

# 岩国港における10万吨船舶用ドルフィン接岸実験

若 桑 訥\*

## The Experiment of the Berthing Force on the Dolphin for Supertanker of 100,000 tons at Iwakuni Harbor By Totsu Wakakuwa

In May of 1963, the crude unloading pier for 100,000 tons tanker of Kowa Oil Co. Ltd. was completed by Taisei construction Co. Ltd.

On the 17th, May, 1963, the 89,200tons tanker, J. ED. WARREN, was berthed for the first time.

This paper describes the results of the experiment of the berthing forces on the new dolphins under the impacts of the ship.

In the result of this experment, the dolphins behaved as anticipated and the reliability of the theory in the preceding paper and the construction of these dolphins were shown.

### 目 次

- まえがき
- 1 概 説
- 2 工事概要
- 3 杭水平荷重試験
  - 3-1 試験の目的
  - 3-2 試験位置
  - 3-3 試験 杭
  - 3-4 調査項目および測定方法
    - 3-4. 1 測定設備
    - 3-4. 2 杭バネ常数の解析式
    - 3-4. 3 実験値による  $\beta$  の値
- 4 ドルフィンのバネ常数の算定
  - 4-1 鋼杭のバネ常数の算定
  - 4-2 ゴム防舷材のバネ常数  $K_f$
  - 4-3 ドルフィン構造全体のバネ常数
- 5 J. ED. WARREN 号接岸実験
  - 5-1 ワレン号接岸時の要素
  - 5-2 接岸状態
  - 5-3 接岸時のドルフィンの変位, ゴム防舷材の変形および接岸力
    - 5-3. 1 理論値
    - 5-3. 2 計測設備
      - a) 接岸速度計について
      - b) 接岸位置および変位の測定方法

- 5-3. 3 実測値
  - 5-3. 3. 1 接岸速度
  - 5-3. 3. 2 実測値
- 6 実測値と理論値との比較
- 7 結 言

### ま え が き

この報告は、山口県岩国港に建設された興亜石油株式会社麻里布製油所原油棧橋における10万吨級タンカー用ドルフィンに竣功後、初めて10万吨級タンカーが接岸した時の実船実験の報告である。

この実験の目的は、運輸省船舶技術研究所関連施設部、興和石油株式会社、大成建設株式会社が各々の研究と実験の成果をあわせ、共同して、船の安全接岸と構造物の作用が所期の通りであることを確かめ、設計および施工の確実性を明らかにすることであつた。

測定の結果、現象時間、ドルフィンの変位、ゴム防舷材の圧縮歪量等の実測値と理論値との差は、最大5%で良好な結果をえた。

本報告は、その結果の報告である。

### 1. 概 説

ドルフィン、棧橋等軽構造物の接岸施設に対する船舶の接岸力を把握して、船の安全繫留と構造物の安全と工費低廉な設計をはかるのは、接岸力の研究の目的である。

接岸力は、直接舷側に作用するもので、舷側構造

\* 関連施設部

は、これに耐えなければならず、繫船構造物の安全のみを考えて、その剛度を大きくすれば、接岸力は増大し、船を損傷する状態に近づくものである。ゆえに、われわれはドルフィンや防舷材の作用を、できる限り検討し、接岸力を確実に把握しなければならない。

この点がドルフィンにおいて、他の構造物と異なる点で、設計の正確さを必要とし、施工の確実さを要求される困難なところである。

ドルフィンとゴム防舷材との合成されたバネ常数の状態において、接岸力を測定することは、接岸速度の測定の困難なこと、変位測定に適する計器の整備難、に加え、海上という場所の制限を受ける等、種々の支障があるため実測例は少ない。

この度竣工した岩国港の興亜石油 K.K. 麻里布製油所の10万屯級タンカー用ドルフィンは鋼杭式ドルフィンであつて、ゴム防舷材が取付けられている。これにタンカー J.ED. WARREN, 69,000トンが接岸するに際して、接岸状態の計測をすることができたのは、研究の成果を実証することができると共に、その目的に

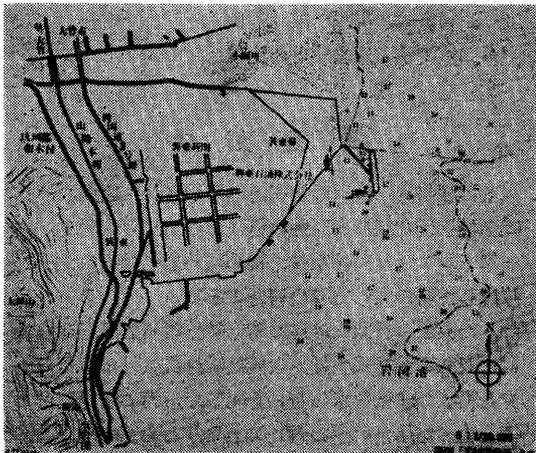


図1 一般平面図

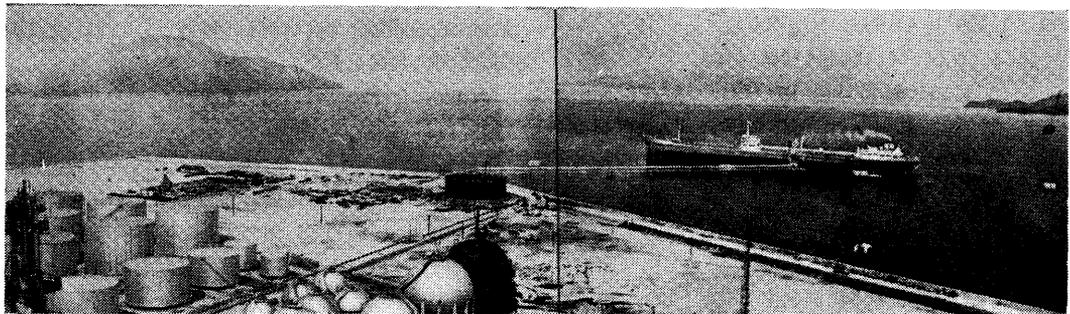


図2 原油荷役施設全景

達する絶好な機会であつた。

このドルフィンにおいては、軟弱地盤を置換砂および捨石によつて改良し、杭の横抵抗を増強した。杭の横抵抗は、現場測定され、これに基づいて、ドルフィンの横方向のバネ常数は計算された。ゴム防舷材のバネ常数もあらかじめ検定された。

