

流れにより係留船舶に生じる係留索張力に関する三次元数値解析を用いた基礎研究

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○田中 豊  
 京都大学防災研究所 正会員 米山 望

1.はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災における津波被害は甚大なものであり、その津波被害の中には、津波による直接的な被害だけでなく、津波により漂流物となった船舶による被害等も多数生じた。また、今後発生が懸念されている南海トラフ巨大地震においても、船舶等が津波により漂流物となり、被害が拡大する可能性が高い。津波遡上に伴う漂流物挙動を正確に予測するためには、津波による水面勾配変化の影響を考慮する必要がある。そのためには三次元での漂流挙動解析を行う必要がある。

これまでに、米山ら<sup>[1]</sup>により水面にVOF法を用いた6自由度の移動及び回転を考慮した漂流物の三次元数値解析手法が開発されており、単純模型を用いた実験により精度を検証している。本研究では、上記の解析手法が船舶のような複雑な形状を有する漂流物に対して適用可能であるかを検討するために、係留船舶の係留索張力に関して検討することとした。その方法としては、嶋原ら<sup>[2]</sup>により提案されている係留索張力算定式より得られる最大係留索張力値と上記の解析手法を用いた数値解析により得られる最大係留索張力値との比較を行うこととした。

2.解析手法の概要

水面にVOF法を用いた三次元数値解析手法の基礎方程式は連続式(式1)と運動方程式(式2)であり、次式に従って流れの解析を行う。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = G_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u'_i u'_j} \right) \tag{2}$$

ここで、 $u_i$ は流速の各方向成分、 $p$ は圧力、 $G_i$ は単

位質量あたり外力、 $\nu$ は動粘性係数である。

また、漂流物を剛体と見なし、流体解析より得られる圧力及び流速を元に漂流物を移動させる。解析において漂流物は計算セルの開口率及び空隙率の変化として流体解析に反映される。解析手法の詳細については参考文献[1]を参照されたい。

3.解析条件

解析領域は長さ5m、幅と高さが1mの矩形水路を用いる。また、解析に用いた船舶を模擬した物体(以下船舶ポリゴンとする)を図1に示す。

計算条件は、嶋原らにより行われた水理模型実験を模擬し、定常流の水深を0.1mとし、流入境界に断面平均流速0.4m/sを与え、船舶ポリゴンが係留索長さとなるまで流された際に、係留索張力が発生するものとした。解析領域に船舶ポリゴンを設置した際の図を図2に示す。

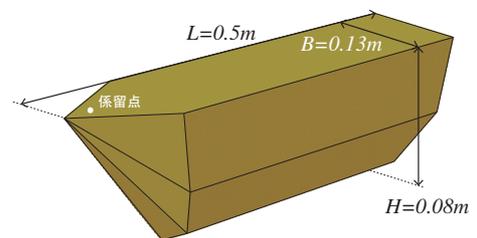


図1: 船舶ポリゴン

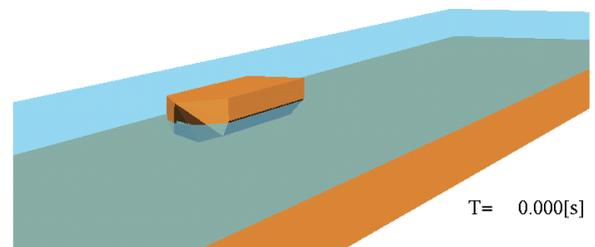


図2: 解析領域と船舶ポリゴン

本研究では、船舶ポリゴンの流下距離を5cm, 10cm,

キーワード 船舶, 係留索張力, 数値解析, 津波, 漂流物,

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 防災研究所 都市耐水領域研究室 TEL:0774-38-4137

15cm, 20cm, 25cm, 30cm の6 ケースを行った.

