

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6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）及び第1036回審査会合（2022年3月29日）での主な説明事項No.1-1，No.1-12及びNo.1-13に関する指摘事項に対する回答について説明する。

分類	No. (主な説明事項)	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り 事項	1-1	地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力 （【指摘事項に対する回答】を含む）	P.2～15
	1-11	保管・アクセス（抑止杭）	P.16～23
	1-12	ブローアウトパネル閉止装置【指摘事項に対する回答】	P.24～26
	1-13	非常用ガス処理系吸込口の位置変更による影響【指摘 事項に対する回答】	P.27～29
[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	P.30～37

- 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。

【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））

建物の地震応答解析における基礎浮上り評価について、低接地率となる見込みのある複数の建物に対して、複数の手法を使い分けて適用することが島根サイトの特徴であることから、その妥当性について建物基礎底面の付着力の論点と併せて今後説明すること。

■ 回答

- 島根2号機の建物・構築物は「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に示される浮上り非線形地震応答解析により基準地震動 S_s に対して接地率を算定することを基本とし、接地率 $\eta < 65\%$ となる場合の別途検討については、「J E A C 4 6 0 1 - 2008」及び「J E A C 4 6 0 1 - 2015」の評価フローを参考に、地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)の選定フローを整理した。(P.5, 6) <No.1>
- 付着力を考慮しない建物のうち、建物の重要度、内包する施設の重要度及び接地率を踏まえ原子炉建物を代表建物とし、今回工認モデルと付着力考慮モデルを用いた地震応答解析を実施した結果、付着力の考慮により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示した。また、付着力を考慮する建物のうち廃棄物処理建物について、付着力の考慮の有無による最大水平応答加速度の比較を行った結果、付着力の有無によらずほぼ一致した。これらのことから、付着力の考慮の有無による建物応答（水平方向）への影響は軽微であることを確認した。(P.7, 10) <No.2>
- ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元 F E Mモデルによる接地率の適用範囲（接地率 $\eta \geq 35\%$ ）について、解析的検討等によりその適用性を確認した。(P.8~11) <No.3>
- 建物の基礎底面と地盤間の付着力は、島根原子力発電所における付着力試験の結果（追加試験結果を含む）に基づき 0.40N/mm^2 に設定した。(P.12~15) <No.4>

以上のことから、島根2号機において各建物（重要 S A 施設及び波及的影響に係る施設を含む）の地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）を使い分けて適用することの妥当性及び建物基礎底面の付着力として設置変更許可段階で説明した値の保守性・妥当性を確認した。

注記：< >は、関連する詳細設計申送り事項のNo.を示す。

【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、「地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力」及びそれに関連する「地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）」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"> 特別な検討における誘発上下動の扱いに対する考え方について説明すること。 (第823回審査会合（2020年1月21日）) 3次元地盤モデルを用いる場合の誘発上下動の考慮方針について説明すること。 (第300回ヒアリング（2020年2月19日）) 	D	<ul style="list-style-type: none"> ジョイント要素に付着力を考慮した3次元FEMモデルは、浮上りに伴う誘発上下動の評価が可能であることを踏まえて、接地率に関わらず誘発上下動の影響を確認し、影響の程度に応じて考慮の要否を判断する。 島根2号機において今回採用するジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルによる工認モデルの最小接地率は、廃棄物処理建物で93.9%、1号機原子炉建物で59.2%であり、ともに35%を大きく上回る。 誘発上下動の具体的な取り扱いについては、「J E A C 4 6 0 1 - 2015」において、接地率65%以上であれば設計で考慮している鉛直動と比較して誘発上下動の影響は小さいとされていることを参考に、廃棄物処理建物の設計においては、浮上りに伴う影響はないことを確認した上で誘発上下動の影響を考慮しない。また、1号機原子炉建物については、波及的影響においては水平応答を評価するため、誘発上下動の影響を考慮しない。ただし、機器・配管系の設計においては、念のため廃棄物処理建物の設計用床応答スペクトルに誘発上下動の影響を考慮する。 	P.6
2	<ul style="list-style-type: none"> 「付着力を考慮しない建物に対する付着力の有無の影響評価の方針」について、原子炉建物の影響評価結果では付着力考慮モデルの応答スペクトルが付着考慮なしモデルを上回っている箇所がある。これを踏まえて、詳細設計段階での影響評価方針を説明すること。 (第823回審査会合（2020年1月21日）) 地震応答解析で付着力を考慮しない建物に対する、付着力を考慮した場合の影響検討の位置付けを説明すること。 (第300回ヒアリング（2020年2月19日）) 	D	<ul style="list-style-type: none"> 付着力を考慮しない建物のうち、建物の重要度、内包する施設の重要度及び接地率を踏まえ原子炉建物を代表建物とし、今回工認モデルと付着力考慮モデルを用いた地震応答解析を実施した結果、付着力の考慮により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示した。 また、付着力を考慮する建物のうち廃棄物処理建物について、付着力の考慮の有無による最大水平応答加速度の比較を行った結果、付着力の有無によらずほぼ一致した。 これらのことから、付着力の考慮の有無による建物応答(水平方向)への影響は軽微であることを確認した。 	P.7, 10

No.	詳細設計送り事項	分類	回答	回答頁
3	<ul style="list-style-type: none"> 地震応答解析モデルの選定フローで、付着力考慮の3次元FEMモデル解析の結果は接地率35%以上であれば適用できるとあるが、引用している*2の解析(注)は付着力を考慮していない結果であるため、付着力を考慮した場合も適用できるとする根拠について説明すること。 (第823回審査会合(2020年1月21日)) 注記:「*2の解析」は、JEAC4601-2008 3.5.5.4 参考資料3.5「基礎浮上りの評価手法について(3)ジョイント要素を用いた3次元FEM地盤モデル」の解析を示す。 ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルは接地率35%以上なら適用できるとあるが、その根拠は引用のJEAC4601-2015にはなく事業者独自の考えである。今後、付着力考慮の3次元FEMモデルの接地率が小さい場合には判断基準の適用性について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)) 	D	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物処理建物のジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルによる解析を実施し、既往論文との比較検討も含め考察した結果、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルの解析結果は既往論文で示された応答結果と同様の傾向を示していること及び低接地率となる領域においても特異な応答を生じていないことが確認でき、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルが適用可能な接地率を、付着力を考慮しない場合と同様に35%以上としていることの妥当性を確認した。 	P.8~11
4	<ul style="list-style-type: none"> 試験箇所と設計対象建物位置の付着力の同等性について、設計用付着力としての信頼性、保守性及び地盤のばらつきを踏まえた網羅性・代表性に対する説明性を向上させるために、詳細設計段階までに追加付着力試験を行う等の対応方法を検討し、許可段階でその方針を説明すること。 (第823回審査会合(2020年1月21日)) 設定付着力の試験結果に対する保守性について、詳細設計段階で追加試験結果を踏まえ確認することが明確になるよう説明すること。 (第300回ヒアリング(2020年2月19日)) 	A	<ul style="list-style-type: none"> 地震応答解析に用いる付着力について、信頼性、保守性及び地盤のばらつきを踏まえた網羅性・代表性に対する説明性を向上させる観点から、1, 2号機建物近傍において追加試験を実施した。 追加試験結果は前回試験結果と同等以上の値であったことから、設計用付着力として設定した値(0.40N/mm²)は十分な保守性を有しており、妥当であることを確認した。 	P.12~15

1. 建物の地震応答解析モデルについて

1. 1 検討概要

- 島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書では、原子炉建物等の地震応答解析における基礎浮上り評価について、線形地震応答解析又は浮上り非線形地震応答解析を実施している。
- 今回の工事計画認可申請(以下「今回工認」という。)では、入力地震動の増大に伴い、基準地震動 S_s による検討においては、一部解析結果で浮上り非線形地震応答解析を適用できる接地率に満たないことから、個別に解析の妥当性を確認し、採用する地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)について検討する。

1. 2 地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)について

(1) 地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)の選定フローの設定

- 島根2号炉の建物・構築物は「J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版」に示される浮上り非線形地震応答解析により基準地震動 S_s に対して接地率を算定することを基本とする。
- 接地率 $\eta < 65\%$ となる場合の別途検討は、「J E A C 4 6 0 1 - 2008」(図1参照)及び「J E A C 4 6 0 1 - 2015」の評価フローを参考とした。
- 上記を踏まえた島根2号機における各建物(重要SA施設及び波及的影響に係る施設を含む)の地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)の選定フローを次頁に示す。

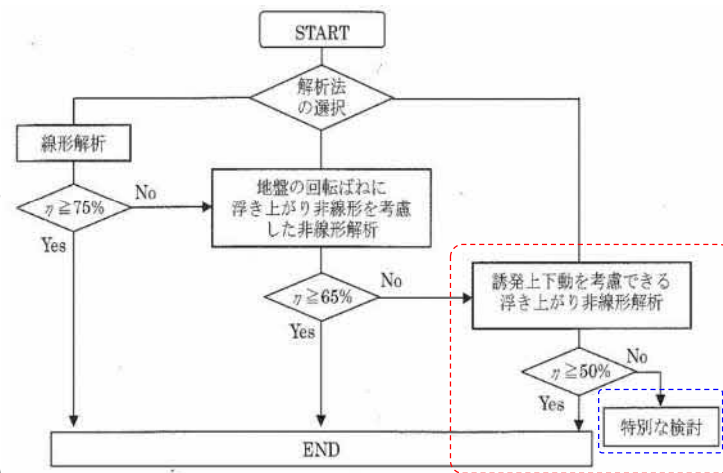
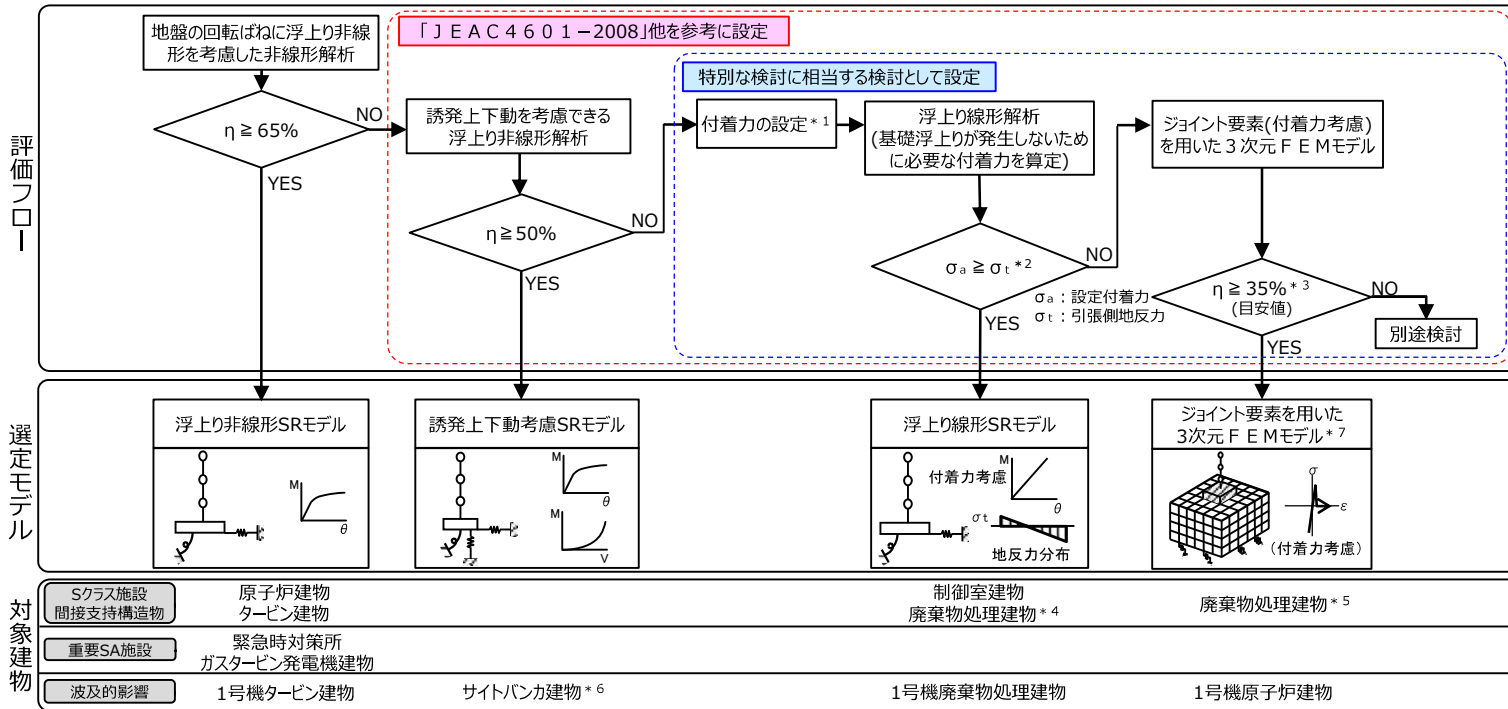


図1 基礎浮上り評価フロー(参考)
(「J E A C 4 6 0 1 - 2008」より抜粋、一部加筆)

1. 2 地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)について(続き)



(補足 1)
基礎スラブの応力解析において、 $\sigma_a \geq \sigma_t$ の場合は基礎浮上りが発生しないことから、応力解析に設定する地盤はねは線形ばねとする。
また、組合せ係数法の適用性について検討する。

(補足 2)
ジョイント要素に付着力を考慮した 3次元 FEM モデルは、浮上りに伴う誘発上下動の評価が可能であることを踏まえて、接地率に関わらず誘発上下動の影響を確認し、影響の程度に応じて考慮の可否を判断する。

《具体的な取り扱い》
島根 2 号機において今回採用するジョイント要素(付着力考慮)を用いた 3次元 FEM モデルによる工認モデルの最小接地率は、廃棄物処理建物で 93.9%、1 号機原子炉建物で 59.2% であり、ともに 35% を大きく上回る。誘発上下動の具体的な取り扱いについては、「J E A C 4 6 0 1 - 2 0 1 5」において、接地率 65% 以上であれば設計で考慮している鉛直動と比較して誘発上下動の影響は小さいとされていることを参考に、廃棄物処理建物の設計においては、浮上りに伴う影響はないことを確認した上で誘発上下動の影響を考慮しない。また、1 号機原子炉建物については、波及的影響においては水平応答を評価するため、誘発上下動の影響を考慮しない。
ただし、機器・配管系の設計においては、念のため廃棄物処理建物の設計用床応答スペクトルに誘発上下動の影響を考慮する。

図 2 島根 2 号機における各建物の地震応答解析モデルの選定フロー

- 地震応答解析に付着力を考慮していない建物に対する、付着力の考慮有無による建物応答への影響の検討について検討した結果を 1. 3 に示す。
- 地震応答解析モデルの選定フローのうち、島根 2 号機の地震応答解析の特徴である「付着力を考慮した 3 次元 F E M モデルの適用性」及び「付着力の設定」について 1. 4 及び 2. で詳細に説明する。

注：上記以外の建物（サイトバンカ建物(増築部)、排気筒モニタ室、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備）は基礎固定モデルとする。
 注記 * 1：設定付着力 $\sigma_a = 0.40 \text{ N/mm}^2$
 * 2：組合せ係数法により鉛直方向地震力を組み合わせた場合も考慮する。(補足 1)
 * 3：JEAC4601-2008, 2015 及び付着力を考慮した 3 次元 FEM による解析結果を踏まえ目安値として設定した (P9 ~ 12 参照)。
 * 4：弾性設計用地震動 S d に対する評価に用いる。
 * 5：基準地震動 S s に対する評価に用いる。
 * 6：接地率が 65% 以上となる場合は浮上り非線形 SR モデルとする。
 * 7：誘発上下動の影響については補足 2 を参照

