦軸と交わる点を A とすれば、三角形 OAB の面積は近似的に超過傾斜エネルギーを示すものでこれは動的復原力と釣りあわなければならない。そこで B を通る水平な直線上に AB に等しく BD をとり、 D を通る垂

HP『海軍砲術学校』公開資料



第 9 - 4 図

線が復原力曲線と交わる点をC、横軸と交わる点をFとすれば、
 $\triangle OAB$ 、 $\triangle BCD$ は共に直角三角形であり、 OBC は一直線上にある
 と見なしうるから両三角形は等面積である。ゆえに矩形 $ADFO$ の面
 積は三角形 OCF の面積に等しい。又矩形 $ADFO$ の面積は傾斜角 F に
 至る傾斜エネルギーに近似であり、三角形 OCF の面積は復原エネルギ
 に近似であるから F は最大動揺角度で、この角度は $11^\circ \times 2 = 22^\circ$ であ
 る。

又この角度における動的復原力は

$$600 \times \frac{22}{57.3} \times \frac{1}{2} = 115 \text{ m.t}$$

動的復原力と外部の傾斜エネルギーに関し、一般的結論として次のこ
 とがいえろ。

HP『海軍砲術学校』公開資料

- (1) 傾斜を生ぜしめ得る動的な力が船に作用したときに達する最大傾斜角はモーメントのつりあいによらず、エネルギーのつりあいによつて決定される。
- (2) 船の到達最大傾斜角は、船の復原エネルギー(動的復原力)が傾斜モーメントとして船に及ぼされたエネルギーに等しくなる角である。
- (3) もしも傾斜モーメントによつて船の動的復原力よりも大きなエネルギーが及ぼされたとすれば、たとえば最大静的傾斜モーメントが船の最大復原モーメントより小であつても、その船は転覆する。

HP『海軍砲術学校』公開資料

第10章 船体構造

10-1 概説

艦艇の種類は雑多であるので、そのあらゆる種類について述べる事はできないから、ここでは艦艇における船体構造の極めて一般的な事項だけに限定して説明する。

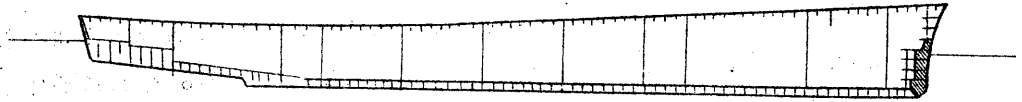
艦艇は一般に商船よりも高速を要求されるので、これに適合するような船体形状を有し、したがって構造も商船とは異なつて来る。それに船体強度に対する要求、戦斗被害に対する抵抗力や運動性能に対する要求等、種々の面で構造はより複雑なものとならざるを得ない。たとえばはりや柱のような部材は隣接部材が破壊された時に加わる余分な荷重にも充分耐える強度を持たなければならないし、艦全体は浸水等を小部分に限定するよう細分された区画を持つ必要がある。しかしながらこの教科書においては基本的な船体構造を主眼として述べ、特殊なものについては今後の研究にまつこととする。

10-2 船殻構造

船殻は船が完全な単位としての機能を発揮するのに必要な機械、居住施設、ぎ装品及び貯蔵区画をもつた、安定に浮ぶ容器でなければならない。又それは充分な強度と耐波性とを有し、かつ抵抗を最少にするために平滑な細長い水線下形状を有するものでなければならないし、復原力を生ずるような形状と、充分な浮力とを有する必要がある。これらを総括した操船上の要求から、あらゆる水上船舶の構造と形状は大体同じようなものになる。

この構造は箱形の桁にたとえることが出来る。この箱のような形状に対する最も重要な修正は両端の舷側と船底とを先細にしたことと、舷弧を与えることである。さらに又水線下形状を平滑にするために船底部を円く彎曲させ、末端に行くにしたがつて下部を狭めたことによつて箱形とは大分異なつてくる。このように真の箱形からは大分かけ離れた左右対称の流線形の水線下形状を有するので、端から端に至る堅固な中心桁材をもつことが必要になつてくる。此の桁材、すなわちキール(Keel)は最も重要な部

HP『海軍砲術学校』公開資料



第10-1図

材である。これに他のあらゆる部材が直接あるいは間接に取付けられる。

次に縦及横の骨組が之に銲接あるいは溶接されて全体の外形を形成し、その上に水密の外皮すなわち外板が取付けられる。この骨組は船の肋骨組織といわれるもので梁(beam)、桁(girder)、鋼板(plate)、棒鋼(bar)、等からなる縦及び横方向の部材である。

肋骨組織の外に、外板は船の総合的強度及び剛性の相当な割合を負担するものである。外板は船底、舷側、及び露天甲板を包み、船全体としての箱形桁を構成する船殻構造の一部をなす。

以上のほか隔壁(bulkhead)が横方向の剛性及び垂直方向の支持を付加することによつて船殻構造は本項冒頭にのべた要求に適合する完全な単位となるのである。

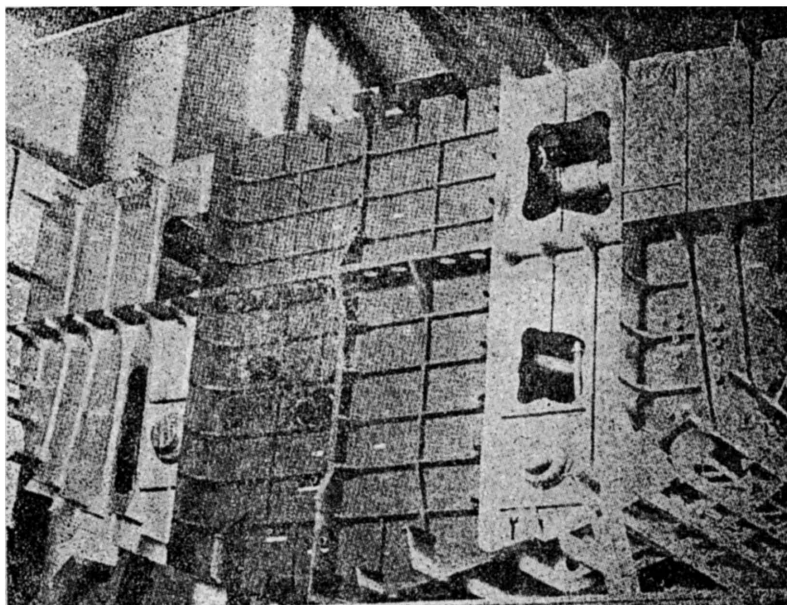
船体強度は均一で連続した構造によつて得られているものであつて、肋骨組織あるいは外板の一部における破損は近接部材に過負荷すなわち応力の集中を生じ、全構造の連続性を破壊するものである。

HP『海軍砲術学校』公開資料

10-3 肋骨組織

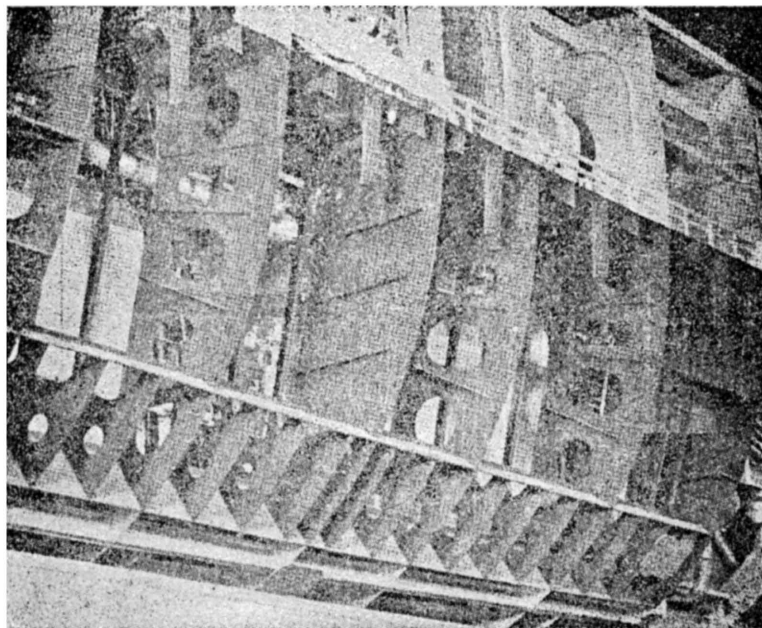
キールに対して横方向に取付けられた部材は肋骨(Frame)と呼ばれるもので、一般にはキールから主甲板まで通じている。このうち船底にあたる部分は肋骨と区別し、肋板(Floor)と呼ばれる。肋板はキールから船底彎曲部まで延びている深肋骨である。このように肋骨と肋板とで船の肋骨組織の横方向の構造の主要部分を形成する。

キールに平行に走り、且つ肋板に直角に交わる縦方向桁材は縦通材(Longitudinals)といわれる。船底は縦通材と肋板とによつて比較的小さい矩形のタンクと空所とに分けられ、一般に2重底を構造する。船底構造はこのように広範囲に船を小分した部分で、大部分の船では船体桁の最も強力なフランジをなしている。縦通材は船底彎曲部の曲いから舷側上部まで規則立つた間隔で並び、船の全長にわたつて走っている。舷側にそつている縦通材は普通、縦材(stringer)と呼ばれ、肋骨より比較的軽く出来ている。



第10-2図

HP『海軍砲術学校』公開資料



第10-3図

船殻の頂部は甲板構造によつて閉鎖されており、甲板には適当な開口が設けられている。甲板肋骨構造の横方向部材は甲板梁(Deckbeam)といわれる。艦艇においては普通重い甲板梁の間に軽い甲板梁が規則正しい間隔で特に甲板の開口や不連続の個所に設けられる。甲板肋材構造の縦方向部材は甲板縦桁(Deckgirder)と呼ばれ、中心部と舷側端近くにおてはできる限り重構造の縦桁が設けられている。

