

船舶と港湾構造物の衝突時の挙動に関する質点系解析と FEM の比較

東北学院大学	学生会員	○佐々木 美紀
東北学院大学大学院	学生会員	渡部 真紀子
東北学院大学	正会員	石川 雅美
日本イーエスアイ		奥山 佳樹

1. はじめに

船舶と港湾構造物の事故は意外に多く発生しており、過去5年間の500トン未満の船舶を除く事故は、全国で150件～200件程度、東北管内で毎年10件～20件程度発生している。

一方で東北地方において、近い将来きわめて高い確率で大規模な地震の発生が予測されており、その際、津波の発生によって船舶やコンテナなどの海上浮遊物が港湾構造物に衝突することも想定される。被災時において、救援物資を輸送する手段として海上輸送は極めて重要であり、これを確保する為には、港湾構造物の被害を最小に食い止めることが必要である。

2. 質点系モデルを用いた船舶とケーソンの運動方程式の導出

本研究では港湾構造物と船舶の衝突問題を検討する手段として、質点モデルによる解析と FEM との比較を行う事とする。図-1 に示すように、船舶とケーソンの質量を持つ質点をそれぞれ m_s 、 m_b 、両者の剛性を k_s 、 k_c とする。また、船舶とケーソンの変位を x_s 、 x_b とする。ケーソンと地盤との摩擦を表すバネを k_b とする。

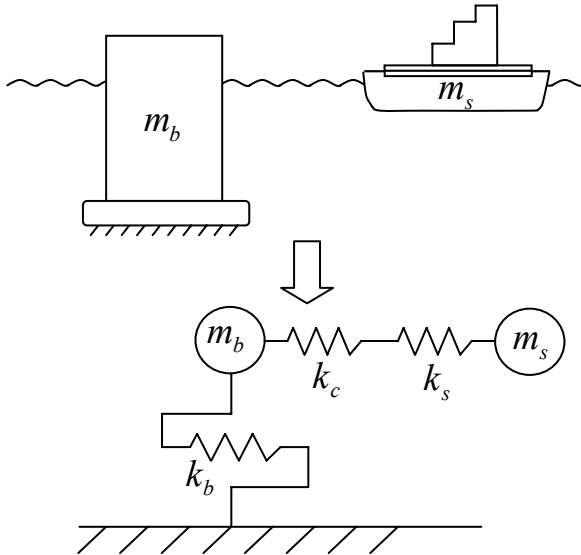


図-1 質点系モデル

以上より、運動方程式(1)、式(2)が得られる。

$$m_s \ddot{x}_s + c_s \dot{x}_s = -F(\delta_s + \delta_b) \quad (1)$$

$$m_b \ddot{x}_b + c_b \dot{x}_b = F(\delta_s + \delta_b) - F_b(x_b) \quad (2)$$

ここで F は接触力であり、 δ_s と δ_b の関数とする。 F_b はケーソンの地盤との摩擦力で x_b の関数とする。

ここで、船の破損に伴う変形量 δ_s とケーソンの破損に伴う変形量 δ_b の和を相対変形量 δ とすると、 δ は、(船舶の移動量) - (ケーソンが押された分) の関係がある。

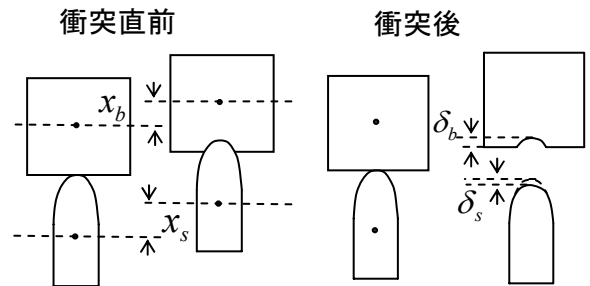


図-2 ケーソンと船舶の破壊変位の関係

式(1)、(2)において $X = x_s - x_b$ とおくと

$$m_s (\ddot{X} + \ddot{x}_b) + c_s (\dot{X} + \dot{x}_b) = -F(X) \quad (3)$$

$$m_b \ddot{x}_b + c_b \dot{x}_b = F(X) - F_b(x_b) \quad (4)$$

となり、式(3)式(4)において中央差分で解くと、時刻 $t + \Delta t$ の時のケーソンの変位 $x_b(t + \Delta t)$ は以下のようになる

