

**島根原子力発電所2号機
許可を受けた設計方針の
設計・工事計画への反映状況**

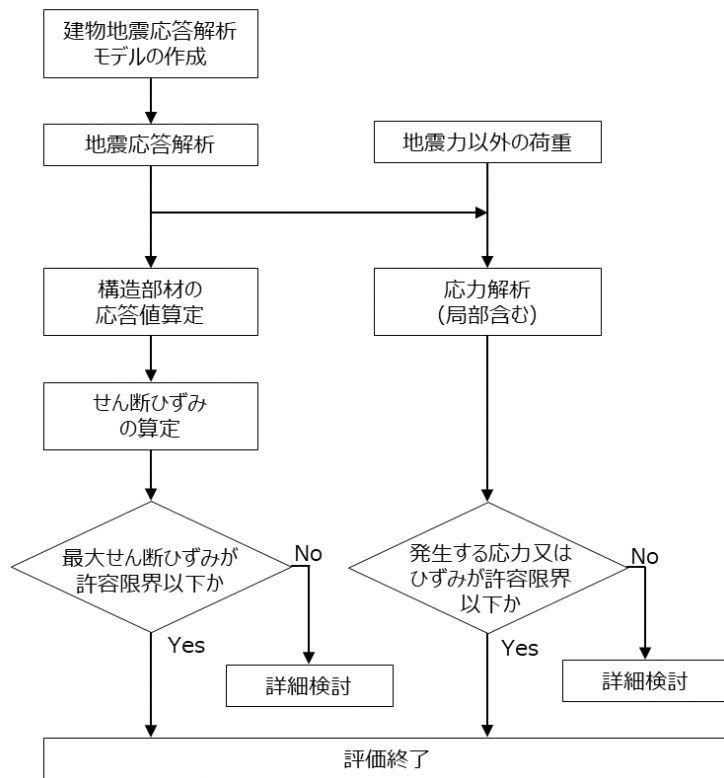
**2023年10月
中国電力株式会社**

1. 建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価方針

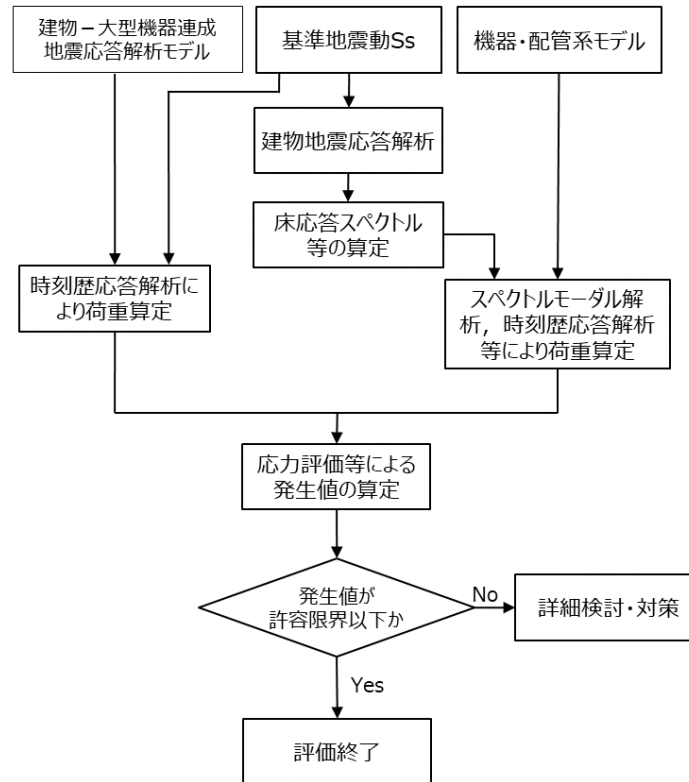
建物・構築物は、基準地震動 S_s に対して構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価に基づき実施する。

機器・配管系は、建物地震応答解析又は建物－大型機器連成地震応答解析により算定した荷重により発生する応力が規格基準に基づき算定した許容限界以下であることを確認する。

建物・構築物の評価フロー



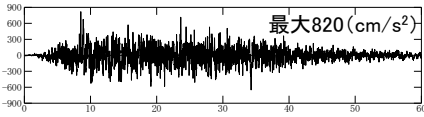
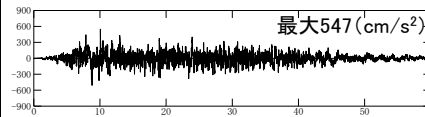
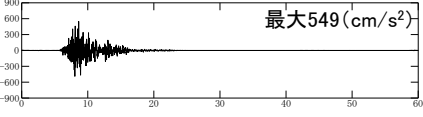
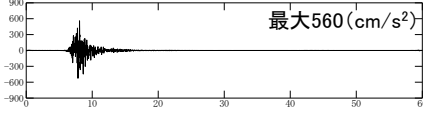
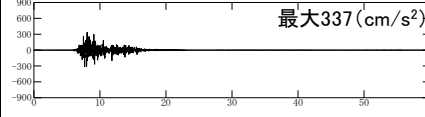
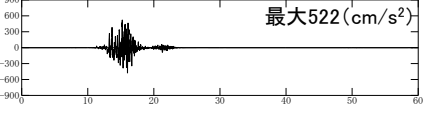
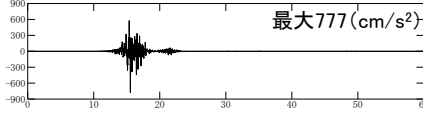
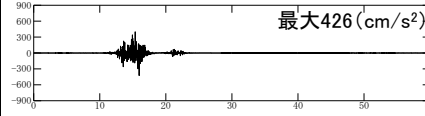

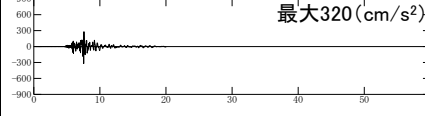
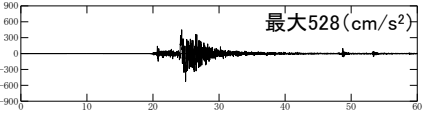
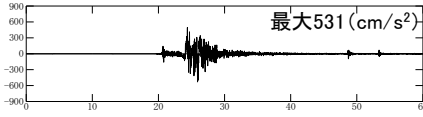
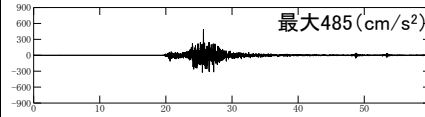
機器・配管系の評価フロー



