

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

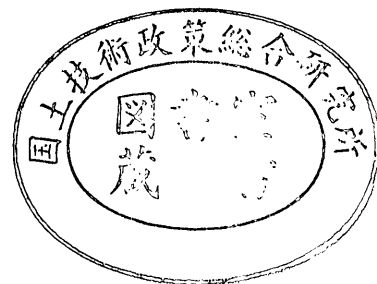
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 11

NO. 2

JUNE 1972

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第11巻 第2号 (Vol. 11, No. 2), 1972年6月 (June 1972)

目 次 (CONTENTS)

1. 直立壁および混成堤直立部に働く波圧に関する実験的研究
..... 合田良実・福森利夫..... 3
(Laboratory Investigation of Wave Pressures Exerted upon Vertical and Composite WallsYoshimi GODA and Toshio FUKUMORI)
2. 不規則な海の波の屈折および回折の計算永井康平..... 47
(Computation of Refraction and Diffraction of Irregular SeaKohei NAGAI)
3. 横波を受ける船舶の繫船岸への衝突力に関する実験
..... 伊藤喜行・木原 力・久保正則・山本庄一.....121
(A Model Experiment on the Impact Force upon a Wharf Due to a Moored Ship Subjected to the Beam Sea
.....Yoshiyuki ITO, Tsutomu KIHARA, Masanori KUBO and Shoichi YAMAMOTO)
4. 浮防波堤の水理に関する近似理論と応用伊藤喜行・千葉 繁.....137
(An Approximate Theory of Floating Breakwaters
.....Yoshiyuki ITO and Shigeru CHIBA)
5. 来島海峡潮流模型実験 (第2報)
..... 木村久雄・宮原英治・須藤 茂・柴山煒彦・浜田徳一.....167
(A Model Experiment on a Tidal Current at the Kurushima Strait (2nd Report)
.....Hisao KIMURA, Hideharu MIYAHARA, Shigeru SUDO, Akihiko SHIBAYAMA and Tokuichi HAMADA)
6. 粘土の非排水せん断強度と変形係数
..... 中瀬明男・小林正樹・兼近明男.....243
(Undrained Shear Strength and Secant Modulus of Clays
..... Akio NAKASE, Masaki KOBAYASHI and Akio KANECHIKA)
7. 沈埋トンネルの野外模型振動実験 …青木義典・土田 隆・林 聡.....261
(Out-Door Dynamic Model Test of Trench Type Tunnel
..... Yoshinori AOKI, Hazime TSUCHIDA and Satoshi HAYASHI)
8. 懸濁粒子の沈降挙動と超音波の反射吸収特性木原 純 孝.....309
(Effect of Behavior of Settling Suspension Particles on Reflection and Absorption Characteristics of Ultrasonic WavesSumitaka KIHARA)
9. 平板による土の掘削抵抗について石塚 浩 次.....329
(A Study on Excavation Forces by a Plane BladeKoji ISHIZUKA)

3. 横波を受ける船舶の繫船岸への衝突力に関する実験

伊藤喜行*・木原 力**・久保正則**・山本庄一**

要 旨

この報告は、岸壁および横棧橋前面に繫留された船舶が、横波を受けて動揺することにより、岸壁ないしは棧橋に衝突する際の衝突力について、模型実験による検討結果を示したものである。実験は一万トン岸壁および棧橋に船首、船尾の二点を繫留した一万重量トンの貨物船をモデルに縮尺 1/40 で再現した。

実験の主たる目的は、衝突力に及ぼす入射波周期の影響を把握することであり、このため実験波の周期としては通常の風波の領域と、港内ないしは湾内副振動の領域を採用した。また、衝突力に及ぼす入射波の波高の影響や、船体が防舷材から沖側へ移動できる最大距離の影響についての実験も行なった。

実験により、港内ないしは湾内副振動による繫船岸への船舶の衝突力は、通常の風波に起因する衝突力にくらべ、はるかに小さいこと、衝突力は波高に比例し、船体が防舷材から沖側へ移動できる最大距離が大きくなると減少すること、そして一般に岸壁より棧橋の方が大きいこと等の結果が得られた。

* 水工部 防波堤研究室長

** 水工部 防波堤研究室

3. A Model Experiment on the Impact Force upon a Wharf due to a Moored Ship Subjected to the Beam Sea

Yoshiyuki ITO*
Tsutomu KIHARA**
Masanori KUBO**
Shoichi YAMAMOTO**

Synopsis

This report deals with an experimental investigation on the impact force upon a wharf caused by the movement of a moored ship subjected to the beam sea. In the model experiment, a cargo ship of 10,000 DWT moored at bow and stern to a wharf situated at the innermost part of a port was reproduced to a scale of 1/40. The natural periods of rolling and heaving of the model ship were adjusted to correspond to those of the real cargo ship. Two types of wharves were used, the one was a solid wharf and the other was a piled wharf. The water depth at the foot of the wharves is 10 meters. The draft of the ship was 4 meters of little loaded condition.

In a case of examining the effect of incident wave period on the impact force, the wave period adopted in the model experiment was from 5 seconds to 26 minutes of prototype. In this case the incident wave height was constant of 0.4 meters. The relation between the impact force and the incident wave height, the effect of the allowable lateral movement of the ship on the impact force were also investigated. In the former case, the incident wave height was changed from 0.2 to 1 meter and in the latter case, the allowable lateral movement of the ship was changed from 0 to 4 meters.

The following results were found from the experiment. The impact force due to long period wave is much less than that due to short period wave. The impact force is approximately proportional to the incident wave height. The longer the allowable lateral movement of the ship, the smaller is the impact force. The impact force upon the piled wharf is generally greater than that upon the solid wharf.

* Chief of Breakwater Laboratory, Hydraulics Division.

