

第8期津波評価小委員会
(2021年度～2023年度)
終了報告

2024年度 第2回 原子力土木委員会
2024年7月8日

委員・幹事

役職	氏名	所属	役職	氏名	所属
委員長	高橋 智幸	関西大学	委員	鳴原 良典	防衛大学校
顧問	首藤 伸夫	東北大学		菅原 大助	東北大学
	河田 恵昭	関西大学		高川 智博	海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
	磯部 雅彦	東京大学		富田 孝史	名古屋大学
委員	安中正	東電設計(株)		平田 賢治	防災科学技術研究所
	今村 文彦	東北大学		福谷 陽	関東学院大学
	蛭沢 勝三	(一財)電力中央研究所		松山 昌史	(一財)電力中央研究所
	家島 大輔	中国電力(株)		森勇人	中部電力(株)
	加藤 史訓	国土交通省国土技術政策総合研究所		八木 勇治	筑波大学大学院
	金戸 俊道	東京電力ホールディングス(株)		山中 佳子	名古屋大学大学院
	菅野 剛	東北電力(株)		米山 望	京都大学
	後藤 和久	東京大学大学院			
佐竹 健治	東京大学				

役職	氏名	所属	役職	氏名	所属
幹事長	木原 直人	(一財)電力中央研究所	幹事	志方 建仁	(株)ニュージェック
幹事	荒川 武久	東京電力ホールディングス(株)		芝 良昭	(一財)電力中央研究所
	石井 倫生	東京電力ホールディングス(株)		鈴木 和磨	中部電力(株)
	石島 清宏	エム・アール・アイリサーチソシエツ(株)		土屋 悟	(株)ユニック
	石原 史隆	(株)ユニック		中田 隆	エム・アール・アイリサーチソシエツ(株)
	稲葉 大介	(株)セレス		永松 直樹	中部電力(株)
	甲斐田秀樹	(一財)電力中央研究所		藤井 直樹	東電設計(株)
	加藤 勝秀	中部電力(株)		保坂 幸一	八千代エンジニアリング(株)
	木村 達人	東電設計(株)		山木 滋	(有)シーマス
	栗田 哲史	東電設計(株)		山邊 洋之	東京電力ホールディングス(株)
	木場 正信	(株)エングローブコンサルタント			
	佐藤 嘉則	(株)ユニック			

概要

■ 研究の目的

- 別途実施する共通研究「津波評価技術の高度化に関する研究（その4）」、「土砂を含む津波の波力評価技術の高度化に関する研究」、「小型船舶に関する漂流物衝突評価の高精度化」（2022年10月～）の検討結果について、津波評価技術の体系化を行うことを目的とする。

