

土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会
第5回 津波漂流物衝突評価WG 議事録

1. 日時：2024年2月20日（火） 13:30～16:00
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）※、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（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）、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）※、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 5-1 津波漂流物衝突評価WG_第5回_議事次第
- ② 資料 5-2 津波漂流物衝突評価WG_第5回_参加者一覧
- ③ 資料 5-3 前回（第4回）津波漂流物衝突評価WG 議事録
- ④ 資料 5-4-1-1 小型船舶の衝突力に関する研究
- ⑤ 資料 5-4-1-2 津波漂流物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 5-4-2 小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究
- ⑦ 資料 5-5 今後の津波漂流物衝突評価WGの活動計画について

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 5-4-1-1 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 船舶の構造および衝突時の壊れ方によって荷重履歴が決まると理解した。船側＞船尾＞船首 の順に大きくなるのは一般的と考えて良いか。

- A 船尾の解析では肋骨を入れているが船首衝突では肋骨を考慮していないため分からない。しかし、基本的には船側、船尾、船首の順になると考える。
- Q P28 の 3 番目のピークはどこが衝突しているのか。
- A 横肋骨に衝突する際に第 3 ピークが生じている。
- Q P43 の船側・船尾衝突の検討にてひずみ速度依存性を考慮したほうがピーク荷重は高くなるという結果は納得できる。一方で、P41 の船首衝突はひずみ速度依存性を考慮する方がピーク荷重が小さくなっているように見受けられ、これには違和感があるがどのように理解すればよいか。
- A 船首衝突の場合、応力レベルが高い箇所が少ないため、あまりひずみ速度に依らないという結果になったと考える。船尾衝突はひずみ速度依存性の考慮により船底の破壊モードが変わり、荷重の傾向も変わったことによる影響が大きいと考える。
- Q (多種多様な FRP 材料が存在し、強度と同様に、歪速度依存性についても、材料毎に異なると考えられる。そのような中) 本資料で歪速度依存性に関する物性を参照している文献が (比較的古い) 一つのみであり、今回の船舶で使用している FRP 材料の材料物性として、そのまま適用可能であるか疑問である。本資料で参照している文献の FRP 特性は 1 例であり、本材料特性を今後施設評価する際に用いるすべての船舶の材料特性に適用できるというのはミスリードであると考え。衝突解析においては、歪速度依存性は重要であり、FRP の材料物性について、更に文献を集めるとか、必要であれば材料試験を行う等を検討してはどうか？
- A FRP は粘弾性材料を含んでおり、ひずみ速度依存性はあると思うが、(静的／準静的な解析においては) これまでは考慮されていなかったように思う。考慮すべきか否かを統一的に言えるわけではないが、ひずみ速度依存性に関するデータ、マイナーな文献等はそれなりにあると思うのであたってみたい。
- C 現状、この文献一つのみ見つかっただけである。今後の検討では、ひずみ速度の影響が無視できるようであれば簡素化するが、影響があり考慮しないと非安全側になるのであれば考慮しなければならないと考えている。
- C 要素寸法が変わるとひずみ速度も変わる可能性がある。また、衝突力の評価時には剛体に衝突させており、評価する被衝突物の固有周期が短いならこのひずみ速度依存性の検討も意味を持つと思うが、実際には被衝突物の固有周期にもよると考えられる。
- C 引用している小林らの文献は、FRP 船で用いられる MR 積層材を用いた数少ない貴重なものだと思うが、ひずみ速度依存性があまりに急激に表れている。繊維交錯部の切り欠き感度や樹脂の脆化による破壊モードの変化が理由として伺えるが、本試験法および用いた試験片・材料特有の結果の可能性もある。例えば、ひずみ速度 30/s とすると破壊歪 0.3% まで 100 μ s 要するが、仮に応力波伝播速度を 2000m/s とすると 50mm の平行部を応力波が一往復するのに 50 μ s 要し、破壊までに 2 往復する時間しかなく、平行部でひずみ、応力が一樣になって破壊したとは到底言えない。解析への影響が極めて大きいことから、データ取得を含め検討する必要がある。基本的には 2GT 船の実験で検証されたデータに基づいて整理していくべきだと思う。
- C 今後簡素化を考えていく上で、衝突力への横肋骨の影響をもっと整理し、横肋骨の入れ方については、資料で記載しているようなあいまいな記載ではなく、より明確な方針を示してほしい。本研究でも横肋骨については実機を参照したモデル化ができなかったことを考えると今後やる人も同じようにしかできないので、知見とまではできなくとも「こう考えた」という情報を残せば考え方のトレースは可能である。

山川幹事より資料 5-4-1-2 に基づき津波漂流物の衝突に対する施設応答解析の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 ピーク荷重の作用時間に対して固有周期が長い場合構造物に影響を与えなかったという結果について、この周期のピークであれば効かない等の整理は可能か。本来見るべきピーク荷重をもとに設定したサインカーブの荷重を入力した