** Member of Breakwater Laboratory, Hydraulics Division.

目 次

1. ま え が き	125
2. 実 験 法	125
2.1 入 射 波	125
2.2 岸壁および棧橋	125
2.3 模 型 船	127
2.4 衝突力測定系	128
2.5 実 験 水 槽	129
2.6 実験ケース	129
3. 実 験 結 果	129
3.1 棧 橋	129
3.2 岸 壁	132
3.3 結 論	135
4. あ と が き	135

1. ま え が き

我々がここで行なった実験は、一般的なケースについて、船舶の繋船岸への衝突力を求めるといった積極的な意味はもたず、實際上問題となったあるケースについて、その原因を確かめる目的からなされたもので、実験ケースおよび条件ともに非常に限定されている。平面的には図-1.1 に示すような状態で、船は横波を受ける。繋船岸としては、1万トンの岸壁および横棧橋を考え、船舶は1万重量トンの貨物船をモデルとした。

この繋留船舶が入射波による動揺を受け、岸壁ないしは棧橋に衝突するが、実験の主眼はその衝突力が入射波周期によってどう変化するかを調べようとするものである。入射波周期として、我々は次の2つを取りあげた。1つは通常の風波の周期（短周期波で現地換算周期が5～23秒）、もう1つは、より周期の長い港内副振動（長周期波で現地換算周期は5～25分）である。これは、将来の外港計画に関連して、大きな衝突力が短周期波によって生じるものであるか、あるいは長周期波によって生じるものであるかを明確にすることが必要になってきたためである。

以上のような理由から、実験は長周期波についても、波の来襲方向が船体に垂直な方向（したがって船体の運動は主に図-1.1のA-A方向）のみとし、繋船岸に平行な方向（船体の運動はB-B方向）では、実験は行っていない。

なお、今後我々は、スーパータンカーのシーバースに作用する衝突力の実験をはじめ、これに類する一連の研

究をなす予定である。そこで、今後の参考のため、ここではその第一段階として、実験法および実験結果について略述したもので、理論的検討は一切行なっておらず、これについては将来の課題とした。

2. 実 験 法

1.で述べたように、実験は1万トン岸壁および棧橋に繋留された1万重量トンの貨物船をモデルとして行なった。ここで、実験方法および実験ケースについて説明する。

2.1 入 射 波

(1) 波 高

港内への侵入波を考えると、波高は通常それほど大きくないこと、また波高が著しく大きい場合には、船舶は一般に港外へ避難することを考え、実験では次のようにとった。

$$H_i = 40 \text{ cm}$$

ただし、 H_i は現地換算進行波高で、重複波高は進行波高の2倍の80 cmとなる。実験波高の決定は、模型岸壁前面で、重複波高がこれの1/40 すなわち2 cmとなるよう造波機を調節した。なお、波高の影響を調べるケースについてのみ、 $H_i = 20, 100 \text{ cm}$ を付け加えた。

(2) 周 期

入射波の周期は、通常の風波の周期と港内ないしは湾内副振動の周期を考えた。実験に用いた波の現地換算周期は次のとおりである。

短周期波: $T = 5 \sim 23 \text{ 秒}$

長周期波: $T = 6 \sim 25 \text{ 分}$

これらの模型波周期は、それぞれ $T_m = 0.79 \sim 3.7 \text{ 秒}$, $T_m = 1 \sim 4 \text{ 分}$ となる。実験は短周期波については、2～3秒間隔、長周期波については6.3分（模型波で1分）間隔で行なった。

2.2 岸壁および棧橋

(1) 模型岸壁および棧橋

模型の岸壁および棧橋は、コンクリートブロックとアングルで製作した。実験に用いた模型岸壁および棧橋をそれぞれ図-2.1 および図-2.2 に示す。模型棧橋については条件を簡単にするため、棧橋本体の幅を一様に16 mとし、また、土留壁から海底地盤までの斜面を無視して、海底は水平とした。このため、模型岸壁と棧橋の相異は、単に直立壁から防舷材までの距離が異なっているのみである。

