(昭和38年5月造船協会春季講演会において講演)

Loading Table の一例とその応用

正員 西 時 男*

Proposed Table for Ship Loading and Application for Ship Design

By Tokio Nishi, *Member*

Summary

It is well-known that caution should be taken in cargo loading to determine the longitudinal strength of ship as well as trim and stability.

The scantling of the midship section of the super ship must comply with the requirement of the classification society. Accordingly, it is desirable that ship's crews arrange the cargo load so that the longitudinal bending stress in still water and also the standard hogging and sagging wave will be less than the allowable stress of the regulatory body.

A simple method or calculation to assume the longitudinal bending stress of the vessel is apparently advantageous to the ship operators and designers.

A loading table in tabular form which is similar to that of current use at present day, is proposed herewith to determine the following necessities for sailing by simply arithmetical calculation without other guidance, curves of form and diagrams.

- (1) Average draft and trim
- (2) Bending factor in still water
- (3) Bending factor in standard waves

The buoyancy moment in still water and waves could be indicated by the linear equations of the conditional displacement for the vessel in service and also by the practical approximate formula or diagram for the vessel in initial design stage.

1 Loading Guidance の意義

周知の如く、船舶の荷役に際してトリムや復原性に注意せねばならないことは、言う迄もないが、船体強度に関してもまた、考慮を払わねばいけない。

とくに大型船では、設計の初期において、船体中央断面の構造寸法を決定する際、船級協会の要求する強度を満足することは、重要な条件であるから、実際の荷役に際しても、平水中または、標準波上における船体縦横強度応力が、船級協会の目標としている応力以下となるような、載貨状態を選ぶことが望ましい。

しかしその都度、船体応力を測定することは、困難であり、また不便であるから、乗組員のために、なるべく簡単な計算によつて、実行しようとする載貨状態が船にどのような影響を与えるかを知る方法があれば、誠に便利である。

この目的のために、従来からいろいろな形式の計算法や判定法が、造船所から乗組員に提供されている。

N. S. Miller 氏⁽¹⁾は、1961 年第一回国際船体構造会議 (ISSC) で、現在船員が使っている曲げモーメントの計算法には、小は Analogue devices から、大は一冊の本になつている Loading diagram 迄あるが、この種の計算法の標準化が望ましく、またこの計算に関して船員の訓練もまた重要である、と述べている。

原稿受付 昭和37年12月22日

* 呉 NBC 造船所

一般的に言つて乗組員の行なう計算は、なるべく簡単なものが歓迎され、複雑な計算や難しい理論は、その内容がいかに勝れていても、船員の実行し易いものでなければ、“Loading guidance manual”としての価値が少ない。また機械的あるいは電氣的⁽²⁾に計算が行なわれるように工夫したものもあるが、価格の点であまり普及していないようである。

2 載貨表 (Loading Table)

Loading guidance manual の最も簡単なものとして、載貨表 (Loading table) が考えられる。

すなわち、一枚の計算表によつて、船体の受ける曲げモーメントを推定する方法で、従来からいろいろな方法が考へられている。

Murray⁽³⁾ は浮力のモーメントを近似公式で計算して、船体中央の曲げモーメントを求めたが、近年、各船級協会が大型船の中央断面抵抗率を規定したのも、曲げモーメントを実船から引用して、公式化したもので、Murray の方法を変形したものと言える。

つぎに A. B. S. では T2 Tanker に対し、曲げモーメントの影響線⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾を考へて、載貨の位置により、曲げの影響係数を求め、これを応用した載貨表⁽⁷⁾を作つた。

また、Keelty⁽⁸⁾ は重量係数 (Weight factor) を船体中央からの距離に比例させ、任意の排水量に対する浮力係数 (Buoyancy factor) をあらかじめ Bonjean curve から計算して表にしておく方法を提案している。

以上の諸表のうち、Murray の方法は一番簡単で理解し易いが、浮力モーメントに近似公式を用いるために、誤差が多く、初期設計には差し支えないが、就航中の船には適当ではない。

