

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-他-067改16
提出年月日	2023年2月20日

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

2023年2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。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. (主な説明事項)	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-5(1)	防波壁に設置する漂流物対策工の詳細設計結果	P.3～11
	1-5(2)	防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工の詳細設計結果	P.3,4 P.12～15
	1-5(3)	漂流防止装置（ 係船柱 杭基礎における耐震評価）	P.16～19
	1-9(1)	防波壁（波返重力擁壁におけるケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明）	P.21～25
	1-9(2)	防波壁（波返重力擁壁における3次元静的 F E M解析によるケーソンの健全性評価）	P.26～33
[4] その他の詳細設計に係る説明事項	4-6(1)	制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用	P.34～ 46
	4-6(2)	原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更	P. 47 ～ 52

工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について

■ その他説明内容

- 工事計画認可申請（補正）に係る論点について、**審査の中で説明を行った以下の主な説明事項の確認結果を説明**する。

【建物・構築物関係】

分類	No. (主な説明事項)	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-10	土石流影響評価	P.54～55

【プラント関係】

分類	No. (主な説明事項)	項目	回答頁
[2] 新たな規制要求（バックフィット）への対応事項	2-2	火災感知器の配置	別途提示
[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	別途提示
	3-3	第4 保管エリアの形状変更	別途提示
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更	別途提示
	3-5	【新規追加】除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う浸水防止設備の変更	別途提示

【1-5】漂流物対策工（1/2）

【漂流物対策工の概要】

- ▶ 防波壁及び防波壁通路防波扉において，漂流物衝突荷重を分散して伝達すること及び漂流物衝突荷重による局所的な損傷を防止すること又は漂流物が直接衝突しないことを目的として，漂流物対策工を設置する（表1）。
- ▶ 防波壁に設置する漂流物対策工は，厚さ**0.5m**程度の鉄筋コンクリート版及びアンカーボルトにより構成する構造（以下「漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）」という。）と，防波壁（逆T擁壁）に設置される漂流物対策工のうち，グラウンドアンカを設置している範囲は鋼材及びアンカーボルトにより構成する構造（以下「漂流物対策工（鋼材）」という。）に区分される（図1）。
- ▶ 防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工は，鋼材及び鉄筋コンクリートにより構成する構造とする（図2）。

表1 漂流物対策工の区分

設置箇所	区分	目的
防波壁	漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）	・漂流物衝突荷重を分散して防波壁に伝達する。 ・漂流物衝突荷重による防波壁の局所的な損傷を防止する。
	漂流物対策工（鋼材）	・漂流物をグラウンドアンカに衝突させない。
防波壁通路防波扉		・漂流物を防波壁通路防波扉に衝突させない。

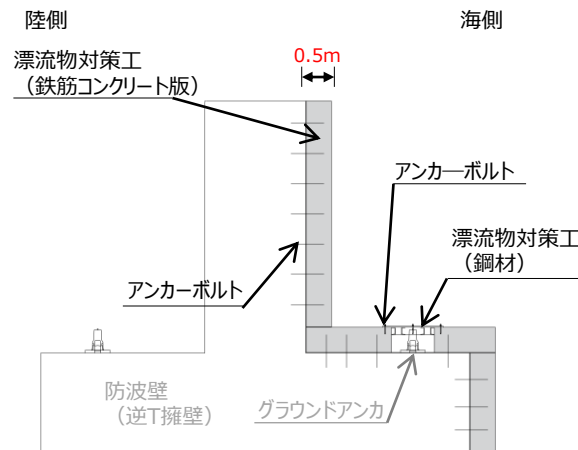


図1 防波壁に設置する漂流物対策工

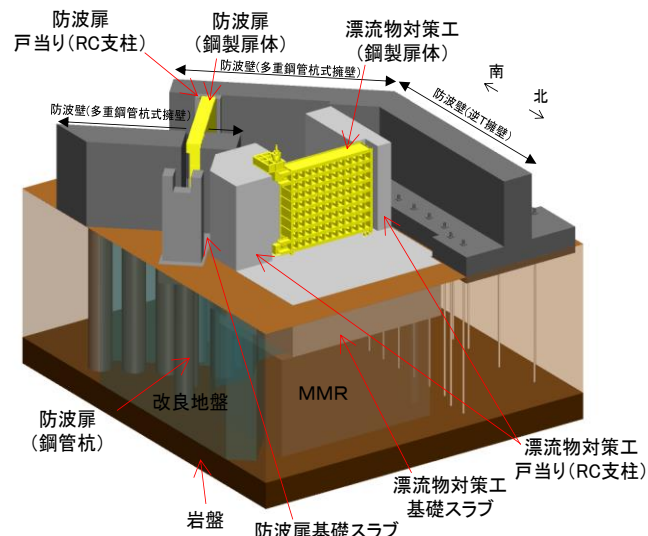


図2 防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工

【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

- 漂流物衝突荷重については、第1067,1096回審査会合にて説明済。
- 防波壁に設置する漂流物対策工は、要求機能として、漂流物衝突荷重を分散して防波壁に伝達し、防波壁の局所的な損傷を防止する、又はグラウンドアンカに漂流物が直接衝突しないよう、防波壁の一部として漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）を設置する。また、設置変更許可審査においては、性能目標として鉄筋コンクリート版がせん断破壊しないこと及び鋼材が破断しないこととしていたが、詳細設計段階においては、許容限界はおおむね弾性状態にとどめるよう方針を変更した。耐震評価及び強度評価を実施した結果、各部材に発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認した。（P.5～11）
- 防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工は、要求機能として、防波扉（荷揚場南、3号機東側）に漁船等の漂流物が直接衝突しないよう、防波扉の前面に、防波扉の一部として漂流物対策工を設置する。耐震評価及び強度評価を実施した結果、各部材に発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認した。（P.12～15）

【1-5（1）】防波壁に設置する漂流物対策工の詳細設計結果

【1-5 (1)】防波壁に設置する漂流物対策工の詳細設計結果 (1/6)

【漂流物対策工の構造概要】

- ▶ 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の配置図，構造概要及び主要な構造図を示す（表1，図1，図2，図3）。
- ▶ なお，防波壁（波返重力擁壁）のうちケーソンの前壁背面がコンクリートで充填されていないケーソンについて，ケーソンの前面に漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）を設置する。

表1 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の設置箇所と構造概要

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版） 設置箇所	鉄筋コンクリート版		アンカーボルト		
	厚さ	高さ	径	標準本数 (幅1mあたり)	
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	0.5m*1	6.6m*1	D16	11本	
防波壁（波返重力擁壁）		重力擁壁	6.5m*1	D19	9本
		ケーソン	14.0m*2	D19	17本
防波壁（逆T擁壁）		縦壁	4.5m	D16	7本
		フーチング上面	-	D16	6本
		フーチング側壁	2.0m	D16	3本

注記*1： 代表的な数値を記載

*2： ケーソンに設置する漂流物対策工のうち最大寸法を記載

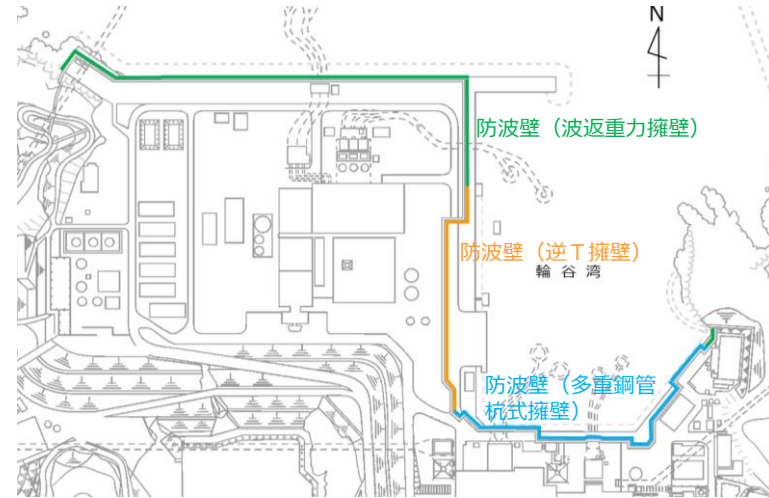


図1 漂流物対策工の配置図

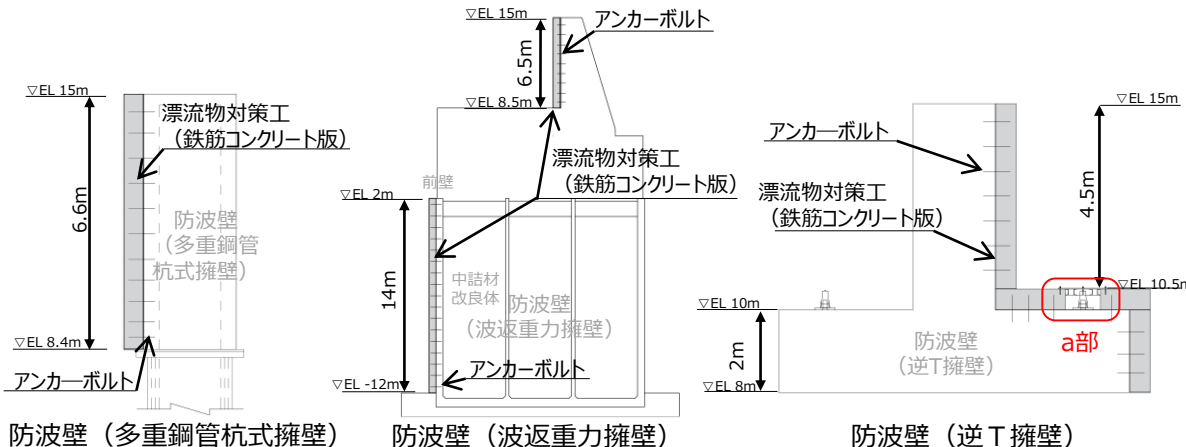


図2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造図

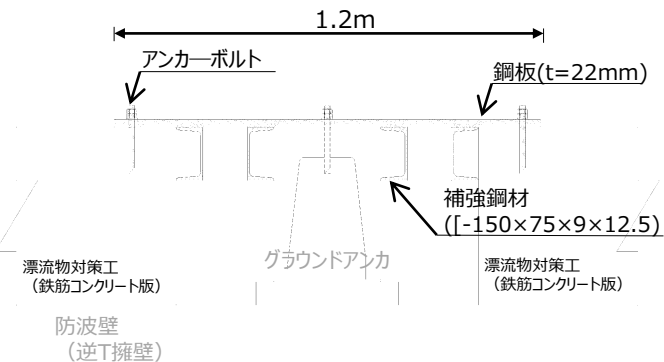


図3 漂流物対策工（鋼材）の構造図

【1-5 (1)】防波壁に設置する漂流物対策工の詳細設計結果 (2/6)

【漂流物対策工の役割及び性能目標】

- 防波壁に設置する漂流物対策工は、要求機能として、漂流物衝突荷重を分散して防波壁に伝達し、防波壁の局所的な損傷を防止する、又はグラウンドアンカに漂流物が直接衝突しないよう、防波壁の一部として漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）を設置する。
- 設置変更許可審査においては、性能目標として鉄筋コンクリート版がせん断破壊しないこと及び鋼材が破断しないこととしていたが、詳細設計段階においては、許容限界はおおむね弾性状態にとどめるよう方針を変更した（表2，表3）。

表2 漂流物対策工の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鉄筋コンクリート版	・役割に期待しない。 (防波壁の解析モデルに重量として考慮し、防波壁への影響を考慮する)	・漂流物衝突荷重を分散して防波壁に伝達する。 ・漂流物衝突荷重による防波壁の局所的な損傷を防止する。
	鋼材	・役割に期待しない。 (防波壁の解析モデルに重量として考慮し、防波壁への影響を考慮する)	・漂流物をグラウンドアンカに衝突させない。
	アンカーボルト	・鉄筋コンクリート版を固定する。 ・鋼材を固定する。	・鉄筋コンクリート版を固定する。 ・鋼材を固定する。

表3 漂流物対策工の各部位の性能目標

部位		性能目標		許容限界
		耐震性	耐津波性	
施設	鉄筋コンクリート版	-	漂流物衝突荷重を分散して防波壁に伝達するために、鉄筋コンクリート版がせん断破壊しないこと。	短期許容応力度
	鋼材	-	漂流物衝突荷重をグラウンドアンカに伝達させないために鋼材が破断しないこと。	短期許容応力度
	アンカーボルト	鉄筋コンクリート版及び鋼材が防波壁から分離しないために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。	鉄筋コンクリート版及び鋼材が防波壁から分離しないために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。	短期許容応力度

【1-5 (1)】防波壁に設置する漂流物対策工の詳細設計結果 (3/6)

【漂流物対策工の耐震評価】

- 漂流物対策工の耐震評価は、防波壁の地震応答解析結果に基づき、地震時の慣性力により漂流物対策工が防波壁から分離しないことを確認する。

【漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価方法】

- 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）はアンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価を実施し、各部材に発生する応力が、短期許容応力度以下であることを確認する（図4）。
- 荷重について、防波壁の地震応答解析結果より**求まる慣性力を考慮する**。また、ケーソンに設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は海中に設置するため、静水圧及び動水圧についても考慮する。

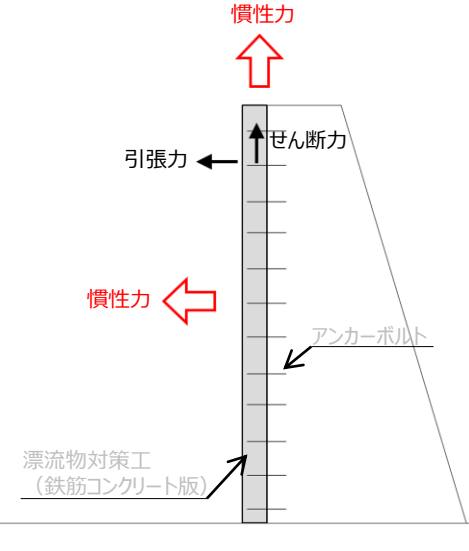


図4 アンカーボルトに生じる発生力等のイメージ図

【漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価結果】

- 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）について、最大照査値となる評価対象部位及び照査値を表4、表5に示す。評価対象部位について、許容限界以下であることを確認した。

表4 アンカーボルトの引張力に対する耐震評価結果

設置箇所	引張力 (a) (kN/本)	許容限界* (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	18.5	42.3	0.44
防波壁 (逆T擁壁)	13.1	42.3	0.31
防波壁 (波返重力擁壁)	30.7	60.2	0.52

表5 アンカーボルトのせん断力に対する耐震評価結果

設置箇所	せん断力 (a) (kN/本)	許容限界* (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	6.0	47.9	0.13
防波壁 (逆T擁壁)	12.3	47.9	0.26
防波壁 (波返重力擁壁)	31.6	69.1	0.46

注記* : 「各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010年)」に基づき設定

【1-5 (1)】防波壁に設置する漂流物対策工の詳細設計結果 (4/6)

【漂流物対策工 (鋼材) の耐震評価方法】

- 漂流物対策工 (鋼材) は鋼板に補強鋼材を格子状に配置した構造であることから、3次元構造解析により耐震評価を行う (図5)。3次元構造解析は、**防波壁 (逆T擁壁) の地震応答解析結果より求まる慣性力**を、3次元構造解析モデルに入力することで、漂流物対策工 (鋼材) の耐震評価を実施する (図6)。
- 漂流物対策工 (鋼材) は鋼板、補強鋼材及びアンカーボルトについて、3次元構造解析より得られた発生応力が許容限界以下であることを確認する (図7)。

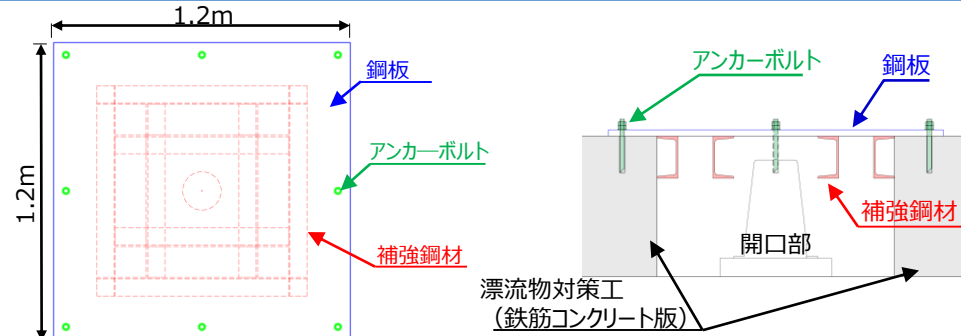


図5 漂流物対策工 (鋼材) の平面図及び断面図

【漂流物対策工 (鋼材) の耐震評価結果】

- 漂流物対策工 (鋼材) の耐震評価結果を表6に示す。評価対象部位について、許容限界以下であることを確認した。

表6 漂流物対策工 (鋼材) の耐震評価結果

評価対象部位		発生値		許容限界*		照査値
鋼板	曲げ応力度	4.5	N/mm ²	210	N/mm ²	0.03
	せん断応力度	0.4	N/mm ²	120	N/mm ²	0.01
補強鋼材	曲げ応力度	1.5	N/mm ²	210	N/mm ²	0.01
	せん断応力度	0.4	N/mm ²	120	N/mm ²	0.01
アンカーボルト	引張力	1.5	kN	29.3	kN	0.06
	せん断力	2.0	kN	24.8	kN	0.09

注記* : 「道路橋示方書 (I共通編・IV下部構造編) ・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月)」に基づき設定