【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 (6/14)

1. 3 付着力の考慮有無による建物応答への影響の検討

1. 3. 1 検討概要

建物基礎底面の付着力の考慮の有無による建物応答への影響を把握するため、付着力を考慮していないS Rモデル(浮上り非線形地震応答解析)について、建物の重要度、内包する施設の重要度及び接地率を踏まえて原子炉建物を代表建物として選定し(表1参照)、付着力を考慮していないモデルと付着力を考慮したモデルを用いて基準地震動Ss-Dによる地震応答解析を行い、応答値の比較を行った。

1. 3. 2 検討結果

付着力を考慮していないモデルと付着力を考慮したモデルを用いた地震応答解析結果(接地率, 床応答スペクトル(NS方向, h = 5%))の比較を表2及び図3に示す。付着力により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示したことから、付着力の考慮の有無による建物応答(水平方向)への影響は軽微であることを確認した。

表1 付着力を考慮していないS Rモデル(浮上り非線形地震応答解析)を用いる建物の比較

建物名	建物の重要度*1,*2	内包する施設の重要度*1,*2	最小接地率*3 η(%)	
			NS方向	EW方向
原子炉建物	S	S	68.9	82.3
	常設/緩和	常設耐震/防止, 常設/緩和, 常設/防止(DB拡張)	(Ss-D)	(Ss-D)
タービン建物	B(Ss)	S	92.3	100
	-(Ss)	常設/緩和, 常設/防止(DB拡張)	(Ss-N1)	
緊急時対策所	C	C	86.3	70.5
	-(Ss)	常設耐震/防止, 常設/緩和	(Ss-D)	(Ss-D)
ガスタービン発電機建物	-	-	85.5	83.0
	-(Ss)	常設耐震/防止, 常設/緩和	(Ss-D)	(Ss-D)
1号機タービン建物*4	-	-	100	100
サイトバンカ建物*4	B	B	88.3	64.3
	-	-	(Ss-D)	(Ss-F1)

注記*1: 上段は設計基準対象施設, 下段は重大事故等対処施設を示す。

*2: 重大事故等対処施設の種類

- ・常設耐震/防止: 常設耐震重大事故防止設備
- ・常設/緩和: 常設重大事故緩和設備
- ・常設/防止(DB拡張): 常設重大事故防止設備(設計基準拡張)

*3: 最小接地率は基準地震動Ssにより算定したものであり、()内は最小接地率となる地震動を示す。

*4: 波及的影響の対象とする下位クラス施設を示す。

表2 原子炉建物の接地率の比較(基準地震動Ss-D)

地震応答解析モデル	最小接地率η(%)	
	NS方向	EW方向
付着力考慮なしモデル	68.9	82.3
付着力考慮モデル	100	100

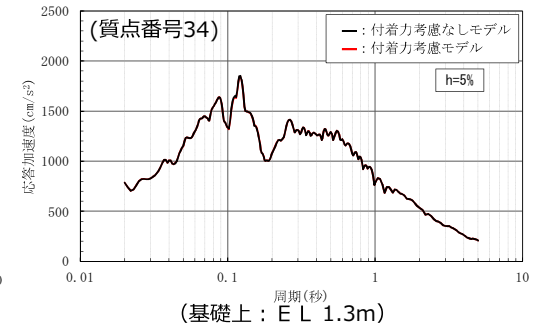
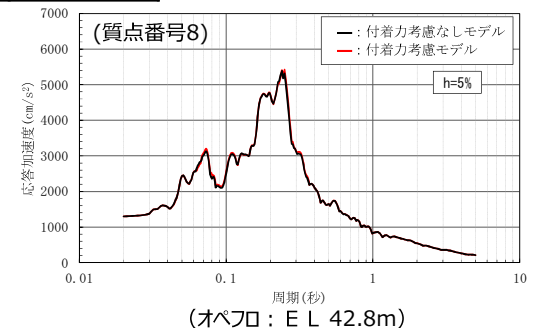
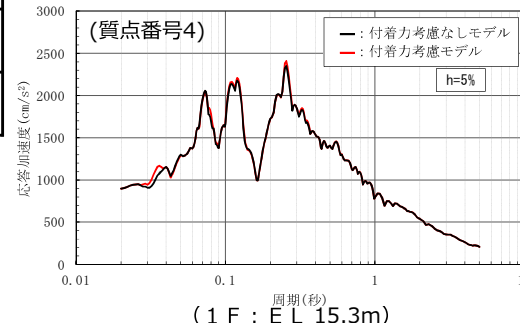
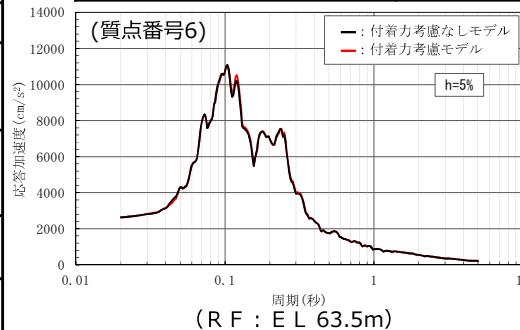
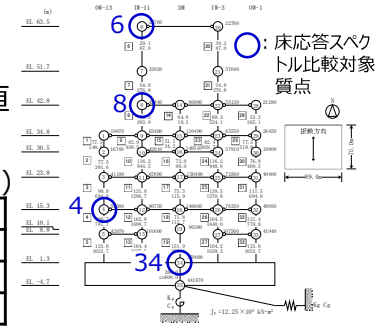


図3 原子炉建物の床応答スペクトル(NS方向, h=5%)の比較



【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 (7/14)

1. 4 付着力を考慮した3次元FEMモデルの適用性について

1. 4. 1 既往文献の整理

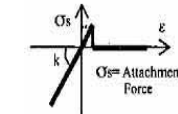

(1) ジョイント要素(付着力無視)を用いた3次元FEMモデルの適用範囲及び適用性

- 「J E A C 4 6 0 1 - 2015 参考資料3.5(3)」及び引用している既往論文⁽¹⁾によると、時間領域のグリーン関数法の地震応答解析結果との比較を行い、接地率 η が30%程度まで時間領域のグリーン関数法の結果と概ね一致するとされている。この結果を基に、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルの適用範囲として接地率 $\eta \geq 35\%$ を提案している。
- 既往論文の解析条件と、島根2号機においてジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルを採用する廃棄物処理建物の解析条件の比較を表3に示す。基礎底面の付着力以外は、実際の建物の大きさや解析モデル規模も含めて、ほぼ同じ解析条件となっている。

(2) ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルの適用性

- 「J E A C 4 6 0 1 - 2015 参考資料3.5(7)」及び引用している既往論文⁽¹⁾では、上記(1)のモデルをベースに更に現実に近い解析条件を設定した検討として、建物基礎底面の付着力を考慮した検討を実施し、最大加速度が900Galの地震波を入力した際に、基礎底面の付着力として0.49N/mm²を考慮した時の接地率は約30~50%となっていることが示されている(図4参照)。
- 「J E A C 4 6 0 1 - 2015 参考資料3.5(7)」において、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルは、低接地率の範囲まで適用可能とされている。
- これは既往論文においてジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルが接地率30%程度まで適用された事例であることから、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルは接地率30%程度まで適用可能であることを示唆しているといえる。

表3 ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルの既往論文との解析条件の比較

項目	既往論文	評価対象建物	
対象建物	PWR 原子炉建屋	BWR 2号機廃棄物処理建物	
建物モデル(減衰)	多軸多質点系モデル (ひずみエネルギー比例型)	単軸多質点系モデル (ひずみエネルギー比例型)	
地盤のせん断波速度(m/s)	1000, 2000	約1,660 (標準地盤の等価せん断波速度)	
基礎浮上り	ジョイント要素で考慮 	ジョイント要素で考慮 	
基礎幅(m)	約60	NS : 53.07 EW : 53.64	
地盤モデル化範囲	水平	基礎幅の5倍	基礎幅の約5倍
	鉛直	基礎幅の1.5倍	基礎幅の約1.5倍
基礎底面の付着力(N/mm ²)	無視*1, 考慮*2(0.49, 0.98)	考慮(0.40)	

注記 * 1 : 接地率の適用範囲に関する検討(「(1)ジョイント要素(付着力無視)を用いた3次元FEMモデル」に対応)
* 2 : 現実に近い解析条件を設定した検討(「(2)ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデル」に対応)

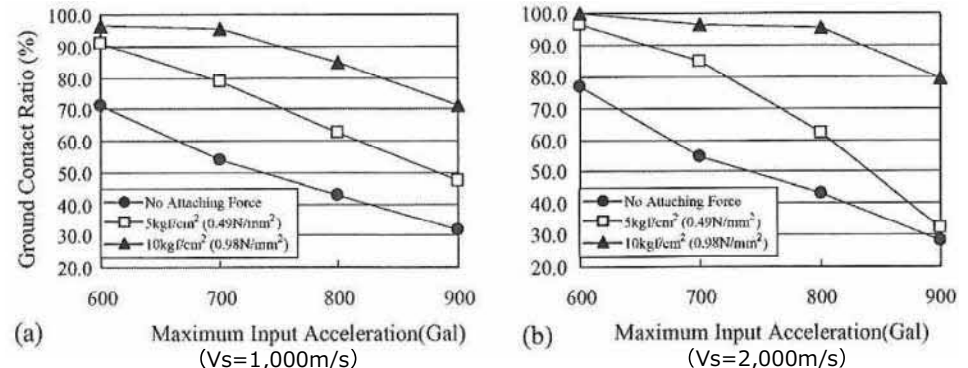


図4 既往論文におけるジョイント要素を用いた3次元FEMモデルの応答解析結果

(1) Nakamura, N. et al. : An estimation method for basemat uplift behavior of nuclear power plant buildings, Nuclear Engineering and Design, Vol.237, 2007.7, pp.1275-1287

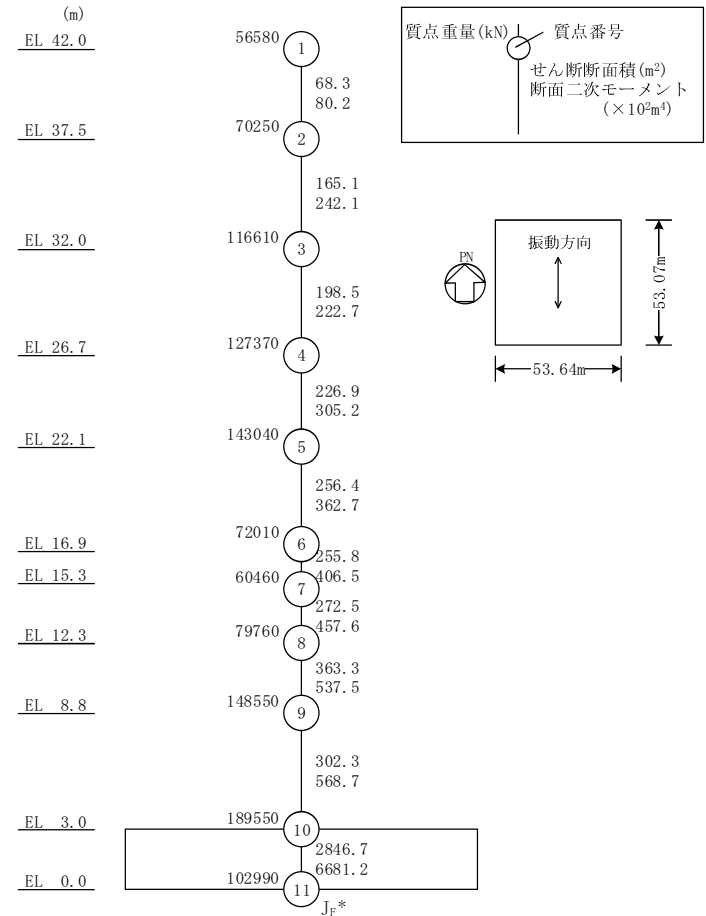
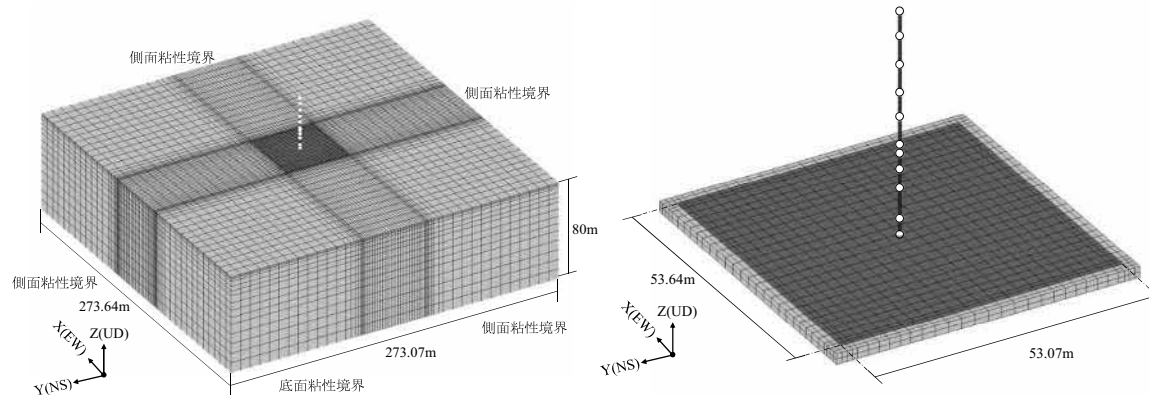
1. 4. 2 付着力を考慮した3次元 F E Mモデルの適用性に関する解析的検討

(1) 検討方針

ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元 F E Mモデルを採用している廃棄物処理建物を対象として、入力地震動を係数倍した地震応答解析を行い、最小接地率、入力地震動の倍率、水平応答加速度及び誘発上下動に伴う鉛直応答加速度の関係が既往論文と同様の傾向になることを確認する。

(2) 解析条件

解析は、付着力を考慮しない場合(0N/mm²)と、付着力を考慮した場合(0.40N/mm²)の2ケース実施した。入力地震動は位相特性に偏りがなく、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とし、入力倍率を乗じた地震動を入力する。入力地震動は、既往論文との比較のため、付着力を考慮しない条件で接地率が30%となる時の入力倍率を1.0倍として基準化し、接地率が100%となる0.5倍から接地率が10%を下回る1.3倍まで0.1倍刻みで漸増させた。また、応答加速度についても付着力を考慮しない条件で実施した解析における入力倍率が1.0倍のときの最大水平応答加速度及び最大鉛直応答加速度を応答倍率1.0倍として基準化した。



