

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	DSF-040
提出年月日	令和3年5月27日

伊方発電所3号機
設計及び工事計画に係る説明資料
(耐震性に関する説明書)
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和3年5月
四国電力株式会社

資料 9 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 9 耐震性に関する説明書

目 次

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

今回提出資料

2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

3. 周辺施設等の波及的影響の検討について

今回提出資料

4. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果について

5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震評価モデルの妥当性について

今回提出資料

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

1-6 地震応答解析モデル及び解析手法の概要について

目 次

	頁
1. 概要	1-6-1
2. 地震応答解析モデル及び解析手法の概要	1-6-1
(別紙1) 地盤ばねのモデル化について	1-6-3
(別紙2) 建屋基礎の滑動に関する評価について.....	1-6-10
(参考1) 基礎底面を通るすべり面の応力状態について.....	1-6-17
(参考2) 建屋基礎と均しコンクリート間の滑動評価について.....	1-6-19

(別紙2) 建屋基礎の滑動に関する評価について

1. 各種指針の記載

- (1) 建屋基礎の設計指針である「建築基礎構造設計指針（(社)日本建築学会，2019改定）」においては、建屋基礎の滑動の評価は、「直下の地盤のせん断抵抗を採用」することとされ、「土質試験等を実施して求めることが望ましい」ものの、「土質試験等を実施しない場合は、摩擦係数としておおむね0.4～0.6を採用すればよい」とされている（第1-1表①）。
- (2) 土木分野の指針「道路土工 擁壁工指針（日本道路協会，平成24年度版）」においても、「土質試験等により地盤の強度定数を求めること」が原則とされ、「土質試験等を行うことが困難な場合には摩擦係数0.7を用いてもよい」とされている（第1-1表②）。
- (3) 上記(1)(2)は、第1-1表①に記載の「基礎底面は支持地盤と十分かみ合っている」ことが前提となる。この点、建屋基礎の打設にあたっては、通常、地盤の不陸の残置、岩盤清掃、湿潤状態での打設等の打ち込み準備工がなされる（第1-1表③）。とりわけ、伊方発電所の支持地盤である塩基性片岩は、片理を有することから、特に不陸が卓越し、基礎底面は支持地盤と十分かみ合う。（第1-1図）
- (4) 一方、建屋基礎～均しコンクリート間の水平打継目については、他の水平打継目と同様、丁寧な打継目処理（第1-1表④）を施すこととしており、この場合、水平打継目のせん断強度はコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値（圧縮強度の1/5）となるとの考え方が示されている（第1-1表⑤）。

その値は、第1-2表のとおりであり、上記(1)の「直下の地盤のせん断抵抗」の3倍以上である。

第1-2表は、工事計画認可申請(令和元年12月13日付)の再掲であり、認可(令和元年12月24日付)を受けている。

なお、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事(日本建築学会，2013)」に基づくコンクリートの品質管理について、「コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編](土木学会，2002)」の方が硬練りの調合条件であるなどの差異が見られるものの、その他の条件は概ね同等である（第1-3表）ことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋についても、上記考え方をを用いることができると考えられる。

2. 規制基準に関連する内規（ガイド）の要求

「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年）」においては、想定すべきすべり面として「基礎地盤の内部を通るすべり面」に加え、「基礎底面を通るすべり面」を規定している（第1-4表）。前者は、断層沿いのすべり面や応力状態を考慮したすべり面などの地盤内部のすべり面に対応し、後者は、建屋基礎の滑動の照査に対応している。

原子炉建屋等の設置許可・工事計画認可を受けた他の耐震重要施設の建屋に対しても、この評価方針に基づき評価を実施している。

3. まとめ

以上より、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の滑動に関する評価については、

- ・ 1. に基づき、原位置試験により求めた「直下の地盤のせん断抵抗を採用」し（第1-2表）、
- ・ 2. に基づき、「基礎底面を通るすべり面」を評価（第1-5表）

している。その結果、すべり安全率は5.0であり、地盤ガイドの定める所要安全率1.5を大きく上回ることを確認している。（応力状態の詳細は、[\(参考1\)](#)を参照）

なお、1. (4)に述べたとおり、建屋基礎と均しコンクリート間の水平打継目については丁寧な打継目処理を施すこととしており、打継目のせん断強度がコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値となるとの考え方を採用できると考えられるものの、この考え方に依らず、保守的に、コンクリート同士の粘着力および摩擦力によるせん断抵抗力を考慮した滑動評価を行い、基準地震動 S_s による地震力が作用した際に建屋基礎と均しコンクリート間が滑動しないことを確認している。（滑動評価の詳細は、[\(参考2\)](#)を参照。）

第1-1表 各種指針の記載

出典	記載内容								
<p>① 建築基礎構造設計指針 (（社）日本建築学会，2019 改定)</p>	<p>直接基礎では、基礎底面に捨てコンクリートが打設され、また、捨てコンクリート下面には根切り底への敷砂利などが設けられる。このため、基礎底面は支持地盤と十分かみ合っている場合が多いと考えられ、通常地盤では、基礎底面のコンクリートと土の摩擦係数よりも、その<u>直下の土のせん断抵抗を摩擦係数に換算して採用する。</u></p> <p>滑動抵抗の算定に用いる基礎底面の摩擦係数は、基礎底面の状態や地盤条件・施工条件を考慮し、<u>事前に土質試験や原位置試験を実施して求めることが望ましい。土質試験などを実施しない場合には、摩擦係数としておおむね0.4~0.6の範囲の値を採用すれば良い。</u></p>								
<p>② 道路土工 擁壁工指針（日本道路協会，平成24年度版）</p>	<p>2) 擁壁底面と地盤との間の摩擦角 ϕ_B と付着力 c_B</p> <p><u>土質試験や原位置試験により基礎地盤の強度定数 c、ϕ が求められた場合、擁壁底面の摩擦角 ϕ_B は、場所打ちコンクリート擁壁では $\phi_B = \phi$ (中略) としてよい。(中略) <u>土質試験等を行うことが困難な場合には、解表4-9の値を用いてもよい。</u> 擁壁底面の地盤との付着力 c_B は、施工時の地盤の乱れ等を考慮して決定する。</u></p> <p style="text-align: center;">解表4-9 (抜粋)</p> <table border="1" data-bbox="582 884 1428 945"> <thead> <tr> <th>せん断面の条件</th> <th>支持地盤の種類</th> <th>摩擦係数 $\mu = \tan \phi_B$</th> <th>付着力 c_B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>岩または礫とコンクリート</td> <td>岩盤</td> <td>0.7</td> <td>考慮しない</td> </tr> </tbody> </table>	せん断面の条件	支持地盤の種類	摩擦係数 $\mu = \tan \phi_B$	付着力 c_B	岩または礫とコンクリート	岩盤	0.7	考慮しない
せん断面の条件	支持地盤の種類	摩擦係数 $\mu = \tan \phi_B$	付着力 c_B						
岩または礫とコンクリート	岩盤	0.7	考慮しない						
<p>③ コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] (土木学会，2002)</p>	<p>7.2 打込み準備</p> <p>(1) 岩盤上にダムコンクリートを打ち込むときには、岩盤の表面の緩んだ岩、岩くず、その他の異物を除去し、湧水箇所は適切な方法で処理しなければならない</p>								
<p>④</p> <p>④-1 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 (2013改定)</p> <p>④-2 コンクリート標準示方書 [施工編] (土木学会，2007)</p>	<p>7.3 打継ぎ計画</p> <p>a. 打継ぎの位置・形状および処理方法は、構造耐力および耐久性を損なわないようなものとし、設計図書による。</p> <p>(解説) 打継ぎ部の形状は、コンクリート打込み前の打継ぎ部の処理が円滑に行え、かつ新たに打ち込むコンクリートの締固めが容易に行えるような形状とする。</p> <p>コンクリート打込み後のブリーディングに伴って、コンクリート中の微細な粒子が浮遊水とともに浮き上がり、コンクリート表面に形成する脆弱な薄膜をレイタンスと呼ぶ。レイタンスが生成したコンクリート面は、高圧ジェット水による洗浄、サンダー掛けによる表層の除去などを行い、健全なコンクリートを露出しなければならない。</p> <p>9.3 水平打継目の施工</p> <p>(2) コンクリートを打ち継ぐ場合には既に打ち込まれたコンクリートの表面のレイタンス、品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材粒などを完全に取り除き、十分に給水させなければならない。</p>								
<p>⑤ コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] (土木学会，2002)</p>	<p>2.4.3 強度</p> <p>【解説】 水平打継目におけるせん断摩擦安全率を検討する場合には、水平打継目のせん断強度が必要となる。水平打継目のせん断強度は打継目処理の方法によって大きく変化するが、<u>丁寧な打継目処理を施した場合</u>、水平打継目のせん断強度はダムコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値を示す。この値はダムコンクリートの<u>圧縮強度のおよそ1/5</u>である。</p>								

第1-2表 解析用物性値（再掲）

[工事計画認可申請(令和元年12月13日補正申請, 令和元年12月24日認可)資料8-1別紙 再掲]

	岩盤					断層		セメント改良土	置換コンクリート ($f'_{ck}=18N/mm^2$) *5		
	I級			II級	III級①	III級②	III級			軟質無	軟質含
	①	②	③								
単体積重量 (kN/m^3)	29.4			27.5	25.5	18.6		26.5	19.6	23.7	23.0
せん断強度 (kN/m^2)	981			490	130	39		324	78	913	3.600
内部摩擦 ($^{\circ}$)	50			41	23	17		34	24	52	0
残留強度 (kN/m^2)	$\tau = 569 + \sigma \tan 43^{\circ}$			$\tau = \sigma \tan 41^{\circ}$	$\tau = \sigma \tan 23^{\circ}$	$\tau = \sigma \tan 17^{\circ}$		$\tau = \sigma \tan 34^{\circ}$	$\tau = \sigma \tan 24^{\circ}$	$\tau = \sigma \tan 52^{\circ}$	0
静弾性係数 (kN/m^2)	3.63×10^6			1.18×10^6	0.49×10^6	0.0392×10^6		$27000 (\sigma_v)^{0.34}$	$1750 (\sigma_v)^{0.60}$	3.52×10^6	22.0×10^6
静的ポアソン比	0.29			0.32	0.32	0.45		0.36	0.45	0.37	0.20
動弾性係数 ($\times 10^6 kN/m^2$)	58.8^{*1}	42.2^{*2}	23.5^{*3}	10.8	3.51	G_p/G_s^{*4} $= 1/(1+10.4 \gamma^{0.787})$ $G_s=43900 (kN/m^2)$	0.127	G_p/G_s^{*4} $= -0.33 \log \gamma - 0.58$ $G_s=294000 (kN/m^2)$	G_p/G_s^{*4} $= -0.40 \log \gamma - 0.60$ $G_s=4130 (\sigma_v)^{0.53} (kN/m^2)$	7.78	22.0
動的ポアソン比	0.34			0.36	0.38	0.45		0.40	0.45	0.37	0.20
減衰定数	2.0 (%)			3.0 (%)	3.0 (%)	$h=1/(0.062+(3.90 \times 10^{-4}/\gamma))+1.3$	10.0 (%)	$h=0.08 \log \gamma + 0.36$ ($\gamma > 10^{-5}$)	$h=0.17 \log \gamma + 0.58$ ($\gamma \geq 10^{-6}$) $h=0.017 \log \gamma + 0.09$ ($\gamma < 10^{-6}$)	5.0 (%)	5.0 (%)

* 1 $V_s=2.7km/s$ * 2 $V_s=2.3km/s$ * 3 $V_s=1.7km/s$ * 4 動せん断弾性係数
 * 5 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002) 及びコンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] (2002) より設定

第1-3表 コンクリートの品質管理の比較

		JASS5N ^{※1}	コン示[ダム編] ^{※2}
セメント	ポルトランドセメント	JIS R 5210	同左
骨材	ふるい分け試験	砂	3.4細骨材による
		砕砂	JIS A 5005による
		砕石	JIS A 5005による
	微粒分量試験 ^{※3}	砂	3.0%以下
		砕砂	7.0%以下
		砕石	3.0%以下
	密度試験 ^{※5}	砂	2.5g/cm ³ 以上
		砕砂	2.5g/cm ³ 以上
		砕石	2.5g/cm ³ 以上
	吸水率試験	砂	3.0%以下
		砕砂	2.5%以下
		砕石	2.0%以下
	硫酸ナトリウムによる安定性試験 ^{※6}	砂	10%以下
		砕砂	10%以下
		砕石	12%以下
	骨材中の粘土塊量の試験	砂	1.0%以下
	普通細骨材中の塩分試験	砂	0.02%以下
コンクリート用砕砂・砕石の粒形判定実積率試験	砕砂	55%以上	
	砕石	57%以上	
細骨材の有機不純物試験		標準色液又は色見本より淡い	
アルカリシリカ反応性試験		「無害」と判定されること	
粗骨材のすりへり試験		40%以下	
水 ^{※7}	懸濁物質の量 ^{※8}	2g/l以下	清澄で品質に悪影響を及ぼす油、酸、有機不純物などの物質を有害量含んでいてはならない
	溶解性蒸発残留物の量 ^{※8}	1g/l以下	
	塩化物イオン(Cl)の量	200mg/l以下	
	セメントの凝結時間の差	始発30分内、終結60分内	
	モルタルの圧縮強さの比	材齢7日及び材齢28日で90%以上	
混和剤	化学混和剤	JIS A 6204による	同左
混和材	フライアッシュの試験	JIS A 6201による	同左
フレッシュコンクリート	コンクリートスランプ試験 ^{※9}	5.5～20.5cm	2～5cm程度
	フレッシュコンクリートの空気量試験 ^{※10}	4.5%±1.5%	同左
	フレッシュコンクリートの温度測定	5～35℃	同左
	フレッシュコンクリート中の塩化物量試験	0.30kg/m ³ 以下	同左
圧縮強度	圧縮強度試験 (JASS5Nは材齢28日) (コン示[ダム編]は材齢91日)	<ul style="list-style-type: none"> 1回の試験結果が呼び強度の85%以上 3回の試験結果の平均が呼び強度以上 	<ul style="list-style-type: none"> 設計基準強度の80%を1/20以上の確率で下回らない 設計基準強度を1/4以上の確率で下回らない

※1：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事（建築学会，2013）

※2：コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編]（土木学会，2002）

※3：コン示[ダム編]の砂・砕砂はダムコンクリートの表面がすりへり作用を受けない場合の値

※4：粘土・シルトなどを含まない場合の値

※5：JASS5Nは絶対密度、コン示[ダム編]は表乾密度の値

※6：コン示[ダム編]の砕石はコンクリートの設計基準強度が18N/mm²以上の場合の値

※7：レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水（JASS5Nは上水道以外の水又は回収水のうち上澄み水を用いる場合の条件）

※8：JASS5Nにおける上水道以外の水を用いる場合のみ規定されている値

※9：JASS5Nはスランプの範囲が8cm以上18cm以下の場合の値、コン示[ダム編]は40mmふるいでウェットスクリーニングした試料の一般的な値

※10：コン示[ダム編]は耐凍害性を要求しない部位に用いるコンクリートの場合

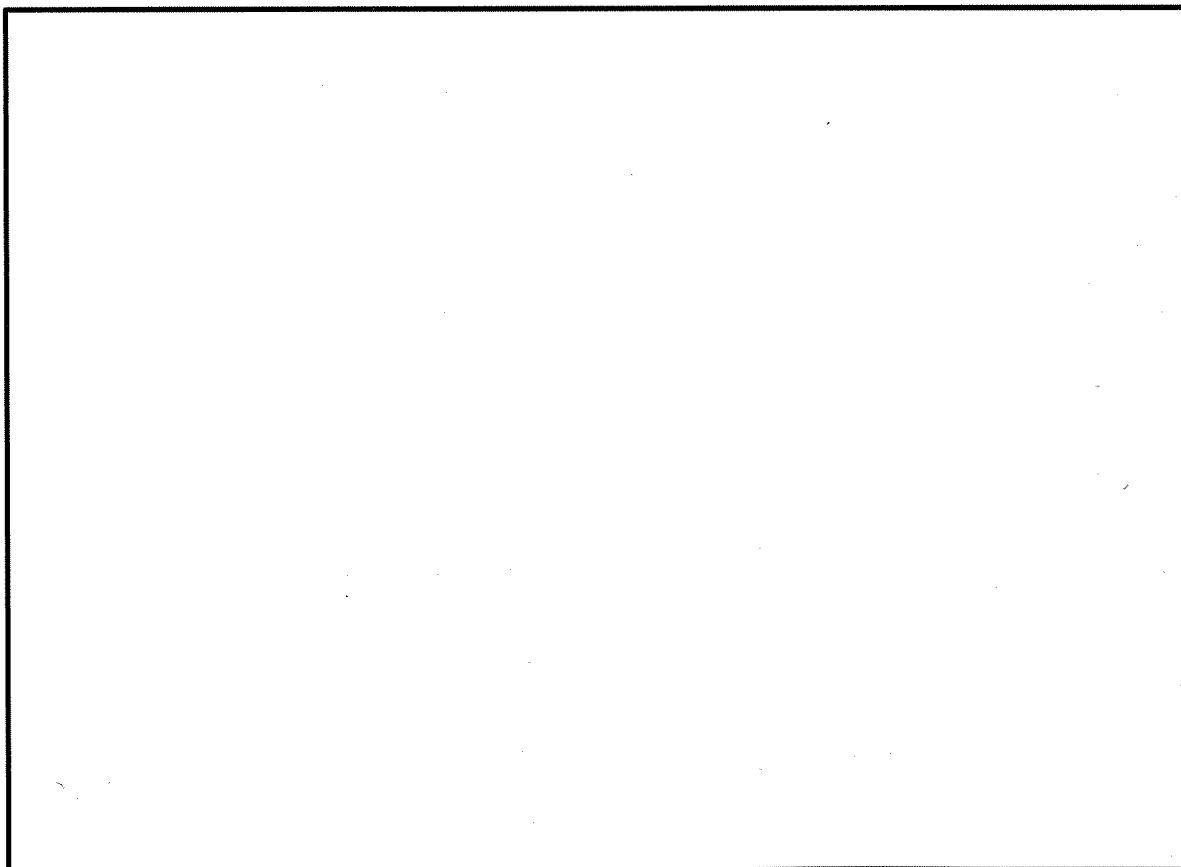
第1-4表 規制基準に関連する内規（ガイド）の要求

出典	記載内容
基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年）	4. 基礎地盤の安定性評価 4. 1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価 (1) 評価項目 1) 基礎地盤のすべり 動的解析の結果に基づき、 <u>基礎地盤の内部及び基礎底面を通るすべり面</u> が仮定され、そのすべり安全率によって総合的に判断されていること。
	(2) 確認事項 4) 解析モデルの設定と結果の評価 ・すべり安全率を求めるに当たって、 <u>基礎底面を通るすべり面</u> のほか、不連続面等の分布、局所安全率、モビライズド面の向き等に基づいてすべり面が適切に想定されていること。

第1-5表 すべり安全率に対する評価結果（N-N' 断面）

〔黄枠：複数設定した基礎底面を通るすべり面の中で、最小すべり安全率を示すすべり面〕
 〔表下段に追記のとおり、基礎底面に接するすべり面の安全率は5.1（5.0よりも大きい）〕

[設計及び工事計画認可申請 資料9-1別紙 再掲・加筆]





第1-1図 3号炉原子炉建屋基礎岩盤清浄状況
(平成27年3月20日審査会合資料再掲)



第1-2図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 均しコンクリート打設状況

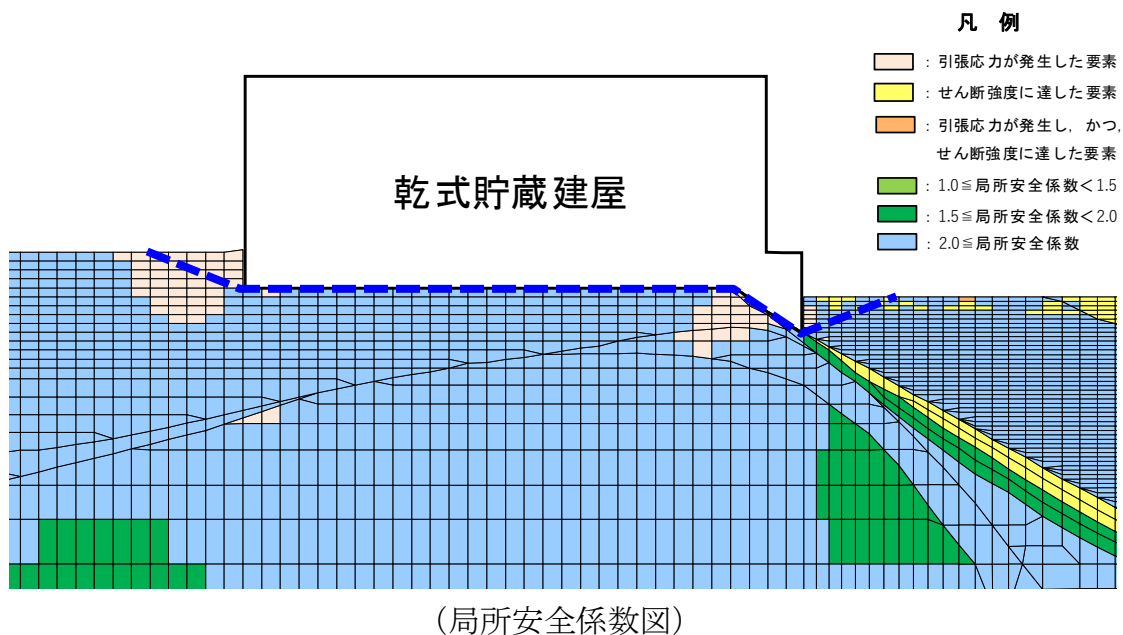
左半分：均しコンクリート打設済 (打継目処理前)
右半分：均しコンクリート打設前 (打ち込み準備工前)

