波浪中の船体に働く水平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 Horizontal Wave Shearing
Force Induced on the Ship Hull in Waves

by Junichi Fukuda, *Member* Ryuichi Nagamoto, *Member*
Osamu Tsukamoto, *Member* Akiji Shinkai, *Member*

Summary

The authors present the results of statistical predictions on the horizontal wave shearing force for a gigantic oil tanker of 310 meters length and similar ships of different lengths.

In the first place, the response functions of horizontal wave shearing force are calculated by the aid of the modified strip theory. Then, the standard deviations of horizontal wave shearing force are evaluated based upon the linear superposition theory, by using the calculated response functions and the formulated wave spectra for given sea conditions. Finally, the long-term predictions of horizontal wave shearing force are determined by the obtained standard deviations and the wave statistics of the North Atlantic Ocean.

According to the systematic prediction analysis, the longitudinal distributions of horizontal wave shearing force, which are predicted with the exceeding probability of 10^{-6} , are investigated in relation to the ship speed, heading angle and ship length.

1 緒 言

筆者ら^{1,2)}は、巨大型油送船を計算適用例として、船体に働く垂直方向波浪荷重（垂直波浪剪断力および曲げモーメント）の応答関数計算、短期の標準偏差計算、長期予測計算等を実施して、これらの計算結果より垂直方向波浪荷重の設計値推定のための基礎資料を与えたが、本来、船体縦強度の設計基準設定にあたっては、垂直方向波浪荷重だけでなく水平方向波浪荷重（水平波浪剪断力および曲げモーメント、波浪振りモーメント）についてもその設計値に関する検討を行なう必要がある。筆者らは、このような水平方向波浪荷重の設計値推定に関する検討を試みたが、本論文においては水平波浪剪断力に関する検討結果について報告する。

水平方向波浪荷重に関する最近の基本的な研究としては、規則波中の応答関数計算を行なった、Salvesen等³⁾、福原⁴⁾、永元等⁵⁾の論文があり、福原⁴⁾は長波頂不規則波中の標準偏差計算をも行なっている。これらの規則波中水

平方方向波浪荷重計算法の実用性を模型実験等によって確認することは、垂直方向波浪荷重計算法の場合に比べると必ずしも十分には行なわれていなかった。

しかしながら、近年の合理的縦強度応力解析法確立の要望に応じて、水平方向波浪荷重計算法の有効性確認のための実験的研究も相次いで実施され^{6,7)}、ストリップ理論に基づく水平方向波浪荷重計算法は、垂直方向波浪荷重計算法の場合に比べて若干の問題点はあるにしても、一応実用に差支えない程度に有効であることが検証されている。一方、この間に規則波中の船体運動と波浪荷重の計算並びに船体縦強度部材の応力計算を行ない、さらに部材に働く応力の短期および長期予測計算までも一貫して行なうことができるような縦強度トータルシステムの電算プログラムが相次いで開発されている^{8~10)}。このような現状に直面して、応力解析を行なう際の入力となる波浪荷重の中でも基礎資料が比較的少ない水平方向波浪荷重について、その規則波中および不規則波中の応答並びに長期予測値等の諸性質を明らかにすることは意義あるものと考えらる。

本論文においては、文献 1) および 2) において垂直方向波浪荷重に関する計算適用例として採用した船長

* 九州大学工学部

** 三菱重工業(株)長崎造船所

***九州大学大学院工学研究科

310m, 載荷重量 21 万トンの巨大型油送船について, まず, 永元等⁹⁾の方法によって規則波中における水平波浪剪断力応答関数を計算し, さらに, 文献 1) および 2) の場合と同様の方法によって短期不規則波中における水平波浪剪断力標準偏差の計算と北大西洋における長期予測計算を行なっている。また, 本船型と相似で船長の異なる船型を仮定して同様の諸計算を実施している。以上の諸計算結果より水平波浪剪断力の設計値推定に関する検討を行ない, 水平波浪剪断力の船長方向分布, 船速およ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く水平波浪剪断力

船が規則波中を一定の平均迎角を保ち, かつ一定の速度を保って航行しているものと仮定する。ここで, 水平波浪剪断力に関連のある船体運動として左右揺, 船首揺および横揺のみを考え, 縦揺, 上下揺および前後揺並びに横漂流は考慮しない。