接岸速度は5kc音響式運研型接岸速度計によつて計測した。

実測結果は、理論式によく合致し、設計の確実さ、施工の良好さを示した。

## 2. 工事の概要

本設備の位置は、岩国港北端にあたり、護岸線から約180m沖、水深16mの箇所に建設されている。この設備は33,000~100,000トン級タンカーの原油積卸し荷役を目的とするドルフィン棧橋であつて、昭和37年7月7日着工、昭和38年5月20日竣工した。

(図1, 2, 3, 4)

主要工事は次の通りである。

鋼杭式ドルフィン	2基
原油荷役棧橋(10×16m)	1基
海上ボラード(セル式)	2基
15tブイ	2基
連絡棧橋(ワレントラス)	279.95m

棧橋およびボラードの天端は、満潮面上2mで、+5.7mである。

このうち、本実験に関係するドルフィンについて述べる。

ドルフィン設置位置の地質は図5のように-29.0mにおいて、シルト質砂層に達し、標準貫入試験打撃数 $N=3\sim 8$ となり、-32.0m以下ではシルト混り砂礫層となり、 $N>40$ となる。

このドルフィンは、船舶の接岸エネルギーを鋼管杭

図3 ドルフィン詳細

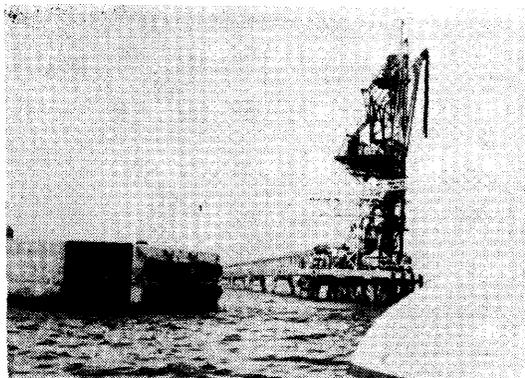


図 3-1 原油荷役機およびドルフィン

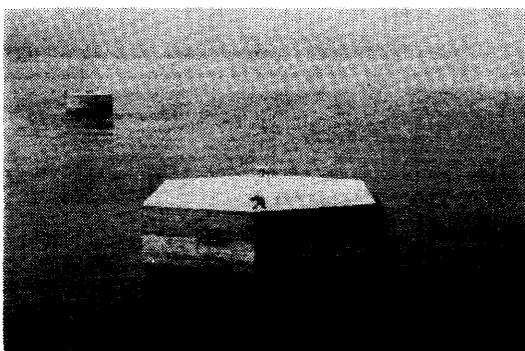


図 3-2 ドルフィン

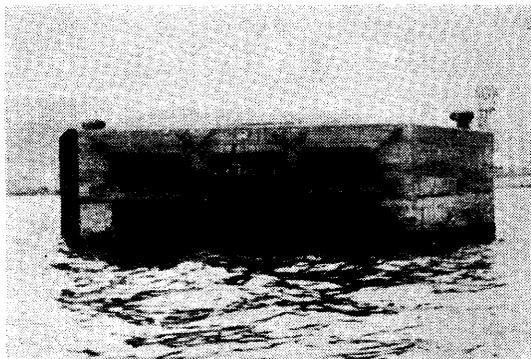


図 3-3 ドルフィン正面

の撓みとゴム防舷材の変形とによって吸収する柔構造である。この型体は、船舶の安全と施工の容易さから決定された。

鋼管杭は直柱で、外径 100cm、長さ 39.2m、高張力鋼 (NK-HITEN 50<SM~50 B) を使用し、配置は図6のように10本を使用、杭先端は -34.0m に達せしめ、頭部は鉄骨コンクリートによって剛結してい

図4 ワレン号繫留状況

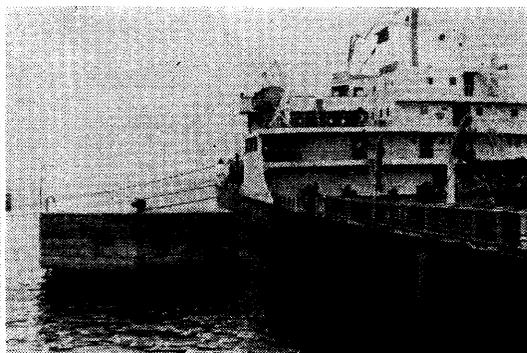


図 4-1 北側ドルフィン

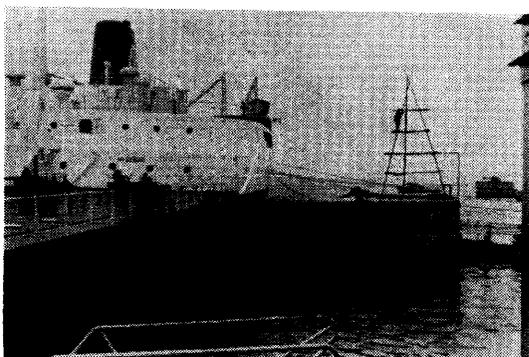


図 4-2 南側ドルフィン

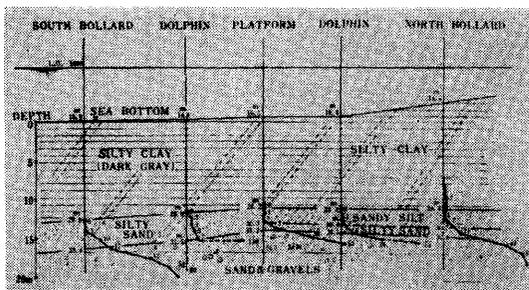


図 5 地層断面図 (標準貫入値) タテ: 1/400

る。

管厚は、彎曲モーメントに対応させるため、4区間に分けて変化させてある。その各区間の長さとは、各々下部から、12m, 19mm; 9.7m, 22mm; 中部 8.5m, 19mm; 上部 9.0m, 22mm となっている。

