

"水路航行船のつくる波の高さに関する実験"

昭和35年 11月19日

別所正利
防大工学後

§ は1かき.

一般に船の起す波に関する定量的な資料は著者の手には知る限りではない様な状況であり、且つ制限水路現象に因りて我々を知っている資料は主として限界深度及び排抗増大に関する問題があるので今の場合あまり参考にはならない状況である。

今の場合は実験に数値を当て見ると水路深さ、中等の影響は船の波の性質にあまり大きく変化をなほさない程度のものである事が判るので、無限水路航行時の船の波の性質から波高を求めよめに簡単な修正及び考察を行った。

いづれにしても実験的資料がないので定量的な事は言えないが最後に述べた他は他に局所的な水路の曲がり等の地がない限り大體妥当なものと考えられる。

以下順を追って討論を進めて見よう。

§1. 船の要目等.

船長 $L = 145.2 \text{ m}$, 船の巾 $B = 19.6 \text{ m}$, 吃水 $T = 8.8 \text{ m}$

(排水量 $\Delta_f = 12,438 \text{ t}$, $C_b = 0.676$, $C_m = .985$, $\rho = 1.686$)
 $C_w = .810$, 114300 kg system

中央舵切面積 $A_x = BT C_x = 170 \text{ m}^2$

船速 $C = \begin{cases} 3 \text{ knots} = 1.54 \text{ m/sec} & (\text{フルード数 } 0.0408) \\ 7 \text{ knots} = 3.59 \text{ m/sec} & (\text{ " } 0.0953) \end{cases}$

§2. 水路の要目等.

St. Lawrence Seaway 巾 $b = \begin{cases} 500 \text{ m} \\ 1,000 \text{ m} \end{cases}$

深さ d は中央で最大 $d_{\text{max}} = 12 \text{ m}$

岸で最小 $d_{\text{min}} = 2 \text{ m}$

とし断面積は等形形状とする。

水路の限界速度は $C_{cr} = \sqrt{gd}$ であるから

$$\sqrt{gd}_{max} = 10.8 \text{ m/sec}, \quad \sqrt{gd}_{min} = 4.43 \text{ m/sec.}$$

又 許容水力半径を $r_h = (\text{水路断面積}) / (\text{水路円周})$

とすると

$$r_h = \begin{cases} 3500 / (2 + 250) \times 2 = 7 \text{ m} & (b = 500 \text{ m}) \\ 7000 / (2 + 100) \times 2 = 7 \text{ m} & (b = 1000 \text{ m}) \end{cases}$$

となつて同じになる。従つてこれから

$$\sqrt{gr_h} = 8.4 \text{ m/sec} \quad \text{---} \quad (b = 500, 1000 \text{ m})$$

これから

$$C / \sqrt{gr_h} = \begin{cases} 0.183 & \text{---} \quad \text{3船の時} \\ 0.428 & \text{---} \quad \text{7船の時} \end{cases}$$

最後に船舶断面積と水路のそれの比は

$$A_s / A = \begin{cases} 0.0486 & \text{---} \quad (b = 500 \text{ m}) \\ 0.0243 & \text{---} \quad (b = 1000 \text{ m}) \end{cases}$$

この値は blockage effect が大きく見られるとは考えられない。数値である。(山岸 "船型学" 参照)

§3. 波長と深さの関係

速度 C と波長 λ は深さ d の時

$$C^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda}, \quad (g: \text{重力の定数}) \quad \text{---} \quad (1)$$

となり, $d/\lambda > \frac{1}{2}$ ならば 殆ど深さには無関係に

$$C^2 = g\lambda / 2\pi, \quad \text{---} \quad (2)$$

となる。今の場合

$$\frac{2\pi C^2}{g} = \begin{cases} 1.52 \text{ m} & \text{---} \quad (3\text{船}) \\ 8.27 \text{ m} & \text{---} \quad (7\text{船}) \end{cases}$$

となるので 3船の場合は岸でも深さは波長より大きいから浅水影響を考慮する必要はない。

7船の場合 岸 (深さ 2m) で (1) 式に代入して計算すると

$$\lambda = 9.5 \text{ m}, \quad (7\text{船}, d = 2 \text{ m}).$$

となつて、水深無限の場合の波長 8.27m より約 15% 大きい。

この時 $\lambda/d (= 2 \text{ m}) = 4.14$ である。

然し中央を挟んで水路の半巾の部分では水深は殆ど波長以上あるので浅水影響を考慮する必要はなく、船は水底の影響のない所で波を起し、それが岸の近くの浅い所で打撃せると考えればよい。

すなわち見方様に浅くなると波長は長くなるので波の山の線は岸に対して直角になろうとする。又速度は今の場合船速に常に等しいのに波長は長くなるのだから波高はそれだけ低くなる理屈である。実際、此の程度の水深 他斜角は波長では約 70% 減少する様である。(「海岸工学」Ⅱ, J.W. Johnson 編 土木学会訳 丸善, 1955.)

従って今の場合 安全側に見て此の量は考えず、波は浅水の影響を受けないものと考えて見る。

4. 水路中の影響

$$b/L = \begin{cases} 3.44 & b = 500 \text{ m} \\ 6.88 & b = 1,000 \text{ m} \end{cases}$$

となるが、此の程度の水深の船速では波の性質は無限水路の場合とは、反射はを考慮しなければ"波"と"波"と変らないと考えてよい。(船, 別紙, 造船協会論文集 92号)

又水路深さをも考慮に入れて §2 の水質特性をとり考えても 少くとも抵抗には大きい変化はないと考えられる。

(Laplace and van Manen "Fundamentals of Ship Resistance and Propulsion" p.107 以下)。

さて岸が今垂直であるとして岸に面する船の鏡像を考えると、即ち無数の同型船が水路中だけ木橋に隔て、並に進んでいって考えれば"水路壁"で速度の法線成分がなくなつて条件を満足する流れがえられる。