すなわち, 斜波中に拡張応用された線形ストリップ理論に基づいて左右揺, 船首揺および横揺の運動方程式は次式のように表わされる^{5,11)}。

$$\left. \begin{aligned} a_{11}\ddot{\eta} + a_{12}\ddot{\psi} + a_{18}\dot{\eta} + a_{14}\dot{\psi} + a_{15}\dot{\psi} + a_{16}\dot{\psi} \\ + a_{17}\dot{\theta} + a_{18}\dot{\theta} + a_{19}\theta = F_{\eta} \\ a_{21}\ddot{\eta} + a_{22}\ddot{\psi} + a_{23}\dot{\eta} + a_{24}\dot{\psi} + a_{25}\dot{\psi} + a_{26}\dot{\psi} \\ + a_{27}\dot{\theta} + a_{28}\dot{\theta} + a_{29}\theta = M_{\psi} \\ a_{31}\ddot{\eta} + a_{32}\ddot{\psi} + a_{33}\dot{\eta} + a_{34}\dot{\psi} + a_{35}\dot{\psi} + a_{36}\dot{\psi} \\ + a_{37}\dot{\theta} + a_{38}\dot{\theta} + a_{39}\theta = M_{\theta} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし,

η : swaying motion, ψ : yawing motion,

θ : rolling motion

$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{21}, a_{22}, \dots, a_{31}, a_{32}, \dots$: hydrodynamic coefficients for swaying, yawing and rolling motions

$F_{\eta}, M_{\psi}, M_{\theta}$: wave excited force and moments for swaying, yawing and rolling motions

運動方程式 (1) の左辺の諸係数の中で, 横揺減衰係数 a_{38} だけは非線形粘性抵抗を導入して求められる¹²⁾。

この運動方程式を逐次近似的に繰返し計算によって解けば, 左右揺, 船首揺および横揺の解は次式の形で得られる。

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \eta_0 \cos(\omega_e t - \varepsilon_{\eta}) \\ \psi &= \psi_0 \cos(\omega_e t - \varepsilon_{\psi}) \\ \theta &= \theta_0 \cos(\omega_e t - \varepsilon_{\theta}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし,

η_0, ψ_0 and θ_0 : amplitudes of swaying, yawing

and rolling motions

$\varepsilon_{\eta}, \varepsilon_{\psi}$ and ε_{θ} : phase angles of swaying, yawing and rolling motions

ω_e : circular frequency of wave encounter

t : time

これらの運動の解を用いて船長方向の任意の位置の断面に働く水平波浪剪断力を計算することができ, 次式のような形で求められる⁵⁾。

$$F_H = F_{H0} \cos(\omega_e t - \varepsilon_{FH}) \quad (3)$$

$$\text{あるいは, } [F_H/h_0] = [F_{H0}/h_0] \cos(\omega_e t - \varepsilon_{FH}) \quad (4)$$

ただし,

F_{H0} : amplitude of horizontal wave shearing force

ε_{FH} : phase angle of horizontal wave shearing force

h_0 : wave amplitude

2.2 不規則波中の船体に働く水平波浪剪断力

短期不規則波浪海面において船が波の平均進行方向に対して常に一定の針路を保ち一定の速度で航行するものと仮定すれば, 船体に働く水平波浪剪断力の分散 R^2 は線形重ね合わせの理論に基づいて次式で与えられる。ただし, 短期不規則波浪海面の波スペクトルを近似的に I. S. C. 波スペクトルで表わし, 波スペクトルの方向性分布は波の平均進行方向に対して $\pm 90^\circ$ の範囲に (cosine)² 分布をすると仮定する。

$$\begin{aligned} R^2 &= \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{\infty} [\bar{F}_{H0}(\omega, \delta + \gamma)]^2 [f(\omega, \gamma)]^2 d\gamma d\omega \\ &= (2/\pi) \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{\infty} [\bar{F}_{H0}(\omega, \delta + \gamma)]^2 [f(\omega)]^2 \\ &\quad \cdot \cos^2 \gamma d\gamma d\omega \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} [f(\omega)]^2 &= 0.11 H^2 \omega_T^{-1} (\omega/\omega_T)^{-5} \\ &\quad \cdot \exp[-0.44 (\omega/\omega_T)^{-4}] \end{aligned} \quad (6)$$

ただし,

R : standard deviation of horizontal wave shearing force in short crested irregular waves from the direction of δ

$[\bar{F}_{H0}(\omega, \delta + \gamma)]$: response amplitude of horizontal wave shearing force

