(昭和 52 年 5 月 日本造船学会春季講演会において講演)

船体縦強度解析における荷重の確率変数 としての特性 (第 1 報)

——波浪荷重に与える重量分布の影響——

正員 真 能 創* 正員 河 辺 寛*

Statistical Character of the Demand on Longitudinal Strength (First Report)

——Effect of Change of Loading on Wave Load——

by Hajimu Mano, *Member* Hiroshi Kawabe, *Member*

Summary

Recently, a trend toward the safety analysis of ship structural design in which both the load on hull and the structural capability can in principle be treated as random variables, has been growing. The character of the strength capability as random variable taking the irregularity and variability of material strength and imperfection of workmanship into consideration, has been investigating. The stochastic nature of critical load assuming standard loading condition is studied by means of extreme theory.

The still water bending moment of a actual ship has a wide distribution. This has effects on the wave load. Moreover, the distribution is affected by accuracies of supposed wave and operating condition. So it is expected that the character of demand is not equal to that of conventional one.

Authors deals with study on the characteristic of the critical load. This paper is the first report and describes the long term distribution, expected extreme and distribution of critical value of wave bending moment under the influence of the variability of still water bending moment.

Supposing the distribution of still water bending moment is the normal distribution, the long term distribution of wave bending moment is a group of many exponential distributions, the distribution of parameters of which are described by normal distribution. This long term distribution for a usual ship can be approximated to Weibull distribution and its parameters are linear to coefficient of variation of λ .

By the investigation of a series of similar cargo ships it is clarified that the coefficient of variation of λ is usually less than 4% and the characteristic extreme of wave load increases about 4% in comparison with the value assuming standard loading. It may be concluded that the long term distribution for these ships is approximated by exponential distribution the parameter of which is the mean value of λ .

In usual the distribution of still water bending moment is expected to be more complicated. So the character of critical value of the wave load when the parameters showing distribution of still water bending moment are also stochastic variables, is shown. In this case, coefficient of variation of critical wave load increases with the variability of that parameters.

1 緒 言

現在、船体強度の解析において、それに働く荷重および構造強度は、ある分布をもつ確率変数であるという認識のもとに、その安全性に確率の概念を導入して検討しようという方法がとられはじめている¹⁾。

船体の強度のバラツキについては、材料強度のバラツ

キ、工作精度などの影響を考慮して、その確率変数としての特性を研究したものが発表されつつある。しかし、荷重に対しては、標準となる積付状態を想定し、その状態での静水荷重と長期分布における波浪荷重を用い、荷重の最大値の変動は波浪荷重の極値分布の範囲とすることが多い。

しかし、実船に働く荷重を考えると、船の積付状態は常に変化し、それに対応して静水荷重、波浪荷重は

* 防衛大学校

ともに変化する。さらに波浪荷重の長期分布に影響を与えるものとして、想定海象、想定波スペクトル、航行条件などがあげられるが、これらの諸要素の推定精度に応じて、荷重がどのような確率変数としての性質を有するかについては、精確には研究されていない。

筆者らは、縦強度解析における荷重の確率変数としての性質の解明を目的として研究を続けてきた。本論文はその第1報であって、静水曲げモーメントの変化が波浪曲げモーメントの長期分布、その特性極値、および最大値の分布にどのように影響をするかについての研究した結果について述べる。

2 縦強度解析における荷重の性質

2.1 荷重*の最大値

船体の縦強度を解析する場合、従来は次式で示す荷重 M を最大値とみなしている。

$$M = M_{s0} + M_{w0} \quad (1)$$

ここに、 M_{s0} ：静水曲げモーメント（または静水応力）

M_{w0} ：波浪曲げモーメント（または波浪応力）
の特性極値

上式において、 M_{s0} 、 M_{w0} はいずれも標準となる積付状態における値であり、実際に働く最大値とは異なる。

いうまでもなく、実際の船においては静水曲げモーメント M_s は載貨状態によって相当大幅に変化するものであり、これは確率変数として取扱われるべきものである。

一方、波浪曲げモーメント M_w は一定の分布に従う確率変数であり、特性極値 (Characteristic extreme) は波浪曲げモーメントの負荷回数を N とすると、超過確率 $Q(M_w)$ が $1/N$ になる値であって、これは分布形が与えられるなら一定値となる。しかし、波浪曲げモーメントが N 回負荷されたときの最大値は、いわゆる極値分布に従ったバラツキを示すものであり、特性極値のような一定値ではない。したがって、波浪荷重の最大値というものも確率変数として取扱わねばならない。

