

(昭和54年11月 日本造船学会秋季講演会において講演)

## 波浪中の船体に誘起される非線形応力の長期予測

—大型油送船縦強度部材の相当応力—

正員 福田 淳 一\* 正員 新 開 明 二\*  
 正員 田 中 徳 実\*\*

Long-Term Prediction of the Non-Linear Stresses Induced on a Ship Hull in Sea Waves  
 —Equivalent Stresses on the Longitudinal Members of a Large Oil Tanker—

by Jun-ichi Fukuda, *Member* Akiji Shinkai, *Member*  
 Tokumi Tanaka, *Member*

## Summary

A method of predicting the non-linear stresses such as the von Mises' equivalent stress on the longitudinal members of a ship in sea waves is proposed, by assuming that total normal stress and total shearing stress would be regarded as completely dependent random variables.

The application of this method is made for a large oil tanker in short- and long-term sea waves. The short- and long-term trends of the equivalent stresses on the longitudinal members are investigated in relation to heading angle.

## 1 緒 言

船体縦強度の安全性を検討してその設計基準を設定するためには、船体縦強度部材に誘起される直応力と剪断応力の異常値を推定する必要がある。著者らは、昨年来、各波浪荷重間の共分散あるいは相関係数を用いて船体縦強度部材に誘起される合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力の短期および長期予測値を厳密に計算する方法とこれらを精度よく推定する近似計算法を提示した<sup>1-4)</sup>。

本論文では、このような波浪中の合成全直応力と合成全剪断応力の長期予測を行なって構造強度の安全性を検討する立場をさらに一歩進めて、静水中の直応力と剪断応力ならびに波浪中の合成全直応力と合成全剪断応力の組合せ応力である von Mises の相当応力の短期および長期予測法を提案している。この相当応力は合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力の2確率変数の非線形関数として表わされる確率変数である。このような非線形の確率変数である相当応力を統計的に予測することはかなり困難であり、この方面の研究成果は少ないが、確率密度関数の漸近級数展開に基づいた予測法について Vinje

ら<sup>5-7)</sup>が検討している。本論文では、このような漸近級数展開を用いずに、合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力との間の相関が完全相関であるという仮定に基づいて相当応力の短期および長期予測値を比較的簡単に計算する方法を提示している。この方法を大型油送船に適用して、相当応力の短期および長期異常値の計算結果を示している。

## 2 相当応力の短期予測

## 2.1 船体縦強度部材の相当応力の極値

船体縦強度部材に誘起される直応力と剪断応力を用いて、von Mises の降伏条件に基づいて定義される相当応力は次のように与えられる。

$$Z = \sqrt{(\sigma_0 + \sigma_T)^2 + 3(\tau_0 + \tau_T)^2} \quad (1)$$

ただし、

$\sigma_0, \tau_0$  : still water normal stress and shearing stress

$\sigma_T, \tau_T$  : total wave normal stress and shearing stress

短期不規則波浪海面において船体縦強度部材に誘起される合成全直応力と合成全剪断応力との相関を完全相関と仮定する。また、合成全波浪直応力および合成全波浪剪断応力の平均値はそれぞれ零であって、これらの応力の時間的変動量の確率分布は Gauss 分布で表わされ、

\* 九州大学工学部

\*\* 三菱重工業(株)長崎造船所(研究当時 九州大学大学院学生)

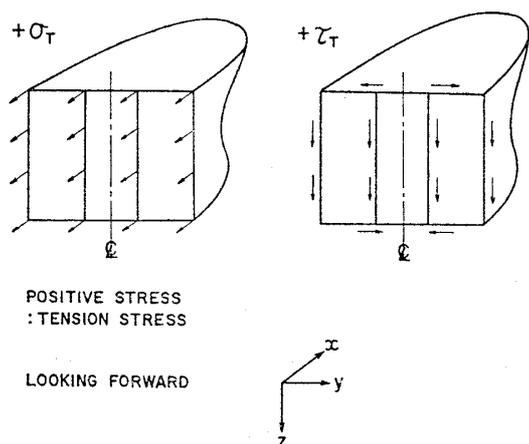


Fig. 1 Sign conventions for stress

極大値および極小値の確率分布は Rayleigh 分布で表わされると仮定する。

合成全直応力と合成全剪断応力の正負の符号を Fig. 1 のように定義する。

短期不規則波浪海面において、合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力との間の相関が完全相関であるとすれば、合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力との間に、次の関係が成立する。

$$\tau_T = \mu \sigma_T \quad (2)$$

ただし、

$$\mu = \pm R_{\tau_T} / R_{\sigma_T} \text{ for } \rho = \pm 1$$

$R_{\sigma_T}$ : standard deviation of total wave normal stress

$R_{\tau_T}$ : standard deviation of total wave shearing stress

$\rho$ : correlation coefficient between total wave normal stress and total wave shearing stress

(2)を用いて、相当応力  $Z$  を次のように表わすことができる。

$$Z(\sigma_T) = \sqrt{A + B\sigma_T + C\sigma_T^2} \quad (3)$$

ただし、

$$A = \sigma_0^2 + 3\tau_0^2, \quad B = 2\sigma_0 + 6\mu\tau_0, \quad C = 1 + 3\mu^2$$

