

船舶接岸時の衝撃に関する実験報告

運輸省博多港工事事務所長 布施 敏一郎

I. 結 言

船舶が繫船岸に接岸する際の衝撃力、及び衝撃エネルギーについては、その現象が複雑なため最近まで殆んど解析されなかつたが、1953年9月に開かれた第18回 国際航路会議の論文によれば欧米諸国では相當に研究が進められ、更に繫船岸防護施設としてゴム防舷材はじめ、各種の弾性防舷材が使用されている。我国に於いてモ一昨年より、博多、神戸、横浜外敷港に於いて船舶の衝撃試験が行われ、一方ゴム防舷材も門司、横浜、横島（広島県）港等に於いて使用され、これに対する研究も盛んに行われつつある現状にある。

船舶が接岸する際のエネルギーとしては船の運動のエネルギーと更に船に伴つて運動する水の virtual mass の持つエネルギーも考慮に入れる必要がある。一方このエネルギーは次の各種のエネルギーで消費される。

- i) 岸壁の変形 ----- 岸壁の振動、波動等
- ii) 防舷材の変形
- iii) 船体の変形 ----- 船舶縦軸の撓み及び局部的弾性変形等
- iv) 船の回転及び Rolling
- v) 水の抵抗 ----- 押上げによる静水圧及び渦流抵抗等

これら船舶接岸時のエネルギーの配分の模様を確かめ、更にその際の衝撃力を求めるために実験を行つたのであるが衝撃現象そのものが複雑な上に、これの起源となる対象物、即ち繫船岸、船舶の構造が種々雑多で、しかもその各々が單純化されてないため、問題はいよいよ複雑化し、明解な結論を得るに至らなかつたが、一応実験過程とその結果を紹介する。

II. 実 験 概 要

測定場所 ----- 博多港中央埠頭 - 7.8^m岸壁及び - 9^m横棧橋

使用船舶	土運船 (積)	$M_1 = W/g = 41.6$
	(空)	$= 21.1$
	曳 船	$= 12.4$
	浚渫船	$= 153.0$

使用器具

- i) 可動線輪振動計(3個)-----岸壁上の種々な位置に配置し、岸壁の振動、波動の模様をオッシログラフに記録させた。
- ii) 銅柱圧力計-----衝嵩エネルギーを銅柱($\phi 16\text{mm} \times \ell 20\text{mm}$ 外)の圧縮量より測定するために船と岸壁の間に挿入した。
- iii) 接岸速度計-----小型の発電機を備え接岸速度を起電力に変えこれをオッシログラフに記録させた。

測定方法

図-1に示すように船を岸壁から15.6Gm曳船で離れた後、繫船柱にワイヤーを取り自動車で引寄せた。船を所定の位置で接岸させるため、図の如く角度をつけて引寄せ、一端接岸後の回転のエネルギーを求めるため、角速度を測定した。