■ 研究期間

- 小委員会/WG設置の承認日～2024年3月19日

■ 成果公表の可否

- 原子力発電所の津波に対する安全性評価に活用するために、審議に基づく最終的な検討結果は論文発表などにより公知化する予定である。

第8期活動実績（2021-2023年度）

● 2021年度

➤ 第1回

- ✓ 日時：2021年8月4日15時30分～17時35分
- ✓ 場所：オンライン

➤ 第2回

- ✓ 日時：2021年11月18日14時～17時30分
- ✓ 場所：オンライン

➤ 第3回

- ✓ 日時：2022年2月9日14時～17時40分
- ✓ 場所：大手町地区＋オンライン

● 2022年度

➤ 第1回

- ✓ 日時：2022年6月3日14時～17時30分
- ✓ 場所：オンライン

➤ 第2回

- ✓ 日時：2022年8月24日13時30分～17時30分
- ✓ 場所：オンライン

➤ 第3回

- ✓ 日時：2022年11月22日9時～12時
- ✓ 場所：オンライン

➤ 第4回

- ✓ 日時：2023年2月8日13時30分～17時30分
- ✓ 場所：オンライン

● 2023年度

➤ 第1回

- ✓ 日時：2023年6月1日13時30分～17時
- ✓ 場所：電力中央研究所・大手町地区＋オンライン

➤ 第2回

- ✓ 日時：2023年8月31日9時～12時
- ✓ 場所：オンライン

➤ 第3回

- ✓ 日時：2023年11月22日13時30分～17時
- ✓ 場所：電力中央研究所・大手町地区＋オンライン

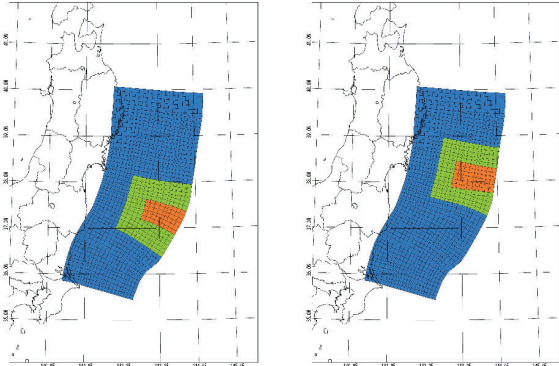
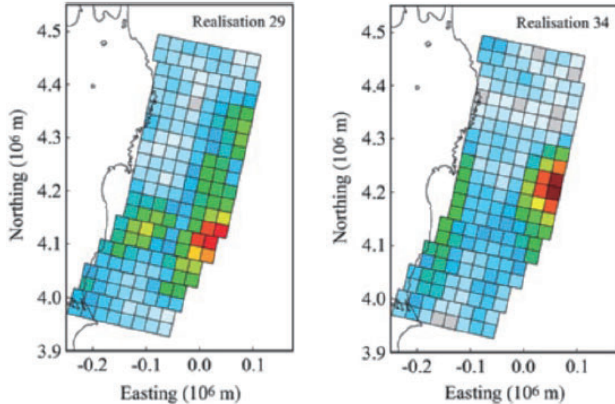
➤ 第4回

- ✓ 日時：2024年2月14日9時～12時
- ✓ 場所：オンライン

研究項目

年度	研究項目	主な成果
第1期 (1999～2000)	・津波水位評価手法の検討・基準化	「原子力発電所の津波評価技術」を刊行(2002)
第2期 (2003～2005)	・確率論的津波ハザード解析手法の検討 ・分散性と砕波を考慮した数値モデルの検討, 津波による波力評価手法の検討	
第3期 (2006～2008)	・津波による砂移動評価手法の検討 ・確率論的津波ハザード解析手法の高度化及びとりまとめ	「確率論的津波ハザード解析の方法」を公開(2011)
第4期 (2009～2011)	・波源および数値計算方法に関する最新の知見の反映 ・波力・砂移動・確率論的津波ハザード解析手法等の評価技術の体系化	
第5期 (2012～2015上期)	・東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波評価手法の検討	
第6期 (2015下期～2017)	・地震性津波の評価手法に関する検討 ・非地震性津波や二次的影響評価手法に関する検討	「原子力発電所の津波評価技術2016」を刊行
第7期 (2018～2020)	・地震性津波の評価手法(確率論的津波評価手法も含む)に関する高度化 ・非地震性津波や砂移動評価手法に関する高度化	“Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japan 2016” を公開
第8期 (2021～2023)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地震性津波の決定論的・確率論的評価手法に関する高度化 2. 地すべり津波の決定論的・確率論的評価手法 3. 津波解析手法の高度化に関する検討 4. 土砂を含む津波波力に関する検討 5. 漂流物衝突評価に関する検討 →WG2件設置 	成果は、土木学会論文集等へ順次投稿中

1. 地震を要因とする津波に関する検討

項目	検討内容
<p>既往津波の分析と確率論への反映検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>新たな波源モデル</u>に関する新知見を収集を実施。 • <u>既往津波の波源モデル</u>に対して再現解析を実施し、「痕跡高を説明できる断層モデル」の更新、その作成方法について検討。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1611年慶長奥州地震津波, 1771年八重山津波, 1605年慶長地震津波, 日本海東縁部の地震津波, 庄内砂丘の古津波
<p>波源の不確かさが水位に与える影響の検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> • プレート間地震のすべり量の不均質性を確率的に取り扱う<u>ランダム波源モデル</u>について、情報収集、分析を実施。 • <u>ランダムソース</u>を試行的に作成し、すべり量や地盤変動量分布の観点から、従来使用している<u>特性化波源モデル</u>及び既往の津波インバージョンモデルとの関係性を分析し、実海域を対象としてランダムソース及び従来の特性化波源モデルを用いた津波解析を実施。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>特性化波源モデル</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>ランダムソースモデル</p>  </div> </div>