以下、 $B \geq 0$  の場合について述べるが、 $B < 0$  の場合についても同様の結果が得られる。

(3) で表わされる相当応力  $Z$  と合成全波浪直応力  $\sigma_T$  の関係の概略を Fig. 2 に示している。ただし、 $t$  は時間である。

相当応力の極値の性質を検討する。

まず、相当応力が極小値となる条件は  $dZ/dt = 0$  および  $d^2Z/dt^2 > 0$  が同時に満足されることである。これらの条件が満足されるのは次の a) および b) の場合である。

a) 
$$\sigma_T = -B/2C = -D \quad (4)$$

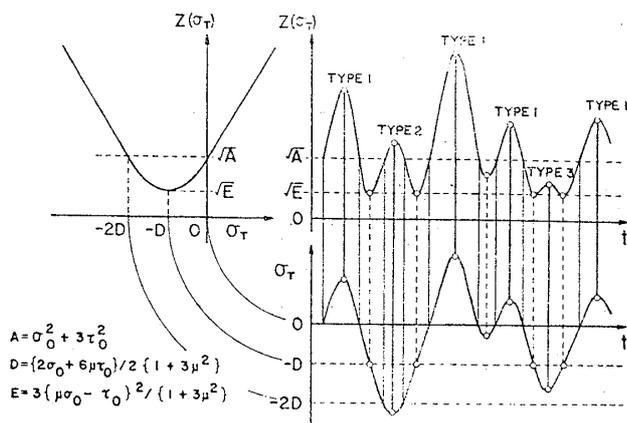


Fig. 2 Sketch of the time histories of equivalent stress and total wave normal stress

が成立する場合

この場合には、合成全波浪直応力  $\sigma_T$  の値が  $-D$  となるときには必ず相当応力の極小値が生じ、相当応力の極小値は常に最小値  $\sqrt{E} (= \sqrt{3(\mu\sigma_0 - \tau_0)^2 / (1 + 3\mu^2)})$  に等しい。

b)  $d\sigma_T/dt = 0, d^2\sigma_T/dt^2 > 0$  すなわち  $\sigma_T$  が極小値  $\sigma_{Tmin}$  となるときに、

$$\sigma_{Tmin} > -B/2C = -D \quad (5)$$

が成立する場合

この場合には、 $-D$  よりも大きく零よりも小さい合成全波浪直応力  $\sigma_T$  の極小値が生じるときには必ず相当応力の極小値が生じ、相当応力の極小値は  $\sqrt{E}$  よりも大きく静水中の相当応力  $\sqrt{A} (= \sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau_0^2})$  よりも小さい。

次に、相当応力が極大値となる条件は  $dZ/dt = 0$  および  $d^2Z/dt^2 < 0$  が同時に満足されることである。これらの条件が満足されるのは次の c) および d) の場合である。

c)  $d\sigma_T/dt = 0, d^2\sigma_T/dt^2 < 0$  すなわち  $\sigma_T$  が極大値  $\sigma_{Tmax}$  となるときに、

$$\sigma_{Tmax} > -B/2C = -D \quad (6)$$

が成立する場合

この場合には、合成全波浪直応力の極大値が生じるときには必ず相当応力の極大値が生じ、相当応力  $Z$  の極大値は常に静水中の相当応力  $\sqrt{A}$  よりも大きい。この極大値を Type 1 と呼ぶことにする。

d)  $d\sigma_T/dt = 0, d^2\sigma_T/dt^2 > 0$  すなわち  $\sigma_T$  が極小値  $\sigma_{Tmin}$  となるときに、

$$\sigma_{Tmin} < -B/2C = -D \quad (7)$$

が成立する場合

この場合には、 $-D$  よりも小さい合成全波浪直応力  $\sigma_T$  の極小値が生じるときには必ず相当応力の極大値が生じる。そして、 $-2D$  よりも小さい合成全波浪直応力  $\sigma_T$  の極小値が生じるときには、 $\sqrt{A}$  よりも大きい相当応力の極大値が生じる。この極大値を Type 2 と呼ぶ

ことにする。また、 $-D$  よりも小さく  $-2D$  よりも大きいかあるいは等しい合成全波浪直応力  $\sigma_T$  の極小値が生じるときに、 $\sqrt{E}$  よりも大きく  $\sqrt{A}$  よりも小さいかあるいは等しい相当応力の極大値が生じる。この極大値を Type 3 と呼ぶことにする。