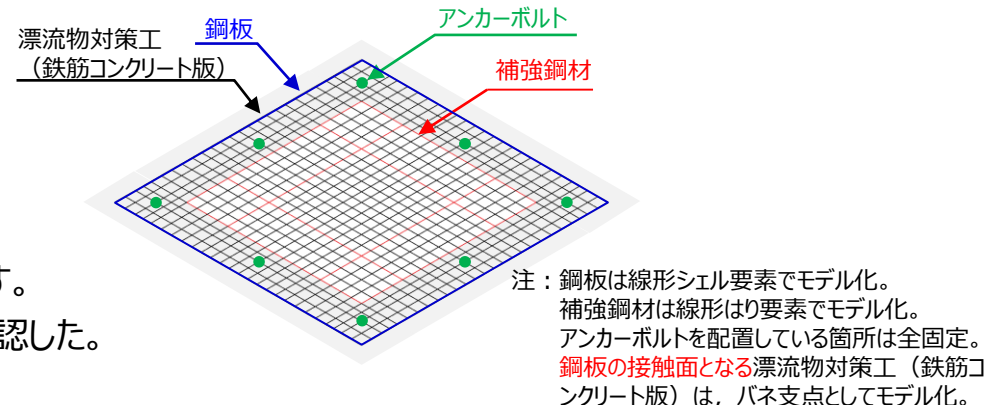


図6 漂流物対策工 (鋼材) の3次元構造解析モデル

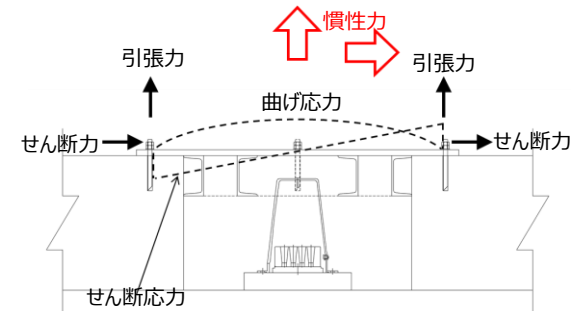


図7 各部材に生じる発生力等のイメージ図

【漂流物対策工の強度評価】

- 津波時及び重畳時の荷重に対して、漂流物対策工を構成する鉄筋コンクリート版がせん断破壊又は鋼材が破断しないことを確認する。

【漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度評価方法】

- 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は漂流物が直接衝突することから、局所的な損傷による影響が大きいため、鉄筋コンクリート版の押抜きせん断に対する強度計算を実施し、発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する。
- 荷重について、津波時の遡上津波荷重及び風荷重に加えて、局所的な漂流物衝突荷重（1,200kN）を考慮する（図8，図9）。また、ケーソンに設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は海中に設置するため、静水圧についても考慮する。

【漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度評価結果】

- 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度評価結果を表7に示す。評価対象部位について、許容限界以下であることを確認した。

表7 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度評価結果

評価部位		発生値		許容限界*1		照査値
鉄筋 コンクリート版	押抜き せん断	0.48	N/mm ²	1.35	N/mm ²	0.36
		0.71*2	N/mm ²	1.35	N/mm ²	0.53*2

注記*1：「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】（土木学会，2002年制定）」に基づき設定

*2：漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の端部に漂流物が衝突した場合

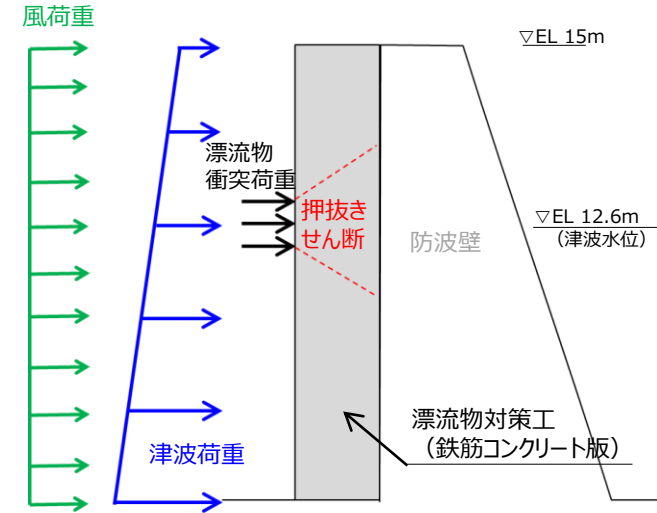


図8 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）に生じる発生力等のイメージ図

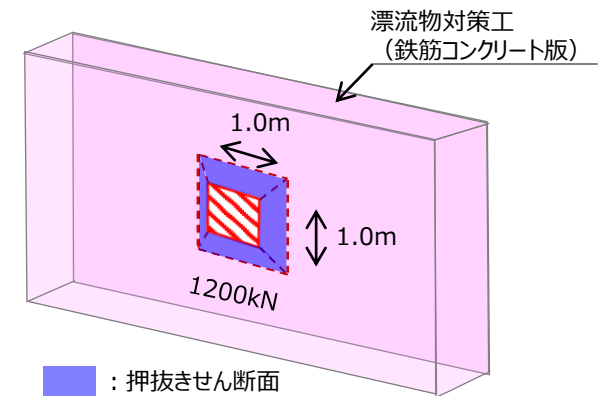


図9 局所的な衝突荷重の載荷方法

【漂流物対策工（鋼材）の強度評価方法】

- 漂流物対策工（鋼材）は耐震計算と同様、3次元構造解析により強度評価を行う。漂流物対策工（鋼材）は鋼板、補強鋼材及びアンカーボルトについて、3次元構造解析より得られた発生応力が許容限界以下であることを確認する。
- 荷重について、津波荷重（静水圧）に加えて、**局所的な漂流物衝突荷重（1,200kN）**を考慮する（図10）。

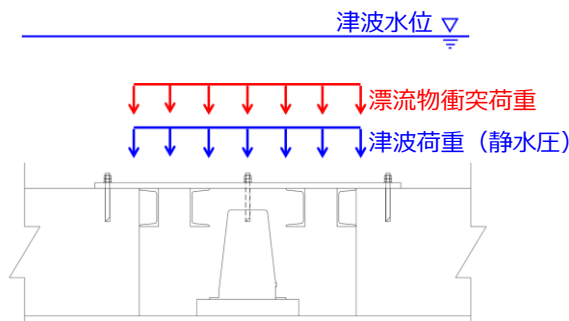


図10 漂流物対策工（鋼材）における荷重の作用イメージ図

【漂流物対策工（鋼材）の強度評価結果】

- 漂流物対策工（鋼材）の強度評価結果を表8に示す。評価対象部位について、許容限界以下であることを確認した。

表8 漂流物対策工（鋼材）の強度評価結果

評価部位		発生値		許容限界*		照査値
鋼板	曲げ応力度	118.5	N/mm ²	210	N/mm ²	0.57
	せん断応力度	8.0	N/mm ²	120	N/mm ²	0.07
補強鋼材	曲げ応力度	132.8	N/mm ²	210	N/mm ²	0.64
	せん断応力度	20.5	N/mm ²	120	N/mm ²	0.18
アンカーボルト	引張力	12.2	kN	29.3	kN	0.42
	せん断力	0.0	kN	24.8	kN	0.00

注記* 「道路橋示方書（I共通編・IV下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定

【1-5（2）】防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工の詳細設計結果

【1-5 (2)】防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工の詳細設計結果 (1/3)

1. 防波扉に設置する漂流物対策工の設計方針

- 防波扉（荷揚場南）及び防波扉（3号機東側）は、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しないよう前面に、防波扉の一部として漂流物対策工を設置する。
（図1，図2，図3）
- 防波扉に設置する漂流物対策工を構成する各部位については、短期許容応力度を許容限界として、耐震評価結果及び強度評価結果を示す。

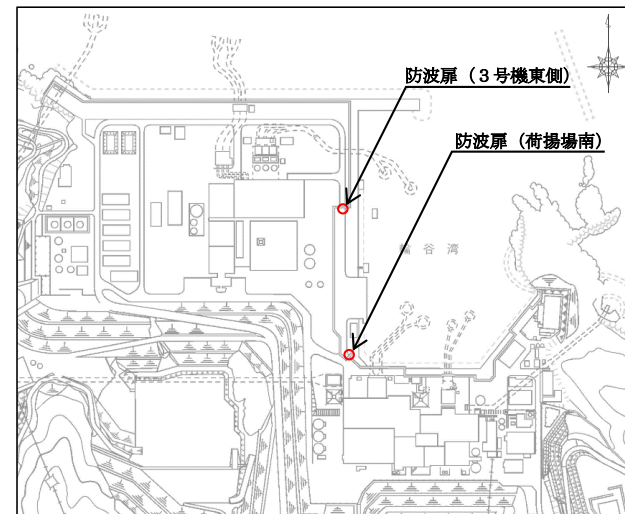


図1 防波扉の位置図

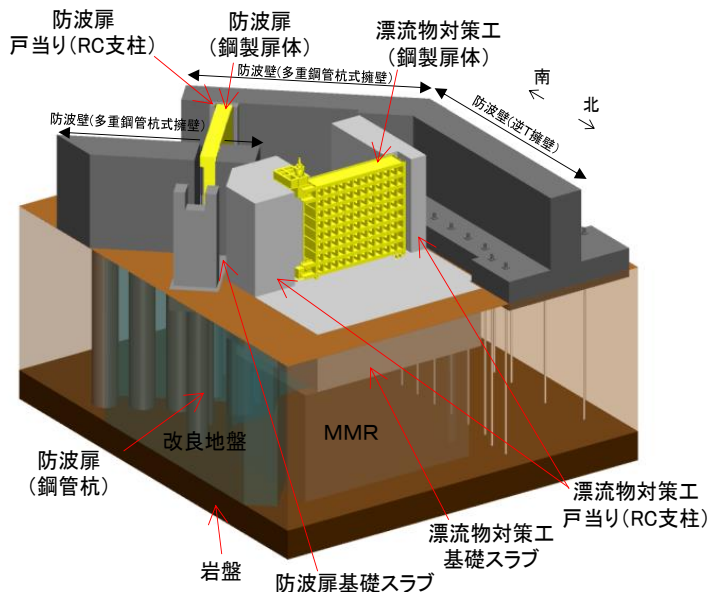


図2 防波扉（荷揚場南）の構造概要図

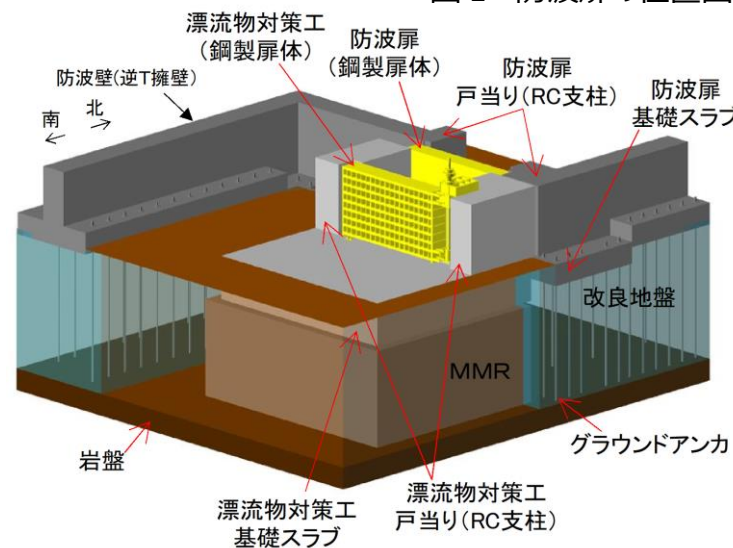


図3 防波扉（3号機東側）の構造概要図

【1-5 (2)】防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工の詳細設計結果 (2/3)

2. 防波扉に設置する漂流物対策工の耐震評価及び強度評価の方法

- 耐震評価及び強度評価は、弱軸方向となる防波扉及び漂流物対策工の扉体軸直交方向に評価対象断面を設定したうえで、2次元有限要素法により表1の荷重を考慮して解析を行い、施設に生じる応力が許容限界以下となることを確認した。
- 荷揚場南の評価対象断面については、液状化への影響及び安定性への影響の観点から、耐震評価上保守的な設定であることを確認した。

表1 漂流物対策工に対する荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	$G + P_s + P_k + S_s$
津波時	$G + P_s + P_k + P_t + P_c$

ここで、
 G : 固定荷重 P_s : 積雪荷重
 P_k : 風荷重 P_t : 遡上津波荷重
 P_c : 衝突荷重 S_s : 地震荷重

: 岩盤 (第1速度層)	: 埋戻土	: 構造物 (線材)	: 構造物 (平面ひずみ要素)
: 岩盤 (第2速度層)	: MMR	: グラウンドアンカ (自由長部)	: ジョイント要素
: 岩盤 (第3速度層)	: 改良地盤①②	: グラウンドアンカ (拘束長部)	: 水位
: 岩盤 (第4速度層)	: 改良地盤③		
: 岩盤 (第5速度層)			

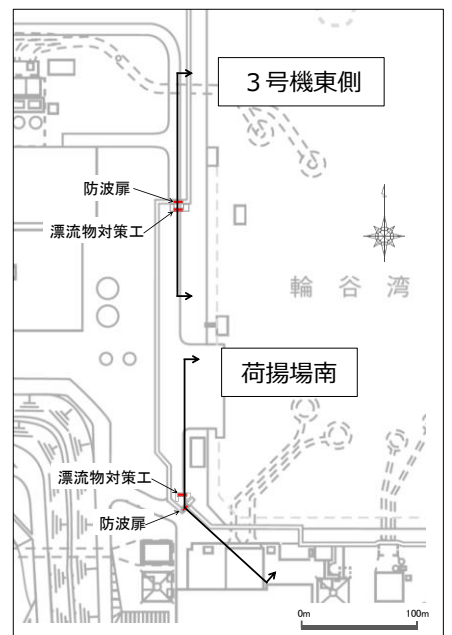
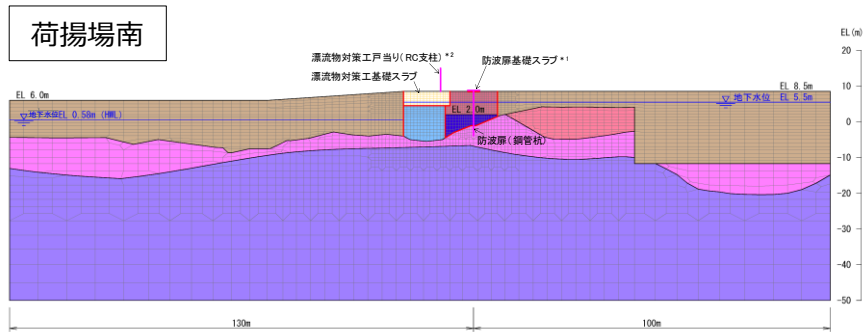
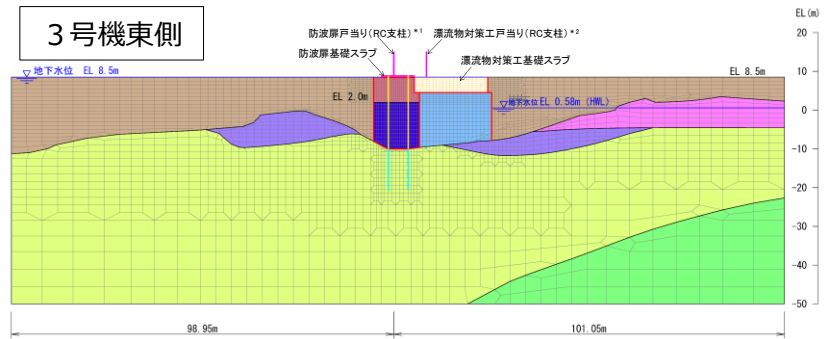


図4 評価対象断面位置図



注記 *1: 線形はり要素の中心において、防波扉(鋼製扉体)を付加重量として考慮する。
 *2: 線形はり要素の上下端(上・下部支承部位置)において、漂流物対策工(鋼製扉体)を付加重量として考慮する。

図5 2次元解析モデル図 (荷揚場南)



注記 *1: 線形はり要素の全体の節点において、防波扉(鋼製扉体)を付加重量として考慮する。
 *2: 線形はり要素の上下端(上・下部支承部位置)において、漂流物対策工(鋼製扉体)を付加重量として考慮する。

図6 2次元解析モデル図 (3号機東側)

【1-5 (2)】防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工の詳細設計結果 (3/3)

3. 防波扉に設置する漂流物対策工の耐震評価及び強度評価の結果

➤ 防波扉（荷揚場南）及び防波扉（3号機東側）における漂流物対策工については、耐震評価及び強度評価において、施設・地盤の構造健全性を保持すること及び十分な支持性能を有する地盤に設置していることを確認した。

表2 耐震評価結果

部位		種別	地震波	照査値*1
漂流物対策工 (荷揚場南)	鋼製扉体	支圧 (支圧板)	Ss*2	0.739
	戸当り(RC支柱)	せん断	Ss-D(--)	0.451
	基礎スラブ	せん断	Ss-D(+/-)	0.394
漂流物対策工 (3号機東側)	鋼製扉体	支圧 (アンカープレート)	Ss*2	0.841
	戸当り(RC支柱)	せん断	Ss-N1(-/+)	0.440
	基礎スラブ	せん断	Ss-N1(++)	0.393

表3 強度評価結果

部位		種別	照査値*1
漂流物対策工 (荷揚場南)	鋼製扉体	せん断 (戸当り)	0.550
	戸当り(RC支柱)	せん断	0.463
	基礎スラブ	せん断	0.273
漂流物対策工 (3号機東側)	鋼製扉体	せん断 (戸当り)	0.867
	戸当り(RC支柱)	せん断	0.521
	基礎スラブ	せん断	0.317

注記*1: 各部位の照査値は、評価結果のうち最も照査値が厳しいケースのみ記載している。

*2: 鋼製扉体の設置床における全地震波Ssの最大応答加速度から設計震度を設定して評価している。

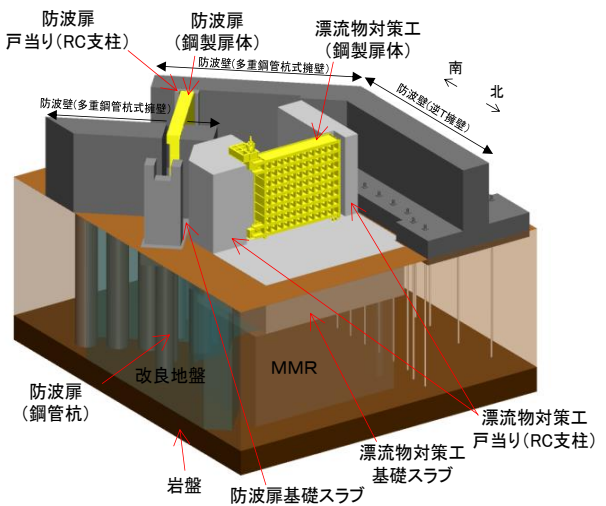


図7 防波扉（荷揚場南）の構造概要図

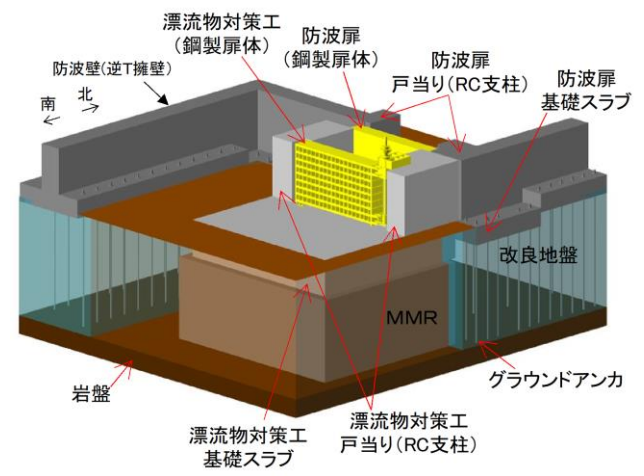


図8 防波扉（3号機東側）の構造概要図

【1-5（3）】漂流防止装置（**係船柱**杭基礎における耐震評価）

【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】

- 燃料等輸送船を漂流させない対策として、船舶の係留索を固定する係船柱を漂流防止装置として位置付けるとともに、図1に示す位置に、多重鋼管杭を基礎として耐震性を有する漂流防止装置を迫設することとした。
- また、多重鋼管杭は図2に示すとおり、鋼管を多重化して鋼管内をコンクリート及びモルタルで充填し、岩盤に支持させる構造（根入れ深さ：13.0m）とし、上部に漂流防止装置として係船柱を設置する。
- 係船柱杭基礎の設計にあたっては、基準地震動Ssによって発生する応力が短期許容応力度以下となることを確認する。