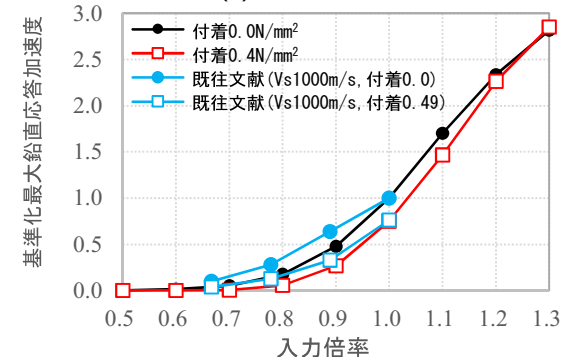
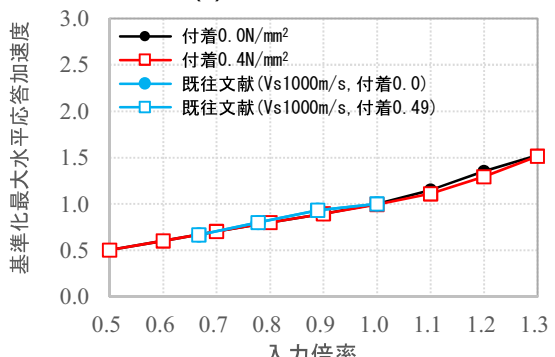
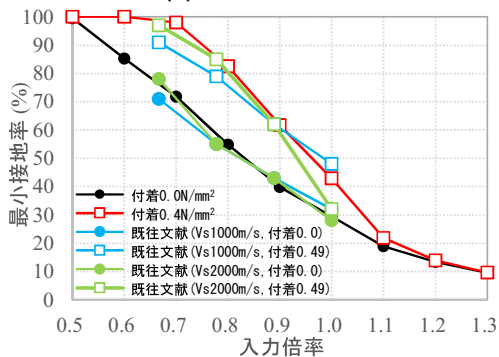
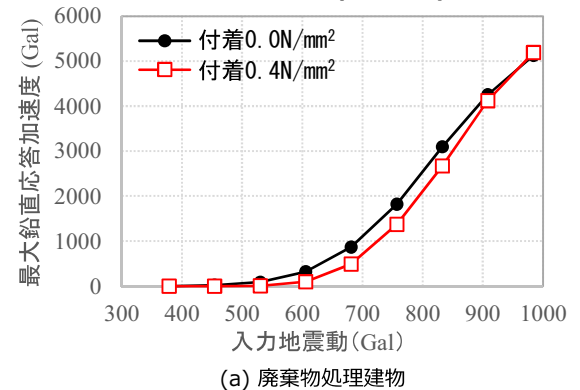
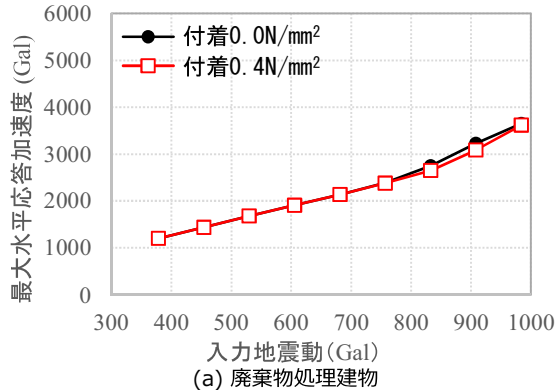
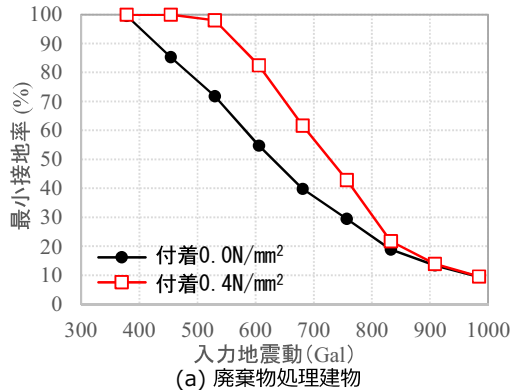
注記* : 回転慣性重量 (29.35 × 10⁷ kN · m²)

図5 廃棄物処理建物の地震応答解析モデル

1. 4. 2 付着力を考慮した3次元 F E Mモデルの適用性に関する解析的検討(続き)

(3) 検討結果

- 付着力と最小接地率の関係において、付着力を考慮しない場合と付着力を考慮する場合のいずれにおいても既往論文と同様の傾向を示しているとともに、接地率は入力地震動の大きさに応じて連続的に変化し、低接地率の領域においても特異な応答を生じていないことが確認できる(a.参照)。
- 最大水平応答加速度は付着力の有無によらずほぼ一致しており、既往論文と同様の傾向を示している。また、最大水平応答加速度は接地率に応じて連続的に変化し、低接地率の領域においても特異な応答を生じていないことが確認できる(b.参照)。
- 付着力の有無と誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度の関係は、既往論文と同様の傾向を示している。また、誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度は、接地率に応じて連続的に変化し、低接地率の領域においても特異な応答を生じていないことが確認できる(c.参照)。



(b) 廃棄物処理建物と既往論文の比較
a.付着力の有無による接地率の比較

(b) 廃棄物処理建物と既往論文の比較
b.付着力の有無による最大水平応答加速度の比較

(b) 廃棄物処理建物と既往論文の比較
c.付着力の有無による誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度の比較

図6 廃棄物処理建物と既往論文の比較

1. 4. 3 島根2号機におけるジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルの適用性について

(まとめ)

- 島根2号機において採用したジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルは、既往論文における接地率の適用範囲に関する検討及び基礎底面に付着力を考慮した検討とほぼ同じ解析条件となっている。
- 「J E A C 4 6 0 1 - 2015」において、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルが提案されており、低接地率の範囲まで適用可能とされていることから、当社が付着力を考慮した場合も適用できると判断し、接地率 $\eta \geq 35\%$ を目安値として設定した。
- 廃棄物処理建物のジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルの解析結果について既往論文と比較検討した結果、両者は同様の傾向を示していること及び低接地率となる領域においても特異な応答を生じていないことが確認でき、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルが適用可能な接地率を、付着力を考慮しない場合と同様に35%以上としていることの妥当性を確認した。
- なお、島根2号機において今回採用するジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルによる工認モデル(基本ケース)の最小接地率は、廃棄物処理建物で93.9%(S s - D, E W方向)、1号機原子炉建物で59.2%(S s - N 1, E W方向)であり、ともに35%を大きく上回る。

2. 追加試験結果を踏まえた建物基礎底面の付着力として設定した値の保守性・妥当性について

2. 1 検討概要

- 設置変更許可段階において，地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力は，建物直下地盤と同等の岩盤で行った付着力試験(以下「前回試験」という。)結果に基づき，十分な保守性を考慮した値とすることを説明している。
- しかし，試験地盤(3号機エリア)と建物直下地盤(1, 2号機エリア)が離れており，建物直下地盤近傍での直接的な付着力試験データが得られていないため，設計に用いる付着力について，信頼性，保守性及び地盤のばらつきを踏まえた網羅性・代表性に対する説明性を向上させる観点から，1, 2号機建物近傍において追加試験を実施した(図7参照)。
- 追加試験結果を踏まえ，建物基礎底面の付着力として設置変更許可段階で説明した値の保守性・妥当性を確認した。

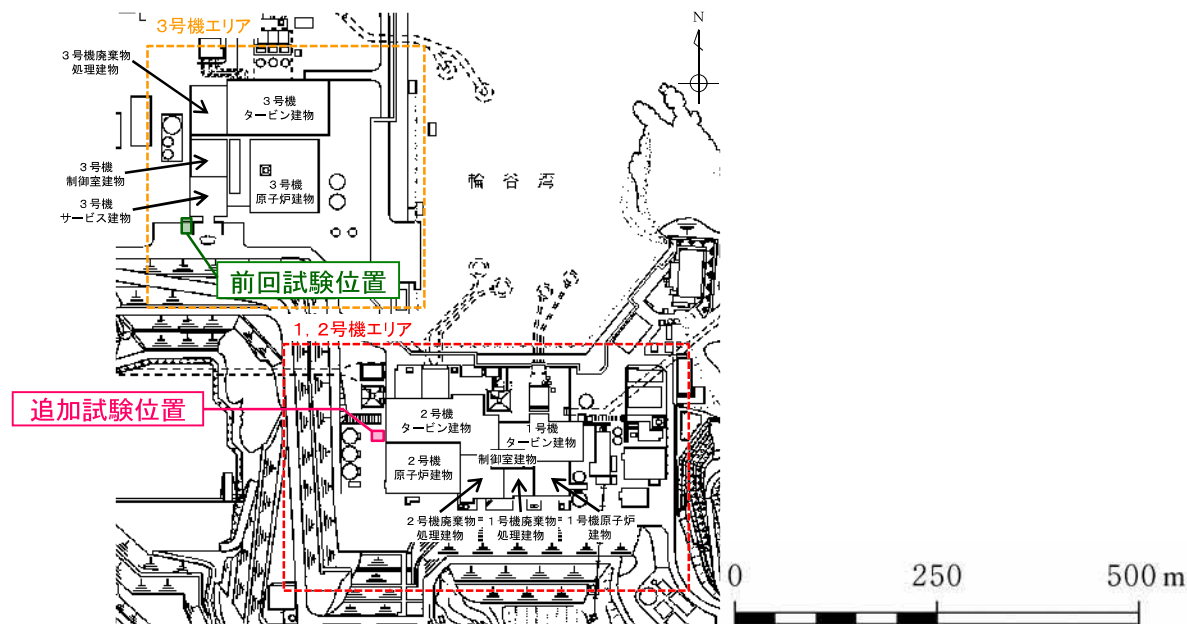


図7 前回試験と今回試験の位置関係

2. 2 追加試験について

(1) 追加試験の概要

➤ 試験場所の選定

1, 2号機エリアを対象に, 耐震上重要な建物が設置されている岩盤と同様な岩盤とした。また, 追加試験の目的, 前回試験の条件を踏まえ, 以下の岩相, 岩級が確認される場所を選定した。追加試験位置及び追加試験面の状況(写真及びスケッチ図)を図8及び図9に示す。

- 岩相：黒色頁岩
- 岩級：C H級

➤ 試験方法

前回試験と同様の試験方法(原位置試験(直接引張試験))とする。

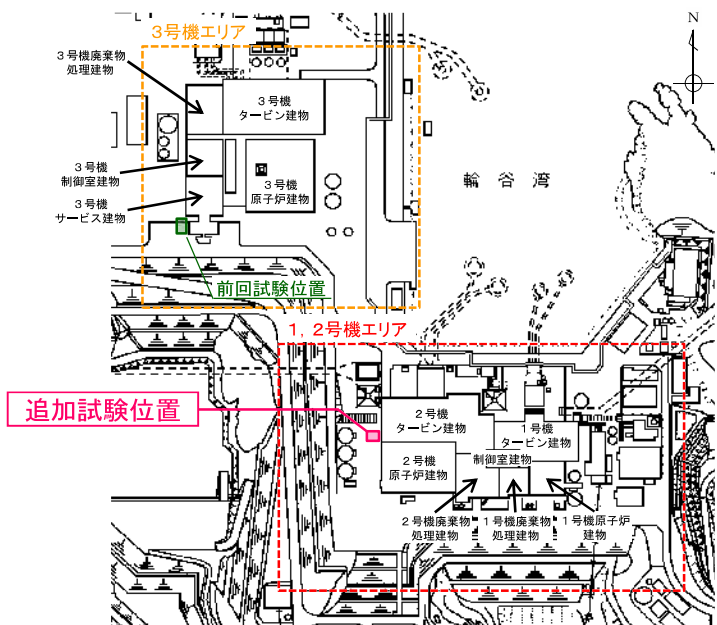


図8 追加試験位置

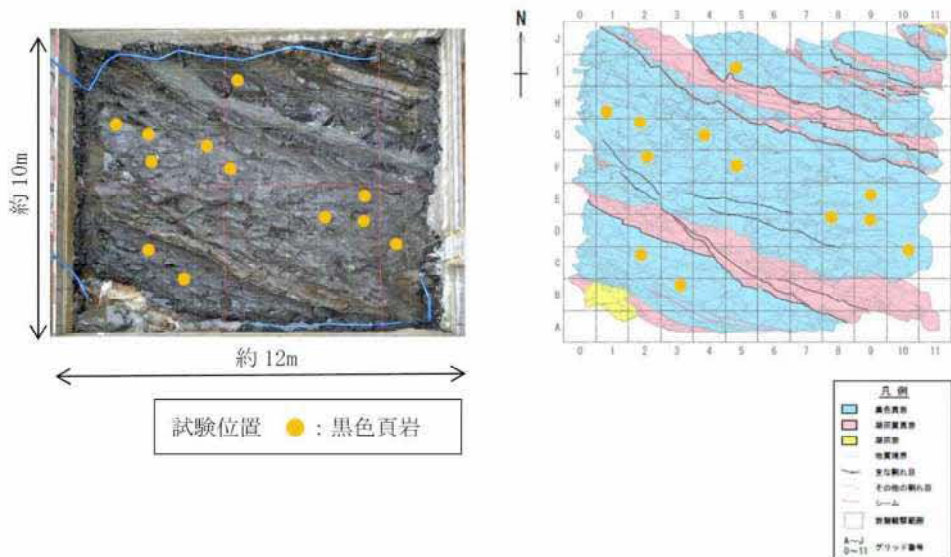


図9 追加試験面の状況(左側：写真, 右側：スケッチ図)

2. 2 追加試験について(続き)

(2) 追加試験結果及び追加試験結果を踏まえた設計用付着力の妥当性について

- 黒色頁岩の追加試験結果と前回試験結果を合わせたヒストグラム及び追加試験結果と前回試験結果の比較を示す。
- 平均値は、追加試験結果(0.97N/mm²)が前回試験結果(0.81N/mm²)を上回り、最低値も追加試験結果(0.65N/mm²)が前回試験結果(0.50N/mm²)を上回った。一方最大値は、追加試験結果(1.35N/mm²)と前回試験結果(1.31N/mm²)は同程度であった。また、追加試験結果と前回試験結果を合わせた全体の平均値は0.89N/mm²(標準偏差：0.26N/mm²)であった。
- 比較の結果、追加試験結果は前回試験結果と同等以上の値であったことから、設計用付着力として設定した値(0.40N/mm²)は、追加試験結果を踏まえても十分な保守性を有しており妥当であると判断した。(島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較を参考1に示す。)
- なお、両者の標準偏差を比較すると、前回試験は0.26N/mm²、今回試験は0.23N/mm²であり、ばらつきは同程度であった。また、設計用付着力(0.40N/mm²)は、追加試験結果の平均値(0.97N/mm²)に対して -2.48σ 、追加試験結果と前回試験結果を合わせた全体の平均値(0.89N/mm²)に対して -1.88σ に相当する。

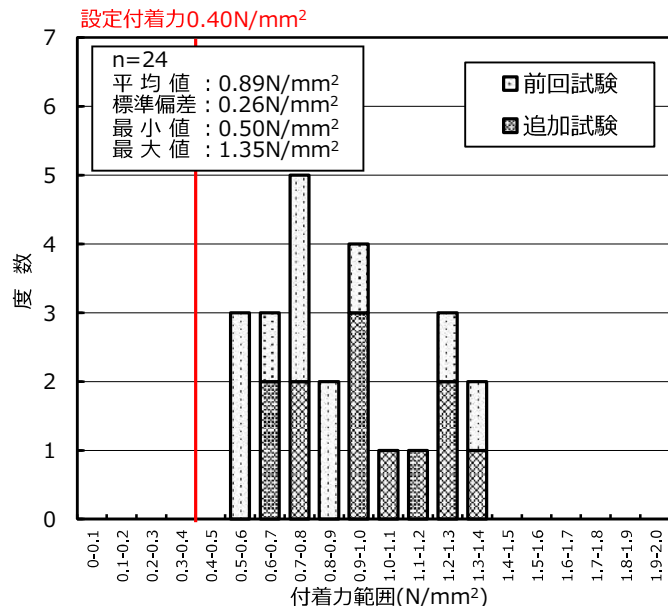


図10 付着力試験の結果 (ヒストグラム)

