

# 船舶の接岸力について

(防衝工のバネ常数との関係)

若 桑 訥\*

## Estimation of the Magnitude of Lateral Loads on Piled Jetties under Impact of Berthing Vessels (The Relationship between the Magnitude of Berthing Forces and the Elastic Abilities of Fendering Devices)

By Totsu Wakakuwa

Formulas for the evaluation of berthing forces, in the case of the deflection of fender being directly proportional to load, were already described in the Monthly Report of Transportation Technical Research Institute, Vol. 11, No. 10, 1961, and the preceding paper.

This paper explains the relationship between the magnitude of berthing forces and elastic characteristics of berthing devices.

The experiments were conducted from Dec. 1960 to Apr. 1963.

### 目 次

- まえがき
- 1 概説
- 2 防衝工の荷重一歪特性の形態
- 3 接岸力の算定式
- 4 実験設備
- 5 実験結果と理論値の比較
  - 5-1 一定反力の場合 ( $F = \text{const.}$ )
    - 5-1. 1  $\alpha < k_0$  の例
    - 5-1. 2  $\alpha > k_0$  の例
    - 5-1. 3 実測値と理論値の比較
  - 5-2 初期値  $K_0$  のある場合
    - 5-2. 1  $n\alpha \geq k_0$  の例
    - 5-2. 2  $n\alpha < k_0$  の例
    - 5-2. 3  $n\alpha < k_0$  ( $K_s$  が  $K_0$  に比し小さい) の例
    - 5-2. 4 実測値と理論値の比較
- 6 結論

### ま え が き

運輸技術研究所報告第11巻第10号(1961)において、防衝工の荷重一歪曲線が変位に比例するバネ常数の場合の接岸力について、主として重心接岸の場合の研究結果を報告した。

\* 関連施設部

本報告は、引続いて行なつた防衝工の各種のバネ常数の形状と船舶の接岸力との関係についての研究報告である。

### 1. 概 説

船舶の接岸は、船、艀のウインチ等によつて操作されるロープ、あるいはワイヤーによつて、細心の注意をもつて行なわれる。これは岸壁等の繫船施設のバネ常数が大きく、場合によつては剛体であり、船側が損傷される恐れがあることに由来しているが、ゴム防舷材等の防衝工の設備のある場合においても、必要以上に接岸速度を遅くして、接岸に時間をかけている。もし、接岸力と防舷材の取付位置、バネ常数、および接岸速度等との関係が明らかにされていれば、この危くはなくなり、接岸速度を設計速度に制御することによつて、安全迅速に接岸操船ができることとなる。

本研究の目的は、この点にある。接岸力は船の質量と繫船施設のバネ常数との関係によつて異なる。この報告は各種のバネ常数に対する接岸力の算定法を考究して、室内実験によつて、その妥当なことを立証したものである。

### 2. 防衝工の荷重一歪特性の形態

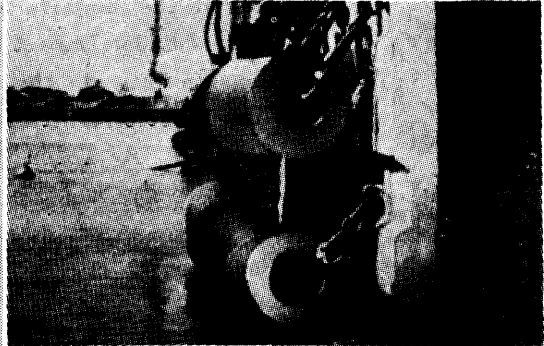
船舶の接岸エネルギーを能率よく吸収して、船舶および繫船施設の損傷を防止するため、各種の防衝工が考案されている。浮丸太、杭、重錘プランジャー式、

重錘式, Raykin fender buffer, Neidhart fender buffer, ゴム防舷材等々である。これらの中最近わが国においてよく用いられるものは, ゴム防舷材である。ゴム防舷材は, 取付が容易であること, 軽量, 耐久性があり, 荷重特性(荷重と歪の関係)を把握し易いこと等の利点があるためである。

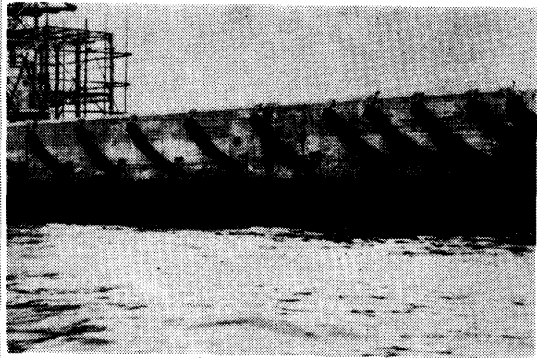
防衝工は各々その荷重特性をもっているが, ゴム防舷材においても, 各種の形状によつて, 色々な荷重特性を示す。

したがつて, 各種防衝工の性質も代表させることができる。

次に, 国内に市販されているゴム防舷材の形式と荷

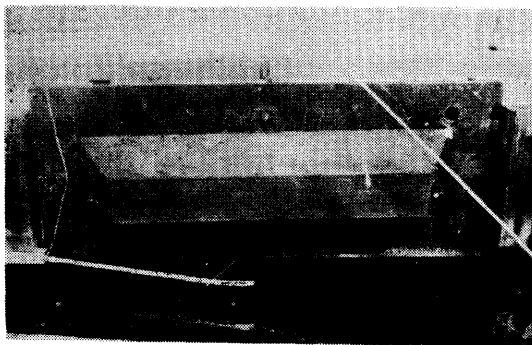


↑  
← a<sub>1</sub>



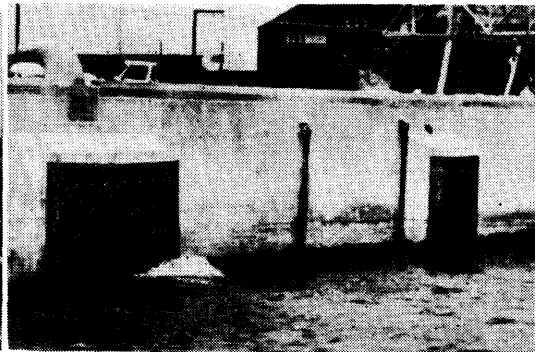
a<sub>2</sub>

図 1



b

図 2



c

図 3

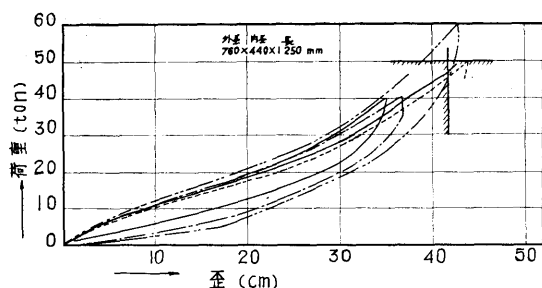


図 4.1 中空丸型荷重—歪特性曲線(a)

重特性の形の例をあげる。

すなわち、反力が圧縮歪に比例する丸形(a), ある圧縮点から一定反力となり、反力を小さくして、エネルギー吸収をよくすることを目的とした(b)型, 接触面積を大きくして、在来の木材防舷材の欠点を補った座蒲団形(c)である。(図 1. 2. 3. 4)

これらの形態から、その特性曲線は次の4形に区分される。(図5)

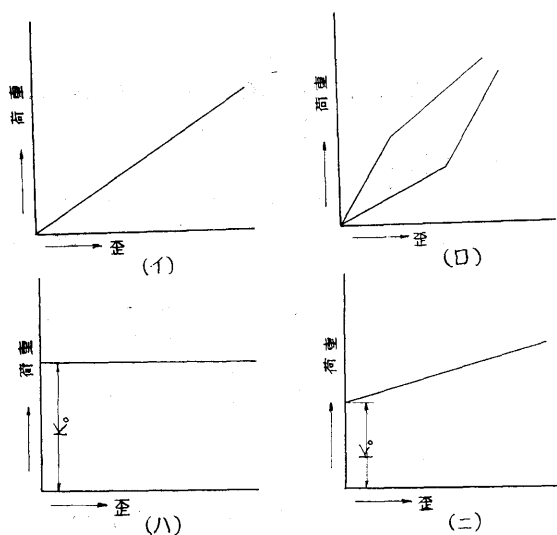


図 5 荷重—歪曲線

イの型式のものは反力が圧縮歪に比例するもの。

(a), (c)型はこれに属する。

ロの型式のものは、もつとも普通の形で、ほぼ折線状に変化するもので、(a), (b), (c)型がこれに含まれる。

ハの型式のものは、一定反力のものであつて、(b)型がこれに相当する。

ニの型式のものは、イとハの型式の組合わされたも

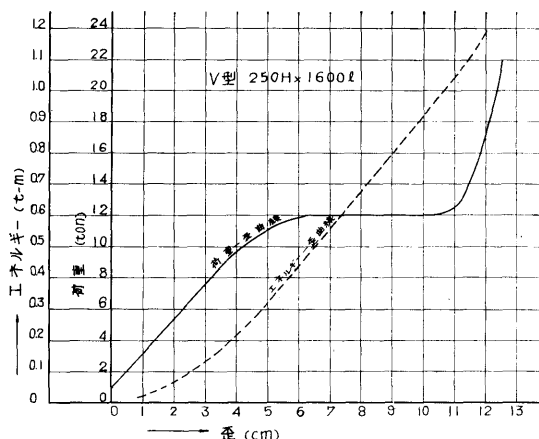


図 4.2 V型荷重歪特性曲線(b)

