

小型クレーン船を対象とした船体動揺に関する解析検討

大成建設株式会社 正会員 ○橋本 貴之 小俣 哲平 織田 幸伸

1. はじめに

海上工事の施工計画において、波浪による作業台船の動揺を把握し、稼働率の算定精度を向上することが工程の最適化や工費縮減のため重要となる。さらに、クレーン船による施工の可否判断では、船体だけでなく吊荷の動揺が問題となる場合がある。吊荷の動揺を考慮した係留船舶に関する既往研究は数多くある^{例えば、1) 2)}が、これらの多くは線形モデルを用いた数値解析で検討している。そのため、非線形性の卓越した波が生じる場合には適用が困難となる。過去に著者らは、多目的作業船の上にクローラクレーンを設置するような小型のクレーン船を対象に水理実験を行い、波の周期や入射方向などを変化させ、船体と吊荷の動揺を計測した³⁾。本研究では、実験の再現解析として、流体と構造物の連成解析が可能な数値流体解析ソフト OpenFOAM (Open source Field Operation and Manipulation)を用いた船体動揺に関する解析を行い、従来手法の一つである境界要素法 (BEM ; Boundary Element Method)による結果と比較して検証した。本稿ではそのうち、船体動揺解析の結果の一例を示す。

2. 実験概要

本実験では縮尺 1/45 とし、平面水槽（長さ 35.5×幅 17.0×高さ 1.6m）内にクレーン船の模型（長さ 1.5×幅 0.5×高さ 0.09m）を浮かべ、4 本のチェーン（水平長 2.0m）によるカテナリー係留で係留した。実験装置の概要図を図-1 に示す。水深は 0.5m とし、ピストン式の造波装置により規則波を入射させて船体を動揺させ、船体上のターゲットに照射した 2 組 3 方向のレーザー変位計から船体の動揺量を計測した。実験状況を写真-1 に示す。なお、船体の動揺量は右手座標系の 6 自由度 (X, Y, Z, φ , θ , ψ) で整理した。本稿では、表-1 の実験条件に対して再現解析を行った。ここで、波の入射角は船体長軸方向、ブーム仰角は水平方向、ブーム水平角は船体長軸方向内向き (船体側)をそれぞれ基準に 0 度とした。

3. 数値解析概要

(1) OpenFOAM による船体の動揺解析

OpenFOAM では、waves2Foam ライブラリにより波を再現し、sixDoFRigidBodyMotion ライブラリを用いて船体動揺を解析した。なお、本解析は非構造格子であり、格子間隔 0.04m を基本に船体まわりを更に細かく設定した (図-2)。時間ステップは 0.0001 秒を基本に、CFL 条件としてクーラン数を 0.5 以下に設定した。

(2) 境界要素法 (BEM)による船体の動揺解析

BEM では、線形ポテンシャル理論による解析ソフト OrcaWave を使用し、船体動揺量の RAO (Response Amplitude Operator)を計算した。なお、本解析では、格子間隔 0.017m を基本に三角形格子で船体をモデル化した (図-3)。