地盤は、杭1本当り30トンの頭部水平力に耐えるように、-22.0m まで、浚渫し、鋼管杭を打込み、2.5~15mmφの荒目砂を-18.0m まで投入埋戻し、その

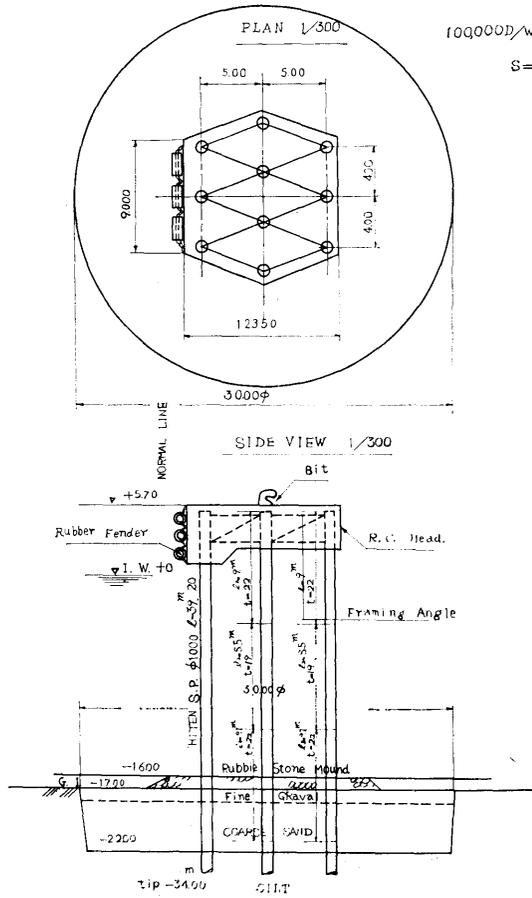


図 6 ドルフィン構造図

上に礫を厚 1m におき、上部に 40~70kg の捨石を、天端高 -16.0m まで捨込み、地盤改良を行なっている。その効果は、水平荷重試験を行ない確かめた。地盤改良後において、 $N=6\sim 12$  となっている。

ゴム防舷材は、中空円型外径 750mm、内径 440mm、長さ 1.7m のもの 1 組 9 本を図 6 のように 3 行 3 列、横 80cm、縦 50cm 間隔に 1½"φ のチェーンによつて、ドルフィン前面の鉛直面に取付けてある。

このゴム防舷材最上段の天端は、ドルフィン天端より下 60cm で、+5.10m である。

ドルフィン頭部には、100 トン繫船曲柱（鋳鋼製）2 基を備え、背面には猿梯子が設けてある。鋼管杭の防蝕工としては、ザップコートに -1m 以上に塗り、電気防蝕工を施し、さらに腐蝕代約 2.0mm を見込んである。

### 3. 杭水平荷重試験

#### 3-1 試験の目的

この試験は、鋼管杭の水平抵抗力が設計計算上の期待値通りあるか否かを確認したものである。

#### 3-2 試験位置

試験は、南北両ドルフィンの位置で行なつた。この位置は、小瀬川河口よりわずかに離れるにすぎないが、河口堆積の砂層は全くみられず、既述の如き地盤であるため、地盤改良を行なつた。設計上の期待値は  $N \geq 5$  であつたが、施工後の試験では  $N=6\sim 12$  を示し予定の値を満足している。

試験位置および地質柱状図等を図 7~10 に示した。

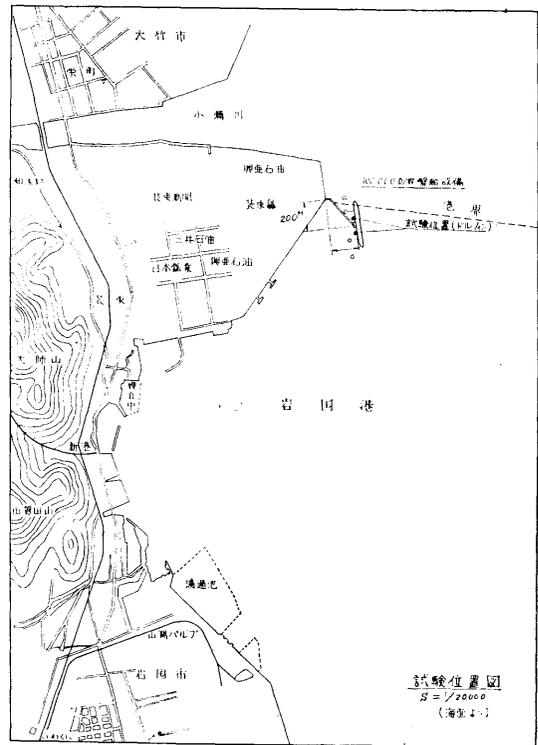


図 7 試験位置図  $S=1/20,000$  (海面より)

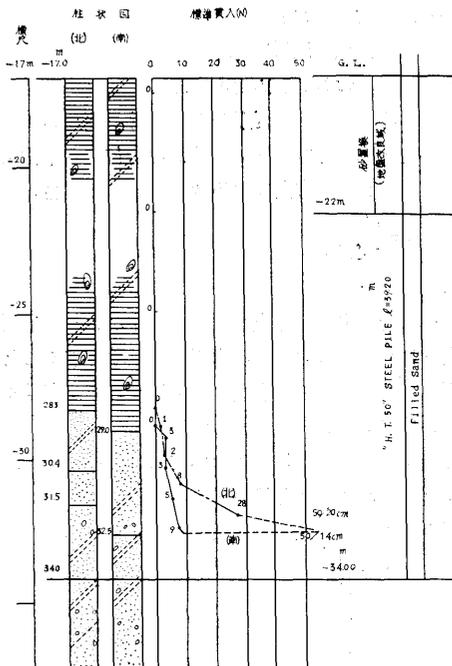


図 8 施工前土質柱状図 (中央開発)

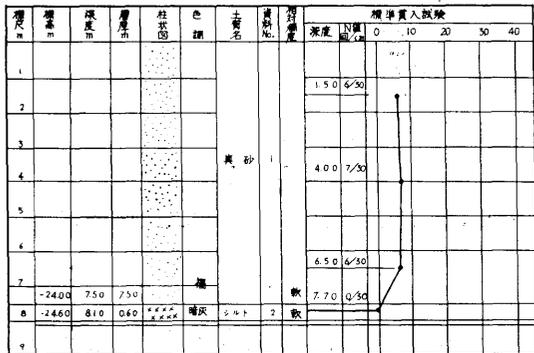


図 9 北側ドルフィン地盤改良後の土質柱状図 (水利工業K.K.)

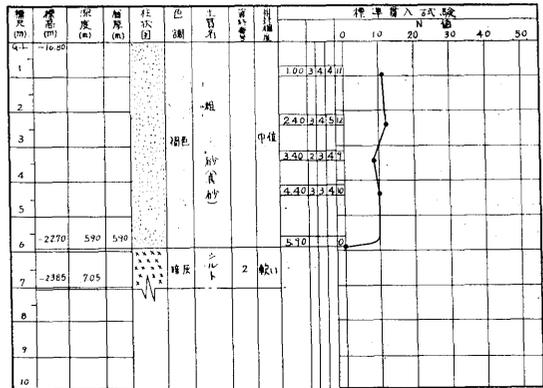


図 10 南側ドルフィン地盤改良後の土質柱状図 (水利工業K.K.)

