

港湾技研資料

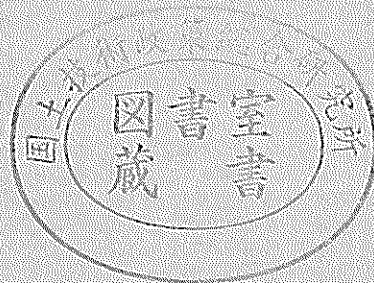
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 263 June. 1977

船舶接岸力に関する模型実験

堀 井 修 身
上 田 茂
柳 沢 雄 博

運輸省港湾技術研究所



船舶接岸力に関する模型実験

目 次

要 旨

1. ま え が き	3
2. 船舶接岸力実験の概要	4
2.1 船舶接岸力実験装置	4
2.2 船舶接岸力実験の相似則	6
2.3 船舶接岸力実験の方法と実験ケース	6
3. 船舶接岸力の実験結果	7
3.1 船舶の接岸速度と接岸力との関係	7
3.2 船舶接岸時の仮想質量係数	12
4. 考 察	13
4.1 ステルソンの実験結果との比較	13
4.2 長沢の実験結果との比較	15
4.3 現地観測結果との比較	16
4.4 設計事例に対する検討	17
5. 結 論	17
謝 辞	17
参 考 文 献	17
記 号 表	18

An Experimental Study of Ship's Berthing Impact

Osami HORII *

Shigeru UEDA **

Katsuhiro YANAGISAWA ***

Synopsis

Virtual mass of berthing ship, Which is important to calculate the ship's berthing energy, was examined experimentary in Port and Harbour Research Institute. The ratio of water depth to draft of ship, H/d , has a significant meaning to virtual mass compared to the other factors such as the structural type of quay wall and load - deflection characteristics of fenders and quay walls.

Virtual mass is defined as the linear function of displaced mass of the ship. The virtual mass coefficient obtained in experiment became nearly 2.3 at $H/d=1.10$. As the virtual mass coefficient calculated based on the current design standard is about 1.5 or 1.6, it is suggested to designers to give much care to the berthing energy in design works.

-
- * Ex-Chief of Offshore Structures Laboratory, Structures Division.
 - ** Chief of Offshore Structures Laboratory, Structures Division.
 - *** Member of Offshore Structures Laboratory, Structures Division.

船舶接岸力に関する模型実験

堀 井 修 身 *
 上 田 茂 **
 柳 沢 雄 博 ***

要 旨

船舶接岸時の仮想質量を模型実験により検討した。その結果、仮想質量に影響する要因として、1) 水深吃水比, H/d , 2) 岸壁構造, 3) 防舷材などのバネ常数などが考えられるが、中でも H/d の効果が大きいことが明らかになった。また、仮想質量は排水質量に対する比として表わすことができ、 $H/d = 1.10$ のとき仮想質量係数 C_v は約 2.3 になり、現行設計法の 1.5~1.6 を大幅に上回る。

1. ま え が き

1972年及び1973年に実施した大型タンカー用シーバーにおける接岸力の現地観測及びその解析結果^{1), 2)} ならびに、一般貨物船の接岸力の現地観測結果³⁾ によると、現行の設計基準式に基づいて算定した有効接岸エネルギーは、観測値に比べて過小となること、この主原因は付加質量の算定式にあることが指摘されている。

現行の設計基準では、有効接岸エネルギーは式(1.1)により計算される。

$$E = \frac{W_b V^2}{2g} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

ここに、

- E : 有効接岸エネルギー
- g : 重力の加速度
- W_b : 船舶の仮想重量
- V : 船舶の接岸速度
- L : 係船岸に平行に測った接触点から船舶重心までの距離
- r : 水平面での船舶重心を通る鉛直軸まわりの回転半径で通常船長の $1/4$ をとる

また、仮想重量は付加重量と排水重量との和で式(1.2)で与えられる。

$$W_b = W_a + W_d \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

ここに、

- W_a : 船舶の付加重量
- W_d : 船舶の排水重量

さらに、付加重量は式(1.3)で与えられる。

$$W_a = \frac{\pi}{4} d^2 L w \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

ここに、

- d : 船舶の吃水
- L : 船 長
- w : 海水の単位体積重量

式(1.2)によると、一般に満載したタンカーの付加重量は排水重量の0.5~0.6倍となる。

一方、既往の付加重量に関する研究成果によると、^{4), 5) 6), 7), 8), 9)} 表-1.1に示すような値が提案されており、これらはいずれも式(1.2)から求まる値よりも大きい。また、表-1.1の数値は提案者によってかなり異なっていること、また、かなり幅のある値となっていることから、有効接岸エネルギーの算定にあたって、どの値を用いるか判断に苦しむこととなる。

付加質量は、主として余裕水深、けい船岸の構造(透過性か否か)、ドルフィンや防舷材のバネ常数の大きさなどに影響されるものと考えられる。

以上のことから、1975年末から大型の模型タンカーを用いて、接岸力の模型実験を行うこととした。

表-1.1 船舶接岸時の仮想重量の既往の研究成果

提案者	仮 想 重 量
元 良	1.9 ~ 2.2 W_d
長 沢	1.9 ~ 2.1 W_d
藤 野	2.1 ~ 3.6 W_d
若 桑	1.3 ~ 2.2 W_d
Grim	(1.3 + 1.8 D/B) W_d
Saurin	(1.0 + 2.0 D/B) W_d

W_d : 船舶の排水重量

* 前構造部海洋構造研究室長
 ** 構造部海洋構造研究室長
 *** 構造部海洋構造研究室

2. 船舶接岸力実験の概要

2.1 船舶接岸力実験装置

使用した実験水槽は、港湾技術研究所内にある、長さ

20 m, 幅 20 m, 深さ 1.0 m の中型平面水槽である。実験装置の概要は、図-2.1 に示すとおりで、この水槽の一部に設置された。

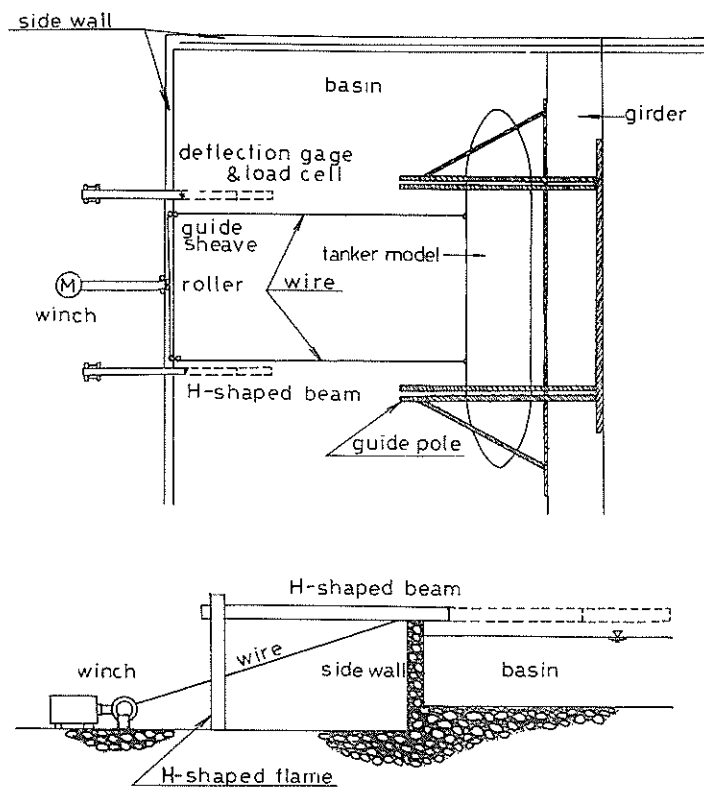


図-2.1 実験水槽及び実験装置の配置

模型船をけん引するためのけん引装置は、電動モーター、減速機及びドラムから構成されている。電動モーターは、出力軸回転数が80～2,500 r.p.m, 減速機は、減速率1/60である。また、ウィンチドラムは口径100 mm, 幅400 mmで、ワイヤーの引き出しに便利なように溝がついている。このけん引装置のウィンチドラムからけん引用のワイヤーが、実験水槽側壁に設置したローラー及びガイドシーブを経て、模型船体側面に取り付けられている半円状のフックに結ばれる。けん引用のワイヤーは、直径5 mmのステンレス製ワイヤーで2本である。実験を繰り返し行ううちに、5 mm ステンレスワイヤーは硬く、吃水が浅い実験では不都合となったので、船体側面フックから10 cm ぐらいをナイロン製の細いロープ

をつないだ。けん引装置には、ワイヤーの引張り速度を検出するための速度計がついており、最大3 cm/secまで検出することができる。

接岸部には、接岸速度や接岸角度を検出するための変位計と接岸力を検出するための荷重計がある。これらはいずれも水槽のコンクリート製側壁から張り出しているH形鋼の上に取り付けられている。H形鋼は3種類の長さのものがあり、これを取りかえることによって、側壁から接岸部までの距離が20 cm, 130 cm及び200 cmの3種類に変えることができる。

変位計はストローク長が440 mmのもので、ホイットストーンブリッジの一部に線輪を介し、インダクタンス変化を起こさせる方式である。模型防舷材としては、コイ

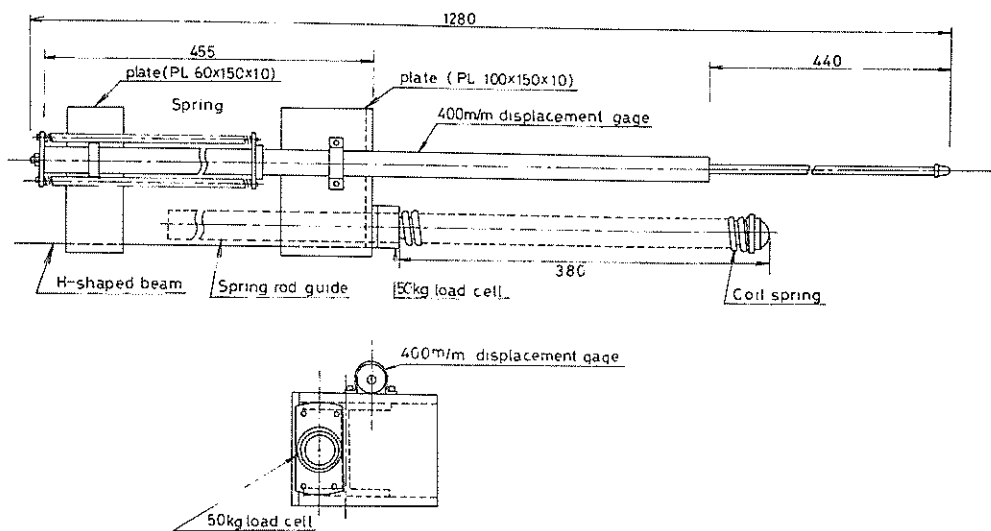


図-2.2 変位計及び接岸力検出装置

ルスプリングを用いることとし、スプリング常数は 12.8 kg/cm と 25 kg/cm の 2 種類を使用した。そして、これらのスプリングの後ろに 50 kg の圧縮型荷重計を取り付け、スプリングコイルに作用する接岸力を測定した。変位計とスプリングコイルの詳細は図-2.2 に示した通りである。

