

女川原子力発電所2号炉
耐津波設計方針のうち取放水路からの流入防止
(杭基礎構造防潮壁の設計方針)
(指摘事項に対する回答)

平成30年12月18日
東北電力株式会社

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

1. 審査会合での指摘事項(一覧).....	2
2. 指摘事項に対する回答.....	4

参考資料1 部位毎の設計方針(第644回審査会合(H30.10.23) 資料1-2-2再掲)

参考文献

1. 審査会合での指摘事項(一覧)

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答項
1	H30.10.23	鋼製遮水壁(鋼板), 鋼製遮水壁(鋼桁)及び鋼製扉とRC支柱との接合部や鋼製遮水壁の隅角部について, 止水性確保の観点を含んだ構造形式を提示すること。	P. 4~P. 13
2	H30.10.23	防潮壁下部の止水性確保の考え方について, 根入れ深さ等の配慮事項を含めて提示すること。	P. 14~P. 17
3	H30.10.23	鋼製遮水壁(鋼板)に設置するM型ジョイントとΩ型ジョイントの交差部における止水性に対する配慮事項を提示すること。	P. 18~P. 20
4	H30.10.23	止水ジョイント及び支承ゴムの耐環境性及びその影響の大きさを網羅的に整理した上で, 曝露試験体による試験条件の設定の考え方を提示すること。	P. 21~P. 31
5	H30.10.23	防潮壁の設計における地盤物性のばらつき及び水平2方向の地震力を考慮した設計の考え方を提示すること。	P. 32~P. 38

余 白

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(1/10)

(1) 指摘事項

鋼製遮水壁(鋼板), 鋼製遮水壁(鋼桁)及び鋼製扉とRC支柱との接合部や鋼製遮水壁の隅角部について, 止水性確保の観点を含んだ構造形式を提示すること。

(2) 回答

- 杭基礎構造防潮壁(①, ②, ④, ⑤)の設置位置ごとに, 全ての構造物間の接合部について, 接合形式を整理・分類し, それぞれの構造形式(接合方法)と止水性確保の考え方を提示する。また同様に, 鋼製遮水壁等の隅角部(屈曲部含む)についても抽出し, 構造形式(接合方法)と止水性確保の考え方を提示する。

枠囲みの内容は防護上の
観点から公開できません。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(2/10)

【接合部や隅角部・屈曲部の基本的な考え方】

- 同一構造形式間の構造目地部や各構造形式間等の接合部については、止水性確保の観点で弱部となる可能性があることから、可能な限り少なくする必要があります。
- しかし、設置スペースが狭隘であること、各構造物の設置上の制約条件(地中横断部、車両進入路部など)も様々であることなどから、防潮壁は、一定区間ごとの独立した基礎・上部工を組み合わせた配置形体となっており、地震時の相対変位発生による干渉を避けるため、ある一定間隔で遊間を設ける必要がある。これらの遊間に対しては、変位追従性(可撓性)に優れる止水ジョイント(M型ジョイント等)を設置することにより止水性を確保する。
- また、防潮壁は、平面配置上、隅角部や屈曲部を有するが、隅角部や屈曲部は同一フーチング上に設置するとともに、止水ジョイントは、隅角部や屈曲部には設けず、直線上に設置するよう配慮する。
- なお、鋼製遮水壁(鋼桁)や鋼製扉におけるRC支柱部については、止水ジョイントが直線上に取付が可能となるよう、支柱部からのコンクリート張り出し部を設け、構造間を取り合う構造とする。
- 防潮壁の接合パターン、隅角部・屈曲部は以下のとおりであり、次項以降に、概要図、構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方を示す。

構造形式	接合する構造形式	上部工の接合形式		パターン
鋼製遮水壁(鋼板)	鋼製遮水壁(鋼板)	鋼板	鋼板	①
	鋼製遮水壁(鋼桁)		RC支柱	②※1
	鋼製扉			
	RC遮水壁			
鋼製遮水壁(鋼桁)	鋼製遮水壁(鋼桁)	RC支柱	RC支柱	④
	鋼製扉		RC壁	⑤
	RC遮水壁			
	防潮堤(背面補強工)			
鋼製扉	RC壁(防潮堤)			
RC遮水壁	防潮堤(背面補強工)	RC壁(防潮堤)	⑦	

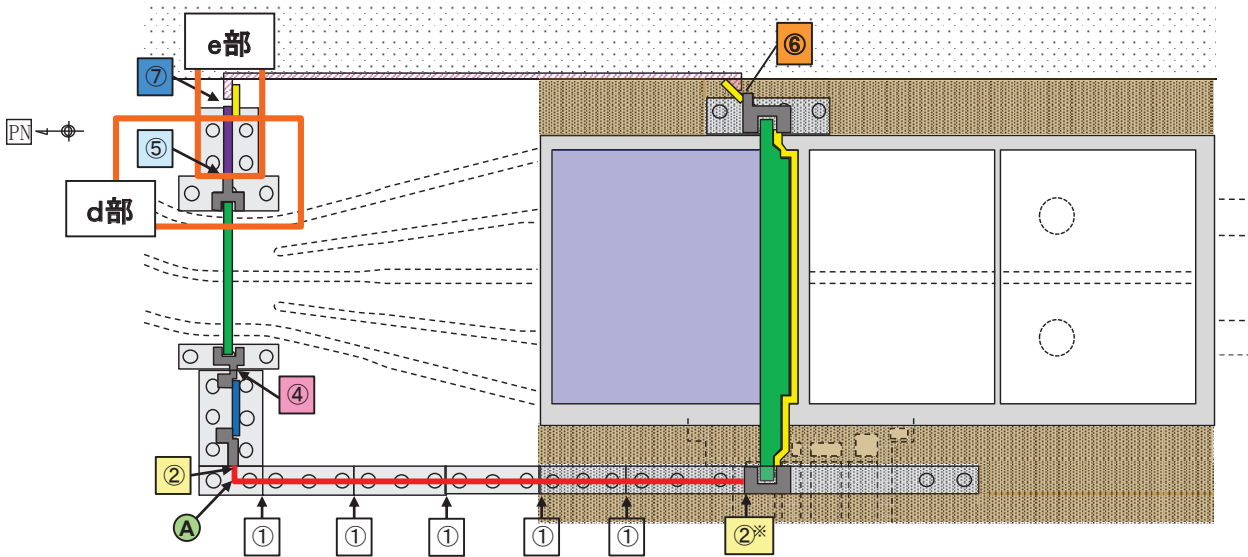
種類	パターン
隅角部・屈曲部※2 (鋼板・RC支柱・RC壁)	A

※1: 同一フーチング上で取合う接合部を含む

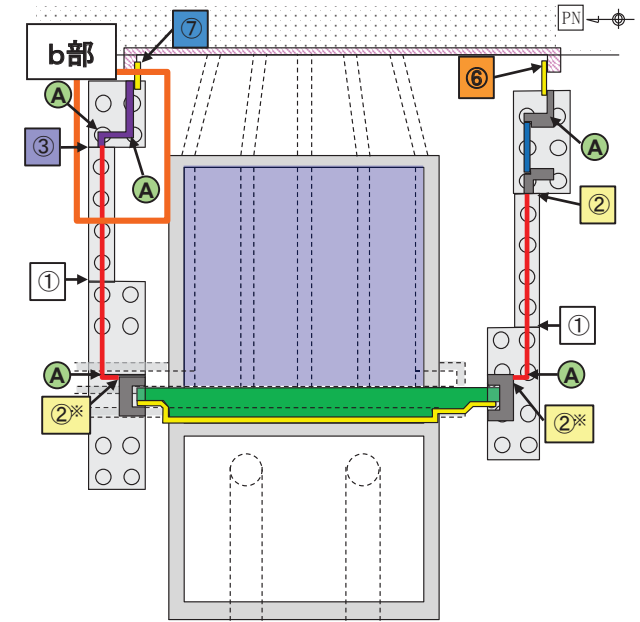
※2: 同一部位で屈曲する箇所

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(3/10)

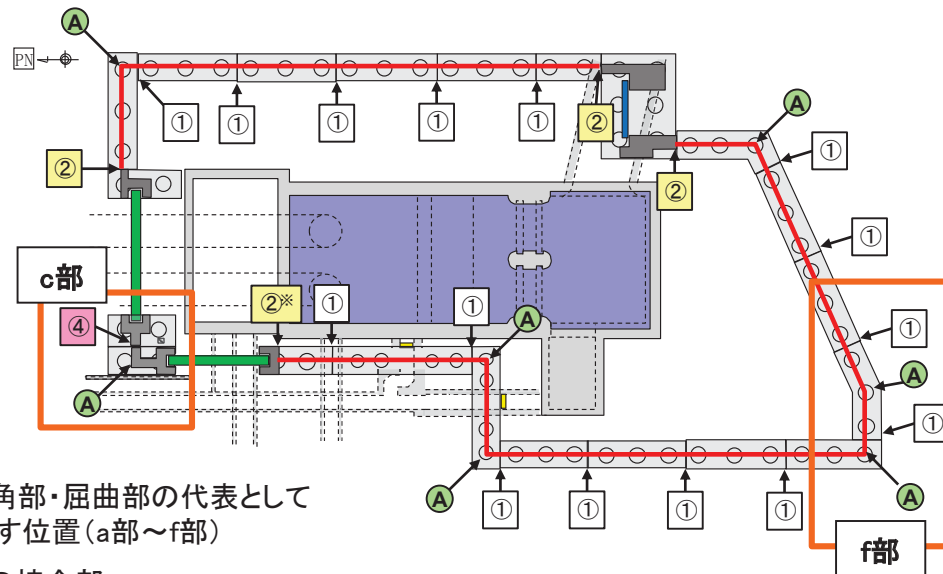
【接合部, 隅角部・屈曲部の一覧】



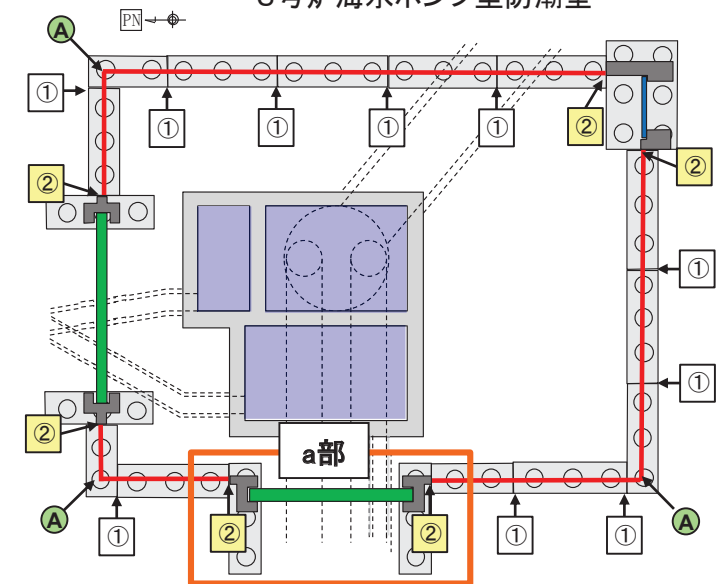
2号炉海水ポンプ室防潮壁



3号炉海水ポンプ室防潮壁



2号炉放水立坑防潮壁



3号炉放水立坑防潮壁

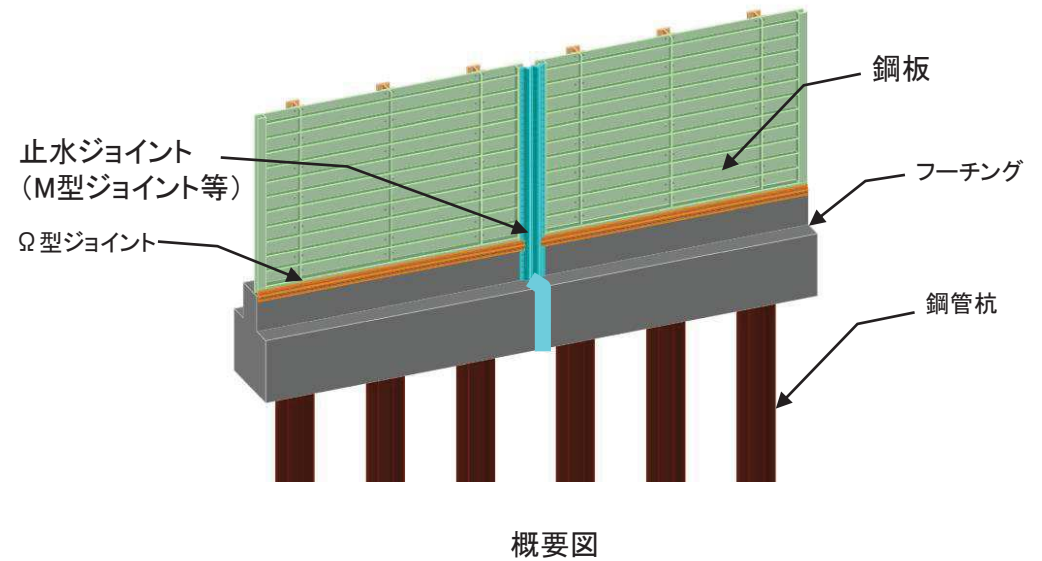
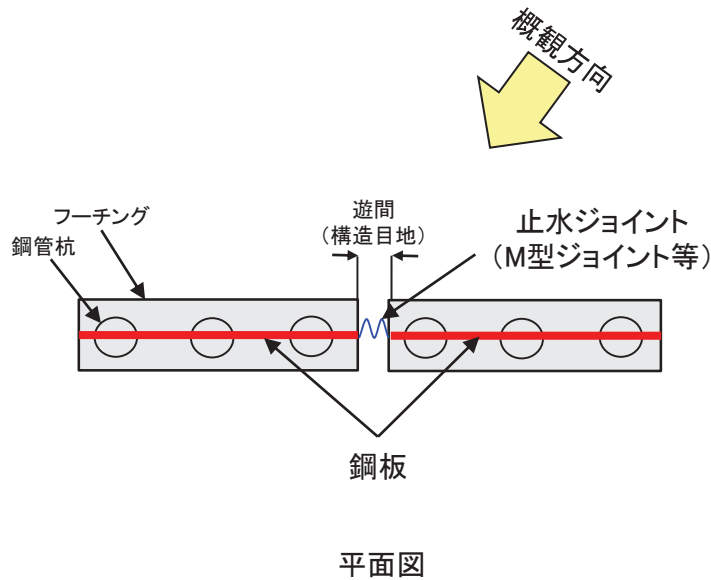
接合部, 隅角部・屈曲部の代表として
概要図を示す位置(a部~f部)

※同一フーチング上の接合部

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(4/10)

【接合部の概要図(イメージ図)】

パターン① (鋼板-鋼板)