2. 基準地震動 S s の加速度時刻歴波形及び応答スペクトル

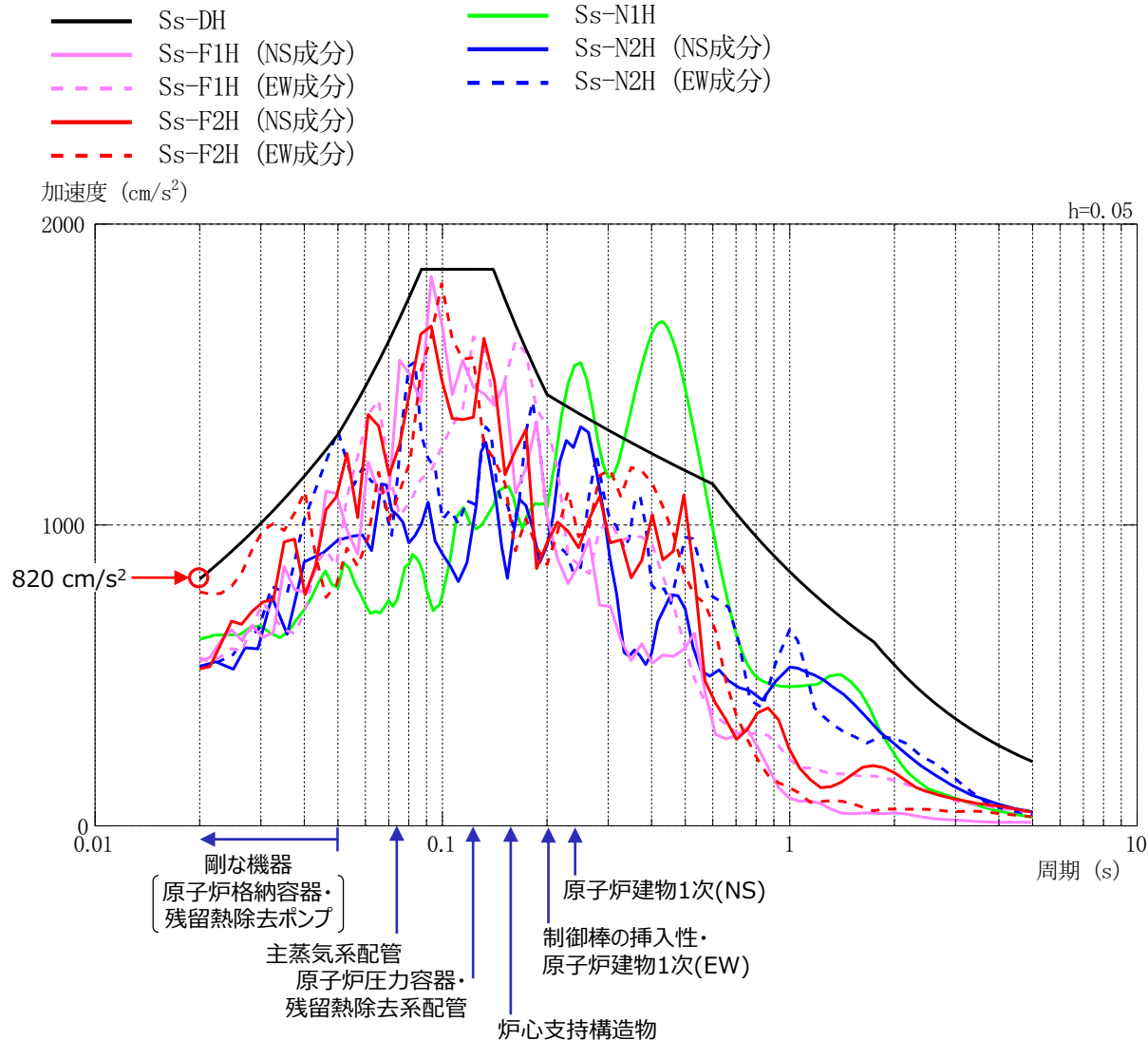
基準地震動 S s については、原子炉設置変更許可（2021年9月15日許可）において定めている。

基準地震動 S s の加速度時刻歴波形を以下に示す。

基準地震動		水平方向 (NS成分)	水平方向 (EW成分)	鉛直方向
S s - D	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 〔応答スペクトル手法による基準地震動〕			
S s - F 1	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 穴道断層による地震の中越中地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点 5			
S s - F 2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 穴道断層による地震の中越中地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点 6			
S s - N 1	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) の検討結果に保守性を考慮した地震動			
S s - N 2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 2000年鳥取県西部地震の賀禰ダム (監査廊) の観測記録			

※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形 [縦軸：加速度 (cm/s²)、横軸：時間 (s)]

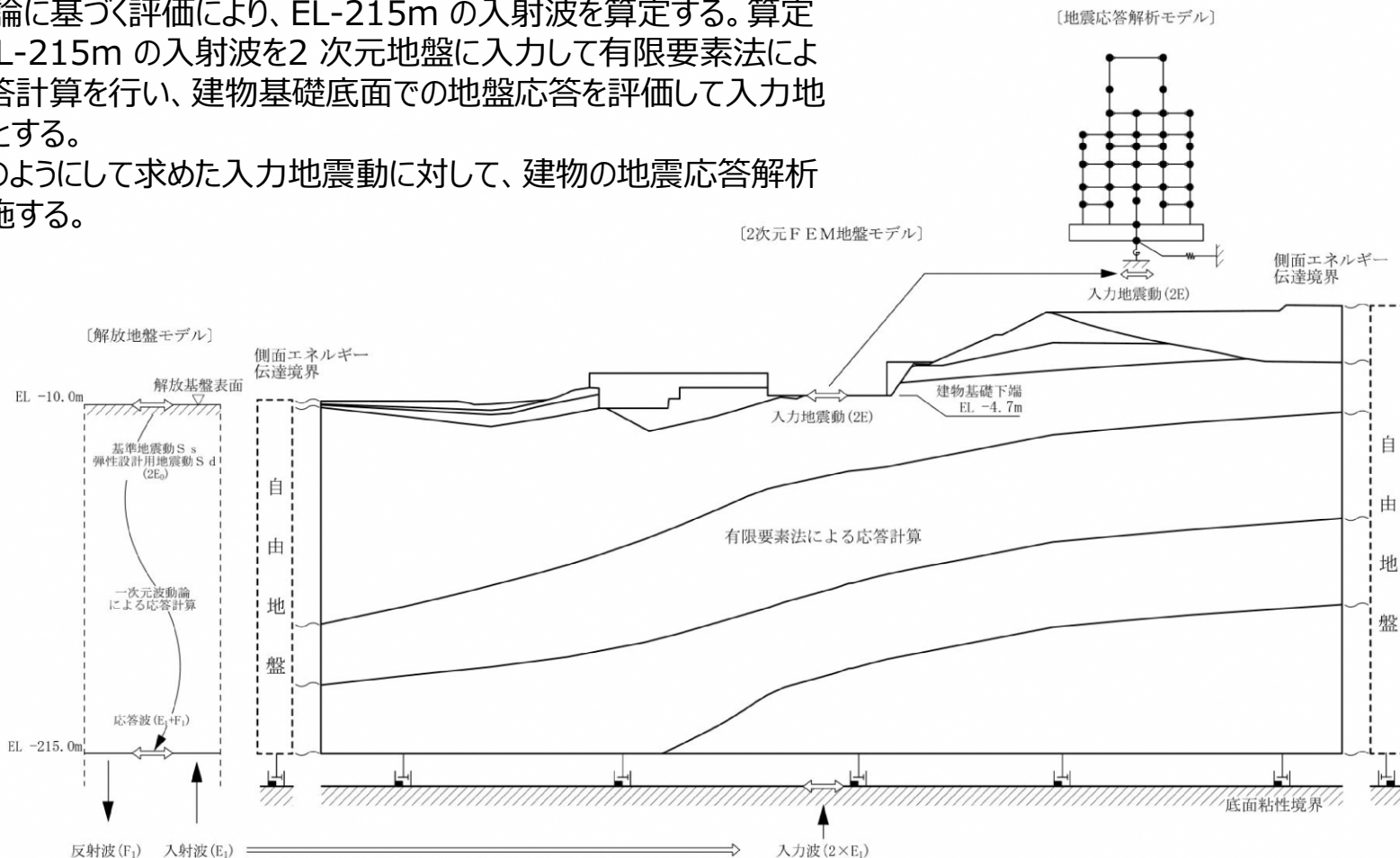
2. 基準地震動 S_s の加速度時刻歴波形及び応答スペクトル (続き) 基準地震動 S_s の応答スペクトル (水平方向) を以下に示す。