模型船は、接岸するとき変位計のロッドにまず接触し、さらに模型船が近付くと模型防舷材であるスプリングコイルに衝突することになる。模型船は、けん引しているとき、主としてローリングやヨーイングの回転運動を起こしがちである。そこで、船位を制御するために、水槽に常置してある走行ガードの 2 箇所鉄製のパイプを 2 本ずつとりつけ、この 2 本のパイプの間に模型船の甲板上から立てた棒鋼を通し、できる限り回転運動を抑えるようにした。

模型船舶は、50 万トンタンカーの 1/50 の港研丸で、図-2.3 に示すような形状、寸法で、長さ 728.9 cm、幅 132 cm、深さ 80 cm、満載吃水 60 cm である。模型船舶は吃水の変動によっても重心位置が大きく変化しないように、断面で見ると三区画に分かれている真中の区画にバラスト水を注水するようになっていて、このバラスト水の調節によって、余裕水深を種々に変えることができることになる。

このほか、船舶の片側面の垂直及び平行方向にスケールを張りつけた。平行方向のスケールは接岸点を読みとるためである。また、垂直方向のスケールはローリング等の大きさをみるためである。ローリング振幅が 15 cm 以上になると実験を中止するなど、できる限り回転運動の影響が入らない状態で実験することとした。

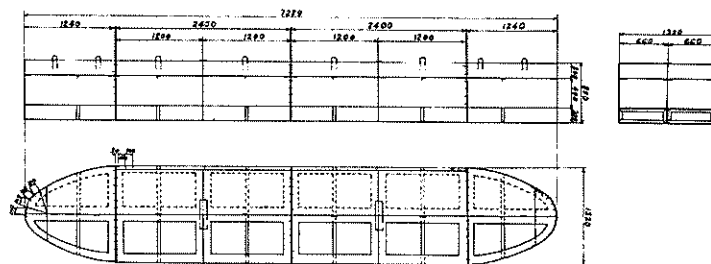


図-2.3 模型船舶

2.2 船舶接岸力実験の相似則

幾何学的縮尺を n_L とすると、

$$n_L = \frac{l_m}{l_p} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

l_p : 現物の長さ

l_m : 模型の長さ

である。その他の縮尺は、幾何学的縮尺は歪がないものとして、水理パラメーターはフルード則により、接岸部および船舶の外形状は幾何学的縮尺に合わせて求めた。したがって、幾何学的縮尺 n_L と、時間の縮尺 n_t 、バネ常数の縮尺 n_k 、力の縮尺 n_f 、速度の縮尺 n_v との関係は以下のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} n_t &= n_L^{0.5} \\ n_k &= n_L^2 \\ n_f &= n_L^3 \\ n_v &= n_L^{0.5} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

実際の接岸速度 5 cm/sec, 10 cm/sec, 15 cm/sec は実験では 0.7 cm/sec, 1.4 cm/sec, 2.1 cm/sec となり、非常に小さい接岸速度で模型船をけん引しなければならない。

2.3 船舶接岸力実験の方法と実験ケース

模型船を走行ガードーに取りつけてあるパイプにセットし、水面が静かになってから、けん引装置を駆導させる。模型船はパイプ部分を出て、接岸部に近づき、遂には変位計のロッドに接触する。さらに模型防舷材に衝突する 1 cm 程度手前で、けん引装置の駆導を止め、完全に船を自由に接岸させるようにする(図-2.4, 図-2.5)。

すでに述べたように、付加質量に影響を与える要因は、余裕水深、岸壁の構造および防舷材のバネ常数であると考えられるので、これらを種々変えることにした。実験ケースおよびそのデータの一覧は付録として巻末に掲載する。表中、最初のアルファベット A, B, C, は、側壁か

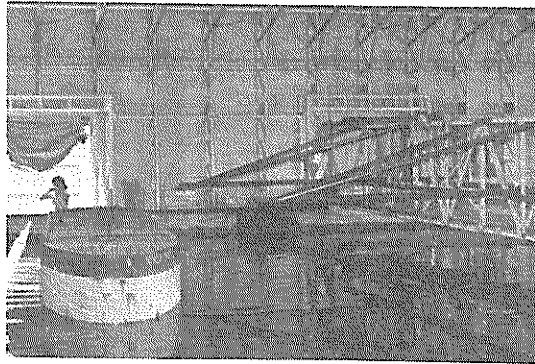


図-2.4 船舶が接岸する直前

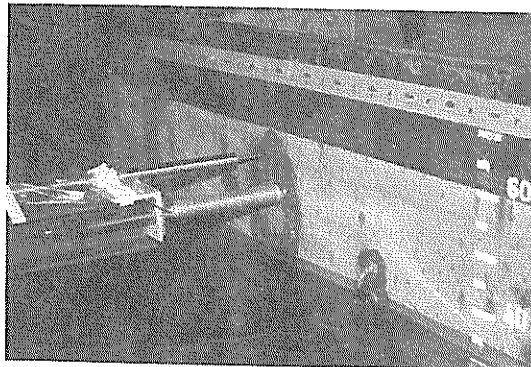


図-2.5 船舶接岸時

ら防舷材の接触点までの距離がそれぞれ、20 cm, 130 cm, 200 cm を、次のアルファベット X, Y はバネ常数 12.8 kg/cm, 25 kg/cm を、次の数字 1, 2, 3, ……は H/d がそれぞれ 1.10, 1.25, 1.50, 2.00, 2.50 を、最後の数字は実験番号を示す。

防舷材としてのコイルバネは、各実験ケースとも 2 例のみ船首および船尾に設置したが、その他は船首のみの片バネとした。

水深は 65 cm とし一定とした。水深吃水比 H/d は、1.10, 1.25, 1.50, 2.00, 2.50 の 5 種とした。岸壁構造は A, B, C, の 3 種とし、構造 A は側壁からの距離が 20 cm であり重力式の岸壁を、構造 B は側壁からの距離が 130 cm で、約船幅程度離れており、棧橋、ドルフィンなどを代表する。構造 C は側壁からの距離が 200 cm であり、側壁の影響を受けないものと考えた。

接岸部のバネ常数は、実際のベースにおける防舷材とプレスティングドルフィンのバネ常数から、12.8 kg/cm (現地換算 3200 t/m), 25 kg/cm (現地換算 6250 t/m) の 2 種類とした。接岸速度は 0.7 cm/sec (5.0 cm/sec) 1.4 cm/sec (10 cm/sec), 2.2 cm/sec (15.6 cm/sec) を目安とした。各実験ケースにおける吃水および排水重量の一覧は表-2.1 に示すとおりである。

表-2.1 各実験ケースの吃水と排水重量

実験ケース	H/d	吃水 cm	排水重量 kg
AX1, AY1	1.10	58.4	5.07×10
AX2, AY2	1.25	52.3	4.54
AX3, AY3	1.50	43.9	3.81
AX4, AY4	2.00	32.1	2.79
AX5, AY5	2.50	26.3	2.28
BX1, BY1	1.10	58.2	5.05×10^3
	1.10	57.9	5.03
BX2, BY2	1.25	51.0	4.43
BX3, BY3	1.50	41.7	3.62
BX4, BY4	2.00	31.9	2.77
BX5, BY5	2.50	25.1	2.18
CX1, CY1	1.10	59.0	5.12×10^3
CX2, CY2	1.25	52.0	4.51
CX3, CY3	1.50	43.4	3.77
CX4, CY4	2.00	32.6	2.83
CX5, CY5	2.50	26.1	2.27

3. 船舶接岸力の実験結果

3.1 船舶の接岸速度と接岸力との関係

防舷材による吸収エネルギーは、

$$E = \frac{P^2}{2K} \dots\dots\dots (3.1)$$

で表わされる。

ここに、

E : 吸収エネルギー

P : 船舶接岸力

K : 防舷材などのバネ常数

である。

式(3.1)を式(1.1)に代入すると接岸力と接岸速度の関係式として次式を得る。

$$P = \alpha \sqrt{\frac{KWd}{g} \cdot \frac{1}{1 + (\frac{L}{r})^2}} V \dots (3.2)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{Wv}{Wd}} \dots\dots\dots (3.3)$$

α は仮想質量係数 C_v の平方根として定義される。

$$C_v = \alpha^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

式(3.2)より、接岸力は速度に比例し、バネ常数および仮想重量の平方根に比例することがわかる。式(3.2)の

$$\frac{1}{1 + (\frac{L}{r})^2} \dots\dots\dots (3.5)$$

は集中係数であり、 L は船舶重心から接岸点までの距離で岸壁法線に平行に測る。 r は船舶の船舶重心を通る鉛直軸まわりの回転半径で、通常船長の $\frac{1}{4}$ 程度である。この船の場合は 183 cm とした。

付録に示した全データについて実験ケース毎に式(3.2)の関係を図示すると 図-3.1 から 図-3.15 のようになる。明らかに接岸力をバネ常数、排水質量および集中係数の平方根で除した値は接岸速度に比例しており、式(3.2)の方法で仮想質量係数が定義しうることが実証された。

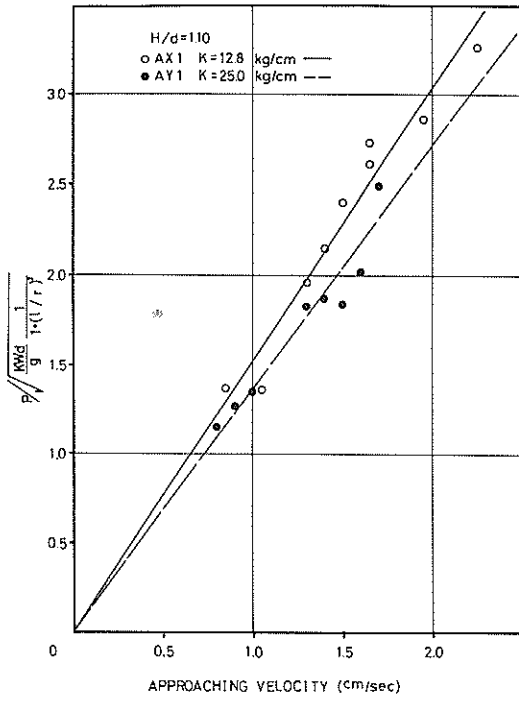


図-3.1 接岸速度と接岸力との関係 (AX1, AY1)