ので、(b)型のものがこれに属する。

これらの荷重特性は、一般に、

$$反力 F = K_0 + K_1 s_1 + K_2 s_2 + \dots$$

の形で表わすことができる。

イの型式のものは、 $K_0, K_2 s_2, \dots$  が零の場合で、

$$F = K s$$

ロの型式のものは、 $K_0 = 0$  で

$$F = K_1 s_1 + K_2 s_2 + \dots$$

ハの型式のものは、 $K_1 s_1 = 0$  のもので、

$$F = K_0$$

ニの型式のものは一般型で表わされる。

この研究の目的としては、この4型式と接岸力との関係を考究すればよいこととなる。

### 3. 接岸力の算定式

偏心接岸の場合の接岸力の研究によつて、横揺れ回転による影響は無視でき、鉛直軸のまわりの回転のみを考慮すればよいことが結論づけられている。ゆえに本章においては、横揺れ回転は無視する。

3)-1  $F = K s$  の場合

3)-2  $F = K_1 s_1 + K_2 s_2 + \dots$  の場合

この二つの場合の算定式は運研報告第11巻第10号に述べてある。

その基本式は、

$s$ : バネの変形長 (接点の変位)

$t$ : 時間

$r$ : 重心と接触点との水平距離

$\theta$ : 水平回転角

- $m$ : 船の質量
- $h$ : 船のきつ水
- $l$ : 船長
- $P$ : 船側に働く水圧強度
- $v_0$ : 船の接岸速度
- $v$ : 船の速度
- $K$ : 防衛工のバネ常数
- $I_z$ :  $z$  軸についての慣性モーメント
- $I_y$ :  $y$  軸についての慣性モーメント
- $\alpha$ : 水圧係数

$$= \frac{\rho_w h^2 l}{m \sqrt{gH}} \div \frac{h}{b} \sqrt{\frac{g}{H}} \div \frac{\sqrt{gh}}{b}$$

$b$ : 船幅

$\rho_w$ : 水の単位重量

を表わすものとすれば,

$$m\ddot{s} - \alpha(v_0 - \dot{s}) + Ks = 0 \dots\dots\dots(1)$$

である。

3)-3  $F=K_0$  の場合

反力が一定な場合であるから, 基本式は,

原式,  $m\ddot{s} - r\dot{\theta} + m\dot{s} + Ks - m\alpha v_0 = 0$

$$I_z \ddot{\theta} + rKs = 0$$

において,  $\beta = 1 + \frac{mr^2}{I_z}$ ,  $k_0 = \frac{K}{mv_0}$  として, 書きなおせば,

$$\dot{S} + \alpha \dot{S} + \beta k_0 S - \alpha = 0 \dots\dots\dots(2)$$

この式において,  $\beta k_0 - \alpha > 0$  の場合と  $\beta k_0 - \alpha < 0$  の場合とを考えるに, 現象は全然異つていることに気が付く。

3)-3. 1  $\beta k_0 - \alpha > 0$  の場合

(2)式に  $S=0, \dot{S}=1$  の初期条件を入れて解けば,

$$S = \left(1 - \frac{\beta k_0}{\alpha}\right)t + \frac{\beta k_0}{\alpha^2}(1 - e^{-\alpha t}) \dots\dots\dots(3)$$

$\dot{S}=0$ , すなわち最大変位  $S_0$  のときの  $t$  を  $t_0$  とすれば

$$\dot{S} = 1 - \frac{\beta k_0}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t}) \text{ から}$$

$$t_0 = -\frac{1}{\alpha} \log\left(1 - \frac{\alpha}{\beta k_0}\right) \dots\dots\dots(4)$$

$$S_0 = \frac{1}{\alpha} + \left(1 - \frac{\beta k_0}{\alpha}\right)t_0 \dots\dots\dots(5)$$

をうる。

3)-3. 2  $\beta k_0 - \alpha < 0$  の場合

(22)

$F$  は変位に関係なく一定であるから, 船の接岸力と防衛工の反力とは平衡をたもつて船は変位し, 停止するときは,  $\beta k_0 = \alpha$  となる状態であるから, 基本式は,

$$\ddot{S} - \beta k_0 + \beta k_0 \dot{S} + \beta k_0 = 0$$

$$\therefore \dot{S} + \beta k_0 \dot{S} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

となる。初期条件  $S=0, \dot{S}=1$  を入れて解けば

$$S = -\frac{1}{\beta k_0}(1 - e^{-\beta k_0 t}) \dots\dots\dots(7)$$

$$\dot{S} = e^{-\beta k_0 t} = 0 \text{ から}$$

$$t_0 = \infty, S_0 = \frac{1}{\beta k_0} \dots\dots\dots(8)$$

すなわち,

$$Ks_0 = mv_0^2 / \beta \dots\dots\dots(9)$$

$$s_0 = mv_0^2 / \beta K \dots\dots\dots(10)$$

となり, きつ水  $h$ , 水深  $H$  に関係なく  $s_0$  は定まる。便宜的仮想質量  $(\bar{m})$  は,

$$(\bar{m}) = 2m$$

の形となる。

3)-4  $F=K_0+Ks$  の場合

この場合は,  $I$  と  $H$  の組合わされた形で, 基本式は

$$m\ddot{s} - m\alpha(v_0 - v) + \beta K_0 + \beta Ks = 0$$

$mv_0$  で割つて

$$\dot{S} + \alpha \dot{S} + \beta k S + \beta k_0 - \alpha = 0 \dots\dots\dots(11)$$

初期条件,  $t=0$  において,  $S=0, \dot{S}=1$  を入れて解けば,

$$S = \frac{\alpha - \beta k_0}{\beta k} + e^{-\frac{\alpha}{2}t} \left( \frac{2\beta k + \alpha\beta k_0 - \alpha^2}{\beta k \sqrt{4\beta k - \alpha^2}} \sin \frac{\sqrt{4\beta k - \alpha^2}}{2} t - \frac{\alpha - \beta k_0}{\beta k} \cos \frac{\sqrt{4\beta k - \alpha^2}}{2} t \right) \dots\dots\dots(12)$$

よつて,  $\dot{S}=0$  のときの  $t_0$ , および  $S_0$  は,

$$t_0 = \frac{2}{\sqrt{4\beta k - \alpha^2}} \tan^{-1} \left( -\frac{\sqrt{4\beta k - \alpha^2}}{\alpha - 2\beta k_0} \right) \dots\dots\dots(13)$$

$$S_0 = \frac{\alpha - \beta k_0}{\beta k} + \frac{\sqrt{\beta k - \beta k_0(\alpha - \beta k_0)}}{\beta k} e^{-\frac{\alpha}{2}t_0} \dots\dots\dots(14)$$

で与えられる。

式(12)において,  $\alpha \geq k_0$  の場合と  $\alpha < k_0$  の場合とについて考察する。前者の場合は  $Ks$  の区間が大きく作用する。ゆえに同じ船の場合,  $v_0$  が大になる程  $k_0$  の影響は小になり,  $I$  の基本形に近くなることが推定される。

$n\alpha < k_0$  の場合においては, 水圧がバネ常数の初期

値  $K_0$  より小さいのであるから、変位は小さく、現象時間  $t_0$  も短い。従つて、水圧は大きく誘起され働くものと考えられる。すなわち  $n$  の値は2に近づく状態になる。

又  $K$  の値が  $K_0$  に比し大きい場合は、式(12)による基本の状態に近いが、 $K$  が小さく  $Ks$  が  $K_0$  に比し小さい時には、反力一定の場合の状態に近づくことは相対関係から容易にわかる。

