

I-262

船舶の衝突による防波堤ケーソンの安全性の検討

運輸省港湾技術研究所 正会員 清宮 理
 同上 研修生 正会員 ○ 酒井久和
 若築建設(株) 設計部

1. まえがき

船舶が航行する港湾区域に設置される防波堤ケーソンでは、船舶の衝突の危険性が皆無とは言えない。衝突によって防波堤ケーソンの部材が破壊してその機能が損なわれたり、船舶が大きく破損して海難事故に結びつくことが想定される。そこで防波堤ケーソンと船舶の安全性を検討する目的で、船舶の大きさと衝突時の速度を変数として船舶が防波堤ケーソンに衝突したときの両者の損害の程度を推定する。

2. 計算モデルと計算方法

防波堤ケーソン及び船舶の安全性の評価方法は、(1)静的問題として船舶の運動エネルギーと防波堤ケーソンの吸収エネルギーを比較する¹⁾、(2)動的問題として時刻毎の接触力を計算する²⁾二通りが考えられるが、ここでは、後者の動的問題として取り扱う。

図-1に防波堤ケーソンと船舶の衝突の状況を示す。ここでは船舶の船首が防波堤ケーソンへ直接衝突する状況を考える。計算モデルは、図-2に示すように防波堤ケーソンと船舶を各々質点に置換する。二質点系モデルでの力の釣合方程式を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} m_s \ddot{x}_s &= -F(x_s - x_b) \\ m_b \ddot{x}_b &= F(x_s - x_b) - F_b(x_b) \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで m_b : 防波堤の有効質量

m_s : 船舶の有効質量

x_b : 防波堤ケーソン重心の変位

x_s : 船舶重心の変位

$\ddot{x}_b$: 防波堤ケーソンの加速度

$\ddot{x}_s$: 船舶の加速度

$F(x_s - x_b)$: 接触力

$F_b(x_b)$: 防波堤ケーソンと
海底地盤（マウンド）間の抵抗力

(1)式を初期条件 ($t=0$) $x_b = \dot{x}_b = \ddot{x}_b = 0$ 、
 $x_s = \dot{x}_s = 0$ 、 $\dot{x}_s = V$ (船舶の速度) で、差分
によって解く。時間間隔は今回 0.001秒に設定する。

質点の質量は、船舶では水中部の付加質量を、防波堤ケーソンでは等価質量を考慮した値とする。防波堤ケーソンと船舶との接触力の設定では、各々破壊に至るまでの荷重変位関係の非線形性を考慮する。防波堤ケーソンの荷重変位曲線は、衝突位置に集中荷重を作用させてFEM計算により得られた結果を用いるが、ここでは破壊形態がコンクリートの圧縮破壊と考えると、図-3に示すように破壊荷重(480 tf)までとする。船舶の荷重変位曲線は以下の方法で求め、この結果を図-4に示す。

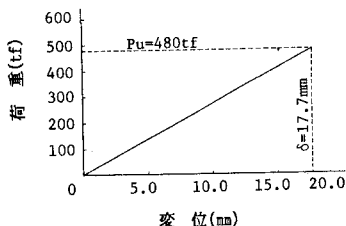


図-3 防波堤ケーソンの荷重変位曲線

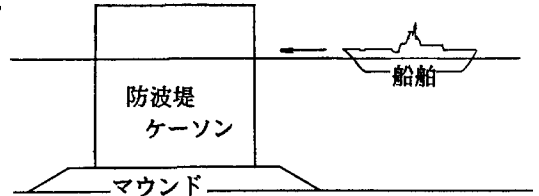


図-1 防波堤ケーソンと船舶の衝突状況

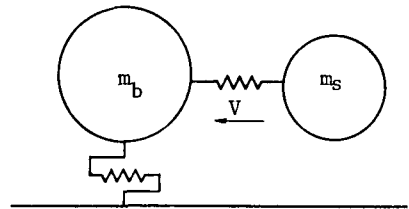


図-2 防波堤ケーソンと船舶の衝突モデル

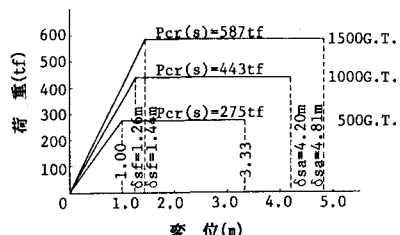


図-4 船舶（船首）の荷重変位曲線

対象船舶の諸寸法は、表-1の標準寸法値によるものとして¹⁾船舶の船首強度の算定を行う。

船首部船側外板の座屈強度は、

$$\sigma_{cr} = K_s \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \leq \sigma_y$$

