

PS-9 CFD を用いた空気圧縮を考慮した水面衝撃問題

構造安全評価系 * 高見 朋希、岡 正義

1. 緒言

スラミングによる水面衝撃圧及び構造応答の推定は船首部設計において重要な課題となっている。現行の構造規則では船体形状を2次元の楔形状に近似して設計荷重を与えているが、衝撃角が小さくなった時に発生する空気巻込みの影響は考慮されておらず、空気巻込みを考慮した3次元シミュレーションによる直接評価が求められている。

本発表では、汎用 CFD ソフト STAR-CCM+ を用いて楔形状及び船首形状物体に作用する衝撃水圧を算出し、理論解¹⁾及び過去に実施された実験^{2),3),4)}と比較して、その予測精度を検証した。さらに、空気巻込みが顕著である場合に従来のフルード相似則が成立しないことを明らかにし、実船スケールでのシミュレーションの必要性を示した。

2. 2次元楔形状物体に作用する衝撃水圧について

2.1 CFD モデル

図-1 に本研究で使用した STAR-CCM+ 解析モデルを示す。図-1 中斜線部に示すように直方体に楔状に切り欠きを入れた形状を解析領域とし、落下速度 V の速度一定の条件下で解析領域を落下させる。静水面は $Z=0$ の位置とし、壁面境界条件とした楔表面での衝撃水圧を抽出した。CFD 解析条件を表-1 に示す。

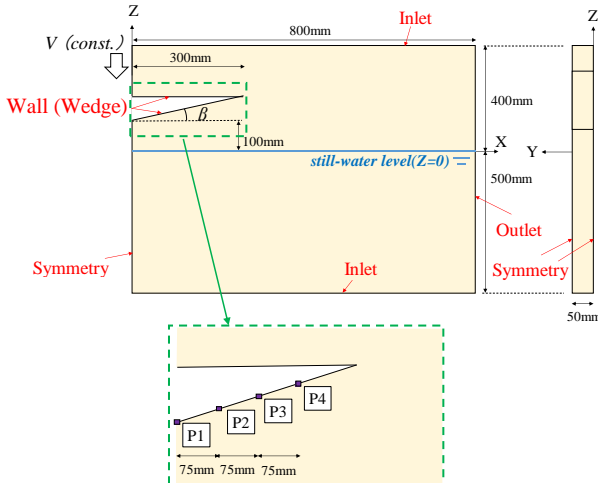


図-1 2次元楔形状物体のCFD解析モデル

2.2 微小水撃角における解析結果

Deadrise angle β が 0deg (平板) の場合の衝撃水圧を、落下速度 ($V=1.56\text{m/s}$) の条件下で実験を行った宮本³⁾の実験結果と比較を行った。図-1 中の P1~P4 における衝撃水圧の時刻歴の比較結果を図-2 に示す。図-2 より、平板中央部付近の CFD 計算結果の衝撃水圧は実験結果より若干高いピーク値を示すが、P4 における衝撃水圧のピーク値及び P1~P4 の第1波周期は実験結果と同等であり、CFD 計算は落下実験

表-1 2次元楔形状物体のCFD解析条件

自由表面	VOF 法
物理モデル(Water 部)	密度一定 (非圧縮性)
物理モデル(Air 部)	理想気体 (圧縮性)
乱流モデル	SST K- ω モデル
メッシュ	トリムメッシュ (衝撃付近は1辺1mm)
セル数	約52万セル
解法	陰解法非定常解析

