

島根原子力発電所2号炉

津波による損傷の防止

指摘2 津波荷重の設定

(コメント回答)

令和2年7月
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
9	H31.2.26	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリトン分裂波及び砕波発生の可能性について、島根サイトにおける基準津波の特性（短周期）、沿岸の陸海域の地形及び先行実績を踏まえ明示的に示すとともに、それらによる防波壁及び防波扉に対する波圧荷重評価への影響について水理試験等の科学的根拠に基づいて説明すること。 ・また、これらに加え、水際線近傍の陸上部に設置された防波壁及び防波扉に対して、海上構造物を対象とした谷本式を適用することの妥当性を説明すること。説明に当たっては、防潮堤設置位置におけるフルード数等の指標を考慮のうえ、国交省暫定指針等の既往評価式との比較を示すこと。 	P14～46
32	R元.6.27 (本日回答)	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリトン分裂波発生の有無について、防波壁及び防波扉設置位置全域を対象に、水深が10mよりも浅い地点における津波高さや島根サイトの陸海域の地形等の特性を踏まえた評価結果を説明すること。 	P16～32
33	R元.6.27 (本日回答)	<ul style="list-style-type: none"> ・砕波段波発生の有無について、防波壁及び防波扉設置位置全域を対象に、入力津波又はフルード相似則に従った入力津波の特性を踏まえた仮想津波を用いて評価結果を説明すること。 	P33～38
34	R元.6.27 (本日回答)	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリトン分裂波及び砕波段波を示す波形がないと判断した根拠について、津波シミュレーション解析だけでなく水理試験の必要性も含めて説明すること。なお、水理試験の要否については、根拠を示して説明すること。 	P16～32
35	R元.6.27 (本日回答)	<ul style="list-style-type: none"> ・三次元津波シミュレーション解析と平面二次元津波シミュレーション解析について、その目的と用途に応じて長所及び短所を整理し、評価したうえで先行審査において実績のない三次元津波シミュレーション解析を選択した理由及び三次元津波シミュレーション解析手法を選択することの妥当性を説明すること。 	P12

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
36	R元.6.27 (本日回答)	・三次元津波シミュレーション解析について、モデル化領域、境界条件、格子間隔、解析時間情報等の解析条件を説明すること。また、三次元津波シミュレーション解析について、津波特性を踏まえた再現性、結果の妥当性及び保守性に対する考え方を水理試験等による検証を含めて説明すること。	P34, 42
37	R元.6.27 (本日回答)	・三次元津波シミュレーション解析を用いてソリトン分裂波及び砕波段波の発生の可能性を検討・評価する考え方について、時刻歴波形等を算出する範囲の網羅性及び代表性を説明すること。	P33～38, P42～43
38	R元.6.27 (本日回答)	・ソリトン分裂波及び砕波段波の発生有無並びに津波波圧評価について、平面二次元津波シミュレーション解析の波形、波高及び流速傾向等を踏まえて三次元津波シミュレーション解析の再現性を評価し、平面二次元、断面二次元及び三次元の各津波シミュレーション解析手法を総合的に勘案した上で、考察して説明すること。また、津波シミュレーション解析で考慮している海底地形や津波波形に対する解析上の不確かさについて、検討項目と不確かさの幅の考え方を津波のサイト特性（短周期型等）を踏まえて整理し説明すること。	P16～45
39	R元.6.27 (本日回答)	・海中構造物を対象とする谷本式を背面に海域を有しない防波壁等に適用することの妥当性及び、防波壁に作用する荷重に加え浮力等の荷重の具体的な考え方について、国土交通省暫定指針評価式に対する保守性を踏まえ説明すること。	P45～46
40	R元.6.27 (本日回答)	・設計用津波波圧について、谷本式が島根サイトの津波特性とその不確かさを踏まえても必ず保守的になる科学的根拠を揭示し、谷本式を適用することの妥当性を説明すること。	P16～32, 46
41	R元.6.27 (本日回答)	・防波壁の安定性評価に用いる津波波圧について考え方を説明すること。	P46

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
42	R元.6.27 (本日回答)	・ソリトン分裂や砕波による津波波圧への影響については、津波の実現象が必ずしも解析どおりにならない可能性があること及び砕波等が防波壁位置で発生することを前提とした安全側の設計の考え方があることを踏まえ、総合的に判断して説明すること。	P16～32, 42～43, 45～46
43	R元.6.27 (本日回答)	・陸上の直立壁とした胸壁について、防波壁の構造上の範囲を図面上に示したうえで水際線から離れた位置であること、海中の直立壁に作用する波圧算定式を採用することが妥当であることを説明すること。	P40～46
44	R元.6.27 (本日回答)	・防波壁等が指している具体的な設備をまとめ資料に整理すること。	P10

指摘事項に対する回答【No. 9】

■ 指摘事項（第686回会合 平成31年2月26日）

【No. 9 津波荷重の設定】

1. ソリトン分裂波及び砕波発生の可能性について、島根サイトにおける基準津波の特性（短周期）、沿岸の陸海域の地形及び先行実績を踏まえ明示的に示すとともに、それらによる防波壁及び防波扉に対する波圧荷重評価への影響について水理試験等の科学的根拠に基づいて説明すること。
2. また、これらに加え、水際線近傍の陸上部に設置された防波壁及び防波扉に対して、海上構造物を対象とした谷本式を適用することの妥当性を説明すること。説明に当たっては、防波壁設置位置におけるフルード数等の指標を考慮のうえ、国交省暫定指針等の既往評価式との比較を示すこと。

■ 回答

1. ソリトン分裂波及び砕波発生の可能性について

- ・津波波圧算定式は平面二次元津波シミュレーションによる津波水位を用いて「防波堤の耐津波設計ガイドライン」による波圧算定式選定フローに基づき、ソリトン分裂波や越流の発生の有無を考慮し選定する。（P14～15）
- ・科学的根拠に基づきソリトン分裂波及び砕波の発生による津波波圧への影響を確認するため、[水理模型実験及びソリトン分裂波や砕波を表現可能なCADMAS-SURF/3D（Ver.1.5）](#)を用いて断面二次元及び三次元津波シミュレーションによる検討を実施する。（P16～P38）

2. 谷本式を適用することの妥当性について

- ・陸上部に設置された防波壁等の津波波圧の算定方法として、海中の直立壁に作用する場合の津波波圧算定方法を用いていたが、[防波壁等のうち敷地高以上の構造物（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の被覆コンクリート壁等）](#)については、護岸背後の陸上構造物に作用する津波波圧について実験水路を用いて検討している朝倉式により津波波圧を設定することに見直す。また、[防波壁等のうち敷地高以深の構造物（防波壁（波返重力擁壁）のケーソン等）](#)については、新たに水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを実施し、谷本式の採用が妥当であることを説明する。（P39～P46）

指摘事項に対する回答【No.32～34】

■ 指摘事項（第736回会合 令和元年6月27日）

【No.32～34 津波荷重の設定】

- ソリトン分裂波発生の有無について、防波壁及び防波扉設置位置全域を対象に、水深が10mよりも浅い地点における津波高さや島根サイトの陸海域の地形等の特性を踏まえた評価結果を説明すること。
- 砕波段波発生の有無について、防波壁及び防波扉設置位置全域を対象に、入力津波又はフルード相似則に従った入力津波の特性を踏まえた仮想津波を用いて評価結果を説明すること。
- ソリトン分裂波及び砕波段波を示す波形がないと判断した根拠について、津波シミュレーション解析だけでなく水理試験の必要性も含めて説明すること。なお、水理試験の要否については、根拠を示して説明すること。

■ 回答

- ・新たに水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを行い、水深毎における津波波形や反射波の影響等を踏まえ、特に水深が10mよりも浅い地点におけるソリトン分裂発生の有無について評価する。（P16～32）
- ・基準津波の特性を踏まえた波圧検討用津波を用いて三次元津波シミュレーションを行い、防波壁及び防波扉設置位置全域を対象とした最高水位分布及び最大波圧分布を示し、これらの波圧分布から砕波段波発生の有無について評価する。（P33～P38）
- ・ソリトン分裂波及び砕波段波を示す波形がないと判断する根拠について、新たに水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを実施し、ソリトン分裂波及び砕波段波発生の有無、並びに津波波圧を確認する。（P16～32）

指摘事項に対する回答【No.35～36】

■ 指摘事項（第736回会合 令和元年6月27日）

【No.35～36 津波荷重の設定】

- 三次元津波シミュレーション解析と平面二次元津波シミュレーション解析について、その目的と用途に応じて長所及び短所を整理し、評価したうえで先行審査において実績のない三次元津波シミュレーション解析を選択した理由及び三次元津波シミュレーション解析手法を選択することの妥当性を説明すること。
- 三次元津波シミュレーション解析について、モデル化領域、境界条件、格子間隔、解析時間情報等の解析条件を説明すること。また、三次元津波シミュレーション解析について、津波特性を踏まえた再現性、結果の妥当性及び保守性に対する考え方を水理試験等による検証を含めて説明すること。

■ 回答

- ・平面二次元津波シミュレーション、水理模型実験、断面二次元津波シミュレーション及び三次元津波シミュレーションについて、それぞれの長所及び短所を整理した結果、島根サイトの地形特性（防波堤の有無、1、2号炉前面の地形等）及び津波特性（短周期等）を踏まえ、ソリトン分裂波及び砕波を再現でき、かつ、三次元的な流況を再現することにより精緻に評価できる三次元津波シミュレーションを選択し、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーション結果と比較することにより妥当性を確認する。
(P12)
- ・三次元津波シミュレーションについて、モデル化領域、境界条件、格子間隔、解析時間情報等の解析条件を説明する。また、三次元津波シミュレーションについて、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーション結果と比較・検証することにより、津波特性を踏まえた再現性及び結果の妥当性について説明するとともに、保守的に既往の津波波圧算定式を用いた津波波圧の設定することについて説明する。(P34, P42)

指摘事項に対する回答【No.37～38】

■ 指摘事項（第736回会合 令和元年6月27日）

【No.37～38 津波荷重の設定】

- 三次元津波シミュレーション解析を用いてソリトン分裂波及び砕波段波の発生の可能性を検討・評価する考え方について、時刻歴波形等を算出する範囲の網羅性及び代表性を説明すること。
- ソリトン分裂波及び砕波段波の発生有無並びに津波波圧評価について、平面二次元津波シミュレーション解析の波形、波高及び流速傾向等を踏まえて三次元津波シミュレーション解析の再現性を評価し、平面二次元、断面二次元及び三次元の各津波シミュレーション解析手法を総合的に勘案した上で、考察して説明すること。また、津波シミュレーション解析で考慮している海底地形や津波波形に対する解析上の不確かさについて、検討項目と不確かさの幅の考え方を津波のサイト特性（短周期型等）を踏まえて整理し説明すること。

■ 回答

- ・三次元津波シミュレーションを用いて、1, 2号炉北側, 3号炉東側, 3号炉北側のそれぞれの防波壁において、防波壁前面の最高津波水位及び最大波圧を網羅的に示し、これらの波圧の分布からソリトン分裂波及び砕波段波の発生の可能性について検討する。（P33～P38, P42～43）
- ・ソリトン分裂波及び砕波段波の発生有無、並びに津波波圧評価については、新たに水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを実施し、地形特性及び津波特性による不確かさを考慮した解析を行う。また、津波波圧評価については、三次元津波シミュレーションを実施し、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションとの比較により、再現性を評価する。（P16～45）

指摘事項に対する回答【No.39～41】

■ 指摘事項（第736回会合 令和元年6月27日）

【No.39～41 津波荷重の設定】

- 海中構造物を対象とする谷本式を背面に海域を有しない防波壁等に適用することの妥当性及び、防波壁に作用する荷重に加え浮力等の荷重の具体的な考え方について、国土交通省暫定指針評価式に対する保守性を踏まえ説明すること。
- 設計用津波波圧について、谷本式が島根サイトの津波特性とその不確かさを踏まえても必ず保守的になる科学的根拠を掲示し、谷本式を適用することの妥当性を説明すること。
- 防波壁の安定性評価に用いる津波波圧について考え方を説明すること。

■ 回答

- ・防波壁等のうち敷地高以上の構造物については、護岸背後の陸上構造物に作用する津波波圧について実験水路を用いて検討している朝倉式により津波波圧を設定することに見直す。また、防波壁等のうち敷地高以深の構造物については、新たに断面二次元津波シミュレーションを実施し、これにより算出される波圧よりも、谷本式により算出される波圧が大きいことを確認する。（P45～46）
- ・島根サイトのサイト特性（地形、周期等）とその不確かさを踏まえて、水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを実施し、入射波においてソリトン分裂波及び碎波は発生していないことを確認する。それらを踏まえて、設計用津波波圧については、防波壁等のうち敷地高以上の構造物では朝倉式による波圧を、防波壁等のうち敷地高以深の構造物では谷本式による波圧を設定する。（P16～32, P46）
- ・防波壁の安定性評価に用いる津波波圧については、防波壁等のうち敷地高以深の構造物にも津波波圧を設定して検討する。（P46）

指摘事項に対する回答【No.42～44】

■ 指摘事項（第736回会合 令和元年6月27日）

【No.42～44 津波荷重の設定】

- ソリトン分裂や砕波による津波波圧への影響については、津波の実現象が必ずしも解析どおりにならない可能性があること及び砕波等が防波壁位置で発生することを前提とした安全側の設計の考え方があることを踏まえ、総合的に判断して説明すること。
- 陸上の直立壁とした胸壁について、防波壁の構造上の範囲を図面上に示したうえで水際線から離れた位置であること、海中の直立壁に作用する波圧算定式を採用することが妥当であることを説明すること。
- 防波壁等が指している具体的な設備をまとめ資料に整理すること。

■ 回答

- ・ソリトン分裂や砕波による津波波圧への影響について、新たに水理模型実験、断面二次元津波シミュレーション及び三次元津波シミュレーションを実施し、防波壁に作用する津波波圧を算出する。津波の実現象が必ずしも解析通りにならない可能性があること及び砕波等が防波壁位置で発生することを踏まえ、設計で考慮する津波波圧については、実験や解析で求めた波圧よりも大きく算定される既往の津波波圧算定式により設定する。（P16～32, P42～43, P45～46）
- ・防波壁等のうち敷地高以上の構造物については、護岸背後の陸上構造物に作用する津波波圧について実験水路を用いて検討している朝倉式による津波波圧を設定することに見直す。また、防波壁等のうち敷地高以深の構造物については、新たに水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを実施し、これらにより算定される波圧よりも、谷本式により算定される波圧が大きいことを確認し、谷本式による津波波圧を設定する。（P40～46）
- ・防波壁、防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉を、「防波壁等」と表記し、津波波圧を考慮する津波防護施設とする。（P10）

検討フロー

- 島根原子力発電所におけるソリトン分裂・砕波の発生確認及び防波壁等※の設計で考慮する津波波圧を設定するため、科学的根拠に基づく水理模型実験及び数値シミュレーションを実施する。以下に検討フローを示す。

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1. 1 平面二次元津波シミュレーションによる検討

目的：「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づくソリトン分裂波の発生確認

1. 2 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションの条件整理

目的：地形特性及び津波特性の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し，不確かさを考慮した検討条件を整理

1. 3 水理模型実験による検討

目的：津波波形の検証によるソリトン分裂波・砕波の発生確認及び津波波圧の確認

1. 4 断面二次元津波シミュレーションによる検討

目的：水理模型実験の再現性の確認，津波波形の検証によるソリトン分裂波・砕波の発生確認及び津波波圧の確認

2. 三次元津波シミュレーションによる検討

目的：地形特性及び津波特性を考慮した津波波圧の確認

3. 既往の津波波圧算定式との比較

目的：津波シミュレーションと既往の津波波圧算定式の津波波圧を比較

4. 設計で考慮する津波波圧の設定

※ 防波壁，防波壁通路防波扉及び1号放水連絡通路防波扉を「防波壁等」という。

検討方針

- 各検討項目及び検討内容を以下に示す。 検討項目及び検討内容

検討項目	検討内容
1. ソリトン分裂波及び砕波の発生, 並びに津波波圧への影響	
1. 1 平面二次元津波シミュレーション	平面二次元津波シミュレーション結果及び海底勾配を用いて, 「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき, ソリトン分裂波の発生有無を確認する。
1. 2 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションの条件整理	水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションの実施に当たって, 地形特性及び津波特性の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し, 不確かさを考慮した検討条件を設定する。
1. 3 水理模型実験	流体の挙動を直接確認でき, サイト特性に応じた評価が可能となる水理模型実験を実施し, 水位の時刻歴波形からソリトン分裂波及び砕波の発生有無を確認するとともに, 防波壁位置における津波波圧を確認する。
1. 4 断面二次元津波シミュレーション	水理模型実験結果について, ソリトン分裂波及び砕波を表現可能な断面二次元津波シミュレーション (CADMAS-SURF (Ver.5.1)) を実施し, 再現性を確認するとともに, 防波壁位置における津波波圧を確認する。
2. 三次元津波シミュレーションによる検討	複雑な地形特性及び津波特性に応じた評価が可能である三次元津波シミュレーションCADMAS-SURF/3D (Ver.1.5) を実施し, 防波壁位置における津波波圧を確認する。
3. 既往の津波波圧算定式との比較	敷地高以上の構造物については, 津波シミュレーションにより防波壁に作用する波圧を直接算出し, 陸上構造物に作用する津波波圧算定式 (朝倉式) により算出した津波波圧と比較する。 敷地高以深の構造物については, 津波シミュレーションにより敷地高以深の構造物に作用する波圧を直接算出し, 海中構造物に作用する津波波圧算定式 (谷本式) により算出した津波波圧と比較する。
4. 設計で考慮する津波波圧の設定	防波壁等について保守的な設計を行う観点から, 上記の検討結果を踏まえた設計用津波波圧を設定する。

津波シミュレーション及び水理模型実験の長所・短所

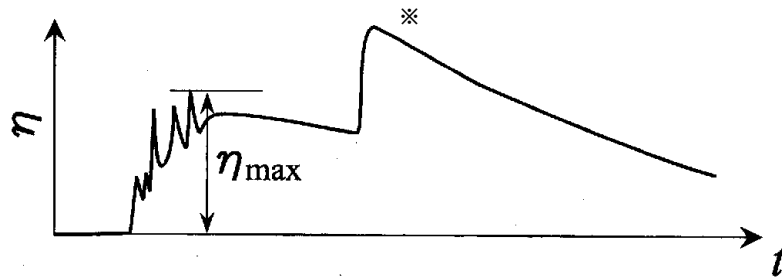
- 津波シミュレーション及び水理模型実験の長所・短所を整理した上で、島根原子力発電所におけるソリトン分裂波及び砕波の発生確認、津波波圧の確認に係る検討内容を以下に示す。