2. 地震以外を要因とする津波に関する検討

項目	主な地すべり津波関連検討項目
<p>地すべり津波の決定論的評価手法に関する検討</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">地震外力</div> <div style="margin-bottom: 10px;">↓</div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">地すべり</div> <div style="margin-bottom: 10px;">↓</div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;">津波</div> </div> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 水面への衝撃力による造波の考慮の必要性の検討 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fall（落下），topple（前方回転）による津波発生可能性・規模の分析 ◆ 解析手法に関する検討 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 地すべり発生評価：解析手法及びソフトウェアの相互比較 ◆ 解析手法に関する検討 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 地すべり挙動評価：解析手法及びソフトウェアの相互比較 ◆ 過去の水理実験結果を用いた検討 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 初期水位算定式（Watts式，Fritz式）の再現性検証 ✓ 実現象と水理実験のスケール関係等の検討 ◆ 既往地すべり津波の再現解析 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1741年渡島大島 ✓ 2018年9月インドネシア・スラウェシ島パル湾 ✓ 2018年12月インドネシア・クラカタウ火山
<p>地すべり津波の確率論的評価手法に関する検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 地すべり津波の確率論的評価手法を用いた検討に関する知見を収集。また、過去実施した解析における課題を抽出・整理し、その適用性を検討。

地すべり挙動解析に関する検討

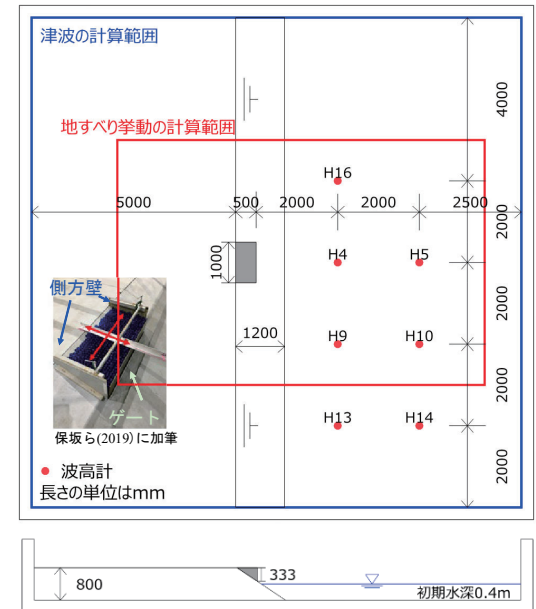
■ 地すべり挙動解析に適用できる公開ソフトウェア及び解析手法の特徴の整理

比較対象としたソフトウェア

名称	TITAN2D ver.4.0.0	VolcFlow ver.4.0.0	r.avafLOW ver.2.4
作者	Patra et al. (2005)	Kelfoun and Druitt (2005)	Mergili et al. (2017)
離散化手法	有限体積法	有限差分法 (風上)	有限差分法 (NOC-TVD)
レオロジー (採用した もの)	底面	Frictional クーロン摩擦	Frictional クーロン摩擦
	内部	internal friction 内部摩擦	plastic Behavior 塑性挙動

比較対象とした水理実験

(藤井ほか, 2018)



- いずれも平面2次元浅水流形式のモデル
- 離散化手法やエネルギー消散の取り扱いに違い

ガラスマール ($\Phi=30\text{mm}$)
を用いた陸上地すべり津波
実験

3. 津波解析手法の高度化に関する検討

■ 背景

- 原子力発電所の津波評価において、構造物周辺等の津波の3次元的な流況を再現する場合や、波力をより精密に評価する場合に、3次元モデルによる津波解析が有効な手段となる。しかしながら、3次元モデルによる解析の計算負荷は大きいため、津波波力評価における解析領域はサイトあるいは建屋周辺に限定される。そのため平面2次元解析との連結が必要
- 津波評価上の必要な精度を確保しつつ、計算負荷が小さいハイブリッド手法を構築する必要がある。