2.2 相当応力の短期超過確率

ある短期不規則波浪海面において、合成全波浪直応力の極大値および極小値がそれぞれ  $n$  個発生したとすれば、2.1 で定義された Type 1, 2 および 3 の相当応力の極大値の発生数は、次の (8)~(10) によって求められる。

i) Type 1 による  $\sqrt{A}$  よりも大きい相当応力の極大値の数

$$N_1 = n \int_0^\infty \frac{\sigma_T}{R_{\sigma_T}^2} \exp\left(-\frac{\sigma_T^2}{2R_{\sigma_T}^2}\right) d\sigma_T = n \quad (8)$$

ii) Type 2 による  $\sqrt{A}$  よりも大きい相当応力の極大値の数

$$N_2 = n \int_{-2D}^{-\infty} \frac{\sigma_T}{R_{\sigma_T}^2} \exp\left(-\frac{\sigma_T^2}{2R_{\sigma_T}^2}\right) d\sigma_T = n \exp(-2D^2/R_{\sigma_T}^2) \quad (9)$$

iii) Type 3 による  $\sqrt{E}$  よりも大きく  $\sqrt{A}$  よりも小さいかあるいは等しい相当応力の極大値の数

$$N_3 = n \int_{-D}^{-2D} \frac{\sigma_T}{R_{\sigma_T}^2} \exp\left(-\frac{\sigma_T^2}{2R_{\sigma_T}^2}\right) d\sigma_T = n \{\exp(-D^2/2R_{\sigma_T}^2) - \exp(-2D^2/R_{\sigma_T}^2)\} \quad (10)$$

従って、合成全波浪直応力  $\sigma_T$  が  $n$  回変動する場合、すなわち  $\sigma_T$  の極大値が  $n$  回、極小値が  $n$  回発生するときに、相当応力の極大値が発生する回数は次のようになる。

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = n \{1 + \exp(-D^2/2R_{\sigma_T}^2)\} \quad (11)$$

従って、 $N$  の値は  $n$  より大きく  $2n$  より小さいが、波浪が低い海面では  $R_{\sigma_T}$  が小さいから  $N$  は  $n$  に近い値となり波浪が高い海面では  $R_{\sigma_T}$  が大きいので  $N$  は  $2n$  に近い値となる。また、 $D=0$  の場合には  $N=2n$  に等しい。

また、ある一定値  $Z^*$  を超える相当応力の極大値の数は、次の (12), (13) および (14) によって求められる。

$Z^* \geq \sqrt{A}$  の場合:

$$N(Z > Z^*) = n \left\{ \int_{\xi_1}^\infty \frac{\sigma_T}{R_{\sigma_T}^2} \exp\left(-\frac{\sigma_T^2}{2R_{\sigma_T}^2}\right) d\sigma_T + \int_{-\xi_2}^{-\infty} \frac{\sigma_T}{R_{\sigma_T}^2} \exp\left(-\frac{\sigma_T^2}{2R_{\sigma_T}^2}\right) d\sigma_T \right\} = n \{ \exp(-\xi_1^2/2R_{\sigma_T}^2) + \exp(-\xi_2^2/2R_{\sigma_T}^2) \} \quad (12)$$

$\sqrt{E} < Z^* < \sqrt{A}$  の場合:

$$N(Z > Z^*) = n \int_0^\infty \frac{\sigma_T}{R_{\sigma_T}^2} \exp\left(-\frac{\sigma_T^2}{2R_{\sigma_T}^2}\right) d\sigma_T$$

$$+ \int_{-\xi_2}^{-\infty} \frac{\sigma_T}{R_{\sigma_T}^2} \exp\left(-\frac{\sigma_T^2}{2R_{\sigma_T}^2}\right) d\sigma_T \Big\} = n \{1 + \exp(-\xi_2^2/2R_{\sigma_T}^2)\} \quad (13)$$

ただし、

$$\begin{Bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{Bmatrix} = \frac{\mp B + \sqrt{B^2 - 4C(A - Z^{*2})}}{2C} \quad (14)$$

$Z^*$ ,  $\xi_1$  および  $-\xi_2$  の関係の概略を Fig. 3 に示している。

(12) は、 $\xi_1 (\xi_1 \geq 0)$  よりも大きい合成全波浪直応力の極大値が発生したときと、 $-\xi_2 (-\xi_2 \leq -2D)$  よりも小さい合成全波浪直応力の極小値が発生したときに対応する相当応力の極大値の中で  $Z^* (Z^* \geq \sqrt{A})$  よりも大きい極大値の数である。(13) は、合成全波浪直応力のすべての極大値が発生したときと、 $-\xi_2 (-D > -\xi_2 > -2D)$  よりも小さい合成全波浪直応力の極小値が発生したときに対応する相当応力の極大値の中で  $Z^* (\sqrt{E} < Z^* < \sqrt{A})$  よりも大きい極大値の数である。

従って、相当応力の極大値がある一定値  $Z^*$  を超える確率 (相当応力の極大値がある一定値  $Z^*$  を超える回数と相当応力の変動回数との比) は、次の (15) および (16) によって与えられる。

$$q_N(Z > Z^*) = \frac{N(Z > Z^*)}{N} = \begin{cases} \frac{\{\exp(-\xi_1^2/2R_{\sigma_T}^2) + \exp(-\xi_2^2/2R_{\sigma_T}^2)\} / \{1 + \exp(-D^2/2R_{\sigma_T}^2)\}}{1} : Z^* \geq \sqrt{A} & (15) \\ \frac{\{\exp(-\xi_2^2/2R_{\sigma_T}^2)\} / \{1 + \exp(-D^2/2R_{\sigma_T}^2)\}}{1} : \sqrt{E} < Z^* < \sqrt{A} & (16) \end{cases}$$

