

島根原子力発電所第2号機 工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について

2022年9月
中国電力株式会社

■ 説明内容

- 工事計画認可申請（補正）に係る論点について，第1018回審査会合（2021年12月7日）にて示した主な説明事項を含め，審査の中で論点として整理された項目について説明する。また，第1018回審査会合（2021年12月7日）での主な説明事項No.1-5に関する指摘事項に対する回答について説明する。
- 本日説明する主な説明事項は以下のとおり。

【建物・構築物関係】

分類	No.	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	P.2～18
	1-5	漂流物衝突荷重の設定 （【指摘事項に対する回答】を含む）	P.19～37
	1-8	設計地下水位の設定	P.38～48
	1-9	防波壁（逆T擁壁の改良地盤の解析用物性値）	P.49～56

【機器・配管関係】

分類	No.	項目	回答資料
[1] 詳細設計申送り事項	1-6	機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）	資料1-3-2 で説明
[4] その他の詳細設計に係る説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定	資料1-3-3 で説明

- なお，今後の審査にて論点として抽出されたものについても審査会合にて説明する。

【1-2】建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価

【詳細設計申送り事項に対する回答】

設置変更許可審査時において、「建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価」に関して以下の詳細設計へ申送りした事項（詳細設計申送り事項）があったことから、詳細設計申送り事項に対する回答について説明する。

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	<ul style="list-style-type: none"> 入力地震動を算定する際の表層地盤の物性値については地震動によらず S_s, S_d でそれぞれ一定値とする方針であるが、表層地盤の物性値を入力地震動に応じて設定した場合の建物・構築物の応答結果と比較して現行の方法の保守性を詳細設計段階で説明すること。許可段階ではその評価方針について説明すること。（第823回審査会合（2020年1月21日）） 	A	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物の2次元 F E Mモデルを用いて、表層地盤①-1のひずみ依存性を考慮した等価線形解析より得られた水平方向の入力地震動と表層地盤①-1を等価物性値とした線形解析より得られた水平方向の入力地震動（今回工認ケース）を比較し、両者の加速度応答スペクトルは主要施設の周期帯で概ね一致しており、有意な差がないことから、今回工認ケースにおいて、表層地盤の物性値を一定値とする設定方法が妥当であることを確認した。 観測記録を用いたシミュレーション解析による建物基礎直下の入力地震動と観測記録の比較から、全周期帯において、今回工認で用いている地盤モデルが保守性を有していることを確認した。 	P.10
2	<ul style="list-style-type: none"> また、代表建物の設定にあたって、当該地盤の物性値を一律に設定する場合と等価線形解析によりひずみに依存した物性値を考慮する場合とを比較する等、表層地盤の応答性状を考慮した検討内容を詳細設計段階で説明すること。（第845回審査会合（2020年3月10日）） 	A	<ul style="list-style-type: none"> 表層地盤の等価物性値の設定は、建物の規模や施設の重要性を踏まえて、代表建物を選定する。 なお、島根サイトの敷地は、東西方向の地下構造はほぼ水平成層であり、南北方向の地下構造は緩やかに北に傾斜しているが、敷地全体では大局的に見てほぼ水平な構造である。 また、地盤の物性値を一律に設定する場合と等価線形解析によりひずみに依存した物性値を考慮する場合とを比較した結果、表層地盤の物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響は軽微であることを確認した。 以上のことから、等価物性値の設定において、原子炉建物を代表することは妥当であると判断した。 	P.7,10

【1-2】建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（2/16）

No.	詳細設計送り事項	分類	回答	回答頁
3	<ul style="list-style-type: none"> 表層地盤1-②のD級岩盤に関し、地震時の非線形性が建物の入力地震動に与える影響は小さいとする判断根拠については、添付書類六で設定する解析用物性値による建屋設置位置での入力地震動との比較結果を示し、詳細設計段階で説明すること。（第845回審査会合（2020年3月10日）） 	A	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物の2次元FEMモデルのうちNS方向断面に含まれるD級岩盤の非線形性の影響について、D級岩盤のひずみ依存性を考慮した等価線形解析より得られた入力地震動とD級岩盤の非線形性を考慮していない場合の入力地震動を比較し、加速度応答スペクトルに大きな差はないことから、D級岩盤のひずみ依存特性が入力地震動評価に及ぼす影響は小さいことを確認した。 	P.11
4	<ul style="list-style-type: none"> 建物・構築物及び土木構造物について、入力地震動の解析モデルを説明する。（その他） 	A	<ul style="list-style-type: none"> 建物・構築物及び土木構造物の入力地震動の具体的な解析モデルについては、各建物・構築物及び土木構造物の地震応答計算書において説明する。 	—
5	<ul style="list-style-type: none"> 1次元波動論により入力地震動を算定している建物及び機器・配管については2次元FEMによる入力地震動に対して保守性を確保するよう詳細設計段階において評価を実施すること。許可段階ではその評価方針について説明すること。（第823回審査会合（2020年1月21日）） 入力地震動の評価に関する保守性（1次元波動論の入力地震動の保守性）の確認について、詳細設計段階での評価方針については許可段階で説明すること。（第300回ヒアリング（2020年2月19日）） 	A	<ul style="list-style-type: none"> 一次元波動論により水平方向の入力地震動を算定している建物・構築物について、Sクラスの間接支持構造物であるタービン建物及び廃棄物処理建物の2次元FEM解析による入力地震動を算定し、一次元波動論による入力地震動と比較した結果、入力地震動の加速度応答スペクトルは全周期帯にわたって概ね同等若しくは一次元波動論による入力地震動の方が保守的であり、また、建物の主要な固有周期に対して、一次元波動論による入力地震動は2次元FEM解析による入力地震動を上回っている、若しくは、概ね同等の応答を示していることから、機器・配管系への影響の観点を含めて、入力地震動の算定に一次元波動論を採用することの保守性を確認した。 	P.9

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
6	<ul style="list-style-type: none"> 2次元 F E Mモデルの上下方向のメッシュ割について、設備の耐震設計で考慮する振動数を踏まえたメッシュ割になっているか説明すること。 (第754回審査会合 (2019年8月1日)) 	A	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物を対象として、最高透過振動数 (20Hz) に対して設定したモデル (今回工認モデル) 及び最高透過振動数 (50Hz) に対して設定したモデルによる解析を実施し、入力地震動への影響を評価した結果、両モデルの加速度応答スペクトルは概ね一致していることから、今回工認モデルにおけるメッシュ分割高さの妥当性を確認した。 E W方向については、25Hz~30Hzの高振動数領域で50Hz透過モデルを用いた入力地震動の方が今回工認モデルを用いた入力地震動よりも大きいため、機器・配管系への影響検討を実施し、影響が軽微であることを確認した。 	P.12~16
7	<ul style="list-style-type: none"> 高振動数領域の応答による影響評価の対象は、弁の応答加速度のみに限定してよいか説明すること。 (第300回ヒアリング (2020年2月19日)) 	A	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管系の評価 (弁の動的機能維持評価を除く) においては、動的解析において加速度応答スペクトルを考慮する固有振動数の閾値を20Hzとして評価を実施している。20Hz以下の周期帯において、今回工認モデル及び50Hz透過モデルの応答は概ね一致しているため、機器・配管系への影響は小さい。 弁の動的機能維持評価においては、加速度評価であり、弁を支持する配管系の20Hz以上の領域の振動モードの影響を無視できないことから、20Hzを超える振動数領域まで考慮した地震応答解析により、弁駆動部の応答加速度を算定している。そのため、弁の動的機能維持評価を対象に高振動数領域の応答による影響評価を実施し、今回工認モデルにおけるメッシュ分割高さが弁の動的機能維持評価に与える影響は軽微であることを確認した。 	P.13~16

1. 概要

- 島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）では、原子炉建物等の地震応答解析における入力地震動は一次元波動論，2次元 F E M解析又は直接入力（以下「一次元波動論又は2次元 F E M解析等」という。）により評価を実施している。
- 今回の工事計画認可申請（以下「今回工認」という。）では、既工認において採用実績のある一次元波動論又は2次元 F E M解析等を採用しており、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、一次元波動論又は2次元 F E M解析等により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。
- 本資料は、解析モデルに建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等を行っていることも踏まえて、今回工認で評価を行う建物・構築物について、入力地震動の評価方針，解析モデルの設定方法及びその妥当性を示すものである。

2. 入力地震動の評価について

2. 1 入力地震動の評価方針

島根2号機の建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、図1に示す入力地震動の評価及び妥当性・保守性の確認に関する検討フローに従い評価している。島根2号機の入力地震動の評価における特徴は以下のとおりである。

<評価手法の選定>

- 評価手法の選定は、耐震クラス、埋込み状況、周辺地盤への設置状況を確認のうえ、建物・構築物ごとに選定している。（2. 2 参照）

<地盤モデル及び地盤物性値の設定>

- 表層地盤の物性値は、原子炉建物を代表建物とした検討結果に基づき設定している。
- 今回工認に用いる原子炉建物の地盤モデルは、既工認時のモデルをベースに、追加地質調査結果の反映等に基づき設定している。
- 地震動レベルに応じた表層地盤の等価物性値として基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d それぞれで平均化した値（一定値）を設定している。

<妥当性及び保守性の確認>

- 上記の島根2号機の入力地震動評価について、各種検討を実施し、妥当性及び保守性の確認を行った。
- 申し送り事項に関する検討結果を2. 3, 3. 1, 3. 2 及び3. 3で詳細に説明する。
- その他の検討を参考1 及び参考2に示す。

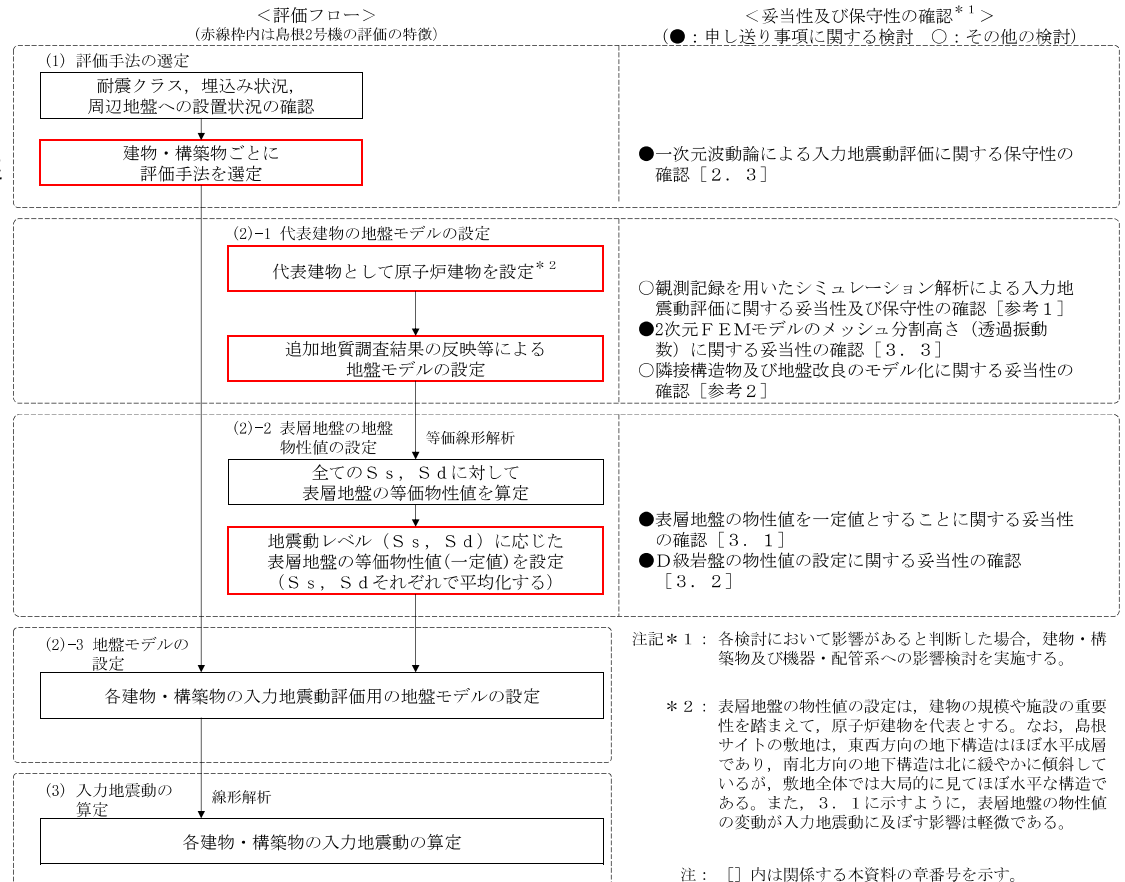


図1 入力地震動の評価及び妥当性・保守性の確認に関する検討フロー

2. 2 入力地震動の評価手法の選定

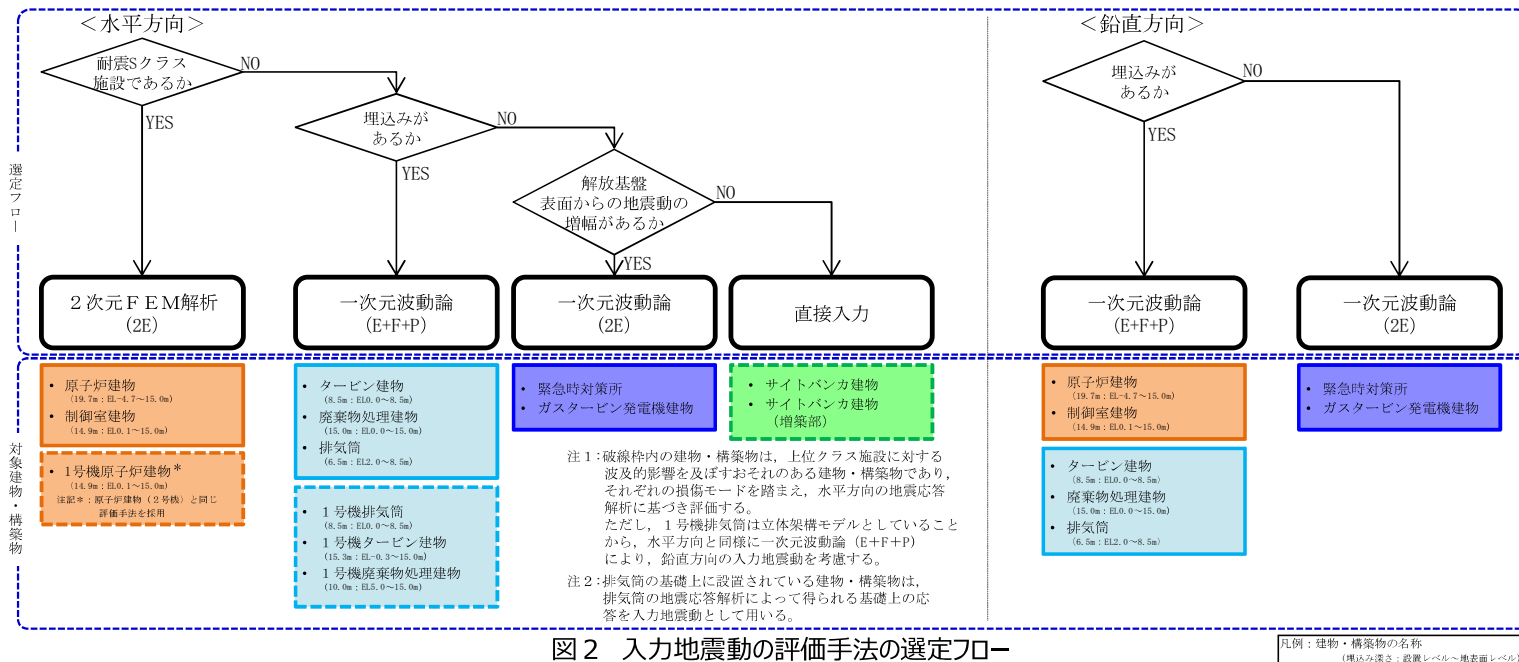
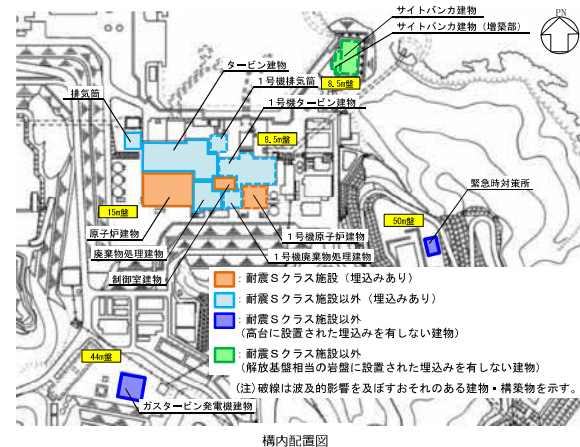
入力地震動の評価手法の選定フローを図2に示す。建物・構築物の入力地震動の評価手法は、耐震クラス、埋込み状況及び周辺地盤への設置状況を踏まえて、以下のとおり使い分けを行う。なお、埋込み及び切欠きの影響については適切に評価する。

○ 水平方向

- 「耐震Sクラス施設」の建物については、速度層の傾斜及び建物周辺の地形等の影響をより詳細にモデル化した「2次元FEM解析」を基本とする。（原子炉建物の既工認の考え方と同様）
- 「耐震Sクラス施設以外」の建物については、「一次元波動論」による評価を基本とする。（タービン建物等の既工認の考え方と同様）

○ 鉛直方向

- 入力地震動に対して建物直下地盤による影響が大きく、速度層の傾斜等の影響は小さいことから「一次元波動論」による評価を基本とする。



➤ 一次元波動論による入力地震動評価の保守性の確認を実施した結果を2. 3に示す。

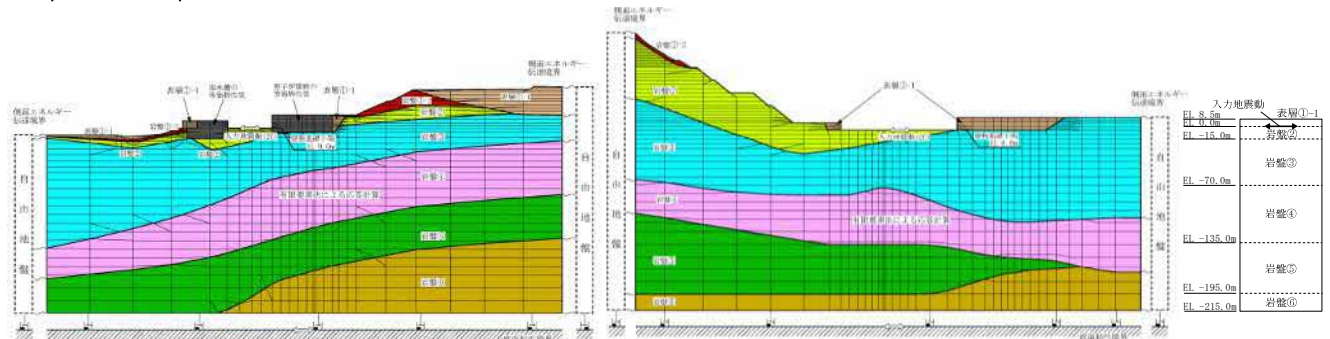
2. 3 一次元波動論による入力地震動評価に関する保守性の確認（詳細設計申送り事項No.5に対する回答）

(1) 検討概要

一次元波動論で入力地震動を算定しているタービン建物及び廃棄物処理建物について、一次元波動論による入力地震動評価の保守性を確認することを目的として、基準地震動 $S_s - D$ を対象に、2次元 FEM 解析による入力地震動を算定し、一次元波動論による入力地震動の加速度応答スペクトルとの比較を行った。なお、ここでは、タービン建物に対する検討条件及び検討結果を代表として示す。

(2) 検討条件

- 解析モデルを図3に示す。2次元 FEM モデルは原子炉建物の2次元 FEM モデルを基に、各建物位置での表層の掘削形状及び速度層境界レベルを反映することにより作成した。
- 対象建物・構築物の基礎底面が隣接する建物・構築物等の基礎底面よりも浅い位置にある場合は、隣接する建物・構築物等の剛性をより詳細にモデル化するために、隣接する建物・構築物等を等価な物性値としてモデル化した。



(a) 2次元 FEMモデル (NS方向)

(b) 2次元 FEMモデル (EW方向)

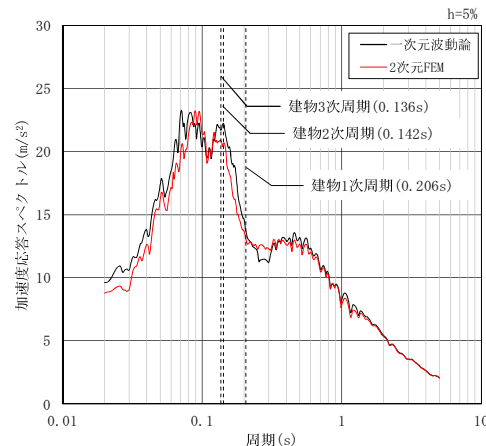
(c) 一次元波動論*

図3 解析モデル (例：タービン建物)

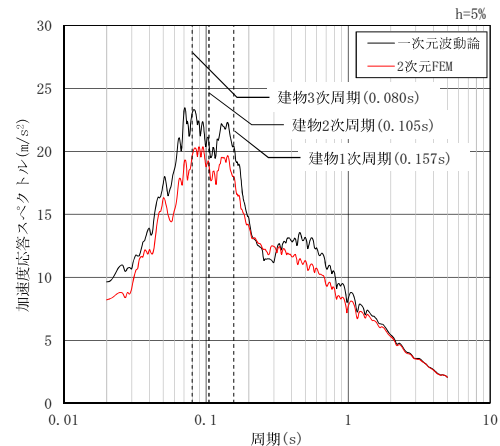
注記*：建物中央の速度層に基づきモデル化

(3) 検討結果

入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を図4に示す。建物の主要な固有周期に対して、一次元波動論による入力地震動は2次元 FEM 解析による入力地震動を上回っている、若しくは、概ね同等の応答を示していることから、機器・配管系への影響の観点を含めて、入力地震動の算定に一次元波動論を採用することの保守性を確認した。