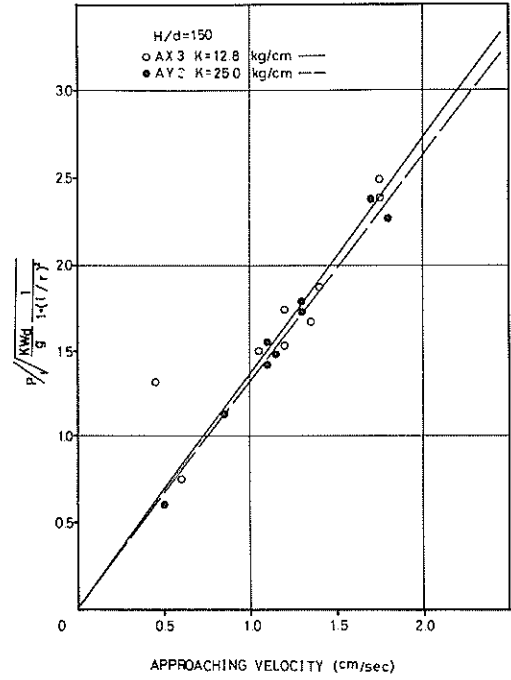


図-3.3 接岸速度と接岸力との関係 (AX3, AY3)

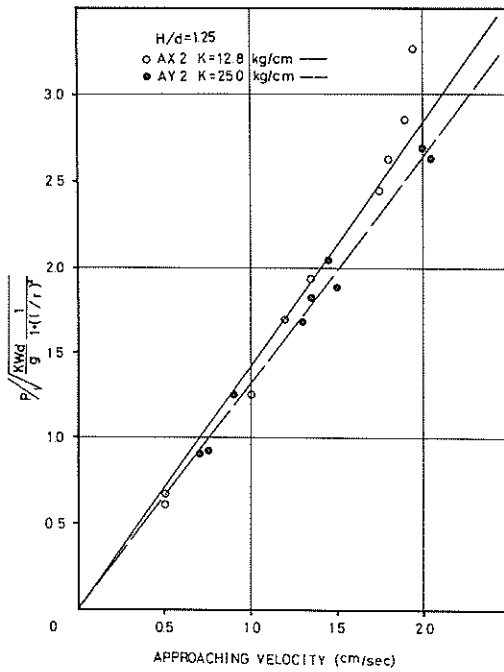


図-3.2 接岸速度と接岸力との関係 (AX2, AY2)

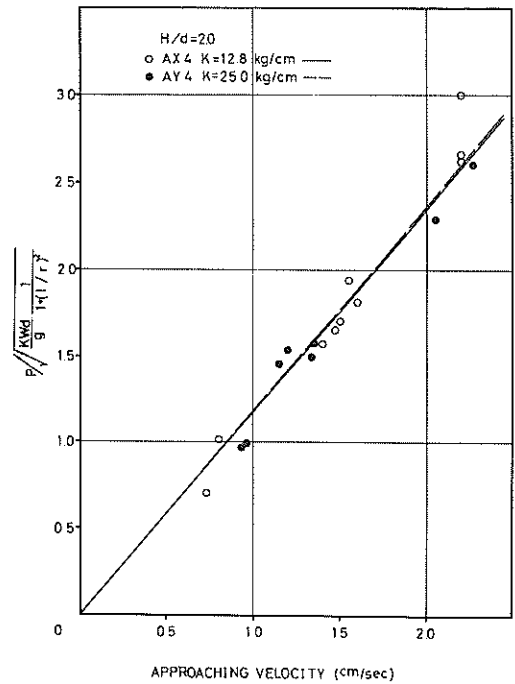


図-3.4 接岸速度と接岸力との関係 (AX4, AY4)

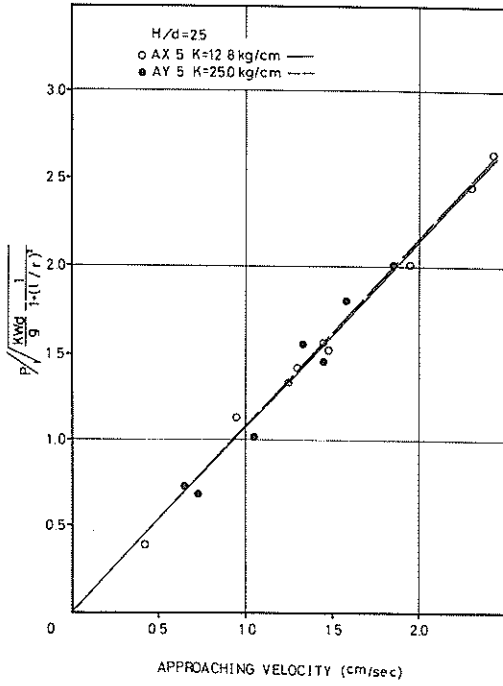


図-3.5 接岸速度と接岸力との関係 (AX5, AY5)

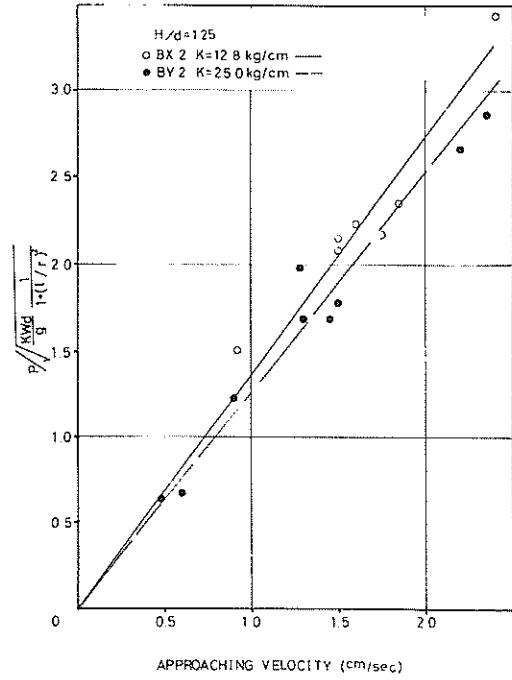


図-3.7 接岸速度と接岸力との関係 (BX2, BY2)

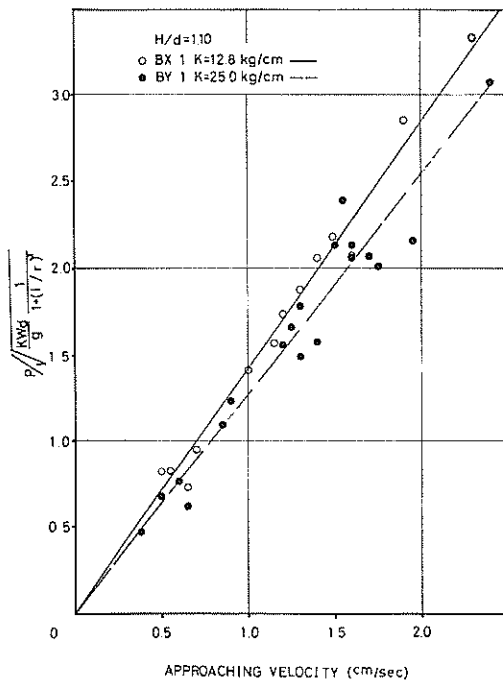


図-3.6 接岸速度と接岸力との関係 (BX1, BY1)

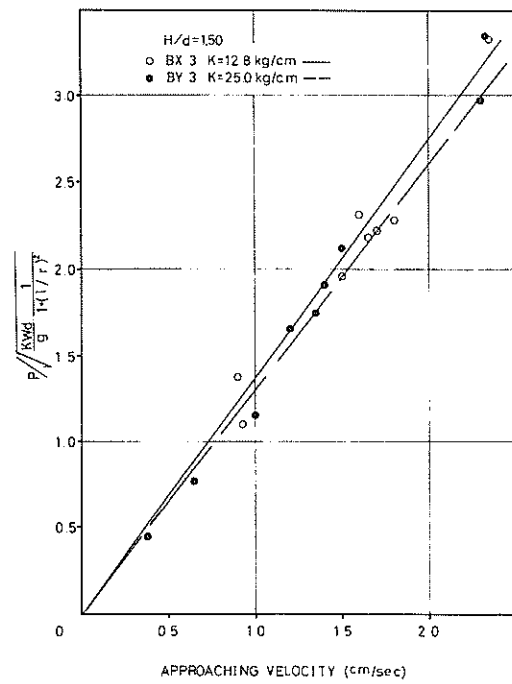


図-3.8 接岸速度と接岸力との関係 (BX3, BY3)

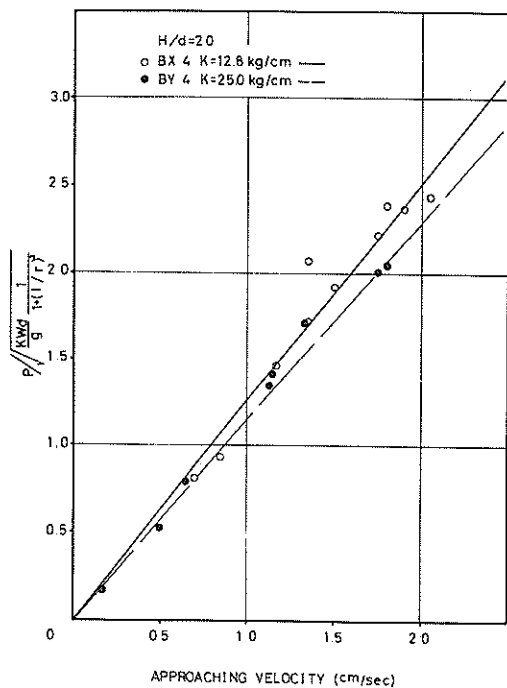


図-3.9 接岸速度と接岸力との関係 (BX4, BY4)

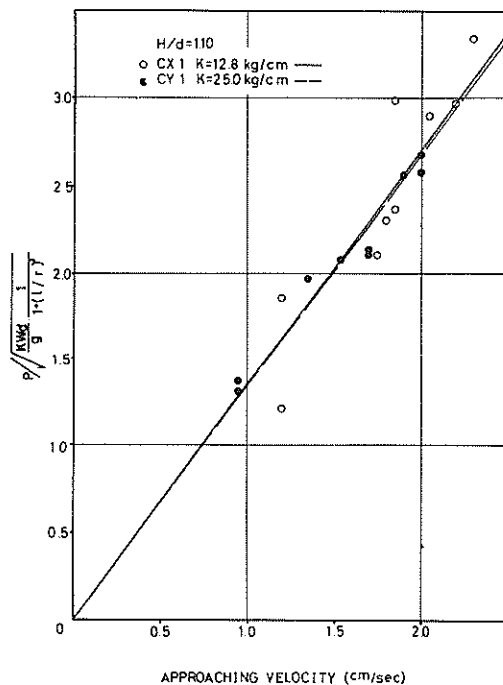


図-3.11 接岸速度と接岸力との関係 (CX1, CY1)