### 3)-5 算定式

以上の考察によつて、各形態のバネ常数に対応する接岸力の算定式を表示すれば、表1のごとくである。

表 1

バネ常数の形態		算定式	符号	
$Ks$		1	$I$	
$K_0$	$\alpha < k_0$	3, 4, 5,	$\text{ハ}_1$	
	$\alpha > k_0$	7, 8,	$\text{ハ}_2$	
$K_0 + Ks$	$\alpha > k_0$	12, 13, 14,	$\text{ニ}_1$	
	$\alpha < k_0$	$ks > k_0$	12, 13, 14,	$\text{ニ}_2$
		$ks < k_0$	$\text{ハ}_1$ に準ずる	$\text{ニ}_3$

この表1において、 $\text{ハ}_1$ 、 $\text{ニ}_2$ 、 $\text{ニ}_3$ の場合は緩衝工が硬いことを意味するもので、防舷材としては不適當であることは明らかで、 $K_0$  が大きくなれば剛体に衝突する場合となり、防衝工としての働きがないのであるから、われわれの目的とする状態のものではない。又速度変化が大になり現象も異つてくるものと考えられる。

## 4. 実験設備

基本実験設備は、運輸技術研究所報告第11巻第10号(1961)で報告したもので、水槽の大きさは、内法で、10.0m×5.5m×0.8m のコンクリート造である。船の大きさは、長 200cm、幅 40cm、きつ水は約 15cm と 30cm である。牽引方法等は前報告書の通りである。ただ、衝撃用ループを初期値  $K_0$  を有する様にしたものと、一定反力のものとに改装した。

### 4)-1 一定反力装置

図6のごとく、重錘  $W$  と径 10mm の真鍮棒  $r$  との後尾をナイロン撚糸  $d$  をもつて連結し、滑車  $C_1$ 、 $C_2$  によつて、 $W$  の重量が  $a$  点に伝達される様にな

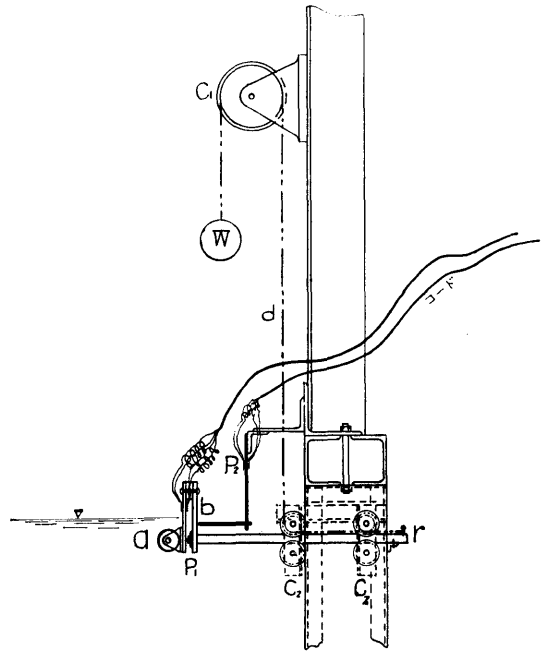


図 6 定反力装置機構図

つている。真鍮棒  $r$  は、衝撃点部分と4個の滑車  $C_2$  に支持された滑動部分との二つの部分からなり、この二つの部分は、 $P_1$  なる荷重計を介して接続している。すなわち、反力(接岸力)は荷重計によつて伝達される。この  $P_1$  荷重計は、間隔 1.4cm の2枚の鋼板(各々幅 4.0cm、3.5cm、厚さ 5mm、2mm、長さ 13.0cm) からなり、ストレインゲージを貼つたもので、この歪を電磁オシロにとり、荷重と歪の関係から、荷重(反力)の大きさを測定した。その特性は実験毎に検定した。

$a$  点の変位は、 $P_2$  で示した厚 0.75mm、幅 1.2cm、長 26.4cm のバネに、ストレインゲージを貼つたものを、接点  $b$  で  $P_1$  と接触させ、 $a$  点の変位にともなう  $b$  点の変位を電磁オシロにとり、測定した。

これらの装置は図6、7のごとく、棧橋の桁にボルトをもつて緊結固定した。

特性検定の結果は、荷重 1kg に対し、電磁オシロの記録の読みは 2.36cm、接点変位 1cm に対し 4.0cm であつた。

この装置によつて、衝撃点における反力と変位を同時測定し、把握することができる。なお、吊糸  $d$  の中間にも同様な計器を取付け、糸の張力と移動を測定し

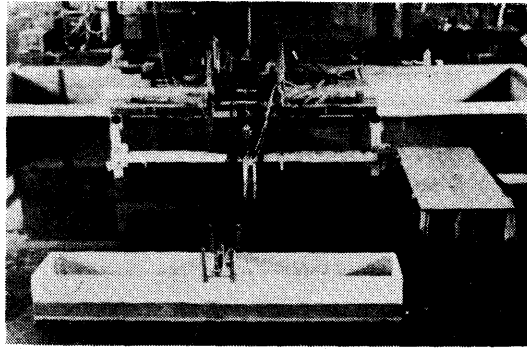
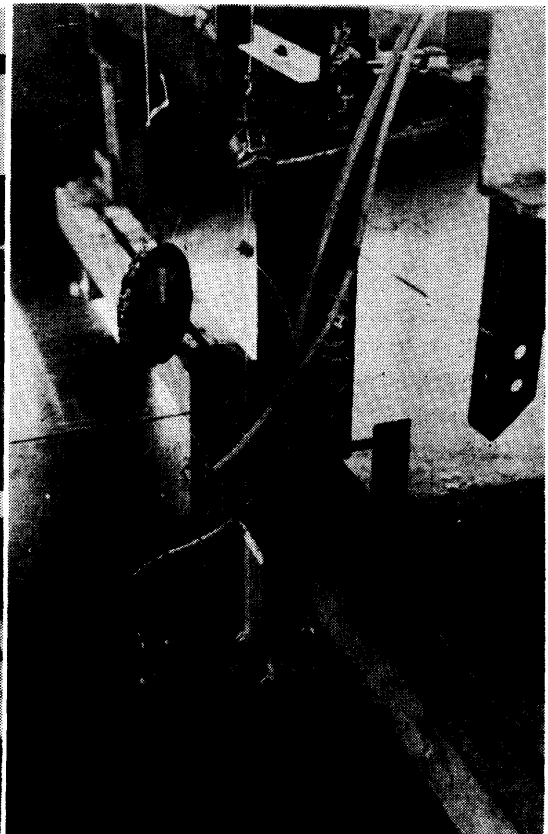


図 7. 1 全 景



図 7. 2 取 付 図



(b接点は撮影上離してある)

図 7. 3 詳 細

図 7 定 反 力 装 置

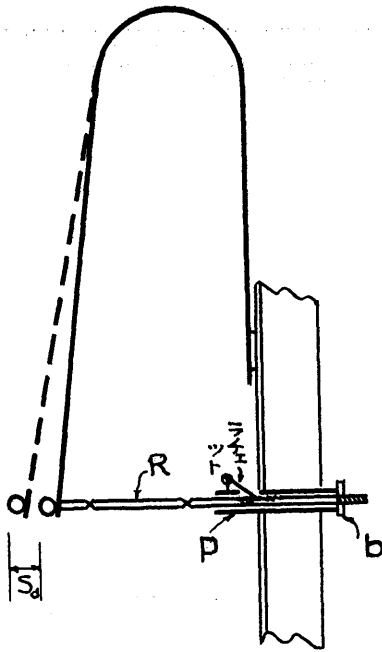


図 8  $K_0$  設定機構図

うる様にした。

4)-2 ( $K_0+Ks$ ) の形の反力装置

初期値を有する反力装置は、図8のごとく、既報の衝撃用ループに、所定の初期歪を与え、その歪形のまま復元せずに留まる様に、ラチェット用の真鍮棒 10 mmφ の R の後端にネジ切りして、これにナット b を鉋め、これが管 P の後端に接する様にした。この b の位置によつて、 $S_0$  は任意の大きさにすることができる。すなわち、 $K_0=KS_0$  は所定の値になしうるわけである。

5. 実験結果と理論値の比較

5-1 一定反力の場合 ( $F=K_0$ )

実験は、船長  $l=200$  cm, 幅 40 cm の箱型船を用いた。きつ水  $h=17.5$  cm, 質量  $m=142.3$  (gr.sec<sup>2</sup>/cm), 鉛直軸に対する慣性モーメント  $I_z=512,700$  (gr.cm.sec<sup>2</sup>), 水深 23.5cm である。

したがつて、

$$\alpha = \frac{h^2 l}{m \sqrt{gH}} = \frac{17.5^2 \times 200}{142.3 \sqrt{980 \left( \frac{23.5 - 17.5}{2} \right)}} = 3.0368 \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