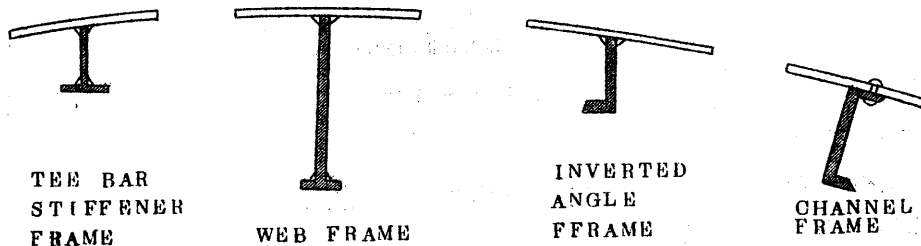
特定の位置には全断面にわたる完全な横隔壁が設置され、かなりの横強度を付加している。肋骨と隔壁との外に横強度材としては特設肋骨(Web frame)と呼ばれる深い組立肋骨が特に最近の船舶には多く用いられている。特設肋骨は防御層タンクの仕切りとして優れた方法となるので戦闘艦艇には最も適したものである。第10-3図は米国駆逐艦における機関室附近の特設肋骨を示すものでこの場合には給水タンクの囲壁を形成し翼艙(Wing tank)の一部である。

普通用いられる肋骨組織には2つの異なつた組織があつて、互に横

HP『海軍砲術学校』公開資料

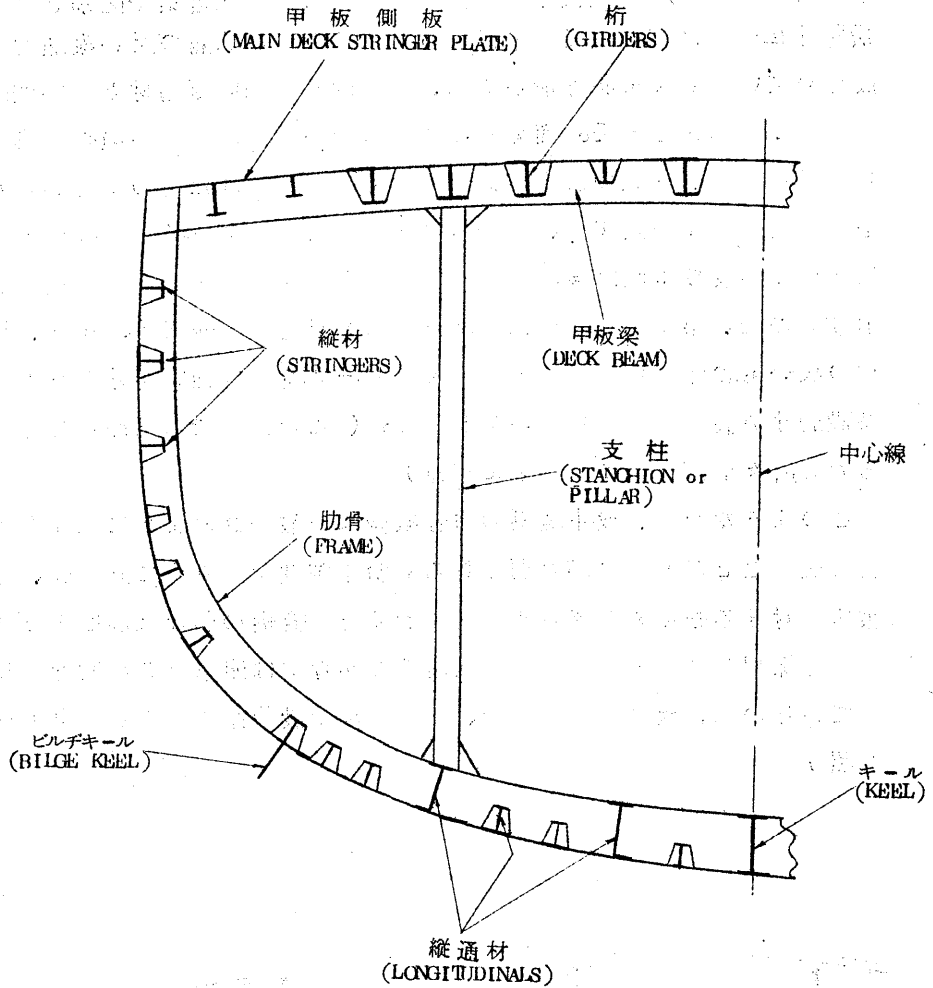
(Transverse) 及び縦 (Longitudinal) という言葉で区別されている。横肋骨構造では狭い間隔で配置された肋骨と広い間隔の深い縦通材とで構成されている。又縦肋骨構造では、狭い間隔の浅い縦通材と広い間隔の特設肋骨とで構成される。商船ではこれらのいずれか一つが純粋な形で用いられているが、新式の水陸艦艇では是等の結合されたものが用いられ、構造の連続性をより大にし、かつ所要強度に対する重量軽減を計っている。第10-2図及び3図は艦艇におけるこれらコンビネーション方式の状況を示すもので、第10-2図では主要横隔壁を貫通する縦通材、縦材、甲板縦材の浅いもの深いものが見える。又第10-3図では軽い肋骨3~4ごとに特設肋骨が設けられているのがわかる。(この模形では内部を見やすくするため所々切開してあることに注意)

このような点で、戦闘艦艇の肋骨組織は一般の船のように明確な名称を付け難いことがあるのが特質である。船体強度をより大に計画し、さらに被害に対する強度の余裕を持たせておくため艦艇の肋骨は商船より強大なものを採用している。たとえば駆逐艦の肋骨では簡単なT型肋骨が用いられているのは、艦首附近だけで、他は全部特設肋骨である。(第10-4図参照)



第10-4図 肋骨

HP『海軍砲術学校』公開資料



第10-5図

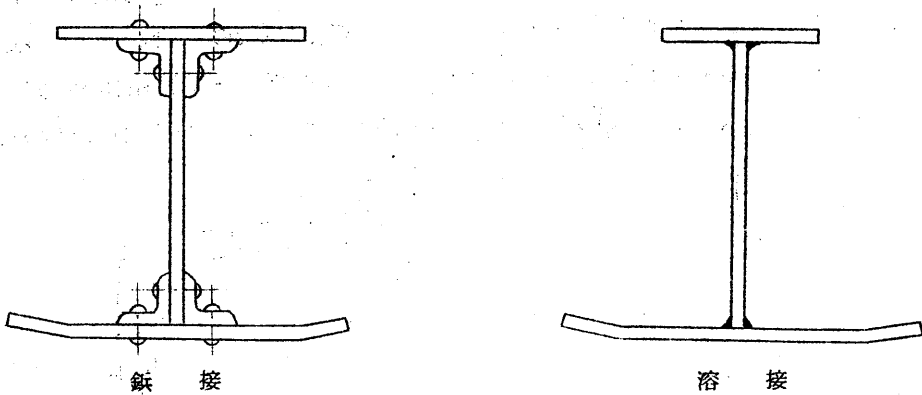
10-4 キールと船底

大ていの鋼船におけるキールは内部堅キール (Inner vertical keel) と外部平板キール (Outer flat keel) とから成る。

内部堅キールは一般に I 型又は T 型に溶接されたものである。第10-6 図は溶接及び古い銲接による代表的なキール構造を示す。

外部平板キールは小形の船では内部堅キールの下部フランジとして作られるが、大形の船では別にその下方に取付けられる。平板キールは堅キールの上下のフランジより幅が広い。一般には必ずしも平ではなく、附近の

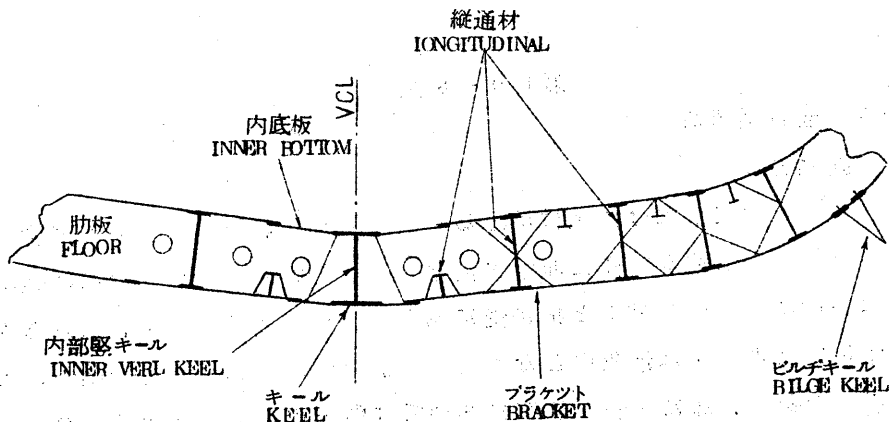
HP『海軍砲術学校』公開資料



第10-6図 キールの構造

船体形状に合せてあるから、船底勾配があるときは折り曲げられる。普通の船底外板よりも厚い材料が用いられているという相異点はあるが、実質的には中央に位置する船底外板である。

多数の肋骨組織が交叉して船底構造ができ、これらの船底区画はタンクが空所となり、又この上に内底板を張つたものがいわゆる二重底構造であつて、船体における最も強度の大きな部分である。