(a) NS方向



(b) EW方向

図4 加速度応答スペクトルの比較 ($S_s - D$, 例：タービン建物)

3. 地盤モデル及び地盤物性値の設定に関する妥当性及び保守性の確認

3. 1 表層地盤の物性値を一定値とすることに関する妥当性の確認（詳細設計申送り事項No.1, 2に対する回答）

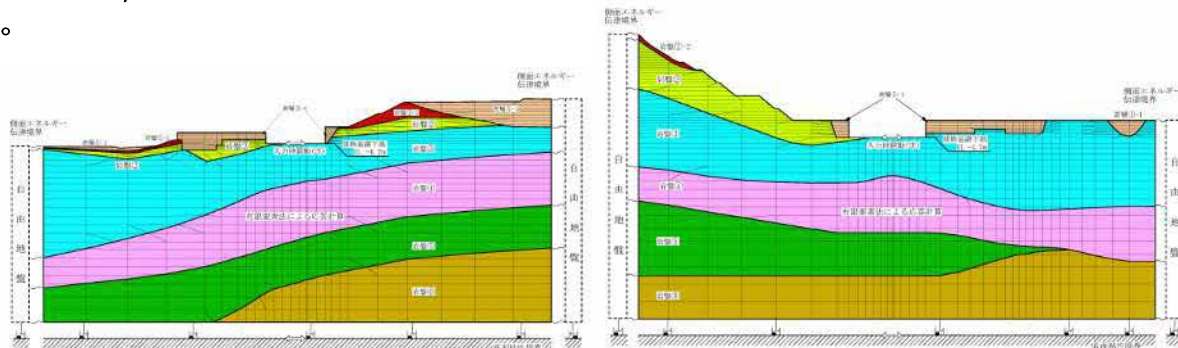
(1) 検討概要

表層地盤の物性値を地震動レベルに応じた等価物性値として基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d それぞれで一定値を設定していることの妥当性を確認することを目的として、原子炉建物を代表として、今回工認ケース（表層地盤の物性値：一定値）と等価線形解析ケースにおける入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を行った。

(2) 検討条件

解析モデルを図5に示す。また、表層地盤の物性値の設定方針を以下に示す。

- 今回工認ケースは、表層地盤の物性値を剛性低下率 $G/G_0 = 0.2(S_s), 0.3(S_d)$ 、減衰定数 $h = 8\%(S_s), 7\%(S_d)$ とした線形解析を実施した。
- 等価線形解析ケースは、表層地盤の物性値にひずみ依存特性を考慮した等価線形解析を実施した。



(a) NS方向

(b) EW方向

図5 解析モデル（原子炉建物）

(3) 検討結果

入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を図6に示す。今回工認ケースと等価線形解析による入力地震動の加速度応答スペクトルを比較すると、主要施設の周期帯（図中のグレーハッチング以外の部分）で概ね一致しており、有意な差がないことから、表層地盤の地盤物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響は小さく、表層地盤の物性値を地震動レベルに応じた等価物性値に設定することは妥当であることを確認した。なお、一部の周期帯で、等価線形解析ケースが今回工認ケースを上回る地震動があるが、参考1に示すように、今回工認で用いている地盤モデルに十分な保守性を有していることを考慮すると、本検討による影響は軽微である。

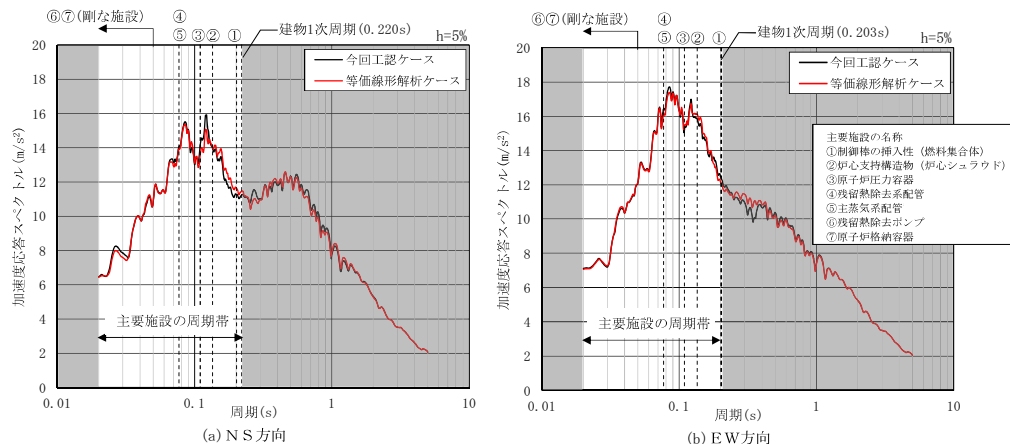


図6 加速度応答スペクトルの比較（ $S_s - D$ 、原子炉建物）

3. 2 D級岩盤の物性値の設定に関する妥当性の確認（詳細設計申送り事項No.3に対する回答）

(1) 検討概要

岩盤①-2に含まれているD級岩盤（図7参照）の物性値の設定に関する妥当性を確認することを目的として、基準地震動 $S_s - D$ を対象に、表層地盤及びD級岩盤を含む岩盤①-2を線形とした今回工認モデル（ケース1）、表層地盤のひずみ依存特性を考慮したモデル（ケース2）及び表層地盤に加えD級岩盤のひずみ依存特性を考慮したモデル（ケース3）における入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を行った。

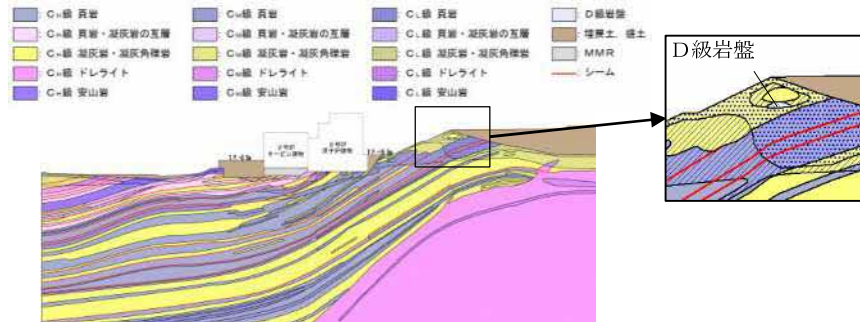


図7 岩盤分類図

(2) 検討条件

解析モデルを図8に示す。また、地盤の物性値の設定方針を以下に示す。

- ケース1は、D級岩盤を含む岩盤①-2を線形とし、表層地盤の物性値を剛性低下率 $G/G_0 = 0.2$ 、減衰定数 $h = 8\%$ とした線形解析を実施した。
- ケース2は、D級岩盤を含む岩盤①-2を線形とし、表層地盤の物性値にひずみ依存特性を考慮した等価線形解析を実施した。
- ケース3は、D級岩盤及び表層地盤の物性値にそれぞれのひずみ依存特性を考慮した等価線形解析を実施した。

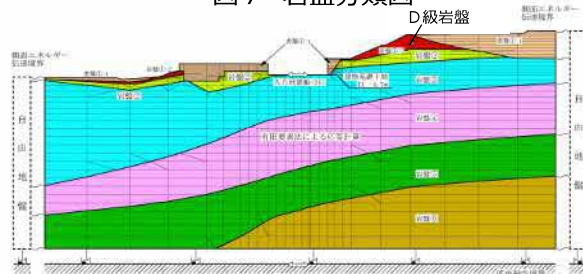


図8 解析モデル（原子炉建物）

(3) 検討結果

入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を図9に示す。全周期帯において、各ケースの加速度応答スペクトルに大きな差がないことから、D級岩盤のひずみ依存特性の考慮が入力地震動評価に及ぼす影響は小さく、D級岩盤の物性値の設定を岩盤①-2に合わせて線形とすることが妥当であることを確認した。

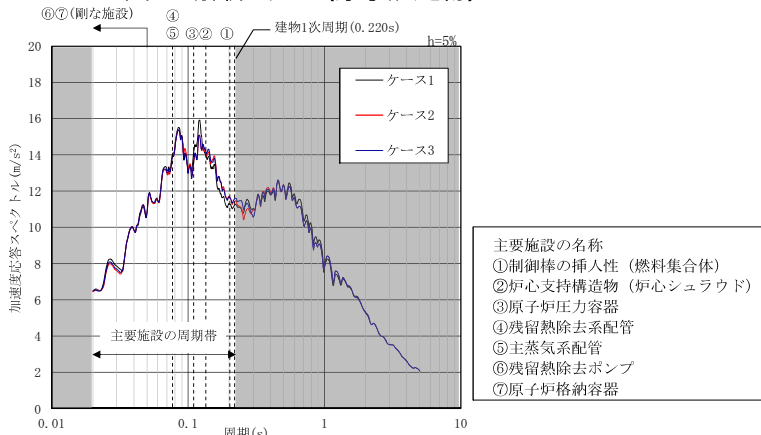


図9 加速度応答スペクトルの比較（ $S_s - D$ ，原子炉建物）

3. 3 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する妥当性の確認（詳細設計申送り事項No.6,7に対する回答）

(1) 検討概要

今回工認における2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さの妥当性を確認するために、基準地震動 S s - Dを対象に、原子炉建物を代表として、今回工認モデル（最高透過振動数を20Hzとしたモデル）と最高透過振動数を50Hzとしたモデル（以下「50Hz透過モデル」という。）における入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を行った。

(2) 検討条件

解析モデルを図10に示す。2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さHは、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（社）日本電気協会」に示された以下の基準を満足するように設定した。

$$H \leq \frac{1}{5} \frac{V_s}{f_{max}}$$

V_s : S波速度 (m/s)
 f_{max} : 最高透過振動数 (Hz)

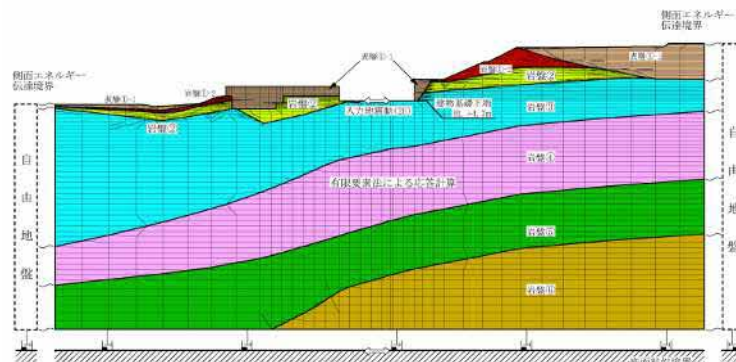
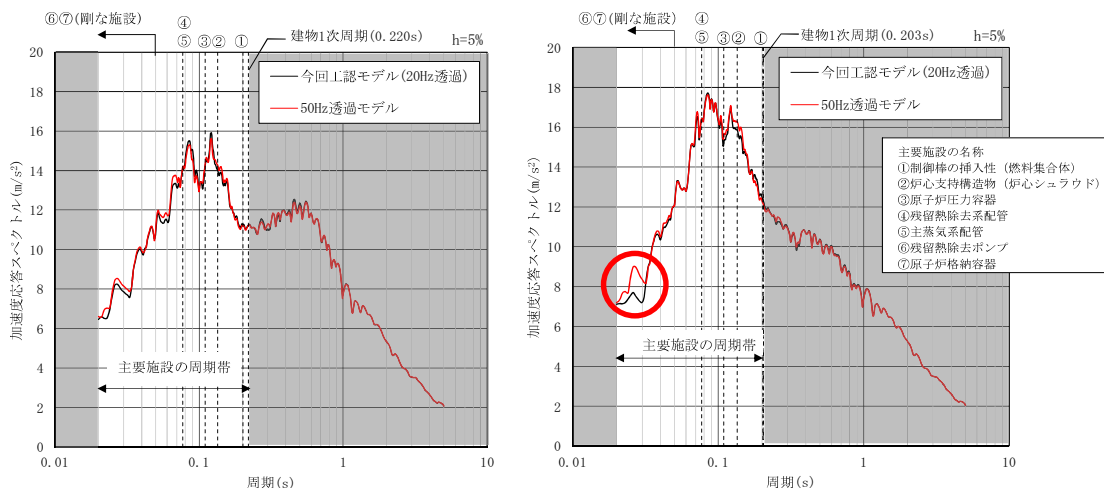


図10 解析モデル（例：50Hz透過モデル，NS方向）

(3) 検討結果

- 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を図11に示す。今回工認モデル及び50Hz透過モデルを比較すると、主要施設の周期帯において、両モデルの加速度応答スペクトルは概ね一致していることから、今回工認において、最高透過振動数が20Hzとなるようにメッシュ分割高さを設定することの妥当性を確認した。
- E W方向については、両モデルの加速度応答スペクトルは概ね一致しているが、25Hz～30Hzより高振動数領域（図中の赤丸で示した箇所）で50Hz透過モデルを用いた入力地震動の方が今回工認モデルを用いた入力地震動よりも大きいため、機器・配管系への影響検討を実施する。



(a) NS方向

(b) EW方向

図11 加速度応答スペクトルの比較（S s - D，原子炉建物）

3. 3 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する妥当性の確認（詳細設計申送り事項No.6,7に対する回答）（続き）

(4) 機器・配管系への影響評価

a. 検討概要

- 機器・配管系の評価（弁の動的機能維持評価を除く）においては、動的解析において加速度応答スペクトルを考慮する固有振動数の閾値を20Hzとして評価を実施しており、評価に適用する設計用床応答スペクトルを1-20Hzの範囲で作成している。
- 一方、弁の動的機能維持評価は、機能確認済加速度と応答加速度の比較により健全性を確認する加速度評価であり、弁を支持する配管系の20Hz以上の領域の振動モードの影響を無視できないことから、20Hzを超える振動数領域まで考慮した地震応答解析により、弁駆動部の応答加速度を算定している。
- 今回工認モデル及び50Hz透過モデルの応答を比較すると、20Hz以下の周期帯において、両モデルの加速度応答スペクトルは概ね一致している。そのため、弁の動的機能維持評価を除く機器・配管系の評価においては、50Hz透過モデルの応答を考慮しても影響は小さいといえる。
- 一方で、E W方向の25Hz～30Hzより高振動数側の領域（図中の赤丸で示した箇所）で50Hz透過モデルを用いた入力地震動の方が今回工認モデルを用いた入力地震動よりも大きいことから、高振動数領域の応答による影響が考えられる弁の動的機能維持評価に対し影響検討を実施する。



図12 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(基準地震動 S s - D, EW方向)

3. 3 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する妥当性の確認（詳細設計申送り事項No.6,7に対する回答）（続き）

(4) 機器・配管系への影響評価（続き）

b. 検討条件

- 基準地震動 $S_s - D$ における50Hz透過モデルの応答と今回工認モデルの応答の比率（応答比率）を $S_s 5$ 波の今回工認モデルの応答に乗じて影響検討用条件（50Hz透過耐震条件）を作成し、弁の動的機能維持評価に適用する条件との比率（条件比率）を算定する。算定した条件比率及び50Hz透過耐震条件を用いて影響検討を実施する。

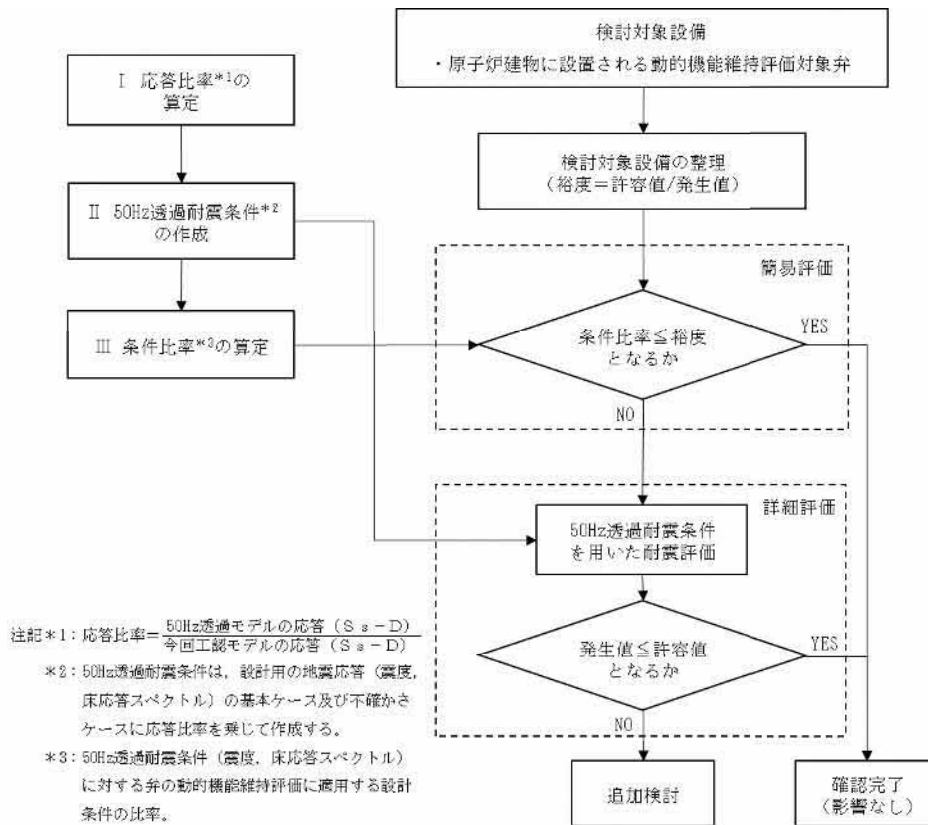


図13 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さによる影響検討フロー

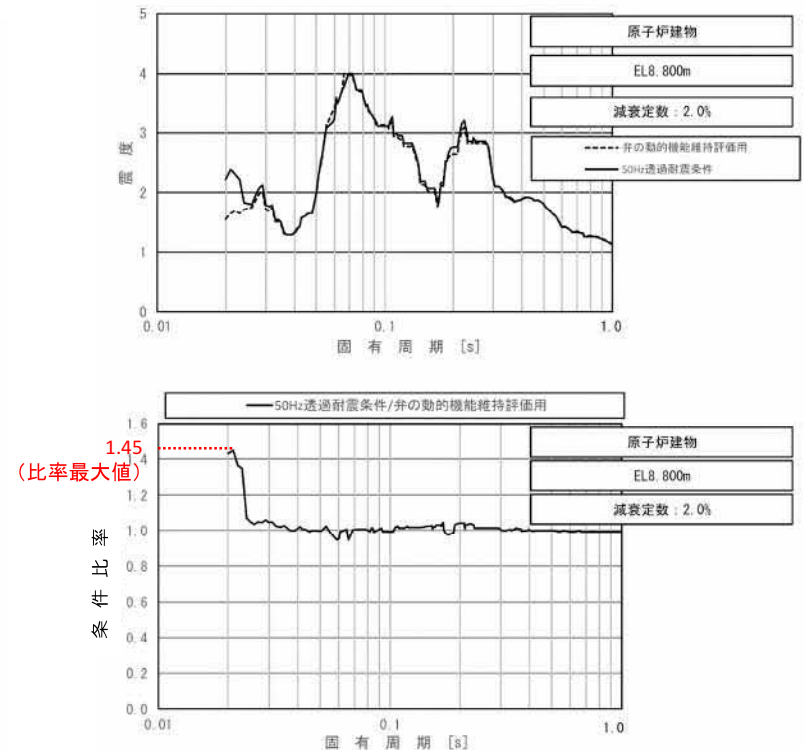


図14 弁の動的機能維持評価適用条件と50Hz透過耐震条件の床応答スペクトル及び条件比率（比率が最大となる条件）（水平方向（EW）：原子炉建物 EL.8.800m）

3. 3 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する妥当性の確認（詳細設計申送り事項No.6,7に対する回答）（続き）

(4) 機器・配管系への影響評価（続き）

c. 簡易評価結果

- 条件比率の最大値が1.45であるため、裕度1.45以下の弁（No.1～5）及び条件比率最大となる条件を適用する弁（No.6,7）について簡易評価を実施した。
- 簡易評価の結果、No.1,3 以外の動的機能維持評価対象弁については条件比率が設備の裕度（＝機能確認済加速度／機能維持評価用加速度）以下となっていることを確認した。

表 1 簡易評価結果（動的機能維持評価）

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	裕度	条件比率	簡易評価結果
1	RHR	AV222-1A	A-試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	5.92	6.0	1.01	1.06	×
2	RHR	AV222-1C	C-試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	4.90	6.0	1.22	1.06	○
3	RHR	AV222-3A	A-炉水戻り試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	5.82	6.0	1.03	1.07	×
4	LPCS	AV223-1	試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	5.52	6.0	1.08	1.08	○
5	HPCS	AV224-1	試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	4.60	6.0	1.30	1.08	○
6	RHR	MV222-7	RHR 炉水入口外側隔離弁	電動ゲート弁	水平	2.45	6.0	2.44	1.45	○
7	HPCS	MV224-1	HPCS ポンプ復水貯蔵水入口弁	電動ゲート弁	水平	1.48	6.0	4.05	1.45	○

3. 3 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する妥当性の確認（詳細設計申送り事項No.6,7に対する回答）（続き）

(4) 機器・配管系への影響評価（続き）

d. 詳細評価結果

- 簡易評価の結果，条件比率が設備の裕度を上回るNo.1,3 の弁について詳細評価を実施した。
- No.1,3の弁は，地震中に動的機能の要求がない逆止弁であることから，弁体拳動評価（地震中の開状態又は閉状態の維持）は対象外とし，詳細評価として弁の開閉作動に係わる部品の構造強度評価による健全性確認を実施した。
- 図15に示す試験可能逆止弁の評価部位のうち，J E A G 4 6 0 1 - 1991に基づく最弱部位である操作部本体取付ボルトの構造強度評価結果を表 2 に示す。構造強度評価の結果，発生応力が許容応力を下回ることを確認した。
- 簡易評価及び詳細評価の結果より，50Hz 透過モデルの応答を考慮しても動的機能維持評価対象弁の耐震性への影響がないことを確認した。