である。

偏心接岸の場合には、 $\beta$  を考えればよいのであるか

ら、本実験においては、中央接岸のみを行なつた。

この実験においては、滑車の摩擦、吊糸の弾性変形等の影響を除くため、接点における反力 (= 接岸力) と変位および現象時間を直接測定している。ゆえに理論値の算出には、この測定された反力を算定式に入れて、変位と時間を求める。理論式は4の式(4), (5) (7), (8)を用いる。

以下理解し易いように、測定された変位  $S_0$ , 現象時間  $t_0$  と、理論式により求めた  $S_0$ ,  $t_0$  とを比較する。

5-1. 1  $\alpha < k_0$  の例

'63.4.17 実験番号 No.2 (図9)

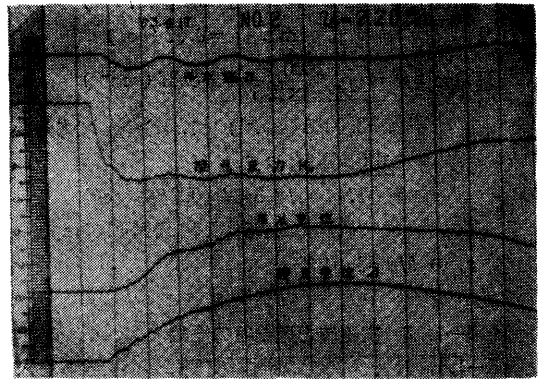


図 9

実測値:  $K_0=1000$  (gr),  $v_0=2.2$  (cm/sec)

$$s_0 = 2.35/4 = 0.59 \text{ (cm)}$$

$$t_0 = 0.8 \text{ (sec)}$$

理論値: この  $K_0$  を用い式(4), (5)による

$$k_0 = K_0/mv_0 = 1000/142.3 \times 2.2$$

$$= 3.1943 \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha/k_0 = 0.3037/3.1943$$

$$= 0.9507$$

$$\therefore t_0 = -\alpha^{-1} \log(1 - \alpha/k_0^2)$$

$$= 0.9913 \text{ (sec)}$$

$$S_0 = (1 - k/\alpha)t_0 + 1/\alpha$$

$$= 0.2779 \text{ (sec)}$$

$$\therefore s_0 = S_0 v_0 = 0.616 \text{ (cm)}$$

ここで実測値を  $b$ , 理論値を  $a$  として比較するに、

$$s_0 \text{ の } b/a = 0.96, t_0 \text{ の } b/a = 0.81$$

5-1. 2  $\alpha > k_0$  の例

'63.4.18 実験番号 No.4 (図10)

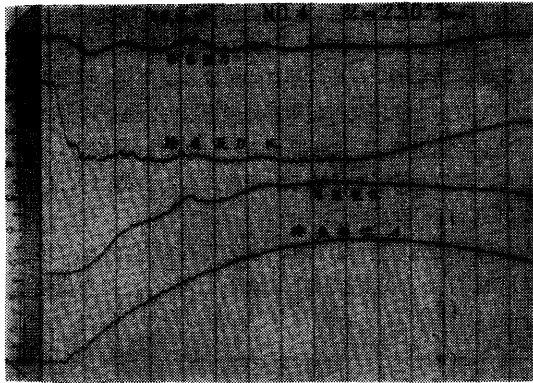


図 10

実測値 :  $K_0=1000$  (gr),  $v_0=2.5$  (cm/sec)  
 $s_0=0.91$  (cm),  $t_0=0.95$  (sec)

理論値 :  $k_0 = \frac{1000}{142.3 \times 2.5} = 2.8587$  (sec<sup>-1</sup>)

$\alpha = 3.0368$  (sec<sup>-1</sup>) で、 $\alpha > k_0$  であるから式(8)によつて、

$S_0 = 1/k_0 = 1/2.8587 = 0.3498$  (sec)

$s_0 = S_0 v_0 = 0.3498 \times 2.5 = 0.8745$  (cm)

$s_0$  の  $b/a = 1.04$

5—1. 3 実測値と理論値の比較

5—1.1, および2において, 実例について数値を入れて演算を行ない実験値と理論値の比較を示したが, このような比較値を表2に一括して示す。

表 2

実 験 号	U (%)	K (gr)	t. (sec)			s. (cm)		
			理論値 a	実験値 b	b/a	理論値 a	実験値 b	b/a
NO. 0	2.05	1000	0.71	0.68	0.96	0.48	0.41	0.86
NO. 1	2.50	1000	0.71*	0.80	1.13	0.88	0.80	0.91
NO. 2	2.20	1000	0.99	0.80	0.82	0.61	0.59	0.96
NO. 3	2.80	1000	0.82*	0.95	1.19	1.11	1.01	0.91
NO. 4	2.50	1000	0.71*	0.95	1.34	0.87	0.91	1.04
NO. 5	2.20	1695	0.27	0.27	1.00	0.25	0.24	0.96
NO. 1	2.25	1650	0.29	0.30	1.04	0.28	0.28	1.00
NO. 2	2.75	1650	0.41	0.40	0.98	0.45	0.42	0.93
NO. 3	2.70	1650	0.40	0.40	1.00	0.44	0.43	0.98
NO. 4	2.70	1650	0.40	0.40	1.00	0.44	0.43	0.98
NO. 5	2.80	1525	0.52	0.48	0.92	0.54	0.49	0.91
NO. 6	3.20	1568	0.70	0.68	0.97	0.75	0.70	0.93
NO. 7	3.00	1525	0.63	0.61	0.97	0.66	0.61	0.93
NO. 8	3.00	1525	0.63	0.50	0.79	0.66	0.49	0.74
NO. 9	3.50	1568	1.10	0.74	0.87	1.01	0.84	0.83
NO. 10	3.50	1716	0.82	0.70	0.85	0.70	0.75	1.07
NO. 11	3.50	1716	0.70	0.70	1.00	0.82	0.76	0.87
NO. 12	3.60	1737	0.74	0.70	0.95	0.87	0.94	1.08
NO. 13	3.50	1653	0.81	0.70	0.87	0.83	0.84	0.94
NO. 14	3.50	1653	0.81	0.60	0.74	0.89	0.78	0.88
NO. 0	3.50	1000	1.00	1.00	1.00	1.74	1.75	1.01

この表の平均  $b/a$  は 0.94 で, 理論値の妥当なことが判る。

(26)

