

## (4) 港湾構造物への船舶の衝突

運輸省港湾技術研究所 正会員 清宮 理

### 1. まえがき

船舶が航行する区域に設置される防波堤、岸壁等の各種港湾構造物への船舶の衝突事例は海難審判の対象になるだけでも毎年数十件に及ぶ。衝突によって港湾施設に損傷を受けるだけでなく、船舶が破損して海難事故に結びつく事例が多い。本報告では港湾構造物への船舶の衝突の実態調査の結果および船舶が港湾構造物へ衝突した場合の両者の被害程度の推定を数値計算によって行った結果について述べる。

### 2. 衝突事例

我が国の海難事故の概要については「海難審判の状況<sup>(1)</sup>」、個々の状況は「海難審判庁裁決録」から情報を得ることができる。昭和36年から昭和55年間の約20年間で港湾・海岸構造物への衝突事例<sup>(2)</sup>は474件である。衝突の状況は接岸中151件、入港中179件、航行中59件、出港中53件、錨泊(漂流)中12件である。また被衝突施設は、岸壁152件、棧橋48件、防波堤225件、その他49件である。このように衝突件数は、審判庁での取扱い件数だけでも毎年かなりの数となる。

表-1 衝突速度と船の大きさ

衝突速度	トン階							計
	不明	20未満	~100	~500	~1000	~10000	~10000以上G.T.	
0~0.5 m/sec 未満	0	2	5	13	1	0	1	22
0.5~1.0	0	1	18	23	2	1	0	46
1.0~1.5	0	1	27	59	9	1	2	102
1.5~2.0	0	5	19	45	13	6	2	92
2.0~2.5	1	4	12	24	3	1	0	46
2.5~3.0	0	2	10	18	2	1	1	35
3.0~3.5	0	3	16	20	2	1	1	44
3.5~4.0	0	7	12	10	1	1	0	31
4.0~4.5	0	3	15	6	0	0	0	24
4.5~5.0	0	0	2	11	0	0	0	13
5.0~5.5	1	0	3	5	0	0	1	10
5.5~6.0	1	1	0	0	0	1	0	3
6.0~6.5	0	0	0	1	0	0	0	1
6.5~7.0	0	0	1	0	0	0	0	1
7.0~7.5	2	0	0	0	0	0	0	2
合計	5	29	140	235	33	16	7	474

表-2 衝突角度別件数

衝撃角度 (度)	件数
不明	78
0度以上 10度未満	5
10	18
20	26
30	32
40	38
50	29
60	39
70	49
80	37
90	123
計	474

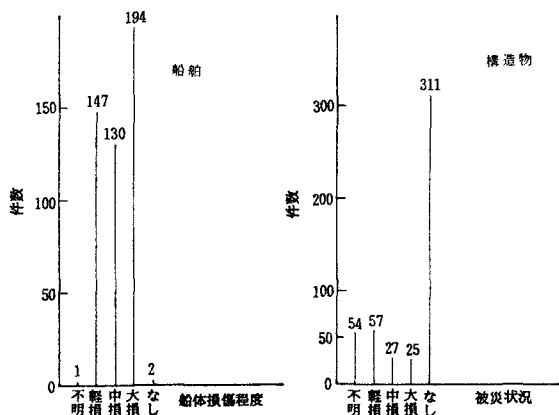


図-1 被害の程度

図-1に船体と構造物の被害程度を示す。一般的に船舶の方が、港湾構造物より被害を受け易いと言える。ここで船体の損傷で大損は破口浸水以上の被害が、中損は凹損、亀裂等を生じた被害である。構造物の大損では、ケーソンの移動、棧橋支柱が折れた等の大きな被害を、中損は構造物部材の一部に亀裂、崩れ等を生じた被害を示す。衝突時の速度と船の大きさとの関係を表-1に示す。港湾区域では10ノット未満(4.0~4.5 m/s)の速度で衝突した場合

が大半であるが、なかには約15ノットで衝突した場合もある。船舶の大きさとしては500G.T.未満が大半で比較的中型、小型な船舶での事例が多い。表-2に船舶がどの向きから構造物へ衝突したのか衝突角度を整理した結果を示す。ここで90度が船首から衝突した時である。全体的に船首方向から衝突した事例が多く船腹方向からの衝突した事例は少ないことがわかる。