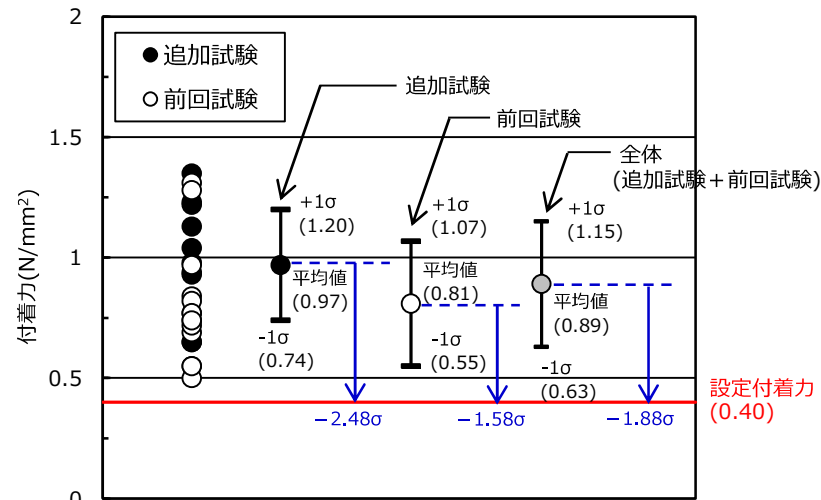


図11 追加試験結果と前回試験結果の比較

（参考1）島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較

- 島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較を表4に示す。
- 島根サイトの建物直下地盤は主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されており、実際の建物直下地盤における黒色頁岩と凝灰岩の構成割合を定量的に確認できないこと、建物毎でその構成割合が異なることから、付着力の設定には、岩盤全体の平均値(0.98N/mm²)ではなく、保守的に値の小さい黒色頁岩の平均値(0.81N/mm²)に基づき設定した。また、物性値のばらつき、原位置試験の不確実性を踏まえて、平均値をそのまま用いるのではなく、保守性を考慮し、平均値に2倍の安全率を考慮し、かつ試験結果の最低値を下回るよう設定した。
- よって、島根サイトの設定付着力は、岩盤全体の平均値(0.98N/mm²)に対して2.5倍程度、岩種毎に見れば2.0~2.9倍の余裕があることから、既工認実績と比較しても、試験結果に対して十分な保守性を考慮した値である。
- なお、安全率については、一般的な地盤に関する安全率として、基礎地盤の許容支持力度の例を挙げると、短期許容支持力度は極限支持力度に対して1.5倍の安全率を考慮している。一方で、建物基礎底面と地盤の付着力を考慮した設計においては、適用例も少ないことからデータの信頼性を鑑みて、十分な保守性を確保している。

表4 島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較

サイト	建物	採用する地震応答解析モデル (基礎浮上り評価法)	付着力の設定				
			試験の平均値 (N/mm ²)	試験の最小値 (N/mm ²)	設定付着力 (N/mm ²)	安全率	保守性の考え方等
島根	廃棄物処理建物	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.98(全体)	0.50	0.40	2.5(全体) 2.9(凝灰岩)	2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩の平均値に対して2倍の安全率を考慮するとともに最小値0.50を下回るよう設定
	制御室建物	S Rモデル*2 (浮上り線形地震応答解析)	1.15(凝灰岩) 0.81(黒色頁岩)				
既工認実績	高浜 中間建屋	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.92	0.55	0.3	3.1	平均値に対して十分な余裕を考慮するとともに最小値0.55を下回るよう設定
	大飯 制御建屋	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.71	0.44	0.3	2.4	平均値に対して十分な余裕を考慮するとともに最小値0.44を下回るよう設定
	美浜 原子炉建屋	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.91	0.57	-	-	補足説明資料において工認ケースとの比較ケース(側面回転ばね非考慮モデル)に平均値(0.91N/mm ²)を設定*3
	川内 ディーゼル建屋, 主蒸気管室建屋	基礎固定モデル*2	0.63	0.50	0.18 (必要付着力)	-	「JNES報告書」のレベルコンクリートと基礎コンクリート間の試験結果の平均値(0.6N/mm ²)と比較

注記*1：ジョイント要素に付着力を考慮。 *2：基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が設定付着力を超えないことを確認。 *3：工認ケースにおいては、付着力を考慮していない。
注：他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

【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】

- 第3保管エリア及びアクセスルート周辺斜面において、すべり安全率が評価基準値を満足しないもしくは余裕度が小さいことから、抑止杭を設置することで斜面崩壊を防止できる設計とし、代表断面を用いた2次元動的FEM解析による構造成立性を設置許可審査で説明した。
- 詳細設計段階において、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。

①斜面のすべり安定性に係る検討

- ・ 抑止杭を設置した斜面の安定性向上に係る検討
- ・ 杭前面における岩盤の肌分かれを想定したすべりの検討
- ・ 抑止杭の健全性の確認

②斜面のすべり安定性が確保される前提となる岩盤部の局所的な安定性に係る検討

- ・ 杭根入れ部における水平支持力の確認
- ・ 杭間及び杭背後の岩盤の中抜けの検討

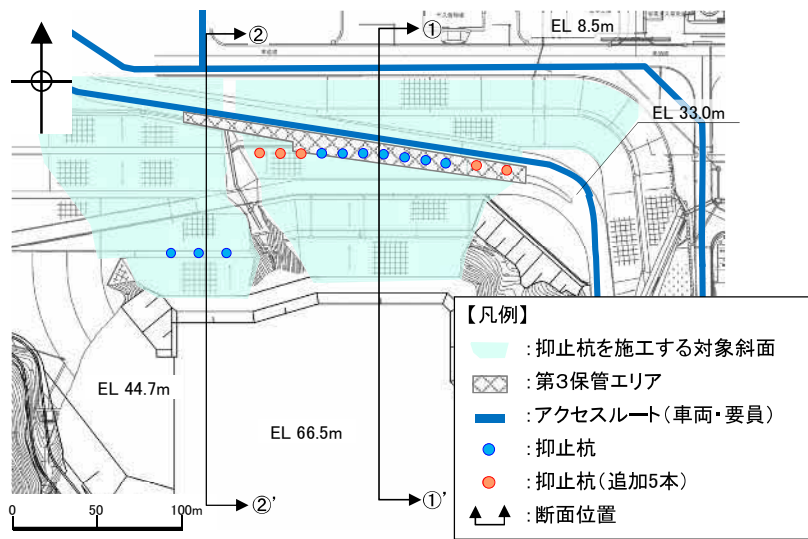
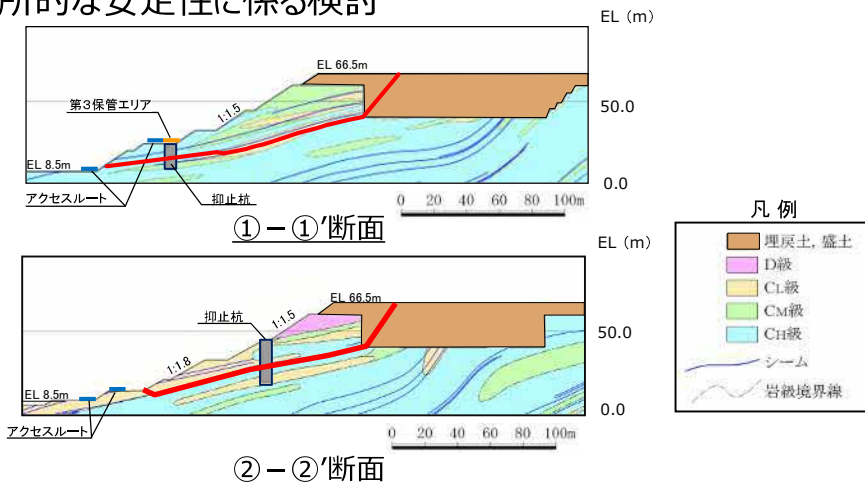


図1 代表断面位置



代表断面	すべり安全率（平均強度）	
	抑止杭なし	抑止杭あり
①-①'断面	1.08 (0.90)	1.54 (1.39)
②-②'断面	1.24 (1.06)	1.66 (1.49)

図2 断面図（代表断面）

【詳細設計申送り事項に対する回答】（①斜面のすべり安定性に係る検討）

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	抑止杭を設置した斜面のすべり安定性について、地盤状況の不確かさ等を考慮し、余裕のある設計とすること。 （第948回審査会合（2021年2月18日）） （第380回ヒアリング（2021年2月4日））	B	区間Ⅰのうち抑止杭が設置されていない範囲のすべりを抑止すること、及び更に余裕を持った設計とすることを目的に、抑止杭を5本追加配置した。これらを反映した斜面の安定性評価を実施した結果、更に余裕のある設計となっていることを確認した。	P.19
2	杭前面斜面の安定性について、杭前面における岩盤の肌分かれを保守的に考慮し説明すること。 （第377回ヒアリング（2021年1月21日））	B	杭前面における岩盤の肌分かれを想定し、杭前面における岩盤の肌分かれ部のせん断抵抗力を保守的に考慮しないケースの安定性評価を実施した結果、すべり安定性が確保されることを確認した。	P.20

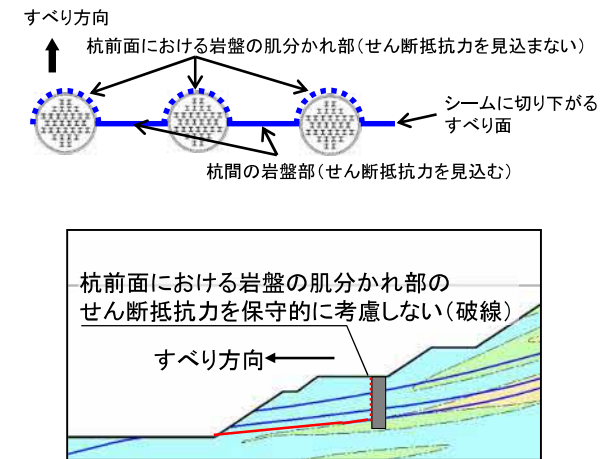
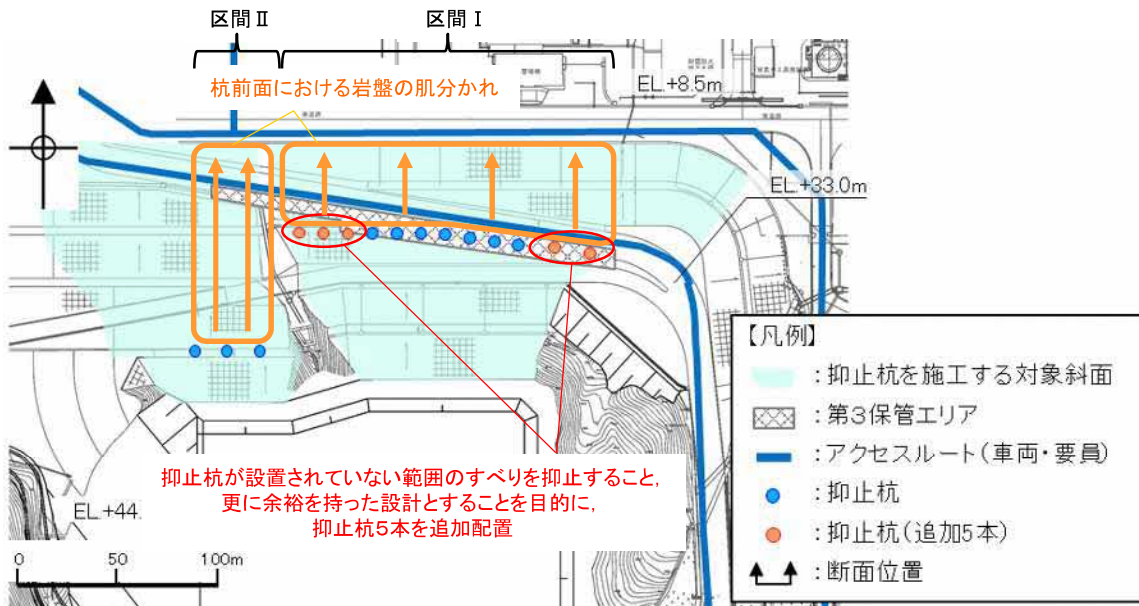


図4 杭前面と岩盤の肌分かれの考慮（イメージ図）

【詳細設計送り事項に対する回答】（②岩盤部の局所的な安定性に係る検討）

No.	詳細設計送り事項	分類	回答	回答頁
3	杭根入れ部において水平支持力を有していることを説明すること。 （第377回ヒアリング（2021年1月21日））	B	杭根入れ部の局所安全係数の分布を確認するとともに、杭根入れ部を通るすべり安全率が評価基準値に対し余裕を有しており、杭根入れ部が水平支持力を有していることを確認した。	P.21
4	杭間距離が大きく、中抜けするおそれがあることから、杭間及び杭背後の岩盤の中抜けが起こらないことを、3次元解析を考慮に入れて確認すること。 （第377回ヒアリング（2021年1月21日））（第380回ヒアリング（2021年2月4日））	B	<ul style="list-style-type: none"> 文献調査により、杭間及び杭背後の岩盤部の健全性に着目し、中抜けの発生に係る判定基準を設定した。 杭間をモデル化した3次元 F E M解析を実施した結果、判定基準を満足しており、中抜けが起こらないことを確認した。 	P.22～23

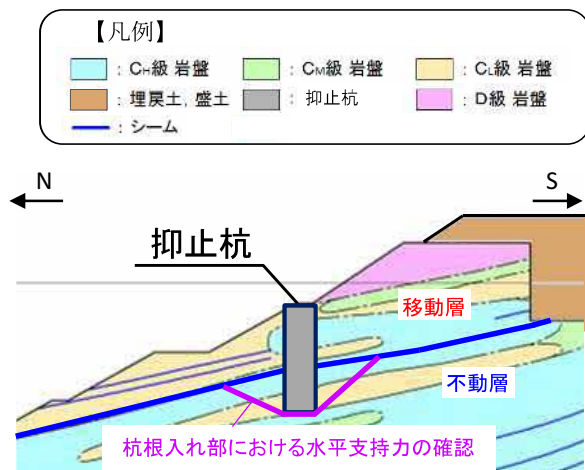


図5 断面図

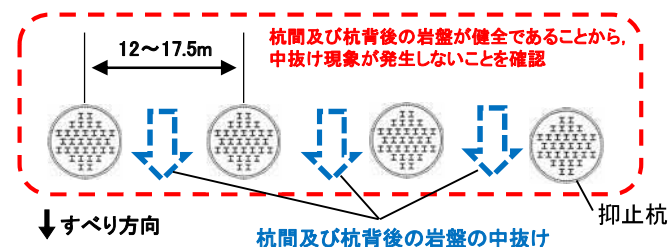


図6 概念図

1. 抑止杭を設置した斜面の安定性向上に係る検討（①斜面のすべり安定性に係る検討）

- 区間 I のうち抑止杭が設置されていない範囲のすべりを抑止すること、及び更に余裕を持った設計とすることを目的に、抑止杭 5 本を追加配置した。
- これらを反映した斜面の安定性評価を実施した結果、抑止杭追加前と比較し、最小すべり安全率が1.21から1.39に向上し、更に余裕を持った設計となっていることを確認した。
- なお、地震応答解析による抑止杭の耐震評価を実施した結果、抑止杭は健全性を有することを確認した。