なお、相当応力の極大値がある一定値  $Z^*$  を超える回数と合成全波浪直応力が極大値および極小値をとる回数  $2n$  との比が、次の (17) および (18) によって与えられる。

$$q_{(2n)} = \frac{N(Z > Z^*)}{2n} = \begin{cases} \frac{\{\exp(-\xi_1^2/2R_{\sigma_T}^2) + \exp(-\xi_2^2/2R_{\sigma_T}^2)\} / 2}{1} : Z^* \geq \sqrt{A} & (17) \\ \frac{\{\exp(-\xi_2^2/2R_{\sigma_T}^2)\} / 2}{1} : \sqrt{E} < Z^* < \sqrt{A} & (18) \end{cases}$$

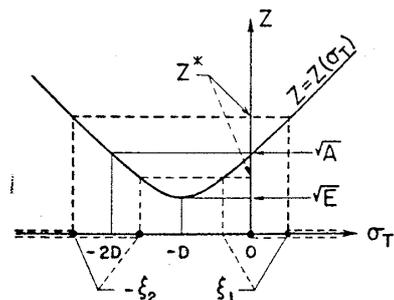


Fig. 3 Sketch of the relation between equivalent stress and total wave normal stress

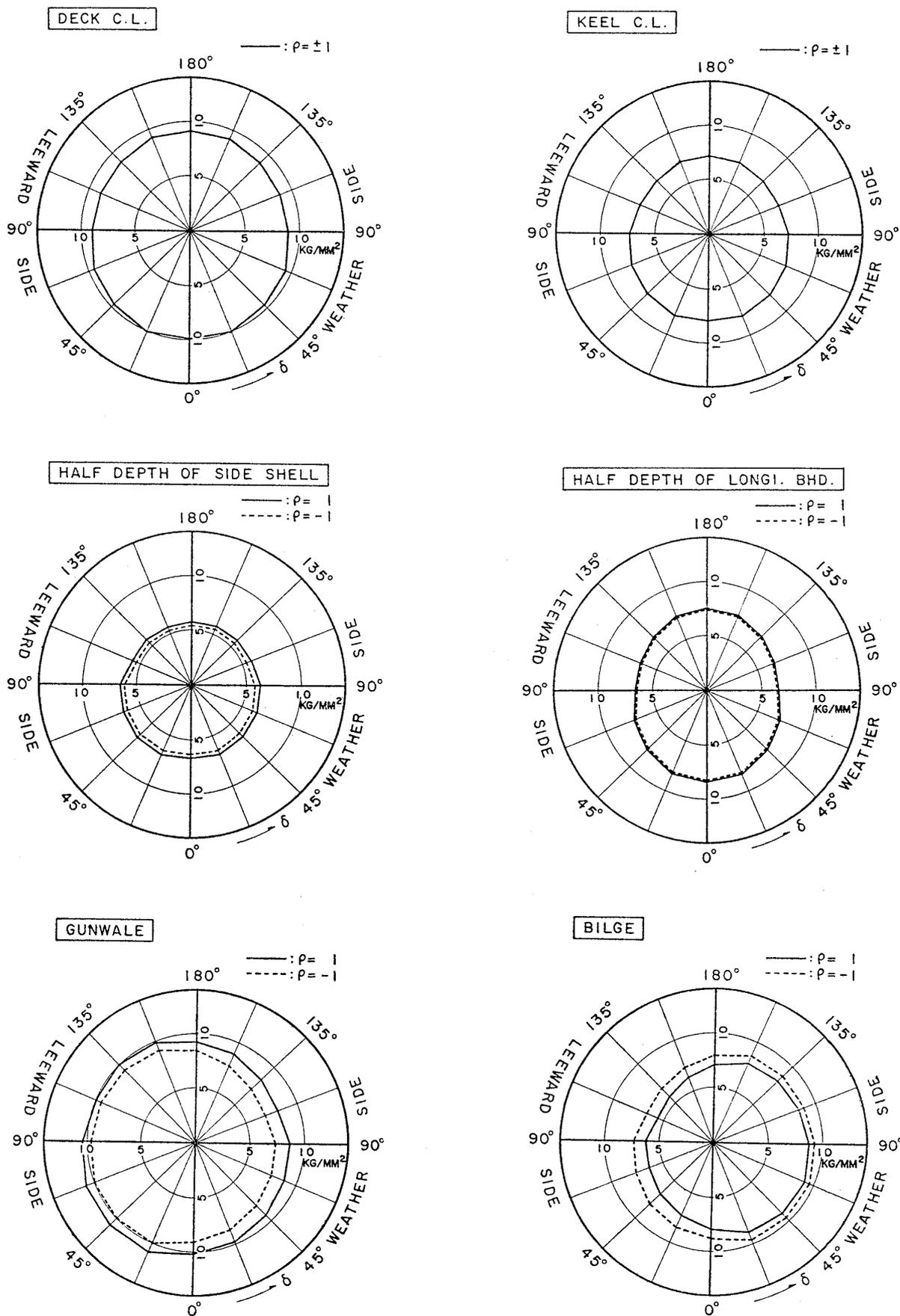


Fig. 4 Short-term prediction results of equivalent stress induced on the longitudinal members at S. S. 7 in average sea states of BFT. 10 ( $H=7.4\text{m}$ ,  $T=9.5\text{sec}$ ),  $q_N=10^{-4}$