従って、今の様に巾がかなり広い場合、波が最初に岸にあたる辺では隣の像の波と加えて、丁度波高は2倍になると考えれば"充分"である。

然し船の航行速度では、すべての鏡像から来る波が干渉し合つて、結局所謂 Canal wave, 即ち水路の方向に進む二次的な波が出来る。

此の波高 (振巾の2倍) を H とすると、此の波をつくる為の抵抗は

$$R = \frac{\rho g}{16} b H^2, \quad \rho: \text{水の密度} \quad (4)$$

一方船の造波抵抗は上の様に無限水路の場合とあまり変わらないし、又充分低速であるから

$$R = \frac{8P}{3\pi} \alpha_A^2 \frac{C^6}{g^2}, \quad (4)$$

(別冊; 論文集 105, 116号)

但し α_A は 水線の船尾流出半角の正切とする。

(これは 図1は"次の条件にとればよい。 此の時の半波長より $1/10$ は長
な"け 水線の後端から前の所の水線半巾をその長さで割る)
此の両者を等しいとあくと。

$$H = 2\alpha_A \frac{C^2}{g} \sqrt{\frac{32}{3\pi}} \left(\frac{C^2}{gb}\right) = 3.170 \frac{\alpha_A C^2}{g \sqrt{gb}}, \quad (5)$$

従って

$$\begin{aligned} 7\text{m} \text{ の } H \text{ 等} \quad \dots H = & \begin{cases} 0.337 \alpha_A \text{ (m)} & \dots b = 500\text{m} \\ 0.239 \alpha_A \text{ (m)} & \dots b = 1,000\text{m} \end{cases} \\ (\lambda = 8.27\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3\text{m} \text{ の } H \text{ 等} \quad \dots H = & \begin{cases} 0.0269 \alpha_A \text{ (m)} & \dots b = 500\text{m} \\ 0.0182 \alpha_A \text{ (m)} & \dots b = 1,000\text{m} \end{cases} \\ (\lambda = 1.52\text{m}) \end{aligned}$$

尚 此の値は 船の充分後方で殆ど減衰せずには水路に面角
に現れる 波である。但し 7m の時は 前後での似た様な波小波が
あるので 岸の近くでは 幾分は高が 減ると考えられる。

§5. Kelvin 波

船の波が 最初に岸にある部分の波高を求める 爲に
無限水深, 無限巾の場合の波を考える。

船の波は 船 首尾 から出る Kelvin 波系から成るものと
考えられる。

今 水面変位を ζ_F と記すと (参考資料参照, $\zeta = -\frac{c}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t}$)
 α_F を 水線入射半角の正切として。

$$\zeta_F = \frac{2\alpha_F}{\pi K_0} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} (1 - e^{-K_0 r \cos \theta}) \sin\{K_0 f(\theta)\} d\theta, \quad (6)$$

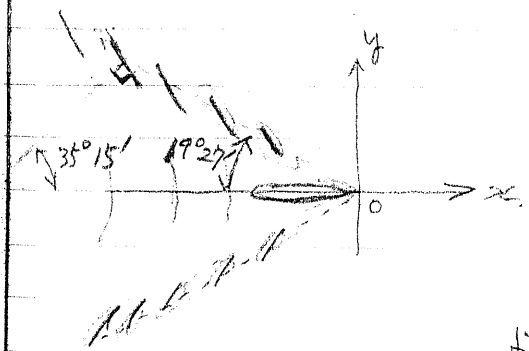
$$\text{但し } K_0 = g/c^2, \quad f(\theta) = \rho \sec^2 \theta \cos(\theta - \varphi),$$

$$\rho: \text{船首から考えている点迄の距離} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \varphi = y/x, \quad \text{今は } 0 < \varphi < \pi \text{ とする。}$$

此の波系の中で 最も波の高いのは 一番外側の部分であつて
それは $\varphi = 180^\circ - 19^\circ 27'$ の線上で 右に波は進行方向に傾し
約 $35^\circ 15'$ の方向に進んでいる。

此の点で



$$S_H \Rightarrow \frac{4P(\frac{1}{3}) \sin\{K_0 f(\theta_0)\}}{3\sqrt{3}\pi 2^{\frac{1}{3}} K_0 \{K_0 f(\theta_0)\}^{\frac{1}{3}}} \quad \dots (7)$$

$$\text{但し } f(\theta_0) = \rho \sin^2 \theta_0 \cos(\theta_0 - \varphi_0) = \frac{\sqrt{3}}{2} \rho,$$

$$\tan \theta_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \tan \varphi_0 = -\frac{1}{\sqrt{2}},$$

よって求まるのは高は $y = \frac{b}{2}$ とし 3 項
で述べた様に 全波像を考慮して 2 倍とすれば

$$H_F \Rightarrow 2.117 \alpha_F \left(\frac{C^2}{g}\right) / \left(\frac{gb}{C^2}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots (8')$$

従って

17 呎 の時	---	$H_F = \begin{cases} 0.393 \alpha_F \text{ (m)} & b = 500 \text{ m} \\ 0.312 \alpha_F \text{ (m)} & b = 1,000 \text{ m} \end{cases}$
3 呎 の時	---	$H_F = \begin{cases} 0.0412 \alpha_F \text{ (m)} & b = 500 \text{ m} \\ 0.0326 \alpha_F \text{ (m)} & b = 1,000 \text{ m} \end{cases}$

船尾波 12 つりては全く同様な式が成り立つ。

此の波の波高は上図の如く進行方向に対して傾いている
のでその波の山の斜に垂直な方向の波高は少し小さくなって
 $\lambda(\theta) = \lambda \cos^2 \theta$ であるから

$$\lambda(\theta_0) = \frac{2}{3} \lambda = \begin{cases} 5.5 \text{ m} & \text{--- 17 呎} \\ 1.0 \text{ m} & \text{--- 3 呎} \end{cases}$$

又その周期 T はその方向の波速は $C \cos \theta$ であるから

$$T = \frac{\lambda(\theta_0)}{C \cos \theta_0} = \begin{cases} 1.88 \text{ sec.} & \text{--- 17 呎} \\ 0.805 \text{ sec.} & \text{--- 3 呎} \end{cases}$$

