

柔軟な緩衝工と船舶の接岸力

若 桑 訥*

Estimation of the Ship Berthing Force on a Slender Berthing Structure
By
Totsu Wakakuwa

The size of ocean-going ships has been growing steadily for these ten years, especially it is remarkable in the case of oil tankers.

In a few years ago, a ship of 20,000 tons dead weight was called "Super tanker", but now there are ships of over 150,000 tons dead weight in service.

Since existing berthing structures were not designed for such big vessels, the reconsiderations of the design data of berthing structures have been quite important for safety-berthings.

In the usual case of ship berthing on dolphin, the discriminant of the auxiliary equation for the equation of motion $\ddot{S} - \alpha \{f(t) - \dot{S}\} + kS = 0$ (c.f. 2.1) is $\alpha^2 - 4k < 0$.

If a large ship hits the existing berthing structure, which is slender in comparison with the ship, the discriminant may be positive.

This paper reports the results of some theoretical considerations, model experiments and an "in-situ" experiment in such cases.

The velocity and change of velocity of water particles in the vicinity of ship depend on their position and the initial condition, therefore it is shown that the influence of the water-pressure on the hull varies with the load-deflexion characteristic of berthing structure and the berthing velocity.

1. 概 説

最近における船舶の大型化の傾向は急速であって、数年前の10万t級スーパータンカーの建造に続いて、15万t、さらに20万t級タンカーも建造されるに至っている。

筆者が、船舶の接岸力について、室内および実船による実験で遭遇し、研究して来たものは、運動方程式の特性方程式の判別式が負の値の場合で、緩衝工の働きも確実であり、船舶の接岸力も、は握することができるものであった。

しかし、昨今のような急激な大型化に対応して、接岸時の諸現象をは握することができ、安全を保証できるように、係船施設を改築することが可能な場合はさておき、大型化に対応しえない事情のときも多いことは、容易に推察される。このような場合には、余裕水

深や潮位を最大限に利用し、きつ水いっぱいにして、5万t、10万t級用ドルフィンに、超巨大船を係船荷役するのやむを得ない場合も生ずることであろうし、また接岸力の大きさは、主として接岸速度によるものであるから、これを制御して、現状施設で接岸荷役できないであろうか、という場合も起こるのである。

すなわち、 $\alpha^2 - 4k < 0$ の場合から、ゼロに等しくなり、ついには $\alpha^2 - 4k > 0$ の状態のときも起りうることとなる。

このような場合には、初期条件や環境等の接岸条件によって、伴流の状態は異なるので、その影響も違っていることは推察されるが、どのようにしたら安全に接岸係船できるか、その限度を見出す目的をもって室内実験および実船測定を行なった。その結果を報告する。

第2章において、運動方程式に減衰項 $f(t)$ を導入

* 元関連施設部 (現秋田大学教授)

し、余弦の形で近似させうることを示し、各種の場合について検討した。

第3章、第4章および第5章は第2章の考察を実証するため行なった室内実験の設備と結果を述べ、理論値と対比検討したものである。

第6章には、川崎沖におけるドルフィンに、排水トン数12万tの油槽船が接岸したときの接岸現象の実測値と解析の結果を示してある。

第7章は、以上の研究の結論で、係船施設の設計において安全を期するためには、不確実な減衰にたよらず、船とともに動く水の流れは減衰しないとして設計するのが当をえていることが述べてある。

第8章は、接岸力の計算図表である。

2. 運動方程式について

$\alpha^2 - 4k > 0$ のような場合は、現象時間 t_0 は長いので、伴流の速度が減衰はじめることは、既に報告¹⁾した通りである。

2.1 運動方程式の誘導

船長 l 、きつ水 h 、バース水深 H 、船の質量 m 、接岸速度 v_0 、緩衝工の撓み（水平方向） s 、緩衝工のバネ常数 K 、偏心係数 $\beta = (1 + mr^2/I_z)$ 、船の重心と接点との船長添いの水平距離 r 、船の重心を通る鉛直軸についての船の慣性モーメント I_z 、流体の質量 ρ_w とし、 $S = s/v_0$ 、 $\alpha = \rho_w g h^2 l / m \sqrt{gH}$ 、 $k = \beta K / m$ で現わせば、運動方程式は、

$$\ddot{S} - \alpha \{ f(t) - \dot{S} \} + kS = 0$$

となる。ここで $f(t)$ は t の任意の関数を示す。

$\alpha^2 - 4k < 0$ の場合は、 $f(t) = 1$ であったが、 $\alpha^2 - 4k \leq 0$ のような場合には、現象時間は長く、接岸はゆるやかな運動となるので、船の移動にもなつて流動していた水の流速が減衰はじめる。その状態を接岸の瞬間においては船も水もともに等しい速度で運動していることから、 $\dot{S} = 1$ 、そして減衰するのであるから、 $v_0 f(t) = v_0 \cos nt$ とおき、その範囲を $\cos nt = 1 \sim 0$ までとする。

$$\therefore \ddot{S} - \alpha(\cos nt - \dot{S}) + kS = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$t = 0, S = 0, \dot{S} = 1$ の初期条件でとき、 $\varphi = -\alpha t / 2$ 、 $\Psi_+ = \sqrt{\alpha^2 - 4k} / 2$ 、 $\Psi_- = \sqrt{4k - \alpha^2} / 2$ 、 $R = (n^2 - k)^2 + \alpha^2 n^2$ 、 $\theta_1 = \tan^{-1}(k - n^2 / \alpha n)$ 、 $\theta_2 = \tan^{-1}[\alpha \sqrt{4k - \alpha^2} / \{\alpha^2 - 2(k - n^2)\}]$ とすれば、 $\alpha^2 - 4k \leq 0$ なるに従って、それぞれ次の解をえる。

$$S = \frac{\alpha}{\sqrt{R}} \sin(nt + \theta_1) - \frac{(k - n^2)}{\Psi_- \sqrt{R}} e^{\varphi} \sin(\Psi_- t + \theta_2) \dots\dots\dots(2)$$

$$S = \frac{n^2 - k}{(n^2 + k)^2} \{ 2\sqrt{k} + (n^2 + k)t \} e^{-\sqrt{k}t} + \frac{2\sqrt{kR}}{(n^2 + k)^2} \sin(nt + \theta_1) \dots\dots\dots(3)$$

$$S = \frac{\alpha}{\sqrt{R}} \sin(nt + \theta_1) + \frac{n^2 - k}{R} e^{\varphi} \left[\frac{2(n^2 - k) + \alpha^2}{2\Psi_+} \sinh \Psi_+ t + \alpha \cosh \Psi_+ t \right] \dots\dots\dots(4)$$

したがって \dot{S} はそれぞれ、

$$\dot{S} = \frac{\alpha n}{\sqrt{R}} \cos(nt + \theta_1) + \frac{(n^2 - k)\sqrt{k}}{\sqrt{R} \cdot \Psi_-} e^{\varphi} \cos(\Psi_- t + \theta_3)$$

ここに $\theta_3 = \tan^{-1} \left(\frac{n^2 + k}{n^2 - k} \frac{\alpha}{2\Psi_-} \right) \dots\dots\dots(2')$

$$\dot{S} = \frac{2n\sqrt{k}}{n^2 + k} \sin(nt + \theta_4) + \frac{n^2 - k}{n^2 + k} \left(\frac{n^2 - k}{n^2 + k} - \sqrt{k}t \right) e^{-\sqrt{k}t}$$

ここに $\theta_4 = \tan^{-1} \left(\frac{2n\sqrt{k}}{n^2 - k} \right) \dots\dots\dots(3')$

$$\dot{S} = \frac{\alpha n}{\sqrt{R}} \cos(nt + \theta_1) + \frac{n^2 - k}{R} e^{\varphi} \left\{ (n^2 - k) \cosh \Psi_+ t - \frac{\alpha(n^2 + k)}{2\Psi_+} \sinh \Psi_+ t \right\} \dots\dots\dots(4')$$

また \dot{S} はそれぞれ、

$$\dot{S} = -\frac{\alpha n^2}{\sqrt{R}} \sin(nt + \theta_1) + \frac{k(n^2 - k)}{\sqrt{R} \cdot \Psi_-} e^{\varphi} \sin(\Psi_- t - \theta_5)$$

ここに $\theta_5 = \tan^{-1} \left\{ \frac{\alpha n^2 \sqrt{4k - \alpha^2}}{\alpha^2 n^2 + 2k(k - n^2)} \right\} \dots\dots\dots(2'')$

$$\dot{S} = \frac{2n^2\sqrt{k}}{n^2 + k} \cos(nt + \theta_4) - \frac{n^2 - k}{n^2 + k} \sqrt{k} \cdot e^{-\sqrt{k}t} \left(\frac{2n^2}{n^2 + k} - \sqrt{k}t \right)$$

$$\text{ここに } \theta_4 = \tan^{-1} \left(\frac{2n\sqrt{k}}{n^2 - k} \right) \dots\dots\dots (3'')$$

$$\begin{aligned} \dot{S} = & -\frac{\alpha n^2}{\sqrt{R}} \sin(nt + \theta_1) \\ & + \frac{(n^2 - k)}{R} e^{\psi} \left[\frac{\alpha^2 n^2 + 2k(k - n^2)}{\sqrt{\alpha^2 - 4k}} \sinh \Psi_+ t \right. \\ & \left. - \alpha n^2 \cosh \Psi_+ t \right] \dots\dots\dots (4'') \end{aligned}$$

現象時間 t_0 , 最大撓み S_0 を求めるには, 次のようにして数値計算で求めるのが実際的である。 t_i における \dot{S}_i , \ddot{S}_i を条件に応じ, (2'), (3'), (4) および (2''), (3''), (4'') によって求め,

$$\dot{S}_i / \ddot{S}_i = \Delta t_i \text{ として, } t_i + \Delta t_i = t_{i+1}$$

この t_{i+1} を用いて,

$$\dot{S}_{i+1} / \ddot{S}_{i+1} = \Delta t_{i+1}, \quad t_{i+1} + \Delta t_{i+1} = t_{i+2}$$

この t_{i+2} を用いて, \dot{S}_{i+2} を求める, このようにして t_{i+n} を用いたとき $\dot{S}_{i+n} = 0$ であるときの $t_{i+n} = t_0$, $S_{i+n} = S_0$ が求める値である。

2.2 運動方程式の検討

(2), (3), (4) 式によって表わされる接岸の状態について考察するに, (2) 式の場合は, もっとも普通にある状態であって, 構造物も信頼することができ用も確実である。すなわち判別式 $\alpha^2 - 4k < 0$ の場合で, $n=0$ とおくことができる。接岸距離が十分にあって, 船が定速の状態となって接岸するときは, 特に理論値と合致する。

この時 (2) 式は,

$$S = \frac{\alpha}{k} - \frac{1}{\psi_-} e^{\psi_- t} \sin(\Psi_- t + \theta_{20}) \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{ここに } \theta_{20} = \tan^{-1} \left(\frac{2\alpha\psi_-}{\alpha^2 - 2k} \right)$$

となる。

次に, $n=0$, $\alpha^2 - 4k=0$ のとき (3) 式は

$$S = \frac{2}{\sqrt{k}} - \frac{e^{-\sqrt{k}t}}{\sqrt{k}} (2 + \sqrt{k}t) \dots\dots\dots (6)$$

また $n=0$, $\alpha^2 - 4k > 0$ の場合 (4) 式は,

$$\begin{aligned} S = & \frac{\alpha}{k} - \frac{e^{\psi}}{k} \left[\frac{\alpha^2 - 2k}{2\Psi_+} \sinh \Psi_+ t \right. \\ & \left. + \alpha \cosh \Psi_+ t \right] \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

また, \dot{S} , \ddot{S} はそれぞれの場合次のようになる。

$\alpha^2 - 4k < 0$ の場合

$$\dot{S} = \frac{\sqrt{k}}{\psi_-} e^{\psi_- t} \cos(\Psi_- t - \theta'_{20}) \dots\dots\dots (5')$$

$$\text{ここに } \theta'_{20} = \tan^{-1} \left(\frac{\alpha}{\sqrt{4k - \alpha^2}} \right)$$

$$\dot{S} = -\frac{k}{\psi_-} e^{\psi} \sin \Psi_- t \dots\dots\dots (5'')$$

$\alpha^2 - 4k = 0$ の場合

$$\dot{S} = e^{-\sqrt{k}t} (1 + \sqrt{k}t) \dots\dots\dots (6')$$

$$\dot{S} = -kt e^{-\sqrt{k}t} \dots\dots\dots (6'')$$

$\alpha^2 - 4k > 0$ の場合

$$\dot{S} = e^{\psi} \left(\frac{\alpha}{2\Psi_+} \sinh \Psi_+ t + \cosh \Psi_+ t \right) \dots\dots\dots (7')$$

$$\dot{S} = -\frac{k}{\psi_+} e^{\psi} \sinh \Psi_+ t \dots\dots\dots (7'')$$

ここで (6), (7) 式の状況のときは, 現象時間 t_0 が大きいので, 水流の減衰がおこる。

運動方程式の第2項の括弧内 $f(t) - \dot{S}$ が

$$f(t) - \dot{S} \cong 0$$

になるに従って, 加速方向に, あるいは減速の方向に, 水圧は働く。

$f(t) = \cos nt$ とおいた場合, すなわち水流の速度が $v_0 \cos nt$ の形で減衰するものとすれば, n の値によって, 各種の場合が生ずる。既述のとうり nt はゼロから $\pi/2$ の間の値とする。

n が大きくなるにしたがって, 水圧の働きは小さくなることは, 明らかである。その過程において, 水圧が働かないと等しい場合, すなわち, 便宜的付加質量がゼロの場合も, また水圧が抵抗になる場合も出てくるはずである。

この便宜的付加質量がゼロの状態を考えると (1) 式によって,

$$\cos nt - \dot{S} = 0$$

$$\ddot{S} + kS = 0$$

をうるから, $t=0$, $\dot{S}=1$, $S=0$ の条件で, この二つの式を満足する解は,

$$\begin{aligned} n = & \sqrt{k} \\ S = & \sin \sqrt{k}t / \sqrt{k} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

となる。

したがって, $n = \sqrt{k}$ を境にして, $n < \sqrt{k}$ のときは水圧は船を押し進める方向に働き, $n = \sqrt{k}$ のときは水圧は働かないと等しい状態である。 $n > \sqrt{k}$ のときは, $\cos nt - \cos \sqrt{k}t < 0$ であるから, $\cos nt - \dot{S} < 0$ のときで, (1) 式

$$\dot{S} + \alpha(\dot{S} - \cos nt) + kS = 0$$

の第2項において、 $\cos nt$ は \dot{S} より小でなければならぬから、第2項は抵抗として働くこととなる。それゆえ解

$$S = -\frac{\alpha}{R} \left\{ \alpha n \sin nt - (n^2 - k) \cos nt \right\} + \frac{(n^2 - k) e^{\psi}}{R} \left[\frac{2(n^2 - k) + \alpha^2 e^{\psi+t} - e^{-\psi+t}}{2\psi_+} + \alpha \frac{e^{\psi+t} + e^{-\psi+t}}{2} \right]$$

において、この場合 $n \neq 0$ のときであるから、 $\alpha^2 - 4k \geq 0$ の場合のみを考慮すればよい。

まず、 $\alpha^2 - 4k > 0$ のときは

$$S = -\frac{\alpha}{\sqrt{R}} \sin(nt - \theta_1') + \frac{(n^2 - k) e^{\psi}}{R} \left[\frac{2(n^2 - k) + \alpha^2}{2\psi_+} \sinh \psi_+ t + \alpha \cosh \psi_+ t \right] \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{ここに } \theta_1' = \tan^{-1} \left(\frac{n^2 - k}{\alpha n} \right)$$

伴流は全体において、船の進行方向と逆に流れないから、 $nt \leq \pi/2$ である。 $\pi/2$ より大きいときは $\pi/2$ とする。このような状態は静水中で、船が伴流の減衰がおこるようなゆるい速度で進みながら接岸する場合に相当する。

つぎに、 $\alpha^2 - 4k = 0$ のときは、 S は、

$$S = \frac{n^2 - k}{(n^2 + k)^2} \left\{ 2\sqrt{k} + (n^2 + k)t \right\} e^{-\sqrt{k}t} + \frac{2\sqrt{k}K}{(n^2 + k)^2} \sin(nt - \theta'_{10}) \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{ここに } \theta'_{10} = \tan^{-1} \left(\frac{n^2 - k}{2n\sqrt{k}} \right)$$

この場合も、 $nt \leq \pi/2$ である。

2.3 その他の場合

$\alpha^2 - 4k > 0$ の状態のときに、船が接岸施設の僅か前方で一度静止してから、おもむろに接岸するような状態においては、伴流は発達せず、船は静水を押しながらか接岸運動をする状態と考えられる。

この時の運動方程式は、微速であるから抵抗は速度に比例するものとして、

$$\dot{S} + C_v \dot{S} + kS = 0$$

$$\text{ここに } C_v = \eta \frac{hl}{m} \quad [\text{sec}^{-1}]$$

$\eta =$ 抵抗係数 [gr.sec/cm³]

をうる。 $t=0, S=0, \dot{S}=1$ の条件で解けば、 $C_v^2 - 4k \geq 0$ にしたがって、それぞれ

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{1}{\zeta_-} e^a \sin \zeta_- t \\ \dot{S} &= e^a \left(\cos \zeta_- t - \frac{C_v}{2\zeta_-} \sin \zeta_- t \right) \\ t_0 &= \zeta_-^{-1} \tan^{-1} (2\zeta_- / C_v) \\ S_0 &= e^a / \sqrt{k} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

$$\left. \begin{aligned} S &= te^a \\ \dot{S} &= e^a (1 + a) \\ t_0 &= 2 / C_v \\ S_0 &= 0.7356 / C_v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

$$\left. \begin{aligned} S &= \zeta_+^{-1} e^a \sinh \zeta_+ t \\ \dot{S} &= e^a \{ \cosh \zeta_+ t - 0.5 C_v \zeta_+^{-1} \sinh \zeta_+ t \} \\ t_0 &= \zeta_+^{-1} \tanh^{-1} (2\zeta_+ / C_v) \\ S_0 &= \zeta_+^{-1} e^{a_0} \sinh (\zeta_+ t_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに } \zeta_- &= \sqrt{4k - C_v^2} / 2 \\ \zeta_+ &= \sqrt{C_v^2 - 4k} / 2 \\ a &= -C_v t / 2 \\ a_0 &= -C_v t_0 / 2 \end{aligned}$$