影響線を用いる方法は、作製に非常に多くの労力を要し、精度の割合に船員の行なう計算も複雑である。

Keelty の方法は上記二つの方法の短所を補なつて、理論的にも正確で、計算も簡単である。

これから紹介しようとする計算表は、Murray および Keelty の方法の長所を集めて、さらに次のような工夫を施したものである。

- (1) 重量係数は特に計算によつて求めることなく、トリム計算の場合の船体中央からの距離をそのまま使う。
- (2) 浮力のモーメント係数を別の表に準備しないで、表中で計算によつて求める。
- (3) 平均喫水およびトリムも同時に計算できる。
- (4) ホギングおよびサギングの状態だけでなく、平水中の縦強度率も求められる。

第1表はその載貨表の一例で NBC 呉造船所の 10 万瓩タンカーに対するものである。

この計算表の上半部、第1行から第40行までは、従来から多くの造船所で行なわれているトリム計算の表と全く同じで、説明するまでもなく船体中央に関する重量モーメントを計算し、前半および後半の重量モーメントの差をとつて (第43行) 船体重量のトリムモーメントを求める。

つぎに、その計算値を利用して重量モーメントの差をとる代りに、和をとるならば (第44行)、船体を中央で二分し、中央を固定した場合の前半部および後半部の船体中央における重量モーメントの和が得られる。

以上二つの値に、前半部および後半部の浮力モーメントの差および和を、それぞれ加味するならば、船体中央に関するトリムモーメントと、曲げモーメントの和とが得られる。

第1表の下半部、第45行から第57行の間で、排水量を既知として、次の六つの値をそれぞれ排水量 (Δ) の函数として表わしてある。

- (1) 平均喫水

$$(d) = 0.033 \Delta + 2.6 \quad (2.1)$$

- (2) 毎瓩トリム力率

$$(MTI) = 0.042 \Delta + 104.1 \quad (2.2)$$

- (3) トリム モーメント

$$M = \left(0.013 \frac{\Delta}{100} - 38.35 \right) \frac{\Delta}{100} + 3,720 + \text{第43行} \quad (2.3)$$

$$\text{トリム} = M / MTI \quad (2.4)$$

- (4) 静水中の浮力モーメントの和 (M_b)

