(昭和 49 年 11 月日本造船学会秋季講演会において講演)

波浪中の船体に働く垂直剪断力の設計値推定

正員 福 田 淳 一* 正員 永 元 隆 一**
 正員 塚 本 修** 正員 新 開 明 二*

Estimating the Design Values of Vertical Shearing Force Induced
 on the Ship Hull in Waves

by Jun-ichi Fukuda, *Member* Ryuichi Nagamoto, *Member*
 Osamu Tsukamoto, *Member* Akiji Shinkai, *Member*

Summary

Long-term predictions of vertical wave shearing force were made for a gigantic oil tanker of 310 meters length and the similar ships of different lengths, in order to examine the design values of vertical wave shearing force given by the different classification societies.

In the first place, the response functions of vertical wave shearing force were calculated by the aid of the modified strip theory which was applied for cases in oblique waves. Then, the standard deviations of vertical wave shearing force were evaluated for different short-term sea conditions, based upon the linear superposition theory, by using the calculated response functions and the wave spectra which were formulated for the different sea conditions. Finally, the long-term predictions of vertical wave shearing force were performed by using the obtained standard deviations of vertical wave shearing force for individual short-term sea conditions and the wave statistics of the North Atlantic Ocean.

According to the results of systematic prediction works which were made for a range of ship speed and of heading against wave direction, the longitudinal distributions of shearing force amplitude predicted with the exceeding probability of 10^{-6} were obtained and compared with those given by the different classification societies.

1 緒 言

船体構造強度設計を合理的に行なうために、波浪荷重の長期予測結果に基づいて荷重設計値を定めようとする試みが活発に行なわれるようになったのは、1960年代の後半に入ってからであり、主として縦強度断面係数設計値推定のための垂直波浪曲げモーメントに関する研究が多く行なわれて来た¹⁻⁶⁾。現在では、世界の主要船級協会において、このような考え方に基づく縦強度規定が採用されるようになっている。本来、縦強度設計においては、垂直波浪剪断力及び曲げモーメント、水平波浪剪断力及び曲げモーメント、波浪振りモーメント等の波浪荷重設計値を長期予測結果に基づいて設定する必要があるが、従来は、特に重要と思われる垂直波浪曲げモーメントを対象とする研究が重点的に取り上げられて、他の波浪荷重に関する研究は必ずしも十分に行なわれていなかったようである。本論文においては、これらの波浪荷重の中で、近年の船型の大型化とともに重要視されるようになった垂直波浪剪断力に関する長期予測を試みて、その設計値の推定に関する検討を行なっている。

従来は、縦強度設計において垂直波浪曲げモーメントが特に重要視されていたので、垂直波浪曲げモーメントに関する研究に較べると垂直波浪剪断力に関する研究成果の発表は少ない。国内における垂直波浪剪断力に関する研究としては、福田等^{7,8)}による規則波中の高速艦艇に働く垂直波浪剪断力の計算と規則波中の大型油送船に

* 九州大学工学部

** 三菱重工業(株)長崎造船所

働らく垂直波浪剪断力の計算が1960年代の前半に報告された以外は特に注目されるものがなかった。1960年代の末に至り、島田等⁹⁾は大型油送船に働らく垂直波浪剪断力について正面規則波中及び正面不規則波中における計算を実施し、垂直波浪剪断力の船長方向分布に関する検討を行なっている。最近に至り、佐藤等¹⁰⁾は幅広巨大船の構造強度検討に際して垂直波浪剪断力の長期予測を行なっている。海外における垂直波浪剪断力に関する研究としては、1960年代の後半に Abrahamsen^{2,11)}によって垂直波浪剪断力に関する長期予測結果が発表されているのが注目される。