したがって、それらの和となる全荷重の最大値も当然あるバラツキを有する確率変数とみなさねばならない。

2.2 波浪荷重の長期分布

船の排水量に変化しない場合、積付状態の変化は、 M_s の変化と環動半径の変化で表わされる。従来これらの変化の影響は波浪曲げモーメントに与える影響は小さいとされ、 M_w は標準積付における長期分布を対象とされてきた。

しかし、静水荷重が変化する場合、波浪荷重そのものが静水荷重によって変化するのであれば、単純にこれを分離して、両者が相関のない確率変数とみなし、その和を全荷重と考えるのは不合理となる。

したがって、波浪荷重の正確な長期分布は、静水荷重の変化に応じた波浪荷重の変化を含めた長期分布となる。

これは数式的に次のように表わすことができる。

$$Q(M_w) = \int p(x) \cdot Q(M_w|x) dx \quad (2)$$

ここに、 $Q(M_w|x)$ ：積付状態 x が与えられたという条件付の波浪荷重の長期分布

$p(x)$ ：積付状態 x の分布 (確率密度関数)

この分布は当然、積付状態が一定である場合の長期分布とは異なる。また、その特性極値、最大値の平均値、標準偏差などの確率変数としての特性も異なったものとなる。

3 波浪荷重に与える重量分布の影響

3.1 静水曲げモーメントの分布が

正規分布に従う場合

3.1.1 波浪曲げモーメントの最大値の分布

船が常に標準の積付で航行する場合の波浪曲げモーメントの一定の負荷回数に対する特性極値を M_{w0} 、任意の積付に対する波浪曲げモーメントの特性極値を M_{ws} とすると、両者の関係は次式で近似できる。

$$M_{ws}/M_{w0} = C_0 + C_1 s + C_2 s^2 + \dots \quad (3)$$

ここに、 $s = M_s/M_{s0}$

M_{s0} ：標準の積付状態に対する静水曲げモーメント

M_s ：任意の積付状態に対する静水曲げモーメント

$C_0, C_1, \dots$ ：係数

実船においては、極端な積付はないものとする、式 (3) は次式のように簡略化できる。

$$M_{ws}/M_{w0} \approx C_0 + C_1 s \quad (4)$$

積付状態が変化しないときの波浪曲げモーメントの長期分布は指数分布に従うとすると、任意の積付状態に対する指数分布のパラメータ λ は上記の M_{ws} が負荷回数 N に対する値である場合には、次のようになる。

$$\lambda = M_{ws}/\ln N = (C_0 + C_1 s) M_{w0}/\ln N \quad (5)$$

実船の就航条件を対象とすると、積付状態は常に一定ではなく変化をする。これが波浪曲げモーメントの長期分布に与える影響を検討する。

静水曲げモーメント s が平均値 m_s 、標準偏差 σ_s の正規分布にしたがうと仮定すると、 M_{ws} および λ もまた正規分布にしたがい、式 (5) より明らかなように、 λ の確率密度関数 $p(\lambda)$ は次式で与えられる。

* 縦強度を垂直曲げ、水平曲げ応力、ねじり応力などの合成応力を対象として解析する場合は、荷重という表現は適当ではないが、この場合は式 (1) に注記したように、荷重 (曲げモーメント) を合成応力に置きかえればよい。

$$p(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\lambda} \exp\left[-\frac{(\lambda - m_\lambda)^2}{2\sigma_\lambda^2}\right] \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに } m_\lambda &= (C_0 + C_1 m_s) M_{w0} / \ln N \\ \sigma_\lambda^2 &= (C_1 \sigma_s M_{w0} / \ln N)^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