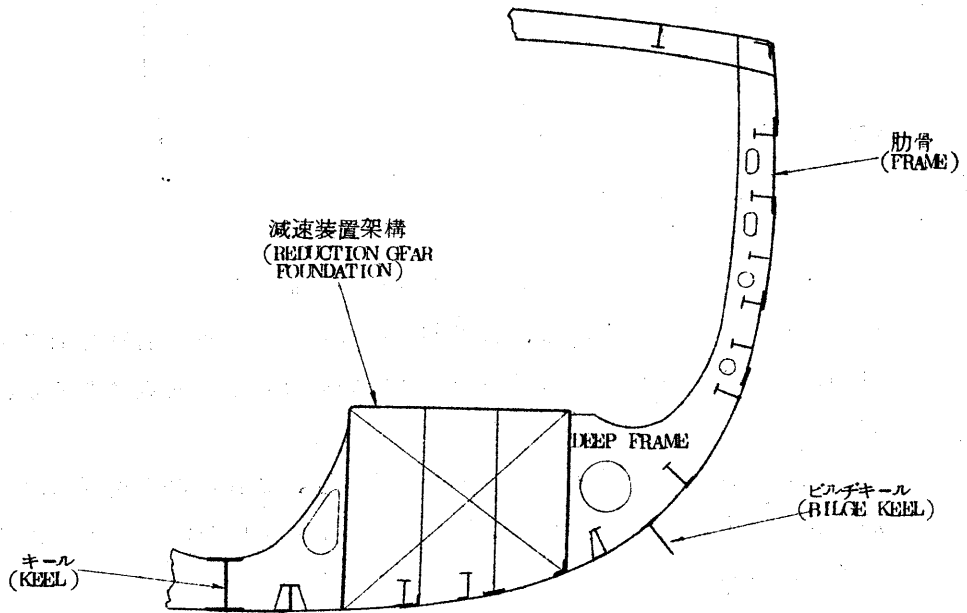


第10-7図

ビルヂキールは船体の動揺を少なくするためのものであるが同時に強度ならびに構造の連続性を付加するものであつて、船底構造を考えるにあつ

HP『海軍砲術学校』公開資料

て看過することのできないものである。ビルヂキールはその取付が全面的に連続した溶接によらないときは別であるが、一般の場合、これは縦通材あるいは普通縦材としての機能を有する。ビルヂキールは船体外部に露出しているため、特に損傷を受けやすいものであることに留意しなければならない。

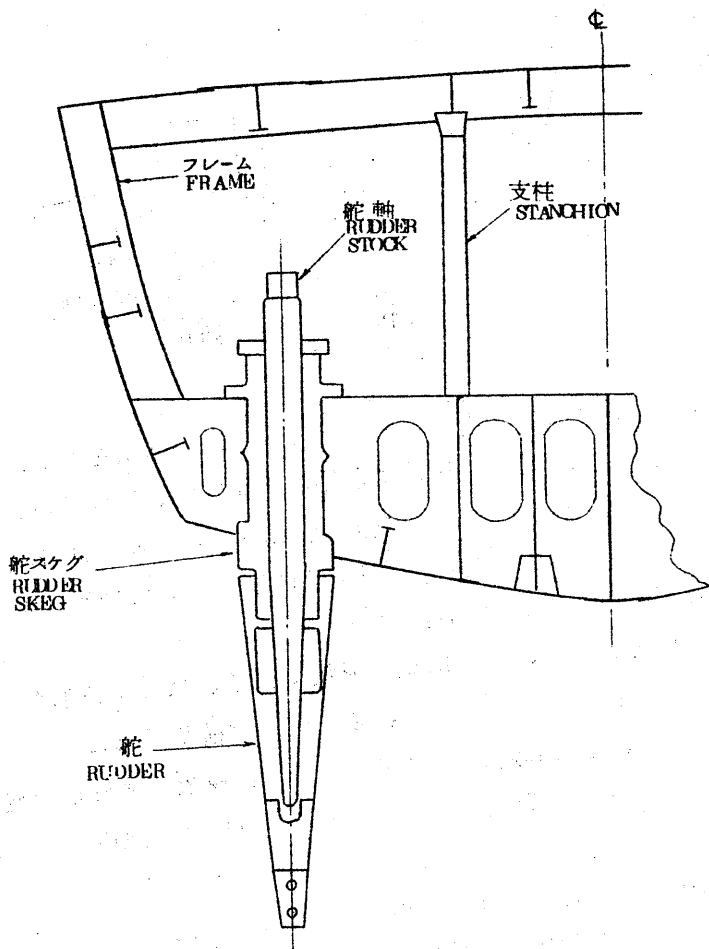


第 1 0 - 8 図

10-5 艦首尾構造

1. 艦尾材

キールの末端には艦尾材がある。艦尾の形式、形状は極めて多様であるためその構造も同様に非常に変化に富んでいる。単螺旋の船の艦尾材は一般にプロペラ軸受と舵軸受に適合した構造とするため、これらを一体にした鋳物又は鍛造物となっている。近代的な巡洋艦形艦尾や、2軸以上の艦艇、殊に双舵の船等にあつては艦尾の構造は一概に定義し難く艦尾材に代つて縦横の深い肋骨組織で構成されている。第10-9図に見られるようにこの構造は舵軸附近では艦尾艦底の全幅にわたっており、舵軸の支持に適合させてある。またこの附近は舵から受ける静的、動的



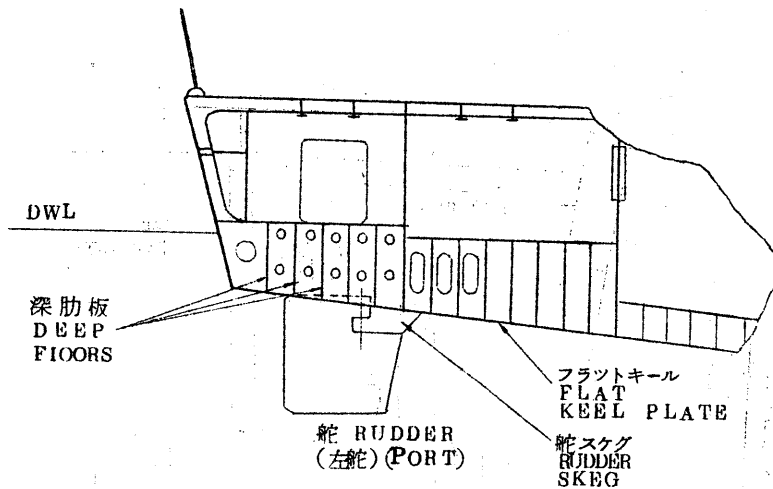
第 1 0 - 9

の荷重に耐えるよう特別堅固に作る。これは艦艇構造の特質であつて、艦艇における高速力と運動性の必要から生じた結果である。高速時における運動性能の維持と、動的荷重に耐えるため、艦尾の形状は幅が広く底が平なことが要求され、この結果垂直に近い舷側と平らなV形の船底となる。

2. 艦首構造

艦首の形状も種々であるが、抵抗に対する要求から大きな船の艦首は

HP『海軍砲術学校』公開資料



第10-10図

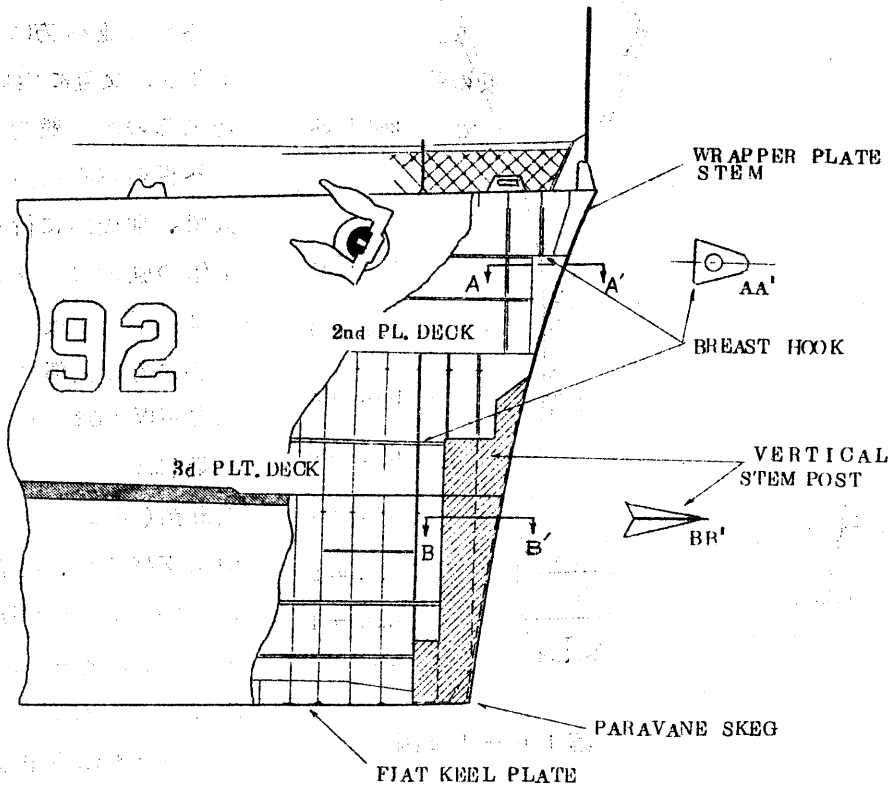
大体似た水線下形状を有する。その外形は下部が球状をなし、水線附近に向つて細くなり、水平から上は又次第に幅が広がっているのが普通である。内部には中心部材として艦首材と呼ばれる厚い材料があり、現代の大形船ではこの部材は艦首の下半部に用いられている。艦首構造のキールから甲板まではほぼ等間隔にプレストフック (breast hook) と呼ばれる水平部材があり、これは艦首形状に応じ、ほぼ3角形をなす厚い材料で作られる。これら各部材と、横隔壁及び横肋骨とによつて艦首構造が組立てられ、これに鑄造又は鍛造あるいは厚板を成形した艦首材が取付けられる。かくして艦首構造はキールと甲板とを連絡する堅固な中心単位となる。

第10-11図は駆逐艦の艦首構造の代表的な1例を示す。この図に見られるようにこの形の船では、下部には縦垂直中心面にそつて平らな板が用いられキールと連絡されている。

