

土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会
第 21- 3 回 津波漂流物衝突評価 WG 議事録

1. 日時：2022年2月22日（水） 15:00～17:00

2. 場所：Webex（IHI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）、山田安平（海上・港湾・航空技術研究所）、和仁雅明（中部電力）

※1：金原勲（金沢工業大学）、前川宏一（横浜国立大学）は欠席

<常時参加者>安藤明宏（関西電力）、神田典昭（電源開発）、坂上武晴（日本原電）、佐藤栄二郎（九州電力）

※2、下口裕一郎（四国電力）、田村雅宣（東北電力）、藤井直樹（東電設計）、二木敬右（北陸電力）、吉次真一（中国電力）

※2：当日（2/22）欠席のため、立花栄大が代理出席

※3：奥寺健彦（北海道電力）は欠席

<幹事> 市川卓也（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）、山川大貴（東電設計）、米津和哉（関西電力）

※4：宮川義範（電力中央研究所）は欠席

<オブザーバー>松山昌史（電力中央研究所）

※5：森勇人（中部電力）は欠席

4. 配付資料：

- ① 資料 21-3-1 第 21-3 回 津波漂流物衝突評価 WG 議事次第
- ② 資料 21-3-2 第 21-3 回 津波漂流物衝突評価 WG 参加者一覧
- ③ 資料 21-3-3 前回（第 21-2 回）津波漂流物衝突評価WG 議事録
- ④ 資料 21-3-4 津波漂流物の衝突に対する施設評価に関する検討
- ⑤ 資料 21-3-5 津波漂流物の衝突力に関する実験的研究
- ⑥ 資料 21-3-6 「津波漂流物の衝突に関する施設評価の高精度化」研究総括

5. 結果：

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

(1) 津波漂流物の衝突に対する施設評価に関する検討

山川幹事より資料 21-3-4 に基づき津波漂流物の衝突に対する施設評価に関する検討について説明が行われ、以下の議論が行われた。

- Q 質量や剛性の設定方法について理解した。この手法で実験結果の最大値を概ね再現できているのか。
- A 最大荷重が一致する軸剛性を設定しているため、最大荷重を再現できている。
- Q 異なる船の場合は別途軸剛性を設定することか。
- A その通りである。衝突力解析を実施して、軸剛性を設定する。
- Q 将来的に 3 次元モデルの結果から等価な 2 次元モデルができるというが、そのような検討は考えているのか。
- A 現状では考えていない。
- Q 3 次元モデルの場合、奥行 20m で考えているが、10m にする等、奥行の取り方によって結果が変わってくると思うが、どこまで取る必要があるのか。
- A 実際の構造スパンに合わせて設定することになる。設計の考え次第であるが、1 構造スパンで単体で分離して挙動するモデル化とすることで保守的な設定になる。
- C コメントの通り、今後の課題として等価な 2 次元モデルの手法があるかと思う。
- C コメントに関連するが、2 次元モデルにおいて等価な分担幅の設定についても検討が望まれる。今回の検討では波圧が大きすぎて影響が見えにくくなっているが、例えば漂流物衝突のみの影響を評価することで、より合理的な 2 次元モデルの検討ができると思う。
- A 今後の課題として考えていきたいと思う。

(2) 津波漂流物の衝突力に関する実験的研究

豊田幹事より資料 21-3-5 に基づき津波漂流物の衝突力に関する実験的研究について説明が行われ以下の議論が行われた。

- C 全体的にみるとひずみ速度依存性の影響が局所的に留まる可能性はあると思う。ひずみ速度依存性の有無のグラフが別々のグラフとなっており定量的な比較がしにくいので、ひずみ速度依存性ありの線となしの線を同一のグラフにプロットしてほしい。また、摩擦係数 0.2 のケースではひずみ速度依存性を考慮した方がピークの荷重は小さくなっている。P.18 の右下図において、ひずみ速度が増加すると Relative stress の倍率が最大で 3.5 (strain rate=15[1/s]の時) 近くまで達することを踏まえると、ひずみ速度依存性が増加するほど、反力は大きくなるのが自然だと考えるが、解析結果を見るとそのようになっていない。これについてどう考察しているのか。ひずみ速度依存性の材料構成則が適切に機能しているかどうか若干心配である。また、ひずみ速度依存性を考慮するにあたって材料構成則は DYNA ライブラリの何番を使用しており、その検証 (Validation) はできているのか。
- A 材料モデルとしては LS-DYNA の MAT054 (直交異方性材料に用いる材料モデル) を用いており、強度に対してひずみ速度依存性を考慮することができる。また、ひずみ速度依存性を考慮した場合の検証は 1 要素モデルを用いて実施している。なぜ荷重が小さくなるかというのは、これまでに実施してきた解析の傾向から、摩擦係数の影響によりピークの生じ方に大きな非線形性があるため、その影響によるものとはかえって、特に鋭いピークについてはこのばらつきの影響を受けやすいと思う。一方で、荷重変位関係の最大変位は、ひずみ速度依存性を考慮した場合の方が小さくなっているが、これはひずみ速度依存性によって材料の強度が大きくなったためであると考えられる。
- C MAT054 を適切に使用していれば構成則としては恐らく問題ないのではないかと考える。ひずみ速度があまり増加しなかったこと及びご説明いただいた理由によりこの結果となったと理解した。
- Q 船側衝突について、重量を集中させてモデル化する際に、実際のエンジンよりも幅が大きく、より船側近くまで質量が集中している部分ができしまったために、今回の解析結果のような現象が生じたのか。
- A 今回のモデル化では集中質量は点的であり、実際のエンジンの方が幅はある。また、エンジンだけが 50t ではなく、艀装品等の質量が含まれている。本モデルでは、集中質量 1 点に質量を集中させすぎており、かつエンジンのような幅を持っておらず、適切な剛性も持っていないことから、船側衝突では、かなり厳しい設定となっていると考えられる。