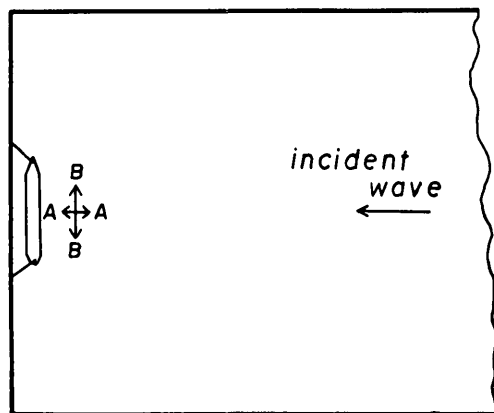


図-1.1 模型平面図

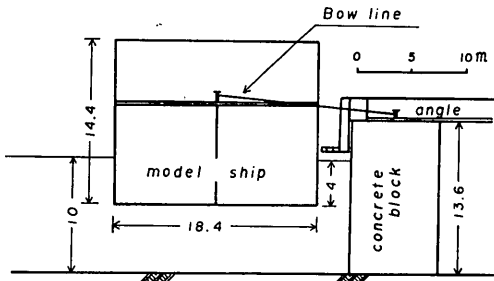


図-2.1 模型岸壁断面（現地換算寸法）

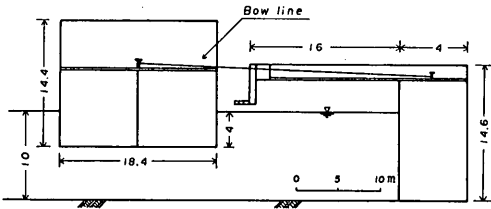


図-2.2 模型棧橋断面（現地換算寸法）

(2) 模型防舷材

実験に使用する模型防舷材は、現地で一般に使用されている防舷材と力学的に相似でなければならない。いま、防舷材の変位を微小と仮定し、Hookeの法則を適用すると、

$$\Delta l = \frac{l}{EA} P \quad (2.1)$$

E : 弾性係数

A : 断面積

P : 荷重

で表わされる。(2.1)式において、右辺と左辺の模型と現地の比をとると、サフィックス m を模型、 p を現地として、左辺は、

$$\frac{\Delta l_m}{\Delta l_p} = s \quad (2.2)$$

ただし、 s は縮尺を表わし、我々の実験では $1/40$ である。右辺は、模型と現地で同じ材質を使うと、 $E_p = E_m$

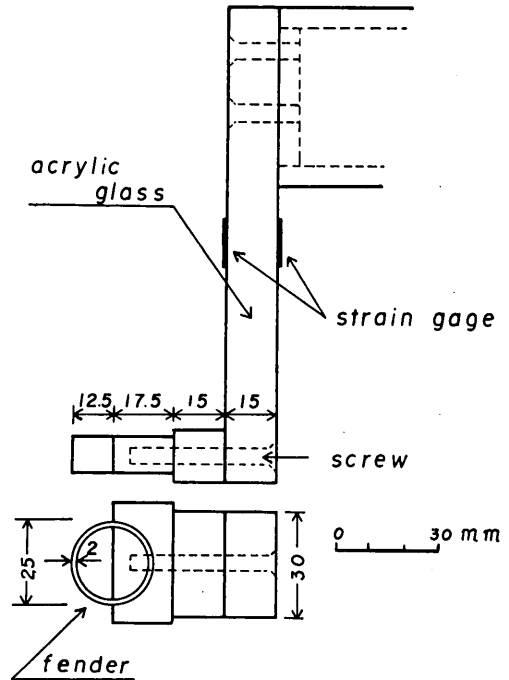


図-2.3 衝突力測定アームと模型防舷材

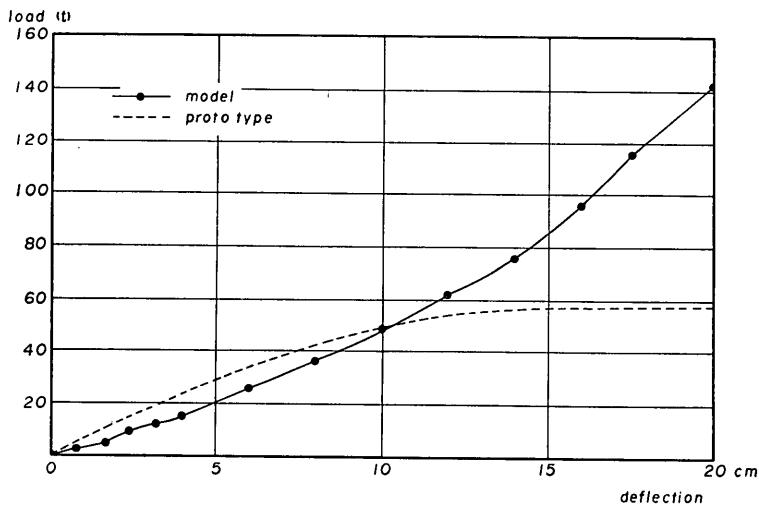


図-3.4 模型および現地の防舷材の比較

なる関係から

$$\frac{l_m \cdot P_m}{E_m \cdot A_m} \cdot \frac{l_p \cdot P_p}{E_p \cdot A_p} = \frac{l_m}{l_p} \cdot \frac{P_m}{P_p} \cdot \frac{E_p}{E_m} \cdot \frac{A_p}{A_m}$$

$$= s \cdot s^3 \cdot s^0 \cdot s^{-2}$$

$$= s^2 \quad (2.3)$$

となり、右辺と左辺で一致しない。このことは、模型と現地で同じ材質を使うかぎり、模型防舷材は、現地防舷材を幾何学的に縮尺しただけではいけないことを意味している。以上のごとく、模型防舷材を現地防舷材と力学的に相似になるように製作するのは非常に困難であることから、実験では図-2.3 に示すように、模型防舷材としてゴムホースを使用した。図-2.4 は模型防舷材の荷重・変位曲線を現地換算し、現地防舷材の一例と比較したものである。ただし現地防舷材としては、高さ 50 cm、長さ 1.5 m、V 型のゴム防舷材の荷重・変位曲線* を示している。

2.3 模型船

模型船は木製で、船内におもりを載せ、喫水、慣性モーメント等を調節した(図-2.5 参照)。

(1) 寸法

模型船は 1 万重量 トンの貨物の標準寸法をほぼ 1/40 で再現した。喫水は軽載時を仮定し、4 m とした。模型船の現地換算寸法を図-2.5 に示す。

(2) rolling, heaving 周期

静水における船舶の rolling 周期は、水による抵抗を考えない場合、次のように表わされる。

$$T_r = 2\pi \cdot \frac{k}{\sqrt{\overline{GM} \cdot g}} \quad (2.4)$$

ここで、

k : 回転半径

$\overline{GM}$: 横メタセンター高

回転半径 k は次式で表わされる。

$$k = \sqrt{\frac{g \cdot I}{W}} \quad (2.5)$$

W : 船の重量

I : 重心のまわりの慣性モーメント

模型と現地で船の rolling 周期を一致させるためには、縮尺 (s) を 1/40 として、現地船の I , $\overline{GM}$ にそれぞれ s^3 , s を乗じて、模型船の I , $\overline{GM}$ を決定すればよい。まず、現地および模型の船の慣性モーメントを比較してみよう。

回転半径 k は、船幅 (B) と密接な関係があり、 k/B は船の種類によって決まってくるもので、貨物船の場合ほぼ次のような範囲内にある¹⁾。

貨物船	k/B : 満載	0.32~0.35
	空	0.375~0.40

我々の実験では、軽載時の貨物船を対象としているので、 $k/B=0.39$ と仮定し、喫水 4 m の 1 万重量 トン貨物船の慣性モーメント I_p を求めると、約 4 万 $\text{t} \cdot \text{m}^2/\text{sec}^2$ となる。これを縮尺 1/40 で模型に換算すると、

$$I_{p,m} = 39 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{sec}^2$$

となる。一方、模型船におもりを載せて調整した結果、模型船の慣性モーメント I_m は、

$$I_m = 36 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{sec}^2$$

となり、ほぼ $I_{p,m}$ に一致した。また、横メタセンター高 $\overline{GM}$ については、計算によると模型船で約 3 cm となる。上述の I_m , $\overline{GM}$ を使って、(2.4) 式により模型船の rolling 周期を計算すると、現地換算して、

$$T_{m,p} = 11.3 \text{ 秒}$$

となる。

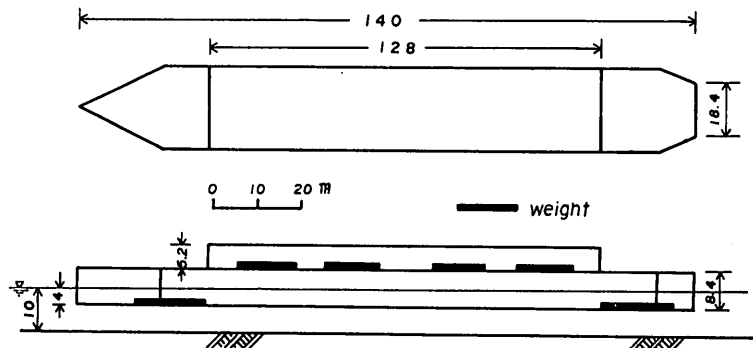


図-2.5 模型船 (現地換算寸法)

* 西部ゴム防舷材のカタログより転載。

次に、現地の rolling 船の周期の概略値を求めてみる。
 現地船の横メタセンター高 $\overline{GM}$ については、5千~1万
 トン貨物船の場合、次のような値をとる²⁾。