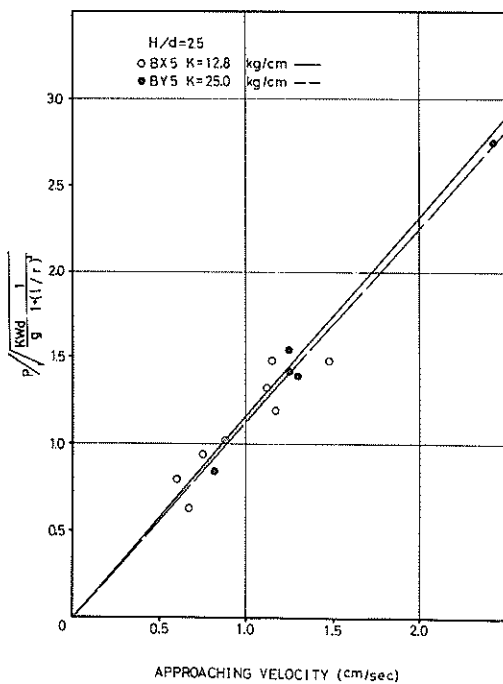


図-3.10 接岸速度と接岸力との関係 (BX5, BY5)

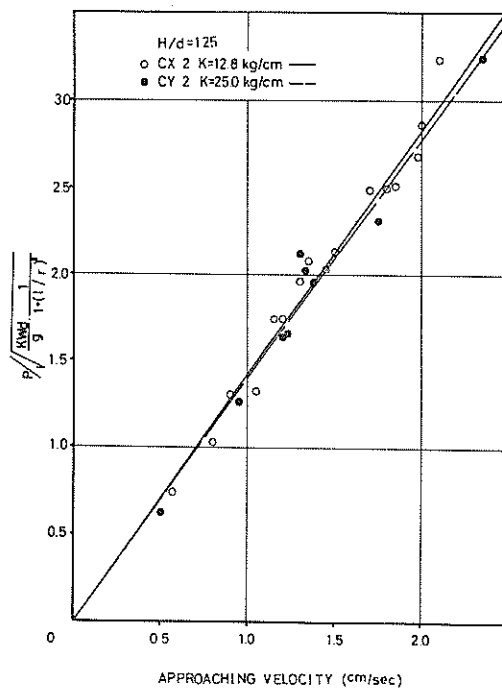


図-3.12 接岸速度と接岸力との関係 (CX2, CY2)

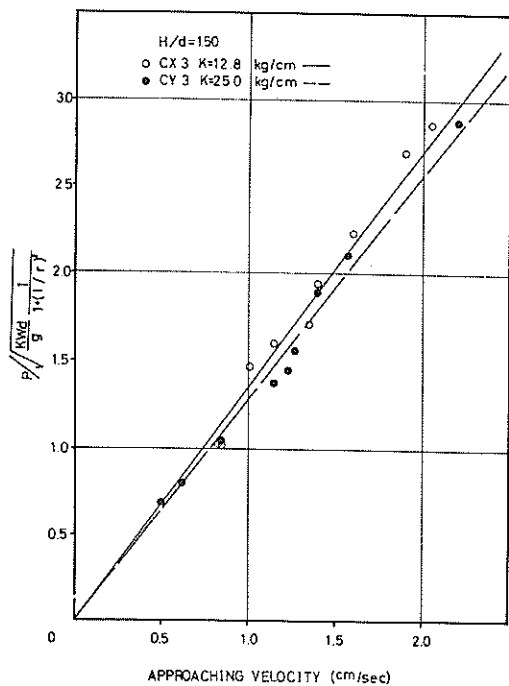


図-3.13 接岸速度と接岸力との関係(CX3, CY3)

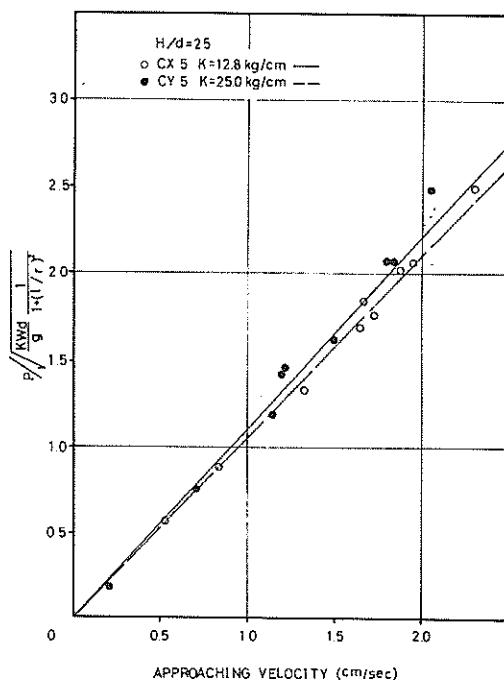


図-3.15 接岸速度と接岸力との関係(CX5, CY5)

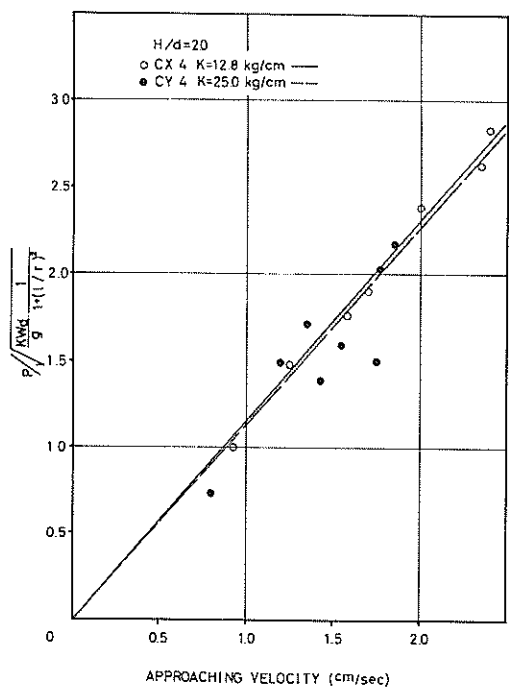


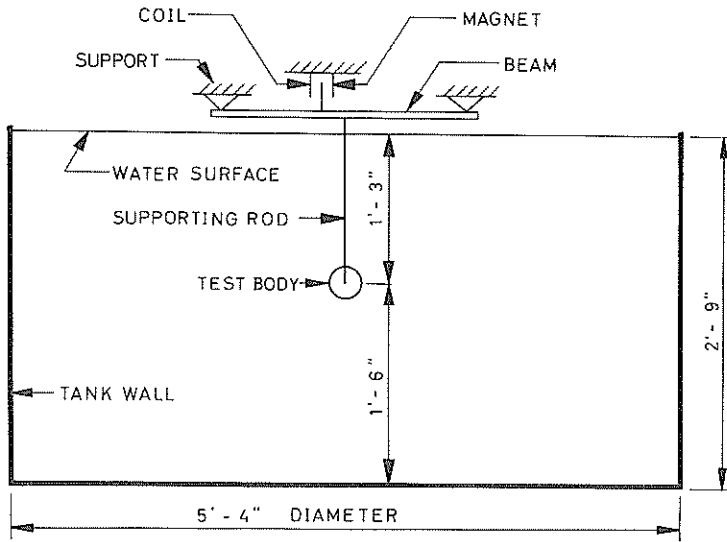
図-3.14 接岸速度と接岸力との関係(CX4, CY4)

4. 考 察

4.1 ステルソンの実験¹⁰⁾との比較

ステルソンとメイビスは、図-4.1に示すような実験水槽で供試体を上下方向に振動をさせ、この固有周期を空気中での振動実験の固有周期と比較し付加質量係数を求めた。その結果は図-4.2に示すとおりである。図中、矩形板とあるのは、矩形の薄い板（幅2インチから3インチ、長さ2インチから8インチ、厚さ0.0625インチ）

であり、これを板面に対し鉛直方向に振動させた（図-4.3）。このときの板の排水質量は板の幅を直径とする円柱の排水質量とした。また、図-4.4には正方形の断面を持つ平行六面体を断面に直角方向に振動させた場合の付加質量係数と六面体の厚さ（振動方向の長さ）と幅（断面の1辺の長さ）の比との関係を示した。この場合の排水質量は六面体の断面の1辺を辺長とする立方体の排水質量とした。図-4.5では、六面体の厚さが幅の長



APPARATUS FOR MEASURING ADDED MASS.

図-4.1 ステルソンの付加質量実験装置

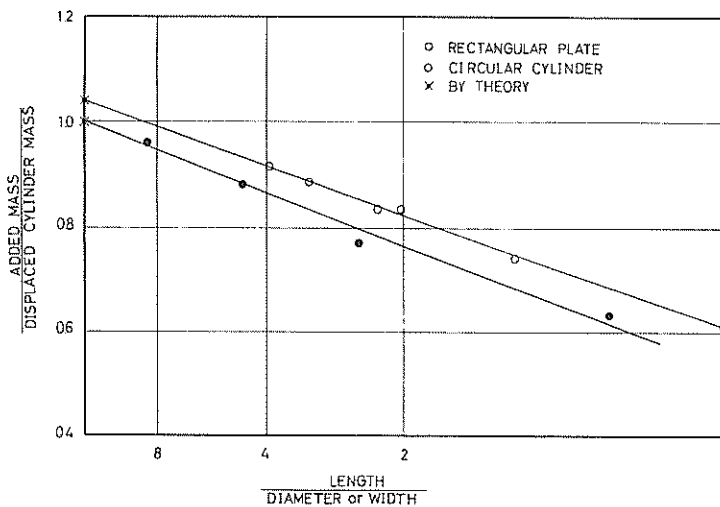


図-4.2 円柱及び板の付加質量係数（ステルソン）

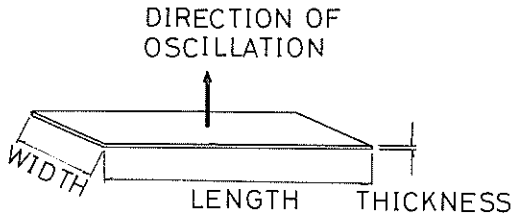


図-4.3 板の振動方向(ステルソン)

さを上回る場合については排水質量は実際より小さく見積られている。丁度立方体のとき、すなわち、厚みと幅との比が1のときは、付加質量係数は0.67程度である。図-4.2の結果と比較するために、板の厚さを0.0625、幅を2インチとして、厚さと幅の比が約0.03のときの付加質量係数を図-4.4から読みとると約0.49となる。図-4.2で幅と長さが同一のときの値は0.62であるから実験ケースによるデータのバラツキがある。

