

# PS-12 タンデムオフローディング時のシャトルタンカーの 振れ回り挙動推定

海洋開発系 \* 渡邊 充史、湯川 和浩

## 1. はじめに

洋上での油ガス田生産時において、船舶間における生産物のオフローディング方法として、タンデム方式が主に用いられる。タンデム方式では特にシャトル船の振れ回り運動および、払い出し船とシャトル船とを接続するホーサー張力がオフローディングの稼働率に大きく影響する。

振れ回り運動は、古くから曳航環境下や一点係留環境下を対象として主にその安定性に関する研究が実施されているが、風・波・流れ中といった複合外力下において、ホーサーの伸び特性や動的影響を含めた、シャトル船の振れ回り運動そのものを評価する点が不足している。また、環境外力が変化の際にホーサー張力を含めたシャトル船の挙動がどのように変化するかという点についても更に検討が必要と考えられる。

本研究では、一点係留時の振れ回り運動の大きさ、ホーサー張力の値を精度良く推定可能な数値計算モデルを構築することを研究目的とした。

## 2. 数値計算モデルの作成

図-1に座標系を示す。対象船はLNG運搬船とした。表-1にモデル化したLNG運搬船の情報を示す。

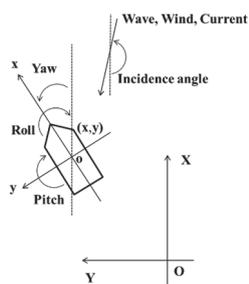


図-1 座標系

表-1 モデル化したLNG運搬船の情報

LNGC	Actual	Model(/90)	Unit
Loa	282.7	3.141	m
Lpp	272.0	3.022	m
B	43.4	0.482	m
D	26.0	0.289	m
d	9.4	0.104	m
Disp.	73167.3	0.100	m <sup>3</sup>
KG	16.6	0.184	m
GMt	4.9	0.054	m
kzz	88.3	-	m

周波数領域汎用運動計算プログラムWAMITにて、LNG運搬船に作用する流体力、波強制力、波漂流力等を計算した。その結果を時間領域汎用運動計算プログラムであるOrcaFlexに入力することにより、時間領域にて計算可能な数値計算モデルを構築した。環境外力として波・風・流れを考慮した。また、ホーサーについては伸び特性を再現しながら、ランプドマス法によりモデル化した。ここで、OrcaFlex内では物体固定座標系にて式(3.1)に示す運動方程式を解いている。

$$M(\mathbf{p}, \mathbf{a}) + C(\mathbf{p}, \mathbf{v}) + K(\mathbf{p}) = F(\mathbf{p}, \mathbf{v}, t) \quad (3.1)$$

Mは慣性項、Cは減衰項、Kは復原項、Fは外力項である。p, v, aはそれぞれ6自由度運動の位置・姿勢、速度・角速度、加速度・角加速度ベクトルである。本研究では、振れ回り運動の発生要因のひとつとして考えられている流れ荷重と母船側のホーサー取り付け点におけるアジマス角(Ψ)により励起される外力<sup>1)</sup>および式(3.1)では考慮されていない旋回運動による流れ荷重<sup>2)</sup>・モーメント<sup>3)</sup>を考慮してOrcaFlexに外部関数として新たに組み込んだ。

流れ荷重とアジマス角(Ψ)により励起される外力<sup>1)</sup>は次式で与えられる。

$$F_{y1} = \frac{\delta F_y}{\delta \Psi} \eta_6 \quad (3.2)$$

$$M_{z1} = \frac{\delta M_z}{\delta \Psi} \eta_6 \quad (3.3)$$

式(3.2)はSway方向、式(3.3)はYaw方向に働く成分である。また、F<sub>y</sub>はSway方向に働く流れ荷重、η<sub>6</sub>は船体のYaw角度、δは釣り合い初期位置における値からの変動、M<sub>z</sub>はYaw方向に作用する流れによる回頭モーメントである。Ψについて、定義を図-2に示す。

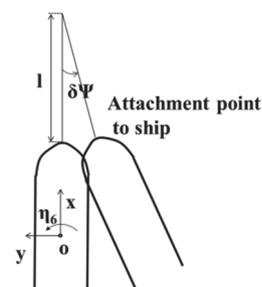


図-2 ホーサーアジマス角の定義

旋回運動による付加的な流れ荷重は次式で与えられる<sup>2)</sup>。

$$F_{x2} = -(m_y - m_x)V_c \dot{\eta}_6 \sin R \quad (3.4)$$

$$F_{y2} = (m_y - m_x)V_c \dot{\eta}_6 \cos R \quad (3.5)$$

式(3.4)は旋回運動によりSurge方向に働く成分、式(3.5)はSway方向に働く成分である。m<sub>x</sub>はSurge方向の付加質量、m<sub>y</sub>はSway方向の付加質量、V<sub>c</sub>は流速、η̇<sub>6</sub>はYaw角速度、Rは流れの相対流入角である。