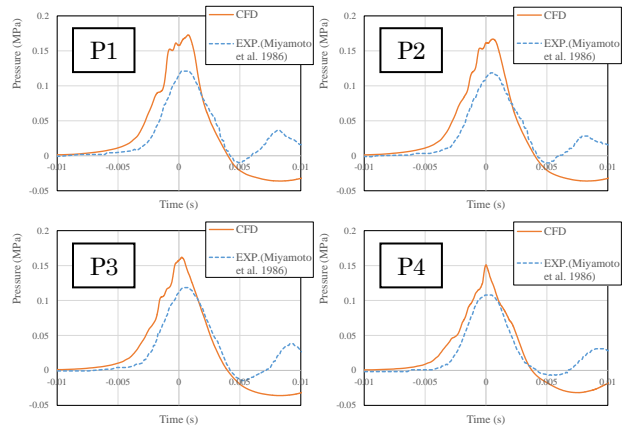
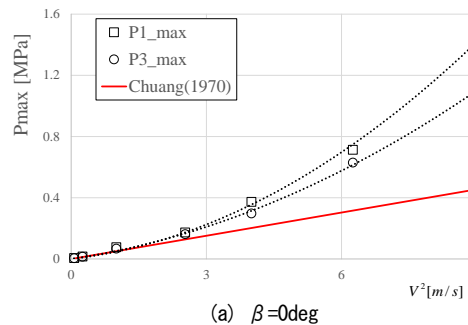


図-2 平板 ($\beta=0\text{deg}$) に作用する衝撃水圧の時刻歴の実験値との比較 ($V=1.56\text{m/s}$)

における衝撃水圧をほぼ再現しているといえる。次に、 β を 0deg , 2deg とした時の図-1 中 P1 及び P3 における衝撃水圧のピーク値と落下速度の2乗 V^2 との関係 Wagner 理論¹⁾及び Chuang の実験式²⁾と比較して図-3 に示す。従来、衝撃水圧のピーク値は落下速度の2乗に比例するとされているが、図-3 (a)より、平板 ($\beta=0\text{deg}$) の場合には Chuang の実験式と比べてピーク値が高く、また落下速度の2乗に対して非線形性が現れている。これは図-2 に示すような持続時間の長い空気巻込み型の衝撃圧が発生する場合、従来のフルード相似則が成立していないことを示している。一方、 $\beta=2\text{deg}$ の場合には図-3 (b)より、P1 及び P3 における衝撃水圧のピーク値は、多少のばらつきがあるものの落下速度の2乗にほぼ



(a) $\beta=0\text{deg}$

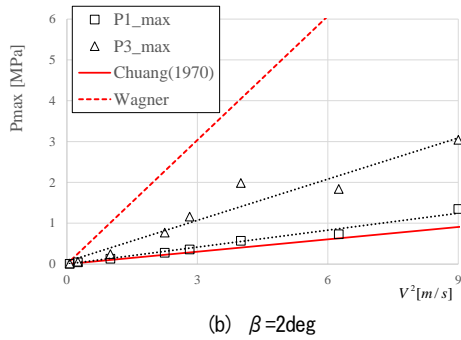


図-3 微小水撃角 ($\beta=0\text{deg}$, 2deg) における衝撃水圧のピーク値の落下速度依存性

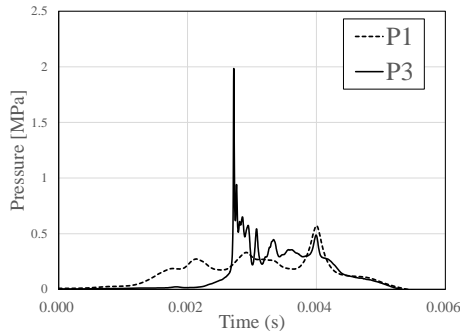


図-4 衝撃水圧の時刻歴の比較 ($\beta=2\text{deg}$, 楔先端着水時刻を 0sec)

比例しているといえる。また、楔先端付近の P1 においては Chuang の実験式とほぼ同等のピーク値となるが、楔中央の P3 においてはばらつきが高い中で Chuang の実験式より高く、Wagner 理論より低い値を示している。これは図-4 に示す衝撃水圧の時刻歴から伺えるように、楔の中央部の P3 では局所的な空気圧縮が発生することにより、衝撃水圧に作用時間の短いピークが発生していることによる。