(17) および (18) による変動回数比  $q_{(2n)}=q^*$  に対応する相当応力予測値  $Z(q_{(2n)}=q^*)$  は、合成全波浪直応力の短期予測値  $\sigma_T(q_{(n)}=q^*)$  と合成全波浪剪断応力の短期予測値  $\tau_T(q_{(n)}=q^*)$ , すなわち,  $\sigma_T$  および  $\tau_T$  の極大値または極小値の短期予測値を用いて次式で与えられる。

$$Z(q_{(2n)}=q^*) = \sqrt{\{|\sigma_0| + \sigma_T(q_{(n)}=q^*)\}^2 + 3\{|\tau_0| + \tau_T(q_{(n)}=q^*)\}^2} \quad (19)$$

ただし,

$Z(q_{(2n)}=q^*)$ : level of equivalent stress  $Z$  on a given ratio  $q^*$  based upon the frequency  $2n$

$\sigma_T(q_{(n)}=q^*)$ : level of total wave normal stress  $\sigma_T$  on a given probability of exceeding  $q^*$  based upon the frequency  $n$

$\tau_T(q_{(n)}=q^*)$ : level of total wave shearing stress  $\tau_T$  on a given probability of exceeding  $q^*$  based upon the frequency  $n$

相当応力の異常値を対象とする場合が一般的であるから、一般には (15) あるいは (17) を用いることになり、(16) あるいは (18) は不要になる。相当応力の短期および長期予測を行なう場合には、(15) を用いるよりも (17) を用いるのが実用的である。その詳細な検討は別の機会に譲る。

文献 1)~4) において計算適用例として採用された船長 310 メートルの大型油送船について、S. S. 7 の横断面にて主要縦強度部材に誘起される相当応力の短期予測結果を Fig. 4 に示している。図には、北大西洋における長期の波浪発現頻度資料に基づく風力階級ビューフォート 10 の平均海象条件の下で、合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力との間の相関を正の完全相関 ( $\rho=1$ ) および負の完全相関 ( $\rho=-1$ ) と仮定したそれぞれの場合について、短期超過確率  $q_N=10^{-4}$  に対応する相当応力の異常値を波に対する出会角の関数として示している。

ビューフォート 10 の海象条件は次のとおりである。

平均波高(有義波高)=7.4 メートル

平均波周期=9.5 秒

波スペクトル: ISSC スペクトル<sup>8)</sup>

相当応力の短期予測値は、静水中直応力  $\sigma_0$  と静水中剪断応力  $\tau_0$  が同符号のときには  $\rho=1$  の場合に最大となり、また  $\sigma_0$  と  $\tau_0$  が異符号の時には  $\rho=-1$  の場合に最大となる。実際には、合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力の相関は必ずしも完全相関 ( $\rho=\pm 1$ ) とは限らず、一般には  $-1 < \rho < 1$  であるから、Fig. 4 に示した

相当応力短期予測値の最大値は相当応力の上限值を与えるものといえよう。

### 3 相当応力の長期予測

船がある海域を長期間にわたって航海すると仮定し、その海域において有義波高  $H$ 、平均波周期  $T$  の波浪海面の長期発現確率密度関数  $p(H, T)$  が与えられれば、(15) および (16) を用いて、合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力との相関が完全相関と仮定した場合の相当応力の長期予測を行なうことができる<sup>9)</sup>。すなわち、船が長期間にわたって常に一定の速度を保ちかつ波の平均進行方向に対して常に一定の出会角を保って航海すると仮定して、相当応力の極大値が一定値  $Z^*$  を超える長期累積確率は、次式によって与えられる。

$$Q_\delta(Z > Z^*) = \int_0^\infty \int_0^\infty q_N(Z > Z^*) p(H, T) dHdT \quad (20)$$

ただし,

$p(H, T)$ : long-term probability density of occurrence for the sea condition of the visual average wave height  $H$  and the visual average wave period  $T$

$\delta$ : average heading angle against the average wave direction

波の平均進行方向に対する船の平均出会角  $\delta$  の長期確率密度関数が  $0 \sim 2\pi$  の範囲に一様であると仮定して、すべての出会角を考慮した場合に相当応力の極大値がある一定値  $Z^*$  を超える長期累積確率は、次式によって与えられる。

$$Q(Z > Z^*) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Q_\delta(Z > Z^*) d\delta \quad (21)$$

