(昭和 24 年 11 月造船協会秋季講演会に於て講演)

設計初期に於ける船体固有振動数の推定

正員 工学士 富田 析 治 郎

Abstract

Estimation of the Natural Frequency of the Hull in the early Stage of Design

By Sekijiro Tométa, *Kogakushi, member*

We Propose here a Method of estimating the Natural Frequency of 2-Noded Vertical Vibration For Three Islander or similar type Cargo Ship, on the basis of the measured datas at trials which had been carriedout for about 15 years.

Eventually, the Natural Frequency of the hull (N) is derived From the Following Formula.

$$N = k \cdot 307 \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{\{0.88 W_h + \sum(e, w) + (0.98 - 0.34 C_b)(0.21 + 0.32 B/d) \Delta\} L_p^3}} \quad |min.$$

where L_p : length between perpendiculars in M.

B : breadth moulded in M.

d : mean draft in M.

C_b : block coefficient

Δ : displacement in KT.

W_h : hull weight in KT.

w : added weight (Cargo, fuel, machinery etc.) in KT.

e : a coefficient depending on the position of an added weight

$$I_e = I_{\otimes} + (I_b - I_{\otimes}) \frac{2 l_b}{L_p} \quad \text{in } M^4$$

$I_{\otimes}$: moment of inertia to upper deck of the midship section in M^4 .

I_b : moment of inertia to bridge deck in M^4 .

l_b : length of bridge in M.

k_s : to be a coefficient bared on the node position and decided after the measured datas.

For estimating the natural frequency range in the early stage of design, the approximate values of the natural frequencies at trial and full load conditions are given by the following formulas. For trial condition

$$N_T = 228 \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{\Delta_T L_p^3}} \quad |min.$$

where Δ_T is the displacemnet at trial about 40 % of full load displacement For full load condition

$$N_F = 283 \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{\Delta_F L_p^3}} \quad |min.$$

where, Δ_F is the full load displacement

§ 1. 緒 言

船体振動を軽減する手段としては、先ず機関部及び推進器等によつて生ずる週期的外力を出来るだけ小さくすると同時に、之等外力の週期と船体固有振動数との同調を避けねばならない。従つて、此の船体固有振動数は設計の初期に於て、而も相当正確に推定する必要がある。

三井造船玉野製作所 技師

此の paper は三井造船所に於て、昭和 10 年頃以降十数年間に亘り、主として試運転時に於て計測した資料の中、三島型及び類似船型のものを選び、此の種船型の船体固有振動数の一つの算定法を提案したものである。

尙計測した資料の殆どが 2 noded vertical vibration である故、此処では主に此の型の振動に就いて取扱うこととする。

方針としては、比較的簡単な計算のみにより、且異つた載貨状態に対しても容易に適用出来る方法をとつた。

その大要は

- 1) 船体部重量のみによる振動数 N_h
- 2) 船体部以外の附加重量と見做されるものによる振動数 N_{sw}
- 3) 船体周囲の水の見掛け附加重量による振動数 N_v の三つに分け、之等を Dunkery 公式により船体振動数 N を算定する。即ち

$$\frac{1}{N^2} = \frac{1}{k^2} \left(\frac{1}{N_h^2} + \frac{1}{N_{sw}^2} + \frac{1}{N_v^2} \right)$$

此処に k は実測値と比較して得られる補正係数である。

§2. 固有振動数の測定

振動数の測定には、主として床板式振動計が用いられた。計測場所は殆どが船首楼内である。

固有振動数として採つた値は、主に速力試験時に於ける振幅最大時の振動数であるが、之は Table 1 に示す如く、投錨直後に於ける船体振動数と殆ど一致するものであり、速力試験時に於て同調点の現われぬものは此の投錨時振動数を採用した。

尙、振動計測の際注意すべきは水深の影響で 83 米貨物船に於ける実測値を Table 2 に示すが、かくの如く水深が吃水の 4 倍程度以下では、明らかに固有振動数の減少を示す故、岸壁或は港内等での計測には此の点注意を要する。

本 paper の資料は吃水の 7 倍以上の水深に於けるものであり、此の水深影響は先ずないものと思われる。

§3. 船体部重量による振動数 N_h

船体部重量は排水量から貨物、燃料、機関部及 ballast weight 等附加重量と見做されるものを除いた総てを含むものとする。

今ある重量分布を有する梁が振動する場合の毎分固有振動数 N は

$$N = \frac{60}{2\pi} (mL)^2 \sqrt{\frac{gEI}{WL^3}} \sqrt{\frac{(1+\partial c/c)}{(1+\partial a/a)}}$$

