

土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会
第2回 津波漂流物衝突評価WG 議事録

1. 日時：2023年2月14日（火） 10:30～12:00
 2. 場所：（一財）電力中央研究所 大手町地区 872 区画 会議室 + Webex（電中研主催）
 3. 出席者：
 - <主査> 富田孝史（名古屋大学）
 - <幹事長> 木原直人（電力中央研究所）
 - <委員> 小川健太郎（東京電力 HD）※、金原勲（金沢工業大学）、嶋原良典（防衛大学校）※、島村和夫（IHI）※、別府万寿博（防衛大学校）※、前川宏一（横浜国立大学）※、山田安平（海上・港湾・航空技術研究所）※、和仁雅明（中部電力）
 - <常時参加者> 大村英昭（東北電力）※、蒲池孝夫（関西電力）、神田典昭（電源開発）※、佐藤栄二郎（九州電力）※、田中直仁（日本原電）※、藤井直樹（東電設計）、二木敬右（北陸電力）※、吉次真一（志水克成が代理出席、中国電力）※
 - <幹事> 新木毅（中部電力）、井上真優（東電設計）、岩本哲也（東電設計）、大谷章仁（IHI）※、甲斐田秀樹（電力中央研究所）、栗山透（関西電力）、小池雄大（関西電力）、豊田真（IHI）※、南波宏介（電力中央研究所）※、福本惣太（関西電力）、宮川義範（電力中央研究所）※、山川大貴（東電設計）、米津和哉（関西電力）
 - <オブザーバー> 森勇人（中部電力）
- ※：web 出席

4. 配付資料：

- ① 資料 2-1 津波漂流物衝突評価WG_第2回_議事次第
- ② 資料 2-2 津波漂流物衝突評価WG_第2回_参加者一覧
- ③ 資料 2-3 前回（第1回）津波漂流物衝突評価WG 議事録
- ④ 資料 2-4-1 小型船舶の衝突力に関する研究
- ⑤ 資料 2-4-2 小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究