この場合の波浪曲げモーメントの長期分布は、 λ の値が異なる多数の指数分布の和となる。したがって、波浪曲げモーメントが任意の値 M_w を超える確率 $Q(M_w)$ は、式(2)、(6)より次式となる。

$$\begin{aligned} Q(M_w) &= \frac{1}{1 - \int_{-\infty}^0 p(\lambda) d\lambda} \int_0^\infty p(\lambda) Q(M_w | \lambda) d\lambda \\ &= \frac{1/\sqrt{2\pi}\sigma_\lambda}{1 - \Psi(m_\lambda/\sigma_\lambda)} \int_0^\infty \exp\left[-\frac{(\lambda - m_\lambda)^2}{2\sigma_\lambda^2} - \frac{M_w}{\lambda}\right] d\lambda \end{aligned} \quad (8)$$

ここに

$$\Psi(m_\lambda/\sigma_\lambda) = 1/\sqrt{2\pi}\sigma_\lambda \cdot \int_{-\infty}^0 \exp\left[-\frac{(\lambda - m_\lambda)^2}{2\sigma_\lambda^2}\right] d\lambda$$

: 正規確率関数

後で示すように、実船の積付状態の変動を考慮した場合の λ の変動係数 V_λ は一般に大きな値ではない。よって、 m_λ を後述の数値計算結果より得られた値を代入し、 V_λ を 0.1~0.5 の範囲で変動させ、式(8)の $Q(M_w)$ を数値計算により求めた結果では、 $Q(M_w)$ は次式で与えられるワイブル分布で近似できる。

$$Q(M_w) = \exp[-(M_w/\alpha)^\beta] \quad (9)$$

ここに α : 尺度パラメータ, β : 形状パラメータ
ワイブル分布のパラメータは上記の V_λ の関数であって、上記の V_λ の範囲では Fig. 1 に示すように、 V_λ とともに直線的に変化する。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= m_\lambda - C_\alpha V_\lambda \\ \beta &= 1 - C_\beta V_\lambda \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ここに、 C_α, C_β : 定数

式(9)、(10)より $Q=1/N$ に対応する M_w の特性極値 M_w^* は次式で与えられる。

Fig. 1 Numerical examples

$$\begin{aligned} M_w^* &= \alpha (\ln N)^{1/\beta} \\ &\doteq [1 + \{C_\beta \ln(\ln N) + C_\alpha/m_\lambda\} V_\lambda] m_\lambda \ln N \\ &\doteq (1 + k_{\alpha\beta} V_\lambda) (C_0 + C_1 m_s) M_{w0} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{ここに } k_{\alpha\beta} = C_\beta \ln(\ln N) + C_\alpha/m_\lambda$$

式(9)、(10)、(11)に明らかにように V_λ が 0 に近づけば、 M_w の分布はパラメータが m_λ の指数分布となる。

負荷回数 N における波浪曲げモーメントの最大値は、ワイブル分布に従う母集団よりランダムにとり出された N 個の標本中群の最大値とみなすと、最大値は標本群ごとに異なる値をとるもので、これもまた確率変数であり、その平均値 m_{we} 、標準偏差 σ_{we} は次式で与えられる²⁾。

$$\left. \begin{aligned} m_{we} &= (1 + \gamma/\beta \ln N) M_w^* \\ \sigma_{we} &= \pi M_w^* / \sqrt{6} \cdot \beta \ln N \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

ここに γ : オイラー定数 (0.5772)

上式の極値分布に与える V_λ 影響は、 V_λ が増加すれば β が小となるから、 m_{we} 、 σ_{we} ともに大となるが、この場合は σ_{we} の増加の方が大きいので、最大値の変動係数は V_λ とともに増加する。

以上を総合すると、 V_λ の影響は波浪曲げモーメントの長期分布を変化させ、 V_λ が増加するとともに特性極値を増加させる。その結果、最大値の分布は平均値は V_λ とともに増加し、その変動係数も V_λ とともに増加する。なお、 V_λ がきわめて小さい場合は長期分布は指数分布に一致し、特性極値、最大値の分布等は積付の変動を考慮しない従来より提唱されていたものと一致する。