この (13) 式のような状態は、接岸の場合、水の抵抗が大ききことを意味するものであるから、流水を阻止する壁面があるような特殊な状態において現われるであろう。

ドルフィン等は多く透過構造物であるから、 $C_v^2 - 4k \leq 0$ の状態の方が多く現われるものと考えられる。

2.4 結 び

この2章において、伴流の減衰を考慮した項 $v_0 f(t)$ を入れた基本運動方程式において、伴流の減衰状態にかんがみ、 $v_0 f(t) = v_0 \cos nt$ とおいた各種の場合について考察を加えた。

その結果、 $n = \sqrt{k}$ 、すなわち水圧が働かないと等しい状態を境にして、一方は船を加速する方向に、他方は減速する方向に水圧が働くことが理解される。これを要するに、 n を考慮しなければならない状態は、船の大きさに比して、バネ常数が小さく、 $\alpha^2 - 4k > 0$ のときで、このようなときは水の流動状態および周囲の条件による水の流速の減衰の状況によって、水圧の

働き方がいろいろに変わるということである。

それゆえ、構造物の設計に当っては、その安全性を n に期待するのは、不確実であるから、 $n=0$ の状態において計画を立てることが安全を期することとなる。

3. 室内実験 I

2章の考察による判別式 $\alpha^2 - 4k < 0$ の場合は、既に報告^{1)・2)・3)}してあるので、 $\alpha^2 - 4k > 0$ の状態において、室内実験を行なった。つぎに、その装置について概述する。

3.1 実験装置

実験に用いた水槽は、内法で $10\text{m} \times 6\text{m} \times 0.8\text{m}$ のコンクリート造で既に報告¹⁾したものである。受衝バネ装置に、ベークライト板で組立て、スプリングバランスを用いて、バネとした。そのバネ常数は数度の検定の結果、 255 gr/cm である。(写真 1)

接岸速度計は、アルミ小型 L $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 、長さ 1 m の下端に短い突起をつけ、上端の軸の回りの変位をバネに伝え、そのバネの歪をストレングージによって時間と併記して電磁オシログラフにとり、受衝バネに船が接する 5 cm 前からの接岸速度を計りうるようにした。

検定は、一連の実験の前に行なった。検定値は、速度計の先端の変位は、オシログラフの読みの 1.1 倍、受衝バネの撓みはオシログラフの読みの 1.08 倍であった。

水圧計は、模型船について、図 1 に示したように、船の中央部、中心から 70 cm の箇所に、水面下 3 cm に受圧面 (径 3 cm) の中心がくるように取り付けた。

受圧面の向きは、 G_3 、 G_4 は船側面に平行に、 G_3 、

G_1 は直角に取り付けた。その目的は、 G_3 、 G_4 で船側の水圧を測り、 G_3 、 G_1 で船の傾きによる水圧の増加を知り、補正して、動水圧を知ることにある。

水圧計の検定値は、

G_3 の電磁オシログラフの読み	$\times 0.16$
G_3 の	" $\times 0.10$
G_1 の	" $\times 0.44$
G_4 の	" $\times 0.077$
G_4' の	" $\times 0.082$

であった。記録は三栄電磁オシログラフによる。その他牽引装置、弛緩装置等は既報¹⁾と同様な装置であるから再述しない。(写真 1, 2, 3 参照)

3.2 実験の記録

模型船について

船の重量 W	: $149,445$ [gr]
船の質量 m	: 152.4949 [gr.sec ² /cm]
きつ水 h	: 18.45 [cm]
船長 l	: 200 [cm]
船幅 b	: 40.5 [cm]
水深 H	: 24.8 [cm]
バネ常数 K	: 255 [gr/cm]

しかし、計算式に用いる H は余裕水深を考慮して¹⁾

$$H = 18.45 + \frac{24.8 - 18.5}{2} = 21.625 \text{ [cm]}$$

とする。

$$\therefore \alpha = \frac{\rho_0 g h^2 l}{m \sqrt{gH}} = \frac{18.45^2 \times 200}{152.4949 \sqrt{980 \times 21.625}}$$

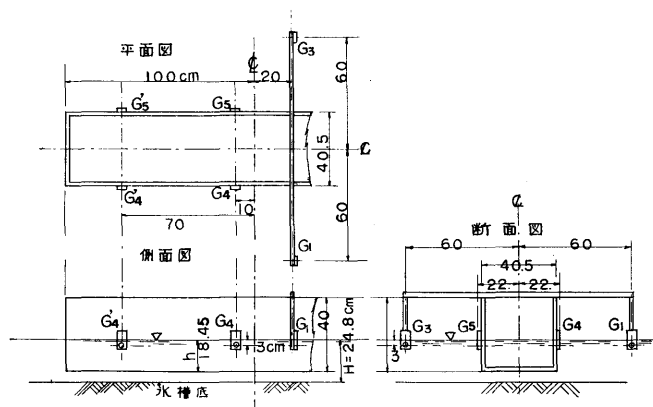


図 1 水圧計取付図

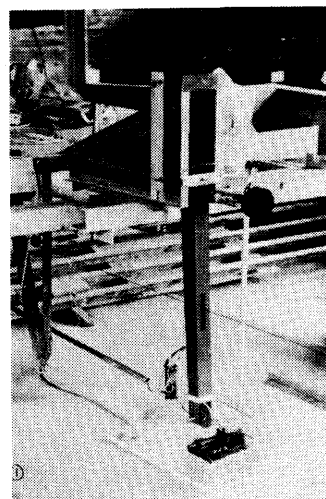


写真 1

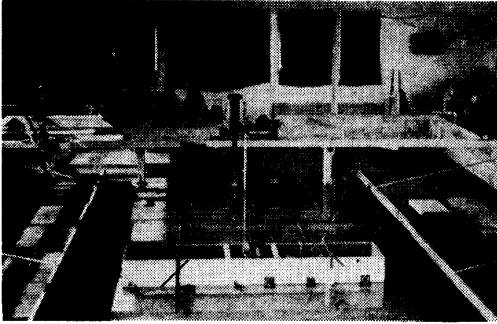


写真 2

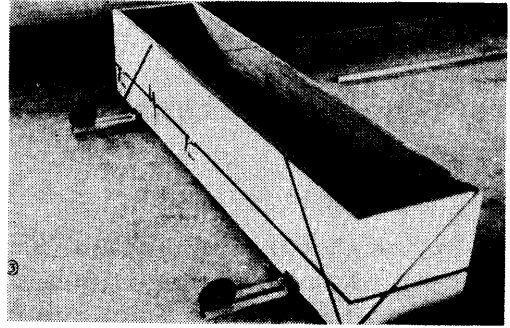


写真 3

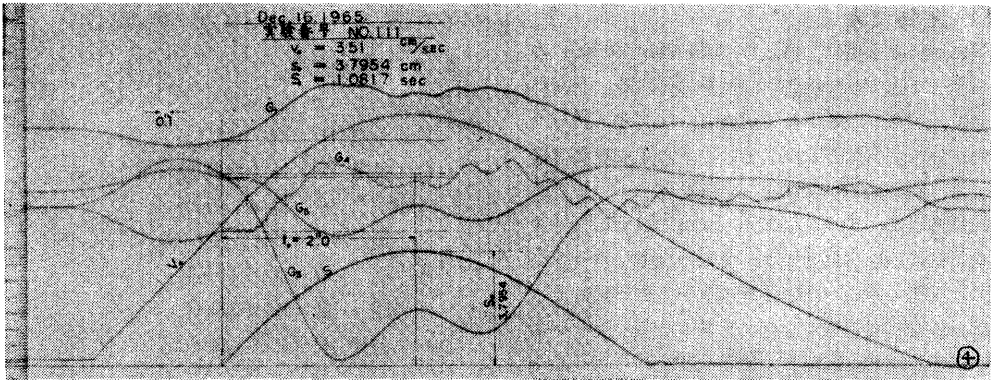


写真 4

$$= 3.0667 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$k = \frac{K}{m} = \frac{255}{152.4949} = 1.6792 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

である。

1965年12月16日に行なった実験結果を表1から表5および図2, 3に示す。同じく11月10日に行なった実験による撓みの変化と経過時間の状態を表6, 図4, オシロ記録の例を写真4から7に示す。

これらの表において、 v_0 [cm/sec] は接岸速度、 t [sec] は船がバネに接してからの経過時間、 p は水圧 [gr/cm²]、 $P = p/v_0$ [gr.sec/cm³] を表わす。

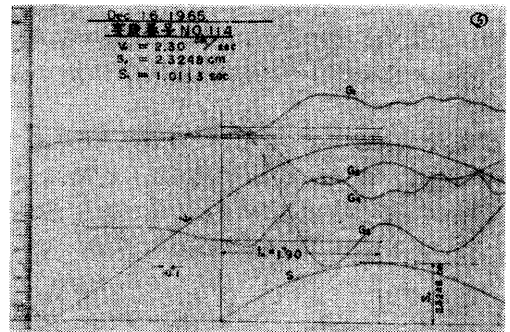


写真 5

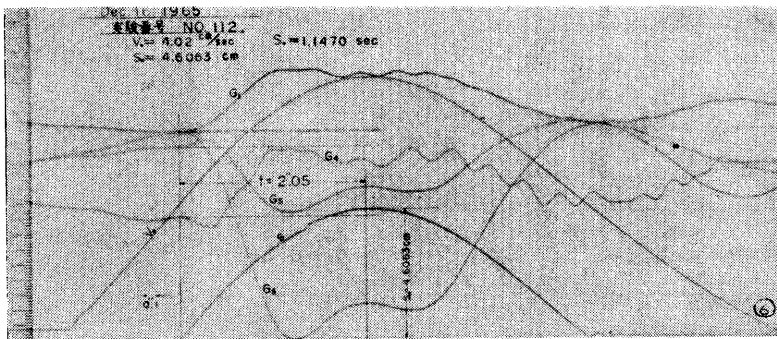


写真 6

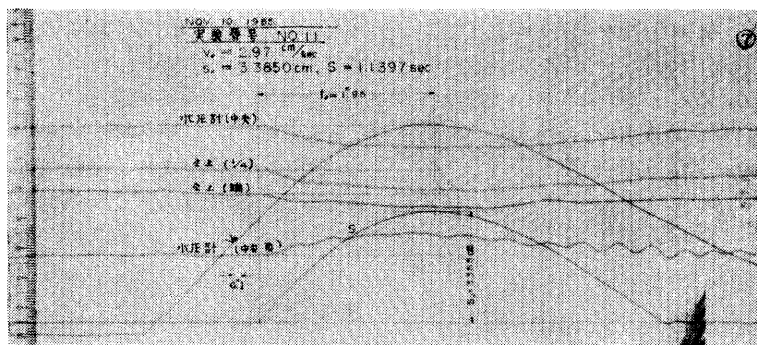


写真 7

表 7 により、 $n \approx 0.65$ であり、また表 2, 3, 4, 5 によって、水圧の分布状態は、図 5 のようになり、平均総水圧は中央水圧の 1.5 倍である。

3.3 実験値と理論値について

この室内実験の実験値からえられた、 $n = 0.65$ [sec^{-1}], $\alpha = 1.5 \times 3.0667 = 4.6$ [sec^{-1}] の値を第 2 章

の理論式に入れて比較してみよう。

この実験の状態は、第 2 章において考察した場合のどの場合に当るであろうか。

まず判別式 $\alpha^2 - 4k = 46^2 - 4 \times 1.6722 = 14.471$ [sec^{-2}] > 0 であるから、(9) 式を用いなければならない。次の水圧の項の式

$$P = \frac{\rho_0 g h}{\sqrt{gH}} (\cos nt - S) \dots\dots\dots (14)$$

によって、水圧の働く方向を考えるに、(8) 式から、

$$\sqrt{k} = 1.2931 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$t_0 = \pi/2 \sqrt{k} = 1.215 \text{ [sec]}$$

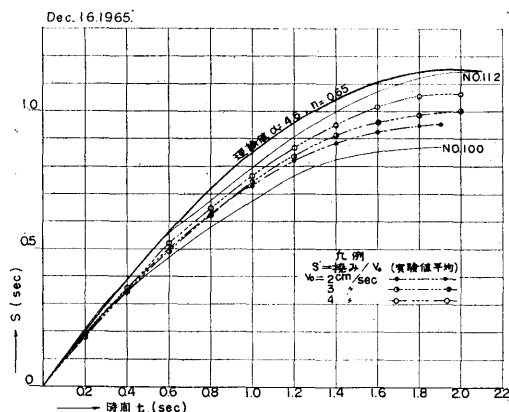


図 2 撓み～時間の関係

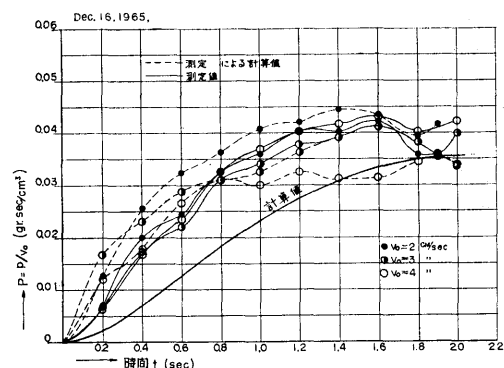


図 3 中央平均水圧変化と時間の関係 ($n = 0.65 \text{sec}^{-1}$; $\alpha = 4.6 \text{sec}^{-1}$)

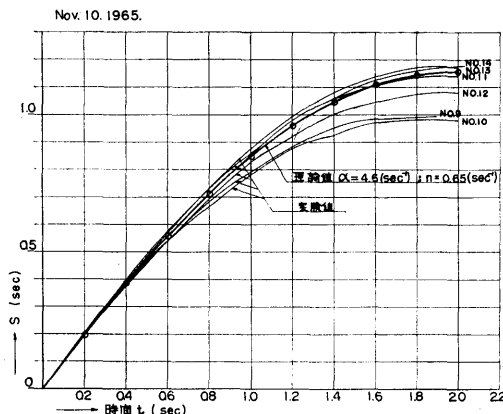


図 4 S 撓み～時間の関係

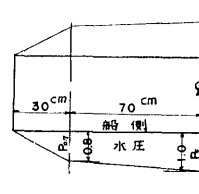


図 5 水圧分布

をうるが、実験値の t_0 は 1.85~2.00 [sec] で、この t_0 より大きいから、水圧は船を加速する方向に働いていることが知られる。そこで減衰の項 n を実験値から求めて見る。(14) 式に既知の数値を入れ、

$$P = 0.1267(\cos nt - \dot{S}) \quad [\text{gr. sec/cm}^3]$$

$$\therefore n = \frac{1}{t} \cos^{-1} \left(\frac{P}{0.1267} + \dot{S} \right) \quad [\text{sec}^{-1}]$$

$\dot{S} = 0$ において、

$$n = \frac{1}{t_0} \cos^{-1}(7.8902 \cdot P) \quad [\text{sec}^{-1}]$$

となるから、この P に測定された水圧の平均値を入れて求めた n_0 、船側中央正負の水圧の平均値を入れて求めた n_c を表 7 に示す。

この表によって n の値は 0.6~0.7 の間にあって、平均 0.65 である。差は平均値に対して約 ±10% の範囲にある。その状態は、図 6 でわかるように、速度の大きい程 n は小で、速度が小さくなると n は大きくなっている。これは速度の大きい程、船のまわりの水の運動も発達して、減衰にくくなっていることによると思される。

表 1 S 撓み (s/v_0) と時間の関係

DEC. 16. 1965.

実験番号	速度	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9~2.0
100	2.11	.1846	.3434	.4664	.5792	.6765	.7688	.8201	.8508	.8662	.8713
101	2.11	.1849	.3441	.4879	.6112	.7139	.7807	.8578	.8937	.9142	.9194
103	1.98	.1966	.3659	.4969	.6225	.7372	.8409	.9010	.9392	.9774	.9829
114	2.30	.1975	.3716	.5315	.6632	.7620	.8514	.9313	.9784	1.0113	1.0113
115	2.10	.1853	.3500	.4941	.6434	.7515	.8492	.9110	.9522	.9779	.9882
計		.9489	1.7750	2.4768	3.1195	3.6411	4.0910	4.4212	4.6143	4.7470	4.7731
平均		.1898	.3560	.4954	.6239	.7282	.8182	.8842	.9228	.9494	.9546
104	3.38	.1824	.3521	.5089	.6401	.7618	.8578	.9314	.9922	1.0210	1.0242
105	3.33	.1816	.3568	.5190	.6488	.7785	.8823	.9635	1.0154	1.0478	1.0576
106	3.23	.1710	.3352	.5028	.6201	.7375	.8213	.9017	.9453	.9720	.9754
107	2.91	.1785	.3348	.4798	.6026	.7142	.8146	.8741	.9225	.9337	.9394
108	2.85	.1708	.3112	.4555	.5769	.6794	.7591	.8311	.8577	.8691	.8729
111	3.51	.1911	.3698	.4931	.6471	.7828	.8906	.9707	1.0262	1.0632	1.0817
計		1.0754	2.0599	2.9591	3.7356	4.4452	5.0257	5.4725	5.7593	5.9068	5.1148
平均		.1793	.3433	.4932	.6226	.7424	.8376	.9121	.9599	.9845	1.0383
109	4.00	.1757	.3406	.4893	.6164	.7272	.8137	.8894	.9434	.9678	.9705
112	4.02	.2073	.3850	.5546	.6758	.7943	.9020	.9962	1.0770	1.1201	1.1448
113	4.32	.1781	.3512	.5143	.6422	.7827	.8906	.9658	1.0285	1.0737	1.0762
計		.5611	1.0768	1.5581	1.9344	2.3042	2.6063	2.8514	3.0489	3.1693	3.1915
平均		.1871	.3590	.5194	.6448	.7681	.8688	.9505	1.0163	1.0538	1.0638

単位：速度 [cm/sec] 時間 [sec] S [sec]

表 2 水圧と経過時間の関係 (中央正)

Dec. 16. 1965.