此等の値には ρ のべた浅水の影響は考慮していない。

3 呎ではその必要はない筈であるが 17 呎の場合は岸で波高は
幾分深海はより長くなるので Kelvin 波系も末広がりにな
って来る事になる。

又更に船尾波も当たる所では船首波と干渉して波高
が略々両者の和になり得る場合がある事になる。

尚此の様な低速では船首に於ける波高は略々速度
水頭と等しいと考えられる。

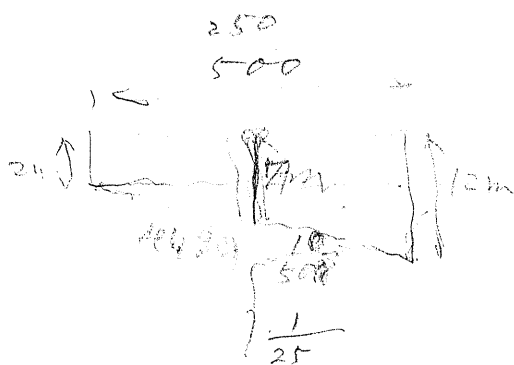
即ち

$$\frac{C^2}{2g} = \begin{cases} 0.658 \text{ m} & \text{--- 17 呎} \\ 0.141 \text{ m} & \text{--- 3 呎} \end{cases}$$

以上

1824

①



$$3\text{fts} = 1.54 \text{ m/s} \quad 1.54^2 = 2.37$$

$$7\text{fts} = 3.59 \text{ m/sec} \quad 3.59^2 = 12.9$$

1) 波高

$$\sqrt{gh_{\max}} = \sqrt{9.8 \times 12} = \sqrt{117.6} = 10.8 \text{ m/sec}$$

$$\sqrt{gh_{\min}} = \sqrt{9.8 \times 2} = \sqrt{19.6} = 4.43 \text{ m/sec}$$

$$C^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi}{g} C^2 = \begin{cases} \frac{2\pi}{9.8} \times (1.54)^2 = 1.52 \text{ (m)} \\ \frac{2\pi}{9.8} \times (3.59)^2 = 8.217 \text{ (m)} \end{cases}$$

in Deep water

$$A = \frac{2\pi}{g} \frac{C^2}{\tanh \frac{2\pi h}{\lambda}}$$

Q これから 3fts の場合は 水深の影響は 無視出来る。

$$\lambda_{(h=2m)} = 9.5 \text{ m} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{2\pi h}{\lambda_0} = \frac{2\pi \times 2}{8.217} = 1.515, \tanh 1.515 = .908 \\ \lambda_1 = \frac{8.217}{.908} = 9.12 \\ \frac{8.217}{.880} = 9.4 \\ \frac{8.217}{.852} = 9.5 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \tanh \frac{4\pi}{9.12} = .877 = .880 \\ \tanh \frac{4\pi}{9.4} = .838 = .871 \\ \tanh \frac{4\pi}{9.5} = .832 = .870 \end{array} \right.$$

この程度 即ち、 $\frac{\lambda(h=2m, 7\text{fts})}{\lambda(h=2m, 3\text{fts})} = \frac{h}{\lambda(h=2m, 7\text{fts})} = 4.14$

これは、~~波高が増える~~ 水深の傾斜による波高 ~~は~~ ^比 ~~は~~ ~~17~8%~~ となる。安全側に 見て 考える。 ^本 ~~は~~ ~~17~8%~~ ^{減少}

(これは、波高が増える 為 に 波高が 減る)。

* 海岸工学 II. J.W. Johnson 著、米工技術財団波浪研究、
A 巻

(水深 12m) の時は
又 従って、船は 途中で 波を 迎、その波が ~~前方~~ 後方に
水 深 12m の 水路 を 伝わる のと 同様に 伝わる 事 と 考える。(水深 12m なるが ~~水深~~)

又 3fts の時は、水深 ~~は~~ 無視 と 考えて よい。

2

2) ~~中の船~~ 中の船

船の長さ $L = 145.2 \text{ m}$

水深 $h = 1000, 500$

$$\frac{L}{h} = 6.88 \text{ 又は } 3.44$$

$$\sqrt{gL} = 37.7$$

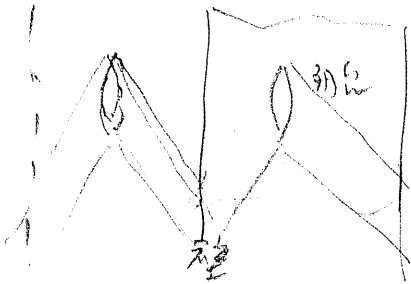
$$\text{Froude No} = \begin{cases} \frac{1.54}{\sqrt{gL}} = 0.408 \\ \frac{3.59}{\sqrt{gL}} = 0.953 \end{cases}$$

水深が

水深の中が此の程度の場合は ~~水が~~ 著しく非連続的

形状が変る事は ~~ない~~ だ? 70

即ち ~~この様な場合は~~ 側壁に対する鏡像分
を考へれば、~~壁の位置は~~ 考へて加へられれば
充分である。



像

即ち、この一番前の部分を ~~考へ~~ 考へれば
壁の位置は
は、~~此~~ 無限に広がった
水中を走る場合の2倍になると思
ふ。

3) 船のは

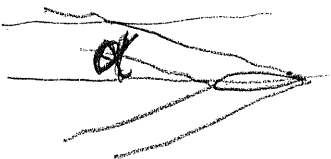
船

船首から出す。

船は 後方にKelvinの系を ~~出す~~

Kelvinの $\alpha = 19^\circ 27'$ であつて、船の ~~長さ~~ から ~~長さ~~ 長さ
船の長さ L に対しては 船の長さ L の平方に
逆比例する。