で表わされる。此処に $\frac{60}{2\pi} (mL)^2 \sqrt{\frac{gEI}{WL^3}}$ は長さ L 、重量 W なる均一梁の振動数を表わし (mL) は支持状態に

よつて決る係数である。 $\sqrt{\frac{1+\partial c/c}{1+\partial a/a}}$ は Tobin* の方法によつて与えられる値で、 μ を均一梁の normal function, $(m+\partial m)$ を各断面の単位長さの質量, $(I+\partial I)$ を各断面の慣性 moment, m を $(m+\partial m)$ の長さについての平均値, I を $(I+\partial I)$ の長さについての平均値とすれば

$$a = m \int_0^L \mu^2 dx, \quad \partial a = \int_0^L \partial m \cdot \mu^2 dx, \quad c = EI \int_0^L \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial x^2} \right)^2 dx, \quad \partial c = E \int_0^L \partial I \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial x^2} \right)^2 dx$$

扱、重量 W_h なる船体が free-free uniform bar の 2 noded vertical vibration の節点位置で支持されている場合の振動を考えるに、 $(mL)^2 = 22.37$, $(1+\partial a/a)$ の三島型船数隻の実際の重量分布に就いて計算した平均値は 0.88, 又断面慣性 moment は全長に亘り一定値 I_e であると仮定すれば、此の場合の船体部重量 W_h による振動数 N_h は

$$N_h = \frac{60}{2\pi} (22.37) \sqrt{\frac{gEI_e}{0.88 W_h L^3}} \quad (1)$$

§4. 附加重量による振動数 N_{sw}

* T.C. Tobin: T. I. N. A. 1922 "A Method of Determining the Natural Period of Vibration of Ships"

free-free uniform bar の 2noded vertical vibration の節点位置で支持されている梁上に重量 w なる集中荷重ある場合、此の荷重のみによる振動数 N_w は、梁の断面慣性 moment を前節同様 I_e とすれば

$$N_w = \frac{60}{2\pi} (22.37) \sqrt{\frac{gEI_e}{ewL^3}}$$

此処に e は荷重 w の位置による係数でその値は Fig 1 に示される。(註 I 参照)

而して多数の附加重量ある場合、之等荷重のみによる振動数 $N_{\Sigma w}$ は Dunkery 公式を用いて

$$N_{\Sigma w} = \frac{60}{2\pi} (22.37) \sqrt{\frac{gEI_e}{\Sigma(e \cdot w)L^3}} \quad (2)$$

§5 船体周囲の水の見掛け附加重量による振動数 N_v

水に浮べる場合の振動数は空中に於けるそれより減少し、之は所謂 added virtual mass の影響として取扱われているが、船体の如き複雑な形状の物体が水に浮んで振動する場合、その added virtual mass の大きさ及び分布状態は未だ明確にはわかっていない。此処では F. M. Lewis* によつて与えられた計算法による大きさと分布状態とを適用する。

Lewis の方法によつて与えられる added virtual mass の分布状態を block coefficient (C_b) の各値に就いて示したものが、Fig. 2 である。又、此の added virtual mass の大きさ W_v は

$$W_v = (0.21 + 0.32 B/d) \Delta$$

で実用上十分正確に与えられる。*

此処に B : 型 幅 d : 平均吃水

Δ : 排水量

扱、added virtual mass による振動数 N_v は §3 の N_h の算出法と同様にして

$$N_v = \frac{60}{2\pi} (mL)^2 \sqrt{\frac{gEI_e}{(1+\partial a/a)W_vL^3}}$$

free-free uniform bar の節点位置で支持され、且 Fig 2 の如き分布状態の場合は

$$(mL)^2 = 22.37, \quad (1+\partial a/a) = (0.98 - 0.34 C_b)$$

即ち

$$N_v = \frac{60}{2\pi} (23.37) \sqrt{\frac{gEI_e}{(0.98 - 0.34 C_b)(0.21 + 0.32 B/d)\Delta L^3}} \quad (3)$$

§6. 船体固有振動数 N .

