

土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会
第7回 津波漂流物衝突評価WG 議事録

1. 日時：2025年2月14日（金） 13:30～16:00
 2. 場所：電力中央研究所 大手町地区 709 B 会議室 及び Web 会議（Webex）
 - <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）※、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）※、西崎普策（四国電力、代理出席）※、高松賢一（中国電力）※、田中直仁（日本原電）※、藤井直樹（東電設計）※、松浦正典（北海道電力）※、松田周吾（関西電力）、吉澤一典（北陸電力）※
 - <幹事> 高橋淳夫（東電設計）、大塚鎮（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）、村上考輝（関西電力）、栗山透（関西電力）、工藤佳祐（関西電力）（記）
 - <オブザーバー> 市川卓也（東電設計）※、堀口朋裕（東電設計）※、森勇人（中部電力）
- ※：web 出席

3. 配付資料：

- | | |
|----------|---------------------------------|
| ① 資料 7-1 | 津波漂流物衝突評価WG_第7回_議事次第 |
| ② 資料 7-2 | 津波漂流物衝突評価WG_参加者一覧 |
| ③ 資料 7-3 | 第6回津波漂流物衝突評価WG 議事録 |
| ④ 資料 7-4 | 小型船舶の衝突力に関する研究 |
| ⑤ 資料 7-5 | 船首・船側方向からの衝突に対する施設応答解析の検討結果について |
| ⑥ 資料 7-6 | 研究成果概要 |

4. 結果：

富田主査より挨拶が行われ、続いて木原幹事長より配付資料の確認が行われた。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 7-4 に基づき、これまでの WG におけるコメント対応および船舶モデルの簡素化について説明が行われ、以下の議論が行われた。

Q p30 はフルモデルをベースとして簡素化モデルではどれだけ差が出たかを示したもののか。

A 簡素化モデルをベースとして、各パラメータを振った場合の最大荷重の変化率を整理したものである。

Q パラメータによって最大荷重が増減した理由は分かっているという理解でよいか。

- A 2GT 船の場合、基準条件では浮き室とその奥にある隔壁に衝突した際にピーク荷重が生じており、基準条件より弱い側にパラメータを振った場合、浮き室に衝突した際のエネルギー消費が少なくなり、その分第二ピークで荷重が大きくなったと考えている。一方で、19GT 船の場合はパラメータを振ってもピーク荷重の生じ方は変わらず、パラメータの増減に伴って最大荷重が増減した。また船尾衝突については破壊モードによるばらつきが大きいので、パラメータを振った影響が埋もれていると考える。
- C 力学的に説明できる箇所はよいが、条件によって変わるようなところは慎重に考えた方がよいという意図でコメントした。
- Q P17 の強度について、規則に記載の下限値を使っても安全側にならないというのは当然である。上限下限については、今後どのように使われるのか。
- A 各社が想定する船に対し上限下限で強度を設定し、どちらが保守的となるかを確認するような想定をしている。
- Q ルール要求値で計算するのも1つであるが、船舶の実態強度はルール要求値より若干高いのが実情である。鋼船における調査の結果、235Mpa の要求値に対し 300～310Mpa が実態強度であった。今回実態強度はないということだが、上限と下限で倍半分異なるのは厳しすぎるように思うが、どう考えているか。
- A FRP 製 2GT 船の材料試験結果における基準値と実態強度の差異は、鋼製材の基準値と実態強度の差ほどは大きくないと考えている。
- C 施設側の評価で過度に安全側の結果となってしまう恐れもあるため、合理的な範囲、例えばルール要求値の 120%、150%等という記載もご一考されたい。
- A 今回のパラスタの意図としては、この上限下限でチェックすべきということではなく、物性のバラつきが解析上衝突荷重への程度影響するかの確認の位置づけだと考える。解析する際に想定船舶と全く同じ物性を得ることは難しいが、基準値から設定してよいのか判断するための貴重なデータが得られたと捉えている。その上で、19GT 船はパラメータを振っても破壊モードが変わるような大きな影響は無く、メーカーヒアリングを踏まえてある程度の値を設定できれば衝突現象を概ね再現できるのではないかと、という印象を持っている。
- C 今回のパラメータの範囲を設計で全て検討するのも大変であり、基準の値で評価して安全率でカバーできると簡便である。
- C 本 WG と並行して体系化 WG が進んでいる。体系化 WG での議論において、毎回実験しなければ評価ができないのかという意見もあったが、物性値が分かればある程度衝突荷重を評価できる技術が出てきているという形でまとめようとしており、その中でこの成果が非常に重要な位置づけになる。そのため、現状どこまでできて、このような課題があるということを明確にしておくのが重要である。
- Q 計算機の更新により解析結果が 15%変わったということであるが、この程度の差異は問題ないのか。
- A 施設評価を行う上で無視できない変化であると考えており、計算機によるバラつきも含め安全率を設定した方がよいと考える。
- C LS-DYNA のコードを変えることはできないと思うが、知見として残しておくべきである。
- Q 2GT 船の実験の再現解析でも同じような差異は生じたのか。
- A 11%程度の差異が生じた。前のマシンと比べ実験の結果に近づく方向ではあった。
- Q マシンのコア数は同じか。
- A 4 つで変わっていない。
- C 15%の差異は大きいと感じるが、できるだけ新しいものを使う方針には異論ない。
- C 破壊の仕方が荷重に影響する。計算環境（マシン、OS、バージョン）の影響が蓄積しながら解析が進んでいくので、コア数が同じでも、その時点のコアの使用環境によっても解析結果が変わってくる。同じ解析を行っても解析結果が違ふ時もある。