実験番号	速度	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0
100	2.11	0.00614	0.01650	0.02261	0.02726	0.03030	0.03454	0.03326	0.03417	0.03277	0.03286	
101	2.11	0.938	2022	2432	2649	3502	3724	4060	3506	3618	3808	
103	1.98	0.755	1850	2647	2983	3743	4370	4402	4188	4066	4029	
114	2.30	0564	1937	2623	3189	4457	4966	4969	4711	4446	4583	
115	2.10	0476	1941	2896	3547	4476	4977	4983	4950	4872	4874	
計		3347	9400	112859	115094	119023	121491	121740	120722	120279	120580	
平均		0669	1880	2572	3019	3841	4298	4348	4154	4056	4116	
104	3.38	0316	1429	2139	2729	3352	3779	3805	3963	3881	003928	
105	3.33	0710	1689	2397	2894	3589	3885	3954	4028	4245	4247	
106	3.23	0627	1619	2000	2745	3705	3812	4030	4214	4240	4171	
107	2.91	0579	1602	2233	2510	3142	3751	3798	3984	4075	4235	
108	2.85	0557	1518	2286	2736	3329	3603	3753	3763	4088	3901	
111	3.51	0735	2019	2703	3413	4184	4504	4520	4446	4549	4664	
計		3524	9876	13758	17027	21301	23334	23860	24398	25078	17011	
平均		0587	1646	2293	2838	3550	3889	3977	4066	4180	4253	
109	4.00	0444	1480	2180	3035	3730	4056	4133	4093	4159	4377	
112	4.02	0757	1333	2853	3272	4137	4685	4773	4796	4963	4982	
113	4.32	0481	1691	2450	3319	4241	4402	4438	4686	4645	4552	
計		1682	4504	7483	9626	12108	13143	13344	13575	13787	13911	
平均		0561	1501	2494	3209	4039	4381	4448	4525	4589	4637	

単位：速度 [cm/sec] 時間 [sec] , P [gr. sec/cm²]

この平均値 $n=0.65 [\text{sec}^{-1}]$ と $\alpha=4.6 [\text{sec}^{-1}]$ を用いた水圧の計算値 (表9参照) と実測値は、最終値においては、ほぼ等しいが、その過程において50%程度の差がある (図3参照)。これは微小水圧を拡大して、測定しているのので、船の微小傾斜による誤差や、実際の停止時間 t_0 は理論値の t_0 より、わずかに(0.05秒程度) 早いので、その影響によるものと推察される。そこでオシログラフの撓み~時間曲線から、 $v[\text{cm}$

/sec] をもとめ、水圧の項に代入して、 $n=0.65[\text{sec}^{-1}]$ として計算した結果が、表8である。この値と実測値を併記図示したのが、前掲の図3である。この図において両者はほとんど重っている。したがって、この実験においては、 $n=0.65 [\text{sec}^{-1}]$ でよいことがわかる。 t_0 は約2秒で一定である。

撓みの理論値は表9の通りである。

1965年12月16日の実験における観測値は、表1のご

表3 水圧と経過時間の関係 (中央負)

Dec. 16, 1965

実験番号	速度 cm/sec	時間 0.2 SEC	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0
100	2.11	0.00782	0.02057	0.02103	0.03050	0.02956	0.03357	0.03464	0.03812	0.02730	0.02570	
101	2.11	0721	1925	2087	3006	3000	3175	3315	3615	2502	2767	
103	1.98	0785	2561	2959	4254	4350	4785	4460	5492	3878	3895	
114	2.30	0509	1764	1983	3362	2967	3290	3525	3844	2872	2672	
115	2.10	0744	2294	2475	3742	3437	4076	3867	4594	3360	2955	
計		3541	10601	11607	17414	16719	18683	18621	21355	15342	14864	
平均		0708	2120	2321	3483	3344	3737	3724	4271	3068	2973	
104	3.38	0848	1848	2218	3536	3539	3988	4080	4477	3627		0.03958
105	3.33	0884	2058	2118	3237	3198	3648	3926	4391	3554		3876
106	3.24	0722	1671	2056	3319	3172	3569	3788	4436	3739		3861
107	2.91	0854	1711	2143	3364	3373	3770	3883	4414	3394	3263	
108	2.85	0536	1686	1984	3350	3439	3789	3784	4042	2995	2921	
111	3.51	0700	1832	2163	3097	2886	3466	3649	3773	3056		3308
計		4544	10806	12892	19903	19607	22228	23110	25533	20365	6184	15001
平均		0757	1801	2114	3317	3266	3705	3852	4383	3394	3092	3750
109	4.00	0701	1873	2541	3635	3645	4142	4275	4423	3698		4263
112	4.02	0850	2074	2336	3216	3168	3389	3872	4123	3584		3881
113	4.32	0532	1705	1714	3073	3170	3492	3600	3692	3073		3310
計		2083	5652	6591	9924	9983	11023	11747	12238	10365		11454
平均		0694	1884	2197	3308	3328	3674	3916	4079	3455		3818

単位: {gr.sec/cm³}

表4 $(\bar{P}_c + \bar{P}_c)/2$ と経過時間の関係

Dec. 16, 1965

実験番号	速度 cm/sec	時間 0.2 (sec)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0
100	2.11	0.00698	0.01854	0.02182	0.02888	0.02998	0.03406	0.03395	0.03614	0.03003	0.02930	
101	2.11	0879	1973	2259	2827	3251	3450	3688	3501	3060	3288	
103	1.98	0770	2206	2803	3618	4046	4577	4426	4840	3972	3962	
114	2.30	0537	1851	2303	3276	3712	4127	4247	4277	3659	3628	
115	2.10	0610	2117	2686	3645	3956	4526	4425	4772	4116	3914	
計		3494	10001	12233	16254	17963	20086	20181	21054	17810	17722	
平均		0699	2000	2446	3250	3593	4017	4036	4211	3562	3544	
104	3.38	0582	1638	2178	3132	3445	3883	3942	4220	3754		0.03943
105	3.33	0797	1873	2257	3065	3393	3765	3940	4029	3899		4061
106	3.24	0674	1645	2028	3032	3438	3690	3909	4325	3989		4016
107	2.91	0717	1657	2188	2937	3257	3760	3840	4199	3734	3749	
108	2.85	0546	1602	2135	3043	3384	3696	3768	3902	3541	3411	
111	3.51	0717	1925	2433	3255	3535	3985	4084	4109	3802		3985
計		4033	10340	13219	18464	20452	22779	23463	24784	22719	7160	16005
平均		0672	1723	2203	3077	3408	3796	3914	4131	3786	3580	4001
109	4.00	0572	1676	2360	3335	3687	4099	4204	4258	3928		4320
112	4.02	0803	1703	2594	3244	3652	4037	4322	4459	4273		4431
113	4.32	0506	1698	2082	3196	3705	3947	4019	4189	3859		3931
計		1881	5077	7036	9775	11044	12098	12545	12906	12060		12682
平均		0627	1692	2345	3258	3681	4032	4181	4302	4020		4227

単位: {gr.sec/cm³}

表 5 水圧と経過時間の関係 (中央から 70cm の箇所, 負)

Dec. 16. 1965.

実験番号	速度 時間 2.11 (cm/sec)	0.2 (sec)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0
100	2.11	0.00857	002021	0.01968	0.02437	0.02860	0.02975	0.03131	0.03210	0.02554	0.02632	
101	2.11	0506	1683	2097	1973	2825	2901	2511	2475	1504	2945	
103	1.98	0249	1488	1646	2840	4239	4571	4530	5071	3793	3999	
114	2.30	0643	1783	1918	2194	2613	2359	2431	2292	1726	2155	
115	2.10	0704	2263	2724	2714	3252	3054	2703	3252	2475	2670	
計		2956	9238	10353	12158	15789	15860	15306	16300	12052	14401	
平均		0592	1848	2071	2432	3158	3172	3081	3260	2410	2880	
104	3.38	0534	1625	3028	3701	4386	4811	4933	4618	3917		0.04982
105	3.33	0074	1915	2155	2323	2886	3031	3548	3647	3032		3966
106	3.24	0661	1574	2128	2376	2930	2928	3232	3385	2905		3565
107	2.91	0677	1691	2223	2584	3143	3310	3140	3083	2267	2578	
108	2.85	0432	1437	1634	2002	2486	2427	2341	2400	1654	2028	
111	3.51	0489	1398	2047	1994	2317	2620	2715	2647	2252		3026
計		2867	9640	13215	14980	18148	19127	19909	19780	16027	4606	15539
平均		0478	1607	2203	2497	3025	3188	3336	3297	2671	2303	3885
109	4.00	0635	1720	2452	2568	3054	3217	3301	3199	2811		3774
112	4.02	0776	1797	2259	2375	2677	2328	2838	2860	2698		3311
113	4.32	0532	1652	1798	2039	2509	2621	2774	2738	2246		3045
計		1943	5169	6509	6982	8240	8166	8913	8797	7755		10130
平均		0648	1723	2170	2327	2747	2722	2971	2932	2585		3377

単位: [gr.sec/cm³]

表 6 S 撓みと時間の関係

Nov. 10. 1965.

実験番号 時間	S (撓み/速度時間) (sec)					
	NO. 9	NO.10	NO.11	NO.12	NO.13	NO.14
0	0	0	0	0	0	0
0.2	0.2023	0.1992	0.1997	0.2001	0.2000	0.1998
0.4	0.3893	0.3785	0.3994	0.3762	0.3952	0.3972
0.6	0.5408	0.5379	0.5776	0.5389	0.5709	0.5537
0.8	0.6843	0.6654	0.7342	0.6937	0.7294	0.7078
1.0	0.7910	0.7809	0.8571	0.8270	0.8783	0.8594
1.2	0.8830	0.8765	0.9800	0.9204	0.9880	0.9774
1.4	0.9529	0.9244	1.0568	1.0005	1.0807	1.0617
1.6	0.9823	0.9682	1.1090	1.0431	1.1369	1.1243
1.8	0.9897	0.9801	1.1367	1.0752	1.1710	1.1580
1.88	0.9933					
1.95		0.9801	1.1397	1.0805	1.1734	
2.00		0.9762	1.1397	1.0778	1.1710	1.1772
2.01						1.1772

表 7 測定値による n の値

実験番号	v_0 (cm/sec)	t_0	n_0	n_c
100	2.11	1.84	0.7294	0.7269
101	2.11	1.90	0.6960	0.6885
103	1.98	1.90	0.6586	0.6594
114	2.30	1.90	0.6859	0.6737
115	2.10	1.90	0.6795	0.6615
平均			0.6899	0.6820
104	3.38	1.95	0.6434	0.6434
105	3.33	2.00	0.6243	0.6222
106	3.24	2.00	0.6335	0.6241
107	2.91	1.90	0.6935	0.6687
108	2.85	1.90	0.7128	0.6834
111	3.51	2.00	0.6453	0.6254
平均			0.6588	0.6445
109	4.00	2.00	0.6228	0.6115
112	4.02	2.05	0.6132	0.5920
113	4.32	2.00	0.6459	0.6278
平均			0.6273	0.6104
全平均			0.6587	0.6456

表 8 $P=0.12674(\cos nt - S)$ [gr.sec/cm³] による計算値
(ただし t, S は実験値 $n=0.65$)

t (sec)	cos nt	$v_0 \approx 2 \frac{cm}{sec}$			$v_0 \approx 3 \frac{cm}{sec}$			$v_0 \approx 4 \frac{cm}{sec}$		
		S	cos nt - S	P	S	cos nt - S	P	S	cos nt - S	P
0	1.0000	1.0000	0	0	1.0000	0	0	1.0000	0	0
0.2	0.9916	0.8900	0.1016	0.01289	0.8585	0.1331	0.01687	0.8975	0.0941	0.01193
0.4	0.9664	0.7640	0.2024	0.02565	0.7845	0.1819	0.02305	0.8305	0.1359	0.01772
0.6	0.9250	0.6695	0.2555	0.03238	0.6975	0.2275	0.02883	0.7145	0.2105	0.02665
0.8	0.8669	0.5818	0.2851	0.03613	0.6225	0.2444	0.03098	0.6215	0.2454	0.03110
1.0	0.7962	0.4742	0.3220	0.04081	0.5375	0.2587	0.03279	0.5595	0.2367	0.03000
1.2	0.7110	0.3785	0.3325	0.04214	0.4240	0.2870	0.03637	0.4555	0.2555	0.03238
1.4	0.6136	0.2615	0.3521	0.04463	0.3055	0.3081	0.03905	0.3685	0.2451	0.03106
1.6	0.5083	0.1630	0.3433	0.04351	0.1810	0.3253	0.04123	0.2580	0.2483	0.03147
1.8	0.3902	0.0793	0.3109	0.03940	0.0750	0.3152	0.03995	0.1185	0.2717	0.03444
1.9	0.3294	0	0.3294	0.04175	0.0270	0.3024	0.03833	0.0500	0.2794	0.03541
2.0	0.2675				0	0.2675	0.03390	0	0.2675	0.03390

とく、図2に理論値と対照して図示してある。また表6と図4は1965年11月10日の実験値、および実験値と理論値との対照図である。

この両図においても、接岸速度が大きくなるにしたがって、計算値に近ずいている。このことは、主に水流の減衰状況が影響していることを示すものである。

表9 計算値

t(sec)	S(sec)	\dot{S}	$-\ddot{S}$ (sec)	P($\frac{gr \cdot sec}{cm^2}$)
0	0	1.0000	0	0
0.2	0.1984	0.9728	0.2457	0.00238
0.4	0.3866	0.9089	0.3824	0.00729
0.6	0.5605	0.8229	0.4691	0.01293
0.8	0.7154	0.7227	0.5297	0.01828
1.0	0.8486	0.6123	0.5744	0.02331
1.2	0.9560	0.4953	0.6076	0.02734
1.4	1.0461	0.3701	0.6292	0.03086
1.6	1.1072	0.2428	0.6424	0.03340
1.8	1.1431	0.1142	0.6432	0.03498
1.9	1.1513	0.0498	0.6405	0.03544
1.9773	1.1532	0	0.6369	0.03571
2.0	1.1531	-0.0139	0.6353	0.03555

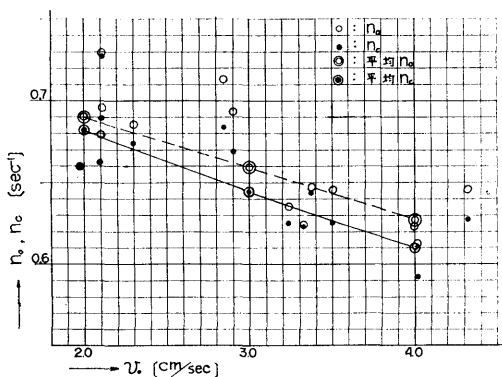


図6 測定値による $v_0 \sim n$ の関係

3.4 室内実験Iの結果について

前節における理論値と実験値の対照によって、水圧の項

$$P = -\frac{h}{\sqrt{gH}}(\cos nt - \dot{S})$$

の n の値を適当に選べば、接岸力を求めることが判った。このことは、 $\alpha^2 - 4k > 0$ の場合には、船が緩衝工に接してから停止するまでの時間 t_0 が長いので水流は減衰し、その状態を現わす n の値は環境によって違うことを示している。これは第2章において述べた通りである。

そして、動水圧の分布は、 $\alpha^2 - 4k < 0$ の場合に比し、平均して、 1.5α 程度である。また接岸速度が大きいほど、水圧も、撓みも、理論値に近ずいている。これは船のまわりの水の流れが発達して、働

きも確実になることを示すものである。

4. 室内実験II

3章においては、バネ常数 $K=255 \text{ gr/cm}$ の緩衝工の場合について、接岸速度を変化して、船のまわりの水の流れの減衰状態と水圧と、接岸力の関係を検討したのであるが、本章においては、 K を 228.8 gr/cm 、 102.5 gr/cm 、 59.3 gr/cm 、 26.0 gr/cm の4通にして、バネ常数と水の流速の減衰状態を表わす n との関係を検討するために行なった室内実験IIについて報告する。

4.1 実験装置

3.1の実験装置を用いたのであるが、速度計の変位は、オシロの記録の1.25倍、受衝バネの撓みは、オシロの記録の0.95倍であった。

水圧計の取付位置は、図7の如く、高さは水面下1.5cmである。コードの不便を除くため、テレメーターを用いた。(写真2および記録写真8~32参照)そのため自動車の雑音が入った。

検定値は 0.4 gr/cm^2 以下の水圧の範囲では、

水圧計 P_1 のオシログラフの読み $\times 0.143$

水圧計 P_2 のオシログラフの読み $\times 0.119$

水圧計 P_3 のオシログラフの読み $\times 0.118$

水圧計 P_4 のオシログラフの読み $\times 0.0785$

であった。

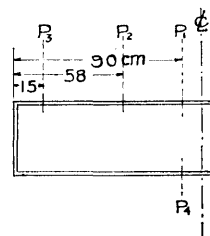


図7

4.2 実験の記録

船型は、3.2の実験と同型で、水深は 27.45 cm であった。

計算に用いる H は、

$$H = h + \frac{H-h}{2} = 18.45 + \frac{27.45 - 18.45}{2} = 22.95 \text{ [cm]}$$

また、

$$\alpha = \frac{h^2 l}{m \sqrt{gH}} = \frac{18.45^2 \times 200}{152.5 \sqrt{980} \times 22.95}$$

$$= 2.9768 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

α の係数を前実験同様 1.5 とすると

$$\alpha = 1.5 \times 2.9768 = 4.4652 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

となる。

バネ常数に対する k はそれぞれ

$$k_1 = \frac{228.8}{152.5} = 1.5003 \text{ [sec}^{-2}\text{]}, \quad \sqrt{k_1} = 1.2249 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$k_2 = \frac{102.5}{152.5} = 0.6721 \text{ [sec}^{-2}\text{]}, \quad \sqrt{k_2} = 0.8198 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$k_3 = \frac{59.3}{152.5} = 0.3889 \text{ [sec}^{-2}\text{]}, \quad \sqrt{k_3} = 0.6236 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$k_4 = \frac{26.0}{152.5} = 0.1705 \text{ [sec}^{-2}\text{]}, \quad \sqrt{k_4} = 0.4129 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