結局、船体固有振動数 N は、 k を補正係数とすれば、(1) (2) (3) 式より

$$\begin{aligned} \frac{1}{N^2} &= \frac{1}{k^2} \left(\frac{1}{N_h^2} + \frac{1}{N_{\Sigma w}^2} + \frac{1}{N_v^2} \right) \\ &= \frac{1}{k^2} \left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 \left(\frac{1}{22.37} \right)^2 \left(\frac{L^3}{gEI_e} \right) \left\{ 0.88 W_h + \Sigma(e \cdot w) + (0.98 - 0.34 C_b)(0.21 + 0.32 B/d)\Delta \right\} \end{aligned}$$

即ち

$$N = k \frac{60}{2\pi} (22.37) \sqrt{\frac{gEI_e}{\{0.88 W_h + \Sigma(e \cdot w) + (0.98 - 0.34 C_b)(0.21 + 0.32 B/d)\Delta\} L^3}} \quad / \text{min} \quad (4)$$

尚、実際に振動数に影響を及ぼす項目としては、剪断による撓み、曲げに基づく rotational energy など挙げられるが、此の中剪断撓みによる影響は、J. L. Taylor* によつて与えられた補正項 $\sqrt{1+\gamma}$ によつて表わされ、之は商船に就いては殆ど一定値 1.09 をとる故、補正係数 k の中に含めて考えてよい。Rotational energy による影響は些少で実用上無視して差支えないことが示されている。

次に (4) 式を適用するに当り、 I_e 及び L を吟味する必要がある。

i) I_e

(4) 式を導くに当り慣性 moment は process を簡単化する為船の全長に亘り一定値 I_e と考えた。振動数

* Frank M. Lewis: American Society of N.A. & M.E. "The Inertia of the water Surrounding a Vibrating Ship"

* J. L. Taylor: T.N.E.C.I. 1927-8 "Ship Vibration"

に最も影響を及ぼすのは、船体中央部の moment であり、両端に行く程その影響は急激に減少するものである。従つて Tanker 等の場合は船体中央部の慣性 moment をそのまま用いてよいわけであるが、船橋楼をもつ貨物船に於ては此の船橋楼部の moment がどの程度振動数に対して影響するか、まだ此の方面の研究がないようである。

此処では、実測資料の検討結果、船橋楼をもつ船に対しては、

$$I_e = I_{\otimes} + (I_b - I_{\otimes}) \frac{2l_b}{L_p}$$

なる I_e を用いることとした。此処に

$I_{\otimes}$: 中央横断面に於ける上甲板迄の慣性 moment

I_b : 船橋楼甲板迄の慣性 moment

l_b/L_p : 船橋楼長さ/垂線間長さ

但し、 l_b は $1/2 L_{\otimes}$ 間のみをとる。

I に算入する縦通材は通常張力計算の場合と同様、即ち中央横断面図に於ける艙口側甲板、梁上側板、舷縁山型、舷側厚板、外板、平板竜骨、中心線桁板、同上下山型、二重底内底板、縁板及び同山型。 I_b には船橋楼部に於ける以上のものの外に船橋楼甲板開口部側甲板、側外板及び舷縁山型向、鉋孔除は行わない。

ii) L

L としては全長をとつた場合やや誤差の小くなる傾向があるが、此処では便宜上垂線間長さ L_p をとつた。以上述べたところにより

I_e : M^4 , L_p : M , W_h, w, d : kt とし $g=980 \text{ cm/s}^2$ $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ の値を入れて (4) 式を書き直せば

$$N = k \times 307 \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{\{0.88 W_h + \Sigma(e \cdot w) + (0.98 - 0.34 C_b)(0.21 + 0.32 B/d) d\} L_p^3}}$$

$$= k \times 307 \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{W_e L_p^3}} \quad / \text{min} \quad (5)$$

此処に、 $W_e = \{0.88 W_h + \Sigma(e \cdot w) + (0.98 - 0.34 C_b)(0.21 + 0.32 B/d) d\}$

但、(5) 式は free-free uniform bar の節点位置で支持されているという仮定のもとに導かれたものなる故、補正係数 k は節点位置の函数となることが予想される。此処で、実際の節点位置を推定する必要がある。

節点位置の推定に際して、問題を簡単化する為、centrifugal moment を無視して次の様に考える。即ち、船体が振動する場合その中性軸は、船体の振動曲線を均一梁のそれと同じであると見做し、此の上に各重量が載っているものとした時、その重心を通る水平線であると仮定する。

而して此の水平線と振動曲線との交点が節点となる。従つて、節点位置は此の重心高さ (H_0) によつて表わされる。

(H_0) 算定の場合、船体部重量の重心高さ (h_{gn}) の数隻の実船に就いての平均値は振動曲線の端に於ける高さを 1 として

$$h_{gn} = 0.30$$

又、Fig. 2 の如き分布状態の added virtual mass の重心高さ (h_{gv}) は

$$h_{gv} = (0.25 C_b + 0.042)$$

で表わされる。

次に k の値を求める為に Fig. 5 に示す如く、実測振動数 N_R と、資料より計算された $307 \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{W_e L_p^3}}$ との比を、節点位置を表わす H_0 を base として plot し、之等の点の平均曲線を、free-free uniform bar 及び free-free uniform bar の節点位置で支持される uniform bar の夫々中央に同じ集中荷重を置いた場合の振動数の比を表わす theoretical curve に proportional に引いた。(註 II 参照) 此の平均曲線が即ち k -curve である。此の k -curve の値と plot した各点との誤差は最大 5%, 平均 2% 程度である。(Table 3 参照)