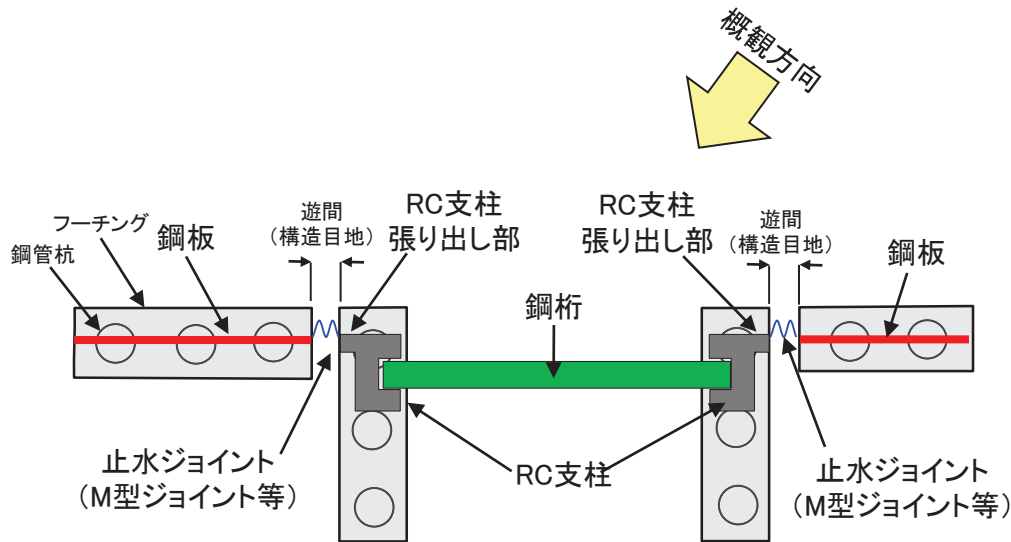


パターン	上部工の接合形式	構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方
①	鋼板 - 鋼板	<ul style="list-style-type: none"> 鋼板と鋼板の間は、可撓性を有する止水ジョイント(M型ジョイントorシートジョイント)を鋼板に接合し、止水ジョイントにより、鋼板と鋼板の間の止水性を確保する。 止水ジョイントは、上部工間のみならず、フーチング間(土中部)にも設置し、当該部の止水性を確保する。

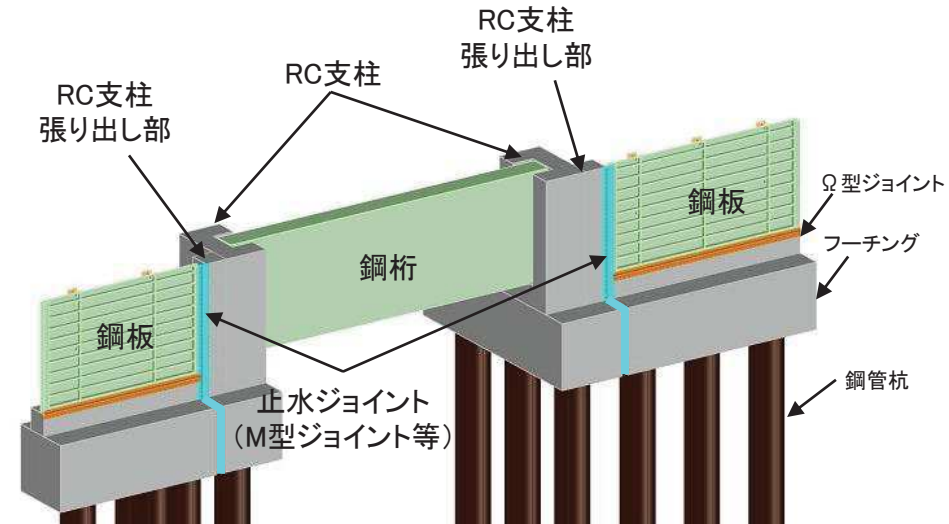
2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(5/10)

【接合部の概要図(イメージ図)】

パターン② (鋼板- RC支柱)



平面図
(a部)



概要図

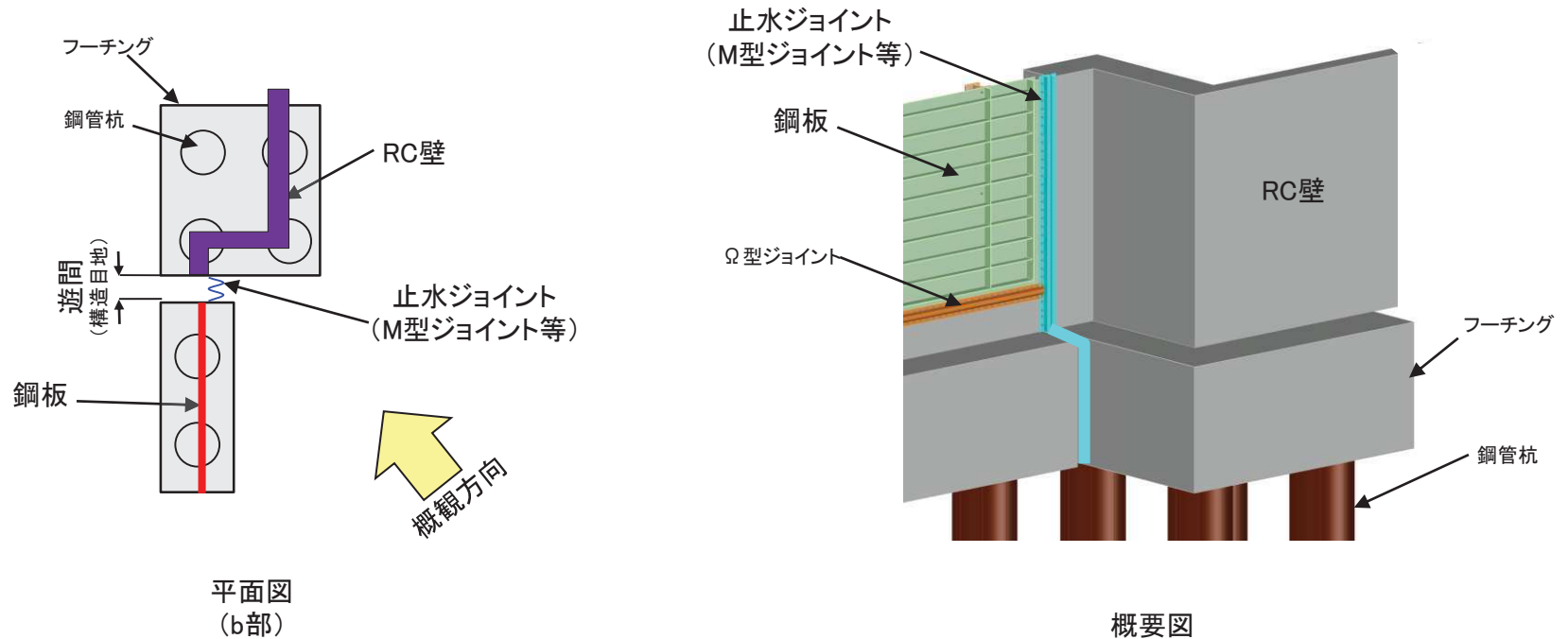
パターン	上部工の 接合形式	構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方
②※	鋼板 - RC支柱	<ul style="list-style-type: none"> 鋼板とRC支柱の間は、直線上に止水ジョイントが取合うようにRC支柱側に張り出し部を設け、可撓性を有する止水ジョイント(M型ジョイントorシートジョイント)にて接合する。 張り出し部には目地を設けず、止水性の弱部とならないように、RC支柱本体と一体構造とする。 止水ジョイントは、上部工間のみならず、フーチング間(土中部)にも設置し、当該部の止水性を確保する。

※同一フーチング上の接合部を含む(その場合、上部工間にのみ止水ジョイントを設置)

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(6/10)

【接合部の概要図(イメージ図)】

パターン③ (鋼板-RC壁)

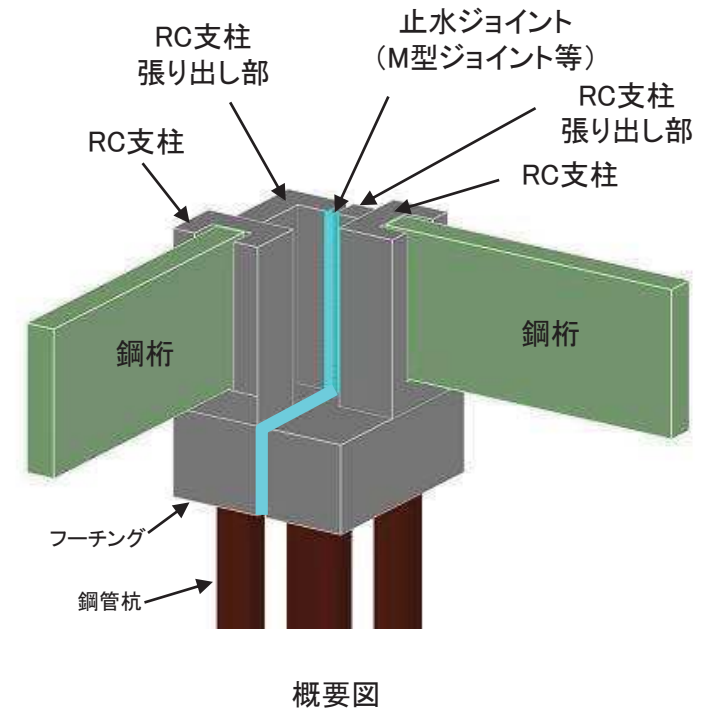
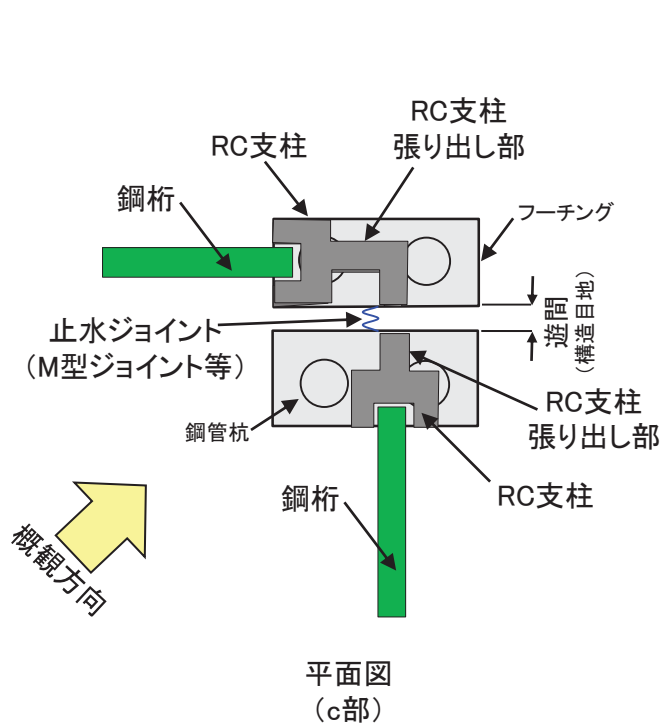


パターン	上部工の接合形式	構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方
③	鋼板 - RC壁	<ul style="list-style-type: none"> 鋼板とRC壁の間は、直線上に止水ジョイントが取合うようにRC壁を構築し、可撓性を有する止水ジョイント(M型ジョイントorシートジョイント)にて接合する。 RC壁には目地を設けず、止水性の弱部とならない構造とする。 止水ジョイントは、上部工間のみならず、フーチング間(土中部)にも設置し、当該部の止水性を確保する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(7/10)

【接合部の概要図(イメージ図)】

パターン④ (RC支柱-RC支柱)

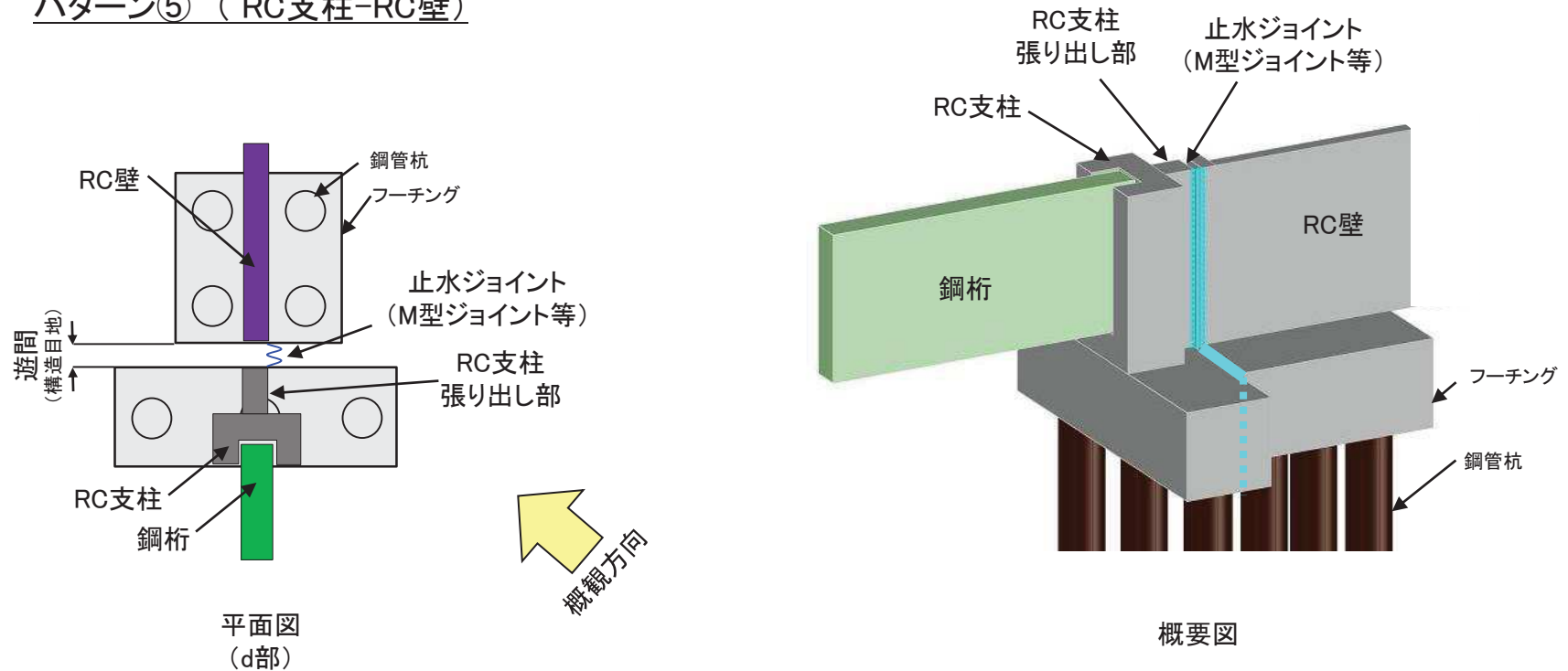


パターン	上部工の接合形式	構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方
④	RC支柱 - RC支柱	<ul style="list-style-type: none"> RC支柱とRC支柱の間は、直線上に止水ジョイントが取合うようにそれぞれのRC支柱に張り出し部を設け、可撓性を有する止水ジョイント(M型ジョイントorシートジョイント)にて接合する。 張り出し部には目地を設けず、止水性の弱部とならないように、RC支柱本体と一体構造とする。 止水ジョイントは、上部工間のみならず、フーチング間(土中部)にも設置し、当該部の止水性を確保する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(8/10)