（抑止杭のせん断力の照査値：0.171）

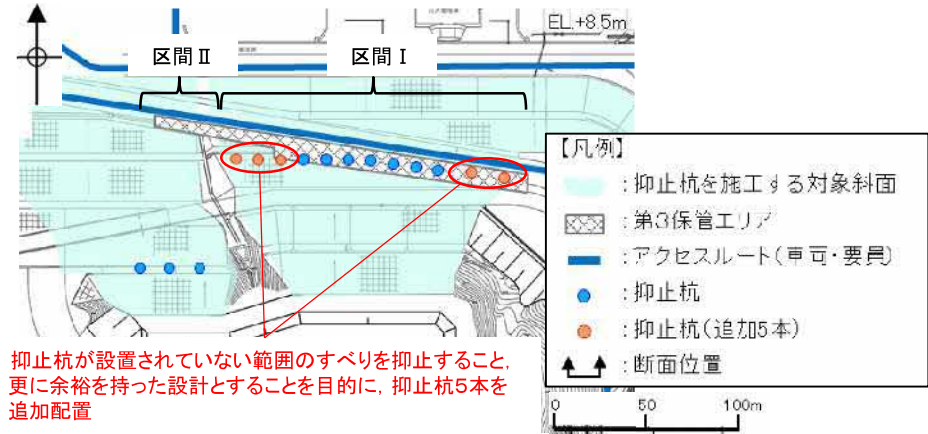
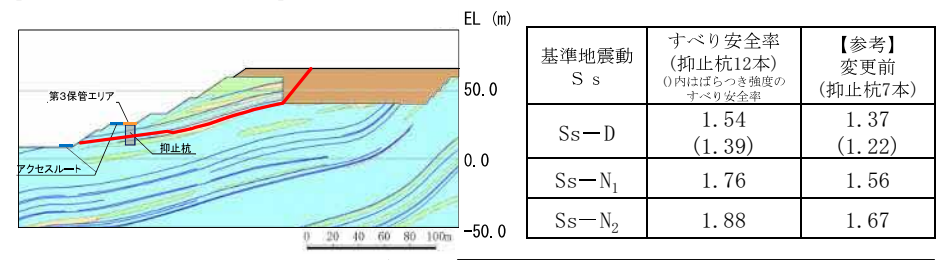
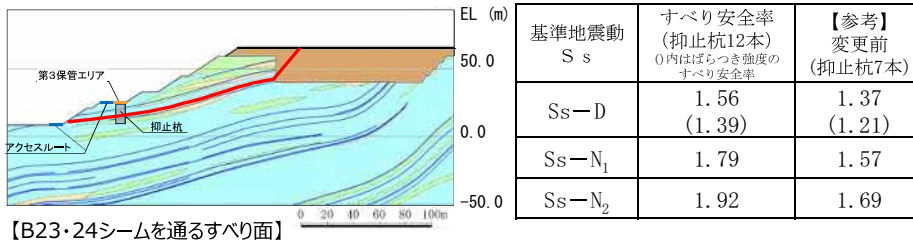
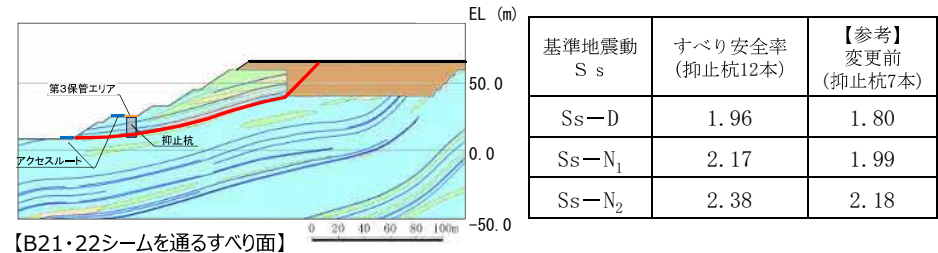
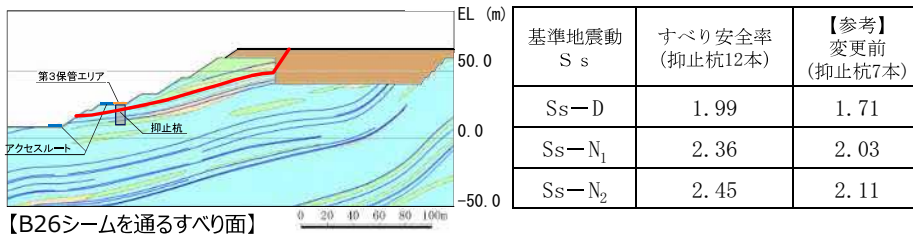


図7 平面図



【B26シームを通るすべり面】

【B21・22シーム、法尻近傍のC₁級岩盤及びB23・24シームを通して法尻に抜けるすべり面】



図8 ①-①'断面の評価結果

2. 杭前面における岩盤の肌分かれを想定したすべりの検討（①斜面のすべり安定性に係る検討）

- ①-①'断面及び②-②'断面において、杭前面における岩盤の肌分かれを想定したすべり安定性評価を実施した。
- 杭前面における岩盤の肌分かれ部のせん断抵抗力を保守的に見込まずにすべり安全率を算定した結果、評価基準値1.0に対し余裕を有していることを確認した。
- なお、「4. 杭間及び杭背後の岩盤の中抜けの検討」に記載のとおり、杭間及び杭背後の岩盤については、3次元 FEM解析により、中抜けが起こらないことを確認している。

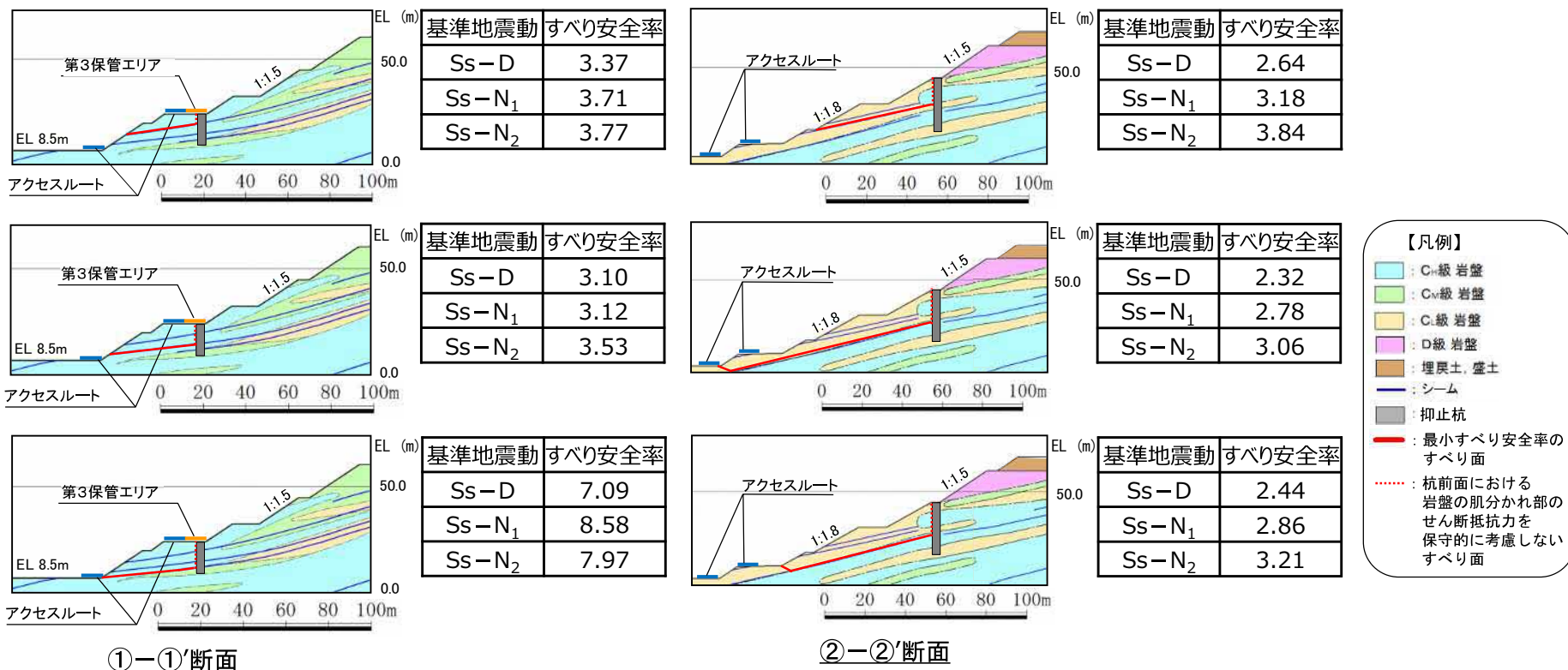


図9 杭の断面配置の妥当性確認結果

3. 杭根入れ部における水平支持力の確認（②岩盤部の局所的な安定性に係る検討）

- ①－①'断面及び②－②'断面において、抑止杭周辺の地盤の局所安全係数分布図を以下に示す。
- ①－①'断面の不動層のうち杭根入れ部周辺には、せん断強度に達した要素及び引張応力が発生した要素が認められず、不動層のうち杭根入れ部周辺の岩盤は健全性を確保している。
- ②－②'断面の不動層のうち杭根入れ部周辺においては、せん断強度に達した要素は認められない。引張応力が発生した要素が認められるものの、引張強度に達した要素は局所的かつ散在的である。また、杭根入れ部周辺の引張強度に達した要素を通るすべりの安全率を算定した結果、2.52であり、十分な裕度があることから、不動層のうち杭根入れ部周辺の岩盤は健全性を確保している。
- 以上のことから、杭根入れ部は水平支持力を有していると評価した。

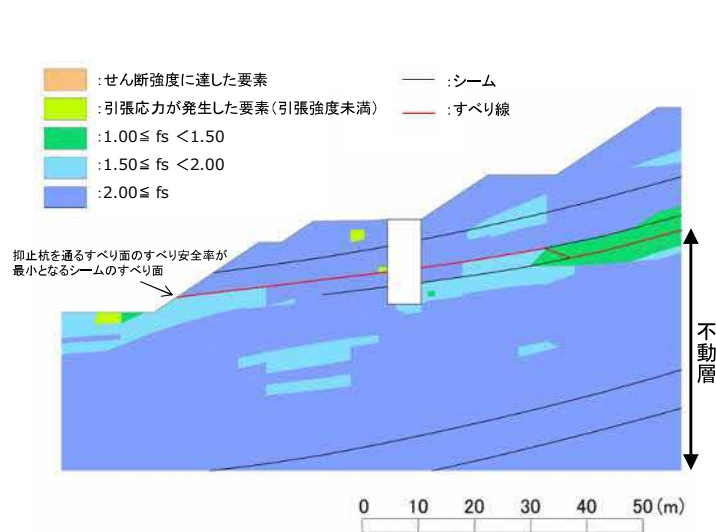


図10 抑止杭周辺地盤の健全性照査結果（①－①'断面）
 (Ss-D・8.96秒、抑止杭を通るすべり面のすべり安全率が最小となる地震動及び時刻)

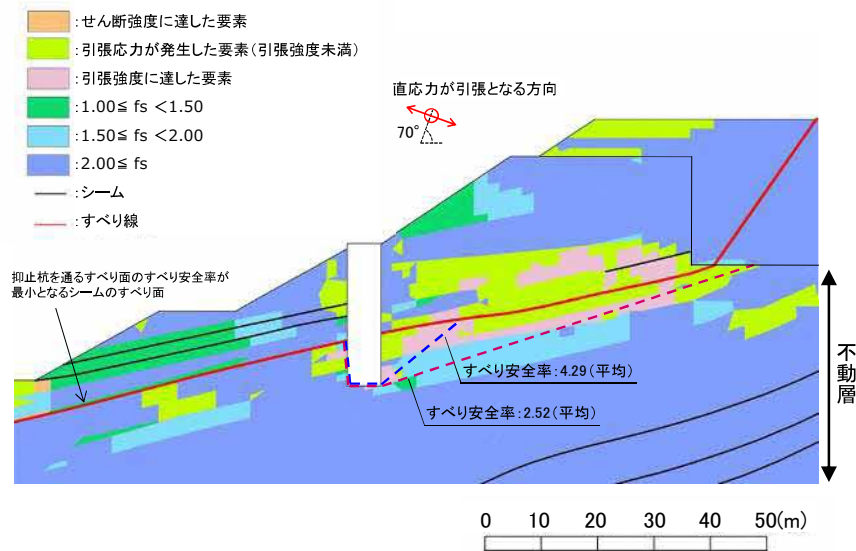


図11 抑止杭周辺地盤の健全性照査結果（②－②'断面）
 (Ss-D・8.58秒、抑止杭を通るすべり面のすべり安全率が最小となる地震動及び時刻)

4. 杭間及び杭背後の岩盤の中抜けの検討（②岩盤部の局所的な安定性に係る検討）

〔中抜け現象の発生に係る判定基準の設定〕

- 杭間隔については、文献調査を踏まえ、杭直径の2倍程度に設定しているが、杭間距離が12m～17.5mと大きく、中抜けするおそれがあることから、杭間及び杭周辺の岩盤をモデル化できる3次元FEM解析により評価を行う。
- 3次元FEM解析による岩盤の評価にあたっては、「室内模型実験による地すべり抑止杭の抑止機構に関する考察（足立ほか、1998年）」を参考に、杭間及び杭背後の岩盤部の健全性に着目して判定基準を設定した。
- 岩盤部の健全性確認にあたっては、岩盤を線形弾性体でモデル化することを踏まえ、設置変更許可審査と同様、岩盤の局所安全係数を確認することとする。

表1 文献を踏まえた中抜け現象の発生に係る判定基準

文献の内容	判定基準
<ul style="list-style-type: none"> ・一般に、並列杭にはアーチ効果が期待でき、上流側からの作用応力が杭体に集中し、杭間における作用応力が小さくなる。 ・アーチ効果の有無は降下床の降下量により変化する。ある程度の降下量まではアーチ効果を発現するが、それ以上ではアーチは徐々に切れ始め、中抜け現象が発生する。 ・アーチ効果の支持部が不安定な場合、アーチ効果は発揮されにくい。 ・杭周辺の流動領域（図12の領域①）の変形を止めれば、抑止効果は大きくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭背後の岩盤が杭間から中抜けしないことを確認するため、杭背後の岩盤において、局所安全係数分布図によりせん断強度及び引張強度に達した要素がないことを確認する。 ・杭背後では、隣同士の杭を結ぶようにアーチ状に応力が集中すると考えられ、当該範囲の応力状態が厳しいと考えられることから、当該範囲に着目して確認を行う。 ・杭間の岩盤が中抜けしないことを確認するため、杭間の岩盤において、同様の確認を行う。

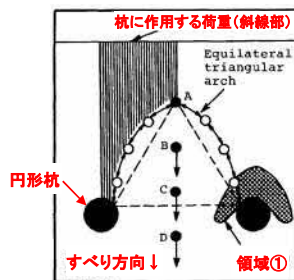


図12 アーチ効果のメカニズム

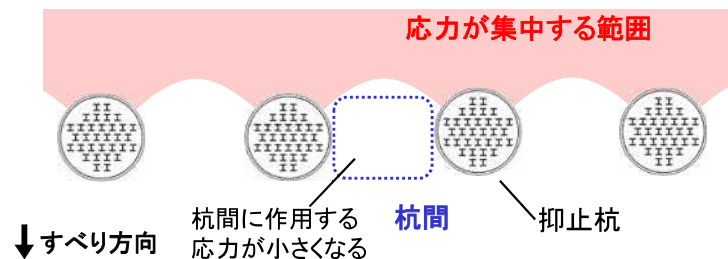


図13 岩盤の局所安全係数分布図において確認する範囲

〔3次元静的 F E M解析の結果〕

➤ 杭間及び杭背後の岩盤の健全性

- 杭間及び杭背後の岩盤には、引張強度及びせん断強度に達した要素は発生していないことから、当該範囲の岩盤は区間Ⅰ，区間Ⅱともに健全であることを確認した。
- 以上のことから、判定基準を満たしており、抑止杭の杭間を中抜けするおそれはないと評価する。