3. 原子炉建物の地震応答解析

原子炉建物の水平方向モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を1次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215mの入射波を算定する。算定したEL-215mの入射波を2次元地盤に入力して有限要素法による応答計算を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。

このようにして求めた入力地震動に対して、建物の地震応答解析を実施する。



原子炉建物地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

4. 1 主要設備のうち設計震度を用いて評価する設備

剛構造の設備については1.2ZPA*¹を、柔構造の設備については床応答スペクトルを適用する。

設計震度を用いて評価する設備

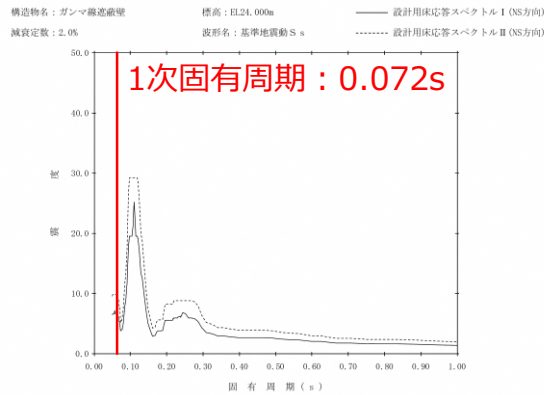
設備名称	設計震度 (G)	【参考】 加速度 (gal)* ²	備考
残留熱除去ポンプ	NS方向 : 0.89 EW方向 : 0.98	NS方向 : 873 EW方向 : 961	剛構造であり、設置場所の1.2ZPAの値を記載
主蒸気系配管	NS方向 : 4.17 EW方向 : 6.14	NS方向 : 4090 EW方向 : 6022	柔構造であり、設置場所における当該配管の1次固有周期に対応する床応答スペクトルの値を記載
残留熱除去系配管	NS方向 : 3.04 EW方向 : 2.94	NS方向 : 2982 EW方向 : 2884	柔構造であり、設置場所における当該配管の1次固有周期に対応する床応答スペクトルの値を記載

* 1 : ゼロ周期加速度(Zero Period Acceleration)を意味しており、機器の設置場所の最大応答加速度を示す。

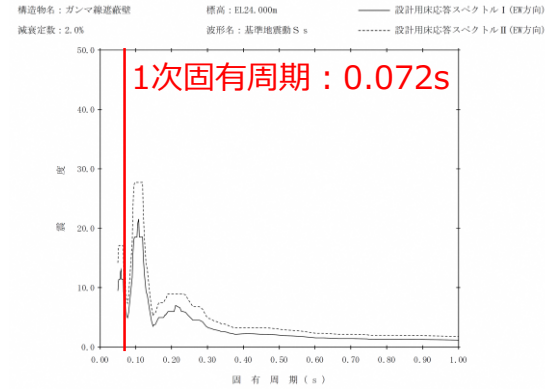
1.2 ZPAは最大応答加速度1.0 ZPAを20%増した値である。

* 2 : 評価に用いる設計震度を加速度(gal)に換算した値を参考に示す。

4. 1 主要設備のうち設計震度を用いて評価する設備 柔構造の設備に適用している床応答スペクトルを以下に示す。

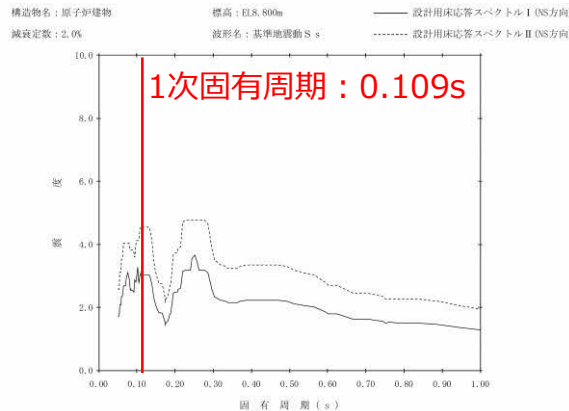


(NS方向)

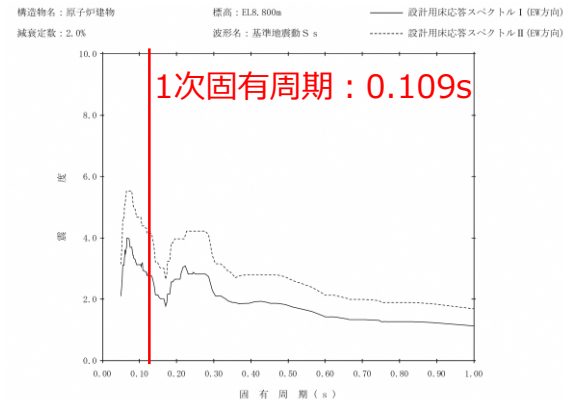


(EW方向)

主蒸気系配管の耐震評価に適用している床応答スペクトル



(NS方向)



(EW方向)

残留熱除去系配管の耐震評価に適用している床応答スペクトル

4. 2 主要設備のうち建物－大型機器連成地震応答解析モデルの荷重、モーメント及び変位を用いて評価する設備
 原子炉圧力容器等の設備は、建物－大型機器連成地震応答解析モデルの地震応答解析の結果より得られた荷重、モーメント及び変位を用いて耐震評価を実施する。