3.1.2 実船の m_λ , σ_λ の推定

一般に船舶の積付状態は、変動が大きいと推定される一般貨物船、コンテナ船などと、変動の少ない専用船とに二分されるので、前者を対象として、積付状態の変化が波浪荷重に与える影響について検討する。

(a) 船型と積付状態

対象とする船種を、中央部機関の一般貨物船とする。

Fig. 2 Body plan of the supposed ship

Table 1 Principle particulars of the supposed ship

C_b	0.7
L/B	7.0
B/d	2.5
$W/\rho g L^3$	0.00572
C_{xc}	0.986

Fig.3 Supposed change of loading conditions

Table 2 Supposed loading conditions

Loading Condition	Still Water Bending Moment $M_s/\rho g L^3 B$	Radius of Gyration k_{yy}/L
Case 0	9.6338×10^{-4}	0.2629
Case 0'		0.2586
Case 1	14.0739×10^{-4}	0.2793
Case 1'		0.2871
Case 2	18.5168×10^{-4}	0.3022
Case 2'		0.3059
Case 3	5.1678×10^{-4}	0.2454
Case 3'		0.2362
Case 4	0.6829×10^{-4}	0.2165
Case 4'		0.2216

特性を掴むことを目的としているので、船型は前後対称、重心位置も船体中央にあるとする。船型は Series 60 の中から $C_b=0.7$ (Model 4212 W) を前後対称に変形したものを用いた。正面線図、主要目などを Fig. 2,

Table 1 に示す。一般配置は、中央部 $L/5$ 間に機関室、その前後に $L/10$ 各々の長さの船倉が 3 船倉、計 6 船倉があるものとした。満載排水重量を W とすると、機関部重量を $W/15$ 、船殻重量を $4W/15$ とし、それぞれ長さ方向に様な分布とし、各船倉に Fig. 3 に示す 5 種類の積付状態を仮定した。さらに Fig. 3 のそれぞれの積付状態に対して、静水曲げモーメントは等しいが環動半径が異なる積付状態を各 1 状態追加した。Table 2 に以上の 10 個の積付状態の静水曲げモーメントと環動半径などを示す。

(b) 数値計算結果

Fig. 4 に Table 2 の Case 0, 1, 2, 3, 4 の積付状態で、規則波中を正面向け波で航行するときの船体中央部波浪曲げモーメントの応答関数を $\rho g L^2 B h_0$ で無次元化したものを示す。ここで ρ は海水密度、 g は重力の加速度、 B は船幅、 L は船長、 h_0 は規則波の振幅である。なお、船体運動、波浪曲げモーメントの計算は Ordinary Strip Method によった。船は最悪海面状態では、向い波に近い針路を低速で航行するのが合理的であるので⁸⁾、ここでは船速はフルード数 $F_n=0.1$ とした。

Fig. 4 Frequency response function of midship bending moment

Fig. 5 Long term distributions of midship wave bending moment

Fig.6(a, b) Effect of still water bending moment on wave bending moment

Table 1 に示す長さがそれぞれ $L=100, 150, 200, 250\text{m}$ の相似船が、北大西洋を長期航海するとしたとき、波浪曲げモーメントの長期分布の計算結果の一例を Fig. 5 に示す。なお、海象は Walden の年平均海象を使用し、波スペクトルは ISSC スペクトルとした。

均一載貨状態である Case 0 を標準状態とし、この状態での静水曲げモーメント M_{s0} 、船が常にこの状態で航海したと仮定したときの $N=10^8$ に対する特性極値を M_{w0} とする。任意の積付状態の静水曲げモーメント M_s 、および船が常時その積付状態で航行するとしたときの特性極値 M_{ws} は、それぞれ M_{s0}, M_{w0} で無次元化し、静水曲げモーメントの変化と特性極値の関係を示すと Fig. 6 a, b のようになる。

短波頂波の場合と、長波頂波の場合は異なるが、通常多くの場合、波浪荷重の計算には短波頂波を用いるので以下短波頂波の計算結果を用いる。

極端な積付状態である Case 2, 4 の場合は実際におこり得ないとすると、任意の積付に対する特性極値は式 (4) で近似できることがわかる。

さらに、積付が Sag. になるほど特性極値は増加するということが注目に値する。また、図示のように、任意の s に対する積付は種々あり、それぞれ環動半径が異なるため、対応する特性極値にあるバラツキを有するということが重要である。Table 3 は図に斜線で示した特性極値の分布範囲の中央を通る直線に対応する C_0, C_1 を示す。