$\overline{GM}$: 満載 0.4~1.1 m

軽載 1.6~3.8 m

既述のごとく、模型船の $\overline{GM}$ は 3 cm, これを現地換算
 すると 1.2 m となって、模型船の横メタセンター高 $\overline{GM}$
 は現地船にくらべ、やや小さな値となった。 $k/B=0.39$
 とし、 $\overline{GM}$ に上記の軽載時の値を代入して、1 万トン貨
 物船の軽載の場合の rolling 周期を求めると、

$$T_p = 7 \sim 11 \text{ 秒}$$

となり、模型船の現地換算 rolling 周期 11.7 秒は、ほぼ
 妥当な値といえる。

静水中の heaving 周期は、

$$T_h = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{d}{g}} \quad (2.6)$$

d : 船舶の喫水

で与えられ、喫水が幾何学的縮尺どおり一致していれば、
 現地と模型で heaving 周期は一致することになる。模型
 船の現地換算 heaving 周期は

$$T_h = 4.0 \text{ 秒}$$

となった。

(3) 繫留法

模型船は図-2.6 に示すように単純に船首索 (Bow line)
 と船尾索 (Stern line) でのみ繫留し、スプリングライン、
 プレストラインは省略した。そして、繫留索のゆるみを変
 えて、船体側面が防舷材から沖側へ移動できる最大距離
 (図-2.6 の l) を数種に変化させ、衝突力に及ぼす l
 の影響を調べた。なお、繫留索に初期張力は与えていな
 い。

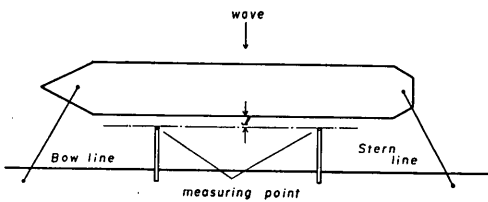


図-2.6 模型船の繫留法

2.4 衝突力測定系

(1) 測定場所

図-2.6 に示すように、衝突力は船首側、船尾側の 2
 箇所測定した。

(2) 測定系

衝突力の測定は、棧橋、岸壁ともに図-2.3 に示すよ

うに、合成樹脂（アクリライト板）で測定用アームを製
 作し、上端のみを固定、下端に作用する力をストレイン
 ゲージでひずみの変化として取り出した。

(3) パネ定数

模型で測定した衝突力を、縮尺を考慮してそのまま現
 地に適用するには、(繫船岸)+(防舷材)の荷重・吸収エ
 ネルギー曲線が、現地と模型の間で縮尺どおり一致して
 いなければならない。すなわち、模型の防舷材と繫船岸
 の両方について、現地換算した荷重・ひずみ曲線が、現
 地のそれに一致していればよい。このうち、模型防舷材
 の荷重・ひずみ曲線については、すでに図-2.4 で現地
 防舷材との比較を行なった。そこで、ここでは繫船岸に
 ついて、現地と模型のパネ定数を比較する。

まず、模型実験に用いた衝突力測定アーム (図-2.3)
 のパネ定数は、アクリライトの弾性係数 $E=3.5 \times 10^4$
 kg/cm^2 を用いて計算すると、 $k_m=363 \text{ kg/cm}$, これを縮
 尺 1/40 で現地換算すると、

$$k_m, p = 363 \times 40^2 \\ = 582 \times 10^3 \text{ kg/cm}$$

すなわち、582 t/cm となる。

次に、現地繫船岸のパネ定数であるが、最初に現地棧
 橋のパネ定数の概略値を求めてみよう。棧橋支持杭の横
 方向のパネ定数は次式で与えられる³⁾。

$$k_{Hi} = \frac{12E \cdot I_i}{\left(h_i + \frac{1}{\beta_i}\right)^3} \quad (2.7)$$

ここに、

$E \cdot I_i$: 杭の曲げ剛性

h_i : 杭頭から仮想地表面までの長さ

$1/\beta_i$: 仮想地表面から仮想固定点までの深さ
 を表す。ただし β については、

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h \cdot D}{4EI}} \quad (\text{cm}^{-1}) \quad (2.8)$$

k_h : 横方向地盤反力係数 (kg/cm^3)

D : 杭の直径または幅 (cm)

EI : 杭の曲げ剛性 (kg/cm^2)

また、地盤反力係数 k_h は、地盤の N 値を用いて

$$k_h = 0.15N \quad (2.9)$$

で与えられる。

仮りに、 $D=700 \text{ mm}$, $t=16 \text{ mm}$ の支持杭 5 本で 1 列
 が構成されていると仮定し、 h_i を近似的に 11 m, 地盤
 の N 値を 5 とすると、 $h_i + 1/\beta_i$ は約 15 m となる。
 (2.7) 式により k_{Hi} を求めると、 $k_{Hi}=1.27 \text{ t/cm}$ と
 なる。模型の衝突力測定アームが、現地棧橋の 1 スパンを

横波を受ける船舶の繫船岸への衝突力に関する実験

代表していると考え、現地棧橋の1スパンは支持杭5列から成るとすれば、模型のパネ定数に相当する現地棧橋のパネ定数は、

$$k_p \approx 32 \text{ t/cm}$$

となり、模型棧橋のパネ定数は、現地に比しはるかに剛である。しかしながら、現地において棧橋は完全に自由でなく、棧橋の水平変位は、ある値以上に対して背後の土留壁に阻止される。すなわち、上記のパネ定数は、棧橋の水平変位が許される範囲において有効で、これ以上に対しては無限大と考えられる。

次に、現地岸壁のパネ定数は、岸壁に水平変位が許されないことから、無限大と考えられ、模型の衝突力測定系のパネ定数は現地岸壁にくらべ柔である。

以上から明らかなように、模型の棧橋、岸壁ともに、(防舷材)+(繫船岸)の荷重・吸収エネルギー曲線は、現地のそれに完全には一致していない。そのため、実験により測定された衝突力の値を単純に現地換算しても、それは厳密には現地衝突力を表わしているとは言えず、むしろ定性的な傾向を示すものと言えよう。

2.5 実験水槽

短周期波：中型平面水槽

フラップ型造波機

実験波周期 $T_m = 0.79 \sim 3.7$ 秒

長周期波：大型平面水槽

空気圧式潮汐発生装置

実験波周期 $T_m = 1 \sim 4$ 分

いずれも規則波を用いた。

2.6 実験ケース

実験は棧橋および岸壁についてそれぞれ

- (i) 入射波の周期 (T) の影響
- (ii) 入射波の波高 (H) の影響
- (iii) 船体が防舷材から沖側へ移動できる最大距離 (l) の影響

のケースについて行なった。実験条件を表-2.1 に示す。

表-2.1 実験条件

(1) 入射波の周期の影響

	棧 橋		岸 壁
H	40 cm		40 cm
l	2 m		2 m
波	短 周 期 波	長 周 期 波	短 周 期 波
T	5~23 秒	6.3~25.2 分	5~23 秒