津波シミュレーション解析及び水理模型実験の長所・短所

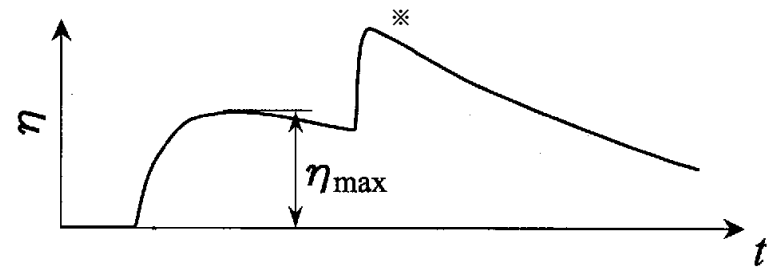
解析手法	長所	短所	長所・短所を踏まえた検討内容
平面二次元 津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・広範囲にわたる地形のモデル化が可能 ・複雑な不規則波形及び平面的な流況の再現が可能 ・解析時間が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が困難 ・津波波圧の直接評価が不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・基準津波の策定（入力津波高さ・流速） ・「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づくソリトン分裂波の発生確認
水理模型実験	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が可能 ・津波波圧を直接評価可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形や構造物のモデル化が困難 ・複雑な不規則波形の再現が困難 ・三次元的な流況の再現が不可能 ・実験に時間を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ・科学的根拠に基づくソリトン分裂波及び砕波の発生確認 ・津波波圧の確認
断面二次元 津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な不規則波形の再現が可能 ・ソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認が可能 ・津波波圧を直接評価可能 ・解析時間が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形や構造物のモデル化が困難 ・三次元的な流況の再現が不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・水理模型実験の再現性確認 ・科学的根拠に基づくソリトン分裂波及び砕波の発生確認 ・津波波圧の確認
三次元 津波シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形や構造物のモデル化が可能 ・複雑な不規則波形及び三次元的な流況の再現が可能 ・複雑な地形及び三次元的な流況等を踏まえた津波波圧を直接評価可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・解析に時間を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な地形特性及び津波特性を踏まえた津波波圧の確認

(参考) ソリトン分裂について

- ソリトン分裂波は津波の伝播過程で複数の波に分裂し、波高が増幅する現象である。また、砕波は波が浅海域を進行する際に、波高が高くなると波が砕け、波高が急激に小さくなる現象である。いずれも構造物へ衝撃的な波圧を作用させる可能性がある現象である。



ソリトン分裂波の最大遡上水深



非分裂波の最大遡上水深

ソリトン分裂波及び非分裂波のイメージ

護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，朝倉ほか(2000)より引用
※ η_{\max} 後の水位の上昇は反射波を示す

1.1 平面二次元津波シミュレーションによる検討 (1/2)

- 沖合から伝播してくる津波が，サイト前面においてソリトン分裂波を伴うか否かの判定に当たっては，「防波堤の耐津波設計ガイドライン」において，以下に示す①，②の条件に合致する場合，ソリトン分裂波が発生するとされている。

条件①：津波高さが水深の60%程度以上

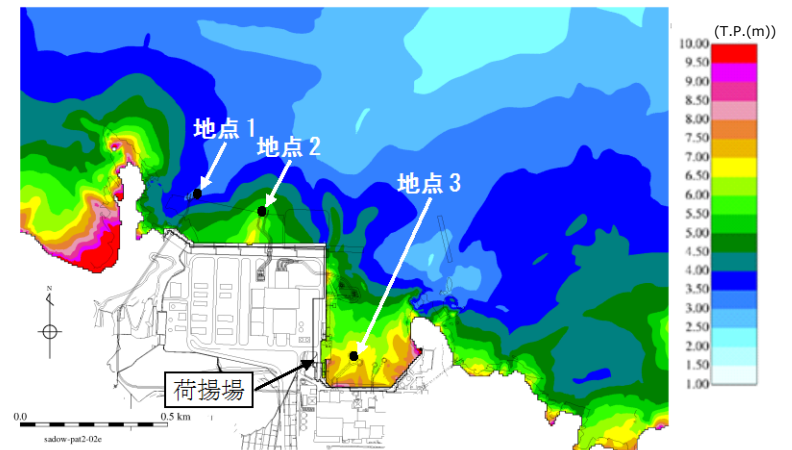
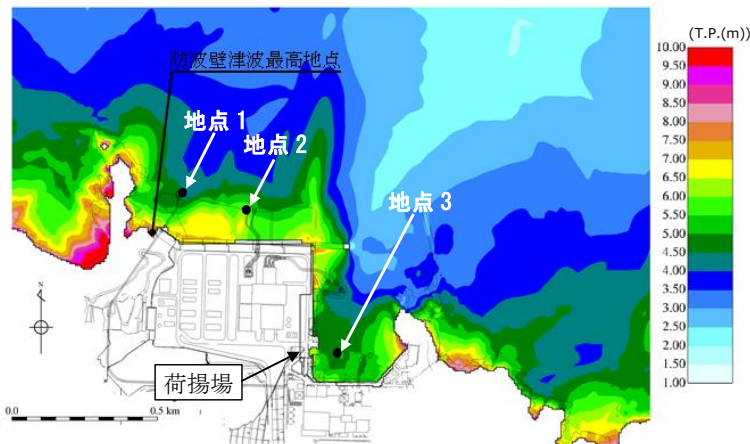
条件②：海底勾配1/100程度以下

- 条件①について検討した結果を以下に示す。

条件①：津波高さと水深の割合

地点	(1)水深	(2)津波高さ※		(2)/(1)	
		防波堤有り	防波堤無し	防波堤有り	防波堤無し
地点1	16m	5.0m	4.0m	31.3%	25.0%
地点2	16m	6.0m	6.0m	37.5%	37.5%
地点3	17m	5.0m	7.0m	29.4%	41.2%

※ 平面二次元津波シミュレーションによる津波高さを保守的に評価した値



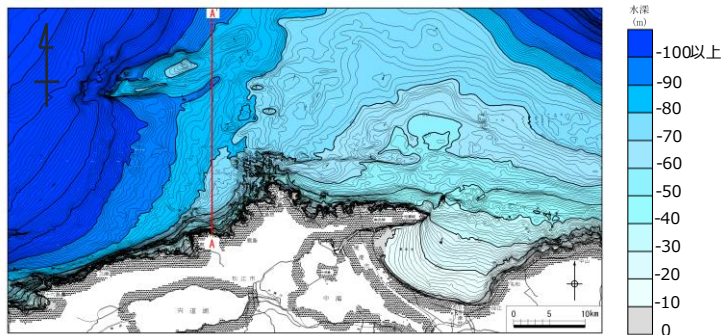
【基準津波による最高水位分布（基準津波 1：防波堤有り）】 【基準津波による最高水位分布（基準津波 1：防波堤無し）】

1.1 平面二次元津波シミュレーションによる検討 (2/2)

- 条件②について検討した結果を以下に示す。
- また，平面二次元津波シミュレーションの結果より，津波高さの最大値はT.P.+11.24mであり，朔望平均満潮位 (T.P.+0.58m)，潮位のばらつき (0.14m) 及び高潮ハザードの裕度 (0.64m) を考慮しても，防波壁の天端高さはEL+15.0mであるため津波は越流しない。

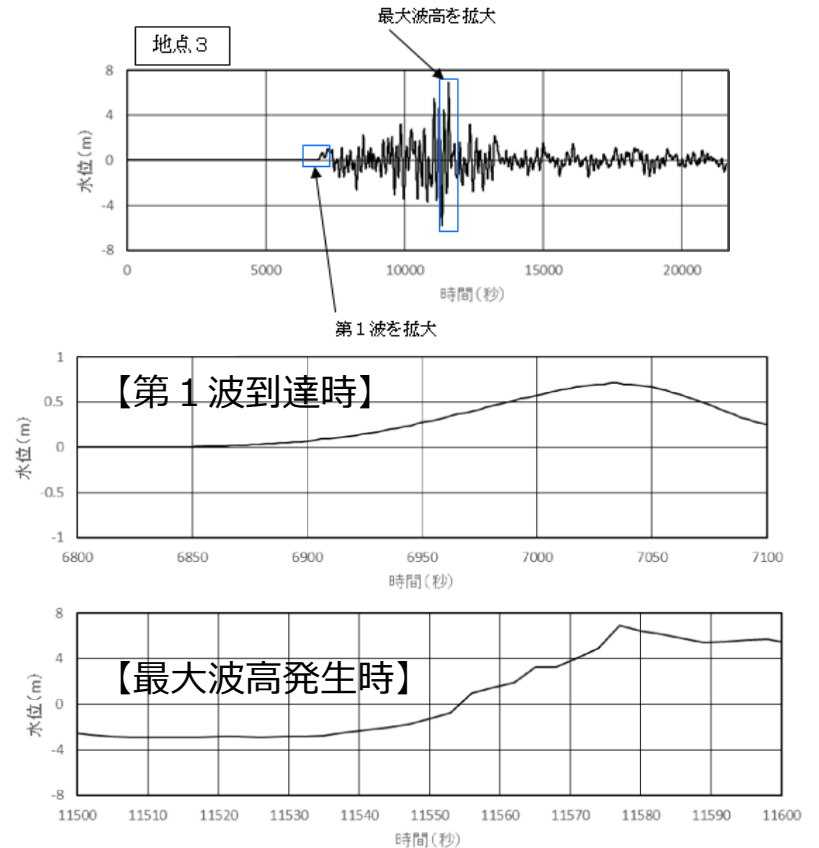
条件②：海底の勾配

- 発電所前面の海底地形は約2,500mから施設近傍までの平均勾配は約1/35 (> 1/100) となった。



海底地形断面図

【参考】津波高さの時刻歴波形の確認



津波高さの時刻歴波形図

(地点3，基準津波1：防波堤無し)

- 「防波堤の耐津波設計ガイドライン」の条件①及び条件②の条件に合致していないためソリトン分裂波は発生しないと考えられる。しかしながら，科学的根拠に基づきソリトン分裂波及び砕波発生の有無を確認するため，水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションを実施する。

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.2 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーション解析の条件整理（1/2）

- 地形特性及び津波特性の観点から津波波圧に影響するサイト特性を整理し，不確かさを含めて実験条件及び解析条件を設定する。津波波形は基準津波のうち防波壁前面において津波高さ及び流速が最大となる基準津波 1 を選定する。
- また，水理模型実験では，防波壁前面での浸水深及びフルード数算定を目的に，防波壁が無い状態での津波遡上状況を確認するケースも併せて実施した。
- なお，水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーション結果については，敷地高以深の構造物（防波壁（波返重力擁壁）のケーソン等）の評価が可能である 3 号炉を対象とする。

分類	項目	サイト特性	不確かさの考慮内容	比較する検討ケース
地形	周辺地形	防波堤有	防波壁周辺の地形変状の不確かさを考慮 ⇒防波堤有り及び防波堤無し	①, ②
津波	津波高さ	T.P.+12.6m (基準津波 1 の入力津波高さ)	津波高さの不確かさを考慮 ⇒基準津波 1 及び波圧検討用津波 (1.5 m津波)	①, ③
	波形	短周期	津波周期の不確かさを考慮 ⇒基準津波 1 及び基準津波 1 の半周期	③, ⑥

検討ケース一覧表

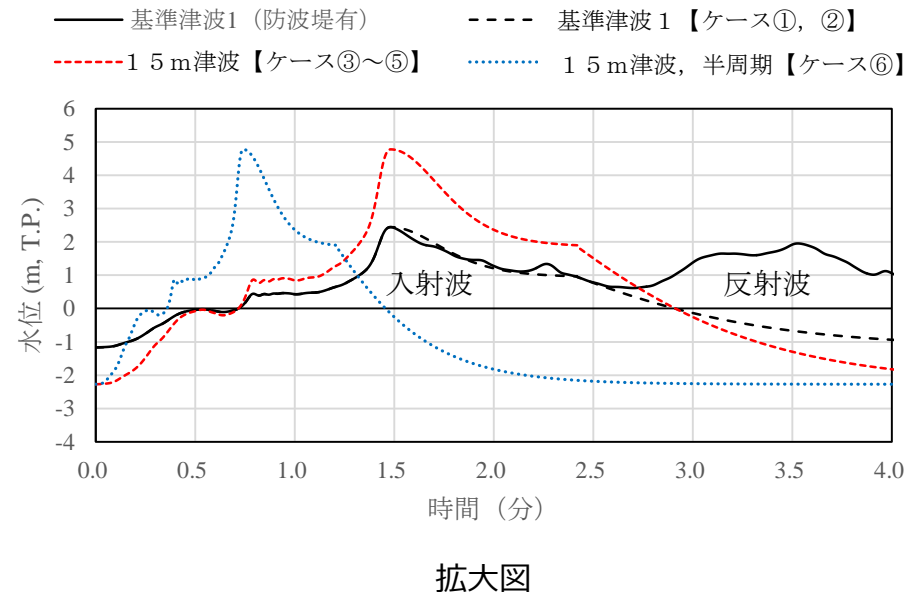
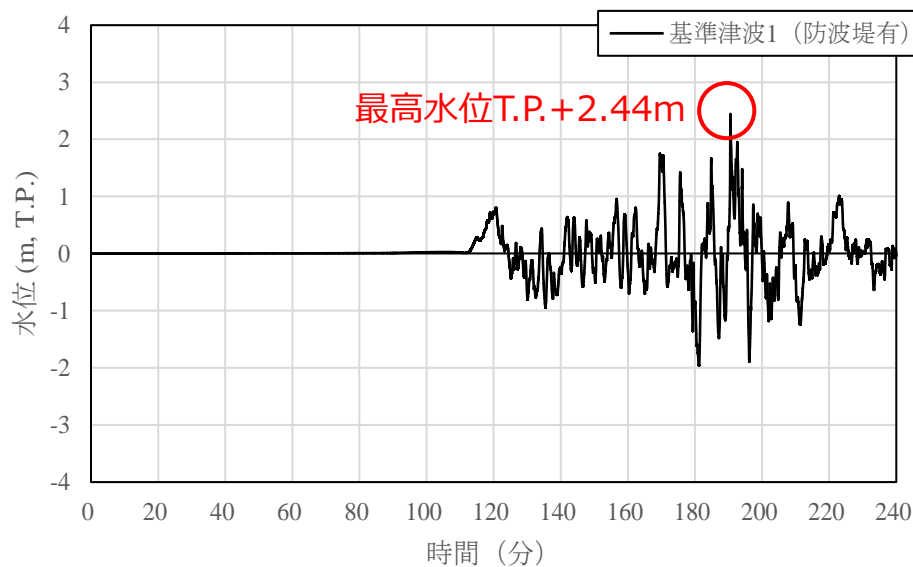
検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	敷地護岸	防波壁	水理模型実験	断面二次元津波シミュレーション
ケース①	基準津波 1 (T.P.+12.6m)	基準津波 1	有	有	有	○	○
ケース②			無	有	有	○	—
ケース③	有		有	有	○	○	
ケース④ [※]	1.5 m津波 (T.P.+15.0m)		有	有	無	○	—
ケース⑤ [※]			有	無	無	○	—
ケース⑥			基準津波 1 の半周期	有	有	有	○

※通過波計測ケース

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.2 水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーション解析の条件整理 (2/2)

- 水理模型実験は，ソリトン分裂波や砕波の発生の有無及び防波壁が受ける津波波圧への有意な影響の有無，並びにフルード数の把握を目的に実施する。
- 水理模型実験における再現範囲はソリトン分裂波が発生しない沖合約2.5kmの位置とし，入力津波高さが最大となる基準津波1の平面二次元津波シミュレーションから求めた同地点における津波波形（最大押し波1波）を入力する。
- 実験における入射津波は，同地点の水位と流速を用いて入射波成分と反射波成分に分離し，入射波成分を造波する。
- 入射津波高さについては，基準津波1と，不確かさを考慮した波圧検討用津波（1.5m津波）を設定する。波圧検討用津波は，基準津波1と同じ周期として防波壁前面における反射波を含む遡上高がT.P.+15mとなるよう振幅を調整する。なお，本波圧検討用津波は，防波壁等の設計用津波波圧として用いるものではない。
- 入射津波の周期については，基準津波1の周期と，不確かさを考慮した基準津波1の半周期を設定する。

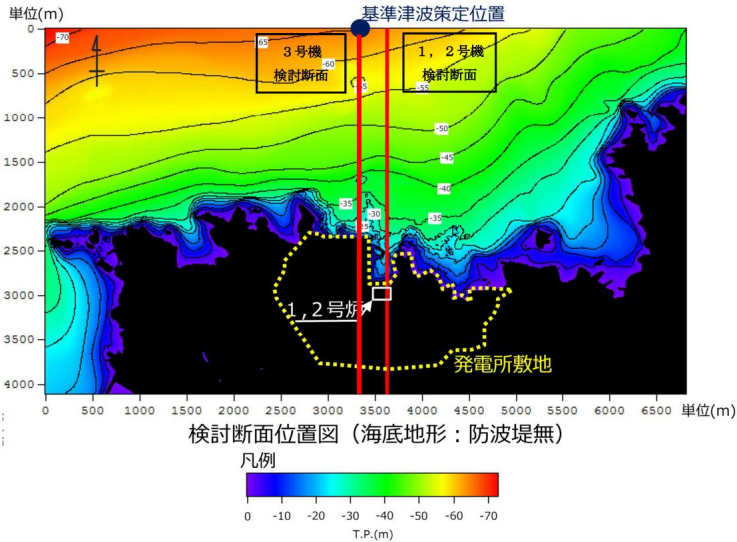


入射津波の造波波形図 (3号炉, 防波堤有)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

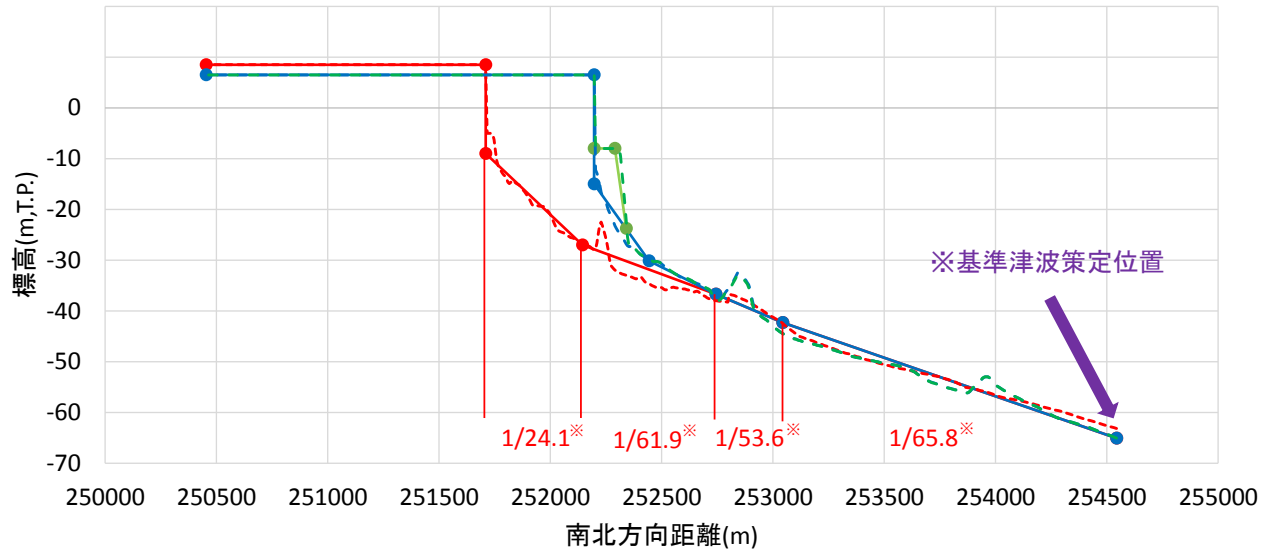
1.3 水理模型実験による検討 検討断面位置

- 水理模型実験における検討断面位置を以下に示す。
- 島根原子力発電所前面の海底地形及び津波の伝播特性を踏まえ，本実験の検討断面は，防波壁の延長方向に直交し，海底地形を示す等水深線ともほぼ直交する南北方向とする。