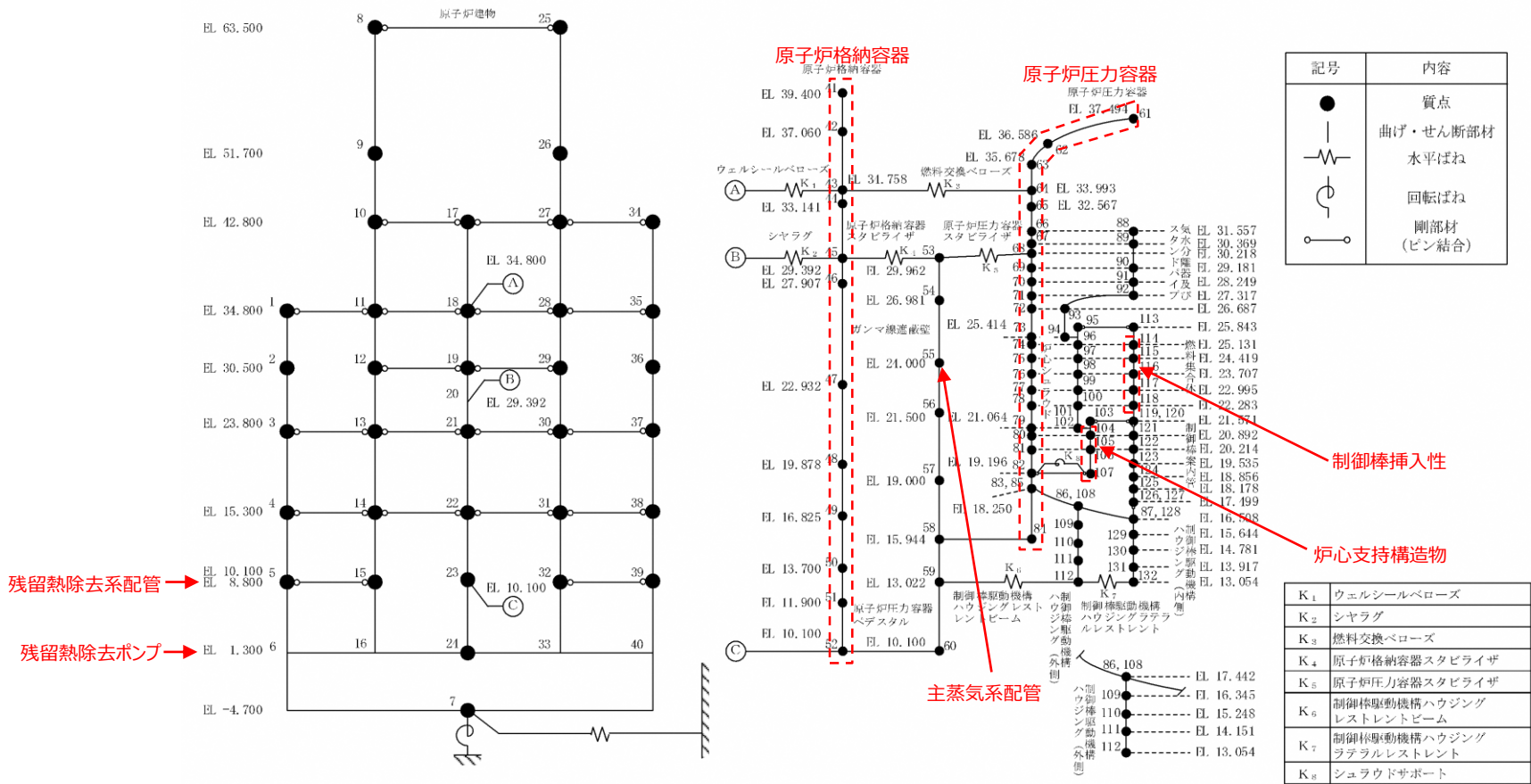
建物－大型機器連成地震応答解析モデルの荷重、モーメント及び変位を用いて評価する設備

設備名称	耐震評価条件	【参考】 当該部の応答加速度* (gal)
原子炉格納容器	建物－大型機器連成地震応答解析モデルによって得られた当該部の荷重及びモーメントを用いて評価	N S 方向：1403 EW 方向：2011
原子炉圧力容器	建物－大型機器連成地震応答解析モデルによって得られた当該部の荷重及びモーメントを用いて評価	N S 方向：5139 EW 方向：5257
炉心支持構造物	建物－大型機器連成地震応答解析モデルによって得られた当該部の荷重及びモーメントを用いて評価	N S 方向：2485 EW 方向：2411
制御棒挿入性	建物－大型機器連成地震応答解析モデルによって得られた燃料集合体の変位を用いて評価	N S 方向：2560 EW 方向：4021

*：上表の設備は地震応答解析より得られた荷重、モーメント及び変位を用いて評価を行っているため、最大応答加速度は直接評価に用いていないが参考として示す。

4. 3 原子炉建物に設置される設備の設置場所について

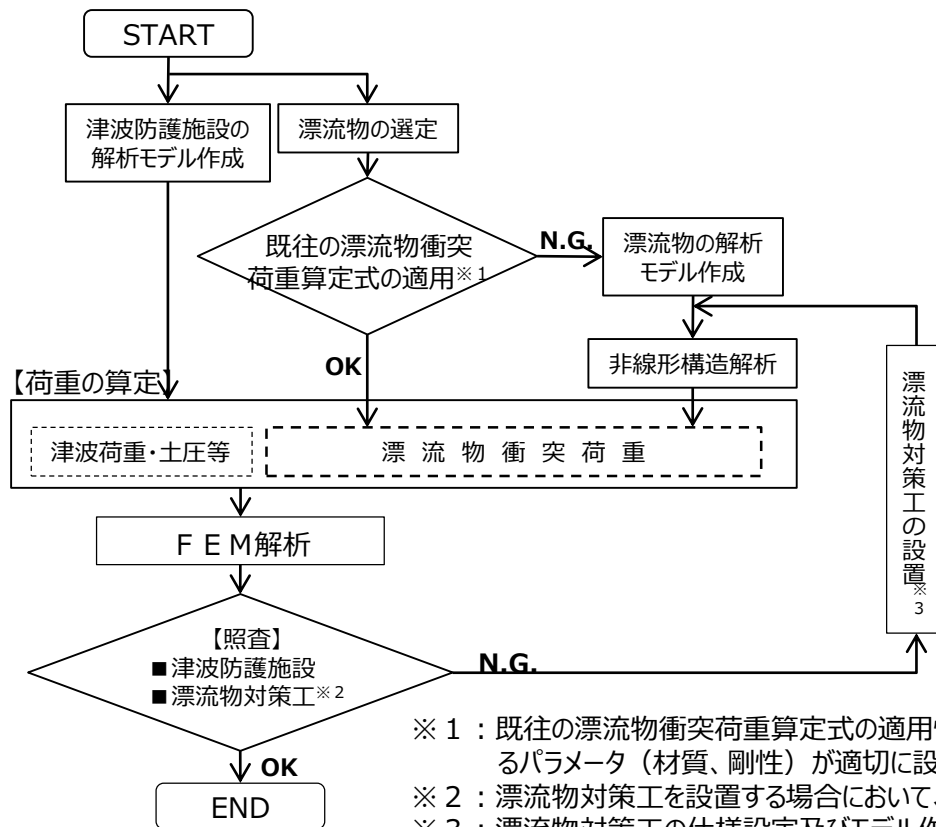
4. 1 及び 4. 2 に示した設備の設置場所を解析モデル図上に示す。



建物 - 大型機器連成地震応答解析モデルにおける設備設置場所 (水平方向 (NS方向)) (単位: m)