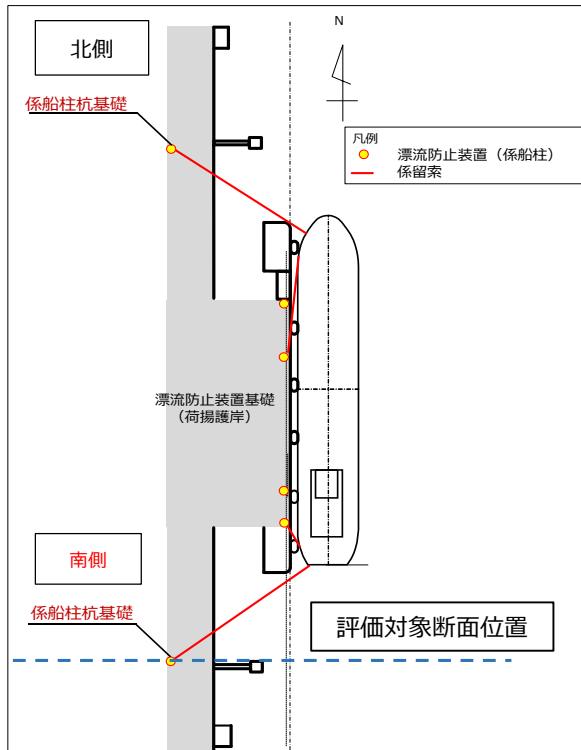
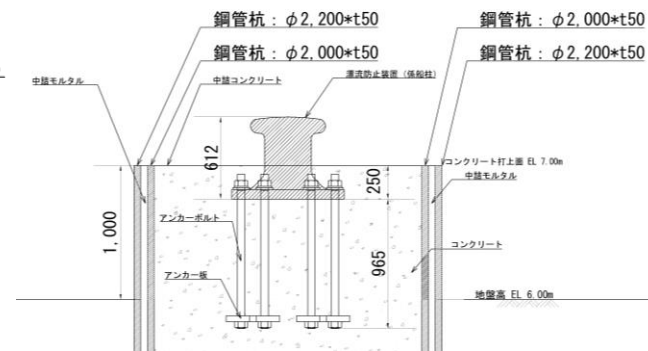
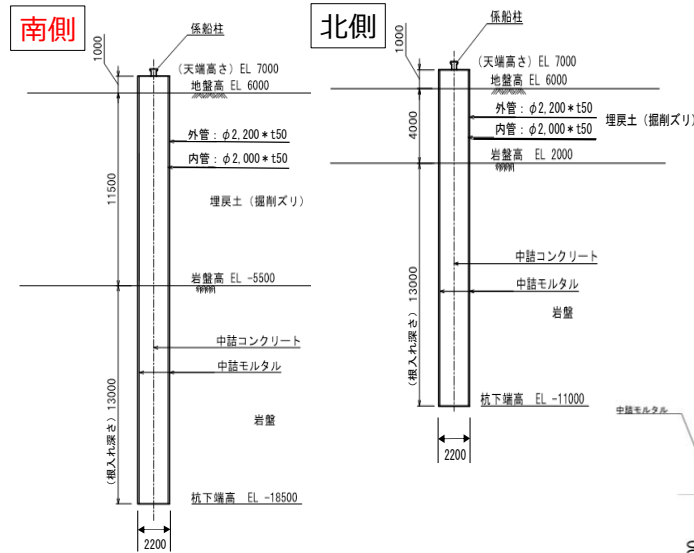


図1 係船柱杭基礎の設置位置



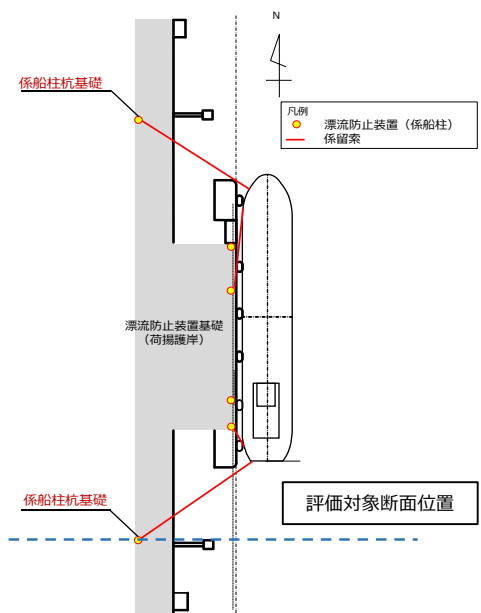
係船柱設置箇所拡大図

図2 係船柱杭基礎構造概要

【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	<p>（まとめ資料での当社の記載） 燃料等輸送船の位置及び係留索の水平角を固定できる位置に係船柱を追設する。海域活断層から想定される地震による津波の来襲に伴い、荷揚場に係留された燃料等輸送船を漂流させないために追設する係船柱の詳細設計の結果を説明する。</p>	B	<p>係船柱杭基礎については、地盤物性のばらつきを考慮したうえで、施設の評価を実施した結果、許容限界以下であることを確認した。</p>	P.19

➤ 耐震評価対象断面として、荷揚護岸南北に追設する多重鋼管杭基礎のうち、岩盤上面の標高が低く、土圧が大きくなると考えられる南側の多重鋼管杭設置位置断面を選定し、2次元有限要素法により表1の荷重を考慮した解析を行った結果、施設・地盤に生じる応力が許容限界以下となり、施設・地盤の構造健全性は十分に保持されることを確認した。



- 岩盤 (第③速度層)
- 改良地盤①② 浅層 (薬液注入)
- 護岸
- 防波壁
- グラウンドアンカ
- 岩盤 (第⑤速度層)
- 改良地盤③ 深層 (薬液注入)
- 護岸上埋戻土 (仮想護岸)
- 鋼管杭
- L型擁壁
- 埋戻土
- 被覆石
- 海水
- ジョイント要素
- 埋戻土 (海底堆積物)
- 基礎捨石
- 地下水面及び海水面

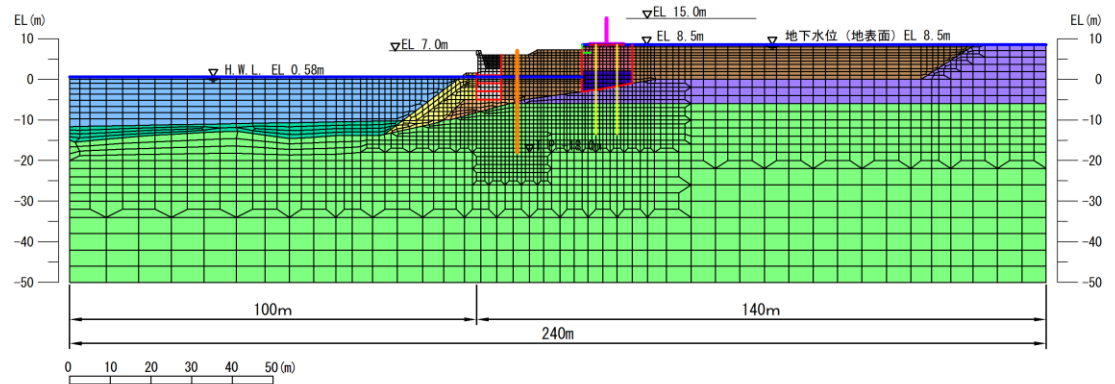


図3 2次元解析モデル図

表1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	$G + P_s + S_s$

ここで、
 G : 固定荷重
 P_s : 積雪荷重
 S_s : 地震荷重

表2 耐震評価結果

部位		種別	地震波	照査値*
施設	係船柱杭基礎	曲げ	Ss-N1(-+)	0.64
		せん断	Ss-N1(-+)	0.25
地盤	基礎地盤	接地圧	Ss-D(++)	0.12

注* : 各部位の照査値は、評価結果のうち最も照査値が厳しいケースのみ記載している。

【1-9】防波壁

【防波壁の各構造形式における主な論点】

➤ 表 1 の赤枠に示す防波壁（波返重力擁壁）における主な論点等を踏まえた詳細設計の結果について説明する。

表 1 防波壁の各構造形式における主な論点

防波壁の構造形式	主な論点
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 多重鋼管杭の許容限界について模型実験及び3次元静的 F E M 解析による確認 防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等の説明 鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平支持力の評価 3次元静的 F E M 解析による被覆コンクリート壁の健全性評価
防波壁 (逆T擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない鋼管杭による逆T擁壁への悪影響の確認 杭頭部の力学挙動について模型実験による確認 グラウンドアンカのモデル化を踏まえた健全性評価及び品質管理 改良地盤の範囲及び仕様等の説明 (P S 検層等に基づく) 基礎底面の傾斜に対する健全性評価
防波壁 (波返重力擁壁) 1-9(1) 1-9(2)	<ul style="list-style-type: none"> 既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認 ケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明 3次元静的 F E M 解析によるケーソンの健全性評価

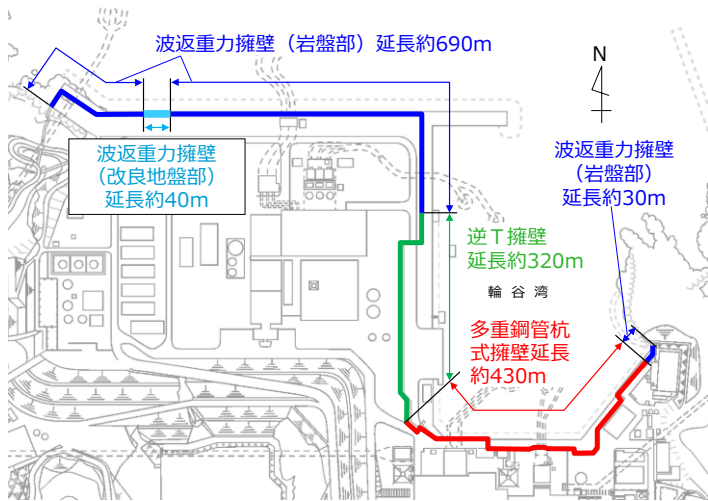


図 1 防波壁の位置図

□ : 今回説明する論点 青字 : 説明済みの論点

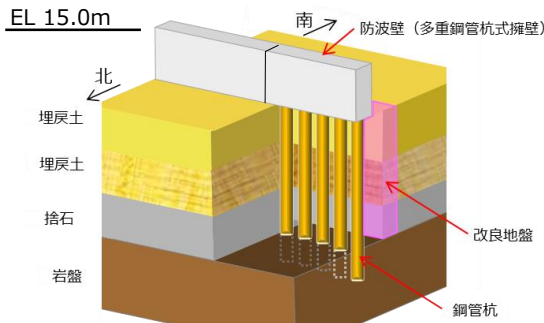


図 2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

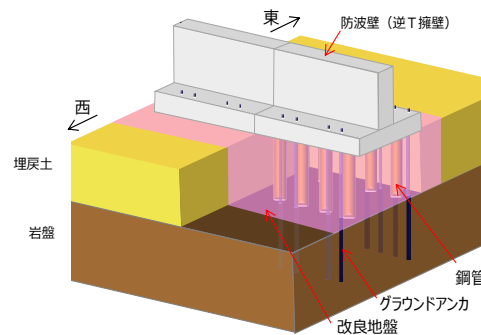


図 3 防波壁（逆T擁壁）の構造概要図

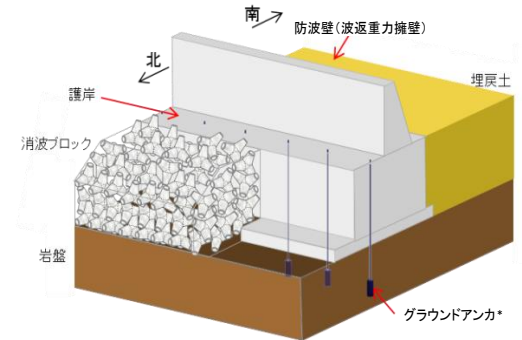


図 4 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図

注記* : 防波壁（逆T擁壁）は鋼管杭の効果を期待せずに耐震評価を行う。

注記* : 防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカの効果を期待しない設計とする。

【1-9（1）】防波壁（波返重力擁壁におけるケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明）

【1-9 (1)】防波壁（波返重力擁壁におけるケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明）（1/4）

【ケーソン及び中詰材の概要】

- ケーソンは格子状に隔壁を設置しており、側壁及び隔壁により区切られた複数の区画内には、中詰コンクリート又は中詰材（銅水砕スラグ及び砂）を充填している。
- 図1に示す範囲において、中詰材を充填しているケーソンを設置している。

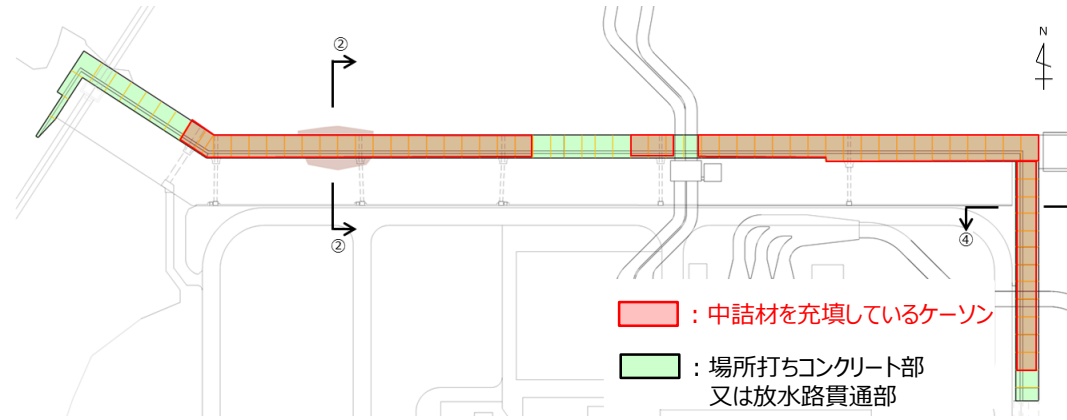


図1 ケーソン設置位置図

【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】

- 設置変更許可審査において、地震時及び津波時の荷重が直接作用する前壁及び後壁の背面の中詰材を改良することで、②-②断面及び④-④断面のケーソンの構造成立性を説明した。
- 詳細設計段階においては、ケーソンの耐震・耐津波安全性向上のため、図2のとおり全区画の中詰材を改良する。
- ケーソン中詰材（銅水砕スラグ及び砂）の改良体（以下「中詰材改良体」という。）は、原位置試験及び室内試験に基づき、解析用物性値を設定する。

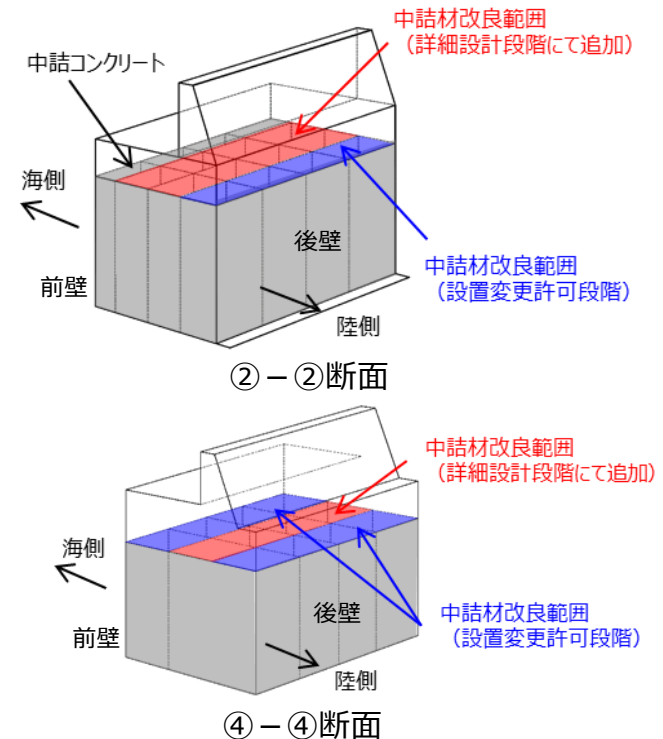


図2 ケーソン中詰材改良範囲

【1-9 (1)】防波壁（波返重力擁壁におけるケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明）（2/4）

【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（波返重力擁壁）のうちケーソン隔壁内にて実施する中詰材の改良について、その仕様及び範囲を説明するとともに、試験等により設定した中詰材改良体の解析用物性値を説明すること。	B	ケーソン隔壁内のすべての中詰材について、高圧噴射攪拌工法により改良することとした。また、室内試験及び原位置試験（P S 検層）における試験結果を踏まえ、解析用物性値を設定した。	P.24,25

【1-9 (1)】防波壁（波返重力擁壁におけるケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明）（3/4）

1. 中詰材改良体の範囲及び仕様

- ケーソン内に充填された中詰材（銅水砕スラグ及び砂）については、全区画を改良する。
- ケーソン区画内の中詰材をすべて改良できる工法として高圧噴射攪拌工法（改良幅 5 m）を採用し、チェックボーリングにより中詰材が確実に改良されていることを確認している。（図 3，図 4）。
- 中詰材改良体は、ケーソンの評価のために 3 次元構造解析においてモデル化することから、密度及びS波速度を用いて解析用物性値を設定する。図 5 に原位置試験位置図を、表 1 に室内試験及び原位置試験項目を示す。