3-3 試験杭

ドルフィン用鋼管杭径 1,000mm, 管厚19~22mm, 長 39.2m の実物につき, 2カ所のドルフィン位置において, 設計通り置換砂のみの場合と押え捨石を施工した場合について, 単杭の水平荷重試験を行なった。

鋼杭の材質は NK-HITEN 50 (JIS G-3106溶接用圧延鋼材第2種 SM-50-B 相当) である。(図6)

継手は全溶接構造で, 陸上において, 全長の1本物に加工したものをデーゼル・ハンマー石川島 I.D.H-40 で打込んだ。

極限支持力は Hiley の公式によつて,

$$R=600\sim700 \text{ トンを示した。}$$

3-4 調査項目および測定方法

水平荷重試験の結果を用い, Y.L. Chang の近似法によつて, 地盤の横方向反力係数  $E_s$  をもとめ, ドルフィンのバネ常数を算出する資料とする。ゆえに, 測定項目は, 現場測定可能の範囲において多いのがよいのであるが, 次の4項目とした。

- (a) 杭頭における水平反力
- (b) 杭頭部の変位
- (c) 杭頭撓角
- (d) 水中地盤面の杭の変位

ただし本報文においては(a)(b)の結果のみ示す。

測定設備

50 t センターホール・ジャツキ	1台
30 t ジャーナル・ジャツキ	1台 (盛換用)
(200 t センターホール・ジャツキ 1台)	
200% スケール (1/2% 読み)	2本
20% ダイアルゲージ (1/100%)	6ヶ
玉屋製 1' 読傾斜計	1台
ピストン式変位計 (マノメーター)	2台
水中定規	2基

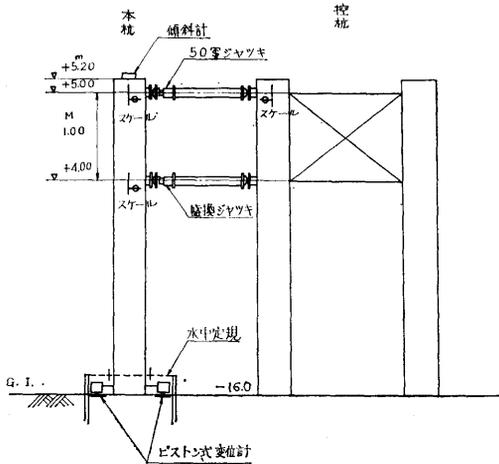


図 11

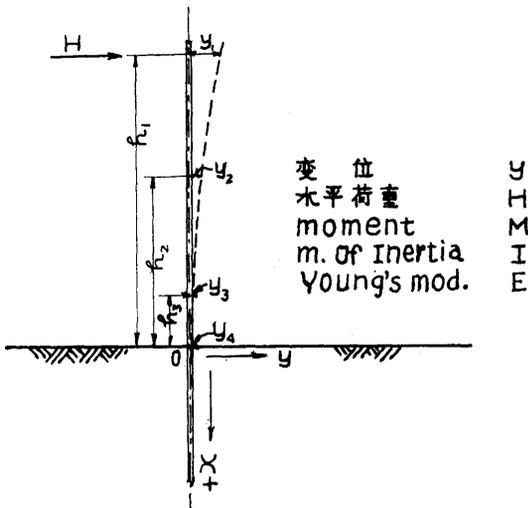


図 12

3-4. 1 測定設備

計器および設備を図11に示す。

3-4. 2 杭バネ常数の解析式

図6に示したごとく、鋼管杭の断面は変化している。この杭の弾性曲線を求め、杭頭の変位と水平荷重から、Changの横方向反力係数  $E_s$  とした場合の

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{E_s}{4EI_3}}$$

を求める。

この構造物の場合、完成した状態、すなわち、上端が固定された状態において、水平荷重試験をすることは、困難である。ゆえに上端は自由端として、実験をし、その結果を用いて、 $\beta$ を算出する。

この $\beta$ を完成された状態においても等しいとして、ドルフィンバネ常数を算出する。

撓み曲線の方程式は、(図12)

$$EI_i \frac{d^4 y_i}{dx^4} = 0 \dots\dots\dots -h_i \leq x < 0$$

$$EI_e \frac{d^4 y_e}{dx^4} = -E_s y_e \dots\dots\dots 0 < x < \infty$$

ゆえに図6に示した断面の変化する区間毎に、

$$y_1 = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \dots\dots\dots (1)$$

$$y_2 = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 \dots\dots\dots (2)$$

$$y_3 = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 \dots\dots\dots (3)$$

$$y_4 = e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \dots\dots\dots (4)$$

の方程式をうる。

これに境界条件

$$EI_i y_i''' = H$$

$$EI_i y_i'' = M$$

$$x = -h_i \text{ において } y_{i-1} = y_i$$

$$y_{i-1}' = y_i'$$

を入れて、頭部の変位と  $H$  の関係式を求めれば、

$$y_1 = \frac{H}{E} \left\{ \frac{(1 + \beta h_1)}{2I_3 \beta^3} + h_2^2 \left( \frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{3} \right) \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) + h_3^2 \left( \frac{h_1}{2} - \frac{h_3}{3} \right) \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_3} \right) \right\} + \frac{H}{E} \left\{ -\frac{(1 + 2\beta h_1)}{2\beta^2 I_3} + h_2 \left( h_1 - \frac{h_2}{2} \right) \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) + h_3 \left( h_1 - \frac{h_3}{2} \right) \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_3} \right) \right\} x + \frac{h_1 H}{2EI_1} x^2 + \frac{H}{6EI_1} x^3$$

3-4.3 実験値による  $\beta$  の値

各区間の長さは、図6および図11により、

$$\begin{aligned} h_1 &= 21.0\text{m} & I_1 &= I_3 = 8.09 \times 10^{-3} \text{ (m}^4\text{)} \\ h_2 &= 12.2\text{m} & I_2 &= 7.05 \times 10^{-3} \text{ (m}^4\text{)} \\ h_3 &= 3.7\text{m} & E &= 2.1 \times 10^7 \text{ (ton/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