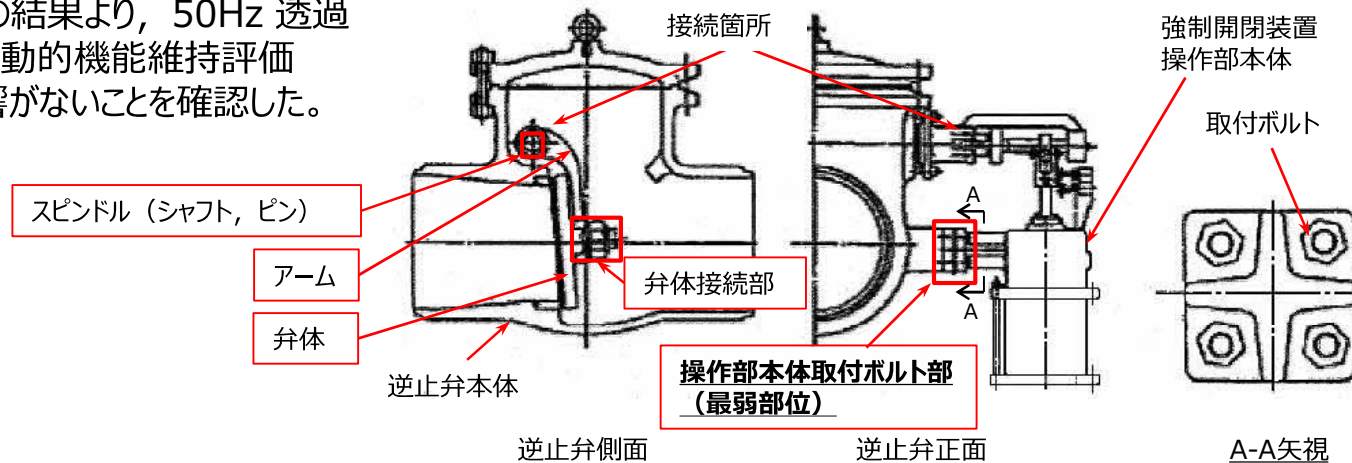


図15 試験可能逆止弁の評価部位（□：評価部位）

表 2 50Hz 透過耐震条件を用いた詳細評価結果

No.	系統	弁番号	弁名称	評価部位	応答分類	詳細評価条件			50Hz透過耐震条件を用いた評価		詳細評価結果
						建物	EL(m)	減衰定数(%)	発生値(MPa)	許容値(MPa)	
1	RHR	AV222-1A	A-試験可能逆止弁	操作部本体取付ボルト部	組合せ	ガンマ線遮蔽壁	24.000	3.0	31	886	○
3	RHR	AV222-3A	A-炉水戻り試験可能逆止弁	操作部本体取付ボルト部	組合せ	原子炉圧力容器ペDESTAL	15.944	2.5	27	886	○

【参考1】観測記録を用いたシミュレーション解析による入力地震動評価の妥当性及び保守性の確認

(1) 検討概要

入力地震動評価の妥当性及び保守性を確認するために、2000年鳥取県西部地震のEL-135mにおける鉛直アレイ観測記録を用いて評価した建物基礎直下での入力地震動と原子炉建物の基礎直下で観測された地震動の加速度応答スペクトルの比較を行った。

(2) 検討条件

図16に検討概要を示す。地震動の引き下げは、解放地盤モデルを用いて、観測記録をEL-135mに入力し、一次元波動論によりEL-215mにおける入射波を算定した。地震動の引き上げは、地盤モデル（水平方向は2次元FEMモデル、鉛直方向は1次元モデル）の底部EL-215mに地震動の引き下げにより算定した入射波を入力することで、建物の基礎直下での入力地震動を算定した。

算定した入力地震動と建物の基礎直下で観測された地震動を比較した。

(3) 検討結果

加速度応答スペクトルの比較を図17に示す。シミュレーション解析結果は、観測記録の1次ピークを捉えており、全周期帯において概ね保守的な評価となっていることから、今回工認に用いる地盤モデルは妥当であることを確認した。

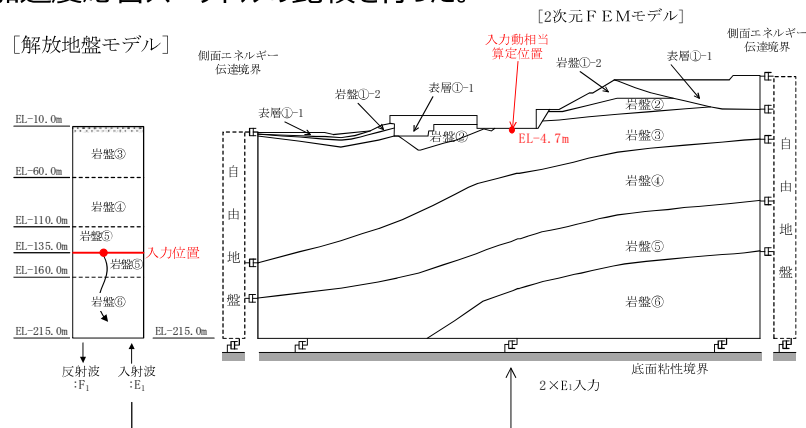


図16 検討概要（例：水平方向）

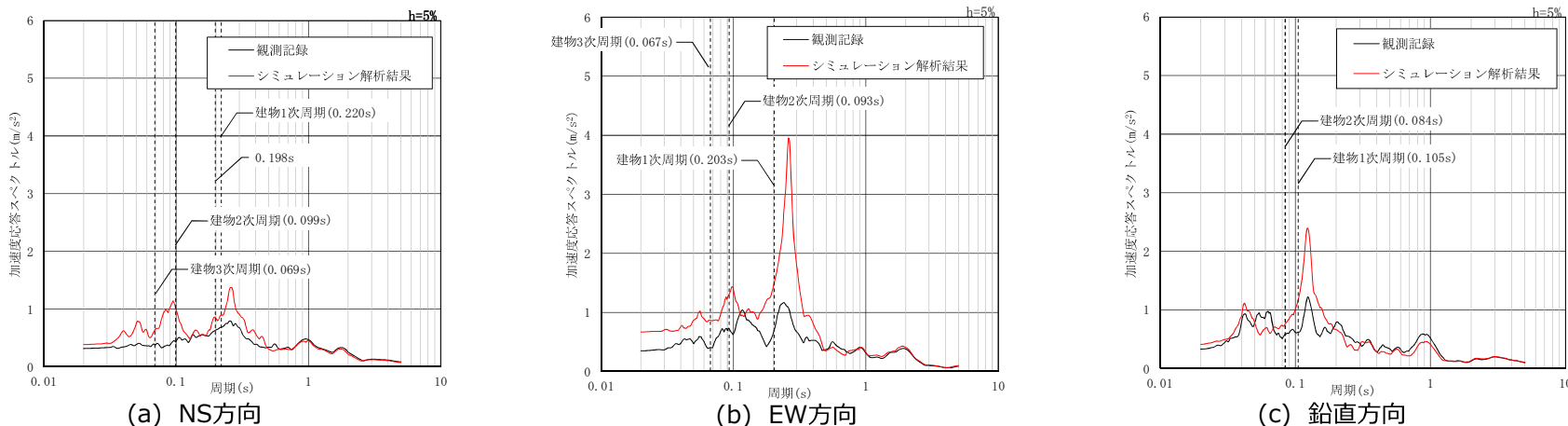


図17 加速度応答スペクトルの比較（原子炉建物の基礎直下，2000年鳥取県西部地震）

【参考2】隣接構造物及び地盤改良のモデル化に関する妥当性の確認

(1) 検討概要

入力地震動評価において対象建物・構築物の周辺地盤を埋戻土としてモデル化していることの妥当性を確認するために、基準地震動 $S_s - D$ を対象に、原子炉建物を代表として、今回工認モデル（周辺地盤を埋戻土としてモデル化）と周辺にある建物・構築物等地下部分及び改良地盤部分をより詳細にモデル化したモデル（以下「等価剛性モデル」という。）における入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を行った。

(2) 検討条件

図18に解析モデルを示す。等価剛性モデルは、今回工認モデルで埋戻土としてモデル化していたタービン建物、取水槽、廃棄物処理建物、1号機廃棄物処理建物、1号機原子炉建物及び改良地盤を等価な剛性でモデル化した。

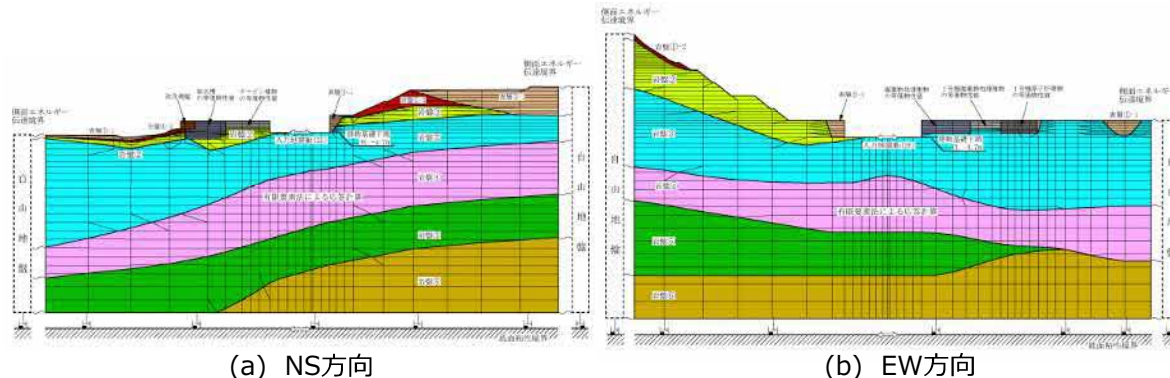


図18 解析モデル（原子炉建物）

(3) 検討結果

入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を図19に示す。主要施設の周期帯（図中のグレーハッチング以外の部分）において、等価剛性モデルの応答は今回工認モデルの応答と比較して、概ね同等以下であることから、周辺地盤等を埋戻土でモデル化することの妥当性を確認した。

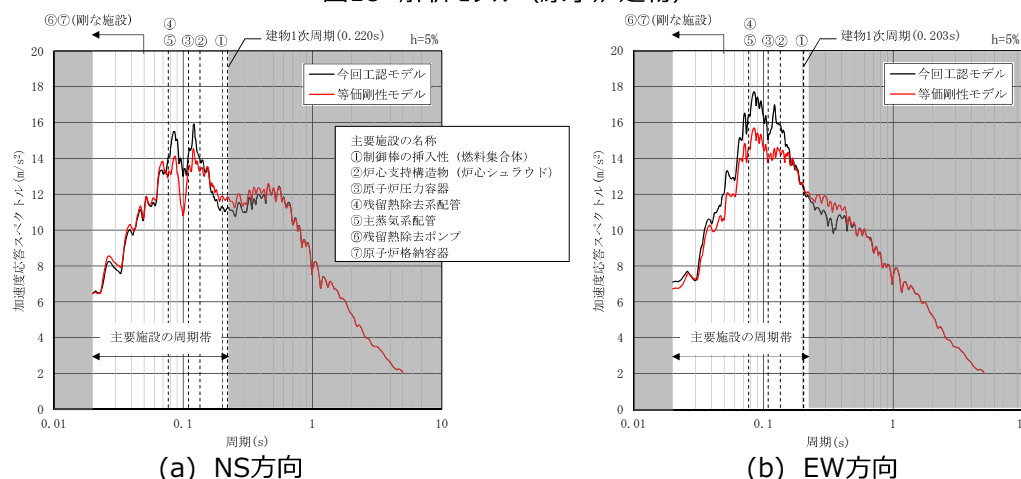


図19 加速度応答スペクトルの比較（ $S_s - D$ ，原子炉建物）

【1-5】漂流物衝突荷重の設定

【1-5】漂流物衝突荷重の設定（1/18）

【設置変更許可審査を踏まえた詳細設計段階における検討内容】

- 津波防護施設に考慮する漂流物として、荷揚場施設及び船舶を抽出し、このうち船舶（漁船）については、操業エリア及び航行の不確かさを考慮し、最も大きい質量となる漂流物として、総トン数19トンの漁船（FRP製）を選定することを設置許可審査で説明した。
- また、漂流物衝突荷重については、対象となる漂流物の初期配置及び仕様に応じて、既往の漂流物衝突荷重の算定式、又は非線形構造解析により算定することを設置許可審査で説明した。
- 詳細設計段階においては、申送り事項を踏まえ、以下の検討を実施したことから、その検討結果について説明する。
 - ・ 基準津波の特性（流向、流速）に基づき、漂流速度の設定
 - ・ 既往の衝突荷重算定式及び衝突解析の適用性
 - ・ 漂流物衝突荷重の設定
 - ・ 漂流物対策工の設置

【審査会合における指摘事項に対する回答】

■ 指摘事項（第1018回審査会合（2021年12月7日））

- 漂流物衝突荷重の評価について、検討フローの中で先行事例と何が異なるのか、どこに新規性があるのかを整理し、その項目を重点化して今後説明すること。また、塑性状態まで許容する漂流物対策工の設計方法は先行実績がないため、新たな論点として漂流物衝突荷重の評価と併せて今後説明すること。

■ 回答

- 先行事例との相違点については、直近海域における漂流物の衝突荷重算定に当たり、FRP製船舶による衝突実験とその再現解析による最新の文献を基に、衝突形態の不確かさを考慮可能である衝突解析による衝突荷重について重点的に整理した。（P.26,28,29）
- 漂流物対策工の設計方針については、浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料他で説明する。

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	漂流物衝突荷重の設定に用いる漂流速度の設定について、敷地周辺海域の流向・流速評価等の結果に応じて説明すること。 (第223回ヒアリング (2019年6月13日))	A	衝突荷重評価に用いる漂流速度は、基準津波来襲時の発電所近傍の海域における全方向最大流速を抽出し、安全側に10.0m/sを設定した。	P.22
2	津波の特性（流向，流速等），漂流物の配置位置及び対象漂流物の種類等を踏まえて，漂流物の衝突荷重算定式の適用性を評価すること。また，漁船を漂流物とした場合，漂流物衝突荷重の算定式等の適用性を検討すること。 (第686回審査会合 (2019年2月26日)) (第736回審査会合 (2019年6月27日)) (第894回審査会合 (2020年9月3日)) (第358回ヒアリング (2020年10月1日))	A	漂流物衝突荷重の算定式及び衝突解析の適用性について、漂流物の種類，仕様，初期配置等により適用性を確認した。 また，漂流物として抽出した漁船の衝突荷重の算定方法については，漁船の初期配置が前面海域の場合は「道路橋示方書(2002)」を，直近海域では「衝突解析」を採用した。	P.23～26
3	津波防護施設の設計余裕の確保として，適用する漂流物衝突荷重算定式及び設計余裕への反映方法について説明すること。また，基準適合状態の維持の確認における管理値について説明すること。 (第366回ヒアリング (2020年11月19日)) (第939回審査会合 (2021年1月28日))	A	設計余裕の確保として，操業区域及び航行の不確かさを考慮し，発電所前面海域（500m以遠）で操業する漁船（総トン数19トン）を直近海域の漂流物として評価した。 さらに，漂流物（総トン数19トン漁船）の仕様等の不確かさを踏まえ，漂流物衝突荷重に対して設計余裕を確保した。 また，基準適合状態の維持の確認方法については，個別の強度計算書において説明する。	P.23, 27～35
4	津波防護施設の構造成立性への影響が否定できない場合は，漂流物による影響の防止又は緩和について，設計又は運用等による対応方針を説明すること。 (第894回審査会合 (2020年9月3日))	A	防波壁については，漂流物による衝突荷重を軽減させるため，「漂流物対策工」を設置する。 また，「漂流物対策工」の設計方針については，浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料で説明し，照査結果については，個別の強度計算書において説明する。	P.34

1. 基準津波の特性（流向，流速）及び漂流速度の設定

- 基準津波について，発電所近傍の海域における全方向最大流速を抽出した。
- 基準津波のうち日本海東縁部に想定される地震による津波である基準津波 1，2，3，5 及び 6 について確認した結果，最大流速は9.3m/sが抽出された。
- 基準津波のうち海域活断層に想定される地震による津波である基準津波 4 及び海域活断層上昇側最大ケースについて確認した結果，最大流速は5.8m/sが抽出された。
- 設計上の配慮として，漂流物の衝突速度は10.0m/sとする。

表 1 衝突速度

波 源	防波堤有無	全方向最大流速(m/s)			衝突速度 (m/s)
		Vx	Vy	全方向流速 $\sqrt{V_x^2+V_y^2}$	
日本海東縁部 (基準津波 1)	有り	-1.9	-9.0	9.3	10.0
海域活断層 (基準津波 4)	無し	1.4	5.6	5.8	

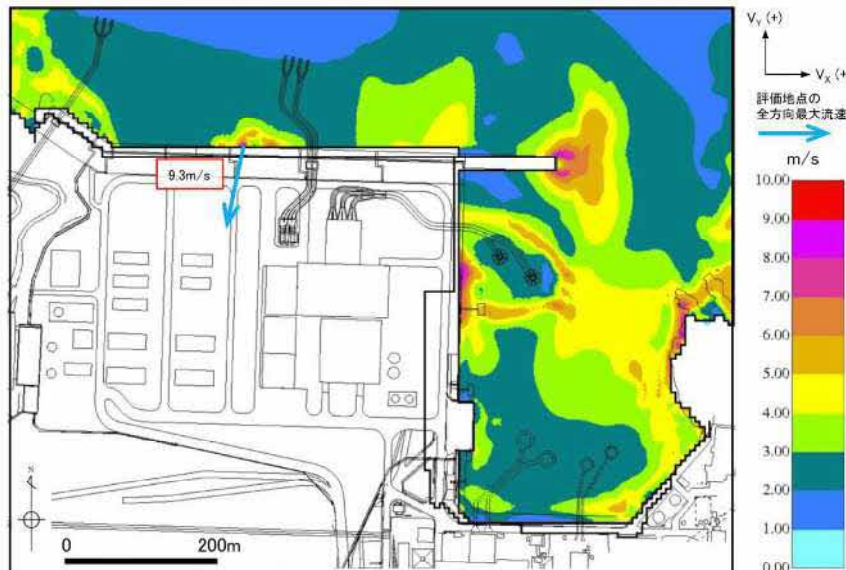


図 1 日本海東縁部（基準津波 1）の最大流速分布ケース

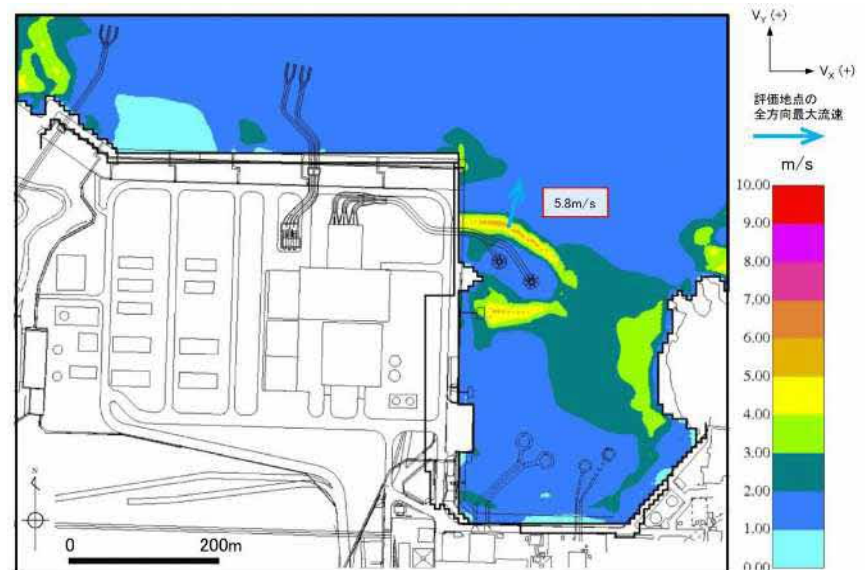


図 2 海域活断層（基準津波 4）の最大流速分布ケース

【1-5】漂流物衝突荷重の設定 (4/18)

2. 漂流物の配置, 性状及び衝突荷重として考慮する漂流物の選定

- 施設護岸から500m 以遠の海域を「前面海域」、施設護岸から約500m 以内の海域を「直近海域」として区分する。また、発電所構内陸域（荷揚場周辺）を「直近陸域」として区分する（図3）。
- 漂流（浮遊）して施設護岸又は輪谷湾に到達する可能性があると評価した漂流物及び発電所構内陸域（荷揚場周辺）で滑動する漂流物の配置場所を表2 及び図4に示す。
- なお、直近海域の漁船については、操業区域及び航行の不確かさを考慮して、発電所周辺漁港で最大の総トン数19トンの漁船を直近海域の漂流物として評価する。
- 衝突荷重として考慮する漂流物は、考慮する津波、配置場所、材質、重量等を踏まえて、直近海域及び前面海域における総トン数19トンの漁船（57t）を選定する。



図3 漂流物を考慮する範囲の区分

表2 施設護岸又は輪谷湾に到達する可能性があると評価した漂流物及び発電所構内陸域（荷揚場周辺）で滑動する漂流物

調査対象	漂流物	重量等	考慮する津波*1	到達形態	
発電所構内	海域	作業船	総トン数：約10トン	海域	浮遊
		漁船	総トン数：約0.7トン	東縁, 海域	浮遊
	陸域	荷揚場詰所 (壁材 (ALC版))	— (がれき化して漂流)	東縁	浮遊
		デリッククレーン試験用ウエイト	約22t	東縁	滑動
		変圧器・ポンプ制御盤	約0.1t	東縁	滑動
		防舷材	約1t	東縁	浮遊
		エアコン室外機	約0.2t	東縁	滑動
枕木	約12kg	東縁	浮遊		
発電所構外	海域	漁船 (500m以内 (操業))	総トン数：3トン未満	東縁, 海域	浮遊
		漁船 (500m以遠 (操業)) *2	総トン数：約19トン*3	東縁, 海域	浮遊