図11から図17は, 実験の記録例で, 図中  $K$  は反力すなわち接岸力を示し,  $s$  は接点の変位を示す。

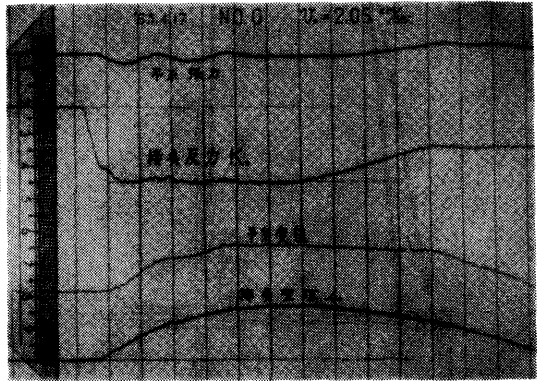


図 11

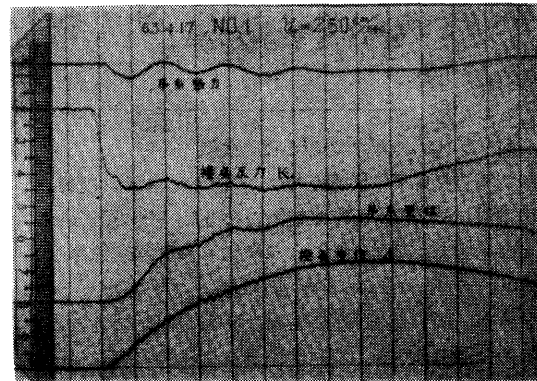


図 12

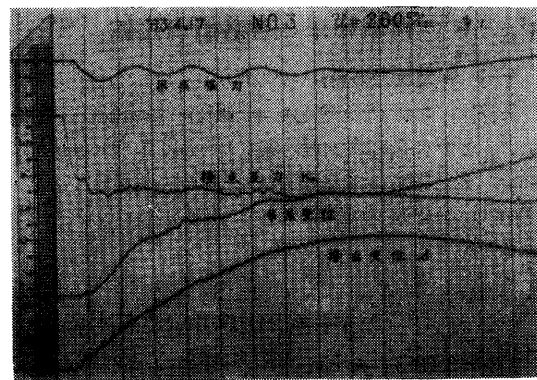


図 13



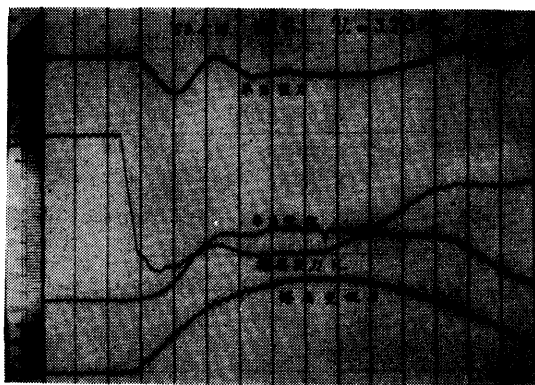


図 14

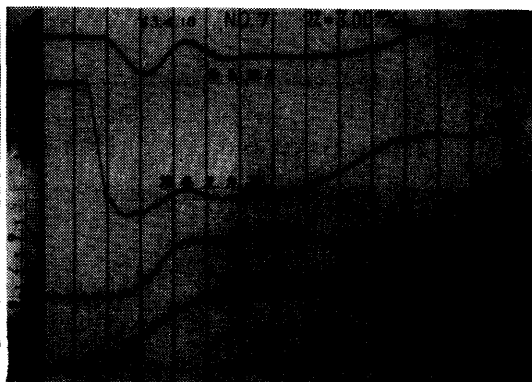


図 15

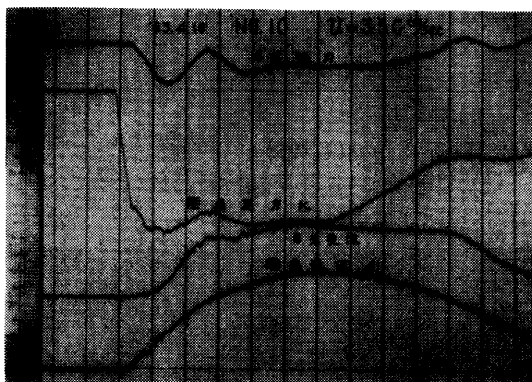


図 16

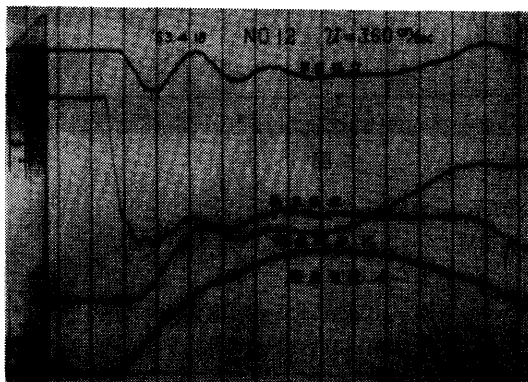


図 17

### 5-2 $F=K_0+Ks$ の型の場合

この実験において用いた船型は、船長  $l=200\text{cm}$ 、幅  $b=40\text{cm}$ 、きつ水  $h=17.43\text{cm}$  で、水深  $H=23.5\text{cm}$  である。

衝撃用ループのバネ常数は、 $K=1968\text{ gr/cm}$  である。

このループに、 $v_0=3\text{ cm/sec}$  で衝突させ、最大変位の形に衝撃用ループを保たせる。この状態のループに、 $v_0=2, 3, 4\text{ cm/sec}$  で衝突させた。

この実験においては、 $K_0=1427.8824\text{ gr}$  で、 $m=142.2959\text{ gr}\cdot\text{sec}^2/\text{cm}$ 、 $k=K/m=13.8303\text{ sec}^{-2}$ 、 $H=17.4313+(23.5-17.4313)0.5$  である。

したがって、

$$\alpha = h^2 l / m \sqrt{gH} = 3.0156 (\text{sec}^{-1})$$

$$k_0 = K_0 / m v_0 = 10.0346 / v_0$$

をうる。

まず、実験 No.1 ('63.7.4) の記録を図18に示す。これは初期値のない場合、すなわち  $K_0=0$  の状態で、

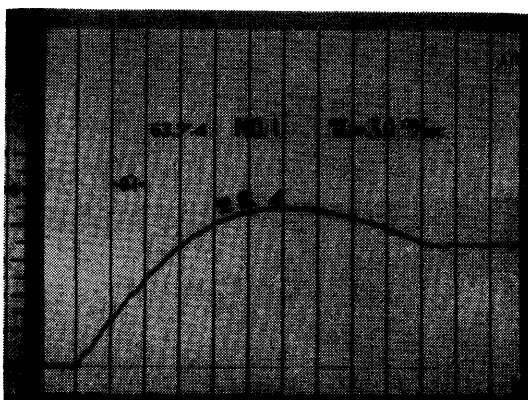


図 18

$v_0=3\text{ cm/sec}$  で衝突させた記録である。 $t_0=0.59\text{ sec}$ 、 $s_0=0.954\text{ cm}$  が読み取れる。これに対応する式(1)による計算値は、 $t_0=0.585\text{ sec}$ 、 $s_0=0.988\text{ cm}$  である。接岸力の実測値は、 $F=1877\text{ gr}$  であるが、ラチェットの状態によつて、 $K_0=1427.8824\text{ gr}$  で静止さ

せた。

### 5-2.1 $n\alpha \geq k_0$ の例

$n\alpha$  ( $n=1.5$ ) が  $k_0$  に等しいか、大きな場合は、3-4における考察によつて、 $n=1$  として計算する。

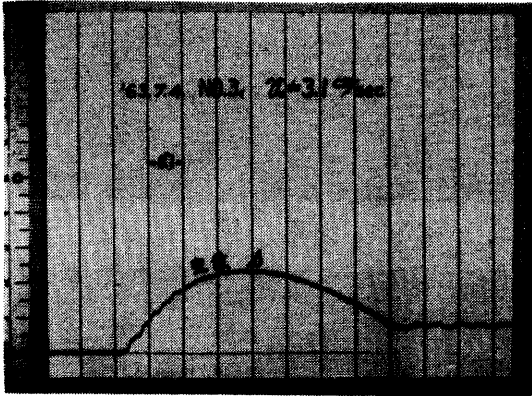


図 19

#### '63.7.4 実験No.3 (図19)

実測値:  $v_0=3.1$  (cm/sec),  $t_0=0.33$  (sec)

$$s_0=0.4747$$
 (cm)

$$k_0=10.0346/3.1=3.2370$$
 (sec<sup>-1</sup>)

理論値: 式(13), (14)によつて計算する。

$$t_0 = \frac{2}{\sqrt{4k_0 - \alpha^2}} \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{4k_0 - \alpha^2}}{2k_0 - \alpha} \right)$$

$$= 0.324$$
 (sec)

$$S_0 = \frac{\sqrt{k_0 + k_0(k_0 - \alpha)}}{k_0} e^{-\frac{\alpha}{2} t_0} - \frac{k_0 - \alpha}{k_0}$$

$$= 0.1532$$
 (sec)

$$\therefore s_0 = 0.1532 \times 3.1 = 0.4749$$
 (cm)

$$\therefore t_0 \text{ の } b/a = 1.02, s_0 \text{ の } b/a = 1.00$$

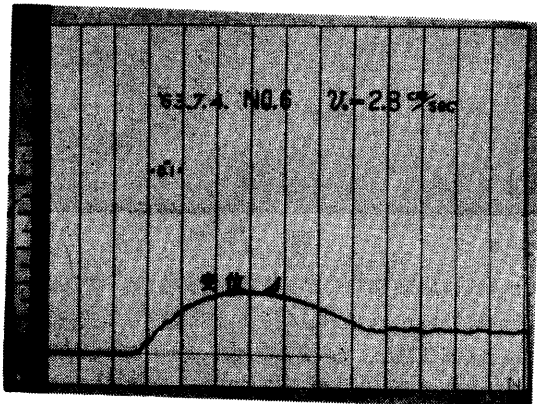


図 20

#### '63.7.4 実験 No.4

実測値:  $v_0=2.8$  (cm/sec),  $t_0=0.31$  (sec)

$$s_0=0.381$$
 (cm)

#### '63.7.4 実験 No.6 (図20)

実測値:  $v_0=2.8$  (cm/sec),  $t_0=0.30$  (sec)

$$s_0=0.381$$
 (cm)