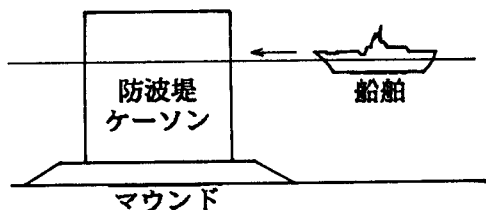


図-2 防波堤ケーソンと船舶の衝突条件

### 2.2 計算モデル

衝突事例が多い港湾施設の中で、重力式防波堤を対象に船舶が防波堤に衝突したときの両者の損害程度を推定する。推定方法として二質点系モデルを用い、動的問題として時刻毎の接触力を求める<sup>(3)</sup>。図-2に防波堤と船舶の衝突の概要を示す。船舶は船首から防波堤にある一定速度をもって接触衝突する状況を考える。この状況を図-3に示す計算モデルに置換する。防波堤一函と船舶とを各々一質点に、接触力および基礎地盤の抵抗力をバネに置換する。

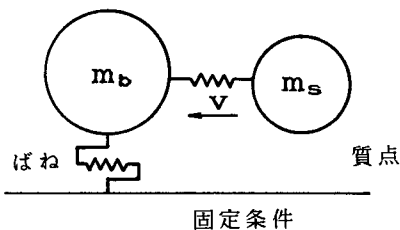


図-3 防波堤ケーソンと船舶の衝突モデル

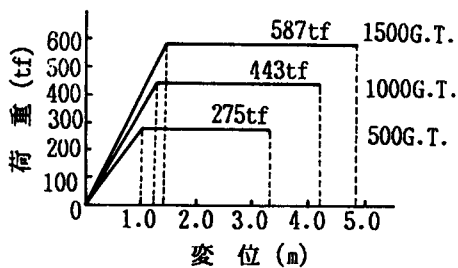


図-4 船舶(船首)の荷重変位曲線

$$m_b \ddot{x}_b + c_b \dot{x}_b = -F(x_b - x_s)$$

(1)

$$m_s \ddot{x}_s + c_s \dot{x}_s = F(x_s - x_b) - F_b(x_s)$$

ここで、

$m_b$  : 防波堤の有効質量 (水中部の付加質量係数を0.4に設定)

$m_s$  : 船舶の有効質量 (水中部の付加質量係数を0.1に設定)

$\ddot{x}$  : 加速度、 $\dot{x}$  : 速度、 $x$  : 変位 添字  $b$  は防波堤、 $s$  は船舶を示す。

$c$  : 減衰係数、 $F(x_b - x_s)$  : 船舶と防波堤の接触力

$F_b(x_b)$  : 防波堤と海底地盤 (マウンド) 間の抵抗力

(1)式を初期条件 ( $t = 0$ )、 $\dot{x}_b = \dot{x}_s = x_b = 0$ 、 $\dot{x}_s = \dot{x}_s = 0$ 、 $\dot{x}_s = v$  (船舶の速度) で数値積分を行う。積分の時間間隔を0.001秒とする。防波堤ケーソンと船舶との接触力は、各々の荷重と変位との関係を重ね合わせて求める。船舶の荷重変位曲線を図-4に示す。船首の終局強度は船首部の鋼材の座屈による圧壊強度より求める。ここに座屈強度 ( $\sigma_{cr}$ ) は(2)式、圧壊強度 ( $P_{cr}$ ) は(3)式で得られる<sup>(4)</sup>。

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

$$P_{cr} = 2 D t \cos \theta \sigma_{cr} \quad (3)$$

ここに、 $K_s$  : 座屈係数 (船首のフレーム間隔と縦通材間隔より定まる。)

$E$  : 鋼材のヤング率  $\nu$  : 鋼材のポアソン比

$t$  : 板厚  $D$  : 船首の高さ

$\theta$  : 船首部の先端角度 ( $35^\circ \sim 70^\circ$ )

また圧壊するときの船首の終局変位は船首の傾斜部の長さとして仮定する。一方防波堤の強度に関しては、コンクリート前壁の押し抜きせん断耐力あるいは曲げ耐力から設定する。この時コンクリートが圧壊もしくは鉄筋が破断するときを終局耐力とする。今回想定した防波堤は、図-5に示す二重円筒ケーソン堤<sup>(5)</sup>である。この二重円筒ケーソン堤の外円筒の終局耐力は、有限要素法により荷重を外円筒に与えて図-6のように求めた。