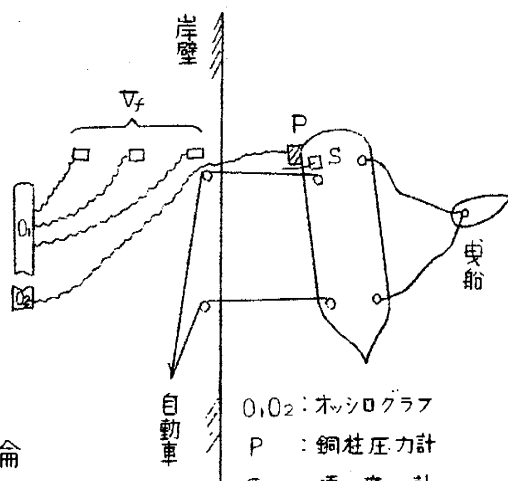


図-1 V_f : 振動計

III. 衝嵩エネルギー-衝嵩力測定の理論

A. 衝嵩エネルギーの測定

緒言に於いてのべた接岸時の各種

エネルギーの中、Rolling 及び水の抵抗により消費されるエネルギーを無視すると、

船の運動のエネルギー + virtual mass のエネルギー

二船の回転のエネルギー + 岸壁の振動、波動のエネルギー + 防舷材及び船の変形エネルギー

となり、方程式の左右のエネルギーを測定結果より求めると比較出来る。

- i) 船の運動のエネルギーは $\frac{1}{2} M_1 v^2$ であり、virtual mass の影響は船型、接岸角等により変化するが、大体船の質量の7~8割程度と推定される。
- ii) 船の回転のエネルギーは接岸点に垂直な軸に関する断面二次モーメントを I とすれば $\frac{1}{2} I \omega^2$ となる。
- iii) 岸壁の振動により吸収されるエネルギーは適当な振動の伝播域を求め、この質量を M_2 として振動の速度を v_2 とすると $\frac{1}{2} M_2 v_2^2$ と計算される。波動のエネルギーは岸壁の密度を ρ 、波動の振幅、周期、変位、及び速度を夫々 A, T, y, v_1 とすれば、

$$y = A_0 \sin \frac{2\pi}{T_0} t, \quad v_1 = \frac{2\pi}{T_0} A_0 \cos \frac{2\pi}{T_0} t$$

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho \frac{4\pi^2 A_0^2}{T_0^2} \cdot \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} (\cos \frac{2\pi}{T_0} t)^2 dt = \rho \pi^2 \frac{A_0^2}{T_0^2}$$

波動の伝播速度を c 、一連の波動の継続時間を t とし波動が球面波として伝播するものとし、その伝播域を半径 r の球体と仮定すると

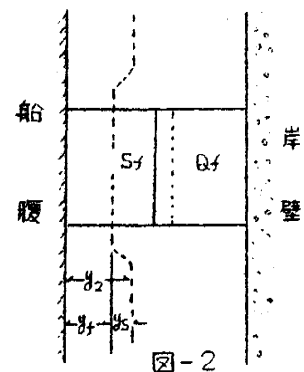
$$4\pi r^2 \rho c t \cdot (\frac{A_0}{T_0})^2 \text{ で計算される。}$$