$$M_b / 100 = -201.4 \frac{\Delta}{100} + 12,750 \quad (2.5)$$

TABLE. I

LOADING TABLE

Line No.	Item	Weight		Longitudinal Moment		Line No.
		L. Tons	100	L.C.G.	Moment	
1	Fore Peak Tank (F.O. or Ballast)			+ 419.	+	1
2	Forward Reserve Bunker Tanks			+ 34.	+	2
3	Main Tank No. 1 Center Cargo			+ 340.	+	3
4	" " " 1 Wing "			+ 18.	+	4
5	" " " 2 Center "			+ 300.	+	5
6	" " " 3 " "			+ 260.	+	6
7	" " " 2 Wing "			+ 240.	+	7
8	" " " 4 Center "			+ 220.	+	8
9	" " " 5 " "			+ 180.	+	9
10	" " " 3 Wing "			+ 160.	+	10
11	" " " 6 Center "			+ 140.	+	11
12	" " " 7 " "			+ 100.	+	12
13	" " " 4 Wing "			+ 80.	+	13
14	" " " 8 Center "			+ 60.	+	14
15	" " " 9 " "			+ 20.	+	15
16	" " " 5 Wing "			+ 20.	+	16
17	Light Ship, Crew & Stores Fore	148.3		-----	+ 31,265.	17
18	-----	-----		Total Pos.	+	18
19	Main Tank No. 5 Wing Cargo			- 20.	-	19
20	" " " 10 Center "			- 20.	-	20
21	" " " 11 " "			- 60.	-	21
22	" " " 6 Wing "			- 80.	-	22
23	" " " 12 Center "			- 100.	-	23
24	" " " 13 " "			- 140.	-	24
25	" " " 7 Wing "			- 160.	-	25
26	" " " 14 Center "			- 180.	-	26
27	" " " 15 " "			- 220.	-	27
28	" " " 8 Wing "			- 234.	-	28
29	" " " 16 Center "			- 255.	-	29
30	Aft Reserve Bunker Tanks			- 287.	-	30
31	Lub. Oil Storage Tanks			- 306.	-	31
32	Distilled Water Tank			- 311.	-	32
33	D.B. Low Tanks F.W.			- 324.	-	33
34	Lub. Oil Gravity Tanks			- 344.	-	34
35	" " Sump "			- 350.	-	35
36	D.B. High Tanks F.W.			- 379.	-	36
37	Aft Bunker Tanks			- 407.	-	37
38	Aft Peak Tank F.W.			- 431.	-	38
39	Culinary Tanks			- 439.	-	39
40	Light Ship, Crew & Stores Aft	170.82		-----	- 39,647.	40
41	-----	-----		Total Neg.	-	41
42	Displacement/100 (Line 1 thru 40)					42
43	Difference of Moment (Line 18 + Line 41)					43
44	Addition of Moment (Line 18 - Line 41)				+	44
				Strength Numerals		
		Draft	M.T.I.	Trim	Still Water Hogging	Sagging
45		0.033	0.042	(+) 0.013	(-) 201.4	(+) 0.01
46	Line 42 x Line 45			(+)	(-)	(-)
47		(+) 2.6	(+) 104.1	(-) 38.35	(+) 12,750	(+) 52.4
48	Line 46 + Line 47			(-)	(-)	(-)
49	Line 42 x Line 48			(-)		
50				(+) 3,720		
51	Line 43					
52	Line 44			(+)		
53	Total (Line 49-51)					
54	Total (Line 49-52)					
55	Line 53					
56	Line 54					
57	Line 48 + Line 56					
				(+) By Bow	(+) Hogging	
				(-) By Stern	(-) Sagging	

$$\text{静水中の縦強度率} = \frac{M_b/100 + (\text{第44行})}{787.39} \quad (2.6)$$

ただし,

$$787.39 = \frac{\text{許容最大曲げモーメント} \times 2}{100 \times 100}$$

(5) ホギングの浮力モーメントの和 (M_H)

$$\frac{M_H}{100} = -193.7 \frac{\Delta}{100} + 54,000 \quad (2.7)$$

ホギングの浮力モーメントによる強度率の増加量 (%)

$$\frac{(2.7) - (2.5)}{787.39} = 0.01 \frac{\Delta}{100} + 52.4 \quad (2.8)$$

(6) サギングの浮力モーメントの和 (M_S)

$$\frac{M_S}{100} = -212.8 \frac{\Delta}{100} - 30,600 \quad (2.9)$$

サギングの浮力モーメントによる強度率の増加量 (%)

$$\frac{(2.9) - (2.5)}{787.39} = -0.0145 \frac{\Delta}{100} - 55.0 \quad (2.10)$$

(2.1), (2.2), (2.3) 式は完成した船の排水量曲線の一部を, また (2.5), (2.7), (2.9) 式は Bonjean curve より計算した数値を, 実用範囲内の喫水で誤差が最小となるように, それぞれ排水量の一次函数, または二次函数として表わしたものである。

この表の場合の最大誤差は, 喫水で約 3mm, MTI で 0.5%, トリムで 10mm, 強度率では 1% 以下となり, 実用上十分な精度である。

なお, 曲げモーメントはそのままでは, 判定の資料として不適當であるから, 従来の例にならつて, 船級協会の許した最大曲げモーメントを 100% とし, 算出された曲げモーメントをその百分率で表わし, それを縦強度率 (Longitudinal bending numeral) と呼ぶ。計算された強度率が 100% 以下であれば, 船体中央の縦強度は許容限内にあることを示し, また強度率が低い程, 安全度が高いと言う目安を与えるから, 船員にも比較的なじみ易い。