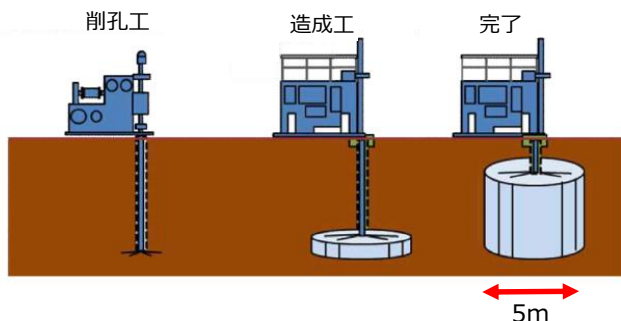


図 3 高圧噴射攪拌工法の施工イメージ

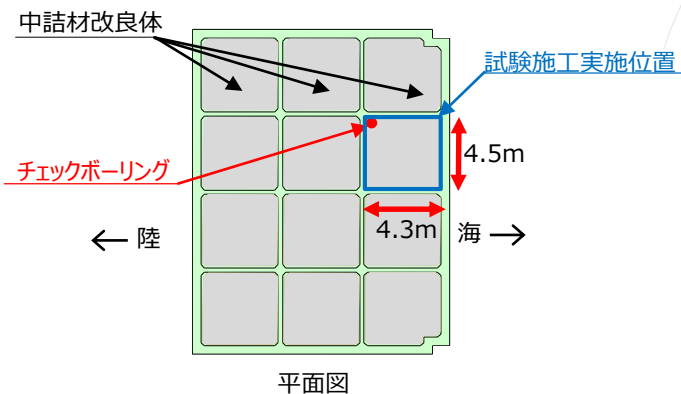


図 4 試験施工及びチェックボーリング位置図

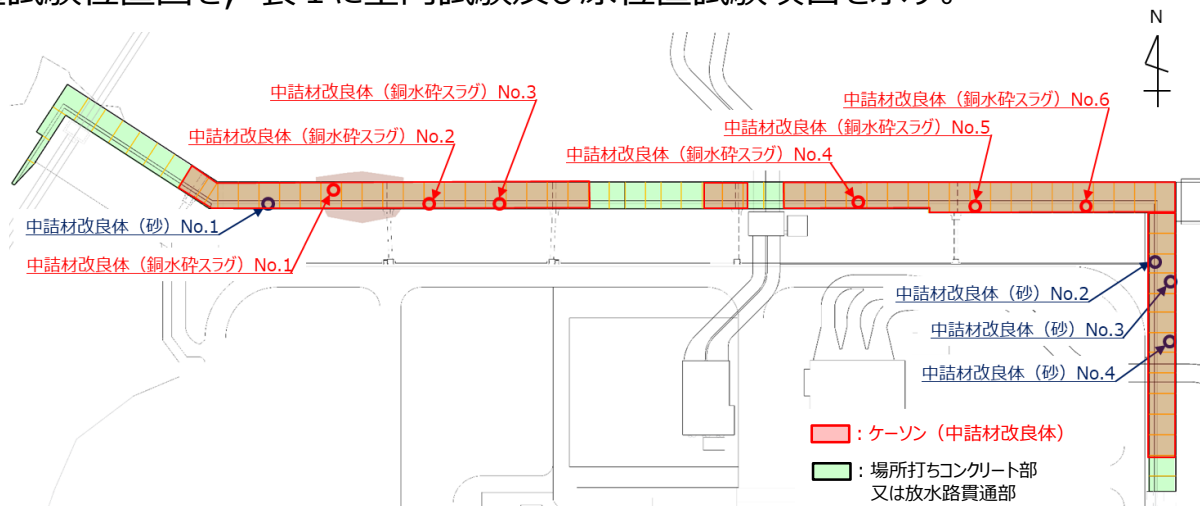


図 5 原位置試験（PS検層）位置図

表 1 試験項目

項目	規格・基準名称	試験規格	試験数
飽和密度	岩盤の密度試験方法 (浸水+減圧脱気)	JGS 2132	11
S波速度	地盤の弾性波速度検層方法	JIS 1122	73*

注記*：PS検層の測定区間長1mを1つの試験数とみなす。

【1-9 (1)】防波壁（波返重力擁壁におけるケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明）（4/4）

2. 中詰材改良体の試験結果及び解析用物性値の設定

- 中詰材改良体の試験結果を表 2 に示す。
- 室内試験及び原位置試験結果を踏まえ、中詰材改良体の解析用物性値を表 3 のとおり設定する。

表 2 中詰材改良体の試験結果

試験項目		中詰材改良体 (銅水砕スラグ)	中詰材改良体 (砂)
密度(g/cm ³)		2.71	2.00
S波速度 (m/s) *	上層：EL-5.5m以上	1,299	1,201
	下層：EL-5.5m以深	1,408	1,600

注記*：PS検層の測定区間長を踏まえた加重平均値を示す。

表 3 中詰材改良体の解析用物性値

項目		中詰材改良体 (銅水砕スラグ)	中詰材改良体 (砂)	設定根拠	
密度	ρ (g/cm ³)	2.30	2.03	試験結果が改良前よりも大きい又は同等であるため、密度が小さいほうが弾性係数が低くなり、耐震評価において保守的になることから、改良前の中詰材の密度を設定	
ポアソン比	ν	0.33	0.33	慣用値*	
弾性係数	E (kN/m ²)	上層 (EL-5.5m以上, Vs=1,200m/s)	8.829×10 ⁶	7.810×10 ⁶	原位置試験結果（P S 検層）及び密度を踏まえて設定 ($E=2(1+\nu) \times G$, $G=\rho \times Vs^2$)
		下層 (EL-5.5m以深, Vs=1,400m/s)	1.202×10 ⁷	1.063×10 ⁷	

注記*：液状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）

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）（1/7）

【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】

- 設置許可段階において、②-②断面及び④-④断面のケーソンは、複数の隔壁を有していることから、各部材の応力伝達を考慮するため3次元構造解析により評価し、中詰材を一部改良することで構造成立性を確認している。
- 詳細設計段階においては、耐震・耐津波安全性向上のためケーソン内の中詰材をすべて改良することとし、3次元構造解析により、②-②断面及び④-④断面の耐震評価を実施する。また、開口部を有している③-③断面の放水路ケーソンについても、3次元構造解析により耐震評価を実施する。
- 評価対象断面におけるケーソンの構造概要図を図1に示す。

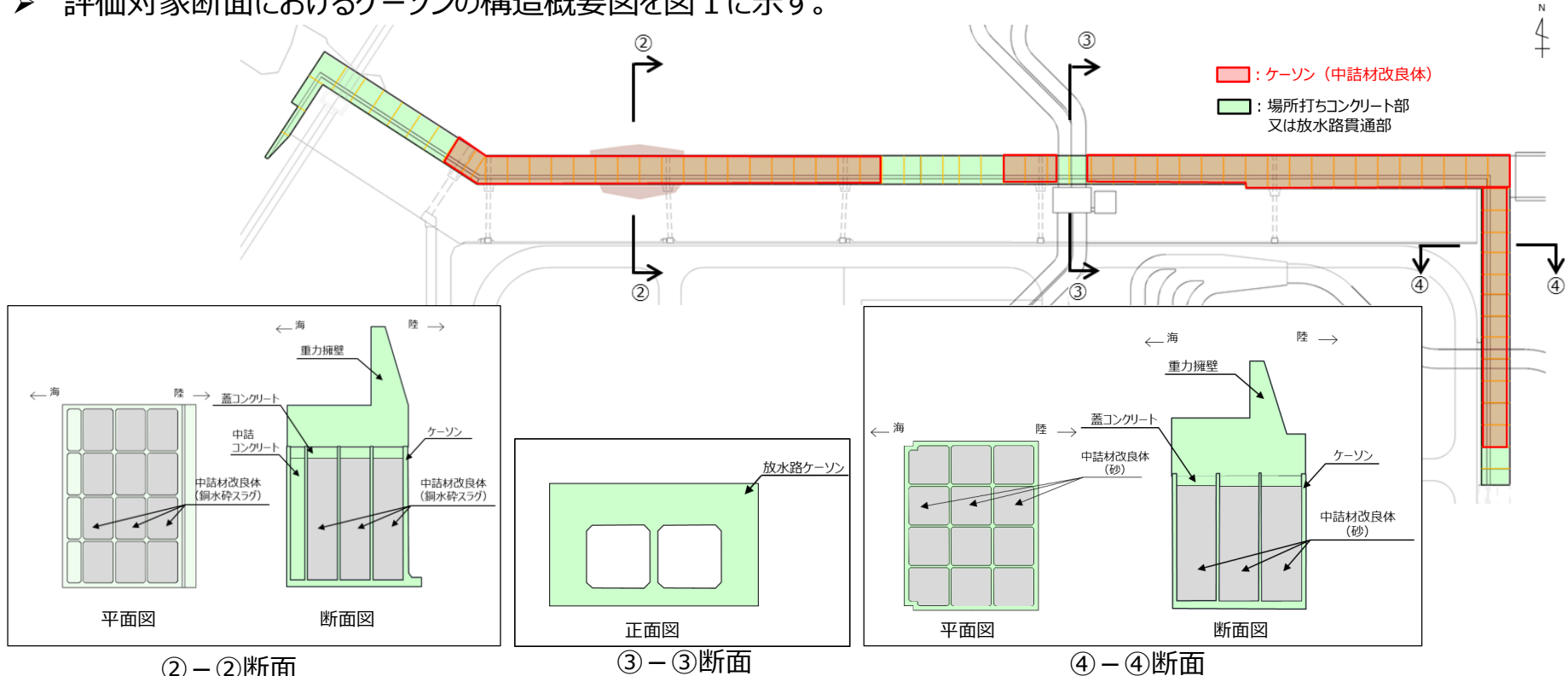


図1 防波壁（波返重力擁壁）のケーソンの構造概要図

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）（2/7）

【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	波返重力擁壁のケーソンの構造成立性評価において、物性値のばらつきケースを踏まえ、3次元FEM解析結果から、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまり、かつ止水性能を確保でき、防波壁としての構造が成立することを説明すること。	B	防波壁（波返重力擁壁）のうちケーソンは、複数の隔壁を有しており、その影響を考慮する必要があることから、3次元構造解析により耐震評価を行った結果、要求性能を満足することを確認した。	P.29~33

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）（3/7）

1. ケーソンの健全性評価の概要

- ケーソンの健全性評価は、図2に示すとおり、2次元有限要素法による地震応答解析結果より、ケーソンの評価が厳しくなる時刻における地震時荷重（土圧，加速度）を3次元構造解析モデルに作用させる（図3）。
- 健全性評価においては、ケーソンの各部材において「曲げ・軸力系の破壊に対する照査」及び「せん断破壊に対する照査」を実施し、ケーソンの各部材の要求機能が維持されていることを確認する。

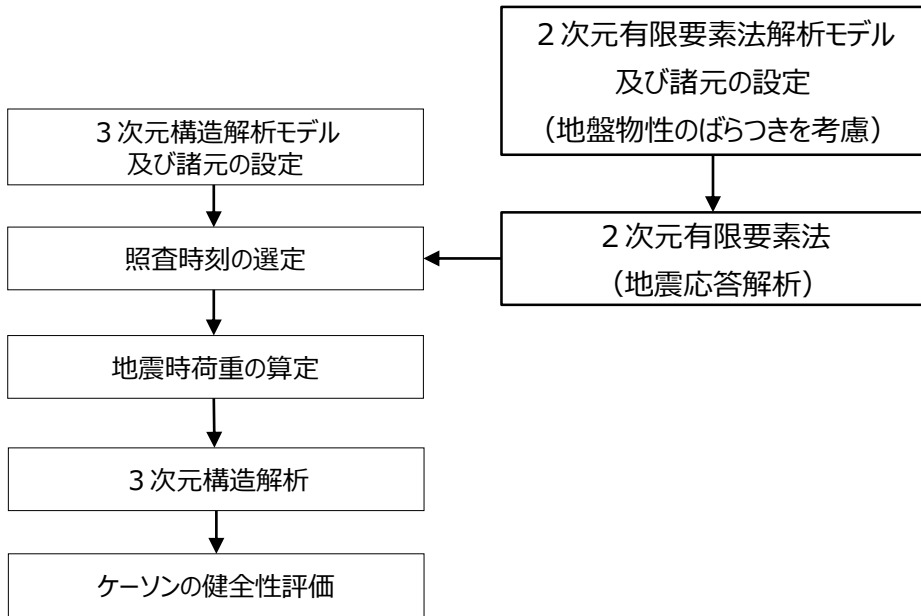
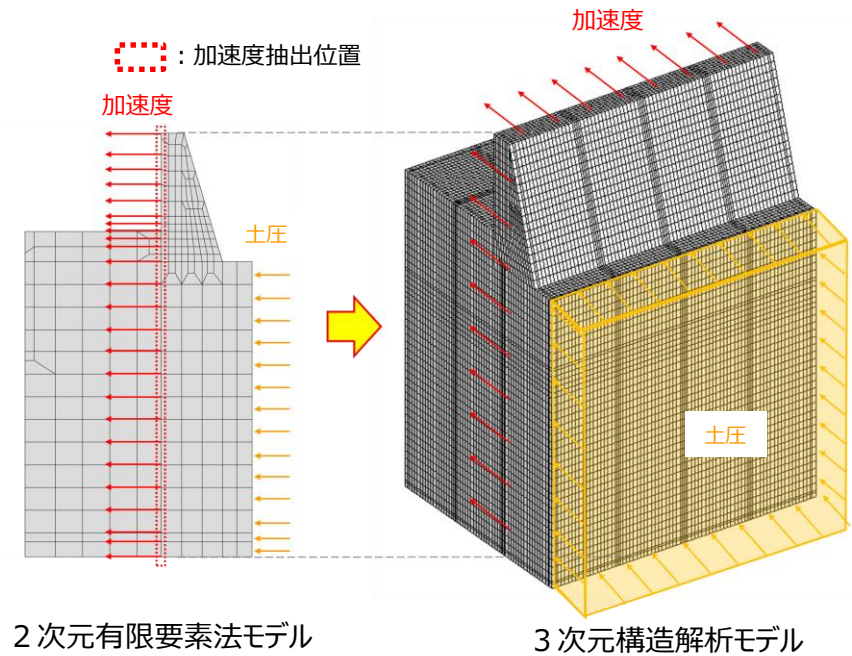


図2 ケーソンの評価フロー図



- 土圧は2次元有限要素法より背面の地盤要素から抽出し、3次元構造解析モデルに入力
- 加速度は2次元有限要素法よりケーソン・重力擁壁の節点から抽出し、節点高さに対応する3次元構造解析モデルの全要素に入力

図3 3次元構造解析への地震時荷重の入力イメージ

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）（4/7）

2. 3次元構造解析の概要

- ケーソンの評価にあたっては、各部材の役割及び性能目標を踏まえ、許容限界を設定し、3次元構造解析により性能目標を満足していることを確認する（表1，表2）。
- ケーソンは、図5のとおりモデル化し、②-②断面及び④-④断面は、【1-9 (1)】にて示した中詰材改良体をモデル化する。

表1 ケーソンの役割及び性能目標

部位の名称	地震時及び津波時の役割	性能目標	
ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。	構造部材の健全性を保持し、有意な漏えいを生じないために、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。	
放水路ケーソン	頂版 底板 側壁	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。	構造部材の健全性を保持し、有意な漏えいを生じないために、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。
	隔壁	・重力擁壁を支持する。	

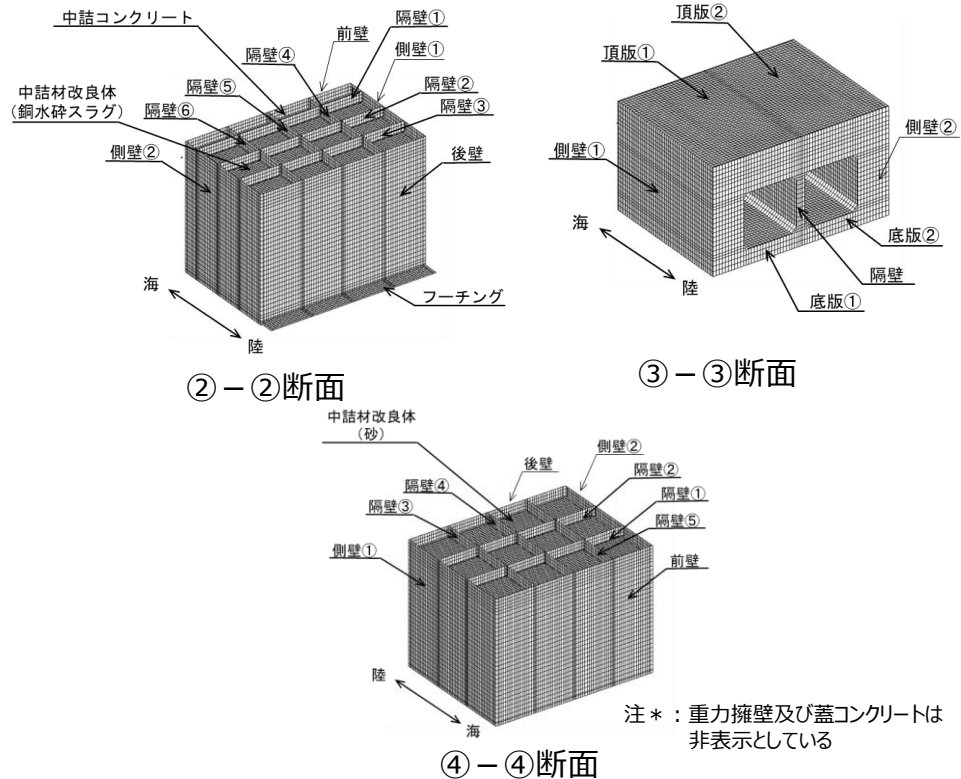


図5 3次元構造解析モデル

表2 照査項目と許容限界

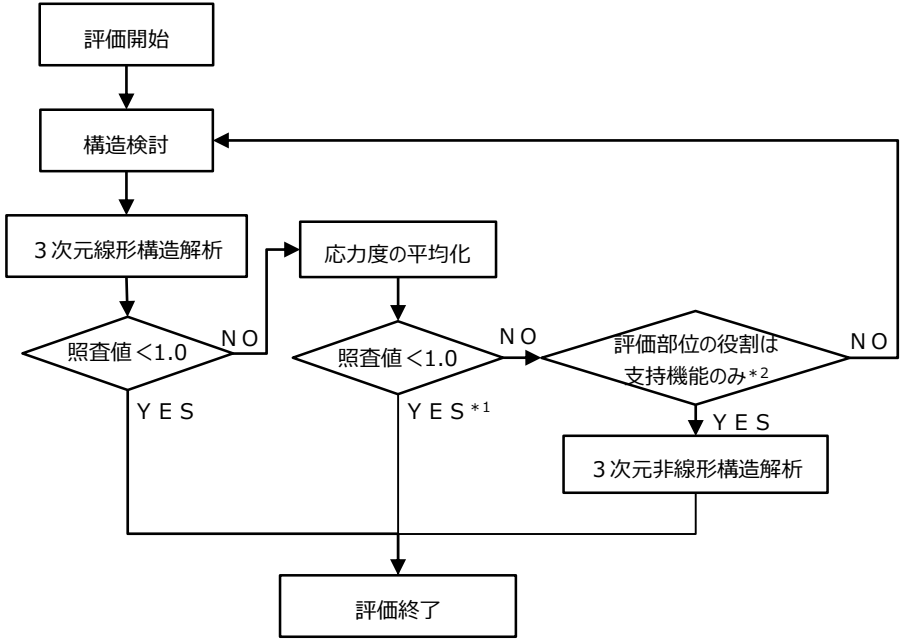
部位の名称	許容限界		適用基準*1	
	項目	許容値		
ケーソン	曲げ圧縮	13.5N/mm ²	①	
	曲げ引張	294N/mm ²	①	
	せん断 (面外)	0.67N/mm ²	①	
	せん断 (面内)	第一折れ点評価式	②	
放水路ケーソン	頂版 底板 側壁	曲げ圧縮	13.5N/mm ²	①
		曲げ引張	294N/mm ²	①
		せん断 (面外)	0.67N/mm ²	①
		せん断 (面内)	第一折れ点評価式	②
	隔壁	曲げ圧縮	13.5N/mm ²	①
		曲げ引張	294N/mm ²	①
		せん断 (面外)	0.67N/mm ²	①
		せん断 (面内)	第一折れ点評価式*2 2000μ*3	②