(参考1) 基礎底面を通るすべり面の応力状態について

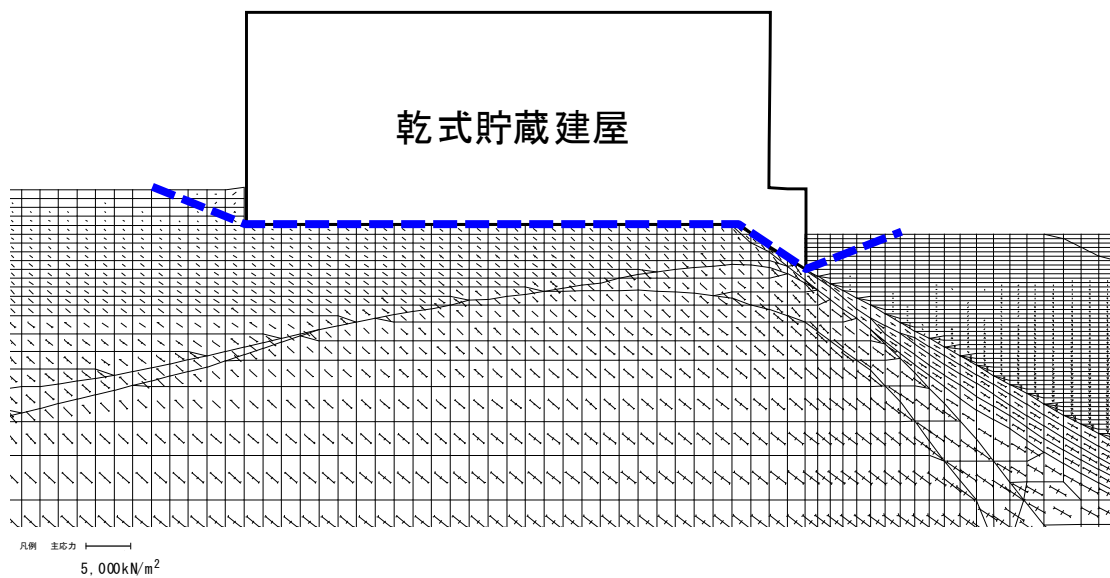
(別紙2) 2. で示した「基礎底面を通るすべり面」の応力状態を第1図に示す。

- ・すべり面を構成する要素は、健全な要素（局所安全係数 ≥ 1.0 ）が多い
- ・建屋基礎の端部などでは、建屋が地盤を際限なく引っ張る力が地盤に伝達（※等価線形解析の節点共有の影響。現実では発生しない）する影響により、解析上の保守的な効果として、引張破壊が発生している要素がある

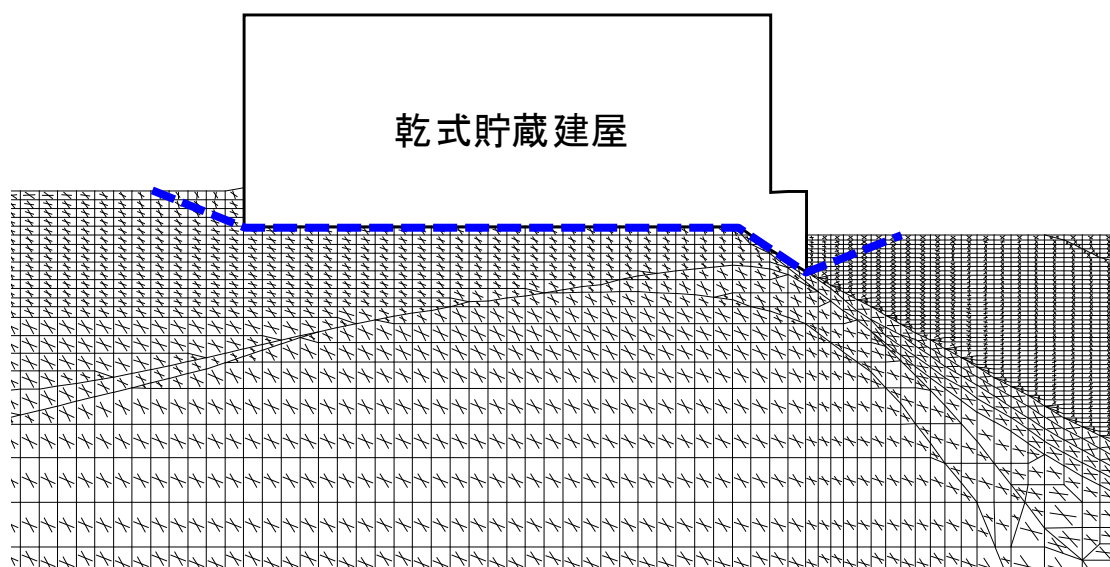
引張破壊した要素は、健全強度よりも著しく小さい残留強度（(別紙2) 第1-2表）を参照し、(別紙2) 第1-5表のとおり、安全率は5以上である。



第1図(1/2) 「基礎底面を通るすべり面」の最小すべり安全率における応力状態



(主応力ベクトル図)



(モビライズド面)

第1図(2/2) 「基礎底面を通るすべり面」の最小すべり安全率における応力状態

(参考2) 建屋基礎と均しコンクリート間の滑動評価について

1. 概要

本資料では、使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋基礎と均しコンクリート間の水平打継目のせん断強度がコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値（圧縮強度の1/5）となるとの考え方に依らず、保守的に、コンクリート同士の粘着力および摩擦力によるせん断抵抗力を考慮した滑動評価を行い、基準地震動 S_s による地震力が作用した際に建屋基礎と均しコンクリート間が滑動しないことを確認する。

2. 検討方法

建屋の滑動について、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（(社)日本電気協会）に示される下式を参考に算定した基礎と均しコンクリート間のせん断抵抗力が、基準地震動 S_s によって使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面に作用するせん断力より十分大きいことを示す。

$$H_u = CA + V \tan \phi$$

ここで、

- H_u : 底面と地盤に働くせん断抵抗力 (kN)
- C : 底面と地盤との間の粘着力 (kN/m²)
- A : 底面の有効載荷面積 (m²)
- V : 底面に作用する鉛直力 (kN)
- ϕ : 底面と地盤との間の摩擦角 (度)

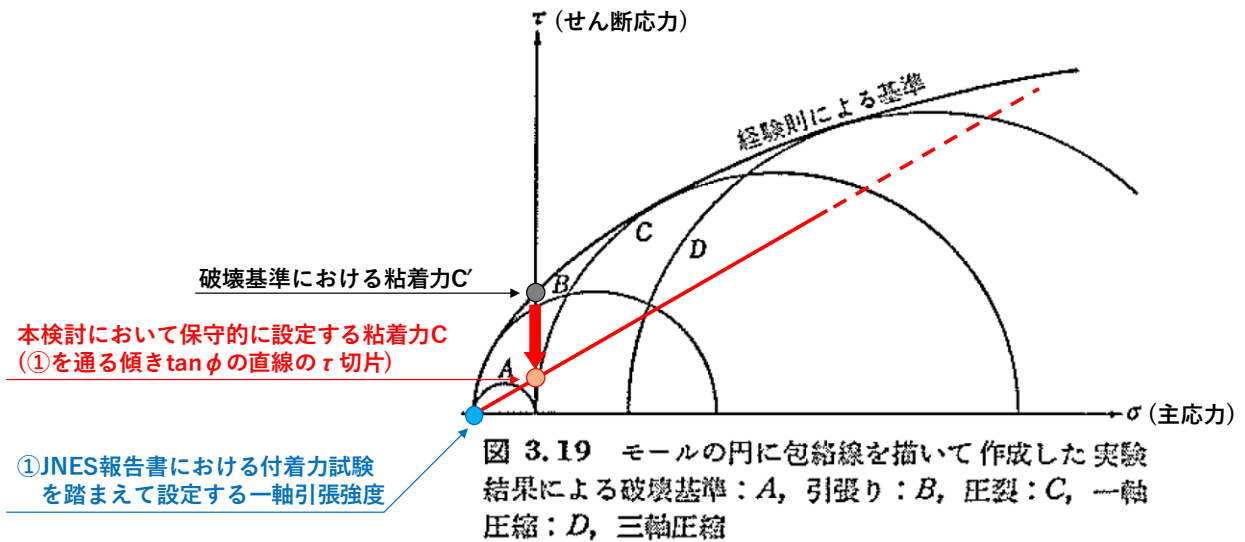
使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎と均しコンクリート間は、丁寧な打継目処理を施す計画としていることから、十分な粘着力が期待できると考えられる。このため、粘着力の設定にあたり、原子力施設の地盤条件やコンクリートの強度条件を念頭に検討が行われている、独立行政法人原子力安全基盤機構¹（以下「JNES報告書」という。）による基礎と均しコンクリート間の付着力試験の結果を用いて設定する。

JNES報告書では、コンクリート間の付着力（引張強度）とせん断強度との関係までは明らかにされていないことを踏まえ、本検討で用いるせん断強度としての粘着力は、JNES報告書の付着力試験の結果を用い、モール応力円と破壊基準との関係を考慮した保守的な設定を行うこととする。

¹ 独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 原子力施設の非線形地盤・構造物相互作用試験及び基準整備基礎浮上り評価手法の調査に係る報告書（平成18年度）」

具体的には、JNES報告書の付着力試験は、打継目の引張強度を評価したものであり、一軸引張強度（第2-1図の①）を示すモール応力円に対応することから、①を通る傾き $\tan \phi$ の直線の τ 切片を粘着力 C として設定する。

このように設定した粘着力 C は、第2-1図に示す破壊基準における粘着力 C' と比較して保守的である。



第2-1図 本検討における粘着力 C の設定方針
 (「鹿島出版会 わかりやすい岩盤力学」に一部加筆)

3. 検討条件

3.1 基礎底面の面積

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面の面積は3,186(m²)である。

3.2 基礎底面に作用する鉛直力

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面に作用する鉛直力は、建屋総重量の727,800(kN)を考慮する。

3.3 摩擦係数 (tan φ)

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎と均しコンクリート間の摩擦係数は、「道路橋示方書・同解説((社)日本道路協会)」及び「道路土工擁壁工指針((社)日本道路協会)」における摩擦係数の値を参考に、0.6とする。

3.4 粘着力

<補足資料>に示すとおり、JNES報告書における付着力試験の結果、基礎と均しコンクリート間の付着力は0.6N/mm² (600kN/m²)程度とされていることから、粘着力Cは、摩擦係数 (tan φ = 0.6) との関係から、0.36N/mm² (360kN/m²)とする。

3.5 せん断力

基準地震動Ssによって使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面に作用するせん断力は、添付資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」における地震応答解析モデルの基礎底面地盤ばね反力(水平方向)を考慮する。

4. 検討結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎と均しコンクリート間の滑動の検討結果を第4-1表に示す。

検討の結果、基礎底面に作用するせん断力よりも基礎と均しコンクリート間のせん断抵抗力が十分大きいことから、建屋の滑動が起こらないことを確認した。

第4-1表 基礎と均しコンクリート間の滑動の検討結果

①基礎底面に作用するせん断力 (kN)	②基礎と均しコンクリート間のせん断抵抗力 (kN)	安全率 (②/①)
629,800	1,583,640	2.5

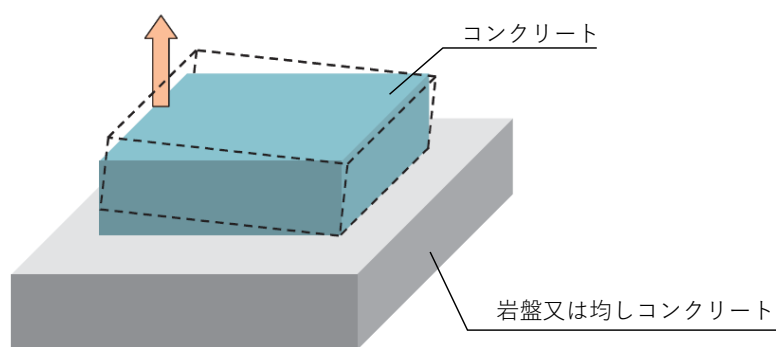
<補足資料> JNES報告書における付着力試験及び適用性の確認

1. JNES報告書における付着力試験

(1) 付着力試験の概要

JNES報告書では、より実情に近い状態での付着力を検討するための試験として、150cm×150cmの接合面を用いた中規模試験を実施しており、岩盤と均しコンクリート間を模擬した試験（RCシリーズ）及び基礎と均しコンクリート間を模擬した試験（CBシリーズ）の2種類について試験を行っている。

中規模試験の概念図を補足-1図に、試験変数を補足-1表に示す。



補足-1図 中規模試験の概念図（JNES報告書に一部加筆）

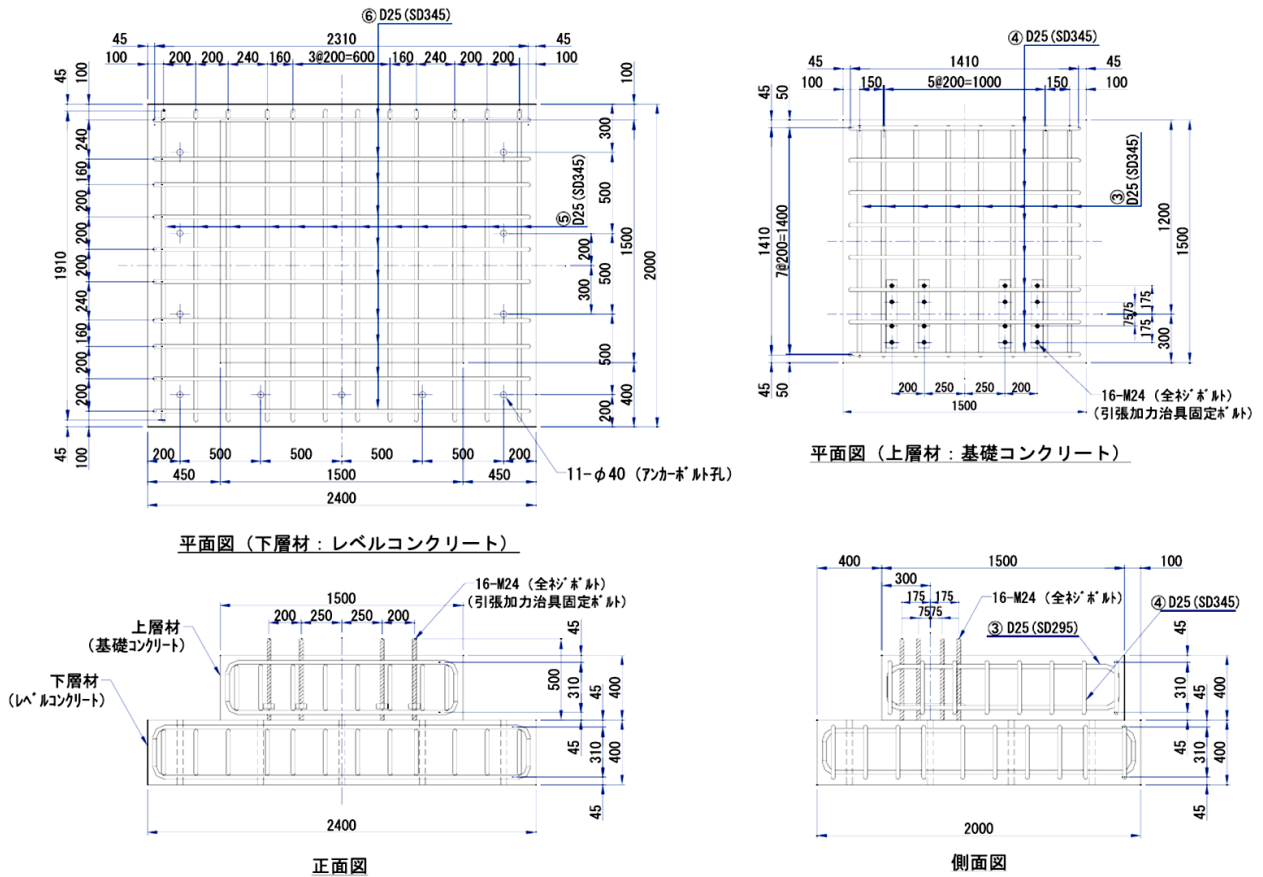
補足-1表 中規模試験シリーズの試験変数

試験シリーズ	下層材	上層材	下層材表面
RC-N	花崗岩 (圧縮強度 150N/mm ² 程度)	均しコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	粗面 (凹凸 80mm程度)
RC-F	花崗岩 (圧縮強度 150N/mm ² 程度)	均しコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	平滑面 (凹凸 20mm程度)
CB	均しコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	基礎コンクリート (呼び強度 30N/mm ²)	木ごて仕上げ

(2) 試験体

CBシリーズの試験体形状・寸法を補足-2図に示す。

CBシリーズ試験体では、均しコンクリートを模擬した下層材の上に基礎を模擬した上層材を打設している。上層材と下層材の厚さはともに400mmで、接合面の寸法は1.5m×1.5mとし、試験体は3体としている。

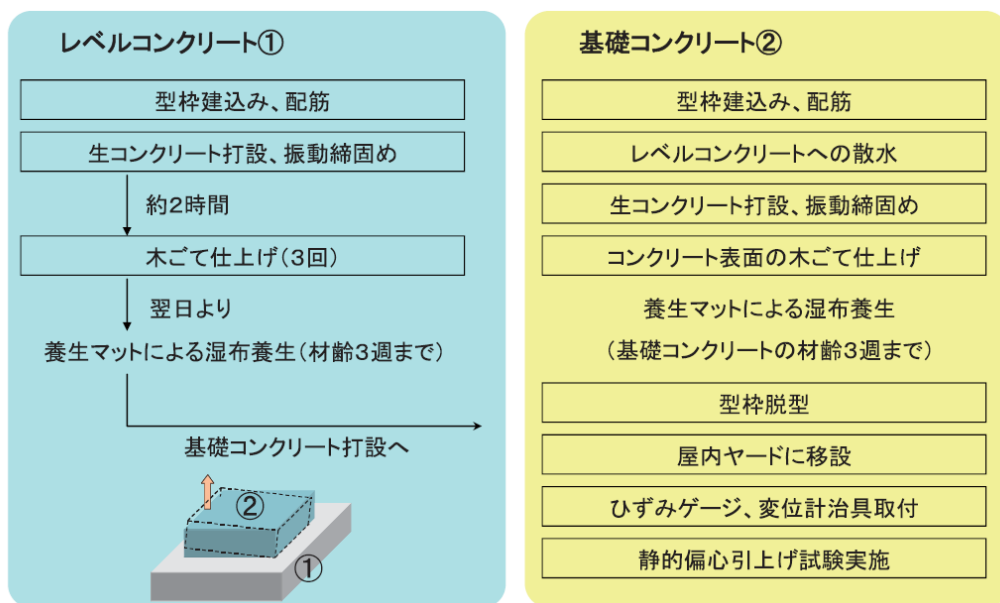


補足-2図 CBシリーズの試験体形状・寸法図

(3) 試験体の製作

CBシリーズの試験体製作手順を補足-3図に、型枠脱型後の試験体を補足-4図に示す。

CBシリーズ試験体は、試験場屋外ヤードにて、均しコンクリートを模擬した下層材の配筋、型枠の建て込みを行い、コンクリートを打設している。下層材コンクリート上面は木ごて仕上げとし、打設翌日より材齢3週までの間、上面を養生マットで覆い湿布養生を行っている。基礎を模擬した上層材コンクリートの打設は、下層材コンクリートの材齢31日で行っている。上層材コンクリートの打設時には、下層材表面に散水したが、上層材との付着力を高めるための特別な処理はしていない。



補足-3図 CBシリーズの試験体製作手順

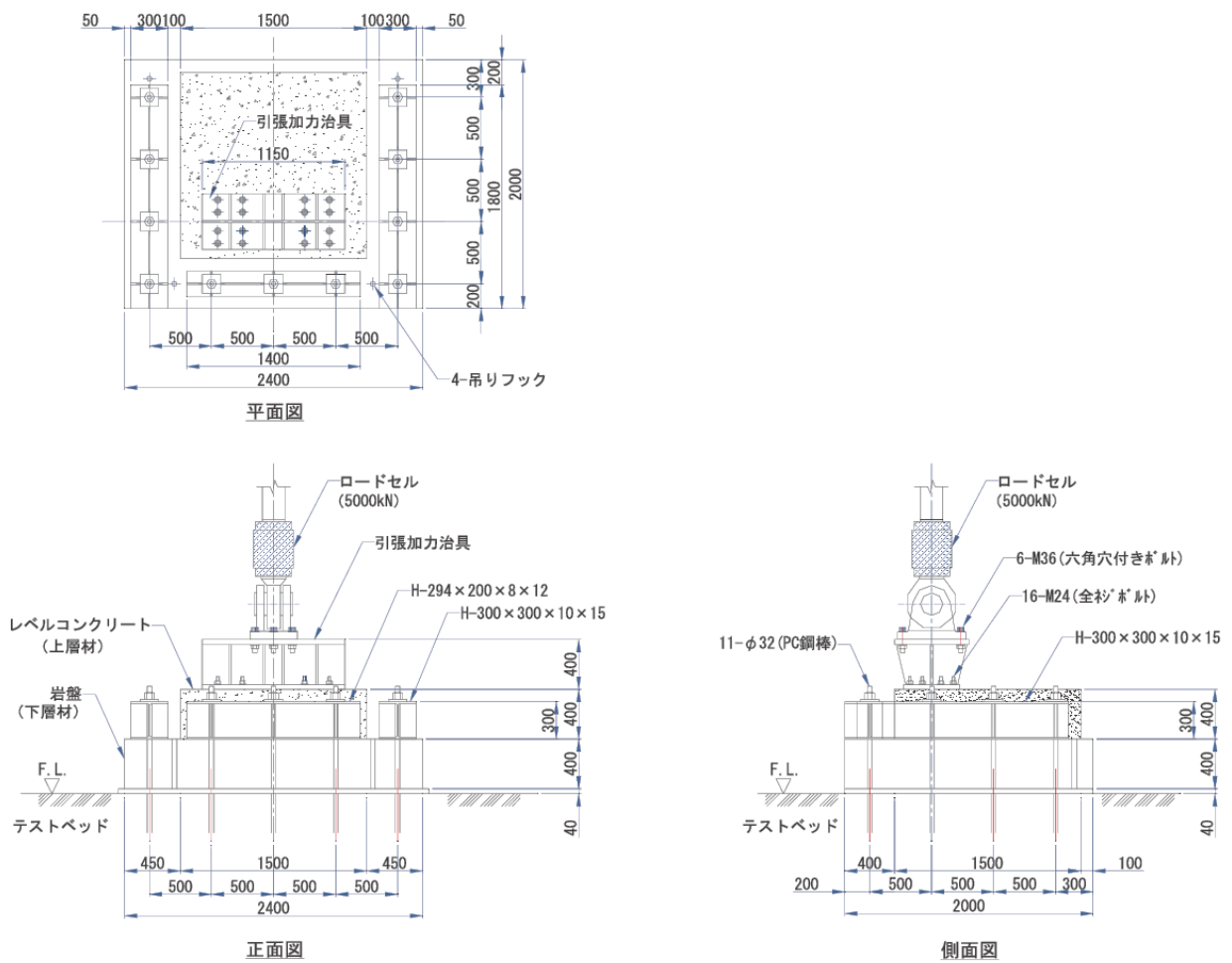


補足-4図 型枠脱型後の試験体

(4) 試験方法体の製作

試験体の据え付け方法を補足-5図に示す。

試験体は、下層材の3辺に500mm間隔にPC鋼棒を配置し、各PC鋼棒に500kNの締め付け力を導入することにより、テストベッドに固定している。引き上げ荷重は、上層材にアンカーボルトを埋設し、これに、引張加力治具を取り付けることにより油圧ジャッキで載荷している。加力中心位置は接合面中心から450mm偏心した位置とし、基礎浮上り時に接合面に生じる付着力の応力勾配を模擬している。