α の値の上では 一々大きくて、此の上では
船の長さの平方根に逆比例する。



従つて ~~最初~~ には 船の長さ L に対して α を考へるならば、

船の長さ L の Kelvin 角 α の他 α を考へなければい。

~~今の場合は~~ 水深 h の小な波は 水深 h の方が 無限に広がり水面を
伝へる波を考へれば h よりも 今より 此の波の長さは
約 8.3 m だから、 $(12 \text{ m} > 8.3 \text{ m})$ の場合上 無限に広がり
の場合のポテンシャルを考へればよい。

(然し 理論の節に h と L に 水深 h に 対する 鏡像分
考へて 方がよいと思う。 何れにせよ h は 水深
に comparable だから

3

4) 難問

Q点の下のP点にある

浅海を走る 単位長さの距離がPからQに

$$\varphi = \varphi_1(P) + \varphi_2(P) + \varphi_3(P)$$

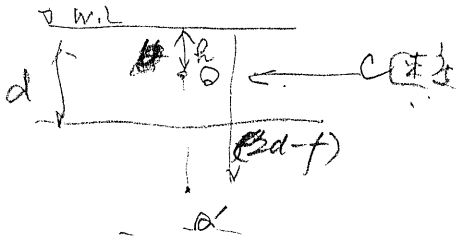
(1)

$$\varphi_1(P) = \frac{1}{r(P, Q)}$$

(2)

$$\varphi_2(P) = \frac{1}{r(P, Q)}$$

(3)



$$\varphi_3(P) = -\frac{1}{2\pi} \iint_{\Sigma} \left(e^{-k\sqrt{x^2+y^2}} + e^{-2kd+\sqrt{x^2+y^2}} \right) \frac{dk}{k} \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} + e^{ik\omega} \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}}$$

(4)

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{k + k_0 \sec^2 t}{k - k_0 \sec^2 t + \mu i \sec t} dk$$

$$\omega = (x-x')\omega_1 + (y-y')\omega_2$$

$$k_0 = \frac{g}{c^2}$$

$$P = (x, y, z), Q = (x', y', z')$$

2次元変位は

(5)

$$\zeta = -\frac{c}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{z=0}$$

このとき、1+とあるのは、今の場合は、 $k_0 d = \frac{g d}{c^2} = \frac{117.5}{129} = 9.12$
 の分母が零になるのは $\frac{117.5}{2.315} = 49.6$

とあるから、

であるから、 $k_0 d$ が此の値より大きい時は、 $\tanh k_0 d \approx 1$ であるから、2次元の場における

$$H \leftarrow \frac{k + k_0 \sec^2 t}{k - k_0 \sec^2 t + \mu i \sec t}$$

値を2で

$$\varphi_3(P) \Big|_{z=0} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{\Sigma} \left(e^{-k\sqrt{x^2+y^2}} + e^{-2kd+\sqrt{x^2+y^2}} \right) \frac{k + k_0 \sec^2 t}{k - k_0 \sec^2 t + \mu i \sec t} dk \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}}$$

(6)

となる。

このとき、 φ の中を2次元から3次元で表して、
 このとき、 φ_3 の中からは出てくるのは、 φ の中からは出てくる。
 このとき、 φ の中からは出てくる。

$$\varphi_w(P) \Big|_{z=0} = 4k_0 \int_{-\infty}^{\infty} \left(e^{-k\sqrt{x^2+y^2}} + e^{-2kd+\sqrt{x^2+y^2}} \right) \mu i (k_0 \sec^2 t - \mu)$$

$$\varphi = (x-x')^2 + (y-y')^2, \quad \tan \varphi = \frac{y-y'}{x-x'}$$

(7)



$$\int \psi_w dz$$

$$\sigma = -\frac{c}{4\pi T} \frac{\partial A}{\partial x} \quad k_0 \text{ const.}$$

$$I(k, T, d)$$

$$\Phi = \int \left(-\frac{c}{4\pi T} \right) \frac{\partial A}{\partial x} \psi_w dx = -\frac{c}{4\pi T} (4k_0) \int \frac{\partial A}{\partial x} \chi(k_0 \bar{\omega}) dx \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \cos \theta d\theta$$

$$I(k) = \int_0^T (e^{-k\hbar} + e^{-2k\hbar + k\hbar}) \frac{d\hbar}{T} = \frac{1 - e^{-kT}}{kT} + e^{-2kT} \frac{e^{kT} - 1}{kT}$$

$$= \frac{1}{kT} \left\{ \right.$$

σ の 1/2 倍は 2 倍のみ 考えたと。 k_0 \text{ const.}

$$\Phi_H = -\frac{c}{4\pi T} (4) \left[\frac{\partial A}{\partial x} \right]_{FP} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \cos(k_0 \bar{\omega} \sec \theta) \sec \theta d\theta$$

$$\left[-\frac{\partial A}{\partial x} \right]_{FP} = \alpha B, \quad \text{B 領域中, } \text{とある。}$$

$$\Phi_H = \frac{\alpha B c}{\pi} \int \cos(k_0 \bar{\omega} \sec \theta) \sec \theta d\theta$$

$$\zeta_H = -\frac{c}{g} \frac{\partial \Phi_H}{\partial x} = \frac{\alpha B}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \chi(k_0 \bar{\omega} \sec \theta) \sec^2 \theta d\theta \cdot I(k, T, d)$$

$$= \frac{\alpha B}{\pi} \frac{\Gamma(\frac{1}{3})}{\sqrt{3} 2^{\frac{1}{3}} (k_0 f)^{\frac{1}{3}}} \sin \left\{ \frac{\pi}{6} \right\} \cdot I(k_0 \sec \theta, T, d)$$

$$\left(f = f_{\text{real } \theta_0} \cos(\theta_0 - \varphi_0) = \frac{\sqrt{3}}{2} f = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{B}{2} b = \frac{3\sqrt{3}}{4} b \right)$$

$$\tan \theta_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \tan \varphi_0 = -\frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \sec^2 \theta_0 = \frac{4}{3}$$