■ 検討目的

- 水理模型実験における津波条件は、正弦波、孤立波など現実の津波波形に比べシンプルな波形を対象とする場合が多く、現実の津波スケールとは異なる場合も多い。
- 現実の複雑な地形における2Dと3Dの接続は、安定に物理量（流量等）を受け渡し可能か否か不明である。
- それらを踏まえて実規模の津波に対する解析領域の設定、2D-3D接続方法、解析条件の検討を行う。

■ 検討内容

- 対象津波は3.11津波を想定（波源モデルはSatake et al.(2013)によるものを使用）
- 既往研究で対象としている女川町の津波評価を実施
- 手法の実用化に向けて、既往研究から確認できない解析条件、2D-3Dの接続位置等の影響を検討

4. 土砂を含む津波波力に関する検討

■研究の背景

- ✓ 黒い津波（東日本大震災，気仙沼湾）：NHKスペシャル
波力実験から，水の場合の力と比べて黒い津波は2倍の力である。
- ✓ 木瀬・有川（2020）による砂・シルトを用いた波力実験
密度が大きくなると衝突時の水面角度がばらつき，場合によっては壁面と平行に近くなり，大きな衝撃波圧を生じさせる可能性がある。ただし，衝撃波圧の大きさは単純な水面角度に比例しておらず，清水に比べシルトのケースの水面角度が小さい場合もある。

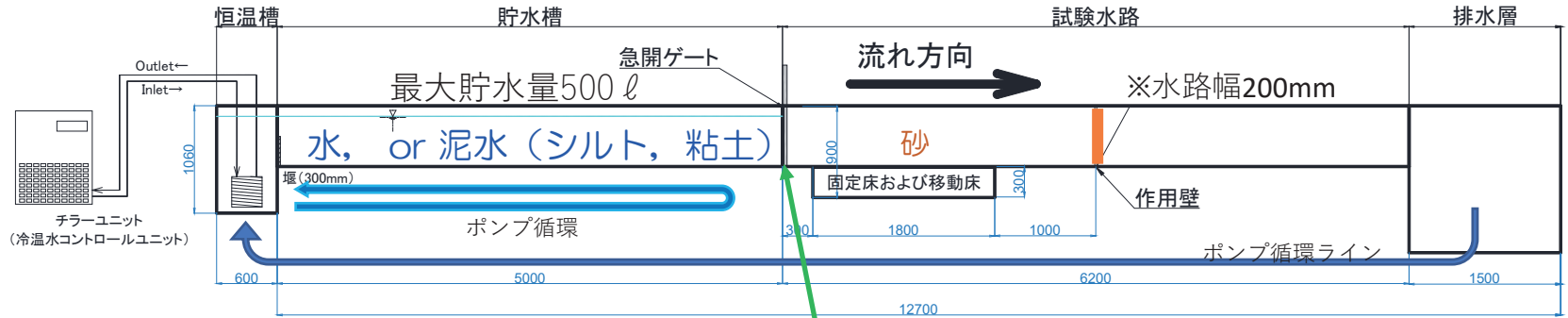
■目的

- ✓ 土砂（砂、シルト、粘土）を含む津波が構造物へ作用する波力（波圧）に与える影響を把握する。

■実験ケース

1. 波圧作用実験
2. 遡上実験

実験水路



空調 (左上)、冷却水循環装置 (左)
恒温槽を貯水槽に接続 (右)