注記 * 1 : 「東縁」は日本海東縁部に想定される地震による津波, 「海域」は海域活断層から想定される地震による津波を表す。
 * 2 : 漂流物評価において施設護岸又は輪谷湾に到達しないと評価しているが、発電所周辺漁港の漁船であることから抽出。
 * 3 : 施設護岸から500m付近で操業するイカ釣り漁船 (総トン数：10トン) を含む。

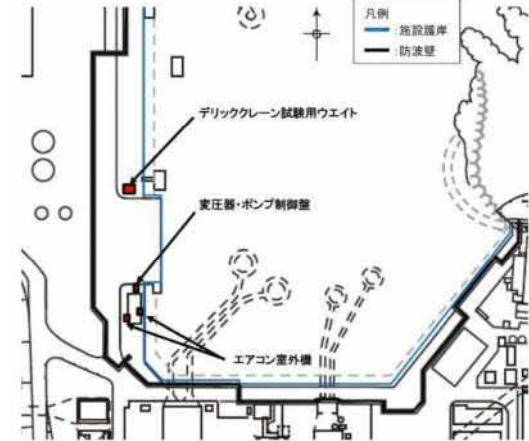


図4 直近陸域における漂流物 (滑動) の配置

【1-5】漂流物衝突荷重の設定（5/18）

3. 衝突荷重を考慮する施設・設備の選定

- 地形，津波の性状及び施設の設置標高等から，防波壁を衝突荷重を考慮する施設として抽出した。
- 漂流物衝突荷重を考慮する津波時の検討フローを図5に示す。
- 選定された漂流物の初期配置を踏まえ，漂流物衝突荷重の算定方法を選定する。
- 漂流物の衝突荷重の影響を踏まえ，津波防護施設に漂流物対策工を設置する。

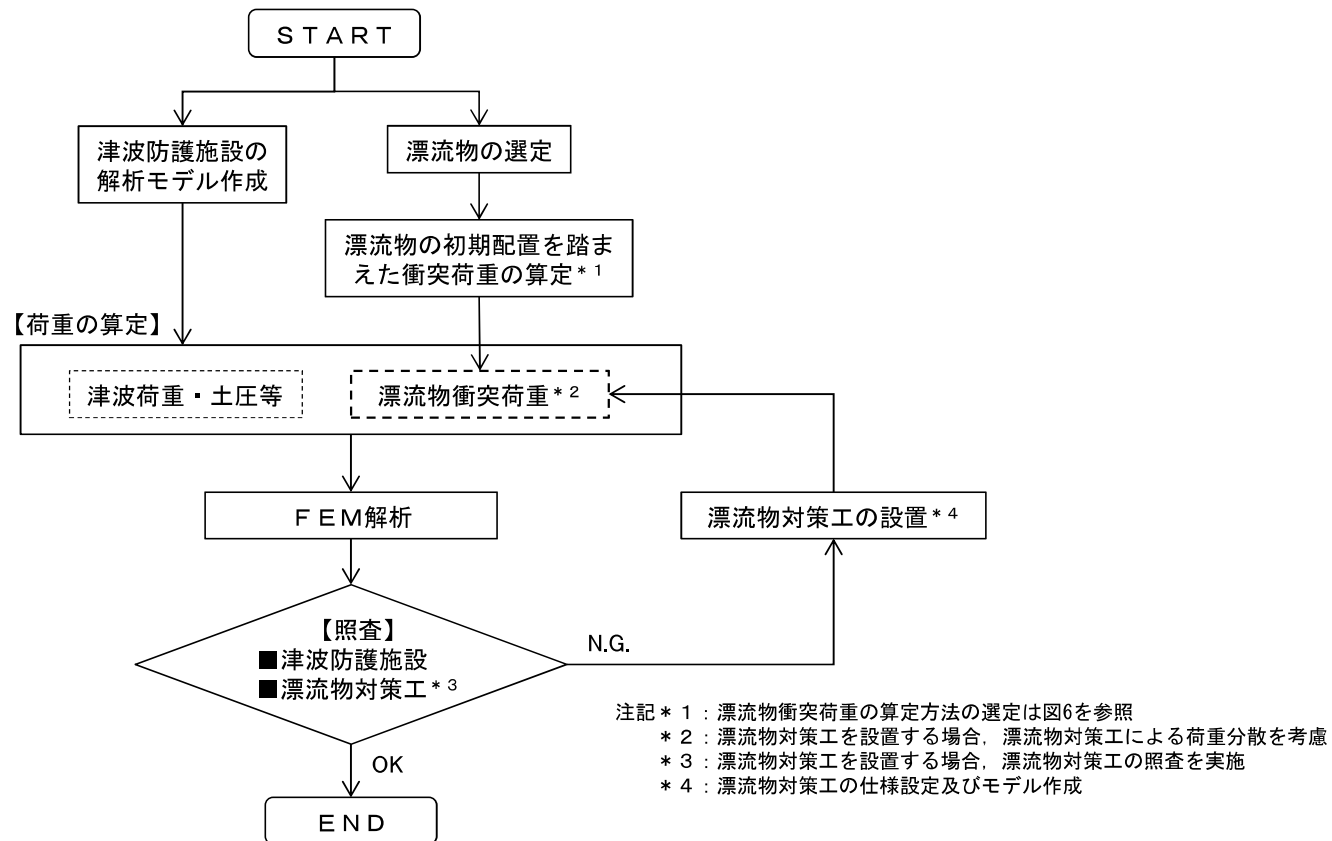


図5 漂流物衝突荷重を考慮する津波時の検討フロー

4. 既往の衝突荷重算定式の整理

- 既往の衝突荷重算定式では、対象漂流物の種類、仕様、初期配置等により適用性が異なる。
- このため、既往の衝突荷重算定式及び衝突解析に対して、漂流物の種類、漂流物の初期配置（「直近海域」、「前面海域」及び「直近陸域」）及び適用流速を踏まえ、適用性について整理した結果を表3に示す。
- このうち直近海域及び前面海域における総トン数19トンの漁船による衝突荷重の算定にあたっては、既往の衝突荷重算定式の「道路橋示方書（2002）」及び「F E M A（2012）」並びに「衝突解析」は適用可能であると判断した。

表3 漂流物による衝突荷重算定方法の整理

No	算定方法	種類	漂流物の初期配置	適用流速	適用性
①	松富(1999)	流木	直近海域 直近陸域	衝突速度	個別の流木(丸太)の種類等に応じて、実現象を再現できるパラメータを適切に設定することが可能であれば、直近陸域又は直近海域からの流木に対して適用可能と判断する。
②	池野・田中(2003)	流木	直近陸域	段波速度	流木を対象とした算定式であるが、実験の模型縮尺(1/100)を考慮すると、原子力発電所における漂流物衝突事象への適用は困難と判断する。
③	道路橋示方書(2002)	流木 FRP製船舶等	前面海域	表面流速	漂流物が流下(漂流)して来た場合に、表面流速(津波流速)を与えることで漂流流速に対する漂流物荷重を算定できる。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所等)において、適用実績があるため、初期配置が前面海域の漂流物に対して適用可能と判断する。
④	津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2014)	船舶等	前面海域 直近海域	漂流物速度	船舶、車両、流木、コンテナ等の漂流物を対象としているが、鋼管杭等の支柱の変形及びワイヤロープの伸びにより衝突エネルギーを吸収する考えであり、弾性設計においての適用は困難であると判断する。
⑤	F E M A(2012)	流木 コンテナ FRP製船舶	直近海域	最大流速	個別の漂流物に対して、実現象を再現できるパラメータ(軸剛性等)を適切に設定することが必要である。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所)において、初期配置が直近海域の総トン数5トンのFRP製船舶の船首方向衝突に対して適用実績があるため、FRP製船舶の船首方向衝突に対して適用可能と判断する。
⑥	水谷ほか(2005)	コンテナ	直近陸域	漂流速度	エプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めるといった特殊な実験により得られた式であることに留意する必要があるが、直近陸域からのコンテナに対して適用可能と判断する。
⑦	有川ほか(2007,2010)	流木 コンテナ	直近海域 直近陸域	衝突速度	剛性に係るk値を適切に定める必要があり、対象としている種類以外への適用性があるk値に係るk1及びk2の値が不明であるため、現状は当該式が対象としている種類(流木、コンテナ)以外への適用は困難と判断する。したがって、直近陸域又は直近海域からの流木及びコンテナに対して適用可能と判断する。
⑧	衝突解析	鋼製部材 FRP製船舶 木材等	直近陸域 直近海域	衝突速度	漂流物の3次元FEMモデルを適切に作成する必要がある。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所等)において、適用実績があるため、初期配置が直近海域の総トン数5トンのFRP製船舶の衝突荷重算定に用いられていることから、適用可能と判断する。

4. 既往の衝突荷重算定式の整理（続き）

- 既往の衝突荷重算定式の適用性を踏まえ、以下のとおり、漂流物衝突荷重の算定方法を採用する。
 - ✓ 前面海域を対象とした船舶においては、「道路橋示方書（2002）」を衝突荷重の算定方法として選定する。
 - ✓ 直近海域を対象とした船舶においては、被衝突物に対する船舶の衝突形態の不確かさを考慮した衝突荷重の算定が可能であること、対象漂流物である船舶の形状調査を行い再現精度が高い船舶の解析モデルを作成可能なこと、及びFRP製船舶による衝突実験とその再現解析による最新の文献（補足1）を基に衝突解析は衝突実験結果の再現性を確認できていることから、「衝突解析」を衝突荷重の算定方法として選定する。なお、「衝突解析」による衝突荷重と比較するため、「FEMA（2012）」の式による衝突荷重を参考に算定する。

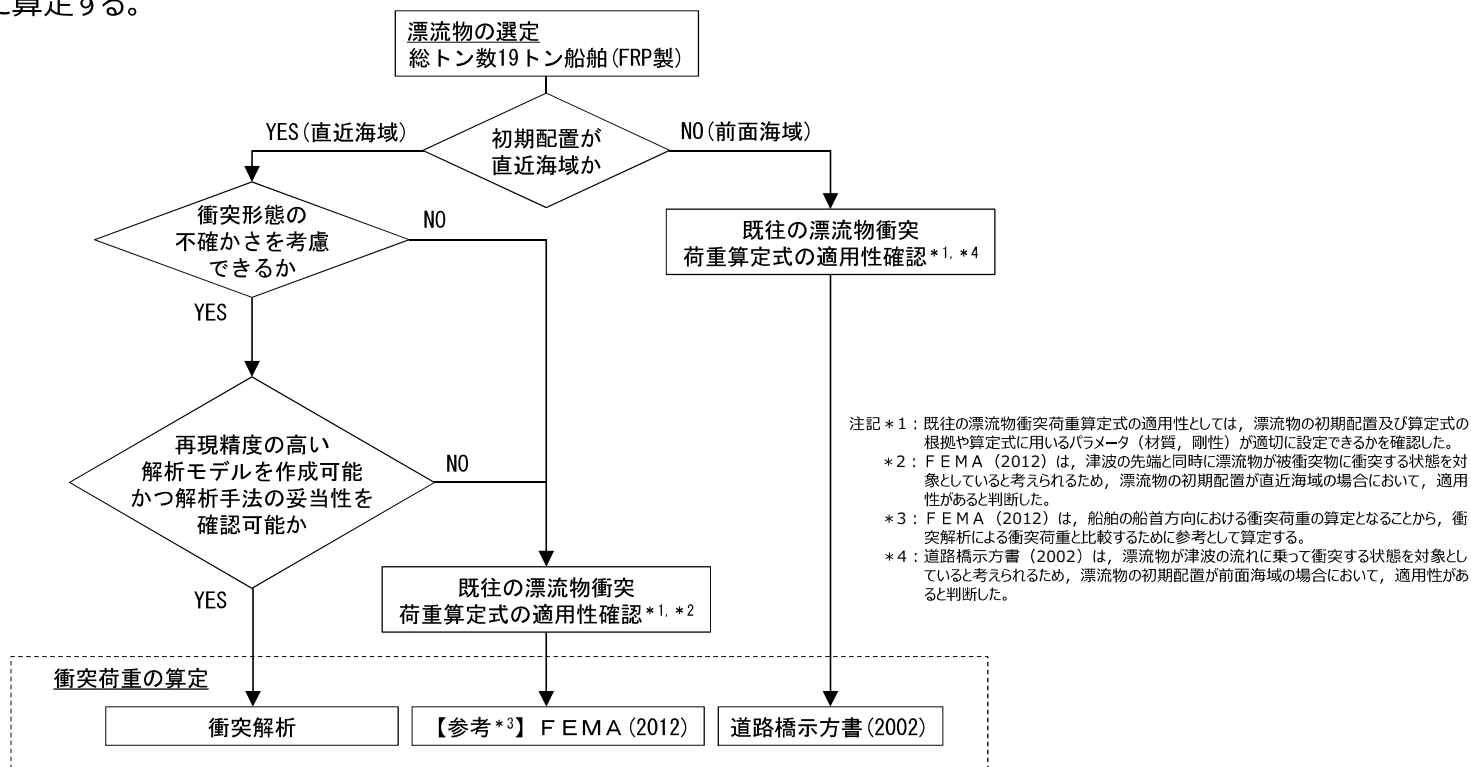


図6 漂流物による衝突荷重算定方法の整理

5. 船舶の3次元モデル化及び物性値の設定

- 衝突解析に用いる船舶の船体形状が衝突荷重に与える影響が大きいため、3Dレーザースキャナによる3次元測定(図7)等を行い、船舶を3次元FEMでモデル化(図8)した。また、船体情報に係る資料に記載がなく、かつ測定が不可能な箇所の船体寸法及び船体の板厚については、既往の文献を基に表4のとおり設定した。

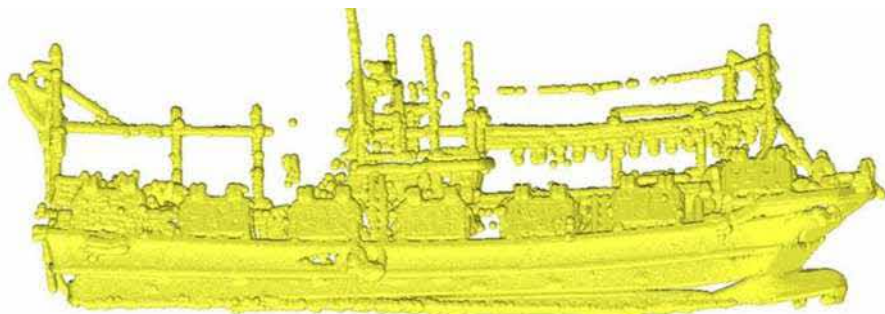


図7 3Dレーザースキャナ(船側)

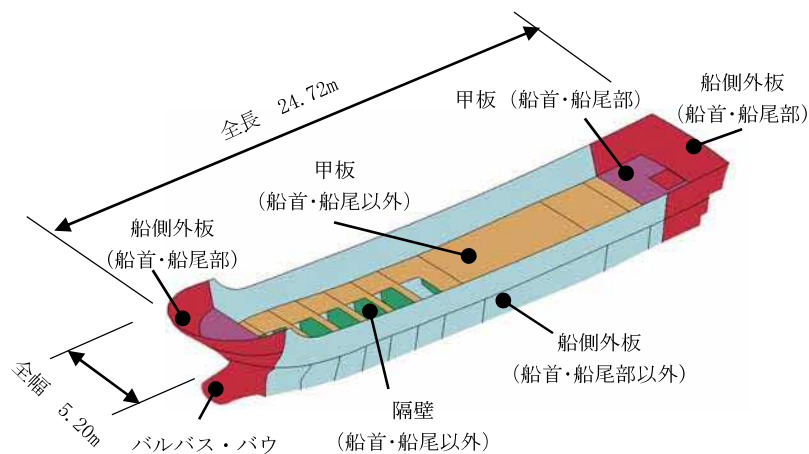


図8 対象船舶の3次元FEMモデル

表4 主要な船体構造寸法及び根拠

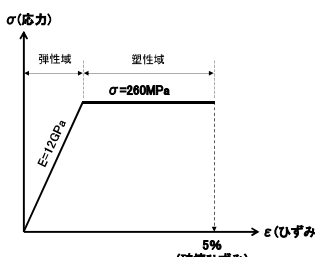
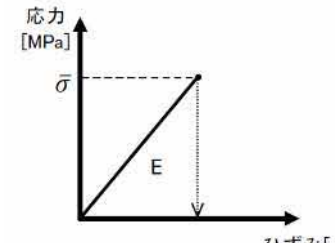
項目	引用文献等を基にした設定・算定根拠	値	
全長 (m)	対象船舶の測定結果	24.72	
全幅 (m)	対象船舶の測定結果	5.20	
計画最大満載喫水 (m)	「津波漂流物対策施設設計ガイドライン (2014)」 総トン数 (G.T.) 20トン漁船の喫水の最大値を採用	2.20	
質量 (t)	「津波漂流物対策施設設計ガイドライン (2014)」 漁船質量 = 総トン数 × 3倍 = 19 × 3 = 57.0	57.0	
板厚 (mm)	船首・船尾 船側外板 隔壁 甲板	「強化プラスチック船規則 (2018, 日本海事協会)」 【板厚算定式】 $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2} \times 0.85$ s : 肋骨の心距 = 0.5m d : 計画最大満載喫水 = 2.20m L : 登録長さ = 19.40m ・引用文献の算定値に対して、縦横肋骨のモデル簡略化の観点から板厚の割増しを行う	12.00
	船首・船尾以外	「強化プラスチック船規則 (2018, 日本海事協会)」 【板厚算定式】 $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2}$ s : 肋骨の心距 = 0.5m d : 計画最大満載喫水 = 2.20m L : 登録長さ = 19.40m ・引用文献の算定値に対して、縦横肋骨のモデル簡略化の観点から板厚の割増しを行う	14.00

【1-5】漂流物衝突荷重の設定 (9/18)

5. 船舶の3次元モデル化及び物性値の設定 (続き)

- F R P 船舶の衝突解析の実施に当たり、F R P の物性値を表5のとおり設定した。先行サイト（女川2号機）との主な解析条件を比較した結果、主な相違点は最新の文献（豊田ほか（2022））に基づき、破壊ひずみを設定していることが挙げられる。

表5 先行サイト（女川2号機）との主な解析条件の比較

項目	島根原子力発電所2号機		女川原子力発電所2号機*	
	根拠	値	根拠	値
質量	総トン数19トン×3=57.0	57.0 (t)	総トン数5トン×3=15	15 (t)
ヤング率 (曲げ弾性)	「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015）」の曲げ弾性係数	12 (GPa)	「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015）」の曲げ弾性係数	12000 (MPa)
ポアソン比	「非金属データブック プラスチック・F R P・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス [改訂2版] (1985)」のハンドレイアップ用ガラス繊維基材のG R Pとしての力学的特性値（標準）	0.358	「非金属データブック プラスチック・F R P・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス [改訂2版] (1985)」のハンドレイアップ用ガラス繊維基材のG R Pとしての力学的特性値（標準）	0.4
強度	「強化プラスチック船規則検査要領（日本海事協会，2018）」の曲げ強度	260 (MPa)	「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015）」	200 (MPa)
破壊ひずみ	「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会会誌，1978年）」、「基礎からわかるF R P（強化プラスチック協会編，2016）」及び「F R P船舶の衝突解析手法に関する研究（豊田ほか，2022）」を踏まえると最大で3%程度になると考えられるが、破壊ひずみの増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられるため、安全側に5%を採用。なお、破壊ひずみについて3%と5%とした衝突解析による感度分析を行い、破壊ひずみ5%の結果は3%の荷重に対して安全側の条件設定になることを確認した。	5 (%)	-	曲げ強度到達時に破壊する。
応力—ひずみ関係	<p>F R P はおおむね弾性材料としての破壊挙動となると考えられるが、塑性を考慮することで船体衝突荷重が増加すると考えられるため、強度到達後もひずみが増加する完全弾塑性とし、破壊ひずみに到達した後にシェル要素を削除する設定とした。</p> 		<p>「F R P成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」の応力—ひずみ曲線を基に、解析に用いる応力—ひずみ関係を下図のとおり設定した。F R Pは鋼材と異なりねばり強さがないため、応力が強度に達した後（降伏以降）ではシェル要素を削除する設定とした。</p> 	

注記*：女川原子力発電所2号機の情報に係る記載内容については、審査資料等を基に独自に解釈したものである。

【1-5】漂流物衝突荷重の設定 (10/18)

6. 船舶の衝突形態

- ▶ 船舶は長軸と短軸が明瞭ではあるが、漂流物となって来襲する際に、回転の影響を受けて複雑な挙動となる可能性があるため、船舶の平面方向における衝突形態の不確かさを踏まえて、図9のとおり衝突パターンA～Dを設定した。
- ▶ 船舶の鉛直方向における衝突形態の不確かさ(図10)は、衝突パターンB、C及びDと同様に、剛壁に対して船体が2箇所以上で衝突し、衝突荷重が分散される。衝突荷重を安全側に算定するため、船舶の鉛直断面方向については、船舶の重心位置と衝突位置が水平となるよう設定した。
- ▶ 衝突解析における解析ケースと衝突イメージを図11に示す。

衝突パターン	津波の来襲方向	船舶の衝突向き	衝突形態の特徴
A	被衝突物となる施設に対して直角方向から津波が来襲。	津波の来襲方向と同じで船首、船尾及び船側から衝突。	施設に対して船首、船尾及び船側が直角に1箇所ずつ衝突する。
B	被衝突物となる施設に対して直角方向から津波が来襲。	被衝突物となる施設に対して斜め方向で衝突。	船首(又は船尾)付近で衝突した後に、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じる。
C	被衝突物となる施設に対して斜め方向から津波が来襲。	津波の来襲方向及び船首、船尾から衝突。	船首(又は船尾)付近で衝突した後に、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じる。
D	被衝突物となる施設に対して斜め方向から津波が来襲。	津波の来襲方向と船舶の衝突方向が斜め方向から衝突。	船首(又は船尾)付近で衝突した後に、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じる。