検討断面位置図 (海底地形：防波堤無)

- 実験断面_1,2号炉 (Red solid line)
- 実験断面_3号炉_防波堤無 (Blue solid line)
- 実験断面_3号炉_防波堤有 (Green solid line)
- 現地地形_1,2号炉 (Red dashed line)
- 現地地形_3号炉_防波堤無 (Blue dashed line)
- 現地地形_3号炉_防波堤有 (Green dashed line)



検討断面図

※海底地形勾配を示す。

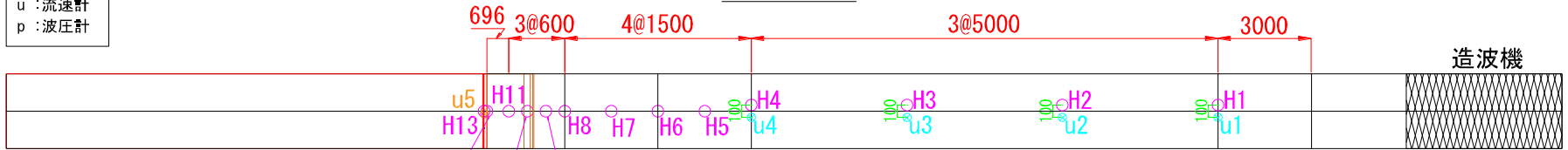
1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 実験条件 (1/3)

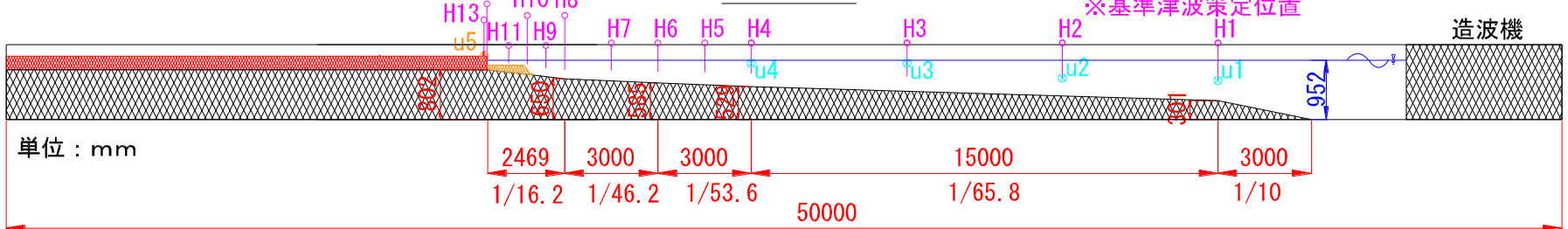
- 実験施設の水路は，長さ50m×幅0.6m×高さ1.2mとし，沖合約2.5kmから陸側の範囲を再現するために，実験縮尺（幾何縮尺）は1/100とする。以下に3号炉側の実験モデルを示す。

H : 波高計
u : 流速計
p : 波圧計

平面図

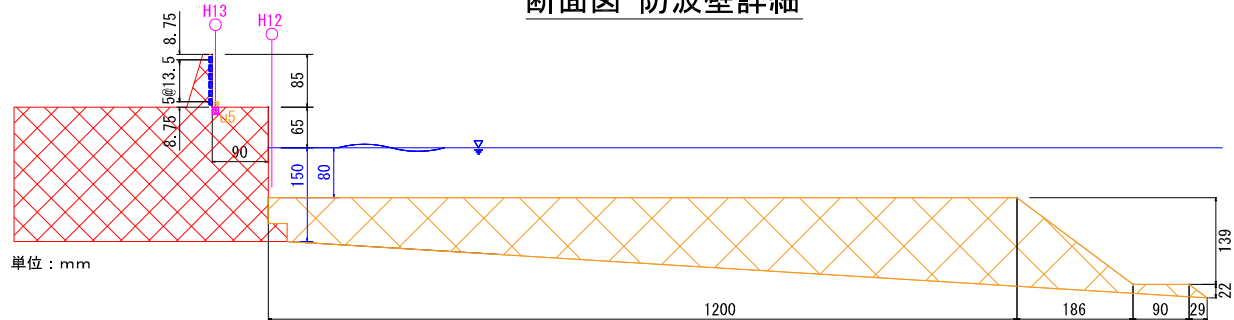


断面図



計測位置図 (3号炉前面, 防波堤有)

断面図 防波壁詳細



防波壁位置拡大図 (3号炉前面, 防波堤有)

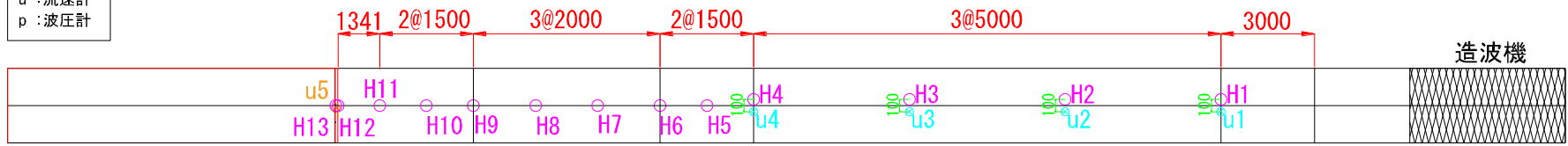
1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 実験条件 (2/3)

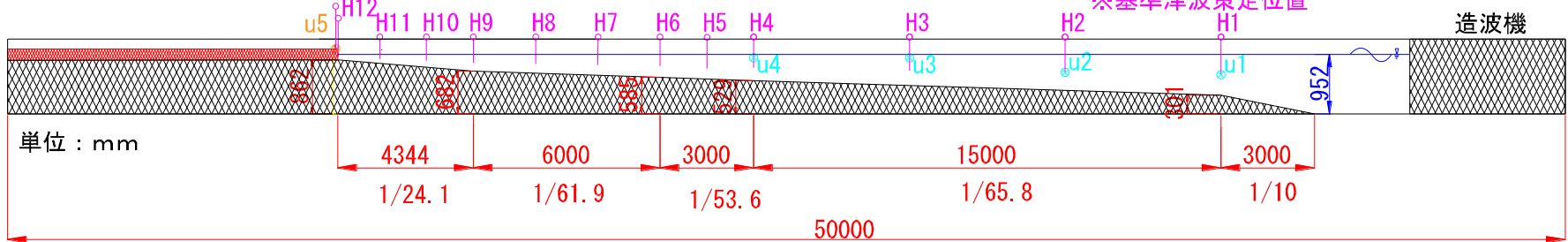
- 実験施設の水路は，長さ50m×幅0.6m×高さ1.2mとし，沖合約2.5kmから陸側の範囲を再現するために，実験縮尺（幾何縮尺）は1/100とする。以下に1，2号炉側の実験モデルを示す。

H : 波高計
u : 流速計
p : 波圧計

平面図

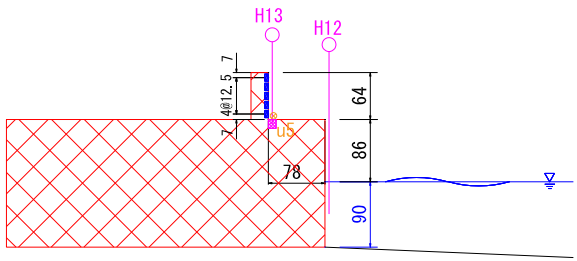


断面図



計測位置図 (1, 2号炉前面)

断面図 防波壁詳細



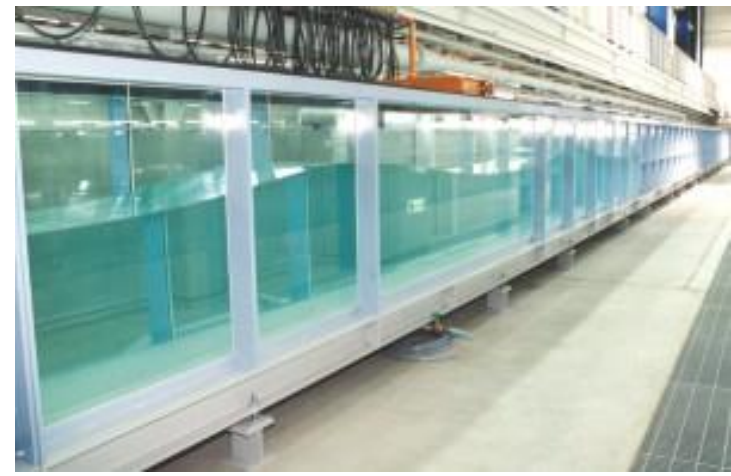
単位 : mm

防波壁位置拡大図 (1, 2号炉前面)

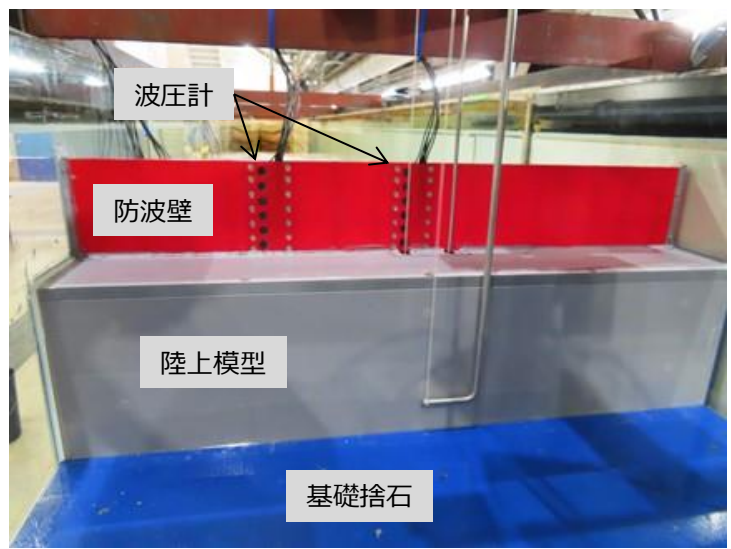
1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 実験条件 (3/3)

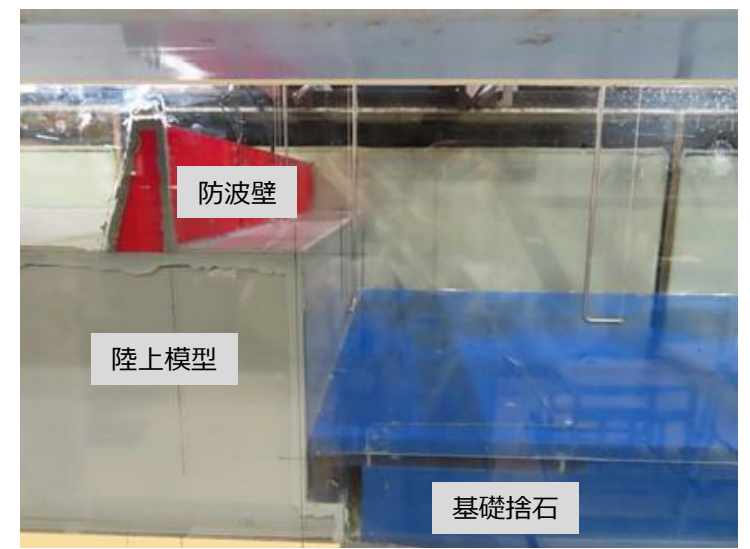
■ 水理模型実験の実験装置（3号炉側の例）の写真を以下に示す。



実験施設写真



正面



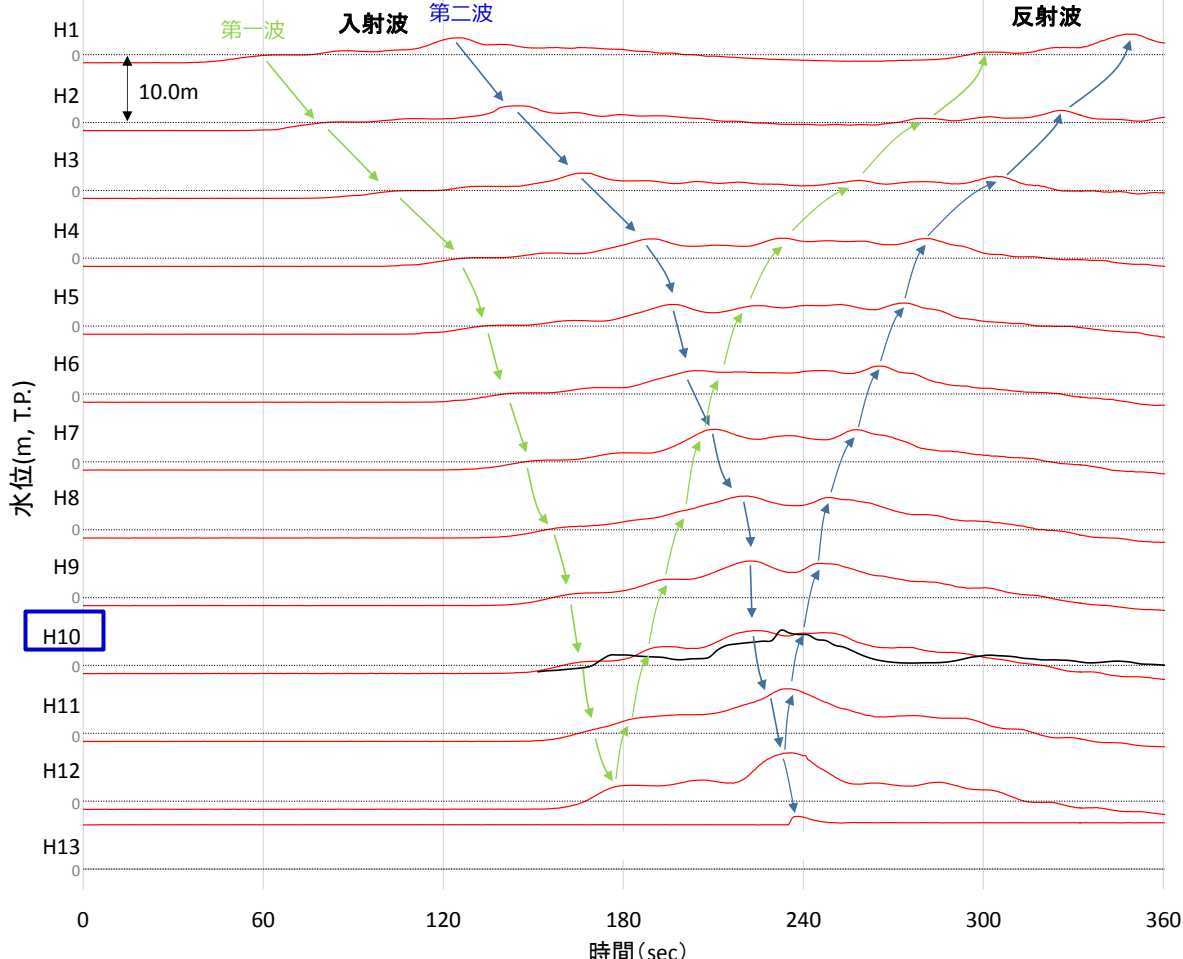
側面

実験装置 (3号炉)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 3号炉結果 (ケース①)

- 発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1～H12地点)。また，水理模型実験 (H10地点) と同等な水深における平面二次元津波シミュレーション (地点1：14頁参照) の時刻歴波形を比較した結果，同等の津波を再現できていることを確認した。
- 防波壁前面のH13地点においても，ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。
- また，第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について，緩やかに上昇していることを確認した。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波 1 (T.P.+12.6m)	基準津波 1	有	有	有
ケース②	1.5m津波 (T.P.+15.0m)		無	有	有
ケース③			有	有	有
ケース④*			有	無	有
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥			基準津波 1 の半周期	有	有

※通過波計測ケース

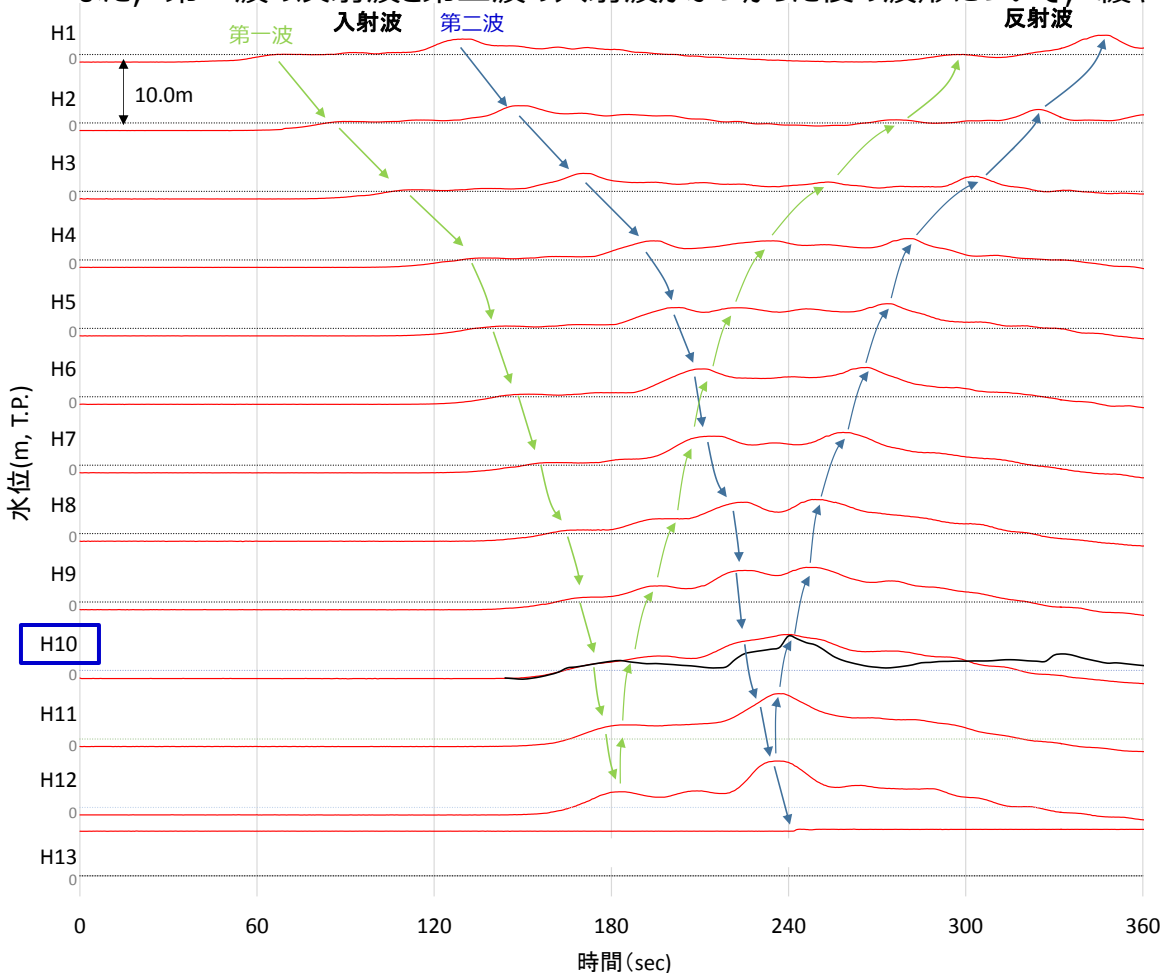
— : 水理模型実験結果
 — : 平面二次元津波シミュレーション解析結果 (地点1)