ゲート全開時ストッパー

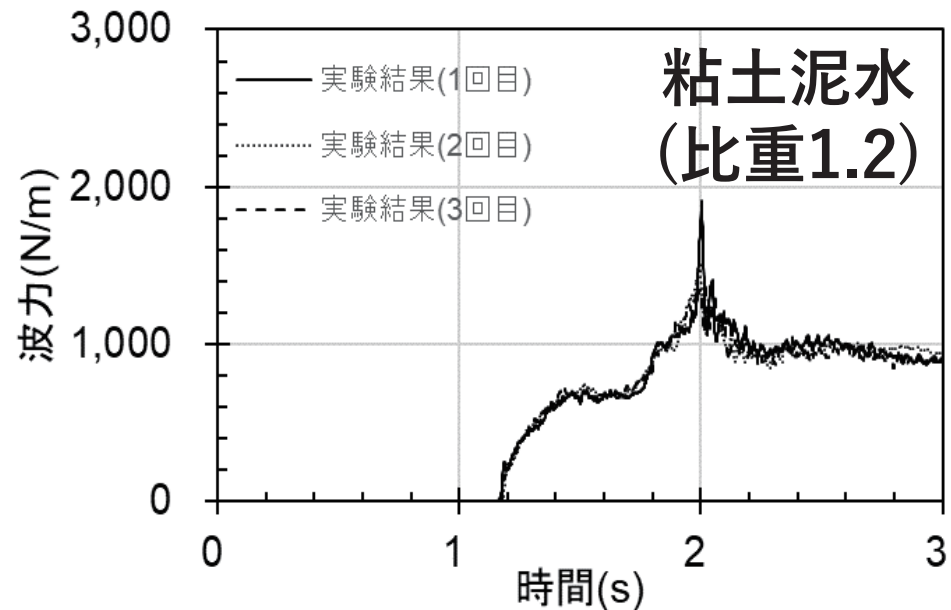
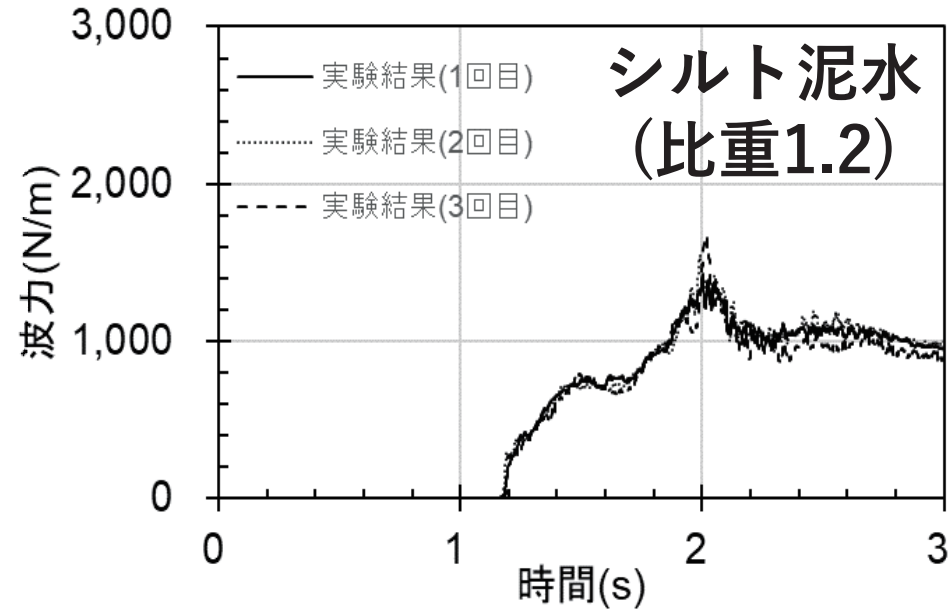
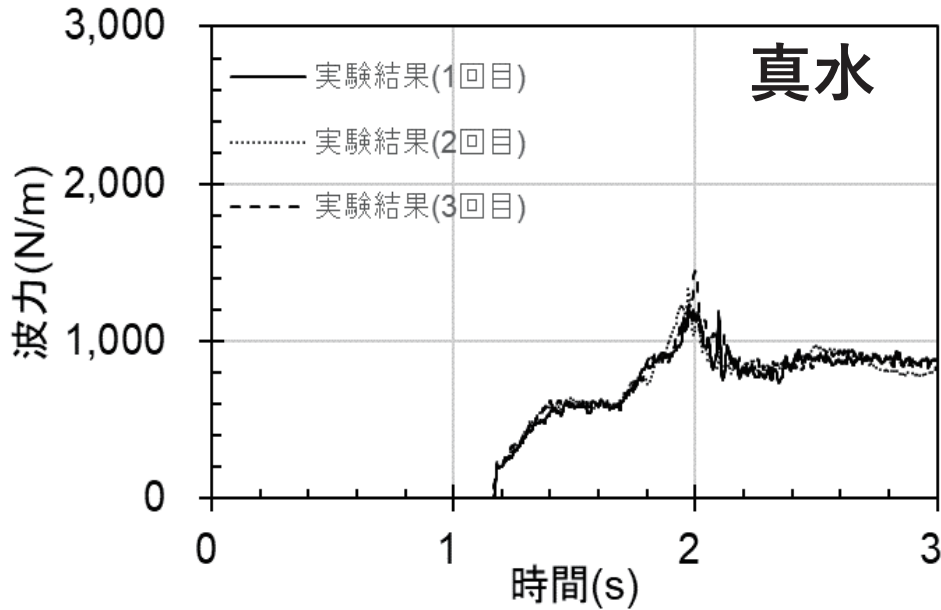
- ・全閉～全開まで約1秒 (エアシリンダ仕様：約0.5秒)
- ・ゲート全開時に得られる波形を「段波」
- ・貯水深は50cm、30cmの2種類