$[f(\omega, \gamma)]^2$: directional wave spectrum

$[f(\omega)]^2$: I. S. C. wave spectrum

ω : circular frequency of a component wave

δ : average heading angle against the average wave direction

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

H : visual average wave height from observations

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

observations

前節に述べた方法によって水平波浪剪断力の応答関数を計算する場合に、その計算過程には非線形応答である横揺（および左右揺、船首揺）が含まれているので、一般には厳密な意味での応答関数は得られない。本論文では、波高 10m（波振幅 5m）の規則波中において（4）のように求められる水平波浪剪断力の振幅を波振幅で除した値 $[F_{H0}/h_0]$ を近似的に等価な応答関数と見なし、（5）によって水平波浪剪断力の標準偏差計算を行ない、その標準偏差計算値を用いて以下の統計的諸計算を行っている。

短期の不規則波浪海面において、船が波の平均進行方向に対して一定の針路を保ち一定の速度で航行していると仮定すれば、船体に働く水平波浪剪断力の極大値がある一定値 F_1 を超える確率（水平波浪剪断力の極大値がある一定値 F_1 を超える回数と水平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。

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

ただし、

- ρ : density of sea water
- g : acceleration of gravity
- L : ship length
- B : ship breadth

2.3 水平波浪剪断力の長期予測

船がある海域を長期間にわたって航海している場合に、その海域の有義波高 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、前節で得られた短期不規則波浪海面において船体に働く水平波浪剪断力の極大値がある一定値を超える確率、すなわち（7）を用いて、船体に働く水平波浪剪断力の長期予測を行なうことができる。

すなわち、船が長期間にわたって常に一定速度を保ちか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と仮定すれば、船体に働く水平波浪剪断力の極大値がある一定値 F_1 を超える長期の累積確率は次式によって求められる¹³⁾。

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

ただし、

$Q(\delta)$: long term exceeding probability for a level F_1 of horizontal wave shearing force as a function of heading angle δ

ある海域で波の平均進行方向に対する船の平均迎角 δ の長期確率密度関数が $0 \sim 2\pi$ の範囲に一樣であるとすれば、すべての迎角を考慮した場合に、船体に働く水平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。

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

ただし、

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

3. 計算結果および考察

Table 1 にその主要目を示すような巨大型油送船船型の計画満載状態について、前述の計算方法によって、まず規則波中の船体に働く水平波浪剪断力の応答関数の計算を行ない、次に短期不規則波中の船体に働く水平波浪剪断力の標準偏差を計算し、最後に北大西洋の長期波浪発現頻度を用いて水平波浪剪断力の長期予測を行なった。また、この船型を基準船型とし、幾何学的に相似で船長の異なる数種類の船型について同様の計算を行なった。以上の主要な計算結果例を Fig. 1~8 に示す。

3.1 水平波浪剪断力の応答関数

規則波中の船体に働く水平波浪剪断力の応答関数の計算は次のような条件のもとに行なわれた。

a) 船速 (V)

$$F_r = V/\sqrt{gL} = 0, 0.05, 0.10, 0.15$$

b) 波に対する船の迎角 (χ)

$$\chi = 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, \\ 157.5, 180^\circ (\chi = 0^\circ : \text{追波状態})$$

c) 波長 (λ)

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

d) 波高 ($H_w = 2h_0$)

$$H_w = 10\text{m}$$

e) 水平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)

水平波浪剪断力応答関数計算結果を Fig. 1 および 2 に例示する。水平波浪剪断力の無次元振幅 $F_{H0}/\rho g L B h_0$ を $\sqrt{L/\lambda}$ の関数として表わしている。 $F_r = 0.15$ の場合に迎角 χ をパラメータにした図を Fig. 1 に示し、また、水平波浪剪断力が比較的大きくかつ船速影響が最も顕著に見られる $\chi = 45^\circ$ (斜追波状態) の場合にフルード数 F_r をパラメータにした図を Fig. 2 に示している。

規則波中の船体に働く水平波浪剪断力は、一般に船長より長い波長の波中では小さく、船長の $1/2 \sim 1/3$ 程度の短波長の波中において最も大きくなる傾向を示している。