また、旋回運動により船体に作用するモーメントは次式で与えられる<sup>3)</sup>。

$$M_{z2} = \frac{1}{2} \rho |\eta_6| \eta_6 K_{yaw} \quad (3.6)$$

$$K_{yaw} = C_d \frac{d_{pp}^4}{32} \quad (3.7)$$

$C_d$  は Wichers<sup>3)</sup>によると、ストリップ理論より求められる流れに対する抗力係数であるが、同値は模型試験の結果と比較しながらチューニングを行い、値を決める手法が推奨されているため、模型試験結果と比較しながら 7.513 と推定した。

### 3. 模型試験

数値計算モデルの検証用データ取得、複合外力中の振れ回り運動及びホーサー張力の基本的な特性把握を目的として模型試験を実施した。模型の縮尺は 1/90 とし、軽荷状態を想定した。本試験では LNG 運搬船の振れ回り運動とホーサー張力の変動に焦点を当てるため、払い出しを行うための船は再現せずにホーサー端部を走行副台車(図-3における Moving Sub Carriage) から降下させた治具に取り付けた。なお、計測中は走行副台車を固定させた。

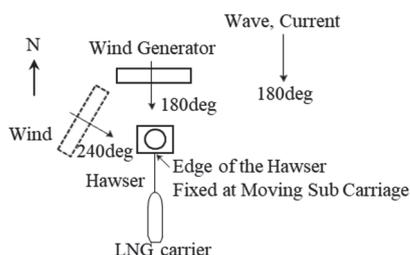


図-3 模型試験配置図

波は JONSWAP 型スペクトルを使用した不規則波を発生させ、有義波高は 3.5m とした。風は 25.7m/s の定常風、流れは 1.3m/s の定常流れ(いずれも実機スケール)とした。風は正面と斜め 240deg から発生させた。また、一部のケースでは LNG 運搬船には推進器を取り付け、アスターン方向への推力(一定荷重 355kN)を再現した。

### 4. 模型試験結果と数値計算結果の比較

比較の一例としてアスターン推力無し、外力方向同一時の LNG 運搬船側のホーサー取り付け点の XY 平面軌跡を図-4に、Yawing 時系列を図-5、ホーサー張力の統計値を図-6に示す。両者は良く一致している事が分かる。数値計算では LNG 運搬船の初期方位角を数パターン変化させ、その影響についても調査したが、運動が安定した定常範囲では Yaw 角度の振幅や周期、ホーサー張力等の差異は見られなかった。

一方、風を 240deg から発生させたケースでは、XY 平面軌跡は Yaw の振幅、運動周期、張力の統計値について誤差が大

きくなってしまった。この原因の一つとして、本計算では Sway と Yaw の風荷重係数について一般的な LNG 運搬船の値を使用しているため、模型船の値と乖離が生じてしまった可能性が考えられる。

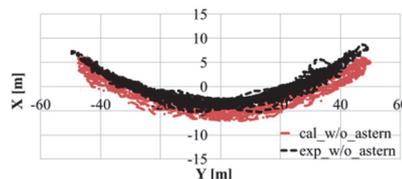


図-4 ホーサー取り付け点の XY 平面軌跡

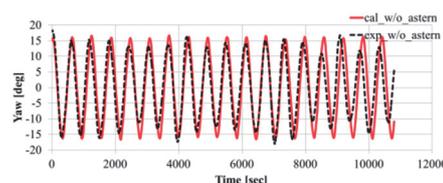


図-5 LNG 運搬船 Yawing 時系列

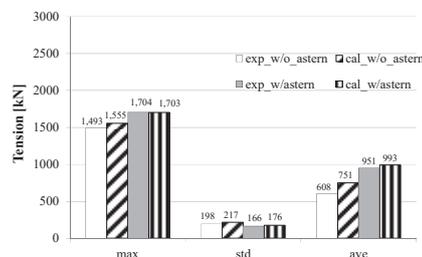


図-6 ホーサー張力統計値

### 5. まとめ

本研究で得られた成果について、以下に示す。

- 1) 一点係留時の振れ回り運動について、従来のモデルに新たにアジマス角 ( $\Psi$ ) により励起される外力<sup>1)</sup>および旋回運動による流れ荷重<sup>2)</sup>・モーメント<sup>3)</sup>を加える事により高い精度で推定するためのモデルを構築した。
- 2) 外力が同一方向から作用する場合において、数値計算との良好な一致を確認した。風のみ方向が異なる場合は誤差が大きくなってしまった。原因の一つとして風荷重係数の乖離が考えられる。今後は風向の変化や母船側の運動を加え、モデルの精度向上を図る。

### 参考文献

- 1) Faltinsen, O., M.: Sea loads on ships and offshore structures, pp.218-220, 1990.
- 2) 小保方準: 一点係留システムの基本計画手法について(その1), 日本造船学会論文集第 161 号, pp.183-195, 1987.
- 3) Wichers, J., E., W.: Slowly oscillating mooring forces in single point mooring systems, pp. 27-1-27-32, BOSS79 (Second International Conference on Behaviour of Offshore Structures), 1979.