最近の AB Rule では, 大型油槽船や鉱石運搬船に対して, “Loading guidance manual” を船長に提供することを要求しているが, ここに提案した載貨表は, その要求を満足するものと思われる。

3 載貨表の初期計画への応用

第1表の載貨表は完成した船が実際に就航した場合の荷役に対して使用するためのものであるが, この表を船の初期計画に応用するならば, 設計初期の段階においてトリムと縦強度の検討ができると同時に, 計画した荷物倉の位置および長さが適當であるかどうか, 調べることができる。

また, 必要に応じてこの表に垂直方向のモーメントや環動半径を加えれば, 初期復原性と動揺周期の検討もできる。

しかし, 計画の初期には, 線図や排水量曲線が無い場合が多く, 従つて浮力のモーメントは軽荷重量のモーメントと共に, 既成船の資料から推定しなければならない。

以下, これらのモーメントの推定について述べる。

3-1 軽荷重量モーメント

従来行なわれている軽荷状態の重量区分は船殻, 艤装, 機関等の船全体に対するものが計算されており, 船体中央で船を前後に分けた場合の各々の重量およびモーメントを計算していない, 従つて, 従来の値はそのままでは曲げモーメントには使えないので次のような操作を加えて, 船体の前後半に分けた場合の重量モーメントを求めることとした。

すなわち,

軽荷重量を……………	W_L
前半部の軽荷重量モーメントを……………	M_{LF}
後半部の軽荷重量モーメントを……………	M_{LA}

とするならば, 軽荷重量のトリム モーメントは

$$W_L \times \text{OG} = M_{LF} \sim M_{LA} \quad (3.1)$$

つぎに、前半モーメント (M_{LF}) と後半モーメント (M_{LA}) との和を次式で表わすならば、

$$W_L \times f \cdot L = M_{LF} + M_{LA} \quad (3.2)$$

(3.1) および (3.2) の二式を加えまたは減することにより、 M_{LF} および M_{LA} を間接的に求めることができる。茲に、 f を曲げ係数 (Bending factor) と呼ぶこととし、大型船ではおおむね第2表のような値をとる。第2表の数値の中で船殻に対するものは、おのおのの造船所で信頼できる資料を整理して使用することが望ましく、船殻以外のものは例え誤差があつても結果にはあまり大きな影響を持たない。

TABLE 2 Light Weight Bending Factor

Items	Tanker	Ore Carrier
Hull	$\frac{1}{100} (24.85 - L/500)$	
Outfitting	0.31 - 0.34	0.26 - 0.29
Machinery	0.37 - 0.39	0.37 - 0.40
Cargo Piping & Pumps	0.19 - 0.22	-
Cargo Gear	-	0.18 - 0.20
Light Weight	0.24 - 0.26	

TABLE 3 Light Weight Moment

Items	Weight	LCG	Moment	f	Moment
Hull	8,623	-0.73	- 6,295	0.2356	2,031.5
Outfitting	777	61.3	47,635	0.325	252.5
Machinery	595	245.7	146,195	0.38	226.1
Cargo Handling	425	108.7	46,195	0.205	87.1
T o t a l	10,420	22.43	233,735	0.2493	2,597.2

$$f = 0.2493$$

$$\text{Length of Ship } L = 645$$

$$M_{LF} + M_{LA} = 10,420 \times 0.2493 \times 645 = 1,675,195$$

$$M_{LF} - M_{LA} = 233,735$$

$$\begin{aligned} * M_{LF} &= \frac{1}{2} (1,908,930) = 954,465 \\ M_{LA} &= \frac{1}{2} (1,441,460) = 720,730 \end{aligned}$$