注記*1：適用基準は以下の通りとする。
 ①：コンクリート標準示方書【構造性能照査編】（土木学会，2002年制定）
 ②：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987(日本電気協会)
 *2：3次元線形構造解析の許容限界を示す。
 *3：発生応力度が3次元線形構造解析の許容限界を上回る場合に実施する3次元非線形構造解析の許容限界を示す。

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）（5/7）

2. 3次元構造解析の概要（続き）

- 3次元構造解析に入力する荷重は、2次元有限要素法の地震応答解析より表3に示す時刻における地震時荷重として土圧及び加速度を作用させる。
- ケーソンの各部材の評価（図6）にあたっては、3次元線形構造解析により耐震評価を行う。部材の照査値が1.0を上回る場合は、応力度の平均化を実施する。遮水性を期待せず、役割が重力擁壁の支持のみを期待する部材において、応力度の平均化を実施後においても照査値が1.0を上回る場合は、3次元非線形構造解析により耐震評価を行う（図7）。



注記 * 1 : 照査値 ≥ 1.0 となる場合は、その範囲が局所的であることから機能維持に影響がないことを確認する。また、参考に発生応力度が「鉄筋コンクリート構造計算規準（1999）」の短期許容応力度以下であることを確認する。
 * 2 : 放水路ケーソンのうち隔壁が対象。

図6 各部材の評価フロー

表3 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	荷重抽出時刻	
時刻1	曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊		ケーソン頂底板間で変位が最大となる時刻
時刻2			総水平荷重が最大となる時刻

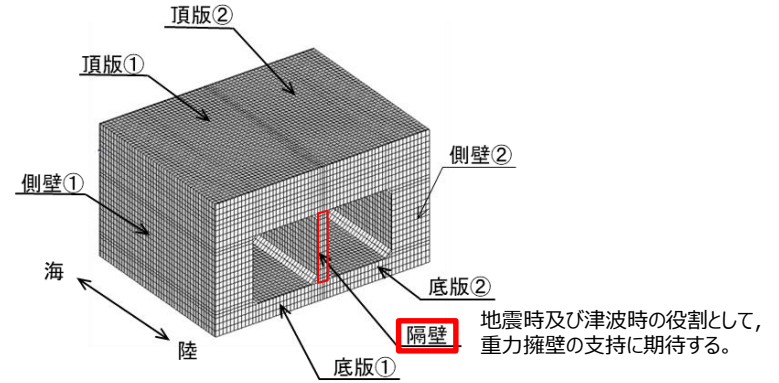


図7 支持機能のみに期待する部材（③-③断面）

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）（6/7）

3. 3次元構造解析結果

- ②-②断面及び④-④断面のケーソンについて、各照査項目において照査値が最大となる部材及び照査値を表4及び表5に、照査値が最大となる部材における断面力カウンター図を図8及び図9に示す。
- いずれの照査項目についても、許容限界を満足することを確認した。

表4 線形解析におけるケーソンの健全性評価結果（②-②断面）

	コンクリートの 曲げ・軸力系の 破壊	鉄筋の 曲げ・軸力系の 破壊	コンクリートの せん断破壊 (面外)	コンクリートの せん断破壊 (面内)
照査値が最大となる部材	後壁	底版	後壁	隔壁⑤
照査値	0.31	0.68	0.47	0.53

表5 線形解析におけるケーソンの健全性評価結果（④-④断面）

	コンクリートの 曲げ・軸力系の 破壊	鉄筋の 曲げ・軸力系の 破壊	コンクリートの せん断破壊 (面外)	コンクリートの せん断破壊 (面内)
照査値が最大となる部材	側壁①, ②	底版	底版	隔壁④
照査値	0.46	0.65	0.69	0.81

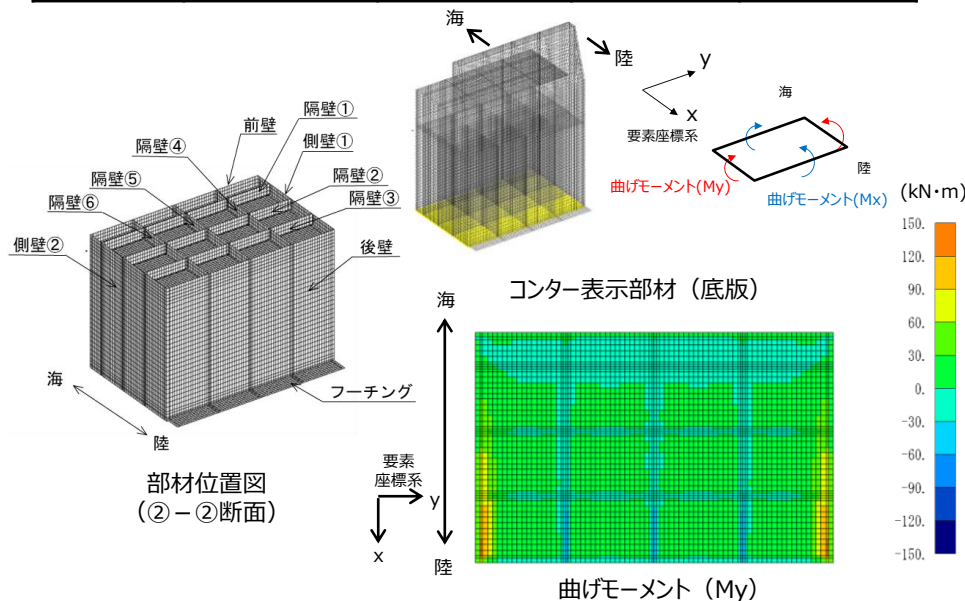


図8 断面力カウンター図（②-②断面，底版，曲げモーメント）

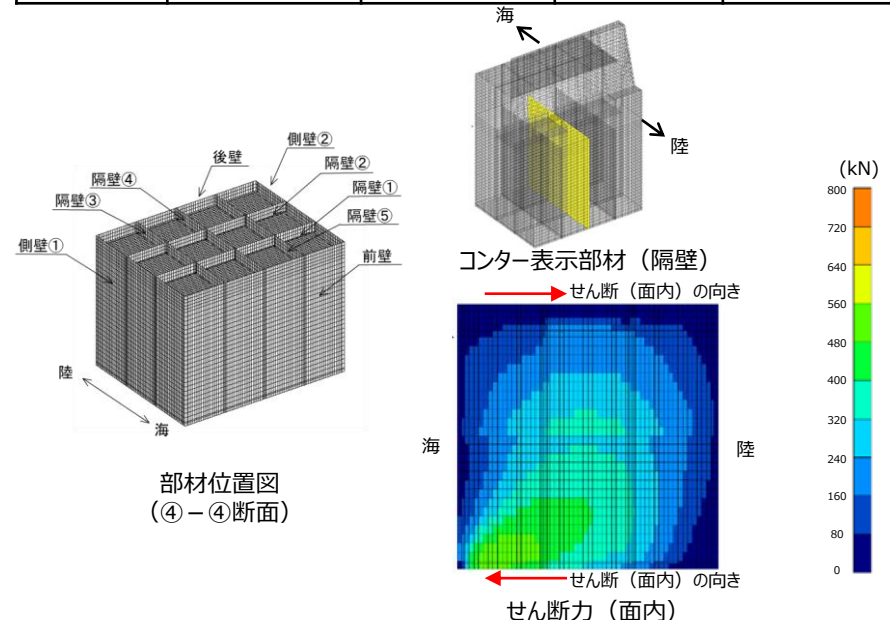


図9 断面力カウンター図（④-④断面，隔壁④，せん断（面内））

【1-9 (2)】防波壁（波返重力擁壁における3次元静的FEM解析によるケーソンの健全性評価）（7/7）

3. 3次元構造解析結果（続き）

- ③-③断面の放水路ケーソンについて、各照査項目において照査値が最大となる部材及び照査値を表6に示す。頂版及び側壁については、いずれの照査項目についても、許容限界を満足することを確認した。
- 底板については、照査値が1.0を超える箇所があるが、図10に示すとおり、許容限界を超える範囲は局所的で、海陸方向に連続していないことから、部材全体として機能が損なわれていないことを確認した。なお、参考として、「鉄筋コンクリート構造計算規準（1999）」の短期許容応力度では照査値が1.0を下回ることを確認した。
- 隔壁については、せん断破壊（面内）に対する評価が、応力度の平均化を実施した場合においても、照査値1.0を上回ったこと及び隔壁の役割が重力擁壁の支持のみであることから、3次元非線形構造解析を実施した。3次元非線形構造解析の結果、許容限界を満足することを確認した（表7）。

表6 3次元線形構造解析におけるケーソンの健全性評価結果（③-③断面）

	コンクリートの 曲げ・軸力系の 破壊	鉄筋の 曲げ・軸力系の 破壊	コンクリートの せん断破壊 (面外)	コンクリートの せん断破壊 (面内)
照査値が 最大となる部材	隔壁	隔壁	底板①, ②	隔壁
照査値	0.57	0.95*1	1.09*1 (0.67)*2	1.22*3

注記*1：応力度平均化後の値を示す。

*2：参考として、「鉄筋コンクリート構造計算規準（1999）」による照査結果の値を示す。

*3：応力度の平均化を実施した場合においても、照査値1.0を上回るため、非線形解析による評価を実施する。

表7 3次元非線形構造解析におけるケーソンの健全性評価結果（③-③断面，隔壁）

部材	発生せん断ひずみ	許容限界	照査値
隔壁（面内）	536μ	2000μ	0.27

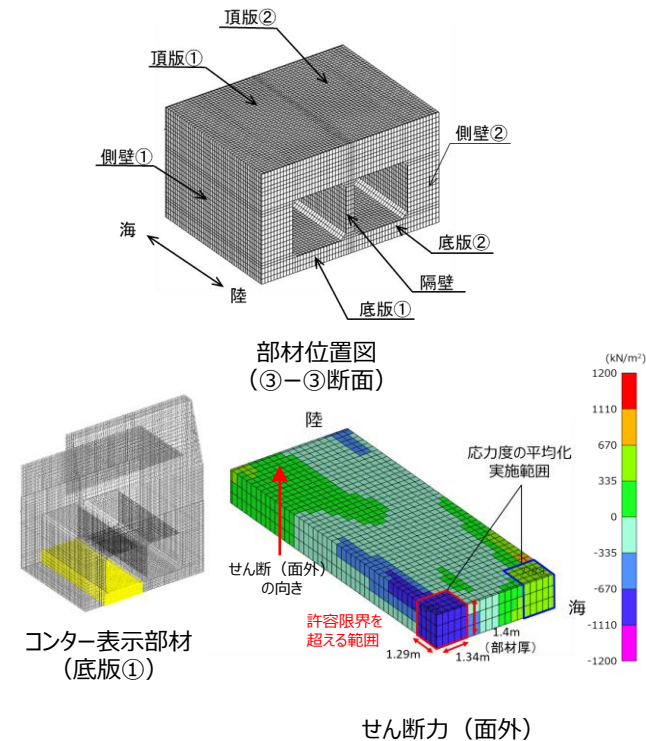


図10 発生応力コンター図
（③-③断面，底板①，せん断（面外））

【4-6】制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用及び 原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更

【審査会合における議論に対する回答】

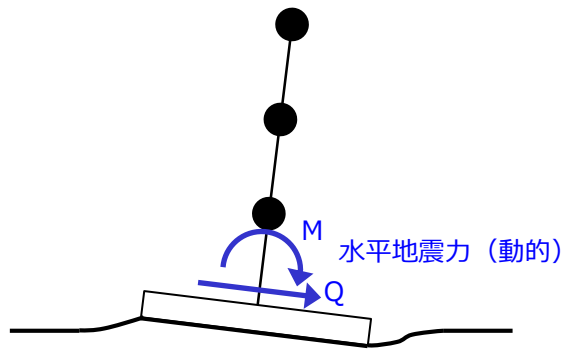
No.	議論の内容 (第1054回審査会合(2022年6月14日))	回答	回答頁
1	<p>基礎スラブの設計について、地盤ばね及び基礎スラブの非線形性を考慮した場合は応力の足し合わせができないため、応力解析では、水平と鉛直地震力を同時に考慮しなければならない。その場合、地震応答解析とは異なる接地圧分布になることから、応力解析における付着力の取扱いを含めて、今後、基礎スラブの応力解析手法及び設計結果について説明すること。</p>	<p>【4-6(1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用</p> <ul style="list-style-type: none"> 制御室建物基礎スラブの応力解析においては、地震応答解析と同様に付着力を考慮し、基礎スラブと底面地盤の間の付着力を模擬したギャップ要素により基礎スラブの浮上りを評価可能なモデルを採用している。 水平及び鉛直方向地震力を同時に考慮した応力解析の結果、基準地震動 S s に対して耐震性を有することを確認した。 <p>【4-6(2)】 原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物基礎スラブの応力解析においては、設置変更許可時に採用予定としていた解析モデルから応力解析モデルを変更しているため、変更内容について整理したうえで、基準地震動 S s に対して耐震性を有することを確認した。また、積層シェル要素でモデル化した壁に発生する応力を考慮した場合でも耐震壁が健全であることを確認した。 	<p>P.35～46</p> <p>P.47～52</p>

【4-6 (1)】制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (1/11)

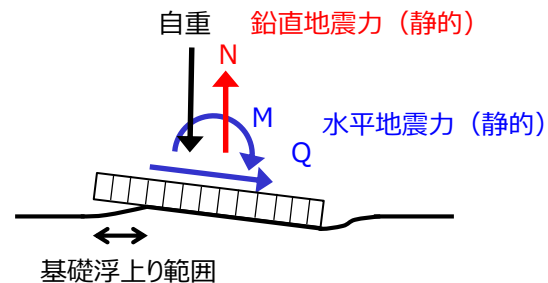
1. 概要

- 制御室建物の地震応答解析においては、基礎底面のロッキング地盤ばねを浮上り線形とし、地震応答解析結果により算定した基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が、 0.40N/mm^2 (建物基礎底面と地盤の間の付着力) を超えないことを確認している。(図 1 (a)参照)
- 一方、基礎スラブの応力評価 (弾塑性解析) においては水平方向及び鉛直方向地震力を組合せ係数法により同時入力するため、基礎スラブ底面の地盤ばね (鉛直ばね) に 0.40N/mm^2 を超える引張力が発生する可能性がある。(図 1 (b)参照)。
- 水平方向及び鉛直方向地震力を同時に入力した応力解析においては、基礎スラブの柔性及び浮上りによる影響を評価するため、基礎スラブ底面の地盤ばね (鉛直ばね) に 0.40N/mm^2 を超える引張力が発生したときに浮上りを考慮する。
- 本資料は、制御室建物基礎スラブ底面の地盤ばね (鉛直ばね) に付着力及び基礎浮上りを考慮した応力解析による基礎スラブの耐震評価結果を示すものである。



基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が 0.40N/mm^2 を超えないことから、基礎浮上りが生じない。

(a) 地震応答解析
(浮上り線形ばね)



水平方向及び鉛直方向地震力を同時に入力するため、底面の地盤ばねに 0.40N/mm^2 を超える引張力が発生した場合、基礎浮上りが生じる。

(b) 基礎スラブの応力解析
(弾塑性解析)

図 1 基礎浮上りの概念図

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (2/11)

2. 構造概要

- 制御室建物は、4階建の鉄筋コンクリート造の建物である。
- 制御室建物の基礎スラブの平面寸法は、22.0m (N S) × 37.0m (E W) , 厚さは1.5mで、岩盤に直接設置している。

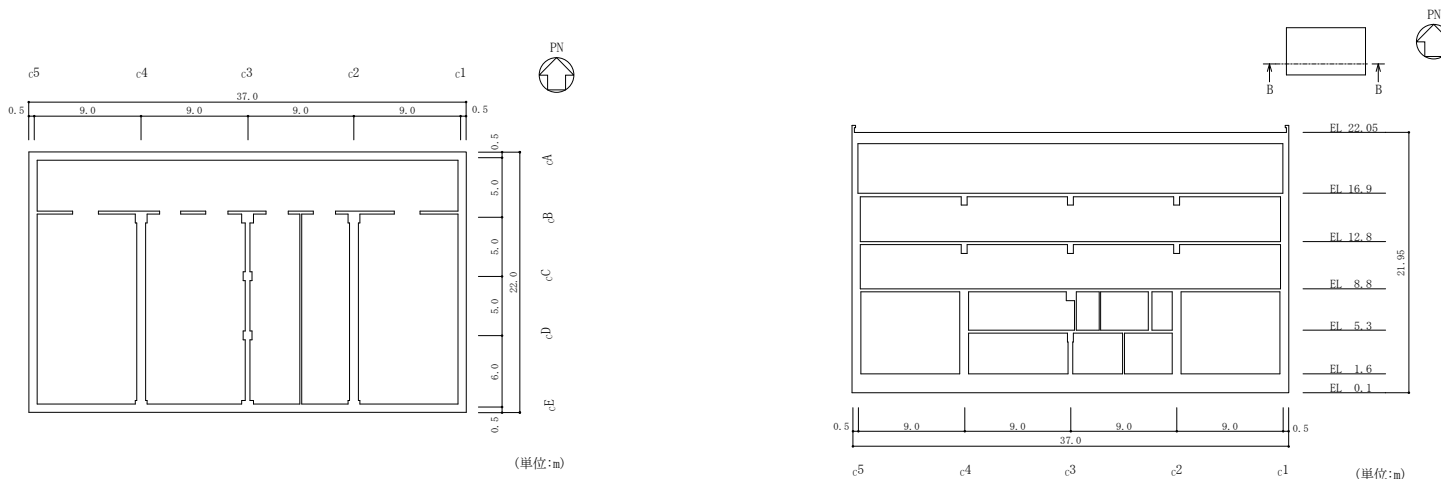


図2 制御室建物の概要

3. 評価方針

- 制御室建物は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。
- したがって、制御室建物の基礎スラブは、基準地震動 S_s に対する応力評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (3/11)