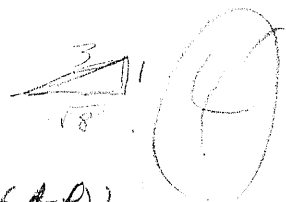
$$\alpha = \frac{2I}{B} \alpha'$$

$$\frac{\Gamma(\frac{1}{3})}{\sqrt{3} 2^{\frac{1}{3}} (k_0 f)^{\frac{1}{3}}} = \frac{\Gamma(\frac{1}{3})}{(k_0 b)^{\frac{1}{3}} \sqrt{3} 2^{\frac{1}{3}} \sqrt{3}} = \frac{\Gamma(\frac{1}{3}) \sqrt{2}}{(k_0 b)^{\frac{1}{3}} 3}$$

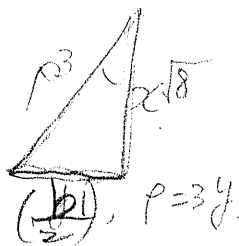
α =

$$\zeta_H = \frac{2}{\pi} \frac{\Gamma(\frac{1}{3})}{\sqrt{3} 2^{\frac{1}{3}} (k_0 f)^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{\alpha}{k_0} \right) \chi(k_0 f)$$

2. 15) 式から $\frac{g}{c^2}$



$$P_m = \frac{4 \Gamma(\frac{1}{3}) K_0}{\sqrt{3} 2^{\frac{1}{6}} \{K_0 f(0_0)\}^{\frac{1}{3}}} \sin \{K_0 f(0_0)\} \left\{ e^{-K_0 \rho \sec \theta_0} + e^{-K_0 \rho \sec \theta_0 (2A - \rho)} \right\} \sqrt{\frac{1}{8}}$$



1. 2. $f(0_0) = \rho \sec \theta_0 \cos(\theta_0 - \varphi) = \frac{\sqrt{3}}{2} \rho$

$$\begin{cases} \tan \theta_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}, & -\tan \varphi = -\frac{1}{\sqrt{3}}, \\ \sec \theta_0 = \frac{2}{\sqrt{3}}, & \end{cases}$$

(5) 式が $z > 2$ の場合は $\frac{g^2 c}{c^2}$

$$S_m = - \frac{4 K_0^2 c \Gamma(\frac{1}{3})}{g \sqrt{3} 2^{\frac{1}{6}} \{K_0 f\}^{\frac{1}{3}}} \cos \{K_0 f\} \left\{ e^{-\frac{3}{2} K_0 f} + e^{-\frac{3}{2} K_0 (2A - f)} \right\}$$

2. $\rho = 3 \left(\frac{b}{2} \right), \quad f = \frac{\sqrt{3}}{2} \rho = \frac{3\sqrt{3}}{4} b$

$$\therefore \frac{4 \Gamma(\frac{1}{3})}{2^{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}} \left(\frac{3\sqrt{3}}{4} \right)^{\frac{1}{3}}} = \frac{4 \Gamma(\frac{1}{3}) 2^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{3} \cdot 2^{\frac{1}{6}} \cdot 2^{\frac{1}{6}}} = \frac{4 \Gamma(\frac{1}{3})}{\sqrt{3}}$$

$$S_m = - \frac{K_0}{c} \frac{4 \Gamma(\frac{1}{3})}{\sqrt{3}} \frac{\cos \left\{ \frac{3\sqrt{3}}{4} K_0 b \right\}}{(K_0 b)^{\frac{1}{3}}} \left\{ e^{-\frac{3}{2} K_0 b} + e^{-\frac{3}{2} K_0 (2A - b)} \right\}$$

$\frac{3}{2} \rho \cdot \left[\theta_0 = \frac{3}{2} \rho \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \right]$

$c_0 = 35$

$\varphi_0 = 11$

よって求めるのは $\frac{W}{B}$ (5%以内 = 1%)
 $\frac{W}{B}$ は

$$\alpha = \frac{2I_0}{B}$$

$$\frac{2T}{B} \frac{\partial A}{\partial X} = \alpha / B$$

$$\frac{W}{B} = \alpha \frac{2\sqrt{2} \Gamma(\frac{1}{3})}{\pi 3 (k_0 b)^{\frac{1}{3}}} I_0 \quad I_0 = \frac{1}{k_0 T}$$

$$\frac{1}{T} \frac{\partial A}{\partial X}$$

$$I_0 = \frac{1 - e^{-k_0 T \sec^2 \theta_0}}{k_0 T \sec^2 \theta_0} + e^{-2k_0 d \sec^2 \theta_0} \frac{e^{k_0 T \sec^2 \theta_0} - 1}{k_0 T \sec^2 \theta_0}$$

$$\sec^2 \theta_0 = \frac{3}{2}$$

$$I_0 = \frac{2(1 - e^{-\frac{3}{2} k_0 T})}{3 k_0 T} + \frac{2(e^{-\frac{3}{2} k_0 d} - e^{-3 k_0 d})}{3 k_0 T}$$

$$\frac{q}{12} = \frac{3}{4} \quad T = 2d = 15.2$$

$k_0 T$ は Γ 値の倍率である。 Γ 以下で倍率から
 求める第2項以下は、通常小さく、

$$I_0 \approx \frac{2}{3 k_0 T}$$

$$\therefore \frac{W}{B} = \alpha \frac{4\sqrt{2} \Gamma(\frac{1}{3})}{9\pi (k_0 b)^{\frac{1}{3}}} = \frac{q}{c^2} \times 0.542$$

$$\Gamma(\frac{1}{3}) = 2.70$$

$$\sqrt{2} = 1.414$$

$$\frac{4 \times 1.414 \times 2.70}{9 \times 3.142} = 0.542$$

$$\frac{q}{c^2}$$

$$\frac{q}{c^2} =$$

2) 各の量の算出を述べれば、

$$\frac{W_0}{B} = \alpha \frac{q}{c^2} \times 1.084 = \frac{2.17}{\frac{q}{c^2} \left(\frac{86}{c^2}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$\alpha = \frac{-2A}{B \frac{\partial X}{\partial X}} = \frac{2T}{B} \frac{\partial A}{\partial X} = \frac{2T}{B} \alpha$$

$$1.0 \times 1000$$

④ は水素入射角の半分

$$\frac{q}{c^2} = 1$$

$$④ = 0.2$$

$$\frac{0.4442}{10} = 0.044$$

垂直化生法



$$\oint_H = \frac{-2\pi}{\pi} \textcircled{H} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \mathcal{L}(kx \cos \theta) \cos \theta d\theta = \sqrt{\frac{2\pi}{k_0 x}}$$