これらの数値を使つて、軽荷重量モーメントを計算した一例を第3表に示す。

3-2 静水中の浮力モーメント

船の横断面積曲線を n 次の拋物線と仮定し、これを積分して静水中の浮力モーメントを求めることは、昔から多くの人が行なつている。

すなわち、横断面積曲線の方程式を

$$y = 1 - \left[\frac{x}{(1/2)} \right]^n \quad (3.3)$$

として、船の前後半を対称形と考え、この式から船体中央部における静水中の浮力モーメントを求めると、

$$M_b = \frac{1}{4(2-C_p)} \frac{\Delta}{2} L \quad (3.4)$$

となるが、この式で計算した浮力モーメントは実船の数値とはかなり違つた値となり、実用にならない程度の誤

差を生じる。

その主な原因は、喫水の変化によりプリズマチックカーブの前後端は必ずしも F. P. および A. P. に合致しないこと、またその曲線は単純な n 次の拋物線でなくて、変曲点を持った二つの曲線の集合体であると見なされるためであろう。今、(3.3) 式の $1/2$ を a におきかえて、

$$y = 1 - \left(\frac{x}{a} \right)^n \quad (3.5)$$

とするならば、第1図において実線を点線に示す様な曲線におきかえることになり、面積も面積モーメントもいくらか実際に近いものが得られる。この点線で囲まれた図形について計算を進めて見ると、

Fig. 1

$$\text{面積}(A) = \int_0^a \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^n \right] dx = \frac{an}{n+1} = \frac{C_p}{2}$$

$$\therefore n = \frac{C_p}{2a - C_p}$$

y 軸に関する面積モーメント

$$= \int_0^a \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^n \right] x dx$$

$$= a^2 \frac{n}{2(n+2)} = \frac{a^2 \cdot C_p}{2(4a - C_p)} \quad (3.6)$$

a の値を適当に選ぶことにより、浮力（図形の面積）および浮力のモーメント（図形の面積モーメント）を実船のものに近似させることが可能である。

つぎに、船の前後半部について浮力モーメントを求めと、

$$\text{前半部に対し } M_{bf} = b_f \left(\frac{1}{2} + \varepsilon \right) \Delta L$$

$$\text{後半部に対し } M_{ba} = b_a \left(\frac{1}{2} - \varepsilon \right) \Delta L$$

となり、両者の和 (M_b) を

$$M_b = M_{bf} + M_{ba} = b \Delta L$$

とおくならば

$$b = b_f \left(\frac{1}{2} + \varepsilon \right) + b_a \left(\frac{1}{2} - \varepsilon \right) = \frac{b_f + b_a}{2} + \varepsilon (b_f - b_a)$$

となり、実船の場合 $\varepsilon \approx 0.01 \sim 0.03$, $\frac{b_f - b_a}{b} = 0.03 \sim 0.12$ 程度であるから、 $b \approx \frac{1}{2} (b_f + b_a)$ とおいて差し支えない。

$$\therefore b = \frac{M_b}{\Delta L} = \frac{2}{C_p} \frac{a^2 C_p}{2(4a - C_p)} = \frac{a^2}{4a - C_p} \quad (3.7)$$

今、任意の C_p に対する a の値を第4表のようにとり、(3.7) 式の b の値を計算して図表にしたものが第2図で、これに Plot した点は当社建造の大型船 15 隻の実例である。第2図の曲線の実船の Data に対する誤差は Bending Numeral で 2% 以下となるから、初期設計用に使用しても差し支えないと思われる。

TABLE 4

d/L	C_p	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
0.06	a	0.4600	0.4606	0.4625	0.4655	0.4705	0.4775	0.4865	0.4955
	$\frac{a^2}{4a - C_p}$	0.1579	0.1642	0.1711	0.1788	0.1873	0.1967	0.2065	0.2169
0.03	a	0.4280	0.4355	0.4425	0.4502	0.4585	0.4675	0.4778	0.4890
	$\frac{a^2}{4a - C_p}$	0.1511	0.1591	0.1673	0.1761	0.1854	0.1951	0.2054	0.2164
$\frac{1}{4(2 - C_p)}$		0.1667	0.1724	0.1786	0.1852	0.1923	0.2000	0.2083	0.2173