以上の数少ない研究報告によっては、長期予測の結果に基づく垂直波浪剪断力の設計値は船長方向に沿ってどのような分布となるのか、またそれが船速、波に対する迎角等によりどのような影響を受けるのか、あるいは船型の大小によってどのように変化するのか等の重要な性質は明確に示されてはいない。本論文においては、船長310 m、載荷重量21万トンの巨大型油送船について、規則波中の垂直波浪剪断力応答関数の計算、短期不規則波中の垂直波浪剪断力標準偏差の計算、北大西洋における垂直波浪剪断力の長期予測等を実施し、さらに本船型と相似で船長の異なる船型を仮定して同様の計算を実施し、これらの計算結果より垂直波浪剪断力の設計値推定に関する検討を行なっている。その結果、垂直波浪剪断力の船長方向分布、船速及び波に対する迎角の影響、船型の大きさの影響等について十分な資料を得ている。

2 計 算 方 法

2.1 規則波中の船体に働らく垂直波浪剪断力

規則波中において船が一定速度を保ち且つ一定の針路を保って航行している場合を考えると、渡辺¹²⁾の線形ストリップ理論を斜波中に拡張応用した計算法^{13,14)}によって上下揺と縦揺の運動方程式を解き、その解を用いて船長方向の任意の位置の断面に働らく垂直波浪剪断力を求めることができる。

即ち、上下揺と縦揺の運動方程式は次ぎの形で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} A_{11}\ddot{\zeta} + A_{12}\dot{\zeta} + A_{13}\zeta + A_{14}\ddot{\phi} + A_{15}\dot{\phi} + A_{16}\phi &= F_{\zeta} \\ A_{21}\ddot{\zeta} + A_{22}\dot{\zeta} + A_{23}\zeta + A_{24}\ddot{\phi} + A_{25}\dot{\phi} + A_{26}\phi &= M_{\phi} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

この運動方程式を解いて、上下揺と縦揺の解は次ぎの形で求められる。

$$\left. \begin{aligned} \zeta &= \zeta_0 \cos(\omega_e t - \varepsilon_{\zeta}) \\ \phi &= \phi_0 \cos(\omega_e t - \varepsilon_{\phi}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、

ζ_0, ϕ_0 : amplitude of heave and pitch

$\varepsilon_{\zeta}, \varepsilon_{\phi}$: phase angle of heave and pitch

ω_e : circular frequency of wave encounter

t : time

(2)の解を用いて垂直波浪剪断力を計算すれば、次ぎのような形で垂直波浪剪断力が得られる。

$$F = F_0 \cos(\omega_e t - \varepsilon_F) \quad (3)$$

ただし、

F_0 : amplitude of vertical wave shearing force

ε_F : phase angle of vertical wave shearing force

2.2 不規則波中の船体に働らく垂直波浪剪断力

短期不規則波浪海面において、船が一定速度を保ち且つ波の平均進行方向に対して一定の針路を保って航行している場合を考える。

海面の有義波高を H 、平均波周期を T とすると、海面の波スペクトルは次ぎのようなISSC-スペクトル¹⁵⁾で近似的に表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} [f(\omega, \gamma)]^2 &= (2/\pi) [f(\omega)]^2 \cos^2 \gamma : -\pi/2 < \gamma < \pi/2 \\ &= 0 : \text{elsewhere} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$[f(\omega)]^2 = 0.11 H^2 \omega_0^{-1} (\omega/\omega_0)^{-5} \exp[-0.44 (\omega/\omega_0)^{-4}] \quad (5)$$

ただし、

ω : circular frequency of a component wave

γ : angle between the average wave direction and a component wave direction

$\omega_0=2\pi/T$, T : visual average wave period

H : visual average wave height (significant wave height)

このような波スペクトルで表わされる短期不規則波浪海面を航行している船に働く垂直波浪剪断力の分散は、線形重ね合わせの理論¹⁶⁾に基づくエネルギー・スペクトル計算によって次のようにして求められる。

$$\begin{aligned} R^2 &= \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{\infty} [\bar{F}_0(\omega, \delta+\gamma)]^2 [f(\omega, \gamma)]^2 d\omega d\gamma \\ &= (2/\pi) \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{\infty} [\bar{F}_0(\omega, \delta+\gamma)]^2 [f(\omega)]^2 \cos^2 \gamma d\omega d\gamma \end{aligned} \quad (6)$$