【接合部の概要図(イメージ図)】

パターン⑤ (RC支柱-RC壁)



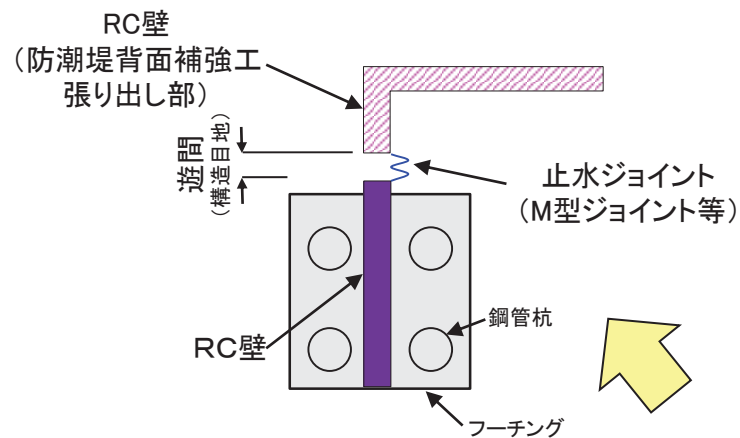
パターン	上部工の接合形式	構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方
⑤	RC支柱 - RC壁	<ul style="list-style-type: none"> RC支柱とRC壁の間は、直線上に止水ジョイントが取合うようにRC支柱側に張り出し部を設け、可撓性を有する止水ジョイント(M型ジョイントorシートジョイント)にて接合する。 張り出し部には目地を設けず、止水性の弱部とならないように、RC支柱本体と一体構造とする。 止水ジョイントは、上部工間のみならず、フーチング間(土中部)にも設置し、当該部の止水性を確保する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(9/10)

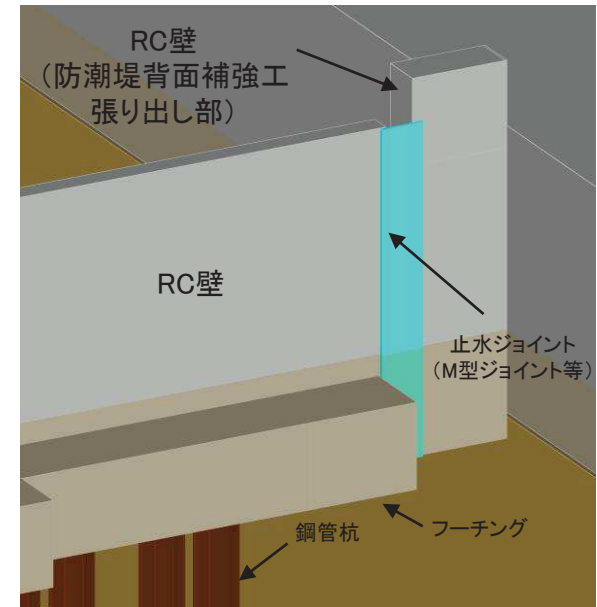
【接合部の概要図(イメージ図)】

パターン⑥・⑦ (RC支柱・RC壁-RC壁(防潮堤))

(パターン⑦で代表)



平面図
(e部)



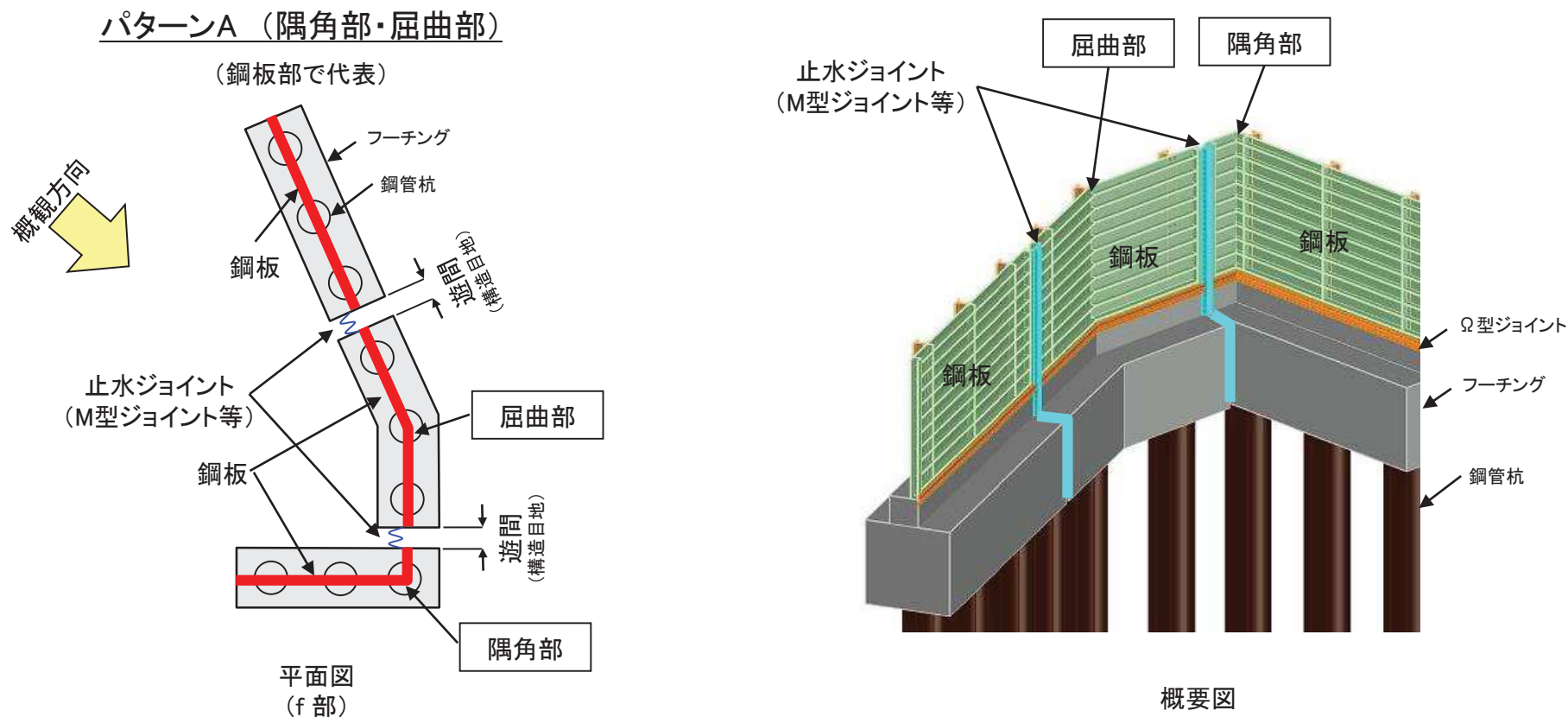
概要図

パターン	上部工の接合形式	構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方
⑥・⑦	RC支柱・RC壁 -RC壁(防潮堤背面補強工張り出し部)	<ul style="list-style-type: none"> RC壁とRC壁(防潮堤張り出し部)の間は、直線上に止水ジョイントが取合うようにそれぞれのRC壁を構築し、止水ジョイント(M型ジョイントorシートジョイント※)にて接合する。 止水ジョイントは、上部工間のみならず、フーチングとRC壁(防潮堤張り出し部)の根入れ部間(土中部)にも設置し、当該部の止水性を確保する。

※ 防潮堤の沈下対策を考慮し、M型ジョイントまたはシートジョイントに変更。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 1)(10/10)

【隅角部・屈曲部の概要図(イメージ図)】



パターン	種類	構造形式(接合方法)及び止水性確保の考え方
A	隅角部・屈曲部 (鋼板, RC支柱, RC壁)	<ul style="list-style-type: none"> 隅角部や屈曲部には構造目地は設けず, 一体的な構造とし, 直線上で可撓性を有する止水ジョイント(M型ジョイントorシートジョイント)にて接合する。 止水ジョイントは, 上部工間のみならず, フーチング間(土中部)にも設置し, 当該部の止水性を確保する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 2)(1/4)

(1) 指摘事項

防潮壁下部の止水性確保の考え方について、根入れ深さ等の配慮事項を含めて提示すること。

(2) 回答

- 各構造の根入れ等から、防潮壁下部からの津波の回り込みやボイリングが想定される部位を整理し、以下の考察を実施する。
- 防潮壁内に湧き上がる津波の滞水時間は最大3分程度であるが、地震発生時には地盤が沈下し構造物周辺地盤の流出や剥離等により水みちが作られ、この部分に集中的に津波が流れ込み土粒子の移動が生じ津波が徐々に防潮壁の外側に回り込むと、津波による上向きの浸透流が生じ、その浸透力が地盤の水中重量よりも大きくなることでボイリングに至る可能性が考えられる。
- このため、以下のとおり根入れ長を確保するための配慮(案)*を行う。
 - 各構造下に矢板等を取り付け、根入れ長を確保する(接合部は止水ジョイントを設置)。
 - 矢板等は、各構造と一体化させることにより沈下しない構造とする(Sクラス設計)。

* 詳細については、詳細設計を踏まえ工認段階で提示する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 2)(2/4)

【防潮壁下部からの津波の回り込みやボイリングが想定される部位と地震発生時の状況想定】

- 防潮壁下部からの津波の回り込みやボイリングが想定される部位について、全ての構造形式がある2号炉海水ポンプ室防潮壁を例に、下表のとおり整理した。

構造形式	津波の回り込みやボイリングが想定される部位	状況想定
鋼製遮水壁(鋼板) RC遮水壁 鋼製扉	各構造の フーチング 周辺	<p>概要図(鋼板で代表)</p> <p>フーチング断面</p> <p>フーチング断面(地震時の状況想定)</p> <p>※揺すり込み沈下量は最大0.46mと想定</p>
鋼製遮水壁(鋼桁) (地中構造物横断部)	角型鋼管周辺	<p>概要図</p> <p>角型鋼管断面</p> <p>※地震時の状況想定はフーチングと同様</p>

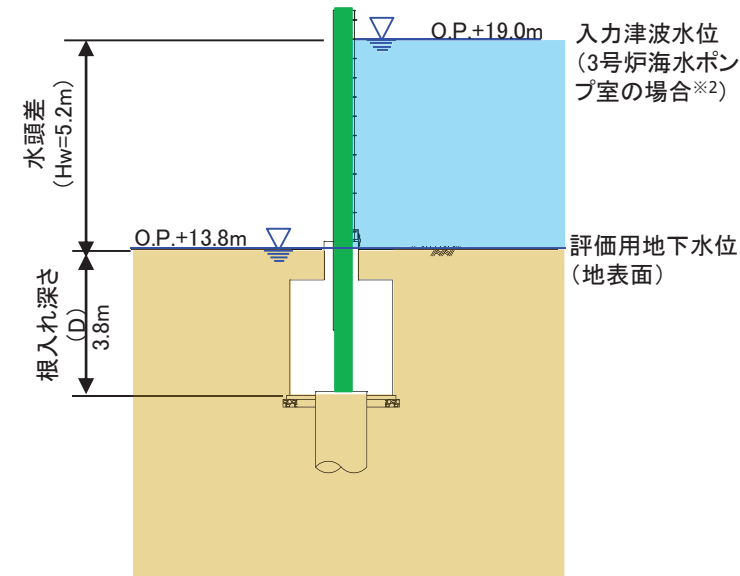
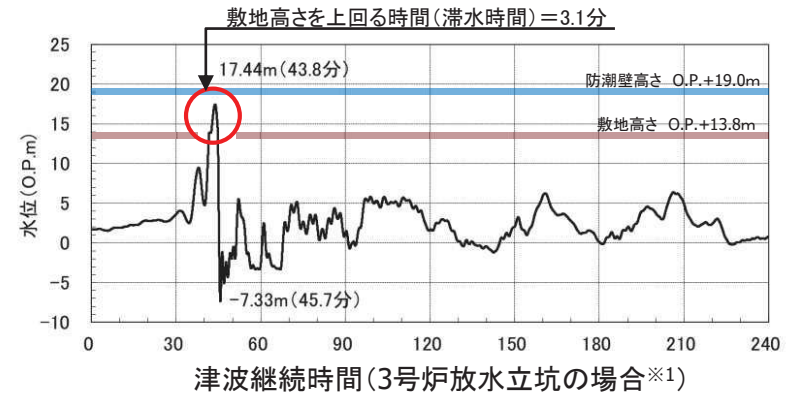
2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 2)(3/4)

【ボイリングの可能性評価】

- ボイリングについて、津波の滞水時間は最大3分程度であり、土粒子の移動が開始してボイリングに至るまでの時間は極めて短いものと考えられるが、構造物周辺地盤の流出や剥離によりボイリングに抵抗する有効な水中重量(根入れ深さ)が確保できない場合も想定されることから、ボイリングが発生する可能性は否定できない。

＜ボイリング評価概要＞

- 「山留め設計指針 平成29年 日本建築学会」に示されている式を用いてボイリングの評価を行った(Terzaghiの方法)。
- 防潮壁下部の地下水位は、地下水位低下設備により地盤面から十分に深い位置に維持することとしており、津波滞水時には、防潮壁周辺の浅部の地盤は不飽和状態であると考えられるが、ここでは、保守的に地下水位を地表面に設定し、地盤が沈下して構造物周辺地盤の流出や剥離等を起因とした根入れ深さの減少(薄層化)が発生した場合におけるボイリングの発生の可能性を評価した。
- その結果、根入れ深さ(D)が減少するとボイリングに対する安全率(F)は低下し、構造物周辺地盤の流出や剥離等を考慮すると所定の安全率($F \geq 1.2$)を満足できなくなる可能性があることがわかった。
- 以上を踏まえ、ボイリング対策として矢板等により根入れ長を確保することが考えられる。



ボイリング評価モデル

- ※1: 4箇所の防潮壁のうち敷地高さを上回る時間が最長
 ※2: 4箇所の防潮壁のうち入力津波水位が最大(O.P.+17.4m~O.P.+19.0m)