以上二つの実験においては、 $v_0=2.8$  cm/sec であるから、理論値は式(17), (18)によつて

$$k_0=10.0346/2.8=3.5838$$
 (sec<sup>-1</sup>)

$$\alpha=3.0156$$
 (sec<sup>-1</sup>)

$$\therefore t_0=0.3008$$
 (sec)

$$\therefore S_0=0.1419$$
 (sec)

$$\therefore s_0=0.3979$$
 (cm)

比較値  $b/a$  は No.4 の  $t_0$  については、1.03,  $s_0$  については、0.96, No.6 においては、それぞれ 1.00, 0.96 である。

### 5-2.2 $n\alpha < k_0$ の例

この場合は、3-4 おいて述べたことによつて、 $n=1.5$  として計算する。

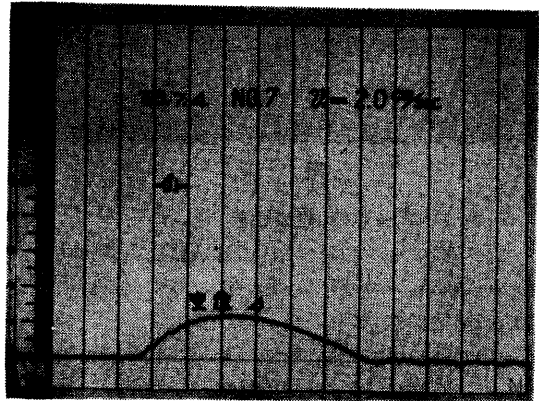


図 21

#### '63.7.4 実験 No.7 (図21)

実測値:  $v_0=2.0$  (cm/sec),  $t_0=0.28$  (sec)

$$s_0=0.244$$
 (cm)

理論値:  $k_0=10.0346/2.0=5.0173$  (sec<sup>-1</sup>)

$$n\alpha=1.5 \times 3.0156=4.5234$$
 (sec<sup>-1</sup>)

$$n\alpha < k_0$$

$$\sqrt{4k_0 - n\alpha^2} = 5.9042$$
 (sec<sup>-1</sup>)

$$k_0 - \alpha = 0.4939$$
 (sec<sup>-1</sup>)

$$2k_0 - \alpha = 5.5112$$
 (sec<sup>-1</sup>)

$$t_0 = \frac{2}{5.9042} \tan^{-1} \left( \frac{5.9042}{5.5112} \right)$$

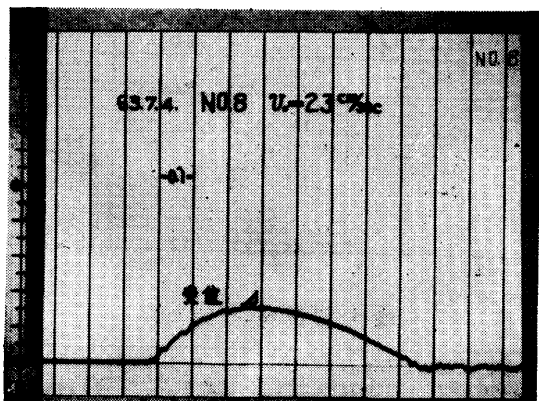


図 22

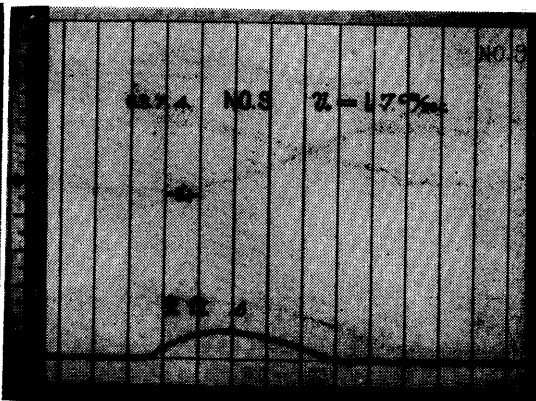


図 23

$$= 0.274 \text{ (sec)}$$

$$S_0 = \frac{\sqrt{13.8303 + 5.0173 \times 0.4939}}{13.8303} e^{-1.5078 \times 0.274} - \frac{0.4939}{13.8303}$$

$$= 0.1214 \text{ (sec)}$$

$$\therefore s_0 = 0.1214 \times 2.0 = 0.243 \text{ (cm)}$$

∴ 比較値  $b/a$  は,  $t_0$  については, 1.02,  $s_0$  については, 1.00 である。

図22は実験 No.8, 図23は実験 No.9の電磁オシログラフの記録で,  $v_0$  はそれぞれ 2.3, 1.7 cm/sec である。 $b/a$  は  $t_0$  については, 0.93, 1.00,  $s_0$  については, 0.98, 0.97 である。(表3)

表 3 理論値と実験値の比較表

年月日	実験番号	$\eta$	$n$	$na$ (sec)	$nv_0$ (sec)	$t_0$ (sec)	$a$ (cm)	$t_0$ (sec)	$a$ (cm)	実験値	理論値/実験値
63.4.2	NO.3	3.1	1.0	301.56	323.70	324	425	33	475	1.02	1.00
	NO.4	2.8	1.0	301.56	358.38	301	397	31	381	1.03	0.99
	NO.6	2.8	1.0	301.56	358.38	301	397	30	381	1.00	0.99
	NO.7	2.0	1.5	452.34	501.73	274	245	28	244	1.02	1.00
	NO.8	2.3	1.5	452.34	436.23	323	317	30	311	0.93	0.98
	NO.9	1.7	1.5	452.34	590.27	231	172	23	166	1.00	0.97
	NO.10	4.0	1.0	301.56	250.89	378	717	38	659	1.01	0.92
	NO.11	3.8	1.0	301.56	264.07	368	668	37	641	1.01	0.96
	NO.13	5.0	1.0	301.56	200.69	419	1,025	42	1,010	1.00	0.99

注:  $t_0$  の計算値は平均水深 13.5 式, 14 式による

5-2. 3  $na < k_0$  ( $K_s$  が  $K_0$  に比し小さい場合) の例

これは 5-2. 2 の特殊な場合で,

$$kS \ll K_c / mv_0$$

$$na^2 - 4k > 0$$

であるときには,  $K_s$  が  $K_0$  に比し小さいので, その影響は小さく, 反力一定とした場合に近似すると考えられることは既述の通りである。実験記録で判る通り, 水圧は衝突の次の瞬間に大になる。

この実体において用いた船型は, 船長  $l=200$  cm,

幅  $b=40$  cm, きつ水  $h=14.5$  cm, 水深  $H=15.5$  cm である。

衝撃用ループの荷重特性は,

$$K_0 + K_s = 901.6837 + 340s \text{ (gr)}$$

である。この  $K_0$  の値は,  $v_0=3$  cm/sec で, バネ常数 340 gr/cm の衝撃用ループに衝突した時の最大接岸力である。

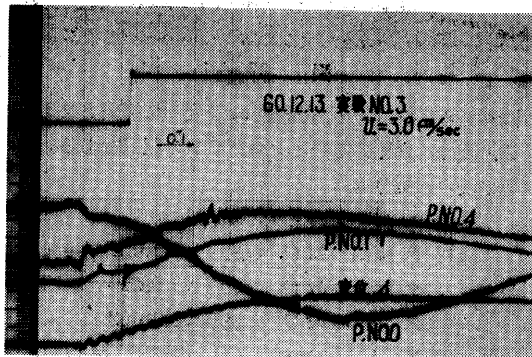


図 24

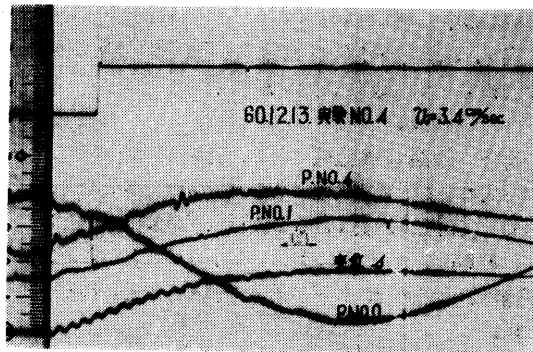


図 25

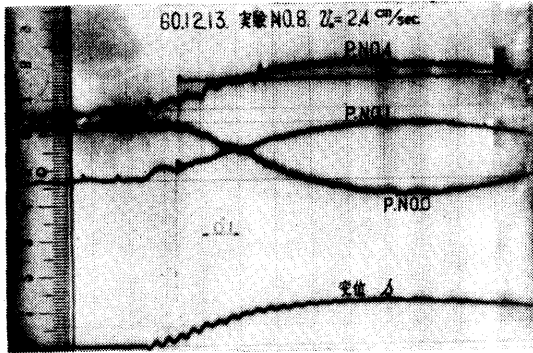


図 26

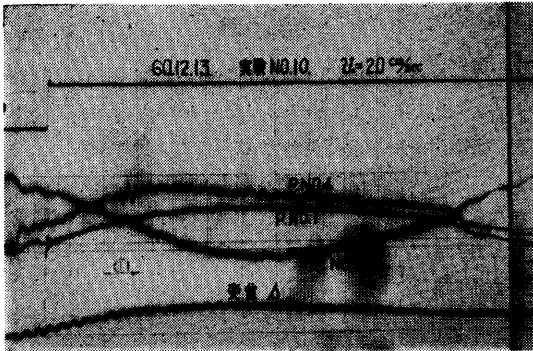


図 27

図24から図27は、接岸速度  $v_0$  を変えて衝突させた時の、変位、水圧の電磁オシログラフの記録である。

その読みの換算率は、

変位  $s = M.O.$  の読み  $\times 0.6211$

水圧  $P. No.1 = M.O.$  の読み  $\times 0.10152$

$P. No.4 = M.O.$  の読み  $\times 0.09259$

$P. No.0 = M.O.$  の読み  $\times 0.10152$

である。 $P. No.1$  は船の進行方向と反対の船側の中央、 $P. No.4$  は同じく端、 $P. No.0$  は船の進行方向の船側の中央の水圧を示す。