ただし,

R^2 : variance of vertical wave shearing force

R : standard deviation of vertical wave shearing force

$\bar{F}_0(\omega, \delta+\gamma)$: response amplitude of vertical wave shearing force in regular waves from $(\delta+\gamma)$ direction, which is equal to F_0/h_0 (h_0 : wave amplitude)

δ : average heading angle against the average wave direction

$\delta+\gamma$: average heading angle against a component wave direction

2.3 垂直波浪剪断力に関する長期予測

有義波高 H , 平均波周期 T の短期不規則波浪海面において, 船が一定速度を保ち且つ波の平均進行方向に対して一定の針路を保って航行している場合には, 船体に働く垂直波浪剪断力の極大値がある値 F_1 を超える確率 (垂直波浪剪断力の極大値がある値 F_1 を超える回数と垂直波浪剪断力の変動回数との比) は次式によって与えられる¹⁷⁾。

$$q(F > F_1) = \exp[-F_1^2/2R^2] = \exp\left[-\frac{(F_1/\rho g L^2 B)^2}{2(R/\rho g L B H)^2} \frac{L^2}{H^2}\right] \quad (7)$$

ただし,

ρ : density of sea water

g : acceleration of gravity

L : ship length between perpendiculars

B : ship breadth

そこで, 船がある海域において長期間にわたって常に一定速度を保ち且つ波の平均進行方向に対して一定の迎角を保って航行しているものとすれば, 船体に働く垂直波浪剪断力の極大値がある値 F_1 を超える長期の累積確率は次式によって与えられる³⁻⁵⁾。

$$\begin{aligned} Q(\delta) &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} q(F > F_1) p(H, T) dH dT \\ &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{(F_1/\rho g L^2 B)^2}{2(R/\rho g L B H)^2} \frac{L^2}{H^2}\right] p(H, T) dH dT \end{aligned} \quad (8)$$

ただし,

$Q(\delta)$: long-term exceeding probability for a level F_1 of vertical wave shearing force at heading

δ

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

ある海域で長期間において波の平均進行方向に対する船の迎角 δ の確率密度関数が $0 \sim 2\pi$ の範囲に一樣であるとすれば, 船体に働く垂直波浪剪断力の極大値がある値 F_1 を超える長期の累積確率は (8) を用いて次式で与えられる。

Table 1 Main particulars of a gigantic oil tanker

Length between Perpendiculars (L)	310.00m
Breadth (B)	48.71m
Depth (D)	24.50m
Draught (d)	19.00m
Displacement (W)	250,540 t
Block Coefficient (C_b)	0.852
Water Plane Coefficient (C_w)	0.903
Midship Coefficient (C_m)	0.995
Center of Gravity before Midship (x_G)	0.0331 L
Longitudinal Gyradius (k_L)	0.2494 L

Fig. 1 Amplitudes of vertical wave shearing force at S.S. 9, 8, 5, 2 and 1 on the ship in regular waves

Fig. 2 Standard deviations of vertical wave shearing force at S.S. 9, 8, 5, 2 and 1 on the ship in irregular waves

Fig. 3 Long-term distributions of vertical wave shearing force at S.S. 8 on the ship of 310 meters length and on similar ships of different lengths in the North Atlantic Ocean

$$Q = (1/2\pi) \int_0^{2\pi} Q(\delta) d\delta \quad (9)$$

ただし、

Q : long-term exceeding probability for a level F_1 of vertical wave shearing force when all headings are considered

3 計算結果及び考察

前述の計算方法によって巨大型油送船船型について垂直波浪剪断力の長期予測を行なった。計算例として採用した船型の主要目を Table 1 に示す。この船型を基準船型とし、これと幾何学的に相似で長さの異なる数種類の船型（船長 190, 250, 310, 370, 430, 490 m）を仮定して、これらの各船型についても垂直波浪剪断力の長期予測を行なった。

3.1 垂直波浪剪断力の応答関数

規則波中の船体に働く垂直波浪剪断力の応答関数の計算は次ぎの条件の下に行なわれた。

a) 船 速

フルード数 $F_r = 0, 0.05, 0.10, 0.15$

b) 船の波に対する迎角 (χ)

$\chi = 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180^\circ$ (追波状態を $\chi = 0^\circ$ とする)

c) 波 長 (λ)