縮流時ストッパー

- ・ゲート開口高さは7.5cm
- ・本開口高さで得られる波形を「縮流」
- ・貯水深は50cmの1種類

急開ゲート

波圧作用実験結果の一例



真水とシルトもしくは粘土を含む津波の最大波力を比較した結果、流体密度増に概ね比例した波力増が確認された。

WG活動(1)津波漂流物衝突評価WG

■ WG設置経緯

- ✓ 2019年度から2021年度にかけて実施した「津波漂流物の衝突に関する施設評価の高精度化」研究（以降、“前フェーズ”）において漂流物化した小型船舶が浸水防護施設に衝突することを想定し、船首方向からの衝突を対象として、その衝突荷重や破壊挙動を把握した。
- ✓ 一方で、至近の審査において小型船舶が船首以外の方向からの衝突やこれに伴うエンジン部の衝突が施設に及ぼす影響の検討の必要性が示唆されているが、現状ではこれらに関する知見がないことから衝突力及び浸水防護施設の評価を保守的に検討をせざるを得ない状況である。
- ✓ そこで、小型船舶による船首以外の方向からの衝突が施設に及ぼす影響を明らかし、また、前フェーズにおいて明らかになった小型船舶の衝突評価上の課題に取り組むために、2022年年度下期～2024年度にかけて原子力リスク研究センター共通研究「小型船舶に関する漂流物衝突評価の高精度化」を実施することとなった。

「小型船舶に関する漂流物衝突評価の高精度化」の研究内容

- ▶ 小型船舶の衝突力に関する研究
 - 船首以外の方向からの衝突、船舶モデルの簡素化
- ▶ 小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究
 - 付加質量の考慮、作用面積の設定
- ▶ 津波漂流物の衝突評価の高度化に関する研究
 - 上記の研究に関する津波漂流物衝突評価WGでの審議

→2022年10月5日 WG設立承認

WG活動(1)津波漂流物衝突評価WG

メンバー構成

主査

富田 孝史 名古屋大学

委員

小川 健太郎 東京電力ホールディングス 株式会社

金原 勲 東京大学

嶋原 良典 防衛大学校

島村 和夫 株式会社 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 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