補足-5図 試験体据え付け方法

(5) 試験結果

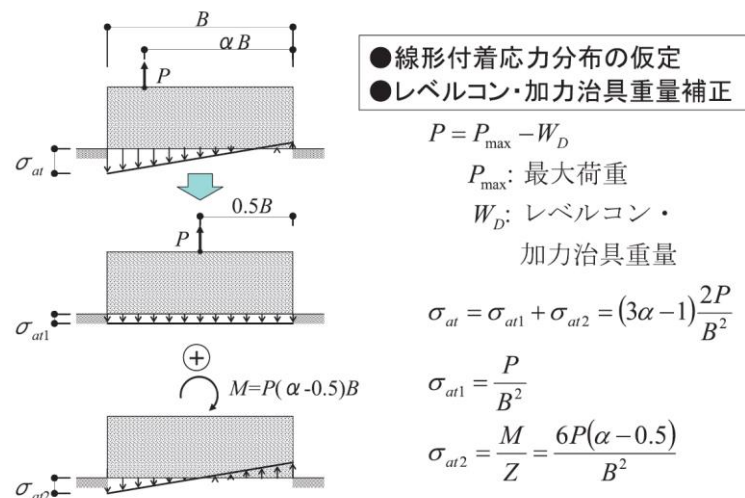
中規模試験の試験結果一覧を補足-2表に示す。また、試験結果を踏まえた付着力の評価方法を補足-6図に示す。

中規模試験によると、上層材と下層材間の変位分布は直線ではなく、加力点側がやや大きい非線形分布を示しており、接合面に全面剥離が生じる際の接合面内の付着力分布は、実際にはより複雑なものと考えられるものの、ここでは、保守的に、偏心引き上げ荷重に対して接合面内における付着応力の分布が線形分布と仮定した場合の付着力を示している。この際、上層材重量と加力治具重量の大きさを最大引き上げ荷重より差し引き、これらの重量の影響を補正している。

中規模試験の結論として、岩盤上の均しコンクリート打設を模擬した場合の付着力は0.5N/mm²程度、均しコンクリートを模擬した下層材上に基礎を模擬した上層材を打設した場合の付着力は0.6N/mm²程度としている。

補足-2表 中規模試験の試験結果一覧

試験体	最大荷重 P _{max} (kN)	P _{max} -上 層材重量 (kN)	付着力 σ _{at} N/mm ²	下層材	上層材	接合面
RC-N1	385.0	360.9	0.45	花崗岩	レベルコ ンクリート	粗破砕面
RC-N2	487.0	462.9	0.58			
RC-N3	471.2	447.1	0.56			
RC-N平均			0.53			
RC-F1	461.1	437.0	0.54			
RC-F2	466.9	442.8	0.55			
RC-F3	439.6	415.5	0.52	レベルコ ンクリート	基礎コン クリート	木ごて仕 上げ
RC-F平均			0.54			
CB-W1	573.2	550.8	0.69			
CB-W2	426.7	404.3	0.50			
CB-W3	594.7	572.3	0.71			
CB-W平均			0.63			



補足-6図 付着力の評価方法

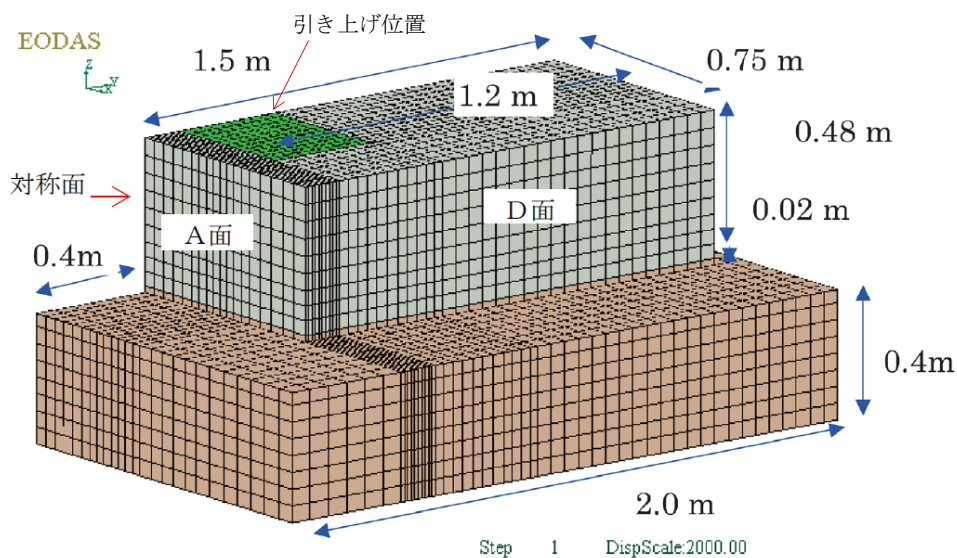
(6) 中規模試験体を対象とした3次元FEM解析

試験結果の分析で算出した付着力は、補足-6図で示したように、接合面内における付着応力の分布を線形分布と仮定している。一方で、実際の試験ではこの分布形状が直線とは異なる分布をしている可能性があり、この場合求められる付着力も異なってくるため、より試験に近い界面の鉛直応力分布を考慮した付着力について、RCシリーズを対象として有限要素法により解析的に算出している。

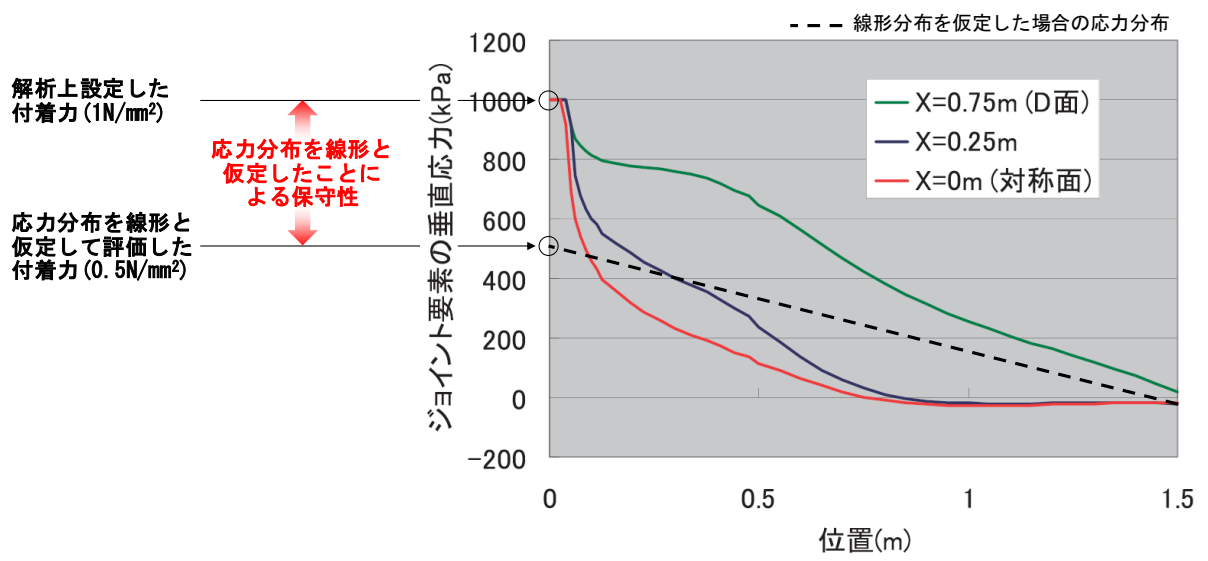
補足-7図に解析モデルを示す。解析モデルは対称性を考慮し、試験体の半分を解析モデルとしている。花崗岩と均しコンクリートはソリッド要素、両者の界面はジョイント要素でモデル化している。花崗岩と均しコンクリートは弾性体とし、材料定数は要素試験で得られた材料試験結果を用いている。また、ジョイント要素は、相対変位が0.002mmまで付着力を保持するものとし、付着力(補足-2表の σ_{at} に対応)は要素試験の直接引張試験を参考に $1\text{N}/\text{mm}^2$ としている。

解析の結果、引き上げ荷重(補足-2表の最大荷重 P_{max} に対応)が約450kNで接合面前面に剥離が生じており、中規模試験(RCシリーズ)と良い対応を示している。また、最大荷重時のジョイント要素の、対称面($X=0\text{m}$)とD面($X=0.75\text{m}$)及び加力治具近傍($X=0.25\text{m}$)での垂直応力分布を補足-8図に示す。均しコンクリート側面(D面)の応力分布は付着力の算定で仮定している分布に近い分布を示すが、界面に作用する引張力の大半は加力治具近傍($X=0.25\text{m}$)に近いA面に近い側に偏っており、応力分布は非線形分布を呈している。

したがって、中規模試験で花崗岩と均しコンクリートの界面の応力分布を直線と仮定して算定した付着力(補足-2表の σ_{at})は、実際の付着力より小さめに評価していると考えられるとしている。



補足-7図 解析モデル (JNES 報告書に一部加筆)



補足-8 図 ジョイント要素の垂直応力分布 (JNES 報告書に一部加筆)

2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋への適用性の確認

JNES報告書の中規模試験（CBシリーズ）について、使用済燃料乾式貯蔵建屋への適用性を以下のとおり検討し、試験条件が使用済燃料乾式貯蔵建屋の施工条件と同等以上であることなどから、付着力試験の結果を使用済燃料乾式貯蔵建屋へ適用することは可能かつ保守的であることを確認した。

(1) コンクリートの強度条件

コンクリートの強度条件の比較として、JNES報告書の試験体と使用済燃料乾式貯蔵建屋の圧縮強度の比較を補足-3表に示す。補足-3表に示すとおり、コンクリートの圧縮強度は同等であり、強度条件はほぼ等しいと考えられる。

補足-3表 コンクリートの圧縮強度の比較

	均しコンクリート (N/mm ²)	基礎コンクリート (N/mm ²)
JNES 報告書試験体	15	30
使用済乾式燃料貯蔵建屋	18	30

※圧縮強度の値は、JNES報告書の試験体については4週圧縮強度の目標値、使用済燃料乾式貯蔵建屋については設計基準強度を記載

(2) 接合面の状態

JNES報告書の試験体では、基礎と均しコンクリートとの接合面の処理は、均しコンクリート表面への散水のみであり、付着力を高めるための特別な処理はなされていない。一方、使用済燃料乾式貯蔵建屋の均しコンクリートは、丁寧な打継目処理を施すこととしており、接合面の状態は、少なくともJNES報告書の試験体と同程度以上の付着力を期待できる状態と考えられる。

(3) 付着力の評価方法

JNES報告書による中規模試験（RCシリーズ）を踏まえた付着力が0.5N/mm²程度と評価されているのに対し、中規模試験（RCシリーズ）を対象とした3次元FEM解析では、付着力を1N/mm²と仮定した解析により試験を概ね模擬できている。この要因について、JNES報告書では、試験結果を踏まえた付着力は、接合面内における応力分布を線形と仮定して評価しており、実際の付着力より小さめに評価している可能性があると考えられている。

これを踏まえると、中規模試験（CBシリーズ）を踏まえて同様に評価された付着力0.6N/mm²程度についても、実際の接合面ではより大きな付着力を期待できると考えられる。

3. 周辺施設等の波及的影響の検討について

目 次

	頁
1. 概要	3-1
2. 波及的影響に関する評価方針	3-2
2.1 基本方針	3-2
2.2 周辺施設等の抽出方法	3-2
2.3 影響評価方法	3-2
2.4 運転状態等による評価対象の考え方	3-3
3. 事象検討	3-4
3.1 別記4に記載された事項に基づく事象検討	3-4
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討	3-5
3.3 周辺斜面の崩壊による影響評価	3-5
4. 使用済燃料乾式貯蔵容器等の確認	3-6
5. 周辺施設等の抽出及び影響評価方法	3-7
5.1 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響	3-7
5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響	3-11
5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響	3-13
6. 周辺施設等の抽出	3-19
6.1 屋外施設の評価対象の抽出	3-19
6.2 屋内施設の評価対象の抽出	3-22
6.3 接続部の評価対象の抽出	3-31
7. 影響評価結果	3-33
7.1 屋外施設の評価結果	3-33
7.2 屋内施設の評価結果	3-33
7.3 接続部の評価結果	3-33
8. まとめ	3-35
別紙 【抜粋】「伊方発電所3号炉 設置許可基準規則等への適合性について（使用済燃料乾式貯蔵施設）（令和2年5月）」	

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器、その直接支持構造物及び間接支持構造物は、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響によって、それぞれの安全機能及び支持機能を損なわないことについて、設計図書類を用いた机上検討及び現地調査（プラントウォークダウン）による敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、必要な評価を実施することとしている。

ここで、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器、その直接支持構造物及び間接支持構造物を合わせて「使用済燃料乾式貯蔵容器等」と定義し、それぞれの安全機能及び支持機能を合わせて「使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能」と定義する。また、周辺施設等とは、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を維持するために必要な機能を有していない使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置する周辺施設及び使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を維持するために必要な機能を有していない設備、並びに使用済燃料乾式貯蔵建屋周辺に位置する施設をいう。なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋外の周辺施設等を検討する際は、使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋*に波及的影響を及ぼす周辺施設等が存在する場合、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎への波及的影響が否定できないため、「使用済燃料乾式貯蔵容器等」には、使用済燃料乾式貯蔵建屋全体を含むものとする。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器等については全て本設計及び工事計画による新設の施設であることから、設計（工事計画）段階における周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出については、設計図書類を用いた机上検討により行うこととし、現地調査（プラントウォークダウン）については、工事段階において実施する。工事段階の現地調査では設計段階で検討した配置・補強等が設計どおりに施工されていることを確認する。

- ※ 使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋は、使用済燃料乾式貯蔵建屋を構成する部材のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器の支持機能を有しない範囲のみを指す。

2. 波及的影響に関する評価方針

2.1 基本方針

波及的影響評価は以下に示す方針に基づき実施する。

- (1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記4（以下「別記4」という。）に記載された3つの事項を基に、検討すべき事象を整理する。また、原子力発電所の地震被害情報を基に、別記4の3つの事項以外に検討すべき事象の有無を確認する。
- (2) (1)で整理した検討事項をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。
- (3) (2)で抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器について、配置、設計、運用上の観点から使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響評価を実施する。

2.2 周辺施設等の抽出方法

使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出は、設計図書類を用いた机上検討による敷地全体を俯瞰した調査・検討により実施する。

(1) 机上検討

伊方発電所構内配置図、機器配置図、系統図等の設計図書類を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置状況を確認する。

次に設計図書類を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器のうち、波及的影響を及ぼすおそれのあるものを抽出する。

2.3 影響評価方法

波及的影響を及ぼすおそれがあるとして抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器について、影響評価により使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なわないことを確認する。

影響評価において、抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器が耐震性を有していることの確認によって使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なわないことを確認する場合、適用する地震動（以下「検討用地震動」という。）は、原則として使用済燃料乾式貯蔵容器等の設計に用いる地震動又は地震力とする。

2.4 運転状態等による評価対象の考え方

使用済燃料乾式貯蔵容器の運転状態等には、貯蔵時、取扱時があり、各状態において要求される使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を考慮して波及的影響評価を実施する。

貯蔵時は、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響も考慮したうえで、基準地震動に対して安全機能を損なわないことを確認する。

取扱い時は、JEAG4601・補-1984において地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、基準地震動と組み合わせるべき状態において、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響も考慮したうえで、安全機能を損なわないことを確認する。

3. 事象検討

3.1 別記4に記載された事項に基づく事象検討

別記4に記載された3つの事項を基に、具体的な事象を整理する。

- ① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響
 - (1) 地盤の不等沈下による影響
 - ・ 地盤の不等沈下による周辺施設等の傾きや倒壊に伴う使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突
 - (2) 建屋等の相対変位による影響
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等の相対変位による使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突、又は建屋等の渡り配管の損傷

- ② 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器の変位に伴う隣接した使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突

- ③ 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響（周辺施設等の損傷、転倒、落下等による使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を含む。）
 - (1) 損傷、転倒及び落下等の観点による設計（屋外）
 - ・ 屋外の周辺施設等の転倒、落下、倒壊に使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突
 - (2) 損傷、転倒及び落下等の観点による設計（屋内）
 - ・ 屋内の周辺施設等の転倒、落下、倒壊に使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突
 - (3) 接続部の影響
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器等に接続する周辺施設等の損傷

3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

地震被害事例に基づく事象の検討については、原子力施設情報公開ライブラリ（NUCIA：ニューシア）から、同公開ライブラリに登録された地震を対象に原子力発電所の被害情報を抽出し、これらの地震被害の発生要因（原因）から、波及的影響の具体的な検討事象となる被害要因がないか定期的に検討しており、波及的影響の具体的な検討事象に加えるべき新たな被害要因がないことを確認している。

3.3 周辺斜面の崩壊による影響評価

使用済燃料乾式貯蔵建屋については、基準地震動 S_s による地震力により周辺斜面の崩壊の影響がないことが確認された場所に設置する。具体的にはJEAG4601-1987の安定性評価の対象とすべき斜面や、土砂災害防止法での土砂災害警戒区域の設定離間距離を参考に、個々の斜面高を踏まえて対象斜面を抽出する。

上記に基づく対象斜面の抽出とその耐震安定性評価については、設置（変更）許可申請書（令和2年9月16日許可）に記載しており、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能に対して影響ないことを確認していることから本検討の対象外とする。

4. 使用済燃料乾式貯蔵容器等の確認

今回、波及的影響評価を実施するに当たって、防護対象となる使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち、屋外施設一覧を第4-1表に、屋内施設一覧を第4-2表に示す。

第4-1表 屋外施設一覧表

No.	設備名	区分
001	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む)	Sクラス施設の間接支持構造物

第4-2表 屋内施設一覧表

No.	設備名	区分	設置場所
E01	使用済燃料乾式貯蔵容器等	Sクラス施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎

5. 周辺施設等の抽出及び影響評価方法

3. 項で整理した各検討事象を基に、使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フローを作成し、当該フローに基づき、影響評価を実施する。

5.1 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

(1) 地盤の不等沈下による影響

第5-1図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

地盤の不等沈下による周辺施設等の傾きや倒壊を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない周辺施設等を抽出する。

b. 耐震性の確認

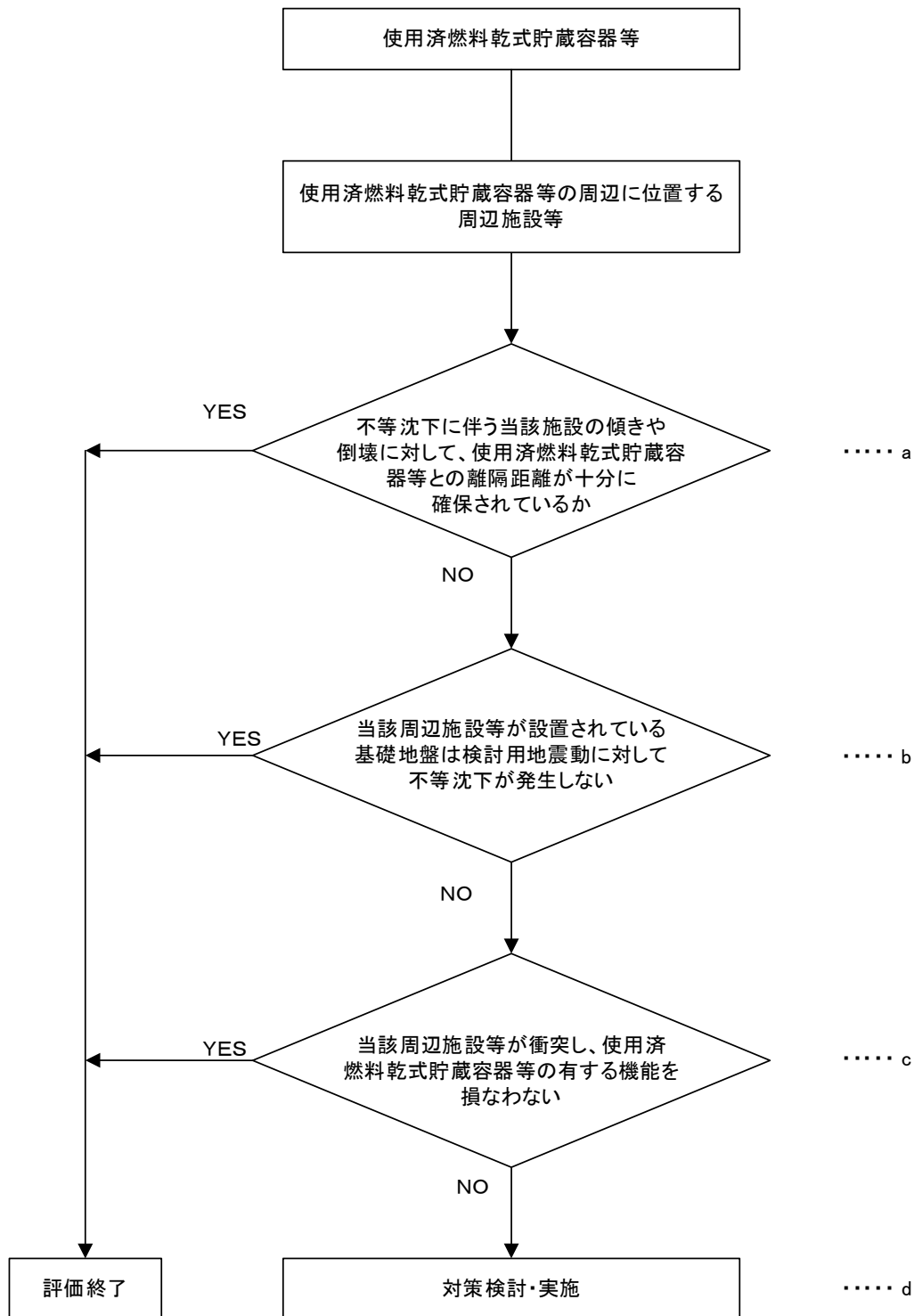
a. で抽出した周辺施設等について、検討用地震動に対して、基礎地盤が十分な支持性能を持つ岩盤に設置されていることの確認により、不等沈下しないことを確認する。

c. 不等沈下に伴う波及的影響の評価

b. で地盤の不等沈下のおそれが否定できない周辺施設等については、傾きや倒壊を想定し、使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を確認し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を損なわないことを確認する。

d. 対策検討

c. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等に対して、基礎地盤の補強や周辺の地盤改良等を行い、不等沈下による周辺施設等の波及的影響を防止する。



第5-1図 不等沈下により使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある
周辺施設等の抽出及び評価フロー

(2) 建屋等の相対変位による影響

第5-2図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

地震による周辺施設等との相対変位を想定しても使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない周辺施設等を抽出する。