Fig.2 Still Water Buoyancy Moment $M_b = b \cdot \Delta L$

また、極めて初潮の段階で C_b のみが与えられるときは、

$$C_p = 0.9(C_b + 0.1) \pm 0.003$$

により C_p を求めれば良い。

3-3 標準波上の浮力モーメント

波長が船の長さに等しく、波高が船の長さの $\frac{1}{20}$ に等しい、いわゆる“標準波”の波頭および波底に船の中央部をおいたときの静的浮力モーメントは、船の肥瘠係数の外に平行部の長さ、フレアーの程度、シャアの量、船楼の状況、等各種の条件が関連して、これを理論的に且正確に求めることはむずかしい。

第3図は船の半分をとり、静水中および標準波（サグ）上における横断面積曲線を表わしたもので、両曲線の差が波に乗ったための影響である。

いま、船体中央部より静水中の浮力中心までの距離を bL とし、波に乗った場合を cL とし、静水中の場合と同様に船体前後半部の b および c の平均値を以て前後半部の和を表わすものとするならば、波による浮力モーメントの変化量 (M_w) は、

Fig. 3

$$M_w = \frac{1}{2} (c \sim b) \Delta L$$

$$= \int_0^a (y_0 - y_s) x dx \quad (3.8)$$

ここに

$$y_0 = A_{\infty 0} \left[1 - \left(\frac{x}{a_0} \right)^n \right] \quad (3.9)$$

$$y_s = A_{\infty x} \left[1 - \left(\frac{x}{a_s} \right)^n \right] \quad (3.10)$$

a_0 および a_s の値は第4表の値を用い、波に乗った場合の中央部における喫水は、

箱型船では $d_{s\infty} = d_0 - 0.023 L$

大型船では

$$(\text{サギング}) \quad d_{s\infty} = d_0 - 0.025 C_p L \quad (3.11)$$

$$(\text{ホギング}) \quad d_{H\infty} = d_0 + 0.0285 C_p L \quad (3.12)$$

任意の喫水に対する C_p の値は、実船の Data より $\frac{d}{L} = 0.06$ における C_p の値がそれぞれ 0.75, 0.80, 0.85 となるような第5表の値を採用して、中間の値は内挿法により求める。

TABLE 5

d/L		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
Cp.	Ship A	0.676	0.700	0.717	0.728	0.739	0.750	0.761	0.773
	B	0.718	0.742	0.759	0.774	0.787	0.800	0.813	0.826
	C	0.783	0.805	0.819	0.829	0.840	0.850	0.860	0.871

Fig.4 Wave Buoyancy Moment

Fig. 6 Wave Buoyancy Moment (M_{bu}) "Sagging"

Fig. 5 Wave Buoyancy Moment (M_{bu}) "Hogging"

以上のように仮定して、ある船の静水中における喫水 d_0 および C_p が与えられるならば (3.11), (3.12) 式および第5表より a の値を求め、その値を (3.9) および (3.10) 式に代入して、静水中および波上における排水量は変わらないと言う条件を満足しながら (3.8) 式の近似積分を行なうならば、波による浮力モーメントを求めることができる。第4図はその計算結果からホギングの場合の浮力係数 $(b-c)$ 、およびサギングの場合の浮力係数の値を表示したもので、曲線の傾向を知るために実船4隻の Data と $C_p=1$ の箱型船の値を加えたものである。

なお、大型船の初期設計用として、 $C_p=0.74\sim 0.84$ の間を拡大して大型船15隻の Data を Plot したものが、第5および第6図で第2図と共に次式により船体前後半部の浮力モーメントの和を推算することができる。

$$M_{\text{still}} = b \times \Delta L \quad (3.13)$$

$$M_{\text{Hog}} = M_{\text{still}} - (b-c)\Delta L \quad (3.14)$$

$$M_{\text{sag}} = M_{\text{still}} + (c-b)\Delta L \quad (3.15)$$

実際の計算では静水中の縦強度率を求めた後は載貨表の場合の (2.8) および (2.10) 式と同じようにモーメントの増減をとる代りに、強度率の増減をとるようにした方が便利であろう。