巡洋艦以上の大形艦艇では、第10-12図に見られるように前例のような中央の板材はなく数個のプレストフックの大きなものを縦通部材に結合し、大形の球状を形成するのに適合させてある。

このように艦首、艦尾の構造は種々であるが、構造の如何にかかわらず、これらは中心線をなすキールの延長として船体構造における両端部を結合すると共に、之を流線形に仕上げるものである。

HP『海軍砲術学校』公開資料



第10-11図

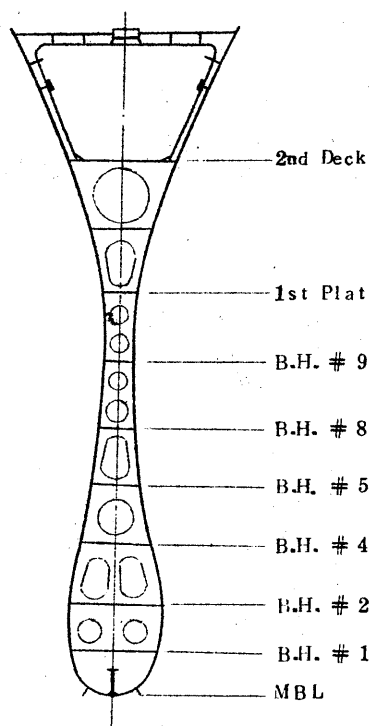
10-6 外板 (Shell plating)

1. 船底と舷側

大形の船における船底外板は外部船底板と内部船底板とからなり、いわゆる二重底と呼ばれる構造になっている。大形艦の内部船底板は、船体桁の箱形フランジ構造を完成するとともに、又水線下防御を増強する内側水密外板という二つの機能を果すものである。さらに大形艦では船底タンクを二重にした三重底構造としたものもある。

船底及び舷側の外板はストレーク (Strake) と呼ばれる前後方向に細長い列をなしている。旧式艦ではこれら外板はもちろん他の構造材もすべて鋸接であつたが、今日はすべて溶接となつた。ただし、龜裂防止の

HP『海軍砲術学校』公開資料



第 10 - 12 図

ため一列あるいはそれ以上銲接を施してある。

外板の並べ方は第10-13図に示すように交互に内側及び外側に張り合わせるのが一般的な方法である。

外板の厚みは船の中央部分が最も大で、前後部に行くにつれて減少し全体の強度のバランスを計っている

2. 甲 板

船体桁の上部フランジを形成する強力甲板 (Strength deck) は主甲板梁 (Main deck beam) 及び主甲板縦桁 (Main deck girder) によつて支持され、前者は肘板 (Bracket) によつて肋骨頂部に結合されている。鋼甲板は舷側外板と同様に縦方に列ぶ。

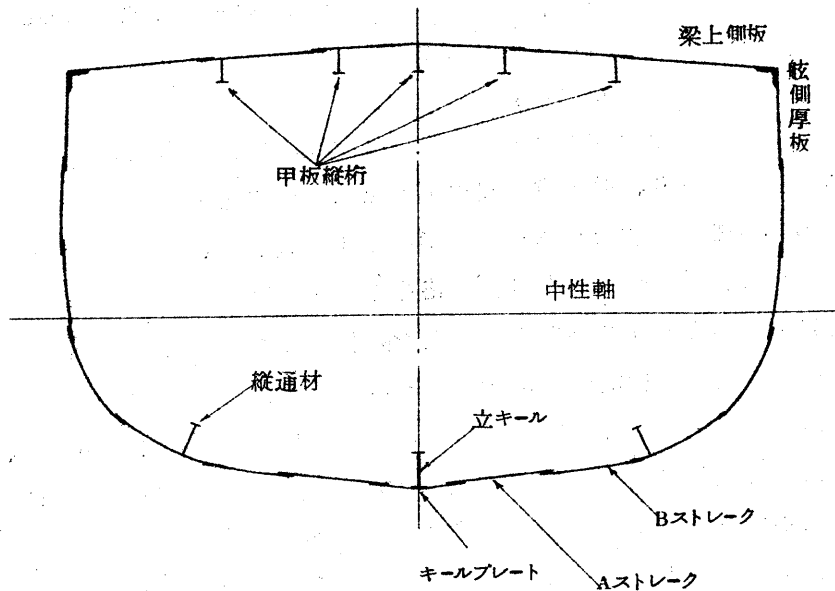
下部甲板は主甲板とほぼ同様の構造であるが、その主目的は各種の作業場、居住区、その他の場所として船を水平に分割することにあるので普通には主甲板よりも軽量に作られている。

強力甲板における最外側の板は他のものよりも厚い板が用いられ梁上側板 (Deck stringer) と呼ばれ、船殻構造における他の縦通材及び縦材と同様の連続した縦通部材となつている。

船体の縦強度に関して、梁上側板の重要性は見落すことができない。すなわち甲板には船底におけるキールのように強力な中心部材となるものがなく、その上煙突やハッチ等の各種の大きさや形状の開口部があつて応力の集中が起るため、舷側と甲板との結合部は強度の連続性を維持する上に重要な部分となる。

甲板の開口はすべて甲板構造部材の連続性を中断するものであり、ハ

HP『海軍砲術学校』公開資料



第 1 0 - 1 3 図

ツチ、煙突、砲塔等の大きな開口は甲板縦材を切断する。したがって開口の周囲の材料は取除かれた材料に代るために補強し、応力の分布が均一になるようにしなければならない。

10-7 強力甲板 (Strength deck)

最上部の連続した甲板は強力甲板と呼ばれ、箱形桁の蓋として之を完全な構造とし、船体構造を連続なものとしている。航空母艦を除く大部分の戦闘艦艇における上部構造物 (Super structure) デッキハウス (Deck house) 等は船の全長にわたるものではなく、又連続していない。これらは大部分が水密区画ではなく、又船の強度にも関与しない部分であるから防御鋼板を必要とする場所のほかは軽い構造を有する。上部構造物等のうち相当長いものでは、Expansion jointを設ける。最近の大形空母では飛行甲板が強力甲板となつているが、その他の空母では格納庫甲板が主甲板である。

HP『海軍砲術学校』公開資料

10-8 隔壁及び垂直支持

大部分の隔壁は次の四つの重要な機能を有する。

1. 船殻構造全体に剛性を与える。
2. 重量及び浮力の垂直方向の力を船殻構造を通じ分散させる。
3. 船の活動力と機能を仕切るのに役立つ。
4. 水密区画を形成する。

第1の機能を果す主なものは主横隔壁で、これらは垂直及び水平方向に補強されており、船の縦方向の捩れと横方向の応力に抗する。それらは総ての構造部材、すなわちそれらが接触する鋼甲板、外板及び縦隔壁にも結合される。隔壁に水平方向の通路や開口を設ける必要がある場合には、甲板におけると同様に強度の連続性を維持するために補強する。これら主横隔壁は上記の4機能の全部を果すものである。

縦隔壁は垂直方向には連続していないのが一般の場合であるが、防御層における液体貯蔵タンク及び空所を設ける目的の側隔壁の場合には船底から水艙の少し上方まで連続して延びている。

船体桁の構造部分をなす隔壁は構造隔壁 (Structural bulkhead) 又は強力隔壁 (Strength bulkhead) と呼ばれる。又仕切りだけの目的のものは非常構造隔壁 (Non-structural bulkhead) と呼ばれる。その他特殊なものに防御隔壁 (Protective bulkhead) 又は防弾隔壁 (Splinter bulkhead) と呼ばれるものがあり、防御組織の一部をなす。

非構造隔壁は一般に軽い構造であつて、ステンレス鋼、アルミニウム、波形鋼板、あるいは金網等も用いられる。これらはその隔壁自体の強度を保つに必要な補強がなされており、一般に一甲板間にだけ限られ、又水密ではない。

甲板梁は舷側で肋骨に結合され、支持されているが、隔壁から離れている場合には垂直方向の支えとして支柱 (Stanchion) が設けられる。支柱とは垂直荷重に対する支持のため最上部の甲板から肋板あるいは肋骨に達する柱をいう。

10-9 船体構造材としての木材

最近まで軍用艦艇の構造材としての木材使用はほとんど全く考えられな

HP『海軍砲術学校』公開資料

くなっていたが、最近に至つて磁気機雷の登場により非磁性船体の必要が生じたためまた木造艦艇が建造されるようになった。このことはまた最近における接着剤の進歩に負うところが大きであつて、これにより、優秀な合板が製造され、また部材の接合に関する新しい技術が開発されたため充分強力な木造船体が作られるに至るた。

木造船体の構造部材はおおむね鋼船構造のそれと同様であつて、キール、ストリンガー、縦通材、肋骨、甲板梁、及び外板等が用いられる。

もちろん構造材料としての木材の特質や、加工技術のため、これら部材の形状や組立方法は鋼材の場合とはかなり異つてゐるが、本質的な相異はない。

HP『海軍砲術学校』公開資料

第11章 船体強度

11-1 概 説

船体強度について論ずる場合、基本的に船体は短形に近い断面を有する中空の梁と考えることかできる。しかし船体の形状は複雑であつて、不連続の部材や種々の開口部があり、さらに荷重の状態も複雑な動的荷重が含まれる等の理由によつて、単一梁の理論かそのまま適用できるものではない。船体強度を計算するにあつては、応力を船体応力と局部応力とに大別する。

1 船体応力 (Hull Girder Stresses)

水上に浮いている船は全体として浮力によつて支持されており、その浮力は水中形状に応じ、船体各部位によつて異なるものである。これらの各浮力の合成されたものが船体に関する上向きの力である。下向きの力は、船体及び各搭載物のそれぞれの重量であつて、これも船体各部位によつて異なるものである。これら上向きの力と下向きの力との差は船という梁の全長にわたつていろいろの荷重となり、船体に対する曲げモーメント及びせん断力を生ずるのである。