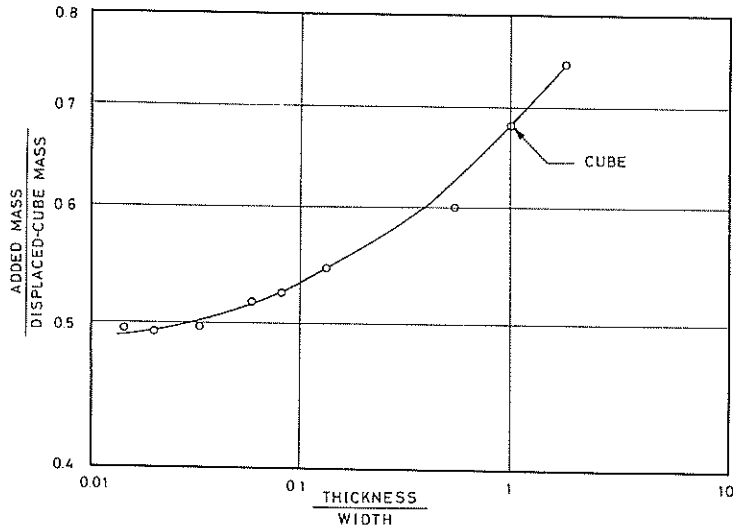


図-4.4 平行六面体の付加質量係数

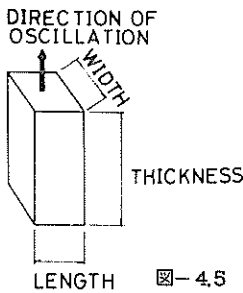


図-4.5 平行六面体の振動方向(ステルソン)

この実験結果は次のように考えることができる。図-4.2からは円柱の長径と同じ長さの幅をもつ板の付加質量は、円柱の場合の付加質量の約1.05倍である。しかも、長さが幅に比して大きくなると付加質量係数は1前後になる。したがって、船舶のようなものの付加質量は、厚みの効果を無視すると、吃水を直径とする円柱の付加質量と考えて大差ない。船舶の長さの比は概ね8以上であるから、付加質量を直径を吃水とする長さL(船長)

の円柱の排水質量と考える得る。つぎに厚みの影響を調べてみる。厚みと幅が同一、即ち立方体の場合は付加質量係数は0.67であるが、厚みが幅の2倍になると付加質量係数は0.75となる。ただし、この場合の付加質量係数は排水質量とし立方体の排水質量をとっているの、この分を考慮すると六面体の実排水質量に対する付加質量係数は0.38となり随分小さくなる。図-4.2を参考にして長さと幅の比の効果を考えれば、長さと幅の比が8以上のときに実排水量の0.65程度の付加質量係数を得ることができる。ステルソンの実験では長さと幅の比及び厚みと幅との比を同時に考慮した実験例がないので、上述の考察はあくまで推測の域を出ない。また、ステルソンの実験では水深吃水比、側壁、バネの影響などが考慮されていない。したがって、筆者等の実験結果と直接比較することはできないが、水深吃水比が1.10であるような一般のけい船岸では、ステルソン流の付加質量の計算値はその下限を与えるものと考えてよい。

4.2 長沢の船舶接岸の実験¹⁾との比較

長沢の実験のうち、水深吃水比 H/d と仮想質量係数 C_v との関係を図-4.6に示す。 H/d が 2.5 以上であると、 C_v は 1.9 程度で一定となる。筆者等の今回の実験では、 H/d が 2.5 以上のケースの実験を行っていないが、長沢の実験の最小 $H/d = 1.22$ のときの C_v は長沢が 2.1、筆者等がほぼ 2.0 であるから比較的良好一致をみる。

側壁の影響と仮想質量係数との関係は図-4.7に示す。長沢は側壁の影響については筆者等より多くの実験ケースを行っているが、この場合の水深吃水比が 13.3 と大きく、現実の岸壁とは異なる。長沢の実験では側壁の影響が多少みられるが、筆者等の実験では水深吃水比が 1.25 以上の場合は、仮想質量係数に与える側壁の影響はほとんどない。

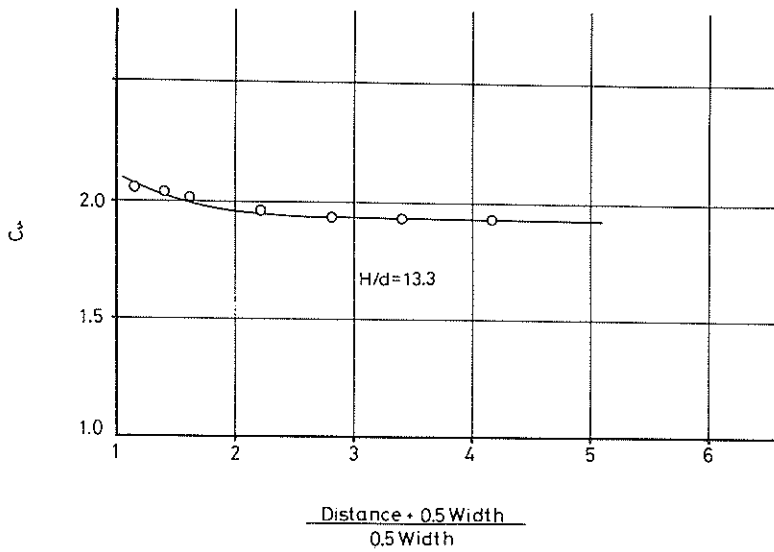


図-4.6 長沢による C_v と側壁の影響との関係

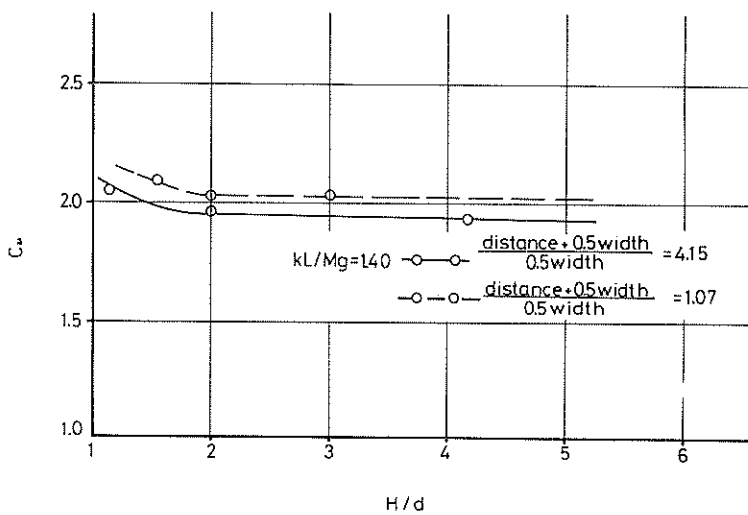


図-4.7 長沢による C_v と H/d との関係

4.3 現地観測結果との比較

図-4.8に京葉シーバースと鹿島シーバースにおいて実測した結果を示す。計算接岸エネルギーに対する実測接岸エネルギーの比は平均 2.02 であり、この差がすべ

て付加質量に起因するとすると、現行設計法では $W_v = 1.5 W_d$ であるから、実測の仮想質量は約 $3.0 W_d$ となり、仮想質量係数は模型実験より大きい 3.0 となる。

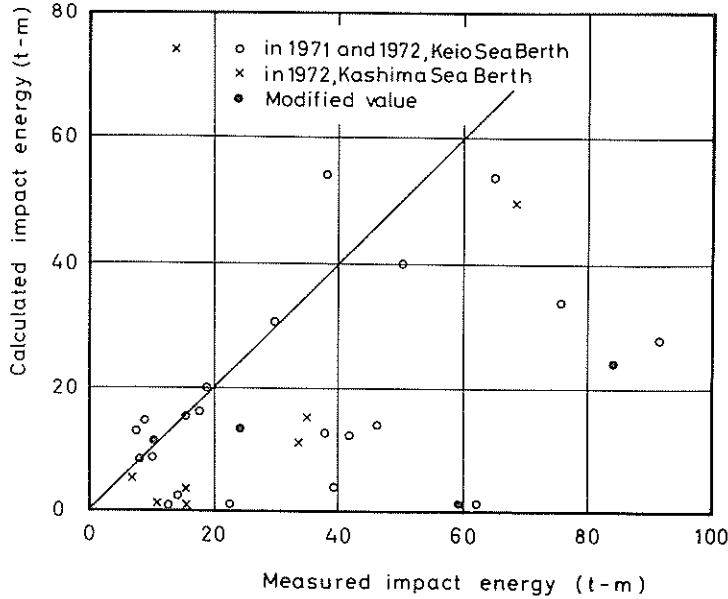


図-4.8 計算による接岸エネルギーと観測値との比較 (1973, 1974)

表-4.1 設計事例の検討

クイ寸法・地盤条件など	バウリン吸収エネルギー (E_d) t-m		フェンダー吸収エネルギー (E_f) t-m		全吸収エネルギー (E_t) t-m		$W_v = 1.5 W_d$ $V = 15 \text{ cm/sec}$ 有効接岸エネルギー		$W_v = 2.0 W_d$ $V = 15 \text{ cm/sec}$ 有効接岸エネルギー		$W_v = 3.0 W_d$ $V = 15 \text{ cm/sec}$ 有効接岸エネルギー		$W_v = 4.0 W_d$ $V = 15 \text{ cm/sec}$ 有効接岸エネルギー		対象船舶
	許	弾	許	弾	許	弾	許	弾	許	弾	許	弾	許	弾	
Case 1 STK41, $\phi 1500 \text{ m/m}$ 9本, $l = 24 \text{ m/m}$ $h = 25.5 \text{ m}$, $k_A = 2 \text{ kg/cm}^3$ (50 g/cm^3)	許	26.0			許	356.0	許	○	許	×	許	×	許	×	250,000 DWT
	弾	65.9	330	弾	395.9	330	弾	○	440	弾	×	660	弾	×	320,000 DT
	塑	233.6	($2500 H \times 2000 L$)	塑	563.6		塑	○		塑	○		塑	×	
Case 2 SM 50, $\phi 1900 \text{ m/m}$ 9本, $l = 24 \text{ m/m}$ $h = 51.5 \text{ m}$, $k_A = 1 \text{ kg/cm}^3$ (20 g/cm^3)	許	82.7			許	412.7	許	○	許	×	許	×	許	×	250,000 DWT
	弾	279.6	330	弾	609.6	330	弾	○	440	弾	○	660	弾	×	320,000 DT
	塑	1,167.0	($2500 H \times 2000 L$)	塑	1,497.0		塑	○		塑	○		塑	○	
Case 3 STK41, $\phi 1800 \text{ m/m}$ 9本, $l = 24 \text{ m/m}$ $h = 25.5 \text{ m}$, $k_A = 2 \text{ kg/cm}^3$ (50 g/cm^3)	許	26.4			許	506.4	許	○	許	○	許	×	許	×	250,000 DWT
	弾	63.0	480	弾	543.0	330	弾	○	440	弾	○	660	弾	×	320,000 DT
	塑	283.2	($2500 H \times 2000 L$)	塑	763.2		塑	○		塑	○		塑	×	
Case 4 STK41, $\phi 1900 \text{ m/m}$ 12本, $l = 29 \text{ m/m}$ $h = 41.0 \text{ m}$, $k_A = 1 \text{ kg/cm}^3$ (85 g/cm^3)	許	88.9			許	568.9	許	○	許	○	許	×	許	×	250,000 DWT
	弾	218.4	480	弾	698.4	330	弾	○	440	弾	○	660	弾	×	320,000 DT
	塑	891.5	($2500 H \times 2000 L$)	塑	1,371.5		塑	○		塑	○		塑	○	