水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース①, 基準津波 1, 防波壁有, 防波堤有)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 3号炉結果 (ケース②)

- 発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1～H12地点)。また，水理模型実験 (H10地点) と同等な水深における平面二次元津波シミュレーション (地点1：14頁参照) の時刻歴波形を比較した結果，同等の津波を再現できていることを確認した。
- 防波壁前面のH13地点においても，ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。
- また，第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について，緩やかに上昇していることを確認した。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波1 (T.P.+12.6m)		有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	1.5m津波 (T.P.+15.0m)	基準津波1	有	有	有
ケース④*			有	無	有
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥			有	有	有

※通過波計測ケース

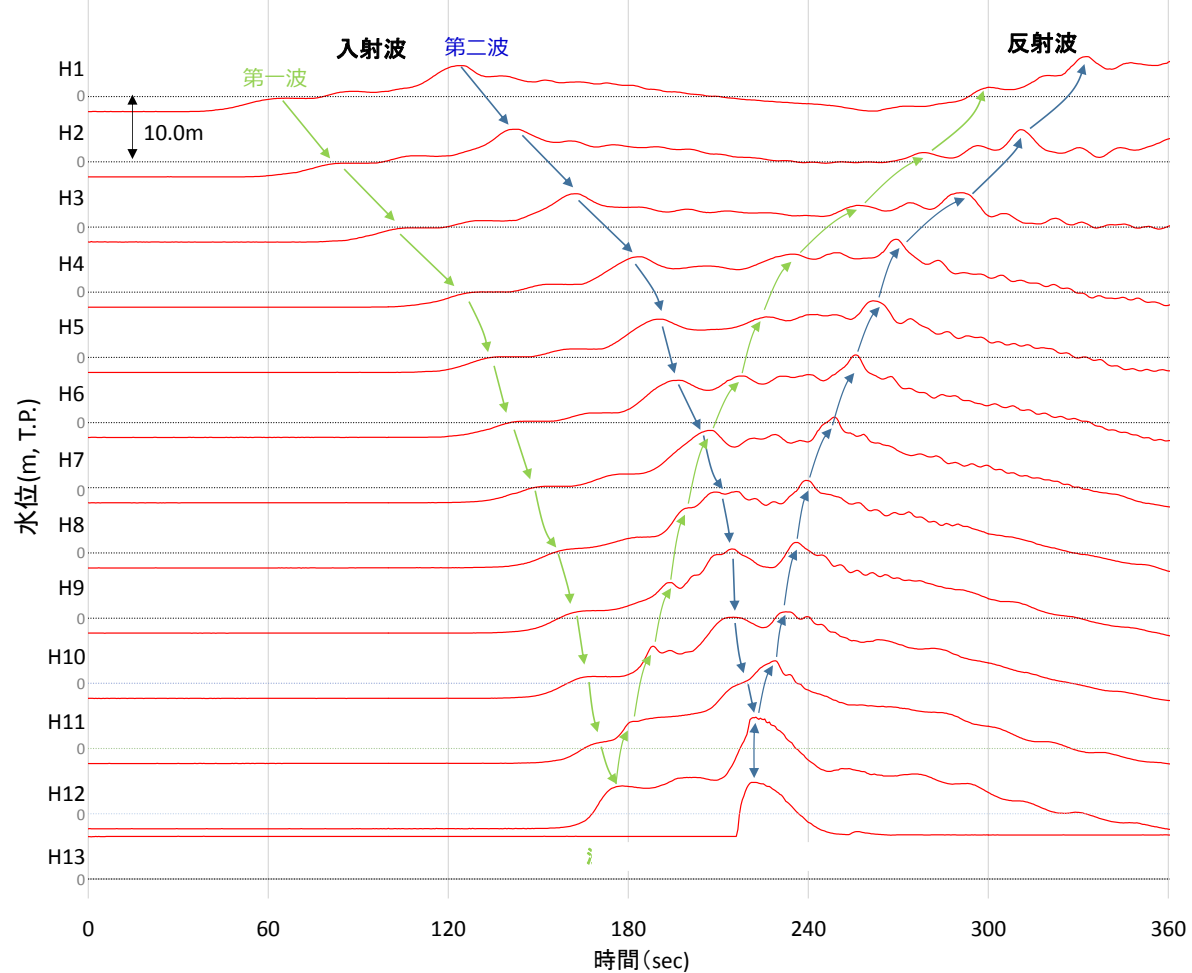
— : 水理模型実験結果
 — : 平面二次元津波シミュレーション解析結果 (地点1)

水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース②, 基準津波1, 防波壁有, 防波堤無)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 3号炉結果 (ケース③)

- 発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1～H12地点)。
- 防波壁前面のH13地点においても，ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。
- また，第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認したことから，波圧を算定して影響を確認する。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波1 (T.P.+12.6m)		有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③		基準津波1	有	有	有
ケース④*	1.5m津波 (T.P.+15.0m)		有	無	有
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥			基準津波1 の半周期	有	有

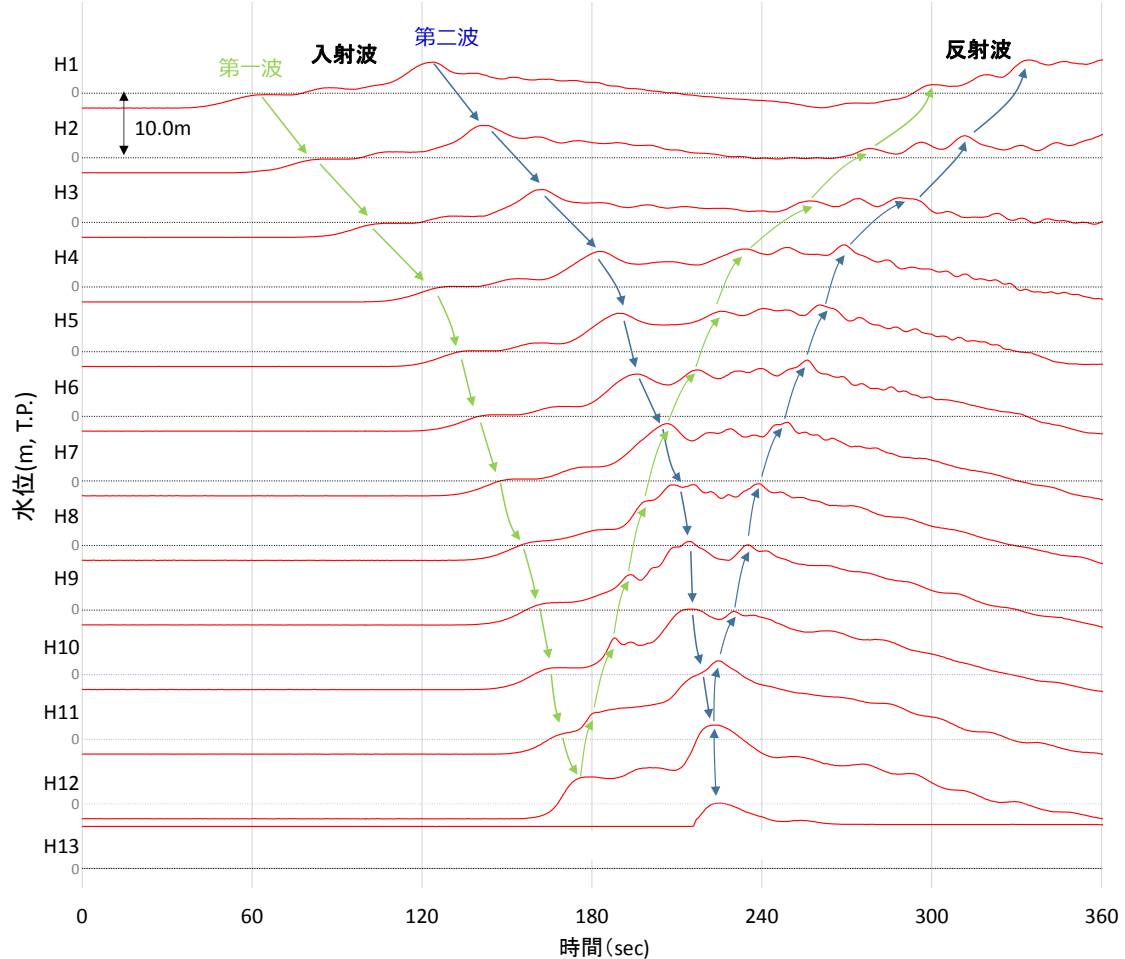
※通過波計測ケース

水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース③, 波圧検討用津波, 防波壁有, 防波堤有)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 3号炉結果 (ケース④) (1/2)

- 防波壁が無い状態での津波遡上状況の把握を目的に，通過波実験を行い，水位・フルード数の確認を行った。
- 発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1～H12地点)。
- 防波壁前面のH13地点においても，ソリトン分裂波及び砕波は発生しないことを確認した。
- また，第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認した。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波1 (T.P.+12.6m)	基準津波1	有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	有		有	有	
ケース④*	有		無	有	
ケース⑤*	有		無	無	
ケース⑥	有		有	有	

※通過波計測ケース

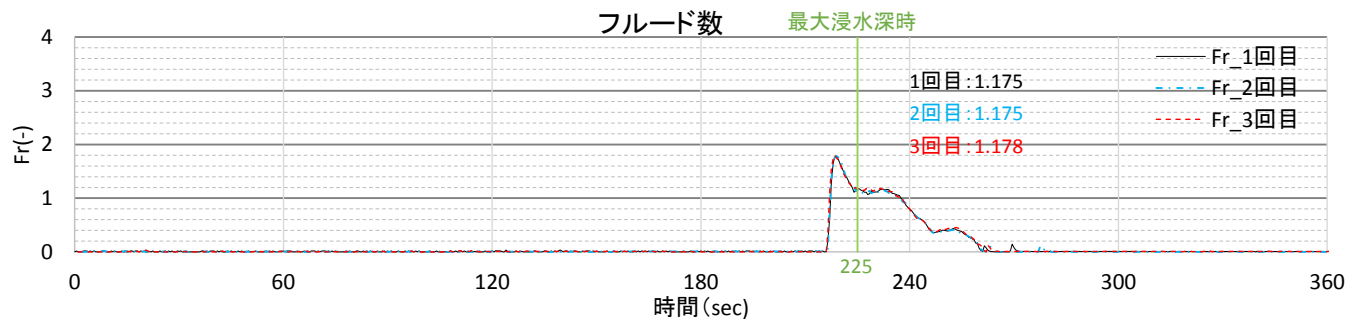
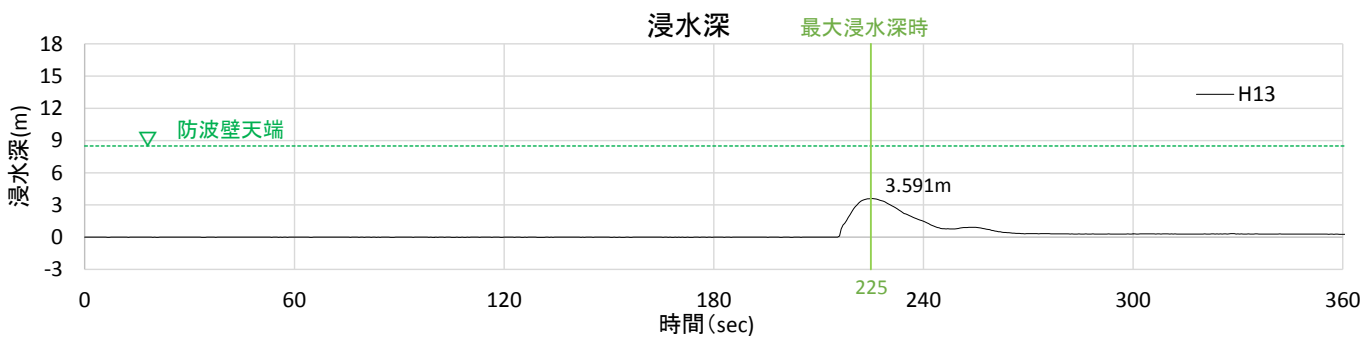
水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース④, 波圧検討用津波, 防波壁無, 防波堤有)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 3号炉結果（ケース④）（2/2）

- 防波壁位置における浸水深及び同時刻におけるフルード数の時刻歴波形を確認した。その結果，越流開始直後の浸水深が浅い時間帯においてはフルード数が大きい，最大浸水深と同時刻のフルード数は1前後となることを確認した。
- 朝倉らの研究※によると，津波波圧算定で使用する水深係数（水平波圧指標）について，以下のとおり記載されている。
 - ・非分裂波の場合，フルード数が1.5以上では陸上構造物前面に作用する津波波圧分布を規定する水平波圧指標（遡上水深に相当する静水圧分布の倍率）は最大で3.0となる。
- 今回，最大浸水深と同時刻のフルード数は1前後であることから，津波波圧算定で使用する水深係数を3.0とする。

※朝倉ら（2000）：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会，PP.911-915



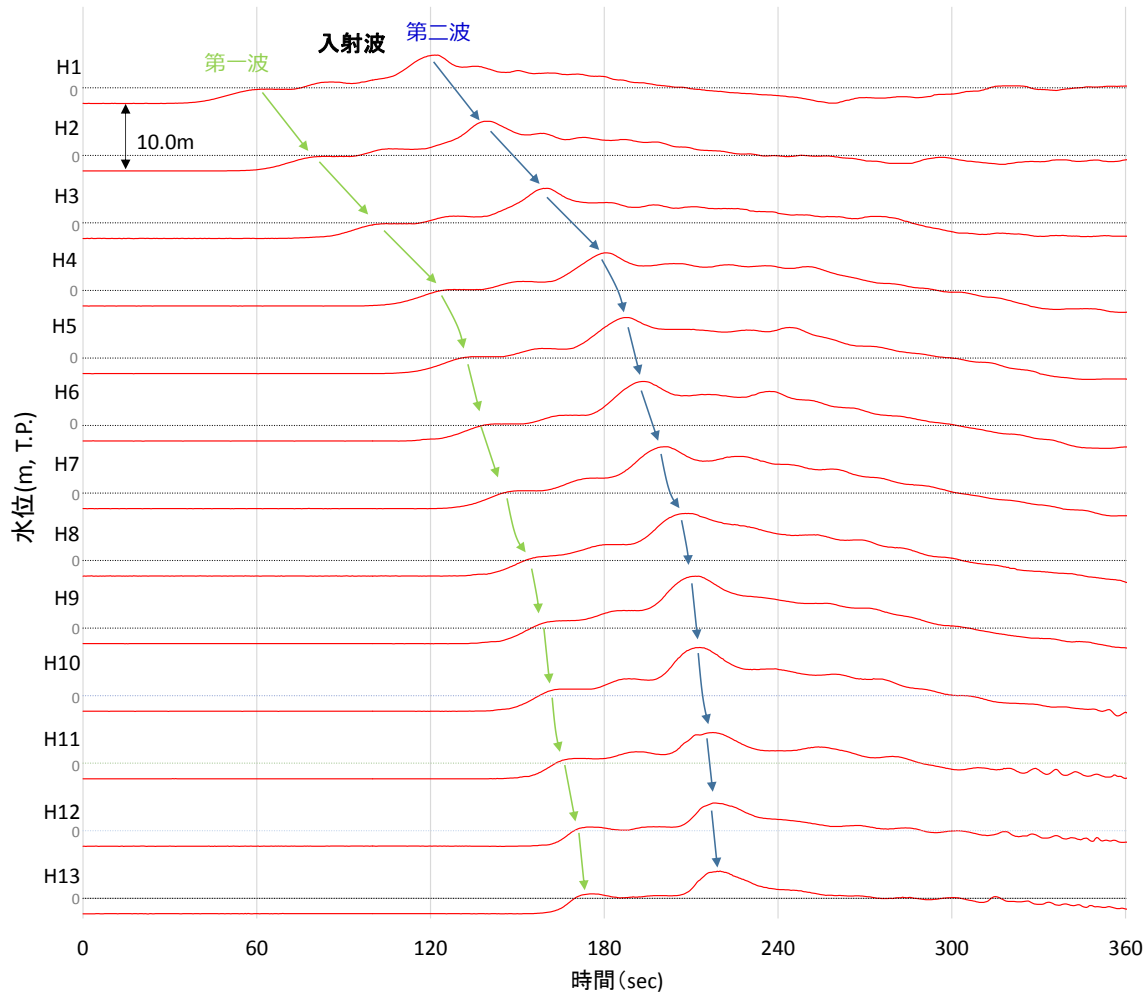
	フルード数 (最大浸水深時)
1回目	1.175
2回目	1.175
3回目	1.178

最大浸水深及び同時刻のフルード数（進行波成分）の時刻歴波形

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 3号炉結果 (ケース⑤)

- 反射波の影響を受けない状態でのソリトン分裂波及び砕波の発生有無の確認のため，敷地護岸及び防波壁無しによる通過波実験を行い，発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇していることを確認した (H1~H12地点)。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波1 (T.P.+12.6m)	基準津波1	有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	1.5m津波 (T.P.+15.0m)		有	有	有
ケース④*			有	無	有
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥			基準津波1 の半周期	有	有