$\sqrt{L/\lambda} = 0.3 \sim 1.8$ (0.1 間隔)

d) 垂直波浪剪断力の計算を行なった断面位置

S.S. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (船長の 10 等分位置)

垂直波浪剪断力の応答関数計算例を Fig. 1 に示す。垂直波浪剪断力の無次元振幅 $F_0/\rho g L B h_0$ (h_0 : 波振幅) を $\sqrt{L/\lambda}$ の関数として表わしており、 $F_r = 0.15$ の場合に迎角 χ をパラメーターとした図と、迎角 $\chi = 180^\circ$ (迎波状態) の場合にフルード数 F_r をパラメーターとした図を示した。

3.2 垂直波浪剪断力の標準偏差

短期不規則波浪海面を (4) 及び (5) の ISSC-スペクトルで表わし、このような波スペクトルで表わされる不規則波中の船体に働く垂直波浪剪断力の標準偏差 R の計算を行なった。計算条件は次ぎの通りである。

a) 船 速

フルード数 $F_r = 0, 0.05, 0.10, 0.15$

b) 波の平均進行方向に対する船の迎角 (δ)

$\delta = 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180^\circ$ (追波状態を $\delta = 0^\circ$ とする)

c) 平均波周期 (T)

$T = 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18$ sec

d) 垂直波浪剪断力の計算を行なった断面位置

Fig. 4 Expected largest values of vertical wave shearing force on the ship of 310 meters length in the North Atlantic Ocean

Fig. 5 Expected largest values of vertical wave shearing force at S.S. 9, 8, 5, 2 and 1 on similar ships of different lengths in the North Atlantic Ocean

S

. S. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (船長の 10 等分位置)

垂直波浪剪断力の標準偏差計算例を Fig. 2 に示す。垂直波浪剪断力の標準偏差無次元値 $R/\rho g L B H$ (H : 有義波高) を $\sqrt{L/\lambda_e} (\lambda_e = g T^2 / 2\pi)$ の関数として表わしており, $F_r = 0.15$ の場合に迎角 δ をパラメータとした図と, 迎角 $\delta = 180^\circ$ (迎波状態) の場合にフルード数 F_r をパラメータとした図を示した。

3.3 垂直波浪剪断力に関する長期予測結果

北大西洋における長期の波浪発現頻度資料¹⁸⁾を用いて船長 310m の巨大型油送船及びこれと幾何学的に相似で船長の異なる船型について垂直波浪剪断力に関する長期予測を行なった。計算条件は下記の通りである。

a) 波浪発現頻度

北大西洋において 1950 年 1 月 1 日より 1959 年 12 月 31 日までの 10 年間にわたる 227,479 観測数の資料を, 有義波高 H と平均波周期 T の関数として区分整理された, (8) の $p(H, T) dHdT$ に相当する発現確率素分を示す表⁵⁾を用いた。

b) 船の波に対する迎角 (δ)

$\delta = 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180^\circ$ の各場合及びすべての迎角を考慮した場合

Fig. 3 に, 船長 310m の船型について垂直波浪剪断力の長期分布を求めた例と, 船長 190~490m の 6 種類の船型について垂直波浪剪断力長期分布を求めた例とを示している。このような図より長期の累積超過確率 $Q = 10^{-8}, 10^{-6}, 10^{-4}$ 等に対応する垂直波浪剪断力の値を読み取って, これらの値を整理検討することにより垂直波浪剪断力の設計値を推定することができる。

Fig. 4 には, 上記のような方法によって垂直波浪剪断力の長期予測値を $F/\rho g L^2 B$ の形の無次元値として, その船長方向分布図として表わしている。船長 310m の船型について, フルード数 $F_r = 0, 0.05, 0.10, 0.15$ の各場合にすべての迎角を考慮に入れた垂直波浪剪断力の長期予測値が各船級協会の縦強度規定による垂直波浪剪断力設計値と比較されている。図中の記号は次の各船級協会の規定を表わしている。

