

大型タンカーの接岸時付加質量に関する模型実験

上田 茂*・白石 悟**・柳沢雄博**

1. ま え が き

1972 年および 1973 年に実施された、大型タンカー用シーバースにおける接岸力の現地観測およびその解析結果^{1),2)}、ならびに、一般貨物船の接岸力の現地観測結果によると、従来設計に用いられている算定式に基づいて求めた有効接岸エネルギーは、観測値に比べて小さいこと、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。

従来の算定式では、仮想質量を排水質量 M_a と付加質量 M_a の和として与え、付加質量は式 (1.1) で与える。

$$M_a = \frac{\pi}{4g} d^2 L w_0 \dots\dots\dots (1.1)$$

ここに、 d : 船舶の吃水、 L : 船長、 w_0 : 海水の単位体積重量である。式 (1.1) によると、満載タンカーの付加質量は排水質量の 0.4~0.5 倍となる。

一方、既往の付加質量に関する研究成果によると、表一1 に示すような値が提案されており、これらはいずれも式 (1.1) から求まる値よりも大きい。また、表一1

表一1 接岸時の仮想質量に関する提案値

提 案 者	仮 想 質 量
元 良	1.9~2.2 M_a
長 沢	1.9~2.1 M_a
藤 野	2.1~3.6 M_a
若 桑	1.3~2.2 M_a
Grim	(1.3+1.8D/B) M_a
Saurin	(1.0+2.0D/B) M_a

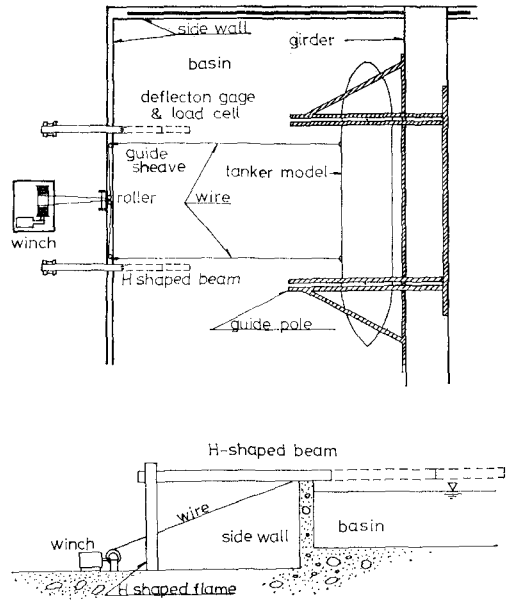
の数値は提案者によってかなり異っており、しかも、幅があるので、有効接岸エネルギーの算定にあたって、どの値を用いるか判断に苦む。

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ので、これらの要因を考慮した模型実験を行い、その結果を計算値と比較した。

2. 実験の概要

(1) 実験装置

使用した実験水槽は港湾技術研究所の、長さ 20 m、幅 20 m、深さ 1.0 m の中型平面水槽で、実験装置はこの水槽の一角に設置された。実験装置の概要は図一1 に示すとおりである。



図一1 模型実験装置

模型船は電動式のウィンチドラムでけん引される。ウィンチドラムから 2 本のワイヤーが、ローラーおよびガイドシーブを介して模型船側面の半円状のフックに結ばれる。ワイヤーは直径 5 mm のステンレス製で、模型船側の端部は 10 cm のナイロントイルをつけた。ワイヤーの引張速度は最大 3 cm/sec まで検出できる。

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を設置した。これらはいずれも水槽のコンクリート製側壁から張出した H 形鋼の上に取付けた。H 形鋼は 3 種類の長さのものを用意し、これを取替えることによって、側壁から接岸部までの距離を 20 cm、130 cm、200 cm とすることができる。