4. 基礎スラブの応力解析

＜応力解析の基本方針＞

- ・ 応力解析は、3次元 F E Mモデルを用いた弾塑性応力解析とする。

＜モデル概要＞

- ・ 評価対象である基礎スラブ全体をモデル化する。
- ・ 上部構造物については、基礎スラブより立ち上がる剛性の高い一部壁の剛性を拘束条件として考慮する。

□ : 積層シェル要素でのモデル化範囲
(基礎スラブ)

□ : はり要素でのモデル化範囲
(拘束条件として考慮)

□ : 積層シェル要素でのモデル化範囲
(拘束条件として考慮)

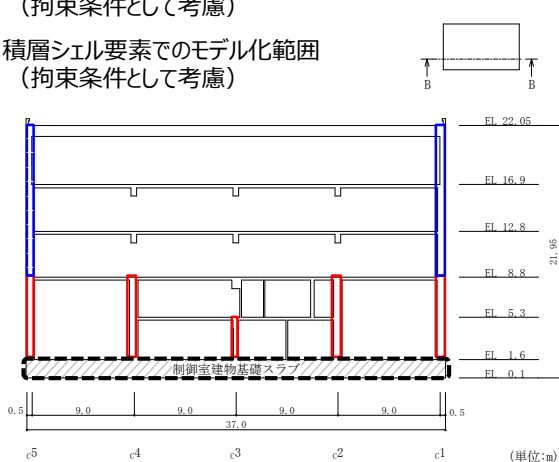
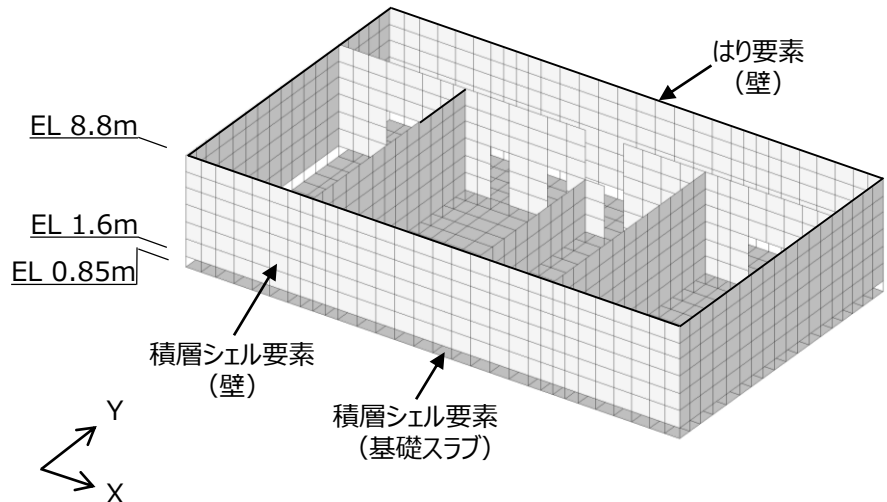


図3 モデル化範囲



注1：黒太線は、はり要素を示す。

注2：EL 0.85m～EL 1.6mは剛体要素でモデル化。

図4 モデル概要

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (4/11)

4. 基礎スラブの応力解析 (続き)

<境界条件>

- 基礎スラブと底面地盤との間に付着力 0.40N/mm^2 を考慮した底面地盤を表現するギャップ要素を設け、基礎スラブと底面地盤との間の剥離 (基礎スラブの浮上り) を考慮している。
- 鉛直ばねに付着力 0.40N/mm^2 を超える引張力が発生した際に、水平剛性及び鉛直剛性をゼロとし、浮上りを考慮する。
- 地震応答解析モデルでは保守的に側面地盤ばねは考慮しないが、基礎スラブの応力解析モデルにおいては、基礎スラブ側面が側面地盤 (MMR 含む) 又は隣接建物基礎スラブと接することを踏まえ、水平及び鉛直方向に対する拘束効果として側面地盤ばね (水平及び回転) を考慮する。 (側面地盤ばねを考慮した地震応答解析による設計用地震力への影響について【参考1】に示す。)

なお、底面地盤ばね及び側面地盤ばねは各節点に離散化して設定する。

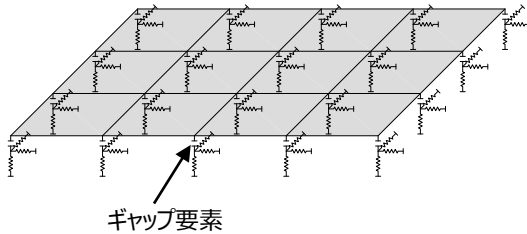


図5 ギャップ要素の概要

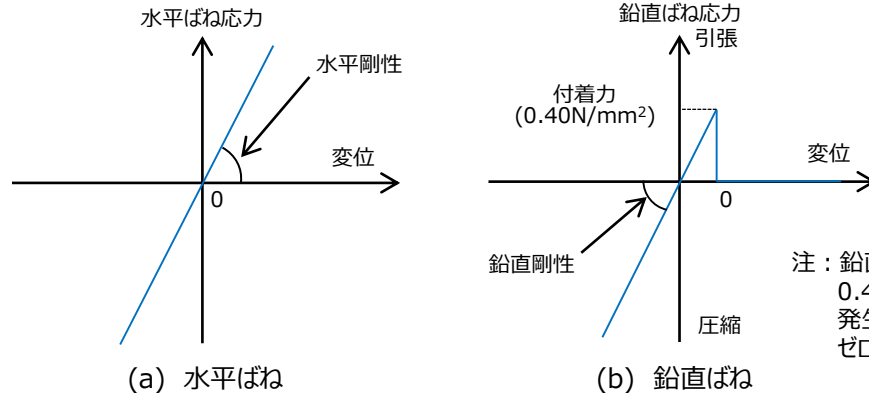


図6 ギャップ要素の概念図

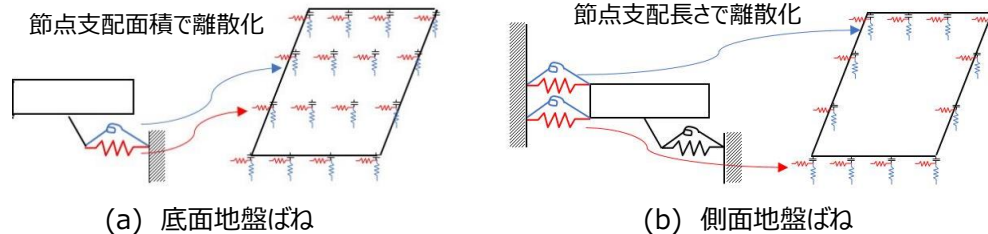


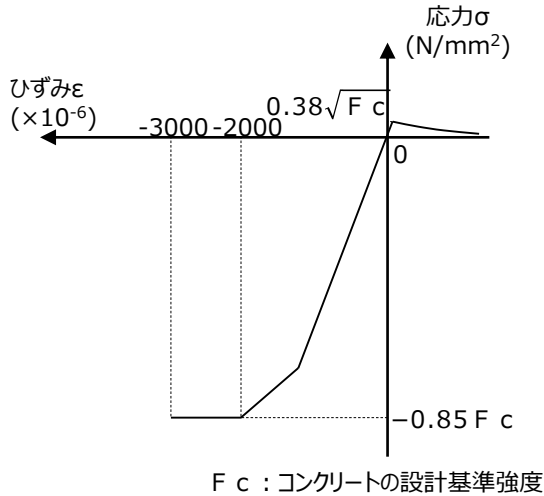
図7 地盤ばねの離散化の概念図

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (5/11)

4. 基礎スラブの応力解析 (続き)

<材料構成則>

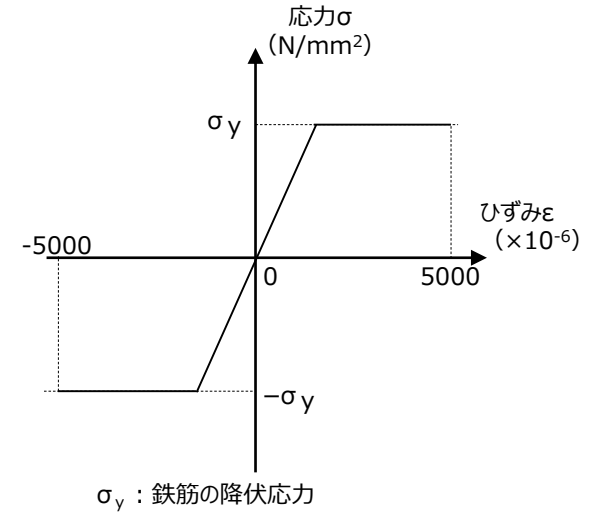
- 「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003) 」(以下「CCV規格」という。) 等に基づく非線形特性を考慮する。



項目	設定
圧縮強度	$\sigma_c = -0.85 F_c$ (「CCV規格」)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model codeに基づき設定
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか(1987)による式 ($c = 0.4$)
引張強度	$\sigma_t = 0.38\sqrt{F_c}$ (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 - 許容応力度設計法 - ((社) 日本建築学会, 1999改定))

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係



項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型 (「CCV規格」)
終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

図8 材料構成則

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (6/11)

5. 荷重の組合せケース及び入力方法

<荷重の組合せケース>

- 水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は1.0と0.4) を用いるものとする。

<荷重の入力方法>

- 基礎スラブに上部構造物から作用する水平地震力については、上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントを基礎スラブの当該位置の節点に離散化して節点荷重として入力する。
- 基礎スラブに上部構造物から作用する鉛直地震力については、上部構造物からの軸力とし、鉛直力に置換し、モデル上の各節点における支配面積に応じた節点荷重として入力する。
- 基礎スラブ内に作用する荷重については、地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差を F E Mモデルの各要素の大きさに応じて分配し、節点荷重として入力する。

6. 断面の評価方法

- 軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、「C C V規格」に基づき、コンクリートについては 3.0×10^{-3} (圧縮)、鉄筋については 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) を超えないことを確認する。
- 面外せん断力が、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005制定)」に基づく許容面外せん断力を超えないことを確認する。

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (7/11)

7. 評価結果

- S s 地震時において、**基礎スラブに発生する軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が**、各許容値を超えないことを確認した。

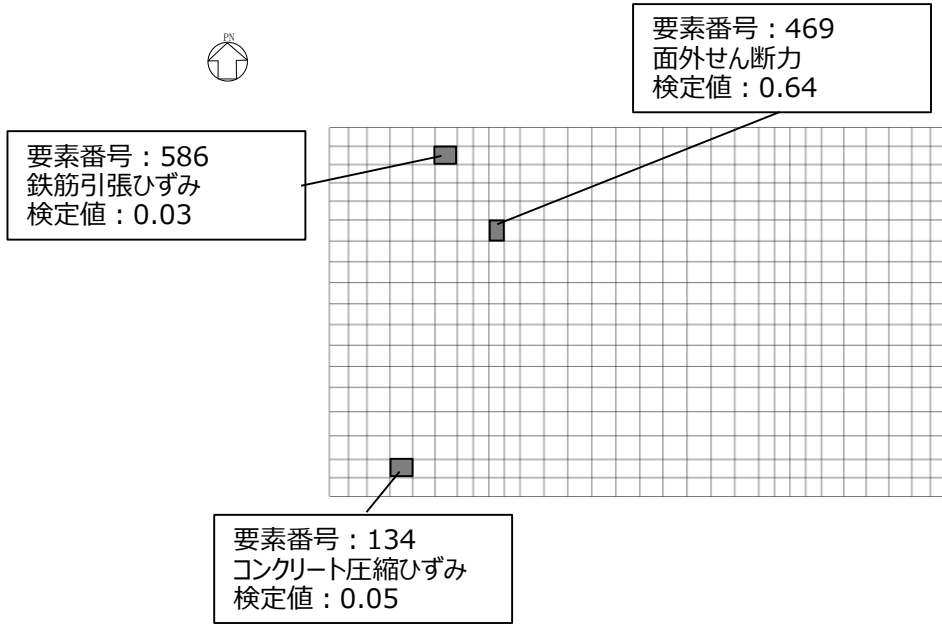
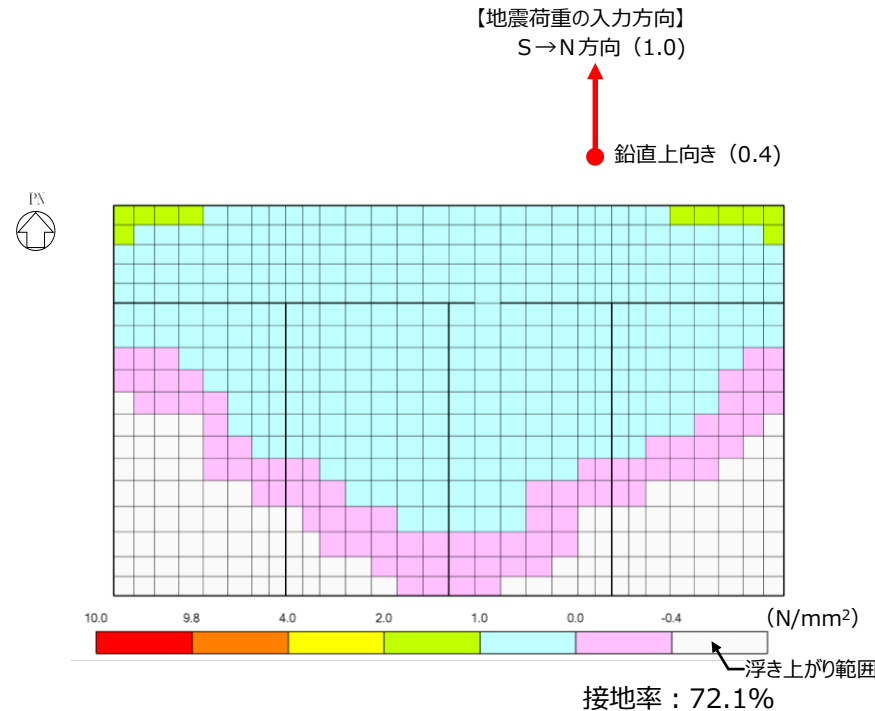


図9 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果

表1 評価結果

評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	134	0.127	3.00	0.05
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	586	0.123	5.00	0.03
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$)	E W	469	1.58	2.50	0.64



注：接地率は、基礎スラブと底面地盤が剥離していないギャップ要素の支配面積を基礎底面全体の面積で除して算定した値。

図10 接地圧分布

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (8/11)

8. 基礎スラブの耐震性への水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響について

<検討概要>

- 基礎スラブの応力解析においては、基礎スラブ底面の地盤ばねについて、建物基礎底面と地盤の間の付着力 0.40N/mm^2 を超える引張力が発生したときに浮上りを考慮することとしており、直交する水平2方向の荷重による基礎浮上りにより応力分布に影響を及ぼす可能性がある。
- 以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震性への影響を検討する。

<検討結果>

- S s 地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

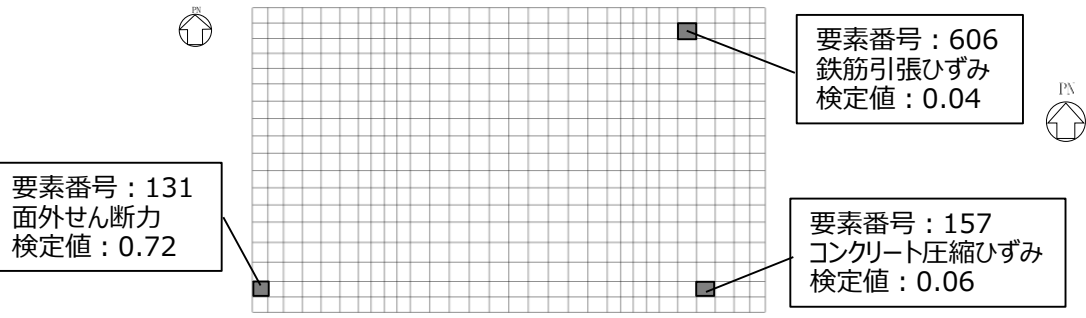
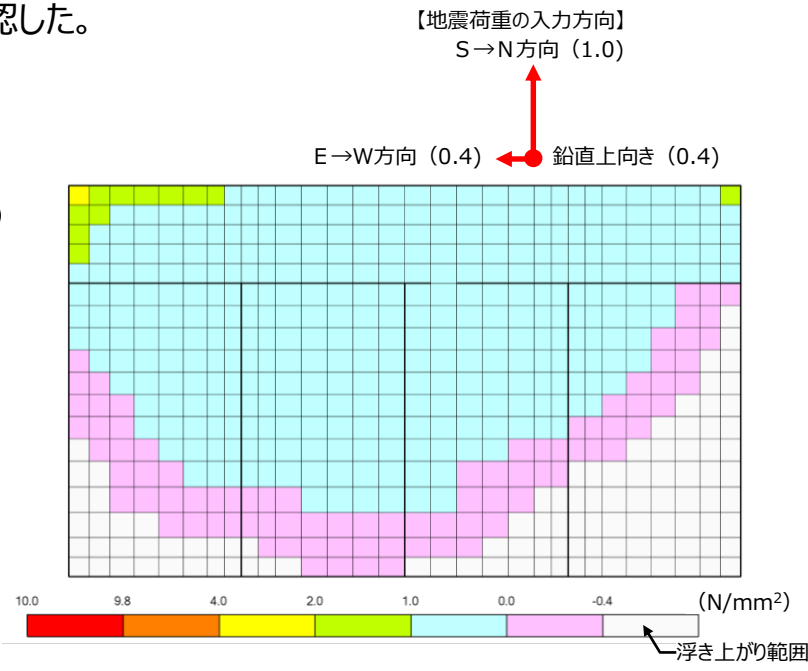


図11 選定した要素の位置

表2 評価結果

評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	157	0.159	3.00	0.06
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	606	0.196	5.00	0.04
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3\text{kN/m}$)	E W	131	1.80	2.50	0.72



接地率：75.2%

注：接地率は、基礎スラブと底面地盤が剥離していないギャップ要素の支配面積を基礎底面全体の面積で除して算定した値。

図12 接地圧分布

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (9/11)