NK : 日本海事協会

GL : Germanischer Lloyd

BV : Bureau Veritas

LR : Lloyd's Register of Shipping

NV : Det Norske Veritas

各船級協会の規定による垂直波浪剪断力の設計値はかなり大幅に異なっているが, その平均的な値はほぼ $Q = 10^{-6}$ に対応する垂直波浪剪断力の長期予測値に相当しており, 最も大きい設計値を与えている NK の値でも $Q = 10^{-8}$ に対応する長期予測値よりは小さく, 最も小さい設計値を与えている LR の値でも $Q = 10^{-4}$ に対応する長期予測値よりは大きいと見なせるようである。なお, Fig. 4 には, 船長 310m の船型について $Q = 10^{-6}$ に対応する垂直波浪剪断力の長期予測値を求め, フルード数 $F_r = 0, 0.05, 0.10, 0.15$ の各場合に迎角 δ をパラメータとして船長方向分布図に表わしている。さらに, すべての迎角を考慮に入れて $Q = 10^{-6}$ に対応する垂直波浪剪断力の長期予測値を求めた結果をフルード数 F_r をパラメータとして船長方向分布図に表わし, 各船級協会の規定による設計値と比較している。

次に, 船長 310m の船型と幾何学的に相似で船長の異なる数種類の船型を仮定して, これらの各船型について垂直波浪剪断力の長期予測を行なった結果を整理して Fig. 5 に示している。S. S. 9, 8, 5, 2, 1 の各断面に働く垂直波浪剪断力の $Q = 10^{-8}, 10^{-6}, 10^{-4}$ に対応する長期予測値を $F/\rho g L^2 B$ の形の無次元値として船長の関数として表わし各船級協会の規定による設計値と比較している図は, フルード数 $F_r = 0.15$ の場合にすべての迎角を考慮に入れたものである。Fig. 4 の場合と同様に各船級協会の規定による垂直波浪剪断力の設計値はかなり大幅に異なっているが, その平均的な値はほぼ $Q = 10^{-6}$ に対応する垂直波浪剪断力の長期予測値に相当している。なお, Fig. 5 には, すべての迎角を考慮に入れて $Q = 10^{-6}$ に対応する垂直波浪剪断力の長期予測値を求めた結果をフルード数 F_r をパラメータとして船長の関数として表わした図をも示している。

Fig. 4 及び Fig. 5 に示された結果によれば, 長期予測に基づく垂直波浪剪断力の一般的傾向について (a) ~ (d) のような結論を得, また垂直波浪剪断力の設計値推定にあたって (e), (f) のような提案をしたい。

(a) 垂直波浪剪断力長期予測値は正面迎波状態及び追波状態で最も大きく, 横波状態で最も小さい。

(b) 垂直波浪剪断力長期予測値の大きさとその船長方向分布は, 船速と波に対する迎角によってかなり影響されるが, 一般に船体中央に関してはほぼ前後対称に近く, 船首尾より船長の 1/4 の距離付近で極大値を示し, 船体中央部付近で極小値を示す。

(c) 正面迎波状態及びこれに近い状態では, 船速が零の場合には垂直波浪剪断力の船長方向分布は船体中央

に関してほぼ前後対称に近い。船速の増加とともに垂直波浪剪断力の極大値及び極小値の生じる位置は前方に移動し、前半部における極大値は大きくなり後半部における極大値は小さくなる。

(d) 追波状態及びこれに近い状態では、船速が大きい場合に垂直波浪剪断力の船長方向分布は船体中央に関してほぼ前後対称に近い。船速の減少とともに垂直波浪剪断力の極大値及び極小値の生じる位置は後方に移動し、後半部における極大値は大きくなり前半部における極大値は小さくなる。

(e) 海面状態が苛酷な場合に正面迎波状態で比較的高い船速を維持する可能性は少なく、また追波状態で極く低い船速で航海する可能性も少ないであろう。このことを考慮に入れれば、垂直波浪剪断力の設計値は船体中央に関して前後対称の分布またはこれに近い形状の分布とするべきであろう。具体的には、