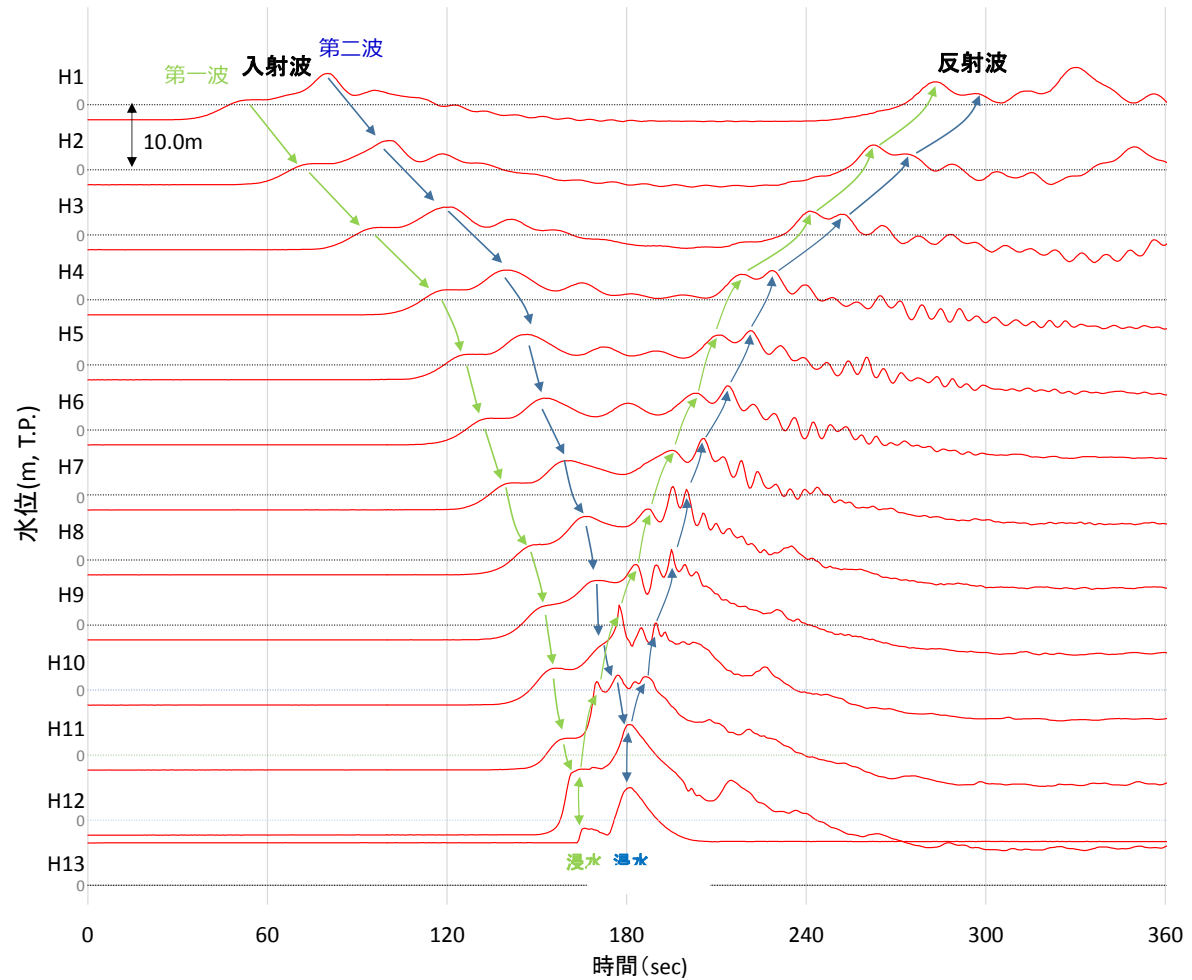
※通過波計測ケース

水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース⑤, 波圧検討用津波, 敷地無, 防波壁無, 防波堤有)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 3号炉結果 (ケース⑥)

- 不確かさケースとして，極端に周期を短くした場合の検討（基準津波 1 の半周期）を実施した。
- 発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇していることを確認した（H1～H12）。
- また，第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れを確認したことから，波圧を算定して影響を確認する。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波 1 (T.P.+12.6m)	基準津波 1	有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③	1.5m津波 (T.P.+15.0m)		有	有	有
ケース④*			有	無	有
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥			基準津波 1 の半周期	有	有

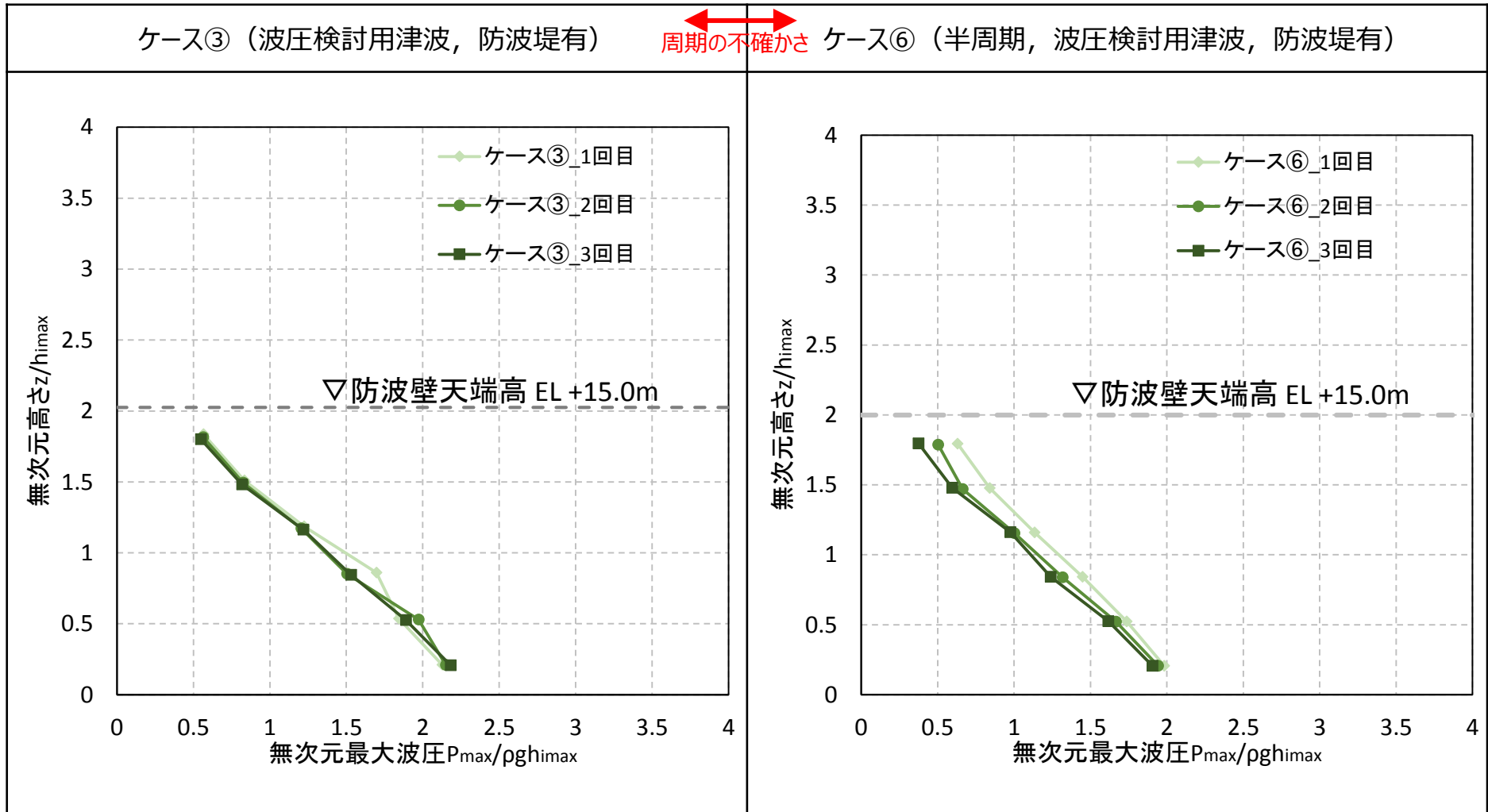
※通過波計測ケース

水理模型実験における水位の時刻歴波形 (ケース⑥, 半周期, 波圧検討用津波, 防波壁有, 防波堤有)

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.3 水理模型実験による検討 波圧算定

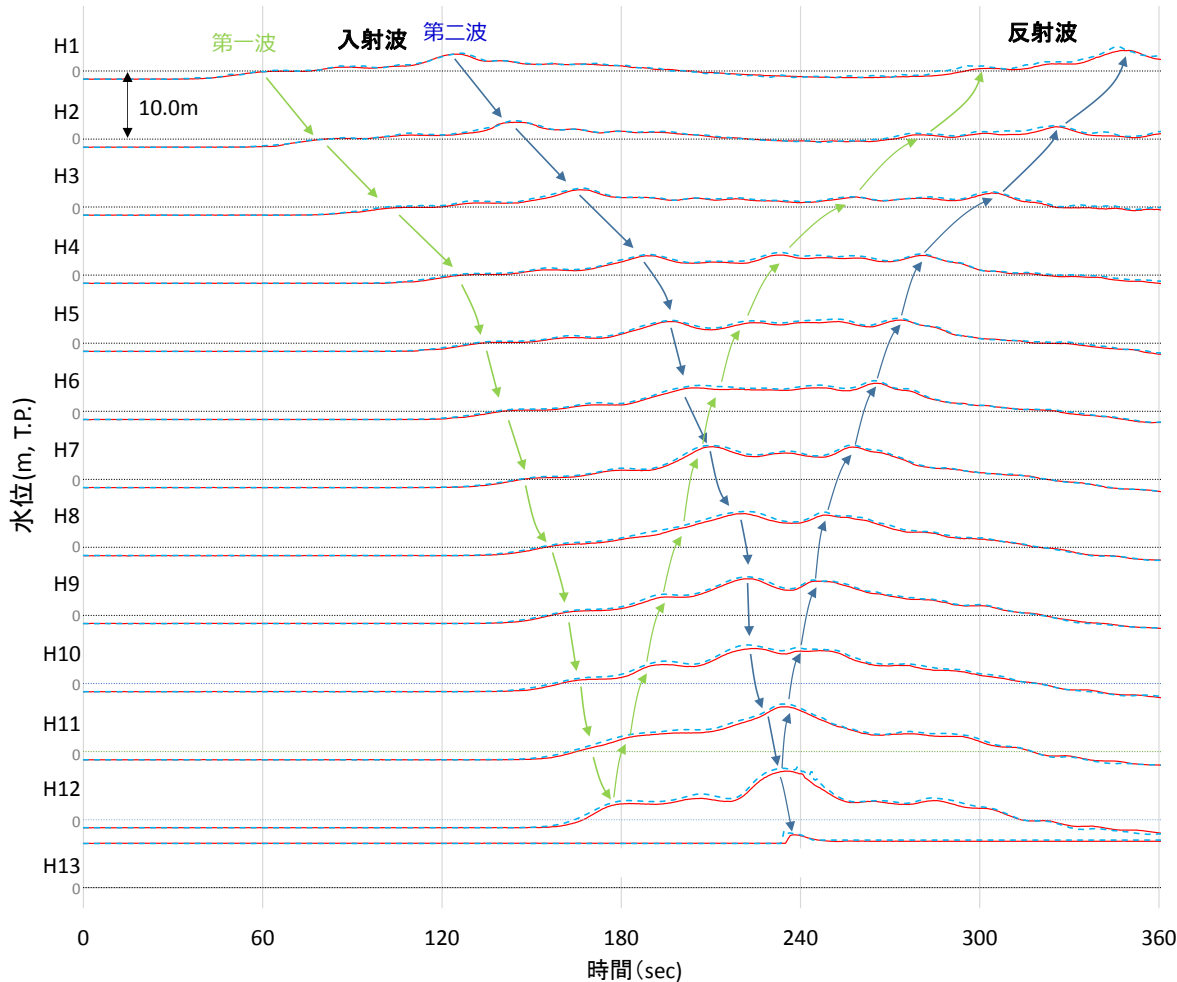
- 水理模型実験において計測した防波壁に作用する波圧分布を下図に示す。
- 水理模型実験により算出した波圧分布は，3号炉前面の防波壁において直線型の波圧分布となることから，ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。



1. ソリトン分裂波及び碎波の発生，並びに津波波圧への影響

1.4 断面二次元津波シミュレーションによる検討 3号炉結果（ケース①）

- 水理模型実験と同じ条件（ケース①及び③）について，断面二次元津波シミュレーションを実施した。
- ケース①の解析結果は，以下のとおり，水理模型実験と同等の津波を再現できていることを確認した（H1～H13地点）。
 - 発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇している（H1～H12地点）。
 - 防波壁前面のH13地点においても，ソリトン分裂波及び碎波は発生しない。
 - 第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について，緩やかに上昇している。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波 1	基準津波 1	有	有	有
ケース②	(T.P.+12.6m)		無	有	有
ケース③	1.5m津波 (T.P.+15.0m)		有	有	有
ケース④※			有	無	有
ケース⑤※		有	無	無	
ケース⑥		基準津波 1 の半周期	有	有	有

※通過波計測ケース

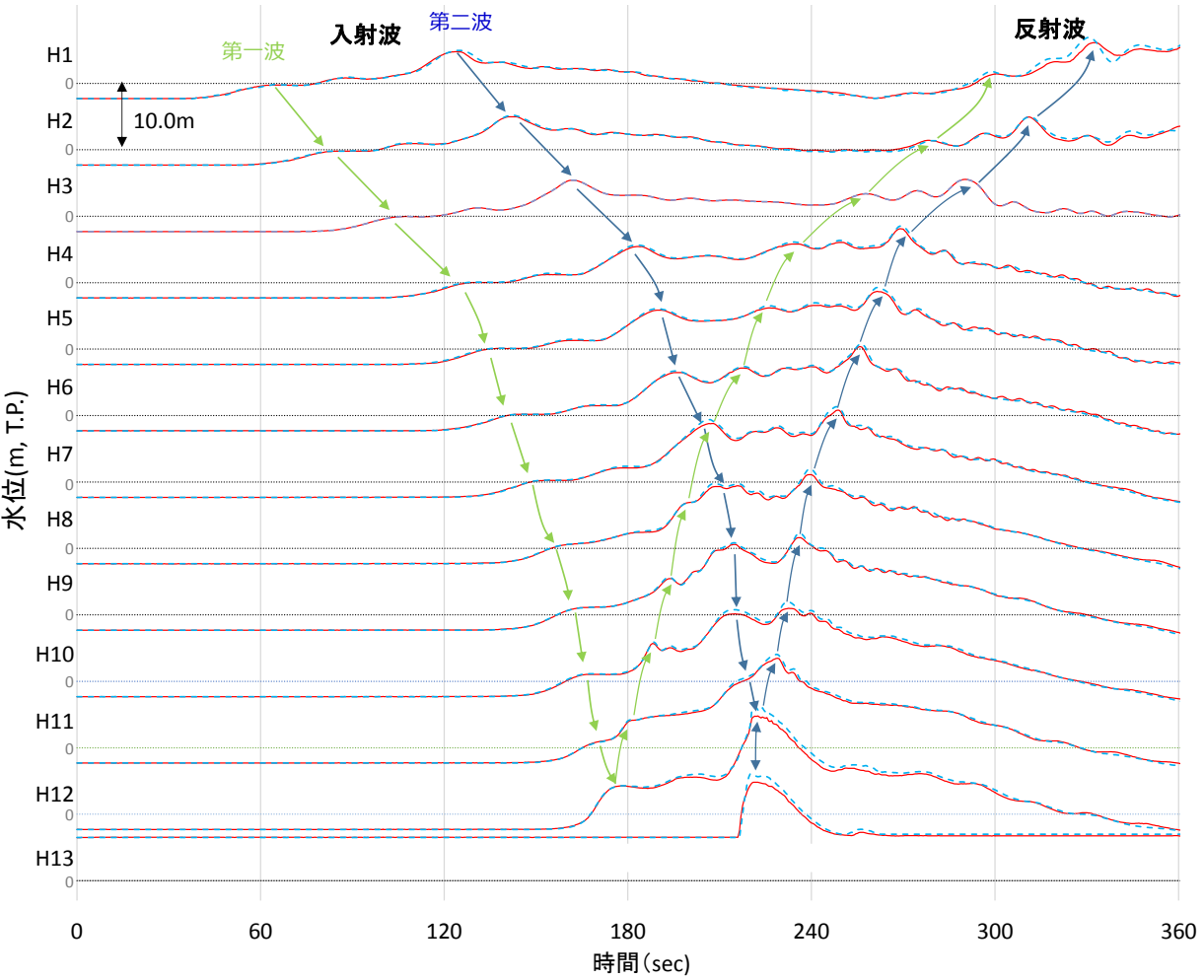
— 赤線: 実験結果
 - - - 青線: 解析結果

断面二次元津波シミュレーションにおける水位の時刻歴波形（ケース①，基準津波 1，防波壁有，防波堤有）

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.4 断面二次元津波シミュレーションによる検討 3号炉結果（ケース③）

- ケース③の解析結果は，以下のとおり，水理模型実験と同等の津波を再現できていることを確認した（H1～H13地点）。
 - 発電所沖合から防波壁の近傍において，ソリトン分裂波を示す波形がなく，水位は緩やかに上昇している（H1～H12）。
 - 防波壁前面のH13においても，ソリトン分裂波及び砕波は発生しない。
 - 第一波の反射波と第二波の入射波がぶつかった後の波形について乱れが確認できる。



検討ケース	津波高さ	波形(周期)	防波堤	防波壁	敷地護岸
ケース①	基準津波 1 (T.P.+12.6m)		有	有	有
ケース②			無	有	有
ケース③		基準津波 1	有	有	有
ケース④*	1.5m津波 (T.P.+15.0m)		有	無	有
ケース⑤*			有	無	無
ケース⑥		基準津波 1 の半周期	有	有	有

※通過波計測ケース

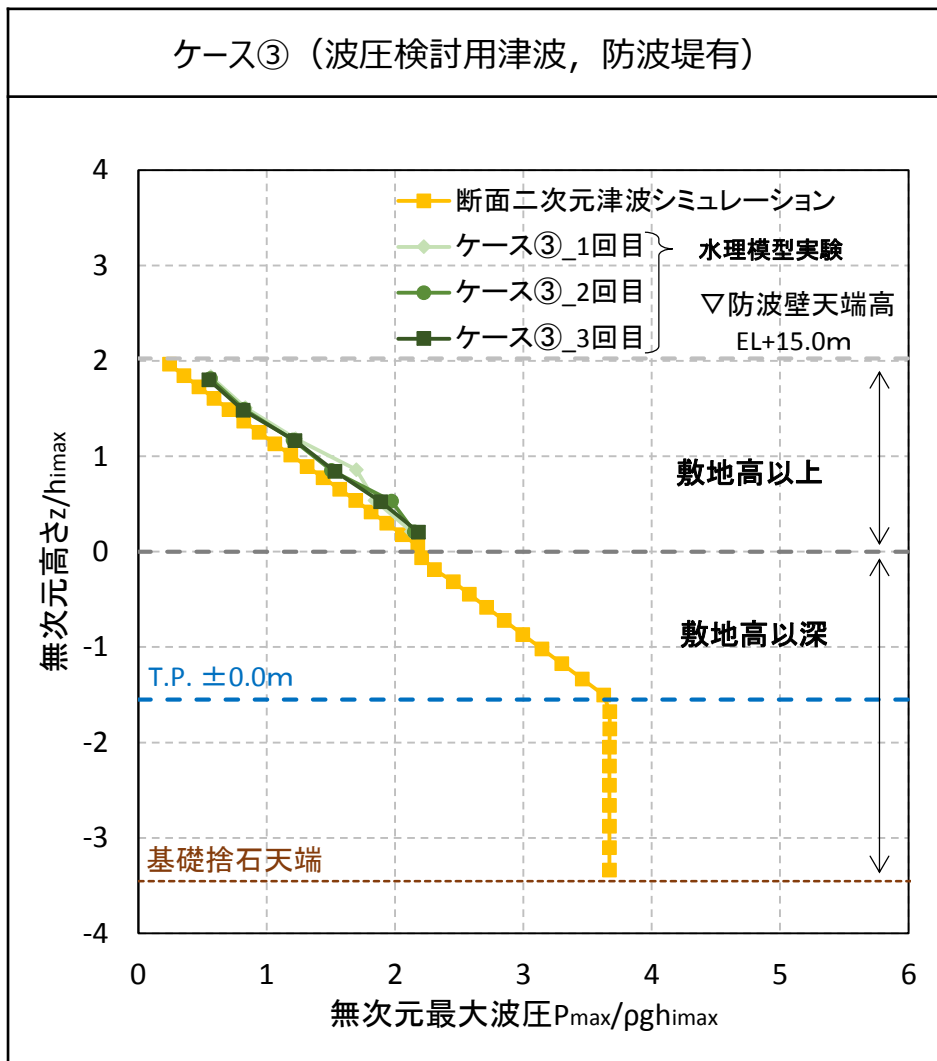
— 赤線: 実験結果
 - - - 青線: 解析結果

断面二次元津波シミュレーションにおける水位の時刻歴波形（ケース③，波圧検討用津波，防波壁有，防波堤有）

1. ソリトン分裂波及び砕波の発生，並びに津波波圧への影響

1.4 断面二次元津波シミュレーションによる検討 波圧算定

- 断面二次元津波シミュレーションにより算定した防波壁に作用する波圧分布を下図に示す。また，比較対象として同じ条件による水理模型実験結果による波圧分布（29頁参照）も示す。
- 断面二次元津波シミュレーションにより算出した波圧分布は，水理模型実験と同等の波圧分布であり，再現性があることを確認した。
- 直線型の波圧分布となることから，ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。