4.4 設計事例に対する検討

以上の考察のように仮想質量が従来想定した値よりかなり大きいと、船舶およびバースに与える影響は極めて大である。表-4.1は、仮想重量を排水トンの1.5倍、($W_v = 1.5W_d$)、設計接岸速度15 cm/secで設計した25万D.W.T.船舶を対象とするドルフィン形式のシーバースについて、 $W_v = 2.0W_d$ 、 $W_v = 3.0W_d$ 、 $W_v = 4.0W_d$ の場合についてその安全度を検討したものである。Case 1からCase 4は、クイの寸法、根入れ長、地盤反力係数、使用防舷材などをかえた計算例である。地盤反力係数のカッコ内の値は、久保の方法で横抵抗を計算する場合の係数である。この計算例では塑性領域の検討は久保の方法で行われている。

例えば、Case 2では $W_v = 2.0W_d$ の場合は、クイ応力は許容応力度を越える。さらに、 $W_v = 3.0W_d$ の場合は、クイ応力は弾性域を越える。破壊の順序はまず杭頭が降伏、ついで塑性ヒンジとなり、その後地中部の最大モーメントが降伏について塑性ヒンジ発生モーメントに達する。表中 $M_{top} = M_p \sim M_{max} = M_y$ とは応力状態がこの範囲内にあるという意味である。また、各応力状態は○又は×で表示しており、×はその範囲を越えたことを示す。

また、反力は927 tに達し、3.2m×2.6mの受圧板で等分に受けるとしても衝撃強度は111 t/m²となる。一般にタンカーの船側の外板強度は30 t/m²が限度であるので極めて危険である。

5. 結 論

船舶接岸力の模型実験の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 水深吃水比 H/d は仮想質量係数に大きな影響を及ぼし、 $H/d = 1.10$ では $C_v = 2.31 \sim 1.61$ であるが $H/d = 2.5$ では $C_v = 1.35 \sim 1.10$ となる。
- (2) 側壁の影響はほとんどなく、 $H/d = 1.25$ 以上の場合は構造型式の相異による C_v の差はない。 $H/d = 1.10$ の場合には、構造型式 A では $C_v = 2.31 \sim 1.85$ であるが、構造型式 C では $C_v = 1.85 \sim 1.82$ である。
- (3) バネ常数の影響は前2者の要因に較べはるかに小さい。この影響も水深吃水比が1.10のときに現われるが、その場合でも構造型式 C ではほとんど影響がない。
- (4) 実際の岸壁では $H/d = 1.10$ 前後であり、この場合の仮想質量係数は構造型式 A で2.31程度、構造型式 C で1.61程度である。いずれにしても従来の計算式の係数を上回る。

謝 辞

本実験の企画準備に関し、船舶技術研究所・長沢 準 船体構造部長、港湾技術研究所・林構造部長、港湾局海城整備課・大谷博包補佐官から有益な助言をいただいた。防波堤研究室の諸氏には実験に対し多大の便宜を図っていただいた。実験データの整理の多くは、市川 建元 研究員(現、山梨県)、東海大 宮下 貢君、研究員の小島 晃君、佐藤喜一君に負うところが多い、また、設計基準部の諸氏からは有益な討議を得た。ここに心から謝意を表したい。

(1977年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 大谷博包, 上田 茂, 市川 建, 杉原賢正: 大型タンカーの接岸力調査, 港湾技術研究所資料 No. 176, 1974年3月.
- 2) 大谷博包, 堀井修身, 上田 茂: 大型タンカーの接岸力に関する一考察, 第21回海岸工学講演会論文集, 1974年, pp. 459~463.
- 3) 溝口正仁, 中山種清: 船舶接岸力調査, 港湾技術研究所資料, No. 170, 1973年9月.
- 4) 元良誠三: 船体運動に対する付加質量および付加質量モーメントについて—その3, 左右動に対する付加質量, 造船協会論文集, 第106号, 1959年7月.
- 5) 長沢 準: 接岸時の船体損傷防止に関する研究第1報, 第2報, 接岸時の船体運動と接岸圧力, 造船協会論文集, 第106号, 1959年7月.
- 6) 藤野正隆: 制限水路における船の操縦性について, 造船学会秋季講演会, 1968年11月.
- 7) 若桑 訥: 船舶の接岸力について, 船舶技術研究所報告 Vol. 1・1, 1964年1月.
- 8) Grim, O.: Das Schiff und der Dalben, Schiff und Hafen, Sept. 1955.
- 9) Saurin, R. F.: Berthing Forces of Large Tankers, World Petroleum Congr., Frankfurt-Main, 1962.
- 10) Stelson, T. E., Mavis, F. T.: Virtual Mass and Acceleration in Fluids, Proc. ASCE, 1955.
- 11) 前出 5).
- 12) 前出 1), 2).

記 号 表

C_v	仮想質量係数
E	有効接岸エネルギー、又は吸収エネルギー
H	水深
K	防舷材のバネ常数
L	船長
P	接岸力
V	接岸速度
W_a	付加重量
W_d	排水重量
W_v	仮想重量
H/d	水深吃水比
d	吃水
g	重力の加速度
ℓ	係船岸に平行に測った接触点から船舶重心までの距離
ℓ_m	模型の長さ
ℓ_p	現物の長さ
n_x	バネ常数の縮尺
n_ℓ	幾何学的縮尺
n_t	時間の縮尺
n_r	接岸力の縮尺
n_v	接岸速度の縮尺
r	水平面での船舶重心を通る鉛直軸まわりの回転半径で通常船長の $\frac{1}{4}$
w	海水の単位体積重量
α	仮想質量係数の平方根

付録. 実験ケース一覧

実験 ケース	ハネ常数 kg/cm	H/d	排水トン	接岸点	集中係数	接岸速度	接岸刀	接岸 エネルギー	$P/\sqrt{\frac{KWd}{g} \cdot \frac{1}{1+(\frac{L}{d})^2}}$	α	C_v
AX-1	1.28	1.10	5.07×10^3	168	0.540	1.30	11.7	5.31	1.96	1.51	2.28
2				182	0.500	1.65	15.0	8.73	2.61	1.58	2.50
3				197	0.460	1.05	7.5	2.18	1.36	1.30	1.69
4				182	0.500	0.85	7.9	2.45	1.37	1.61	2.59
5				191	0.476	1.50	13.5	7.07	2.40	1.60	2.56
6				190	0.479	1.65	15.4	9.26	2.73	1.65	2.72
7				176	0.517	1.40	12.6	6.16	2.15	1.54	2.37
8				194	0.468	2.25	18.2	13.00	3.27	1.45	2.10
9				164	0.552	1.95	17.3	11.70	2.86	1.47	2.16
AY-1	2.50	1.10	5.07×10^3	178	0.511	0.90	10.3	2.13	1.27	1.41	1.99
2				194	0.468	1.00	10.5	2.19	1.35	1.35	1.82
3				186	0.489	0.80	9.12	1.67	1.15	1.44	2.07
4				200	0.453	1.50	14.1	3.95	1.84	1.23	1.51
5				172	0.528	1.60	16.7	5.61	2.02	1.26	1.59
6				182	0.500	1.70	20.0	7.91	2.49	1.46	2.13
7				190	0.479	1.40	14.7	4.29	1.87	1.34	1.80
8				187	0.486	1.45	15.7	4.93	1.98	1.37	1.88
9				197	0.460	1.30	14.1	3.95	1.83	1.41	1.99
AX2-1	1.28		4.54×10^3	183	0.497	0.50	3.29	0.42	0.606	1.21	1.46
2				188	0.484	0.50	3.59	0.50	0.670	1.34	1.80
3				185	0.492	1.75	13.2	6.76	2.44	1.39	1.93
4				179	0.508	1.35	10.6	4.40	1.93	1.43	2.04
5				180	0.506	1.20	9.27	3.36	1.69	1.41	1.99
6				185	0.492	1.90	15.4	9.26	2.85	1.50	2.25
7				179	0.508	1.80	14.4	8.05	2.62	1.46	2.13
8				198	0.458	1.95	17.0	11.3	3.26	1.67	2.79
9				187	0.486	1.00	6.73	1.77	1.25	1.25	1.56
AY2-1	2.50		4.54×10^3	170	0.534	1.45	16.1	5.21	2.04	1.41	1.99
2				192	0.473	1.50	13.9	3.87	1.88	1.25	1.56
3				181	0.503	0.70	6.9	0.95	0.904	1.29	1.66
4				180	0.506	0.90	9.6	1.83	1.25	1.39	1.93
5				184	0.495	1.35	13.8	3.78	1.82	1.35	1.82
6				193	0.471	1.30	12.4	3.08	1.68	1.29	1.66
7				185	0.492	0.75	6.9	0.95	0.914	1.22	1.49
8				179	0.508	2.00	20.6	8.51	2.69	1.35	1.82
9				190	0.479	2.05	19.6	7.67	2.63	1.28	1.64
AX3-1	12.8	1.50	3.81×10^3	181	0.503	1.35	8.37	2.74	1.67	1.24	1.54
2				187	0.486	1.05	7.63	2.27	1.50	1.43	2.04
3				190	0.479	0.90	6.43	1.62	1.32	1.47	2.16
4				179	0.508	0.60	3.74	0.55	0.744	1.24	1.54
5				183	0.497	1.20	8.67	2.94	1.74	1.45	2.10
6				185	0.492	1.40	9.27	3.36	1.87	1.34	1.80
7				190	0.479	1.20	7.48	2.18	1.53	1.28	1.64