また水平荷重  $H$  と杭頭変位の実測値は表1, 2の通りで、この数値を用いて、算出された  $\beta$  の値は最後の列に示してある。

表 1

試験年月日	ドルフィン実験番号	水平荷重 $H$ (t)	杭頭変位 $y_1$ (cm)	$\beta \times 10^3$ (cm <sup>-1</sup> )
'63.2.16 栗石施工	北側 - 5	12	41.8	2.11
		14	46.2	2.35
		18	57.3	2.53
		19	60.2	2.56
	北側 - 6	10	32.5	2.42
		14	48.0	2.18
	18	60.9	2.23	
平均				2.34

表 2

試験年月日	ドルフィン実験番号	水平荷重 $H$ (t)	杭頭変位 $y_1$ (cm)	$\beta \times 10^3$ (cm <sup>-1</sup> )
'63.2.10 栗石施工	南側 - 4	10.0	32.6	2.41
		14.0	48.3	2.15
		16.2	50.1	2.69
	南側 - 5	10.0	35.3	2.06
		12.0	38.4	2.51
		14.3	47.1	2.36
16.5		48.8	3.00	
	18.0	59.0	2.38	
	20.0	70.8	2.05	
平均				2.40

以上実験の結果  $\beta$  の値は、北側ドルフィンにおいては、 $2.34 \times 10^{-3}$  (cm<sup>-1</sup>)、南側ドルフィンにおいては、 $2.40 \times 10^{-3}$  (cm<sup>-1</sup>) となる。

以下  $\beta$  の値には  $2.34 \times 10^{-3}$  (cm<sup>-1</sup>) を用いる。

4. ドルフィンのバネ常数の算定

3の実験によつて求められた  $\beta$  の値を用いて、完成時のドルフィンのバネ常数を求めらる。

4-1 鋼杭のバネ常数の算定

前同様に撓み曲線方程式から、(図6)

$$\begin{aligned} y_1 &= a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \\ y_2 &= b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 \\ y_3 &= c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 \\ y_4 &= e^{-\beta x}(C \cos \beta x + D \sin \beta x) \end{aligned}$$

がえられる。これに対する境界条件は次の通りである。

$$EI_i y'''' = H$$

$$x = -h_1 \text{ で } \dot{y}_i = 0 \text{ (上端固定)}$$

断面変位の箇所において

$$\begin{aligned} y_{i-1} &= y_i \\ \dot{y}_{i-1} &= \dot{y}_i \\ EI_{i-1} \ddot{y}_{i-1} &= EI_i \ddot{y}_i \end{aligned}$$

よつて、次の解をえる。

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{H}{4EI_3\beta^2} (2 + \beta R) + \frac{HR}{4E} \left\{ h_2^2 \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) \right. \\ &+ h_3^2 \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_3} \right) \left. \right\} - \frac{H}{3E} \left\{ h_2^3 \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) \right. \\ &+ h_3^3 \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_3} \right) \left. \right\} + \frac{h_1 H}{2EI_1} (R - h_1)x \\ &+ \frac{HR}{4EI_1} x^2 + \frac{H}{6EI_1} x^3 \end{aligned}$$

ここに

$$R = \frac{\left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) h_2^2 + \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_3} \right) h_3^2 - \frac{h_1^2}{I_1} + \frac{1}{I_3\beta^2}}{\left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) h_2 + \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_3} \right) h_3 - \frac{h_1}{I_1} - \frac{1}{I_3\beta}}$$

この式に  $h_1 = 18.2$  m

$$h_2 = 12.2$$
 m

$$h_3 = 3.7$$
 m

$$I_1 = I_3 = 8.09 \times 10^{-3} \text{ (m}^4\text{)}$$

$$I_2 = 7.05 \times 10^{-3} \text{ (m}^4\text{)}$$

$$\beta = 0.234 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

$$E = 2.1 \times 10^7 \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

$$x = -h_1$$

を代入すれば

$$y_1 = 5.695 \times 10^{-3} H \text{ (m)}$$

$$(-h_1)$$

ゆえに杭のバネ常数  $K_p$  は

$$K_p = \frac{H}{y} = 175.59 \text{ (t/m)}$$

ドルフィンのバネ常数  $K_d$  は、この10本分で

$$K_d = 1756 \text{ (t/m)}$$

となる。(図13)

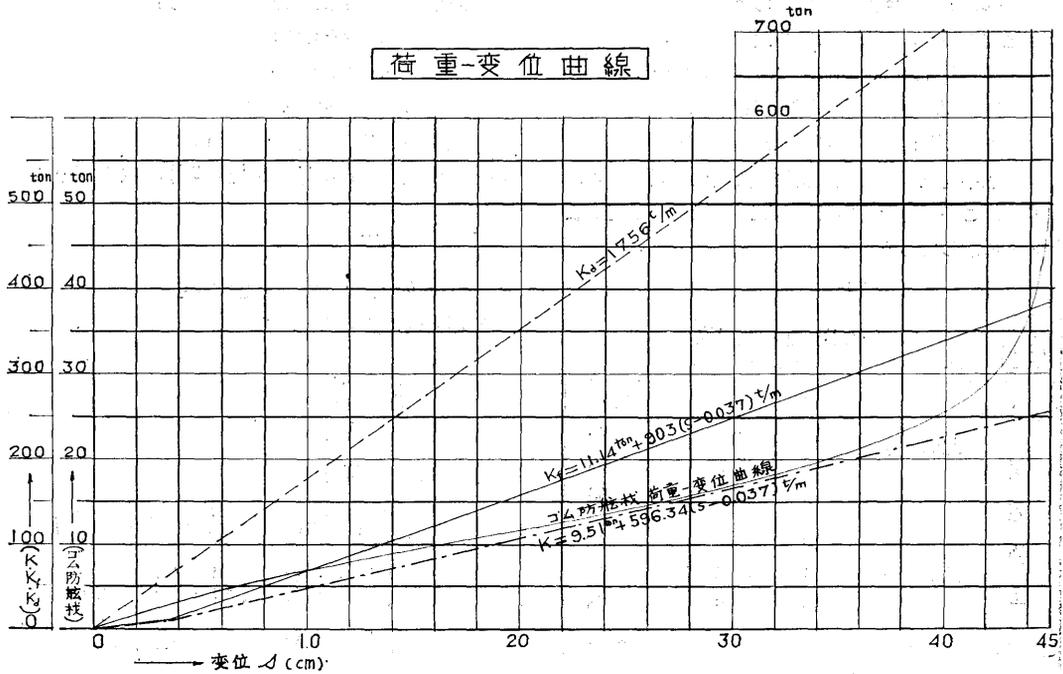


図 13

4-2 ゴム防舷材のパネ常数  $K_f$

ゴム防舷材の長 1 m, 1 本についての特性曲線は図 13のごとく,

$$K_f = \frac{23.5}{0.4} = 59 \text{ t/m/m}$$

である。ドルフィン 1 基について、使用されている防舷材は、長 1.7 m のもの 9 本であるから、

$$K_f = 59 \times 1.7 \times 9 = 903 \text{ (t/m)}$$

3 本分は

$$K_{f3} = 301 \text{ (t/m)}$$

である。(図13)