以上によつて任意の載貨状態に於ける 2-noded vertical vibration の固有振動数が算定されるわけである。(Table 4 参照)

§7. 船体固有振動数の近似式

実際問題として船体固有振動数は計画初期に於て、推進器回転数或は翼数を決定する際予め推定しておく必要がある。而して此の振動数は試運転状態及び満載状態に於けるものを推定すれば、推進器回転数及び翼数選定の範囲の見当がつくわけである。

i) 試運転状態に於ける船体固有振動数 N_T

排水量が満載状態の 40% 程度の試運転時に於ける固有振動数は Table 3 中の資料より平均値をとれば

$$W_e/d_T=2.32, H_0=0.23 \quad \text{即ち} \quad k=1.13 \quad \text{従つて,}$$

$$N_T=228\sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{d_T L_p^3}} \quad \text{或は} \quad 361\sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{d_F L_p^3}} \quad (6)$$

此処に、 d_T ：試運転時排水量 d_F ：満載排水量

ii) 満載状態に於ける船体固有振動数 N_F

満載状態に於ける振動数は未だ実測の機会なく、又今迄に発表せられた貨物船についての資料も殆ど見当らない。此の満載状態に於ける振動数を推定する為に、十隻の貨物船に就いて homogeneous cargo を積載した場合を仮想し、前述の方法を適用して得られた結果を Table 5 に示す。

之等の平均値をとれば、満載状態に於ける船体固有振動数 N_F は

$$N_F=283\sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{d_F L_p^3}} \quad (7)$$

尙 (6) 及 (7) 式を用いる場合、中央横断面図の未だ出来ていない時は、現行鋼船構造規則により設計せられる貨物船に対し、 I_e 中の I_{∞} 及び I_b は次の近似式より算定して大きな誤差はない。

$$I = m \cdot B \cdot D \cdot d_F \quad (M^4)$$

$$I_b = n \cdot I_{\infty} \quad (M^4)$$

此処に B ：型幅 (M) D ：型深 (M)

d_F ：満載吃水 (M)

m, n は L_p の函数で Fig. 6 によつて与えられる。

§8. 回転数の選定範囲

以上 (6) 及び (7) 式より試運転状態及び満載状態に於ける、2 noded vertical vibration の固有振動数が推定出来るわけであるが、回転数或は翼数の選定に際して、固有振動数の前後ある範囲は当然避ける可きであつて、普通構造の船体では同調時振動数の 5% の前後に於て、振幅は同調時の 30% 以下となる故 shift の量は此の程度でよいであろう。

結局、考慮す可き 2 noded vertical vibration の固有振動数の範囲は、満載状態に対して更に誤差 5% の余裕をみれば、

$$(0.90 \times 283 \sim 1.05 \times 361) \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{d_F L_p^3}} \quad \text{即ち} \\ (255 \sim 379) \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{d_F L_p^3}} \quad (8)$$

尙、2-noded horizontal vibration の固有振動数は試運転時の実測によると 2 noded vertical vibration の 1.7 倍程度であり、又 full load condition に於ては J.L. Taylor (J.I.N.A. 1930). T.W. F. Brown (N.E.C.I. 1939, March) 等の data によると此の状態の vertical vibration の 1.35 倍附近にあり、此の型の振動に対しても一応考慮する必要がある。

固有振動数と廻転数選定範囲との関係を満載状態の 2 noded vertical vibration の振動数を 1 として表わしたものが Fig. 7 である。vertical vibration の (8) 式の範囲及び horizontal vibration を併慮すると、 N_F より上部相当の範囲に亘つて safty range が存在しないわけであるが、実際航行の Ballast condition の排水量は満載時の 50% 程度はあり、尙又 full load condition に於ける上記 data の 1.35 倍は、 $B/D=1.4$ 程度の船に対するものである故、現在普通の proportion の貨物船に対しては $(1.2 \sim 1.35) N_F$ の間は実用上先々差支えないものと思われる。