(2) 入射波の波高の影響

	棧 橋		岸 壁	
波	短 周 期 波		長 周 期 波	
T	12 秒		6.3 分	12.6 分
l	2 m		0, 2	0, 2
H	20, 40, 100 cm	20 40	20 40	20, 40, 100 cm

(3) 船体が防舷材から沖側へ移動できる最大距離の影響

	棧 橋	岸 壁	
波	短 周 期 波	短 周 期 波	長 周 期 波
T	12 秒	12 秒	6.3 分
H	40 cm	40 cm	40 cm
l	0, 2, 4 m	0, 2, 4 m	0, 2 m

(注) (1)および(2)について、岸壁の長周期波の実験は、衝突力があまりにも小さいので省略した。

3. 実験結果

表-3.1~表-3.6 に実験結果を示す。ただし、値はすべて現地換算してある。また、最大および最小衝突力については船首側、船尾側の両測定記録を併せたうちの最大および最小を、1回平均および全波数平均衝突力については両測定記録の平均を示す。測定波数は短周期波の場合50波以上、通常は100波をとった。

以下、棧橋および岸壁について各ケース別に説明を加える。

3.1 棧 橋

(1) 短周期波の周期の影響

結果を図-3.1 に示す。図からもわかるとおり、測定最大衝突力については、 $T=10$ 秒、14 秒、18 秒に極大値が見られるが、平均衝突力でみるとピークは $T=10 \sim 14$ 秒と18秒に現われる。衝突力の大きさは、1回平均衝突力の場合、 $T=10 \sim 14$ 秒で約500t、18秒では約950tであった。実験時の観察によれば、 $T=10 \sim 14$ 秒の衝突力のピーク時では、船は水平運動が、 $T=18 \sim 20$ 秒のピーク時では回転運動が卓越しているように思われた。

(2) 短周期波と長周期波の比較

図-3.2 に短周期波と長周期波の衝突力の比較を示す。長周期波による衝突力は、最大衝突力でさえ、 $T=6.3$ 分の124tで、それ以上の周期では50t以下と短周期波に

表-3.1 棧橋における周期の影響

(H=40 cm, l=2 m)

	T	衝突力 (t)				衝突頻度 (%)	1波当り衝突回数
		最大	最小	1回平均	全波数平均		
短周期波	5秒	124	28	65	22	40	
	8	280	56	121	38	30	
	10	1213	140	460	308	50	
	12	684	167	465	446	60	
	14	977	84	418	373	90	
	16	746	84	315	269	90	
	17	840	140	392	392	95	
	18	1507	498	947	947	100	
	20	1088	715	918	918	100	
	23	871	558	772	772	100	
長周期波	6.3分	124	10	59			8回
	12.6 "	41	9	15			50 "
	18.9 "	28	9	12			17 "
	25.2 "	19	9	12			18 "

表-3.2 波高の影響 (棧橋)

	l (m)	T	H (cm)	衝突力 (t)			
				最大	最小	1回平均	全波平均
短周期波	2	12秒	20	435	56	118	54
	2	"	40	1493	28	574	538
	2	"	100	2986	28	1174	818
長周期波	2	6.3分	20	28	9	13	
	2	"	40	124	10	59	
	2	12.6分	20	52	9	21	
	2	"	40	41	9	15	

表-3.3 船体が沖側へ移動できる最大距離の影響 (棧橋)

	T	H (cm)	l (m)	衝突力 (t)			
				最大	最小	1回平均	全波平均
短周期波	12秒	40	0	1193	673	958	958
	"	"	2	913	72	455	189
	"	"	4	1011	29	357	71
長周期波	6.3分	20	0	31	9	15	
	"	"	2	28	9	13	
	"	40	0	10	10	10	
	"	"	2	124	10	59	

表-3.4 岸壁における周期の影響

(H=40 cm, l=2 m)

	T (秒)	衝突力 (t)				衝突頻度 (%)
		最大	最小	1回平均	全波数平均	
短周期波	5	112	28	60	5	8
	8	436	30	113	24	22
	10	622	28	139	45	30
	12	1339	28	303	181	58
	14	419	28	193	72	40
	16	249	28	113	45	39
	17	249	28	101	44	42
	18	223	28	100	48	48
	20	187	28	81	32	39
	23	187	28	86	52	63

表-3.5 波高の影響 (岸壁)

	l (m)	T (秒)	H (cm)	衝突力 (t)			
				最大	最小	1回平均	全波平均
短周期波	2	12	20	451	42	165	65
	"	"	40	865	28	303	181
	"	"	100	1151	140	579	296

表-3.6 船体が沖側へ移動できる最大距離の影響 (岸壁)

	T	H (cm)	l (m)	衝突力 (t)			
				最大	最小	1回平均	全波平均
短周期波	12秒	40	0	1233	303	758	758
	"	"	2	1339	28	303	181
	"	"	4	840	62	293	122
長周期波	6.3分	40	0	10	9	10	
	"	"	2	19	9	10	

(注) ① 1回平均衝突力: $\frac{\text{全測定衝突力の和}}{\text{衝突回数}}$ 全波数平均衝突力: $\frac{\text{全測定衝突力の和}}{\text{全波数}}$