4-3 ドルフィン構造全体のパネ常数  $K$

前述 4-1, 2 によつて

$$K = \frac{K_d \times K_f}{K_d + K_f} = \frac{1756 \times 903}{1756 + 903} = 596.34 \text{ (t/m)}$$

防舷材 3 本のときの合成パネ常数  $K_3$  は

同様にして、

$$K_3 = 256.95 \text{ (t/m)}$$

$K_3$  は実船ワレン号の舷側に貼り付けられた厚 3.7 cm の防舷鋼板の作用する部分に用いられる。舷側が全部防舷材に接するときには、 $256.95 \times 0.037 = 9.51$  (ton) が働いていることとなる。しかし全体の計算に

(40)

おいては、この値は小さいので無視し、変位初期値として、 $3.7 - 1.6 = 2.1$  cm を加えるものとする。(図13)

5. J. ED. WARREN 号接岸実験

5-1 ワレン号接岸時の要素

きつ水線船長  $l = 246.0 \text{ m}$

きつ水  $h = 13.14 \text{ m}$

船幅  $b = 35.50 \text{ m}$

排水量  $W = 89,200 \text{ ton}$

質量  $m = \frac{89200}{9.8} = 9,102 \left( \frac{\text{t} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}} \right)$

バース水深  $H = 16.0 \text{ m}$

潮位  $+1.40 \text{ m}$

∴ 接岸時の水深は、 $16.0 + 1.40 = 17.40 \text{ m}$

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

ここに  $H = \frac{17.40 - 13.14}{2} + 13.14 = 15.27 \text{ m}$

$$\therefore \alpha = \frac{13.14^2 \times 246.0}{9102 \sqrt{9.8 \times 15.27}} = 0.3815 \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

鉛直軸について、船のモーメント  $I_x$  は概算

$$I_z \doteq m \frac{l^2 + b^2}{12} \doteq 9102 \frac{240^2 + 35.5^2}{12} \\ = 44,645,500 \text{ (t.m.sec}^2\text{)}$$

5-2 接岸状態

接岸は昭和38年5月17日であつたが、この日は竣工最初の接岸に幸せな天候であつた。曇りではあるが、昨夜来の雨は止み、海面静穏、風は東の微風で、計算上は無視してよく、接岸力測定には絶好の状態であつた。

船は艀を北に向けて、初め南側ドルフィンにあたり、次いで、北側ドルフィンにあたり、繋船された。(図17の記録参照)

偏心距離(船の中央と接岸点との水平距離)を  $r$  であらわし、

$$\beta = 1 + \frac{mr^2}{I_z}$$

とし、接岸状態を表3に示す。

表 3  $\beta k = \beta \frac{K}{m}$

接 触 点	接 岸 速 度 $v_0$ (cm/sec)	$r$ (m)	$\beta$
南 側	7.12	56.0	1.64
北 側	2.07	42.0	1.36

南側  $\beta k = \frac{596.34 \times 1.64}{9102} = 0.1074 \text{ (sec}^{-2}\text{)}$

北側  $\beta k = \frac{596.34 \times 1.36}{9102} = 0.0891 \text{ (sec}^{-2}\text{)}$

表3の  $V_0$  の値は、図17により、また  $r$  は接岸時

直接舷側にチョークをもつて印をつけ、接岸作業終了後において、測つたものである。

5-3 接岸時のドルフィンの変位、ゴム防舷材の変形、および接岸力

本章においては、標題の諸量の理論値および現場計測設備で測つた値とを比較してみる。

5-3.1 理論値

4および3の資料により、現象時間  $t_0$ 、ドルフィンの最大変位  $s_{d0}$ 、防舷材の最大圧縮歪  $s_{f0}$ 、ドルフィン全体としての接岸点の変位  $s_0$ 、および接岸力  $F$  を筆者の式(運研技術報告第11巻第10号)によつて算出する。

すなわち、

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

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

$$s_0 = S_0 v_0$$

$$s_{f0} = s_0 K_d / (K_d + K_f)$$

$$s_{d0} = s_0 K_f / (K_d + K_f)$$

$v_0$  は実測による接岸速度、南、北ドルフィン各7.12 cm/sec, 2.07 cm/sec を用いた計算値を表4に掲げる。

5-3.2 計測設備

船の接岸時の観測においては、船の長さ、幅、きつ水、排水量、ドルフィンのバネ常数、潮位、潮流、風速等は別に調査できるが、接岸速度、接岸位置、ゴム

表 4 理 論 値

符 号	南側ドルフィン	北側ドルフィン	備 考
$m$ : 船の質量	9.102 (ton.sec <sup>2</sup> /m)		
$I_z$ : 船の慣性モーメント	44.6 × 10 <sup>6</sup> (t.m.sec <sup>2</sup> )		鉛直軸に対する
$\alpha$ : 水圧係数	0.3929 (sec <sup>-1</sup> )		$h^2/lm \sqrt{gH}$ ( $\rho_w = 1.03$ )
$\beta$ : 偏心係数	1.64	1.36	$1 + mr^2/2$
$K_f$ : ゴム防舷材バネ常数	903 (t/m)		
$K_d$ : ドルフィンのバネ常数	1756 (t/m)		
$K$ : 合成されたバネ常数	596.34 (t/m)		$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{1}{K_d}$
$\beta k$ :	0.1074 (sec <sup>-2</sup> )	0.0891 (sec <sup>-2</sup> )	$\beta K/m$
$s_0$ : ドルフィン頭部全変位	32.29 (cm)	12.18 (cm)	$s_{f0} + s_{d0}$
$s_{f0}$ : ゴム防舷材の圧縮歪	21.32 (cm)	8.04 (cm)	
$s_{d0}$ : ドルフィン頭部変位	10.96 (cm)	4.14 (cm)	
$t_0$ : 現象時間	8.44 (sec)	10.19 (sec)	
$F$ : 接岸力	185.44 (ton)	65.51 (ton)	( $s_0 K - 7.12$ ) ton