極大値の範囲：S. S. 2~3 及び S. S. 7~8-1/2

極小値の範囲：S. S. 4~6

とし、船首尾を零とした屈折線状分布形状とするのが妥当であると思われる。

(f) 上記の垂直波浪剪断力の極大値と極小値を船長の関数としてその設計値を定めるには、Fig. 5においてすべての迎角を考慮に入れて $Q=10^{-6}$ に対応する長期予測値を参考とすればよからう。(e)において述べた理由で、垂直波浪剪断力の極大値としては S. S. 8 及び S. S. 2 においてフルード数 $F_r=0.05\sim0.10$ の場合の値を採用して両者を等しくし、極小値としては S. S. 5 においてフルード数 $F_r=0.05\sim0.10$ の場合の値を採用するのが妥当であろう。この場合、極小値は極大値の 60% と近似してよいようである。

船体中央部に働く垂直波浪曲げモーメントの設計値として、北大西洋においてすべての迎角を考慮に入れて長期超過確率 $Q=10^{-8}\sim10^{-7}$ に対応する長期予測値を採用するのが通例となっている。垂直波浪剪断力の設計値として、北大西洋においてすべての迎角を考慮に入れて $Q=10^{-6}$ に対応する長期予測値を採用するとすれば、垂直波浪曲げモーメント設計値と比較して危険率が $10\sim10^2$ だけ高いことになり一見不合理のようである。しかしながら、垂直波浪剪断力の設計値をどのような危険率に基づいて設定するのが妥当であるかは、構造強度解析計算法、許容応力に対する考え方等によるところが大きく簡単に結論を下し難く、現状では大型油送船に関する限り北大西洋においてすべての迎角を考慮に入れて $Q=10^{-6}$ に対応する長期予測値に基づいてその設計値を定め、垂直波浪曲げモーメントの設計値と比較した場合の危険率の差 $10\sim10^2$ は船体の垂直曲げに対する剛性保持のための余裕を持たせるものと解釈すべきであろう。何故ならば、元来ある波浪荷重の設計値設定にあたり、北大西洋における長期超過確率のある値に対応する長期予測値を基準にするのは比較設計の意味を持つもので、危険率の絶対値が絶対的な意味を持つものではないからである。

4 結 言

従来必ずしも十分な検討が行なわれていなかった波浪中の船体に働く垂直波浪剪断力について、巨大型油送船船型を例として北大西洋の長期波浪発現頻度資料に基づく長期予測を行ない、その結果を整理して垂直波浪剪断力の設計値推定に関する重要な資料を得た。即ち、垂直波浪剪断力の長期予測値について、その船長方向分布、船速及び波に対する迎角の影響、船型の大いさの影響等を明らかにし、また各船級協会の規定による垂直波浪剪断力の設計値と比較し、次ぎのような結論を得た。

(a) 垂直波浪剪断力長期予測値は、正面迎波状態及び追波状態において最も大きく、横波状態において最も小さい。

(b) 垂直波浪剪断力長期予測値の船長方向分布は一般に船体中央に関してほぼ前後対称に近く、船首尾より船長の 1/4 の距離付近で極大値を示し、船体中央部付近で極小値を示す。

(c) 正面迎波状態においては、船速が零の場合に垂直波浪剪断力長期予測値の船長方向分布は船体中央に関して前後対称に近く、船速の増加とともに極大値及び極小値の生じる位置は前方に移り、前半部の極大値は大きくなり後半部の極大値は小さくなる。

(d) 追波状態においては、比較的船速が大きい場合に垂直波浪剪断力長期予測値の船長方向分布は船体中央に関して前後対称に近く、船速の減少とともに極大値及び極小値の生じる位置は後方に移り、前半部の極大値は小さくなり後半部の極大値は大きくなる。

(e) 海面状態が苛酷な場合に正面迎波状態において計画速力に近い比較的高速を維持する可能性は小さく、また追波状態において船速が零に近い低速で航海する可能性も小さいことを考慮に入れれば、垂直波浪剪断力の