また, 鳴原らにより提案された係留索張力算定式(式3)と解析における係留索張力算出式(式4)を以下に示す.

$$T_{\max} = V_0 \sqrt{\frac{Ea(m+m')}{l_0}} \quad (3)$$

$$T = Ea\epsilon \quad (4)$$

ここで,  $T_{\max}$ [N] は最大張力,  $V_0$ [m/s] は最大船体速度,  $E$ [N/m<sup>2</sup>] は係留索のヤング率,  $a$ [m<sup>2</sup>] は係留索の断面積,  $m$ [kg] は船体質量,  $m'$ [kg] は付加質量,  $l_0$ [m] は係留索長さ,  $\epsilon$  はひずみであり,  $\epsilon = r/l_0$  ( $r$  は係留索長さからの伸び) である.

(式4)からもわかるように, 解析において係留索を弾性体と考え, 船体は単振動するものとしている.

4. 解析結果

解析結果の一部を図3及び図4に示す.

図3及び図4より, 船舶ポリゴンは係留索により単振動している様子が再現されている. また, 全ケースにおいて解析により得られた最大張力値と係留索張力算定式より得られた最大張力値を比較した結果を表1に示す.

比較結果より, 解析による張力値と算定式による張力値は定性的に一致していると言える. また, 解析による値と算定式による値との比をとってみると, 全ケースにおいてある一定の値をとることが分かった. このことから, 解析より得られる張力値と算定式による張力値の間には比例関係があり, その比例定数として $\alpha = 21.11$ をとることができる.

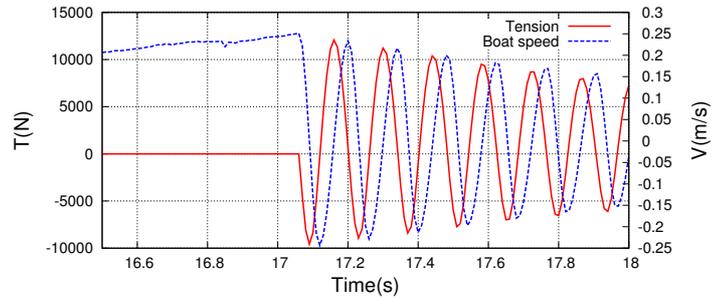


図4: 流下距離30cmの時の船体速度と係留索張力の時間変化

表1: 張力値の比較結果

流下距離	張力(解析) (N)	張力(算定式) (N)	比(解析/算定式)
5cm	4586.20	215.96	21.24
10cm	5916.57	278.14	21.27
15cm	6941.48	326.16	21.28
20cm	8366.28	394.94	21.18
25cm	8691.87	427.44	20.33
30cm	9579.64	448.55	21.36

5. おわりに

本研究では, 係留船舶に働く係留索張力を三次元数値解析手法を用いて算出し, 解析における最大張力値と係留索張力算定式より得られる最大張力値との比較を行った. その結果, 解析による値は算定式による値と定性的に一致しており, 両者の間には比例定数 $\alpha$ である比例関係にあることがわかった. 今後は比例定数 $\alpha$ が持つ物理的な意味を解明した上で, 津波襲来時に係留索が破断し, 船舶が漂流物となる過程の再現を行う予定である.

参考文献

[1] 米山望・永島弘士: 複雑な移動・回転を考慮した津波漂流物の三次元数値解析手法の開発, 海岸工学論文集, 第56巻, pp266-270, 2009.

[2] 鳴原良典・藤間功司・大久保暢之・中村雅博・坪田幸雄・三宅健一・斉藤正文: 津波時の船舶係留索に働く張力について, 地域安全学会論文集, No.10, pp.387-392, 2008.

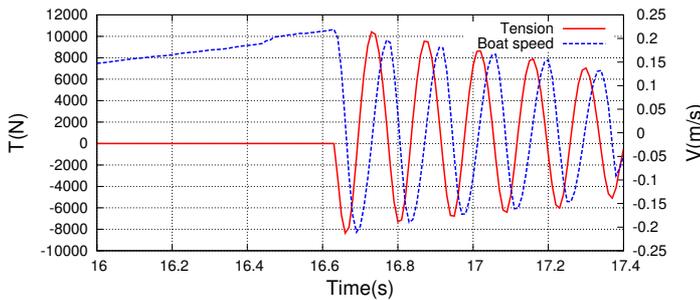


図3: 流下距離20cmの時の船体速度と係留索張力の時間変化