

土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会
第4回 津波漂流物衝突評価WG 議事録

1. 日時：2023年12月14日（木） 9:00～11:00
2. 場所：（一財）電力中央研究所 大手町地区 733 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（東京大学）、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）※、神田典昭（電源開発）※、佐藤栄二郎（九州電力）※、鈴木俊輔（大野正登が代理出席、四国電力）※、高松賢一（中国電力）※、田中直仁（日本原電）※、藤井直樹（東電設計）※、二木敬右（北陸電力）※、松田周吾（関西電力）
 <幹事> 山川大貴（東電設計）、岩本哲也（東電設計）、井上真優（東電設計）、大谷章仁（IHI）、豊田真（IHI）、中村茉莉香（IHI）、甲斐田秀樹（電力中央研究所）、南波宏介（電力中央研究所）※、宮川義範（電力中央研究所）、新木毅（中部電力）、福本惣太（関西電力）、工藤佳祐（関西電力）、栗山透（関西電力）（記）
 <オブザーバー> 大塚鎮（東電設計）※、高橋享夫（東電設計）※、森勇人（中部電力）
 ※：web出席

4. 配付資料：

- ① 資料4-1 津波漂流物衝突評価WG_第3回_議事次第
- ② 資料4-2 津波漂流物衝突評価WG_第3回_参加者一覧
- ③ 資料4-3 前回（第1回）津波漂流物衝突評価WG 議事録
- ④ 資料4-4-1-1 小型船舶の衝突力に関する研究
- ⑤ 資料4-4-1-2 施設応答解析検討ケースについて
- ⑥ 資料4-4-2 小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究

5. 結果：

木原幹事長より配付資料の確認が行われ、続いて富田WG主査より挨拶が行われた。その後、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

中村幹事より資料4-4-1-1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 重量分布の考え方は今後も一般的に使える方法と考えてよいか。船舶毎に検討が必要となると大変かと思う。

A メーカーへのヒアリングの結果、同等のサイズの船舶であれば概ねこのような分布になると聞いている。他のサイズについては現状分からない。

- Q 今回 15m/s という早い速度で船舶が衝突してもエンジンは衝突しないという解析結果であったことから、構造物へエンジンが衝突することは無さそうと考えてよいか。
- A そのように考えている。
- Q 荷重変位関係から求まるエネルギーを確認すると、船舶がもともと持っていたエネルギーはエンジンに到達するまでに消費されているのか。エンジンがぶつかる前に消費されるエネルギーがわかれば、将来有用なデータになると思う。
- A 別途確認し回答する。
- C エネルギー収支に関する確認が必要なのは同感である。LS-DYNA では初期のエネルギー、運動エネルギー、ひずみエネルギー、摩擦エネルギー等が出力されるようになっている（出力ファイル名「glstat」）のでご確認頂きたい。また、glstat での歪エネルギー値と荷重－変位関係の積分値（曲線と X 軸で囲まれた面積）が同一であることを確認頂きたい。恐らく初期の運動エネルギーは全て消費しているのではないか。
- C 時々刻々のシミュレーション解析を実施しているので、各衝突方向について、典型的なシミュレーションの動画があれば見せて頂きたい。
- A 今日は動画の準備が無いため、次回以降お見せするようにする。
- Q 船尾衝突において浮力を考慮した場合、衝突姿勢（衝突時の不自然な船体運動）が改善された。一般的に、船体は浮力により Roll（船舶の X 軸回りの回転）に対して復元力が生じるように設計されている。一方、船側衝突結果について、24 ページの 0.8s を見ると、Roll 角が大きいため、2 回のピークを生じているようであるため、（船首衝突と同様に）浮力の影響を考慮した方が合理的であり、船側衝突についても、浮力による復元力を考慮することにより、より船体の Roll による横傾斜が低減する可能性があり、結果として、衝突荷重の第 2 ピークの値が変わる可能性もある。（入力データ作成がそれほど複雑になるわけでもないため）、「衝突方向によらず、浮力を考慮する」方が合理的であり、「首尾一貫した解析条件で解析している」と説明できるのではないか。
- A 船側衝突においても浮力を考慮したケースを追加実施する。
- C 今回の衝突解析の結果として、船尾、船側の衝突では横肋骨が重要であることが分かった。今回はメーカーに確認して精緻に横肋骨をモデル化できたが、今後一般化していくことを踏まえ、今回の解析結果を分析した上でモデル上の横肋骨の入れ方に関する考え方等を提示いただけると良い。
- C 公知化するにあたり、モデル化の妥当性を説明できるようにしていただきたい。船首衝突の場合は実験結果があったが、今回は無いので丁寧に説明しなければ査読者にご理解いただけない。
- C 肋骨の芯材有無による検討において、曲げに対して芯材無しが 2%強いという不思議な結果となっている。芯材のポアソン比の設定の影響で肋骨を構成する板の局部座屈を助長するような変形が生じてしまったのか等、詳細に分析してほしい。価値ある成果とするにはこのような細かい部分の検討の積み上げが重要である。
- C 不確かさ項目の整理において、船体構造の違いを入れてはどうか。船体構造はある程度船舶の設計者・オーナーに自由度が認められており、例えば漁船でもいろいろと種類があり、地域によって異なる場合もある。構造は大きく縦肋骨方式、横肋骨方式、複合方式の 3 種類あり、衝突方向と並行に部材が多く入っていると部材の座屈により衝突荷重が大きくなるので、これらを不確かさ項目としてはどうか。
- A ご指導いただきながら検討を進めたい。
- C 各施設に対し船のモデルを作り直すということであれば、その地域に多い漁船によってモデルが変わってくる可能性があるため、そのあたりも含め協力させていただく。
- Q 不確かさの項目に関して、全て洗い出した上で影響のある項目を絞ってパラスタするのか、ある程度最初から影響のあるものを絞った上でパラスタを実施するのか、どちらの進め方のイメージか。
- A 前者である。各項目に対し極端なケースで解析を行い、感度分析により影響の大きい項目を抽出後、パラスタを行う。