② 長周期波の最小力 9t は記録紙の読み 1mm (最低読取可能記録) に相当

③ 短周期波の最小力 28t は記録紙の読み 1mm に相当。

④ 表-3.3 における長周期波のデーターの一部は表-3.2 のデーターを使用した。

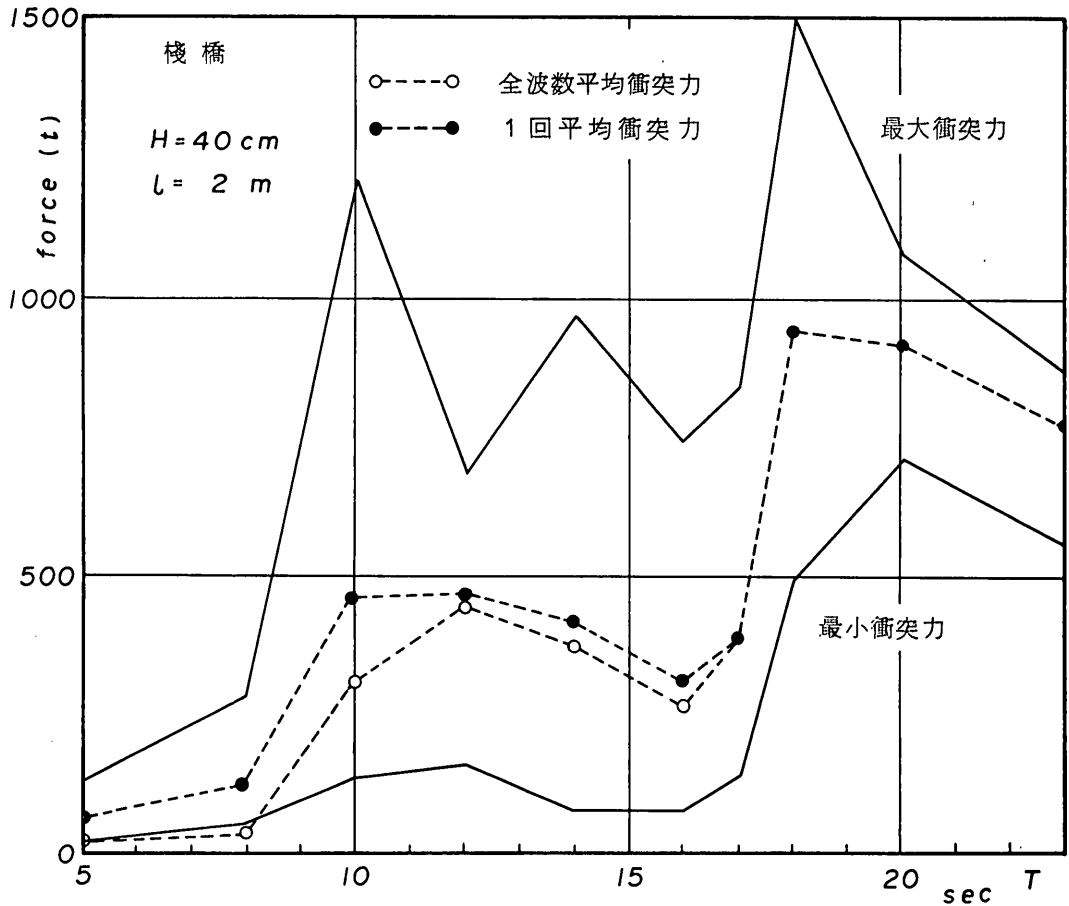


図-3.1 短周期波における周期の影響 (棧橋)

比してはるかに小さい。また、衝突の仕方そのものも両者で大いに異なっている。すなわち、短周期波では図-3.3 に示すように、1波ないしは数波に1回の割合で衝突するのにくらべ、長周期波では1波に数回ないしは数十回も衝突する。なお、入射波周期が長くなればなるほど、衝突力は小さくなる傾向が認められる。

(3) 波高の影響

図-3.4 に示すように、短周期波では波高の増大とともに衝突力も増大する。長周期波では、表-3.2 からわかるとおり、 $T=6.3$ 分では短周期波と同様に波高の増大とともに衝突力も増大しているが、 $T=12.6$ 分ではこの傾向は現われていない。この原因は、測定記録そのものが非常に小さいため、読み取り誤差の方が大きくなっ

たのではないと思われる。

(4) 船体が沖側へ移動できる最大距離の影響

図-3.5 から明らかなように、短周期波については、船体が沖側へ移動できる最大距離 l の増大により平均衝突力は減少している。これは、 l が長くなると、船の岸壁への衝突回数が減少することに起因する。 $l=0$ の場合、模型船は波が作用する以前の状態では、防舷材に接しているが、波の作用のもとでは、繫留ロープの伸縮により、模型で振幅 1cm 程度の規則正しい水平方向の往復運動を行なう。

長周期波については、 l が 2m または 4m になると、ほとんどの場合、船は最初の波でゆっくり棧橋まで押し寄せられ、そこで防舷材への接触を繰り返す。また、ま

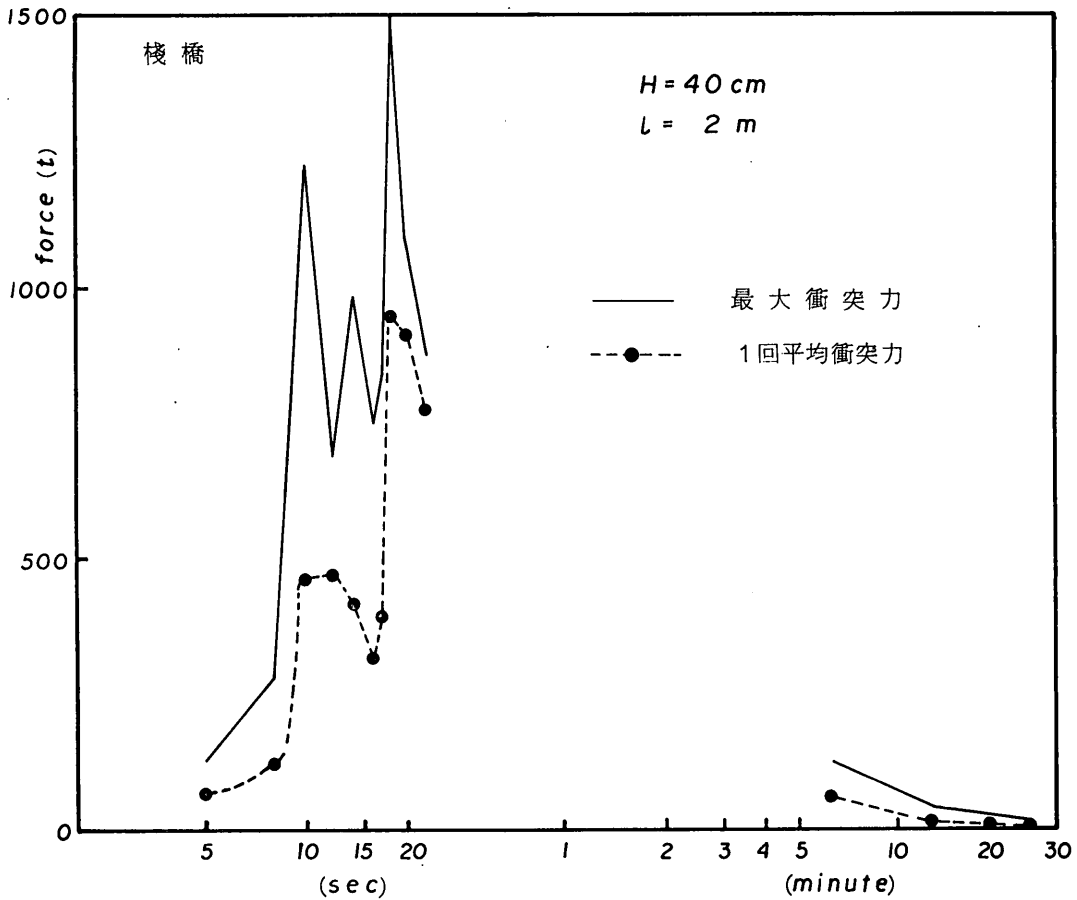


図-3.2 短周期波と長周期波の比較（棧橋）

れには船は元の位置に留まったまま上下運動を行ない、防舷材に接触しない。このように、長周期波については、短周期波のように船舶に作用する波の水平力と防舷材の反発力により振幅 l の往復水平運動が行なわれず、そのため l の影響は現われなかった。