- iv) 防舷材の変形エネルギー E_f 、船舶の変形エネルギー E_s は

図-2に於て Q_f, Q_s を夫々岸壁及び船舶の防舷材とし、船腹が接岸時に太い破線のように変ったとすれば

$$\begin{cases} C_f y_f = C_s y_s = F \\ y_f + y_s = y_2 \end{cases}$$

C_f, C_s は防舷材及び船舶の弾性定数 y_2 は速度曲線を積分するか、或は後述の微分方程式より求まる。



即ち上式より y_f, y_s が算出できるから、 $E_f = \frac{1}{2} C_f y_f^2$,

$E_s = \frac{1}{2} C_s y_s^2$ となる。

B. 衝撃力の測定

- i) 前述の防舷材及び船舶の変位より、

$$F = C_f y_f = C_s y_s$$

- ii) 船舶の質量を M_1 、接岸速度を V とし、船舶が接岸してから完全に停止する迄の時間 Δt を速度曲線から求めると

$$F = M_1 V / \Delta t$$

- iii) 衝突の偏心が無い場合には次の微分方程式を解けば求まる

$$\left(\frac{d^2 y_1}{dt^2} + \frac{d^2 y_2}{dt^2} \right) + C_2 y_2 = 0$$

$$(M_1 + M_2) \frac{d^2 y_1}{dt^2} + M_1 \frac{d^2 y_2}{dt^2} + C_1 y_1 = 0$$

但し、 M_1 : 船舶の質量

M_2 : 岸壁の質量

C_1 : 岸壁の弾性足数

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_f}$$

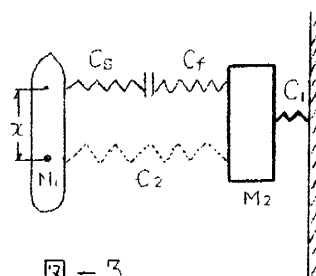


図-3

- iv) 銅柱圧力計を用いた場合には銅柱の吸収エネルギーを E_c 、銅柱の変位を S とすれば

$$F = \frac{dE_c}{dS}$$

(IV) 実験結果

A 銅柱の吸収エネルギー及び回転のエネルギーについて

- i) 図-4 は接岸速度 V と銅柱の吸収エネルギー E_c との関係を示した一例である。各船につき実験結果より関係式を算出すると

土運船 (積) の場合 $E_c = 0.325 \times \frac{1}{2} M_1 V^2$

土運船 (空) の場合 $E_c = 0.502 \times \frac{1}{2} M_1 V^2$

九州丸 の場合 $E_c = 0.418 \times \frac{1}{2} M_1 V^2$

と取り、銅柱の吸収エネルギーは船の運動エネルギーの3～5割程度である。

- ii) 図-5 は接岸速度 V と船の回転のエネルギー E_r との関係を示した一例である。実験値はすい分はらつくが接岸速度の二次函数になるものと思われる。接岸角の小さい場合 ($\theta = 1^\circ \sim 3^\circ$) は大きい場合 ($\theta = 4^\circ \sim 16^\circ$) に比して曲線の勾配がゆるやかである。

即ち接岸角の小さい場合は船艀とに挟まれた水の制動が小さく、回転速度が落ちる事が分る。

接岸速度(v)と鋼柱の吸収エネルギー(E_c)との関係

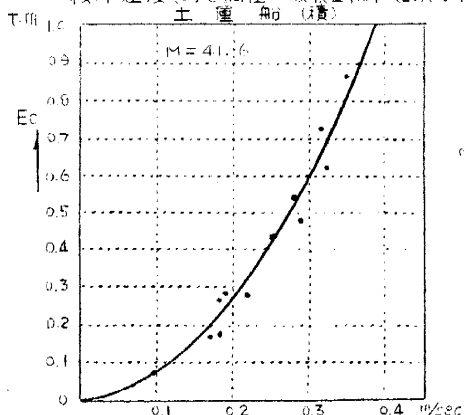


図 - 4

接岸速度と $\frac{1}{2}Iv^2$ の関係

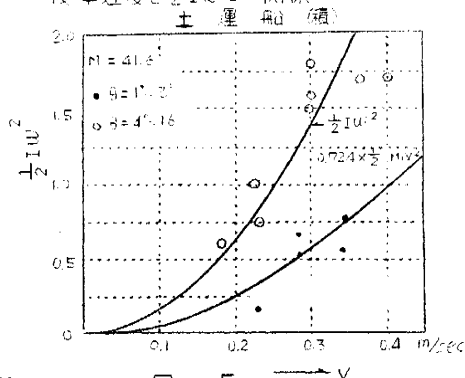


図 - 5

B. 岸壁の振動・波動について

船舶の衝突によつて岸壁には振動と同時に波動が起るオッシログラフに描かれた記録では振動の周期は0.2~0.3秒、振幅は0.01~0.02 mm 程度、波動の周期は0.01秒前後、振幅は0.005~0.01 mm 程度である。

岸壁に直交方向の振動及び波動の減衰状況を知るために振動計3個を法線より①0^m、1.5^m及び3^m 離れた場合、②0^m、2^m及び6.4^m 離れた場合について実験した。振動は3^mの点では殆んど減衰がみられず6.4^mの点でようやく減衰している。波動は大体距離に比例して減衰し6.4^mの点では殆んど消滅している。

岸壁に平行方向の振動 及び波動の減衰状況を知るために振動計を接岸点より0^m、13^m、26^m に配列して実験を行ったが振動は13^mの点では減衰していないが26^mの点ではよく減衰している。波動は大体距離に比例して減衰し、26^mの点では殆んど消滅している。

C. 速度曲線より変位量の算出について

速度計の発電機が交流発電機であつたため、記録は図-6にみられるように不規則なpeakが見られ、当初予定した smooth な曲線は得られなかつた。peakの頭を結ぶ線が接岸速度を表す。なおこの曲線を積分すると防舷材と船の変位の和 y_2 が求められる。

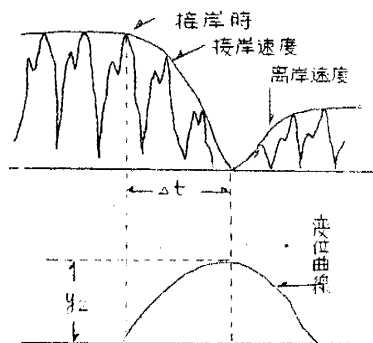


図 - 6