$$x_b(t + \Delta t) = \left\{ \frac{m_b}{\Delta t^2} (2x_b(t) - x_b(t - \Delta t)) + \frac{c_b}{2\Delta t} (x_b(t) - x_b(t - \Delta t)) + F(X) - F_b(x_b) \right\} / \left(\frac{m_b}{\Delta t^2} + \frac{c_b}{2\Delta t} \right) \quad (5)$$

同様に式(4)を中央差分を用いて解くと、

$$X(t + \Delta t) = \left\{ -x_b(t + \Delta t) \left(\frac{m_s}{\Delta t^2} + \frac{c_s}{2\Delta t} \right) + \frac{m_s}{\Delta t^2} (2X(t) - X(t - \Delta t) + 2x_b(t) - x_b(t - \Delta t)) + \frac{c_s}{2\Delta t} (X(t) + x_b(t) - F(X)) \right\} / \left(\frac{m_s}{\Delta t^2} + \frac{c_s}{2\Delta t} \right) \quad (6)$$

となる。 $X = x_s - x_b$ より、 $x_s = X + x_b$ となり、 $x_s(t + \Delta t) = X(t + \Delta t) + x_b(t + \Delta t)$ (7)

で求めることが出来る。

仙台湾での航行が多い800G.T.の船舶を対象とする。その水中重量は610.118tonであり、付加質量として質量の10%を加える。船舶の質量 m_s を671.13ton、ケーソンの水中重量 m_b を5528.6tonとする。減衰定数 c_b 及び c_s は共に0.0と仮定して計算する。荷重変位曲線を図-3に示す。ケーソンは、水中重量

