

接岸時船舶の衝撃力と船舶の仮想質量

林 泰 造*・白井 増次郎**

1. まえがき

われわれは昭和 34 年度より継続して接岸時船舶の衝撃の問題の研究にあたっている^{1),2)}。

昨年度までに、われわれは船舶の縦方向回転、繫船施設（防衝工もふくめて）の変形、および船舶のローリングを考慮し一般理論を導き、接岸時衝撃の一般式を求めた。それによると接岸時衝撃力の最大値はつぎのようになる。

$$F_{\max} = \sqrt{\mu} \cdot \sqrt{M_y/M_0} \cdot \sqrt{cM_0} \cdot v_0 \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに

μ : 有効エネルギー比

$= \frac{\text{繫船施設が吸収すべき衝撃エネルギー}}{\text{船舶が重心であつた場合に繫船施設に加わるべき衝撃エネルギー}}$

M_0 : 船舶の質量=排水重量/g

M_y : 船舶の質量+併進運動の仮想質量 $= M_0 + M_y'$

c : 繫船施設全体（防舷材をふくむ）と船舶の各変形を合わせた合成バネ係数

v_0 : 接岸速度

船舶に縦方向回転を併わない重心点衝撃の場合にローリングによる μ の値は 0.82~0.75、通常最も多い船114点衝撃の場合は 0.87~0.83 程度となる。この値は必ずしも無視しうるほど小さくはないが、もし全く安全のためにローリングの影響を無視すると式(1)はつぎのようになる。

$$F_{\max} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2 M_0}{I_{\zeta_0}} \frac{M_y}{M_0} \frac{I_{\zeta_0}}{I_{\zeta}}}} \times \sqrt{cM_0} \cdot \sqrt{M_y/M_0} \cdot v_0 \quad \cdots \cdots (2)$$

ただし

a : 繫船岸に平行にはかった接触点から船舶重心までの距離

I_{ζ_0} : 船舶の重心を通る鉛直線まわりの慣性モーメント

I_{ζ} : I_{ζ_0} に仮想質量による増加分を加えたもの

この式により、船舶縦方向回転の影響は明確につかみ得ているというべきであろうが、他面 $F_{\max}$ の値に大きな関係を持つと考えられている仮想質量の大きさについての研究が不十分であって、この面が $F_{\max}$ の算定という問題に対して最も研究の不足していたところであろうと思われる。

図-1



$$M_y = M_0 + M_y' = 1.9 \sim 2.2 M_0$$



$$I_{\zeta} = I_{\zeta_0} + I_{\zeta}' = 2 \sim 3 I_{\zeta_0}$$



$$I_{\zeta} = I_{\zeta_0} + I_{\zeta}' = 1.05 \sim 1.15 I_{\zeta_0}$$

船舶の仮想質量についての若干の資料をひろってみると、元良助教授³⁾によれば、図-1 のようである。また、運輸省港湾局調査設計室 調査設計報告（第一報）中には Stelson の式として、つぎのものが引用されている。

$$M_y = M_0 + \frac{w}{g} \frac{\pi}{4} D^3 L \quad \cdots \cdots (3)$$

ただし

w : 水の単位容積重量

g : 重力の加速度

D : 吃水深さ

L : 船長

しかし、われわれが昨年度行なった仮想質量に関する予備的な実験によれば、測定された仮想質量の大きさはこれらの値より、なお大きくなる場合もあるように認められた。また、元良助教授の引用された値は外海における値であって接岸構造物に近い場合には、この値が相当に変わりうるものとも考えられたので、今回この仮想質量の実験を行ない、これにつき種々研究することとした。

2. 実験装置

実験水槽 (5.5 m × 8.0 m × 0.5 m コンクリート造り) および模型船は従来のものをそのまま使用した。実験装置の全体的な配置は図-2 に示される。前回までの模型