1. 設置変更許可審査における説明

- 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）**を選定することを説明。
- 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**することを説明。



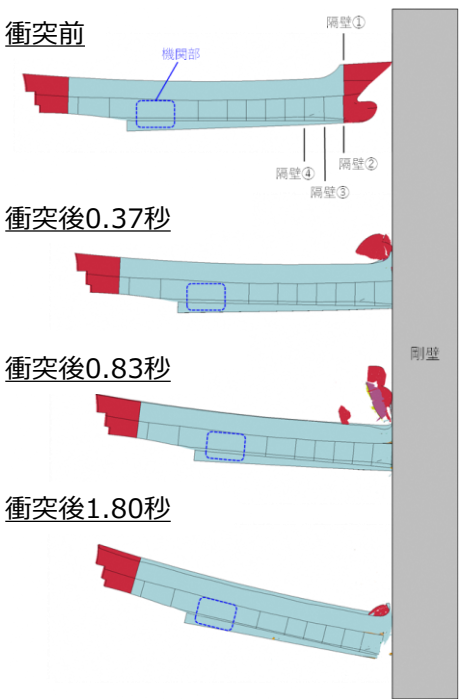
- ※1：既往の漂流物衝突荷重算定式の適用性としては、算定式の根拠や算定式に用いるパラメータ（材質、剛性）が適切に設定できるか等を確認
- ※2：漂流物対策工を設置する場合において、非線形構造解析に基づき照査を実施
- ※3：漂流物対策工の仕様設定及びモデル作成

図1 津波防護施設における津波時の検討フロー（案）

漂流物対策工について (2 / 3)

2. 設工認審査における説明

- 船舶（総トン数19トンの漁船）の形状調査により精度向上を図った**解析モデルによる非線形構造解析（衝突解析）**から**漂流物衝突荷重を算定**。また、船舶の衝突形態の不確かさについても考慮することを説明。
- 衝突解析により、船舶の衝突荷重を抽出し、「施設全体に作用する衝突荷重」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を設定。また、「局所的な衝突荷重」として、設計用衝突荷重である1200kNを設定。
- これらの衝突荷重を踏まえ、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を設置。



【船首からの衝突】

図2 船舶の衝突状況 (例：船首)

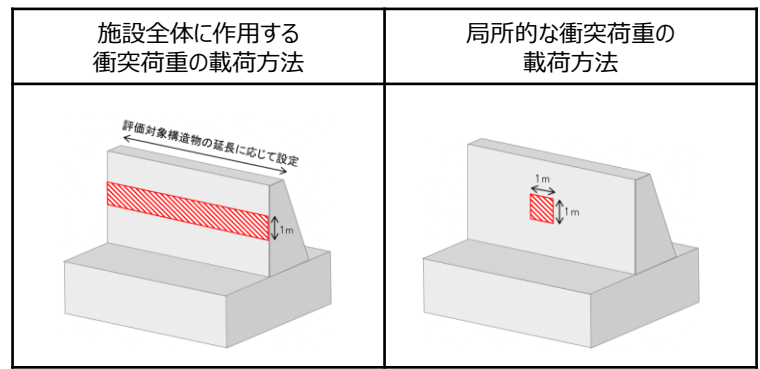


図3 衝突荷重の荷重方法 (例)

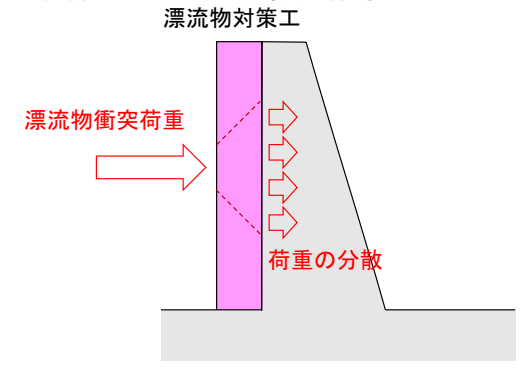


図4 漂流物対策工における衝突荷重の分散

表1 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)

3. 漂流物対策工の設置状況

➤ 漂流物の衝突荷重の影響を踏まえ、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）を設置（工事中；進捗率は図5参照）。

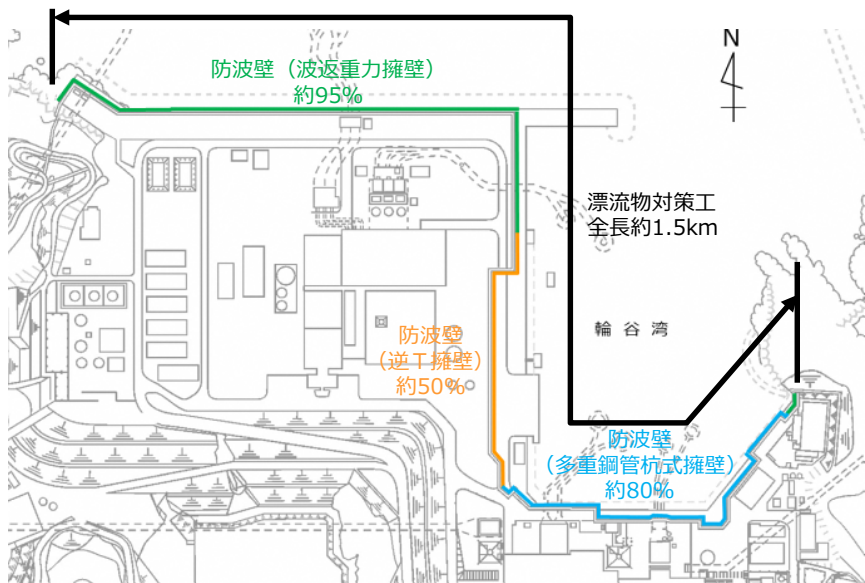


図5 漂流物対策工の配置図



漂流物対策工 設置状況

図7 漂流物対策工の設置状況

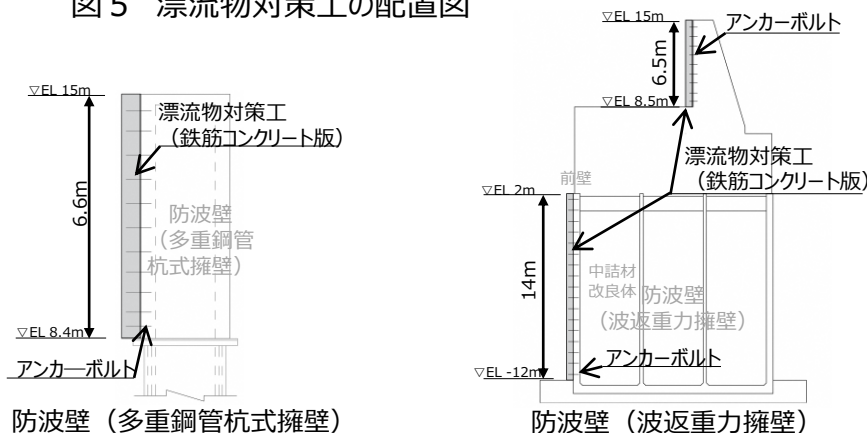
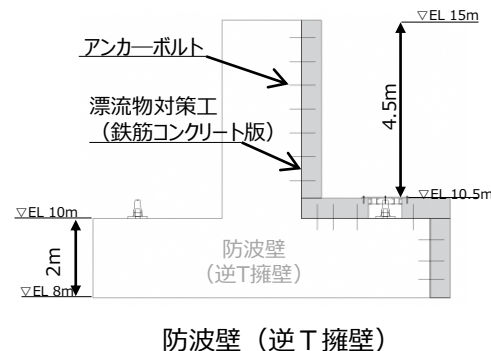


