

**土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会**  
**第 21- 2回 津波漂流物衝突評価 WG 議事録**

1. 日時：2022年1月5日（水） 10:00～12:00
2. 場所：Webex（電力中央研究所主催）
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> 安藤明宏（関西電力）、奥寺健彦（北海道電力）、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）、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）
  - <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）、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）
    - ※1：伊藤公人（中部電力）は欠席
  - <オブザーバー> 松山昌史（電力中央研究所）
    - ※2：森勇人（中部電力）は欠席

4. 配付資料：

- ① 資料 21-2-1 第 21-2 回 津波漂流物衝突評価 WG 議事次第
- ② 資料 21-2-2 第 21-2 回 津波漂流物衝突評価 WG 参加者一覧
- ③ 資料 21-2-3 前回（第 21-1 回）津波漂流物衝突評価WG 議事録
- ④ 資料 21-2-4 津波漂流物の衝突力に関する実験的研究
- ⑤ 資料 21-2-5 津波漂流物の衝突に対する施設評価に関する検討
- ⑥ 資料 21-1-6 「津波漂流物の衝突に関する施設評価の高精度化」研究成果の取りまとめについて
- ⑦ 資料 21-1-6-参 「津波漂流物の衝突に関する施設評価の高精度化」2019 年度検討結果の紹介

5. 結果：

WG 開催に先立ち富田 WG 主査より挨拶が行われ、その後、木原幹事長より説明資料の確認が行われた。  
議事次第に沿って、配付資料の説明がされ、以下の議論が行われた。

(1) 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 21-2-4 に基づき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。

Q 荷重変位関係での変位をどのように定義しているのか。力積の時刻歴は積分値ではないのか。

A 変位の定義については重心位置の変位としている。力積については、荷重の時間積分値を示している。

Q ひずみ速度依存性を調べた方がよい。ひずみ速度はどれくらいか。また、摩擦係数の検討範囲の根拠を教えてください

衝突荷重は短時間の時刻歴となっているが、その考慮はどのように考えているか。

- A FRPのひずみ速度の影響については存在するが、現状考慮していない。局所のひずみ速度は確認できるが、マクロな観点でのひずみ速度については分析できていない。また、摩擦係数は、一般的な摩擦係数の範囲を振っており、できるだけ荷重が大きくなるよう、衝突姿勢がまっすぐとなるように摩擦係数を設定している。
- Q 荷重時刻歴では各ピークの継続時間が短く、全体としても1秒程度の短い継続時間の衝撃となっている。施設評価ではどのように衝突を考慮するのか。
- A 施設評価では、衝突時の荷重の最大値を作用させている。
- Q 対象とする構造物の固有周期と外力の作用時間の関係という観点では、ピークだけに着目すると過度に保守的な荷重になることも考えられるので、引き続き検討していただきたい。
- Q 材料構成則において、材料のひずみ速度依存性を考慮しているか。
- A 考慮していない。
- Q 一般的に高速度の衝突現象ではひずみ速度依存性を考慮することが合理的であり、衝突速度が大きい10m/s、15m/sではひずみ速度依存性の影響は相対的に大きくなると考えられる。ひずみ速度依存性を考慮した場合、今回推定した解析結果よりも大きな最大荷重が生じる可能性があり、それは安全側の評価となると考えられる。実験の解析検証は別として、今後の「施設評価」の審査において、ひずみ速度依存性についてコメントが出る可能性があるのか、検討しておいたほうが良いのではないか。
- A ひずみ速度依存性の影響については現在確認を進めているところである。その結果も踏まえて、影響をどのように取り扱うかを検討していく。
- Q 資料の結論で、「摩擦係数が荷重、変位に与える影響は明確でなかった」と整理しているが、今回の解析で非常に多くのことが分かり、大変興味深いと考えている。例えば、 $V=5\text{m/s}$ では摩擦係数が大きい方が接触時の船体の剛体回転が抑制され、(おそらく、初期の衝突運動エネルギーが、船体の剛体回転のエネルギーで失われない効果により)、最大荷重が大きくなっており、最も回転角度が小さい摩擦係数0.3のケースで最大荷重が最大となっていると考えられる。また、摩擦係数0.2、0.3における最大荷重はそれぞれ900kN、1300kN程度で最大荷重が1.3~1.4倍程度違うことが分かる。これらの結果からは、最大荷重で施設評価する観点からは摩擦係数の影響は小さくないと考えられる。但し、本来的には船舶と構造物の摩擦係数が分かれば、今回のような感度解析は不要であり、今回、正確な値が把握できていないので、摩擦係数を振って感度解析を実施していると理解している。なお、結果グラフを見ると、摩擦係数0.3と0.4の間において、船体がほぼ回転せず最大荷重が大きくなるようなケースが存在する可能性もあり、そういったことが審査で問われなくても限らないので、施設評価に向けて今後検討を進めてはどうか。
- A  $V=15\text{m/s}$ では、摩擦係数0.1と0.2の間で回転方向が異なっていたことから、この間に最大荷重が大きくなるケースがある可能性を想定し、摩擦係数0.15を実施した。結果、姿勢は摩擦係数0.15の方がまっすぐ衝突していたものの、最大荷重は摩擦係数0.2の方がやや大きかったことから、後者を選定した。摩擦係数の影響を詳細に確認する場合にはこのように進めていく必要があると考えている。
- C 荷重と力積のどちらが重要かは、ご指摘のように構造物の固有周期と外力の作用時間の関係で決まる。摩擦係数を決める際に荷重を重視した説明となっているが、これは評価対象の施設側の剛性が大きく固有周期に比べ荷重作用時間が十分長いという前提に基づいていると思われる。特に衝突速度15m/sのケースでは摩擦係数0.15と0.20の場合を比べると、前者の方が力積で5%以上大きいにも関わらず、最大荷重の大きい後者を選定していることから、なぜ最大荷重に着目するのかについて、施設側の観点も踏まえて理由を丁寧に説明した方が良い。