変位計のストロークは 440 mm である。また、防舷材としては、コイルスプリングを用いた。スプリング常数

* 正会員 運輸省港湾技術研究所構造部海洋構造研究室長

** 正会員 運輸省港湾技術研究所構造部海洋構造研究室

は 12.8 kg/cm と 25 kg/cm の 2 種類とした。スプリングの後方に 50 kg の圧縮型荷重計を取付け、接岸力を測定した。

模型船は 50 万トンタンカーの 1/50 のもので、長さ 728.9 cm, 幅 132 cm, 深さ 80 cm, 満載吃水 60 cm である。模型船は吃水の変動による重心の移動を少なくするため区画割をし、中間の区画に注水することにより吃水を調節する。

接岸時の模型船は、まず変位計のロッドに接触し、その後、模型防舷材であるスプリングコイルに衝突する。模型船のけん引時には、ローリングやヨーイングの回転運動を起すので、これを避け船位を保持するために、水槽上の走行ガーダーの 2 箇所に鉄製パイプを 2 本ずつ取付け、この 2 本のパイプの間に模型船の甲板上からたてた棒鋼を通し、できる限り回転運動を抑えるようにした。

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、接岸点およびローリングの大きさを読取った。ローリングによる側面の変位振幅が 15 cm 以上の場合には実験を停止するなど、極力回転運動の影響が入らない状態で実験を行った。

(2) 相 似 則

幾何学的縮尺を n_l とすると、

$$n_l = \frac{l_m}{l_P} \quad (2.1)$$

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、幾何学的縮尺に合わせて求めた。したがって、時間の縮尺 $n_t = n_l^{0.5}$ 、バネ常数の縮尺 $n_K = n_l^2$ 、力の縮尺 $n_F = n_l^3$ 、速度の縮尺 $n_V = n_l^{0.5}$ となる。なお、幾何学的縮尺 n_l は 1/50 とした。

(3) 実験の方法と実験ケース

実験はつぎの要領で行った。まず、模型船を走行ガーダーにと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動させる。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。その後、防舷材に衝突する 1 cm 程度手前でけん引装置の駆動を止め、船をまったく自由に接岸させるようにする。

付加質量に影響を与える要因として、余裕水深、岸壁の構造、および防舷材のバネ常数が考えられるので、実験ケースはこれらの諸量を種々変えた組み合わせとした。実験ケースは AX1 などと表示し、A, B, C は側壁から防舷材の接触点までの距離が、それぞれ、20 cm, 130 cm, 200 cm, X, Y はバネ常数が、それぞれ、12.8 kg/cm (現地換算 3 200 t/m), 25 kg/cm (現地換算 6 250 t/m), 数字 1, 2, ..., 5 は H/d (水深吃水比) が、それぞれ、1.10, 1.25, 1.50, 2.00, 2.50 である。接岸速度は 0.7

cm/sec (現地 5 cm/sec), 1.4 cm/sec (現地 10 cm/sec), 2.2 cm/sec (現地 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は表-2 に示すとおりである。

表-2 各実験ケースの H/d および排水量

実験ケース	H/d	吃 水 cm	排水重量 kg
AX1, AY1	1.10	58.4	5.07×10^3
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. 実験結果

(1) 船舶の接岸速度と接岸力の関係

船舶接岸時の有効接岸エネルギーは式 (3.1) で計算される。

$$E = \frac{M_0 V^2}{2} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \quad (3.1)$$

ここに、 E : 有効接岸エネルギー、 M_0 : 船舶の仮想質量、 V : 船舶の接岸速度、 l : 接岸点と船舶重心との距離の係船岸の法線上の投影長、 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。

船舶の仮想質量は、排水質量 M_d と付加質量 M_a の和として式 (3.2) で求める。

$$M_0 = M_d + M_a \quad (3.2)$$

一方、防舷材による吸収エネルギー E は式 (3.3) で与えられる。

$$E = \frac{P^2}{2K} \quad (3.3)$$

ここに、 P : 船舶接岸力、 K : 防舷材のバネ常数である。式 (3.3) を式 (3.1) に代入して整理すると、接岸速度と接岸力の関係式として次式を得る。

$$P = \alpha \sqrt{KM_d} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \cdot V \quad (3.4)$$