$\frac{f'}{f} = 1.0 \quad \frac{f''}{f} = \cos \theta$

$$= \frac{-2\pi}{\pi} \textcircled{H} \int \sqrt{\frac{2\pi}{k_0 x}} \mathcal{L}(kx \cos \theta) d\theta$$

$$I = \frac{1}{k_0 x}$$

$$\begin{matrix} 750. & 250 \\ \downarrow & \downarrow \\ 250 & 250 \end{matrix}$$

$$|\oint_H| = \frac{2\sqrt{2\pi}}{\pi k_0} \textcircled{H} \left(\frac{1}{\sqrt{k_0 x}} \right)$$

$$\sqrt{\frac{2\pi}{k_0 x}} = \sqrt{\frac{2\pi \times 100}{625}} = 2.5$$

$$\frac{2\sqrt{2\pi}}{\sqrt{\pi}} = 1.593$$

$$|\oint_H| = 1.593 \left(\frac{c^2}{g} \right) \frac{1}{\sqrt{k_0 x}} = \frac{1.6}{2.5} = 0.64$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \approx 0.817$$

$$\frac{c^2}{g} = 1.316$$

(2.3)

$$\frac{c^2}{g} = 0.242$$

$k_0 b =$

$$\frac{1.6}{c^2} = 2.065 \times 1.316 = 12.75$$

$$\times 2 \quad 4.130 \times 0.242 = 1.008$$

$$\frac{2.17 \times 1.316}{0.26} = 1.393$$

9.15

$$2.17 \times 0.242 = 0.525$$

4 300 13 17 $\lambda(1) = 1.0028$

12) 20 18 $T = \frac{2}{c} =$

$\frac{8}{3.59} = 2.22$

• 0 Canal wave

canal wave $\frac{Pgb a^2}{4} = 12$

411 11 11 12 $R = \left(\frac{P}{2} L V\right) \frac{16}{3\pi} \alpha^2 H^4 = \frac{P}{3\pi} \alpha^2 \frac{V^4 L^2 V^2}{g^2 L^2}$

$\therefore \frac{P}{3\pi} a^2 = \frac{32}{3\pi} \frac{V^6}{g^3 b} \alpha^2, \quad a = \frac{V^2}{g} \sqrt{\frac{32}{3\pi} \frac{V^2}{g b}}$

$a = \frac{V^2}{g} \quad a = 1.85 \frac{V^2}{g \sqrt{k_0 b}}$

$b = 500$

$\frac{C^2}{g} = \frac{12.9}{9.8} = 1.316$

$\frac{1.85}{25.6} = 0.078, \quad \frac{1}{\sqrt{k_0 500}} = 25.6 \times$
 $\frac{1}{\sqrt{380}} = 14.5$

$a = \frac{1.85 \times 1.32}{25.6} = 0.0955 \times \alpha$

$\sqrt{\frac{1}{k_0 1000}} = \frac{\sqrt{1760}}{1000}$

$\frac{3.1}{V^3} \quad 12.6$
 $2.3 \quad \frac{1.316}{\sqrt{\quad}}$

$\sqrt[3]{380} = 7.26$

$\sqrt[3]{1760} = 9.15$

Fundamentals of Ship Resistance and Propulsion.

P. 107.

$$\pi r = 2(2 + 500)$$



4h x 半径. $r_h = \frac{1000}{\pi} = 318.31 \text{ m}$

$$14 \times 250 = 3,500 \text{ m}^2$$

$$KTD = \frac{A}{2}$$

$$\frac{\pi}{2} r^2 = 3500$$

$$r = \sqrt{\frac{7000}{\pi}} = 47.3 \text{ m}$$

$$b = 1000 \text{ m}$$

$$A = 3,500 \text{ m}^2$$

$$\text{Perimeter} = (2 + 250)2 = 504$$

$$r_h = \frac{3500}{504} = 6.94 \text{ m}$$

$$b = 1000 \text{ m}$$

$$r_h = \frac{14 \times 500}{1000} = \frac{7000}{1000} = 7 \text{ m}$$

$$\frac{v^3}{\sqrt{g r_h}} = 8.388.4 \text{ m/s}$$

$$\frac{c}{\sqrt{g r_h}} = \frac{3.59}{8.4} = .428$$

$$A_x = 8.8 \times 19.6 \times 0.985 = 170 \text{ m}^2$$

$$A(b=1000 \text{ m}) = 3,500 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_x}{A} = .0486$$

$$A(b=1000 \text{ m}) = 7000$$

$$\frac{A_x}{A} = .0243$$

St. Lawrence Seaway 資料

船 145.2 x 19.6 x 12.5

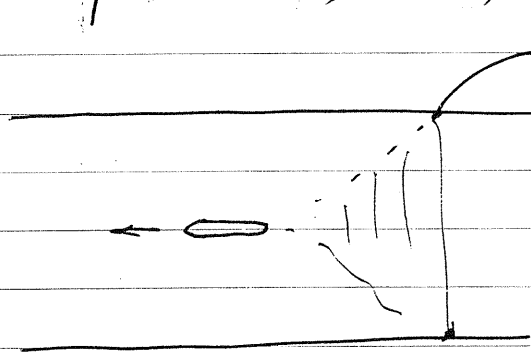
吃水 8,800^m 300 Tm by stern

Speed 3 KTS 及 7 KTS の 2つの場合

Seaway 中 500^m と 1000^m の 2つの場合

水深 12^m 中央 2^m 岸辺 水深 5^m と 10^m の 2つ

計 4通りの場合



船中の水は 1.2 m の
波の高さ

船は中央航行と仮定

船資料 Δf 8800 $\Delta f = 17.438$ $C_b = .676$

$C_{\Delta} = 0.985$ $C_p = .686$ $C_w = .810$

其他の資料 5号の場は 計
三井物産 工務部 造船課 船代 1号船 7.5m
(241-0161)

昭和35年11月15日

別紙見.