- C 陽解法の特徴として数値誤差が出やすくなっている。同じ解が出るようにユーザーマニュアルから細かいテクニックを学んで使用いただきたい。
- Q p24 にて船尾衝突の最大荷重の差異が+66%と大きい理由について補足いただきたい。
- A 船尾衝突の解析結果はそもそもばらつきが大きいという点と、簡素化モデルの場合は継手厚さが他と同じ板厚で、弱部とならず固いために座屈強度に効いているという点の2つが要因として考えられる。
- Q 2GT 船の実験データは要望があれば提供できるのか。
- A 論文で公知化されているものは論文内容を参照頂ける。また、詳細なデータについては電力側で確認して OK であれば提供可能である。

(2) 船首・船側方向からの衝突に対する施設応答解析検討結果について

大塚幹事より資料 7-5 に基づき、船首・船側方向からの衝突に対する施設応答解析検討結果について説明が行われ、以下の議論が行われた。

- Q 施設の条件は標準的な値を使用しているか。荷重時刻歴の最大荷重の入力高さはどれくらいか。
- A 電力会社からヒアリングを行い、代表的な形式・構造の防潮堤を対象としている。RC 壁は天端高さが 10m であり、ばねを介した入力と荷重時刻歴入力では最大荷重発生時刻の衝突高さが 3m 程度違う。
- Q 静的に荷重を作用させたときの結果は、今回の動的な解析結果とどのくらい変わってくるのか。
- A 前フェーズで船首方向に静的入力を実施し、あまり変わらないという結果であった。船側衝突では実施していないが、ばねによる入力（最大荷重の作用時間が長い）との比較では応答に差が生じている。
- C ピークな荷重の効果と静的動的の効果を踏まえて整理されると分かりやすい。非線形だと振動の影響がある可能性があるため、もう少し分析すると分かることがあるかもしれない。
- Q 荷重時刻歴の最大荷重より軸剛性を設定したばねを介した入力をすれば過小評価するような結果にはならないというのが今回の結論でよいのか。
- A そのようなばねを介した荷重を構造物天端に作用させれば過小評価にはならないと考えている。
- Q サイン半波の周期をどこまで取るかはどうやって決めているのか。
- A ばねの軸剛性 k と船舶の質量 m から、半周期分として一意的に決めている。
- Q 周期をどこまで取るかで力積が変わる。力積を荷重時刻歴と合わせるようにした方がよいのではないのか。
- A サイン半波の力積は荷重時刻歴の 2 倍程度となっているが、ばねの跳ね返り作用の分力積が大きくなっているため最大荷重時刻をターゲットとすれば力積は大きく異なっていないと考える。一方で、ピークのタイミングがずれているのは施設固有周期との関係性を考えると懸念である。今の最大荷重を合わせるような決め方では与条件の v と m を変えなければならぬため力積を合わせるのは難しい。
- Q 力積が同じとなるのは数式的に証明されているのか。今回たまたま一致したようにも見える。周期によって動的応答への影響もあるように思う。
- A そのような証明は確認できていない。
- C 周期の話は非常に重要である。剛体衝突ではなく施設側が非線形形的な応答をしているため、丁寧に分析しないと何が起きているのか分かりにくい。
- C 前フェーズの船首衝突ではばねによる入力の適用性を確認したが、今フェーズの船側衝突の検討により、必ずしも同様に言えるかは分からない、というのが一つの結果と捉えている。過程では応答が合わないかと様々な検討をしたが、一般化には至らなかった。現時点では荷重時刻歴を使って施設評価するのが説明性が高いと思っている。