図9 船舶の平面方向の傾きによる衝突形態

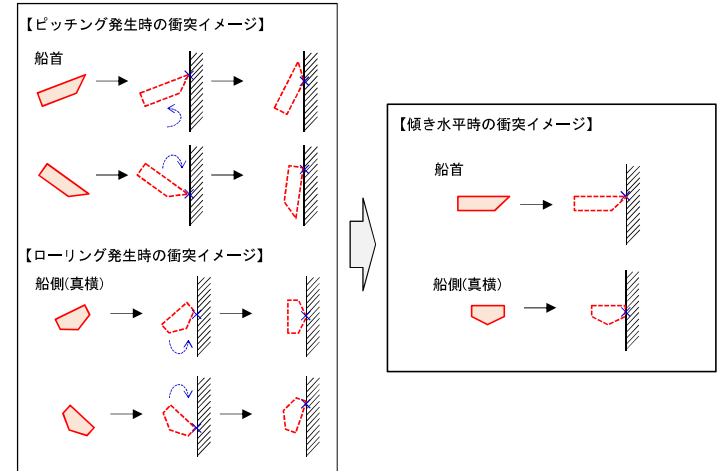


図10 鉛直断面方向の傾きに対する衝突イメージ

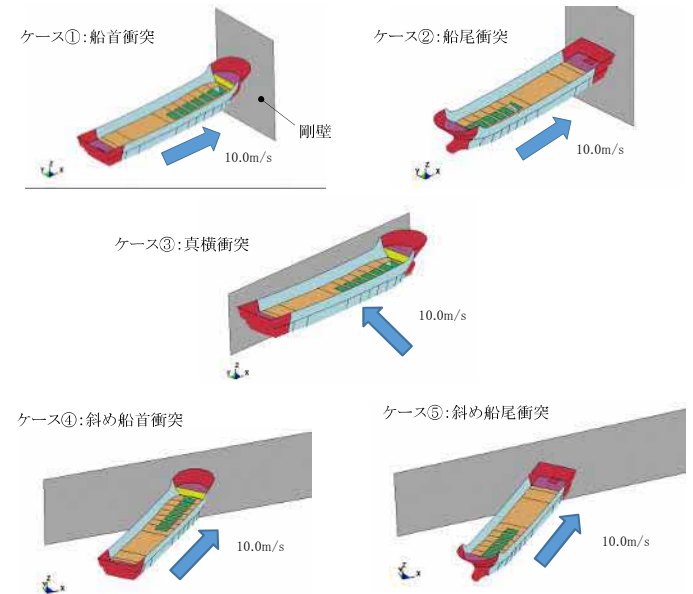


図11 衝突解析における解析ケースと衝突イメージ

【1-5】漂流物衝突荷重の設定 (11/18)

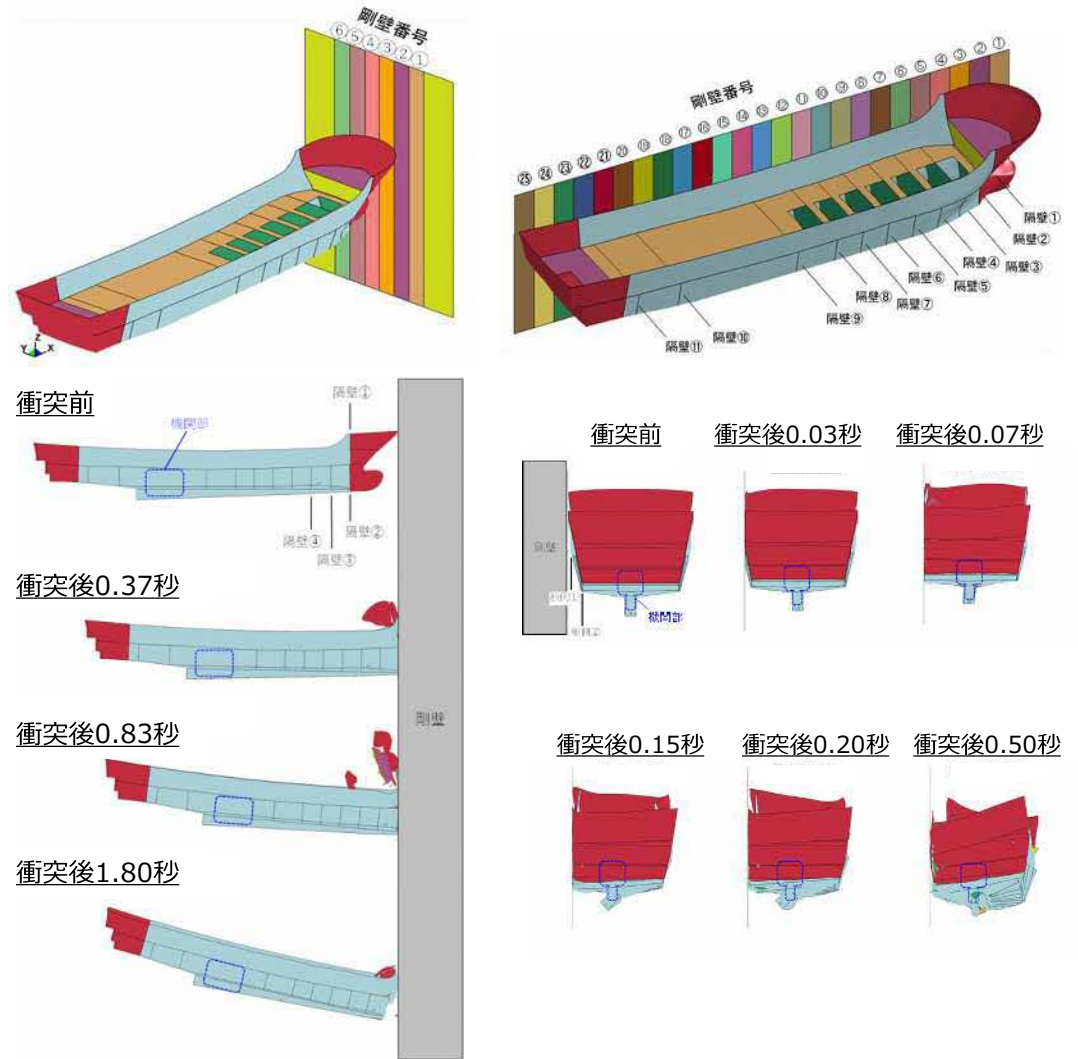
7. 漂流物衝突荷重の算定

(1) 衝突解析

- 衝突解析により、船舶の衝突状況の確認、また船舶の衝突に伴い剛壁に作用する衝突荷重を抽出した。
- 図12より、船舶が剛壁に衝突することで、船舶は衝突部位から徐々に破壊することを確認した。また、機関部（エンジン）の影響確認として、ケース①～⑤すべてのケースで機関部（エンジン）は剛壁に衝突しないことを確認した。
- 各剛壁の衝突荷重を集計した結果、真横衝突で7,395kNが最大となり、剛壁1m当たりの衝突荷重は、船首衝突で1,107kNが最大となることを確認した。

表6 衝突荷重のまとめ

ケース	衝突形態	衝突荷重の集計値【kN】	剛壁1m当たりの衝突荷重【kN】
①	船首	3,078	1,107
②	船尾	3,019	937
③	真横	7,395	736
④	斜め船首	1,073	444
⑤	斜め船尾	1,294	884



【ケース①：船首】

【ケース③：真横】

図12 船舶の衝突状況 (例：船首及び真横)

7. 漂流物衝突荷重の算定 (続き)

(1) 衝突解析

- 船舶 (総トン数19トン) の衝突解析において、各時刻における作用幅毎で集計した衝突荷重の最大値として、剛壁幅毎に作用する最大衝突荷重を図13に示す。剛壁幅に応じて衝突荷重が作用していることから、施設の延長 (荷重の作用幅) に応じて「施設全体に作用する衝突荷重」を考慮する。
- 施設評価において、「施設全体に作用する衝突荷重」は平均衝突荷重の等分布荷重として表現するが、図14に示すとおり、衝突解析において平均衝突荷重を上回る局所的な荷重 (1 m当たりの荷重) が生じていることから、施設の局所的な損傷を評価する観点から、施設の延長に関わらず、「局所的な衝突荷重」を考慮する。

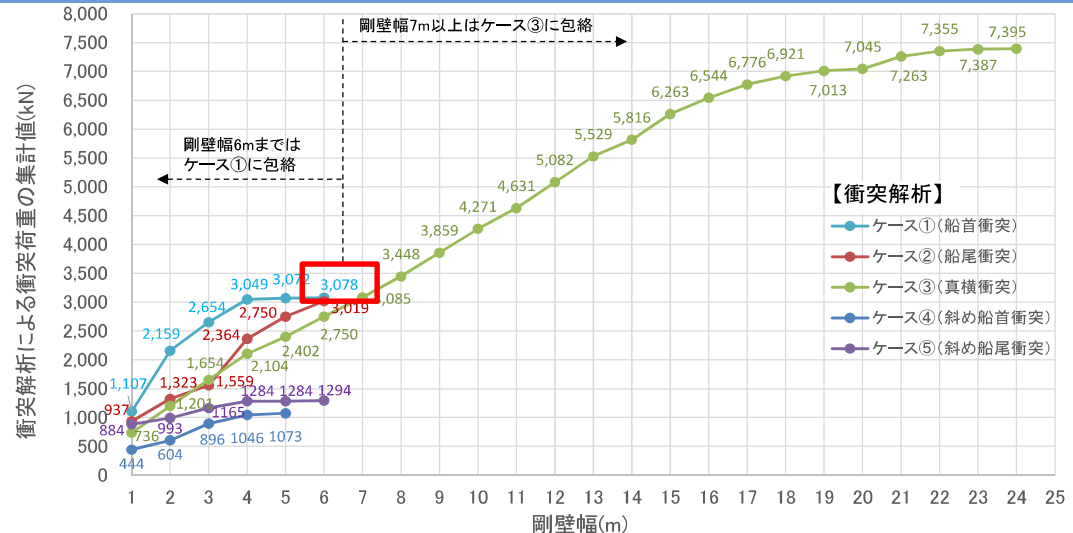


図13 剛壁幅毎に作用する最大衝突荷重

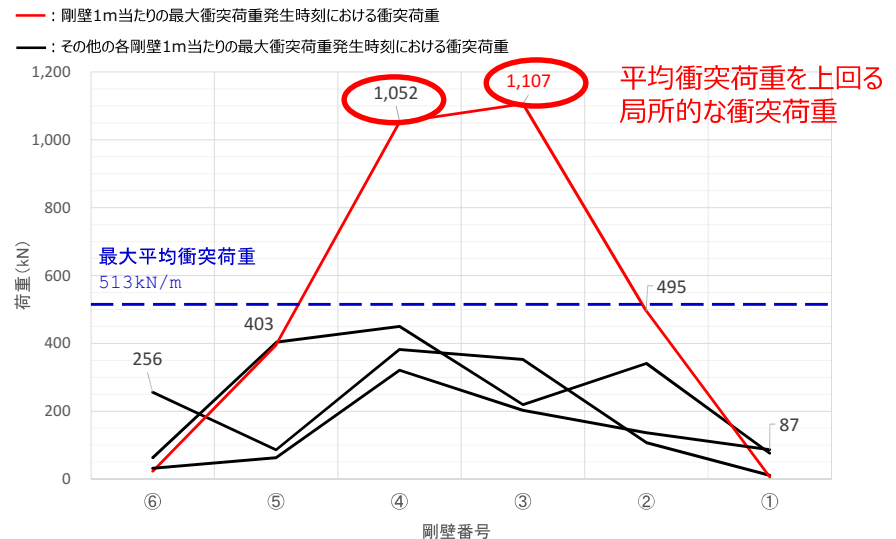


図14 局所的な衝突荷重 (図13 船首衝突3,078kN発生時)

【1-5】漂流物衝突荷重の設定（13/18）

7. 漂流物衝突荷重の算定（続き）

（2）道路橋示方書

- 漂流物の初期配置が前面海域の場合の衝突荷重は、既往の衝突荷重の算定式である「道路橋示方書（2002）」により算定する。本算定式による衝突荷重は、船舶の総重量を基に算定することから、船舶全体の衝突荷重である「施設全体に作用する衝突荷重」に相当すると考える。

【道路橋示方書(2002)算定式】

$$P = 0.1 W v = 559 \text{ (kN)}$$

ここに,

- P : 漂流物衝突荷重
- W : 漂流物の重量 (= 559kN)
- v : 漂流物の衝突速度 (= 10.0m/s)

（参考1）F E M A（2012）

- 船首方向の軸剛性を設定することで、「F E M A（2012）」により船首から衝突する場合の衝突荷重を算定する。本算定式による衝突荷重は、船舶の総重量を基に算定することから、船舶全体の衝突荷重である「施設全体に作用する衝突荷重」に相当すると考える。

【FEMA(2012)算定式】

$$F_i = 1.3 u_{\max} \sqrt{k_c m (1 + c)} = 1,815 \text{ (kN)}$$

ここに,

- F_i : 漂流物衝突荷重
- U_{\max} : 漂流物の衝突速度 (= 10.0m/s)
- k_c : 漂流物の有効軸剛性 (= $1.71 \times 10^5 \text{N/m}$)
- m : 漂流物の質量 (= 57,000kgf)
- c : 付加質量係数 (= 1)

7. 漂流物衝突荷重の算定（続き）

（参考2）機関部衝突による影響確認

- F R P 製船舶の衝突解析において、船体の破壊は機関部まで到達せず、機関部が剛壁に衝突しないことを確認している。
- そこで機関部衝突の影響を確認する目的として、F R P の材料特性を変更し、船体破壊の進行が早くなる以下のケースについて追加検討した。
 - ・ 塑性域を考慮しない（破壊ひずみ変更ケース）
 - ・ 曲げ強度を小さくする（曲げ強度変更ケース）
- 衝突解析の結果、両ケースとも機関部は剛壁に衝突しない（図15）が、剛壁に最も接近した「真横衝突」について機関部が衝突するものとして仮定し、その影響を確認した。
- 機関部が最も接近する際の速度から既往の衝突荷重算定式を用いて機関部の衝突荷重を算出した。また、同時刻における船体の衝突荷重を算出し、機関部の衝突荷重と合算した（表7）。
- その結果、機関部が衝突すると仮定して算出した衝突荷重は、「7.（1）衝突解析」による衝突荷重1,107kNに包絡されることを確認した。

破壊ひずみ変更ケース

ケース③ 真横衝突（衝突しない：剛壁に最も接近する時刻0.40秒）

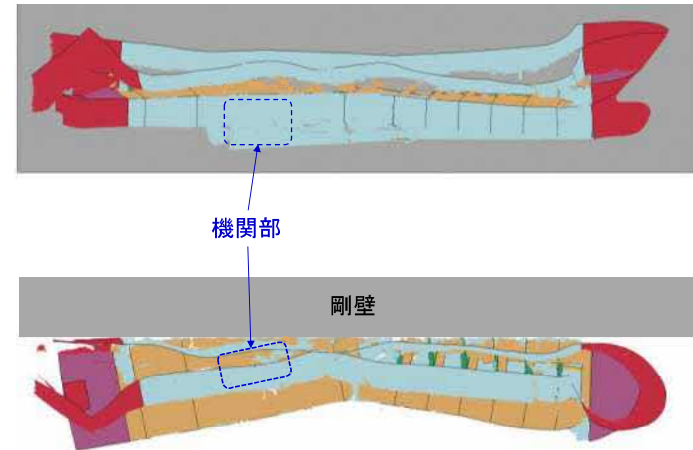


図15 F R P 製船舶の機関部における衝突影響確認結果

表7 F R P 製船舶の機関部における衝突影響確認結果

算定対象	算定方法	剛壁1m当たりの衝突荷重【kN】		
		機関部衝突の影響確認*		7.（1） 衝突解析
		破壊ひずみ 変更ケース	曲げ強度 変更ケース	
機関部	F E M A (2012)	389	195	-
船 体	衝突解析	56	64	1,107
機関部と船体の 衝突荷重の合計		445	259	1,107

注記*：機関部の設置範囲の最小幅が約1,200mmであることから、安全側に剛壁1m当たりの船体の衝突荷重と機関部の衝突荷重を合算する。

8. 設計用衝突荷重の設定

- 漂流物衝突荷重として、漂流物の衝突形態や施設の特徴に応じて「施設全体に作用する衝突荷重」又は「局所的な衝突荷重」を設定し、図16のとおり衝突荷重を載荷する。
- 「施設全体に作用する衝突荷重」は、「衝突解析」、「道路橋示方書（2002）」及び「F E M A（2012）」から算定される荷重を比較した結果、「衝突解析」により算定される衝突荷重が最も大きくなることから、「衝突解析」より算定される荷重を踏まえ、設計用衝突荷重を設定する。
- 「施設全体に作用する衝突荷重」にて考慮する衝突荷重として、評価対象構造物の延長に応じた作用幅より設計用衝突荷重（表8）を設定する。
- 「局所的な衝突荷重」にて考慮する衝突荷重として、設計用衝突荷重である1,200kNを設定する。
- 漂流物の衝突荷重の影響を踏まえ、鉄筋コンクリートにより構成された漂流物対策工を設置し、鉄筋コンクリート版の厚さに応じて衝突荷重の分散を考慮して施設評価を行う（図17）。

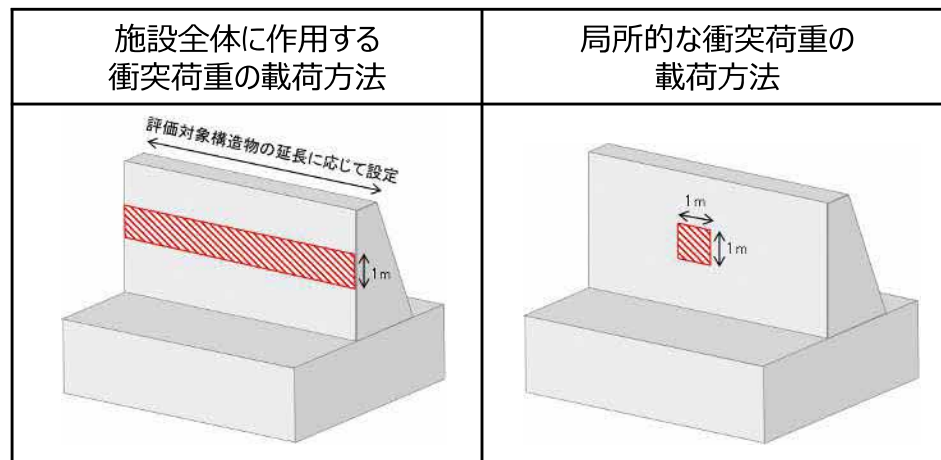


図16 衝突荷重の載荷方法（例）

表8 評価対象構造物に対する設計用衝突荷重

評価対象構造物の延長	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
衝突解析から算定される衝突荷重	kN	1,107	2,159	2,654	3,049	3,072	3,078	3,085	3,448	3,859	4,271	4,631	5,082
衝突解析から算定される衝突荷重を評価対象構造物の延長で除した値	kN/m	1,107	1,080	885	762	614	513	441	431	429	427	421	424
設計用平均衝突荷重 (設計用平均衝突荷重×評価対象構造物の延長)	kN/m (kN)	1,200 (1,200)	1,100 (2,200)	890 (2,670)	770 (3,080)	620 (3,100)	520 (3,120)	450 (3,150)	440 (3,520)	430 (3,870)	430 (4,300)	430 (4,730)	430 (5,160)

評価対象構造物の延長	m	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
衝突解析から算定される衝突荷重	kN	5,529	5,816	6,263	6,544	6,776	6,921	7,013	7,045	7,263	7,355	7,387	7,395
衝突解析から算定される衝突荷重を評価対象構造物の延長で除した値	kN/m	425	415	418	409	399	385	369	352	346	334	321	308
設計用平均衝突荷重 (設計用平均衝突荷重×評価対象構造物の延長)	kN/m (kN)	430 (5,590)	420 (5,880)	420 (6,300)	410 (6,560)	400 (6,800)	390 (7,020)	370 (7,030)	360 (7,200)	350 (7,350)	340 (7,480)	330 (7,590)	310 (7,440)

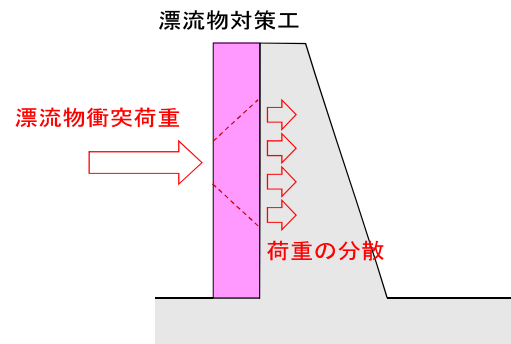


図17 漂流物対策工における衝突荷重の分散

8. 設計用衝突荷重の設定 (続き)