ここに、 α は仮想質量係数 C_v の平方根であり、次式で定義する。

$$C_v = \alpha^2 = \frac{M_v}{M_d} \quad (3.5)$$

取得データを各ケース毎に式 (3.4) に従って整理すると、例えば、図-2、図-3 に示すように、実験値は極めてよく式 (3.4) に一致する。他のケースについても同様である。したがって、船舶接岸時の仮想質量係数は式 (3.4) および式 (3.5) によって定義しうることが明らかになった。

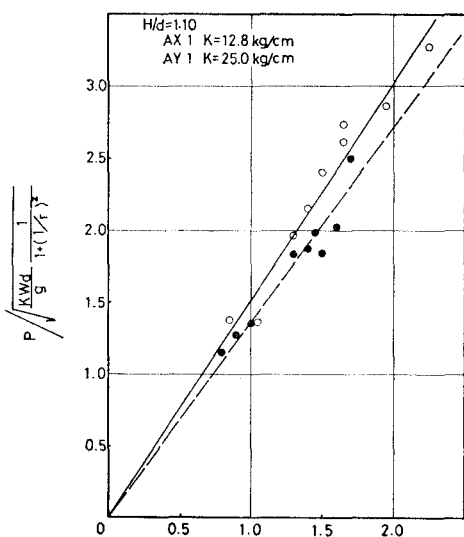


図-2 接岸速度と接岸力の関係 (AX1, AY1)

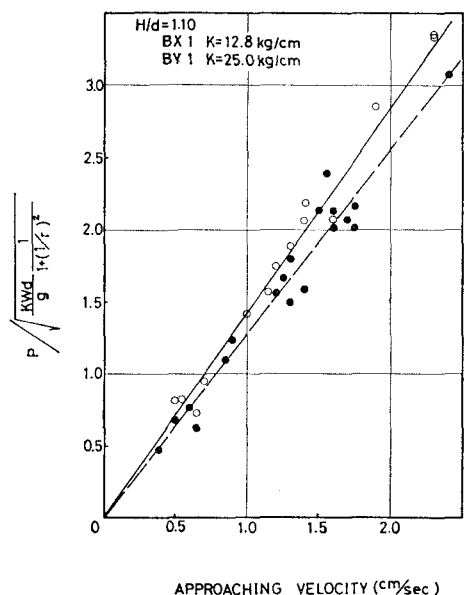


図-3 接岸速度と接岸力の関係 (BX1, BY1)

(2) 船舶接岸時の仮想質量係数

以上の結果をとりまとめ、仮想質量係数の平方根 α とその偏差値を計算すると表-3を得る。実験値は比較的

表-3 仮想質量係数の平方根と偏差値

型式バネ	H/d	1.10	1.25	1.50	2.00	2.50
AX		1.52	1.41	1.36	1.17	1.07
		(0.10)	(0.13)	(0.08)	(0.10)	(0.07)
AY		1.36	1.31	1.32	1.18	1.08
		(0.07)	(0.06)	(0.07)	(0.14)	(0.10)
BX		1.42	1.37	1.37	1.26	1.16
		(0.10)	(0.13)	(0.11)	(0.11)	(0.14)
BY		1.27	1.27	1.30	1.15	1.13
		(0.12)	(0.12)	(0.10)	(0.09)	(0.07)
CY		1.36	1.42	1.35	1.15	1.05
		(0.17)	(0.08)	(0.09)	(0.05)	(0.03)
CY		1.35	1.39	1.28	1.13	1.10
		(0.07)	(0.11)	(0.07)	(0.12)	(0.10)

バラツキが少ないといえる。また、図-4 は α と H/d との関係を示したものであるが、 H/d の影響が大きいことが分る。図-5 は α と側壁との関係を示したものであるが、側壁の影響、すなわち、構造様式の差は $H/d = 1.10$ のときに若干見られるが、 $H/d = 1.25$ 以上となるとほとんど影響がない。バネ常数の影響は H/d が小さい範囲、および、側壁距離が短い場合に大きい、そ