尙本所建造の貨物船に就いて、常用馬力回転数と(7)式より算定した N_F との関係を Table 6 に示す。(常用馬力回転数 $1/N_F$) の値は reciprocating ship では (0.6~0.9) の間に、diesel ship では大体 (1.2~1.35) の間にある。

常用馬力回転数を Fig. 7 に於ける safety range の間に選べれば、先ず問題はないのであるが、若し此の範囲外にある時は、更に一般配置、中央横断面図等より詳細計算を行い、何れの状態に於て同調を起すかを検討し、場合によつては、主機回転数或は推進器翼数を変更するか、或は之等推進部の不平衡力を極力小さくする等特別の考慮を払う必要がある。

§9. 結 語

本 Paper の §3~§6 の間に述べた算定法は理論的には必ずしも厳正なものとは云えないが、Fig. 5 中の平均曲線と理論曲線とは殆ど一致している。然し、shear deflection の影響による $\sqrt{1+\gamma}$ の correction 等考慮すると、 $\sqrt{EI_0/W_0 L_p^3}$ は更に大きな値をとるべきである。此の中断面慣性 moment については、此の paper に於て算入したもの他に、二重底側桁板、艀口縁板及び艀口縁内甲板、甲板下縦通材或は舷橋等実際には当然ある程度有効であり、此の事も一つの大きな要素であると思われるが、要するに $\sqrt{EI_0/W_0 L_p^3(1+\gamma)}$ 中の各項が互に cancel している結果であると考えられる。

尙本 paper 中 horizontal vibration の資料僅少の爲、之に対する推定に些か危惧なきを得ないが、人体に感ずる程度は vertical vibration よりも寧ろ、加速度の大なる horizontal vibration に於てより強く、特に客船等に対しては決してゆるがせに出来ぬ問題で、今後更に研究の必要があるものと思われる。

最後に、早くから振動研究の必要を痛感され、貴重な data を残して下さいの中島隆秀、大亀 実の両先輩並びに、振動計測に御協力下さった造船所の諸氏に対し、此処に於いて、深謝の意を表する次第である。(終)

註 (I)

Fig. 1 の e -curve は massless beam 上に、中央に対して対称荷重がある場合の statical deflection の値に依つて求めたものである。従つて、荷重分布の偏つている状態に対しては、ある程度の誤差が入つて来ることが予想されるが、然し、比較的荷重分布の偏つていると考えられる試運転状態に対しても、此の事の考慮を要するのは、多くの場合 aft peak tank に対してのみであり、Fig. 1 の値を用いることによる振動数に対する誤差は 1/2% 程度で、実用上殆ど無視することが出来る。又船の場合には、排水量が増加するに従い、load は漸次 uniform となる故、 e の値としては一様に此の Fig. 1 のものを採用した。

註 (II)

Fig. 5 中の k -curve を引く場合、full load condition の H_0 は資料より plot した点群の範囲を外れ、より大きくなる為、此の k -curve を full load condition に対しても適用する為には、 k -curve は一応理論的な値に proportional に延長しておく必要がある。

而して、節点がある位置にもつて振動する free-free bar の振動数と、此の Bar が free-free uniform bar の節点位置で支持されている場合の振動数との比、即ち、 H_0 による振動数の変化は問題を簡単化して次の二つの場合を比較して求める。

i) 中央に集中荷重をもつ free-free uniform bar の振動数

ii) 此の bar が free-free uniform bar の節点位置で支持されている場合の振動数

i) の場合の振動方程式は

L : bar の長さ $\gamma = w/W$ = 荷重/bar 重量

$m^4 = W(2\pi h)^2/gEI$ n : 振動数 とすれば

$$4(1 - \cos m L \cosh m L) = \gamma m L \left\{ (\cos m L + 1) \sinh m L - (\cosh m L + 1) \sin m L \right. \\ \left. + 4 \cos \frac{m L}{2} \sinh \frac{m L}{2} - 4 \sin \frac{m L}{2} \cosh \frac{m L}{2} \right\}$$

ii) の場合の振動方程式は

記号は i) 及び図の通りとすれば、次の行列式により表わされる。

$$\left| \begin{array}{ccc} \frac{2(1 + \cos mc \cdot \cosh mc)}{\sin mc \cdot \cosh mc - \cos mc \cdot \sinh mc} & -1 & -1 \\ \sin \frac{ml}{2} + \sinh \frac{ml}{2} & -\cos \frac{ml}{2} & -\cosh \frac{ml}{2} \end{array} \right| = 0$$

$$\left(\sin \frac{ml}{2} - \sinh \frac{ml}{2} \right) + \frac{\gamma mL}{2} \left(\cos \frac{ml}{2} - \cosh \frac{ml}{2} \right), - \left(\cos \frac{ml}{2} - \frac{\gamma mL}{2} \sin \frac{ml}{2} \right), \left(\cosh \frac{ml}{2} + \frac{\gamma mL}{2} \sinh \frac{ml}{2} \right)$$