ボイリングに対する安全の検討は、下式による [図 6.2].

$$F = \frac{2\gamma' D}{\gamma_w h_w} \quad F \geq 1.2 \quad (6.3)$$

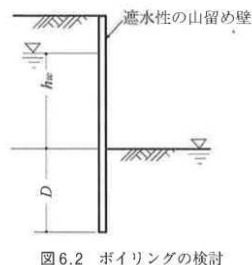
記号 F: ボイリングに対する安全率

γ' : 土の水中単位体積重量 (kN/m³) 8.5kN/m³

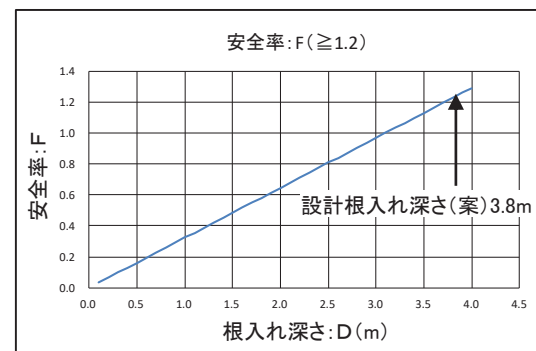
D: 遮水性の山留め壁の根切り底面からの
根入れ深さ (m)

h_w : 水位差 (m) 5.2m

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³) 10.1kN/m³



ボイリングに対する安全検討式(日本建築学会)



ボイリングに対する安全検討例

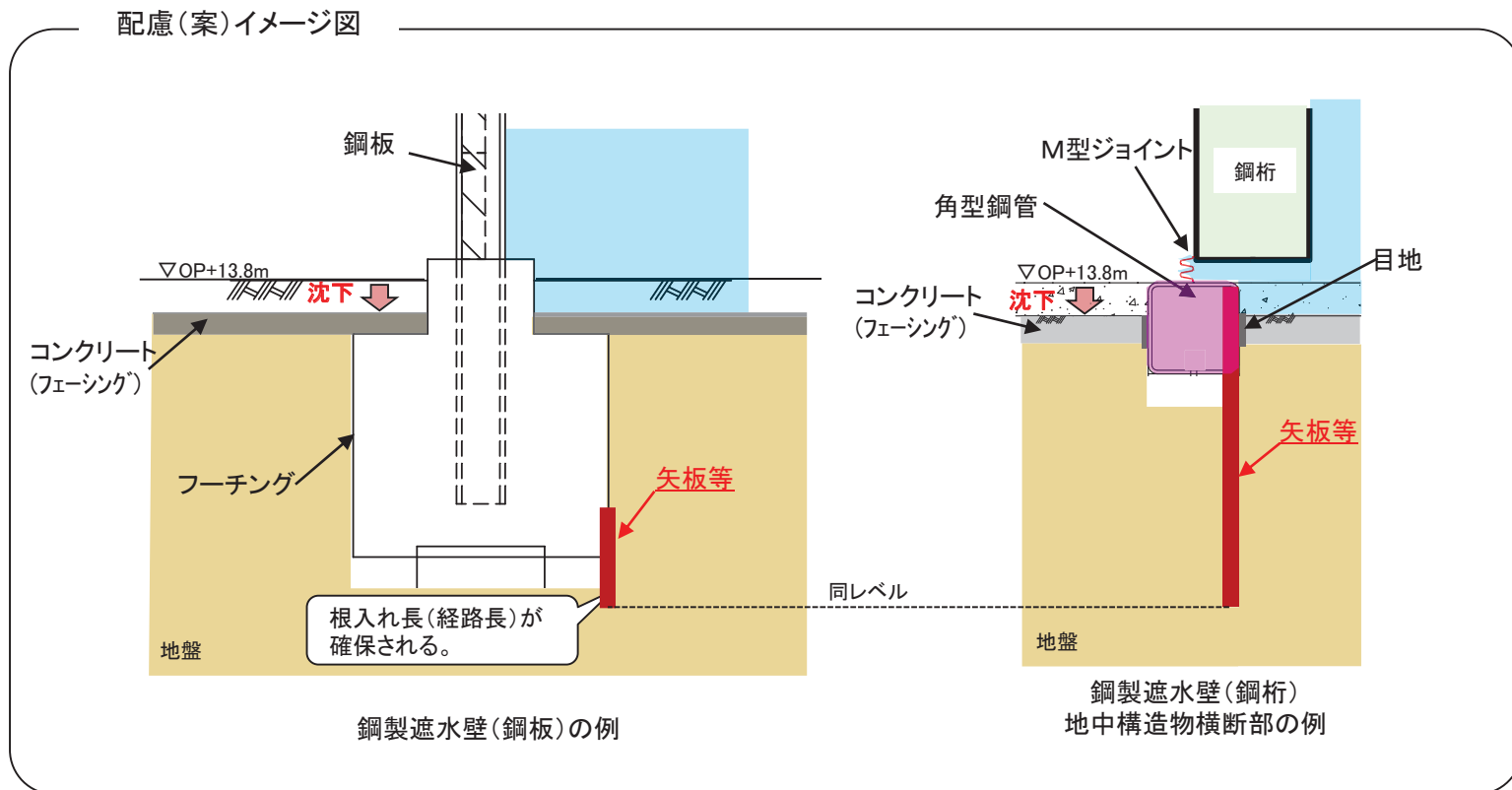
2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 2)(4/4)

【ボイリングの可能性評価と根入れ長確保に向けた配慮(案)※】

・ ボイリング発生の可能性が否定できないことから、以下のとおり根入れ長を確保するための配慮(案)※を行う。

- ① 各構造下に矢板等を取り付け、根入れ長を確保する(接合部はジョイントを設置)。
- ② 矢板等は、各構造と一体化させることにより沈下しない構造とする(Sクラス設計)。

※ 詳細については、詳細設計を踏まえ工認段階で提示する。



2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 3)(1/3)

(1) 指摘事項

鋼製遮水壁(鋼板)に設置するM型ジョイントとΩ型ジョイントの交差部における止水性に対する配慮事項を提示すること。

(2) 回答

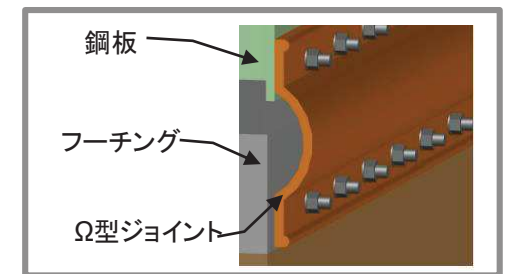
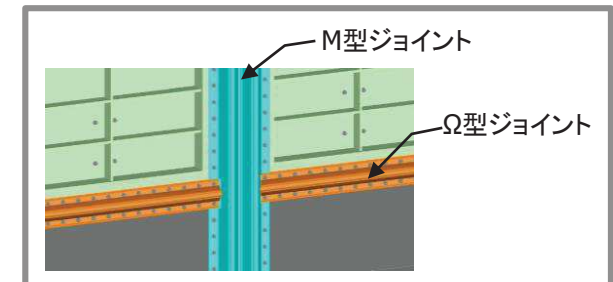
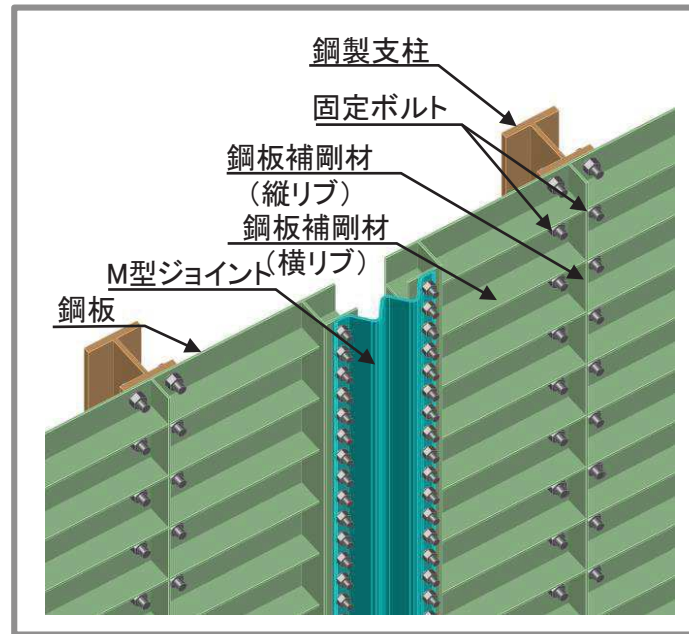
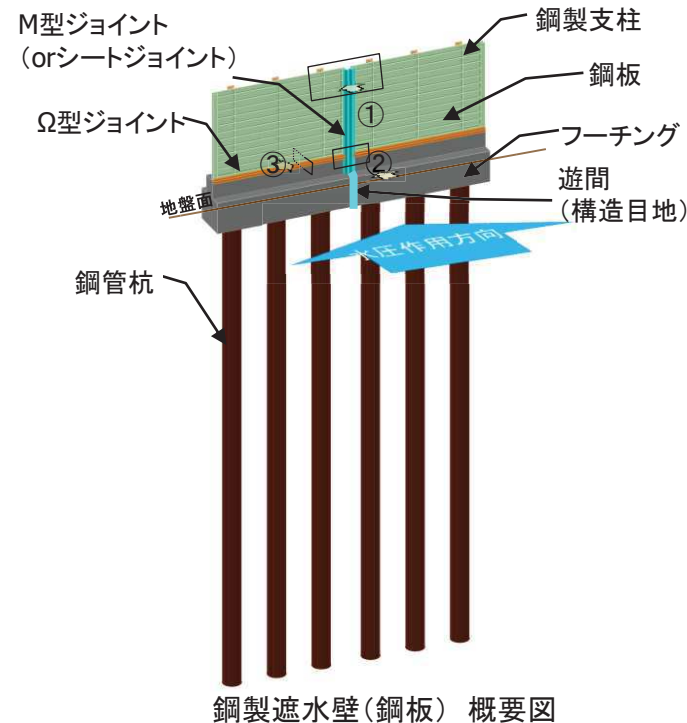
- M型ジョイントとΩ型ジョイントを一体成型することにより、止水性を確保することを示すとともに、一体成型の製作事例を示す。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 3)(2/3)

- 高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を、フーチング上に設置したH形鋼にボルト接合により設置する構造とする。
 - 隣接するブロック間には相対変位を考慮した遊間を設けるとともに、可撓性を有するM型ジョイント(orシートジョイント※)を設置する。なお、フーチング間(土中部)にもM型ジョイント(orシートジョイント※)を設置し、止水性を確保する(根入れ深さは津波の回り込み(ボイリング)に配慮し、浸透流解析等を参考に設定)。
- ※相対変位が大きい箇所については、必要に応じて許容変形量大きいシートジョイントを採用する。
- また、鋼板とフーチング間については、構造的に分離させ、Ω型ジョイントを設置することで止水性を確保する。
 - M型ジョイントとΩ型ジョイントの接合部については、工場で一体成型して設置することにより、交差箇所の止水性を確保するための配慮を行う。

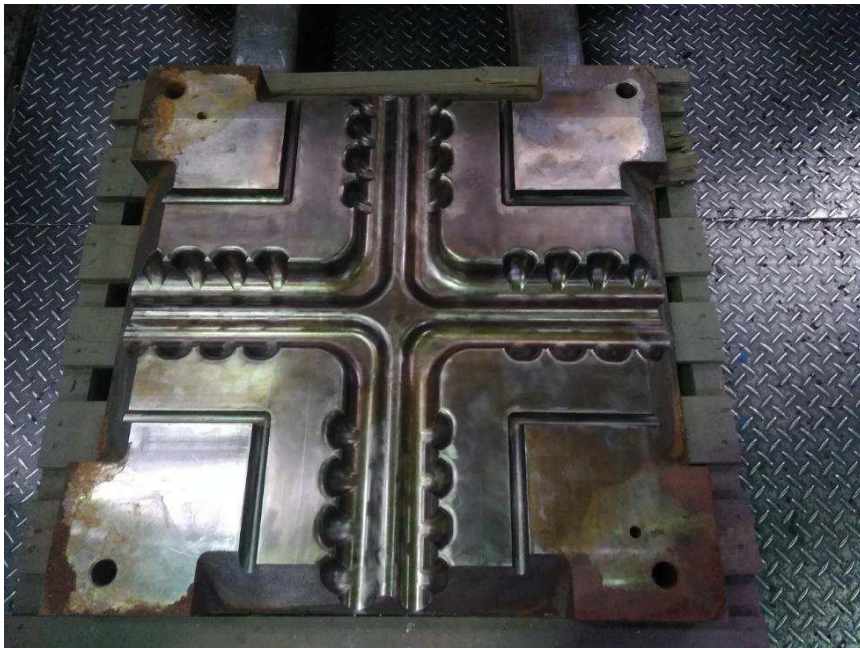
【各部位の役割】

部位	役割
鋼板	止水機能の保持
鋼製支柱(H形鋼)	鋼板の支持
固定ボルト	鋼板の支持
M型ジョイント(ゴム) (or シートジョイント<ゴム>)	止水機能の保持(構造目地間)
Ω型ジョイント(ゴム)	止水機能の保持(鋼板とフーチング間)
フーチング(RC)	鋼製支柱の支持
鋼管杭	フーチングの支持

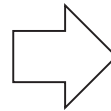


2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 3)(3/3)

- 止水ジョイント交差部の一体成型(金型)事例を以下に示す。



止水ジョイント金型
(M型ジョイント-M型ジョイントの例)



完成後
(M型ジョイント-M型ジョイントの例)

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(1/10)

(1) 指摘事項

止水ジョイント及び支承ゴムの耐環境性及びその影響の大きさを網羅的に整理した上で、曝露試験体による試験条件の設定の考え方を提示すること。

(2) 回答

- 使用するゴム材の劣化要因を文献等に基づき整理するとともに、ゴム材の耐久性、経年劣化に対する設計上の配慮、保全計画(案)及び曝露試験の考え方について提示する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(2/10)

【使用するゴム材の種類】

- 女川原子力発電所防潮壁では、鋼桁-R C支柱間に設置する支承、及び構造目地間、鋼桁周囲に設置する止水ジョイントにゴム材を使用する。
- 支承ゴムには天然ゴムを、止水ジョイントにはクロロプレンゴムを使用する。