際の施設応答解析の結果と、時刻歴荷重を入力した際の施設応答解析の結果が一致するのが理想である。保守的だから良いということではなく、現象を表すという考え方が必要である。

- A 作用時間が短いとはいえず効かなかった訳ではなく、P9 の「 t_0/T と動的応答倍率の関係」によれば 60% 程度は効いていることになる。波形にフィルタ処理を施して検討することは可能と考えている。
- Q P9 にて、結果的に Case0 と比較して Case 1 の応答が大きくなったが、構造物に与えられた力積で大きさが決まっているように思われる。Case1 も Case0 と同じくらいの力積を与えるのが良いのではないか。
- A Case1 の力積にはばねのはね返りの力も含んでいるため単純に同じ力積を与えることはできないが、およそ 2 倍の力積となっていると考えられる。サインカーブについては質量、速度、剛性を調整することで力積及び作用時間を調整することは可能である。
- Q Case1 の結果は保守的だと思う反面、ひずみ速度を考慮すべきとなると保守的、非保守的が混在するので整理して検討する必要がある。また、横肋骨の入り方等で衝突荷重の時刻歴が変わってくる。固有周期に近い荷重であれば応答倍率が上がる可能性も有るが、そういった荷重を与えるようなことは考えていないか。
- A 本研究では、仮想的な構造物に対し、漂流物衝突荷重を受けた際の挙動の傾向を確認することを目的としており、この構造物の健全性評価自体はあまり重要と捉えていないため、積極的に荷重を変えた追加ケースを実施することは考えていない。
- Q P14 に降伏ひずみや降伏応力も併記されているが、降伏状態に対して発生した応答の比については、構造物の健全性評価としてどのように考えるか。
- A こちらについても、仮想的な構造物に対しての検討であるため、この構造物の健全性に着目した整理は行っていない。前フェーズの結果と比較すると、波圧を 10m から 5m に減じた分裕度の大きい結果とはなっている。
- Q 来年度の計画においては、船首方向の Case3 を実施予定としているが、P17 を見ると船側衝突と船尾衝突の衝突力が高いのであるから、(リソースも限られていることから) この 2 つのシナリオのみ行っておけば十分なのではないか。
- A 船首衝突については衝突実験で船首衝突を扱っていたため、まずは基本的な状態として船首衝突を検討してきた経緯がある。
- C 船首衝突は最初に船の先端に衝突し、作用面積の時刻変化が大きいケースと捉えていることから、代表として検討している。
- C 材料特性が変わっても力積は一定値となることから、ひずみ速度の影響で衝突荷重が大きくなると作用時間は短くなり、力積支配のケースでは作用時間が短くなると施設の応答は小さくなり、結果としてひずみ速度の影響が緩和されることも期待される。
- C 全て時刻歴荷重を入れて解析すればよいという考え方もあるが、全ての設計者が高度な解析を実施できるわけではないため、ばね質点モデルのようなクラシカルで簡便な手法が高度な解析手法に対して有するギャップを埋めることを意識されたい。また、実現象としてトータルでどういった応答となるかを考える必要がある。今回の検討ケースでは船側の応答が大きいという結果だが、実際は、船側は船首船尾に比べて衝突速度が遅いようなことも考えられるため、船首船尾の検討も重要である。

(2) 小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究

岩本幹事より資料 5-4-2 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 実際の船舶の軸剛性および付加質量係数はどの程度といえるか。

- A 実際の船舶が衝突した際の荷重変位関係は非線形性が強い。実験と同じような非線形のばねを入れるような検討は可能であるが、今回実施したのは簡易的に実務上用いることを目的とした線形ばねを用いた検討となる。
- C 実際の船舶の軸剛性は詳細に検討しなければ分からないが、この程度軸剛性を上下へ振幅を持たせても付加質量係数はこの範囲に収まる、ということが今回得られた結果と理解した。
- Q P12にてケースCだけ5m/sになっているのは違和感がある。ケースA,Bも5m/sで速度をそろえて付加質量係数を出していただきたい。今と同じ値になると考えているがその理解で良いか。
- A ケースA,Bの5m/sの検討は現在準備中であり、確認する。なお、1-2の衝突速度が付加質量係数に与える影響の検討と同様に、完全一致はしないものの、あまり影響しないという結果になると考えている。
- C 実務において、衝突力式が使えないから解析を行う必要があるが、その解析でどのパラメータを使えばよいか、そのパラメータを使うことによりどの程度得られる値にバラつきが出るのか、というのが分かるような整理を最終的にお願いしたい。

(3) その他

栗山幹事より資料5-5に基づき今後の活動計画について説明が行われた。

以 上