Q 付加水の検討は実施していないのか。

A 今回の結果は、付加水分の慣性モーメントを与えたものである。ただし、浮力と同時に考慮してしまっており付加水の慣性モーメント単独での影響は確認できていないため、今後影響比較を行う。

山川幹事より資料 4-4-1-2 に基づき、船側方向からの衝突解析結果を用いた施設応答解析ケースについて説明が行われ、以下の議論が行われた。

Q 漂流物の天端に衝突させるのは原子力発電所における設計の考え方であるが、実際の現象として天端への衝突を想定することの確からしさについては、本 WG では取り扱わず、別の検討で行うということによいか。

A その通りである。

Q 4 ページで船側衝突について、載荷範囲は既往検討と同様に設定するとは具体的にどのように設定するのか。

A 衝突解析で出力される応力分布のコンター図をもとに、載荷範囲を決定していく。

Q 5 ページで津波高さを 5m とすることについてはよいと思うが、これまでの津波高さ 10m では漂流物の影響が分かりにくかったということであれば、波力が支配的であり漂流物の影響は小さいとも捉えられる。この点についてはどう考えているのか。

A 前回の検討ではスパン 20m の防潮堤に天端相当の津波高さを設定したことにより波力の影響が大きい結果になっていたが、波力と漂流物の大小関係を分析することが目的ではない。

C 波力の設定について、前フェーズでは進行波高さを天端高さとして設定していたため、漂流物は越波するような条件になっており、適切ではなかったと思っているので、今回の通過波 5m という設定については妥当だと思う。関連して、文章中でせり上がりを踏まえた設定と書かれていることは正しいが、図中の想定津波高さは事業者の立場では天端付近のせり上がった状態の高さをイメージするので、通過波高さと修正されたい。

Q 船側衝突解析の結果を施設応答解析に入力する際に、船舶の方が防潮堤よりも長いことに対しては、例えば、応力分布から防潮堤 1 スパンあたりの影響が大きくなると考えられる部分を抜き出すような設定をするのか。

A 船舶の長さ 22m に対して防潮堤の長さ 20m なので、極端にはみ出ていることではないと考えられる。なお船側衝突における最大荷重時刻において船首側の尖部は接触していないことを確認しており、防潮堤の長さの範囲に載荷範囲は収まっているため、前フェーズの載荷面積の同様に設定できると考えている。

(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、山川幹事より資料 4-4-2 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 ばねモデルの妥当性について、動的倍率を考慮しなければならないのかを明確にして話をした方が分かりやすい説明となる。構造物に作用する時間が十分に長いのであれば、ばね質点系モデルである必要はない。最大荷重が重要なのか、相互作用まで考慮する場合があるのかばね質点が必要なのかといった説明をお願いしたい。

A 付加質量の検討では考慮しないが、施設評価においてはご意見踏まえて整理する。

Q 相互作用の考慮は必要なのか。

A 前フェーズまでの検討では考慮できていない。構造物の固有周期が作用時間に対して短い場合、相互作用としてはそこまで重要ではないという結論になる可能性は十分あるが、応答倍率の考え方を整理することでお示しする。

Q 水中衝突と気中衝突の比率は物理的に何を意味しているのか。

A 気中衝突の FA は Haehnel and Daly 式より求めた理論値であるのに対し、水中衝突の Fw は解析により流体の力を考慮して求めたものである。その比率は $F=ma$ より、同じ加速度においては付加質量と言える。

Q 元良先生（東大教授）の論文[※]の Fig3 に比べて今回の解析結果で推定した付加質量係数は大きい値になっており、違和感がある。横軸に持続時間、縦軸に付加質量係数をとって fig3 と比較検討いただき、ある程度一致すれば妥当性があると言えるのではないか。

※衝突時の等価付加質量について：元良 誠三、藤野正隆、杉浦正憲、杉田松次，日本造船学会論文集 第 126 号

A 今回は平面二次元の検討であり、浮体も流線形ではないので、大きくなっていると考えられる。

C 横向きに衝突する場合、船と施設間の水のクッション効果が大きく出るとされる。最終的にはそのような全体的なこともイメージしながら考えていかなければならない。

A 今回の検討では反射波の影響は受けないためクッション効果を考慮していない。反射波の影響検討については電中研で実施しているため、その結果も踏まえて総合的に現実的な付加質量係数の値を検討したい。

C 反射波の影響検討の方で漂流物の向きや形状を考慮せずに検討をされてしまうとこちらの結果とマッチしなくなってしまうので、付加質量の検討と反射波の影響検討は互いに連携を取って進めていただきたい。

A 反射波による影響と付加質量による影響を分離して考えるのは重要である一方で、船と壁の間に挟まった水については、両者に入っていない現象もあるかもしれない。連携をとりながら進めていく。

C 今後施設評価の公知化を見据えると前提となる考え方やモデルの妥当性を丁寧に説明できる必要があるため、そのあたり注意して進めていただきたい。

C 座標系の取り方についてはいただいた回答で納得した。

(3) その他

・次回 WG は 2024 年 2 月上旬に開催予定である。

以 上