2.1 検討概要

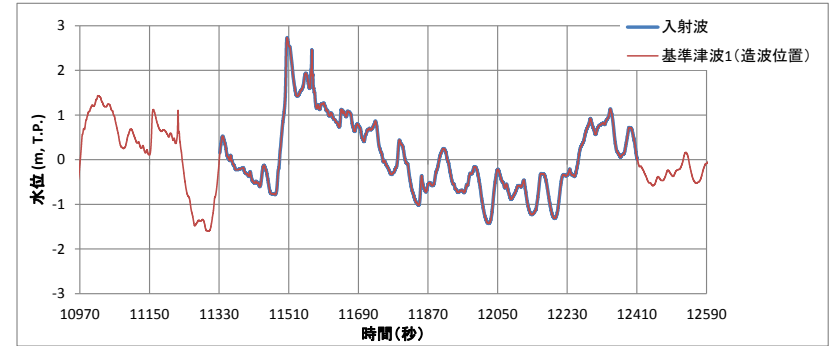
- 前項(1.3及び1.4)で行った水理模型実験及び断面二次元津波シミュレーションでは、島根原子力発電所の代表断面について検討したため、ここでは複雑な地形特性及び津波特性に応じた評価が可能である三次元津波シミュレーションを行い、防波壁に作用する波圧を直接算定し、その影響を確認する。
- 入射津波については、基準津波 1 の場合、敷地への浸水が局所的であり、防波壁等への津波波圧の影響の確認ができないことから、前項(1.4)で用いた波圧検討用津波（1.5 m 津波）を設定する。なお、波圧検討用津波により算定した波圧は、防波壁等の設計用津波波圧として用いるものではない。
- 解析モデルについては、島根原子力発電所の陸海域の地形特性を再現したモデルとする。

2.2 解析条件等

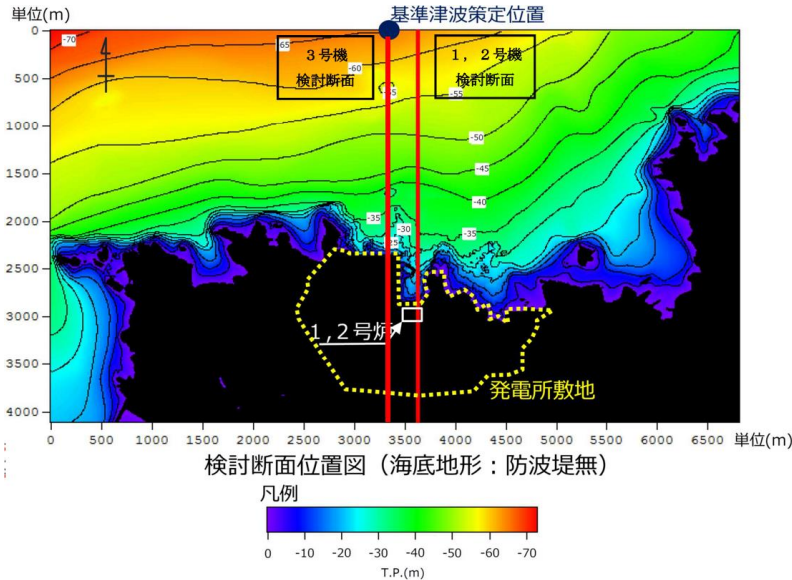
- 防波壁位置での津波の波形を抽出し、ソリトン分裂波や碎波の発生を確認する。
- 解析モデルについては、防波壁位置における津波高さ及び津波波圧を算定するため、陸海域の地形等の特性（1, 2号炉前面が入り組んだ複雑な地形）を再現して海底地形及び敷地をモデル化するとともに、防波壁等の形状及び高さを再現した地形とする。
- 入射津波については、前項(1.4)で用いた波圧検討用津波（1.5m津波）を設定する。
- 解析条件を下表に示す。

解析条件

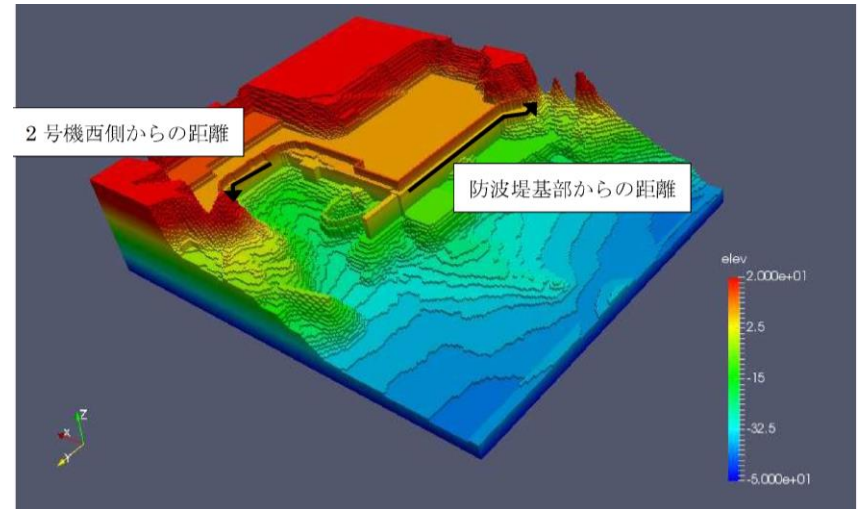
モデル化領域	南北方向：2,175m, 東西方向：1,125m
格子間隔	$\Delta x=6.25m, \Delta y=6.25m, \Delta z=1.0\sim 2.0m$
解析時間	1079秒（基準津波1の押し波最大波）



入射津波の造波波形図（3号炉，防波堤有）



3号炉前面地形



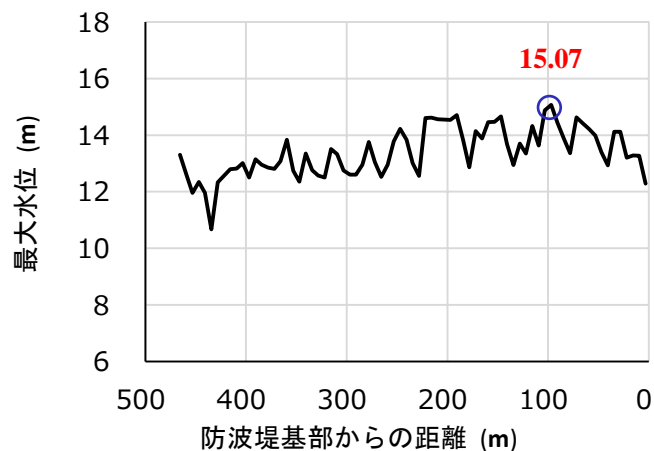
解析モデル図（距離の定義）

2. 三次元津波シミュレーションによる検討

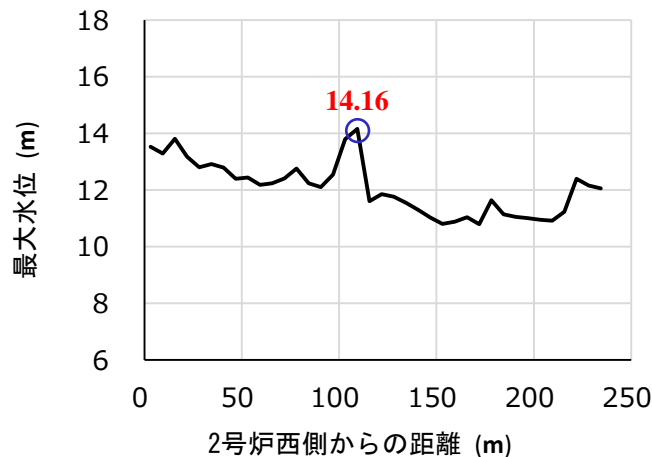
2.3 三次元津波シミュレーションより直接算定される最高水位

■ 防波壁前面における津波水位

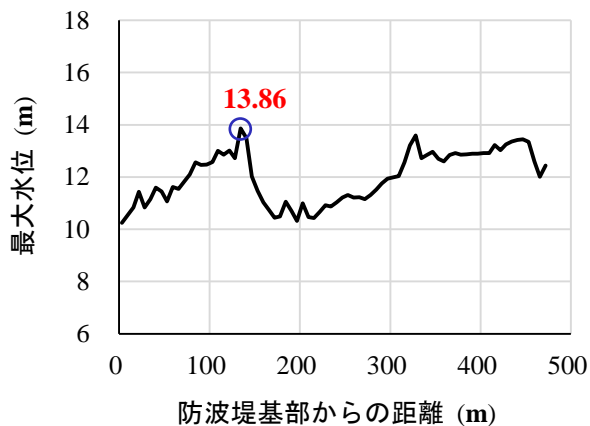
波圧検討用津波を用いた三次元津波シミュレーションにより抽出された防波壁前面における最高水位を下図に示す。



3号炉北側前面

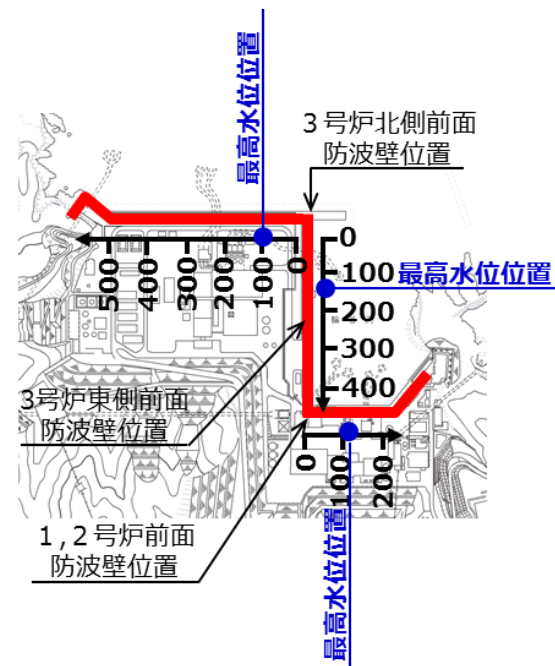


1, 2号炉前面



3号炉東側前面

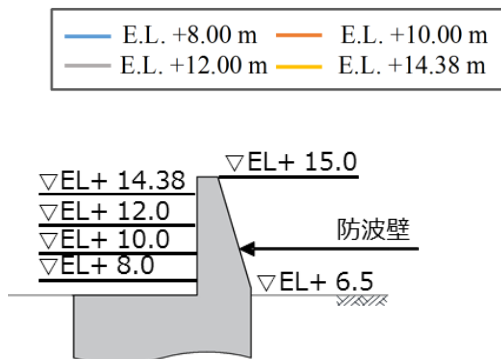
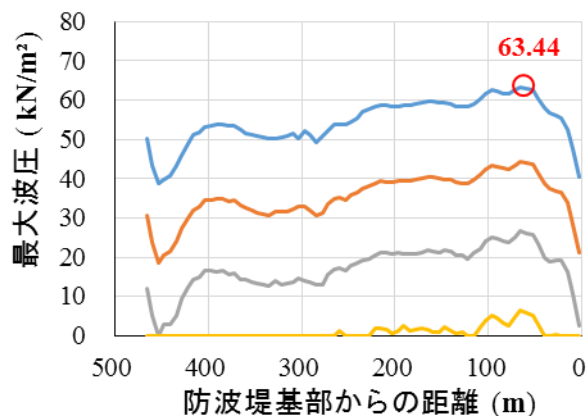
防波壁前面における最高水位分布



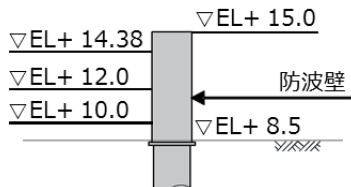
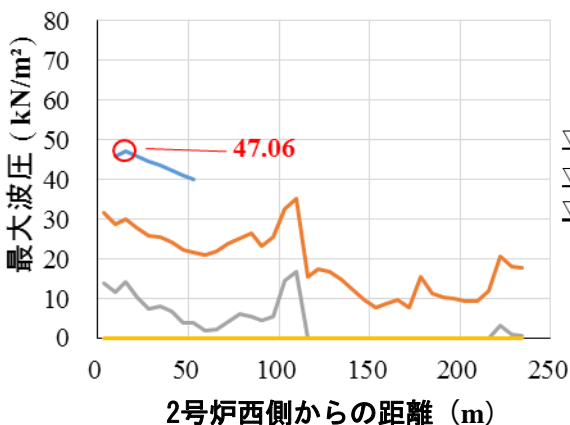
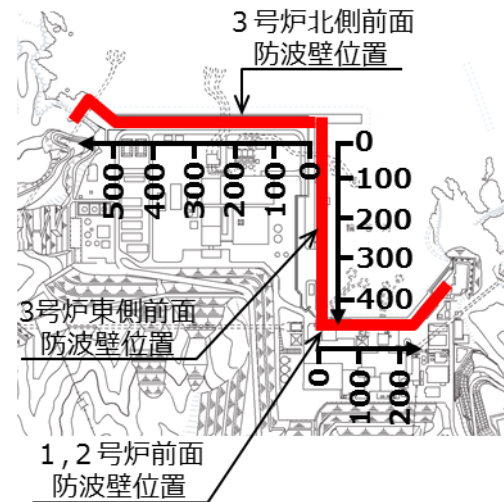
2. 三次元津波シミュレーションによる検討

2.4 三次元津波シミュレーションより直接算定される津波波圧

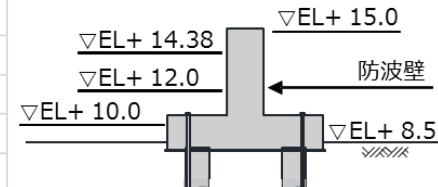
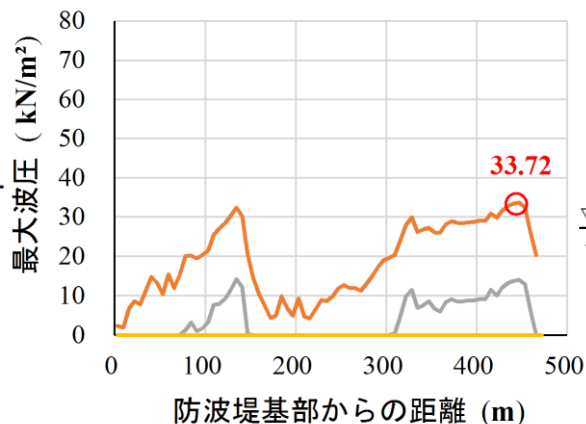
- 波圧検討用津波を用いた三次元津波シミュレーションにより直接算定された最大波圧分布及び最大波圧位置を以下に示す。



3号炉北側前面



1, 2号炉前面



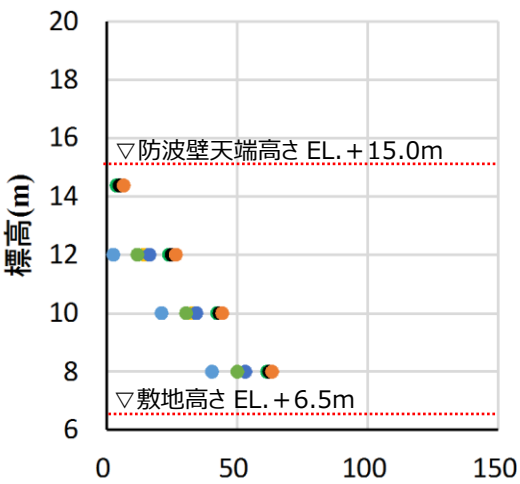
3号炉東側前面

防波壁に作用する標高別の最大波圧分布

2. 三次元津波シミュレーションによる検討

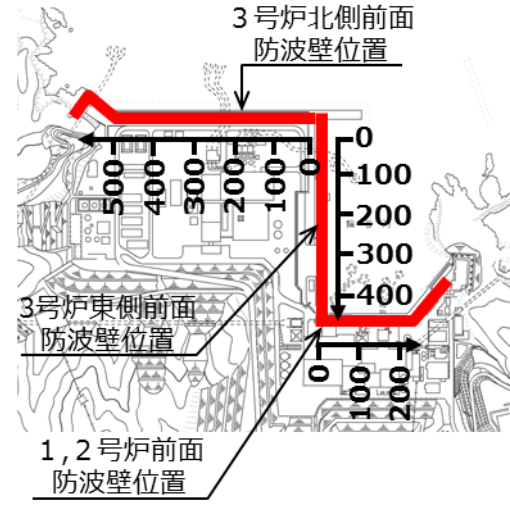
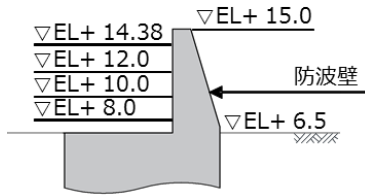
2.4 三次元津波シミュレーションより直接算定される津波波圧（標高毎）

■ 波圧検討用津波を用いた防波壁有りモデルによる三次元津波シミュレーションにより防波壁に作用する波圧を直接算定した結果を以下に示す。

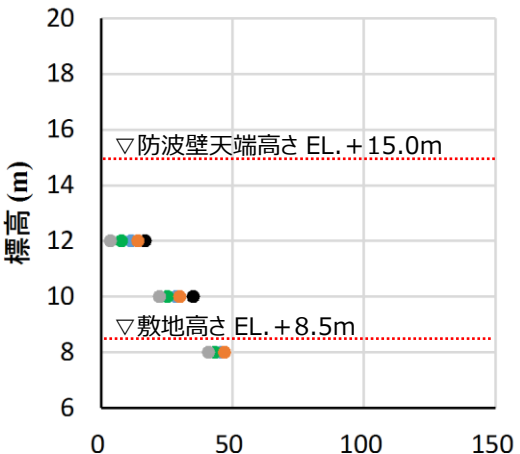


※凡例の数値は、防波堤基部からの距離

- 0
- 65.63
- 96.88
- 100
- 200
- 300
- 400
- 465.6

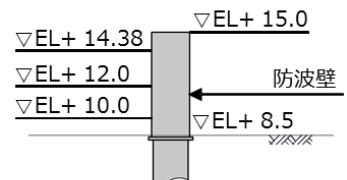


最大波圧 (kN/m²) 最大波圧分布 (3号炉北側前面)