この装置で、1966年9月14日に行なった実験のオシログラフの記録を写真8から写真32に示し、表10から表13までには、記録から読みとった経過時間に対応する撓み、水圧を掲げた。この実験では接岸速度は、大体 2~4 cm/sec の範囲で変化させてある。

写真8から写真13までは、 $K=228.8$ [gr/cm]、それに対応する表は表10である。同様に $K=102.5$ [gr/cm] に対するものは写真14から写真19、表11である。

$K=26.0$ [gr/cm] に対するものは写真20から写真25、表12で、 $K=59.3$ [gr/cm] に対するものは、写真26から写真32、表13である。

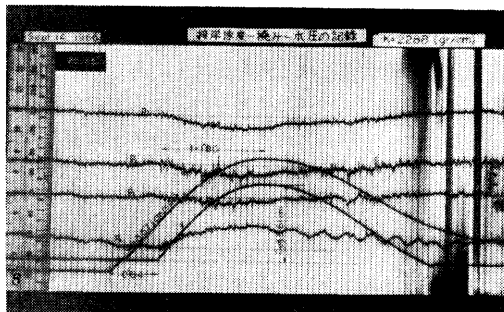


写真 8

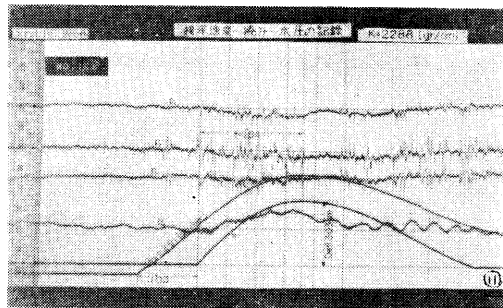


写真11

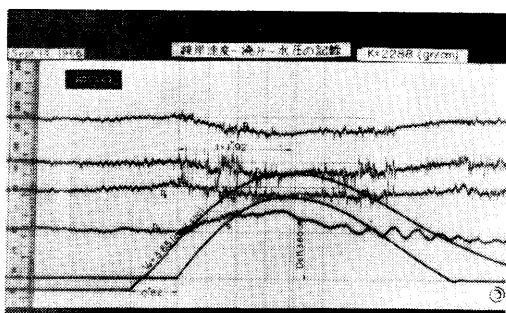


写真 9

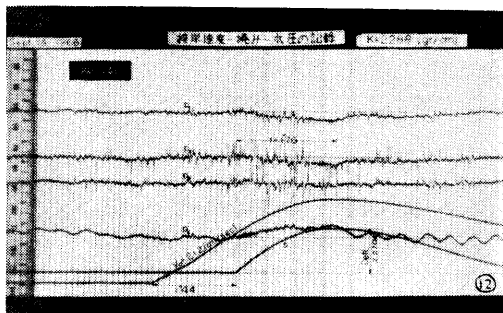


写真12

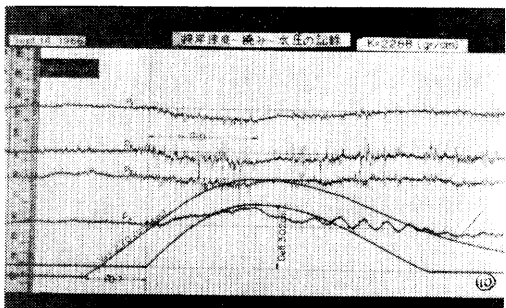


写真10

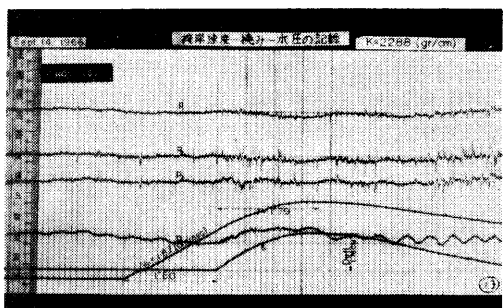


写真13

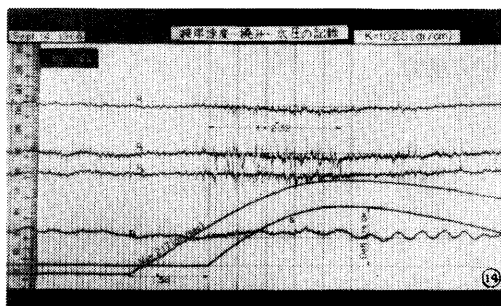


写真14

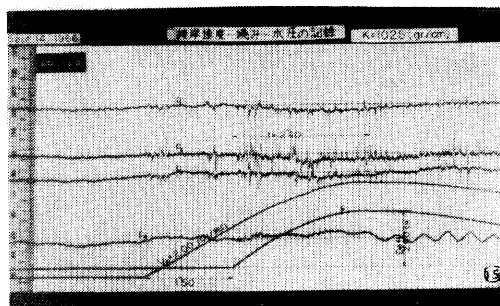


写真15

表 10

K = 2288 (gr/cm)

実験番号 接岸速度	時間 t (sec)	撓み s (cm)	S =s/v₀ (sec)	水圧(正,中央)		水圧(正, l/4)		水圧(正,端)		水圧(負,中央)	
				P₁ (gr/cm²)	R =P₁/v₀	P₂ (gr/cm²)	P₂/v₀	P₃ (gr/cm²)	P₃/v₀	P₄ (gr/cm²)	P₄/v₀
NO. 146 V₀ = 3.57 (cm/sec)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.710	0.479	0.0501	0.0140	0.0357	0.0100	0.0118	0.00331	0.0440	0.0121
	1.0	2.898	0.812	0.0787	0.0220	0.0595	0.0166	0.0354	0.00992	0.0769	0.0215
	1.5	3.420	0.958	0.0930	0.0261	0.0655	0.0183	0.0248	0.00695	0.0824	0.0231
	2.0	3.610	1.011	0.0858	0.0240	0.0595	0.0166	0.0236	0.00661	0.0824	0.0231
NO. 147 V₀ = 3.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.701	0.466	0.0572	0.0157	0.0333	0.0091	0.0177	0.00465	0.0322	0.0088
	1.0	2.964	0.812	0.0930	0.0254	0.0571	0.0156	0.0413	0.0113	0.0589	0.0161
	1.5	3.677	1.007	0.1173	0.0321	0.0833	0.0228	0.0507	0.0139	0.0714	0.0196
	1.92	3.800	1.041	0.1173	0.0321	0.0655	0.0179	0.0531	0.0145	0.0699	0.0191
NO. 148 V₀ = 2.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.330	0.493	0.0458	0.0170	0.0475	0.0176	0.0236	0.00874	0.0236	0.0087
	1.0	2.328	0.862	0.0715	0.0265	0.0500	0.0185	0.0295	0.0109	0.0393	0.0146
	1.5	2.898	1.073	0.0787	0.0291	0.0655	0.0243	0.0354	0.0131	0.0581	0.0215
	1.89	3.021	1.119	0.0858	0.0318	0.0536	0.0199	0.0177	0.00656	0.0707	0.0262
NO. 149 V₀ = 2.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.378	0.474	0.0286	0.0098	0.0321	0.0110	0.0177	0.00608	0.0157	0.0054
	1.0	2.461	0.846	0.0572	0.0197	0.0357	0.0123	0.0236	0.00811	0.0479	0.0166
	1.5	2.955	1.015	0.0586	0.0201	0.0405	0.0139	0.0212	0.00729	0.0636	0.0219
	1.84	3.031	1.042	0.0572	0.0197	0.0417	0.0143	0.0059	0.00203	0.0628	0.0216
NO. 150 V₀ = 2.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.055	0.498	0.0286	0.0135	0.0179	0.0084	0	0	0.0236	0.0111
	1.0	1.710	0.807	0.0458	0.0216	0.0298	0.0141	0	0	0.0369	0.0174
	1.5	2.062	0.973	0.0615	0.0290	0.0417	0.0197	0.0177	0.00835	0.0393	0.0185
	1.76	2.071	0.978	0.0577	0.0270	0.0476	0.0225	0.0177	0.00835	0.0428	0.0202
NO. 151 V₀ = 1.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0.903	0.475	0.0072	0.0038	0.0179	0.0094	0	0	0.0338	0.0178
	1.0	1.473	0.775	0.0229	0.0121	0.0238	0.0125	0	0	0.0471	0.0248
	1.5	1.758	0.940	0.0358	0.0188	0.0298	0.0157	0	0	0.0550	0.0289
	1.79	1.758	0.940	0.0329	0.0173	0.0238	0.0125	0	0	0.0400	0.0211

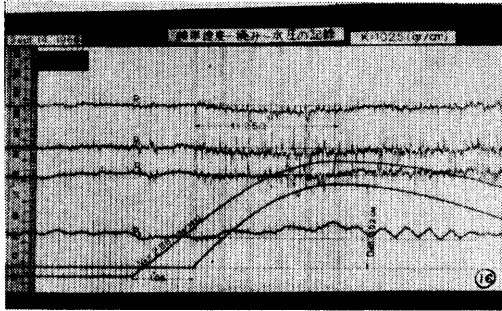


写真16

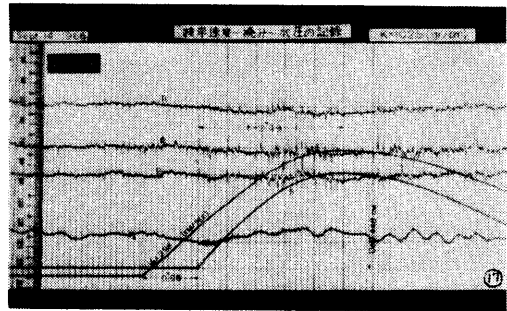


写真17

表 11

K = 102.5 (gr/cm)

実験番号 接岸速度	時間 t (sec)	撓み s (cm)	S =s/v₀ (sec)	水圧(正,中央)		水圧(正, l/4)		水圧(正,端)		水圧(負,中央)	
				p₁ (gr/cm²)	P₁ =p₁/v₀	p₂ (gr/cm²)	P₂ =p₂/v₀	p₃ (gr/cm²)	P₃ =p₃/v₀	p₄ (gr/cm²)	P₄ =p₄/v₀
No. 152 V₀ = 2.17 (cm/sec)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.036	0.477	0.0129	0.00594	0.0119	0.00543	0.0059	0.00272	0.0157	0.00724
	1.0	1.834	0.845	0.0215	0.00991	0.0214	0.00986	0.0059	0.00272	0.0173	0.00797
	1.5	2.404	1.108	0.0300	0.0138	0.0309	0.0142	0.0153	0.0071	0.0173	0.00797
	2.0	2.736	1.261	0.0358	0.0165	0.0357	0.0165	0.0118	0.00544	0.0236	0.0109
	2.32	2.755	1.270	0.0315	0.0145	0.0309	0.0142	0.0130	0.0060	0.0228	0.0105
No. 153 V₀ = 2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0.998	0.499	0.0186	0.0093	0.0119	0.00595	0.0047	0.00235	0.0110	0.0055
	1.0	1.686	0.843	0.0429	0.02145	0.0298	0.0149	0.0118	0.0059	0.0157	0.00785
	1.5	2.233	1.1165	0.0501	0.02505	0.0381	0.01905	0.0330	0.0165	0.0173	0.00865
	2.0	2.556	1.278	0.0472	0.0236	0.0405	0.02025	0.0236	0.0118	0.0220	0.0110
	2.40	2.603	1.3015	0.0429	0.02145	0.0357	0.01785	0.0236	0.0118	0.0196	0.0098
No. 154 V₀ = 2.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.359	0.472	0.0215	0.00747	0.0286	0.0099	0.0177	0.0061	0.0196	0.0066
	1.0	2.432	0.844	0.0358	0.0124	0.0309	0.0107	0.0142	0.0049	0.0236	0.0082
	1.5	3.259	1.132	0.0443	0.0154	0.0369	0.0128	0.0118	0.0041	0.0314	0.0109
	2.0	3.762	1.306	0.0429	0.0149	0.0298	0.0103	0.0118	0.0041	0.0400	0.0139
	2.5	3.924	1.362	0.0358	0.0124	0.0274	0.0095	0	0	0.0534	0.0185
No. 155 V₀ = 2.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.473	0.494	0.0286	0.0096	0.0179	0.0060	0.0059	0.0020	0.0118	0.0040
	1.0	2.784	0.934	0.0343	0.0115	0.0286	0.0096	0.0118	0.0040	0.0353	0.0118
	1.5	3.705	1.243	0.0157	0.0053	0.0262	0.0088	0.0189	0.0063	0.0432	0.0145
	2.0	4.275	1.435	0.0514	0.0172	0.0214	0.0072	0.0059	0.0020	0.0400	0.0134
	2.49	4.475	1.502	0.0501	0.0168	0.0357	0.0120	0.0342	0.0115	0.0393	0.0132
No. 156 V₀ = 4.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.976	0.481	0.0358	0.0087	0.0179	0.0044	0.0118	0.0029	0.0314	0.0076
	1.0	3.515	0.855	0.0458	0.0111	0.0238	0.0058	0.0236	0.0057	0.0393	0.0096
	1.5	4.703	1.144	0.0558	0.0136	0.0357	0.0087	0.0295	0.0072	0.0471	0.0115
	2.0	5.463	1.329	0.0601	0.0146	0.0357	0.0087	0.0260	0.0063	0.0510	0.0124
	2.5	5.795	1.410	0.0586	0.0143	0.0405	0.0099	0.0260	0.0063	0.0550	0.0134
	2.51	5.795	1.410	0.0586	0.0143	0.0417	0.0101	0.0260	0.0063	0.0550	0.0134
No. 157 V₀ = 4.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.976	0.481	0.0143	0.0035	0.0119	0.0290	0.0295	0.0072	0.0345	0.0084
	1.0	3.525	0.858	0.0501	0.0122	0.0357	0.0087	0.0236	0.0057	0.0353	0.0086
	1.5	4.655	1.133	0.0644	0.0157	0.0476	0.0116	0.0354	0.0086	0.0314	0.0076
	2.0	5.320	1.294	0.0501	0.0122	0.0476	0.0116	0.0354	0.0086	0.0322	0.0078
	2.5	5.605	1.364	0.0801	0.0195	0.0762	0.0185	0.0531	0.0129	0.0275	0.0067
	2.6	5.605	1.364	0.0829	0.0202	0.0655	0.0159	0.0555	0.0135	0.0236	0.0058