3.2 岸 壁

(1) 短周期波の周期の影響

図-3.6 に示すように、衝突力は棧橋の場合と同じく、 $T=10\sim14$ 秒で大きくなるが、そのピークは $T=12$ 秒に生じ、1回平均衝突力は $300t$ 程度であった。しかし、棧橋の場合に現われた $T=10\sim18$ 秒のピークは、岸壁では生じていない。なお、一般に衝突力は棧橋より小さい。

(2) 長周期波と短周期波の比較

長周期波については、表-3.6 からわかるとおり、最大衝突力についてさえも、読み取り可能な最小目盛程度しか記録されておらず、短周期波に比較して、衝突力ははるかに小さい。

(3) 波高の影響

図-3.7 に示すように、短周期波については棧橋の場合と同様波高に比例して増大する。

(4) 船体が沖側へ移動できる最大距離の影響

このケースについても、短周期波の場合棧橋と同様に最大距離が大きくなると平均衝突力は減少する。(図-3.8 参照)

横波を受ける船舶の繋船岸への衝突力に関する実験

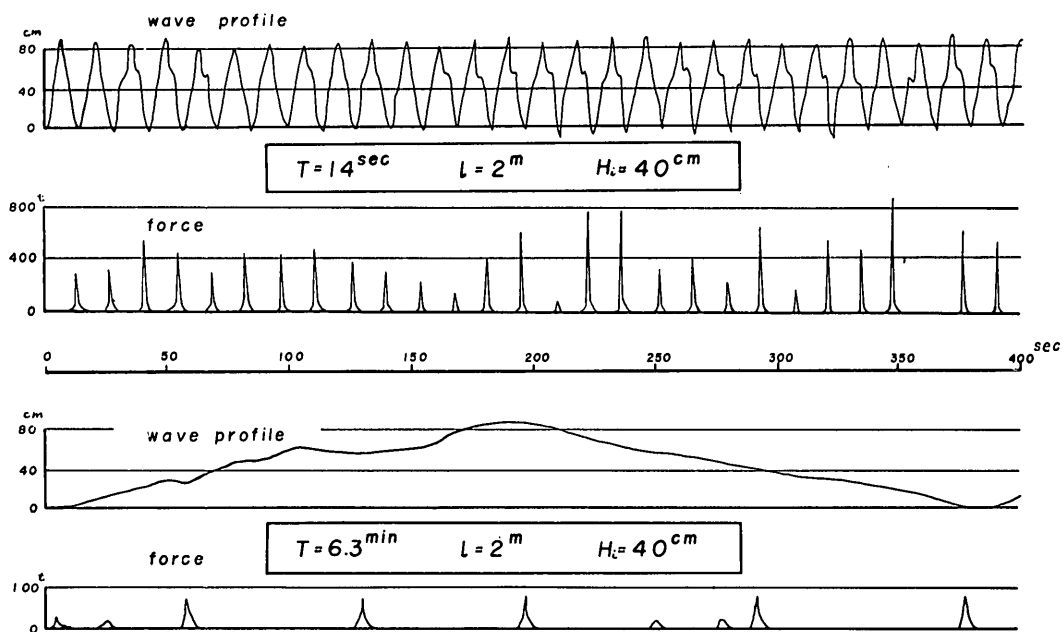


図-3.3 短周期波と長周期波の測定記録例（棧橋）

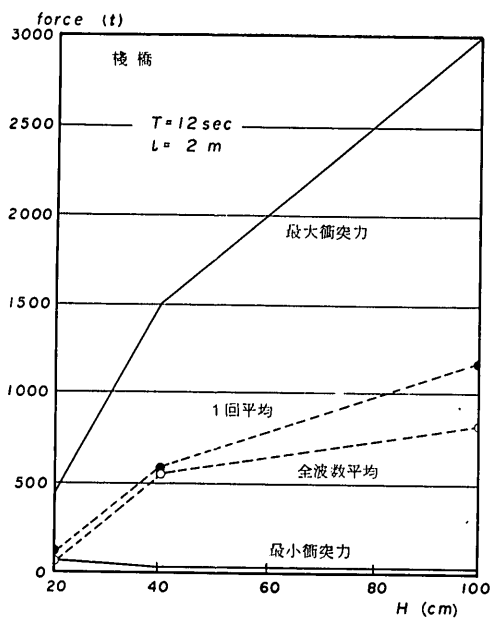


図-3.4 波高の影響（棧橋）

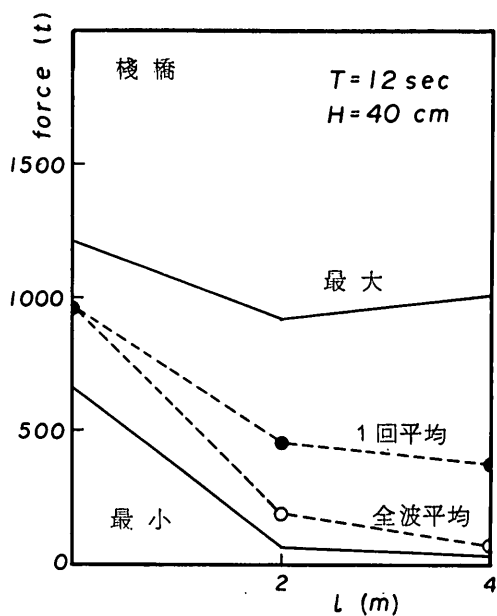


図-3.5 船舶の沖側への最大移動距離の影響（棧橋）

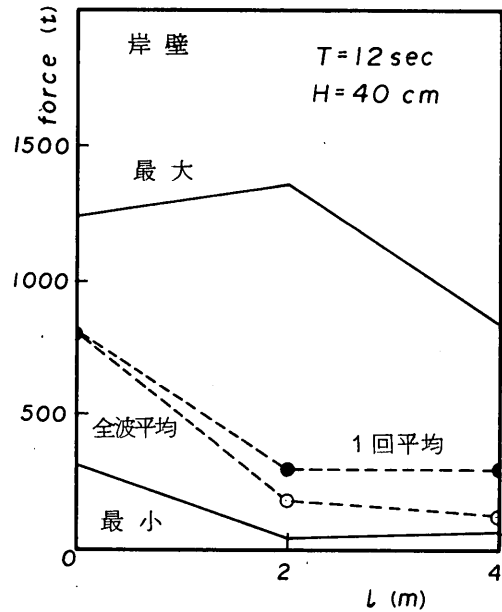
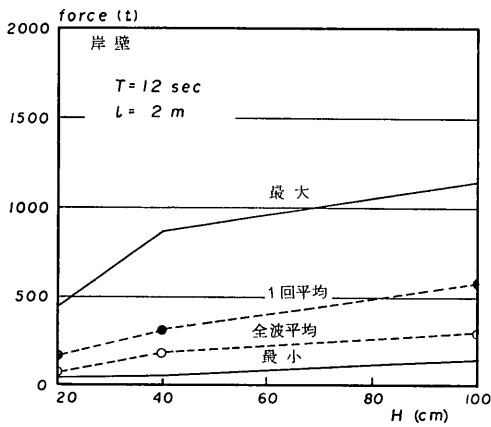
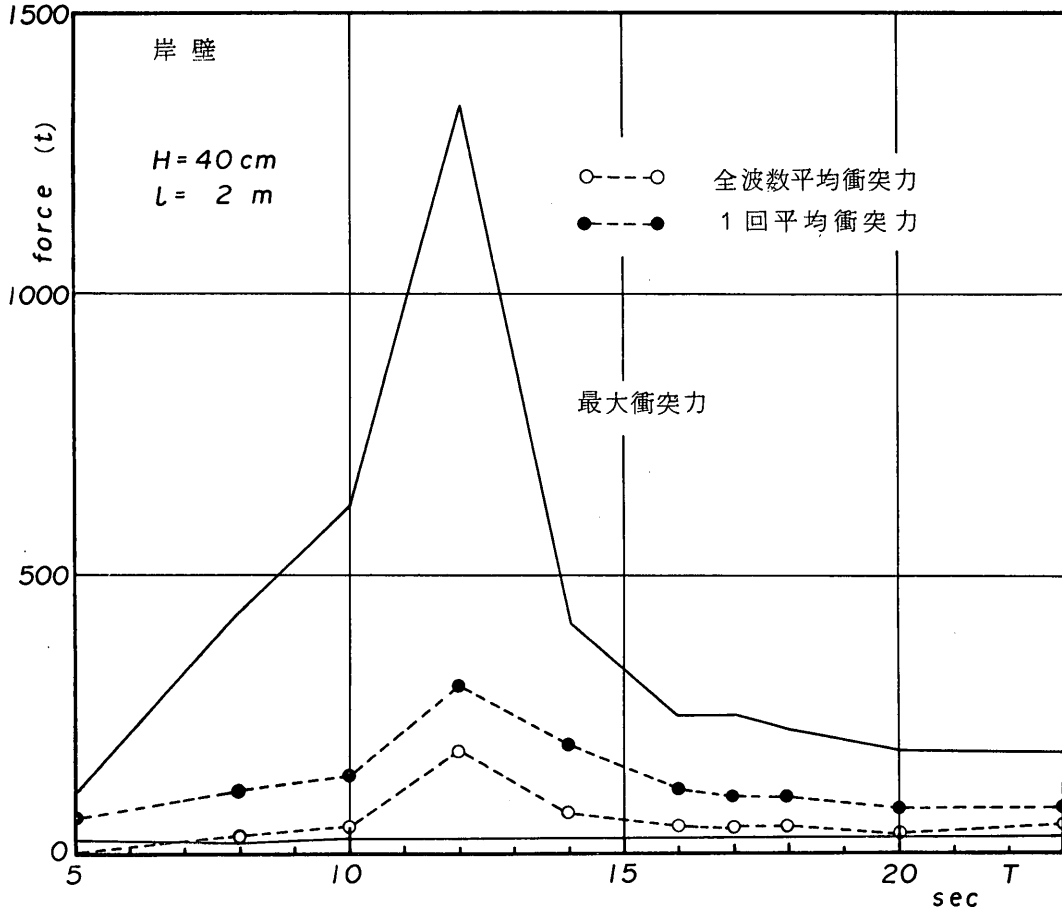


図-3.6(上) 短周期波における周期の影響(岸壁)