➤ 船舶 (総トン数19トン) における設計用衝突荷重のまとめを図18に示す。

-----▶ : 参考検討, 影響検討

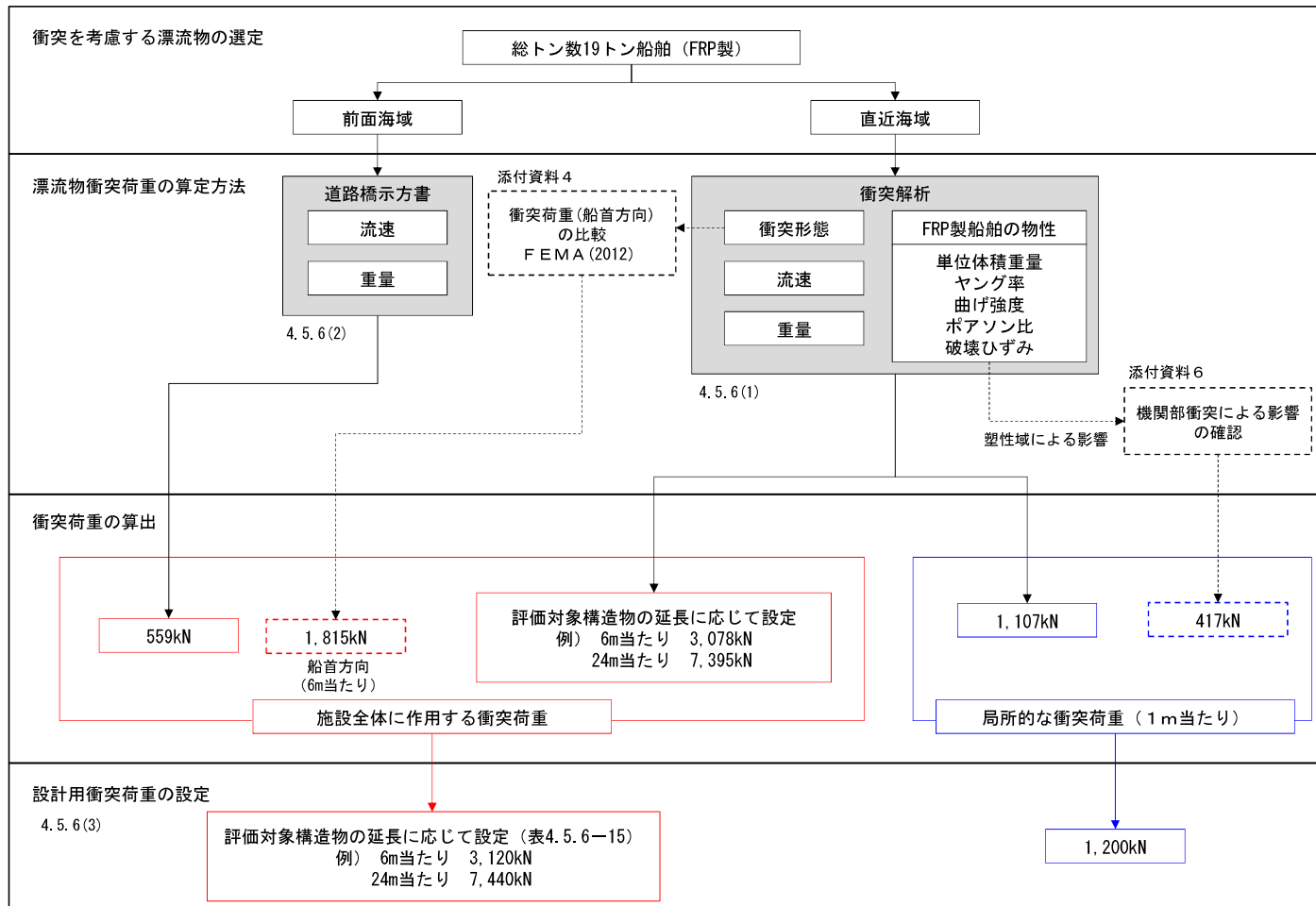


図18 船舶 (総トン数19トン) における設計用衝突荷重のまとめ

【1-5】漂流物衝突荷重の設定 (17/18)

補足1 FRP船舶に係る衝突解析条件の妥当性

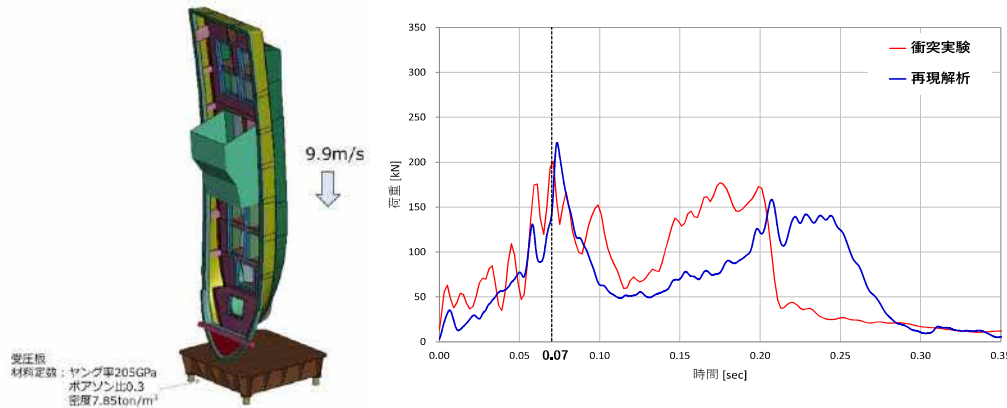
- 衝突解析による衝突荷重の推定方法について、「豊田ほか (2022)」の落下衝突実験等を用いて、その妥当性を確認する。

1. 落下衝突実験及び3次元非線形構造解析による再現解析

- 「豊田ほか (2022)」では、総トン数2トンのFRP製小型船舶(実験船)について落下衝突実験を行い、船体の破壊挙動と衝突荷重を把握されている。衝突実験の衝突条件を参考表1に、衝突実験状況を参考図1に示す。
- また、実験船を測量して3次元FEMモデル(参考図2)を作成して衝突解析(再現解析)を行い、衝突実験による衝突荷重の時刻歴と再現解析による衝突荷重の時刻歴を重ねた図を参考図3に示す。
- 再現解析は衝突実験の衝突現象は再現できているとされており、また再現解析の衝突荷重のほうが衝突実験により安全側に計算されていることを確認されている。
- 以上より、FRP船舶の衝突現象を3次元非線形構造解析によって推定できる手法を構築したとされている。

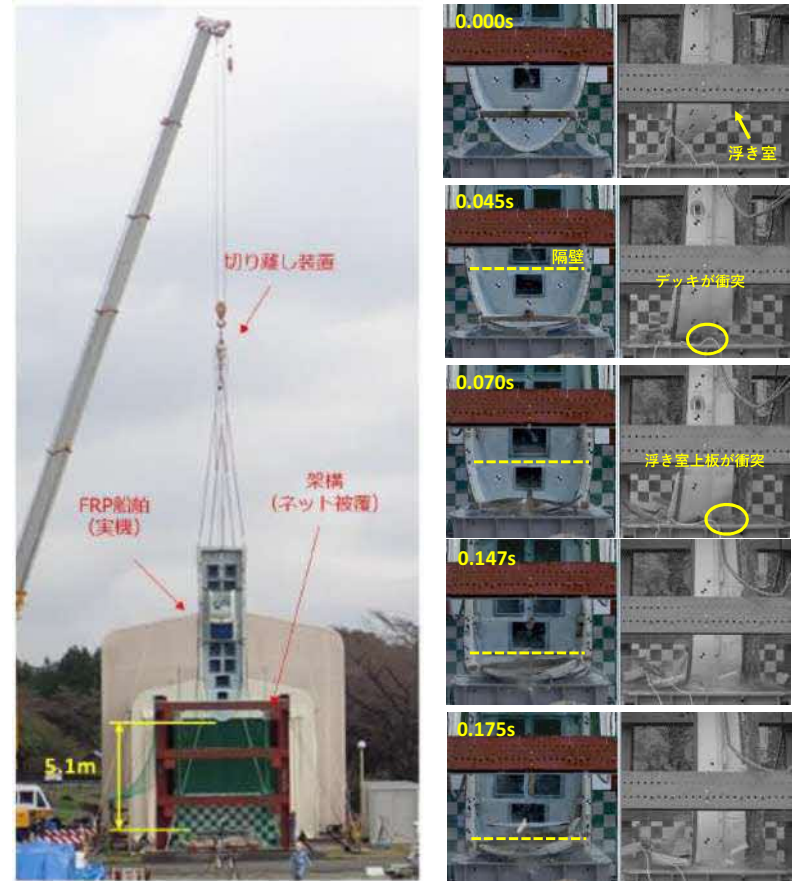
参考表1 衝突条件

衝突速度[m/s]	9.9 (実測：衝突直前)
衝突方向	船首衝突
衝突状態	自由落下
被衝突物	受圧板 (鋼製：2,500mm×2,500mm)



参考図2 衝突モデル
「豊田ほか (2022)」

参考図3 「豊田ほか (2022)」による
衝突荷重時刻歴



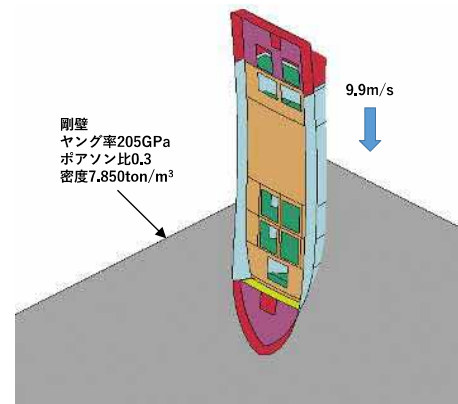
参考図1 衝突実験状況

【1-5】漂流物衝突荷重の設定（18/18）

補足1 FRP船舶に係る衝突解析条件の妥当性（続き）

2. 島根原子力発電所における解析条件の妥当性確認

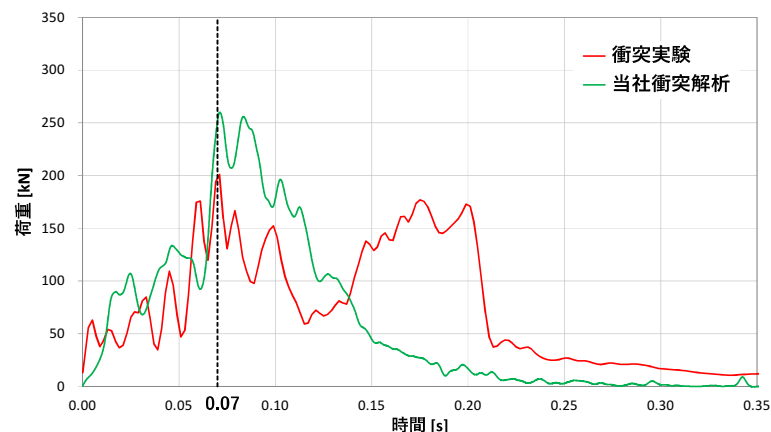
- 当社で実施した総トン数19トンのFRP製船舶の衝突解析における解析条件の妥当性を確認することを目的に、「豊田ほか（2022）」の実験船を模擬した総トン数2トンのFRP製船舶における衝突解析（以下「当社衝突解析」という。）の結果と「豊田ほか（2022）」の衝突実験結果を比較検討することにより、解析条件の妥当性を確認する。
- 当社で衝突解析（総トン数2トン）の船体外形は「豊田ほか（2022）」を、船体板厚は「強化プラスチック船規則（2018，日本海事協会）」を基に設定した。それ以外の材料特性については、総トン数19トン船舶で設定した値とした。
- 衝突モデルを参考図4に、衝突実験の衝突荷重時刻歴と当社衝突解析の衝突荷重時刻歴を参考図5に示す。
- 当社衝突解析による最大衝突荷重は、衝突実験による最大衝突荷重を上回っており、発生時刻は衝突実験による最大衝突荷重の発生時刻とおおむね一致していることを確認した。



参考図4 衝突モデル（当社衝突解析）

3. まとめ

- FRP製小型船舶（総トン数2トン）について船首からの落下衝突実験を行った「豊田ほか（2022）」を確認し、船体の破壊挙動と衝突荷重を把握した。また、衝突実験の再現解析を実施し、衝突実験の衝突荷重を推定できる手法が構築されていることを確認した。
- 同文献の実験船を模擬した当社衝突解析の結果と同文献の衝突実験結果を比較することにより、解析手法の妥当性を確認できた。
- 以上より、FRP製小型船舶による衝突荷重について3次元非線形構造解析により推定することは可能であり、当社解析モデルを用いた解析手法及び解析条件は妥当であると判断した。



参考図5 衝突実験及び当社衝突解析の衝突荷重時刻歴

【1-8】設計地下水位の設定

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	設計地下水位の設定について、安全裕度の考え方を説明すること。 (第329回ヒアリング（2020年6月2日）)	B	設計地下水位の設定における安全裕度については、浸透流解析（再現解析）により、観測値と解析値を比較することにより妥当性を確認したモデルにより、 ①降雨条件に保守性を持たせた予測解析により設定する。 ②原子炉建物等の建物・構築物については、地下水位低下設備の効果を期待する条件での予測解析結果より、設計地下水位を高く設定し、建設時の揚圧力を考慮する。 ③屋外重要土木構造物等については、地下水位低下設備の効果を期待しない条件での予測解析結果より、耐震評価の解析モデル範囲のうち最も高い水位に裕度を考慮して、高く設定する。	P.40～46
2	地下水位観測孔における地下水位の経時変化を踏まえた非定常解析の検討結果及び位置付けを説明すること。 (第850回審査会合（2020年3月17日）) (第329回ヒアリング（2020年6月2日）)	B	設工認段階において、安全対策工事の実施状況を踏まえ、降雨の浸透範囲を見直した条件で非定常解析を実施した結果、降雨に対する感度が向上し、地下水位の経時変化に対する再現性には地表面の浸透による影響が大きいことを確認した。 島根原子力発電所の設計地下水位の設定は、降雨条件に保守性を持たせた定常解析による予測解析で設定するため、非定常解析の結果は「参考」として位置付ける。	P.47,48

1. 安全裕度の考え方 (詳細設計申送り事項No. 1 に対する回答)

(1) 設置変更許可審査を踏まえた、設工認段階における設計揚圧力及び設計地下水位の設定方針

- 防波壁の設置及び地盤改良を実施したことにより山から海に向かう地下水の流れが遮断され敷地内の地下水位が上昇するおそれがあること及び地下水位低下設備 (既設) の保守管理性が低いことを踏まえ、建設時から地下水位低下設備を設置していた原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持するため、信頼性 (耐久性・耐震性・保守管理性) を満足する地下水位低下設備を新設する。
- 耐震評価において、地下水位の影響を受ける施設のうち、建設時から地下水位低下設備を設置していた原子炉建物等の建物・構築物については、地下水位低下設備 (新設) を設置し、建物基礎スラブ底面レベル以深に地下水位を維持する。また、屋外重要土木構築物等においては、自然水位*より保守的に高く設定した水位又は地表面に設計地下水位を設定する。

注記* : 自然水位とは、地下水位低下設備等の人為的な措置の影響が含まれない地下水位を指す。浸透流解析結果により地下水位を設定する際には、地下水位低下設備の機能を考慮しない。

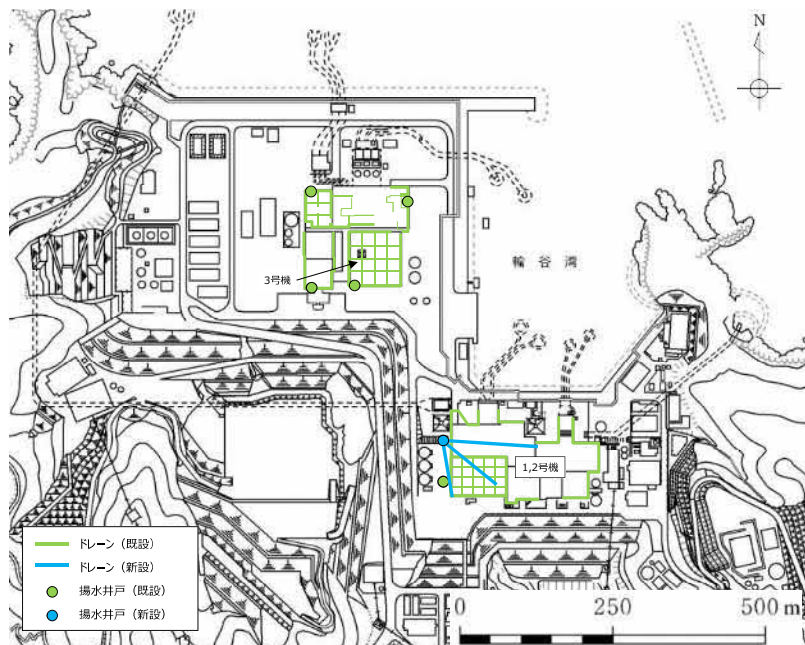


図1 地下水位低下設備の配置図

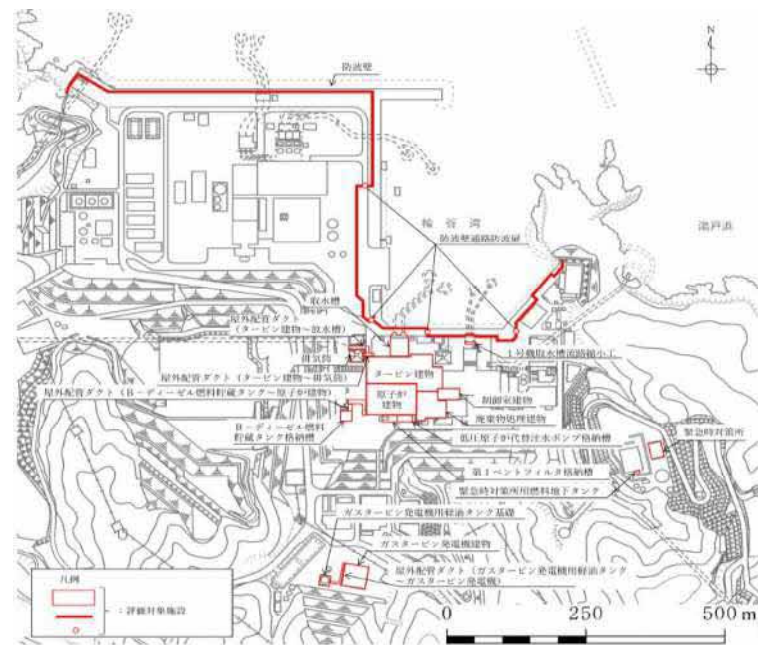


図2 屋外の評価対象施設の配置図

【1-8】設計地下水位の設定 (3/10)

1. 安全裕度の考え方 (詳細設計申送り事項No.1 に対する回答) (続き)

設計揚圧力及び設計地下水位の設定方針を踏まえ、目的に応じて地下水位低下設備 (既設, 新設) の機能の考慮の有無を整理したうえで、以下のフローに基づき実施した浸透流解析のアウトプットを基に、設計揚圧力及び設計地下水位を設定する。

・目的：耐震設計に用いる設計揚圧力及び設計地下水位を保守的に高く設定することを目的とする。

・モデル化の方針：・3次元モデルにて地下水流動場を再現

・解析モデルの妥当性を確認する再現解析を実施した上で、将来的な施設配置を考慮した予測解析を実施

・解析水位及び解析流量の保守性の確保

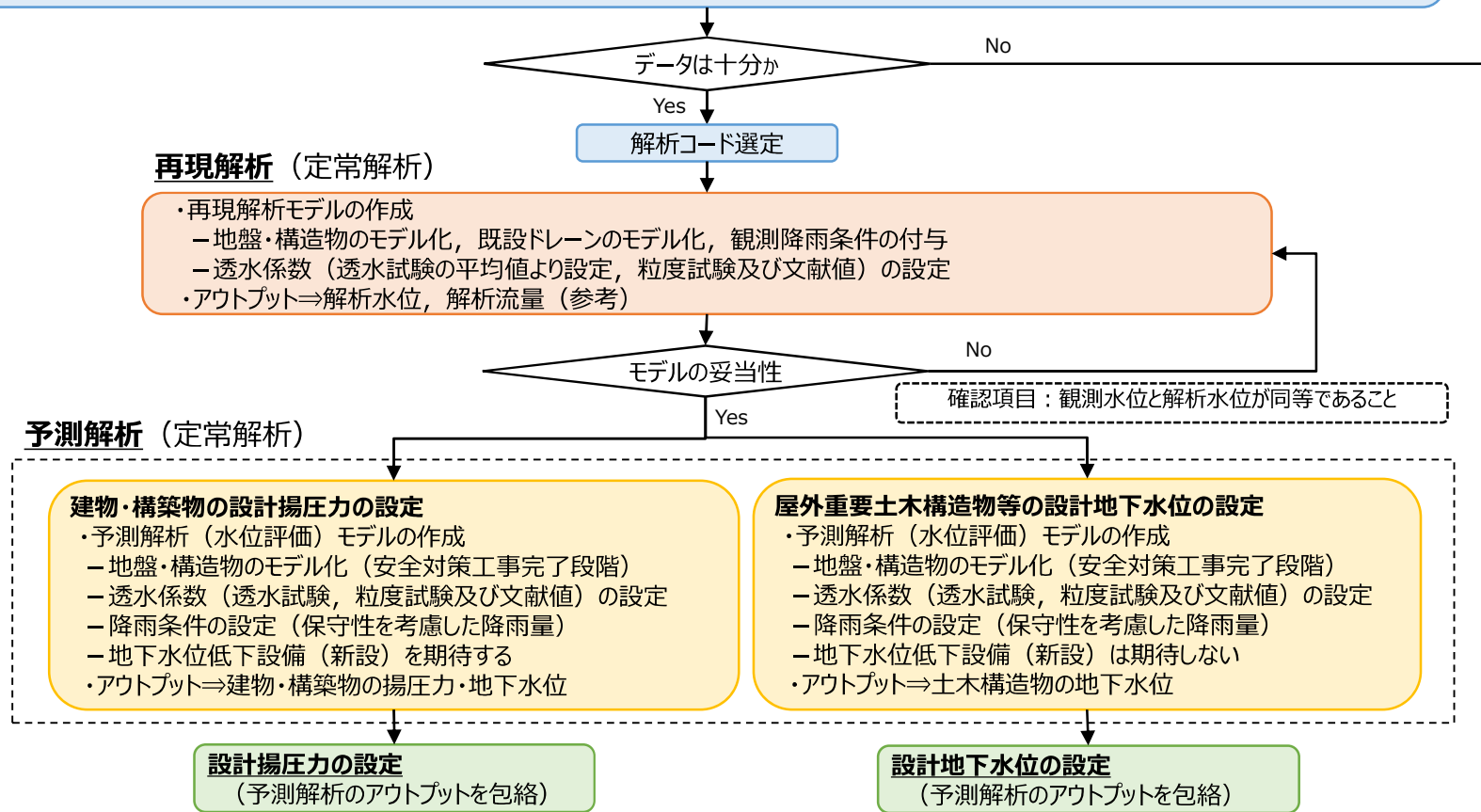


図3 設計揚圧力及び設計地下水位の設定フロー

1. 安全裕度の考え方 (詳細設計申送り事項No.1 に対する回答) (続き)