(20) および (21) の計算を行なうことによって、相当応力の長期予測が可能であるが、かなりぼう大な計算量を必要とする。そこで、短期予測における相当応力の推定式 (19) に準じて仮定した次のような相当応力長期予測値の近似計算式が考えられる。

$$Z_A = \sqrt{\{|\sigma_0| + \sigma_T(Q=Q^*)\}^2 + 3\{|\tau_0| + \tau_T(Q=Q^*)\}^2} \quad (22)$$

ただし,

$\sigma_T(Q=Q^*)$ : level of total wave normal stress on a given long-term probability of exceeding  $Q^*$

$\tau_T(Q=Q^*)$ : level of total wave shearing stress on a given long-term probability of exceeding  $Q^*$

船長 310 メートルの大型油送船について、Walden<sup>10)</sup> による北大西洋の長期波浪発現頻度資料<sup>11)</sup>を用いて S. S. 3, 5, 7 の横断面縦強度部材に誘起される相当応力の長

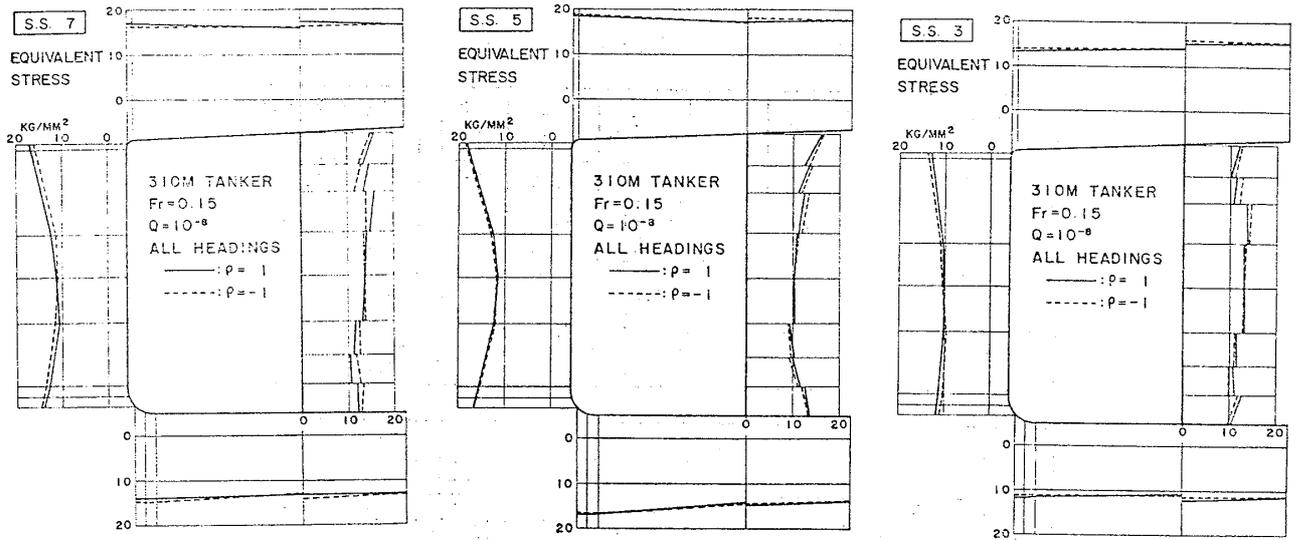


Fig. 5 Long-term prediction results of equivalent stress induced on the ship hull in the North Atlantic Ocean,  $Q=10^{-8}$

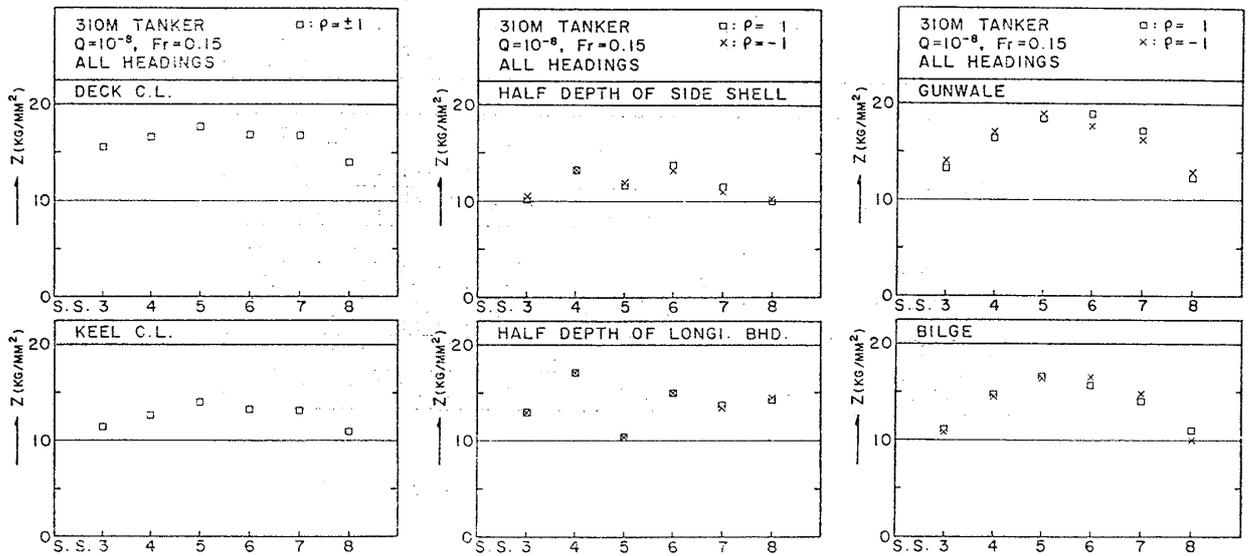


Fig. 6 Longitudinal distributions of long-term equivalent stress predicted in the North Atlantic Ocean,  $Q=10^{-8}$