実験 ケース	バネ常数 kg/cm	H/d	排水トン	接岸点	集中係数	接岸速度	接岸力	接岸 エネルギー	$\sqrt{\frac{P}{g} \frac{1}{1+(\frac{L}{T})^2}}$	α	C_v
AX3-8	12.8	1.50	3.81×10^3	180	0.506	1.75	12.0	5.59	2.39	1.37	1.88
9				186	0.489	1.75	12.3	5.87	2.49	1.42	2.02
AY3-1	25.0	1.50	3.81×10^3	186	0.489	0.50	4.13	0.34	0.599	1.20	1.44
2				180	0.506	0.85	7.92	1.26	1.13	1.33	1.77
3				185	0.492	1.30	12.4	3.08	1.79	1.38	1.90
4				189	0.481	1.30	11.8	2.79	1.73	1.33	1.77
5				179	0.508	1.10	10.0	2.01	1.42	1.29	1.66
6				189	0.481	1.80	15.5	4.83	2.27	1.26	1.59
7				186	0.489	1.70	16.4	5.41	2.38	1.40	1.96
8				192	0.473	1.10	10.5	2.19	1.55	1.41	1.99
9				193	0.468	1.15	10.0	2.01	1.48	1.29	1.66
AX4-1	12.8	2.0	2.79×10^3	181	0.503	2.20	11.2	4.91	2.62	1.19	1.42
2				181	0.503	0.80	4.33	0.68	1.01	1.26	1.58
3				185	0.492	1.60	7.68	2.31	1.81	1.13	1.28
4				180	0.506	1.47	7.09	1.96	1.65	1.12	1.25
5				178	0.511	1.55	8.37	2.94	1.94	1.25	1.56
6				187	0.486	2.20	11.2	4.91	2.66	1.21	1.46
7				179	0.508	2.20	12.9	6.46	3.00	1.36	1.85
8				191	0.476	0.73	2.93	0.34	0.704	0.96	0.92
9				170	0.534	1.50	7.48	2.18	1.70	1.13	1.28
10				175	0.520	1.40	6.82	1.82	1.57	1.12	1.26
AY4-1	25.0	2.0	2.79×10^3	188	0.484	1.20	8.97	1.61	1.53	1.28	1.64
2				178	0.511	1.34	8.97	1.61	1.49	1.11	1.23
3				180	0.506	1.35	9.42	1.78	1.57	1.16	1.35
4				181	0.503	2.60	23.5	11.0	3.93	1.51	2.28
5				185	0.492	0.96	5.83	0.68	0.985	1.03	1.06
6				187	0.486	0.93	5.68	0.65	0.966	1.04	1.08
7				187	0.486	1.15	8.52	1.45	1.45	1.26	1.59
8				195	0.466	2.27	15.0	4.50	2.60	1.15	1.32
9				176	0.517	2.05	13.9	3.87	2.29	1.12	1.25
AX5-1	12.8	2.5	2.28×10^3	183	0.497	1.48	5.83	1.33	1.52	1.03	1.06
2				178	0.511	0.42	1.50	0.09	0.385	0.92	0.85
3				184	0.495	0.95	4.34	0.74	1.13	1.19	1.42
4				193	0.471	1.45	5.86	1.34	1.56	1.08	1.17
5				187	0.486	1.25	5.08	1.01	1.34	1.07	1.14
6				176	0.517	1.95	8.07	2.55	2.06	1.06	1.12
7				190	0.479	1.30	5.38	1.13	1.42	1.09	1.19
8				181	0.503	2.43	10.2	4.04	2.64	1.09	1.19
9				183	0.497	2.30	9.42	3.47	2.45	1.07	1.14
AY5-1	25.0	2.5	2.28×10^3	182	0.500	0.65	3.89	0.30	0.721	1.11	1.23
2				181	0.503	3.95	26.8	14.4	4.95	1.25	1.56
3				177	0.513	1.85	11.2	2.53	2.05	1.11	1.23

実験 ケース	バネ常数 kg/cm	H/d	排水トン	接岸点	集中係数	接岸速度	接岸力	接岸 エネルギー	$\frac{P}{\sqrt{KVd} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{L}{d})^2}}}$	α	C_v
AY5-4	25.0	2.5	2.28×10^3	187	0.486	1.33	8.22	1.35	1.55	1.17	1.37
5				190	0.479	1.05	5.32	0.57	1.01	0.96	0.92
6				191	0.476	1.58	9.48	1.80	1.80	1.14	1.30
7				187	0.486	2.55	14.7	4.29	2.76	1.08	1.16
8				190	0.479	0.73	3.59	0.26	0.680	0.93	0.86
9				178	0.511	1.45	7.92	1.26	1.45	1.00	1.00
BX1-1	12.8	1.10	5.05×10^3	193	0.471	1.30	10.5	4.28	1.88	1.45	2.10
2				189	0.481	1.409	12.3	5.87	2.18	1.46	2.13
3				185	0.492	0.65	4.13	0.67	0.725	1.12	1.25
4				199	0.455	0.55	4.49	0.79	0.820	1.49	2.22
5				197	0.460	1.20	9.57	3.58	1.74	1.45	2.10
6				179	0.508	1.60	12.0	5.59	2.07	1.29	1.66
7				199	0.455	1.90	15.6	9.44	2.85	1.50	2.25
8				180	0.506	2.30	19.3	14.5	3.34	1.45	2.10
9				186	0.489	2.85	23.9	0.22	4.21	1.48	2.19
10				194	0.468	1.00	7.86	2.42	1.41	1.41	1.99
11				190	0.479	0.50	4.58	0.818	0.816	1.63	2.66
12				185	0.492	0.70	5.38	1.13	0.946	1.35	1.82
13				191	0.476	1.30	10.5	4.28	1.88	1.45	2.10
14				195	0.466	1.15	8.67	2.94	1.57	1.37	1.88
15				186	0.489	1.40	11.7	5.31	2.06	1.47	2.16
16				187	0.486	2.30	18.8	13.9	3.33	1.45	2.10
17				183	0.497	2.72	21.1	17.4	3.69	1.36	1.85
BY1-1	25.0	1.10	5.05×10^3	189	0.481	0.60	5.98	0.72	0.760	1.27	1.61
2				192	0.473	0.38	3.65	0.27	0.468	1.23	1.51
3				185	0.492	1.70	16.5	5.45	2.07	1.22	1.49
4				192	0.473	1.40	12.3	3.05	1.58	1.13	1.28
5				194	0.468	1.75	15.6	4.83	2.01	1.15	1.32
6				192	0.473	2.70	25.0	12.5	3.20	1.19	1.42
7				184	0.495	3.00	29.9	17.9	3.74	1.25	1.56
8				191	0.476	1.50	11.7	5.61	2.13	1.42	2.02
9				199	0.455	1.60	15.8	5.02	2.01	1.29	1.66
10				184	0.495	0.85	8.67	1.50	1.09	1.28	1.63
11				189	0.481	1.20	12.3	3.01	1.56	1.30	1.69
12				189	0.481	1.30	14.1	3.95	1.79	1.38	1.90
13				185	0.492	1.25	13.2	3.46	1.66	1.33	1.77
14				190	0.479	1.30	11.7	2.72	1.49	1.15	1.32
15				188	0.484	1.55	18.8	7.10	2.39	1.54	2.37
16				186	0.489	1.60	16.9	5.71	2.13	1.33	1.77
17				188	0.484	1.75	17.0	5.81	2.16	1.23	1.51
18				200	0.453	2.70	27.5	15.1	3.11	1.34	1.80
19				197	0.460	2.40	23.6	11.2	3.07	1.28	1.64
20				162	0.558	0.65	5.23	0.548	0.618	0.95	0.90
21				183	0.497	0.50	5.38	0.579	0.674	1.35	1.82
22				186	0.489	0.90	7.72	1.89	1.23	1.37	1.88

実験 ケース	パネ常数 kg/cm	H/d	排水トン	接岸点	集中係数	接岸速度	接岸力	接岸 エネルギー	$\frac{P}{\rho} \sqrt{\frac{KWd}{g}} \frac{1}{1+(\frac{L}{\lambda})^2}$	α	C_v
BX2-1	12.8	1.25	4.43×10^3	192	0.473	0.92	7.92	2.45	1.51	1.64	2.69
2				184	0.495	1.00	6.13	1.47	1.15	1.15	1.32
3				188	0.484	1.50	11.4	5.04	2.15	1.43	2.04
4				185	0.492	1.50	11.1	4.78	2.08	1.39	1.93
5				192	0.473	1.85	12.3	5.87	2.35	1.27	1.61
6				188	0.484	2.40	18.2	13.0	3.44	1.43	2.04
7				194	0.468	2.60	18.8	13.9	3.61	1.39	1.93
8				191	0.476	1.60	11.7	5.31	2.23	1.39	1.93
9				201	0.451	1.75	11.1	4.78	2.17	1.24	1.54
BY2-1	25.0	1.25	4.43×10^3	182	0.500	0.90	9.27	1.72	1.23	1.37	1.88
2				190	0.479	1.30	12.4	2.08	1.69	1.30	1.69
3				190	0.479	0.60	4.93	0.49	0.670	1.12	1.25
4				183	0.497	0.48	4.78	0.46	0.638	1.33	1.77
5				187	0.486	1.28	14.7	4.29	1.98	1.55	2.40
6				187	0.486	1.50	13.2	3.46	1.78	1.19	1.42
7				195	0.466	1.45	12.3	3.01	1.69	1.17	1.37
8				199	0.455	2.35	20.5	8.39	2.86	1.22	1.49
9				187	0.486	2.20	19.7	7.79	2.66	1.21	1.46
BX3-1	12.8	1.50	3.62×10^3	186	0.489	1.65	10.5	4.28	2.18	1.32	1.74
2				188	0.484	1.70	10.6	4.40	2.22	1.31	1.72
3				189	0.481	0.90	6.58	1.69	1.38	1.58	2.49
4				174	0.522	0.93	5.44	1.16	1.10	1.18	1.39
5				188	0.484	1.80	10.9	4.65	2.28	1.27	1.61
6				186	0.489	1.60	11.1	4.78	2.31	1.44	2.07
7				186	0.489	1.50	9.42	3.47	1.96	1.31	1.72
8				191	0.476	2.40	17.3	11.7	3.65	1.52	2.31
9				186	0.489	2.35	16.0	10.0	3.35	1.42	2.02
BY3-1	25.0	1.50	3.62×10^3	188	0.484	0.38	2.99	0.17	0.447	1.18	1.39
2				185	0.492	0.65	5.17	0.54	0.767	1.18	1.39
3				187	0.486	1.35	11.7	2.72	1.75	1.30	1.69
4				184	0.495	1.40	12.9	3.31	1.91	1.36	1.85
5				190	0.479	1.50	14.1	3.95	2.12	1.41	1.99
6				192	0.473	2.30	19.6	7.67	2.97	1.29	1.66
7				188	0.484	2.33	22.4	10.1	3.35	1.44	2.07
8				191	0.476	1.00	7.63	1.16	1.15	1.15	1.32
9				187	0.486	1.20	11.1	2.45	1.66	1.38	1.90
BX4-1	12.8	2.0	2.77×10^3	188	0.484	0.70	3.08	0.37	0.813	1.16	1.35
2				188	0.484	0.85	3.89	0.59	0.930	1.09	1.19
3				189	0.481	1.17	6.07	1.44	1.46	1.25	1.56
4				189	0.481	1.35	7.18	2.01	1.72	1.27	1.61
5				189	0.481	1.75	9.27	3.36	2.22	1.27	1.61
6				188	0.484	1.80	10.0	3.92	2.39	1.33	1.77
7				188	0.484	2.05	10.2	4.04	2.44	1.19	1.42