区分	構造形式		設置箇所	支承及び止水ジョイントの種類	ゴム材の種類
支承ゴム	鋼製遮水壁 (鋼桁)	海水ポンプ室部 横断部	2号炉海水ポンプ室 3号炉海水ポンプ室	鉛直・水平支承 (鋼桁-R C支柱間)	天然ゴム
		地中構造物部 横断部	2号炉海水ポンプ室 2号炉放水立坑 3号炉放水立坑		
止水ジョイント	鋼製遮水壁(鋼板)		全ての設置箇所	M型ジョイント等 (構造目地間)	クロロプレンゴム
				Ω型ジョイント (鋼板-フーチング間)	
	鋼製遮水壁 (鋼桁)	海水ポンプ室部 横断部	2号炉海水ポンプ室 3号炉海水ポンプ室	M型ジョイント (構造目地間及び鋼桁周囲)	
		地中構造物部 横断部	2号炉海水ポンプ室 2号炉放水立坑 3号炉放水立坑		
	鋼製扉 (車両進入路部)		全ての設置箇所	M型ジョイント (構造目地間)	
R C遮水壁 (防潮堤接合部)		2号炉海水ポンプ室 3号炉海水ポンプ室	M型ジョイント等 (防潮堤間)		

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(3/10)

【ゴム材が劣化する環境要因】

ゴム材が担う止水機能、支承機能を維持していくためには、耐環境性の確保が重要であることから、ゴム材が劣化する環境要因について整理した。

- 支承ゴム、止水ジョイントは、使用するゴム材の種類は異なるものの、「道路橋支承便覧(日本道路協会)」、「設計者のための免震用積層ゴムハンドブック(日本ゴム協会)」等によれば、耐環境性に係る劣化要因は同様である。
- 「道路橋支承便覧(日本道路協会)」によれば、ゴムの劣化は、大気中の酸素、温度変化、オゾン、紫外線などの環境条件下で促進されるとしている。さらに、低温で硬化する傾向があるとされている。
- 「設計者のための免震用積層ゴムハンドブック(日本ゴム協会)」によれば、ゴムの劣化要因として酸素、熱、オゾン、紫外線などが挙げられ、ゴム製品の主な劣化は「熱劣化」とされている。またゴムの経年変化は、空気中に含まれる酸素やオゾンまたは紫外線などによって発生し、また使用温度などによっても促進されるとしている。
- 以上から、ゴム材は、熱、酸素、オゾン、紫外線、低温など様々な要因により劣化する。

【耐久性(文献調査)】

ゴム材の耐久性について文献調査を行い、以下のとおり確認した。

- 「道路橋支承便覧(日本道路協会)」によれば、天然ゴムは引張強さや圧縮永久ひずみなどの強度や弾性に優れ、また支承材料として、海外では100年以上使用された事例もあるとされている。
- 「設計者のための免震用積層ゴムハンドブック(日本ゴム協会)」によれば、クロロプレンゴムは、耐熱性や耐オゾン性など耐候性が優れている材料とされている。また、「免震積層ゴム入門(日本免震構造協会)」によると、東北本線鬼怒川橋梁に用いたクロロプレン系の積層ゴムを用いた劣化予測においても寿命は85年～200年と報告されている。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(4/10)

【耐久性の確保・確認】

- 使用する支承ゴム並びに止水ジョイントの設計段階・供用段階における耐久性の確保・確認方法を次頁以降に示す。
- 供用段階においては、別途定める保全計画に基づき適切に点検を実施するとともに、曝露試験を継続的に実施し、ゴム材の劣化状況及び性能を確認する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(5/10)

a. 支承ゴム

① 設計段階

- 支承ゴムは、鋼桁とRC支柱間に設置し、鋼桁の鉛直荷重をRC支柱に伝達しつつ、地震時における鋼桁の鋼桁軸方向の変位に伴うせん断変形に追従する設計が求められるとともに、屋外環境下に設置され温度変化に伴う鋼桁の伸縮による繰り返し変形への耐久性等、道路橋に用いられる支承と同様な性能が求められる。
- このため、支承ゴムについては、道路橋支承の設計において広く用いられている「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」及び「道路橋支承便覧(日本道路協会)」に基づき、耐久性の確保を含めた設計を行う。
- 「道路橋支承便覧(日本道路協会)」に基づき、下表に示す劣化要因に対する試験等により耐久性が確認された製品を使用する。

劣化要因	耐久性の確保・確認方法
熱	空気加熱老化試験(JIS K 6257)により熱老化に対する耐久性が確認された製品を使用する。また、ゴム製品の劣化の主要因とされていることに鑑み、熱による経年劣化に配慮した設計を実施する。
オゾン・酸素	静的オゾン劣化試験(JIS K 6259) ^{※1} により、十分な耐オゾン性を有することを確認された製品を使用する。
紫外線	ゴム材にカーボンブラックが配合された製品を使用することで、内部までの光の浸透を阻止し、耐久性を確保する ^{※2} 。
低温	低温衝撃ぜい化試験(JIS K 6261) ^{※3} により、十分な耐寒性を有することを確認された製品を使用する。

※1 東北地方に位置する綾里(岩手県大船渡市)のオゾン濃度が40ppb程度(気象庁による観測)であるのに対し、オゾン劣化試験では500ppbのオゾン濃度で評価を実施し、耐オゾン性を確認する。

※2 日本ゴム協会誌 第77巻(2004)3号 p.109~p.115を参照。

※3 ゴム材の低温ぜい化温度は-30℃以下であり、耐寒性を有することを確認する(気象庁によれば、石巻の月別平均最低気温は-2.6℃、日最低気温は-14.6℃)。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(6/10)

【経年劣化に対する設計上の配慮】

- 「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」に基づき、支承部に使用するゴム材については、機能の低下が生じないように、内部のゴムと同等以上の耐久性を有する厚さ5mm以上の被覆ゴムを設ける等の配慮をする。
- 「道路橋支承便覧(日本道路協会)」に基づき、劣化要因に対する試験等により耐久性が確認された製品を使用するとともに、供用期間中における性能を確保するために、経年劣化に対して十分な余裕を持った設計を行う。

項目	要求機能	設計上の配慮
支承ゴム	変形性能 (せん断剛性)	<ul style="list-style-type: none"> 経年劣化による変形性能の低下(せん断剛性の上昇)が想定されることから、設計上の配慮として、JIS K 6411に基づく熱老化特性試験を実施し、供用期間相当の熱老化をさせた試験体でのせん断剛性の変化率を確認し、十分な余裕を有するよう設計に反映する。
	変形性能 (せん断ひずみ他)	<ul style="list-style-type: none"> 「道路橋支承便覧(日本道路協会)」に規定される設計クライテリアに基づき設計する方針とする。 経年劣化による変形性能の低下(せん断ひずみの低下)が想定されることから、設計上の配慮として、供用期間相当の熱老化をさせた試験体での破断せん断ひずみ等を確認し、十分な余裕を有するよう設計に反映する。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(7/10)

② 供用段階

- 供用段階においては、別途定める保全計画に基づき適切に点検を実施する。
- ゴム材には被覆ゴムを用いるが、主に熱により経年的に劣化していくことから、環境条件が同じになるよう、可能な限り設置箇所近傍に、同材質の別置き試験体を長期曝露し、定期的に劣化度を把握し、設計値内に収まっていることを確認する。
- 保全計画(案)を以下に示す。

保全計画(案)

(点検)

- 巡視点検(1回/月)、並びに定期点検(1回/年)による外観目視点検を行う。

(曝露試験)

- JIS K 6411に基づき、曝露試験体のせん断ひずみ、せん断剛性等を測定し、設置当初からの変化率から性能劣化の程度を評価する。
- 試験頻度は、設計値、劣化予測結果及び供用期間並びに曝露環境等を考慮して設定することとし、詳細は工認段階で示す。

(補修、取替え)

- 点検及び曝露試験を踏まえ、別途定める管理基準に基づき、品質が確保されているか確認する。なお、取替え等が必要な場合には、速やかに補修・取替えを行う。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(8/10)

b. 止水ジョイント

① 設計段階

- 止水ジョイントは、構造目地間等に設置され、地震時の変位追従性と津波時の止水性が要求される。
- また、構造目地間等の止水ジョイントは屋外環境下に設置されることから、耐環境性に係る様々な劣化要因に対する設計上の配慮が必要である。
- これらに対し、変位追従性と止水性は実機試験を行い性能を確認する。
- 一方、耐環境性については、耐環境性に係る様々な劣化要因に対する設計上の配慮事項が示されている「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」及び「道路橋支承便覧(日本道路協会)」に準拠し、耐久性を確保する。
- 道路橋支承便覧に基づき、支承ゴムと同じく、下表に示す劣化要因に対する試験等により耐久性が確認された製品を使用する。
- なお、シートジョイントを使用する可能性があるが、その場合にはシートジョイントには保護シートを覆うとともに、別途詳細な劣化対策に対する検討を行う。

劣化要因	耐久性の確保・確認方法
熱	空気加熱老化試験(JIS K 6257)により熱老化に対する耐久性が確認された製品を使用する。また、ゴム製品の劣化の主要因とされていることに鑑み、熱による経年劣化に配慮した設計を実施する。
オゾン・酸素	静的オゾン劣化試験(JIS K 6259) ^{※1} により、十分な耐オゾン性を有することを確認された製品を使用する。
紫外線	ゴム材にカーボンブラックが配合された製品を使用することで、内部までの光の浸透を阻止し、耐久性を確保する ^{※2} 。
低温	低温衝撃ぜい化試験(JIS K 6261) ^{※3} により、十分な耐寒性を有することを確認された製品を使用する。

※1 東北地方に位置する綾里(岩手県大船渡市)のオゾン濃度が40ppb程度(気象庁による観測)であるのに対し、オゾン劣化試験では500ppbのオゾン濃度で評価を実施し、耐オゾン性を確認する。

※2 日本ゴム協会誌 第77巻(2004)3号 p.109～p.115を参照。

※3 ゴム材の低温ぜい化温度は-30℃以下であり、耐寒性を有することを確認する(気象庁によれば、石巻の月別平均最低気温は-2.6℃、日最低気温は-14.6℃)。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(9/10)

【経年劣化に対する設計上の配慮】

- 各種試験に基づき耐久性が確認された製品を使用するが、供用期間中における性能を確保するために、経年劣化に配慮した設計を実施する。

項目	要求機能	設計上の配慮
止水 ジョイント	変位追従性 ・止水性(伸び)	<ul style="list-style-type: none"> 経年劣化によるゴム材の伸びの低下が想定されることから、設計上の配慮として、JIS K 6257に基づく空気加熱老化試験を実施し、供用期間における破断伸びの低下率(経年劣化)を確認※し、設計に反映する。 具体的には、終局限界(破断伸び)に対して、耐久性予測による経年劣化分(供用期間を考慮)を評価した値を設計クライテリア(B)とし、設計値(C)はこれを上回らないよう余裕を有する設計とする。

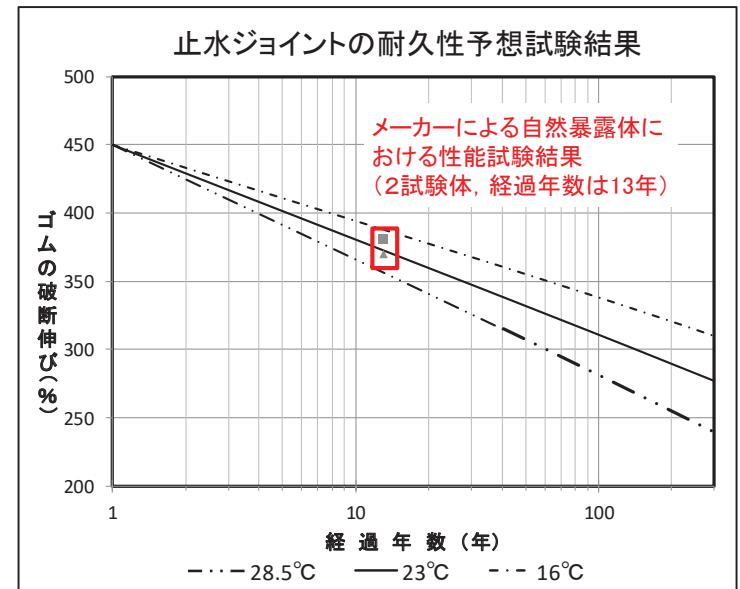
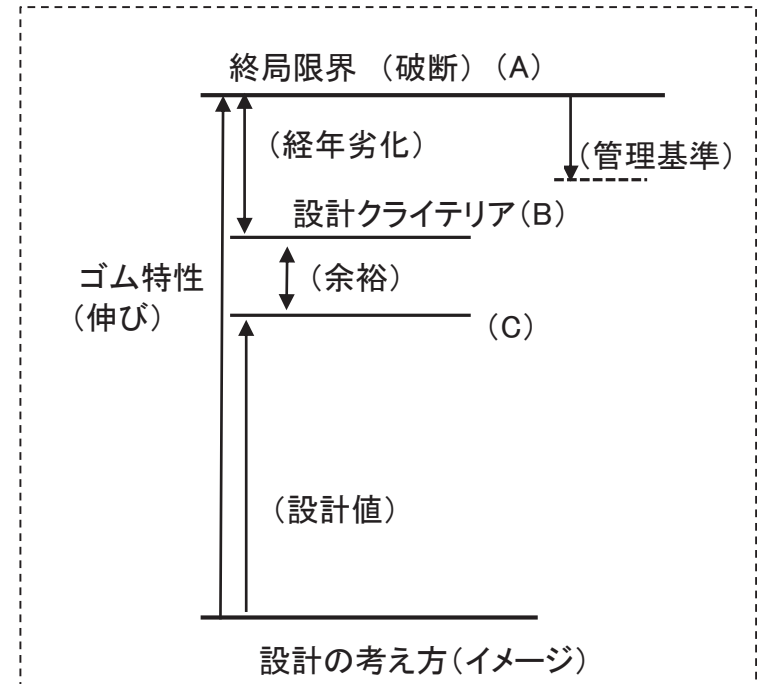
※ 経年劣化に伴う破断伸び率低下の確認結果(耐久性予測結果)

(目的)

- 経年劣化を評価するために実施

(試験条件他)

- 試験片(クロロプレン系ゴム)を用いたJIS K 6257に基づく熱老化試験を実施(老化温度70℃・100℃・120℃, 老化時間72hr・168hr・336hr・1008hrで実施)
- 試験結果に基づき、設計上の伸びの低下率の上限を30%と仮定し、女川の月別平均最高気温23℃他の劣化予測(アレニウス式)を概略評価(自然曝露体にて約13年経過した試験体の破断伸びを確認した結果、おおむね劣化予測と整合している)
- その結果、ゴム破断の伸び率は、設置時点から10年で15%程度、50年で25%程度低減することが想定される(女川の月別平均最高気温23℃の場合)。



2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(10/10)