3.2 水平波浪剪断力の標準偏差

(5)によって短期不規則波中の船体に働く水平波浪剪断力の標準偏差の計算を行なった。(5)の計算を行なう

にあたり、水平波浪剪断力の応答スペクトル数値積分は文献 14) で説明した方法によって行なっている。計算条件は次の通りである。

- a) 船速は 3.1 と同じ条件
- b) 波の平均進行方向に対する船の迎角 (δ)
 $\delta = 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180^\circ$ ($\delta = 0^\circ$: 追波状態)
- c) 平均波周期 (T)
 $T = 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 \text{ sec}$
- d) 水平波浪剪断力の計算を行なった断面位置は 3.1 の場合と同じ条件

水平波浪剪断力標準偏差計算結果を Fig. 3 および 4 に例示する。水平波浪剪断力標準偏差無次元値 $R/\rho g L B H$ を $\sqrt{L/\lambda_e}$ ($\lambda_e = gT^2/2\pi$) の関数として表わしている。 $F_r = 0.15$ の場合に迎角 δ をパラメータとした図を Fig. 3 に示し、また、水平波浪剪断力が最も大きい値をとる $\delta = 90^\circ$ (横波状態) の場合にフルード数 F_r をパラメータとした図を Fig. 4 に示している。

これらの図に示された結果によれば、水平波浪剪断力の標準偏差無次元値は $\sqrt{L/\lambda_e} = 2$ 付近で最大値をとる傾向が示されている。すなわち、船長 310 m の船型の場合には平均波周期 7 秒の不規則波中において水平波浪剪断力の無次元値が最大値をとることになる。

3.3 水平波浪剪断力の長期予測結果

3.2 で示したような水平波浪剪断力の標準偏差計算結果と北大西洋における長期の波浪発現頻度資料を用いて、船長 310 m の巨大型油送船およびこれと幾何学的に相似で船長の異なる船型 ($L = 190, 250, 370, 430, 490 \text{ m}$) について水平波浪剪断力の長期予測を行なった。計算条件は次の通りである。

- a) 船の波に対する迎角 (δ)
 $\delta = 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180^\circ$ およびすべての迎角を考慮した場合
- b) 波浪発現頻度
 Walden¹⁵⁾ による北大西洋の長期波浪発現頻度に関する資料を有義波高 H と平均波周期 T の関数として区分整理した “Whole Year” の波浪発現頻度表¹⁶⁾を用いた。

Fig. 5 および 6 に、船長 190~490 m の 6 種類の船型について、水平波浪剪断力の長期分布を求めた例を示す。図は $F_r = 0.15$ の場合の S. S. 8 の断面位置の計算結果を示している。同様の図を各船速および船長方向の各断面位置について作製し、長期累積超過確率 $Q = 10^{-6}$ に対応する水平波浪剪断力長期予測値の無次元値 $F_H/\rho g \cdot L^2 B$ を求めて、その船長方向の分布を示した例を Fig. 7 に、また、船型の大きさの影響を調査するために船長の関数として表わした例を Fig. 8 に示す。

このように、 $Q = 10^{-6}$ に対応する水平波浪剪断力長期予測値を予測結果整理の基準としたのは、筆者等¹⁾が、垂直波浪剪断力設計値として「北大西洋においてすべての迎角を考慮した場合の長期累積超過確率 $Q = 10^{-6}$ に対応する長期予測値」を「基準」とするように提案したことによる。しかしながら、筆者の一人²⁾は、垂直波浪曲げモーメントについて長期予測計算を実施して、その長期予測値と世界の主要船級協会の規定による設計値とを比較することにより、各船級協会の規定による垂直波浪曲げモーメント設計値は「北大西洋においてすべての迎角を考慮した場合の長期累積超過確率 $Q = 10^{-8} \sim 10^{-7}$ に対応する長期予測値」に相当することを指摘している。このように剪断力と曲げモーメントの双方について基準とする危険率が異なることには矛盾がある。合理的縦強度応力解析の立場から考えれば、同一基準の長期累積超過確率のもとに各波浪荷重の設計値を定めるべきであり、たとえば文献 8~10) においては各波浪荷重を考慮して $Q = 10^{-8}$ レベルにおける縦強度応力解析を試みている。しかしながら、この長期累積超過確率をどの程度にとるべきかは、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、現段階では簡単に結論を下し難い。ここでは、垂直波浪剪断力との比較の意味から $Q = 10^{-6}$ に対応する水平波浪剪断力長期予測値について整理検討している。