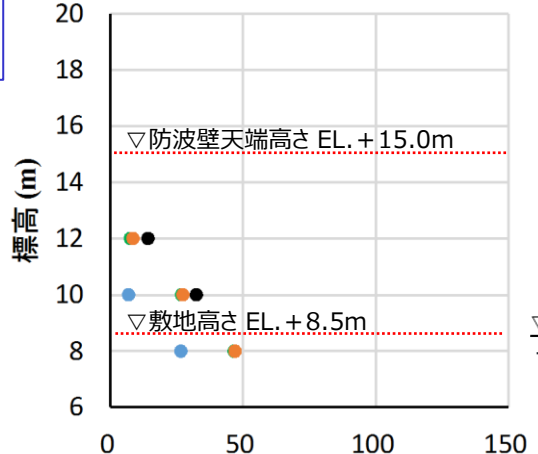
※凡例の数値は、2号炉西側からの距離

- 6.25
- 15.63
- 31.25
- 43.75
- 109.38



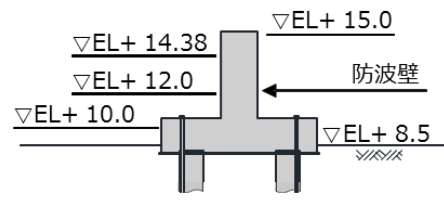
最大波圧 (kN/m²)

最大波圧分布 (1, 2号炉前面)



※凡例の数値は、防波堤基部からの距離

- 12.50
- 134.38
- 337.50
- 346.88



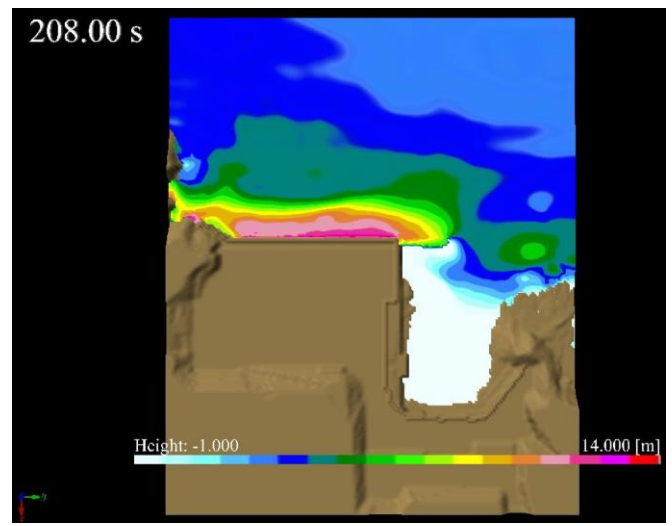
最大波圧 (kN/m²)

最大波圧分布 (3号炉東側前面)

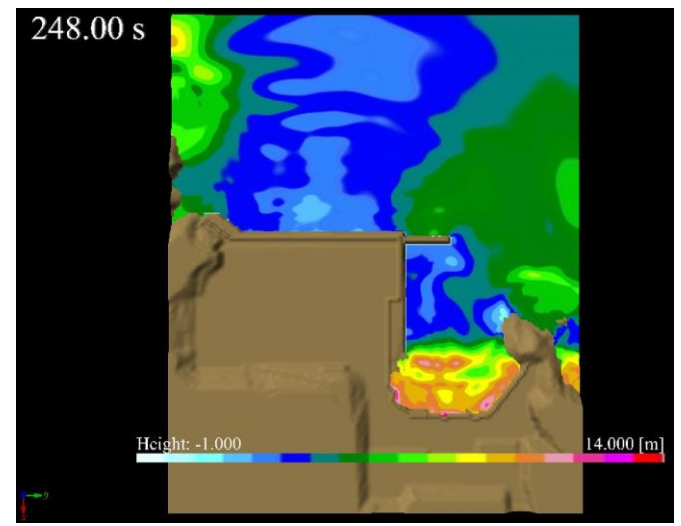
2. 三次元津波シミュレーションによる検討

(参考) 三次元津波シミュレーションによる津波の作用状況

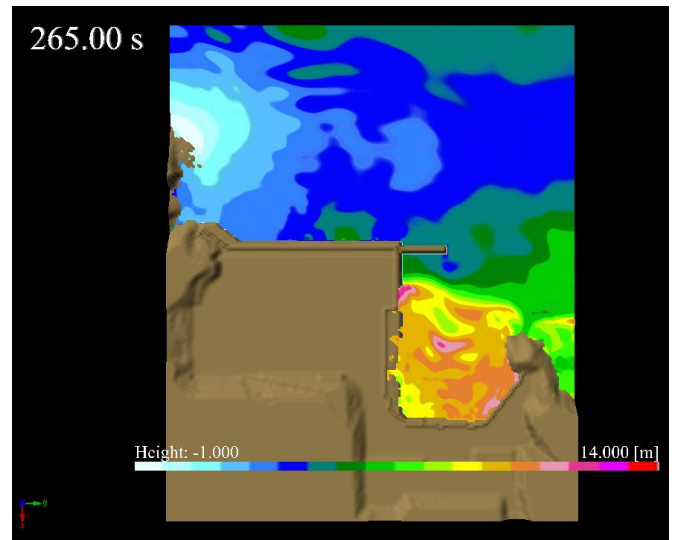
- 三次元津波シミュレーションによる最大波到達時刻の津波の作用状況を以下に示す。



津波の作用状況 (3号炉北側前面最大波到達時刻)



津波の作用状況 (1, 2号炉前面最大波到達時刻)

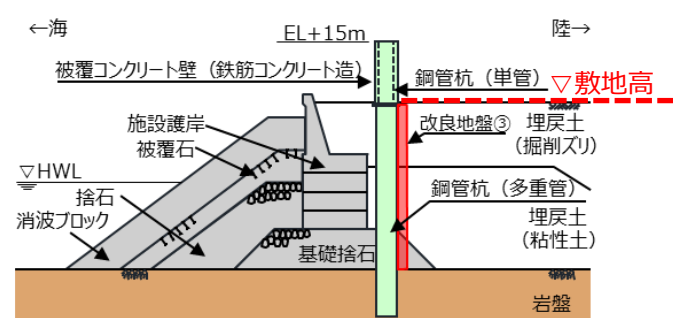
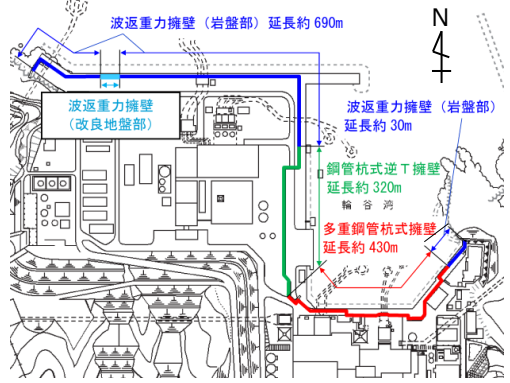


津波の作用状況 (3号炉東側前面最大波到達時刻)

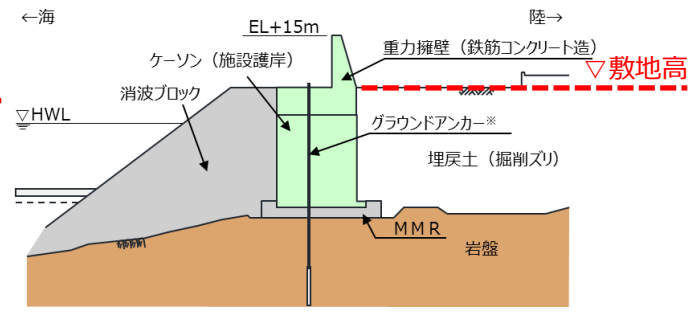
3. 既往の津波波圧算定式との比較

3.1 検討概要

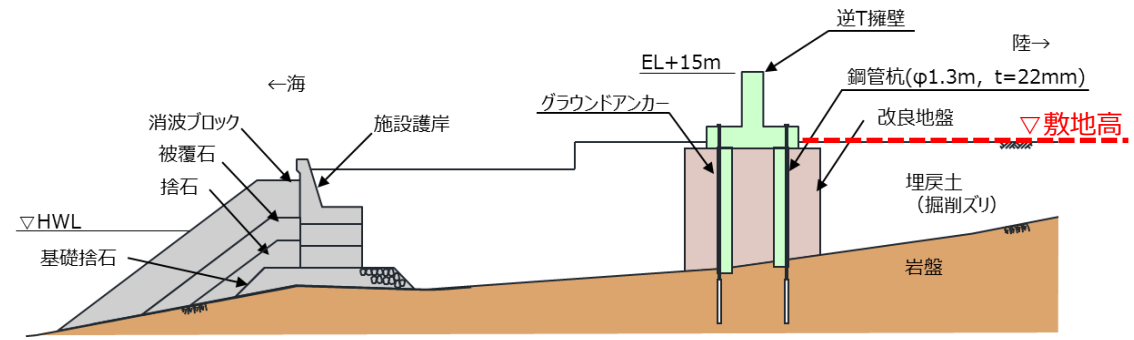
- 「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）によると、護岸に作用する津波波力の算定方法は、海中の直立壁に作用する津波波力と陸上の直立壁に作用する津波波力の2種類の算定方法が示されている。
- 従って、敷地高以上については、津波シミュレーションにより防波壁に作用する波圧を直接算出し、朝倉式により算出した津波波圧と比較することで、津波波圧算定式の妥当性を確認する。
- 敷地高以深については、津波シミュレーションにより防波壁に作用する波圧を直接算出し、谷本式により算出した津波波圧と比較することで、津波波圧式の妥当性を確認する。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）断面図



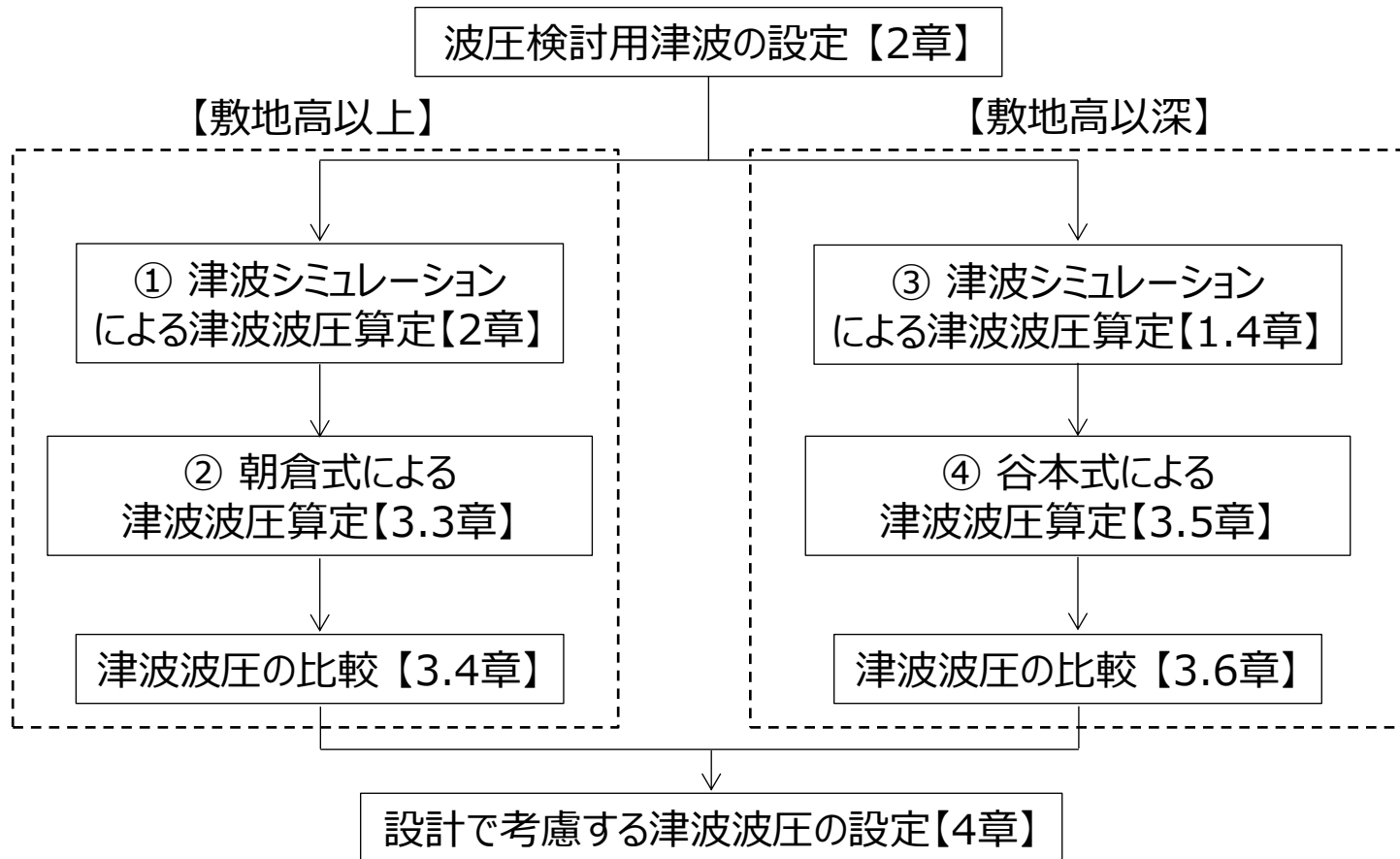
防波壁（波返重力擁壁）断面図



防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）断面図

3.2 津波波圧検討フロー

- 津波シミュレーションにより防波壁に作用する波圧を直接算定し、既往評価式による津波波圧と比較することで、既往評価式による津波波圧の妥当性を確認する。
- ① 津波シミュレーションより直接算出される津波波圧を抽出する。
② 朝倉式により、保守的に「通過波の浸水深」を入力津波高さの1/2と仮定して津波波圧を算定する。
③ 津波シミュレーションより直接算定される津波波圧を抽出する。
④ 津波シミュレーションにより、防波壁前面の津波高さを求め、谷本式による津波波圧を算定する。



3. 既往の津波波圧算定式との比較

3.3 朝倉式による津波波圧算定

- 朝倉式は、津波の通過波の浸水深に応じて波圧を算定する式であり、保守的に「通過波の浸水深」を入力津波高さの1/2と仮定して津波波圧を算定する。朝倉式の考え方を以下に示す。
- なお、波圧検討用津波を用いた津波シミュレーションより算出した津波波圧と比較する場合、朝倉式で使用する浸水深は、津波シミュレーションより抽出された防波壁前面最高水位を使用する。（2章参照）

■ 朝倉式

$$q_z = \rho g (a\eta - z)$$

ここに、

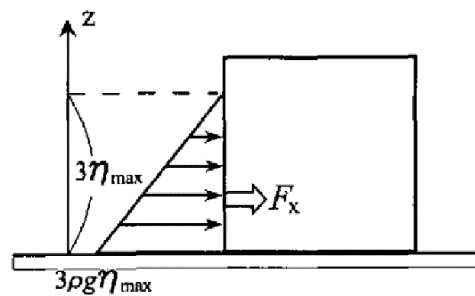
q_z : 津波波圧 (kN/m²)

η : 浸水深 (通過波の浸水深 = 最大浸水深の1/2)

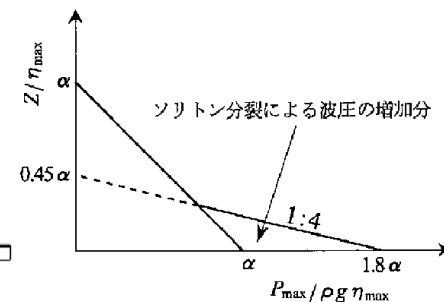
z : 当該部分の地盤面からの高さ
($0 \leq z \leq a h$)

a : 水深係数 (最大 : 3)

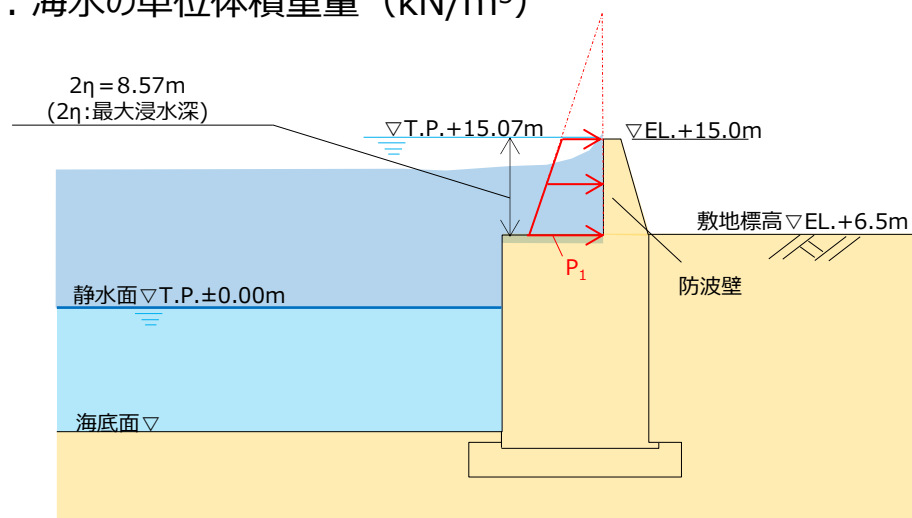
ρg : 海水の単位体積重量 (kN/m³)



非分裂波の場合の津波
水平波圧



分裂波の無次元最大
波圧分布



津波波圧設定の考え方

3. 既往の津波波圧算定式との比較

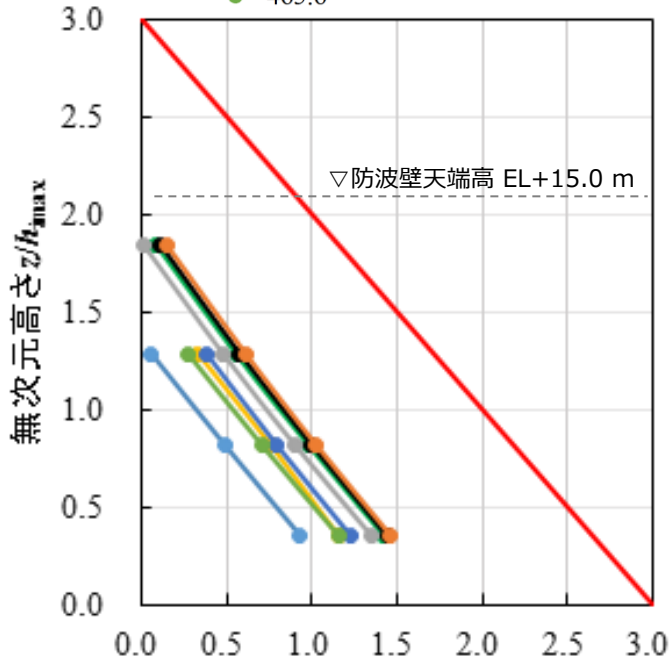
3.4 津波波圧の比較 朝倉式（敷地高以上）（1/2）

- 3号炉北側の防波壁のうち敷地高以上における三次元津波シミュレーションにより算定した波圧分布を下図に示す。また、比較対象として同じ条件による水理模型実験結果及び断面二次元津波シミュレーションによる波圧分布（32頁参照）も示す。
- 三次元津波シミュレーションにより直接算定した波圧分布は、3号炉北側前面の防波壁において直線型の波圧分布となることから、ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。
- これらの直接算定した波圧は、朝倉式による波圧に包絡されることを確認した。また、3号炉北側前面の防波壁において、水理模型実験及び断面二次元シミュレーション結果に基づく波圧についても、朝倉式による波圧に包絡されることを確認した。