和仁 雅明 中部電力 株式会社

常時参加者

大村 英昭 東北電力 株式会社

神田 典昭 電源開発 株式会社

佐藤 栄二郎 九州電力 株式会社

鈴木 俊輔 四国電力 株式会社

高松 賢一 中国電力 株式会社

田中 直仁 日本原子力発電 株式会社

藤井 直樹 東電設計 株式会社

二木 敬右 北陸電力 株式会社

松浦 正典 北海道電力 株式会社

松田 周吾 関西電力 株式会社

幹事長

木原 直人 一般財団法人 電力中央研究所

幹事

新木 毅 中部電力 株式会社

井上 真優 東電設計 株式会社

岩本 哲也 東電設計 株式会社

大谷 章仁 株式会社 IHI

甲斐田 秀樹 一般財団法人 電力中央研究所

工藤 佳祐 関西電力 株式会社

栗山 透 関西電力 株式会社

豊田 真 株式会社 IHI

中村 茉里香 株式会社 IHI

南波 宏介 一般財団法人 電力中央研究所

福本 惣太 関西電力 株式会社

宮川 義範 一般財団法人 電力中央研究所

山川 大貴 東電設計 株式会社

WG活動(1)津波漂流物衝突評価WG

活動実績

研究課題		2022	2023		2024		
		下期	上期	下期	上期	下期	
小型船舶の衝突力に関する研究	船首以外の方向からの衝突 ・船側方向からの衝突 ・エンジン部の考慮 ・船尾方向からの衝突 ※船側衝突の施設応答解析に関する検討含む	■					
	船舶モデルの簡素化				■		
小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究	付加質量の考慮	■					
	作用面積の設定				■		
津波漂流物衝突評価WG 活動実績		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	

第1回WG(2022.11.25)
・研究計画

**第2回WG(2023.2.14)/
第3回WG(2023.6.19)**
・船舶モデルの改良方針
・船舶の付加質量係数の導出方針

第4回WG(2023.12.14)
・船側,船尾方向からの衝突解析 (途中まで)
・船舶の付加質量係数に影響を与える因子の確認

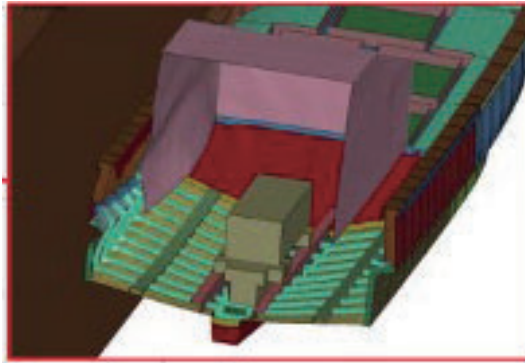
第5回WG(2024.2.20)
・船側,船尾方向からの衝突解析,
船側衝突の施設応答解析
・船舶の付加質量係数の取得

第8期津波評価小委員会の活動期限に合わせて2023年度末にWGを終了し、第9期津波評価小委員会設置までの間にWGの活動は休止するものの、検討の進捗に対してその影響が出ないように、休止前後で連続的に活動できるように計画・運営している。

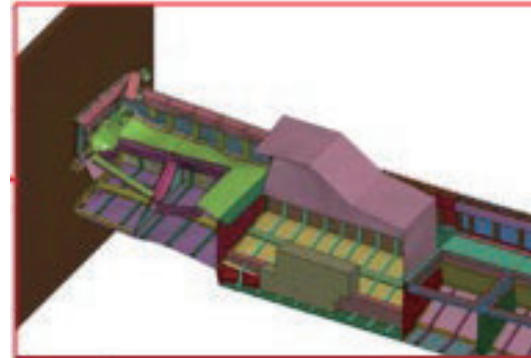
WG活動(1)津波漂流物衝突評価WG 活動内容

■ 小型船舶の衝突力に関する研究の概要

【船側方向からの衝突解析】



【船尾方向からの衝突解析】



■ 小型船舶の衝突に対する施設評価に関する研究の概要



解析結果から付加質量を定量化する予定。

今後の計画

小型船舶の衝突解析結果および付加質量係数の取得結果についてまとめるとともに、2024年度も引き続き、船舶モデルの簡素化に関する検討や船舶衝突時の作用面積の影響について検討を進める予定であり、引き続き研究成果についてWGで議論を行っていきたいと考えている。