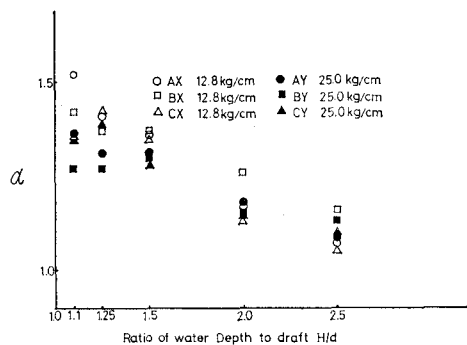


図-4 水深吃水比と α の関係

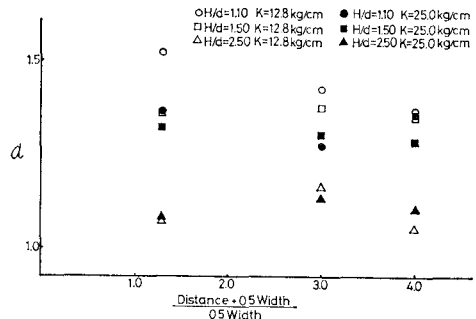


図-5 側壁距離と α の関係

の他の条件では無視しうる。

4. 考 察

以上の実験結果を、浮体の造波抵抗から計算した付加質量係数⁴⁾と比較する。造波抵抗力による付加質量係数は周期数の関数として表わされ、図-6 のようになる。

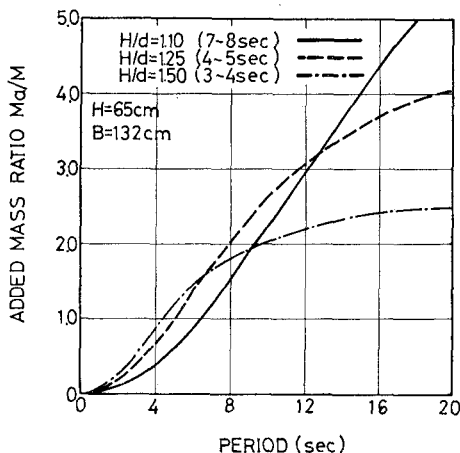


図-6 造波抵抗による仮想質量係数

図中、水深吃水比 H/d の右側に (7~8 sec) などと示した周期は、模型実験において船が接岸してから再び離れるまでの時間の2倍である。図から水深吃水比毎に、対応する周期の付加質量を読み取り、実験結果と比較すると良い一致をみる。図-6 から明らかなように、船が防舷材に接触してから停止するまでの時間(浮体の質量を M 、バネ定数を K としたときの固有周期としてもよい)

に影響される。すなわち、船の動きが緩慢なほど付加質量は大きくなる。

さて、付加質量がこの様になると、従来の算定式によるものとの比較が必要となる。模型実験の結果と(1.1)式を用いて求めた仮想質量との比をとると(4.1)式となる。

$$\frac{C_v M_a}{M_a + \frac{\pi}{4g} d^2 L w_0} = \frac{C_B C_v}{C_B + \frac{\pi}{4} \frac{d}{B}} \quad \dots\dots (4.1)$$

ここに、 C_v は仮想質量係数である。 $C_v=2.3$ として $H/d=1.1$ に対する(4.1)式の値は約1.60となり、したがって、従来の算定式による接岸エネルギーの約1.6倍の接岸エネルギーを与えることになる。ただし、 C_B は方形係数でタンカーでは0.8程度である。

6. あとがき

接岸時の船舶の仮想質量について系統的な実験が行われよい結果を得た。なお、本実験に際して、堀井修身氏、市川建氏が尽力された。ここに心から感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 大谷博包・上田 茂 他: 大型タンカーの接岸力調査, 港湾技術研究所資料, No. 176, 1974.
- 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, pp. 459-463, 1974.
- 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.
- 4) 上田 茂・白石 悟: 非線型拘束矩形断面浮体の不規則波応答計算, 第34回年講概要集.