表4、5は、最初  $K_0$  を設定する時の接岸速度を  $v_{i0}$  で表わすとき、接岸速度  $v_0$  が

$$v_0 < v_{i0}$$

の場合の実験例の測定値である。表6、7は、(7)、(8)式による対照理論値である。表6および7の最後の欄の実測値は、表4、5の実測水圧の船側水圧として、 $P. No.1$  と  $P. No.4$  の差が小さいことから、負圧側においても端に負圧が働いていると考えられるゆえに、

$$\frac{P. No.1 + P. No.2}{2} + \frac{1.5 \times P. No.0}{2}$$

(30)

表 4 実験 No. 10 実験値

時間 (sec)	変位		P.No.1		P.No.4		P.No.0	
	$\Delta$ (cm)	$\Delta/U$ (sec)	水圧P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U (grsec/cm <sup>2</sup> )	水圧P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U (grsec/cm <sup>2</sup> )	水圧P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U (grsec/cm <sup>2</sup> )
0.1	0.1242	.0621	.0335	.0168	.0481	.0241	.0379	.0190
0.2	0.2484	.1242	.0629	.0315	.0944	.0472	.0741	.0371
0.3	0.3789	.1895	.0832	.0416	.1231	.0616	.1095	.0548
0.4	0.4534	.2267	.1107	.0554	.1463	.0732	.1509	.0755
0.5	0.4782	.2391	.1218	.0609	.1435	.0713	.1810	.0905
0.6	0.4969	.2485	.1249	.0625	.1324	.0667	.2069	.1035
0.7	0.4907	.2454	.1249	.0625	.1259	.0630	.2155	.1078
0.8	0.4658	.2329	.1198	.0599	.1185	.0593	.2112	.1056

60.12.13. A<sub>2</sub>型

$U = 2.0$  cm/sec

表 5 実験 No. 8 実験値

時間 (sec)	変位		P.No.1		P.No.4		P.No.0	
	$\Delta$ (cm)	$\Delta/U$ (sec)	水圧P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U (grsec/cm <sup>2</sup> )	水圧P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U (grsec/cm <sup>2</sup> )	水圧P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U (grsec/cm <sup>2</sup> )
0.1	.1677	.0699	.0305	.0127	.0528	.0220	.0379	.0158
0.2	.4099	.1708	.0650	.0271	.0889	.0370	.0733	.0305
0.3	.5776	.2407	.0914	.0381	.1176	.0490	.1121	.0467
0.4	.6708	.2795	.1239	.0516	.1370	.0571	.1491	.0621
0.5	.7391	.3080	.1421	.0592	.1463	.0610	.1767	.0736
0.6	.7515	.3131	.1563	.0651	.1500	.0625	.1983	.0826
0.7	.7577	.3157	.1614	.0673	.1444	.0602	.2043	.0851
0.8	.7267	.3028	.1574	.0656	.1389	.0579	.2052	.0855
0.9	.6956	.2808	.1421	.0592	.1367	.0587	.1983	.0736

60.12.13. A<sub>2</sub>型

$U = 2.4$  cm/sec

表 6 実験 No. 10 計算値

時間 $t$ (sec)	$kt$	$V = e^{-kt}$	$S$ (sec)	$P/U$ (grsec/cm <sup>2</sup> )	$2P/U$	同右 実測値
0.1	.3809	.6832	.0832	.0246	.0492	.0326
0.2	.7618	.4608	.1400	.0415	.0830	.0672
0.3	1.1426	.3190	.1788	.0529	.1058	.0927
0.4	1.5235	.2180	.2053	.0608	.1216	.1209
0.5	1.9044	.1489	.2234	.0662	.1324	.1340
0.6	2.2853	.1017	.2358	.0698	.1396	.1422
0.7	2.6662	.0695	.2443	.0723	.1446	.1436
0.8	3.0470	.0475	.2500	.0740	.1480	.1389
0.9	3.4279	.0325	.2540	.0752	.1504	
1.0	3.8088	.0222	.2566	.0760	.1520	
2.0	6.6176	.0013	.2625	.0777	.1555	
$\infty$	$\infty$	0	.2625	.0777	.1555	

60.12.13 A<sub>2</sub>型  $U = 2.0$  cm/sec

表 7 実験 No. 8 計算値

時間 $t$ (sec)	$kt$	$V = e^{-kt}$	$S$ (sec)	$P/U$ (grsec/cm <sup>2</sup> )	$2P/U$	同右 実測値
0.1	.3174	.7280	.0857	.0176	.0352	.0287
0.2	.6348	.5301	.1481	.0304	.0608	.0599
0.3	.9522	.3859	.1935	.0398	.0796	.0796
0.4	1.2696	.2809	.2266	.0466	.0932	.1009
0.5	1.5870	.2045	.2507	.0515	.1030	.1153
0.6	1.9044	.1489	.2682	.0551	.1102	.1258
0.7	2.2218	.1084	.2809	.0578	.1156	.1276
0.8	2.5392	.0789	.2902	.0597	.1194	.1259
0.9	2.8566	.0575	.2970	.0610	.1220	.1132
1.0	3.1740	.0418	.3019	.0620	.1240	
2.0	5.3480	.0017	.3146	.0647	.1294	
$\infty$	$\infty$	0	.3151	.0648	.1296	

60.12.13 A<sub>2</sub>型  $U = 2.4$  cm/sec

表 8 実験 No. 4 計算値

時間 (sec)	変位		PNQ1		PNQ4		PNQ0	
	Δ (cm)	Δ/U <sub>0</sub> (sec)	水圧 P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U <sub>0</sub> (gr·sec/cm <sup>2</sup> )	水圧 P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U <sub>0</sub> (gr·sec/cm <sup>2</sup> )	水圧 P (gr/cm <sup>2</sup> )	P/U <sub>0</sub> (gr·sec/cm <sup>2</sup> )
0.1	2.174	.0639	.0244	.0072	.0491	.0144	.0871	.0256
0.2	.4720	.1388	.0569	.0167	.0852	.0251	.1336	.0393
0.3	.6394	.2028	.0954	.0273	.1343	.0395	.1862	.0548
0.4	.8633	.2539	.1208	.0355	.1508	.0444	.2405	.0707
0.5	.9689	.2850	.1431	.0409	.1620	.0476	.2888	.0849
0.6	1.0683	.3142	.1604	.0472	.1648	.0485	.3198	.0941
0.7	1.1118	.3270	.1736	.0511	.1574	.0463	.3431	.1009
0.8	1.1118	.3270	.1787	.0526	.1574	.0463	.3586	.1055
0.9	1.1056	.3252	.1746	.0514	.1518	.0446	.3526	.1037

60.12.13 A<sub>0</sub>型 U<sub>0</sub>=3.4 cm/sec

表 9 実験 No. 4 計算値

時間 (sec)	変位 S (sec)	速度 V (U/U <sub>0</sub> )	水圧 2P/U <sub>0</sub> (gr·sec/cm <sup>2</sup> )
0.1	.0894	.7932	.0243
0.2	.1596	.6259	.0440
0.3	.2159	.4721	.0621
0.4	.2549	.3505	.0764
0.5	.2848	.2507	.0882
0.6	.3057	.1697	.0977
0.7	.3193	.1047	.1053
0.8	.3271	.0535	.1113
0.9	.3303	.0013	.1174