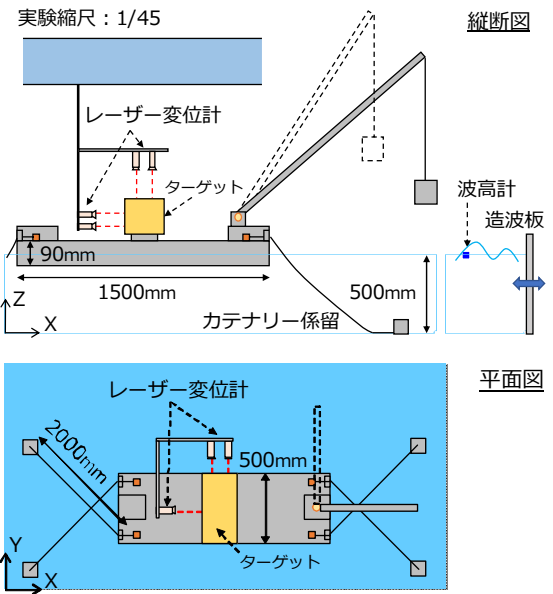


図-1 実験装置の概略図

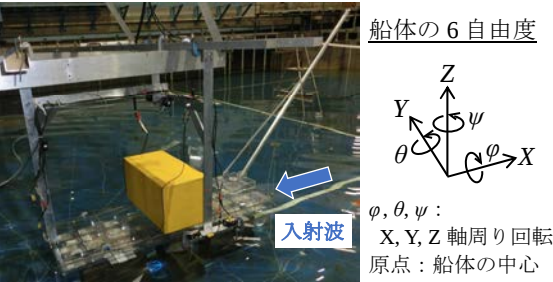


写真-1 実験状況および船体の自由度

表-1 実験条件

項目	単位	設定値
入射波高	m	0.02
入射波周期	s	0.6~1.2
波の入射角	度	0
ブーム仰角	度	60
ブーム水平角	度	180
吊荷質量	g	30

キーワード クレーン船, 係留船舶, 船体動揺, 水理実験, 数値解析

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター TEL 080-9579-4368

4. 解析結果の比較

OpenFOAM による係留船体の動揺解析, 境界要素法 (BEM) による船体の動揺解析, 水理実験の結果を図-4 にそれぞれ示す. 本図では, 横軸を波長・船長比 λ/L とし, 縦軸を本実験条件で船体の動揺量が卓越する X 方向の移動量 (Surge), Z 方向の移動量 (Heave), Y 軸まわりの回転量 (Pitch) の動揺振幅としている. これらの結果から, Surge, Heave, Pitch のいずれにおいても, 境界要素法 (BEM) による解析は実験結果の傾向を概ね捉えているが, OpenFOAM による解析の方が実験結果を精度良く再現できていることが分かった. これは, OpenFOAM において船体の係留までモデル化しているのに対し, 境界要素法 (BEM) では船体のみであり, 係留が船体動揺に与える影響を考慮していないためと考えられる. さらに, OpenFOAM による係留船体の動揺解析結果のうち, 入射波周期 $T=1.0\text{s}$ (他条件は表-1 の通り) のケースについて, Surge, Heave, Pitch の時系列を図-5 に示す. 同図より, 本解析結果は実験結果と概ね一致しており, 係留船体の動揺が精度良く再現できることが確認された.

5. まとめ

本研究では, クレーンの吊荷挙動を考慮した係留船体の動揺に関する水理実験について, OpenFOAM および境界要素法 (BEM) によって船体動揺の再現解析を行い, 実験結果と比較することによりその精度を検証した. その結果, OpenFOAM による解析は, 係留船体の動揺について実験結果を精度良く再現でき, 定量的な評価が可能であることが示された.

今後, ブームの向きや入射波条件 (不規則波や斜め入射など) を変化させたケースや非線形性が卓越するケースについて検証するとともに, 各作業段階での船体や吊荷の条件を考慮した動揺量の評価について検討する予定である.

参考文献

- 1) 上田茂, 樋口豊志: 起重機船の動揺特性と稼働条件, 港湾技研資料, No.709, 1991.
- 2) 大坪和久, 石田圭, 佐藤宏, 長谷川賢太, 荒木元輝: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 30 巻, pp.187-200, 2019.
- 3) 橋本貴之, 小俣哲平, 織田幸伸, 伊藤一教: クレーン船の動揺に関する水理実験と再現解析, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, VI-1096, 2020.