期予測を行なった結果を Fig. 5 に示している。また、S.S. 3~8 の各横断面の主要縦強度部材に誘起される相当応力の長期予測値を Fig. 6 に示している。これらの図には、合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力との相関を正の完全相関および負の完全相関と仮定したそれぞれの場合について、すべての出会角を考慮した場合の長期超過確率  $Q=10^{-8}$  に対応する値を示している。また、S.S. 3, 5, 7 の横断面にて主要縦強度部材に誘起される諸応力の長期予測結果を Table 1 に示している。この表には、静水中直応力  $\sigma_0$ 、静水中剪断応力  $\tau_0$ 、合成全波浪直応力長期予測値  $\sigma_T$ 、合成全波浪剪断応力長期予測値  $\tau_T$ 、相当応力長期予測値  $Z$  および (22) による相当応力長期予測値の近似推定値  $Z_A$  を列記している。相当応力の最大値は、船体中央部断面のガンネル部において

18.7kg/mm<sup>2</sup>、甲板中心線において 17.6 kg/mm<sup>2</sup>、ビルジ部において 16.6kg/mm<sup>2</sup> となっている。また、近似推定式による相当応力推定値  $Z_A$  は、完全相関と仮定した場合の厳密計算値  $Z$  より 10% 程度大きい。

ただし、Table 1 において、 $Z(Q=10^{-8})$  は短期予測における相当応力極大値発生回数  $N$  に基いた長期超過確率  $Q=10^{-8}$  に対応する値であり、 $\sigma_T(Q=10^{-8})$ 、 $\tau_T(Q=10^{-8})$  および近似推定値  $Z_A(Q=10^{-8})$  は短期予測における極大値あるいは極小値の発生回数  $n$  に基いた長期超過確率  $Q=10^{-8}$  に対応する値である。 $N$  の値は  $n$  よりも大きく  $2n$  よりも小さい。これらのことが Table 1 において近似推定値  $Z_A(Q=10^{-8})$  が厳密計算値  $Z(Q=10^{-8})$  より 10% 程度大きいことの一原因であろう。この点に関する詳細な検討は別の機会に譲る。

Table 1 Still water normal stress, still water shearing stress, total wave normal stress, total wave shearing stress and equivalent stress

S.S.7	$\sigma_0$	$\tau_0$	$\sigma_T$ ( $Q=10^{-8}$ )	$\tau_T$ ( $Q=10^{-8}$ )	Z $\rho=+1$ $\rho=-1$	$Z_A$	$Z_A/Z$ $Z=\text{MAX}(Z)$
(A) DECK C.L.	-2.90	0	12.20	5.99	16.68 16.68	18.32	1.10
(B) GUNWALE	-2.68	-0.69	13.41	4.08	17.06 16.19	18.09	1.06
(C) HALF DEPTH OF SIDE SHELL	-0.29	-0.97	8.02	4.24	11.34 10.96	12.27	1.08
(D) BILGE	2.46	-0.71	11.63	3.69	13.98 14.72	16.02	1.09
(E) KEEL C.L.	2.61	0	8.81	5.01	13.06 13.06	14.34	1.10
(F) HALF DEPTH OF LONGI. BHD.	-0.29	-1.48	3.52	6.33	13.62 13.48	14.05	1.03

S.S.5	$\sigma_0$	$\tau_0$	$\sigma_T$ ( $Q=10^{-8}$ )	$\tau_T$ ( $Q=10^{-8}$ )	Z $\rho=+1$ $\rho=-1$	$Z_A$	$Z_A/Z$ $Z=\text{MAX}(Z)$
(A) DECK C.L.	1.55	0	14.84	5.30	17.63 17.63	18.79	1.07
(B) GUNWALE	1.41	-0.39	17.26	3.17	18.44 18.72	19.66	1.05
(C) HALF DEPTH OF SIDE SHELL	0.15	-0.53	10.82	3.43	11.63 11.75	12.94	1.10
(D) BILGE	-1.29	-0.38	15.54	2.65	16.59 16.40	17.63	1.06
(E) KEEL C.L.	-1.37	0	11.75	4.05	13.94 13.94	14.88	1.07
(F) HALF DEPTH OF LONGI. BHD.	0.15	-0.81	4.48	5.04	10.30 10.40	11.14	1.07