図6 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造図



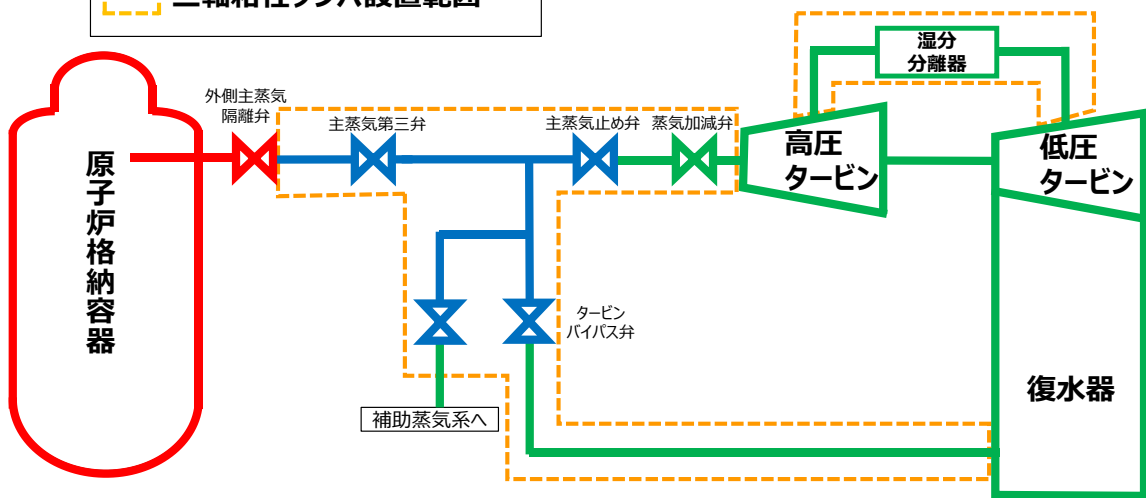
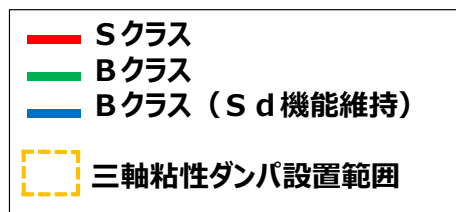
防波壁 (逆T擁壁)

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

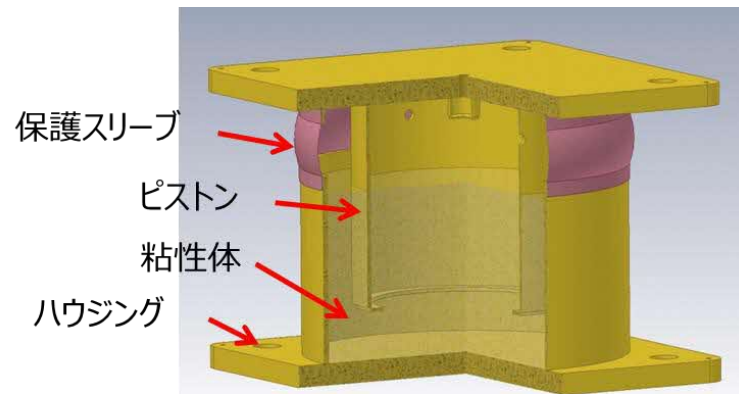
三軸粘性ダンパについて（1 / 3）

1. 設置変更許可審査における説明

- 島根 2 号機における主蒸気系配管等は，今回工認で考慮する鉛直方向の動的地震力等の影響により，耐震構造による補強が困難であることから，制震装置（三軸粘性ダンパ）を設置。
- 三軸粘性ダンパは，海外の原子力発電所において振動対策及び地震対策として設置実績があること及び設置スペース・干渉物・施工性等を考慮して現場状況に応じた取付が可能であることを説明。
- 三軸粘性ダンパの構造，作動原理等を示した上で，三軸粘性ダンパの減衰性能を適切に考慮したモデル化及び地震応答解析手法について説明。



三軸粘性ダンパの設置範囲及び耐震クラス



三軸粘性ダンパの外観及び構造

三軸粘性ダンパについて（2 / 3）

2. 設工認審査における説明

- 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析手法について，詳細と手法の妥当性を説明。
- 三軸粘性ダンパを設置したBクラス（S d 機能維持）の主蒸気系配管の地震応答解析結果を説明。
 - 配管：発生応力が許容応力以下となることを確認した。
 - 三軸粘性ダンパ
 - 構造強度評価：発生荷重が許容荷重以下となることを確認した。
 - 機能維持評価：変位振幅及び累積消費エネルギーが許容値以下となることを確認した。
（許容値は，性能試験条件に基づき設定。）

