

京都大学工学部 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った。その津波被害には、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も含まれている。船舶は瓦礫や車等の漂流物と比較すると、水の流れるに伴って運動しやすく、また重量が大きいため大きな衝突力が発生すると考えられる。従って、港湾等に停泊している船舶が津波により漂流物となってしまうと、その後背地の被害が拡大する可能性がある。そこで、津波襲来時の船舶の挙動予測を行うことができれば、港湾部や後背地における被害軽減や被害対策を検討することができると考えられる。

これまでに、VOF法を用いた三次元数値解析手法によって津波漂流物重心の挙動^[1]や流体力^[2]が再現されており、船舶のような複雑な形状を有する漂流物に対しても、本計算手法は適用可能であると考えられる。そこで本研究では、嶋原ら^[3]により提案されている係留索張力算定式より得られる張力値と解析により得られる張力値との比較を行い、複雑形状を有する物体に対する解析の再現精度を検証した。

2. 解析手法の概要

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2)と運動方程式(式2)であり、次式に従って流体を移動させる。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

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

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、 ν は動粘性係数であり、流速及び圧力をレイノルズ分解した後、式全体をレイノ

ルズ平均した式である。基礎方程式等の詳細は参考文献[1]を参照されたい。

3. 解析条件

解析領域は図1に示す矩形水路を用いる。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2に示す。

計算条件としては、嶋原らにより行われた水理模型実験と同じように、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。

本研究では、船舶ポリゴンの流下距離を5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cmの6ケースを行った。

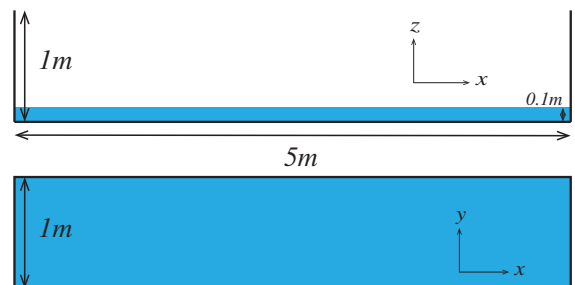


図1: 解析領域

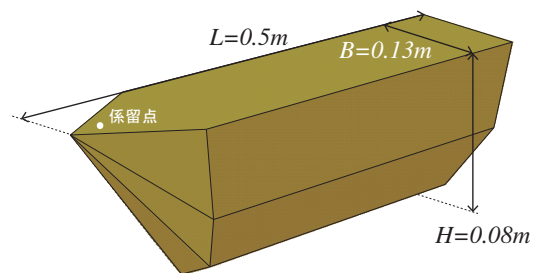


図2: 船舶ポリゴン

また、嶋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/m²] は係留索のヤング率、 a [m²] 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、 ϵ 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.

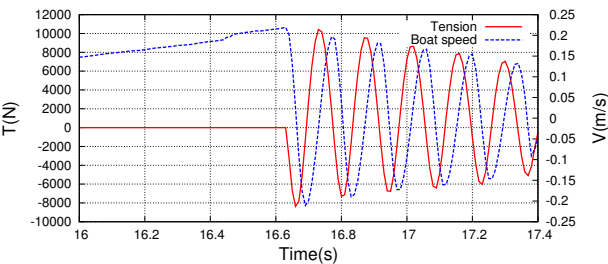


図3: 流下距離20cmの時の船体速度と係留索張力の時間変化

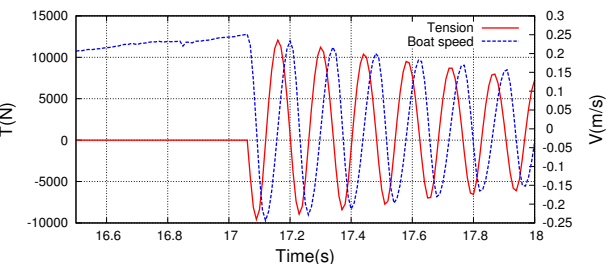


図4: 流下距離30cmの時の船体速度と係留索張力の時間変化

図3及び図4より、船舶ポリゴンは単振動をし、その運動は徐々に減衰していくことがわかる. また、全ケースにおいて解析により得られた張力値と係留索張力算定式より得られた張力値を比較した結果を図5に示す.

比較結果より、解析による張力値は定性的に変化していると言える. また、全ケースにおいて解析による値の方が算定式による値よりも、約21倍大きな値が出ている. このことから、解析より得ら

れる張力値に係数として $\alpha = 1/21$ を乗した値を最大張力値として用いることができる.

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

図5: 張力値の比較結果

5. おわりに

本研究では、係留船舶に働く係留索張力を解析により算出し、その値と係留索張力算定式より得られる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、またある係数 α を乗することで、最大張力値が得られることがわかった. 今後は係数 α が持つ物理的な意味を追究し、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] 米山 望・中島健輔・永島弘士:巨大津波発生時におけるフラップゲート式可動防波堤の挙動予測手法の開発, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I-281-I-285, 2011.

[3] 嶋原良典・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.