(2) 再現解析 (定常解析) の結果及び解析モデルの妥当性

- 再現解析モデルは、検証期間に対応した地盤及び構造物の配置を反映し、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき物性値を設定した。この再現解析モデルに観測降雨を付与した定常解析結果から、再現解析モデルの妥当性を確認した。
- 再現解析モデルの妥当性は、検証期間中の地下水位観測孔における平均観測水位と解析水位を比較した。この結果、地下水位の解析水位は観測水位と概ね一致するか上回っていることから、設計揚圧力及び設計地下水位の設定に用いる解析モデルの妥当性を確認した。

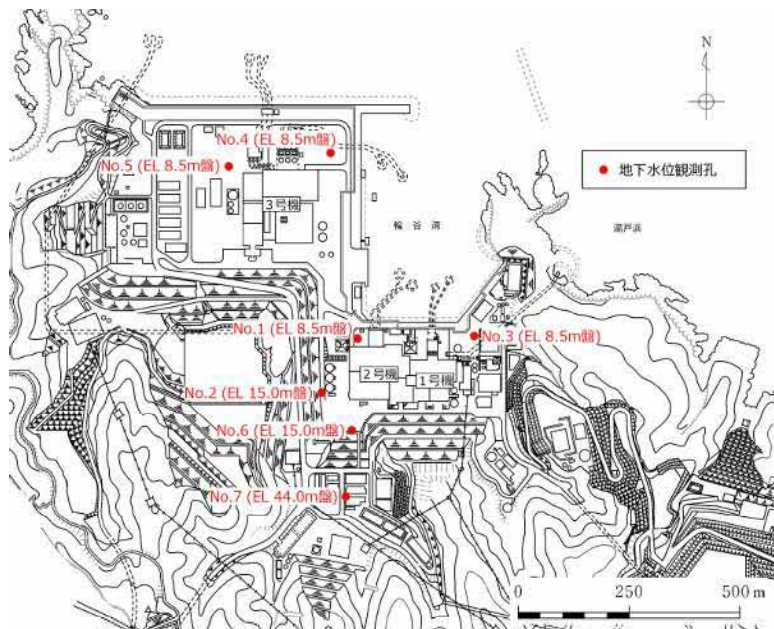


図4 地下水位観測孔位置図

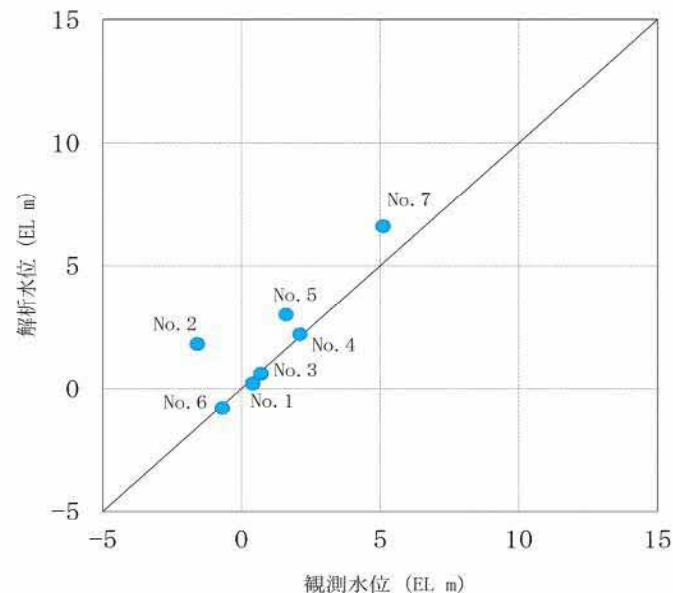


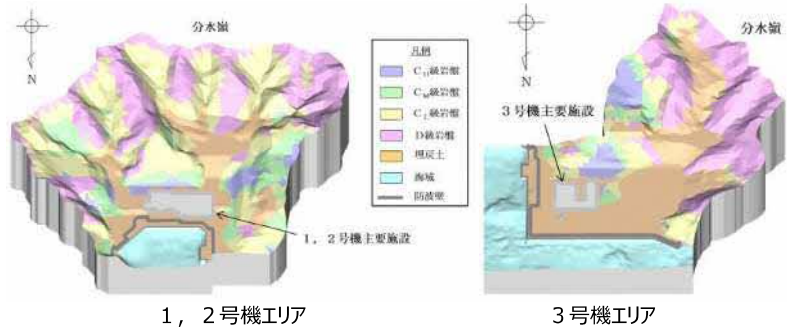
図5 観測水位と解析水位の比較

1. 安全裕度の考え方 (詳細設計申送り事項No. 1 に対する回答) (続き)

表1 予測解析 (水位評価) モデルの概要

(3) 予測解析 (定常解析) の条件設定

- 予測解析における降雨条件の設定については、揚圧力、地下水位いずれも保守的に高く算出されるよう、松江地方気象台における過去78年間 (1941~2018年) の年間降水量の平均値 (1,880mm/年) を算出し、ばらつきを考慮した値 (平均値 + 1σ) に今後の気候変動予測による降水量の変化を加味し、2,400mm/年を設定する。 (安全裕度①)
- 集水機能に寄与するドレーンのモデル化について、原子炉建物等の建物・構築物に対する予測解析ではドレーン (新設) を管路として考慮する。また、屋外重要土木構造物等に対する予測解析ではドレーン (新設, 既設) を管路として考慮しない。
 なお、ドレーン (既設) については、土砂が流入した状態を仮定し、土砂相当の埋戻土の透水係数を設定する。

項目	【参考】再現解析モデル	予測解析 (水位評価) モデル	
目的	モデル化の妥当性を確認 (観測記録の再現性を確保)	建物・構築物における保守的な設計揚圧力を設定	屋外重要土木構造物等における保守的な設計地下水位を設定
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする 		
検証期間	2016年4月~2018年8月	-	
気象条件	降水量: 1,540mm/年	保守的な降水量として、2,400mm/年を考慮	
モデル (地形)	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態	
モデル (地盤)	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態 (防波壁周辺の改良地盤等を考慮)	
モデル (構築物)	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態	
モデル (ドレーン)	ドレーン (既設) を管路として考慮	既設: 管路として考慮しない 新設: 管路として考慮	既設: 管路として考慮しない 新設: 管路として考慮しない
境界条件	実態に則した設定 ・山側: 閉境界 ・海側: H.W.L. (EL 0.46m) に水位固定 ・ドレーン: 管路としてモデル化	保守的な設定 ・山側: 閉境界 ・海側: H.W.L. (EL 0.58m) に水位固定 ・ドレーン: 施工計画高に水位固定しモデル化	更なる保守的な設定 ・山側: 閉境界 ・海側: H.W.L. (EL 0.58m) に水位固定

【1-8】設計地下水水位の設定 (6/10)

1. 安全裕度の考え方 (詳細設計申送り事項No.1 に対する回答) (続き)

(4) 予測解析結果 (原子炉建物等の建物・構築物)

建設時の揚圧力を考慮し、予測解析結果より保守的に高く設定する (安全裕度②)

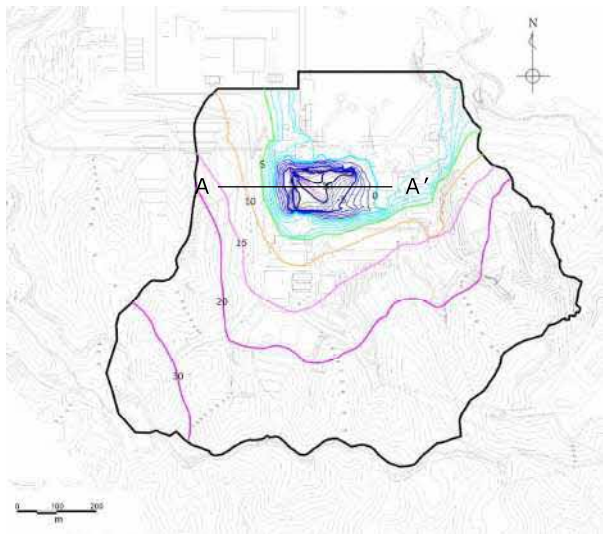
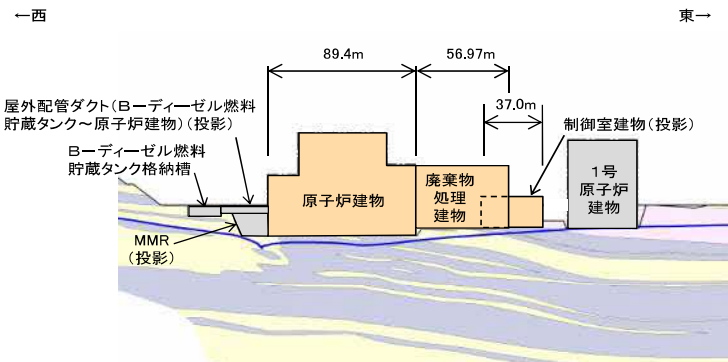


図6 敷地の地下水水位分布 (EL m)



(例) 原子炉建物, 廃棄物処理建物及び制御室建物の地下水水位分布 (A-A'断面)

表2 建物・構築物における設計揚圧力の設定一覧

施設名称 (基礎底面高さ)	建設時工事 計画認可時の 設計揚圧力	予測解析結果*1 上段: 揚圧力 下段: 地下水位	設計 揚圧力	設計 地下水位*2	備考
原子炉建物 (EL-4.7m)	0.8t/m ²	0.0t/m ²	0.8t/m ² (7.8kN/m ²)	EL-3.9m	建設時の 工事計 画認可 時からの 変更なし
		EL-9.9m			
タービン建物 (EL 0.0m)	2.0t/m ²	0.0t/m ²	2.0t/m ² (19.6kN/m ²)	EL 2.0m	
		EL-7.0m			
廃棄物処理建物 (EL 0.0m)	2.0t/m ²	0.0t/m ²	2.0t/m ² (19.6kN/m ²)	EL 2.0m	
		EL-5.5m			
制御室建物 (EL 0.1m)	0.0t/m ²	0.0t/m ²	0.0t/m ² (0.0kN/m ²)	EL 0.1m	
		EL-3.9m			
排気筒 (EL 2.0m)	0.0t/m ²	0.0t/m ²	0.0t/m ² (0.0kN/m ²)	EL 2.0m	
		EL-1.0m			

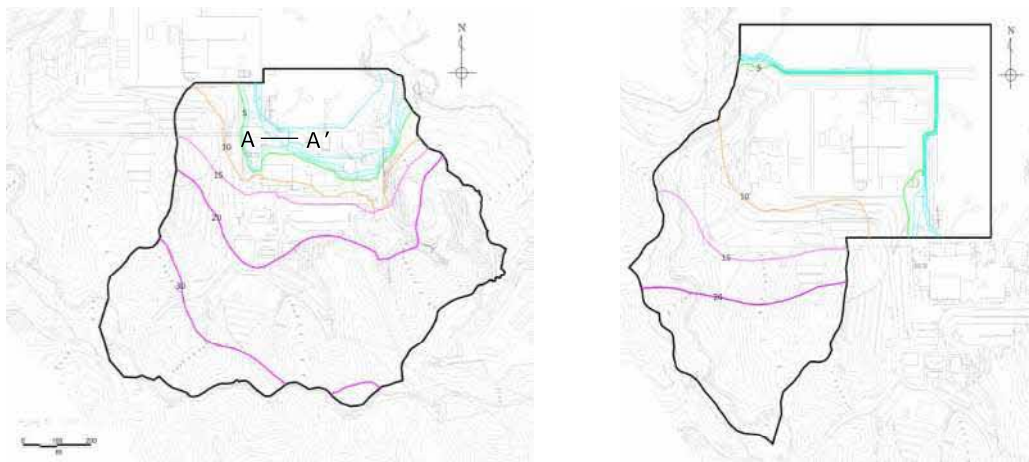
注記 * 1 : 建物底面に作用する平均揚圧力又は平均地下水位
 * 2 : 基礎底面高さをもとに設計揚圧力から求めた設計地下水水位を示す。
 なお、基礎底面以深となる場合は基礎底面レベルに設定する。

【1-8】設計地下水位の設定 (7/10)

1. 安全裕度の考え方 (詳細設計申送り事項No. 1 に対する回答) (続き)

(5) 予測解析結果 (屋外重要土木構造物等)

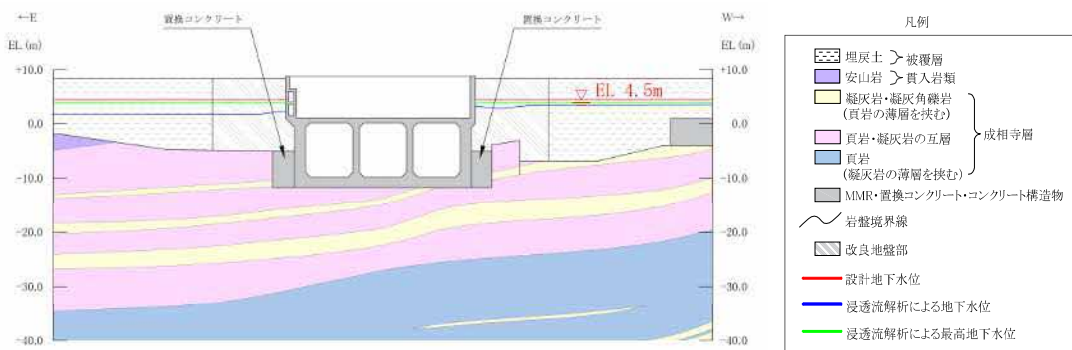
地下水位低下設備の効果を期待しない条件での予測解析結果より、解析モデル範囲のうち最も高い水位に裕度を考慮して、高く設定する (安全裕度③)



1,2号機エリア

3号機エリア

図7 敷地の地下水位分布 (EL m)



(例) 取水槽 (ポンプ室) の地下水位分布 (A-A' 断面)

表3 屋外重要土木構造物等における設計地下水位の設定一覧

施設名称	建設時の工事計画認可時の設計地下水位 (EL m)	予測解析による地下水位 (自然水位) (EL m)	設計地下水位 (EL m)	備考
取水槽	0.3	0.58~3.8	4.5	
屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	0.3	2.7~3.6	4.9	
屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽)	- *1	2.9~3.8	5.2	
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	- *1	3.9~15.0	15.0	地表面
屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)	- *1	5.8~14.9	15.0	地表面
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	- *1	0.58~4.5	5.5	
防波壁 (逆T擁壁)	- *1	0.58~6.3	8.5	地表面
防波壁 (波返重力擁壁)	- *1	0.58~7.2	8.5	地表面
1号機取水槽流路縮小工	- *1	0.58~1.6	3.0	
防波壁通路防波扉 *2	- *1	0.7~6.0	8.5	地表面
第1バントフィルタ格納槽	- *1	9.4~15.0	15.0	地表面
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	- *1	9.4~15.0	15.0	地表面
緊急時対策所	- *1	22.4~23.8	- *3	
緊急時対策所用燃料地下タンク	- *1	22.1~22.6	- *3	
ガスタービン発電機建物	- *1	22.0~24.9	- *4	
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	- *1	23.6~24.7	- *4	
屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)	- *1	22.1~24.2	- *4	

注記 *1: 建設時の工事計画認可申請対象外
 *2: 代表として防波壁通路防波扉 (3号機東側) の設計地下水位を掲載
 *3: 地下水位が施設設置地盤 (EL 50.0m盤) より十分低い
 *4: 地下水位が施設設置地盤 (EL 44.0m盤) より十分低い

【1-8】設計地下水位の設定 (8/10)

1. 安全裕度の考え方 (詳細設計申送り事項No.1 に対する回答) (続き)

- 屋外重要土木構造物等の設計地下水位は、予測解析 (定常解析) より得られた解析水位を参照し、観測水位の不確かさ等を考慮し、解析水位を包絡するよう設定する。
- 地下水位観測記録の最大値と解析水位を比較した結果、一部の観測孔においては、観測水位が解析水位 (自然水位) を上回っているが、設計地下水位の設定においては、構造物の耐震安全性評価を実施する解析モデル範囲内の最高地下水位を抽出し、それに裕度 (観測水位の標準偏差の最大値 (0.6m程度)) を加えた地下水位を全解析断面に対して一律に設定することで、観測水位より設計地下水位を保守的に高く設定する。
- なお、建物・構築物及び屋外重要土木構造物等について、地下水位低下設備 (新設) の効果により、平常時の地下水位は、設計地下水位より低くなると想定されることから、地下水位が低い場合の耐震評価に与える影響検討を行う。

表4 観測水位と解析水位 (自然水位) の比較

観測孔* No.	①観測水位 (EL m)	②解析水位 (自然水位) (EL m)	差 (②-①) (m)
1	1.79	3.41	1.62
2	3.59	10.65	7.06
3	1.67	1.51	-0.16
4	4.03	5.97	1.94
5	4.12	6.75	2.63
6	8.66	15.00	6.34
7	7.97	19.00	11.03

注記* : 「図4 地下水位観測孔位置図」を参照

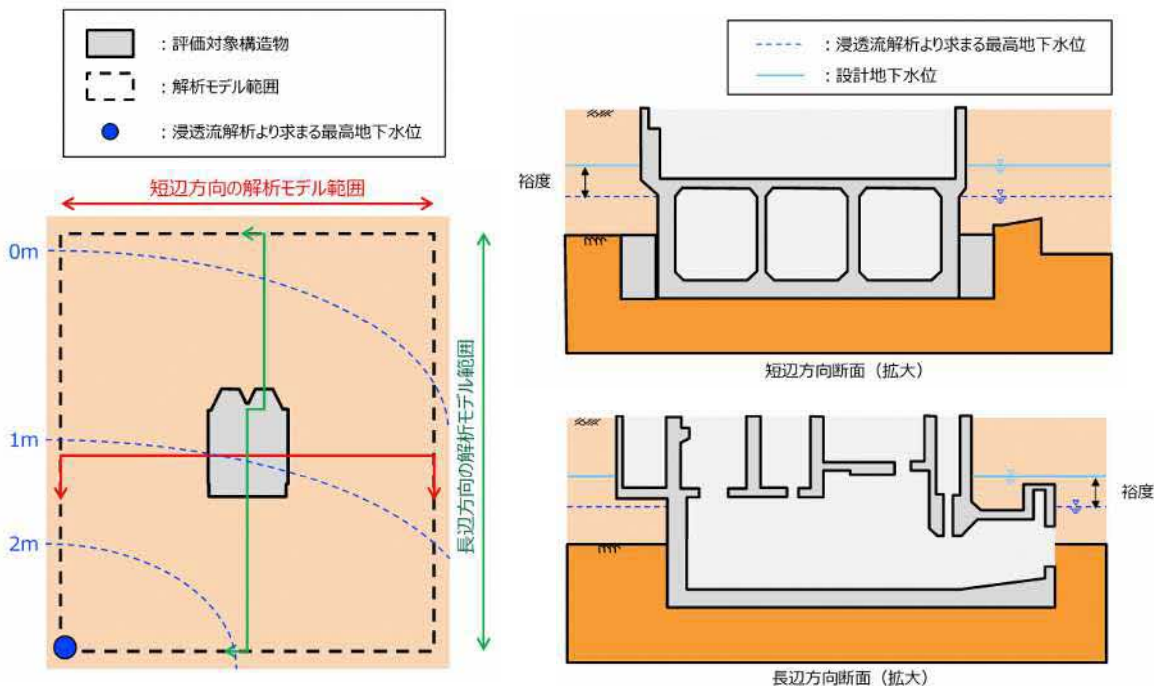


図8 設計地下水位の設定方法のイメージ

【1-8】設計地下水位の設定（9/10）

2. 非定常解析の結果及び位置付け（詳細設計申送り事項No.3に対する回答）

【非定常解析の降雨に対する感度向上についての取り組み結果】

- 設置許可時の非定常解析については、定常解析【再現解析①】の解析モデルの妥当性検証のため、補足的に実施する位置付けとして、観測降雨を与える非定常解析【再現解析②】を実施した結果、降雨時の解析水位の感度が観測水位と比較して小さい傾向が確認された。
- 設工認段階では、非定常解析における降雨時の解析水位の感度が小さい要因を分析し、感度向上を目的とした検討を実施した。【再現解析③】

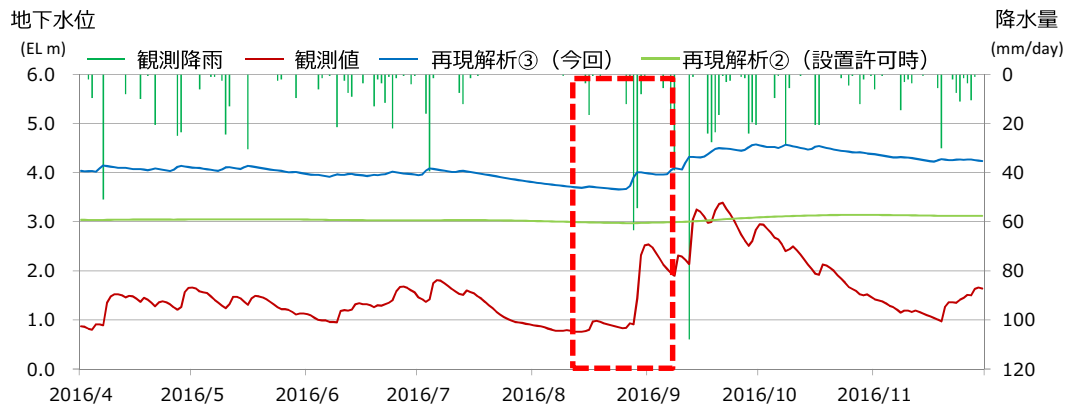
表5 浸透流解析一覧

解析種別		実施時期	内容	以降の記載
再現解析	定常解析	設置許可時	モデルの妥当性確認のため実施	再現解析①
	非定常解析	設置許可時	再現解析①の参考として実施	再現解析②
		設工認時	再現解析②を踏まえ、降雨時の解析水位の感度向上を目的として実施	再現解析③