このように、特性極値が一定値として求められないということは、表の C_0, C_1 はその平均値を示すものであり、 C_0, C_1 はあるバラツキをもって、そのまわりに分布する確率変数として取り扱うべきものであることを意味する。

この場合、任意の s に対する環動半径の分布を求め、

Table 3 Values of C_0, C_1

Ship Length	C_0	C_1	σ_{C_0}	σ_{C_1}
100 m	1.0751	-.0673	$5.433 \cdot 10^3$	.0119
150 m	1.1336	-.1207	$10.900 \cdot 10^3$	.0134
200 m	1.1167	-.1049	$6.150 \cdot 10^3$	.0133
250 m	1.1015	-.0914	$6.150 \cdot 10^3$	.0133

それらをすべて含ませた積付条件の変化に対する波浪荷重の最大値の分布を求めることも考えられるが、元来 s の変化に対する M_{ws} の変化を式 (4) の 1 次式で近似することにも誤差があるから、積付状態の変動は s の変動で表わし、 C_0, C_1 を確率変数として取り扱うのが合理的である。

M_{ws} が図の斜線の外の値をとることはきわめて稀であると考え、図の斜線の範囲を示す C_0, C_1 の値の上下限値はその平均値から標準偏差の ± 3 倍はなれた値であると仮定し、 C_0, C_1 の標準偏差 $\sigma_{C_0}, \sigma_{C_1}$ を求めた結果を Table 3 に示しておく。

C_0, C_1 が確率変数であるとする、式 (11) に示す M_w^* は、平均値を与えるものであり、標準偏差 σ_w^* は偏微分法より次式で与えられる確率変数となる。

$$\sigma_w^* = \left[\left(\frac{\partial M_w^*}{\partial C_0} \right)^2 \sigma_{C_0}^2 + \left(\frac{\partial M_w^*}{\partial C_1} \right)^2 \sigma_{C_1}^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

$$\frac{\partial M_w^*}{\partial C_0} = (1 + k_{a\beta} \cdot V_\lambda) M_{w0}$$

$$\frac{\partial M_w^*}{\partial C_1} = (1 + k_{a\beta} \cdot V_\lambda) m_s M_{w0}$$

したがって、式 (12) に示す最大値の分布は、平均値は一致するが最大値の標準偏差 σ_{we}' は次式の値となる。

$$\sigma_{we}' = [\sigma_{we}^2 + \sigma_{me}^2 + \sigma_{ee}^2]^{1/2} \quad (14)$$

ここに、 $\sigma_{me} = (1 + r/\beta \ln N) \sigma_w^*$: C_0, C_1 が確率変数であるときの最大値分布の平均値のバラツキを示す標準偏差

$\sigma_{ee} = \pi \sigma_w^* / \beta \ln N$: C_0 , C_1 が確率変数であるときの最大値分布の標準偏差のパラメータを示す標準偏差

一般貨物船などのように積付変動の大きいものは、 s の変動係数としては30%程度と推定される⁴⁾。また先に述べたように、この種の船では Case 0 に相当する積付状態を標準とするのが普通と思われるので、 s の平均値 m_s は 1.0 と仮定する。これらの値および前記の C_0 , C_1 を式 (7) に代入し、 m_λ , σ_λ を推定すると Table 4 に示す結果が得られる。

Table 4 Mean and standard deviations of λ

Ship Length	m_λ/M_{w0}	σ_λ/M_{w0}	$V_\lambda(\%)$
100 m	.0547	.0011	2.00
150 m	.0550	.0020	3.57
200 m	.0549	.0017	3.11
250 m	.0548	.0015	2.27

積付状態の変化に対する波浪曲げモーメントの応答の感度を表わす係数 C_1 は、Table 3 に示すようにいずれもその値が小さく、その結果静水曲げモーメントの変動係数が30%であっても、波浪曲げモーメントの長期分布のパラメータ λ の変化量は少なく、その変動係数は約2~3.5%程度となる。

