

PS-7 CFD 及び FEM を用いた船舶のスラミング現象に関する 数値シミュレーション

構造安全評価系 * 高見 朋希、馬 沖、岡 正義

1. 緒言

コンテナ船等の大フレアを持つ船舶にとってバウフレアスラミングに起因する水面衝撃荷重及び構造応答評価は構造強度上重要な項目であり、近年は数値シミュレーションによる直接評価が求められている。著者らは汎用 CFD ソフト STAR-CCM+ を用いて、数値シミュレーションによって水面衝撃荷重を求めるためのモデル化を行い、2次元楔及び2次元船首断面に作用する衝撃水圧値及びその特徴を示した¹⁾。本研究ではこの研究で用いた CFD モデルを3次元船体に拡張し、規則波向波航行時のモデル化と検証結果について発表する。さらに、CFD と有限要素法 (FEM) と弱連成させることにより、スラミングによる船体の動的構造応答を再現し、その結果及び構造応答に関する考察について述べる。

時刻歴を精度良く再現出来ていることが確認できる。一方、水槽試験結果の水圧波形には模型の弾性変形による Whipping が生じているが、CFD は船体を剛体として計算するため Whipping は再現されない。数値シミュレーションによる Whipping の再現は今後の課題であるといえる。

2. CFD を用いたスラミング解析

2.1 CFD モデル及び解析条件

本研究では、CFD 計算には汎用ソフト STAR-CCM+ を採用し、対象船は POST PANAMAX 型コンテナ船とした。表-1 に垂線間長、波浪条件及び船速を示す。CFD 計算は表-1 に示す模型スケールで実施した。波浪条件は満載状態での正面向波規則波中の曳航式実験 (Fn=0.179) を想定し、過去に実施した弾性模型船を用いた水槽試験との比較検証を実施した。本モデルの総セル数は約 200 万セルとなり、32core で総計算時間は約 30h である。

表-1 実船及び模型スケールにおける各パラメータ

	実船	模型
垂線間長 (Lpp)	283.8m	3.0m
波高 (Hw)	10m	0.106m
船速 (Vs)	18.4kt	0.973m/s
波長船長比 (λ/Lpp)	0.6, 0.8, 1.0, 1.25	

2.2 解析結果及び検証

図-1 に Pitch 及び Heave の計算結果を水槽試験結果と比較して示す。値は両振幅値を示す。図-1 に示すように、CFD 解析結果は実験結果と同等の値を示している。設定波高が 10m と高いため甲板打ち込みが生じており、CFD ではこれを再現しているが、乾舷高さ等が水槽模型と CFD で完全には一致していないため船体運動の予測精度の低下につながっていると考えられる。図-2 には $\lambda/Lpp=1.0$ の場合について、同図に示す PS1 及び PS2 における衝撃水圧の比較を示す。図-2 より、船首部の計測点 PS1 及び PS2 において衝撃荷重の

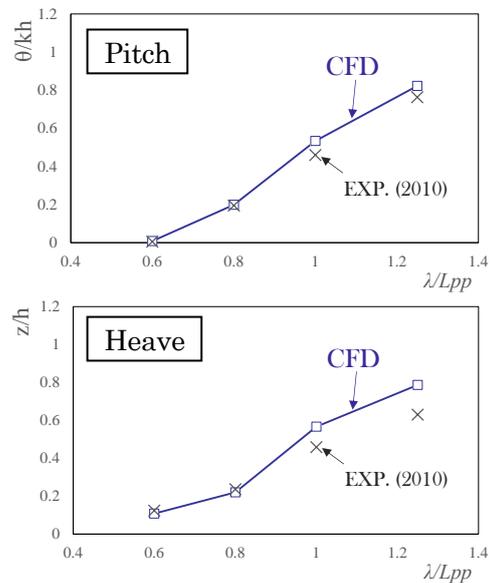


図-1 Pitch 及び Heave の比較

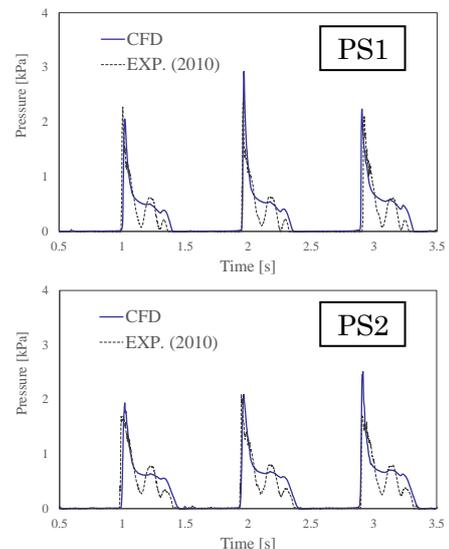


図-2 衝撃水圧波形の比較 ($\lambda/Lpp=1.0$)

3. スラミングによる動的構造応答

汎用 FEM ソフトウェア LS-DYNA を用い、CFD 計算で得られた荷重を入力とした弱連成による時刻歴構造応答解析を実施した。方法としては、

1. CFD 計算結果から船体表面メッシュにおける水圧データを取得する。
2. 水圧データを実船スケールにスケール変換し、FE モデルの船体表面要素にマッピングする。
3. 荷重をマッピング後、全船 FE モデルに対して動的陽解法による時刻歴応答解析を実施する。