Bクラス（S d 機能維持）の主蒸気系配管の応力評価結果*

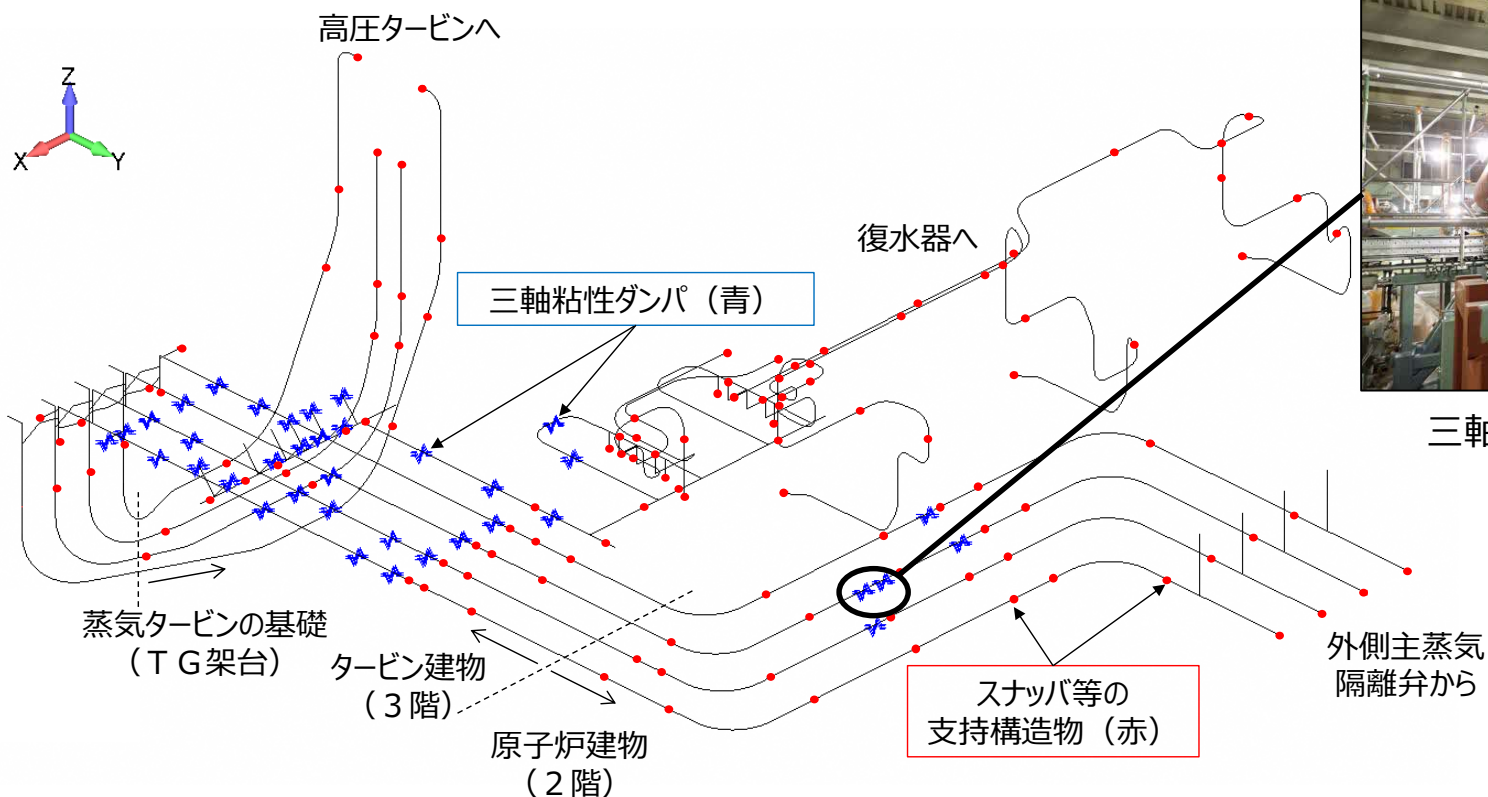
許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価 疲労累積 係数
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
IV A S	一次応力 ($0.9 \cdot S_u$)	MS-T-1	264	108	377	—
	一次+二次応力 ($2 \cdot S_y$)	MS-T-1	264	120	396	—

注記*：評価上最も厳しい結果となるS d - 1についての評価結果を示す

三軸粘性ダンパについて（3 / 3）

3. 三軸粘性ダンパの設置状況

- 三軸粘性ダンパは主蒸気系配管等に採用しており、全部で53個設置している（2023年3月設置完了）。設置イメージを下図に示す。



三軸粘性ダンパの設置例

主蒸気系配管における三軸粘性ダンパの配置イメージ

地下水水位低下設備について (1 / 3)

1. 設置変更許可審査における説明

- 原子炉建物等に作用する揚圧力及び液状化影響の低減を目的として、信頼性（耐久性・耐震性・保守管理性）を満足する**地下水水位低下設備を新設**。
- 地下水水位低下設備は設備の重要性を考慮し、**耐震性（Ss機能維持）を確保**するとともに、故障要因等を整理したうえで、**排水機能、監視・制御機能及び電源機能の信頼性向上**を図る。