- 朝倉式
- 0
- 65.63
- 96.88
- 100
- 200
- 300
- 400
- 465.6

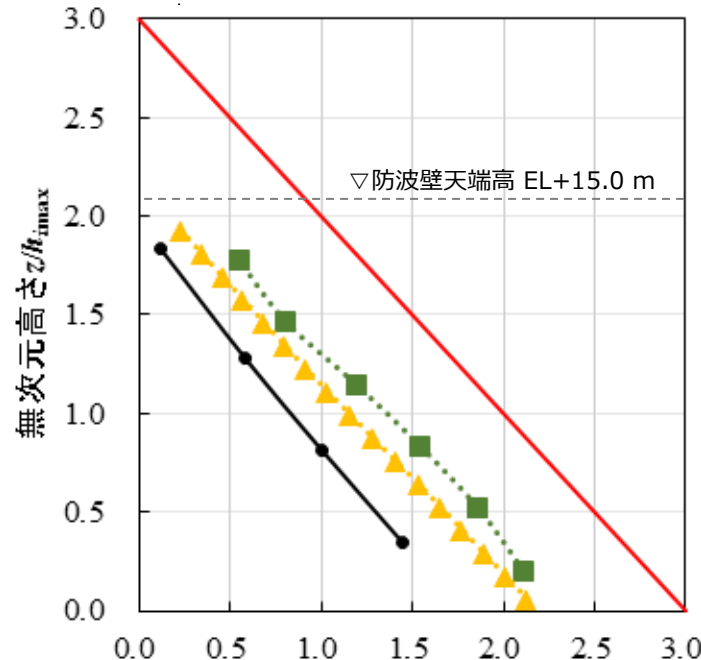
※凡例の数値は、防波堤基部からの距離

- 朝倉式
- 三次元（計算値）※断面二次元と同じ位置
- 断面二次元（実験値）
- ▲ 断面二次元（計算値）



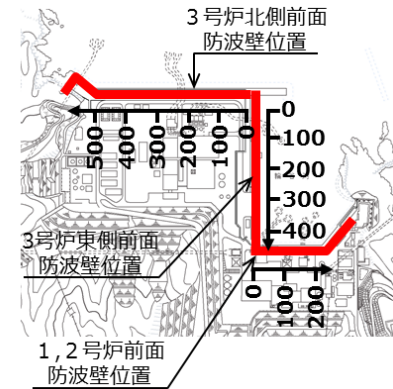
無次元最大波圧 $p_{max}/\rho g h_{max}$

無次元最大波圧分布（3号炉北側）



無次元最大波圧 $p_{max}/\rho g h_{max}$

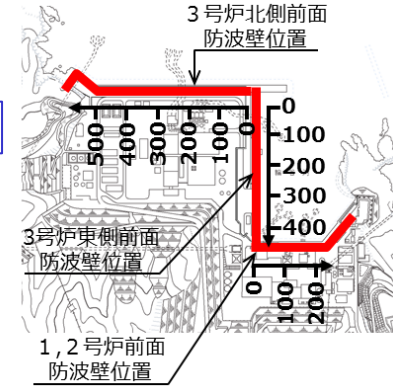
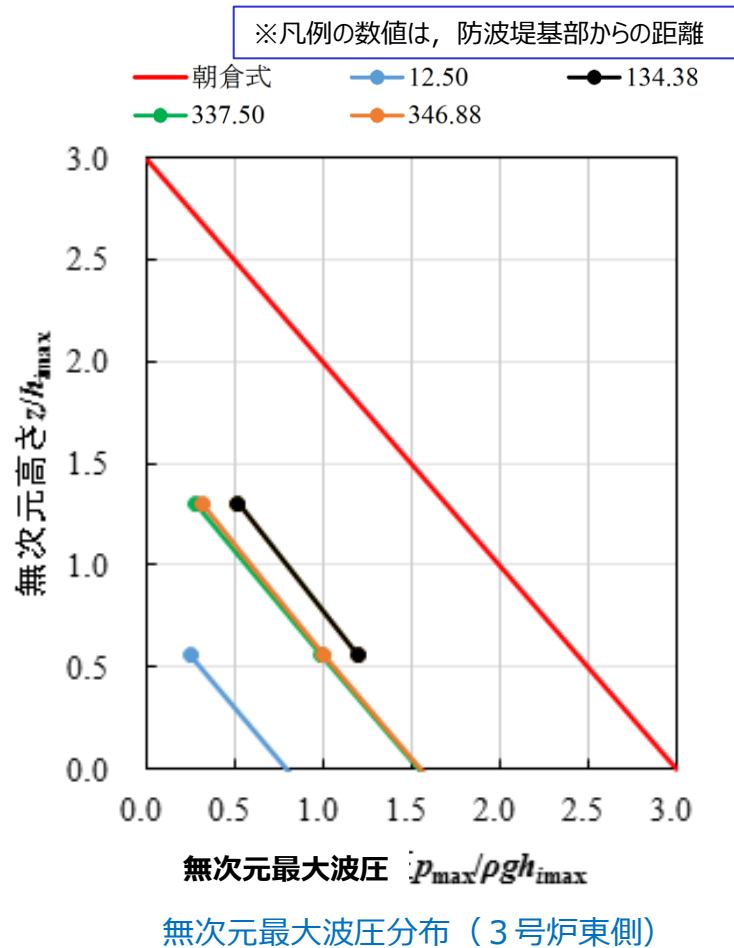
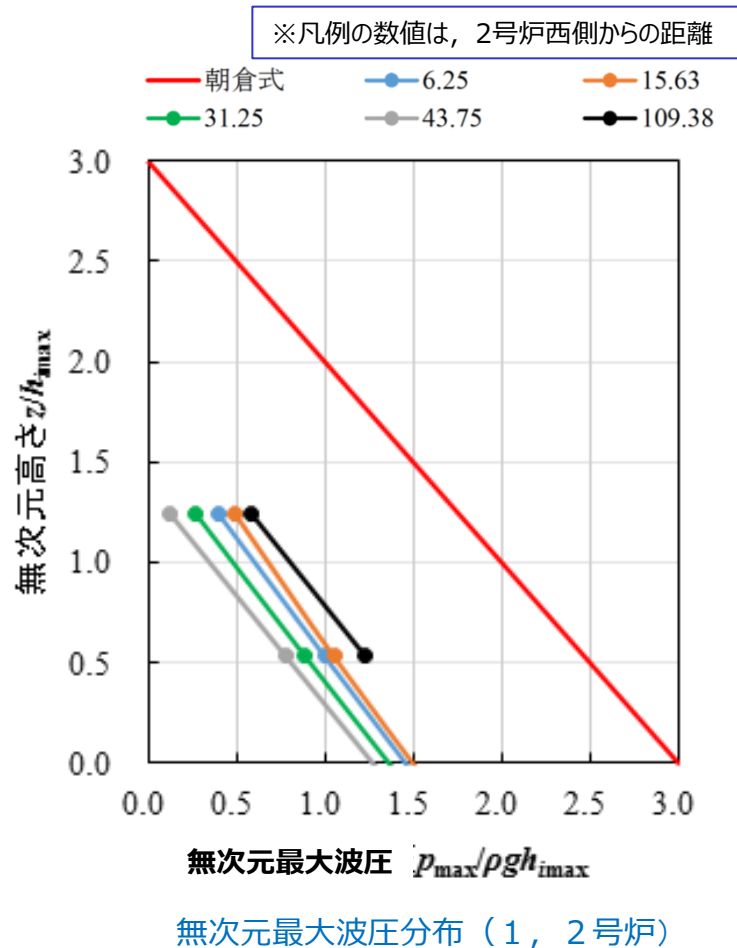
無次元最大波圧分布（3号炉北側）
実験及び断面二次元シミュレーションとの比較



3. 既往の津波波圧算定式との比較

3.4 津波波圧の比較 朝倉式（敷地高以上）（2/2）

- 1, 2号炉北側及び3号炉東側の防波壁における三次元津波シミュレーションにより算定した波圧分布を下図に示す。
- 三次元津波シミュレーションにより直接算定した波圧分布は, 1, 2号炉前面及び3号炉東側前面の防波壁において直線型の波圧分布となることから, ソリトン分裂波や砕波による津波波圧への有意な影響はないことを確認した。
- これらの直接算定した波圧は, 朝倉式による波圧に包絡されることを確認した。



3. 既往の津波波圧算定式との比較

3.5 谷本式による津波波圧算定

- 谷本式は、構造物前面の津波高さ（津波シミュレーション）に応じて波圧を算定する式である。谷本式を以下に示す。
- なお、津波シミュレーションより算出した津波波圧と比較する場合は、谷本式で使用する津波高さ（ $2a_I$ ）は、津波シミュレーションより抽出された防波壁前面の最高水位を使用する。

■ 谷本式

$$\eta^* = 3.0 a_I$$

$$P_1 = 2.2 \rho_0 g a_I$$

$$P_u = P_1$$

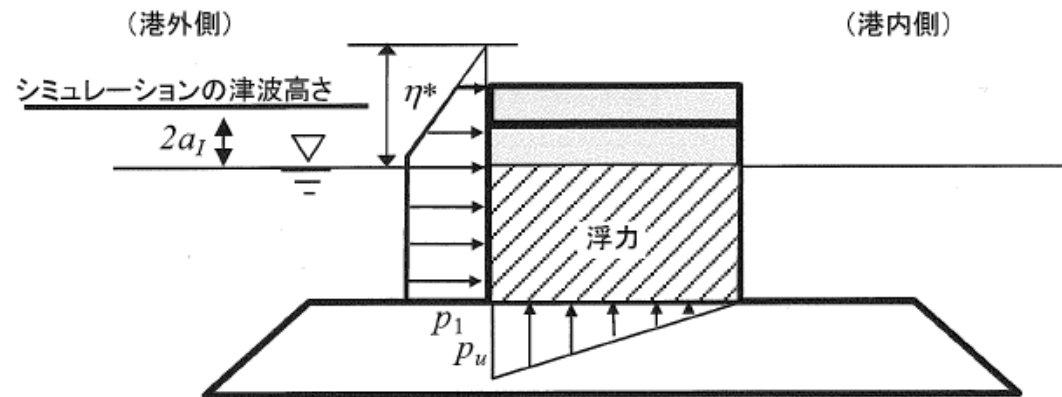
ここに、

η^* : 静水面上の波圧作用高さ
(m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ
(振幅) (m)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量
(kN/m^3)

P_u : 直立壁前面下端における
揚圧力 (kN/m^2)



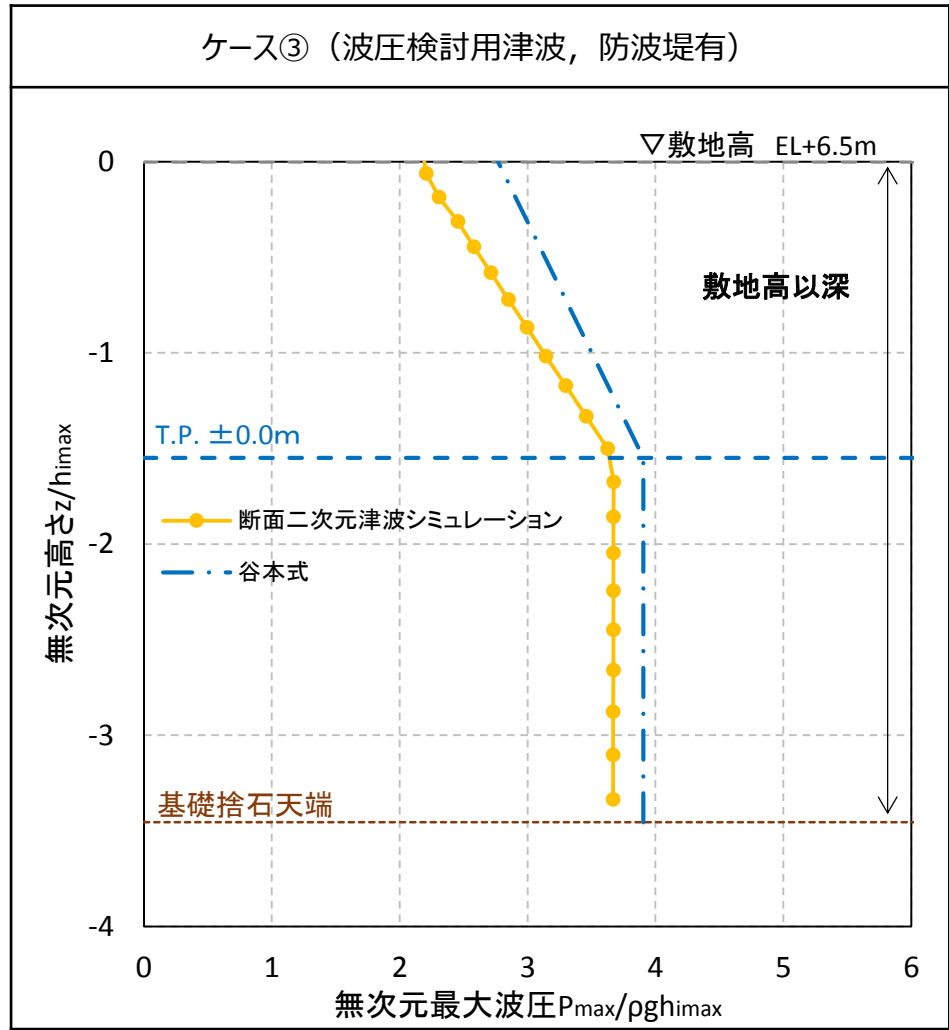
谷本式による波圧分布
(背面水位が押し波時に静水面より下がらない場合)

- ・島根原子力発電所の防波壁背後は敷地であるため、港湾外の波圧を算定した図を引用した。
- ・なお、「背面水位が押し波時に静水面より下がる場合」でも港外側に作用する津波波圧は同じである。

3. 既往の津波波圧算定式との比較

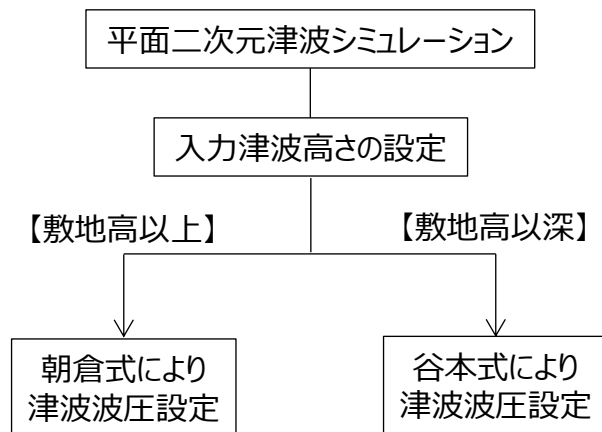
3.6 津波波圧の比較 谷本式（敷地高以深）

- 3号炉北側の防波壁のうち敷地高以深における断面二次元津波シミュレーションにより算定した波圧分布を下図に示す。
- 3号炉北側前面の防波壁（敷地高以深）において、断面二次元津波シミュレーションにより算出した波圧は、谷本式による波圧に包絡されることを確認した。なお、三次元津波シミュレーションによる波圧分布については、取りまとめ次第反映する。

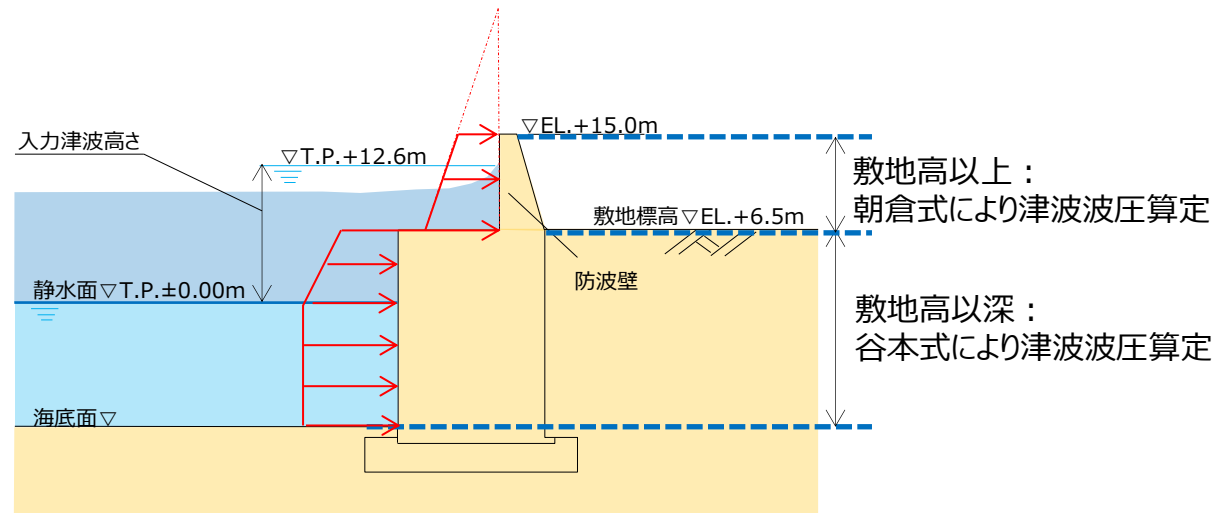


4. 設計で考慮する津波波圧の設定

- 水理模型実験の結果、科学的根拠に基づきソリトン分裂波や砕波が発生しないこと、敷地高以上の波圧分布は直線型となり、津波波圧への有意な影響はないことを確認した。
- 断面二次元津波シミュレーション解析の結果、水理模型実験を再現でき、ソリトン分裂波や砕波が発生しないこと、敷地高以上の波圧分布は直線型となり、敷地高以深の波圧分布は海水位までは直接型、海水位以深では一定となり、津波波圧への有意な影響はないことを確認した。
- 三次元津波シミュレーション解析の結果、地形特性や津波特性を反映し、1, 2号炉北側, 3号炉北側及び3号炉東側における最高水位及び最大波圧を算出し、敷地高以上の波圧分布は直線型となり、津波波圧への有意な影響はないことを確認した。
- 水理模型実験及び津波シミュレーション結果による津波波圧は、既往の津波波圧算定式による津波波圧に包絡されることを確認した。
- 上記検討結果を踏まえ、防波壁等の設計で考慮する津波波圧を以下のとおり設定する。
 - ・敷地高以上について、平面二次元津波シミュレーション解析で設定した入力津波高さの1/2を浸水深として、朝倉式により津波波圧を設定する。
 - ・敷地高以深については、平面二次元津波シミュレーション解析で設定した入力津波高さに基づき、谷本式により津波波圧を設定する。



津波波圧設定フロー



波圧算定イメージ(3号炉前面)