$\gamma = 0.2 \sim 1.0$ の範囲の値に対して i) 及び ii) より計算した $(mL)^2$ の各値を次表に示す。尚表中 $H_0(i)$ は Fig.4 の curve より計算したものである。

γ	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$(mL)^2(i)$	20.0	18.6	17.9	17.3	16.9
$(mL)^2(ii)$	19.6	17.5	16.0	14.8	13.9
$(mL)^2(i)/(mL)^2(ii)$	1.02	1.06	1.12	1.17	1.21
$H_0(i)$	.325	.279	.243	.217	.195

此の $(mL)^2(i)/(mL)^2(ii)$ の値が即ち、Fig.5 中の theoretical curve である。

附記

本稿提出後、D 型新造貨物船の試運転及び満載の両状態に於ける振動数実測の機会を得たのでつけ加える。

Table 3 中の (29), (30) がそれで、(30) は石炭満載の場合で、実測振動数 126.5, 計算振動数 128., 尙近似式 (7) による値は 128.5 である。

FIG. 2 ADDED VIRTUAL MASS DISTRIBUTION

FIG. 3 COEFFICIENTS FOR ADDED VIRTUAL MASS

FIG. 4 VIBRATION FORM CURVE OF FREE-FREE UNIFORM BAR

FIG. 7 SAFETY RANGE OF R.P.M. FOR 4-BLADED PROP.

TABLE 1 FREQUENCY AT ANCHORING & RUNNING

TYPE	3-ISLANDER CARGO	FLUSH DECK	3-ISLANDER	"	"	"	"	FLUSH DECK 3-ISLANDER PASS. & CARGO	"	"	LONG PUMP	OR TANKER
LENGTH IN M	134.00	145.14	128.00	109.73	100.60	83.00	109.73	150.00	83.00	83.00	83.00	148.00
N AT ANCHORING	117	99	111.6	132	135	175	133.4	107	183	167	179	93
N AT RUNNING	117.5	100	112	132	136	173	134	107	183	168	180	93

TABLE 2 83米噸物船於2米測水水深影響				
水深/平均吃水	7	4.2	3.5	2.5
實測固有振動數	167	164	160	152

TABLE 3-I							
No	Lp M	B M	D M	MEAN DRAFT FROM BOTTOM OF KEEL M	DISPLACEMENT Δ KT.	BLOCK COEFF Cb	Δ/Δ_F
1	102.00	14.80	7.31	2.72	2900	.760	.408
2	91.50	13.10	6.94	2.57	2180	.702	.397
3	109.73	15.24	8.84	3.56	4210	.697	.447
4	109.73	15.24	8.84	3.03	3460	.678	.368
5	112.80	15.24	8.84	3.49	4173	.686	.436
6	100.60	14.33	7.62	2.88	2894	.691	.406
7	118.50	16.40	9.10	3.06	4165	.693	.395
8	137.20	18.90	12.04	4.65	7716	.625	.484
9	83.00	12.20	6.40	2.63	1837	.677	.428
10	134.00	18.30	10.40	4.07	6596	.648	.443
11	123.00	16.80	9.40	3.00	4292	.692	.353
12	105.00	15.20	7.50	2.83	3104	.680	.404
13	128.00	17.70	11.00	3.32	4848	.635	.392
14	106.00	15.30	7.46	2.63	2945	.681	.384
15	100.60	14.33	7.62	2.79	2797	.689	.394
16	80.00	11.60	6.10	2.43	1506	.659	.402
17	145.14	19.50	12.40	4.95	8756	.612	.502
18	150.00	20.20	12.40	5.56	10096	.595	.562
19	106.70	14.95	8.46	2.76	3110	.697	.356
20	83.00	12.20	6.40	2.18	1370	.617	.334
21	83.00	12.20	6.40	3.12	2105	.658	.511
22	83.00	12.20	6.40	2.97	1975	.651	.480
23	85.00	12.60	6.60	2.13	1516	.668	.326
24	83.00	12.40	6.40	2.15	1400	.630	.318
25	107.00	15.70	9.75	3.86	3990	.605	.494
26	142.00	19.00	11.80	4.74	7442	.543	.626
27	105.00	15.40	8.30	2.89	2890	.610	.360
28	105.00	15.40	8.30	2.92	2940	.612	.366
29	88.00	13.50	7.00	3.10	2380	.634	.437
30	88.00	13.50	7.00	6.26	5450	.713	1.00