また、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

b. 耐震性の確認

a. で抽出した周辺施設等について、検討用地震動に対して、建屋の相対変位による使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突がないことを確認する。

また、建屋等の相対変位の考慮が必要な場合には、建屋等を渡って敷設されている配管等が建屋境界にて破損することを想定する。

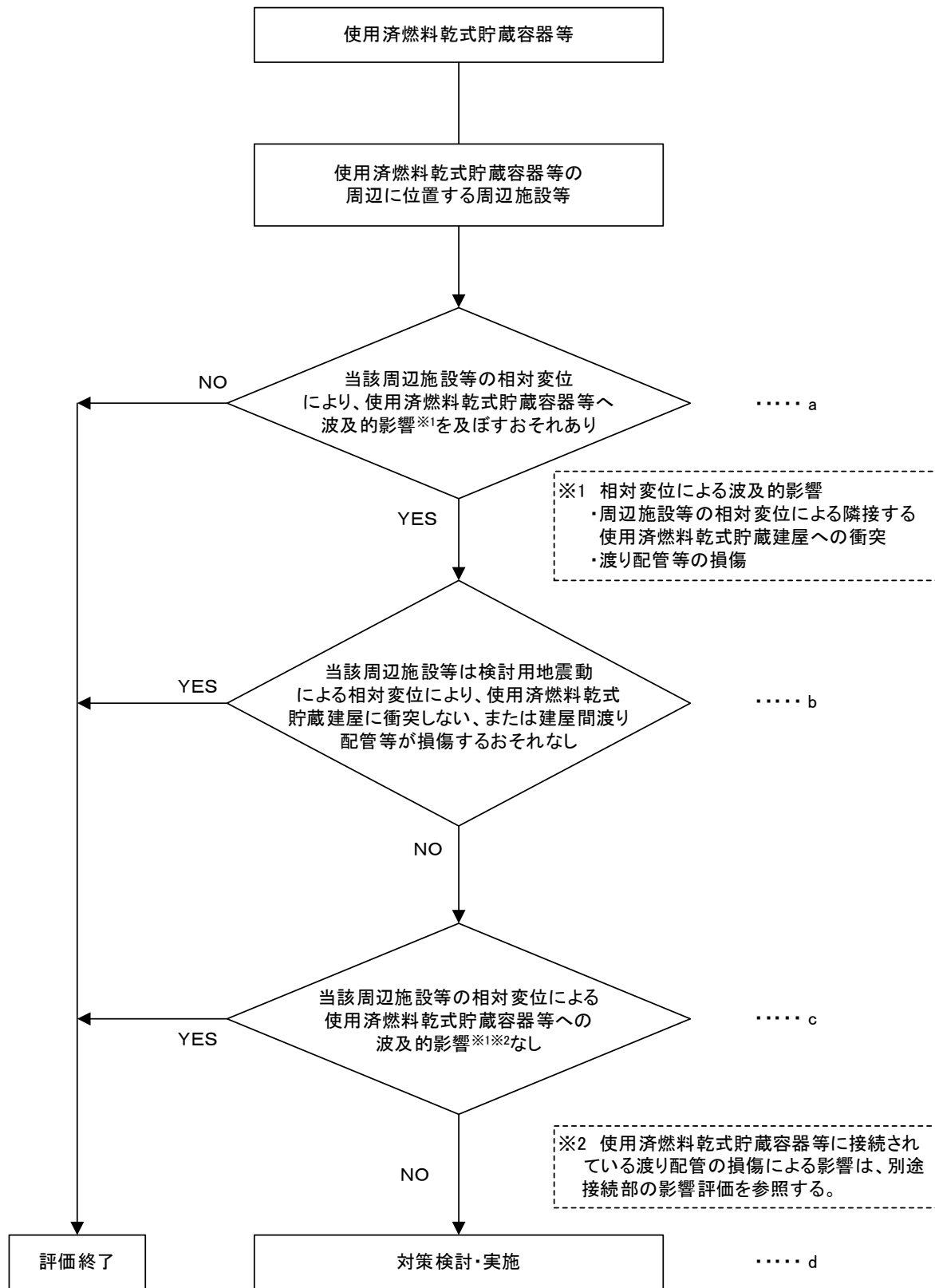
c. 相対変位に伴う波及的影響の評価

b. で衝突のおそれが否定できない周辺施設等について、衝突部分の接触状況を確認し、建屋全体又は局部評価を実施し、衝突に伴い、使用済燃料乾式貯蔵建屋の機能を損なうおそれがないことを確認する。

また、建屋等を渡って敷設されている配管等の破損により、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

d. 対策検討

c. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等に対して、建屋の補強等を行い、建屋の相対変位等による周辺施設等の波及的影響を防止する。



第5-2図 相対変位により使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある
周辺施設等の抽出及び評価フロー

5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

第5-3図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等と隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出

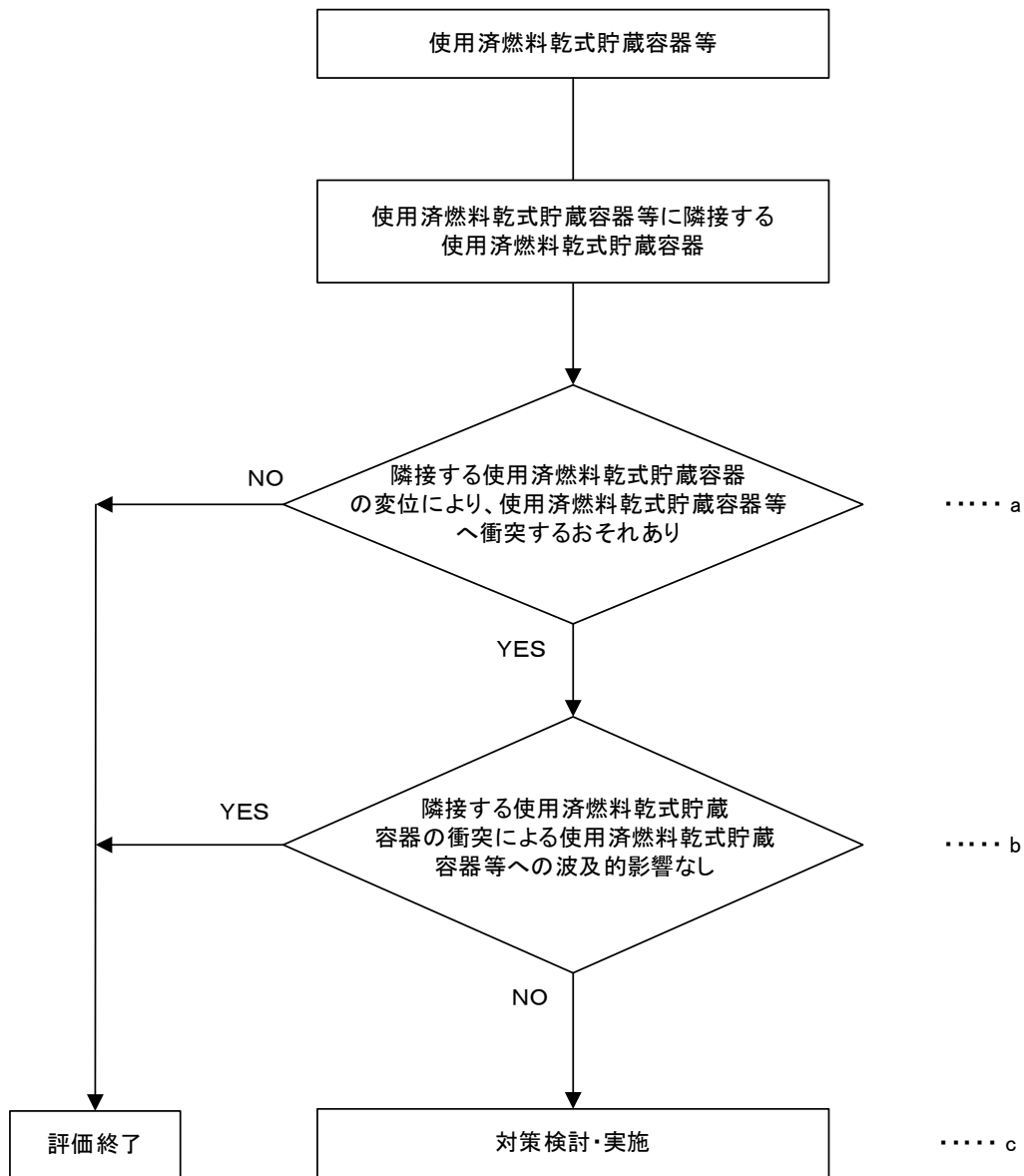
検討用地震動による使用済燃料乾式貯蔵容器の変位を想定しても隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器の衝突に伴う波及的影響の評価

a. で抽出された使用済燃料乾式貯蔵容器について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵容器等との位置関係、重量比等を踏まえて、衝突を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

c. 対策検討

b. で衝突を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能への影響が否定できなかった使用済燃料乾式貯蔵容器について、検討用地震動による変位を想定しても、衝突が生じないように、離隔距離を十分に確保する等の対策により波及的影響を防止する。



第5-3図 使用済燃料乾式貯蔵容器等と隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出及び評価フロー

5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響

(1) 損傷、転倒及び落下等による影響（屋外）

第5-4図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵建屋の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

周辺施設等の抽出にあたって、周辺施設等の損傷、転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、転倒防止措置等の対策を適切に実施していることを確認する。

以上の確認ができなかった周辺施設等を、損傷、転倒及び落下等により、使用済燃料乾式貯蔵建屋に波及的影響を及ぼすおそれのあるものとして抽出する。

b. 損傷、転倒及び落下等に伴う波及的影響の評価

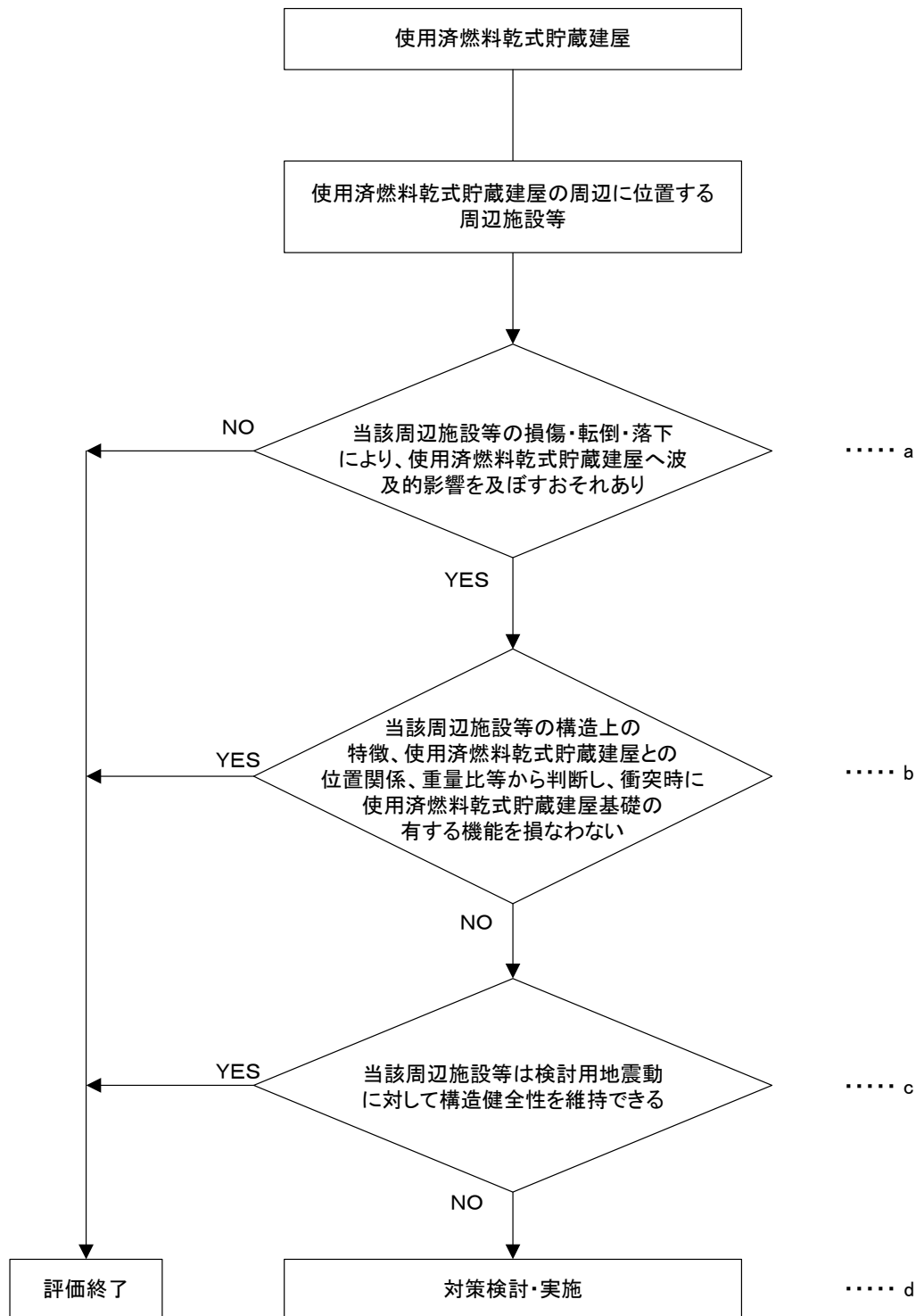
a. で抽出された周辺施設等について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵建屋との位置関係、重量比等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵建屋への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の機能を損なうおそれがないことを確認する。

c. 耐震性の確認

b. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の機能への影響が否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

d. 対策検討

c. で構造健全性の維持を確認できなかった周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、周辺施設等の移設等により波及的影響を防止する。



第5-4図 損傷、転倒及び落下等により使用済燃料乾式貯蔵建屋へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

(2) 損傷、転倒及び落下等による影響（屋内）

第5-5図のフローに従い、屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

周辺施設等の抽出にあたって、周辺施設等の損傷、転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等を適切に実施していることを確認する。

以上の確認ができなかった周辺施設等を、損傷、転倒及び落下等により、使用済燃料乾式貯蔵容器等に波及的影響を及ぼすおそれのあるものとして抽出する。

b. 損傷、転倒及び落下等に伴う波及的影響の評価

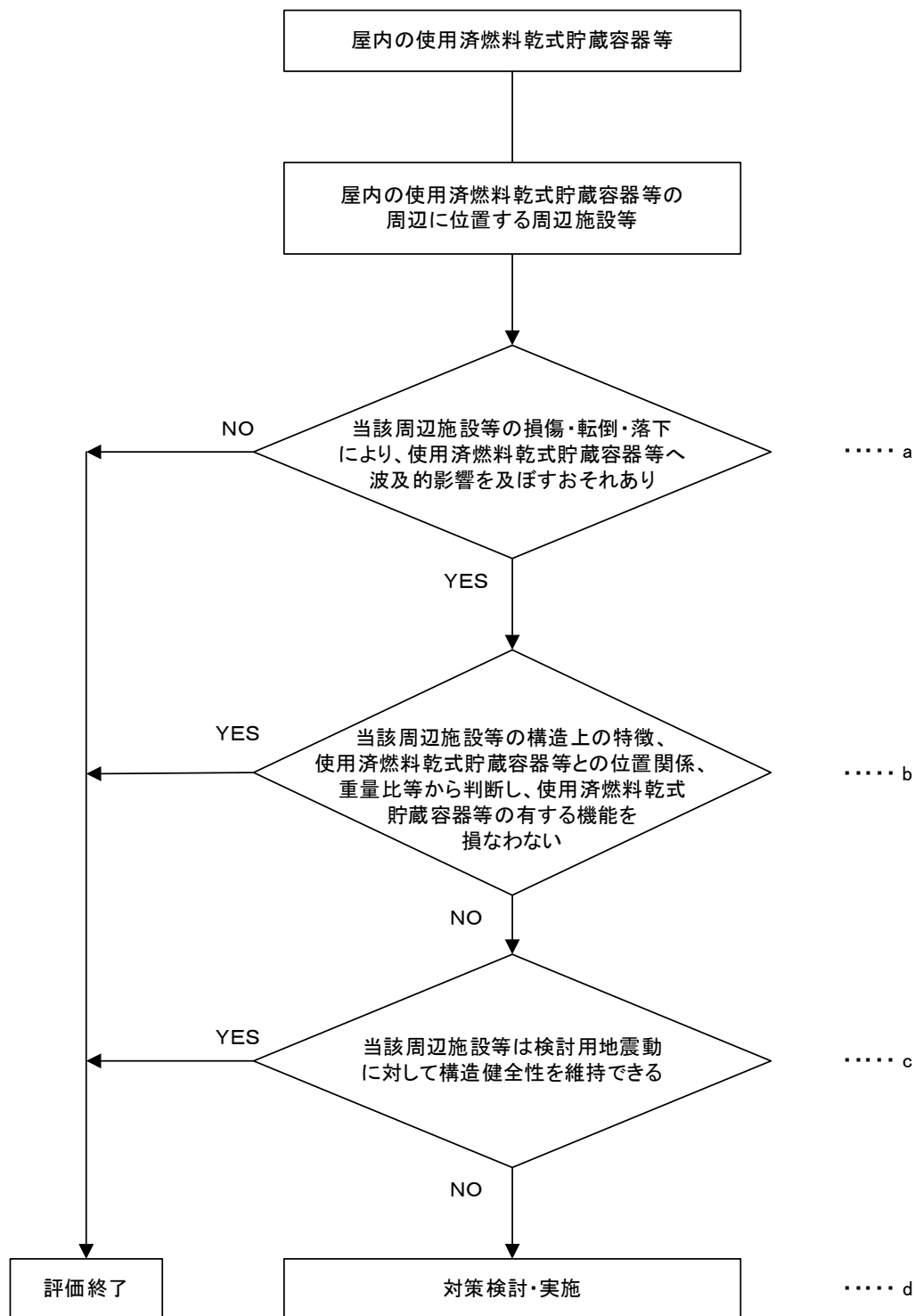
a. で抽出された周辺施設等について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵容器等との位置関係、重量比等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

c. 耐震性の確認

b. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能への影響が否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

d. 対策検討

c. で構造健全性の維持を確認できなかった周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、周辺施設等の移設等により波及的影響を防止する。



第5-5図 損傷、転倒及び落下等により屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

(3) 接続部における相互影響

第5-6図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 接続部の抽出

使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等が接続する箇所を抽出する。

b. 影響評価対象の選定

a. で抽出した接続部のうち、耐震Sクラス設計の弁又はダンパにより常時閉隔離されているものは、接続する周辺施設等が破損した場合においても健全性は確保されるため、評価対象外とする。

c. 影響評価

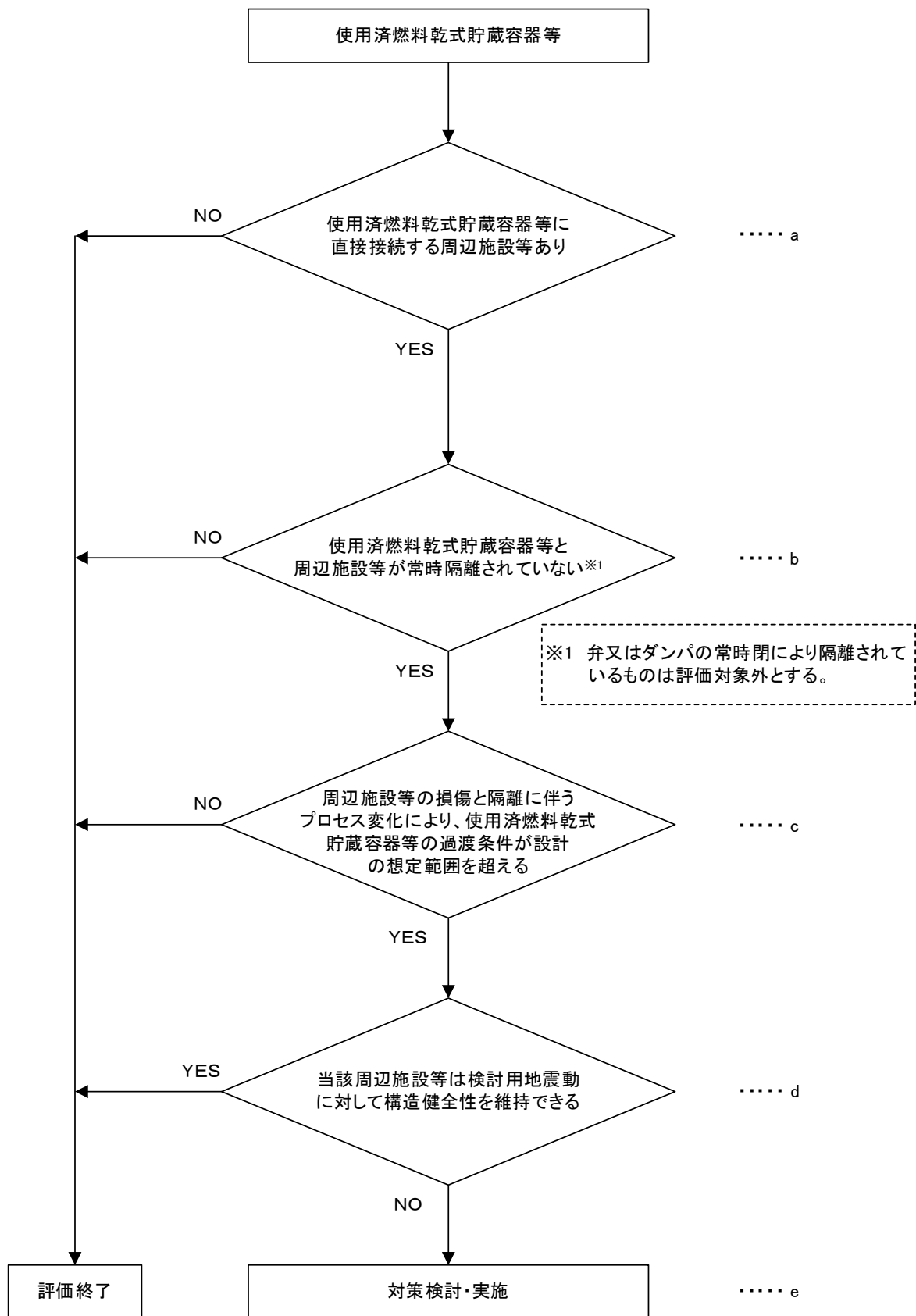
b. で抽出した周辺施設等について、周辺施設等が損傷した場合の系統隔離等に伴うプロセス変化による使用済燃料乾式貯蔵容器等の過渡条件が設計の想定範囲内であることを確認する。

d. 耐震性の確認

c. で設計の想定範囲を超えるものについて、検討用地震動に対して、構造健全性が維持され、内部流体の内包機能等の必要な機能を維持できることを確認する。

e. 対策検討

d. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、接続部から使用済燃料乾式貯蔵容器等の配管・ダクト側に同じく健全性を維持できる隔離弁の設置等により、波及的影響を防止する。