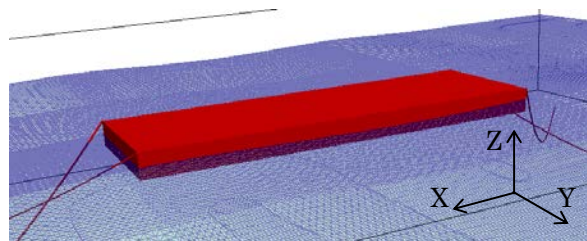


図-2 OpenFOAM による船体の動揺解析例

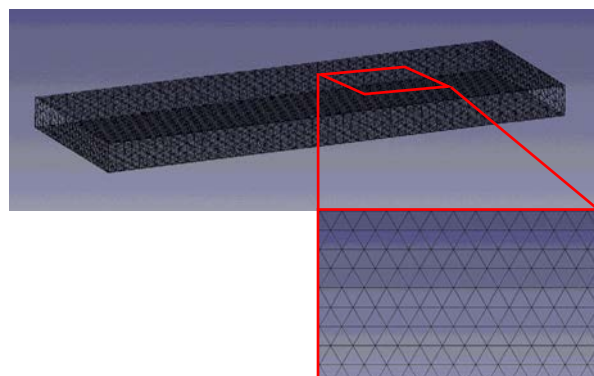


図-3 境界要素法 (BEM) での船体モデル

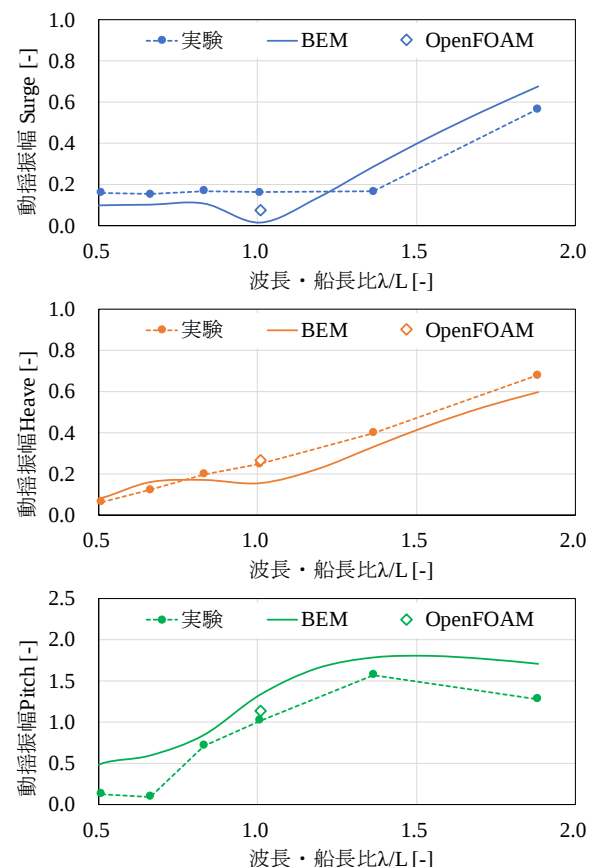


図-4 船体の動揺振幅 RAO の比較

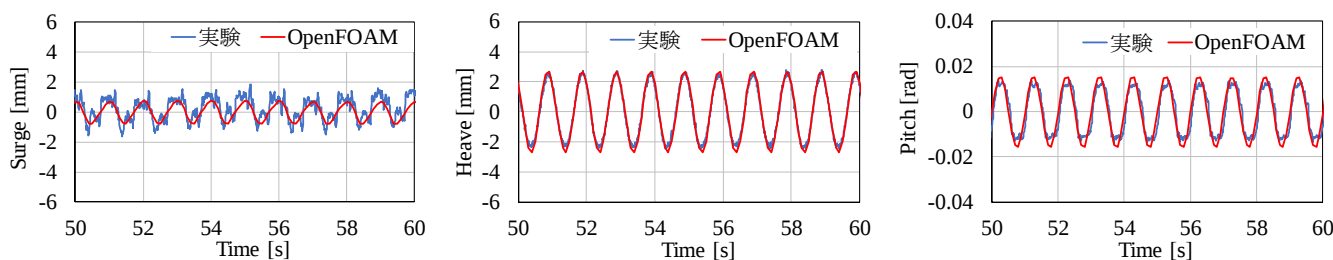


図-5 OpenFOAM による船体動揺解析と実験結果の比較 (入射波周期 $T=1.0\text{s}$)