【参考 1】 側面地盤ばねを考慮した地震応答解析による設計用地震力への影響について

(1) 検討概要

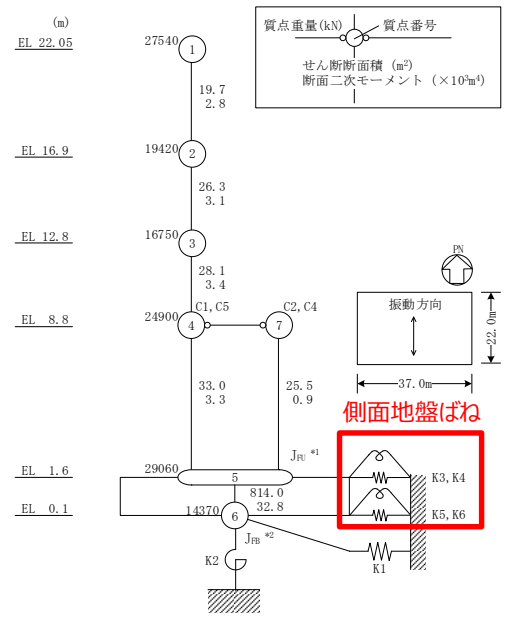
- ・ 制御室建物の地震応答解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）においては、基礎スラブ側面の地盤ばね（水平及び回転）を考慮していない。
- ・ 一方、制御室建物の基礎スラブの応力解析においては、基礎スラブをモデル化したシェル要素の建物外周にあたる周囲部分に、基礎側面地盤の拘束効果を考慮している。（側面地盤ばねの適用性について【参考 2】に示す。）
- ・ そこで、地震応答解析に基礎スラブ側面の地盤ばねを考慮しないことが保守的な評価となることを確認するため、N o v a k の手法による基礎スラブ側面の地盤ばねを考慮した地震応答解析モデル（以下「側面地盤ばね考慮モデル」という。）による地震応答解析を行い、今回工認モデルに基づく最大応答値と比較する。

(2) 検討に用いる地震波及び地震応答解析モデル

- ・ 側面地盤ばねを設定した検討は、基準地震動 S_s のうち位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 $S_s - D$ に対して実施する。
- ・ 側面地盤ばねの算定に用いる解析用物性値は、制御室建物の基礎スラブに接する隣接建物基礎スラブのコンクリートの物性値とし、保守的にコンクリート強度が小さい 1 号機建物のコンクリートの設計基準強度に基づき設定する。また、側面地盤ばね以外の地震応答解析モデルの諸元は今回工認モデル（基本ケース）と同一とする。

表 3 地盤ばね定数と減衰係数 (N S 方向)

ばね番号	地盤ばね成分	質点番号	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	6	5.10×10^8 (kN/m)	2.84×10^6 (kN・s/m)
K2	底面・回転	6	7.45×10^{10} (kN・m/rad)	2.15×10^7 (kN・m・s/rad)
K3	側面・水平	5	2.04×10^7 (kN/m)	4.97×10^5 (kN・s/m)
K4	側面・回転	5	4.79×10^9 (kN・m/rad)	1.82×10^7 (kN・m・s/rad)
K5	側面・水平	6	2.40×10^7 (kN/m)	5.83×10^5 (kN・s/m)
K6	側面・回転	6	5.61×10^9 (kN・m/rad)	2.14×10^7 (kN・m・s/rad)



注記*1: 回転慣性重量 (基礎スラブ上端) ($47.46 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$)
 *2: 回転慣性重量 (基礎スラブ下端) ($5.79 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$)

図13 側面地盤ばね考慮モデル (N S 方向)

【4-6 (1)】 制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (10/11)

【参考1】 側面地盤ばねを考慮した地震応答解析による設計用地震力への影響について (続き)

(3) 側面地盤ばねを考慮した場合の解析結果

- 最大応答加速度分布について、両モデルは概ね同等の結果となっている。
- 最大応答せん断力分布及び最大応答曲げモーメント分布については、今回工認モデルの結果が側面地盤ばね考慮モデルの結果を包絡している。
- 基礎スラブの応力解析では、1F (EL 1.6m~EL 8.8m) の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを用いることを考慮すると、地震応答解析において側面地盤ばねを考慮しないことは保守的な評価となる。

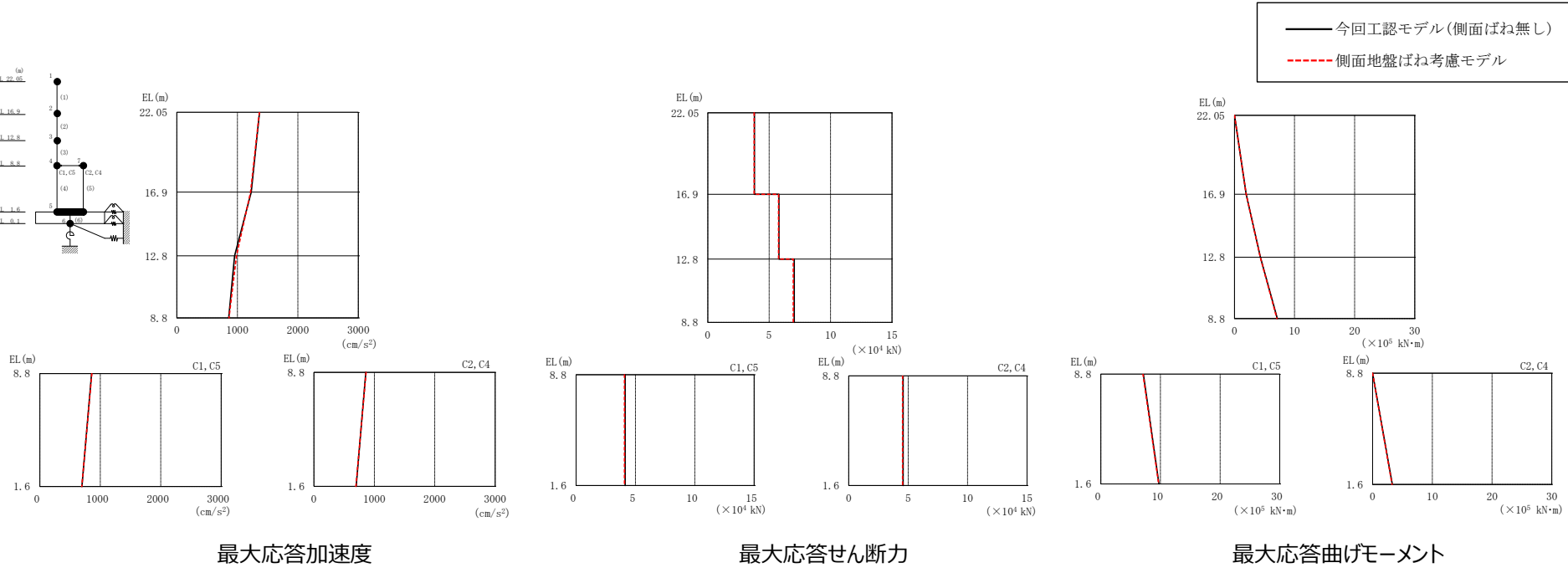


図14 今回工認モデルと側面地盤ばね考慮モデルの応答の比較 (基準地震動 S s - D, NS 方向)

【4-6 (1)】制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用 (11/11)

【参考2】側面地盤ばねの適用性について

- ・制御室建物の側面地盤の埋込み状況を確認し、建物側面の地盤ばねの適用性について確認する。
- ・制御室建物が側面地盤（MMR含む）又は隣接建物基礎スラブと接する範囲には防水層等が介在していないことから、建物基礎スラブと側面地盤（MMR含む）又は隣接建物基礎スラブの間に地中上下方向せん断力が発生し、十分な拘束効果が期待でき、基礎側面地盤ばねを適用できると考えられる。（図15参照）
- ・図16の赤色の破線で囲まれた範囲では、灰色で示される「制御室建物が側面地盤（MMR含む）又は隣接建物基礎スラブと接する範囲」が占める割合が75%以上であることから、埋込み効果を期待して側面地盤ばねを設定する。

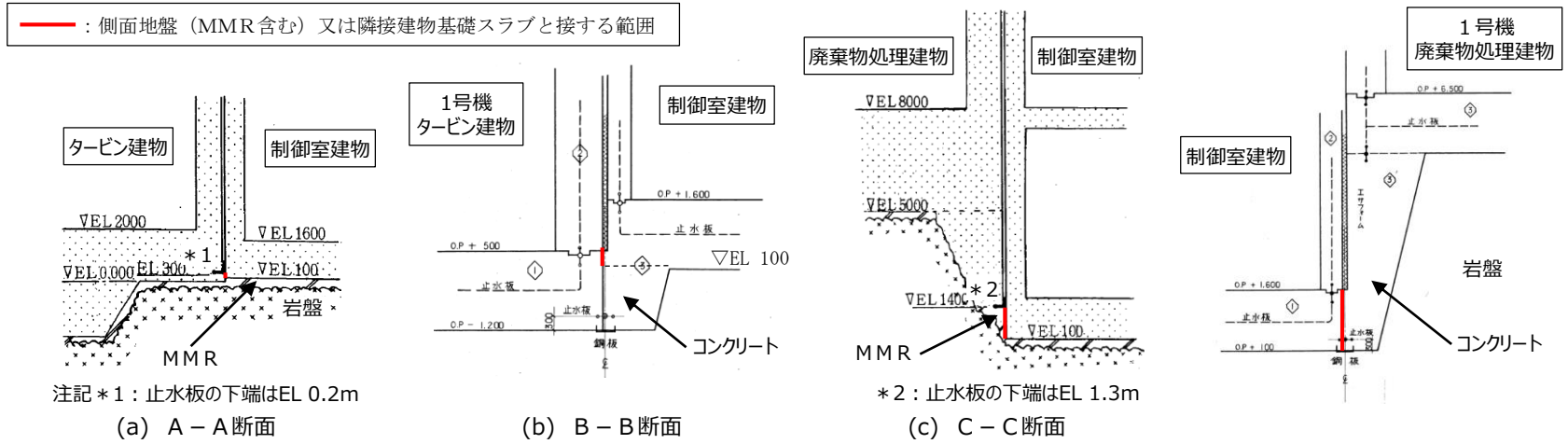


図15 埋戻し状況を示す断面図（建設時竣工図に加筆）

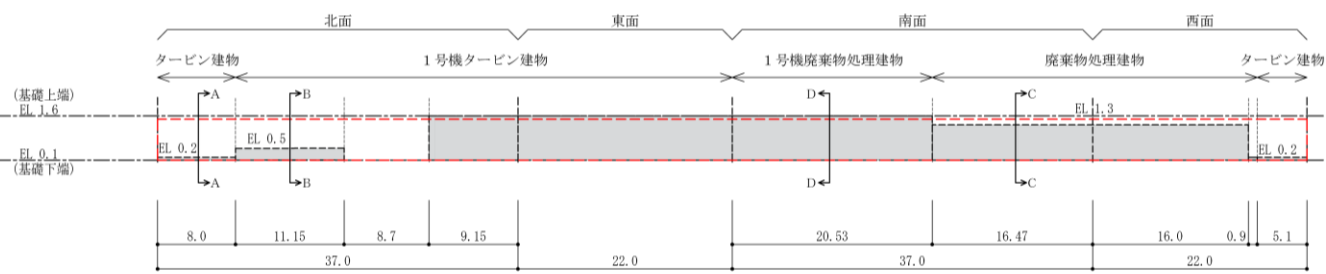
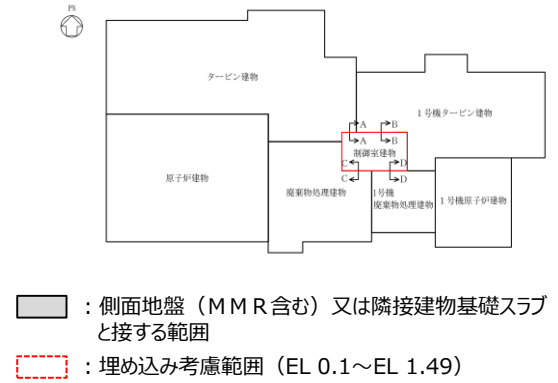


図16 制御室建物の埋込み状況



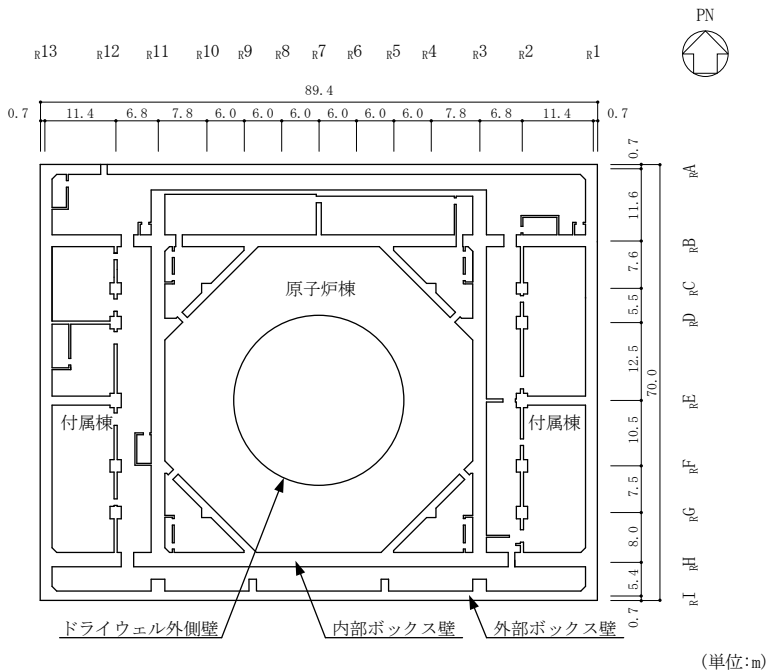
【4-6 (2)】原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更

1. 概要

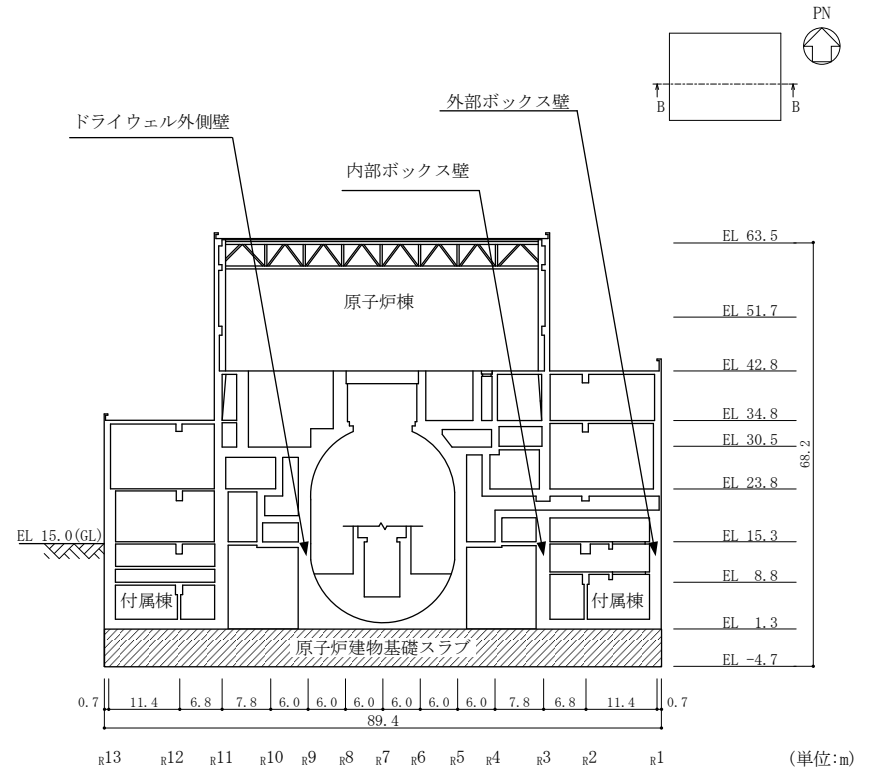
- 設置変更許可時は、建設時の工事計画認可申請書と同様、上部構造物のうち剛性の高い壁をはり要素でモデル化した応力解析モデル（以下「設置許可モデル」という。）を採用する予定であった。
- 今回の工事計画認可申請では、詳細設計に伴い上部構造物の立体的な形状による基礎スラブへの拘束効果を考慮することとし、先行サイトの審査実績を踏まえ、一部の壁及び床スラブを積層シェル要素でモデル化した応力解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）を採用することとした。
- 本資料は、原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更内容を示すものである。また、基礎スラブの応力解析において積層シェル要素でモデル化した壁に発生する応力を考慮した耐震壁の健全性確認結果を示す。

2. 構造概要

- 原子炉建物基礎スラブは、その上部構造である原子炉本体の基礎、原子炉格納容器、その周囲の壁（以下「ドライウェル外側壁」という。）、原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁」という。）及び付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁」という。）を支持する鉄筋コンクリート造の基礎スラブである。
- 原子炉建物基礎スラブの平面寸法は、70.0m（N S）×89.4m（E W），厚さは6.0mで、岩盤に直接設置している。



(a) 概略平面図



(b) 概略断面図

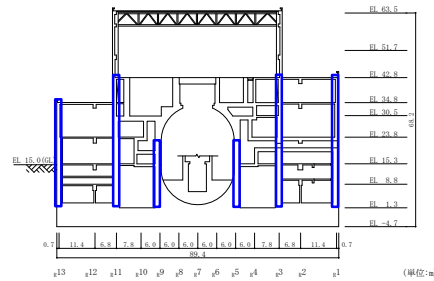
図1 原子炉建物基礎スラブの概要

3. 設置変更許可時からのモデル化方法の変更点

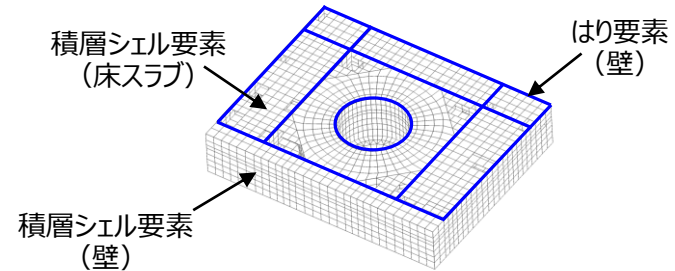
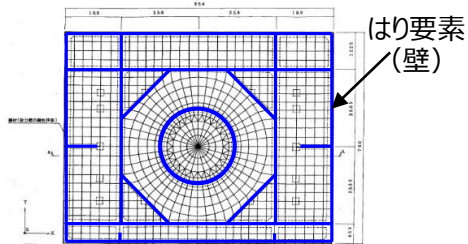
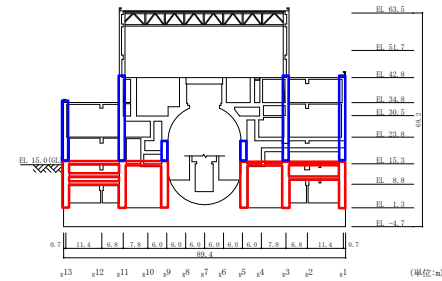
➤ 今回工認では、一部の壁及び床スラブを積層シェル要素でモデル化した応力解析モデルを採用している。