第5-6図 使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等の抽出及び評価フロー

6. 周辺施設等の抽出

使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出は、屋外施設、屋内施設、接続部に分けて実施し、屋外施設については3.1項に示す①及び③の観点、屋内施設については①、②及び③の観点、接続部については③の観点から評価対象となる周辺施設等を抽出した。

なお、今回新設する使用済燃料乾式貯蔵施設は、第6-1図に示すとおり、周辺に自然現象等に対して機能を維持する必要がある既設の上位クラス施設等及びアクセスルートがない使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置するとともに、当該建屋は、地震を含む自然現象等に対して、建屋内に設置する使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なうおそれがないように設計することとしている。このことから、新設する使用済燃料乾式貯蔵施設は、自然現象等により既設の耐震重要施設やアクセスルート等に波及的影響を及ぼすおそれはない。

6.1 屋外施設の評価対象の抽出

6.1.1 抽出手順

使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置図を第6-1図に示す。（配置図上の番号は第4-1表の整理番号に該当する）。

(1) 地盤の不等沈下による影響

第5-1図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、地盤の不等沈下により波及的影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。

(2) 建屋等の相対変位による影響

第5-2図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、建屋等の相対変位により波及的影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

(3) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響(屋外)

第5-4図のフローに従い、机上検討及び現地調査をもとに、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼすおそれがある屋外の周辺施設等を抽出する。

6.1.2 抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵容器等が設置される使用済燃料乾式貯蔵建屋の周辺に設置される周辺施設等である2-固体廃棄物貯蔵庫、送電鉄塔、ろ過水タンク及び非常用開閉所について、設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響の観点から、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、波及的影響を及ぼすおそれがないか検討する。

また、渡り配管及び渡り電路について、建屋等の相対変位による影響の観点から、これらの損傷を想定した上で、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を損なうおそれがないか検討する。

(1) 2－固体廃棄物貯蔵庫

2－固体廃棄物貯蔵庫は、使用済燃料乾式貯蔵建屋東側 EL. 84m 盤に設置された耐震Cクラスの建物であるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(2) 送電鉄塔

送電鉄塔（伊方北幹線 No. 1 及び伊方南幹線 No. 1）は、使用済燃料乾式貯蔵建屋南側 EL. 20m 盤に設置された構造物であるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(3) ろ過水タンク

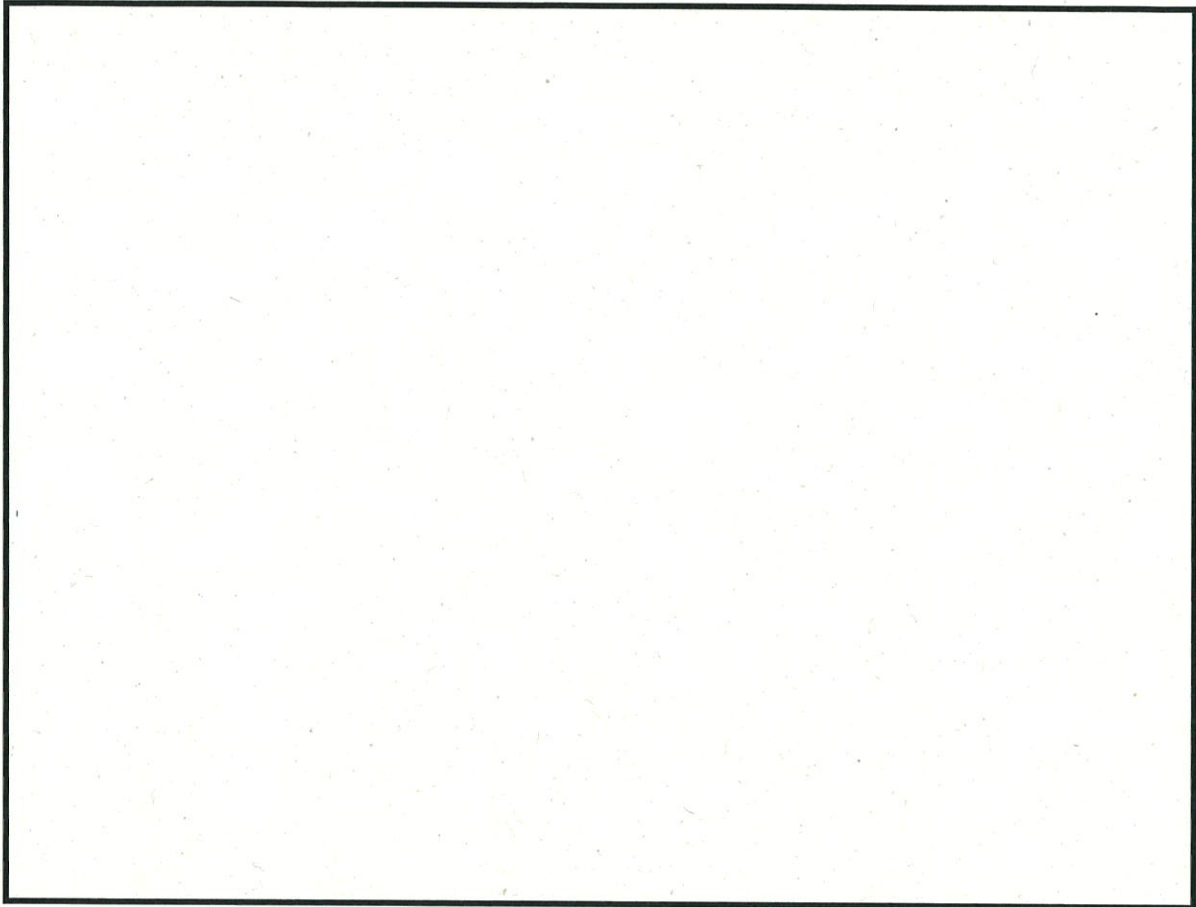
ろ過水タンクは、使用済燃料乾式貯蔵建屋南側 EL. 20m 盤に設置された耐震Cクラスの屋外タンクであるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(4) 非常用開閉所

非常用開閉所は、使用済燃料乾式貯蔵建屋西側 EL. 10m 盤に設置された建物であるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(5) 渡り配管及び渡り電路

使用済燃料乾式貯蔵施設への消火水の給水又は給電等のため、使用済燃料乾式貯蔵建屋外から使用済燃料乾式貯蔵建屋内へ渡り配管及び渡り電路を設置するが、使用済燃料乾式貯蔵容器は自然循環による空冷式であるため、渡り配管及び渡り電路が損傷した場合にも使用済燃料乾式貯蔵容器等の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。



- : 平成 28 年 3 月 23 日付け原規規発第 1603231 号にて認可された工事計画の資料 2-1-2「防護対象施設の範囲」の第 2.4 項に示す「防護対象施設」、資料 6 別添 1「可搬型重大事故等対処設備の保管場所及び屋外、屋内アクセスルートについて」の第 2.1 項に示す「地震時にその機能を期待する可搬型重大事故等対処設備」及び資料 13-5「波及的影響に係る基本方針」の第 2 項に示す「上位クラス施設」が設置されているエリアを示す。
- : 地震時に優先するアクセスルート※を示す。
※屋外アクセスルートに対し想定される自然現象のうち、津波については、基準津波高さ以上の敷地高さを設定していること、風、竜巻、火山等の影響により発生する障害物等については、ホイールローダ等の重機により撤去する体制を確保していることから、アクセスルートに大きな影響を及ぼす可能性がある自然現象は地震と整理し、既工認において自然現象のうち地震時の影響を評価しているため、アクセスルートのうち地震時の影響を評価している地震時に優先するアクセスルートを示す。

第 6-1 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋配置図

6.2 屋内施設の評価対象の抽出

6.2.1 抽出手順

使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置図を第6-2図及び第6-3図に示す。（配置図上の番号は第4-2表の整理番号に該当する）。

(1) 建屋等の相対変位による影響

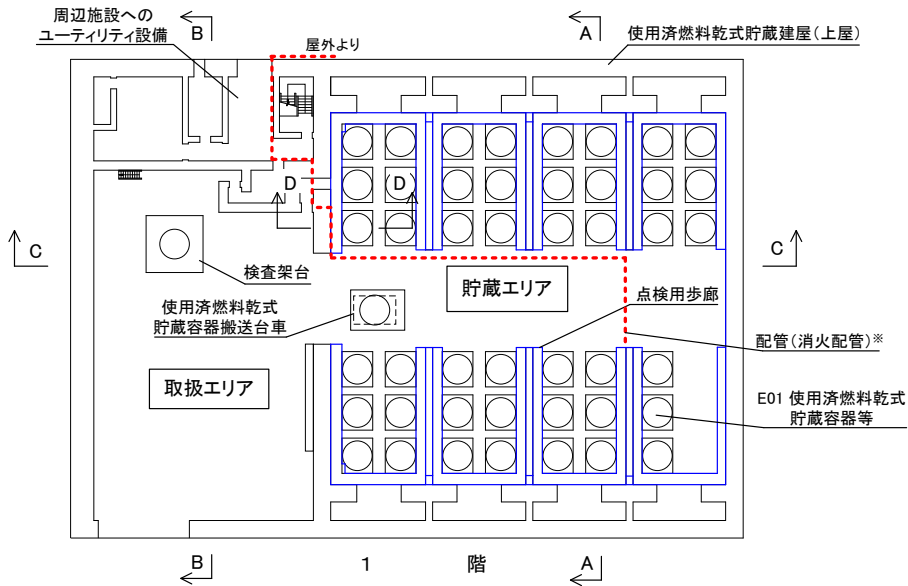
第5-2図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

(2) 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

第5-3図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、変位により波及的影響を及ぼすおそれがある使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。

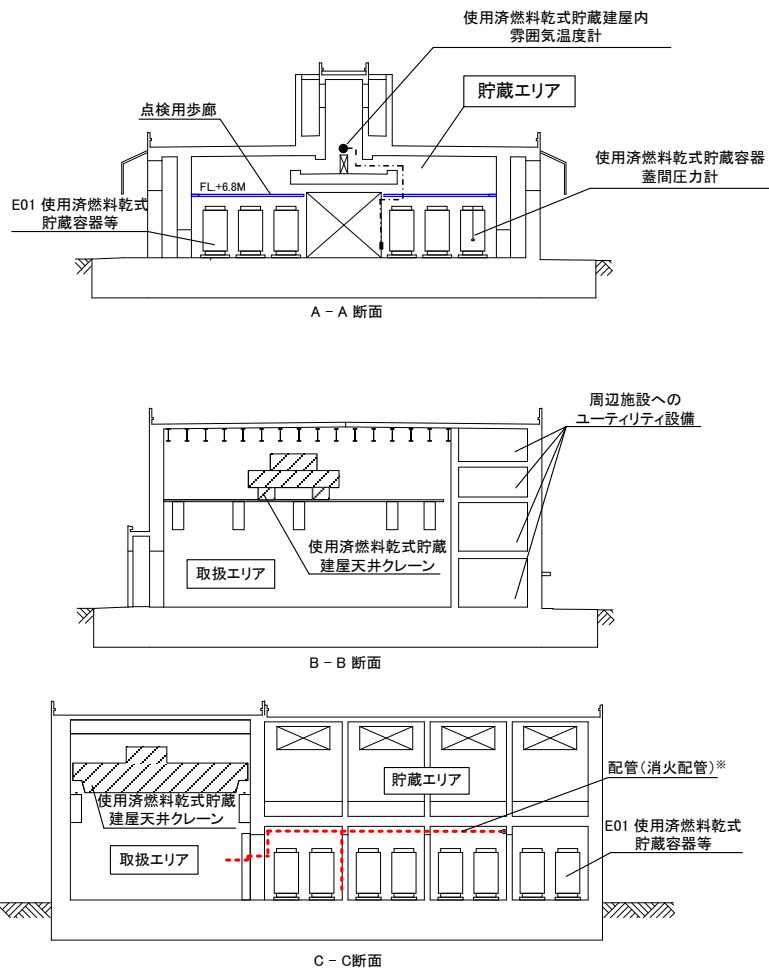
(3) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響（屋内）

第5-5図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼす可能性のある屋内の周辺施設等を抽出する。



※配管及び電路のうち代表的な消火配管について図示する。

第 6-2 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 平面図



※配管及び電路のうち代表的な消火配管について図示する。

第 6-3 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 断面図

6.2.2 抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に設置される屋内の周辺施設等である使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車、検査架台、点検用歩廊、周辺施設へのユーティリティ設備、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、配管及び電路について、損傷、転倒及び落下等の観点から、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、波及的影響を及ぼすおそれがないか検討する。

(1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋は、離隔距離を確保するなどの配置上の対策は困難であり、地震により損壊した場合に、使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突することにより、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋は基準地震動 S_s に対して損壊しない設計とする。(第 6-2 図)

(2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、取扱エリアにおいて使用済燃料乾式貯蔵容器を取り扱うものであり、使用済燃料乾式貯蔵建屋の貯蔵エリアには走行レールを敷設せず、貯蔵エリア上を走行することができない構造とし、取扱エリアと貯蔵エリアは \square mm の壁で完全に仕切られる設計とするため、貯蔵エリアにおいては、使用済燃料乾式貯蔵容器へ波及的影響を及ぼすおそれはない。(第 6-3 図)

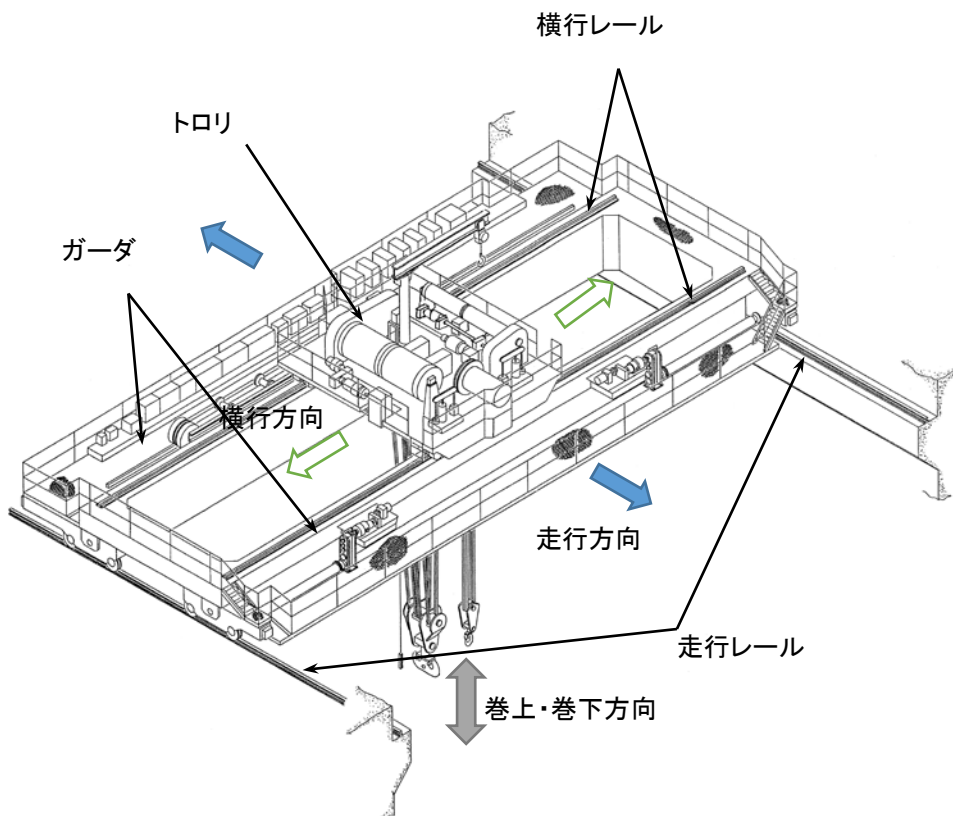
取扱エリアにおいては、使用済燃料乾式貯蔵容器を取り扱うために取り扱い中の使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に移動するが、走行及び横行レールからガード及びトロリが浮き上がることがないように浮き上がり防止機能を設ける等の落下防止対策を講じる。さらに、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが落下しないよう配慮した上で自然現象に対して頑健な使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造が維持されることで、走行レール間距離は維持されるため、ガードは落下しない構造が維持される。同じく横行レール上に設置されるトロリも横行レール間距離は維持されるため、トロリが落下しない構造が維持される。(第 6-4 図)

次に、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置する事象は、基準地震動 S_s と組み合わせるべき事象か検討する。使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置するのは年間 1.5 時間程度 (約 3 基程度) (第 6-1 表参照) と想定される。ここで、基準地震動 S_s の発生確率は、第 6-5 図及び第 6-6 図に示す伊方発電所の地震ハザード解析から得られる超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984 で記載されている S_2 の発生確率 ($5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ / サイト・年) を S_s の超過確率に読み替え、最大値である 5×10^{-4} / 年を適用する。その上で、JEAG4601 の地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置する時間及び地震動の超過確率を考慮し、検討した結果、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器上方に位置する時に S_s が発生する確率は 5×10^{-4} / 年 \times 1.5 時間 \div (365 日 \times 24 時間) で算出され、 10^{-7} / 年を下回ることを確認した。そのため、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置する事象は、基準地震動 S_s と組み合わせるべき事象として選定されない。

なお、仮に使用済燃料乾式貯蔵容器に対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンのトロリ[※]が落下したとしても使用済燃料乾式貯蔵容器の機能に影響がないことを、設置（変更）許可審査時に確認しており、その確認内容について、「伊方発電所3号炉 設置許可基準規則等への適合性について（使用済燃料乾式貯蔵施設）（令和2年5月）」の「16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設」の抜粋を示す。（別紙）

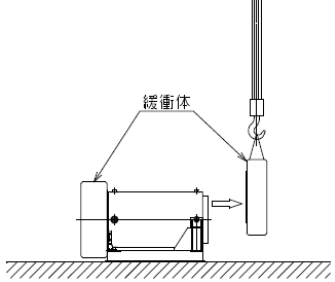
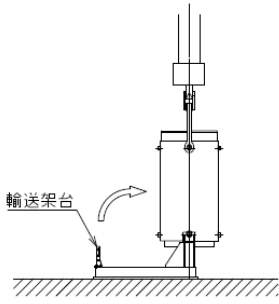
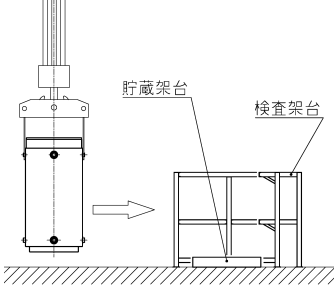
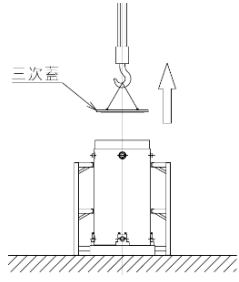
また、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンのトロリ[※]が取扱エリアにおいて落下した場合の影響について、添付資料10別添1-2の22頁に記載の飛来物における衝撃荷重 W_H の考え方に基づき、コンクリート基礎に生じる圧縮応力を算出した所3MPa程度であり、添付資料9-12-2の第4-6表に記載したコンクリートの短期許容応力度20MPaに対し、十分な余裕を有している。また、取扱エリアと貯蔵エリアの間には十分な離隔距離を有していることから、間接支持構造物の機能に影響することはないと判断できる。

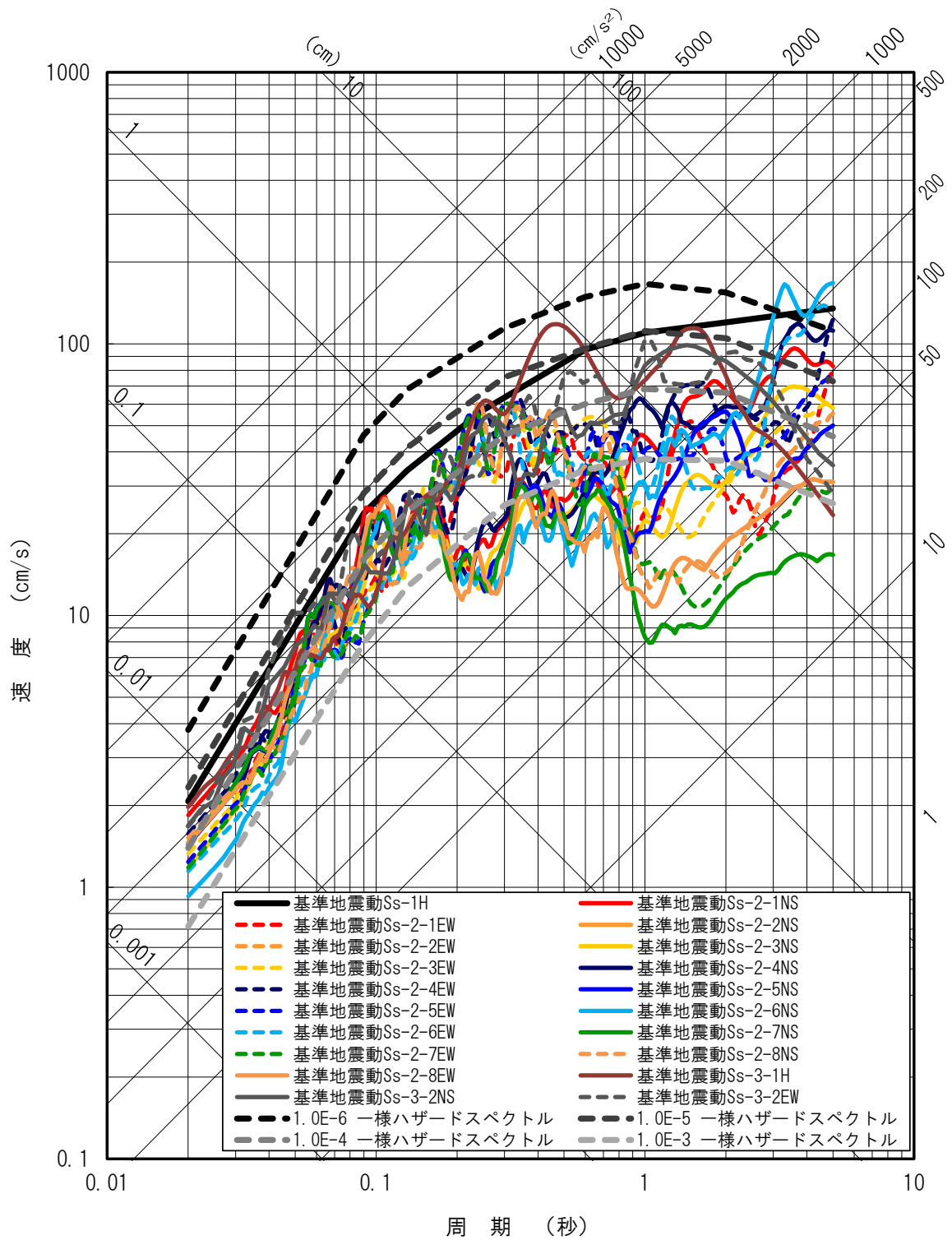
※使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリは、クレーンフック等と比べて、重量が大きいこと、及び落下高さが高いことから、評価対象とした。



