

船舶と港湾構造物の衝突時の挙動に関する研究

東北学院大学 学生会員 ○渡部真紀子 正会員 石川雅美
国土交通省 川守田正路 TNO オートモーティブ・ジャパン 田口幸良

1 はじめに

宮城県沖を震源とする大規模地震によって津波が発生した場合、船舶やコンテナ等が港湾構造物に衝突し、損傷することが想定される。本研究ではこのような衝突現象を質点系モデルを用いて解析し、構造物への影響を検討する。ここで対象とする船舶は500t クラスの一般によく使用される小型船で、港湾構造物はケーソンを対象とした。

なお、H17 年「沿岸部と背後地の連携による総合的な津波災害軽減方策検討調査(国土交通省東北地方整備局)」によると、宮城県沖地震が起こった際の仙台港における津波の最大流速は約 8m/s と予測されている。

2 質点系モデルによる衝突解析

図-1 に示すように、津波により流された小型船がケーソンに 8m/s で衝突するものとする。

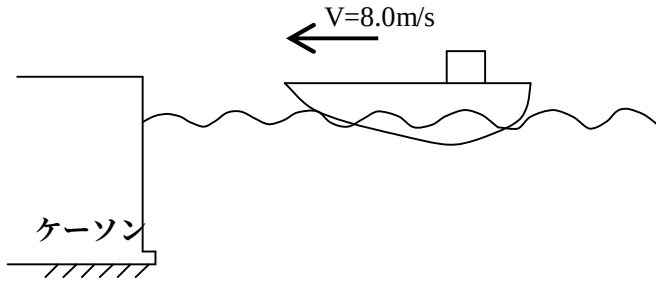


図-1：船舶の衝突方向の概念図

図-2は清宮らの報告にあるように¹⁾この現象を質点モデルで表したものであり、ケーソンおよび船舶の質量は m_c, m_s とする。船首から衝突した場合の船舶の剛性を図-3に示す。ケーソンおよび船舶の変位をそれぞれ x_c, x_s とした際の両者の運動方程式は(1)となる。

$$\begin{cases} m_c \ddot{x}_c + C_c \dot{x}_c = F(x_s - x_c) - F_c(x_c) \\ m_s \ddot{x}_s + C_s \dot{x}_s = -F(x_s - x_c) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 F_c はケーソンと地盤の摩擦力であり、 F はケーソンと船舶の接触力である。図-2における k_s, k_c, k_b はそれぞれ船舶の剛性、ケーソンの剛性、ケーソンと地盤の摩擦とする。今 k_c, k_s をひとつのバネと考えると、両者に等価なバネ剛性 k_e は

$$k_e = \frac{1}{\frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_s}} \quad (2)$$

と表すことができる。また、船舶に比べてコンクリートケーソンの剛性が極めて高いと仮定し、 $k_c \equiv \infty$ とすると、 $k_e = k_s$ となる。

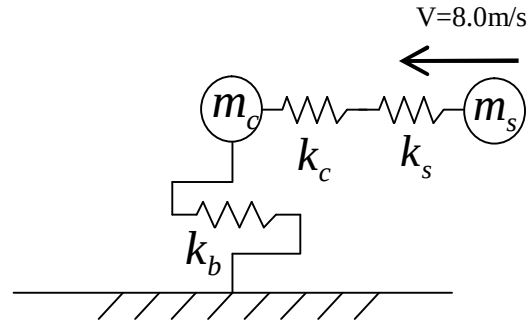


図-2：質点モデル

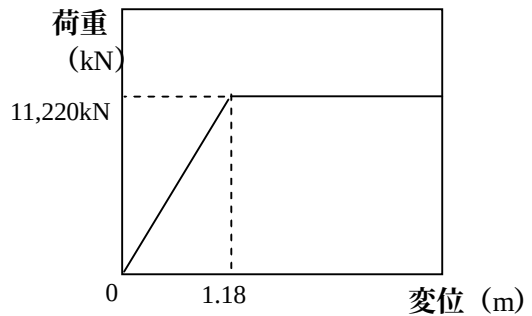


図-3：船舶の剛性

相対変位 δ を(船舶の移動量)-(ケーソンの移動量)とすると、

$$\delta (= \delta_s + \delta_c) = x_s - x_c \quad (3)$$

である(図-4 参照)。ここで δ_s, δ_c は船舶およびケーソンの変形量である。

$X = x_s - x_c$ とおくと $x_s = X + x_c$ より式(1)は、

$$\begin{cases} m_c \ddot{x}_c + C_c \dot{x}_c = F(X) - F_c(x_c) \\ m_s (\ddot{X} + \ddot{x}_c) + C_s (\dot{X} + \dot{x}_c) = -F(X) \end{cases} \quad (4)$$