4 適当な貨物倉の長さ

Aft engine の油槽船や鉱石船で、縦強度が特に強調されるのは、満載状態でかなり大きいサギング モーメントが働く場合である。

これを緩和するために、中央部附近に貨物を積まないようにするか、または空所を設けて、貨物重量をなるべく前後部に積むようにし、一方、設計の初期においても、貨物倉は満載状態で船首トリムにならない限り、なるべく長く、大きくする。換言すれば、貨物倉容積は載貨重量を満足するに必要な量さえあれば良いと言うものではなく、満載状態におけるサギング モーメントを小さくするためには、貨物倉容積の余裕は大きい程良いと云うことは周知の通りである。しかし、必要以上に貨物倉を長くして、不良な積荷をすると、かえつてホギングモーメントの方が大きくなる可能性が生じてくる。従つて、その間に適当な貨物倉の長さが存在する筈である。

いま、満載状態における

静水中の浮力モーメントを..... $\bar{M}$

ホギングの浮力モーメントを..... $\bar{\bar{M}}$

サギングの浮力モーメントを..... $\bar{\bar{\bar{M}}}$

とすると、

$$\bar{\bar{\bar{M}}} > \bar{\bar{M}} > \bar{M} \quad (4.1)$$

船が平水中から波の中にはいると、サギングでは浮力モーメントは $\bar{\bar{\bar{M}}} - \bar{M}$ だけ増加し、またホギングでは $\bar{\bar{M}} - \bar{M}$ だけ減少する。そこでホギングおよびサギングのとき、船の受ける最大曲げモーメントの絶対値を等しくするためには、重量モーメント (M_w) を $\bar{\bar{\bar{M}}}$ と $\bar{\bar{M}}$ の平均値にしておけば良い。すなわち、

$$M_w = \frac{\bar{\bar{\bar{M}}} + \bar{\bar{M}}}{2} \quad (4.2)$$

とすることが望ましい。このときの静水中の船が受ける曲げモーメントは

$$M_{\text{still}} = \bar{M} - \frac{\bar{\bar{\bar{M}}} + \bar{\bar{M}}}{2} \quad (4.3)$$

一般の船では、

$$\bar{\bar{\bar{M}}} - \bar{M} > \bar{\bar{M}} - \bar{M} \quad (4.4)$$

であるから、

$$\frac{\bar{\bar{\bar{M}}} + \bar{\bar{M}}}{2} > \bar{M} \quad (4.5)$$

このことは静水中で船は多少ホギング モーメントを受けるようにした方が良いと示す。

いま、貨物倉の長さを..... aL

前半部貨物倉の長さを..... fL

後半部貨物倉の長さを..... aL

空倉の長さを..... $v\alpha L$

空倉の中央より窓までの距離を..... gL

貨物重量を..... W_c

貨物重量モーメント $M_c = m W_c L$

とし、貨物倉の間の肥瘠度を無視すれば、

$$\text{前半部貨物重量} = \frac{f - \alpha v}{\alpha - \alpha v} W_c$$

$$\text{後半部貨物重量} = \frac{a}{\alpha - \alpha v} W_c$$

Fig. 7

貨物重量モーメントは、

$$m W_c L = \left[\frac{f^2}{2\alpha(1-v)} - \frac{\alpha v g}{\alpha(1-v)} + \frac{a^2}{2\alpha(1-v)} \right] W_c L$$