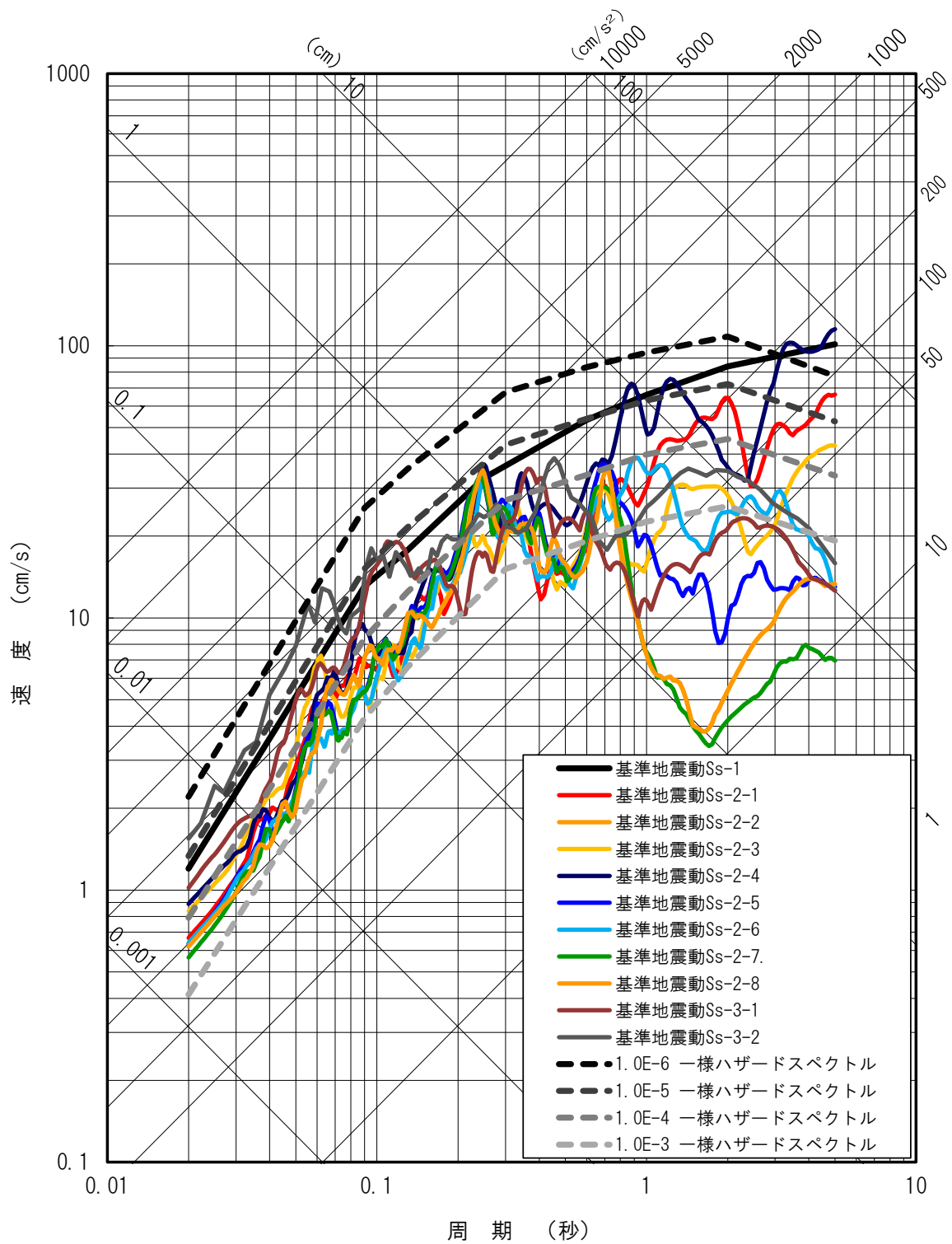
第6-4図 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの構造イメージ

第 6-1 表 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンによる使用済燃料乾式貯蔵容器 1 基あたりの取扱時間

取扱様態	クレーン操作	クレーン移動速度	クレーン移動距離	使用済燃料乾式貯蔵容器取扱時間
緩衝体取外し 	クレーン巻き上げ	約 1.8 m/分	約 1m	約 1分
	クレーン横行	約 6 m/分	約 4m	約 1分
	合計			約 2分
使用済燃料乾式貯蔵容器縦起こし 	クレーン巻き上げ	約 0.6 m/分	約 4m	約 7分
	クレーン走行	約 0.9 m/分	約 4m	約 7分
	合計			約 14分
吊り上げ、検査架台への移動 	クレーン巻き上げ 巻き下げ	約 0.6 m/分	約 2m	約 3分
	クレーン走行	約 6 m/分	約 5m	約 1分
	合計			約 4分
3次蓋取り外し 	クレーン巻き上げ	約 4.5 m/分	約 2m	約 1分
	クレーン走行	約 18 m/分	約 2m	約 1分
	合計			約 2分
合計			約 22分	



第6-5図 基準地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル (水平方向)



第6-6図 基準地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル（鉛直方向）

(3) 使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車

使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器を取扱エリアから貯蔵エリアに搬送するものであり、使用済燃料乾式貯蔵容器は貯蔵架台に載せた状態で搬送される。搬送に要する時間は年間 1.5 時間程度（約 3 基程度）

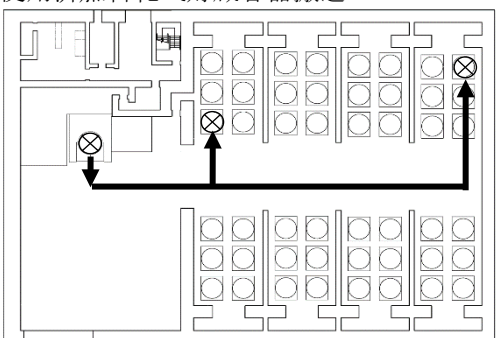
（第 6-2 表参照）と想定される。ここで、基準地震動 S_s の発生確率は、第 6-5 図及び第 6-6 図に示す伊方発電所の地震ハザード解析から得られる超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984 で記載されている S_2 の発生確率 ($5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ / サイト・年) を S_s の超過確率に読み替え、最大値である 5×10^{-4} / 年を適用する。

以上より、JEAG4601 の地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、使用済燃料乾式貯蔵容器の搬送に要する時間及び地震動の超過確率を考慮し、検討した結果、使用済燃料乾式貯蔵容器を使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車に載せ、搬送している時に S_s が発生する確率は 5×10^{-4} / 年 \times 1.5 時間 \div (365 日 \times 24 時間) で算出され、 10^{-7} / 年を下回ることを確認した。そのため、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車により使用済燃料乾式貯蔵容器を搬送する事象は、基準地震動 S_s と組み合わせるべき事象として選定されない。

また、仮に使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車が搬送中に逸走した場合には、貯蔵されている使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵架台と、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車または搬送中の貯蔵架台が衝突するおそれがあるが、その際に使用済燃料乾式貯蔵容器同士が衝突しないように、衝突時の使用済燃料乾式貯蔵容器の接近量^{*}に対して貯蔵架台端部と使用済燃料乾式貯蔵容器間の水平距離を十分に確保する設計とする。（第 6-2 図、第 6-3 図）

※：使用済燃料乾式貯蔵容器は貯蔵架台に固定されていることから、衝突時には使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車及び使用済燃料乾式貯蔵容器（貯蔵架台含む）が一体で傾く。この場合の貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への接近量は、直立状態の使用済燃料乾式貯蔵容器端部から、傾いた後の使用済燃料乾式貯蔵容器端部までの水平距離を指す。

第 6-2 表 使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車による使用済燃料乾式貯蔵容器 1 基あたりの取扱時間

取扱様態	使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車移動速度	使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車移動距離	使用済燃料乾式貯蔵容器取扱時間
<p>使用済燃料乾式貯蔵容器搬送</p> 	2m/分	平均約 45m (約 25m～約 65m)	約 22 分

(4) 検査架台

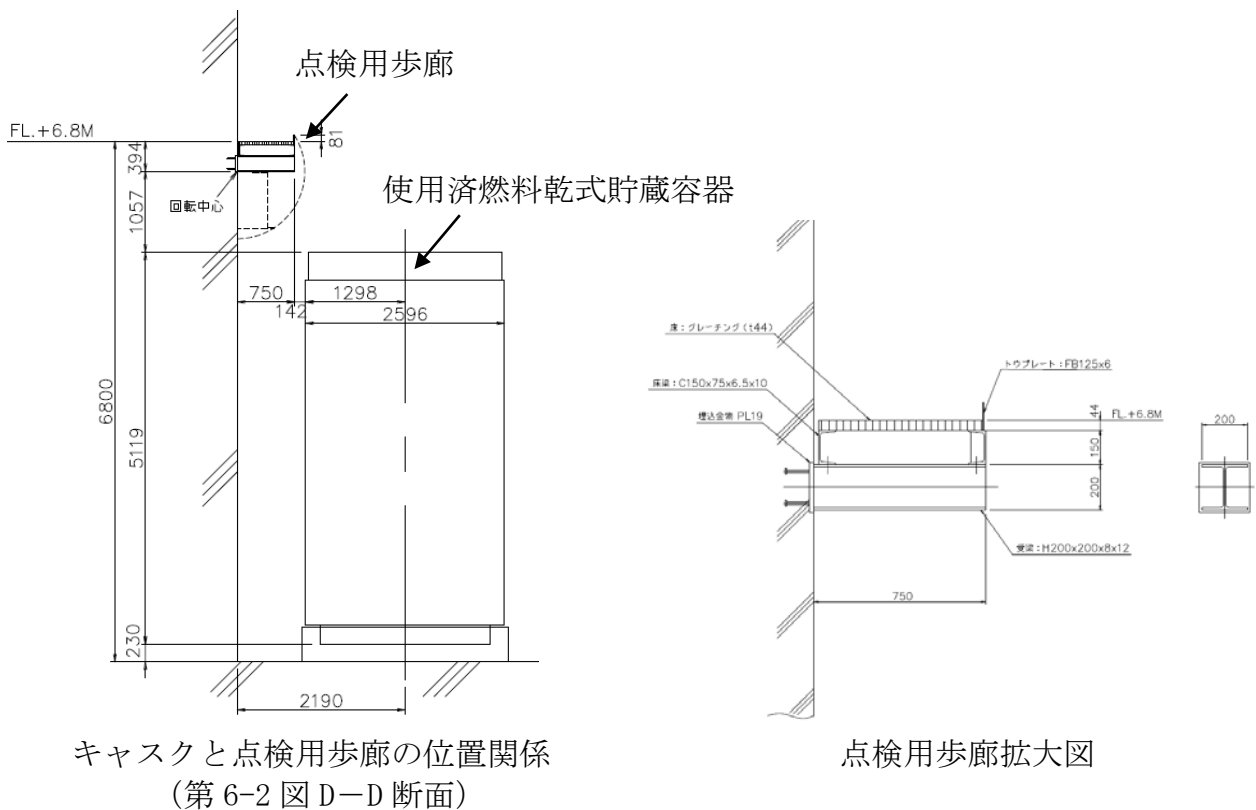
検査架台は、使用済燃料乾式貯蔵容器の検査等のため、使用済燃料乾式貯蔵容器の周囲に配置されるものである。

検査架台については、使用済燃料乾式貯蔵容器と検査架台の衝突を想定しても、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に影響がないことを確認しているため、損傷した場合にも使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第6-2図)

(5) 点検用歩廊

点検用歩廊は、貯蔵状態の使用済燃料乾式貯蔵容器の点検等のため、貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器の周囲に設置される。点検用歩廊は、貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への波及的影響を及ぼさないように、使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突しない配置とする。

具体的には、点検用歩廊は、第6-7図に示すとおり設置することとしており、構造上最も弱い付け根部が損傷すると、使用済燃料乾式貯蔵容器から遠ざかる方向に破壊が進むよう配置する。(第6-2図、第6-3図、第6-7図)



第6-7図 点検用歩廊詳細図

(6) 周辺施設へのユーティリティ設備

周辺施設へのユーティリティ設備は、主に使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車等への電気・圧縮空気供給設備、作業用の給排気ファンが該当し、使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突しない配置としていないことから、周辺施設へのユーティリティ設備の転倒及び落下等を想定しても、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第6-2図、第6-3図)

(7) 使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計

使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計を構成する設備は、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の雰囲気温度を監視するため、使用済燃料乾式貯蔵建屋排気口付近に設置される。温度計を構成する設備は軽量であり、使用済燃料乾式貯蔵容器内部との接続はないため、損傷した場合にも使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第6-3図)

(8) 配管及び電路

使用済燃料乾式貯蔵施設への消火水の給水及び給電等のため、取扱エリア及び貯蔵エリア内に配管及び電路を設置する。配管及び電路は使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突しない程度に、十分離隔距離を確保する設計方針としていることから、配管及び電路の転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第6-2図、第6-3図)

(9) 隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵時に、地震が発生した場合に、隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器同士が衝突しないように、衝突時の使用済燃料乾式貯蔵容器の揺れ幅に対して使用済燃料乾式貯蔵容器間の水平距離を十分に確保する設計とする。(第6-2図、第6-3図)

6.3 接続部の評価対象の抽出

6.3.1 抽出手順

第5-6図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等のうち、周辺施設等の損傷又は隔離によるプロセス変化により使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等を抽出する。

6.3.2 抽出結果

(1) 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計

使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計は、貯蔵状態の使用済燃料乾式貯蔵容器の一次蓋と二次蓋間の圧力を監視するため、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋部及び胴部に設置される。使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計又はその計装配管が損傷した場合においても、使用済燃料乾式貯蔵容器のバウンダリは維持される設計とする。(第6-3図)

使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出結果を、第6-3表に示す。

第6-3表 使用済燃料乾式貯蔵容器等へ波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出結果

No.	施設	波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等	波及的影響のおそれ (○：あり、×：なし)	備考
			損傷・転倒・落下	
O01	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (使用済燃料乾式貯蔵容器の間 接支持構造物である使用済燃料 乾式貯蔵建屋基礎を含む)	-	×	
E01	使用済燃料乾式貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋	○	

7. 影響評価結果

7.1 屋外施設の評価結果

6.1の抽出の結果、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等として抽出されるものはなかった。

7.2 屋内施設の評価結果

6.2で抽出された周辺施設等による使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響の評価結果を第7-1表に示す。

7.3 接続部の評価結果

6.3の抽出の結果、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等として抽出されるものはなかった。

第7-1表 屋内施設の評価結果

屋内施設	波及的影響を及ぼすおそれのある 周辺施設等	評価結果	備考
使用済燃料乾式 貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋	建屋の構造物全体としての変形性能評価を行い、基準地震動 S_s に対して建屋が倒壊に至らないことを確認した。	設工認資料 9-14-2 参照

8. まとめ

今回申請範囲の使用済燃料乾式貯蔵容器等への周辺施設等の波及的影響について、別記4に記載された事項を踏まえ、考慮すべき事象を検討した上で、敷地全体を俯瞰した調査・検討を実施し、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出した。

抽出した周辺施設等について、影響評価を実施した結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等はないことを確認した。影響評価のうち、耐震評価が必要として添付資料に耐震計算書を添付している周辺施設等を、第8-1表に整理する。

第8-1表 抽出した周辺施設等のうち耐震評価を実施する施設

検討事象	対象施設	波及的影響を及ぼすおそれのある 周辺施設等	検討用 地震動	設工認資料
③使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響	使用済燃料乾式貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋	Ss	9-14-2

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密または防護上の機密に属しますので公開できません。

伊方発電所 3 号炉
設置許可基準規則等への適合性について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和 2 年 5 月
四国電力株式会社

16 条

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

乾式貯蔵建屋取扱エリアにおける乾式貯蔵建屋
天井クレーンによる乾式キャスクに対する
波及的影響について

3. 乾式貯蔵建屋天井クレーンの落下による影響について

1、2より、構造上および運用上においても、取扱エリアで乾式キャスク上に乾式貯蔵建屋天井クレーンが落下することは無いと考えているが、仮に、落下した際の影響を以下の観点から評価した。

- ・乾式キャスクの頑健性を確認する観点から、乾式キャスクを検査架台に設置した状態で、乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリ^{※2}を落下させた場合の閉じ込め機能維持評価
- ・乾式キャスク内の燃料集合体が全数破損（被覆管 100%破損、ペレットからの放出率 100%）し、且つ、乾式キャスクの閉じ込め機能が喪失した場合の敷地境界線量への影響評価

※2：乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリは、クレーンフック等と比べて、重量が大きいこと、及び落下高さが高いことから、評価対象とした。

(1) 乾式キャスクの閉じ込め機能維持評価（天井クレーンのトロリ落下）

乾式キャスクを検査架台に設置した状態で、乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリを落下させた場合に、乾式キャスクの閉じ込め機能維持について、図6及び表1に示すモデル及び緒元を用いてLS-DYNAにより衝突解析を行い、表2に示すとおり各部材について基準値を満足することを確認した。LS-DYNAでの解析の妥当性については別紙2に示す。

ここで、閉じ込め機能を維持する部材である一次蓋シール部（胴側）、一次蓋シール部（蓋側）及び一次蓋ボルトについては、閉じ込め機能維持のため、密封境界部がおおむね弾性範囲内^{※3}であることが要求事項であり、おおむね弾性範囲である0.2%ひずみ以内であることを基準とした。

※3：「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」の以下の【確認内容】を参考に、0.2%ひずみ以内であることを基準とした。

【確認内容】

“衝突物又は落下物による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。”

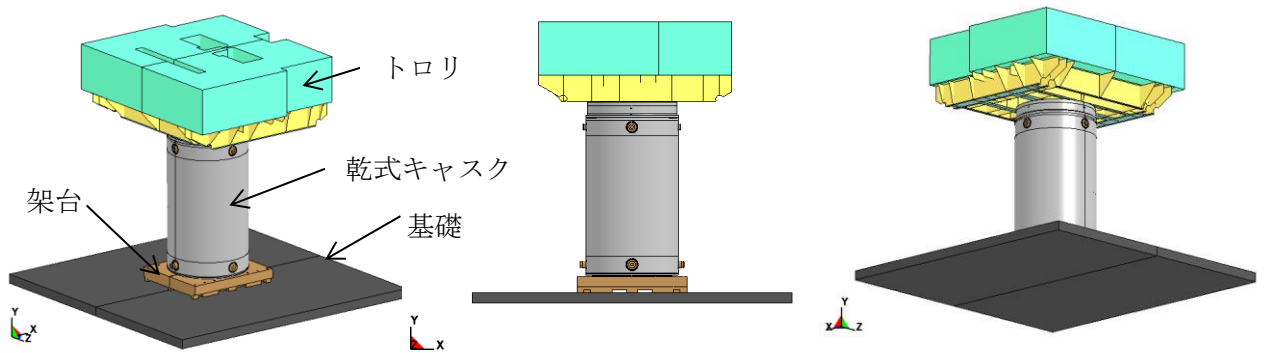


図6. トロリ落下衝突解析に係るモデル

表1. 解析緒元

部材	質量	材質	落下高さ
トロリ (落下物)	57 ton	SS400	9 m
乾式キャスク	117 ton	GLF1 (本体胴、蓋)	—
貯蔵架台	18 ton	SF490	—
基礎	—	コンクリート	—

表2. 評価結果

機能	対象部位	評価指標・基準		評価結果 ^(注1)
閉じ込め	一次蓋シール部 (胴側)	相当塑性 ひずみ	おおむね弾性 範囲内 (ひずみ 0.2%以下)	○ (ひずみ 0.00%)
	一次蓋シール部 (蓋側)			○ (ひずみ 0.00%)
	一次蓋ボルト			○ (ひずみ 0.01% ^(注2))

(注1) : 小数点以下第3位を切り上げ

(注2) : 一次蓋ボルトに残留する塑性ひずみは0.2%以下であること、かつ、残留した塑性ひずみは局所的であることから、閉じ込め機能に影響はない。

動的解析手法(LS-DYNA)の検証

1. 検証方針

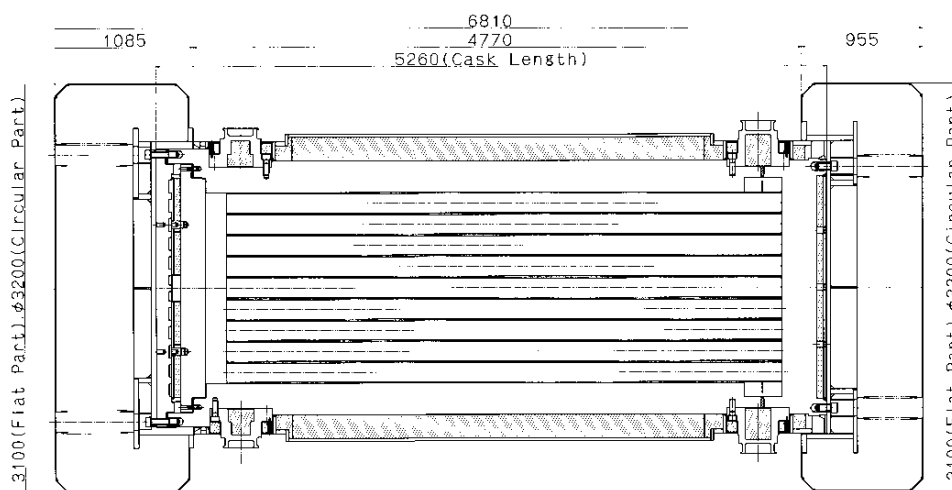
MSF 型キャスクの動的解析手法は、実規模スケールモデルを用いた落下試験で計測された蓋密封部のひずみを基に動的解析による落下試験再現解析を実施し、その結果と比較することで評価手法の妥当性を検証している。以下に検証内容を記載する。

2. 落下試験

2.1. 落下試験モデル

落下試験モデルとして、MSF 型キャスク（プロトタイプ）を実規模スケールで模擬した実規模スケールモデルを用いた。落下試験モデルの外形図を図 1 に示す。

本体は、胴（鍛造材）－レジン層－外筒（炭素鋼）から構成され、胴と外筒の間には銅製の伝熱フィンが溶接されている。蓋密封部は、一次蓋と二次蓋の二重構造とし、本体胴フランジに、金属ガスケットを取り付けた一次蓋及び二次蓋をボルトにより締結することで密封性を維持する構造としている。



(総重量：127.3ton)