防舷材の圧縮歪，ドルフィンの変位等は，船の接岸の瞬時に測定しなければならない。

この接岸速度，接岸位置，ドルフィンの変位の測定法を以下に述べる。

(a) 接岸速度計について

船舶の接岸速度は，接岸力の重要な因子であつて，測定困難なものである。トランシット，ポール，音響測深器等を利用して行なわれているが，満足な結果はえがたい。

本計測においては，操船に影響を与えずに接岸速度を測定することのできる運研型接岸速度計を用いた。

(図14, 15)

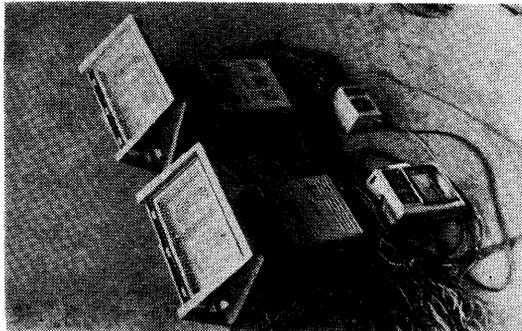


図 14 接岸速度計

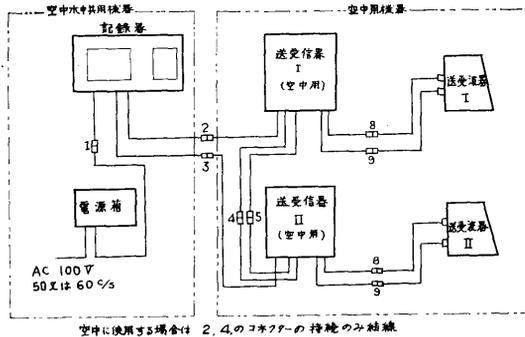


図 15 接岸速度計組合せ図

この接岸速度計の要目は表5のとおりであつて，周波数 5 kc の音響を用いている。発射された音波が舷側において反射され，受波器に到達する時間を縦に記録させると同時に，その記録紙の横方向の送り速度を一定にして時間を併記させる。このようにして，記録紙に現られる傾斜角度によつて，速岸速度，縦の読みによつて変位，また横の読みによつて現象の継続時間と周期を知ることができるのである。

(42)

表 5 接岸速度計要目

1	記録方式	直線記録			
2	記録紙	乾式記録紙			
3	記録範囲	紙送り速度，発振回数			
		電源周波数 レンジ切換	60%の場合	50%の場合	
	項目	浅	深	浅	深
	記録範囲 (m)	10.6	21.2	12.7	25.5
	紙送り速度 (mm/分)	40	20	33.3	16.7
	発振回数 (回/分)	20	10	16.7	8.3
	発振回数 (回/分)	180	90	150	75
4	送受信周波数	5 KC			
5	指向性	↓5°			
6	発信方式	真空管によるパルス変調連続波 発振方式			
7	受信増幅方式	ストレート増幅			
8	紙巻取り方式	自動巻取式，着脱可能			
9	機器構成				
		名稱	数量	名稱	数量
		記録器	1台*	電源箱	1台*
		送受信器	2・	補用品箱	1・
		送受信器	2・	付属品	1・*
		注：*印機器は水中用使用機と兼用			
10	電源	AC 100V 60% x は 50% 約 250 VA			

しかし，この記録器も改良途上にあるもので現状では，微小なところは，補足の測定を用いなければならないものである。

本測定においては，

紙送り速度は 4 cm/min

距離は現場における検定によつて

$$s = \frac{y \times 10^2}{1.11}$$

ここに s は実距離，y は記録器の読みとなつている。

送受信器は 2 個あつて，南北両ドルフィン上に，操綱に支障ないよう，ゴム防舷材前面から後方 6m に設置した。方向はバース法線に直角に向けた。

送受信器および記録器は，中央の荷役機橋上に設置した。この記録器はステレオ式で船の艙部，艀部の 2 点の速度が同時に記録することができる。送受信器と送受信器は，機橋とドルフィンとに掛渡されたワイヤーに吊られたコードによつて連絡され，操作された。

(b) 接岸位置および変位の測定方法

船の接岸位置は，船が接岸した時に，ドルフィンの中央線に合せて，舷側に白墨で印を付け繫船完了後に測定した。

変位の測定は，ドルフィン本体の変位とゴム防舷材の圧縮歪（径の水平方向の変化）とを別々に測定した。

先づ、ドルフィンの変位の測定には、ドルフィン上に、箱尺を、バース法線と直角に横置し、中央荷役棧橋上に据えたトランシットによつて、その箱尺の移動に従つて目盛をよみ、記録する方法によつて測定した。

次にゴム防舷材の圧縮長の測定には、鋼製のコンパス、箱尺、および接岸速度計によつた。(図16)

コンパスは長さ約 1m の簡易なもので、緩くボルト締めしてあつて変位した形で止まるようになってゐる。取付個数はドルフィン1基につき4個で、ドルフィンの前面、ゴム防舷材の両側上下に取付けた。これは最大圧縮歪量を知るためである。

箱尺はドルフィン天端中央部にバース法線に直角におき舷側に押されて、縮む長さを1秒毎に印すことによつて、変位と時間が判るようにした。

これらの方法によれば、最大変位量を知ることはできるであろうが、時間変化に追従するには、個人誤差が大きく参考程度に止まる。

そこで、本測定においては、前記接岸速度の記録と照合して判断した。

しかして、その結果は、最大値も現象時間も、大体合致をみた。

次章にその結果を示す。

### 5-5-3 実測値

実測記録は、表6, 7, 図17に示す。

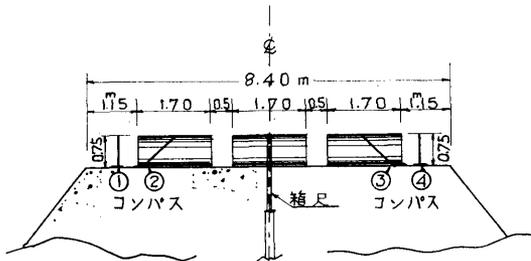


図 16 観測設備取付平面図

南側ドルフィンにおいて、ゴム変位は、コンパスによるもの平均 19.5cm, 箱尺によるもの 22.5cm, 記録器によるもの 22.5cm である。

また、トランシットによるドルフィンの変位は、11 cm である。舷側が防舷材に接触してから、静止する迄の現象時間  $t_0$  は、箱尺の印によるものは6秒、トランシットによるものは7.7秒である。接岸速度計の記録によれば、8.25秒である。又箱尺による第2回目