実験 ケース	粘性係数 kg/cm	H/d	排水トン	接岸点	集中係数	接岸速度	接岸力	接岸 エネルギー	$P \sqrt{\frac{KWd}{g} \frac{1}{1+(\frac{L}{T})^2}}$	α	C_v
BX4-8	12.8	2.0	2.77×10^3	189	0.481	1.90	9.87	3.80	2.37	1.25	1.56
9				186	0.489	1.50	8.07	2.55	1.92	1.28	1.63
10				188	0.484	1.35	8.67	2.94	2.07	1.53	2.34
BY4-1	25.0	2.0	2.77×10^3	188	0.484	1.15	7.48	1.12	1.41	1.23	1.51
2				190	0.479	1.13	7.77	1.21	1.34	1.19	1.42
3				190	0.479	0.50	2.78	0.15	0.528	1.06	1.12
4				187	0.486	0.17	0.90	0.02	0.170	1.00	1.00
5				187	0.486	0.65	0.19	0.35	0.790	1.22	1.49
6				188	0.484	1.33	10.0	2.01	1.71	1.29	1.66
7				187	0.481	1.75	11.7	2.72	2.01	1.15	1.32
8				187	0.486	3.35	20.3	8.27	3.46	1.03	1.06
9				188	0.484	1.80	12.0	2.88	2.05	1.14	1.30
BX5-1	12.8	2.50	2.18×10^3	186	0.489	1.15	5.53	1.20	1.48	1.29	1.66
2				188	0.484	1.17	4.41	0.760	1.19	1.02	1.04
3				189	0.481	0.88	3.77	0.554	1.02	1.16	1.35
4				185	0.492	0.60	2.79	0.349	0.799	1.33	1.77
5				185	0.489	0.75	3.50	0.478	0.938	1.25	1.56
6				186	0.489	0.67	2.36	0.218	0.632	0.94	0.88
7				186	0.489	1.48	5.53	1.20	1.48	1.00	1.00
8				191	0.471	2.67	12.7	6.28	3.47	1.30	1.69
9				187	0.486	1.12	4.90	0.939	1.32	1.80	3.24
BY5-1	25.0	2.50	2.18×10^3	184	0.495	1.25	8.07	1.30	1.54	1.23	1.51
2				191	0.476	1.82	4.32	0.373	0.840	1.02	1.04
3				191	0.476	3.10	19.0	7.21	3.69	1.19	1.42
4				187	0.486	2.43	14.3	4.08	2.75	1.13	1.28
5				187	0.486	1.25	7.40	1.10	1.42	1.14	1.30
6				187	0.486	1.30	7.25	1.05	1.39	1.07	1.44
CX1-1	12.8	1.10	5.12×10^3	175	0.520	1.20	7.18	2.01	1.22	1.02	1.04
2				190	0.479	1.20	10.6	4.40	1.87	1.56	2.43
3				208	0.434	1.75	11.4	5.04	2.12	1.21	1.46
4				196	0.463	1.85	16.7	11.0	3.00	1.62	2.62
5				194	0.468	1.85	13.3	6.9	2.38	1.29	1.66
6				199	0.455	2.30	18.5	13.4	3.35	1.46	2.13
7				202	0.448	2.20	16.3	10.4	2.98	1.35	1.82
8				200	0.453	2.05	16.0	10.0	2.91	1.42	2.02
9				194	0.468	1.80	13.0	6.61	2.32	1.29	1.66
CY1-1	25.0	1.10	5.12×10^3	183	0.497	0.75	10.6	2.23	1.32	1.39	1.93
2				185	0.492	0.95	11.1	2.45	1.38	1.45	2.10
3				209	0.431	2.00	19.4	7.55	2.59	1.30	1.69
4				183	0.497	1.70	17.3	6.01	2.15	1.26	1.59
5				202	0.448	1.54	16.0	5.12	2.09	1.36	1.84
6				173	0.525	1.35	16.4	5.41	1.98	1.47	2.16

実験 ケース	バネ定数 kg/cm	H/d	排水トン	接岸点	集中係数	接岸速度	接岸力	接岸 エネルギー	$\frac{P}{9} \sqrt{\frac{KWd}{1+(\frac{L}{d})^2}}$	α	C_v
7	25.0	1.10	5.12×10^3	186	0.489	1.90	20.5	8.39	2.57	1.35	1.82
8				198	0.458	2.00	20.8	8.64	2.19	1.35	1.82
9				185	0.492	1.70	17.0	5.81	2.12	1.25	1.56
CX2-1	12.8	1.25	4.51×10^3	185	0.492	1.35	11.2	4.91	2.08	1.54	2.37
2				189	0.481	1.45	10.8	4.53	2.03	1.40	1.96
3				180	0.506	1.05	7.18	2.01	1.32	1.26	1.59
4				186	0.489	0.80	5.53	1.20	1.03	1.29	1.66
5				191	0.476	1.70	13.2	6.76	2.49	1.46	2.13
6				184	0.495	1.80	13.5	7.07	2.50	1.39	1.93
7				188	0.484	1.15	9.3	3.36	1.74	1.51	2.28
8				190	0.479	2.00	15.2	9.08	2.86	1.43	2.04
9				187	0.486	2.10	17.3	16.7	3.23	1.54	2.37
10				190	0.479	0.57	3.95	0.609	0.744	1.31	1.72
11				182	0.500	0.90	7.03	1.93	1.30	1.44	2.07
12				187	0.486	1.50	11.4	5.04	2.13	1.42	2.01
13				184	0.495	1.30	10.6	4.40	1.91	1.51	2.28
14				189	0.481	1.20	9.27	3.36	1.74	1.45	2.10
15				186	0.489	1.98	14.4	8.05	2.66	1.35	1.82
16				193	0.471	1.85	13.2	6.76	2.51	1.36	1.85
CY2-1	25.0	1.25	4.51×10^3	192	0.473	1.38	14.4	4.12	1.95	1.41	1.99
2				188	0.484	1.30	15.8	4.97	2.12	1.63	2.66
3				186	0.484	0.95	9.42	1.77	1.26	1.33	1.77
4				194	0.468	0.50	4.57	0.418	0.623	1.25	1.56
5				184	0.495	1.20	12.3	3.01	1.63	1.36	1.84
6				189	0.481	1.33	15.0	4.47	2.02	1.52	2.31
7				179	0.508	1.23	12.1	3.15	1.65	1.34	1.79
8				188	0.488	1.75	17.3	6.01	2.31	1.32	1.74
9				183	0.497	2.35	20.5	12.0	3.24	1.38	1.90
CX3-1	12.8	1.50	3.77×10^3	184	0.495	0.83	5.08	1.01	1.03	1.24	1.54
2				186	0.489	0.85	4.99	0.97	1.02	1.20	1.44
3				186	0.489	1.40	9.51	3.53	1.94	1.39	1.93
4				189	0.481	1.15	7.77	2.36	1.60	1.39	1.93
5				189	0.481	1.35	8.31	2.70	1.71	1.27	1.61
6				185	0.492	2.05	14.1	7.71	2.86	1.40	1.96
7				185	0.492	1.90	13.3	6.92	2.70	1.42	2.02
8				187	0.486	1.60	10.9	4.60	2.23	1.39	1.93
9				187	0.486	1.01	7.18	2.01	1.47	1.46	2.13
CY3-1	25.0	1.50	3.77×10^3	188	0.486	0.85	7.18	1.03	1.05	1.24	1.54
2				187	0.486	1.40	12.9	3.31	1.89	1.35	1.88
3				187	0.486	0.62	5.47	0.599	0.800	1.29	1.66
4				190	0.479	0.50	4.64	0.430	0.684	1.37	1.88
5				190	0.479	1.23	9.87	1.95	1.45	1.18	1.39
6				193	0.471	1.27	10.5	2.22	1.56	1.23	1.51

実験 ケース	粘性係数 kg/cm	H/d	排水トン	接岸点	集中係数	接岸速度	接岸力	接岸 エネルギー	$\frac{P}{\rho} \frac{1}{1+(\frac{L}{T})^2}$	α	C_v
CY3-7	25.0	1.50	3.77×10^3	191	0.476	1.15	9.34	1.74	1.38	1.20	1.44
8				188	0.484	1.57	14.3	4.07	2.10	1.34	1.80
9				184	0.495	2.20	19.9	1.91	2.88	1.31	1.72
CX4-1	12.8	2.00	2.84×10^3	186	0.489	1.58	7.48	2.18	1.76	1.11	1.23
2				182	0.500	1.30	6.95	1.89	1.61	1.24	1.54
3				187	0.486	0.93	4.26	0.709	1.00	1.08	1.66
4				189	0.481	1.70	8.03	2.52	1.90	1.12	1.25
5				188	0.484	2.00	10.1	3.99	2.38	1.19	1.42
6				188	0.484	1.25	6.25	1.53	1.48	1.18	1.39
7				188	0.484	2.40	12.0	5.59	2.83	1.18	1.39
8				191	0.476	2.35	11.0	4.72	2.63	1.11	1.23
CY4-1	25.0	2.00	2.84×10^3	186	0.489	0.80	4.34	0.376	0.727	0.91	0.83
2				190	0.479	1.55	9.97	1.99	1.69	1.09	1.19
3				188	0.484	1.35	10.1	2.04	1.71	1.27	1.61
4				182	0.500	1.43	8.37	1.40	1.39	0.97	0.94
5				189	0.481	1.77	12.0	2.80	2.03	1.15	1.32
6				190	0.479	1.85	12.8	2.28	2.17	1.17	1.37
7				188	0.484	1.20	8.82	1.56	1.49	1.24	1.54
8				185	0.492	1.20	8.97	1.61	1.50	1.25	1.56
CX5-1	12.8	2.50	2.27×10^3	186	0.489	1.65	6.43	1.61	1.69	1.02	1.04
2				187	0.486	0.84	3.36	0.44	0.885	1.05	1.10
3				189	0.481	0.53	2.14	0.18	0.567	1.07	1.14
4				183	0.497	1.67	7.07	1.95	1.84	1.10	1.21
5				186	0.489	1.33	5.08	1.01	1.33	1.00	1.00
6				186	0.489	1.88	7.70	2.32	2.02	1.07	1.14
7				182	0.500	1.95	7.92	2.45	2.06	1.06	1.12
8				189	0.481	2.30	9.42	3.47	2.49	1.08	1.17
9				184	0.496	1.73	6.73	1.77	1.76	1.02	1.04
CY5-1	25.0	2.50	2.27×10^3	189	0.481	1.20	7.52	1.13	1.42	1.18	1.39
2				186	0.489	1.22	7.77	1.21	1.46	1.20	1.44
3				191	0.476	0.21	0.972	0.02	0.185	0.88	0.77
4				191	0.476	0.71	3.96	0.31	0.754	1.06	1.12
5				187	0.486	1.85	11.0	2.41	2.07	1.12	1.25
6				186	0.489	1.15	6.35	0.807	1.19	1.03	1.06
7				185	0.489	1.50	3.60	1.48	1.62	1.08	1.17
8				183	0.497	2.05	13.3	3.54	2.48	1.21	1.46
9				187	0.486	1.80	11.0	2.41	2.07	1.15	1.32

港湾技研資料 No.263

1977・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有) 葵印刷工業

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.