図 1 落下試験モデルの外形図

2.2. 落下試験条件

IAEA 輸送規則に従い、9.3m からの落下試験を実施した。落下試験状態図を図 2 に示す。

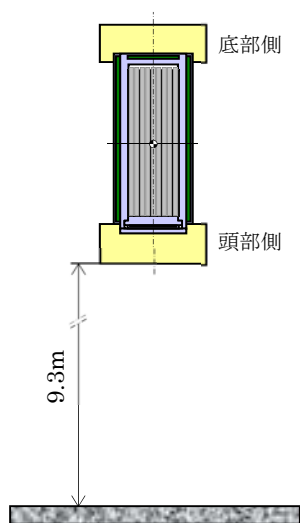


図 2 落下試験状態図

2.3. 落下試験結果

9.3m 頭部垂直落下の試験時の試験体写真を図 3 に示す。試験結果は 3 項の解析結果と併せて記載する。



図 3 9.3m 頭部垂直落下試験時の試験体写真

3. 落下解析

(1) 解析モデル

蓋、ボルト、胴本体、内部収納物(バスケット及び模擬重量体)、外筒、レジン、上部緩衝体内鋼板、木材及び緩衝体外鋼板をモデル化した。下部緩衝体については、内鋼板のみをモデル化した。下部緩衝体解析モデルの重量が、設計重量と等価になるように、内鋼板の密度を調整した。図4に解析モデルを示す。

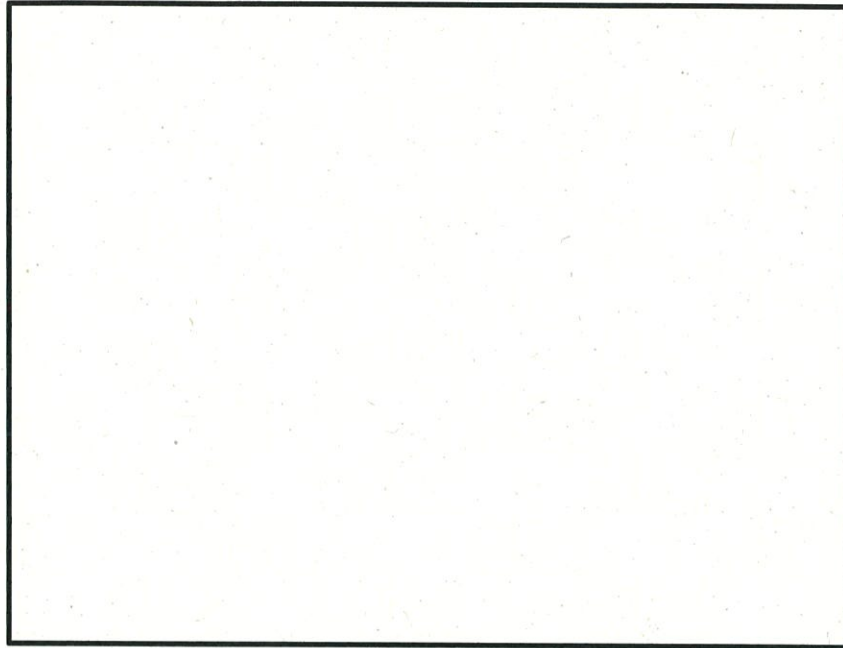


図4 9.3m 頭部垂直落下の解析モデル

(2) 初速度条件

9.3m 落下高さの位置エネルギーがすべて運動エネルギーに変換されたと考え、13.5m/s の初期速度を与える。

(3) 寸法及び材料

製作時の寸法を用いてモデル化した。材料の応力-ひずみ関係は、実際の引張試験の結果に基づいて設定した。

(4) 検証結果

a. 加速度

図5に加速度時刻歴の試験結果と解析結果の比較を示す。内部収納物が蓋に衝突する前のキャスク胴体中央の落下方向の加速度は、試験と解析で得られた最大加速度で10%の精度で再現できている。つまり、上部緩衝体から蓋への荷重が、解析で精度良く評価できていることを示している。一方、内部収納物の蓋への衝突の影響については、内部収納物が蓋に衝突するタイミングは一致しているものの、加速度応答に差がある。この原因は以下の通りと推定される。解析では燃料の全数とバスケットセルの全数が同時に一次蓋へ衝突しているため、加速度が急激に大きくな

っている。一方、試験では、燃料とバスケットセルが個別に一次蓋へ衝突し、ややなだらかな加速度応答になっているものと考えられる。このため、加速度の最大値に差異が生じたと考えられる。

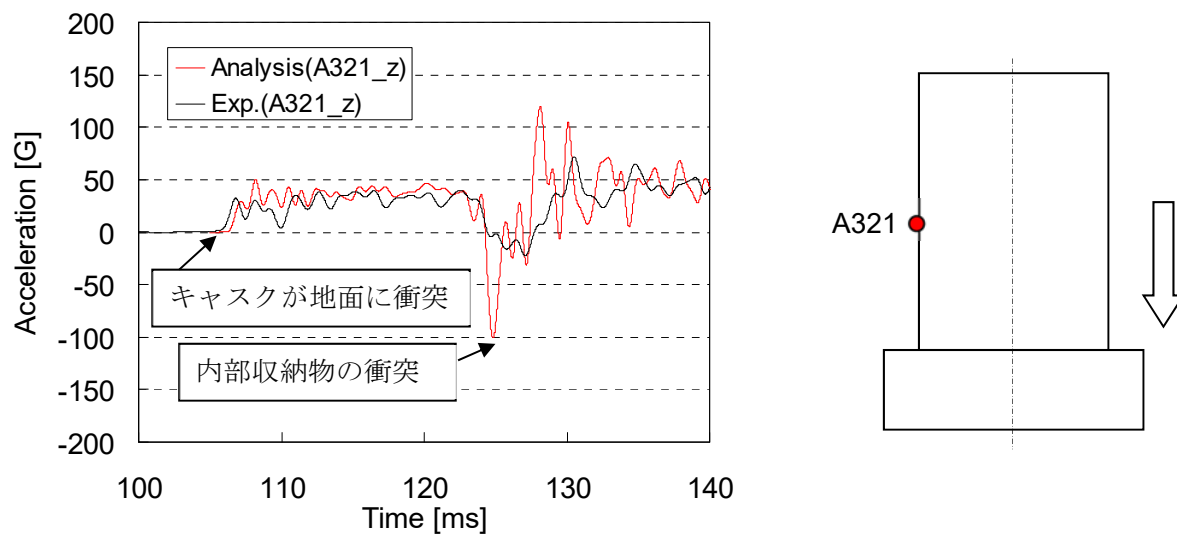


図5 9.3m 垂直落下加速度時刻歴の比較

b. ひずみ

フランジ根元及び蓋等の代表的なひずみに関する解析結果と試験結果の比較を以降に示す。

一次蓋中央のひずみの解析結果と試験結果の比較を図 6 に示す。一次蓋の最大ひずみは、試験と解析で±10%で一致している。ただし、試験で得られた E121 の X 方向のひずみのみが、解析結果のひずみに比べて大きい結果となっている。この原因は以下の通りと推定される。

解析では燃料の全数とバスケットセルの全数が同時に蓋に衝突する条件としている。一方、試験では、燃料とバスケットセルが個別に衝突したため、蓋が一様に変形せず E121 の X 方向と Y 方向のひずみ量に差異が生じたと推定される。

また、解析では E121 の X 方向のひずみが 2000 μ 以下であり弾性範囲内であるが、試験ではひずみが 2000 μ を超過しており最大約 3500 μ のひずみが発生している。E121 の X 方向以外の 3 データの最大ひずみは±10%の範囲内に入っていることから、X 方向と Y 方向の変形に大きな差はなかったものと推定される。E121 の X 方向については、ひずみが塑性域に入ったためにより大きなひずみが発生し、試験と解析で誤差が大きくなったと推定される。

二次蓋中央のひずみの解析結果と試験結果の比較を図 7 に示す。試験で得られた二次蓋のひずみは一次蓋のひずみと同じ時刻及び同じ方向に生じており、一次蓋の変形により一次蓋と二次蓋が衝突し同じ方向に変形が生じていることが読み取れる。解析で得られた二次蓋のひずみも同様に、一次蓋のひずみと同じ時刻及び同じ方向に生じており、一次蓋の変形に伴う二次蓋の衝突挙動が再現できている。

ただし、解析では燃料の全数とバスケットセルの全数が同時に一次蓋に衝突しているが、試験では燃料とバスケットセルが個別に衝突していると推定されるため、解析で得られた最大ひずみの方が試験よりも大きく、かつ、その発生時刻が早くなっている。

フランジ根元のひずみの解析結果と試験結果の比較を図 8 に示す。落下方向(Z 方向)及び周方向(θ 方向)のひずみが、試験と解析で±10%で一致しており、解析でよく再現されている。

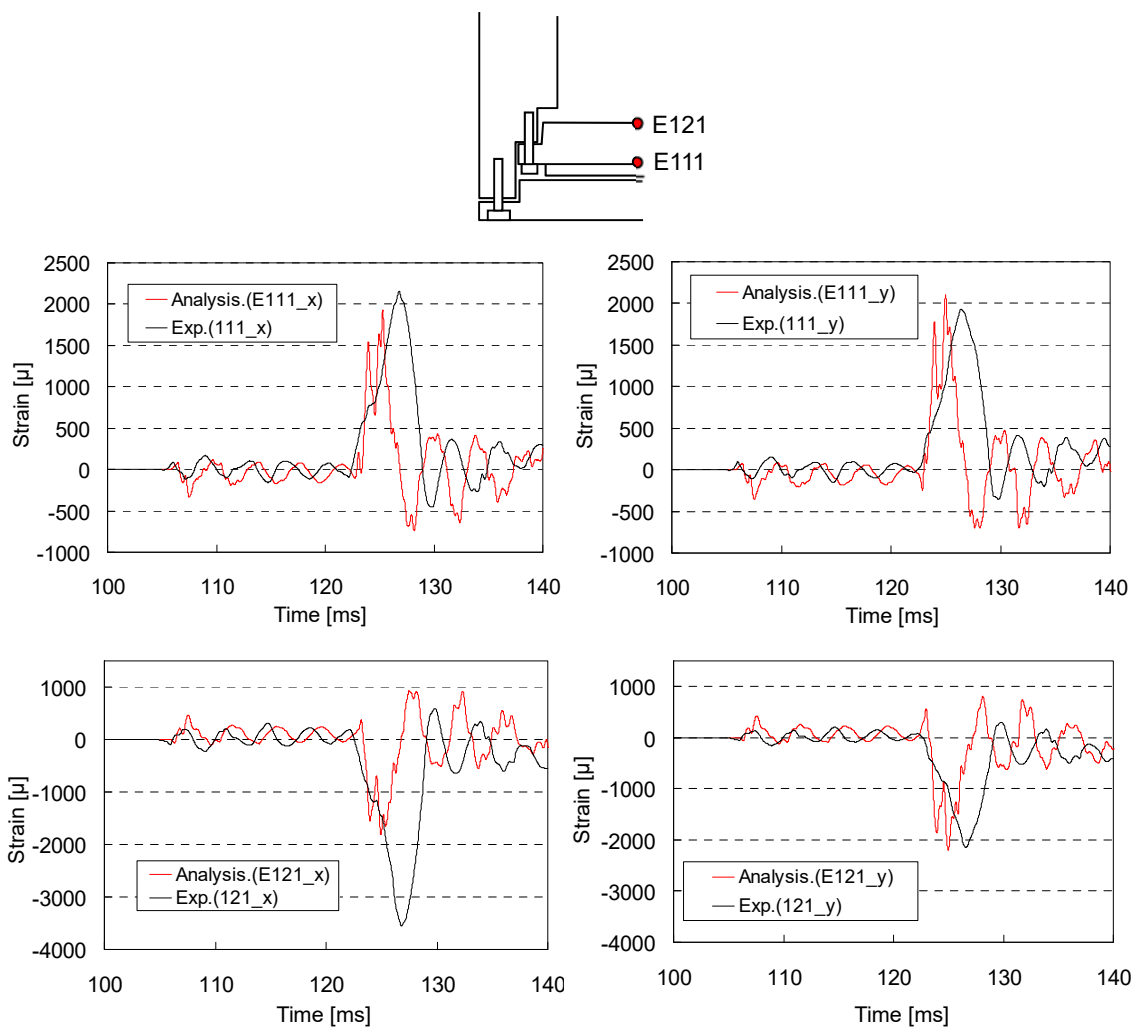


図6 9.3m 垂直落下時の一次蓋ひずみ時刻歴の比較

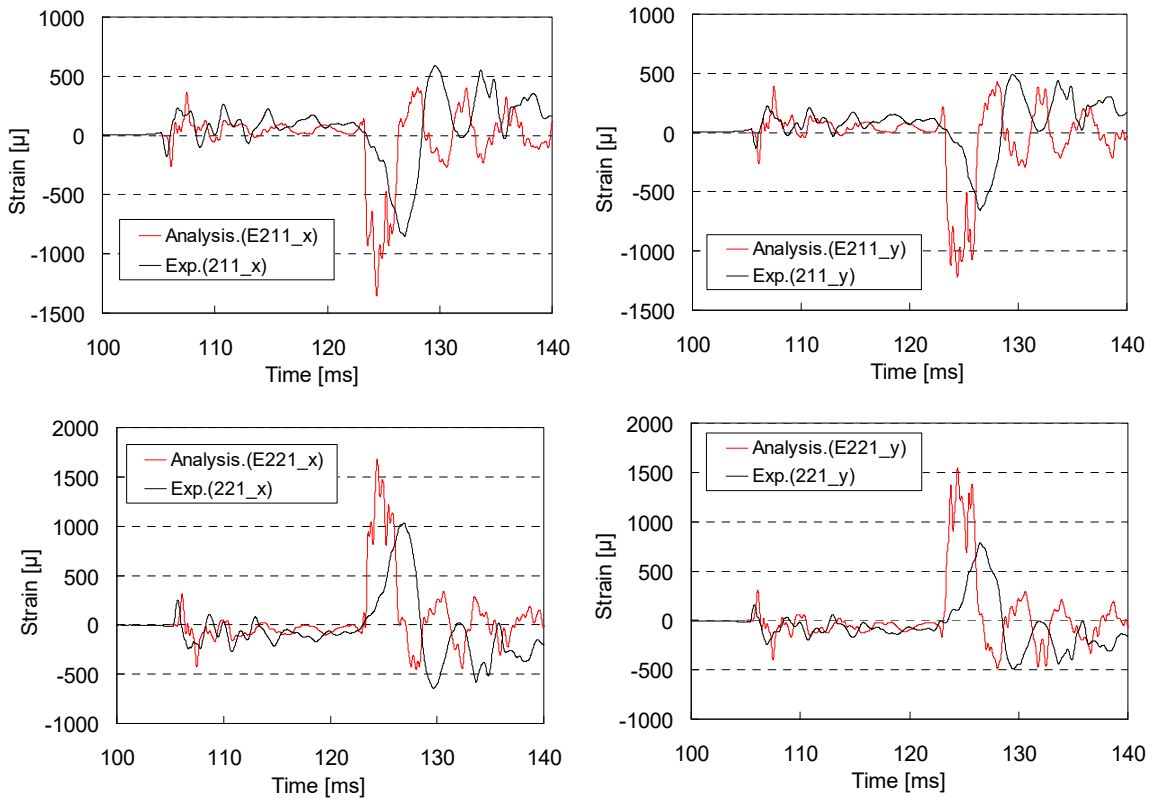
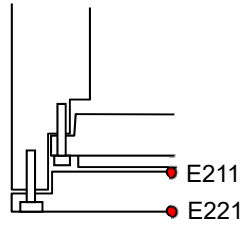


図7 9.3m 垂直落下時の二次蓋ひずみ時刻歴の比較

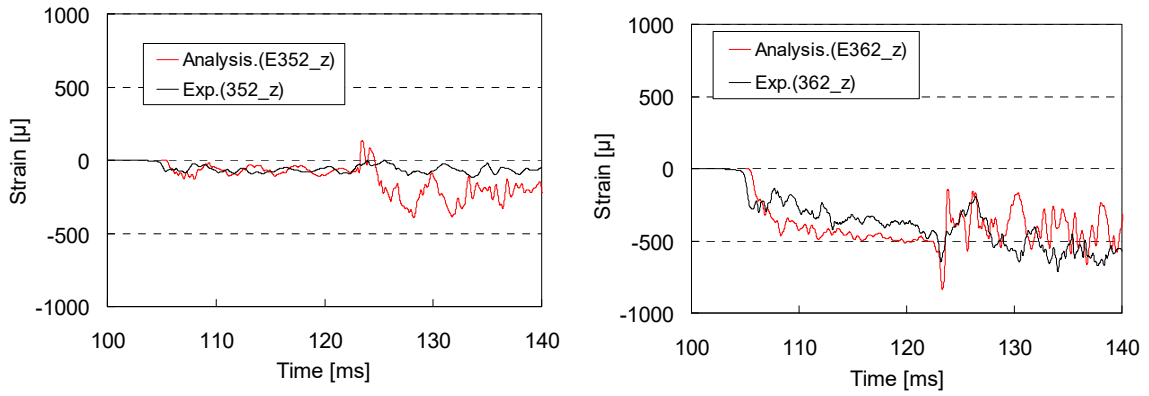
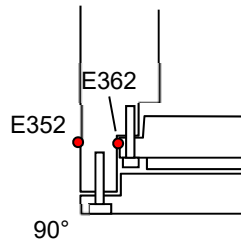


図8 9.3m 垂直落下時の胴フランジひずみ時刻歴の比較

4. 落下解析に対する動的解析の検証

落下試験において、密封境界部周辺（胴フランジや蓋）のひずみを測定し、解析結果と比較することで動的解析手法の検証を行った。また、キャスク全体の挙動を検証する観点で加速度の比較を行った。

上述のとおり、落下試験の計測結果と解析結果を比較した結果、落下挙動としては内部収納物の衝突時の挙動に差異はあるものの、緩衝体からの荷重による加速度応答を再現できることを確認した。また、密封境界である胴フランジ及び蓋の変形挙動を再現できることを確認した。これらの結果により、蓋密封部の閉じ込め性能に関する評価手法として本動的落下解析手法を適用できることを検証した。

5. 天井クレーンに対する動的解析の適用性

天井クレーン落下事象は、静止している乾式キャスクの胴フランジ部へ荷重が作用する事象であるが、胴フランジに入力される荷重方向や負荷範囲は図9に示すとおり頭部垂直落下と同様であるため、落下試験により検証した動的落下解析手法は、天井クレーン落下事象にも適用可能である。

また、天井クレーン落下事象は使用済燃料集合体及びバスケットが一次蓋へ衝突する事象ではないため、使用済燃料集合体及びバスケットの挙動の違いによる影響を、本評価で考慮する必要はない。

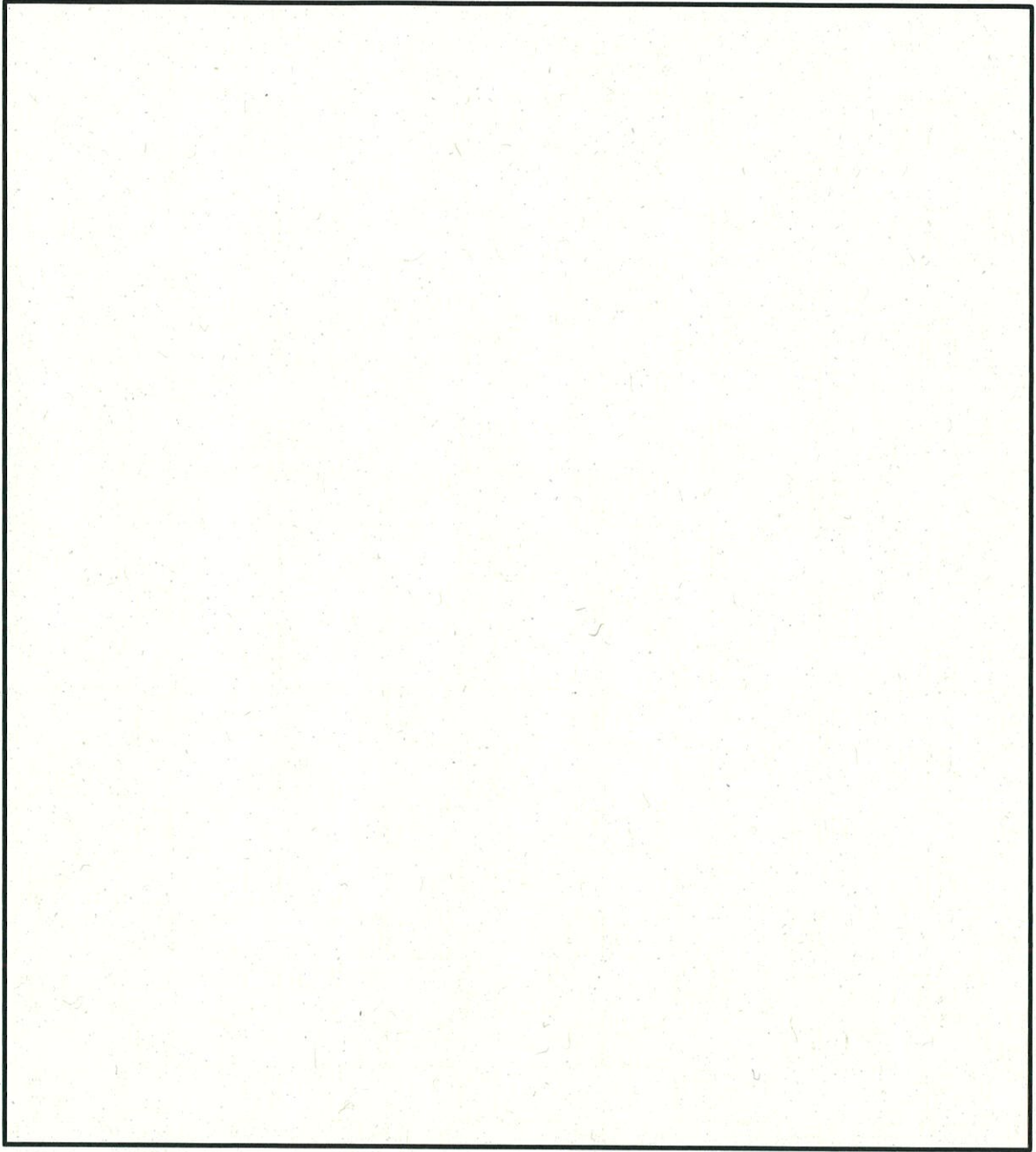


図9 荷重作用方向及び負荷範囲
(天井クレーン落下解析時と頭部垂直落下時の比較)

5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震評価モデルの
妥当性について

目 次

	頁
1. はじめに	5-1
2. 耐震評価方法	5-1
2.1 乾式キャスクのモデル化の考え方	5-3
2.2 下部トラニオン及び貯蔵架台の剛性のモデル化の考え方	5-7
3. まとめ	5-15