$$\therefore m = \frac{(\alpha - a)^2 - 2\alpha v g + a^2}{2\alpha(1-v)}$$

$$\alpha^2 - 2\alpha[a + m(1-v) + v g] + 2a^2 = 0$$

$a + m(1-v)$ に比べ vg の値は非常に小さいのでこれを省略し

$$\alpha^2 - 2\alpha[a + m(1-v)] + 2a^2 = 0 \quad (4.5)$$

つぎに、最大許容曲げモーメントを..... M_{100}

軽荷重量モーメントを..... M_L

とすると、サギングの時の曲げモーメントを最大許容曲げモーメントまで許す場合の貨物重量モーメントは、

$$M_{100} = \check{M} - (M_L + M_c)$$

$$\therefore M_c = m_1 W_c L = \check{M} - M_L - M_{100}$$

$$\therefore m_1 = \frac{\check{M} - M_L - M_{100}}{W_c L} \quad (4.6)$$

また、(4.2) 式を満足すること、すなわちサギング強度率とホギング強度率とを等しくするためには、

$$(M_c + M_L) - \widehat{M} = \widehat{M} - (M_c + M_L)$$

$$M_c = \frac{\check{M} + \widehat{M}}{2} - M_L = m_2 W_c L$$

$$\therefore m_2 = \frac{\check{M} + \widehat{M} - 2M_L}{2W_c L} \quad (4.7)$$

(4.6) 式の m_1 および (4.7) 式の m_2 の値を ABS 船級の大型船の資料から計算すると、大略、次のような値をとる。

$$m_1 = 0.44 C_b - 0.185 \quad (4.8)$$

$$m_2 = 0.33 C_b - 0.067 \quad (4.9)$$

これらの式の m_1 および m_2 の誤差範囲は ± 0.004 以下で、貨物重量モーメントの約 2% に相当する。

(4.5) 式と (4.8) および (4.9) 式とより貨物容積の余裕 (v) に対し、機関室および船尾水倉の長さを $0.16 \sim 0.22 L$ とすれば、 $a = 0.28 \sim 0.34 L$ となり、この範囲内で必要な貨物倉の長さ αL を計算してみると、第 8 図のようになり、この図の実線が縦強度上許される貨物倉の最小長さを示し、計画した船の貨物倉長さはこの線の上になければならない。また、点線はサギング強度率がホギング強度率に等しくなるような貨物配置が可能な線を意味し、設計した船の貨物倉の長さがこの点線より上方に位置すれば、縦強度上はなんら問題が起きない

第 8 図はこのように利用すれば、初期の段階で貨物倉の長さを検討するのに有効であろう。

5 結 言

最近、大型船に対しては、波の高さを船の長さの $1/20$ にとることは実状に即さないで、波高を低くとることが提案されている。このような場合には、ここに述べた浮力モーメントの近似的方法是適用できない。

しかし、資料整理上のみから言うと、船の長さによつて波高を変えることは望ましくなく、この種の計算は飽くまで比較的なものであるから、できれば、波高は $1/20$ 長に一定して、許容応力をその割合に大きくとるよ

Fig.8 Required Length of Cargo Space from the Stand Point of Longitudinal Strength

うにする方が望ましい。

また、船の縦曲げモーメントは必ずしも中央部が最大ではないこと、曲げモーメントの外に剪断力も無視できないこと、かなり大きくトリムした場合の浮力モーメントの変化等も研究され Tabular Form で計算できるようになれば便利であろう。

終りに本論文に対して種々指導をうけた九大名誉教授渡辺恵弘先生に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) N.S. Miller : "Still Water Bending Moments and Shearing Force"
- (2) クルト, レンナルト, スウェンソン : 昭和 33 年特許出願公告第 5929 号「船内における貨物の分布状況を算定する装置」
- (3) Murray J.M : "Longitudinal Bending Moment" TIES 1946~1947
- (4) Mandelli A : "Simple Calculation of Longitudinal Bending Moment" TIES 1956
- (5) 真藤恒 : 「大型船の建造に関する諸問題」1959
- (6) L.W. Ferris : "The effect of an added weight on Longitudinal Strength" 1940 NAME
- (7) ABS 1953 : "Guidance Manual for Loading T2 Tanker"
- (8) J. Keelty : "A simple Strength Numeral Table for Cargo Ship" 1960 SMEB