船体は縦方向に長いものであるから、横方向の曲げモーメントによつて生ずる応力は縦方向のそれよりも少く、又重要でないことがあきらかである。したかつて一般に船体の縦強度及び局部強度を充分にとるために必要な構造材であれば横方向の屈曲はある限度内に維持することが可能である。

船体の縦強度の計算においては単一梁の理論が基礎となる。船の長さの任意断面に対してこの関係は次の式で示される。

$$f = \frac{M_X \times y}{I_X} \dots\dots\dots (11-1)$$

ここで f = 応力 (圧縮又は引張) (Lbs/in²)

M_X = 任意断面における曲げモーメント (in·Lbs)

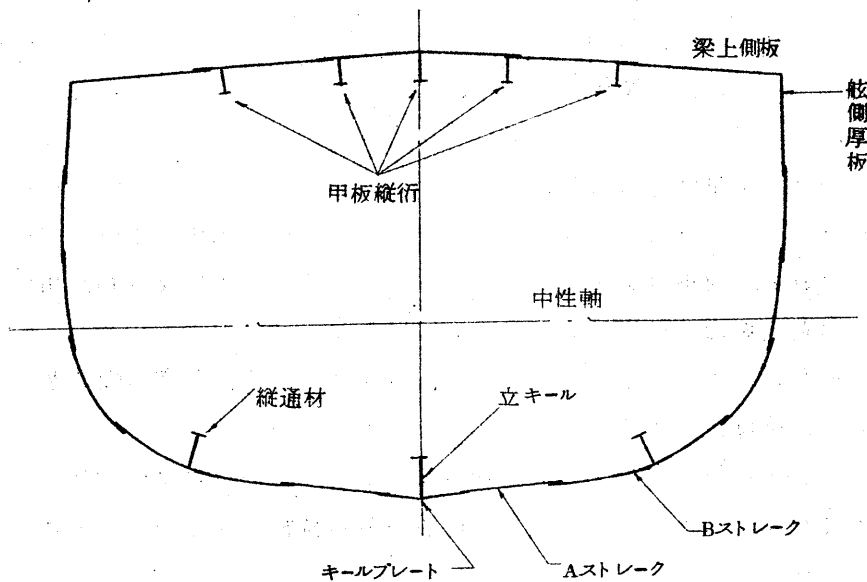
y = 中性軸からの f の距離 (in)

I_X = 中性軸に関する断面の慣性モーメント (in⁴)

任意断面の慣性モーメントの計算に含まれる部材は縦方向に連続したもの

HP『海軍砲術学校』公開資料

でなければならない。第11-1図は駆逐艦における主要な縦強力部材の配置例を示す。



第11-1図

どの断面においても、中性軸から最も遠い部材に最も強い応力を生ずる、すなわち甲板と船底外板とである。 M_x と I_x とは各断面ごとに变化するが、個々の断面については一定である。したがって、 M_x/I_x が最大となる

断面附近（大ていの船では中央横断面附近）において y の最大値が目立つて変化しないと仮定すれば M_x/I_x が最大となる断面の甲板あるいは船底外板における応力が最大となる。第11-1図には示されていないが上部構造物や甲板室が甲板の上に設けられてある。これらは当然甲板や船底に比し中性軸から遠い距離にある。そこでこれら構造物は長さによつてある間隔ごとに伸縮継手（Expansion Joint）を設けて強度的に不連続とし、縦方向の応力を生じない構造としている。

2 局部応力 (Local Stresses)

- (1) 水線下にある船体表面各単位面積はその水深に比例した水圧を受けその垂直分力は内部の骨組を通じ浮力として伝えられ、船の各荷重に対抗

HP『海軍砲術学校』公開資料

する。またその水平分力は互に打消し合つて船の横方向への移動を防ぐが同時に船体をおしつぶそうとする作用を有するので船体骨組はこれに抗しなければならぬし、もしも船体の外皮が破れると浸水を生じ、外皮に作用していた水圧は浸水個所の内部隔壁に加わる。したがつてこれら内部隔壁はその水圧に折して破壊を防ぎ、浸水を局限するに十分な強度がなければならぬ。

- (2) 各物体の重量はその所在に応じて船内のある点に働く。これら荷重は内部構造を通じて下方に伝達され外皮に達し、そこで水圧の垂直分力により支持される。荷重の集中による過度の応力を防ぐために支持物が用いられてその荷重をなるべく広い範囲に分散させる。
- (3) 静的荷重による局部応力に加えて、船体は風、波、発砲の爆風及び反動あるいは砲爆弾のさく裂等の衝撃的な荷重をも受ける。

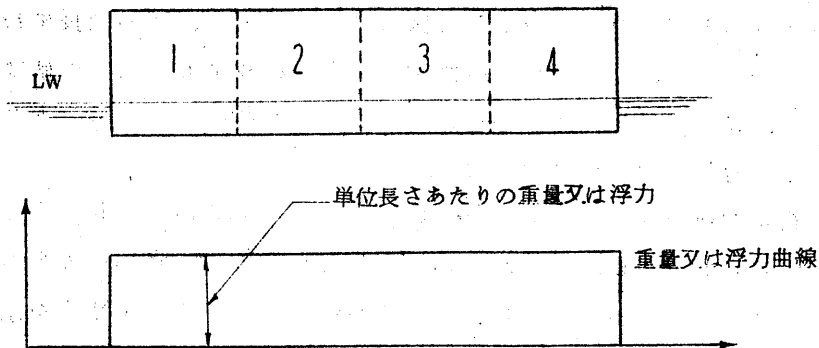
構造材が損傷を受けると、部材の有効横断面の減少によつて残存部材にかかる荷重が増大する。これは又構造の不連続を生ずる結果さらに一層大きな自荷となる。

11-2 縦方向の曲げモーメント及び強度曲線

均一な部質からなる同一横断面を有するある物体が静水中に浮いている場合には、その物体は静的つりあいの状態にあり、等分に分布された重量は等分に分布された浮力と各部分でつりあつているので曲げモーメントは生じない。長い木材等が浮いている状態はこの好例である。しかし、もしもそのある位置に重量が加えられると、重量と浮力との分布状態のつり合いが破られて曲げモーメントが生ずる。ある部分では下向きの重量は上向きの浮力よりも大であるが、一方他の部分では反対となり、全体としての浮力と重量とがつりあつて船は浮いているであろう。

さらにくわしく説明すると、第11-2図に示す箱舟は単位長さについて一定の重量を有し、又重量のない隔壁によつて四つの相等しい区画に区分されているものとする。その甲板上には局部的な集中荷重はなく、舟は図示の水線で浮いている。図示のように単位長さに対する重量と浮力とは一致し、重量曲線の下方の全面積は全重量と相等しく又浮力とも相等しくなければならぬ。何となれば船は静的つりあい状態で浮いているからであ

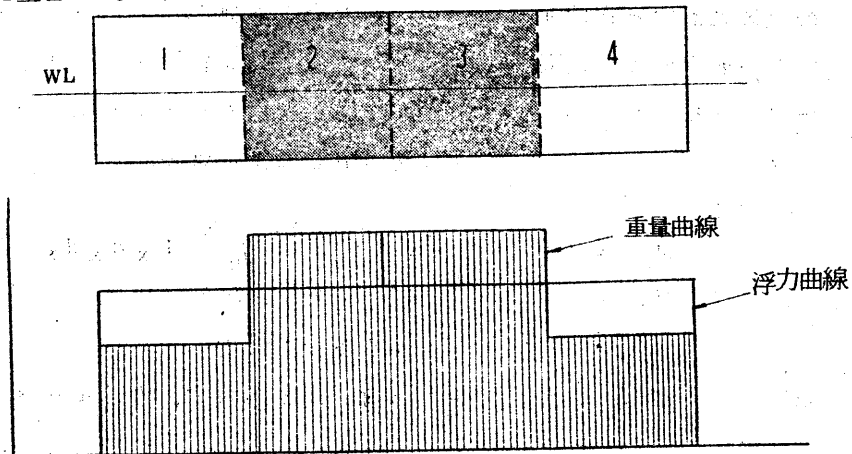
HP『海軍砲術学校』公開資料



第 11 - 2 図

る舟の重量は浮力によつてその全長にわたつて等しくささえられているから、曲げモーメントは存在しない。

次に二つの内部区画、(2と3)が液体のような均質の物体で満たされたとしたならば舟は新たな重量につりあふ排水量となるきつ水まで沈下する。しかしながら付加重量は第11-3図に示すように2と3の区画に集中されており、1と4の区画は以前と変わらない重量を有している。したかつて両端の区画における浮力は、2と3の区画において浮力を超過した重量と等量分だけ重量を超過し、全重量と全浮力とがつり合う。



第 11 - 3 図

HP『海軍砲術学校』公開資料

このような状態にある船は全長にわたる重量と浮力との分布状態の相異によつて曲げモーメントをうける。この負荷状態を各微小長さに対する重量と浮力との差をプロットした図表にあらわせば、舟の全長にわたる重量の曲線がえられる。第11-4図に示す荷重曲線において正の値は下向きの力を、負の値は上向きの力をあらわす。水平軸の上の部分と下の部分との面積は等しくなければならない。

荷重曲線はさらに船の長さの任意点に対する垂直せん断応力の決定に使用される。任意横断面における垂直せん断力はその断面の左側の垂直力の代数和であらわされるから、その任意断面におけるせん断力を求めるにはその断面の左側の荷重曲線の包む面積を合計すればよい。したがつてせん断力曲線は荷重曲線を積分したものであらわされる。長さL上の任意の点Xにおけるせん断力は

$$S_{X_1} = \int_0^{X_1} L_x \, d_x$$

ここで L_x = 任意点における荷重

d_x = 微小部分の長さ

第11-4図であきらかなように最大せん断力は荷重曲線が基線と交わる点にかかることがわかる。また基線の上下におけるせん断力曲線の面積は相等しく、末端におけるせん断力は零となる。