■ WG設置経緯

- 津波漂流物の影響評価技術については、至近数年の間に、小型船舶の評価手法の構築や、洋上に初期配置された漂流物の挙動に関する検討、挙動解析技術の高度化が進み、国内外で新たな知見の集積が進んでいる。
- 津波漂流物の評価では、漂流物の選定・衝突確率の評価・衝突条件の設定・衝突荷重評価・被衝突体の構造評価などのステップがある。各段階において決定論的評価を行う際に用いられる評価技術は多くあるが、実務への適用にあたっては、個々の技術の精度や適用条件への留意が必要である。
- 実務における合理的かつ標準的な漂流物影響評価には、公知化されている知見を網羅的に集積し、各々の精度・ばらつき・適用時の留意事項とともに体系的な整理を行うことが有効であると考えられる。
- 有識者の意見を取り入れることで学術的な妥当性を担保した形で、原子力発電所の耐津波設計における津波漂流物の衝突影響評価について、評価手順を示すと共に、漂流物衝突速度や衝突荷重等の評価技術・手法が体系的にとりまとめられた技術資料を作成することを目標とする。

【補足】 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド

- 漂流物による波及的影響の検討方針が、要求事項に適合する方針であることを確認する。
- 設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため、[中略]、審査上の確認は以下のような順序にしたがって行われることになる。
 - ① 近傍において発生する可能性のある漂流物の特定する方針であることを確認
 - ② 漂流防止装置又は影響防止装置による漂流防止措置の設計方針の確認（例：ワイヤー接続や防護柵等）
 - ③ 津波防護施設に対する衝突荷重を考慮した設計方針であることの確認（①及び②の評価・検討結果により、漂流物が衝突する可能性のある場合）

WG活動(2)津波漂流物の影響評価技術の体系化WG メンバー構成

主査	富田 孝史	名古屋大学
委員	浅井 達也	東京大学
	有川 太郎	中央大学
	小川 健太郎	東京電力ホールディングス(株)
	織田 幸伸	大成建設(株)
	木原 直人	(一財)電力中央研究所
	嶋原 良典	防衛大学校
	千田 優	(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
	別府 万寿博	防衛大学校
	前川 宏一	横浜国立大学
	山田 安平	(国研)海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
	松田 周吾	関西電力(株)
	米山 望	京都大学
	和仁 雅明	中部電力(株)

常時参加者	大村 英昭	東北電力(株)
	松浦 正典	北海道電力(株)
	神田 典昭	電源開発(株)
	佐藤 栄二郎	九州電力(株)
	鈴木 俊輔	四国電力(株)
	田中 直仁	日本原子力発電(株)
	二木 敬右	北陸電力(株)
	高松 賢一	中国電力(株)
幹事長	甲斐田 秀樹	(一財)電力中央研究所
幹事	新木 毅	中部電力(株)
	緒方 ゆり	東電設計(株)
	栗山 透	関西電力(株)
	佐藤 暁拓	伊藤忠テクノソリューションズ(株)
	南波 宏介	(一財)電力中央研究所
	福本 惣太	関西電力(株)
	松澤 遼	伊藤忠テクノソリューションズ(株)
	宮川 義範	(一財)電力中央研究所
	山川 大貴	東電設計(株)

WG活動(2)津波漂流物の影響評価技術の体系化WG 活動実績

- 22年度:2回開催
 - 第1回:22年11月25日
 - 原子力発電所の耐津波設計における津波漂流物の影響評価について
 - 第2回:23年3月7日
 - 津波漂流物の影響評価のフローについて
- 23年度:3回開催
 - 第3回:23年6月19日
 - 推定式による衝突力評価について
 - 第4回:23年12月14日
 - 漂流物衝突に対する施設応答評価
 - 第5回:24年2月16日(予定)
 - 衝突条件(衝突速度、衝突角度、衝突位置)の評価について
 - 衝突解析による衝突力評価について
- 技術文書審議タスク
 - 第1回審査を23年10月18日に実施

→ 2024年度末までに
ドラフトを取り纏める

第8期津波評価小委員会の活動期限に合わせて2023年度末にWGを終了し、第9期津波評価小委員会設置までの間にWGの活動は休止するものの、技術文書作成および審議タスクに対してその影響が出ないように、休止前後で連続的に活動できるように計画・運営している。