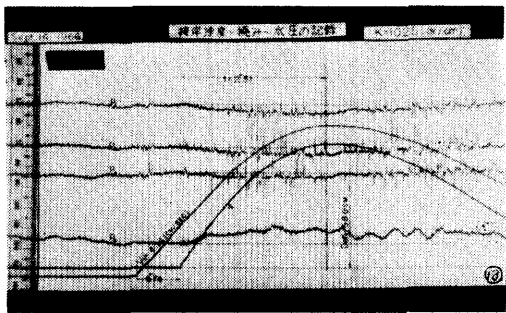


写真18

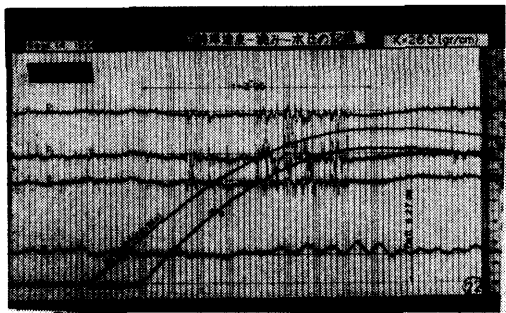


写真22

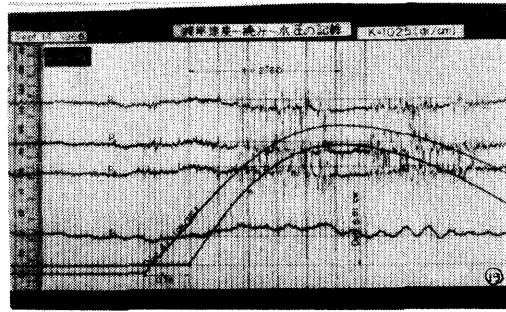


写真19

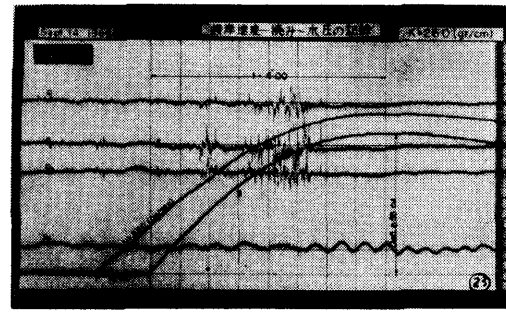


写真23

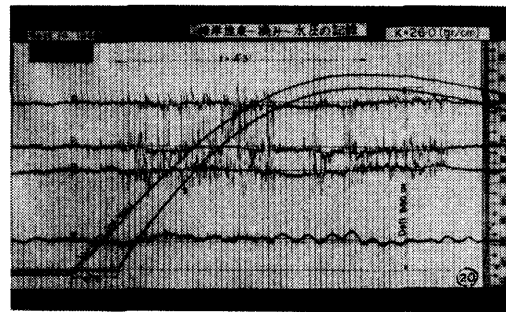


写真20

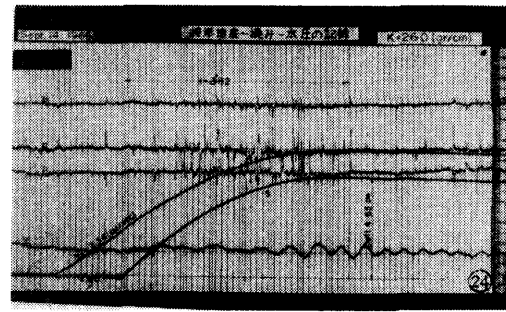


写真24

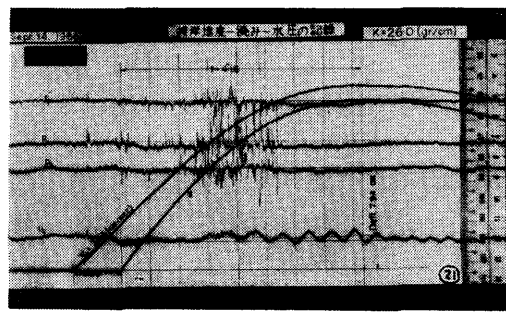


写真21

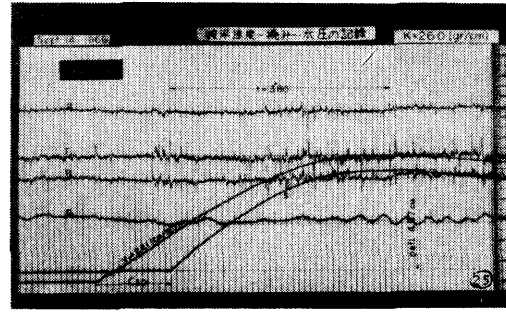


写真25

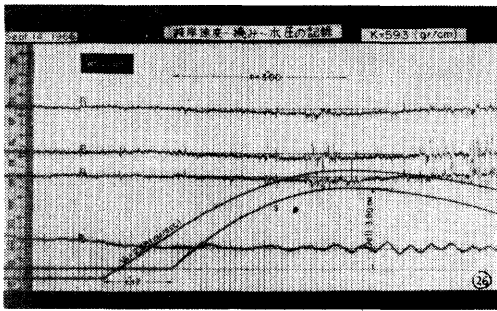


写真26

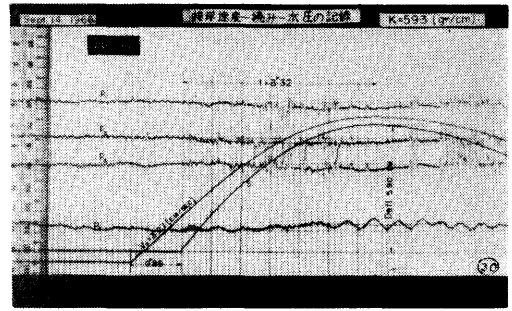


写真30

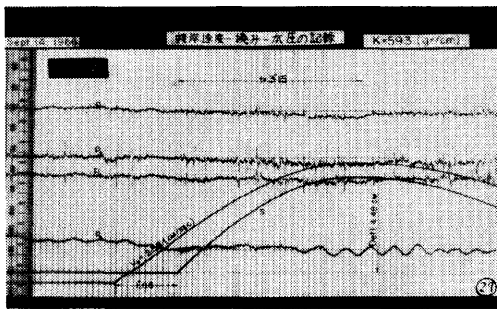


写真27

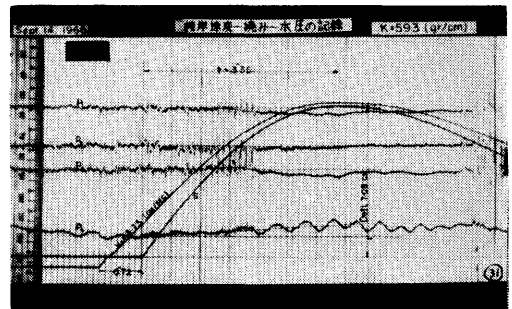


写真31

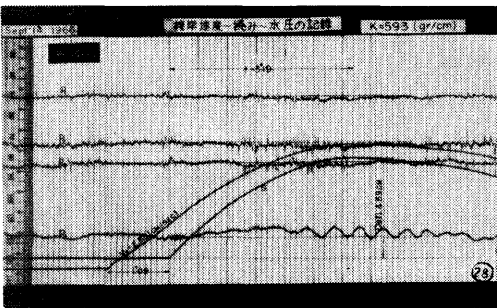


写真28

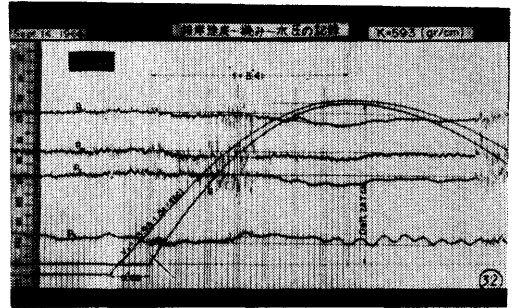


写真32

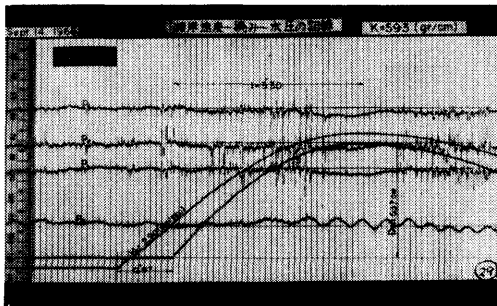


写真29

表 12

K = 26.0 (gr/cm)

実験番号 接岸速度	時間 t (sec)	撓み S (cm)	S = s/V ₀ (Sec)	水圧(正,中央)		水圧(正,ℓ/4)		水圧(正,端)		水圧(真,中央)	
				P ₁ (gr/cm ²)	P ₁ = P ₁ /V ₀	P ₂ (gr/cm ²)	P ₂ = P ₂ /V ₀	P ₃ (gr/cm ²)	P ₃ = P ₃ /V ₀	P ₄ (gr/cm ²)	P ₄ = P ₄ /V ₀
NO.158 V ₀ = 4.01 (CM/SEC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.900	0.474	0.0143	0.00357	0.0238	0.00594	0.0130	0.00324	0.00785	0.00196
	1.0	3.610	0.900	0.0257	0.00641	0.0262	0.00653	0	0	0.0259	0.00646
	1.5	5.054	1.260	0.0172	0.00429	0.0119	0.00297	-0.0118	-0.00294	0.00785	0.00196
	2.0	6.232	1.554	0.0215	0.00536	0.0095	0.00237	0.00354	0.00088	0.0236	0.00589
	2.5	7.163	1.786	0.0300	0.00748	0.0262	0.00653	0.0212	0.00529	0.0157	0.00392
	3.0	7.876	1.964	0.0429	0.0107	0.0179	0.00446	0.0354	0.00883	0.0157	0.00392
	3.5	8.265	2.061	0.0315	0.00786	0.0179	0.00446	0.0236	0.00589	0.0126	0.00314
	4.0	8.455	2.109	0.0315	0.00786	0.0238	0.00594	0	0	0.0118	0.00294
	4.3	8.503	2.120	0.0200	0.00499	0.0298	0.00743	-0.0177	-0.00441	0.00785	0.00196
NO.159 V ₀ = 3.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.720	0.487	0.0157	0.00445	0.0345	0.00978	0.0177	0.00501	0.00785	0.00222
	1.0	3.287	0.931	0.0143	0.00406	0.0238	0.00674	0	0	0.0055	0.00156
	1.5	4.703	1.332	0.0143	0.00405	0.0286	0.00810	0.0059	0.00167	0.0204	0.00578
	2.0	5.843	1.655	0.0286	0.00810	0.0298	0.00844	0	0	0.0157	0.00445
	2.5	6.755	1.914	0.0157	0.00445	0.0357	0.0101	0	0	0.0118	0.00334
	3.0	7.401	2.097	0.0358	0.01014	0.0333	0.00943	0.0236	0.00669	0.0102	0.00289
	3.5	7.790	2.207	0.0300	0.00850	0.0357	0.0101	0.0236	0.00669	0.0157	0.00445
	4.0	7.933	2.247	0.0243	0.00688	0.0286	0.00810	0.0177	0.00501	0.0173	0.00490
	4.16	7.942	2.250	0.0215	0.00609	0.0262	0.00742	0.0189	0.00535	0.0165	0.00467
NO.160 V ₀ = 2.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.378	0.485	0.0215	0.00757	0.0179	0.00630	0.0177	0.00623	0	0
	1.0	2.708	0.954	0.0229	0.00806	0.0298	0.01049	0.0177	0.00623	0	0
	1.5	3.772	1.328	0.0300	0.0106	0.0405	0.01426	0.0354	0.01246	0.00390	0.00137
	2.0	4.646	1.636	0.0286	0.0101	0.0238	0.00838	0.0118	0.00415	0.00785	0.00276
	2.5	5.339	1.880	0.0286	0.0101	0.0357	0.01257	0.0236	0.00631	0.0118	0.00415
	3.0	5.871	2.067	0.0286	0.0101	0.0357	0.01257	0.0118	0.00415	0.0157	0.00553
	3.5	6.128	2.158	0.0358	0.0126	0.0417	0.01468	0.0177	0.00623	0.0236	0.00831
	3.95	6.270	2.208	0.0315	0.0111	0.0298	0.01049	0.0177	0.00623	0.0228	0.00803
	NO.161 V ₀ = 3.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5		1.568	0.490	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0		2.860	0.894	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5		4.076	1.274	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0		5.035	1.573	0.0143	0.00447	0.0238	0.00744	0	0	0	0
2.5		5.710	1.784	0.0286	0.00894	0.0262	0.00819	0	0	0	0
3.0		6.109	1.909	0.0215	0.00672	0.0298	0.00931	0.0118	0.00369	0	0
3.5		6.460	2.019	0.0143	0.00447	0.0238	0.00744	0.0118	0.00369	0	0
4.0		6.546	2.046	0.0215	0.00672	0.0238	0.00744	0.0142	0.00444	0	0
NO.162 V ₀ = 2.34		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.114	0.476	0	0	0	0	0	0	0.0118	0.00504
	1.0	2.271	0.971	0	0	0	0	0	0	0.0118	0.00504
	1.5	3.126	1.336	0	0	0	0	0	0	0.0118	0.00504
	2.0	3.800	1.624	0	0	0	0	0	0	0.0094	0.00402
	2.5	4.275	1.827	0.0072	0.00308	0	0	0	0	0.00392	0.00168
	3.0	4.560	1.949	0.0143	0.00611	0.0179	0.00765	0	0	0	0
	3.5	4.608	1.969	0.0286	0.01222	0.0095	0.00406	0	0	0	0
	3.82	4.627	1.977	0.0143	0.00611	0.00595	0.00254	0	0	0	0
	NO.163 V ₀ = 2.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5		1.0925	0.494	0	0	0.0179	0.00810	0	0	0.00785	0.00355
1.0		2.157	0.976	0	0	0.0119	0.00538	0	0	0.00785	0.00355
1.5		3.031	1.371	0.0143	0.00647	0.0214	0.00868	0	0	0.00785	0.00355
2.0		3.782	1.702	0	0	0.0238	0.01076	0	0	0.00785	0.00355
2.5		4.285	1.939	0	0	0.0119	0.00538	0	0	0.0102	0.00462
3.0		4.560	2.063	0	0	0.0179	0.00810	0	0	0.0157	0.00710
3.5		4.655	2.106	0	0	0.0238	0.01076	0	0	0.0149	0.00674
3.8		4.665	2.111	0	0	0.0238	0.01076	0	0	0.0118	0.00538

表 13

K = 59.3 (gr/cm)

実験番号 接岸速度	時間 t (sec)	撓み S (cm)	S = S/V ₀ (sec)	水圧(正中央)		水圧(正. l/4)		水圧(正,端)		水圧(黄,中央)	
				p ₁ (gr/cm ²)	P ₁ = p ₁ /V ₀	p ₂ (gr/cm ²)	P ₂ = p ₂ /V ₀	p ₃ (gr/cm ²)	P ₃ = p ₃ /V ₀	p ₄ (gr/cm ²)	P ₄ = p ₄ /V ₀
No.164 V ₀ = 2.38 (cm/sec)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.140	0.479	0.0215	0.00903	0.0119	0.00500	0.0118	0.00495	0.0039	0.00164
	1.0	2.090	0.882	0.0215	0.00903	0.0179	0.00752	0.0177	0.00740	0	0
	1.5	2.803	1.178	0.0286	0.0120	0.0214	0.00899	0.0165	0.00693	0.0063	0.00265
	2.0	3.373	1.417	0.0358	0.0150	0.0298	0.0125	0.0236	0.00992	0	0
	2.5	3.772	1.585	0.0358	0.0150	0.0298	0.0125	0.0236	0.00992	0	0
3.0	3.800	1.597	0.0400	0.0168	0.0298	0.0125	0.0236	0.00992	0	0	
No.165 V ₀ = 2.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.235	0.479	0.0143	0.00554	0.0119	0.00426	0.0059	0.00229	0.00785	0.00784
	1.0	2.356	0.913	0.0172	0.00667	0.0179	0.00694	0	0	0.0118	0.00457
	1.5	3.240	1.256	0.0143	0.00554	0.0238	0.00922	0.0047	0.00182	0.0094	0.00364
	2.0	3.933	1.524	0.0215	0.00833	0.0357	0.01384	0.0059	0.00229	-0.0039	0.00151
	2.5	4.323	1.676	0.0429	0.01663	0.0357	0.01384	0.0177	0.00686	0	0
	3.0	4.475	1.735	0.0443	0.01717	0.0369	0.01430	0.0354	0.01372	0.0094	0.00364
3.15	4.475	1.735	0.0458	0.01775	0.0381	0.01477	0.0236	0.00915	0.0094	0.00364	
No.166 V ₀ = 2.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.330	0.501	0.0072	0.00272	0.00595	0.00225	0.0059	0.00223	0.0063	0.00238
	1.0	2.423	0.914	0.0143	0.00540	0.0179	0.00675	0	0	0.0251	0.00947
	1.5	3.249	1.226	0.0043	0.00182	0.0238	0.00898	0.0177	0.00668	0.0354	0.01336
	2.0	3.924	1.481	0.0143	0.00540	0.0179	0.00675	0.0118	0.00445	0.0275	0.01038
	2.5	4.418	1.667	0.0286	0.01078	0.0298	0.01125	0.0236	0.00891	0.0236	0.00891
	3.0	4.655	1.756	0.0215	0.00811	0.0298	0.01125	0.0236	0.00891	0.0220	0.00830
3.19	4.686	1.768	0.0286	0.01079	0.0298	0.01125	0.0212	0.00800	0.0173	0.00653	
No.167 V ₀ = 2.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.444	0.498	0.0286	0.00986	0.0238	0.00821	0.0118	0.00407	0.00785	0.00271
	1.0	2.803	0.967	0.0286	0.00986	0.0298	0.01028	0.0059	0.00203	0.0102	0.00352
	1.5	3.810	1.314	0.0215	0.00741	0.0298	0.01028	0.0118	0.00407	0.0196	0.00676
	2.0	4.608	1.589	0.0215	0.00741	0.0357	0.01231	0	0	0.0236	0.00814
	2.5	5.130	1.769	0.0572	0.01972	0.0357	0.01231	0.0295	0.01017	0.0196	0.00676
	3.0	5.330	1.838	0.0644	0.02221	0.0381	0.01314	0.0413	0.01424	0.0118	0.00407
3.30	5.368	1.851	0.0458	0.01579	0.0369	0.01274	0.0413	0.01424	0.0118	0.00407	
No.169 V ₀ = 3.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.634	0.500	0.0143	0.00437	0.0179	0.00547	0	0	0.0063	0.00193
	1.0	3.135	0.959	0.0143	0.00437	0.0238	0.00728	0.0059	0.00180	0.00785	0.00240
	1.5	4.171	1.276	0.0300	0.00917	0.0238	0.00728	0.0177	0.00541	0.0118	0.00361
	2.0	5.016	1.534	0.0343	0.01049	0.0262	0.00801	0.0248	0.00758	0.0165	0.00605
	2.5	5.605	1.714	0.0443	0.01355	0.0298	0.00911	0.0248	0.00758	0.0259	0.00792
	3.0	5.871	1.795	0.0443	0.01355	0.0309	0.00945	0.0389	0.01190	0.0243	0.00743
3.32	5.900	1.804	0.0458	0.01408	0.0298	0.00911	0.0307	0.00937	0.0236	0.00722	
No.170 V ₀ = 3.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.853	0.497	0	0	0	0	0	0	0.0063	0.00169
	1.0	3.468	0.9298	0	0	0	0	0	0	0.0126	0.00338
	1.5	4.864	1.304	0	0	0	0	0	0	0.0188	0.00504
	2.0	5.900	1.582	0.0400	0.01072	0.0179	0.00480	0.0118	0.00316	0.0243	0.00651
	2.5	6.593	1.768	0.0501	0.01343	0.0179	0.00480	0.0295	0.00791	0.0314	0.00842
	3.0	7.011	1.880	0.0543	0.01456	0.0119	0.00319	0.0413	0.01107	0.0393	0.01054
3.35	7.078	1.898	0.0501	0.01343	0.0357	0.00957	0.0472	0.01265	0.0432	0.01158	
No.171 V ₀ = 3.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	1.948	0.496	0.0215	0.00547	0.0286	0.00728	0	0	0	0
	1.0	3.705	0.942	0.0257	0.00654	0.0286	0.00728	0.0059	0.00150	0.0039	0.00091
	1.5	5.083	1.293	0.0157	0.00399	0.0345	0.00878	0.00118	0.00030	0.0212	0.00539
	2.0	6.128	1.559	0.0286	0.00728	0.0298	0.00758	0.0059	0.00150	0.0314	0.00799
	2.5	6.935	1.765	0.0458	0.01165	0.0298	0.00758	0.0354	0.00878	0.0259	0.00659
	3.0	7.334	1.866	0.0715	0.01819	0.0309	0.00786	0.0472	0.01201	0.0196	0.00499
3.41	7.467	1.900	0.0858	0.02183	0.0476	0.01211	0.0590	0.01501	0.0157	0.00389	

4.3 実験値と理論値について

これらの実験の場合と第2章に述べた場合とを照合してみる。判別式は明らかに $\alpha^2 - 4k > 0$ である。そこで (14) 式によって、

$$n = \frac{1}{t_0} \cos^{-1} \left(\frac{\sqrt{gH}}{h} \cdot P \right)$$

$$= \frac{1}{t_0} \cos^{-1} (8.1285 P)$$

この式に、 t_0 および P のそれぞれの実験の平均値を入れて求められた n を表14に示す。

表 14

t_0	P	n		\sqrt{k}
1.90	0.0244	0.7215	$\div 40^\circ/\text{sec}$	1.2249
2.50	0.0142	0.5820	$\div 30$	0.8198
3.27	0.0106	0.4539	$\div 25$	0.6048
3.90	0.0045	0.3934	$\div 23$	0.4123

t_0 [sec], P [gr.sec/cm³], n [rad/sec]