② 供用段階

- 供用段階においては、別途定める保全計画に基づき適切な点検を実施する。
- ゴム材は、熱、酸素、オゾン、紫外線、低温など、様々な要因により経年的に劣化していくことから、環境条件が同じになるよう、可能な限り設置箇所近傍に、同材質の別置き試験体を長期曝露し、定期的に劣化度を把握する方法が、健全性を確認する最も確実な方法と考えられる。このため、継続的に曝露試験を実施する。
- 保全計画(案)を以下に示す。

保全計画(案)

(点検)

- 巡視点検(1回/月)、並びに定期点検(1回/年)による外観目視点検を行う。

(曝露試験)

- JIS K 6251に基づき、曝露試験体の伸び量等を測定し、設置当初からの変化率から性能劣化の程度を評価する。
- 試験頻度は、設計値、劣化予測結果及び供用期間並びに曝露環境等を考慮して設定することとし、詳細は工認段階で示す。

(補修、取替え)

- 別途定める管理基準を踏まえた定期的な補修、取替えを計画する。取替え時期については、設計値、劣化予測及び供用期間並びに曝露環境等を考慮して設定することとし、詳細は工認段階で示す。なお、点検により損傷等が確認された場合は、速やかに補修・取替えを行う。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 4)(参考)

- 先行他プラントにおける類似構造(ゴムジョイント・シートジョイント)の耐久性を考慮した維持管理例を以下に示す。なお、シートジョイントについては、耐候性試験結果が示されており、保護シートにより紫外線から保護することで、少なくとも5年程度の期間では有意な強度の低下がないことが確認されたとされている。
 - 事例:関西電力(株)高浜発電所 放水口側防潮堤(杭基礎形式部)・・・ゴムジョイント・シートジョイント

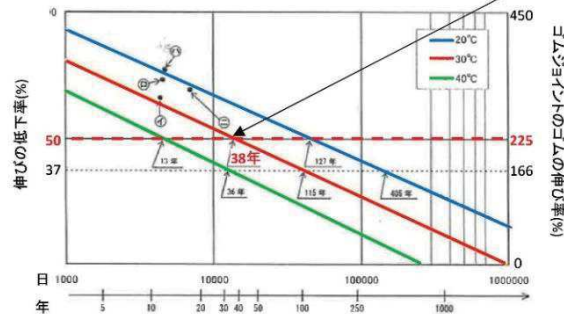
②-5 止水ジョイントの耐久性を考慮した維持管理

15

止水ジョイントの耐候性確認

▶ ゴムジョイント

ゴムジョイントの耐候性については、メーカーによる試験結果を確認。
 ゴムジョイントに使用されるゴムの伸びが半減する期間は、**約38年**(気温条件:30℃※¹)。



※¹:高浜発電所地点における年平均気温は14.6℃である。
 (舞鶴気象台での1985~2014年の日平均気温)

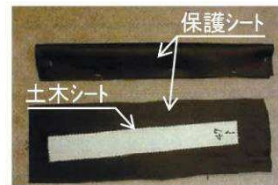
地震時の相対変位に伴うゴムジョイントの伸び率は3%程度であり、外気環境の影響による伸び率の半減を考慮しても十分な変形性能(伸び率225%)を有している。

▶ シートジョイント

土木シートは合成繊維織布製であり、紫外線による強度低下に対し、保護シートで紫外線から保護する構造としている。
 メーカーによる耐候性試験結果によると、**5年経過時点での引張強度の低下はほとんど見られない。(△0.6%程度)**

試験項目		初期値	5年経過後
引張強さ(N/3cm)	縦※	10,280	10,220 (△0.6%)
	横※	10,450	10,400 (△0.5%)

※)織布の方向



試験片
(土木シート+保護シート)



引張試験状況

保護シートにより紫外線から保護することで、**少なくとも5年程度の期間では有意な強度の低下がないことが確認された。**

保全計画(案)

○目視点検

保安規定に基づき実施する巡視点検(1回/月)ならびに定期点検(1回/年)による外観目視点検において、損傷等が確認された場合は速やかに取替え等を行う。

○止水ジョイントの取替え

点検結果や耐用年数を踏まえ、適切な時期に取替えを行う。

出展:関西電力株式会社 高浜発電所 平成27年8月27日審査会合資料 資料1-1

他サイトの情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 5)(1/7)

(1) 指摘事項

防潮壁の設計における地盤物性のばらつき及び水平2方向の地震力を考慮した設計の考え方を提示すること。

(2) 回答

地盤物性のばらつきに対する設計方針(対象物性, 評価方法)及び水平2方向の地震力を考慮した設計方針(対象部位, 評価方針)について提示する。

a. 地盤物性のばらつきの考え方

【基本方針】

- ・ 防潮壁の設計に用いる各種地盤の物性値等については, 各種試験等に基づき設定する。
- ・ 一方, 地盤の変形特性等については, 試験位置や試験方法等の影響による物性のばらつきが内在することから, これらのばらつきが構造物の地震応答解析(加速度応答等)や構造部材の照査に影響を与える可能性がある。
- ・ したがって, 耐震安全性評価(工認段階における詳細設計)においては, 地盤物性のばらつきの影響を考慮した評価を行う。

【評価方針】

- ・ 物性のばらつきが耐震評価に与える影響については, 構造物に作用する荷重のうち, 耐震性について支配的な荷重を抽出し, 荷重を決定するパラメータについて, ばらつきを考慮した場合の地震応答解析を実施することで, 耐震評価結果に与える影響(安全係数)を確認し, その安全係数を考慮した評価を行う。
- ・ なお, 上記の地盤物性のばらつきに対する評価方針は, 同じ杭基礎構造を有する女川原子力発電所防潮堤の設計方針と同様の考え方である。

(ばらつき影響を考慮した照査のイメージ)

$$\text{照査値} = \text{ばらつきを考慮しない場合の照査値} \times \text{安全係数(ばらつきによる照査値の増分率)} < \text{許容限界}$$

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 5)(2/7)

a. 地盤物性のばらつきの考え方

【評価条件】

- 地盤物性のばらつきの考慮にあたっては、全応力解析及び有効応力解析による地震応答解析等を実施し、液状化の有無のいずれが保守的となるかを確認した上で、構造物に厳しい結果となる解析において、地盤物性のばらつきを考慮する。なお、液状化強度については、「液状化影響の検討方針」(平成30年3月20日 第556回審査会合)にて示したとおり、試験結果を踏まえ液状化が発生しやすくなるような保守的な設定(下限値)として設定する。
- 防潮壁は、設置条件等により異なる上部構造を有する構造形式があるが、いずれの構造形式においても岩盤に支持させた鋼管杭による杭基礎構造である。よって、構造物の耐震性は地盤のせん断変形の影響が大きい。
- したがって、ばらつきを考慮する物性値は、地震時のせん断変形を定義する地盤剛性となることから、盛土他ひずみ依存特性を有する地盤の土圧が支配的な箇所においては、初期剛性のばらつきを考慮する。一方、岩盤の変位が支配的となりうる箇所においては、岩盤の動せん断弾性係数のばらつきを考慮する。
- なお、構造をなす部位ごとの地盤物性のばらつきの影響評価や安全係数の設定等、具体的な検討方法や検討ケースについては、工認段階に示す。

(地盤物性のばらつきを考慮した検討方針)

検討ケース		概要	液状化 (液状化強度特性)	地盤剛性
①	基本ケース※1	液状化の影響があるケース	考慮(下限値) (有効応力解析)※2	平均値
		液状化の影響がないケース	非考慮 (全応力解析)※2	平均値
②	ばらつき 検討ケース	地盤物性のばらつきを 考慮(+1σ)したケース	基本ケース※1に 基づき設定	+1σ
③		地盤物性のばらつきを 考慮(-1σ)したケース		-1σ

※1: 液状化の有無による影響を比較し、より保守的となる解析により、上記②, ③の地盤物性のばらつき検討を実施。

※2: 解析モデル及び解析フロー等は参考資料1を参照。

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 5)(3/7)

b. 水平2方向の地震力の考え方

【影響評価対象構造物の抽出】

(① 構造形式の分類)

各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式ごとに分類する。

(② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理)

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

(③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造物形式の抽出)

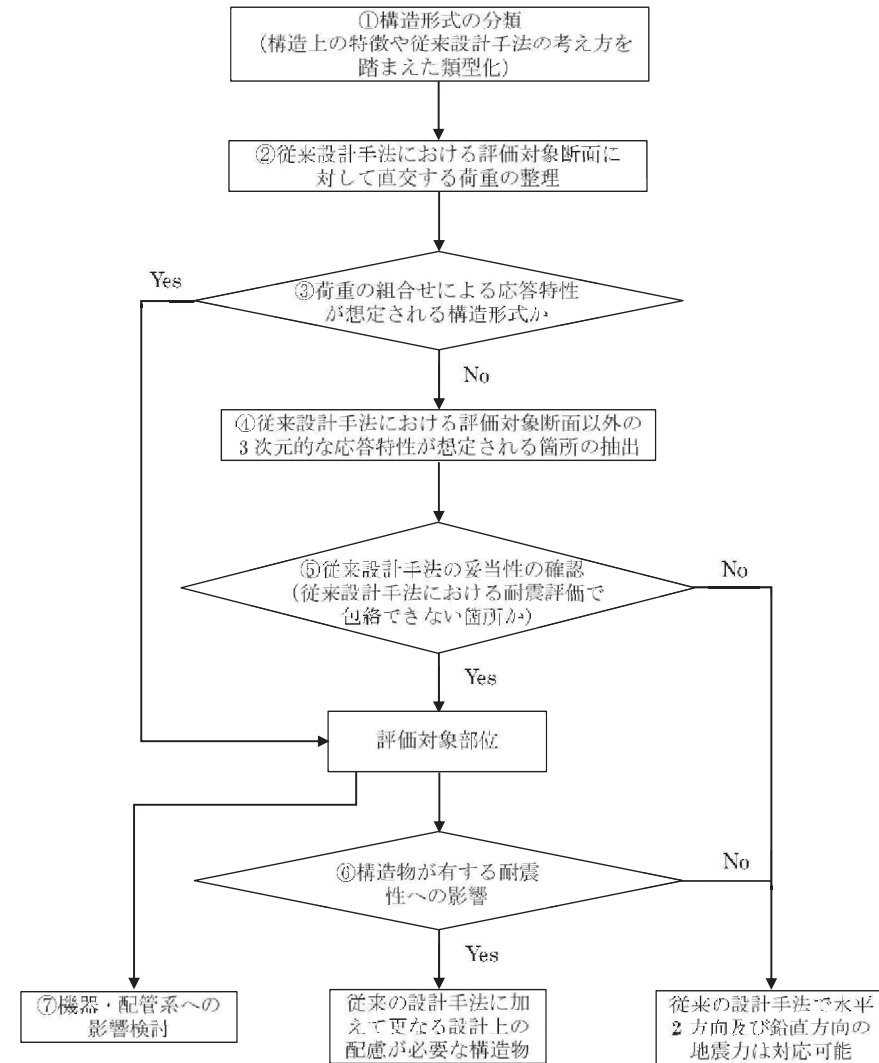
上記②で整理した荷重に対して、構造形式ごとにどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される構造形式を抽出する。

(④ 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出)

上記③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

(⑤ 従来設計手法の妥当性の確認)

上記④で抽出された箇所が、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。



水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価のフロー

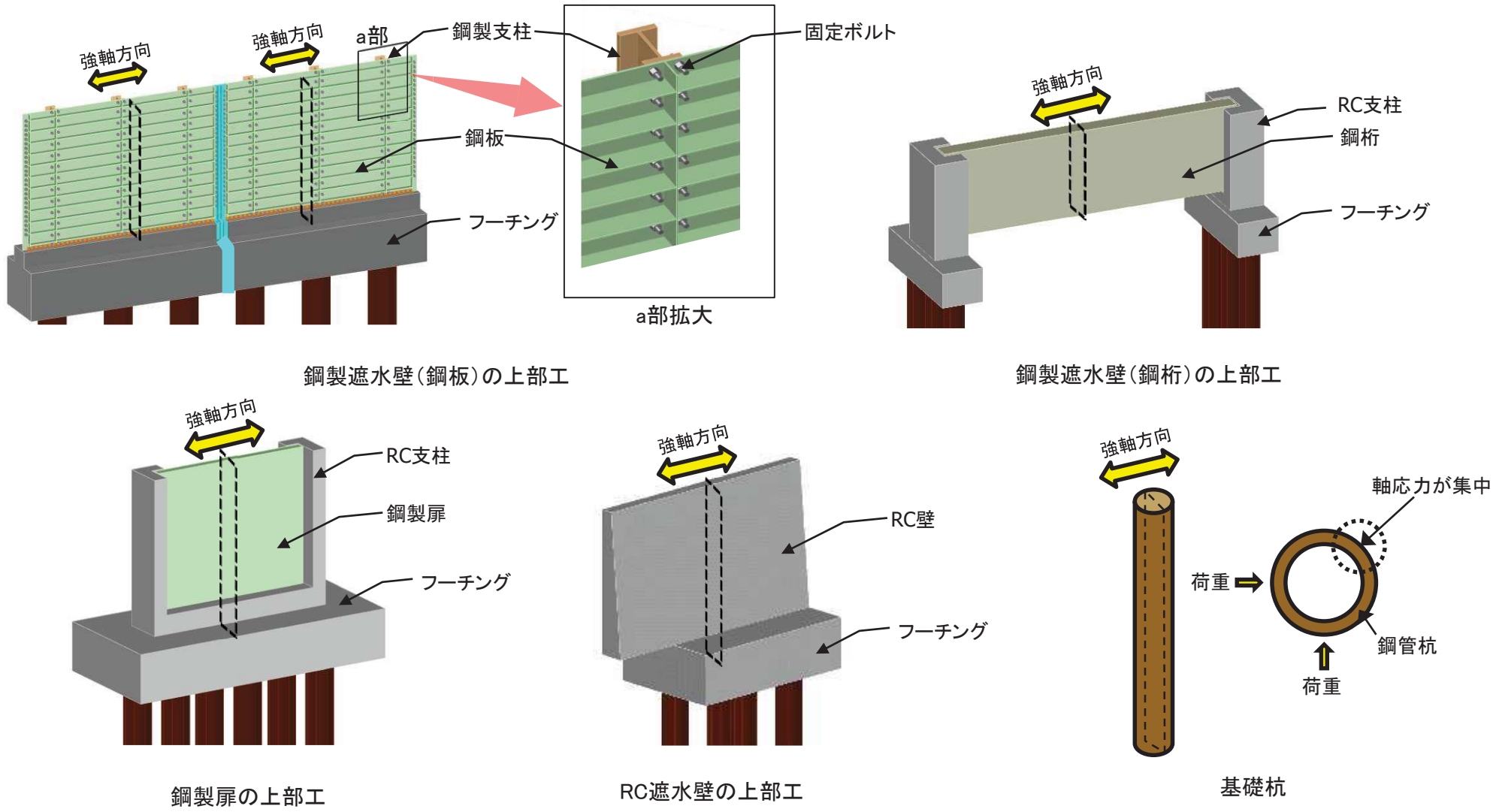
2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 5)(4/7)