TABLE 3-II

N ₂	B/dm	0.88 W ₂ KT	(1 + $\frac{W_2}{W_1}$) W ₂ KT	$\Sigma (e \cdot W)$ KT	W ₂ KT	I _c M ⁴	30% $\sqrt{\frac{I_{c, max}}{I_{c, min}}}$
1	5.44	1702	4190	864	6756	976	113.1
2	5.10	1310	2990	887	5787	749	132.0
3	4.28	2354	4940	1687	8981	1500	109.4
4	5.04	2125	4720	1387	8232	1520	115.0
5	4.37	2140	5010	1646	8796	1615	110.0
6	4.78	1720	3890	1155	6765	1095	122.3
7	5.36	2500	5980	1167	9647	1977	108.0
8	4.07	4500	8940	2840	16280	3725	93.8
9	4.64	1085	2335	649	4069	568	151.7
10	4.50	3480	8255	2597	14333	3445	97.2
11	5.60	2580	6400	1347	10327	2130	102.2
12	5.37	1711	4480	1103	7294	1129	112.4
13	5.33	2920	7100	1774	11794	2592	98.1
14	5.82	1822	4575	1095	7492	1017	103.7
15	5.13	1584	3860	1084	6528	1028	120.8
16	4.77	828	1980	780	3588	437	149.8
17	3.94	4800	9940	3900	18640	4222	83.7
18	3.63	5520	7400	4204	19124	5845	92.6
19	5.42	1658	4570	1267	7495	1380	119.8
20	5.60	1006	2080	332	3418	6.11	171.7
21	3.91	978	2320	994	4292	6.11	153.3
22	4.11	1002	2270	973	4245	6.11	154.1
23	5.71	1045	2390	404	3839	5.81	152.4
24	5.77	1008	2210	221	3439	5.02	155.4
25	4.07	2540	4460	1186	8386	16.88	124.9
26	3.85	4900	8555	2257	15714	4280	94.8
27	5.33	1821	4295	1001	7117	1286	121.7
28	5.27	1821	4305	1252	7378	1286	119.2
29	4.36	1264	2930	1051	5245	7.65	142.0
30	2.16	1255	3630	2525	7410	7.65	119.5

TABLE 3-III

NO	RECORDED PRESSURE NR	FLUID PRESSURE NR	H _g	CALCULATED PRESSURE BY A. IN FIG. 5 NC	TYPE ETC
1	129	1.140	.241	126.2	3-ISLANDER, CARGO
2	154	1.159	.226	151.6	" "
3	132	1.205	.222	126.0	" "
4	132	1.148	.230	130.5	" "
5	122	1.110	.234	124.0	" "
6	156	1.111	.229	139.0	" "
7	121.5	1.124	.236	121.5	" "
8	113	1.205	.210	110.0	SHELTER DECKER, "
9	179	1.147	.232	171.6	3-ISLANDER, "
10	113	1.162	.220	112.1	" "
11	114	1.115	.229	116.2	" "
12	126	1.121	.230	127.5	" "
13	110	1.120	.224	112.5	SHELTER DECKER, "
14	122	1.177	.229	117.9	3-ISLANDER, "
15	134	1.110	.237	135.3	" "
16	168	1.121	.236	168.5	" "
17	99	1.182	.244	97.5	FLUSH DECKER, "
18	107	1.155	.204	109.9	" CARGO & PASSENGER
19	137	1.144	.236	134.8	3-ISLANDER CARGO
20	193	1.124	.215	199.5	" "
21	167	1.090	.247	169.2	ALMOST HOMOGENEOUS CARGO
22	168	1.090	.247	170.1	BALLAST CONDITION
23	164	1.076	.233	172.2	LONG HATCH
24	179	1.152	.222	178.7	LONG POOP CARGO
25	141	1.129	.215	145.1	FLUSH DECKER, CARGO & PASSENGER
26	110	1.160	.205	112.1	3-ISLANDER, SPECIAL SERVICE 6
27	139	1.144	.225	138.8	3-ISLANDER, CARGO
28	134.5	1.128	.228	135.8	" "
29	156	1.100	.237	159.0	LONG POOP, CARGO
30	126.5	1.060	.266	128.0	FULL LOAD CONDITION