*正員 工博 中央大学工学部教授 土木工学科

**正員 大成建設KK技術研究部

図-2

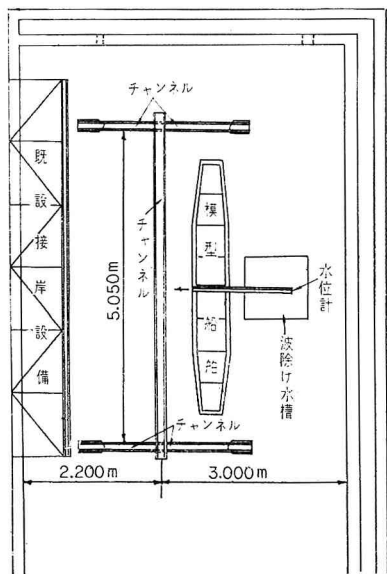
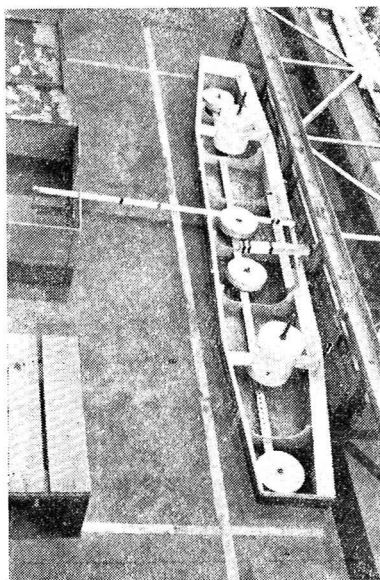


写真-1



繋船岸は実験水槽側面近くに設けられていたため、各種の測定結果は船舶接岸時に生ずる波の側壁よりの反射の影響を受けていたので、今回は新たに模型繋船岸を実験水槽中央部に移して実験を行なうこととした。

模型は、一応 60 000 D.T. の大型タンカーを対象として、その 1/50 の縮尺でほぼ幾何学的に相似に製作された鉄製のものである(写真-1)。ただし鉄製のため、その隅々は実物の模型として要求されるものよりもいくぶん角ばっている。この模型船の諸寸法はつぎのようである。

船長：4.00 m
船幅：0.560 m
船の深さ：0.300 m

船舶排水量：508.14 kg

船舶重心を通る鉛直線まわりの船舶の慣性モーメント

$$I_{c_0} = 6.8975 \times 10^3 \text{ kg-cm}^2$$

船舶重心を通り船長方向の水平軸まわりの船舶モーメント

$$I_{c_0} = 1.9537 \times 10^2 \text{ kg-cm}^2$$

船舶接岸時に生ずる繋船岸および防舷材の弾性に応ずる弾性を与えるため模型繋船岸に取りつける片持ばり状の平鉄片は2種類のものを使用した。この平鉄片のバネ係数はそれぞれ、つぎのようなものである。

$$\textcircled{1} \quad c = 0.391 \sim 0.443 \text{ kg/mm}$$

$$\textcircled{2} \quad c = 0.539 \sim 0.631 \text{ kg/mm}$$

接岸力、接岸速度および船舶のローリングなどの測定方法は従来の測定方法と全く同じであるので、ここではその記述を省略する。

3. 併進運動の仮想質量

(1) 計 算 式

実験において船舶の重心点接岸をさせると、繋船岸施設の変形 y は次式で与えられる。

$$M_y \cdot \ddot{y} + cy = 0 \quad \text{.....(4)}$$

ただし

$$M_y = M_0 + M_y'$$

したがって、この変形の 1/4 周期(変形を始めてから変形最大までの時間)は次式で与えられる。

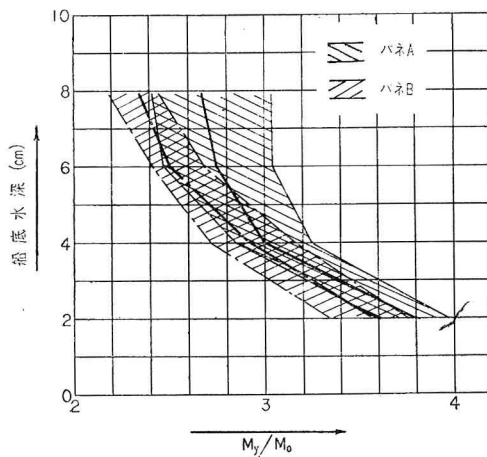
$$\frac{T}{4} = \frac{\pi}{2} \sqrt{M_y/c} \quad \text{.....(5)}$$