- 降雨に対する感度向上に寄与する要因
再現解析②では、降雨は構内排水路を介して海へ排水されることから、舗装範囲については地下への浸透を考慮していないが、実際には、安全対策工事期間中の掘削等により、地表面からの降雨の浸透が非定常解析の感度向上に寄与する一因として推察した。
- 解析条件
検証期間中の安全対策工事に伴う舗装の撤去・掘削による地表面の状況を踏まえ、降雨の地下への浸透を考慮する。
- 検証期間
2016年4月～2016年11月
(地下水位観測開始以降、一定期間の観測水位データが概ね連続的に取得されている期間)

2. 非定常解析の結果及び位置付け (詳細設計申送り事項No.3に対する回答) (続き)

- 非定常解析による降雨への感度分析を実施し、下図の赤枠で示す期間 (2016年8月14日～9月5日) での降雨時の水位変動を確認した結果、観測孔によってばらつきは見られるものの、降雨時の地下水位の変動は再現解析③では再現解析②に比べて大きい値を示しており、降雨への感度が向上していることを確認した。したがって、非定常解析による降雨後の地下水位の変動の再現性には地表面の浸透による影響が大きいと判断される。
- また、検証期間を通して、予測解析 (定常解析) の解析水位は再現解析③による解析水位及び観測水位を常に上回っていることを確認した。
- 以上により、島根原子力発電所における設計地下水位の設定は、降雨条件に保守性を持たせた予測解析 (定常解析) の解析水位に基づき設定し、非定常解析については参考として位置付ける。



(例) 地下水位の経時変化 (No.5 *1)

表6 地下水位の比較

観測孔*1 No.	最高水位		
	再現解析③*2 (今回)	観測水位*2	予測解析 (定常解析)
1	EL 0.81m	EL 1.10m	EL 3.41m
2	EL 3.02m	EL 1.11m	EL 10.65m
3	EL 0.95m	EL 1.14m	EL 1.51m
4	EL 3.58m	EL 3.39m	EL 5.97m
5	EL 4.58m	EL 3.39m	EL 6.75m
6	EL -0.62m	EL 6.03m	EL 15.00m
7	EL 7.24m	EL 5.90m	EL 19.00m

注記*1: 「図4 地下水位観測孔位置図」を参照
 *2: 検証期間: 2016/8/14～2016/9/5

【1-9】防波壁（逆T擁壁の改良地盤の解析用物性値）

【設置変更許可審査を踏まえた詳細設計段階における検討内容】

- 図1及び図2に示す防波壁（逆T擁壁）の改良地盤における，設置許可段階での説明内容及び申送り事項は以下のとおり。
 - PS検層等に基づいて設定した改良地盤の物性値を用いて動的解析を実施した結果，地震動及び地殻変動による最大傾斜が1/2000を上回るが，最大傾斜を考慮しても防波壁の構造成立性が確保される見通しを得たことから，改良地盤が施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であると判断した。
 - 詳細設計段階への申送り事項として，室内配合試験における三軸圧縮試験等を踏まえた解析用物性値を設定し，PS検層等に基づいて設定した改良地盤の物性値を管理目標値とし，これが確保されていることを確認する。
- 詳細設計段階においては，申送り事項を踏まえ，室内配合試験における三軸圧縮試験等を踏まえた解析用物性値を設定し，設置許可段階における管理目標値が確保されていることを確認する。

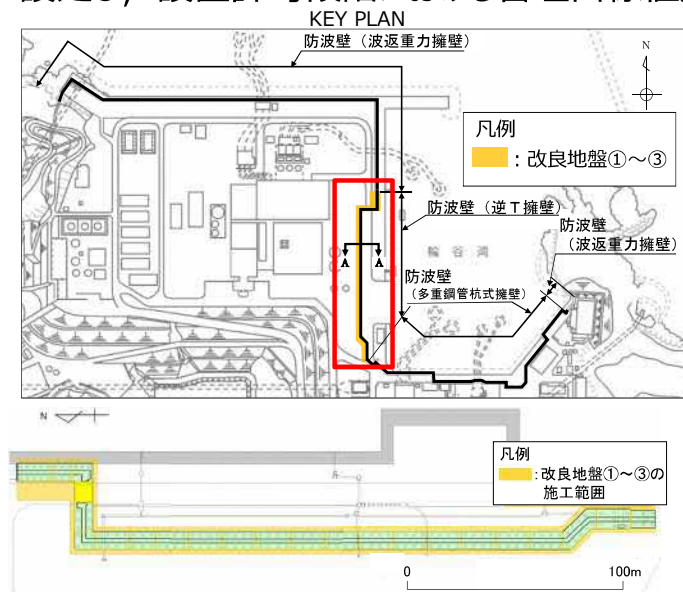


図1 平面図

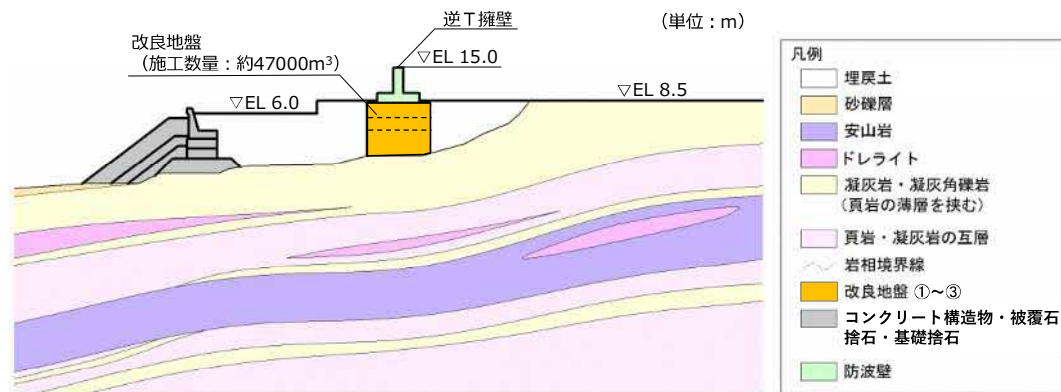


図2 断面図（A - A断面）

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	防波壁（逆T擁壁）において、室内配合試験における三軸圧縮試験等を踏まえた解析用物性値を設定し、PS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）が確保されていることを確認すること。 （第870回審査会合（2020年6月30日））	B	防波壁（逆T擁壁）の改良地盤について、室内配合試験における三軸圧縮試験等を踏まえ解析用物性値を設定し、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）を確保できることを確認した。	P.52～56

1. 「設置許可段階における管理目標値」の設定

設置許可段階において、PS検層等に基づき改良地盤の物性値（「設置許可段階における管理目標値」とする）を設定



2. 室内配合試験による「設置許可段階における管理目標値」の確認

室内配合試験における三軸圧縮試験等により、解析用物性値を設定するとともに、設置許可段階における管理目標値を確保していることを確認



3. 実施工での「品質確認における管理目標値」の確認

実施工において、解析用物性値及び設置許可段階における管理目標値を確認するため、室内配合試験結果に基づき、管理目標値を設定し（「品質確認における管理目標値」とする）、原位置試験及び室内試験により、品質確認における管理目標値が確保されていることを確認する

図3 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の管理目標値の確認フロー

1. 「設置許可段階における管理目標値」の設定（詳細設計申送り事項No.1に対する回答）

- 室内配合試験における三軸圧縮試験等により、解析用物性値を設定するとともに、表1に示す、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（設置許可段階における管理目標値）を確保していることを確認する。
- 管理目標値は、せん断強度 τ 及び動せん断弾性係数 G とし、これを上回ることを確認する。
- 室内配合試験にあたっては、「浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版）（（財）沿岸技術研究センター）」に準拠する。

表1 設置許可段階において設定した改良地盤の物性値及び設定方法

		物理特性	強度特性			変形特性及び減衰特性				
		密度 ρ_s (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 Φ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
解析用物性値	改良地盤① Vs=440m/s	2.11	0.63	38	$0.63 + \sigma \tan 38^\circ$	1,087	0.33	$G_0 = 409$ $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00027)$	0.33	$h = 0.0958\gamma / (\gamma + 0.00020)$
	改良地盤② Vs=400m/s	2.11	0.49	41	$0.49 + \sigma \tan 41^\circ$	898	0.33	$G_0 = 338$ $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00027)$	0.33	
	改良地盤③ Vs=610m/s	2.11	1.14	41	$1.14 + \sigma \tan 41^\circ$	2,088	0.33	$G_0 = 785$ $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00027)$	0.33	
解析用物性値の設定方法		埋戻土を流用	PS検層等に基づく換算値		ピーク強度と同じ値	PS検層に基づく換算値	慣用値	G_0 : PS検層 $G/G_0 \sim \gamma$: 埋戻土を流用	慣用値	埋戻土を流用

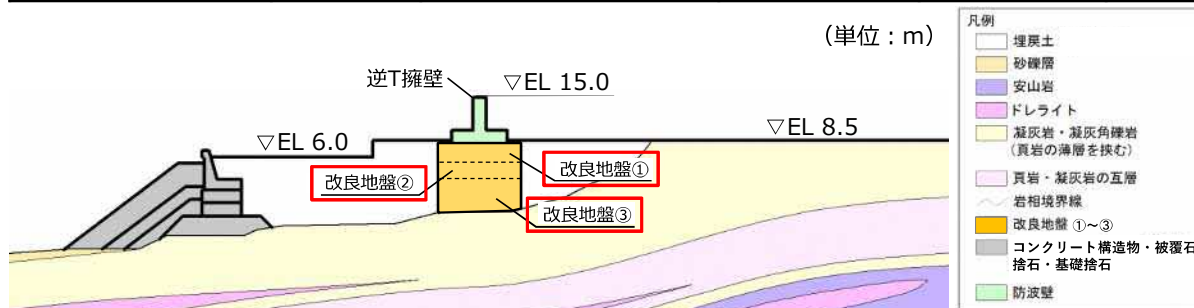


図4 断面図



図5 供試体の作製状況

2. 室内配合試験による「設置許可段階における管理目標値」の確認（粘着力 c 及び内部摩擦角Φ）

（詳細設計申送り事項No.1に対する回答）（続き）

- 強度特性は、せん断強度 τ ($= c + \sigma \cdot \tan\Phi$) を指標とし、室内配合試験におけるせん断強度 τ_R が、設置許可段階における管理目標値のせん断強度 τ_d を上回ることを確認する。
- 試験体の配合として、改良地盤①及び②の物性を確保するための配合と、改良地盤③の物性を確保するための配合を表2のとおり設定した。
- 室内配合試験の結果、図7のとおり、動的解析において確認された改良地盤の発生応力範囲において、室内配合試験におけるせん断強度 τ_R が、設置許可段階における管理目標値のせん断強度 τ_d を上回ることを確認した。

表2 改良地盤①～③における薬液の水セメント比

	供試体 1	供試体 2
薬液の水セメント比 W/C	200%	300%
対象とした 改良地盤の区分	改良地盤③	改良地盤①, ②



(供試体 1)

(供試体 2)

図6 供試体写真 (例)

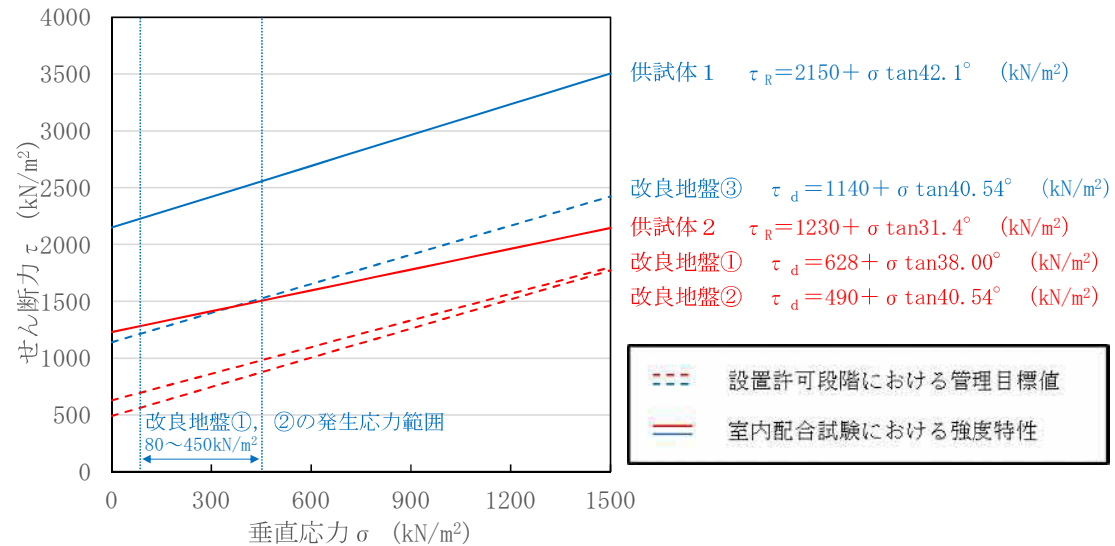


図7 室内配合試験による供試体のせん断強度 τ_R 及び設置許可段階における管理目標値のせん断強度 τ_d との比較

2. 室内配合試験による「設置許可段階における管理目標値」の確認（動せん断弾性係数G）

（詳細設計申送り事項No.1に対する回答）（続き）

- 変形特性について、動せん断弾性係数Gの算出に用いるS波速度を指標とし、表3に示す超音波速度測定結果より算定した原位置におけるS波速度 V_{sf} が、設置許可段階における管理目標値の動せん断弾性係数Gの算出に用いたS波速度（ $G = \rho V_s^2$ ）を上回ることを確認する。
- 室内配合試験の結果、表4のとおり、設置許可段階における管理目標値の動せん断弾性係数Gの算出に用いたS波速度を上回ることを確認した。

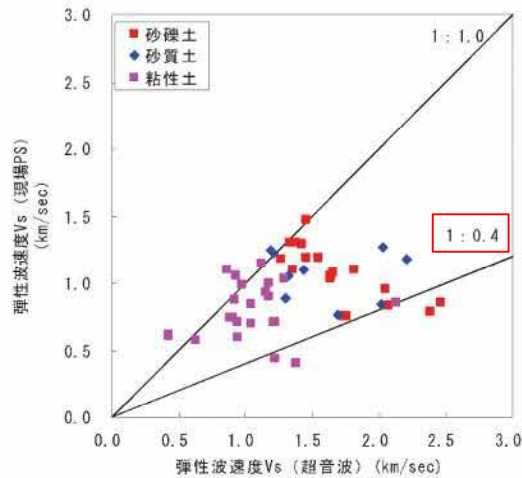
表3 超音波速度測定結果

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
超音波速度測定 によって得られた S波速度 V_{SR} (m/s)	1477 (供試体 2)		1677 (供試体 1)

× 0.4 *

表4 原位置におけるS波速度及び設置許可段階における管理目標値の動せん断弾性係数Gの算出に用いたS波速度との比較

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
原位置における S波速度 V_{sf} (m/s)	590 (供試体 2)		670 (供試体 1)
管理目標値の動せん断 弾性係数Gの算出に用い たS波速度 (m/s)	440	400	610



【概略】

- 各サイトにおける地盤改良を対象として、供試体のS波速度と原位置におけるS波速度（PS検層）の比較を行っている。
- 原位置におけるS波速度 V_{sf} は、供試体のS波速度 $V_{SR} \times 0.4 \sim 1.0$ の関係が成立しているとしている。

注記*：図8等の文献調査に基づく供試体のS波速度 V_{SR} と原位置におけるS波速度 V_{sf} の関係を踏まえ、 $V_{sf} = V_{SR} \times 0.4$ により算定した。

図8 供試体のS波速度と原位置におけるS波速度の関係（手塚ら(2014)より引用）

2. 室内配合試験による「設置許可段階における管理目標値」の確認（解析用物性値の設定）

（詳細設計申送り事項No.1に対する回答）（続き）

- その他の密度試験等の室内配合試験結果も踏まえ、防波壁（逆T擁壁）の耐震評価に用いる改良地盤の解析用物性値を、表5のとおり設定した。

表5 改良地盤①～③における解析用物性値

種別（工法，地盤種別）		改良地盤①，② （薬液注入）	改良地盤③ （薬液注入）	設定根拠
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11	2.11	室内配合試験の物理試験を踏まえて設定
	間隙率 n	0.45	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数*1 G_{ma} (kN/m ²)	771300	956500	室内配合試験によるせん断波速度（Vs=590m/s及び670m/s）を用いて，基準平均有効拘束圧における動せん断弾性係数 G_{ma} を設定
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98	98	慣用値*2
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	慣用値*2
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	0.095	室内配合試験の繰返し三軸試験を踏まえて設定
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	628	1140	室内配合試験の三軸圧縮試験を踏まえて設定
	内部摩擦角 ϕ' (°)	38.00	40.54	

注記*1：動せん断弾性係数は代表的な数値を示す。

*2：液化化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法（港湾技研資料No.869，平成9年6月）

3. 実施工での「品質確認における管理目標値」の確認（詳細設計申送り事項No.1に対する回答）

➤ 実施工において、以下の①及び②の物性値が確保されていることを確認するため、表6のとおり改良地盤の品質確認における管理目標値及び品質確認方法を設定し、原位置試験及び室内試験により、強度特性及び変形特性を確認する。

① 設置許可段階における管理目標値

② 表5で設定した解析用物性値

➤ 品質確認の結果については、施工の進捗を踏まえ、今後の設工認審査で説明する。

表6 改良地盤①～③の品質確認における管理目標値及び品質確認方法

		改良地盤①・②	改良地盤③
品質確認における 管理目標値	強度特性 τ (kN/m ²)	$\tau = 628 + \sigma \tan 38.00^\circ$	$\tau = 1140 + \sigma \tan 40.54^\circ$
	変形特性 設計S波速度 V_{sd} (m/s)	590	670
品質確認方法	試験規格	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法（JGS 0523） 地盤の弾性波速度検層方法（JGS 1122）	
	必要調査箇所数	PS検層：20本 三軸圧縮試験：3試料以上 (施工数量：約47000m ³)	

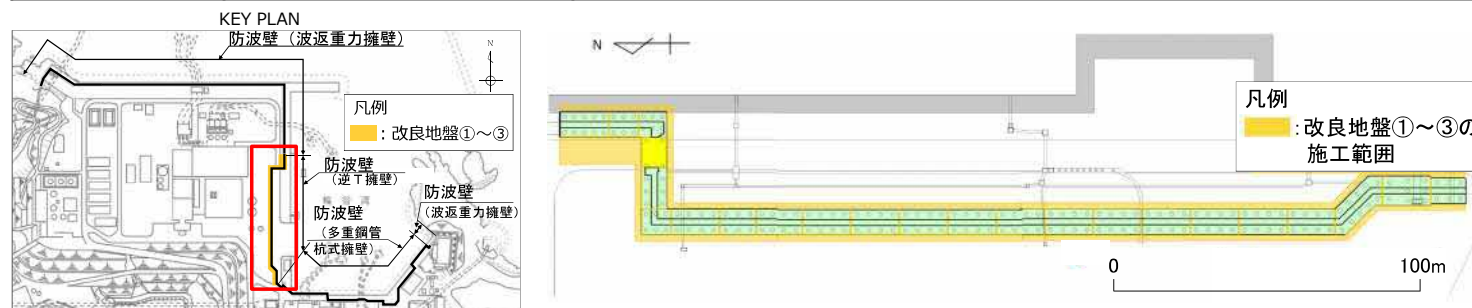


図9 平面図（改良地盤の施工範囲）

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況

分類	No.	主な説明事項	説明状況
[1] 詳細設計申送り 事項	1-1	地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力	第1054回審査会合にて説明済
	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	今回説明
	1-3	横置円筒形容器の応力解析への F E Mモデル適用方針の変更	次回以降の審査会合にて説明
	1-4	サプレッションチェンバの耐震評価	次回以降の審査会合にて説明
	1-5	漂流物衝突荷重の設定	今回説明
	1-6	機器・配管系への制震装置の適用	【三軸粘性ダンパ】今回説明 【単軸粘性ダンパ】次回以降の審査会合にて説明
	1-7	浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S s に対する許容限界	次回以降の審査会合にて説明
	1-8	設計地下水位の設定	今回説明
	1-9	防波壁	【逆 T 擁壁の改良地盤の解析用物性値】今回説明 【その他】次回以降の審査会合にて説明
	1-10	土石流影響評価	次回以降の審査会合にて説明
	1-11	保管・アクセス（抑止杭）	第1054回審査会合にて説明済
	1-12	ブローアウトパネル閉止装置	第1036,1054回審査会合にて説明済
	1-13	非常用ガス処理系吸込口の位置変更による影響	第1036,1054回審査会合にて説明済
	1-14	原子炉ウエル排気ラインの閉止及び原子炉ウエル水張りラインにおけるドレン弁の閉運用による影響	第1036回審査会合にて説明済
[2] 新たな規制要求 （バックフィット）への 対応事項	2-1	安全系電源盤に対する高エネルギーアーク（HEAF）火災対策	第1054回審査会合にて説明済
	2-2	火災感知器の配置	次回以降の審査会合にて説明

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況

分類	No.	主な説明事項	説明状況
[3] 設置変更許可 審査時からの設計変 更内容	3-1	ドライウェル水位計（原子炉格納容器床面+1.0m）設置高さ の変更	次回以降の会合にて説明
	3-2	格納容器酸素濃度（B系）及び格納容器水素濃度（B系）計 測範囲の変更	第1036回審査会合にて説明済
	3-3	第4 保管エリアの形状変更	次回以降の会合にて説明
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更	次回以降の会合にて説明
[4] その他の詳細設 計に係る説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定	今回説明
	4-2	原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更	次回以降の会合にて説明
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響	次回以降の会合にて説明
	4-4	制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体積質量減算の 適用	次回以降の会合にて説明
	4-5	【新規追加】取水槽	次回以降の会合にて説明
	4-6	【新規追加】原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更	次回以降の会合にて説明