表1 モデル化方法の変更点

部位	EL (m)	(a) 設置許可モデル	(b) 今回工認モデル	備考
壁	15.3~42.8	はり要素	はり要素	弾性部材としてモデル化
	1.3~15.3	はり要素	積層シェル要素	
床スラブ	8.8, 10.3, 12.5, 15.3	-	積層シェル要素	
基礎スラブ	-4.7~1.3	積層シェル要素	積層シェル要素	非線形特性を考慮



□ : はり要素でのモデル化範囲
 □ : 積層シェル要素でのモデル化範囲



(a) 設置許可モデル

(b) 今回工認モデル

図2 モデル化方法の概念図

【4-6 (2)】原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更 (4/5)

4. 評価結果

- S s 地震時において、基礎スラブに発生する軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。
- 積層シェル要素でモデル化した壁に発生する応力を考慮した場合でも耐震壁が健全であることを確認した。

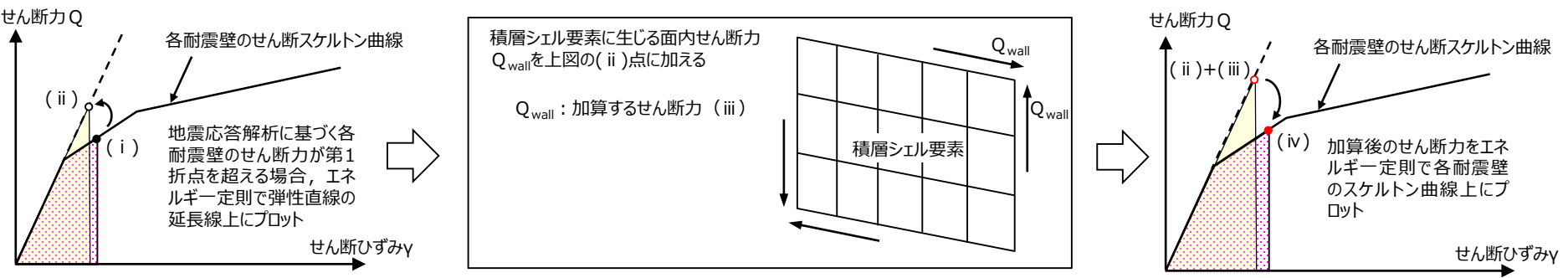


図3 応力解析による発生応力を考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみの算定方法

表2 応力解析による発生応力を考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみ (N S 方向)

部位	EL (m)	加算前			(iii) 加算せん断 ($\times 10^4$ kN)	(ii) + (iii) せん断 ($\times 10^4$ kN)	加算後	
		(i) せん断力 ($\times 10^4$ kN)	(i) せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	(ii) 面積等価せん断力 ($\times 10^4$ kN)			(iv) せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)
DW	15.3~10.1	23.6	0.77	41.4	5.5	46.9	0.92	2.0

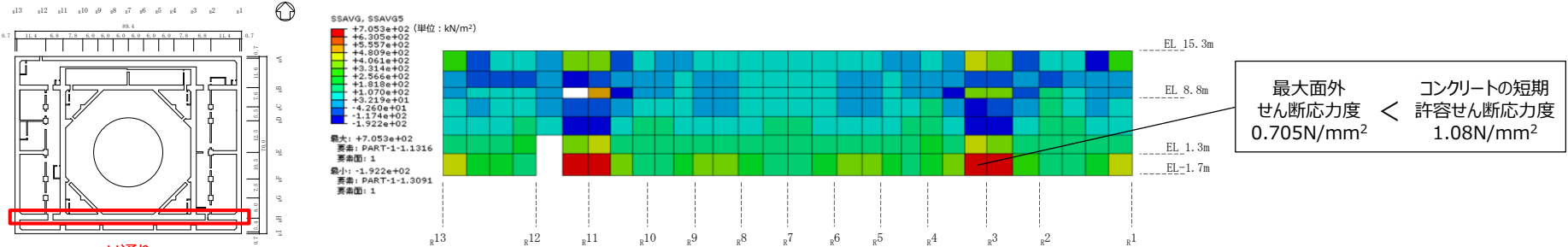


図4 積層シェル要素でモデル化した耐震壁の面外せん断応力強度のカウンター図 (鉛直方向, r_H 通り)

【4-6 (2)】原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更 (5/5)

【参考】モデル化方法の変更による影響及び保守性について

- 今回工認モデルでは一部の壁及び床スラブのみを積層シェル要素でモデル化していることから、拘束効果は実機よりも小さく保守的である。なお、上部構造物の一部をシェル要素でモデル化する方法は、先行サイトでも採用されている。

表3 上部構造物のモデル化方法の変更に伴う解析上の影響

項目	設置許可モデル	今回工認モデル	実機の状態 (想定される実現象)
上部構造物の剛性	<p>影響範囲 (モデル化範囲)</p>	<p>影響範囲 (モデル化範囲)</p>	<p>影響範囲 (モデル化範囲)</p>
	<p>要素種別</p> <p>・EL 1.3m～EL 42.8mまでの壁を等価な剛性を考慮したはり要素でモデル化</p>	<p>要素種別</p> <p>・EL 1.3m～EL 15.3mまでの壁及び床スラブを積層シェル要素でモデル化 ・EL 15.3m～EL 42.8mまでの壁を等価な剛性を考慮したはり要素でモデル化</p>	<p>要素種別</p> <p>-</p>
	<p>剛性評価</p> <p>・EL 1.3m～EL 42.8mまでの壁を対象としたせん断断面積、断面二次モーメントから等価な1本のはり要素に置き換えており、拘束効果は実機及び今回工認モデルより弱い。 ・壁の曲げ剛性は壁の図心位置で評価したものを基礎スラブ中心位置に設定しており、偏心が考慮されないため、実機及び今回工認モデルより小さい。</p>	<p>剛性評価</p> <p>・EL 1.3m～EL 15.3mまでは中立軸に対する曲げ剛性を考慮しており、設置許可モデルに比べて実機の状態に近いモデルとなっている。EL 15.3mより上にある床スラブはモデル化しておらず、その拘束は考慮していないことから、拘束効果は実機より弱い。 ・壁の曲げ剛性は基礎スラブ中心からの偏心が考慮されており、設置許可モデルと比べて実機により近いモデルとなっている。</p>	<p>剛性評価</p> <p>・スラブの拘束等により、およそ層毎に中立軸に対する曲げ剛性が働くと考えられ、建物上部躯体全体として拘束効果を発揮する。</p>
<p>土圧の負担要素</p> <p>・土圧による荷重は全て基礎スラブが負担するモデルとなっており、実機及び今回工認モデルより負担要素は少ない。</p>	<p>土圧の負担要素</p> <p>・土圧による荷重は基礎スラブに加え、地下部分の壁及び床スラブが荷重を負担するモデルとなっており、実機と同等である。</p>	<p>土圧の負担要素</p> <p>・土圧による荷重は基礎スラブに加え、地下部分の壁及び床スラブが荷重を負担する。</p>	
<p>基礎スラブの評価におけるモデル化の特徴及び保守性</p>	<p>基礎スラブの評価におけるモデル化の特徴及び保守性</p> <p>設置許可モデルは既工認モデルに基づいたモデルである。既工認モデルは当時の計算能力の制約もあり、上部躯体の立体的構造をモデル化しないシンプルなモデルとしているため、モデル化した範囲の荷重を基礎スラブがすべて負担するモデルとなっている。このようなモデル化により、基礎スラブの評価において実挙動に対して保守的なモデルとなっている。</p>	<p>基礎スラブの評価におけるモデル化の特徴及び保守性</p> <p>今回工認モデルはEL 15.3mより上にある床スラブはモデル化していないため、これらの床スラブを含めた建物上部躯体全体としての拘束効果は考慮されていない。このようなモデル化により、基礎スラブの評価において実挙動に対して保守的なモデルとなっている。</p>	<p>基礎スラブの評価におけるモデル化の特徴及び保守性</p> <p>-</p>

その他説明内容

【1-10】土石流影響評価

以下は別途提示

【2-2】火災感知器の配置

【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

【3-3】第4保管エリアの形状変更

【3-4】放射性物質吸着材の設置箇所の変更

【3-5】除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う浸水防止設備の
変更

1. 概要

防波壁と隣接している管理事務所4号館が土石流により倒壊した場合に防波壁に影響がないことについて説明する。

- 管理事務所4号館の防波壁側の1スパン（約7m）を減築することにより、その影響範囲に防波壁が含まれないよう対策を行うことを説明する。

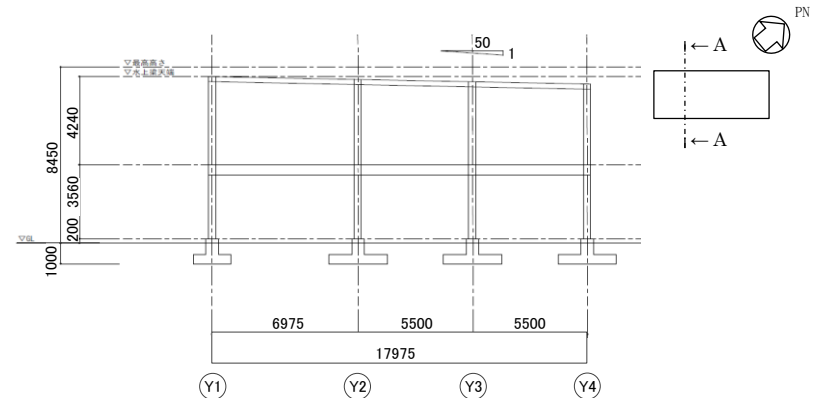
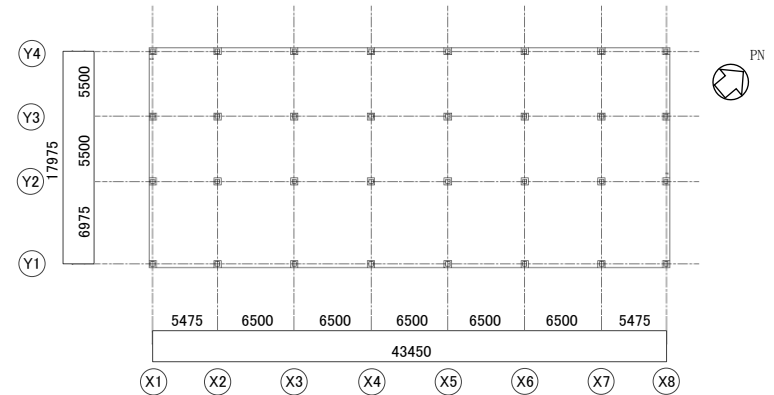
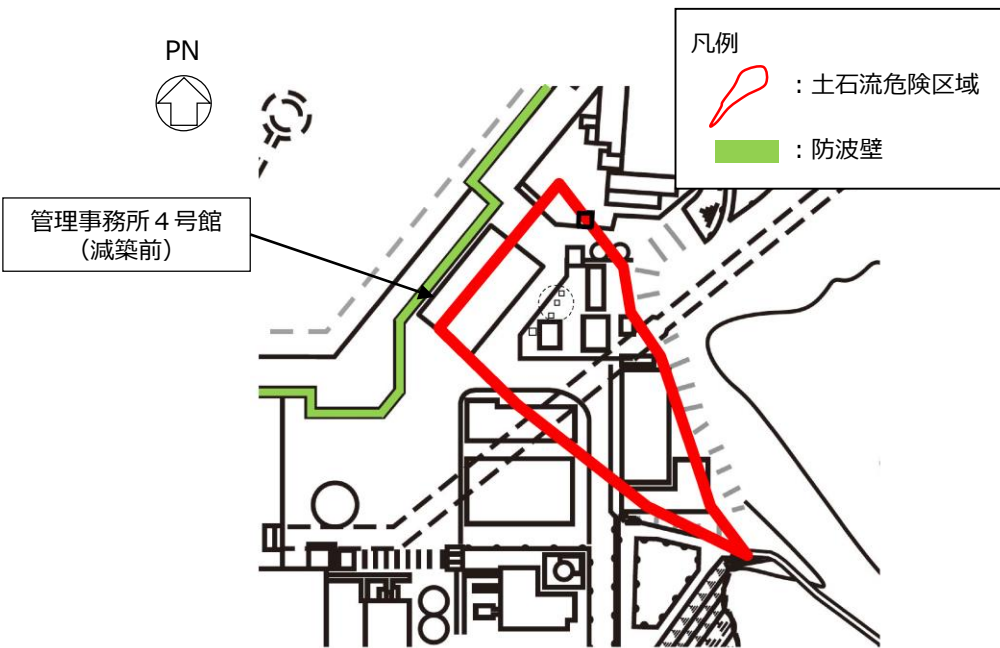


図1 防波壁，管理事務所4号館及び土石流危険区域の配置

図2 管理事務所4号館 (減築後) の概要図

2. 確認結果

- 倒壊及び転倒に対しては、管理事務所4号館の倒壊及び転倒を想定しても防波壁に衝突しない程度に十分な離隔距離を有することを確認した。
- 滑動に対しては、管理事務所4号館が滑動した場合には防波壁との十分な離隔距離を確保できないおそれがあることから、土石流による衝突荷重により建物基礎（独立基礎）底面に滑動が生じないことを確認した。
- 以上のことから、倒壊、転倒及び滑動による防波壁への影響がないことを確認した。

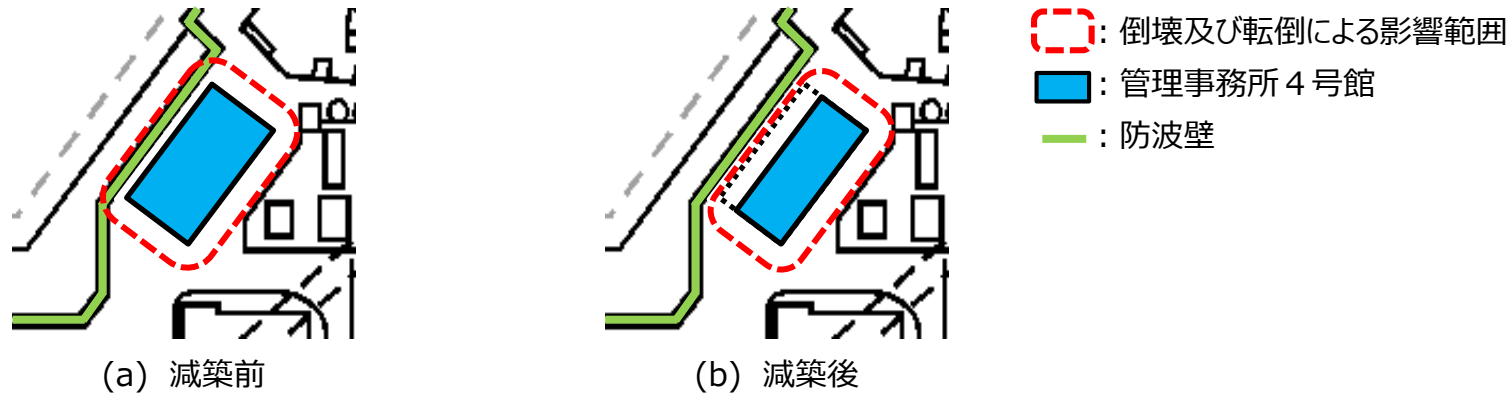


図3 管理事務所4号館の減築前後の倒壊及び転倒による影響範囲

表1 管理事務所4号館（減築後）の倒壊及び転倒による防波壁への影響評価結果

建物	建物諸元			防波壁との 離隔距離 L (m)	判定
	構造	階数	高さ H (m)		
管理事務所4号館	鉄骨造	2	8.45	10.5	影響なし (H < L)

3. 説明図書

- NS2-補-018-01「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書に係る補足説明資料」

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況 (1/2)

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	第1067回審査会合にて説明済	
	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	第1096回審査会合にて説明済	
	1-5	漂流物衝突荷重の設定	第1067,1096回審査会合にて説明済 漂流物対策工及び漂流防止装置については今回説明	
	1-6	機器・配管系への制震装置の適用	【三軸粘性ダンパ】	第1067回審査会合にて説明済
			【単軸粘性ダンパ】	第1112回審査会合にて説明済
	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	第1067回審査会合にて説明済	
	1-9	防波壁 【多重鋼管杭式擁壁】	• 多重鋼管杭の許容限界について模型実験及び3次元静的 F E M解析による確認	第1096回審査会合にて説明済
			• 防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等の説明	第1112回審査会合にて説明済
			• 鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平支持力の評価	第1112回審査会合にて説明済
			• 3次元静的 F E M解析による被覆コンクリート壁の健全性評価	第1112回審査会合にて説明済
		防波壁 【逆T擁壁】	• 役割に期待しない鋼管杭による逆T擁壁への悪影響の確認	第1096回審査会合にて説明済
• 杭頭部の力学挙動について模型実験による確認			第1096回審査会合にて説明済	
• グラウンドアンカのモデル化を踏まえた健全性評価及び品質管理			第1096回審査会合にて説明済	
• 改良地盤の範囲及び仕様等の説明 (P S 検層等に基づく)			第1067回審査会合にて説明済 現地施工進捗に伴う品質確認試験結果については次回以降の審査会合にて説明	
		• 基礎底面の傾斜に対する健全性評価	第1096回審査会合にて説明済	

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況 (2/2)

分類	No.	主な説明事項		説明状況
[1] 詳細設計 申送り事項	1-9	防波壁 【波返重力 擁壁】	・ 既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認	第1112回審査会合にて説明済
			・ ケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明	今回説明
			・ 3次元静的 F E M解析によるケーソンの健全性評価	今回説明
	1-10	土石流影響評価		今回説明
	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	原子炉ウェル排気ラインの閉止及び原子炉ウェ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		今回説明
[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		今回説明
	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		今回説明
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更		今回説明
	3-5	【新規追加】除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う浸水防止設備の変更		今回説明
[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		第1067回審査会合にて説明済
	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		次回以降の審査会合にて説明
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響		次回以降の審査会合にて説明
	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		次回以降の審査会合にて説明
	4-5	取水槽		第1112回審査会合にて説明
	4-6	制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用及び原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更		今回説明