さて、以上示した計算結果によれば、水平波浪剪断力の一般的傾向として次のような結論を得る。

- (i) 水平波浪剪断力の長期予測値は、一般に横波状態で最も大きく迎波状態で最も小さい。
- (ii) 水平波浪剪断力の長期予測値は、一般に最も大きい値をとる横波状態より追波状態の範囲では船速低下により減少する傾向を示し、一方、一般に最も小さい値をとる迎波状態より斜迎波状態の範囲では船速低下により増大する傾向を示す。すべての迎角を考慮に入れた場合には水平波浪剪断力の長期予測値は船速低下によりやや減少する傾向を示す。
- (iii) 水平波浪剪断力の長期予測値の船長方向分布は、一般に船体中央に関して前後対称に近く、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ような双峰形の分布となる。極大値および極小値が生じる船長方向位置は船速によってあまり影響されない。

(iv) 水平波浪剪断力の設計値としてどの程度の長期累積超過確率に対応する値を採用するのが妥当であるかを決定することについては現段階では結論を下し難いけれども、水平波浪剪断力設計値の船長方向分布、船型の大きさの影響については Fig. 7 および Fig. 8 を参考として比較設計の意味における推定は可能である。

4 結 言

ストリップ理論に基づく船体応答理論，波スペクトルと線形重ね合わせの理論に基づく短期不規則波浪海面の船体応答理論，大洋の波浪の長期発現頻度資料を利用した長期予測理論等を応用することにより，巨大型油送船船型を例として波浪中の船体に働く水平波浪剪断力の長期予測を行なった。そして，長期累積超過確率 $Q=10^{-6}$ に対応する水平波浪剪断力を推定して，船長方向分布，船速の影響，波に対する迎角の影響，船型の大きさの影響等を明らかにし，水平波浪剪断力の大略の傾向を調査した。

本論文においては，水平波浪剪断力の設計値をどの程度の長期累積超過確率に対応する値を採用するのが妥当であるかを決定することは今後検討すべき問題として保留し，明確な結論を与えなかったけれども，一応 $Q=10^{-6}$ に対応する長期予測値を基準として与えた。従って，水平波浪剪断力長期予測値の船長方向分布，船型の大きさの影響等については，比較設計の意味における推定は本論文で得られた結果によって十分可能である。

最後に，本研究実施に当り計算資料の整理と図面原稿作製に当たった九州大学工学部造船学教室西川真理子嬢，吉原真里子嬢に謝意を表する。なお，本研究の計算は三菱重工業長崎研究所の電算機“IBM-360”および九州大学大型計算機センターの電算機“FACOM 230-75”によって行なわれたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 福田淳一，永元隆一，塚本 修，新開明二：波浪中の船体に働く垂直剪断力の設計値推定，日本造船学会論文集 第136号，(1974)
- 2) 新開明二：波浪中の船体に働く垂直曲げモーメントの設計値推定，日本造船学会論文集 第138号，(1975)。
- 3) N. Salvesen, E. O. Tuck and O. Faltinsen: Ship motions and sea loads, T. S. N. A. M. E.,

Vol. 78, (1970)

- 4) 福原正彦：Linear Strip Method による船体の横動揺と波浪荷重の理論計算，住友重機械技報 第20巻 第58号，(1972)。
- 5) 永元隆一，小沼 守，飯塚正文，青木正生，高橋雄：波浪中で船体が受ける横剪断力，横曲げモーメント及び振りモーメントの計算，日本造船学会論文集 第132号，(1972)。
- 6) 高石敬史，吉野泰平：斜め波中におけるコンテナ船の船体中央曲げおよび振りモーメントについて，関西造船協会誌 第152号，(1974)。
- 7) 池上国広：波浪中における船体振りモーメントおよび曲げモーメントの計測結果，日本造船学会論文集 第136号，(1974)。
- 8) 秋田好雄，栢田吉郎，他8名：船体縦強度解析に関するトータルシステム—タンカーの縦強度について—，日本造船学会論文集第135号，(1974)。
- 9) 中田宣久，金網正夫，松永栄一：船体縦強度解析システムによるコンテナ船の縦応力予測計算について，日本造船学会論文集 第137号，(1975)。
- 10) 永元隆一，愛川展功，塚本 修，松山 道：波浪中の船体縦強度解析及び縦強度に関する考察（油送船について），西部造船会々報 第51号，(1976)。
- 11) 福田淳一，永元隆一，小沼 守，高橋 実：波浪中の船体運動と船体表面に働く変動水圧及び横強度に関する理論計算，日本造船学会論文集第129号，(1971)。
- 12) SR 131「波浪外力に関する水槽試験」報告書，日本造船研究協会研究資料 No. 163，(1972)，p. 109
- 13) 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)。
- 14) 福田淳一，新開明二：不規則波中の船体応答スペクトル計算における二，三の問題，西部造船会々報 第50号，(1975)。
- 15) H. Walden: Die Eigenschaften der Meereswellen im Nordatlantischen Ozean, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen Nr. 41, Hamburg (1964)。
- 16) 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)。