2. におけるマッピング方法としては、Inverse Distance Weighting (IDW) 法を適用した。FE モデルはコンテナをソリッド要素によりモデル化しており、満載状態を想定している。また境界条件としては、全ての節点をフリーとした。FE モデルの全要素数は約 22 万であり、8core で総計算時間は 32h である。

さらに、本研究では動的荷重が構造応答に与える影響を調査するため、FE 解析により得られる船首部パネル応力データを用いて等価静水圧²⁾を計算した。船首部の各パネルは単純支持と仮定し、有限変形理論に基づいた (1) 式により等価静水圧 P_{eq} を求めた³⁾。

$$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4} P_{eq} = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \frac{w}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 b^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) \right\} \left(\frac{w}{t} \right)^3$$

$$\sigma = \frac{\pi^2 E w}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)w + 4t}{a^2} + \frac{\nu(w + 4t)}{b^2} \right\} \quad (1)$$

図-3 には $\lambda/Lpp=1.0$ の FE 解析結果において、スラミング荷重がピークとなる時刻の船首部の応力分布を示す。コンター表示の最大値は 150MPa で、応力方向は図-3 矢印に示す深さ方向である。図-3 より、スラミング荷重がピークとなる時刻でバウフレア部に高い応力が発生していることが確認できる。次に、図-3 に示す Region1 及び Region2 内のパネルにおける応力履歴を抽出し、(1) 式により得られる等価静水圧の最大値と、船体構造規則における規定値ならびに CFD により計算された荷重の最大値を比較して図-4 に示す。

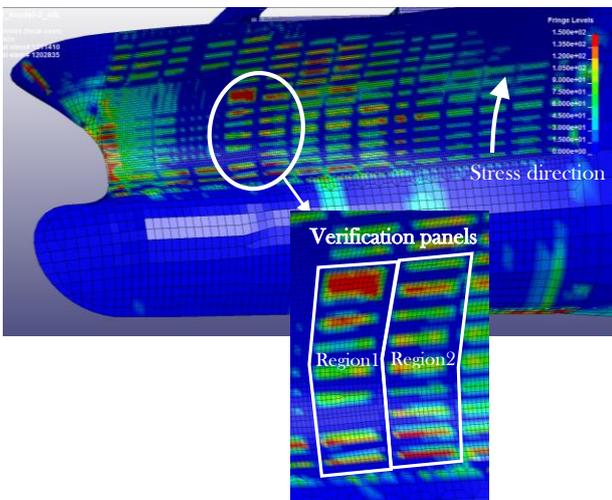


図-3 船首部パネルの応力分布及び等価静水圧計算に用いるパネル ($\lambda/Lpp=1.0$)

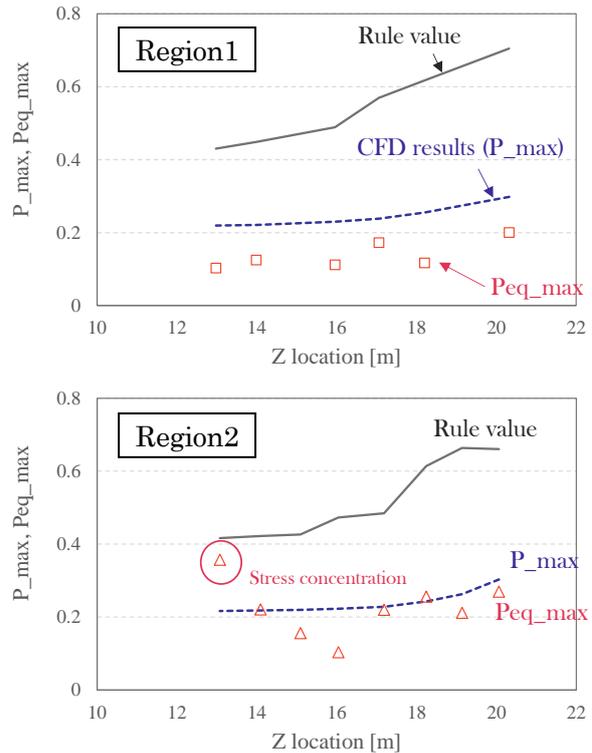


図-4 等価静水圧と規則荷重及び CFD 計算荷重との比較

図-4 より、等価静水圧の最大値 P_{eq_max} は規則荷重、及び入力となる CFD 計算荷重と比較して全体的に低い値を示す。CFD 計算荷重からの減少率は衝撃荷重の作用時間影響を示しているといえる。また、Region2 の丸印に示すように局部的に高応力となる箇所を再現できることも確認でき、本研究で実施した直接数値計算により実構造に沿った評価が可能であることが示された。

4. まとめ

本研究では汎用 CFD ソフト STAR-CCM+を用いて正面向波規則波中の POST PANAMAX 型コンテナ船のスラミング現象を再現し、衝撃荷重の検証を行った。また、動的陽解法 FEM との弱連成によりスラミング衝撃による動的構造応答を再現し、その実用性を示した。

参考文献

- 1) 高見朋希, 岡正義: CFD を用いた水面衝撃荷重評価法についての基礎的検討 (第 1 報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 20 号, 2015, pp. 291-294.
- 2) Koichi Hagiwara, Tetsuo Yuhara: Fundamental Study of Wave Impact Loads on Ship Bow (2nd Re-port) -Effect of the Scale of the Model on Muximum Impact Pressure and Equivalent Static Pressure-, Journal of Marine Science and Technology, Soc. of Nav. Arch. of Japan, 1976, pp. 115-119.
- 3) 機械設計便覧, 丸善出版, pp. 359-360.