S.S.3	$\sigma_0$	$\tau_0$	$\sigma_T$ ( $Q=10^{-8}$ )	$\tau_T$ ( $Q=10^{-8}$ )	Z $\rho=+1$ $\rho=-1$	$Z_A$	$Z_A/Z$ $Z=\text{MAX}(Z)$
(A) DECK C.L.	-1.87	0	9.60	6.78	15.35 15.35	16.42	1.07
(B) GUNWALE	-1.70	0.44	10.57	4.86	13.19 13.98	15.32	1.10
(C) HALF DEPTH OF SIDE SHELL	-0.18	0.60	6.30	4.69	10.17 10.35	11.22	1.08
(D) BILGE	1.56	0.43	8.93	3.48	11.70 11.00	12.49	1.07
(E) KEEL C.L.	1.65	0	7.14	4.98	11.34 11.34	12.32	1.09
(F) HALF DEPTH OF LONGI. BHD.	-0.18	0.92	2.83	6.69	12.95 13.01	13.52	1.04

$$Z : Q=10^{-8}$$

STRESS IN KG/MM<sup>2</sup>

$$Z_A : Q=10^{-8}$$

合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力間の相関を完全相関と仮定した場合の相当応力の予測値は最も大きいと考えられるので、本論文で提案した相当応力の長期予測法で得られた予測値は安全側の推定値となっていると思われる。

#### 4 結 言

静水中の船体縦強度部材に誘起される直応力と剪断応力ならびに波浪中の船体縦強度部材に誘起される合成全直応力と合成全剪断応力の4種類の応力の組合せ応力である von Mises の相当応力について、その短期および長期予測法を提示し、大型油送船を計算適用例として相当応力の短期および長期予測結果を示した。また、近似計算式による長期の相当応力推定値と比較検討した。合成全波浪直応力と合成全波浪剪断応力間の相関を完全相関と仮定した場合の相当応力に関する検討結果によ

り、次のような結論が得られた。

a) 相当応力は、一般に船体中央部断面のガネル部、ビルジ部、甲板中心線において大きく、すべての出会角を考慮した場合に、北大西洋において長期超過確率  $Q=10^{-8}$  に対応する異常値は 17~19 kg/mm<sup>2</sup> 程度である。

b) 近似計算式による長期の相当応力推定値は、完全相関の仮定に基づく厳密計算法による長期予測値よりやや大きな値を示す。

c) 完全相関の仮定に基づく相当応力の短期および長期予測法によって相当応力の上限値の推定が可能であると思われる。ただし、これらの応力間の相関が無相関の場合および任意の相関の場合についても検討する必要がある。

本研究の数値計算に協力された九州大学大学院学生

植田英夫氏, 佃洋孝氏ならびに計算結果の整理, 図面作成に当たった梅崎法子嬢, 宮崎真史子嬢に謝意を表す。なお, 本研究の計算は九州大学大型計算機センターの電算機 FACOM M-190 OS IV/F 4 によって行なわれた。また, 本研究の実施に当って文部省科学研究費補助金(一般研究 B, 346127) の援助を受けた。

## 参 考 文 献

- 1) J. Fukuda and A. Shinkai: Predicting the Longitudinal Stresses Induced on a Large Oil Tanker in Sea Waves, *International Shipbuilding Progress*, Vol. 25, No. 291 (1978).
- 2) 福田淳一, 新開明二, 森山厚夫: 波浪中船体応力長期予測(その1)——大型油送船縦強度部材の直応力——, *日本造船学会論文集*, 第144号(1978).
- 3) 福田淳一, 新開明二, 田中徳実: 波浪中船体応力長期予測(その2)——大型油送船縦強度部材の剪断応力——, *西部造船会会報*, 第57号(1979).
- 4) 福田淳一, 新開明二, 田中徳実: 波浪中船体応力長期予測(その3)——大型油送船に働く波浪荷重の相関係数——, 1979年5月西部造船会第58回例会において講演(西部造船会会報第58号掲載予定).
- 5) T. Vinje: On the Statistical Distribution of Maxima of Slightly Non-Linear Stochastic Variables, Report SK/M 27, Division of Ship Structures, The University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway, (1974).
- 6) S. O. Skjårdal and T. Vinje: A Computer Program for Calculation of the Statistical Distribution of Maxima of Slightly Non-Linear Stochastic Variables, User's Manual, Report No. 75-1, Division of Ship Hydrodynamics, The University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway, (1975).
- 7) T. Vinje and S. O. Skjårdal: On the Calculation on the Statistical Distribution of Maxima of Slightly Non-Linear, Quadratic, Stationary Stochastic Variables, *International Shipbuilding Progress*, Vol. 22, No. 252 (1975).
- 8) W. H. Warnsinck: Report of Committee 1 on Environmental Conditions, *Proceedings of I. S. S. C.*, Delft (1964).
- 9) 福田淳一: 船体応答の統計的予測, *日本造船学会「耐航性に関するシンポジウム」*(1969).
- 10) H. Walden: Die Eigenschaften der Meereswellen im Nordatlantischen Ozean, *Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen*, Nr. 41, Hamburg (1964).
- 11) 福田淳一: 長期の波浪曲げモーメント異常値の傾向について, *日本造船学会論文集*, 123号(1968).