この式から、 c 、 T を測定して M_y を算出することができる。

(2) 測定結果

実験結果は 図-3 に示される。すなわち、 M_y/M_0 と船底水深との関係を示したものである。図中には実験に使用した2種類のバネについて M_y/M_0 の比の値の範囲とその平均値とが示されており、いずれの場合においても船底水深が減るにしたがって仮想質量は増大するこ

図-3



とが認められる。船底水深が 2 cm (実物換算船底水深 1 m) の場合, M_y の値は本実験結果によればつぎのようである。

$$M_y = 3.32 \sim 3.95 M_0$$

4. 縦方向回転の仮想質量

(1) 計算式

図-4 に示されるような船舶の重心点まわりの縦方向回転に対する船舶とバネとの振動系を考えると, つぎの運動方程式が成り立つ。

図-4

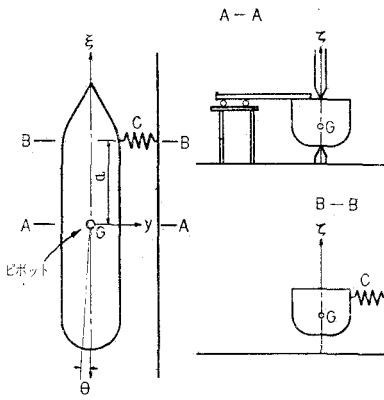
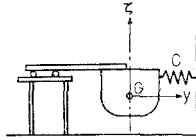


図-5

ものである。この場合にも, 船底水深が減ずるに従ってこの比の値が顕著に増加することが認められる。船底水深が 2 cm (対応実物船底水深 1 m) の場合におけるこの比の値は

$$I_c/I_{c_0} = 2.1 \sim 2.45$$

であると認められる。

5. ローリングの仮想質量

(1) 計算式

図-6 に示される座標をとるとき, 船舶のローリングに対する運動方程式はつぎのようである。

$$I_\phi \ddot{\phi} + Wk\phi = 0 \quad (8)$$

ただし

W : 船舶重量

k : メタセンター高

これから, ローリングの周期は次式で与えられる。

$$T = 2\pi \sqrt{I_\phi / Wk} \quad (9)$$

この式において W は既知であるから, T および k を測定することにより I_ϕ を算出することができる。

(2) 測定方法

船舶をローリングさせてその周期 T をはかる。また, メタセンター高 k については通常行なわれる測定方法により, 図-7 のように船舶中心軸から側方 10~40 cm の位置に重錘 (1 kg) をのせ, そのときの傾き角度 ϕ を, ポイントゲージを用いて測定し, つぎの関係式から求める。

$$(W + W')k\phi = W'x \quad (10)$$

ただし

W' : 重錘の重量

x : 模型船中心より重錘までの距離

図-6

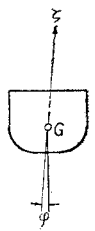
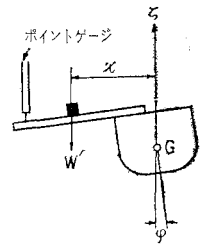


図-7



$$I_\phi \ddot{\theta} - a \cdot cy = 0$$

$$a \ddot{\theta} = \dot{y}$$

よって, この両式から θ を消去すると

$$\ddot{y} - (ca^2/I_\phi)y = 0 \quad (6)$$

これから縦方向回転の 1/4 周期は

$$\frac{T}{4} = \frac{\pi}{2} \sqrt{I_\phi / ca^2} \quad (7)$$

で与えられる。この式から, c , a , T を測定して I_ϕ を算出することができる。

(2) 測定方法

図-4 に示されるように, 船舶が縦方向回転のみを行なうように船舶の重心点を上下よりピボットにより支持する。このようにして船舶の併進運動およびローリングを阻止して模型船を回転させ, バネとの振動系の振動の 1/4 周期を測定し, 式 (7) より仮想質量を計算する。