となる。この式を中央差分で解くと、時刻 $(t + \Delta t)$ でのケーソンの変位 $x_c(t + \Delta t)$ は

$$\begin{aligned} x_c(t + \Delta t) = & \frac{m_c}{\Delta t^2} (2x_c(t) - x_c(t - \Delta t)) \\ & + \frac{C_c}{2\Delta t} (x_c(t - \Delta t)) + F(x) - F_c(x_c) \end{aligned} \quad (5)$$

と表すことができる。同様に、 $X(t + \Delta t)$ は

$$\begin{aligned} X(t + \Delta t) = & \left\{ m_s \left(\frac{2X(t) - X(t - \Delta t)}{\Delta t^2} + \ddot{x}_c \right) \right. \\ & \left. + C_s \left(\frac{X(t - \Delta t)}{2\Delta t} + \dot{x}_c \right) - F(X) \right\} / \left(\frac{m_s}{\Delta t^2} + \frac{C_s}{2\Delta t} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

となり、 $X = x_s - x_c$ より船舶の変位 $x_s(t + \Delta t)$ は

$$x_s(t + \Delta t) = X(t + \Delta t) + x_c(t + \Delta t) \quad (7)$$

から求めることができる。ケーソンの質量 m_c は 217.3t で、船舶の水中質量 m_s は 18.3t である。減衰定数 C_c および C_s は 0 と仮定している。