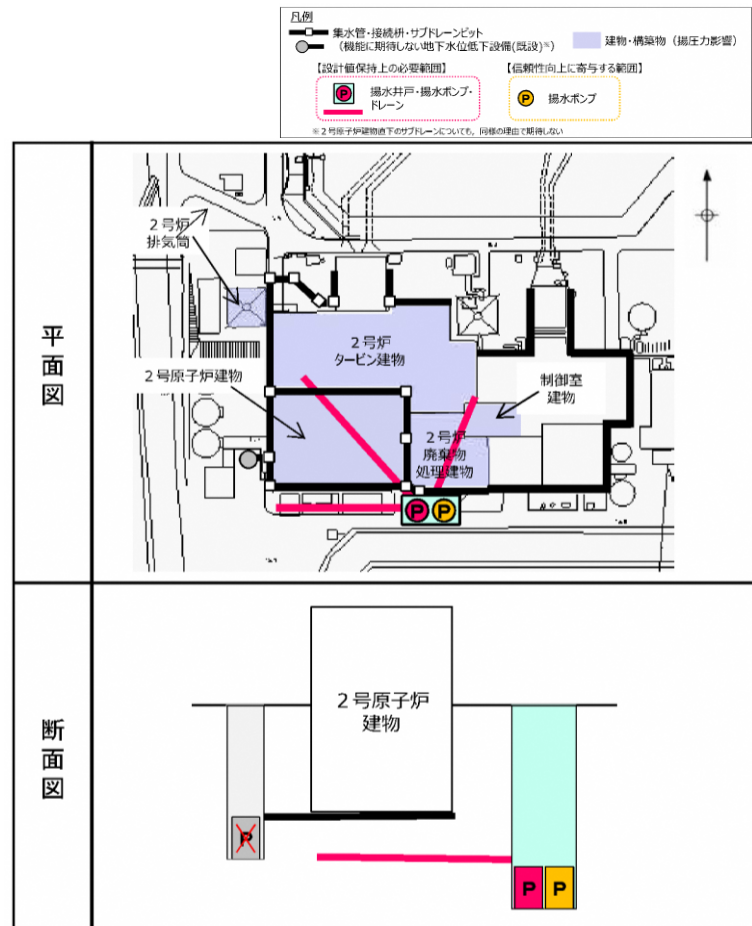


図1 地下水水位低下設備の配置例及び構成例

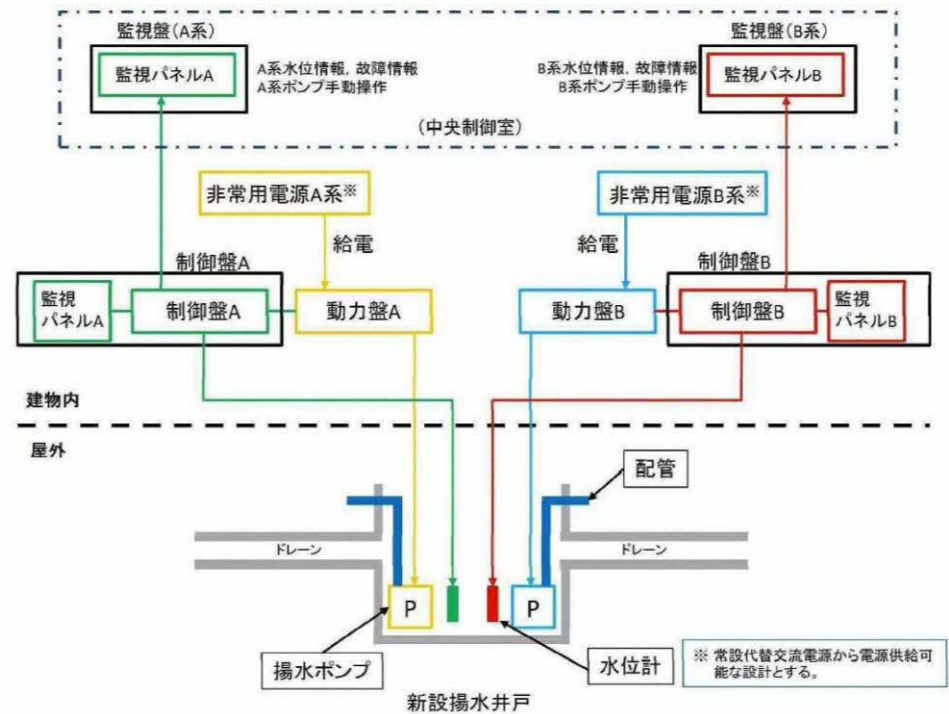


図2 地下水水位低下設備の系統構成概要図

地下水水位低下設備について（2 / 3）

2. 設工認審査における説明

- 各施設の耐震設計の条件となる設計地下水水位の設定について、既設の地下水水位低下設備についてはその機能に期待せず、**地下水水位低下設備を新設**することを説明。また、浸透流解析結果を踏まえ、新設する地下水水位低下設備の位置を変更。
- 地下水水位低下設備は設計基準対象施設（Cクラス、**Ss機能維持**）と位置づけ、耐震性を確保。
- 排水機能、監視・制御機能及び電源機能について、**多重化、非常用電源確保、復旧用可搬ポンプの準備等、信頼性向上を図る**ことを説明。

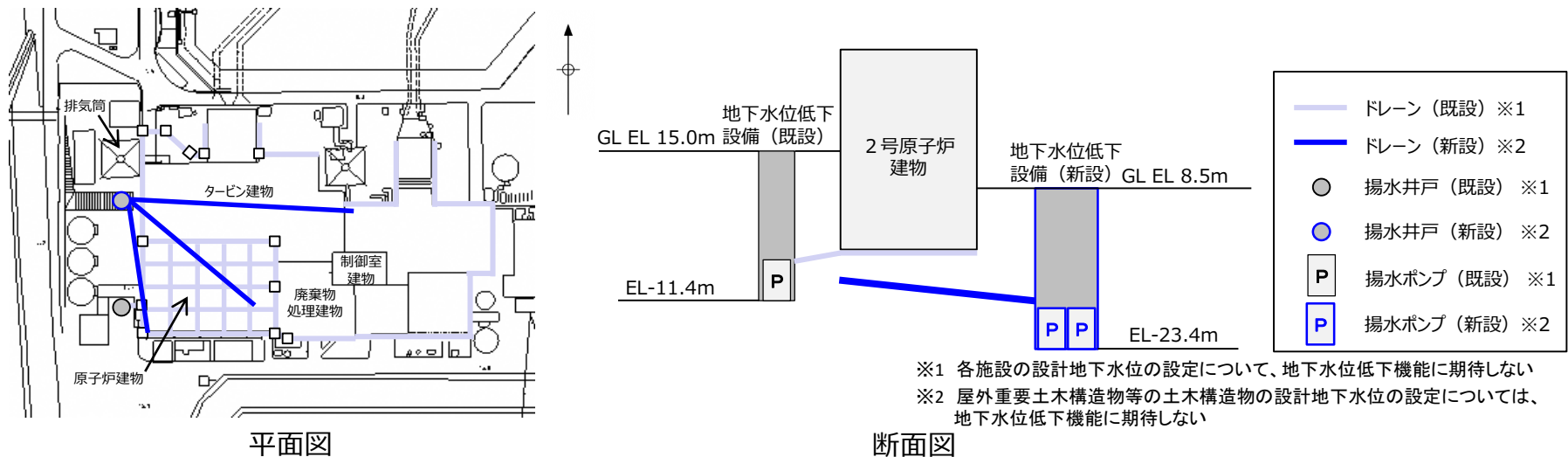


図3 地下水水位低下設備の概要

地下水水位低下設備について (3 / 3)

3. 地下水水位低下設備の設置状況

➤ 浸透流解析等の評価を踏まえ、地下水水位低下設備を設置 (工事中)。

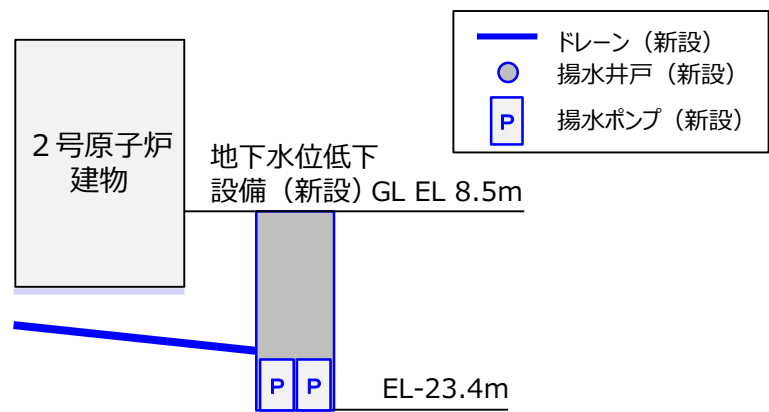
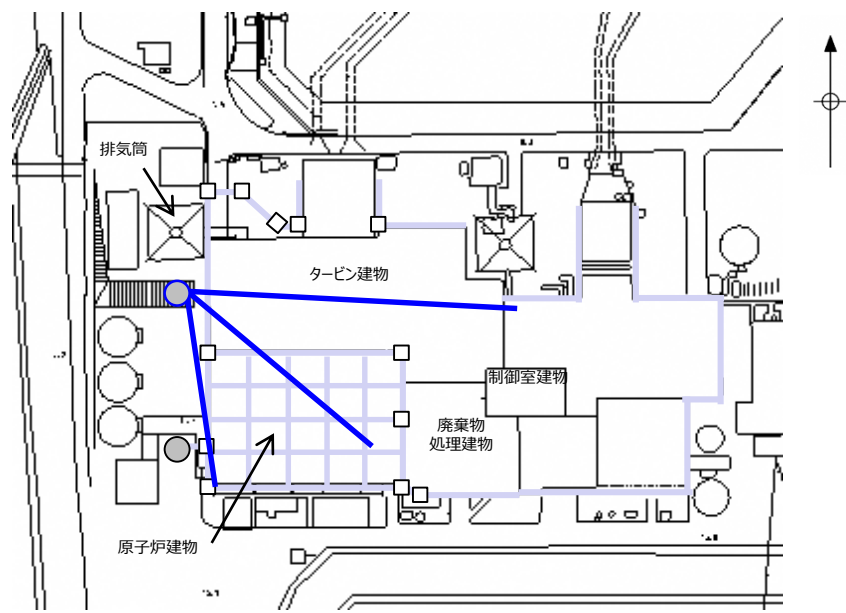


図4 地下水水位低下設備の位置図



真上からの写真
(コンクリート打設前)



横からの写真
(コンクリート打設後)

図5 地下水水位低下設備の設置状況