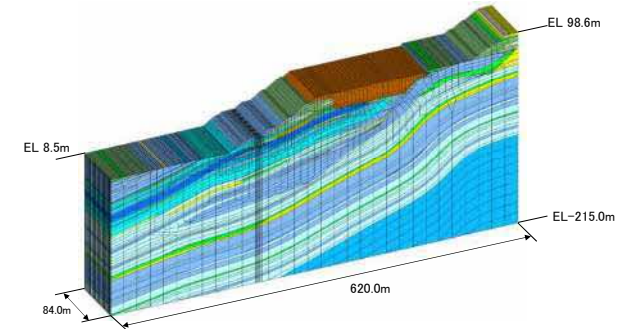
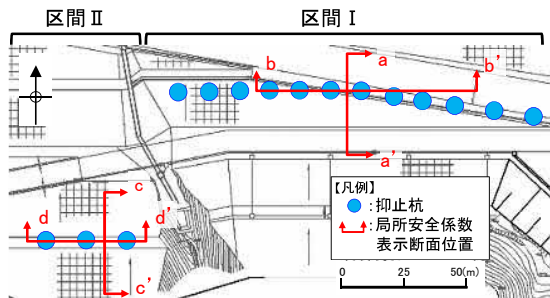
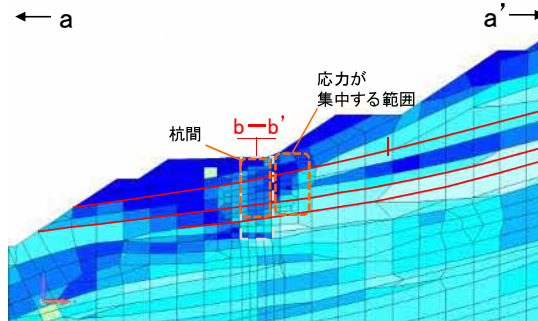


図14 3次元解析モデル（区間Ⅰ）

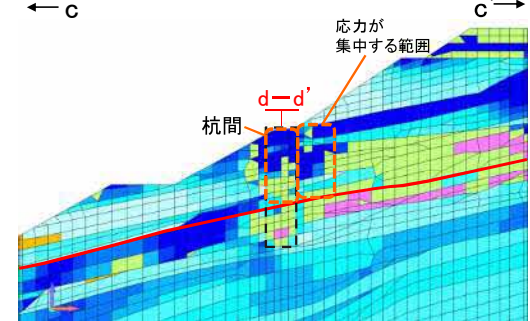


局所安全係数表示位置

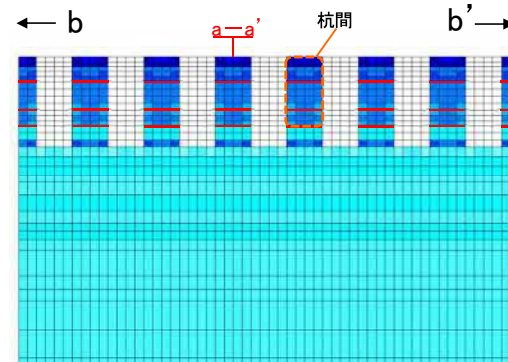
- :せん断強度に達した要素
- :引張応力が発生した要素
- :引張強度に達した要素
- : $1.00 \leq fs < 1.50$
- : $1.50 \leq fs < 2.00$
- : $2.00 \leq fs < 2.50$
- : $2.50 \leq fs < 3.00$
- : $3.00 \leq fs < 3.50$
- : $3.50 \leq fs < 4.00$
- : $4.00 \leq fs < 4.50$
- : $4.50 \leq fs$
- : 抑止杭
- : シーム



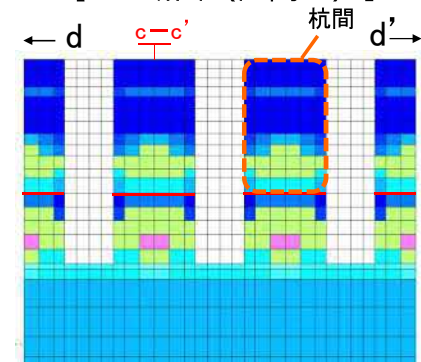
【a-a'断面（区間Ⅰ）】



【c-c'断面（区間Ⅱ）】



【b-b'断面（区間Ⅰ）】



【d-d'断面（区間Ⅱ）】

図15 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数

■ 指摘事項（第1036回審査会合（2022年3月29日））

BOP 閉止装置の気密性能試験について漏えい量としては小さく問題はないが、羽根開→羽根閉状態の気密試験で、2連ダンパでは増加傾向、3連ダンパでは下降傾向となっており、2連ダンパと3連ダンパで気密性能が異なるように見えるため、今回の試験データの評価について、データのばらつきを踏まえた上で、その妥当性を説明すること。

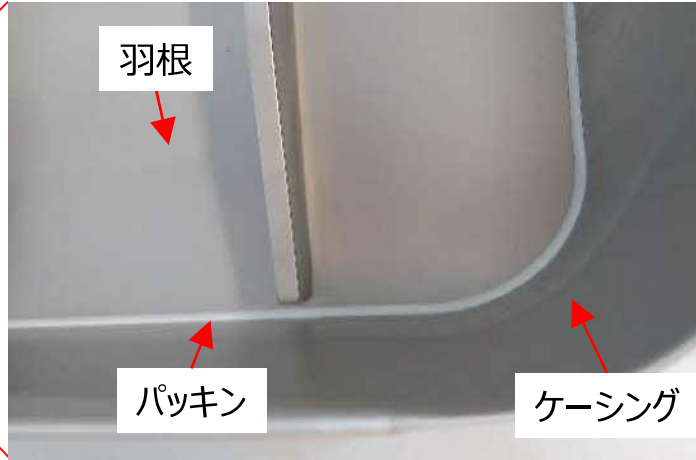
■ 回答

- BOP閉止装置のシール方法の概要について図1に示す。BOP閉止装置は、羽根を閉めることで羽根の淵に取り付けられた柔軟性を有したパッキン（シリコンタイプ）がケーシングに押し付けられることでシールする構造となっている。なお、ケーシングの開口は全面開口の構造であり、上下どちらかのみには圧力が加わることはなく、ダンパの加圧側の全面に均一に圧力が加わる構造となっている。
- 表1に示すとおり、加振後の漏えい量は加振前の漏えい量と比較して増加あるいは減少しているもの（例：ダンパ2Bでは、加振倍率1.0倍及び羽根開状態で加振した場合の漏えい量が増加していたが、加振倍率 α 倍及び羽根開状態で加振した場合の漏えい量は減少していた。）が混在しており、一定の傾向は確認できない。
- このため、漏えい量のばらつきは加振に起因するものではなく、加振前又は気密性能試験前に行う開閉動作によって、柔軟性を有したパッキンとケーシングの圧着状態が変わるために発生したものと考える。

【1-12】ブローアウトパネル閉止装置 (2/3)

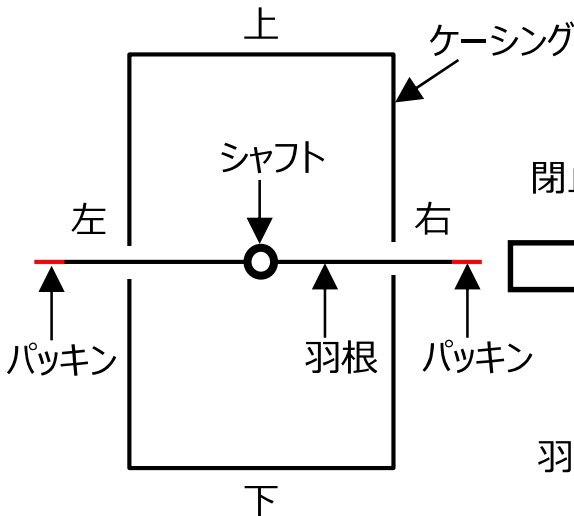


(ダンパ閉止時断面概要の「左」からみた写真)

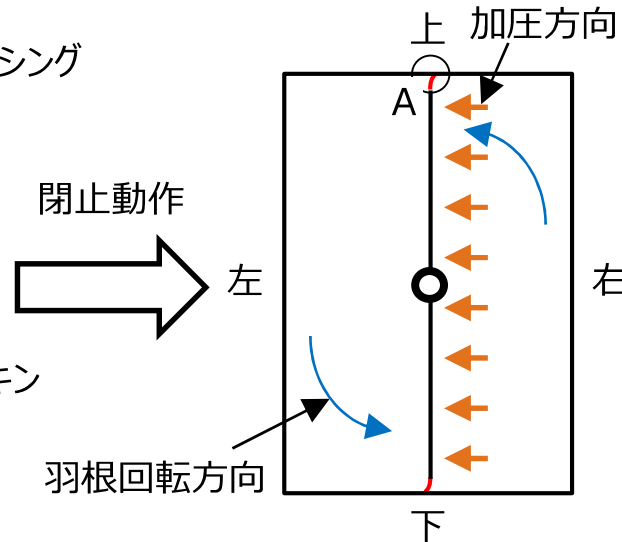


ケーシングと羽根のクリアランス□mm
 に対して羽根以降のパッキン長さは
 □mmとなっているため、□mm
 分の潰れ代を有しており、ケーシングと
 面タッチする構造となっている。
 また、左記の構造で気密試験を実施し、
 過度な漏えいが発生しないことを
 確認している。

羽根高さ：□mm
 ケーシング開口高さ：□mm
 パッキン高さ：□mm



ダンパ開放時断面概要
 左：建物屋内側
 右：建物屋外側 (加圧側)



ダンパ閉止時断面概要

図1 シール方法の概要



A部拡大図

表 1 加振後の気密性能試験

試験対象	加振倍率	加振時の羽根開閉状態	ダンパ*2	通気量@63Pa (m ³ /h・m ²)	加振による通気量の増減	備考	
2連ダンパ 事前確認	-	-	2A		-	加振前に羽根を閉止して試験	
			2B		-		
2連ダンパ	1.0倍	開	2A		変化なし	加振後に羽根を閉止し試験	
			2B		通気量増加		
		閉	2A		変化なし		羽根閉止状態での加振後に試験
			2B		通気量増加		
	α倍*1	開	2A		通気量増加	加振後に羽根を閉止し試験	
			2B		通気量減少		
		閉	2A		変化なし		羽根閉止状態での加振後に試験
			2B		通気量増加		
3連ダンパ 事前確認	-	-	3A		-	加振前に羽根を閉止して試験	
			3B		-		
			3C		-		
3連ダンパ	1.0倍	開	3A		変化なし	加振後に羽根を閉止し試験	
			3B		通気量増加		
			3C		通気量増加		
		閉	3A		変化なし		羽根閉止状態での加振後に試験
			3B		通気量減少		
			3C	通気量増加			
	α倍*1	開	3A	変化なし	加振後に羽根を閉止し試験		
			3B	変化なし			
			3C	通気量増加			
		閉	3A	変化なし		羽根閉止状態での加振後に試験	
			3B	通気量減少			
			3C	通気量増加			

注記*1：入力倍率(α)については、模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から、X(NS)=1.15倍,Y(EW)=1.20倍,Z(UD)=1.25倍
 *2：ダンパ1台毎に漏えい量を確認しているため、表中は2連ダンパは2A/2B、3連ダンパは3A/3B/3Cとダンパ1台毎の表記とする。
 *3：流量計の検出限界未満の漏えい量
 *4：第1036回審査会合において代表として示していたデータ（2連ダンパ、3連ダンパの各試験条件（加振倍率、羽根開閉状態）における最大値）

■ 指摘事項（第1036回審査会合（2022年3月29日））

トーラス室については、吸込口の位置変更後の吸込箇所が「トーラス室上部ハッチ（開口部）」だけとなり、位置変更前のトーラス室内に吸込口があったときよりもトーラス室の合計の開口面積が小さくなることから、吸込口の位置変更前/後におけるトーラス室の負圧達成への影響について説明すること。

■ 回答

➤ 非常用ガス処理系起動により、原子炉棟内の空気を原子炉棟外に排出することで、規定負圧を達成する。原子炉棟は一定の気密性を有した建物であり、原子炉棟内は大物搬入口及びトーラス室上部ハッチ等の開口部を有していることから、原子炉棟内で生じた圧力変動は高速で伝播し、トーラス室も含めて原子炉棟全体が負圧となる。この規定負圧達成時間については、図1に示すとおり、吸込口の位置変更によらず約5分であり、開口総面積減少による規定負圧達成時間への影響はない。

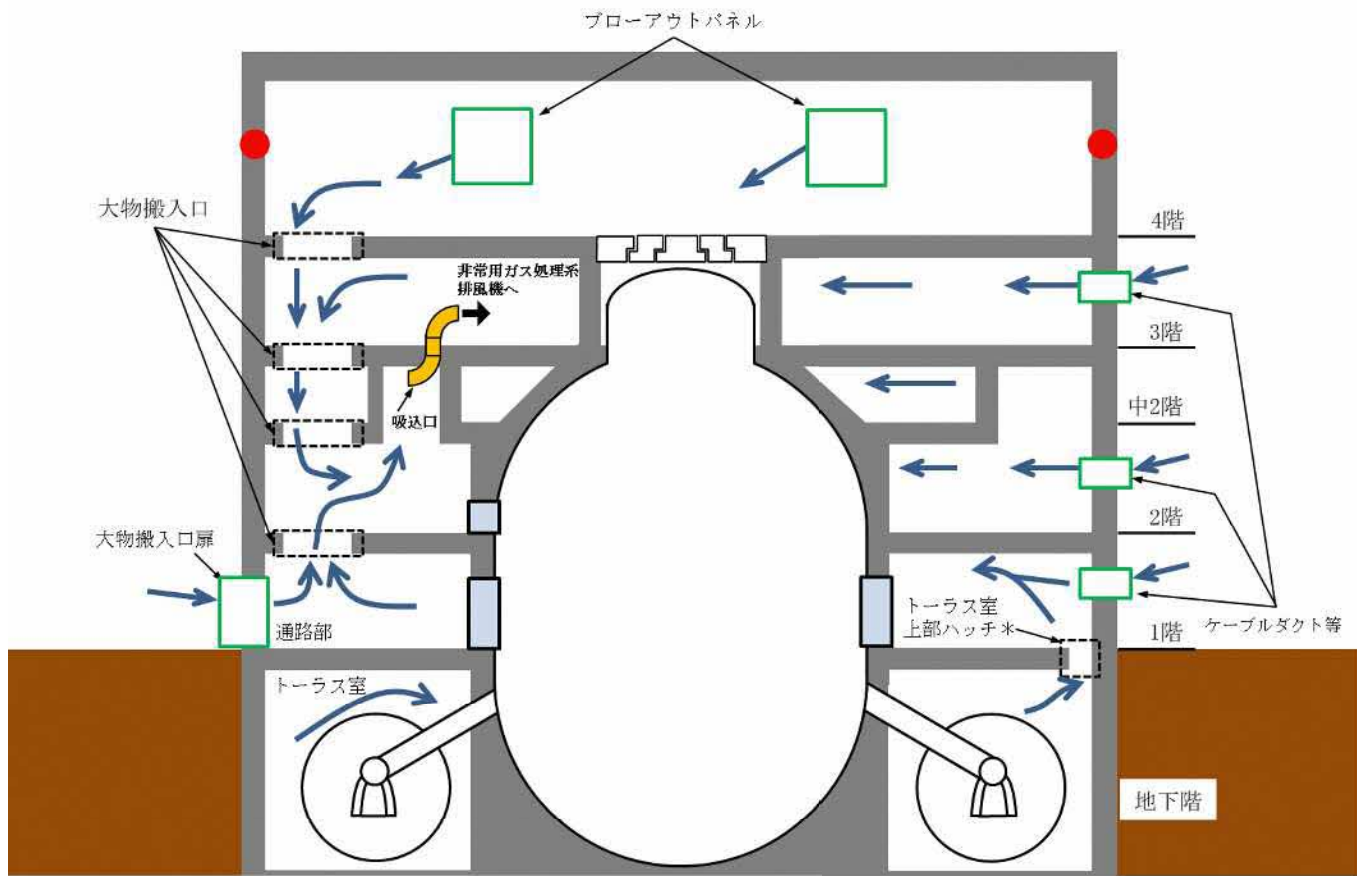
➤ また、規定負圧達成後については、排出された空気に相当するインリークが躯体開口部（大物搬入口扉等）の隙間から発生し、排出量とインリーク量のバランスにより、原子炉棟全体の負圧が一定範囲に維持される。この負圧維持についても、吸込口位置変更前後で規定負圧達成後の圧力挙動には大きな差がなく、開口総面積減少による負圧維持への影響はない。