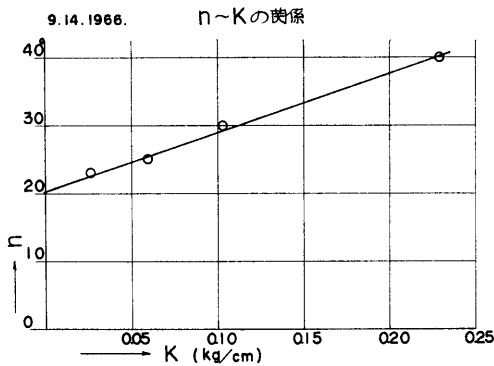


図 8

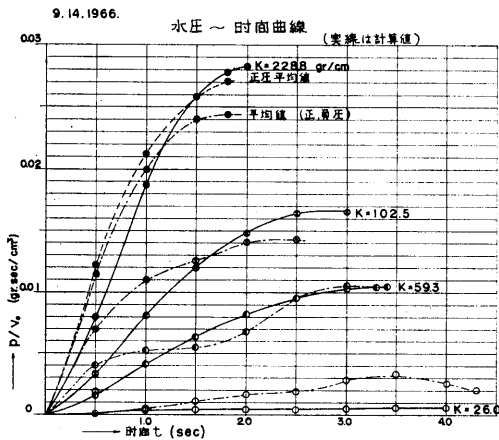


図 9

この n の値を縦軸に、 K の値を横軸にとって図示したのが図 8 である。

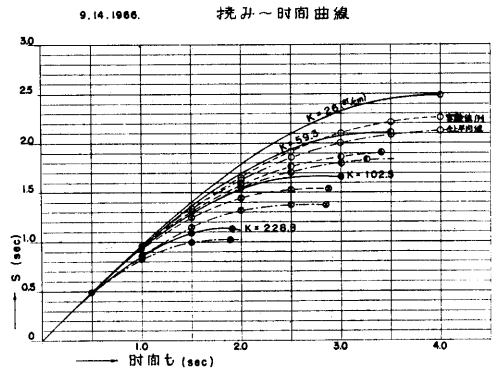


図 10

この図によってみると、 K に比例して、 n は大きくなっていることを示している。

また、この表において判るように、 K が 228.8, 102.5, および 59.3 gr/cm のときは、 $n < \sqrt{k}$ であるから、水圧は加速する方向に働く、ゆえに n の値を K に対応して、それぞれ 40, 30, 25 deg/sec とし、また 26.0 gr/cm のときの K に対しては 23 deg/sec とすれば、(4) 式、(4') 式および (14) 式によって、 S [sec⁻¹], \dot{S} , P [gr.sec/cm³] は次の式によって求めることができる。

$K=228.8$ gr/cm の場合は、

$$S = 1.3623 \sin(40t + 18^\circ)$$

$$- 0.09429e^{-2 \cdot 2326t} (4.7980 \sinh 1.8666 \cdot t$$

$$+ 4.4652 \cosh 1.8666 t)$$

$$\dot{S} = 0.9511 \cos(40t + 18^\circ)$$

$$- 0.09429e^{-2 \cdot 2326t} (-1.0130 \cosh 1.8666 t$$

$$- 2.3770 \sinh 1.8666 t)$$

$P = 0.123(\cos 40t - \dot{S})$

$K=102.5$ gr/cm の場合は、

$$S = 1.8828 \sin(30t + 9^\circ 660)$$

$$- 0.0707e^{-2 \cdot 2326t} (4.6185 \sinh 2.0766 t$$

$$+ 4.4652 \cosh 2.0766 t)$$

$$\dot{S} = 0.9858 \cos(30t + 9^\circ 660)$$

$$- 0.0707e^{-2 \cdot 2326t} (-0.3979 \cosh 2.0766 t$$

$$- 1.0174 \sinh 2.0766 t)$$

$P = 0.123(\cos 30t - \dot{S})$

$K=59.3$ gr/cm のときは、

$$S = 2.2801 \sin(25t + 5^\circ 818)$$

$$- 0.05175e^{-2 \cdot 2326t} (4.5577 \sinh 2.1437 t$$

$$+ 4.4652 \cosh 2.1437 t)$$

$$\begin{aligned} \dot{S} &= 0.9948 \cos(25t + 5^\circ 818) \\ &\quad - 0.05175e^{-2 \cdot 2326t} (-0.1985 \cosh 2.1437t \\ &\quad - 0.6033 \sinh 2.1437t) \\ P &= 0.123(\cos 25t - \dot{S}) \\ K &= 26.0 \text{ gr/cm のときは,} \\ S &= 2.4912 \sin(23t + 0^\circ 300) \\ &\quad - 0.002926e^{-2 \cdot 2326t} (4.5393 \sinh 2.1941t \\ &\quad + 4.4652 \cosh 2.1941t) \\ \dot{S} &= \cos(23t + 0^\circ 300) \\ &\quad - 0.002926e^{-2 \cdot 2326t} (-0.0094 \cosh 2.1941t \\ &\quad - 0.3374 \sinh 2.1941t) \\ P &= 0.123(\cos 23t - \dot{S}) \end{aligned}$$

これらの式による計算値と実験値の平均値を比較図示したのが、 P については図9、 S については図10である。

表10, 11, 12, 13, 14, および図8, 9, 10によって、理解されるように、1つのバネ常数 K については、現象時間 t_0 は一定であるが、 K が異なると t_0 も変化し、 n も異なった値となる。そして K と n とはおおよそ比例している。

$\alpha^2 - 4k < 0$ の場合にあっては、 $\alpha^2 - 4k \rightarrow 0$ になるに従って、水流の減衰があり、 n の値は大体40~30 deg/sec であったが、 $\alpha^2 - 4k > 0$ の場合は、 $\alpha^2 - 4k \rightarrow 0$ になるに従って、30→40 deg/sec に近づく、そして k が小さくなるに従って小さくなっている。

これは、船が水流を妨げずに水のままに流されている状態に近づいているということである。

$K = 26.0 \text{ gr/cm}$ の場合は、 $n \doteq \sqrt{k}$ の状態であって、写真20から写真25によって、明らかなように水圧はほとんど働いていない。そこで、

$$n = \sqrt{k} = 0.4129 \text{ [sec}^{-1}\text{]} = 23 \text{ [deg/sec]}$$

として(8)式によって、 t_0 および S_0 を求めると、

$$t_0 = 3.805 \text{ [sec]}$$

$$S_0 = 2.422 \text{ [sec]}$$

をうる。この値は前掲の理論式による計算値 $t_0 = 3.96 \text{ [sec]}$ 、 $S_0 = 2.4798 \text{ [sec]}$ ならびに実測値にほぼ一致する。

これで(8)式の状態の存在することが理解される。

5. 室内実験Ⅲ

室内実験ⅠおよびⅡにおいては、横方向の接岸力を検討したのであるが、この実験Ⅲにおいて、実験Ⅱの場合と等しいバネ常数の受衝バネに対し同じ船が縦方向で衝突したときの接岸力を求めた。この目的は縦方

向衝撃の場合の付加質量を検討するにある。

実際において、船が防舷材に対し接線方向の速度を有して、接岸するときの接岸力を求めるときに必要となるものである。(写真33参照)

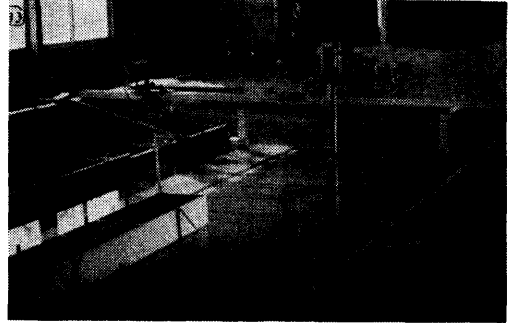


写真33

5. 1 運動方程式

前述の状態において考えられることは、船の長さの方向に微速で慣性で運動しているときは、水圧も小さく、抵抗も小さいので、ほとんど見掛けの付加質量がないのではないかということである。

したがって運動の方程式は

$$\ddot{S} + kS = 0$$

$t=0$ で、 $\dot{S}=1$ 、 $S=0$ の条件でとくと、

$$S = \frac{1}{\sqrt{k}} \sin \sqrt{k} t$$

これは(8)式と同形である。

この実験の k は、4.2の k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 に等しいゆえに、上式によって、最大撓み S_0 、現象時間 t_0 は、表15の通りとなる。

表 15

K [gr/cm]	S_0 [sec]	t_0 [sec]
228.8	0.8164	1.2824
102.5	1.2198	1.9161
59.3	1.6036	2.5189
26.0	2.4219	3.8043

5. 2 実験の記録

船型は、4.2の場合と同型で、水深は29.9cm、きつ水は18.45cmである。その他の設備は4.2の実験と同様である。(写真33)

この実験は1967年1月11日から1月19日までの間に行なった。

その結果のオシログラフの記録の一例を、写真34か

ら37に掲げた。また記録から、撓み S_0 と現象時間 t_0 を読みとった値を表16に示す。

計器の検定は実験の都度行なった。12日の実験を除いては、電磁オシログラフの読みと実長との比は、大体 1 : 1 であった。

表16において、欄外の理論値と実験値を比較すれば明らかなように、現象時間、撓み、接岸力の実験値と理論値はほとんど一致している。それゆえ縦方向の衝撃においては、便宜的付加質量は無視してよいこと、また、バネ常数の小さい場合は水の抵抗があることが

わかる。

したがって、防舷材に対して、接線方向の速度を有して接岸する場合は、この(8)式による力と法線に直角な速度による接岸力に防舷材と舷側の間の摩擦係数を乗じた力が接線方向に働く力となる。

6. 実船測定について

10万t級船舶用ドルフィンの柔軟な例として、川崎港沖で筆者が測定した。1964年12月21日霧島丸の接岸時の測定値について、本文の考察の結果を適用してみ

表 16

NO.	K=2288 gr/cm(1,12,1967)				NO.	K=1025gr/cm(1,19,1967)			
	V_0	Δ_0	t_0	S_0		V_0	Δ_0	t_0	S_0
45	2.30	1.83	1.28	0.796	66	2.07	2.53	1.90	1.221
46	2.31	1.79	1.30	0.777	67	2.08	2.45	1.88	1.177
47	1.90	1.42	1.29	0.745	68	1.84	2.11	1.91	1.148
49	3.02	2.43	1.25	0.804	69	2.88	3.51	1.92	1.218
50	2.33	1.88	1.21	0.808	70	2.93	3.53	1.92	1.204
51	3.65	2.93	1.30	0.803	71	2.91	3.39	1.90	1.165
52	3.80	3.10	1.30	0.793	72	3.46	4.13	1.91	1.193
53	3.16	2.51	1.31	0.795	73	3.77	4.54	1.92	1.204
			1.28	0.816	74	3.58	4.13	1.90	1.154
								1.92	1.220

NO.	K=593 gr/cm(1.13,1967)				NO.	K=26.0 gr/cm(1,17,1967)			
	V_0	Δ_0	t_0	S_0		V_0	Δ_0	t_0	S_0
26	1.97	2.56	2.36	1.300	36	2.07	4.39	3.47	2.121
27	2.00	2.64	2.39	1.320	37	2.15	4.69	3.52	2.180
28	2.27	3.11	2.53	1.372	38	1.86	3.81	3.57	2.048
29	2.89	3.99	2.50	1.389	39	2.78	5.95	3.57	2.141
30	2.76	4.33	2.49	1.570	40	2.88	6.09	3.50	2.151
31	3.01	4.59	2.47	1.515	41	2.78	6.01	3.62	2.161
32	4.16	6.14	2.50	1.476	42	3.96	8.03	3.57	2.030
33	4.12	6.04	2.52	1.465	43	4.13	8.22	3.57	1.993
34	3.95	6.04	2.50	1.529	44	3.67	7.71	3.49	2.101
			2.52	1.604				3.80	2.422

V_0 : 接岸速度 (cm/sec)
 Δ_0 : 受衝バネの撓み (cm)
 t_0 : 現象時間 (sec)
 S_0 : Δ_0/V_0 (sec)
 欄外の数値は理論値を示す

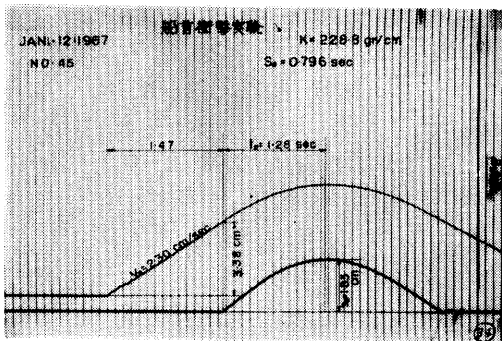


写真34

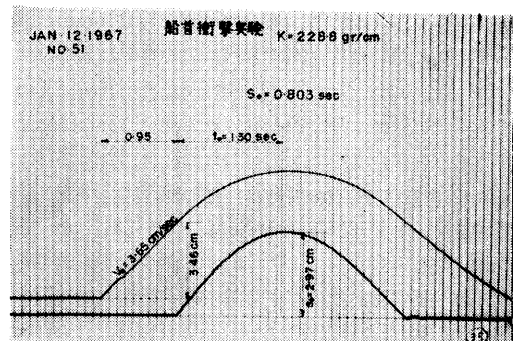


写真35

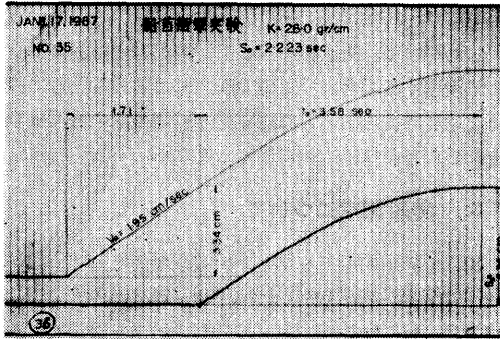


写真36

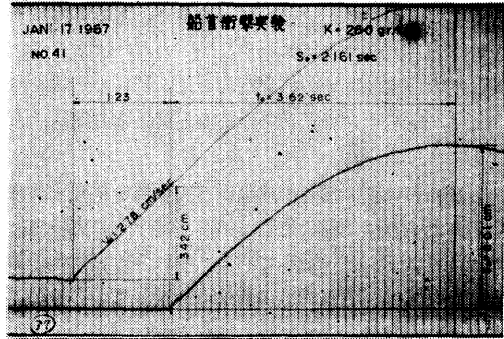


写真37

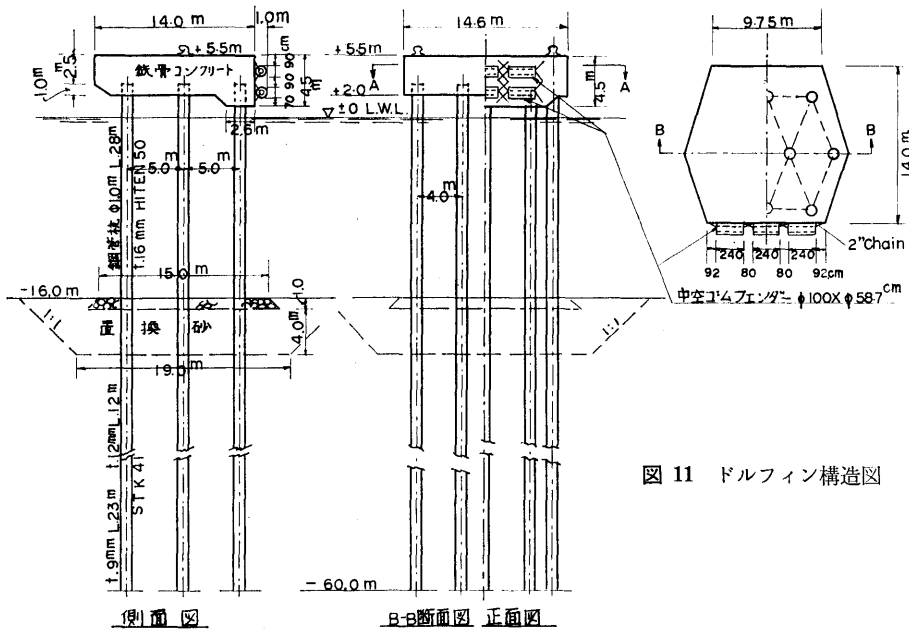


図 11 ドルフィン構造図

る。

6. 1 霧島丸接岸時の測定値

このドルフィンの構造は、パース水深16.0m、鋼管杭(直杭) HITEN 50、径1000mm、厚さ16mm、パース法線に対し直角方向に3列に、それぞれ3本、4本、3本の10本構成で、列間隔は5m、各杭間隔は4mである。杭頭部はH型鋼を取付けて剛結し、上下に配筋して、コンクリートを打設した。その天端高は+5.5m、下端は+1.0mである。その前面に、中空、筒型ゴムフェンダー、外径100cm、内径58.7cm、長2.4mのもの6本を、上下2段3本ずつ水平に鎖をもって吊り下げた。そのバネ常数(荷重特性)は672t/mである。(図11参照)

鋼管杭のバネ常数は未知であった。

接岸時の霧島丸は、排水トン数 $W=120,560$ ton、船の長さ $l=249.7$ m、船巾 $b=40.5$ m、きつ水 h は、船首で14.75m、船尾で14.82mであり、水深は17.0mであった。接岸速度、偏心距離などは表17の通りであった。

表 17 接岸状態

接岸の回数	船 首		船 尾	
	接岸速度 v_0	偏心距離 r	v_0	r
	cm/sec	m	cm/sec	m
1回目	4.35	64.43	1.11	36.56
2回目	1.15	64.65	1.16	41.65
3回目	1.15	50.79	1.82	50.13

$$m = W/g = 12,300 \text{ [t.sec}^2/\text{m]}$$

$$\alpha = h^2/l/m \sqrt{gH} = 0.3562 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$I_z = m(l^2 + b^2)/12$$

$$= 12,300 \times 5,332.528 \text{ [t.m.sec}^2\text{]}$$

$$\beta = 1 + mr^2/I_z$$

表 18 β の値

接岸回数	船首 β	船尾 β
1 回目	1.7785	1.2508
2 回目	1.7838	1.3253
3 回目	1.4838	1.4713

β は表18の通りであるが、以下本文の計算においては、ほぼ平均値をとって、船首の $\beta=1.78$ 、船尾の $\beta=1.35$ とする。

次に撓みの実測値は、I.T.V. による写真(写真38)、オシログラフの記録(写真39)などによって、表19の値をうる。

この表によって、 $s_d/s_f \approx 4$ となる。この s_f は径100cm のゴムフェンダーの撓みで、その荷重特性は112 t/m である。6本使用されているので、 $K_f=672$ t/m となる。したがって、 $K_d=672/4=168$ t/m とな