先日付失礼致し候.

今日即電話にて件別紙の如き條件にて
の直に即解の致し候.

尚計算手取料は小生迄ハ23日迄出張
致し候なり直接三井船舶より交渉はれり
らとの旨なり.

計算結果と計算手取料請求書
東京中失区日中橋高野三井ビル内
三井船舶主務部内田部長方
御送付下す.

期限は許諾の關係にて11月20日迄に
御送付頂ければ大へん幸なりとす

以上

大島 祥

此記

出張迄前記条件にて立寄り見て御済し
下す.

※. 主要目 記号 等.

10 船: 船長 $L = 145.2 \text{ m}$

船中 $B = 19.6 \text{ m}$.

吃水 $T = 8.8 \text{ m}$. 300 ton by stern

中央横切面積 $A_R = BT \cdot C_R = 8.8 \times 19.6 \times 0.985 = 170 \text{ m}^2$.

船速 C $\left\{ \begin{array}{l} 3 \text{ kts} = 1.54 \text{ m/sec.} \\ 17 \text{ kts} = 3.59 \text{ m/sec.} \end{array} \right.$ $F \text{ 数 } F = \frac{C}{\sqrt{gL}} = 0.0408 \dots$

" $F = 0.0953$.

γ : 重力 常数.

20 水路. 中 $\left\{ \begin{array}{l} b = 500 \text{ m.} \\ A = 1000 \text{ m}^2 \end{array} \right.$ --- Case I

--- Case II.

水深 $d_{\max} = 12 \text{ m}$
 $d_{\min} = 2 \text{ m}$.

断面は不規則形状をなすものとする.

限界速度 $C_{cr} = \sqrt{gd}$, $\sqrt{gd_{\max}} = 10.8 \text{ m/sec.}$

$\sqrt{gd_{\min}} = 4.43 \text{ m/sec.}$

水力半径 $r_h = \frac{\text{水路断面面積 } A}{\text{水路周長.}} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{3500}{(2+250)2} = 17 \text{ m} \text{ --- Case I} \\ \frac{7000}{(2+500)2} = 7 \text{ m.} \text{ --- Case II.} \end{array} \right.$

水路断面面積 $A = \left\{ \begin{array}{l} 14 \times 250 = 3,500 \text{ m}^2 \text{ --- Case I.} \\ 14 \times 500 = 7,000 \text{ m}^2 \text{ --- Case II.} \end{array} \right.$

船体断面面積との比 $\frac{A_R}{A} = \left\{ \begin{array}{l} 0.0486 \text{ --- Case I.} \\ 0.0243 \text{ --- Case II} \end{array} \right.$

$\sqrt{gr_h} = 8.4 \text{ m/sec.}$ --- Case I, II と同じ.

よって $\frac{C}{\sqrt{gr_h}} = \left\{ \begin{array}{l} 0.183 \text{ --- 3 kts の } F \text{ 数} \\ 0.428 \text{ --- 17 kts の } F \text{ 数} \end{array} \right.$

30 波長 λ と水深 d の関係 $\lambda \geq \frac{d}{2}$

波速と波長 $C^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda}$

となり, $\lambda \geq \frac{d}{2}$ ならば 水深 d は $\frac{d}{2}$ の関係は

$$C^2 = \frac{g\lambda}{2\pi}$$

となる.

* 海事工学Ⅱ, T.W. Johnson 編. (土木学会社) 丸巻 (1955)

本誌 311頁. 92号

*** Fundamentals p.107. 2の地.

7 Ship resistance and Propulsion, Lap and van Manen, (Reprint). 2.

今の場合. $\frac{2\pi C^2}{\lambda} = \begin{cases} 1.52 \text{ (m)} & \text{--- 3船} \\ 8.27 \text{ (m)} & \text{--- 7船} \end{cases}$

となるので. 3船の場合 ~~水深は~~ 水路は無限に深い場合と変わらない.

7船の場合は水路中央 ~~水路中央~~ の中央を挟んで水路の岸の部分では. 無限に深い場合と変わらない.

水路壁の所で上式に入れて計算すると.

$$\lambda = 9.5 \text{ m} \quad \text{--- 7船, 水深 2 m.}$$

とすると. $\frac{2\pi C^2}{\lambda} = 8.27 \text{ m}$ より 約 15% 大きくなっている.

この時 $\frac{\lambda}{d(=2\text{m})} = 4.14$ である.

従って. ~~船の航行は~~ ^{無限に} 深い所では出来た方が浅い所へ打寄せると考えてよい.

この時 ~~水深は~~ ^{の山の傾斜} 浅くなると波長は長くなるので波は岸に近づく. 直角になろうとする. 又波長は長くなるから波高はそれだけ低くなる. ~~波高は今の場合より~~ ^{波高は今の場合より} 減るから

理屈である. 実際. この程度の水深傾斜ではそうなっている様である. * (約 15% 減少).

従って. 今は安全側に見て. 此の量は考えず. 波は ~~浅い~~ ^{深さ} 深海を伝わるものと同等と見做す.

水路 4. 中の影響.

$$b/L = \begin{cases} 3.44 & \text{--- Case I} \\ 6.88 & \text{--- Case II.} \end{cases}$$

この程度の深さ ~~水路~~ 水路では. ~~水路~~ ^{水路} の性質は ~~水路~~ ^{水路} 無限水路の場合と同じと考える. ***

~~又~~ 又. 水路深さと両方を考慮して. 水カド径をとりて考える. 少くとも押すには ~~大さ~~ ^{ほど} 変化がなると考えてよい. *** (22号参照)

~~水路断面~~ ~~水路~~ ^{水路} (blockage factor A/A も同様) かなり大きい影響を及ぼすと ~~考えられ~~ ^{考えられ} ない. *** (岸上方向)

~~岸上方向~~ 岸が今垂直であるとすると. 岸に近づく船の鏡像を考慮 ~~する~~ ^{する} 丁度波は岸に当たった所では波高は2倍になる事になる.