曲げモーメントはせん断力曲線から得ることができる。長さL上の任意の点Xにおける曲げモーメントはその点の左側の力のモーメントの代数和であらわされる。任意の断面に至るせん断力曲線下の面積はその断面のモーメントを表わすから、各断面における曲げモーメントはその断面の左側のせん断力曲線の下方の全面積を合計してえられる。

すなわち

$$M_{X_1} = \int_0^{X_1} S_x \, d_x = \int_0^{X_1} \int_0^{X_1} L_x \, d_x \, d_x$$

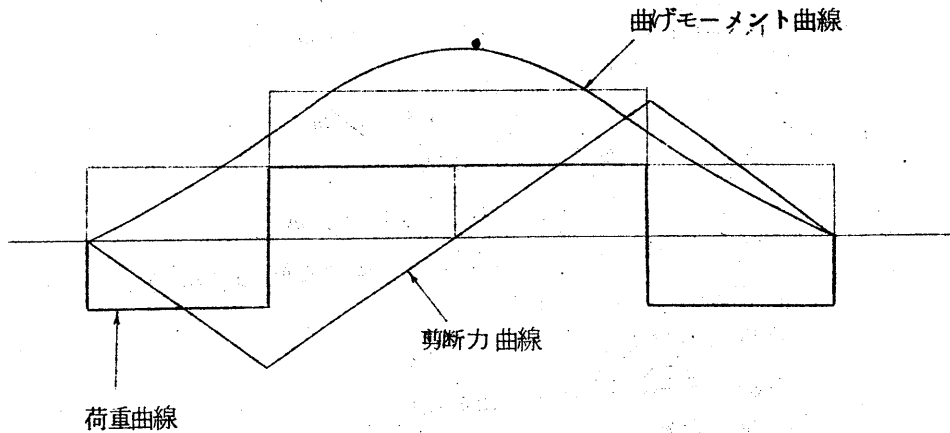
ここで M_{X_1} = X_1 点における曲げモーメント

S_x = 任意の点におけるせん断力

第11-4図は前記箱舟における荷重、せん断力、曲げモーメントの3曲

HP『海軍砲術学校』公開資料

線を示す。



第11-4図 箱舟の強度曲線

11-3 箱舟における強度計算例

長さ30m、幅8m、深さ3mの箱舟が1mのきつ水で清水中に水平に浮いており、第11-2図に示すように三つの横隔壁によつて四つの区画に仕切られている。その中央の2区画の容積の30%が清水で満たされたとする。清水が加えられる前の舟の単位長さあたりの重量は一定であるものとする。

この箱舟の重量、浮力、荷重、せん断及び曲げモーメント曲線を求める。

(1) 舟自体の排水量(W)は

$$W = 30 \times 8 \times 1 = 240 \text{ t}$$

2 中央区画にいられた清水の重量(W)は

$$W = \frac{30}{4} \times 8 \times 3 \times 0.3 \times 2 = 108 \text{ t}$$

3 清水を負荷した後の舟の排水量(W₁)は

$$W_1 = 240 + 108 = 348 \text{ t}$$

4 長さ1mあたりの浮力(b)は

$$b = \frac{348}{30} = 11.6 \text{ t/m}$$

5 空区画の長さ1mあたりの重量(W_E)は

$$W_E = \frac{240}{30} = 8 \text{ t/m}$$

HP『海軍砲術学校』公開資料

- 6 中央区画の長さ1 mあたりの重量(W_L)は

$$W_L = W_E + \frac{108}{15} = 8 + 7.2 = 15.2 \text{ t/m}$$

- 7 空区画における荷重(L_E)は

$$L_E = W_E - b = 8 - 1.6 = 6.4 \text{ t/m}$$

- 8 中央区画における荷重(L_L)は

$$L_L = W_L - b = 15.2 - 1.6 = 13.6 \text{ t/m}$$

- 9 第1隔壁(左端から7.5 m)におけるせん断力(S_1)は

$$S_1 = 3.6 \times 7.5 = 27 \text{ t}$$

第1隔壁における曲げモーメントは

$$M_{x_1} = \frac{27 \times 7.5}{2} = 101.25 \text{ m.t}$$

第2隔壁(左端から15 m)における曲げモーメントは

$$M_{x_2} = M_{x_1} \times 2 = 202.5 \text{ m.t}$$

この例における各曲線は第11-4図に示すものと同一形状である。

11-4 船体強度曲線

1 重量計算

排水量、復原性、その他の目的と同時に強度計算のための重量計算は設計の初期段階において始められる。強度曲線の決定のためには各重量の位置と量とは正確に計算しなければならない。重量計算の一般的な方法は次のとおりである。

(1) 重量群

船の重量は計算に便利なように次のような種類に分類する。

- イ 船 体
- ロ 機 関
- ハ 電 気
- ニ 兵 装
- ホ 運用物件

これらの項目はさらにいく通りかの項目に細分される。

(2) 重量計算

初期の計画段階では重量は類似の既成艦船の資料から概算される。

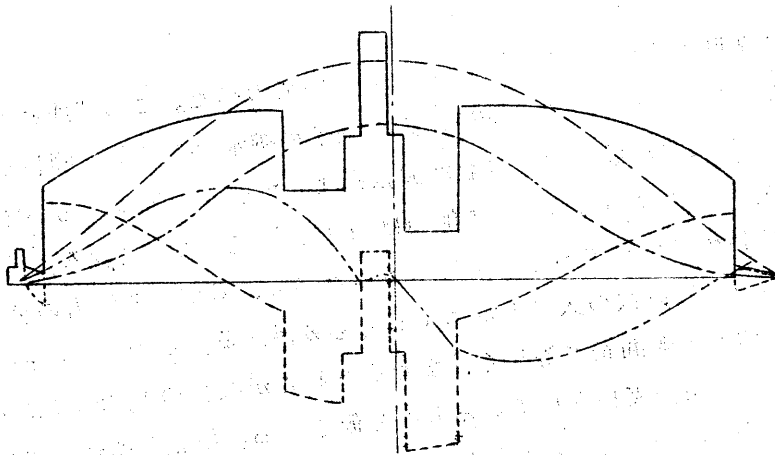
HP『海軍砲術学校』公開資料

さらに進むと重量はもつと具体的に詳細に計算する。種々の機械、器具等はその製造所から得られる資料によつて重量を知ることができる。その他船体等は船の図面により使用する材料の種類と寸法からひとつひとつの部品の重量を計算して求めなければならない。

また建造中は使用する材料や、船に積込む品物のすべてについて重量を実測し、完成時の正確な実測重量を知る資料とする。

船体各部の重量がわかればこれから船の単位長さに対する重量が計算でき、したがつてこれを曲線にあらわした重量曲線がえられる。

——— Weight Per Unit Length At Any point = W_x
 - - - - - Buoyancy Per. Unit Length At Any Point = B_x
 - - - - - Load = $\bar{I}_x = W_x - B_x$
 - - - - - Shearing Force = $S_{x1} = \int_0^{x1} \bar{I}_x dx$
 - - - - - Bending Moment = $M_{x1} = \int_0^{x1} S_x dx$



第 1 1 - 5 図 貨物船の強度曲線

第 1 1 - 5 図にその簡略な 1 例が示されているが、この例からもわかるように重量曲線は極めて不規則で不連続な曲線となる。これは船の重量配分が不均等に集中しているためであろう。

2. 浮力計算

浮力の計算は重量計算よりは比較的容易である。船の単位長さに対する浮力は与えられた水線下の容積から求められ、第 1 1 - 5 図に示すような浮力曲線が得られる。

HP『海軍砲術学校』公開資料

浮力曲線は一般に船体中央附近で最大値を有する連続した曲線となる。

3 荷重、せん断力、及び曲げモーメント曲線

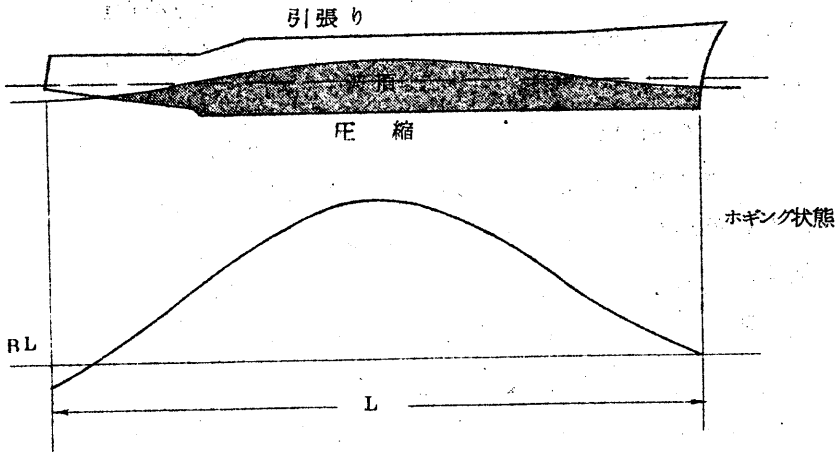
重量と浮力の2曲線が得られたならば、これから荷重曲線が求められる。すなわち、船の長さにおける任意の点の荷重はその点の重量と浮力の差を求めればよい。このようにして荷重曲線が得られる。

次に荷重曲線を積分してせん断力曲線が得られ、またせん断力曲線を積分すれば曲げモーメント曲線が得られる。この原理は前述した箱舟の強度計算と同様である。しかしながら、実際の舟においては船体形状と重量配分が複雑であつて、手数のかかる仕事であり、また強度を解析することも簡単ではない。しかも今までは静水上における状態について考えて来たが、洋上における波の影響を考慮すれば問題はさらに複雑になる。