る。

ドルフィン構造全体としてのバネ常数 K_0 は、

$$K_0 = \frac{K_f K_d}{K_f + K_d} = \frac{672 \times 168}{672 + 168} = 134.4 \text{ [t/m]}$$

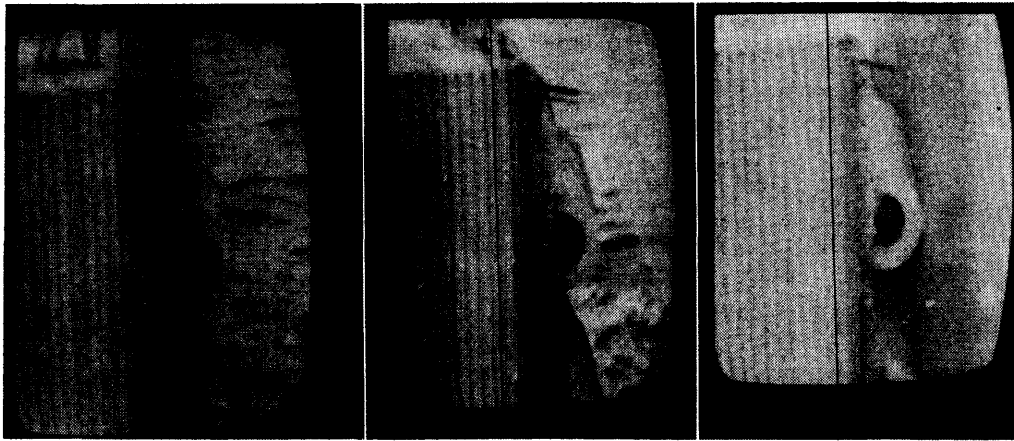
となる。

偏心距離 r は、接岸の都度、舷側に白墨で接触点の印をつけ、接岸操船が終ってから測定した。接岸速度 v_0 はオシログラフの記録(例えば写真39)によって測ったものである。

フェンダーの撓みは、岩国港において使用した撓み計³⁾をフェンダー上部に取り付けて測った。杭頭部の変位は、中央荷役棧橋上に据えたトランシット、I.T.V.および渡棧橋とドルフィン頭部の間に取り付けた板バネ(ストレンゲージ貼付)の歪を測定することによって測ったものである。

6.2 測定結果について

この実船についての測定の結果から、杭のバネ常数が、ゴムフェンダーのバネ常数の4分の1ということがわかる。したがってドルフィン全体としての k およ



黒線はテレビ画面に引かれた基準線
(ドルフィン頭部の20cm間隔の縞模様) (船が接近している、図中右側) (接触、撓み最大)

写真38 I.T.V. による撓みの観測図

表 19 s_d, s_f の測定値

接岸回数	ドルフィン頭部の変位 s_d [cm]				ゴムフェンダーの撓み s_f [cm]			s_d/s_f	
	トランシット	オシロ	スケール	s_d	オシロ	スケール	s_f		
船首	1	18.0	19.5	19.7	19.5	4.8	3.8	4.8	4.07
	2	3.0	5.0	3.9	4.0	1.8	1.7	1.8	2.10
	3	3.0	1.0	0.6	3.0	—	1.7	1.7	1.76
船尾	1	8.0	—	—	8.0	1.9	8.7	1.9	4.21
	2	7.8	—	—	7.8	1.8	8.7	1.8	4.33
	3	10.8	4.0	10.8	10.8	3.05	10.8	3.05	3.55

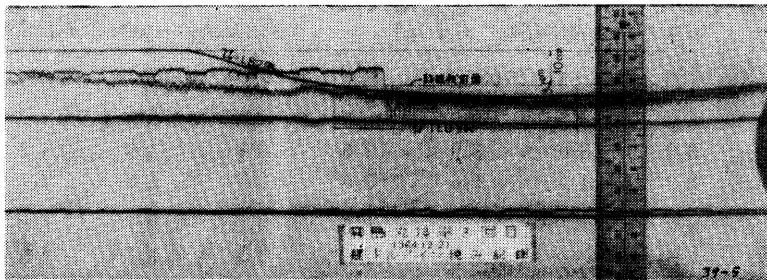
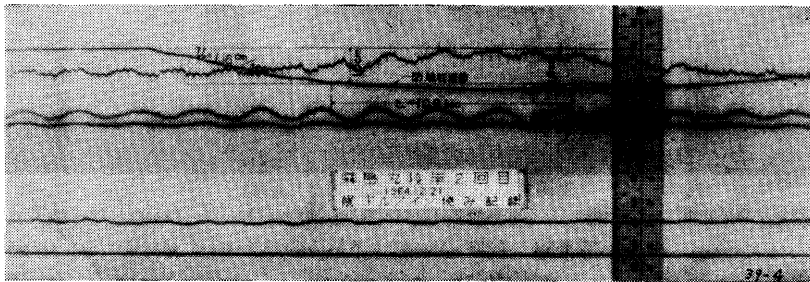
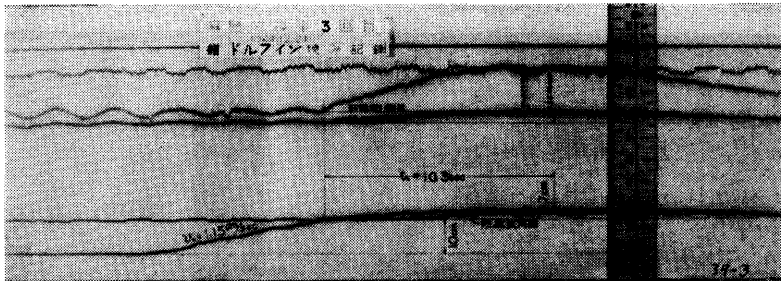
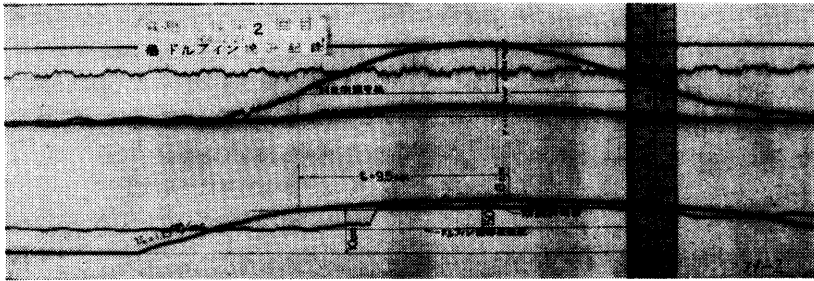
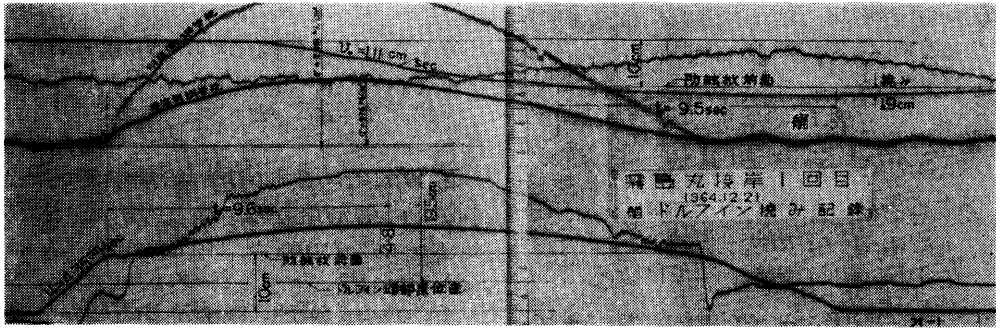


写真39

び βk を求めると、

$$k = k/m = 134.4/12300 = 0.0193 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

また船首では $\beta = 1.78$ 、船尾では $\beta = 1.35$ であるから、 β を k の中に含ませると、

$$\text{船首接岸時の } k = 0.01946 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

$$\text{船尾接岸時の } k = 0.01476 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

で、 $\alpha^2 - 4k$ の値は、

船首の場合

$$0.12688 - 4 \times 0.01946 = 0.04904 > 0$$

船尾の場合

$$0.12688 - 4 \times 0.01476 = 0.06784 > 0$$

となる。

この場合のように、ゴム防舷材の撓みが、杭頭撓みの4分の1であることは、構造物の強度が信頼できるものであるならば、防舷材のバネ常数をより小さくして、構造物を防護する防舷材の効用を發揮させなければならぬということである。

船は、非常に注意深く操縦され、ゴム防舷材と接触寸前に、一時停止に近い状態となり、おもむろに接岸した。そして、このように接岸速度が小さいにもかかわらず、現象時間は長く、船はフェンダーと接触した姿勢のまま停っているのかと思われるほどであった。以上のような状態についての測定結果に、2章の考察結果を適用してみる。

2.2 の (8) 式によって、

(i) 船首で接岸の場合は

$$k = 0.01946 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

$$\sqrt{k} = 0.1395 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$\therefore S_0 = 1/\sqrt{k} = 7.168 \text{ [sec]}$$

$$t_0 = \pi/2\sqrt{k} = 11.26 \text{ [sec]}$$

これに対する実測値は、

$$S_0 = (19.5 + 4.8)/4.35$$

$$= 5.6 < 7.168 \text{ [sec]}$$

$$t_0 = 9.6 < 11.26 \text{ [sec]}$$

$$n = \pi/2t_0 = 0.1635 > 0.1395 = \sqrt{k} \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

であるから、水圧は抵抗として働く状態であることが理解される。またその接岸状況は、前述のように、一旦停止してから、徐々に接触している状況であるから、2.3 の (11) 式の場合に該当する。 C_v を求めなければならないが、その値は状況によることは、しばしば述べたとうりである。この場合は、仮りに

$$C_v = \alpha/10 = 0.03562 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

として計算してみると、次の通りである。

$$C_v^2 - 4k = 0.03562^2 - 4 \times 0.01946 < 0$$

$$\zeta_- = 0.1384 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$2\zeta_-/C_v = 7.7681$$

$$\therefore t_0 = \zeta_-^{-1} \tan^{-1}(2\zeta_-/G_v) = 10.43 \text{ [sec]} \doteq 10$$

$$S_0 = \zeta_-^{-1} e^{\alpha_0/\sqrt{k}} = 5.9536 \doteq 5.6 \text{ [sec]}$$

$$S = 7.228e^{-0.01751t} \sin(7^\circ 9' 297 t)$$

この式による計算表を表20に示す。

この計算値と実測値を比較したものが表22である。

(ii) 船尾で接岸の場合

前の(i)の場合同様に、

$$\sqrt{k} = \sqrt{0.01476} = 0.1215 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$S_0 = 1/0.1215 = 8.2305 \text{ [sec]}$$

$$t_0 = 3.1416/2 \times 0.1215 = 12.9284 \text{ [sec]}$$

$$\text{実測値の } S_0 = 9.9/1.11 = 8.92 \approx 8.23 \text{ [sec]}$$

表20 船首ドルフィン撓み計算表

I	II	III	III	V	VI	VII	VIII
t	$\frac{\alpha}{2} t$	$e^{\frac{\alpha}{2} t}$	$7.9297 t$	$\sin III$	$S = 7.228 e^{-0.01751t}$	S_f	S_d
0	0	1.0000	0	0	0	0	0
1	0.01781	0.9823	7.9297	0.1380	0.9798	0.1960	0.7838
2	0.03562	0.9650	15.8594	0.2734	1.9070	0.3814	1.8256
3	0.05343	0.9499	23.7891	0.4033	2.7690	0.5538	2.2152
4	0.07124	0.9312	31.7188	0.5260	3.5404	0.7081	2.8323
5	0.08905	0.9148	39.6485	0.6381	4.2192	0.8438	3.3754
6	0.10686	0.8986	47.5782	0.7383	4.7953	0.9591	3.8362
7	0.12467	0.8828	55.5079	0.8241	5.2585	1.0517	4.2068
8	0.14248	0.8672	63.4376	0.8944	5.6062	1.1212	4.4850
9	0.16029	0.8519	71.3673	0.9476	5.8349	1.1670	4.6679
10	0.17810	0.8369	79.2970	0.9826	5.9439	1.1888	4.7511
10.43					5.9536	1.1907	4.7629
11	0.19591	0.8221	87.2267	0.9988	5.9350	1.1870	4.7480

表21 船尾ドルフィン撓み計算表

I	II	III	III	V	VI
t	$6.9614 t$	$\sin II$	$S = 8.2305 e^{-0.01476t}$	S_f	S_d
0	0	0	0	0	0
1	6.9614	0.1213	0.9984	0.1997	0.7987
2	13.9228	0.2405	1.9794	0.3959	1.5835
3	20.8842	0.3565	2.9342	0.5868	2.3474
4	27.8456	0.4672	3.8453	0.7691	3.0762
5	34.8070	0.5707	4.6971	0.9394	3.7577
6	41.7684	0.6661	5.4823	1.0965	4.3858
7	48.7298	0.7516	6.1860	1.2372	4.9488
8	55.6912	0.8261	6.7992	1.3598	5.4394
9	62.6526	0.8882	7.3103	1.4621	5.8482
10	69.6140	0.9374	7.7152	1.5430	6.1722
11	76.5754	0.9727	8.0058	1.6012	6.4046
12	83.5368	0.9936	8.1778	1.6356	6.5422
13	90.4982	1.0000	8.2305	1.6461	6.5844

表22 霧島丸接岸時の実測値と理論値の比較

接岸回数	要項	船首方向ドルフィン		船尾方向ドルフィン		
		実測値 a	計算値 b (a/b%)	実測値 a	計算値 b (a/b%)	
一	U cm/sec	4.35 (実測 $S_0 = 5.59 \text{ sec}$)	94.11	1.11 (実測 $S_0 = 8.92 \text{ sec}$)	73.1	
	S_d cm	1.95	20.72	80	109.44	
	S_f cm	4.8	5.18	92.66	1.9	103.83
	S_0 cm	2.43	2.90	93.82	9.9	91.4
	t_0 sec	9.6	10.43	92.04	9.5	129.2
二	U cm/sec	1.15 (実測 $S_0 = 5.91 \text{ sec}$)	11.5	1.15 (実測 $S_0 = 8.27 \text{ sec}$)	11.5	
	S_d cm	5.0	5.49	91.24	7.8	7.64
	S_f cm	1.8	1.7	131.39	1.8	1.91
	S_0 cm	6.8	6.85	99.27	9.6	9.55
	t_0 sec	9.5	10.43	91.08	10.9	129.2
三	U cm/sec	1.15 (実測 $S_0 = 4.09 \text{ sec}$)	1.15	1.82 (実測 $S_0 = 7.64 \text{ sec}$)	1.82	
	S_d cm	3.0	5.48	5.474	10.9	1.98
	S_f cm	1.7	1.7	124.09	3.1	3.00
	S_0 cm	4.7	6.85	68.61	13.9	1.498
	t_0 sec	1.03	10.43	98.75	11.0	129.2

$$t_0 \doteq 10 < 12.93 \text{ [sec]}$$

$$\therefore n = \sqrt{k} \text{ として}$$

$$\sqrt{k} = 6.9614 \text{ [deg}\cdot\text{sec}^{-1}]$$

$$S = 8.2305 \sin 6.9614 t$$

この式による計算値が表21である。

また、この計算値と実測値を比較したものを表22に示す。

以上によって、この状態では、ドルフィン構造が非常に小さいバネ常数をもっている特殊な場合といえることができる。

7. 結 論

以上室内実験ならびに実船による測定値によって、判別式 $\alpha^2 - 4k > 0$ の場合について検討した結果をまとめてみると、

1) $\alpha^2 - 4k > 0$ の場合は、船が接岸してから止まるまでのドルフィンの撓みが大きく、したがって現象時間も長いので、船の運動に伴う水の流れの減衰がおこる。

2) その減衰の形態は、初期条件および環境によってことなる。大体余弦の4分の1周期の形でも近似させる。

3) その $\cos nt$ の n が \sqrt{k} に等しいときに、付加質量がゼロに近い状態となる。

4) $n < \sqrt{k}$ のときは、水圧は船を加速する方向に働き、

5) $n > \sqrt{k}$ のときは、水圧は船を減速する方向に働く。

6) この特殊な場合には、静水中を船が移動しはじめた状態と等しく、水の抵抗が働く状態のときもあろう。

これらの n および抵抗係数 C_0 は、状況によってことなるから、より多くの実船実験、実測によって求めなければならない。

したがって係船施設の設計に当っては、 n に期待せず、 $f(t)=1$ の状態すなわち船が定速状態で接近し、接岸現象時間中は、船の運動に伴う水の流速の減衰はないものとして設計し、安全を期するのが妥当であると思われる。

8. 接 岸 力 図

この章においては、第2章に述べた運動方程式の解についての区分を判別し易いように図示し、さらにフェンダーの、もっとも一般的な荷重特性

$$F = Ks$$

$$F = K_0 = \text{const}$$

の場合における接岸力、および現象時間を容易に求める図表を掲げる。

これらの図表は、既報の運研報告第11巻第10号、船研報告第1巻第1号の報文および本報文の(7)式などによるものである。

8. 1 接岸力の求め方

まず接岸水圧係数 α を計算しておく。概略の値は、Fig. 1 において船巾 b ときつ水 h との比 n と横軸における船巾との交点から縦軸に α がえられる。

8. 1. 1 $F = Ks$ の場合

① k の求め方 Fig. 2 において、 K と偏心距離 r との交点から、縦軸について βK 、さらに βK と屯数を示す斜線との交点から、左方横軸に k が求まる。

ここに $\beta = 1 + mr^2/I_z$ 、 $I_z = ml^2/12$ として計算したものである。

この k は、10,000 t 単位の値であるから、1,000 t の船の場合は、1.0 の斜線でもとめた k の値の10倍となり、100,000 t の船の場合は、10分の1が求める k である。