【影響評価対象構造物の抽出結果(1/2)】 …フロー①, ②, ③における抽出

対象構造物		構造形式の分類	従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向(強軸方向)の影響	影響検討対象 (○:対象, -:対象外)
上部工・フーチング基礎	鋼製遮水壁 (鋼板)	線状構造	<ul style="list-style-type: none"> 擁壁タイプの線状構造物であり, 妻壁(評価対象断面に対して平行に配置される壁部材)等を有さず, 鋼板は支柱で固定された一体構造であることから, 構造上の特徴として, 明確な弱軸・強軸を示し, 強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 	-
	鋼製遮水壁 (鋼桁)	門型構造	<ul style="list-style-type: none"> 独立したフーチング上の左右のRC支柱と鋼桁により構成される門型構造形式であり, フーチングの基礎杭深さや地盤条件の違いによる3次元的な応答特性が生じる可能性に加え, 妻壁(RC支柱側部や張り出し部)への強軸方向の慣性力等の荷重及びゴム支承構造による鋼桁の強軸方向への変位等が生じることから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 	○
	鋼製扉	門型構造	<ul style="list-style-type: none"> 同一フーチング上の左右のRC支柱に鋼製扉を支持させた門型構造形式であり, 妻壁(RC支柱側部や張り出し部)への強軸方向の慣性力等の荷重が作用することから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 	○
	RC遮水壁	線状構造	<ul style="list-style-type: none"> 擁壁タイプの線状構造物であり, 妻壁(評価対象断面に対して平行に配置される壁部材)等を有さず, RC壁は剛な一体構造であることから, 構造上の特徴として, 明確な弱軸・強軸を示し, 強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 	-
基礎杭	円筒構造	<ul style="list-style-type: none"> 基礎杭(杭頭部含む)には弱軸方向の水平地震力による動土圧と上部工からの荷重に, 強軸方向からの同様の荷重が足し合わされるため, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 	○	

2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 5)(5/7)

【各対象構造物の構造概要図】

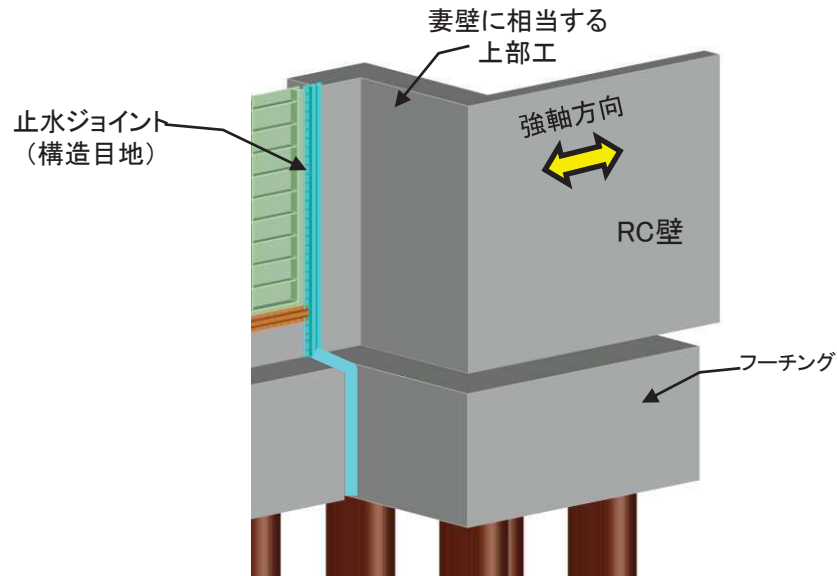


----- 従来設計手法における評価対象断面(弱軸方向)

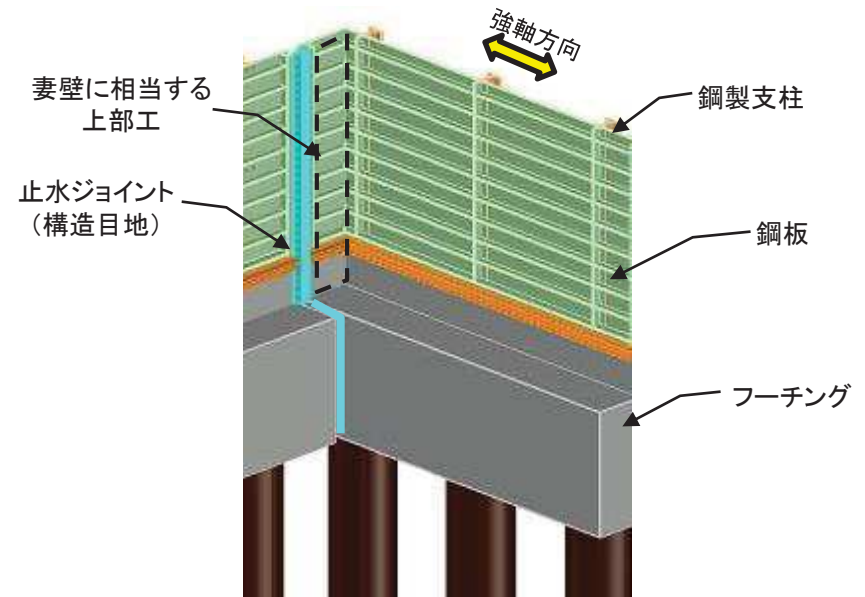
2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 5)(6/7)

【影響評価対象構造物の抽出結果(2/2)】 ……フロー④, ⑤における抽出

対象構造物	構造形式の分類	従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性	影響検討対象 (○:対象, -:対象外)
RC遮水壁 (隅角部)	線状構造 (隅角部)	<ul style="list-style-type: none"> RC遮水壁の隅角部では、妻壁に相当する上部工を有し、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形が想定される。このことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 	○
鋼製遮水壁(鋼板) (隅角部・屈曲部)	線状構造 (隅角部・屈曲部)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁(鋼板)の隅角部・屈曲部では、妻壁に相当する部位の面積は小さく、慣性力の影響も小さい。このことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 	-



RC遮水壁
(隅角部)



鋼製遮水壁(鋼板)
(隅角部)

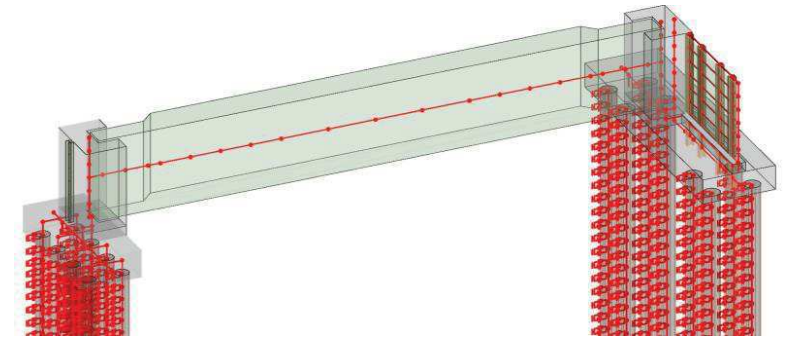
2. 指摘事項に対する回答(指摘事項No. 5)(7/7)

水平2方向と鉛直方向の地震力の組合せ方針

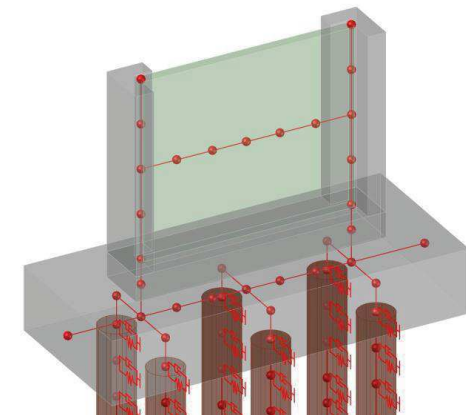
- 従来設計手法での評価対象断面(弱軸方向)の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面(弱軸方向)に直交する断面(強軸方向)の地震応答解析に基づく地震時荷重等を適切に組合せることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

【地震力の組合せ方針】

対象構造物	水平2方向と鉛直方向の地震力の組合せ方針
鋼製遮水壁 (鋼桁)	<ul style="list-style-type: none"> 3次元質点系モデルを用いた地震応答解析において、強軸方向加振にて発生する応力等を弱軸方向断面における評価に付加する等の方法で評価する。
鋼製扉	
基礎杭	<ul style="list-style-type: none"> 3次元質点系モデルを用いた地震応答解析において、強軸方向加振にて発生する応力等を弱軸方向断面における評価に付加する等の方法で評価する。
RC遮水壁 (隅角部)	<ul style="list-style-type: none"> 妻壁に相当する部位を考慮した3次元質点系モデルを用いた地震応答解析において、強軸方向加振にて発生する応力等を弱軸方向断面における評価に付加する等の方法で評価する。



3次元質点系モデルイメージ
(鋼製遮水壁(鋼桁)の例)



3次元質点系モデルイメージ
(鋼製扉の例)

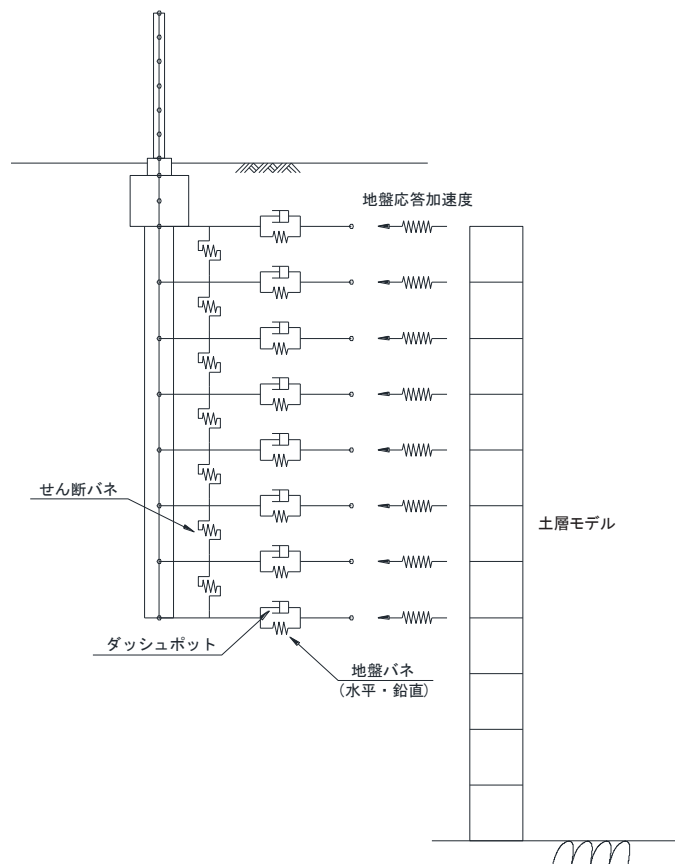
参考資料1 部位毎の設計方針

(第644回審査会合(H30.10.23) 資料1-2-2再掲)

1. 詳細設計における解析手法の基本方針

<地震応答解析>

- 地震応答解析モデルの概要を以下に示す。なお、解析モデルに関する考察と妥当性確認結果を補足説明資料5に示す。
- 各構造形式毎の上部工のモデル化方針は次頁以降に示す。



解析モデルのイメージ

解析手法

上部工の形状や構成部材を考慮し、左記に示す上部工—下部工(杭)—地盤の連成モデルにて地震応答解析を行う。

入力地震動

当該地盤の地質構造や弾性波速度構造等を考慮した地盤モデルを用い、地震応答解析により入力地震動を作成する。

モデル化

構造物

上部工(遮水壁・支柱・フーチング)・下部工(杭)
 ……質点とはり要素でモデル化する。なお、応答値が部材の弾性範囲内に収めるように設計を行っているため、線形要素とする。
 鉛直支承(ゴム)・水平支承(ゴム) (鋼桁部のみ)
 ……バネとしてモデル化する。

地盤

・地盤をモデル化し、地盤ばねとダッシュポットで躯体と連成させる。
 ・なお、杭周地盤ばねは、キャスク規程に基づき、Francis・Randolfのばねにて地盤ばねを設定する。

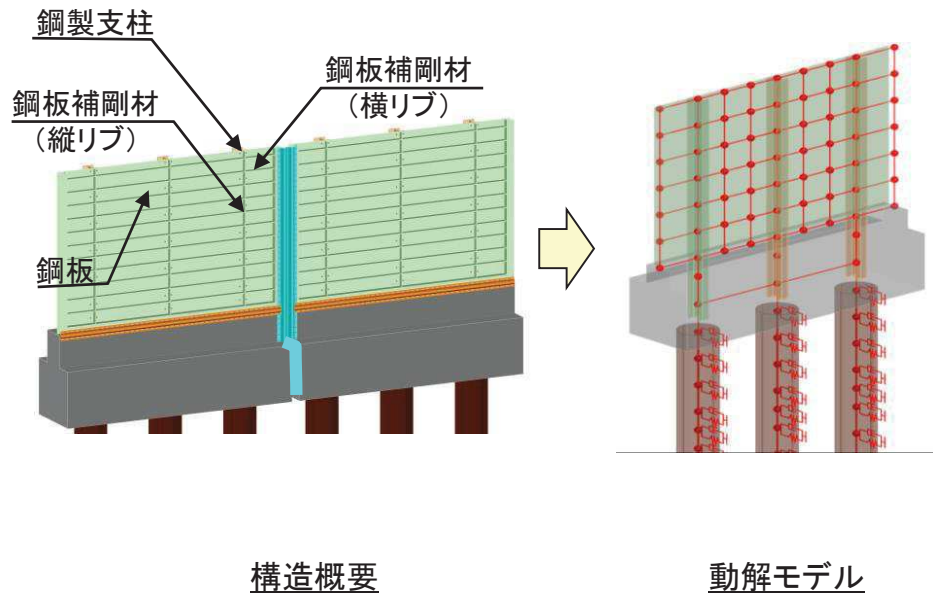
2. 鋼製遮水壁(鋼板)の設計方針(1/2)