3.1.3 実船の波浪荷重の最大値

Table 4 からわかるように、この場合は V_λ は小さく、波浪曲げモーメントの長期分布はパラメータが m_λ の指数分布にきわめて近いものとなる。負荷回数 $N = 10^8$ 回における波浪曲げモーメントの特性極値 M_w^* は、それぞれ Table 5 に示す値となる。標準積付状態で常に航行すると仮定したときは、波浪荷重の特性極値は $M_w^* = M_{w0}$ となるので、従来の近似計算方法は、特性極値を約4~6%低く見積ることになる。また、式 (12) で求められる最大値の平均値と標準偏差は、それぞれ Table 5 の値となる。結局、積付状態の変動を考慮すれば、従来の一定の積付状態を想定した場合より最大値の平均値は若干上昇するが、その変動係数はほとんど変わらない。なお、式 (13), (14) に示す C_0 , C_1 の変動の影響

Table 5 Mean and standard deviations of M_w^*

Ship Length	M_w^*/M_{w0}	m_{we}^*/M_{w0}	σ_{we}^*/M_{w0}	$V_{we}(\%)$
100 m	1.0375	1.0703	.0728	6.80
150 m	1.0661	1.1000	.0753	6.85
200 m	1.0580	1.0916	.0746	6.83
250 m	1.0504	1.0836	.0739	6.82

響を考慮しても、本シリーズ船の場合は最大値の変動係数は式 (12) より得られる値とほとんど変わらなかった。

3.2 静水曲げモーメントの分布が一定でない場合

3.2.1 静水曲げモーメントの分布

縦強度解析における想定荷重は、縦強度解析の精度によって異なる。現在の解析では少なくとも主要目寸法などの幾何学的要素、航行区域のような運航要素が同一の船に対しては、同一の荷重条件が想定される。このような場合には、船を一般貨物船、コンテナ船の群と専用船の群に分けたとしても、それぞれの群は使用および就航条件の相当異なる船を含むから、各群の静水曲げモーメントの分布が同一の母集団に属するとみなせるかどうかは問題である。

この場合には、ある群の静水曲げモーメントの分布は平均値、標準偏差がある値を中心に分布したものとなる。すなわち、平均値、標準偏差もまた確率変数であるとして取扱わねばならない。

また、静水曲げモーメントは単一分布であると推定されるが、それらを正確に推定できない場合も考えられる。

この場合にも想定した静水曲げモーメントの平均値、標準偏差はその推定誤差を考えると、確率変数とみなさねばならず、その取り扱いはいずれの場合と一致する。

3.2.2 波浪曲げモーメントの特性極値および最大値の分布

静水曲げモーメント m_s および標準偏差 σ_s がそれぞれ次式で示す平均値と標準偏差を有する確率変数であるとする。

$$\begin{cases} m_s: \text{平均値 } m_s, \text{標準偏差 } \sigma_{ms} \\ \sigma_s: \text{平均値 } \sigma_s, \text{標準偏差 } \sigma_{\sigma s} \end{cases} \quad (15)$$

前節で式 (11) で示した特性極値 M_w^* もまた確率変数となり、同式で求められる M_w^* はその平均値を与える。 M_w^* の標準偏差 σ_w^* は偏微分法により次式で与えられる。

$$\sigma_w^* = \left[\left(\frac{\partial M_w^*}{\partial m_s} \right)^2 \sigma_{ms}^2 + \left(\frac{\partial M_w^*}{\partial \sigma_s} \right)^2 \sigma_{\sigma s}^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

この場合の最大値の分布では、平均値は式 (12) で与えられ、その標準偏差 σ_{we}'' は次のようになる。

$$\sigma_{we}'' = [\sigma_{we}^2 + \sigma_{me}^2 + \sigma_{\sigma e}^2]^{1/2} \quad (17)$$

上式は、式 (14) と同一であるが、 σ_w^* は式 (16) で求められたものであり、値が異なる。なお、前記の C_0 , C_1 が確率変数であるとみなす場合には、上式中の σ_{we} の代わりに、 σ_{we}' を代入すればよい。