設計値は船体中央に関して前後対称の分布またはこれに近い形状の分布とするのが適当である。

(f) 各船級協会の規定による垂直波浪剪断力の設計値はかなり大幅に異なっているが、その平均的な値は、船長方向分布についても船長の関数としての変化についても、ほぼ北大西洋においてすべての迎角を考慮に入れた場合の長期超過確率 10^{-6} に対応する長期予測値に相当している。垂直波浪剪断力の設計値はどの程度の長期超過確率に対応する長期予測値に基づいて設定されるのが妥当であるかは、構造強度解析計算法、許容応力に対する考え方等によるところが大きく簡単に結論を下し難いが、現状では大型油送船に関する限り北大西洋においてすべての迎角を考慮した場合の長期超過確率 10^{-6} に対応する長期予測値に基づいて決定するのが適当であると思われる。

本論文における垂直波浪剪断力の設計値推定は巨大型油送船型を対象としているが、一般貨物船、高速コンテナ船、その他の船型についても、本論文において採用した方法を適用することにより合理的な垂直波浪剪断力の設計値推定が可能である。このような方法によって各船級協会の縦強度規定における垂直波浪剪断力設計値の再検討が行なわれるべきであろう。

本研究のとりまとめは九州大学大学院工学研究科修士課程昭和 48 年度卒業研究として新開明二が行なったが、当時の学友大柴隆士氏（現在三菱重工業(株)神戸造船所勤務）の協力に負うところが大きい。ここに深く謝意を表明する。なお、本研究の諸計算は三菱重工業(株)長崎造船所の電算機 IBM-360 及び九州大学大型計算機センターの電算機 FACOM 230-60 を使用して行なわれた。

参 考 文 献

- 1) N. Nordenström: Calculations of wave-induced motions and loads. Progress report No. 4. A pilot study with the computer program NV 403, Report No. 66-11-S, Det Norske Veritas Research Department (1966).
- 2) E. Abrahamsen: Recent developments in the practical philosophy of ship structural design, Publication No. 60, Det Norske Veritas (1967).
- 3) J. Fukuda: Theoretical determination of design wave bending moments, Japan Shipbuilding & Marine Engineering, Vol. 2, No. 3 (1967).
- 4) 福田淳一, 飯塚正文, 緒方源信, 小沼 守: 巨大船に働く波浪曲げモーメントの長期分布について, 西部造船会々報第 34 号 (1967).
- 5) 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第 123 号 (1968).
- 6) E. V. Lewis: Predicting long-term distributions of wave-induced bending moment on ship hulls, SNAME Spring Meeting (1967).
- 7) 福田淳一, 柴田 実, 豊田久夫, 星隈明吉: 規則波中の高速艦艇に働く曲げモーメント, 造船協会論文集第 112 号 (1962).
- 8) 福田淳一, 柴田 実, 豊田久夫: 規則波中の大型油送船の縦強度に関する研究, 西部造船会々報第 26 号 (1963).
- 9) 島田博之, 緒方源信, 小沼 守: 巨大船の波浪縦曲げモーメントおよび剪断力の長さ方向の分布について, 造船協会論文集第 121 号 (1967).
- 10) 佐藤 茂, 中村一郎 他: 幅広船の構造強度に関する研究, 日本造船学会論文集第 134 号 (1973).
- 11) E. Abrahamsen: Structural design analysis of large ships, Trans. SNAME, Vol. 77 (1969).
- 12) 渡辺恵弘: 船の上下動及び縦揺の理論に就て, 九州大学工学集報第 31 巻第 1 号 (1958).
- 13) 福田淳一: 規則波中の船の縦曲げモーメント(続), 造船協会論文集第 111 号 (1962).
- 14) 福田淳一: ストリップ理論とその応用, 日本造船学会誌第 485 号 (1969).
- 15) W. H. Warnsinck: Report of Committee 1 on environmental conditions, Proceedings of 2nd ISSC, Delft. (1964).
- 16) M. St. Denis and W. J. Pierson, Jr.: On the motions of ships in confused seas, Trans. SNAME, Vol. 61 (1953).
- 17) S. O. Rice: Mathematical analysis of random noise, The Bell System Technical Journal, Vol. 24 (1945).
- 18) H. Walden: Die Eigenschaften der Meereswellen im Nordatlantischen Ozean, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzerveröffentlichungen Nr. 41, Hamburg (1964).