60.12.13. A<sub>0</sub>型 U<sub>0</sub>=3.4 cm/sec T<sub>0</sub>=0.942 (sec)

$$S = \frac{\alpha - \lambda_0}{\lambda} + e^{\gamma t} \left\{ \frac{\alpha - (\lambda_0 + 2\gamma)\lambda}{\lambda_0 \phi} \sin \phi t - \frac{\alpha - \lambda_0}{\lambda} \cos \phi t \right\}$$

$$V = e^{\gamma t} \left\{ \cos \phi t - \frac{\lambda_0 + \gamma}{\phi} \sin \phi t \right\}$$

$$t = \frac{1}{\phi} \tan^{-1} \frac{\phi}{\lambda_0 + \gamma}$$

による計算値 ただし,

$$\lambda_0 = \frac{K_0}{mU_0} = \frac{9016837}{118367 \times 3.4} = 22405 (\text{sec}); \lambda = \frac{K}{m} = 28724 (\text{sec}^2)$$

$$\alpha = \frac{\rho_0 L}{m \nu g H} = -2\varphi = 28824 (\text{sec}^2)$$

$$\phi = \frac{\sqrt{\lambda_0 - \alpha}}{2} = 08918 (\text{sec}^2)$$

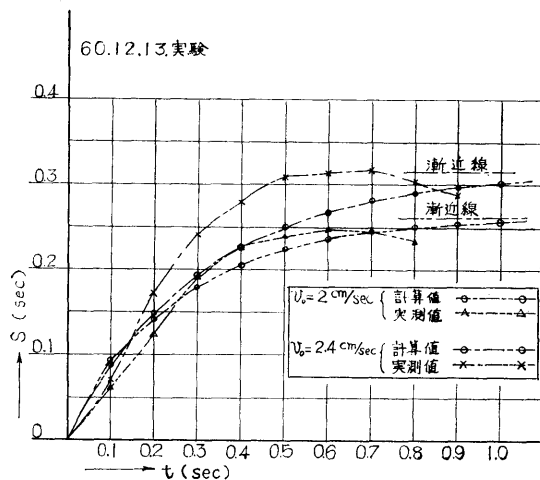


図 28 変位と時間の関係

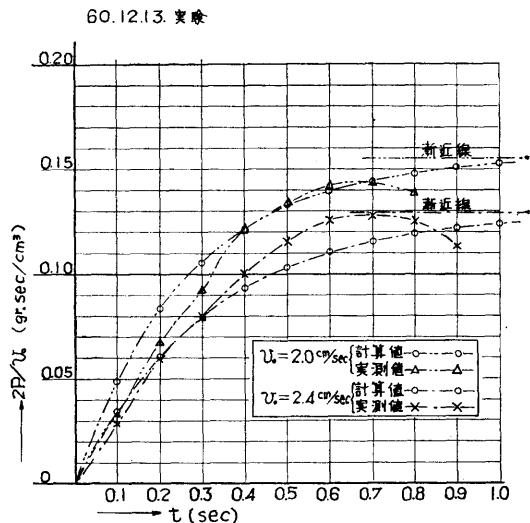


図 29 水圧と時間の関係

の値を掲げたものである。

この実験値と計算値を比較図示したものが、変位  $s$  については、図28、水圧については図29である。

これらの図および表によつて、 $v_0 < v_{i0}$  の場合には、 $n\alpha$  の  $n$  は、ほぼ  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1.3$  に変化し、変位  $s$  の時間的変化も正弦曲線でないが、大体反力一定とした計算値に近似することが知られる。

次に  $v_0 > v_{i0}$  の実験例の記録は表 8 に、対照理論値を表 9 に示す。図30はその値を比較図示したもので、 $n=1$  であり、基本形の式によつて接岸力を求めることを知る。

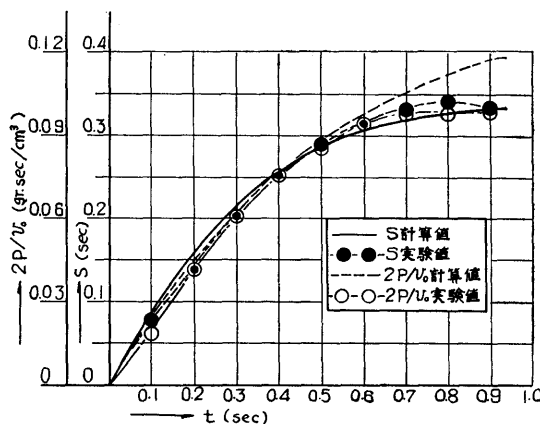


図 30 実験 No.4 実験値と計算値の比較

5-2. 4 実験値と理論値の比較

5 において、実験の数例について、演算を示し、理論値と実験値との比較をした。この様にして出した比

較値の中、一般の場合に属する5-2. 1, 2. 2に関するものを表3に一括して掲げた。

5-2.3の特殊な例については、前述のごとく表6, 7に示した。

表3の実測値と理論値の比  $b/a$  の平均値は、 $t_0$  については1.00, 変位  $s_0$  については、0.98で、考察とよく合致している。

すなわち、初期値  $K_0$  のある場合において、 $K_0 \geq (1 \sim 1.5)\alpha$  の場合は、水圧は大きく働き  $n=1.5$ ,  $K_0 \leq \alpha$  の場合には  $n=1$  としてよいことがわかる。

水圧は5-2.3の例の様な  $K_0$  の大きな場合には  $v_0$  の小さい割合に大きい。

本章の実験研究によつて、良好な緩衝作用をする防衛工としては、初期値  $K_0$  がなく、衝撃的水圧を誘起しない荷重特性を有するものが適当であることが理解される。

## 6. 結 論

以上一連の実験研究の結果、平常時における船舶の接岸力は、緩衝工のパネ常数の形状と水圧係数  $na$  の関係から、次のごとき各場合に区分し、求められることが判つた。

その各場合の条件と算定式を示せば、

- 1) 緩衝工の反力が変位に比例する場合

$$\text{接岸力, } F = Ks$$

この場合  $n=1$  で

$$t_0 = \frac{2}{\sqrt{4\beta k - \alpha^2}} \tan^{-1} \left( -\frac{\sqrt{4\beta k - \alpha^2}}{\alpha} \right)$$

$$S_0 = \frac{\alpha}{\beta k} + \frac{e^{-\frac{\alpha}{2} t_0}}{\sqrt{\beta k}}$$

- 2) 反力が一定の場合

$$F = \text{const}$$

この場合は、 $\alpha > k_0$  と  $\alpha < k_0$  の二つに別れ、前者は

$$t_0 = -\frac{1}{\alpha} \log \left( 1 - \frac{\alpha}{\beta k_0} \right)$$

$$S_0 = \left( 1 - \frac{\beta k_0}{\alpha} \right) t_0 + \frac{1}{\alpha}$$

後者の場合は

$$S_0 = \frac{1}{\beta k_0}$$

$$K_0 s_0 = mv_0^2 / \beta$$

で、 $(\bar{m}) = 2m$  の型となる。(ただし、この場合は、舷側に水圧を作用させる水の流速が減衰して、船が停止することを前提とする)

- 3) 初期値  $K_0$  のある場合

$$F = K_0 + Ks$$

この場合も  $\beta k_0 < na$ , と  $\beta k_0 > na$  の二つの場合があり、前者においては、 $n=1$  で

$$t_0 = \frac{2}{\sqrt{\beta k - \alpha^2}} \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{4\beta k - \alpha^2}}{2\beta k_0 - \alpha} \right)$$

$$S_0 = \frac{\sqrt{\beta k + \beta k_0(\beta k_0 - \alpha)}}{\beta k} e^{-\frac{\alpha}{2} t_0} - \frac{\beta k_0 - \alpha}{\beta k}$$

後者の場合は  $n=1.5$  で、前式の  $\alpha$  の代りに  $na$  を入れる。

また、この特殊な場合として、 $K_0$  が大きく  $K$  の影響の小さい場合は2)の場合に準ずる。

緩衝工において初項  $K_0$  の大きなものは、 $v_0$  の割合に大きな衝撃的水圧を誘起するので好ましくない。

以上のごとく、接岸力はパネ常数と相関関係があるから、船舶や繋船施設の損傷防止の目的をもつ防衛工の計画にあつては、上記各種の場合を考慮し、船種、貨物、接岸場所等環境に適応した荷重特性を有するものとする必要がある。

本研究の結果、防衛工の荷重特性、接岸速度、ならびに接岸力の関係を容易に求めることができる。したがつて接岸施設の性状がわかれば安全接岸速度が決定できるわけで、船舶の接岸操船、繋船施設の経済的設計にも資する点がある。