➤ なお、図1の圧力挙動は、差圧検出点のある原子炉棟4階と外気の差圧を示しているが、上述のとおり、原子炉棟内で生じた圧力変動は、遅滞なく均圧されるため、トーラス室の圧力挙動も図1で示す挙動と同様であると考える。

吸込口位置変更前	吸込口位置変更後

図1 非常用ガス処理系の吸込口変更前後の圧力挙動比較

➤ 原子炉棟内の空気の流れ及び差圧検出点の位置を図2に示す。



大物搬入口開口面積：約39m²
 トラス室上部ハッチ開口面積：約3.24m²

【凡例】
 ←：空気流れ
 ●：原子炉建物外気差圧検出点（EL約45m）
 □：主な躯体開口部

注記＊：トラス室上部ハッチは、機器搬入を目的に設置したグレーチングハッチであり、コンクリートハッチ等により閉止することはない。

図2 原子炉棟断面図

【1-13】非常用ガス処理系吸入口の位置変更による影響（3/3）

■ 指摘事項（第1036回審査会合（2022年3月29日））

非常用ガス処理系吸入口の位置変更後の吸込空気の温度評価について，吸入口の位置変更が設置変更許可からの変更点であることを踏まえ，健全性に関する説明書の中で位置変更後の吸込空気の温度が非常用ガス処理系の設計温度を超えないことを詳細に説明すること。

■ 回答

- 原子炉棟内の環境条件設定では，原子炉棟地上階について，図3に示す温度評価結果を包絡する条件として一律66℃と設定しており，原子炉棟地上階（2階）へ吸入口位置を変更することとしている非常用ガス処理系について，設計温度（66℃）を超える空気を吸引することはない。
- なお，温度評価では，非常用ガス処理系が起動していない無換気状態の条件で温度評価しているが，非常用ガス処理系を起動した場合，非常用ガス処理系により原子炉棟内から排出された空気に相当する量の外気が原子炉棟内にインリークし，この外気により冷却され，環境温度は低下傾向となることから，非常用ガス処理系起動に伴う環境条件への影響はない。

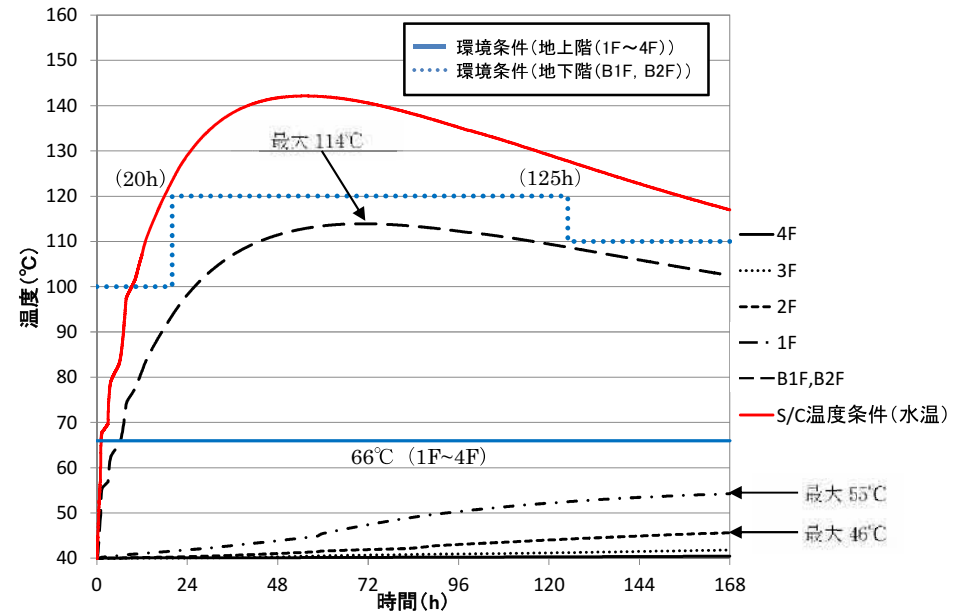


図3 温度評価結果

【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 (1/8)

1. アーク火災発生メカニズム

- 電気盤において、短絡によりアーク放電が発生すると、高温ガスが発生し、急激な圧力・温度上昇に伴うエネルギーの放出が発生する（HEAFの発生）。
- 高温ガスはアーク放電の発生箇所に滞留し、高温ガスから可燃物にエネルギーが伝搬する。
- 可燃物に、あるしきい値以上のエネルギーが印加されるとアーク火災が発生する。
- アーク火災の発生を防止するため、アーク放電によるエネルギーが、火災発生のしきい値を超えないように、アーク放電の遮断時間を適切に設計することによりHEAF火災対策（以下、「HEAF対策」という）を実施する。

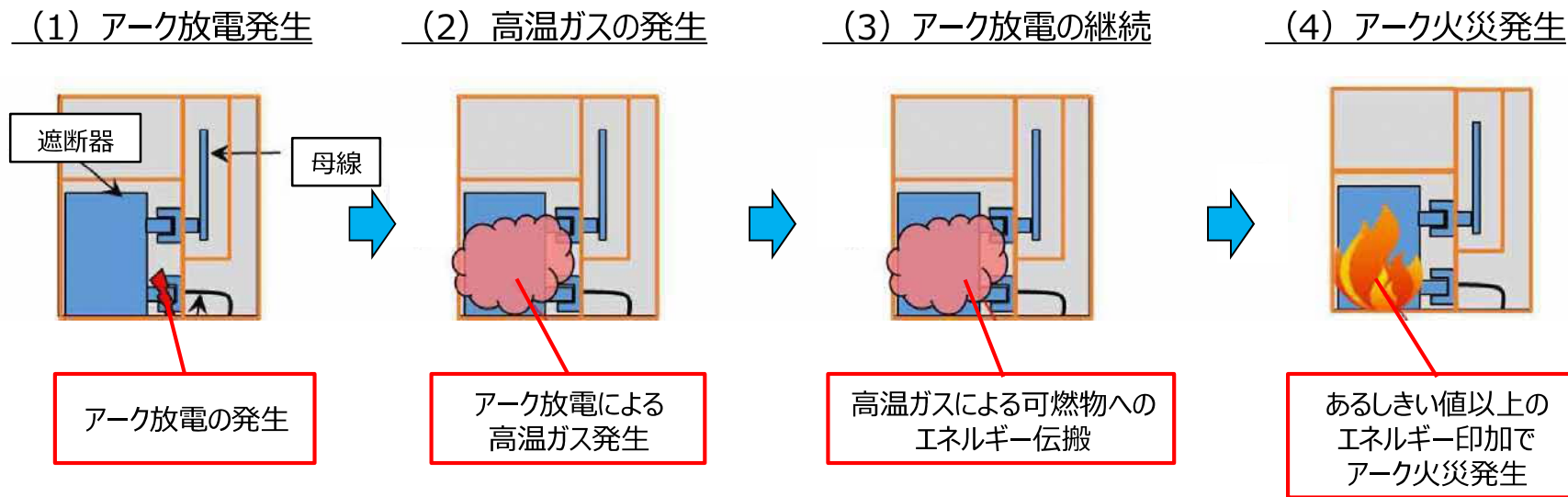
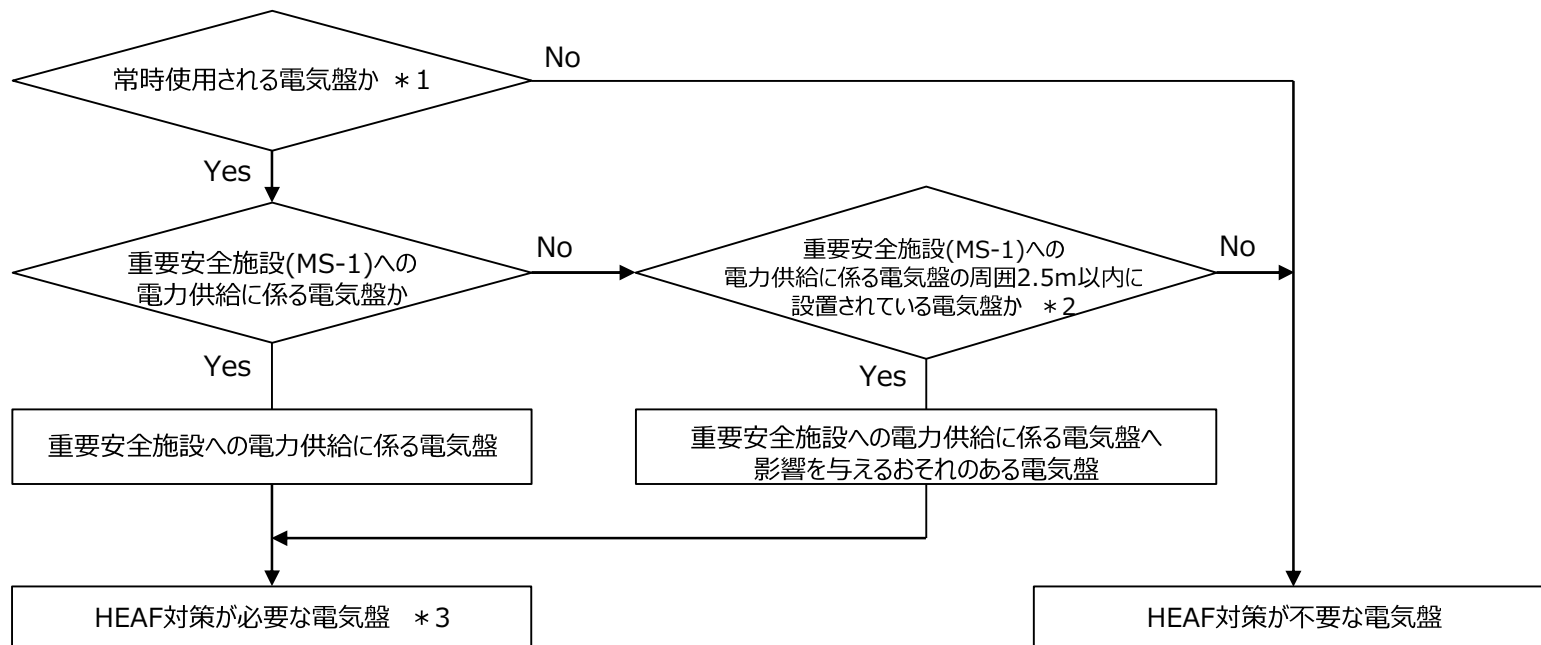


図1 アーク火災発生メカニズム

【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 (2/8)

2. HEAF対策が必要な電気盤

➤ 技術基準規則の解釈に基づき、以下のフローを設定し、HEAF対策が必要な電気盤を抽出した。



- *1 電線路、主発電機又は非常用電源設備から電気が供給されている電気盤をいう。
- *2 高エネルギーアーク損傷（HEAF）に係る電気盤の設計に関する審査ガイド（以下「審査ガイド」という）による。
- *3 短絡等が発生した場合、非常に短時間（0.1秒以下）で電気盤への電力供給を止めることができる場合、適切に遮断されていると判断し、HEAF対策が出来ているものとする（審査ガイドによる）。

図2 HEAF対策が必要な電気盤フロー図

【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 (3/8)

➤ 抽出フローに従い、HEAF対策が必要な電気盤を選定した結果を下図に示す。

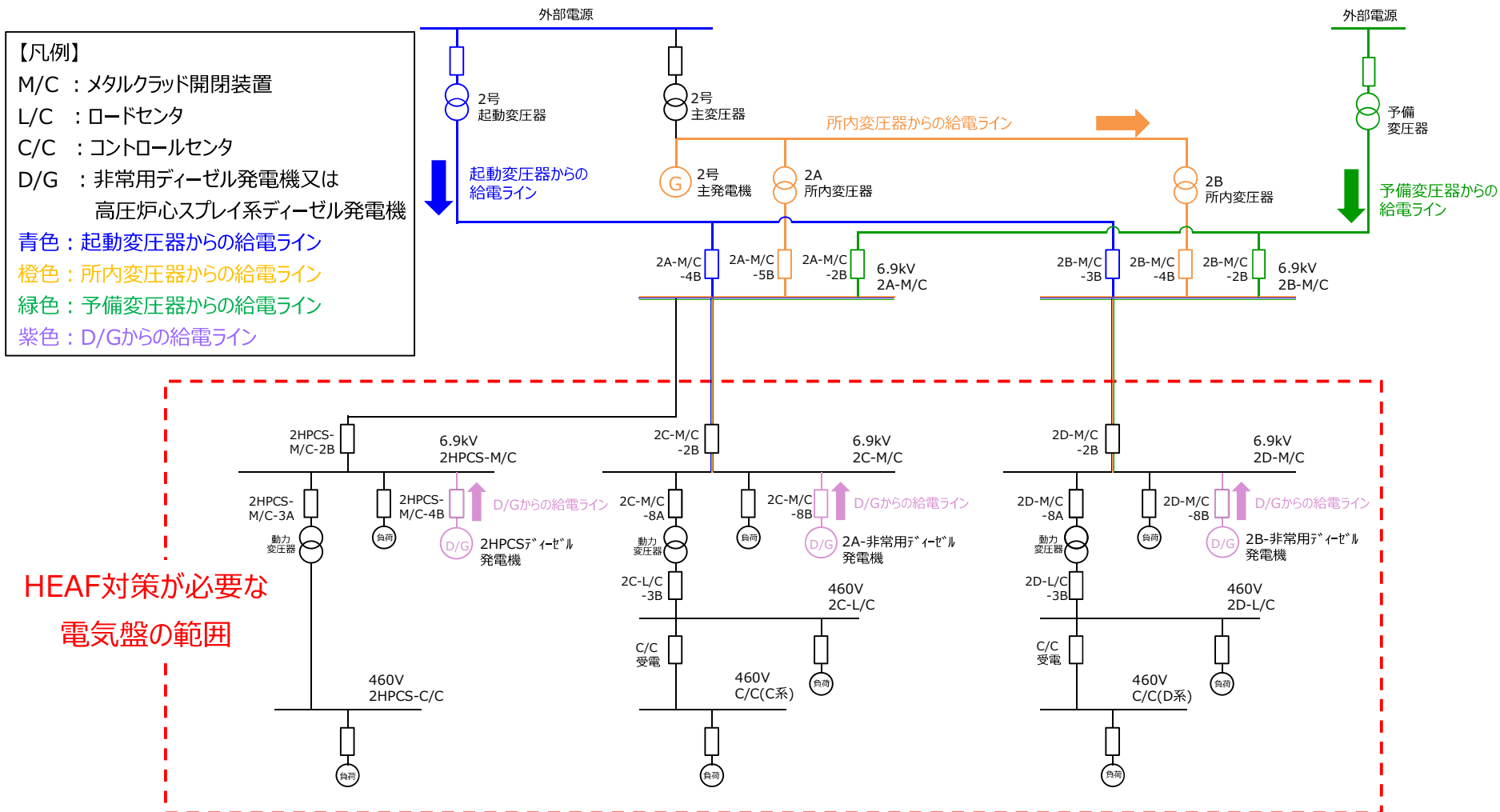


図3 島根2号機 所内電気系統 (概要図)