- 鋼製遮水壁(鋼板)の上部工のモデル化に関する基本方針及び設計手順を以下に示す。

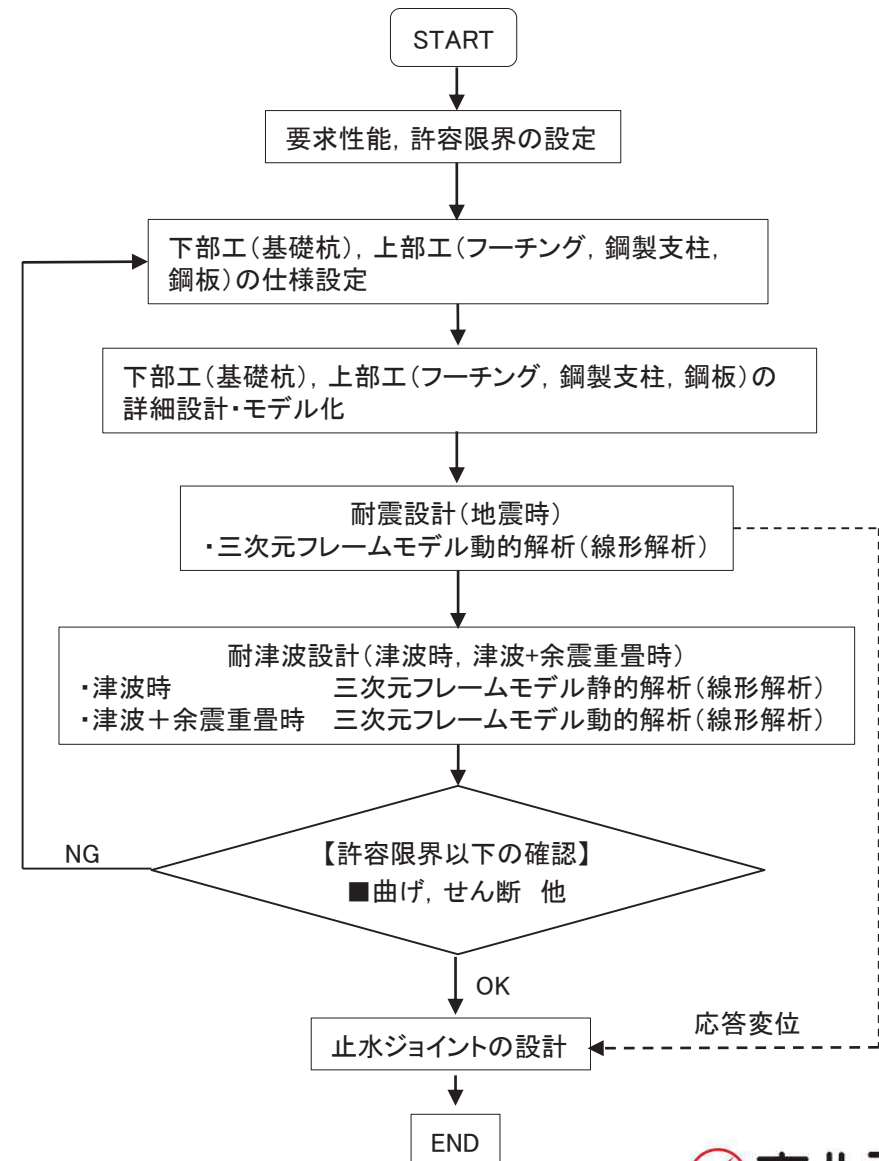
上部工モデル化基本方針

- 鋼製遮水壁(鋼板)は、強度かつ遮水性のある鋼板を、基礎フーチング上に設置したH形鋼にbolt接合され、鋼板と基礎フーチング間についても、構造的に分離させた構造としている。
- よって、上部工の地震時の挙動としては、剛性と質量が異なる鋼板と鋼製支柱が、地震動により一体的に応答するモードとなることから、下記に示す様な質点系モデルにより地震応答解析を行うことで、その動的挙動を適切に評価することが可能である。

(鋼製支柱をフーチングから立ち上がる梁として、また、鋼板は縦リブと横リブに沿って格子状に梁でモデル化し、それぞれの剛性を与え、縦リブと横リブの節点に重量を付与する)

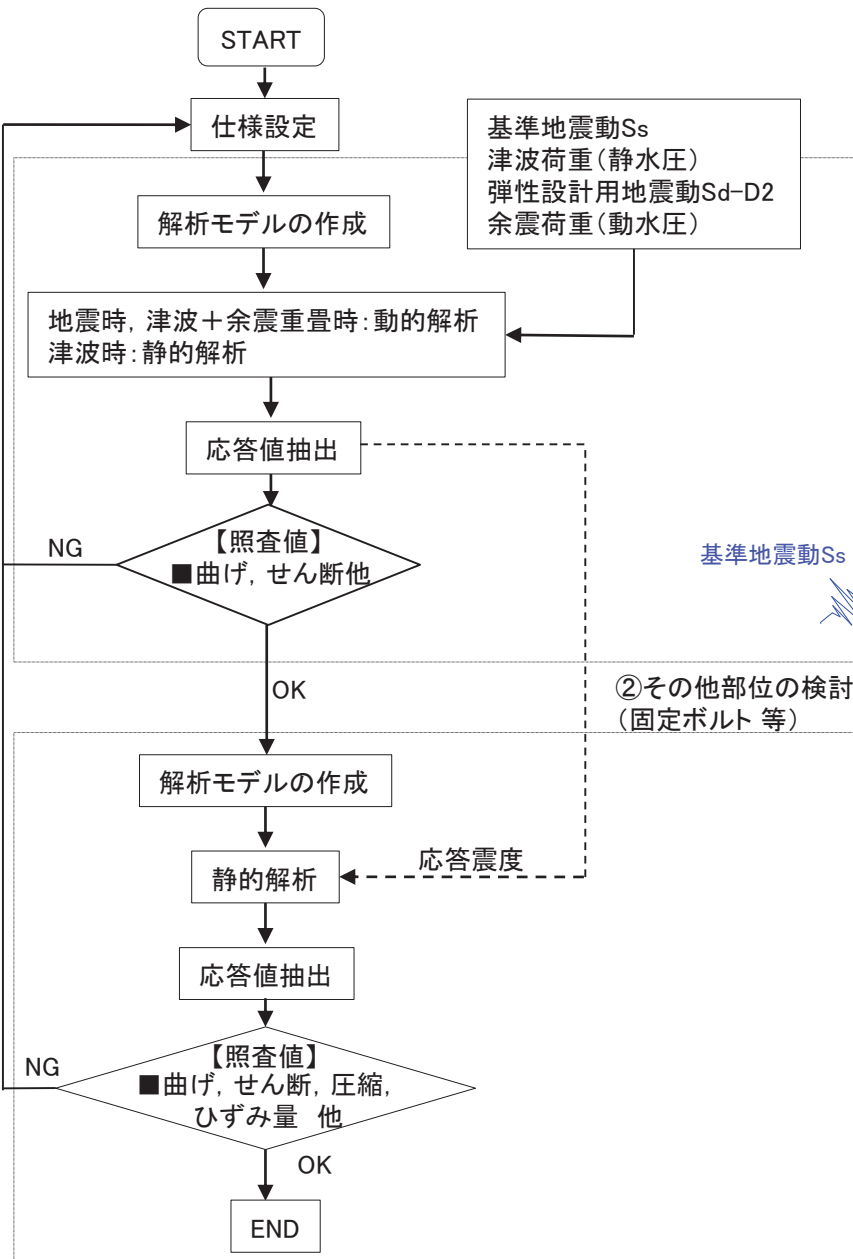


設計手順

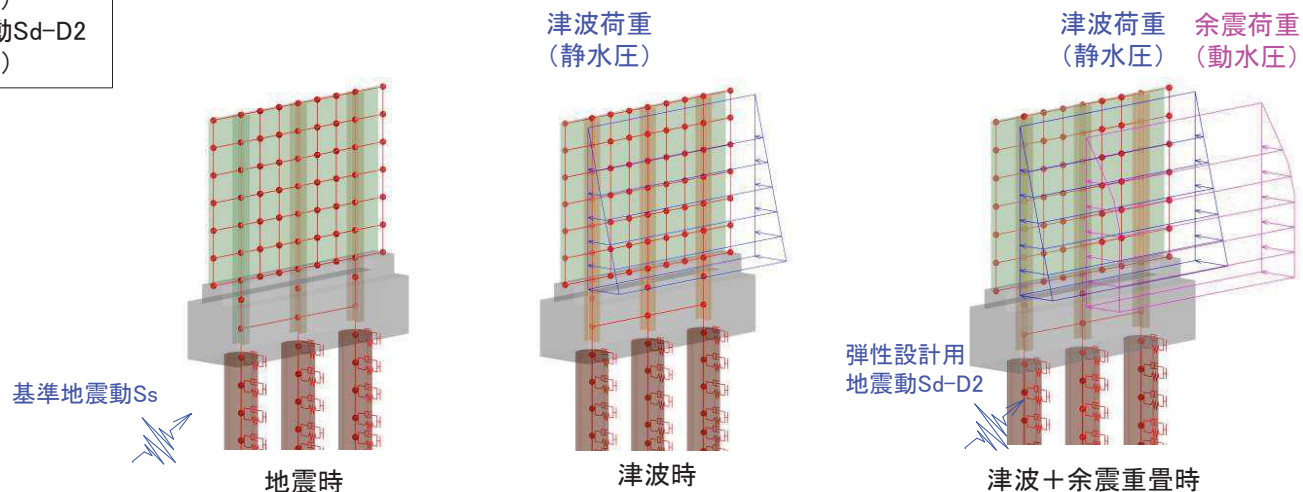


2. 鋼製遮水壁(鋼板)の設計方針(2/2)

・鋼製遮水壁(鋼板)の解析フローを以下に示す。



①上部工(フーチング, 鋼製支柱, 鋼板)・下部工(基礎杭)の検討



②その他部位の検討
(固定ボルト等)

<液状化に関する評価>

- 地震応答解析における液状化影響評価については、「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計(日本建築学会)」を参照し、下記の手順にて地盤ばねに考慮する。
- なお、防潮壁の設計にあたっては、地下水位以深の全ての盛土、旧表土層に対して地震による繰返し軟化の影響を考慮するために、最大過剰間隙水圧に基づき、バネ値算定に用いる地盤剛性を低減させる。

「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計(日本建築学会)」に基づく計算方法(P.76より抜粋)

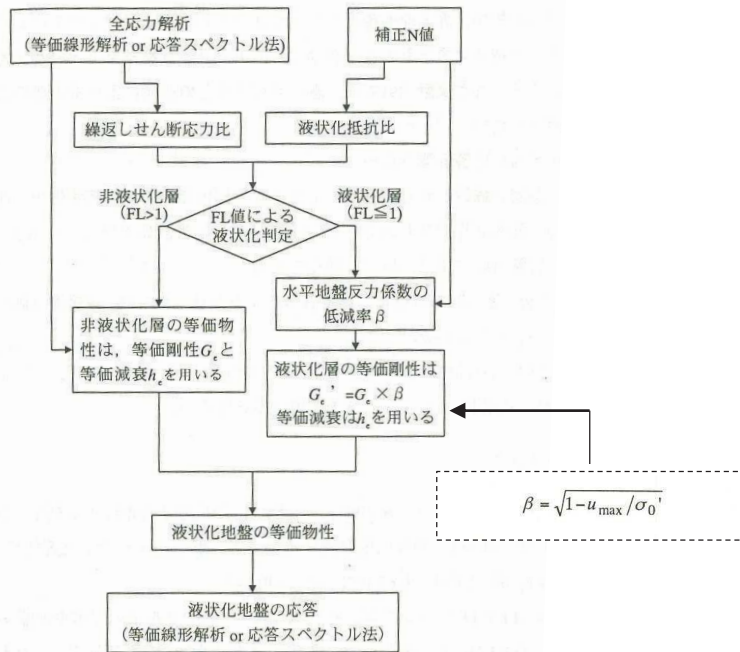
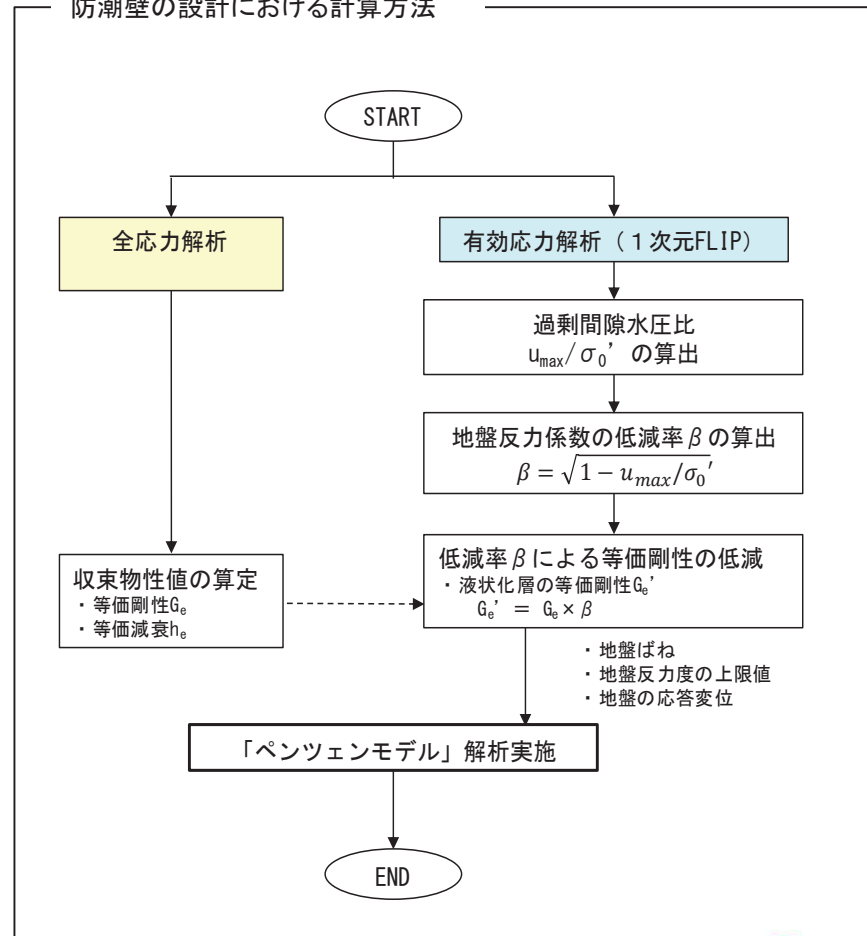


図 3.3.1 液状化地盤の応答計算フロー

防潮壁の設計における計算方法



参考文献

1. 山留め設計指針 平成29年 日本建築学会
2. 設計者のための免震用積層ゴムハンドブック ((社)日本ゴム協会)
3. 免震積層ゴム入門 (日本免震構造協会)
4. 道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編, Ⅱ 鋼橋編, Ⅳ 下部構造編, Ⅴ 耐震設計編) ((社)日本道路協会 H14.3)
5. 道路橋支承便覧((社)日本道路協会 H16.3)
6. 気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>