- A 今回は詳細に衝突解析をやるのがよいという結論となってしまうかもしれないが、これまで検討した簡便な手法も残しておくべきで、課題は課題として整理しておいた方がよい。
- Q 施設応答評価に関する論文化の予定はどうなっているか。
- A 前フェーズの成果については査読を受けて現在やり取りしている。今フェーズの分はこれから公知化に向けた検討を進めていく。

(3) 研究成果概要

栗山幹事より資料 7-6 に基づき 2 フェーズ分の研究成果について説明が行われ、以下の議論が行われた。

- C 衝突時、反射波の影響で実際の衝突速度は小さくなる。今の考え方は、付加質量を考慮せず、衝突速度の減速を考慮しない方法である。付加質量を考慮して、減速を考慮するのがより正確な方法であるがイテレーション計算が必要となる。前者の方が安全側かつ妥当なものであるというのが前提であるので、それを明記しておくのがよい。
- A 本研究では前者の条件で解析を行っているが、別の種類の漂流物に関する既往の文献では前者の条件の方が安全側になることが示唆されており、また本研究で確認した小型船舶の付加質量係数が他の種類の漂流物の値と同水準であったことを踏まえると、安全側かつ妥当な評価としてまとめられるのではないかと考えている。
- Q 本資料の位置づけは何か。
- A 本 WG における研究成果とりまとめの資料として作成したものであるが、今後、津波評価小委員会や原子力土木委員会の報告資料としても使う予定である。
- C HP へのアップロードについては現状議事録のみの予定で、本資料をアップロードする予定はない。
- Q 全体的なフレームワークの話を、どこかで発表する機会はあるか。
- A 原子力土木委員会から出すとなると敷居が高い。幹事団でご検討願う。
- Q PJ の最後にどのようにまとめるかという点で、FRP 製のものだからといって、それほど心配することはないと思う。何が問題として残っているのか。
- A 事業者としては FRP 船の衝突がよく分からない状態から、衝突力の評価、施設応答評価ができるようになり、簡素化の面では課題もありつつも、一旦研究のゴールを迎えたと考えている。
- C 研究の初期の調査において、原子力施設への衝突が考えられる漂流物として FRP 船が多いということが分かったが、その時点では FRP 船の衝突力の評価に関する知見がなかった。そのため本研究では実験による実際の衝突力の把握および再現解析等を行い、FRP 船の衝突力が解析により評価できるようになったというのが本 WG の成果と考えている。
- C FRP 船として考えたときに FRP の材料としての難しさだけでなく、船の構造としての難しさも出てきた。今後、引き続き研究を行うかどうかは各電力の意思によるが、短周期荷重の効き方など施設側の条件によっても変わるため一般化を突き詰めるのは難しいように思う。今回のパラスタの成果等を踏まえて、各施設に応じてフォローしていくような使い方が良いと考えている。
- C 最終的に今回の研究成果を自分たちの評価体系の中にどう落とし込むかが重要と考えている。
- A 体系化 WG で作成している文書の改定版等に織り込めると良いと思うが、まずは今フェーズの成果を論文化することが必要だろう。
- C 意見に賛成で、本研究成果をとりまとめて、ベストプラクティスや今後の課題、方向性を示せると良い。

以 上