表 6 変位実測値  
ゴム防舷材歪量測定値 (南側)

コンパスによるもの				箱尺によるもの		
コンパス号	L	L <sub>0</sub>	歪量	時間	歪量	速度
1	74.5 <sup>cm</sup>	60.0 <sup>cm</sup>	14.5 <sup>cm</sup>	0 sec	0 cm	0 <sup>cm/sec</sup>
2	74.5	60.0	14.5	1.5	9.5	6.34
3	74.0	50.0	24.0	3.0	16.5	4.67
4	74.0	49.0	25.0	4.5	21.0	3.00
			平均	6.0	22.5	1.00

(註) L: 接触前の読み  
L<sub>0</sub>: 接触後の読み

ドルフィン撓み量(頭部変位)測定値 (南側)

トランシットによるもの		
時間	撓み量	速度
1 sec	5.0 <sup>cm</sup>	5.0 <sup>cm/sec</sup>
2	7.0	2.0
3		1.5
4	10.0	1.5
5		3.3
6		3.3
7	11.0	3.3
8		-1.5
25	1.5	-0.045

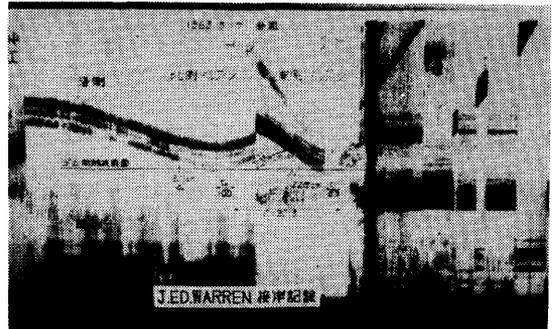


図 17-1 全記録

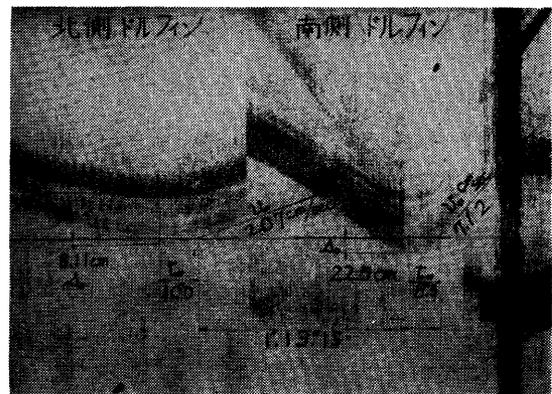


図 17-2 詳細図  
図 17 接岸記録

の接岸においては9秒となつている。

これは最大値に達するころには、変位は微少で、ほとんど静止の状態が続くために、箱尺上のマークで読みとることは、不可能といつてよく、又トランシットにおいても読みのおくれ等の誤差が生ずるものと思われる。

この様なことから記録器による8.25秒が妥当な値と判断される。

北側ドルフィンにおける  $t_0$  は10秒程度であり、舷側がゴム防舷材に接してから離れるまでの観測された時間22.0秒は、記録と全く一致している。

### 5-3. 3. 1 接岸測定

記録は図17に示す。

この記録によつて、接岸速度  $v_0$  は、南北各々7.12 cm/sec, 2.07cm/sec である。

### 5-3. 3. 2 実測値

以上実測値を取纏めたものが表7である。

表 7 実 測 値

計 測 項 目	南 側 ドルフィン	北 側 ドルフィン
$v_0$ : 接岸速度	7.12 (cm/sec)	2.07 (cm/sec)
$t_0$ :	8.25(sec)	10.05(sec)
$s_0$ : 全変位量	33.5 (cm)	—
$s_{f_0}$ : ゴム防舷材変位量	22.5 (cm)	8.11(cm)
$s_{d_0}$ : ドルフィン変位量	11.0 (cm)	—

## 6. 実測値と理論値との比較

5-3. 1の理論値と5-3. 3. 2の実測値とを対比し、表8, 9に示す。

表 8 南側ドルフィン

計 測 項 目	理論値 a	実測値 b	b / a
$t_0$ :	8.44(sec)	8.25(sec)	0.97
$s_0$ : 全 変 位	32.29(cm)	33.5 (cm)	1.04
$s_{f_0}$ : 防舷材変位	21.32(cm)	22.5 (cm)	1.05
$s_{d_0}$ : ドルフィン 変 位	10.96(cm)	11.0 (cm)	1.00

表 9 北側ドルフィン

計 測 項 目	理論値 a	実測値 b	b / a
$t_0$ :	10.19(sec)	10.05(sec)	0.99
$s_0$ : 全 変 位	12.18(cm)	—	—
$s_{f_0}$ : 防舷材変位	8.04(cm)	8.11(cm)	1.01
$s_{d_0}$ : ドルフィン 変 位	4.14(cm)	—	—

上表によつて、理論値と実測値は-3%から5%の差違で、実際上は十分合致していることが理解できる。

## 7. 結 言

この実験に当り、工事施工者は軟弱地質を置換砂によつて改良し、その地盤に打込まれた杭の横抵抗の実測検討に懸命な努力をした。

すなわち、単独杭の横方向反力係数を知るため、地盤の改良工程に対応し、数多くの実測を行なつて、 $\beta$ を把握した。えられた $\beta$ に基づき、杭10本をフレームで結合した合成杭にゴム防舷材を装備したドルフィンの荷重-変位特性曲線を算出した。

船の接岸時に実測した結果は、表8, 9に示してあるが、この結果と上記により算出されたバネ常数を用いた理論値とはよく合致している。すなわち、現象時間  $t_0$  は南側ドルフィンでは3%, 北側ドルフィンで1%, 防舷材圧縮歪  $s_{f_0}$  で1~5%, ドルフィン変位は等しく、全変位で4%の差で実際的には等しいというる。

総体の変位、各部の変位、現象時間に、船、艇の接岸状態を含めて実測と理論値が合致することは、横抵抗実測によつてえられたドルフィンバネ常数の確かさと理論の妥当なことを示している。

この事によりドルフィンの確実な緩衝作用、構造の安定、施行の優秀さを確認でき、本実験の所期の目的を達したものと信ずる。

最後に本実験に従事協力された当所栗村康彦室長、宮崎栄技術員、並びに興垂石油KK技術部、麻里布製油所建設課、大成建設KK土木部設計課および同作業所に対しその労に感謝する。