11-5 洋上における船体

今までの説明は静水中に浮いている船についてのべた。この状態においては船の長さについて浮力の分布は計画水線下の排水容積曲線と同じ形となる。ところが大きな波の中では船は波頂によつて船の中央部あるいは両端で支持される。すなわち船の浮力配分は波頂の位置によつて変る。波中において船体桁に作用する応力をしらべるために、対応する浮力の分布を計算できるように波浪の大きさを定めておく必要がある。このため一般にはその長さが船の垂線間長に等しく、またその高さが波長の $1/20$ であるような波によつて船が支持されているものと仮定する。波頂が船体中央にあつて波の谷が船の両端にある場合と、反対に波頂が船の両端にあつて波の谷が船の中央にある二つの場合が通常船がうける最大応力に近い。

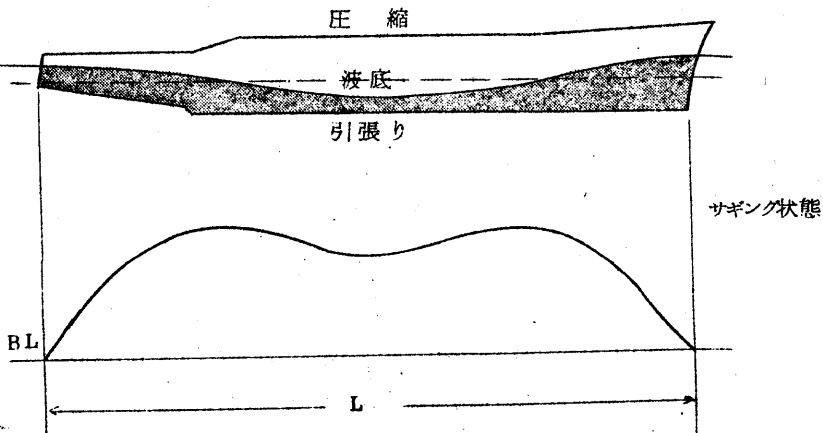
この大きさの波に対する前記2状態の浮力の分布状態の曲線は第11-6図と第11-7図に示される。船首及び船尾が波頂に乗り、船体中央部分が谷にある場合には船体は曲り露天甲板に圧縮力を、また船底外板に引張力を生ずる。このような船はサギング(Sagging)状態にあるという。船がサギング状態から半波長だけ前進して波頂が船体中央になり、船首と船尾が谷にくると、船体は反対に曲り露天甲板に引張力を船底外板に圧縮力を生ずる。このような船はホギング(Hogging)状態にあるといわれる。



第11-6図 ホギング状態における浮力分布

強度曲線は通常数種類の排水量について、各排水量ごとにホギングとサギングの両状態を考慮して若干の排水量に対し表わされる。最も苛酷な状態に遭遇した場合を保証する為に、ホギング状態に対する重量分布曲線は船体中央部の消耗物件が消費された場合を、またサギング状態に対しては両端部の消耗物件が消費された場合をそれぞれ想定して作られる。

第11-1図に類似の、しかしはるかに詳細な構造断面図から、各種断面における断面係数 (Section modulus) (I_x/y) を計算する。各負荷状態



第11-7図 サギング状態における浮力分布

HP『海軍砲術学校』公開資料

に対する各断面における曲げモーメントを知れば、それが許容限度内にあることを保証するために各断面に対する最大応力が(111)式から決定できる。船の縦方向の最大曲げ応力は普通船体中央断面近くの甲板あるいは船底外板に生ずる。

縦方向の曲げ応力に対抗するために船体桁は第11-1図のように上部においては甲板、船側厚板及び甲板桁材で、底部においては船底外板、キール及び縦通材からなり、これらには最大応力がかかる。これらはいわばI型梁のフランジに相当するものであり、中性軸附近の比較的薄い舷側外板はI型梁のウェブのようなものである。

各構造部材のサイズはその部材にかかる応力に比例したものでなければならない。どんな部材でも必要以上に丈夫なものや重いものはさけることが大切である。そうしないと応力が中性軸より強い部材の方向に移動したがつて最末端組織における応力は比例的に増大する。

甲板、船底あるいは舷側における開口により構造の連続性が断たれた場所では、補強材によつて構造の連続性を保持しなければならない。このためハッチ、舷窓、明り取り、煙突等の場合には、普通2重板あるいは補強環を開口の周囲に取付ける。

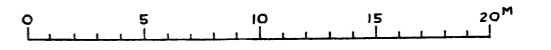
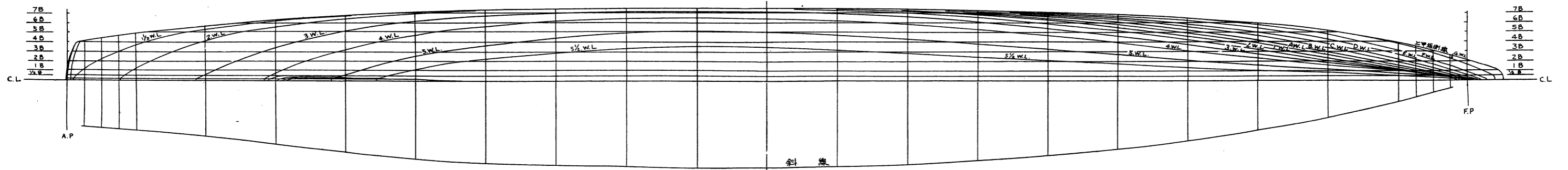
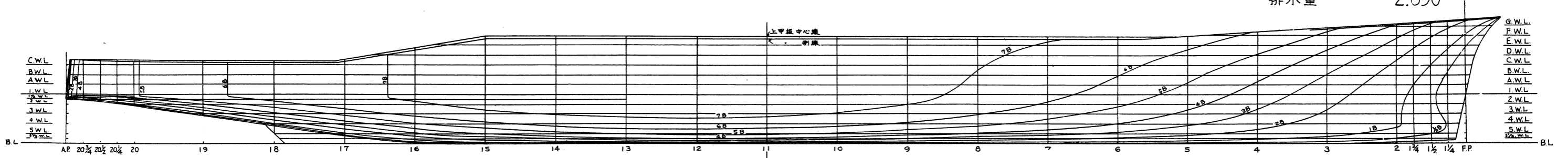
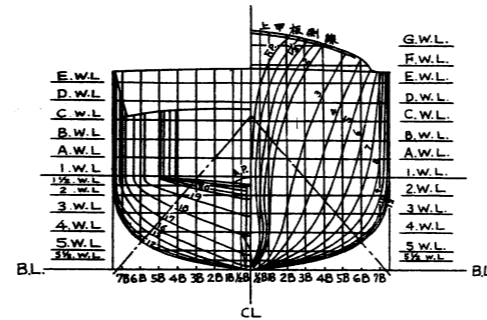
11-6 強度曲線間の関係

すべて強度曲線の間には次の一般的関係が成立する。

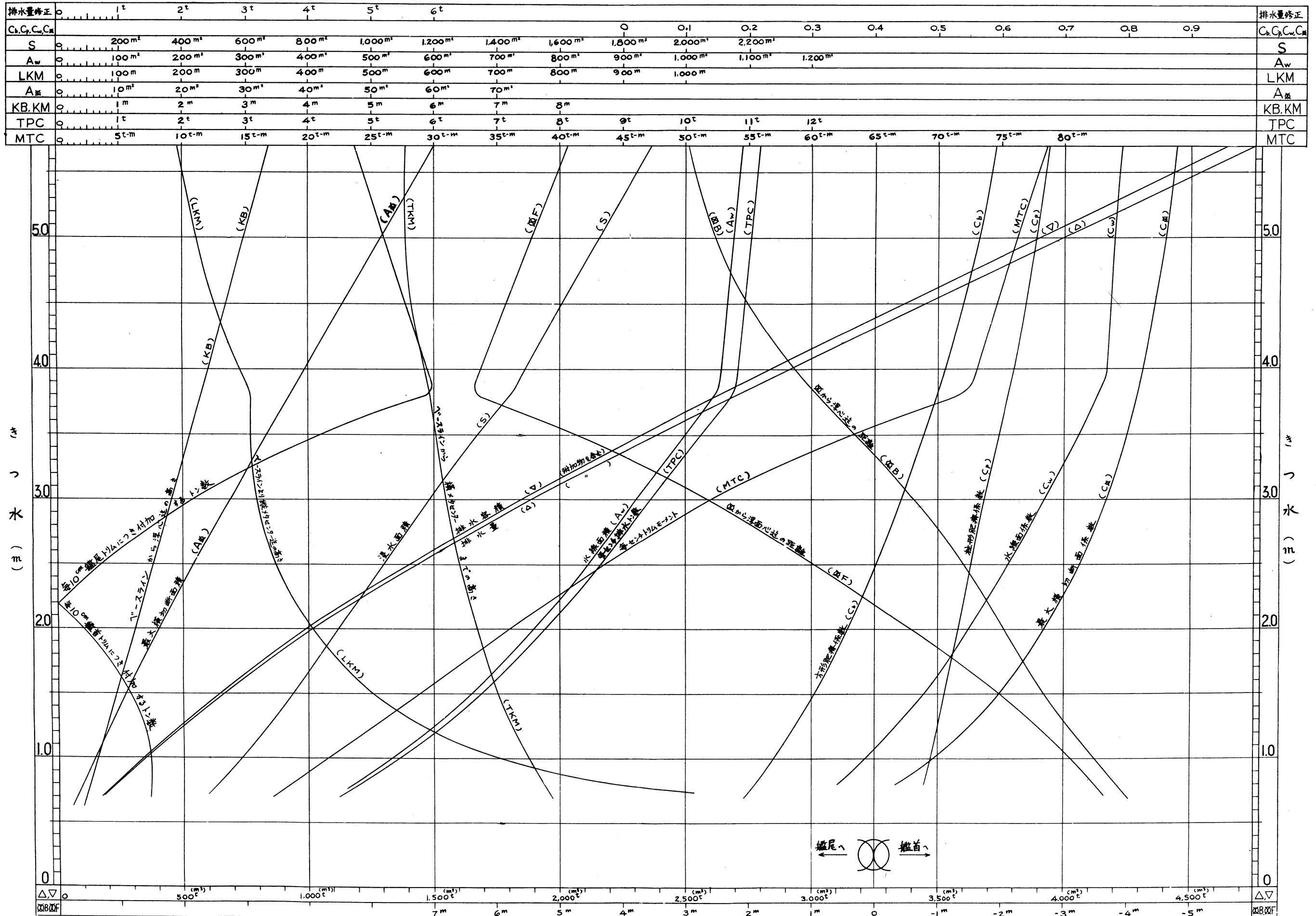
1. 浮力曲線下の面積は重量曲線下の面積に等しい。
2. 重量及び浮力両曲線の図心は同一垂直線上にある。
3. 荷重曲線の正味面積は零に等しい。
4. せん断力の極値は荷重曲線が横座標軸を切る点に存在する。(この場合普通数箇の極大及び極小値があるので最大値ということばは用いない)
5. 最大曲げモーメントはせん断力曲線が横座標軸を切る点に生ずる。
6. 曲げモーメント曲線の変曲点はせん断力曲線の縦座標が極値となる点(荷重曲線が基線と交わる点)に生ずる。
7. せん断力と曲げモーメントの曲線は両端においては零の値を有する。