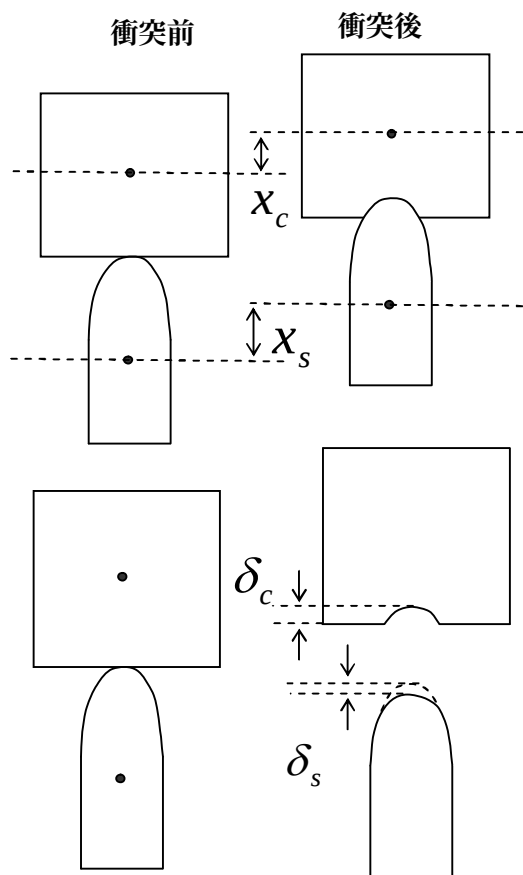


図-4：相対変位

3 衝突解析ソフトを用いた解析

図-2 の質点モデルを衝突解析ソフト Madymo*で解析し、質点系での計算の妥当性を検討する。

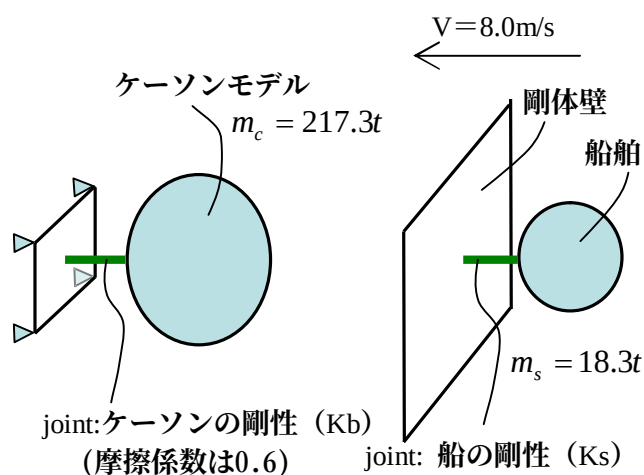


図-5：Madymo のモデル

図-5 で、船舶の質量をもつ質点に球状の面を張ったものを船舶モデルとし、ケーソンモデルも同様にした。船舶およびケーソンの剛性は質点の手前に設けている剛体壁と質点の間に設けた joint で定義して

いる。船舶側の剛体壁はケーソンモデルとの接触を均一にする目的もある。ケーソンモデル側の剛体壁とケーソンモデル間の joint で、ケーソンと地盤の摩擦係数 0.6 を定義している。質点系と同様に 8m/s で船舶モデルをケーソンモデルに衝突させたところ、次のような結果が得られた。

4 解析結果および考察

図-6 は船舶とケーソンの接触力を質点モデルと Madymo モデルで比較したものである。接触力が最大となる 0.07 秒付近では両者とも約 3,500kN となった。最大値は Madymo モデルの方が 300kN ほど上回っているがこれは接触時間の違いから差が生じたと考えられる。図-7 は、ケーソンの変位を 2 つのモデルで比較したものである。接触力最大の 0.07 秒付近でも、双方の値がほぼ一致しており 0.02m 程度であることが分かる。

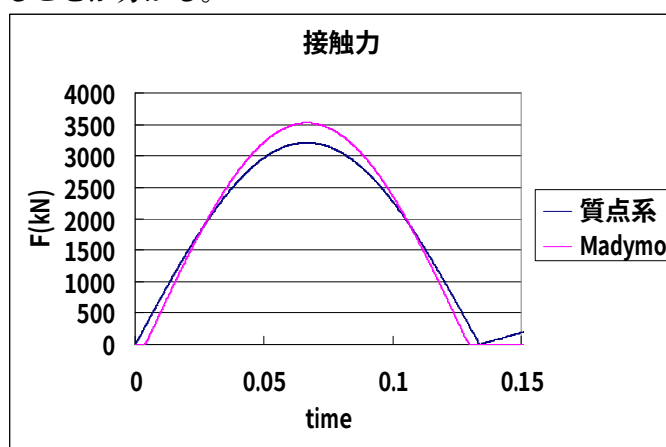


図-6：船舶とケーソンの接触力

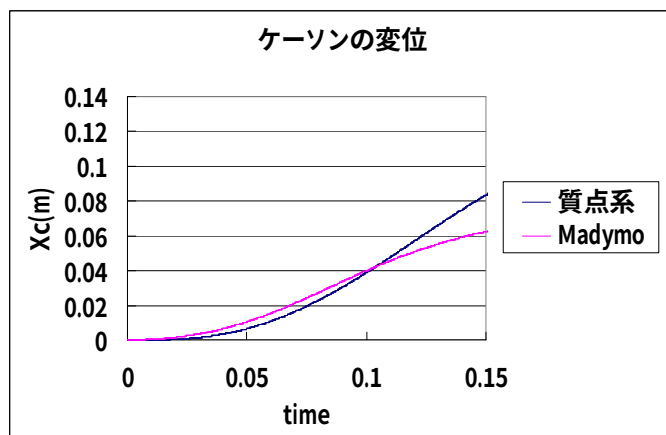


図-7：ケーソンの変位

5 結論

質点モデルの解析であっても精度は高く、ほぼ同じ結果が得られることが確認できた。

ここではケーソンの剛性を無限大と仮定して計算したが、今後実際の値を入れて計算しさらに検討する必要がある。

*TNO オートモーティブジャパン社製

参考文献

1)土木学会論文集 No.540 P.49~57:清宮他 港湾構造物における動的解析手法の評価—船舶と緩衝工との衝突解析の事例—1996.6