

ムーンプールを有する作業船の波浪中動揺 CFD シミュレーション

海洋開発系 荒木 元輝
流体性能評価系 *大橋 訓英

1. はじめに

平成 25 年に改定された海洋基本計画では日本周辺海域における海洋エネルギー・鉱物資源の開発や海洋再生可能エネルギーの利用推進が大きく取り上げられており、それらにとって必要不可欠である作業船の需要が大いに高まることが期待される。作業船が行う海中機器の投入・揚収作業においては比較的波の影響の少ないムーンプールから行うことが多く、ムーンプール内の水面挙動を精確に推定することは作業船内に設置されるムーンプール形状の設計や機器の投入・揚収作業の稼働性向上に資すると考えられる。

一方、数値流体力学 (CFD) を用いたシミュレーションは研究機関だけでなく造船所等においても必要不可欠な開発ツールとなっている。しかしながら、CFD シミュレーションを行う対象船は貨物船がほとんどであり、従来では需要の少なかった作業船を対象とする CFD を用いた研究やシミュレーションはほとんど行われておらず、海外においてもいくつかの研究事例¹⁾が見られる程度である。またムーンプールの水面挙動には粘性影響が関係する可能性が指摘されており¹⁾、本研究においては、CFD を用いたムーンプールを有する作業船の波浪中動揺シミュレーション手法を開発する。作業船において特に重要となる前進速度ゼロかつ係留中の条件のもとシミュレーションを行う。

2. シミュレーション手法

本研究においては波浪中動揺シミュレーションを対象とするため非定常平均レイノルズモデル (URANS) を用いて計算を行った。URANS ソルバーとしては本所で開発された NAGISA²⁾を用いた。また対象となる作業船はムーンプール、ビルジキール等を有し複雑な船体形状であるため重合格子法を用いて船体形状を模擬した。また重合格子同士の補間情報は本所で開発された重合格子システム UP_GRID³⁾を用いて作成した。水面に関しては界面捕獲法であるレベルセット法を用いた。乱流モデルに関しては計算速度、計算安定性を重視し Spalart-Allmaras モデルを適用した。船体運動に関しては移動格子法を用い、係留は 6 自由度運動方程式にバネダンパー系を加えることで係留力を模擬した。

3. 対象船

本研究で用いる対象船は深田サルベージ建設株式会社が所有する多目的作業船 POSEIDON-1 とした。POSEIDON-1 の主要目及び外観を Table 1、Fig.1 に示す。なお本船にはバルバスバウ付近にバウスラスター用のトンネルが 2 つ空いているが、本研究においては格子生成が複雑になりすぎるため 2 つのトンネルを埋め、Zペラ[®]を除いた形状とした。

Table 1 Principal particulars of POSEIDON-1.

| | Full scale |
|----------------------------|--------------------|
| Length [m] | 78.0 |
| Breadth [m] | 20.4 |
| Depth [m] | 7.0 |
| Draft(full load) [m] | 5.5 |
| Gross tonnage [ton] | 4015 |
| Moon pool (width x length) | 5.4m x 5.4m |
| Propulsion System | Niigata ZP-41CP x2 |
| Bow Thruster | 4 blade CPP x2 |
| Positioning System | Dual DPS II |

Refer: Fukada Salvage & Marine Works co. Ltd.



Fig. 1 Picture of POSEIDON-1.

4. 計算条件及び計算格子

4. 1 計算条件

今回の計算においては前進速度ゼロかつ今後の模型試験との比較を行うためレイノルズ数は 1.0×10^6 とし、そこからフルード数を 0.075 と決定した。波条件及び運動の自由度 (DoF) を Table 2 に示す。また斜向波中における船体運動に関しては Surge、Sway、Yaw に關してバネ係留を行っているものとした。

Table 2 Condition of waves and motion DoF.

| Case # | Wave height h/L_{0A} | Wave direction [deg.] | Motion DoF | Wave length λ/L_{0A} |
|--------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|
| 000-w1 | 0.013 | 180 (head) | 2 heave, pitch | 0.98 |
| 000-w2 | | | | 1.61 |
| 000-w3 | | | | 2.08 |
| 120-w2 | | 120 | 6* | 1.62 |

* Surge, sway, yaw motions are moored by springs.