図-3.7(左下) 波高の影響(岸壁)

図-3.8(右下) 船舶の沖側への最大移動距離の影響(岸壁)

3.3 結 論

我々の実験において得られた主な結果を列挙すれば次のようになる。

- (i) 長周期波による衝突力は、棧橋、岸壁いずれの場合についても、短周期波にくらべはるかに小さい。そして、入射波周期が長くなればなるほど、衝突力は小さくなる傾向が見られた。
- (ii) 棧橋の場合、衝突力のピークは $T=10\sim 14$ 秒と 18 秒に現われた。前者の周期については、船舶は水平運動が、後者の周期については回転運動が顕著であった。岸壁については、 $T=12$ 秒に衝突力のピークが生じた。
- (iii) 短周期波では、衝突力は一般に波高に比例して増大する。長周期波については、この傾向は明確には現われなかった。
- (iv) 船体が沖側へ移動できる最大距離が長くなる（繋留索のゆるみが大きくなる）と、衝突力は小さくなった。
- (v) 衝突力の大きさは、一般に、短周期波の場合では岸壁より棧橋の方が大きかった。

4. あとがき

いままでに説明してきたように、1万トン岸壁および棧橋に繋留されている1万重量トンの船舶の横波による岸壁ないしは棧橋への衝突力は、短周期波によるものと考えればよいことが判った。このほか、衝突力に及ぼす入射波の波高の影響や、船体が防舷材から沖側へ移動できる最大距離の影響等についての定性的な概念も得た。

なお、この実験は、宮崎県の依頼により、昭和46年2月～8月にかけて行なった受託試験の一部である。

(1972年3月31日 受付)

参 考 文 献

- 1) 元良誠三：船体運動力学，共立出版，1965. 5，p. 68.
- 2) 大串雅信：理論船舶工学(上巻)，海文堂，1971. 6，p. 98.
- 3) 港湾構造物設計基準，日本港湾協会 1967. 4，8-7-11.