5. 結果：

富田 WG 主査より挨拶が行われた。その後、木原幹事長より配付資料の確認が行われ、議事次第に沿って、以下の議論が行われた。

(1) 小型船舶の衝突力に関する研究

豊田幹事より資料 2-4-1 に基づき小型船舶の衝突力に関する研究について説明が行われ、以下の議論が行われた。

Q 8 ページの質量を分散して模擬するのは良いが、①重心位置のモデル化と②左記の質量配置の結果としての慣性モーメントのモデル化はどうなっているか。

A 重心位置は上下の重心位置を元の船（前フェーズの 19GT 船）に密度等を調整して合わせる。その質量分布の結果としての慣性モーメントとなる。

- C 慣性モーメントが大きければ、当然、船体の回転が起り難い。船体の剛体回転が発生するかどうかは施設評価に影響を与えるため、船体の3軸回りの慣性モーメントを適切に設定することが重要である。集中質量を分散質量としてモデル化することは良いことであるが、分散配置した結果の慣性モーメントが実際の船の慣性モーメントと大きくオーダーが変わらないようにする必要がある。船舶には重量分布が存在し、その重量分布にしたがってモデル化すれば慣性モーメントは理論値に一致する。しかし、ランダムに質量を分散モデル化した場合には、船体の重量分布と異なってしまう、慣性モーメントも大きく異なってしまう可能性があるため、注意する必要がある。慣性モーメントのオーダーが実際の船舶と大きく異なっていなければ十分と考える。
- Q 自動車の衝突でエンジンの弾性率を下げるという話があったが、その根拠と影響について確認したい。
- A エンジンの弾性率については、内部の空洞等を考慮し実験と解析結果の比較に基づきエンジニアリングジャッジで決められているものと考えられる。エンジンが衝突によって破壊されるようなことはないと考えられるため、この影響はあまりないと思う。
- C エンジンで衝突が終了するということであれば、得られた荷重からその影響が評価できると思うので、改めて議論したい。
- Q 浮力の検証計算は微小変位の問題になっていると思うが、大変形の場合（喫水変化がある場合）も解析で正しく模擬されるのか。
- A LS-DYNAにおいて、鉛直方向座標に対して圧力が定義されるため、変形や変位が大きいても適切に浮力が模擬される。
- Q 荷重変位にはエンジンの衝突が含まれているのか。
- A 電中研にて解析を実施した者に確認する。
- Q 7ページにおいて赤字で示された内容が、メーカーとアラインして、前フェーズからモデル化を変えているところか。
- A そのように示している。
- C 前フェーズはある程度に調査した上でモデル化しているので、今回改めてモデルを見直すことについて、その意図と妥当性を整理してほしい。
- Q 8ページのバランスは最終的に浮力も考慮して最終的に決定することであるが、漁獲の搭載についてはより重くなるように模擬するのか。
- A 審査では、総トン数の3倍が搭載重量を考えている。
- Q その3倍はどういう風に決められているのか。3倍が上限なのか、3倍が平均であれば問題と思われ、上限ということであればWGの考え方としては良いと思う。
- A 津波漂流物対策施設設計ガイドラインにおいて重量3倍を考慮しておけば設計上十分であることが記載されており、こちらに基づいて設定しているものである。
- Q 衝突によりFRP船とエンジンがどのように挙動するのかについては検討する価値があると思う。エンジン自体が据え付けられている部分から外れて衝突する可能性があるのかも含めてシミュレーションを通して確認されると思う。

(2) 小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究

岩本幹事より資料 2-4-2 に基づき小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究について説明が行われ、以下の議論が行われた。

- Q 12ページについて、粒子サイズを細かくすると実験値と合ってくるのか？レイノルズ数が 10^6 の領域で合わないのは、粒子法の限界なのか、メッシュサイズの問題なのか？
- A 粒子サイズを細かくすれば実験値と合ってくると思う。ただ、7ページのようなカルマン渦の詳細な剥離まで再現しようとすると、計算コストがかかり、3次元モデルへの展開を考えると現実的ではない。本検討は、付加質量を算定すること

が目的のため、渦の再現までは必要なく漂流物前面の動圧が適切に再現できれば、工学的に問題が無いとする方針を考えている。

A 承知した。今後の検討では自由表面の影響の考慮も必要になってくるので留意されたい。

Q 一つの粒子が影響を及ぼす範囲はどれぐらいか？

A 粒子サイズの 2.5 倍程度としている。

Q 船艀が衝突する際の過渡的な状態は考えなくてよいのか？

A 今回報告した検証は、あくまで流速は一定の状態でかかる力を考えている。

C ダムブレイクは過渡的な状態を考慮する基本の検証。水面衝撃等、船艀の分野で様々な検証例題があるので、参照されたい。

※次の論文紹介があった。

✓ T.Shibue, A.Ito & E.Nakayama, Structural response analysis of cylinders under water impact, Hydroelasticity in marine technology, 1994, pp.221-228

✓ H.Sakashita, K.Shimamura & A.Itou, Development of numerical simulation technique to predict pressure and structural response due to water impact, The 9th Int. Symposium on practical design of ships and other floating structure, 2004

Q 6 ページについて、レイノルズ数の代表長さはどの値を指すのか？

A 円柱の場合には直径である。

Q 5 ページについて、実験値ではレイノルズ数が 10^6 付近で抗力係数が急激に落ちているが、これは一般的な値なのか？この実験結果が妥当な結果なのかも含めて検証してほしい。

A レイノルズ数が大きくなると剥離により抗力係数は低下するが、文献調査をしたところレイノルズ数 10^7 を超えてくると実験による計測が難しくなるという印象である。

Q 一般的には、粒子数が細かい方が精度が高く、粒子数を細かくしていけば、精度が徐々に上がり、収束していくはずである。しかし、12 ページの解析結果について、レイノルズ数 10^5 の場合、粒子サイズ 2m (粗い粒子) の方が 1m (細かい粒子) より実験値に近いのはなぜか？