## (2) 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21-2-5に基づき衝突力に対する施設評価について説明が行われ以下の議論が行われた。

- Q バネを介して荷重を作用させるというのはどのような解析方法か。また、作用面積について、構造物の寸法との関係についてどのように考えているのか。
- A 荷重の入力方法については、バネの後ろに漂流物の質量分の質点を設け、質点到初速を与えてバネを介して構造物に作用させる解析を行っている。作用面積については、構造物が奥行 20m であるため、載荷範囲を広くすると奥行全体で荷重を受け止める挙動となり、逆に狭い範囲とすると比較的載荷範囲に限定された挙動を示すことから、考えられる狭い範囲での設定が保守的と考えて設定している。
- C つぶれている船首部分の質量は全体の質量に対してどれくらいが分かれば確認し、モデル化にあたって何が妥当な質量なのか検討していただきたい。また、実際には船の構造に応じた荷重が作用しているので、モデル化の妥当性について引き続き検討をお願いしたい。
- Q 津波の波圧はどのように考慮しているか。
- A 津波の波圧は静的に作用させた状態を維持しながら漂流物が衝突する計算を行っている。
- Q 検討ケースについて、現実的な波圧の設定である Case10 と 11 が基本ケースではないのか。
- A Case10,11 は現設計手法との比較ということで Case8,9 との比較を考えている。Case4~7 については解析手法の比較のため、条件を合わせて実施している。
- Q 作用範囲を狭くした解析を 1 ケースだけ実施してはどうか。面外せん断のモードが生じる可能性があるケースとして、極端な設定での解析を実施しておくことで説得力が増すのではないかと。十分な壁厚があるため、面外せん断は生じないと思われるが、やっておくだけの価値はあると思う。
- A 工程上追加検討は難しいが、いただいたご意見を踏まえて対応については検討させていただく。
- Q 作用面積の設定について、衝突力解析が無い場合はどのような設定が考えられるのか。
- A もし衝突力解析結果が無い状態から設定する場合、今回の結果と同様に最大荷重時の変位における断面形状から設定することが一つの方法として考えられる。
- C 基本的には衝突力解析を実施して面積を設定することを想定している。
- Q これまでの船舶の衝突に関する知見では付加質量の影響があることが示されており、横方向からの衝突の場合には最大で 2 倍まで増えることが示されている研究等も古くからあることから、付加質量を 0 と設定すると過小評価になるおそれがあるのではないかと。ここで示している NRA の論文では運動エネルギーがひずみエネルギーで吸収されることを言っているのか。
- A 反射波の影響を考慮した結果、付加質量を 0 とする方針としている。
- Q NRA の論文を読むと必ずしも反射波の影響とは書いていないのではないかと。
- A NRA の論文では明確には書いていないが、FEMA では津波の反射波の影響があり、壁構造物に対しての付加質量 0 と記載されているので、総合的に見て解釈している。
- Q 付加質量を考慮しても大丈夫というシナリオの方が良いと思うが、これを 0 としてしまうのは違和感がある。
- A 今回の評価では津波を 3 倍波圧で考えており、衝突荷重と波圧の重畳を考慮した結果、付加質量を 0 とするという考えであれば整理ができるのではないかと。
- A そのような考え方もできるかもしれないが、今回は反射波の影響を考慮するために、付加質量を 0 とすることを考えている。
- Q これまでの審査ではどのようにしているのか。
- A 既往の審査では付加質量を 1 (質量係数で 2) としている実績がある。
- Q 審査実績を踏まえても、付加質量を 0 とすることについてはもう少し説明を補強するべきではないかと。
- A 正面衝突の場合 (Surge) は付加水質量係数が約 1.1 倍となるが、ご指摘のように 3 倍波圧がかかっている全体の質量からすれば船体の 1.1 倍の質量の影響は (実質的に) ほとんど影響が無い可能性もあるので、「付加水質量

を考慮しても影響ない」というストーリーが可能でないかと考える。

(3) 研究成果の取りまとめ

栗山幹事より研究成果の取りまとめについて説明が行われ、以下の議論が行われた。

C FRP 船の衝突については、多くの検討が実施されてきた。ぜひこれをまとめてほしい。

C 実際の船を使った実験は、世界的に見ても貴重であるので、英語の論文も出してほしい。

Q 車両の衝突について記載されているがこれはどういうものか。実験は実施しているのか。

A 2019年に車両衝突の施設評価を行っている。この際の軸剛性は、文献に基づき設定している。

Q 壁構造物への衝突が検討されているが、隅角部への衝突、オフセット衝突のようなものは考慮しなくてよいか。

A 現状ではそのような評価のニーズはなく、ニーズのある壁構造物、津波防潮堤の評価を行っている。

(4) 今後の予定

- ・ 2月中にWGを行う予定。近日中に候補日を提示する。

以上