即ち. 船が水路中にだけ存在し. 区切って進んでいくと考える (よい) (無限の円型)

102.
 船の進むのは 船の ~~充分~~ 後方で 殆ど 減衰せず"に 船の進行方向
 に進む、~~但し~~ 但し 70% の時は 前項での似た様な事 予想が
 ついて 岸の 近くでは 幾分は 衰へると思われる。

5. ~~船の波~~ ~~発散~~ から Kelvin 波.

~~船~~ 船の波が最初に第 12 章の ~~部分~~ の波高は、前項の初めに述べた如く、無限 ~~波~~、無限 ~~波~~ の場合の ~~値~~ を ~~計算~~ せよ。

船の波は、~~波~~ 船首 ~~波~~ 船尾 から出る Kelvin 波系から成る。

~~波~~ (この波系の中で最も波の高さは、一帯外側の部分にある)。

今、~~波~~ (波) 変位を S_H と記すと、(参考資料参照)、 α_H を ~~波~~ 船首入射角の正切とす。

$$S_H = \frac{c^2 \alpha_H}{\pi g} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{f(\theta) (1 - e^{-k_0 T \sec^2 \theta})}{\sin(k_0 f(\theta))} d\theta.$$

$$f(\theta) = p \sec \theta \cos(\theta - \varphi).$$

$$121 \quad k_0 = \frac{g}{c^2}, \quad p = \text{船首から考えている点との距離} = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

$$f(\theta) = \begin{cases} \tan \varphi = \frac{y}{x} \quad \dots \text{今 } 0 < \varphi < \pi \text{ とする。} \end{cases}$$

これは、 $\varphi = 180^\circ - 19^\circ 27'$ の象限にあると仮定して、

波は進行方向に反対し、 $35^\circ / 5'$ である。

この上では、

$$S_H = \frac{4 p \left(\frac{1}{3}\right) \sin \{k_0 f(100)\}}{k_0 3 \pi \sqrt{3} 2^{\frac{1}{3}} \{k_0 f(100)\}^{\frac{1}{3}}}.$$

$$\begin{cases} f(\theta_0) = \frac{\sqrt{3}}{2} p = p \sec \theta_0 \cos(\theta_0 - \varphi_0) = \frac{\sqrt{3}}{2} p. \\ \tan \theta_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \tan \varphi_0 = -\frac{1}{\sqrt{8}} \end{cases}$$

よって、波の波高 H_H は、 $y = \frac{b}{2}$ とし、 $\dots$ 前項 12 の ~~波~~ 波高は、この値を 2 倍し、 $\dots$ 波の 2 倍とす。

$$H_H = d_H 2.17 \left(\frac{c^2}{g}\right) / \left(\frac{4b}{c^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

~~波~~ 船尾波についても全く同様な式がなり立つ。

$$\begin{cases} 3 \text{ knots の波は、} & H_H = 4.393 \alpha_H \quad \dots \quad b = 500 \text{ m.} \\ & 0.312 \alpha_H \quad \dots \quad b = 1,000 \text{ m.} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3 \text{ knots の波は} & H_H = \begin{cases} 0.0412 \alpha_H & \dots \quad b = 500 \text{ m} \\ 0.0326 \alpha_H & \dots \quad b = 1,000 \text{ m.} \end{cases} \end{cases}$$

この波は、進行方向に反対し、約 35° の方向に進むと仮定して、その波長は、

$\lambda(\theta) = \lambda \cos^2 \theta$ であるから、

$$\lambda(35^\circ / 5') = \frac{2}{3} \lambda = \begin{cases} 5.51 \text{ m} & \dots \quad 7 \text{ knots.} \\ 1.01 \text{ m} & \dots \quad 3 \text{ knots.} \end{cases}$$

最上. その1) 解は. T は その方向の波長は $c \cos \theta$ であるから

$$T = \frac{\lambda(\theta)}{c \cos \theta} \quad \frac{1}{c \cos \theta} = \begin{cases} 1.88 \text{ sec.} & \text{--- 7 knots.} \\ 0.805 \text{ sec.} & \text{--- 3 knots.} \end{cases}$$

3 knots の場合は 此れで 大抵 正しいが 7 knots の場合は 多少 波長は 15% 程 深海波より 大きくなるので ~~少くとも 15% 程 異なる~~。
上述の ~~波~~ Kelvin 波系も 幾分 末広がりと なつて来る。

~~又~~ 又 いづれにしても 岸による 反射波の 爲に 波模様は 複雑なものとなるが その様子は 大抵 鏡像 波の 波長を 重ねて 考えれば 大抵 理解出来るだろう。

又 船尾波も 当る所では 波の干渉によつて 船首波と 加へ 合せるものから その波長になる。

従つて 起り得る波長としては 前式の 略々 2 倍となる。

~~此れを~~ 4 項の 式と比較すれば 大抵 同じにな ~~事~~ がつて いる。

~~船尾波~~ 船尾波との 干渉を 考えれば 4 式 ~~より~~ 略々 2 倍になる。

(~~と云ふのは 船尾波 4 項の 式を用いた 造波機 式では 船首波は 無視 出来る~~ と考えて いるので こうなるのは 当然 のようにも 思う。)

尚、此の 様な 波長では 船首波の 波高は 略々 深さ 1/2 に 等しい。

従つて、

$$\frac{c^2}{\lambda^2} = \begin{cases} 0.658 \text{ (m)} & \text{--- 7 knots.} \\ 0.141 \text{ (m)} & \text{--- 3 knots.} \end{cases}$$