TABLE 4

NATURAL FREQUENCY OF 2-NODED VERTICAL VIBRATION

S. No: _____ NAME: _____

 $L \times B \times D = 134.00 \times 18.30 \times 10.40$ $I_e = 3445 \text{ M}^4$ $d_m = 4.07$ $\Delta = 6596 \text{ KT}$ $C_b = 0.648$ $B/d = 4.50$

ITEM	W KT	ZL H	Z	FROM FIG. 1 C	CW	FROM FIG. 4 Rg	Rg W
No.1 F.O.T.	85	50.0	.373	0.65	55	.65	55
" 2 "	125	39.0	.291	.001	1	.44	55
" 3 "	140	25.5	.190	0.37	52	.22	31
" 6 "	190	18.5	.138	0.80	152	.12	23
" 7 "	134	29.3	.219	0.19	25	.28	38
F.P.T.	106	61.0	.455	2.54	269	.87	92
FORE DEEP TANK	780	16.5	.123	0.91	710	.10	78
AFT " "	250	23.5	.175	0.49	122	.19	48
FEED WATER T.	72	9.0	.067	1.30	94	.04	3
FRESH " "	40	11.0	.082	1.20	48	.05	2
FUEL OIL IN ER	30	3.5	.026	1.45	44	.01	0
LUBS OIL	35	4.5	.034	1.43	50	.02	1
MACHINERY PART	655	4.5	.034	1.43	936	.02	13
	$\Sigma W = 2642$				$\Sigma CW = 2558$		439
W _A	3954			0.880	3480	.300	1186
W _V	* ₁ 10870			* ₂ 0.7595	8256	* ₃ 204	2220
	17466				W _L = 14294	H _g = .220	3845

FROM FIG. 5
 $R_e = 1.153$ 17466

$$N = 6.307 \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{W_e \times L^3}} = 1.153 \times 307 \sqrt{\frac{3445 \times 10^8}{14294 \times 134^3}} = 112.1 \text{ /min.}$$

62

*₁, *₂, *₃ REFER TO FIG 3

TABLE 5 FREQUENCY COEFF. AT ASSUMED FULL LOAD CONDITION

	$L_P M$	ΔF KT	B/d	C_b	$W/\Delta F$	H_g	FROM FIG. 5 $\frac{W}{\Delta F}$	$\frac{307}{H_g} \frac{\Delta F}{W}$	TYPE	LOADING CONDITION OF FUEL ETC.
I	13400	14870	2.20	0.710	1.407	0.248	1.102	285	3 ISLANDER	ALL DOUBLE BOTTOM, BRIDGE CARGO
II	12800	12390	2.34	0.707	1.420	0.251	1.098	283	SMELTER DECKER	"
III	11600	10250	2.10	0.709	1.353	0.258	1.084	286	3 ISLANDER	" BRIDGE CARGO
IV	10060	7190	2.22	0.798	1.379	0.258	1.084	283	"	2 PART DOUBLE BOT.
V	10670	8745	2.13	0.762	1.291	0.271	1.063	287	"	2 PART COAL BUNKER
VI	10973	9405	2.09	0.753	1.342	0.267	1.069	283	"	ALL DOUBLE BOT.
VII	8500	4610	2.25	0.750	1.365	0.266	1.070	282	"	2 PART DOUBLE BOT.
VIII	8300	4120	2.20	0.720	1.356	0.259	1.082	285	"	"
IX	10600	7670	2.45	0.740	1.445	0.256	1.089	278	"	"
X	10500	8000	2.26	0.710	1.420	0.255	1.090	281	"	2 PART COAL BUNKER, BRIDGE CARGO
							MEAN VALUE	283		

TABLE 6

NR. SAME AS TABLE 5	N_F FROM FIG. (1)	(R.P.M.) ₂ R.P.M. AT ECON. HP.	(R.P.M.) ₂ / N_F	TYPE OF ENGINE
1	103	132	1.28	DIESEL
2	121	132	1.09	"
3	98.5	132	1.34	"
4	99	132	1.33	"
5	97	72.5	0.75	RECIPRO
6	110	76	0.69	"
7	92.5	76	0.82	"
8	85.5	104	1.22	DIESEL
9	136	83.5	0.61	RECIPRO
10	88	116	1.30	DIESEL
11	87	80	0.92	RECIPRO
12	101	74	0.73	"
13	89.5	114	1.27	DIESEL
14	111	132	1.19	"
15	107	83.5	0.78	RECIPRO
16	135	95	0.70	"
17	75.5	104	1.38	DIESEL
19	102	79	0.77	RECIPRO
20	144.5	382	2.64	DIESEL
23	128	356	2.78	"
24	127	356	2.80	"
27	105.5	106	1.00	TURBIN