式 (11) に示すように、 M_w^* は m_s , σ_s の複雑な関数であり、 σ_w^* を σ_{ms} , $\sigma_{\sigma s}$ の関数として示すと複雑となる。しかし、波浪曲げモーメントの長期分布はパラメータが m_λ の指数分布で近似できることが多いから、普通は σ_w^* は次式で近似することが可能である。

$$(\sigma_w^*)^2 \doteq (C_1 M_{w0} \sigma_{ms})^2 \quad (16)'$$

この場合の式(17)の σ_{me} , σ_{se} は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{me}^2 &\doteq [(1+r/\ln N) C_1 M_{w0} \sigma_{ms}]^2 \\ \sigma_{se}^2 &\doteq [\pi C_1 M_{w0} \sigma_{ms} / \sqrt{6 \ln N}]^2 \end{aligned} \right\} \quad (17)'$$

式(16), (17)に Table 3 の C_1 の値を代入し, m_s および σ_s の変動係数を 0~1.0 に変化させた場合の最大値の分布の変動係数を求めてみると, 変動係数は m_s および σ_s の変動係数の増加とともに約 7% から約 11% に増加する。

現在のところ σ_{ms} などについての資料は乏しいが, 既述のように船を一般貨物船の群と専用船の群に分け, 同一群に対しては幾何学的要素および運航要素だけで類別し, 荷重条件を想定する場合には, σ_{ms} などの値は相当大となると考えられる。

4 結 言

本論文においては, 積付状態の変化の内で静水曲げモーメントの変化が, 波浪曲げモーメントの長期分布の形, 特性極値, 最大値の統計量に与える影響について研究し, 次のような結果が得られた。

静水曲げモーメントが正規分布に従う場合, 波浪曲げモーメントは多数の指数分布の和となり, それらの指数分布のパラメータ λ もまた正規分布に従う。この場合, 静水曲げモーメントの変動係数と λ の変動係数は比例する。

この多数の指数分布の和は, 実船のとりうる静水曲げモーメントの変化程度では, ワイブル分布で近似でき, そのパラメータは λ の変動係数に応じて線形に変化する。ただし, λ の変動係数が大きくないときは, λ の平均値をパラメータとする指数分布で十分近似できる。

この長期分布における特性極値, 最大値分布の平均値は, λ の変動係数の増加とともに増加する。また, 最大

値の分布の変動係数も λ の変動係数とともに大きくないが増加する。

実船(一般貨物船)を対象として, 静水曲げモーメントの変化が上記の λ の分布にどの程度影響するかを調べ, 静水曲げモーメントが均質積付状態からサッキング側に変化するとともに λ は増加する傾向があることを明らかにした。ただし, 実船で考えられる程度の静水曲げモーメントの変動では, λ の変動係数は 4% 未満であり, 波浪曲げモーメントの長期分布は指数分布で近似できる範囲にあることが明らかになった。

なお, 実船の静水曲げモーメントの分布は単純な分布ではなく, その平均値, 標準偏差も確率変数とみなさねばならない場合が多いと推定される。

本論文ではこのような場合の特性極値, 最大値の分布の性質も研究し, このような場合には, 最大値の平均値は変化しないが, その標準偏差は静水曲げモーメントの平均値, 標準偏差のバラツキが大となるとともに大となる傾向があることを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 船体構造部材の許容応力に関する研究, 日本造船研究協会第 134 研究部会報告書, 研究資料 No. 237, (昭和 51 年 3 月)。
- 2) E. J. Gumbel: Statistical theory of extreme values and some practical applications, 加瀬滋男訳“極値理論とその応用”標準化, Vol. 10, (1957)。
- 3) 真能 創, 上野 洋純: 波浪に対する各種船体応答の長期分布の近似推定法とその応用, 日本造船学会論文集, 第 132 号, (昭和 47 年 12 月)。
- 4) 船体構造部材の許容応力に関する研究, 日本造船研究協会第 134 研究部会報告書, 研究資料 No. 216, (昭和 50 年 3 月)。