【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 (4/8)

3. HEAF試験の実施・評価

- 審査ガイドを踏まえて、表1のとおり、HEAF試験を実施した。

表1 審査ガイドへの対応内容

審査ガイド	対応内容
1. 総則	「目的、適用範囲、用語の定義」のため省略
2. アーク放電を発生させる試験	実際に発電所内で使用されているものと同等の電気盤を選定した。
2.1 電気盤の選定	
2.2 短絡電流の目標値	試験時の短絡電流値、印加電圧は、実機プラントで使用している電気盤の三相短絡電流値、定格電圧値を踏まえて設定した。
2.3 HEAF試験に用いる電気回路	HEAF試験は、審査ガイドの付録Aの電気回路と同等の試験回路で実施した。
2.4 測定項目	HEAF試験時に電圧電流波形、熱流束等を測定した。
2.5 アーク放電の発生方法	アーク放電を発生するための導電性針金のワイヤリングを、適切な規格に基づき電気盤の遮断器の受電側及び配電側に施し試験を実施した。
2.6 アーク放電の継続時間	アーク放電の継続時間は、アークエネルギーのしきい値を得るために段階的に設定した。
2.7 HEAF試験の実施	2.1～2.6の対応を行い試験を実施した。
2.8 アークエネルギーの計算	アークエネルギーは試験で測定した電流・電圧から求めたアークパワーをアーク放電の継続時間で積分した値とした。

【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 (5/8)

- 審査ガイドを踏まえて、表2のとおり、アークエネルギーしきい値の評価を実施した。

表2 審査ガイドへの対応内容

審査ガイド	対応内容
3. アーク火災発生の評価 3.1 アーク火災発生の評価の概要	電気盤の目視又は測定した電気盤周囲の熱流束から火災発生を確認している。
3.2 評価に用いる試験データ	試験を実施した一般財団法人電力中央研究所は、公益財団法人日本適合性認定協会から「試験所認定」を取得していることから、評価に用いたデータは、信頼性のある試験に基づくものである。
3.3 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価	アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値は、HEAF試験において、アーク火災が発生しなかった場合の最大のアークエネルギー値に保守性を考慮して設定した。このアークエネルギー値は、アーク火災が発生したアークエネルギー値を下回っている。
3.4 しきい値に係る解析による評価	しきい値は試験結果から求めており、解析による評価は用いていない。

【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 (6/8)

4. HEAF対策

- 保護継電器等の動作時間を適切に設定し，発生個所の上流で短絡電流を遮断する。

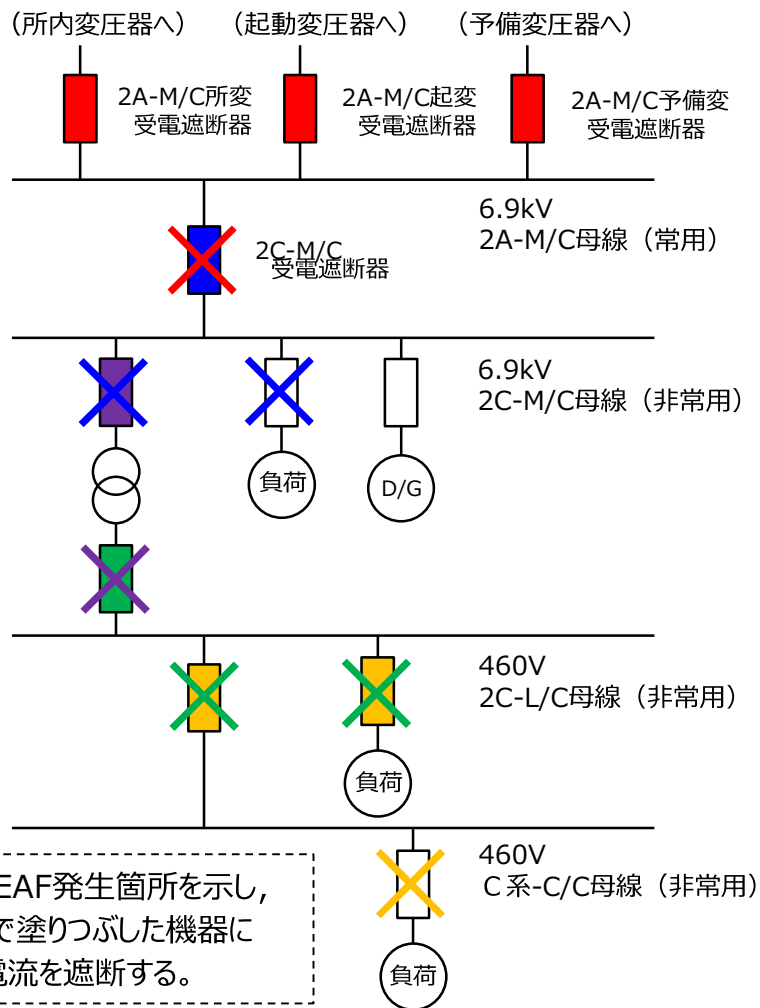


図4 系統給電

× は，HEAF発生箇所を示し，同色の色で塗りつぶした機器により短絡電流を遮断する。

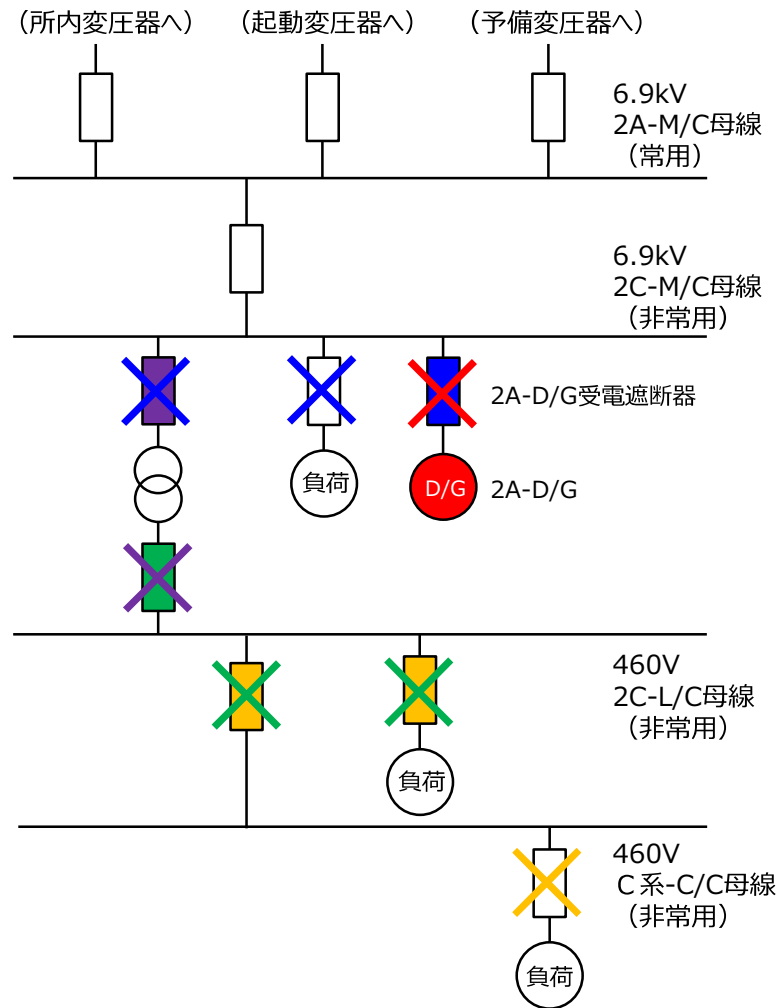
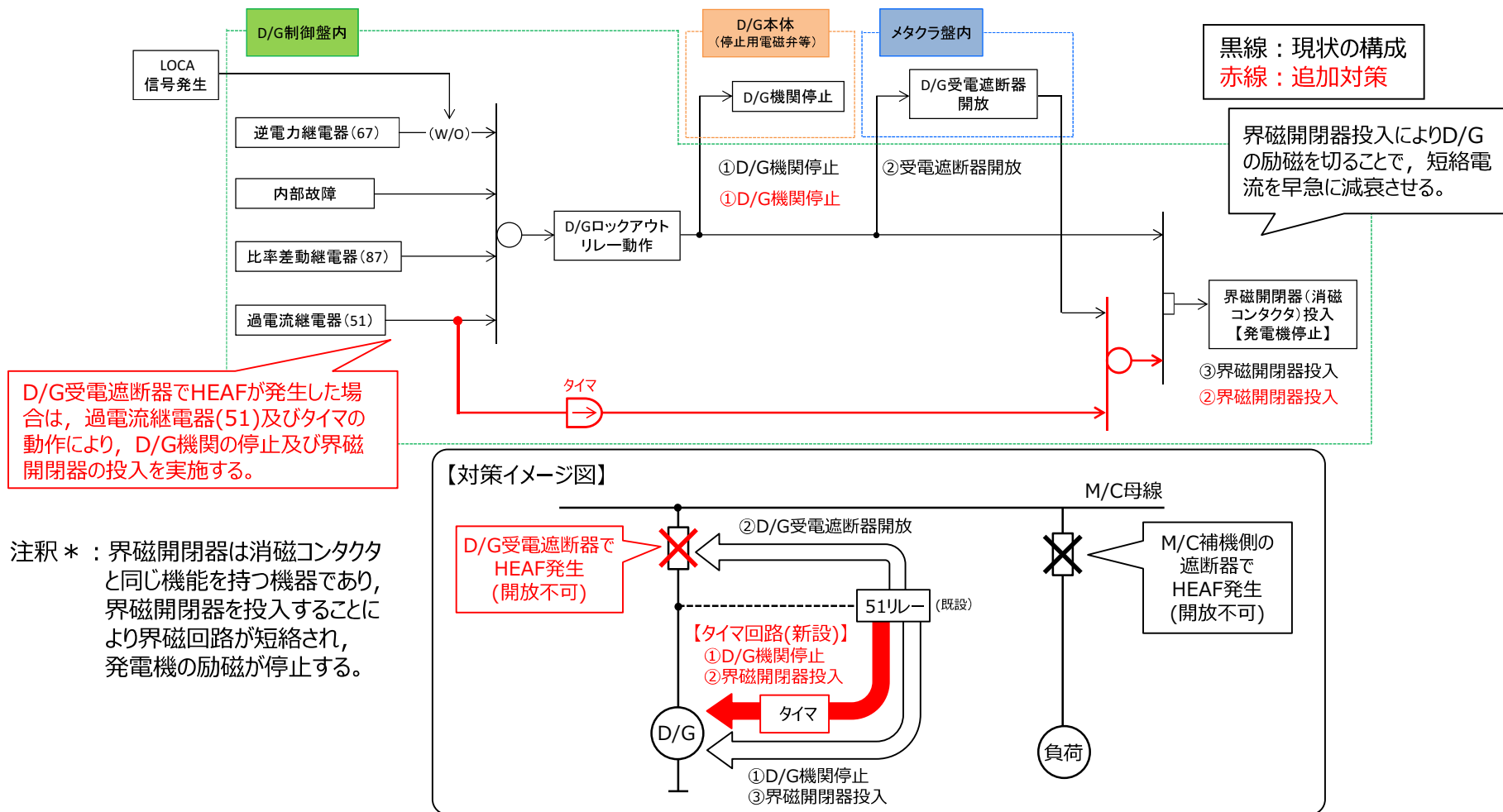


図5 D/G給電

【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 (7/8)

- D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合、速やかに短絡電流を減衰させるため「過電流継電器(51)」に界磁開閉器(消磁コンタクト)*投入のインターロックを追加する。



D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合は、過電流継電器(51)及びタイマの動作により、D/G機関の停止及び界磁開閉器の投入を実施する。

注釈*：界磁開閉器は消磁コンタクトと同じ機能を持つ機器であり、界磁開閉器を投入することにより界磁回路が短絡され、発電機の励磁が停止する。

図6 D/Gインターロック概要

【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 (8/8)

5. 先行審査プラントとの比較

➤ 島根2号機は、先行審査プラント（BWR）と同様、既存の設計思想を変更しない対策とした。

表3 先行審査プラント（BWR,PWR）のHEAF対策（D/Gからの給電時）

先行審査プラント		
<p>【BWR】</p> <p>黒線：現状の構成 赤線：追加対策</p>	<p>D/G受電遮断器でHEAF発生(開放不可)</p> <p>①D/G受電遮断器開放</p> <p>【タイマ回路（新設）】 ①D/G機関停止 ②(タイマ設定時間経過後) 消磁コンタクト投入</p> <p>51リレー</p> <p>タイマ</p> <p>M/C母線</p> <p>M/C補機側の遮断器でHEAF発生(開放不可)</p> <p>負荷</p>	<p>・既設の過電流継電器（51）にタイマを追加し、タイマが一定時間動作継続した場合には、D/G停止及び消磁コンタクト（界磁開閉器）投入のインターロックを動作させることで、HEAF火災への進展を防止する。</p> <p>・既設の過電流継電器（51）を流用することで、設計思想*1を変更せずに対策。</p> <p>*1：過電流継電器（51）が動作した場合、LOCA発生の有無に関わらずD/G受電遮断器のみ「開」とするプラントや、LOCA発生の有無によりD/G機関を停止するプラントがある。</p>
<p>【PWR】</p> <p>黒線：現状の構成 赤線：追加対策</p>	<p>D/G受電遮断器でHEAF発生(開放不可)</p> <p>①D/G機関停止, D/G受電遮断器開放</p> <p>【50リレー（新設）】 ①D/G機関停止, 消磁コンタクト投入</p> <p>50リレー/51リレー</p> <p>M/C母線</p> <p>M/C補機側の遮断器でHEAF発生(開放不可)</p> <p>負荷</p>	<p>・過電流継電器（50）を追加し、過電流継電器（50）動作した場合には、D/G停止及び消磁コンタクト（界磁開閉器）投入のインターロックを動作させることで、HEAF火災への進展を防止する。</p> <p>・既設の過電流継電器（51）を使用するためには、設計思想*2を変更する必要がある。</p> <p>*2：過電流継電器（51）が動作した場合、SI信号挿入状態においては、D/Gが停止せず、D/G受電遮断器が「開」とならない</p>

<参考> 第1018回及び第1036回審査会合にて説明した主な説明事項

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	今回説明
	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	次回以降説明
	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	次回以降説明
	1-4	サプレッションチェンバの耐震評価	次回以降説明
	1-5	漂流物衝突荷重の設定	次回以降説明
	1-6	機器・配管系への制震装置の適用	次回以降説明
	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	次回以降説明
	1-8	設計地下水位の設定	次回以降説明
	1-9	防波壁	次回以降説明
	1-10	土石流影響評価	次回以降説明
	1-11	保管・アクセス（抑止杭）	今回説明
	1-12	ブローアウトパネル閉止装置	第1036回審査会合にて説明, 今回説明
	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回審査会合にて説明, 今回説明
	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	今回説明
	2-2	火災感知器の配置	次回以降説明
[3] 設置変更許可審査時からの設計変更内容	3-1	ドライウエル水位計（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	次回以降説明
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更	次回以降説明
[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	次回以降説明
	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积質量減算の適用	次回以降説明