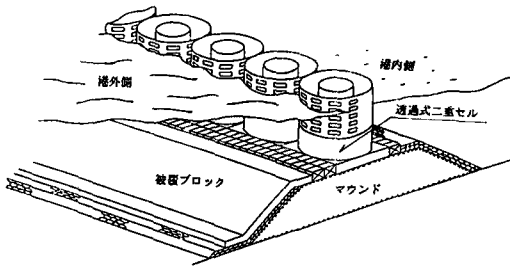


図-5 二重円筒ケーソンの概要

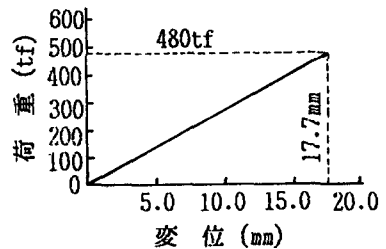


図-6 防波堤ケーソンの荷重変位曲線

### 3. 計算結果

今回計算<sup>(6)</sup>の対象とした二重円筒ケーソンは、比較的中型以下の船舶が航行する港湾区域内に設置されている。船舶の総トン数を500, 1000および1500G.T.とし船舶の航行速度を港湾区域内ということで10ノット程度以内を想定した。表-3に計算結果の一覧を示す。船舶の衝突速度が速くなると接触力は大きくなるが1.5~2.0 m/sの衝突速度以上になると船首が破壊し接触力が一定となる。被害の状況として表中の1は弾性領域、2は塑性領域、3は破壊領域をそれぞれ示す。これらの領域を図-7に示す。防波堤よりも船舶の方が損傷が大きく、一般的な被害事例とも一致する。今回の二重円筒ケーソンでは500~1000G.T.の船舶によって大きな損傷は受けないと想定される。ただし1500G.T.以上の船になると外壁が船首よりも先に破壊する結果となった。

表-3 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 況	
					船舶	ケーソン
1	0.5	500G.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	1000G.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	860.9	2	1
15	4.0	443.0	866.3	3	1	
16	0.5	1500G.T.	187.5	282.9	1	1
17	1.0		375.0	565.8	1	1
18	1.5		480.0	807.6	1	2

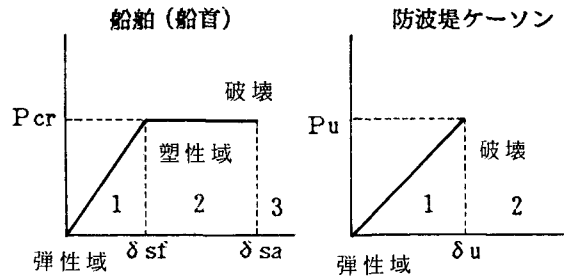


図-7 破壊状況

### 4. 結論

- (1) 船舶が港湾施設と衝突する事例は、毎年少からず発生する。船舶の航行が多い港湾地区では防波堤、岸壁への衝突事故が多くこの際500tf未満の中型船で速度としては10ノット未満が大半である。また船首から衝突する事故例が多く、船腹の衝突例は少ない。一般的に港湾構造物より船舶の方が損傷が大きい。
- (2) 防波堤(二重円筒ケーソン)と船舶の衝突のシュミレーションを質点系モデルにより行った所、比較的良く衝突事故での破壊程度の傾向を再現できた。

### 参考文献

- 1) 海難審判庁：海難審判の現況(毎年発刊)
- 2) 運輸省港湾技術研究所：船舶の衝突力調査報告書、昭和58年(内部資料)
- 3) YIANNI MAVRIKIOS, JOAO, G. DE OLIVERIA : Design Against Corrosion for Off-shore Structure, April 1983
- 4) 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
- 5) 清宮 理、酒井 久和：船舶の衝突による防波堤ケーソンの安全性の検討、土木学会第44回年次学術講演会(I部門)、平成元年10月, pp. 576-577
- 6) 清宮 理、白崎正浩：円筒型波浪制御構造物の構造開発、土木学会第43回年次学術講演会(V部門)、昭和63年10月, pp. 46-47