(3) 測定結果

図-5 は I_c/I_{c_0} の比の値を船底水深について図示した

(3) 測定結果

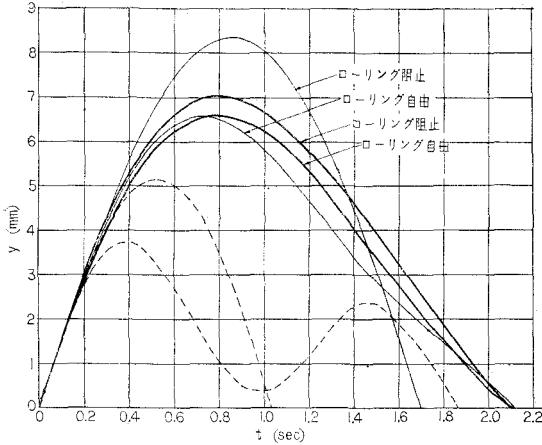
併進運動、縦方向回転の場合と同様、ローリング周期は船底水深の影響を受けて、ある程度変化するはずであるが、その影響のうけ方は前2者の場合ほどは顕著ではあるまいと考えて、船底水深 7.9 cm(実物換算 3.95 m)の場合一種類についてのみ実験を行なった。その結果、 I_{ξ}/I_{ξ_0} の値はつぎのようであった。

$$I_{\xi}/I_{\xi_0}=1.35$$

ケース	中央点接岸		離心接岸		船底水深	接岸速度	$\frac{M_y}{M_0}$	$\frac{I_{\xi}}{I_{\xi_0}}$	$\frac{I_{\xi}}{I_{\xi_0}}$	実験結果
	r 阻止	r 自由	r 阻止	r 自由						
①	×				7.9 cm (3.95 m)	1.55 cm/s(10.98 cm/s)	2.67	—	—	図—8
②		×			"	"	2.67	—	1.35	図—8
③			×		"	"	2.67	1.83	—	図—9
④				×	"	"	2.67	1.83	1.35	図—9

ただし、r はローリングの略、カッコ内数値は実物換算値

図—8



図中の太実線が実験値であり、細実線が理論値である。また破線は仮想質量をいっさい考えない場合の計算結果である。

繫船岸変形 (y) について、一般に、実験値の方が理論値より小さいのは、理論においては考慮していない摩擦の影響によるものであると考えられる。

仮想質量を考えない場合の理論曲線は実験曲線にくらべて、単にその衝撃値の大きさのみならずその衝撃の継続時間もいちじるしく異なり、これでは理論としては不適当であることがよく認められる。

7. 結 び

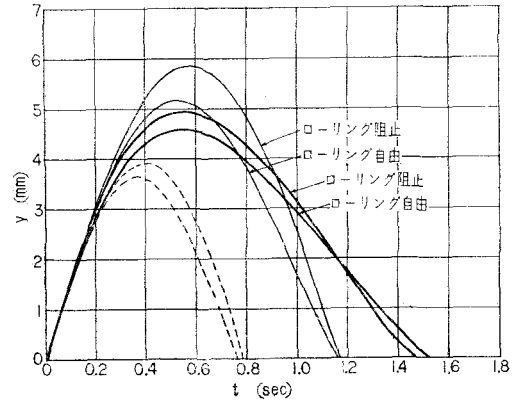
本報においては接岸時船舶の衝撃力に対して最も大きな影響を与えるものの一つは各種仮想質量であるとの観点から、各種仮想質量を定めるための実験を行なった。

6. 接岸衝撃の実験

船舶接岸時の仮想質量については前節までの実験によりその大きさが求められたので、改めて接岸衝撃の実験を行なってすでに発表した理論式による曲線と比較し、また仮想質量の影響を検討することとする。

図—8,9 は接岸衝撃の実験結果のうちの代表的な数例を示すもので、これらのケースについての要項はつぎのようである。

図—9



その結果、各種仮想質量は、船が大型化して船底水深が小になるにつれて、一般に従来考えられていたよりもかなり大きくなることが認められた。

特に、併進運動の場合に対しては、仮想質量を付加した船の全質量は、船の質量の3倍近くにもおよび、従来考えられていた 図—1 の値、あるいは Stelson の式は再検討を要するものであると認められた。今後さらに、これらの値についての検討を続けたいと考える。

本研究の遂行に終始協力せられた中央大学助教授服部昌太郎氏、および中央大学学生(卒業論文)上島辰治・古田敬一・安川正二郎の3君に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 林 泰造：接岸時の船舶の衝撃力，海岸工学講演会講演集，昭和 35 年 11 月，pp. 101—109.
- 2) 林 泰造・白井増次郎：接岸時船舶の衝撃力について(第2報)，昭和 36 年 9 月，pp. 101—106.
- 3) 元良誠三：船体運動学，共立出版，昭和 32 年.