あきづき型護衛艦線図

全長	118.036 ^M
水線長	115.000 ^M
最大巾	12.000 ^M
水線巾	12.000 ^M
深さ	8.500 ^M
吃水	前部 4.000 ^M
	中部 4.000 ^M
	後部 4.000 ^M
排水量	2.890 ^{KT}

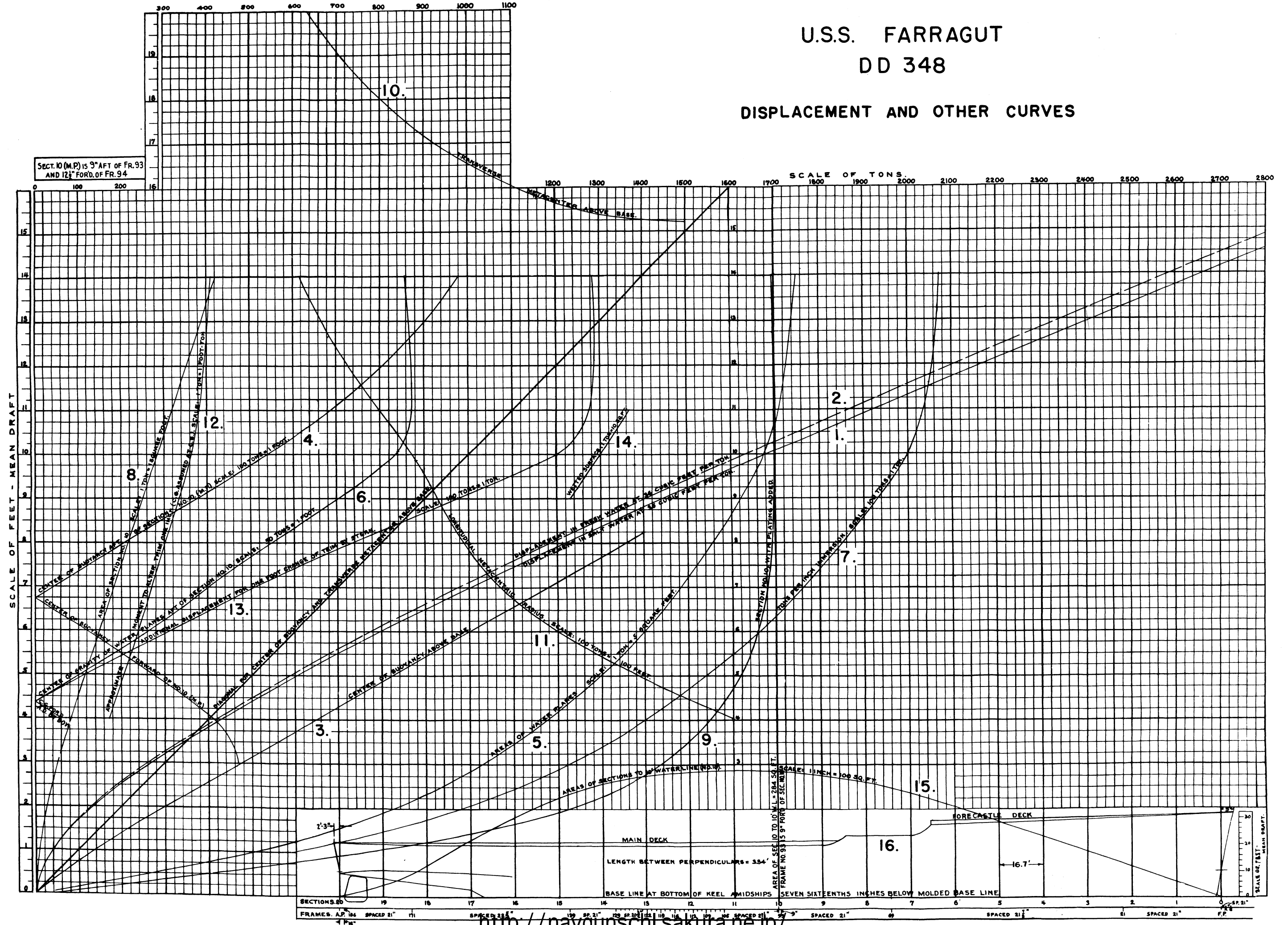


あきづき型護衛艦排水量等測線図



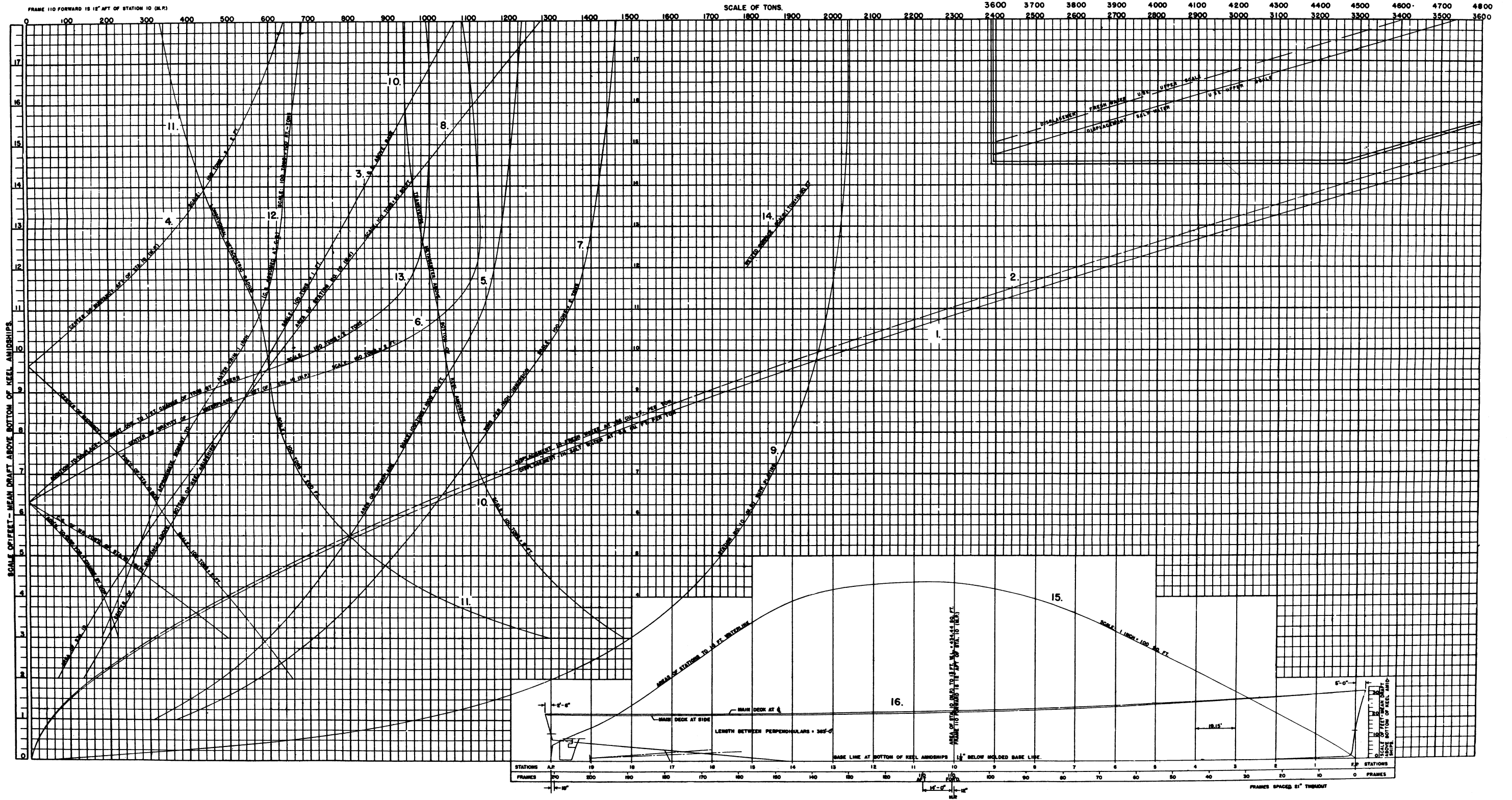
U.S.S. FARRAGUT DD 348

DISPLACEMENT AND OTHER CURVES



第 3-9 図

USS GEARING, DD 710 (DD 692, LONG HULL)
DISPLACEMENT AND OTHER CURVES



HP『海軍砲術学校』公開資料