- Q 船尾からの衝突で、今後、浮力を考慮しなければならないということであるが、浮力を考慮するとどうなるのか。
- A 船尾衝突の解析では、船首が下方向に回転したことにより、荷重が剛体壁に十分伝達されていない結果であったと考えられるため、浮力を考慮することで、船首の下方向の回転が抑制されてまっすぐに衝突し、荷重がより伝達される可能性がある。今後は浮力の影響も踏まえた上で、船側衝突を検討していく必要がある。
- C 船尾衝突では系のトータルエネルギーが回転の運動エネルギーとして消費されるため、浮力を考慮することで剛体回転を抑え荷重が大きくなると理解した。浮力のモデル化はできないことはないがやや複雑であり、そのモデル化の試行錯誤で時間を費やすようであれば、代わりに重心節点の剛体回転自由度を拘束することで剛体回転を止める方法がある。
- A 今後、剛体回転を止めることも含めて検討する。
- C 重心は計算の結果得られるものであるため、重心の剛体回転を拘束することは難しいと思う。一方で、今回のモデルでは集中質量の節点の回転を拘束することは可能だが、この場合、集中質量と周囲のシェル要素を結合している部分に過大な負荷が作用することが想定される。
- A 重心の回転を止めるのは難しいとのことであるが、変位拘束については、様々な方法があり、荷重を分散させ、うまく工夫をすることで方法はあると考える。解析の目的は、施設の安全性評価であり、剛体回転なく、最大の（安全側の）荷重を推定することが重要であるので、回転の拘束や浮力のモデル化等から最も効率のよい（時間のかからない、かつ、シンプル）方法を選択すればよいのではないかと考える。
- C 浮力をモデル化することに注力するのではなく、ソフトに支持するなど簡便な方法で回転を少なくしてその影響を把握するのが大事だと思う。
- C 衝突荷重は積分値であり、衝突後の変形の大きさで決定されると考えられる。また、エネルギー吸収には変形が必要であり、今回の衝突における主要な変形は曲げにより生じている。一方で、荷重時刻歴を見ると全体的な衝突が 10^{-1} 秒オーダーであることと、今回の材料モデルでは破壊ひずみを数%~10%で設定していることを踏まえると、主要な曲げ変形でエネルギーを吸収する過程における平均的なひずみ速度はせいぜい $10^{-1} \sim 10^0$ オーダーであると考えられる。参照している文献では、例えばひずみ速度 $10s^{-1}$ でも大きな強度倍率が出ており、極端なデータという所感ではあるものの、これと比較したとしても平均的なひずみ速度は小さかったことから、ひずみ速度の影響が顕著でないという今回の結果は理解できるものと考えられる。
- C 同意する。一般的には、高速の衝突においてはひずみ速度依存性を考慮するのが常識であり、今回の検討では、施設に作用する荷重を推定するに際して「ひずみ速度依存性の影響を適切に考慮した（というプロセス）」が重要だと考える。

(3) 研究総括

栗山幹事より研究総括について説明が行われ、以下の議論が行われた。

- Q 今回の研究総括は特に報告書を作るというものではない。この資料は公開となるのか。
- A 今回の資料そのままではないが、今後の講習会を実施する際には、このような資料を準備する。
- Q 研究総括について異論はないが、今後の課題として津波との相互作用であるということは理解した。論文は通常号の査読論文とするのか。できれば海外の査読付き論文で出してほしい。
- A 検討する。
- Q 課題として3次元解析結果に基づく簡便な2次元解析評価とか、浮力の考慮等も今後の課題となるか。
- A 課題として、今後検討する。

(4) その他

- C 外挿解析から施設応答解析の内容に関する論文を5月頃に投稿する予定である。
- Q 土木学会論文集（通常号）では2022年1月から投稿形式が変更されたと聞いているが、部門指定をする形式ではなくなったのか。
- A 投稿した際には専門分野を選択する形となっており、2022年1月26日に投稿した論文については構造工学、計算力学、海岸港湾構造物・施設を選択した。

以上