3. 船首形状物体に作用する衝撃水圧について

実コンテナ船の船首に発生する衝撃水圧の傾向を調査するため、図-5 に示すような 2 次元船首形状物体の CFD 水面衝撃解析を実施した。船首形状は荒井ら⁴⁾ の行った水面落下実験で用いた形状とし、落下角度 ϕ を変化させて一定速度で落下させ、図-5 に示す P-1~P-4 の 4 点における衝撃水圧を計算した。CFD モデルは表-1 に示した解析条件とし、衝撃付近のメッシュサイズは 5mm (全セル数 46 万セル) とした。図-5 より、P-1 及び P-2 では水面に対する打込み角が小さく、P-3 及び P-4 では打込み角が大きくなる。 ϕ を 22.5deg、45deg としたときの P-1~P-4 における衝撃水圧のピーク値と落下速度 V^2 の関係を図-6 に示す。図-6 より、 ϕ が 22.5deg の場合は、衝撃水圧のピーク値は P-1 及び P-2 と P-3 及び P-4 共に 0.12MPa 未満で分布しているが、 $\phi=45\text{deg}$ の場合は P-1 及び P-2 の衝撃水圧のピーク値は P-3 及び P-4 と比較して高い値で分布していることが分かる。一方、図-6 より、各位置における衝撃水圧のピーク値は落下速度の 2 乗に対してほぼ線形となっていることが確認できる。船首形状においては打込み角が小さい箇所でも図-3 (a) に示したような顕著な空気巻き込み型衝撃は発生していないと考えられるが、実船の

3 次元形状を用いて船速・波面影響を考慮した評価を行い、実現象を把握することが必要と考察される。

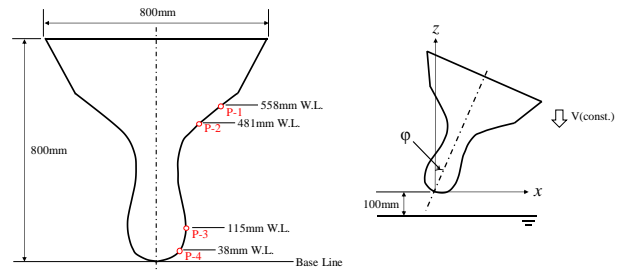


図-5 船首形状物体の CFD 解析モデル

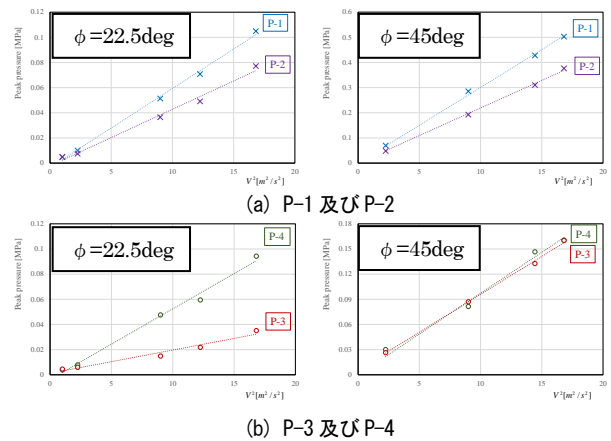


図-6 船首部形状の各位置における衝撃水圧のピーク値の落下速度依存性

4. まとめ

本研究では汎用 CFD ソフト STAR-CCM+を用いて空気影響を考慮した衝撃圧を求めるためのモデル化を行い、2次元楔形物体及び船首形状物体の水面衝撃解析を実施した。結果、2次元楔形物体の場合は Deadrise angle が 2deg 未満で空気巻き込みのため衝撃水圧がフルード相似則の基で非線形性を示すことが確認された。また、今回の船首形状物体の検討では衝撃水圧の高い箇所においても衝撃水圧がフルード相似則の基に従う傾向が伺われたが、上述のように空気巻き込みが顕著である場合に非線形性が現れることが確認されたため、実船の3次元形状及び船速・波面影響を考慮した調査が必要であることが示された。

参考文献

- 1) Wagner, V.H.: Über Stoß und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Band 12, Heft 4, 1932, pp.193-215.
- 2) Chuang, S.L.: Investigation of Impact of Rigid and Elastic Bodies in the Water, NSRDC Rep.3248, 1970.
- 3) 宮本武、谷澤克治: 船首部に作用する衝撃荷重について (第2報)、日本造船学会論文集、第158号、1985、pp.270-279.
- 4) 荒井誠、松永康二: 船首衝撃現象に関する研究、日本造船学会論文集、第166号、1989、pp.343-353.