② 運動方程式の解の区分 Fig. 3 において、 α と k の交点が、

判別線の上のA区域内にあるときは

$$\alpha^2 - 4k < 0$$

判別線の下にB区域内にあるときは

$$\alpha^2 - 4k > 0$$

であることを知る。

③ A区域内にある場合の接岸力 F の求め方

Fig. 4 において、 k と α の交点の N の値を求め、 α と左の αS_0 面に移した N との交点から横軸に S_0 が求められる。

S_0 が求まれば接岸力 F は、

$$F = S_0 \cdot v_0 \cdot K$$

で求められる。

現象時間 t_0 は、Fig. 5 において、 α と N の交点で求められる。

④ B区域内にある場合 この区域は、 $F < mav_0$ の区域で、船の周囲の水の状態によって、いろいろの場合が生ずる。衝撃的現象は小さい。定速の状態では接岸すると撓みが非常に大きいので、構造物の強さに信頼性があるとき以外は、フェンダーの前で一度船を止め、おもむろに接岸するなど、操

船は注意して行なう必要がある。

8.1.2 $F=K_0=\text{const}$ の場合

この場合は、フェンダーの構造上、一定反力 K_0 が働く撓みの限界がある筈である。その範囲内で船を停止させなければならない。

① k_0 の求め方 Fig. 2 において、 K を K_0 と読みかえて、 K_0 と r 直線との交点で、 βK を縦軸によって読み、排水トン数を示す直線とその βK の交点から、下の横軸において、 k を求め、この k を v_0 で割って k_0 を求める。その k_0 を用いて、 α/k_0 を計算しておく。

② $k_0 > \alpha$ の場合 Fig. 6 によって、 α と α/k_0 直線との交点から、横軸に S_0 を見出す。

撓みの最大値 $s_0 = S_0 \cdot v_0$

Fig. 7 によって、 α と α/k_0 との交点の横座標によって、 t_0 が求まる。

③ $k_0 < \alpha$ の場合

$s_0 = v_0/k_0$

で、撓みの最大値が求められ、便宜的仮想質量は $2m$ の形となっている。

8.1.3 接岸圧力 f

F が判れば、フェンダーの撓みに対応する接触面の拡大された面積を A とすれば、

$$f = F/A$$

で求められる。

8.2 計算例

1964年3月17日の岩国港における東光丸接岸の例¹⁾について図表を用いて計算してみよう。

船の長さ $l = 213 \text{ m}$

船 巾 $b = 30 \text{ m}$

きつ水 $h = 11.47 \text{ m}$

排水量 $W = 61,360 \text{ ton}$

フェンダーのバネ常数 $K \doteq 600 \text{ t/m}$

接岸速度 $v_0 = 6 \text{ cm/sec}$

偏心距離 $r = 41.5 \text{ m}$

が与えられている。

$$n = b/h = 30/11.47$$

$$\doteq 2.6$$

Fig. 1 によって、 $\alpha = 0.43 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$ をえる。 $r/l = 41.5/213 \doteq 1/5$ であるから、Fig. 2 によって、 $W/10,000$ の3の線より少し小さく、 $k=0.3$ を読み、

$$\frac{60,000}{30,000} = 2$$

であるから、 k は大体、

$$k = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

をうる。

Fig. 3 によって、 α と k の交点は、A区域内にあることを知る。

Fig. 4 によって、 $k=0.15$ と $\alpha=0.43$ との交点で、 $N=0.8$ を知り、それを左の αS_0 面にうつして、 $S_0=3.5$ をうる。ゆえに、

$$\text{接岸力 } F = 3.5 \times 600 \times 0.06 = 126 \text{ [ton]}$$

また Fig. 5 によって、 $\alpha=0.43$ と $N=0.8$ との交点により、

$$\text{現象時間 } t_0 = 6.6 \text{ [sec]}$$

をうる。

これに対する実測値²⁾ は、 $S_0=3.88 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$ 、 $F=139 \text{ [ton]}$ 、 $t_0=6.3 \text{ [sec]}$ である。

参 考 文 献

- 1) 若 桑 訥：船舶の接岸力について
運輸技術研究所報告 第11巻第10号
- 2) 若 桑 訥：船舶の接岸力について（偏心接岸の場合）
船舶の接岸力について（防衛工のバネ常数との関係）
船舶技術研究所報告 第1巻第1号
- 3) 若 桑 訥：スーパータンカー接岸実験
船舶技術研究所報告 第1巻第6号

α の計算図表

b : 船中 (m), h : きつ水 (m)
n : b/h

$\alpha = 3.8/\sqrt{nb}$ による計算値

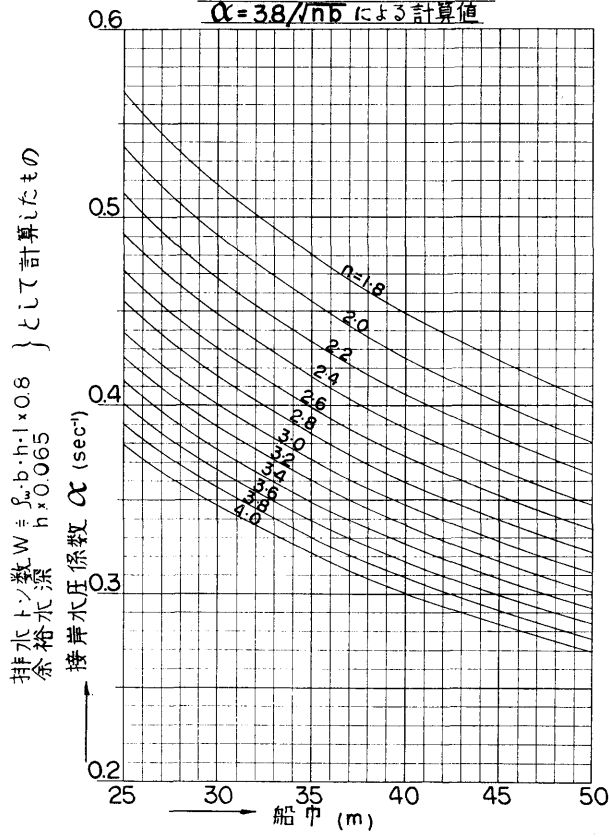


Fig. 1

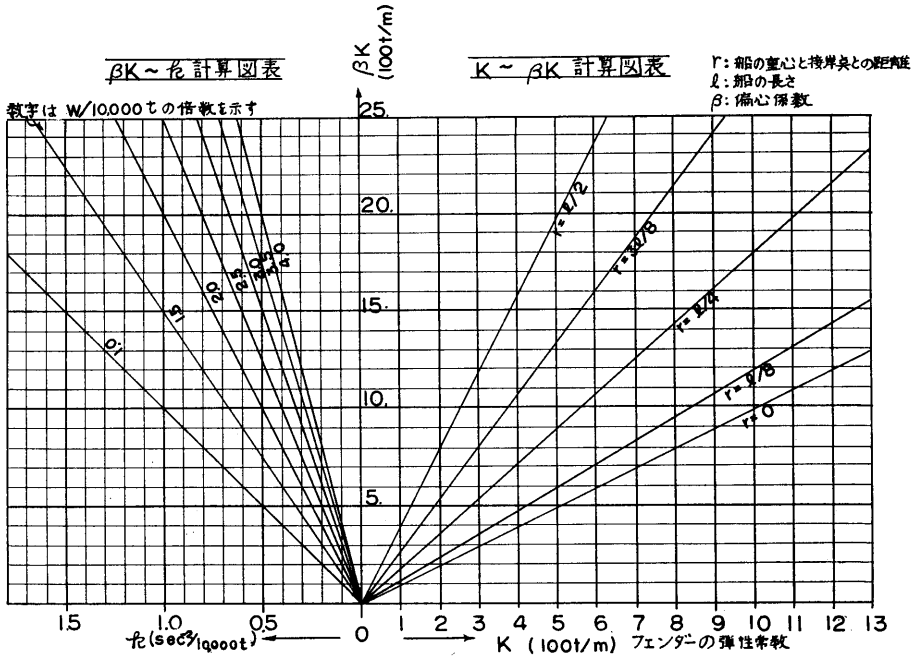


Fig. 2

A, B 区域判別図
 (A: $\alpha^2 - 4\beta < 0$ の区域)
 (B: $\alpha^2 - 4\beta > 0$ の区域)

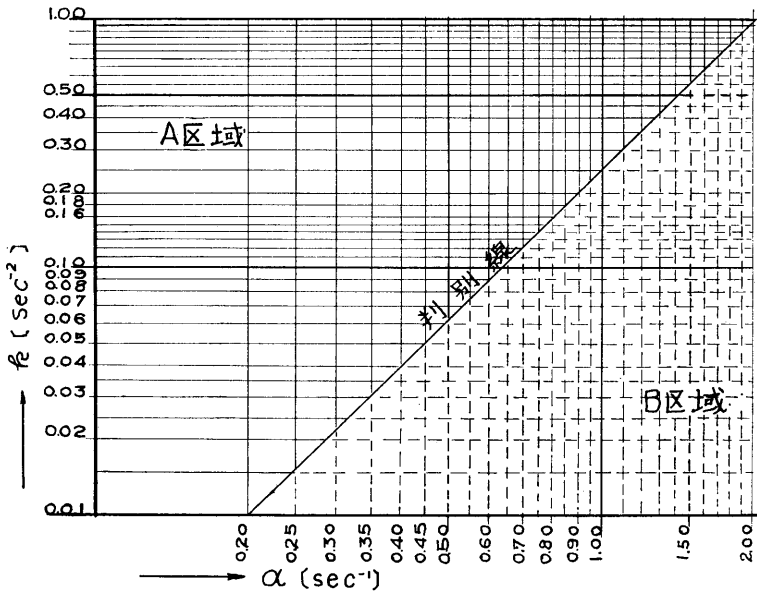


Fig. 3

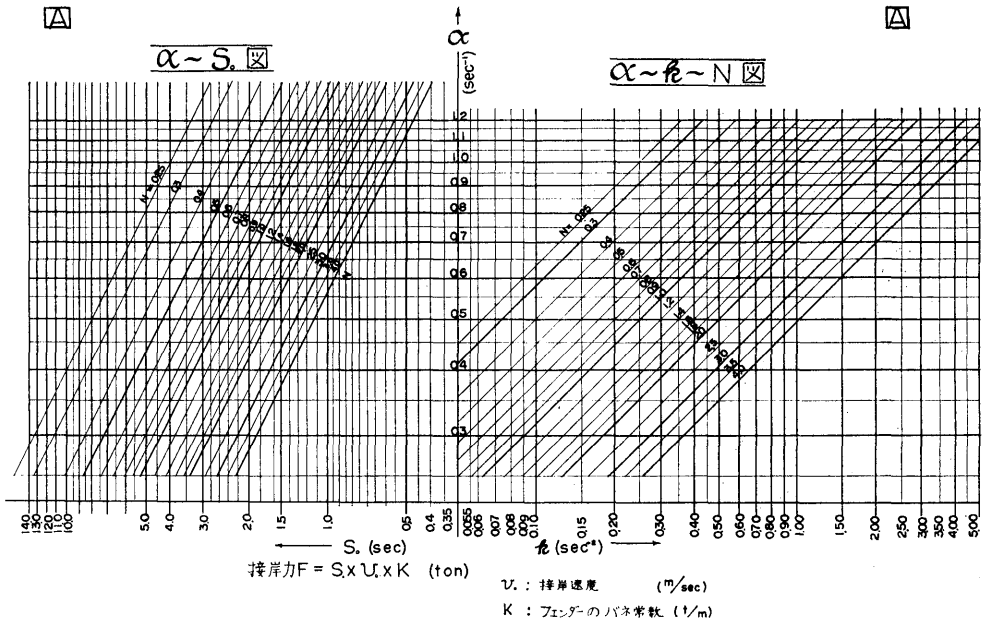


Fig. 4

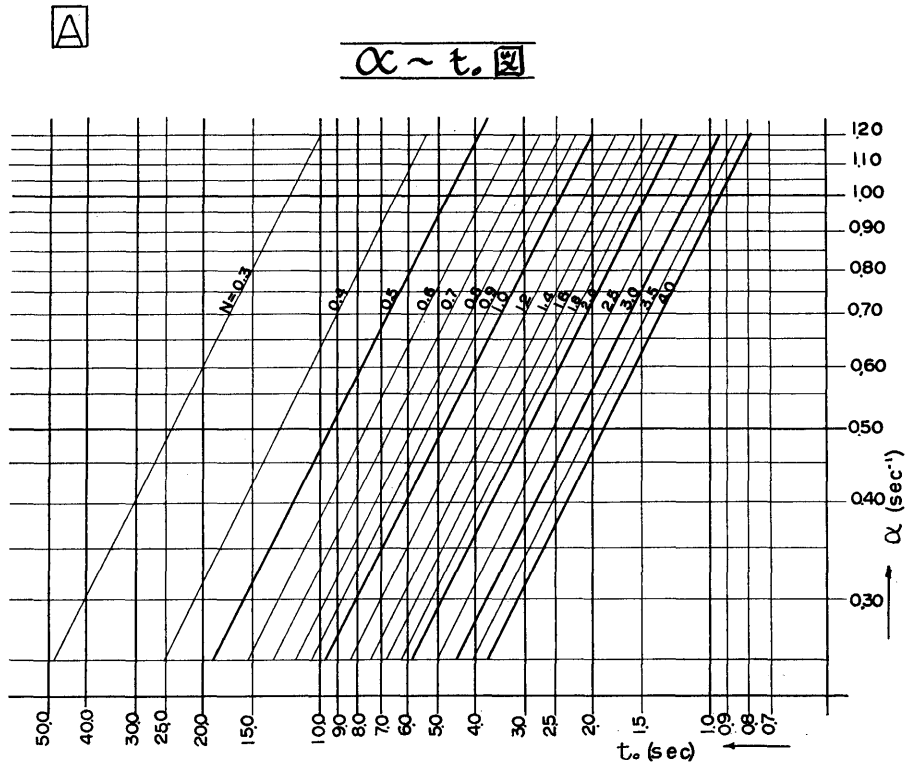


Fig. 5

$\alpha \sim k_0 \sim S_0$ 図

$K_0 = \text{const}$
 $k_0 > \alpha$ } の場合

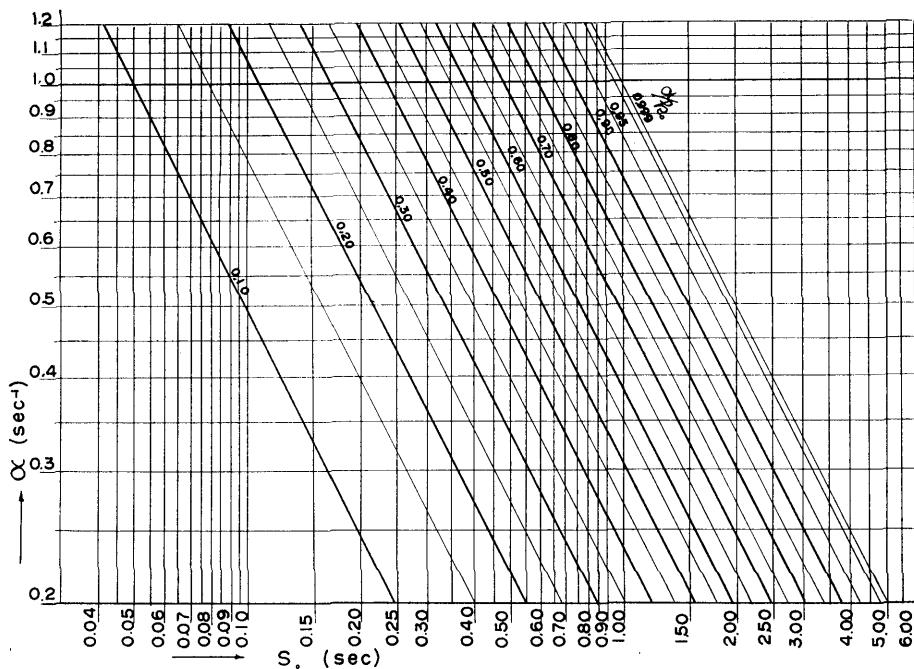


Fig. 6

$K_0 = \text{const}$

$\alpha \sim k_0 \sim t_0$ 図

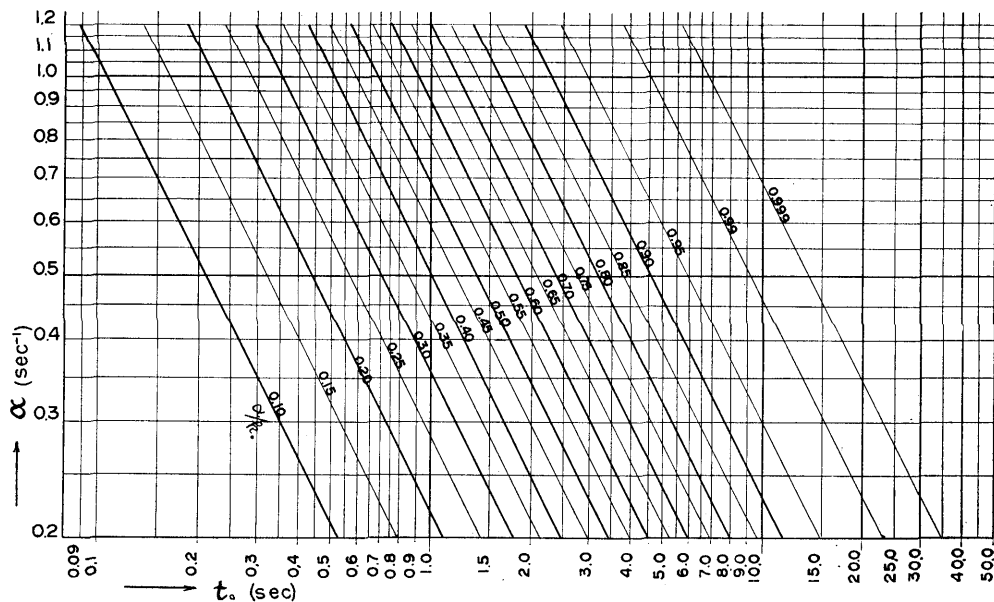


Fig. 7