4. 2 計算格子

計算格子に関しては船体、ムーンプール、スケグ、ビルジキール形状を再現する格子とそれらを囲む解像格子、バックグラウンド格子を含め Table 3 及び Fig. 2 に示す 7 種類の格子 (総格子点数: 564 万) を重ねさせた。なお Table 3 においては格子の優先順位の高い順に並んでいる。壁面近傍の最小格子間隔はどの場合においても $y^+ < 1$ にコントロールされている。格子の生成は UP_GRID 及び Pointwise® を用いて行った。

Table 3 Grid information for head wave cases.

| | $i_m \times j_m \times k_m$ | amount | Type |
|----------------------------|-----------------------------|--------|--------|
| Bilge keel | 33x61x33 | 6 | Fin |
| Bilge keel-Hull Refinement | 122x41x41 | 2 | Rect. |
| Skeg | 53x121x41 | 1 | Fin. |
| Moon pool-Hull Refinement | 33x45x101 | 1 | Rect. |
| Hull-Background Refinement | 93x121x33 | 1 | Rudder |
| Hull | 161x193x53 | 1 | Duct |
| Background | 141x141x121 | 1 | Rect. |

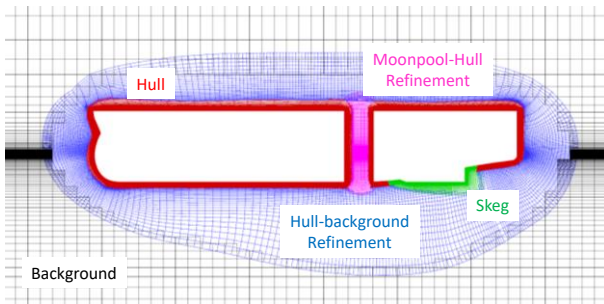


Fig. 2 Overset grids arrangement at centerline section.

4. 計算結果

以上の計算条件、計算格子を用いて波浪中動揺シミュレーションを行った。まずは 3 つの波長で向波中の船体動揺 (heave、pitch) 及びムーンプール中央における相対水位変動の応答関数 (RAO) を Fig. 3 に示す。次に斜向波中の船体動揺 (roll、pitch、yaw) の時系列を Fig. 4 に示す。波長船長比 1.6 で相対水位変動振

幅が最大値を取る様子が分かる。今後は模型試験結果と比較し検証を行う。

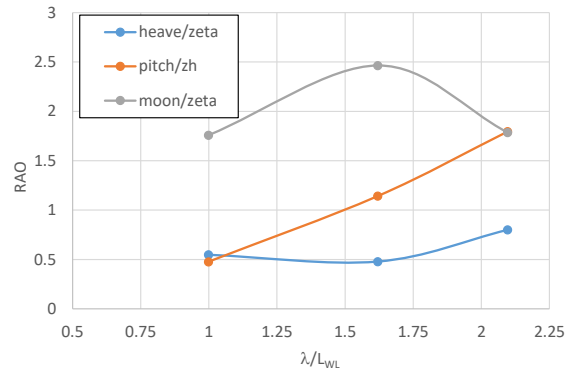


Fig. 3 Response amplitude operators (RAO) for heave, pitch and relative variations of moon pool water level.

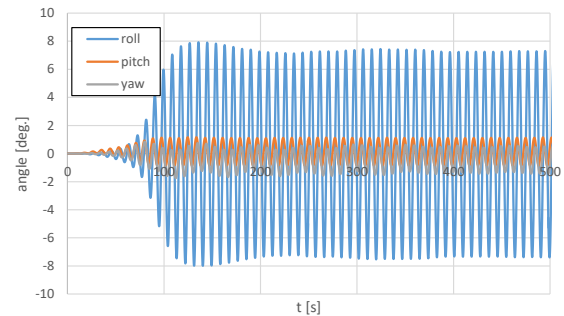


Fig. 4 Time series of roll, pitch, and yaw in bow wave.

5. 結論

本所で開発された NAGISA、UP_GRID を用いてムーブルを有する作業船の波浪中動揺シミュレーション手法を開発し、複数の波条件において試計算を行うことにより手法を検証した。

謝辞

本研究で対象とした多目的作業船「POSEIDON-1」の貴重な船型データを御提供頂いた深田サルベージ建設株式会社様に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Heiden et al., "Turbulence Modeling for Free-surface Flow Simulation in Offshore Applications", Proc. of OMAE2015, 2015, 41578.
- 2) 大橋訓英 他, "重合格子対応構造格子ソルバーの開発", 第 28 回数値流体力学シンポジウム, 2014, F06-2.
- 3) 児玉良明 他, "付加物付き船体まわりの流れ計算のための重合格子システム UP_GRID の開発", 第 26 回数値流体力学シンポジウム講演会論文集, 2012, D08-1.