船首強度（圧壊荷重）は上記の座屈強度を用いて次のように表わせる。

$$P_{cr} = 2 \cdot D \cdot t \cdot \cos \theta \cdot \sigma_{cr}$$

ここに、 $L = 50 \times \eta^{1/3}$ 、 $\eta = W/500$ 、

$$\Delta = 3.192 \times W^{0.947}, 2\theta = 35^\circ \text{ とする。}$$

$$K_s: \text{座屈係数} = \left(\frac{a}{b} + \frac{b}{a}\right)^2$$

ν : ポアソン比、 E : ヤング率

σ_y : 鋼材の降伏応力度

W : 船舶の総トン数、 Δ : 船舶の満載排水量

圧壊荷重と圧壊量の関係は、

$$F_s \begin{cases} = \frac{\delta_s}{\delta_{sf}} P_{cr} & (0 \leq \delta_s \leq \delta_{sf}) \\ = P_{cr} & (\delta_{sf} < \delta_s \leq \delta_{sa}) \end{cases}$$

ここに、 F_s : 船首に作用する荷重

δ_s : 荷重 F_s における船首部の変位量

δ_{sf} : 船首傾斜部の長さ (= L_{sf})

δ_{sa} : 船首部の許容変位量

船首部の許容変位量は、 L_{coll} の2/3とする。

3. 計算結果

船舶の総トン数を500、1000及び1500 G.T.とし、船舶の接触時の速度を防波堤ケーソンまたは船舶が破壊に至るまで変化させて計算した。

防波堤ケーソン・船舶間の接触力と地盤反力の最大値及び破壊状況の計算結果を表-2に示す。

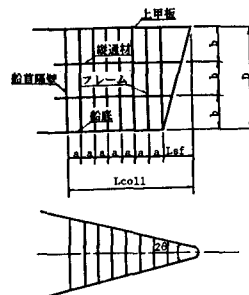
同表より、船舶の衝突速度が速くなると接触力は大きくなる。衝突速度が1.5~2.0 m/sec (3~4ノット)以上になると1000 G.T.以下の船舶では接触力がほぼ一定値となる。またこの値は船舶の船首強度に等しいので、防波堤ケーソンはほとんど破壊せず、船舶が破損すると考えられる。1500 G.T.の中型船舶では、速度1.5 m/sec (3ノット)で両者が被害を受けると考えられる。また、全ケースにおいて船舶衝突時の防波堤ケーソンの滑動量は小さく、数cmである。

参考文献

- 1) 長沢 準他: 通行船舶の橋脚衝突時の圧壊強度について、日本造船学会論文集、第142号、昭和52年11月
- 2) YIANNI MAVRIKIOS, JOAO G. DE OLIVERIA: Design Against Collision for Offshore Structures(1983.4)

表-1 船舶の標準寸法値

構造寸法	記号	標準寸法	単位
船側外板厚	t	0.82 L+2.5	mm
フレーム間隔	a	0.610	m
船首隔壁位置	L_{coll}	0.1·L	m
縦通材間隔	n	3·a	m
船首部傾斜幅	L_{sf}	0.25·D	m
船首部先端角度	2· θ	35~70	度



船首側面図

船首平面図

表-2 防波堤ケーソンと船舶の衝突状況

ケース	速度 (m/sec)	総トン数	最大接触力 (tf)	最大地盤反力 (tf)	状 船舶	況 ^{*)} ケーソン
1	0.5	500 G.T.	92.3	134.4	1	1
2	1.0		184.6	268.8	1	1
3	1.5		275.0	403.1	2	1
4	2.0		275.0	515.7	2	1
5	2.5		275.0	529.6	2	1
6	3.0		275.0	536.0	2	1
7	3.5		275.0	540.2	3	1
8	0.5	1000 G.T.	144.1	225.2	1	1
9	1.0		288.2	450.4	1	1
10	1.5		432.3	675.6	1	1
11	2.0		443.0	799.5	2	1
12	2.5		443.0	833.4	2	1
13	3.0		443.0	850.2	2	1
14	3.5		443.0	880.9	2	1
15	4.0		443.0	866.3	3	1
16	0.5	1500 G.T.	187.5	282.9	1	1
17	1.0		375.0	565.8	1	1
18	1.5		460.0	807.6	1	2

^{*)} 船舶及び防波堤ケーソンの破壊状況