の60%(海底との摩擦係数0.6)の接触力が作用したときに変位が1cmに達すると仮定した。それゆえ、ケーソンの変位が1cmを超えた場合に移動すると判定する。

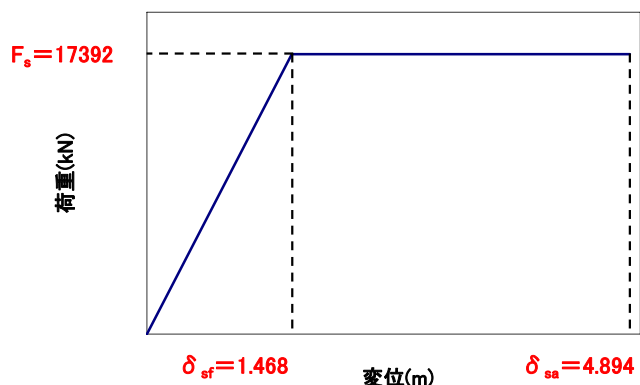


図-3 船舶の荷重変位曲線

3. 解析ソフトの解析

衝突解析ソフトPAM-CRASH*(陽解法によるFEM)を用いて、質点系モデルの計算結果と比較検討する。図-4に今回使用するモデルを示す。

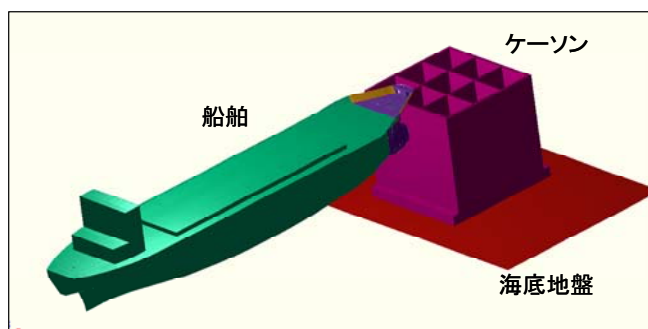


図-4 PAM-CRASH 全体図

4. 解析結果および考察

質点系モデルとPAM-CRASHで求めた結果を図-5から図-7に示す。図-5より5.0m/sの場合の接触力を比較すると、質点系の値は0.4秒でピーク値14000kNとなるが、PAM-CRASHの値は0.1秒に最大値10000kNを迎えてから0.45秒後まで、ほぼ同程度の値であり、その後減少傾向にいたったため、質点系のように明確な最大値がないことがわかる。次に図-6の船の変位の場合は、2.5m/sと5.0m/sの質点系とPAM-CRASHで求めた値がほぼ等しい値となった。図-7のケーソンの変位は、質点系で求めた値の場合は、2.5m/sの時0.004=4mm、5.0m/sの時0.008m=8mmとなっているが、PAM-CRASHの結果は、0mから0.002m=2mmの間を増加・減少を細かに繰り返している。これは、ケーソンの背部の点をとって計算しているため、衝突時の振動が伝わったものと考えられ、ケーソンはほぼ移動しないことがわかる。両者の比較の結果、5.0m/sの速度で船舶がケーソンに衝突した場合、ケーソンは移動しないことがわかる。

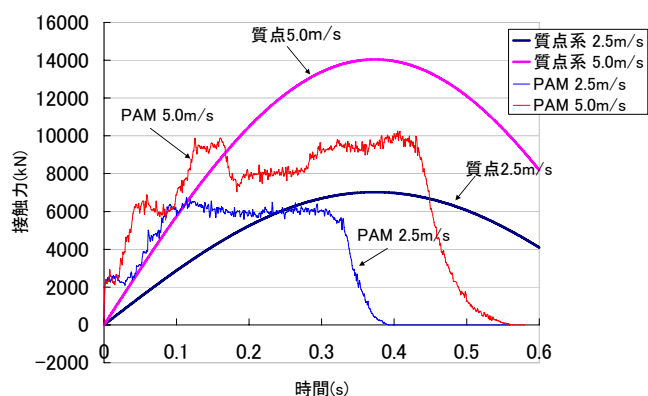


図-5 接触力

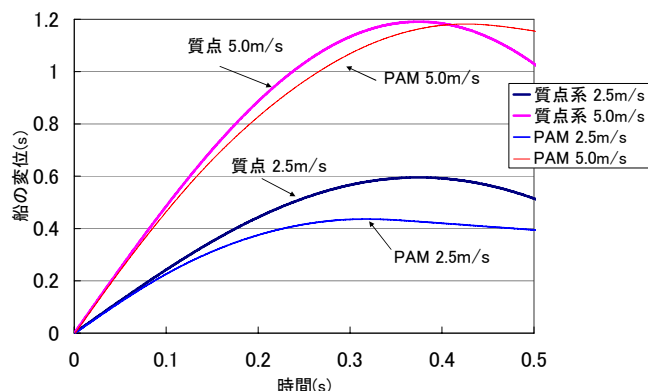


図-6 船の変位

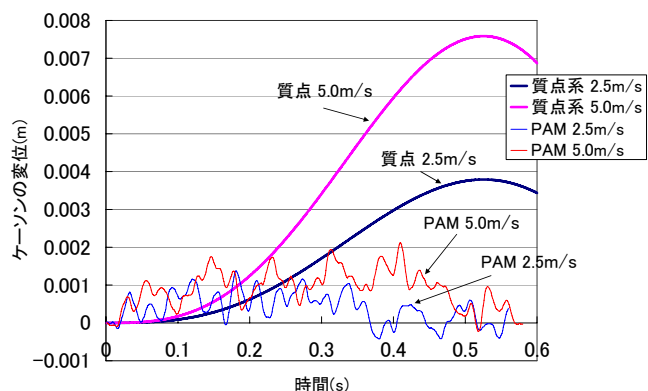


図-7 ケーソンの変位

5. まとめ

PAM-CRASHと質点系の解析はいずれも実際の船舶の破損状況とほぼ対応しており、通常、800G.T.程度の船舶が衝突した場合、ケーソンは壁部損傷をするが、移動はないことが数値解析によって明らかとなった。

*日本イーエスアイ株式会社製

土木学会論文集 No.540 p.49~p.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