A 格子状に配置した粒子に対して機械的に円柱構造物の判定をしているので、粒子サイズ 1m より 2m の方が円に近い形状だったのかもしれない。本来なら、粒子サイズが細かい方が精度は上がるため、実験値に近づくはずである。

Q 実際の船艀では、レイノルズ数 10^7 程度とのことであり、 10^7 の値で、粒子法がどの程度での適用性と妥当性検証が重要であると考え。当該グラフのさらに右側の領域 ($10^5 \sim 10^7$) での検証が必要ではないか？現在の解析結果のみでは、 10^7 での解析結果がないため、ターゲットとなる解析領域で本手法の適用可能性の判断が難しい。また、高レイノルズ数では解析結果と実験値が倍半分近く異なっている。粒子サイズをもう少し細かくして (例えば 0.5m) 解析して、 10^5 の領域で実験値にどれくらい近づくか検討してみてもどうか。粒子サイズを 0.5m にして、実験値に近づくようであれば、本手法の適用性に期待が持てるのではないかと考える。

A 粒子サイズ 1m で約 5 万粒子使用しており、通常の Fortran のコードだと約 10 万粒子程度が限度である。これ以上粒子サイズを細かくするには、解析モデルの領域を狭くするなどの対応が必要になる。

Q 粒子サイズを半分にすると、時間積分の刻みも細くなるので、計算負荷は 8 倍程になるのか？

A 時間積分の刻みも半分にする必要があるため、概ねそうなる。また 3 次元だと長さの 3 乗で粒子数も増えるため、計算負荷は一気に増大してしまう。

Q 粒子サイズ 2m が良いという結論だが、船艀の幅 5m のとき粒子をどう並べるのか？

A 粒子法は複数の粒子を平滑化して計算するため、幅方向には最低粒子 3 層は必要で、粒子 2 層だと少ない。今後の計算結果次第で、幅方向に必要な粒子数を検討する必要がある。

- Q 現在は、2次元の解析であるが、最終的には、3次元の解析を実施すると理解している。先ほどの2次元の解析結果からも、高レイルズ数では、実験値と倍半分の乖離があり、粒子サイズを小さくする等の検討・対策が必要ではないかと考える。一方で、対象船舶のサイズ（2-3m）を考慮すると、船体回りの付加水質を精度良く推定するためには、（粒子サイズ1mはやや粗いように感じるため）粒子サイズ1mより小さくする必要もあるのではないかと？最終のターゲットとなる目的を達成するためには、①必要な解析精度（粒子サイズ等）を踏まえて、②実現可能な解析環境（並列計算や、クラスター、GPU計算等）も同時に検討されたい。最終的に実施する3次元解析において、必要な精度（粒子サイズ）を確保することは計算コスト・環境の限界でできない、もしくは、解析環境の観点から必要な精度を大幅に妥協するということがないようにされたい。本研究の目的を達成するために、計算環境の整備や、大規模並列計算による計算高速化・効率化についても並行して検討し、早い段階で、最終目標（3次元大規模解析）を達成するために本手法が適用可能であることを示して頂きたい。
- A 3次元の解析コードはGPGPUによる並列化で100万粒子程度は扱えるが、それ以上の粒子数になると厳しい。着目する力を適切に計算できる前提で、粒子サイズや計算領域を工夫することでの対応を現時点では考えている。
- C 大型計算機の富岳が、無料で試用できると聞いたことがある。産業界の利用を求めているらしいので、トライしてみたいと思う。

(3) その他

- ・前フェーズの研究の取り組みの一部（衝突実験と再現解析に係る内容）について SMIRT27（第27回原子力構造工学国際会議、27th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology）に投稿する予定である。
- ・次回の開催予定2023年5月頃を予定している。準備が整い次第連絡する。

以上