TABLE 1 MAIN PARTICULARS OF A GIGANTIC OIL TANKER

Length between Perpendiculars (L)	310.000m
Breadth Moulded (B_0)	48.710m
Depth Moulded (D)	24.500m
Draught Moulded (d_0)	19.000m
Displacement Moulded (W)	250,540 t
Block Coefficient (C_b)	0.852
Midship Coefficient (C_m)	0.995
Water Plane Coefficient (C_w)	0.903
Centre of Gravity from Midship (x_G)	0.0331 L
Centre of Gravity below Water Line (z_G)	0.2879 d_0
Centre of Floatation from Midship ($\bar{x}_F$)	0.0113 L
Metacentric Height (GM)	0.3305 d_0
Longitudinal Gyradius (κ_L)	0.2494 L
Transverse Gyradius (κ_T)	0.3231 B_0
Rolling Period (T_R)	14.0 sec

FIG. 1a AMPLITUDES OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 8 ON THE SHIP IN REGULAR WAVES FROM DIFFERENT DIRECTIONS

FIG. 2a AMPLITUDES OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 8 ON THE SHIP IN REGULAR QUARTERING WAVES

FIG. 1b AMPLITUDES OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 5 ON THE SHIP IN REGULAR WAVES FROM DIFFERENT DIRECTIONS

FIG. 2b AMPLITUDES OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 5 ON THE SHIP IN REGULAR QUARTERING WAVES

FIG. 1c AMPLITUDES OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 2 ON THE SHIP IN REGULAR WAVES FROM DIFFERENT DIRECTIONS

FIG. 2c AMPLITUDES OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 2 ON THE SHIP IN REGULAR QUARTERING WAVES

FIG. 3a STANDARD DEVIATIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 8 ON THE SHIP IN IRREGULAR WAVES FOR DIFFERENT HEADINGS

FIG. 4a STANDARD DEVIATIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 8 ON THE SHIP IN IRREGULAR BEAM WAVES

FIG. 3b STANDARD DEVIATIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 5 ON THE SHIP IN IRREGULAR WAVES FOR DIFFERENT HEADINGS

FIG. 4b STANDARD DEVIATIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 5 ON THE SHIP IN IRREGULAR BEAM WAVES

FIG. 3c STANDARD DEVIATIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 2 ON THE SHIP IN IRREGULAR WAVES FOR DIFFERENT HEADINGS

FIG. 4c STANDARD DEVIATIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 2 ON THE SHIP IN IRREGULAR BEAM WAVES

FIG. 5 LONG-TERM DISTRIBUTIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 8 ON THE SHIP OF 310 METERS LENGTH IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN

FIG. 6 LONG-TERM DISTRIBUTIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 8 ON SIMILAR SHIPS OF DIFFERENT LENGTHS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN

 FIG. 7a LONGITUDINAL DISTRIBUTIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} FOR DIFFERENT HEADINGS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN ($Fr=0$)

 FIG. 7e LONGITUDINAL DISTRIBUTIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} FOR ALL HEADINGS AT DIFFERENT SPEEDS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN

 FIG. 7b LONGITUDINAL DISTRIBUTIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} FOR DIFFERENT HEADINGS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN ($Fr=0.05$)

 FIG. 8a HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 8 PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} ON SIMILAR SHIPS OF DIFFERENT LENGTHS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN

 FIG. 7c LONGITUDINAL DISTRIBUTIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} FOR DIFFERENT HEADINGS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN ($Fr=0.10$)

 FIG. 8b HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 5 PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} ON SIMILAR SHIPS OF DIFFERENT LENGTHS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN

 FIG. 7d LONGITUDINAL DISTRIBUTIONS OF HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} FOR DIFFERENT HEADINGS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN ($Fr=0.15$)

 FIG. 8c HORIZONTAL WAVE SHEARING FORCE AT S.S. 2 PREDICTED WITH THE EXCEEDING PROBABILITY OF 10^{-6} ON SIMILAR SHIPS OF DIFFERENT LENGTHS IN THE NORTH ATLANTIC OCEAN