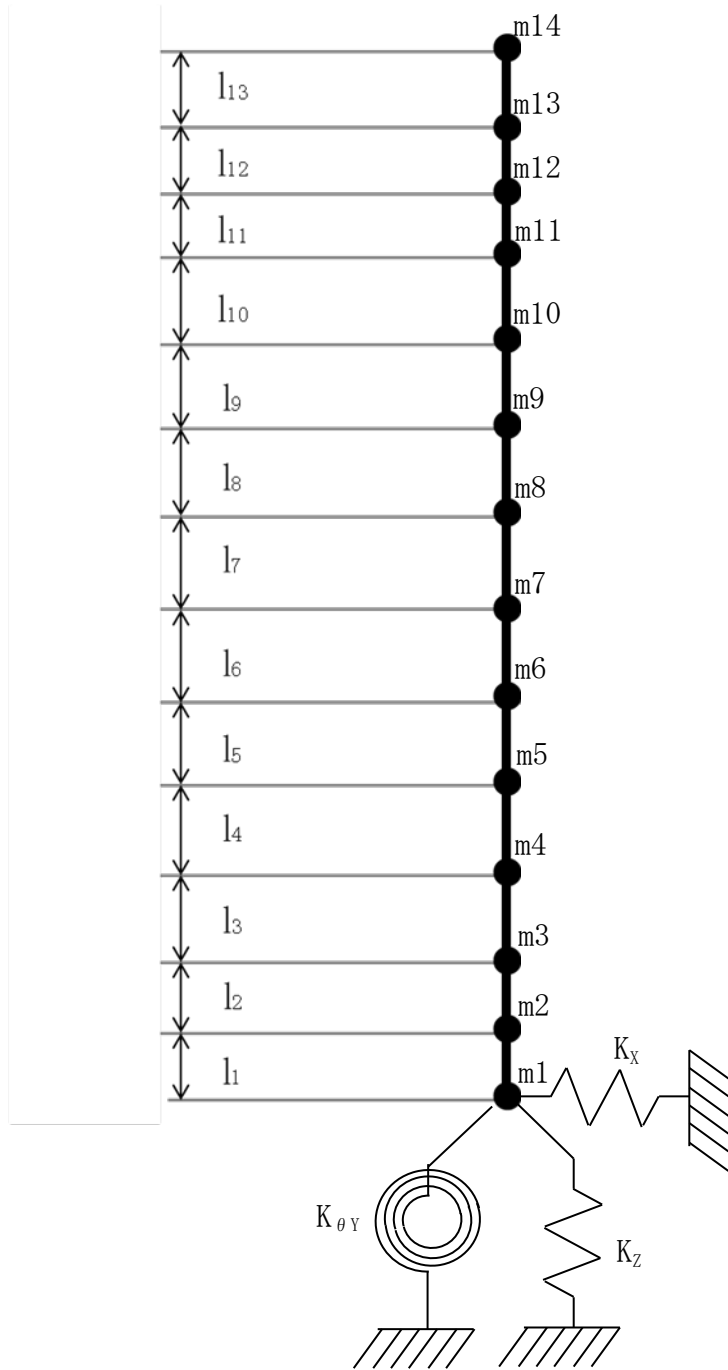
1. はじめに

本書は、設工認における使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）及び使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵架台（以下「貯蔵架台」という。）の耐震評価のうち、固有値解析に適用した解析方法の妥当性について説明する資料である。

2. 耐震評価方法

今回の設工認において乾式キャスクの耐震評価では、既工認の解析方法に倣い、乾式キャスク及び貯蔵架台をはり要素及び線形ばね要素でモデル化して固有値を算出し、FRS から固有値に対応した評価用加速度を適用している。乾式キャスク及び貯蔵架台を連成した固有値解析モデル（以下「工認適用モデル」という。）を第 2.1 図に示す。工認適用モデルは、乾式キャスクをはり要素及び質点でモデル化し（以下「はりモデル」という。）、下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）の剛性をばね要素でモデル化している。耐震評価に適用した解析におけるモデル化の考え方を以下に示す。

具体的には、工認適用モデルにおける乾式キャスクのモデル化の考え方を 2.1 項に示す。また、下部トラニオン及び貯蔵架台の剛性のモデル化の考え方を 2.2 項に示す。



第 2.1 図 工認適用モデル

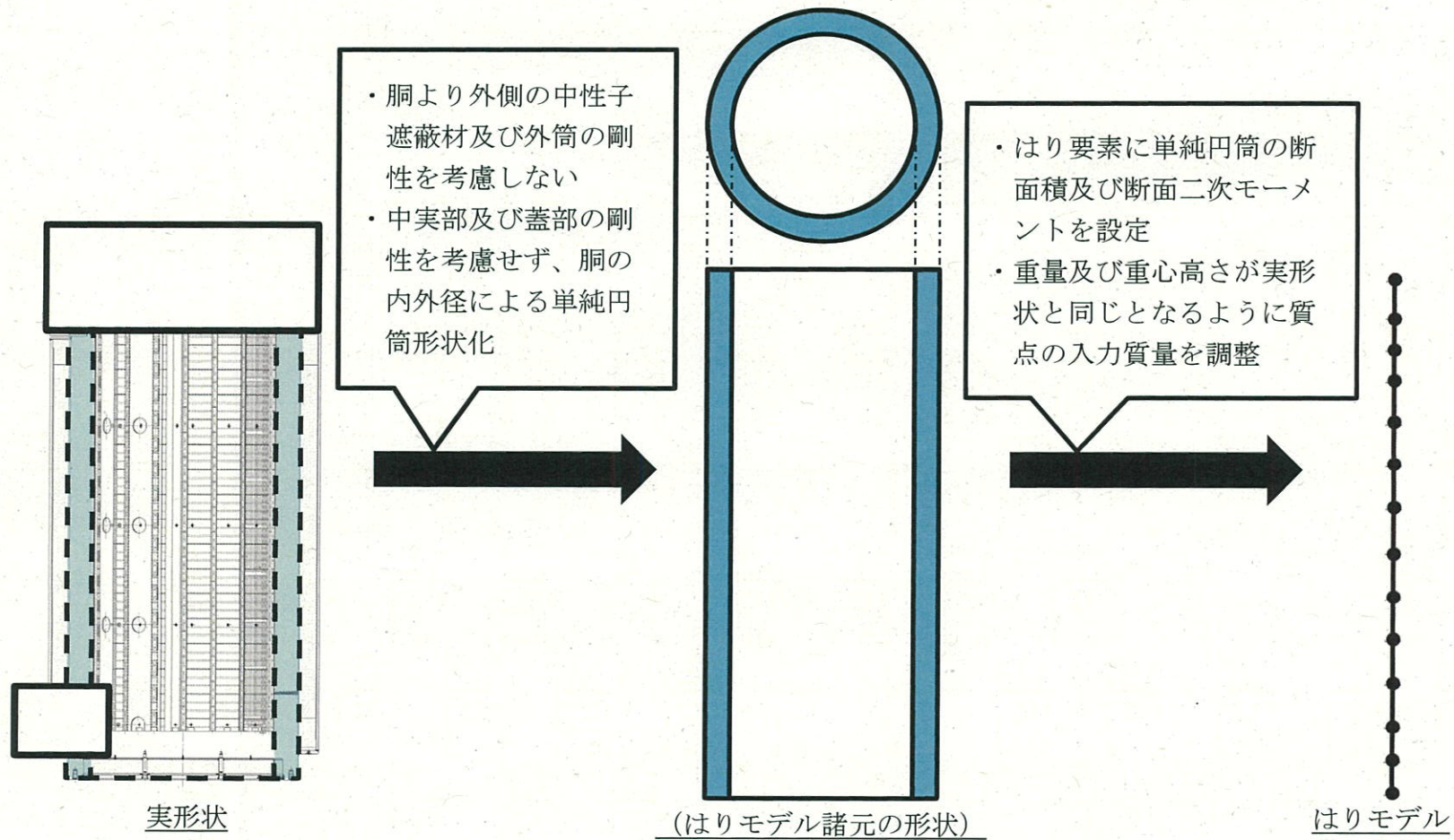
2.1 乾式キャスクのモデル化の考え方

乾式キャスクは、地震時にオーバル変形及びねじれ変形は生じないため、耐震評価で考慮すべき変形は曲げ変形のみであることから、はり要素及び質点でモデル化している。

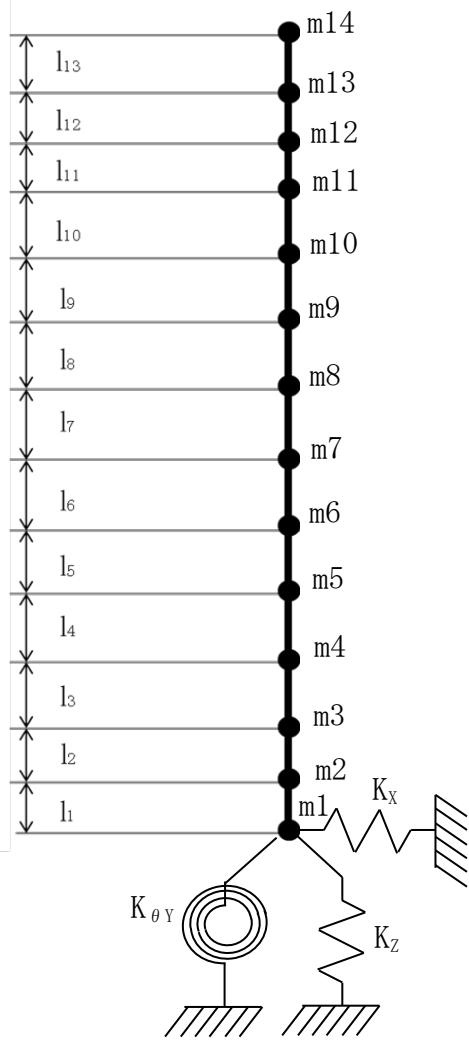
はりモデルの諸元は、胴の内外径による単純円筒を仮定した形状から設定している（第 2.2 図 1/3 を参照）。なお、胴より外側（中性子遮蔽材及び外筒）の重量については、モデルに組み込んでいる一方で、剛性についてはモデルに組み込んでいないため、実機よりも保守的な剛性となっている。また、燃料集合体については、乾式キャスク内の燃料集合体が存在する高さ及びその近傍の複数の質点に質量を分散して設定している。（第 2.2 図 2/3 を参照）。

さらに、はりモデルの各質点の高さは、基本的に乾式キャスクの構造不連続部に設定し、バスケット及び燃料集合体が収納される範囲については、形状に有意な構造不連続部がないため、均等に分割している（第 2.2 図 3/3 を参照）。

なお、はりモデルの 1 次固有振動モード及び 1 次固有振動数が実機を精緻に模擬したモデルとよく一致しており、上記のモデル化方法が問題ないことを確認している（添付 1 を参照）。

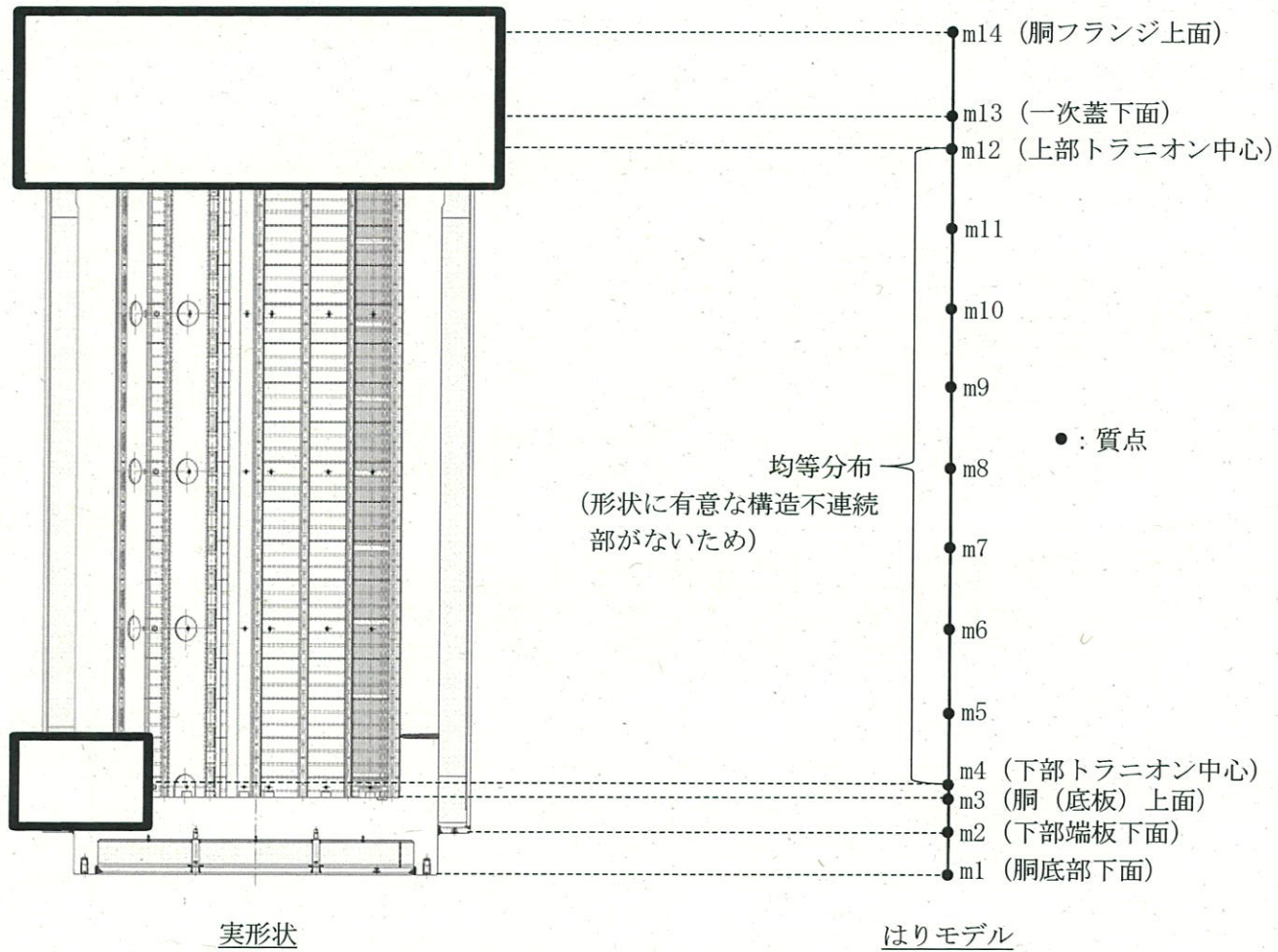


第2.2図 乾式キャスクのはりモデル化の概要(1/3)



質点番号	燃料集合体の質量 (ton)	
	乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)
m14	0	0
m13	0.0806	0.0753
m12	1.6173	1.4273
m11	2.2868	2.0180
m10	2.2868	2.0180
m9	2.2868	2.0180
m8	2.2868	2.0180
m7	2.2868	2.0180
m6	2.2868	2.0180
m5	2.2868	2.0180
m4	1.3330	1.1763
m3	0.1896	0.1673
m2	0	0
m1	0	0

第2.2図 乾式キャスクのはりモデル化の概要(2/3)



第 2.2 図 乾式キャスクのはりモデル化の概要(3/3)

2.2 下部トラニオン及び貯蔵架台の剛性のモデル化の考え方

乾式キャスクは貯蔵架台に下部トラニオンを介して固定されており、地震時の乾式キャスクの応答挙動は下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）により抑制される。この時の下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）の剛性を線形ばねでモデル化している。

下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）の剛性を模擬した線形ばねは、水平方向の並進ばね、鉛直方向の並進ばね及び回転ばねの 3 種類であり、全てばね剛性算出モデル（以下、三次元 FEM モデルと称す）による解析結果から算出している。線形ばねの算出方法の詳細を 2.2.1 項に示す。なお、三次元 FEM モデルは、地震時の乾式キャスクの挙動を精緻に模擬するために、乾式キャスクの底面及び貯蔵架台の間に非線形性を有する接触要素を設定しているが、傾き角、水平変位及び鉛直変位と入力加速度の関係が全て線形であり、回転剛性、水平方向の並進剛性及び鉛直方向の並進剛性を全て線形ばねとするモデル化に問題がないことを確認している（添付 2 を参照）。

ここで、水平方向の並進ばね及び回転ばねは、第 2.3 図に示す 2 方向（ケース 1 ^(注) 及び 2）で算出している。これは、乾式キャスクの傾き方向に応じた固有値を確認するためであり、ケース 1 の固有値がケース 2 よりも小さいことから（第 2.1 表及第 2.2 表を参照）、評価にはケース 1 の固有値を適用している。ただし、トラニオンに生じる荷重の計算条件は、ケース 2 の傾き方向としている。これは、ケース 1 よりもトラニオンに生じる荷重の計算値が大きくなるためである。

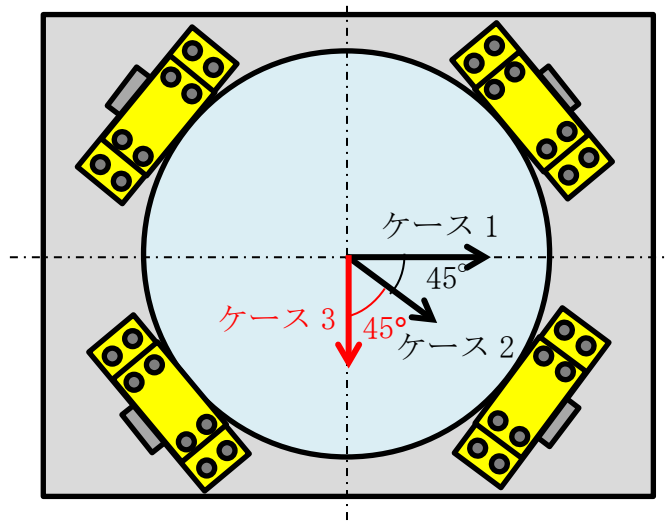
そのため、今回の工認評価では、ケース 1 の固有値に応じた入力加速度を用いながら、ケース 2 の傾き方向でトラニオンに生じる荷重を計算することで、保守的な荷重による評価を行っている。

なお、今回の工認のように、機器の挙動に係る周辺構造物の剛性を線形ばねでモデル化し、はりモデルと組み合わせる方法は伊方 3 号機の再稼働工認で炉内構造物等の地震応答解析に適用した実績がある。

(注) 断面 2 次モーメントが小さいほど、また、モーメント長さが長いほど柔くなるため、第 2.3 図に示すケース 1 およびケース 3 の貯蔵架台の曲げ剛性を比較すると、架台の短辺側に断面 2 次モーメントが、長辺側にモーメント長さが設定されるケース 1 の方が柔側となる。

貯蔵架台の曲げ剛性に比べて、トラニオン及び固定装置の剛性の方が十分小さいことから、貯蔵架台の曲げ剛性の影響は軽微であるが、ケー

ス3よりも貯蔵架台の曲げ剛性が柔側に算出されるケース1にて固有周期を算出している。



第2.3図 ばね剛性算出における乾式キャスクの傾き方向

第2.1表 乾式キャスク（タイプ1）における1次固有振動数の比較

	ケース 1	ケース 2
水平方向の1次固有振動数 (Hz)	15.5	16.7
鉛直方向の1次固有振動数 (Hz)	38.8	

第2.2表 乾式キャスク（タイプ2）における1次固有振動数の比較

	ケース 1	ケース 2
水平方向の1次固有振動数 (Hz)	15.2	16.4
鉛直方向の1次固有振動数 (Hz)	37.5	

2.2.1 線形ばねの算出方法

線形ばねの算出結果を第 2.3 表及び第 2.4 表に示す。これらは全て、第 2.4 図及び第 2.5 図に示す三次元 FEM モデルによる静解析結果から算出している。この三次元 FEM モデル^(注)は、下部トラニオン及び固定装置をはり要素で、それ以外の部位を三次元要素で、剛性をモデル化している。なお、燃料集合体については、乾式キャスクと締結しておらず、モデル全体の剛性に寄与しないため、考慮していない。

各線形ばねの算出方法を(1)～(3)に示す。

なお、第 2.4 図に示す三次元 FEM モデル（回転ばね剛性及び水平ばね剛性の算出に適用）は、乾式キャスクが傾こうとする方向の下部トラニオン及び固定装置をモデル化していない。この方向に位置する下部トラニオンの運動方向は鉛直下向きであり、乾式キャスクの運動を抑制する力を受け持たないためである（第 2.6 図を参照）。

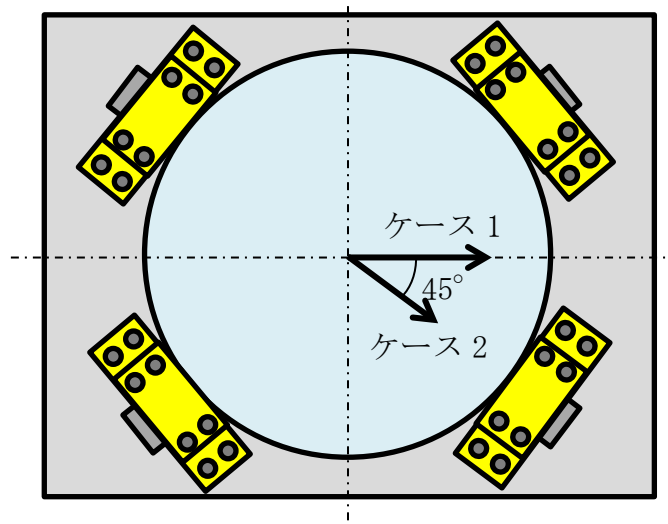
(注) 線形ばねの算出に適用した三次元 FEM モデルは、妥当な条件で固有値解析を行うことが困難である。この三次元 FEM モデルには、乾式キャスク底面及び貯蔵架台の接触状態を模擬するために、これらの接触面に接触要素を設定しているが、固有値解析には、これらの接触面を固着する条件しか適用できないためである。なお、固着条件で算出した固有値は約 25Hz であり、評価に適用している固有値（15.4Hz）と比較して大幅に非保守側の結果となる。

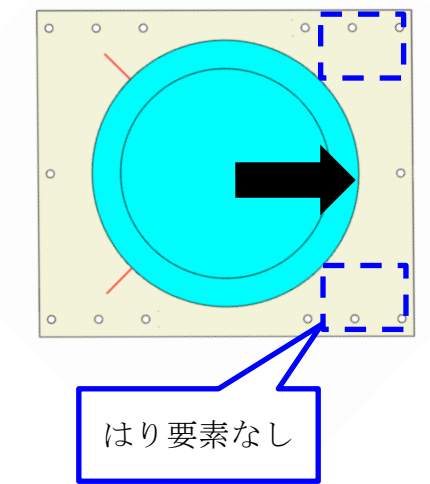
第2.3表 乾式キャスク（タイプ1）におけるばね剛性の算出結果

ばね剛性	剛性値	
	ケース 1 (下図参照)	ケース 2 (下図参照)
回転ばね剛性 (N・m/rad)	1.924×10^{10}	1.904×10^{10}
水平ばね剛性 (N/m)	2.889×10^9	5.164×10^9
鉛直ばね剛性 (N/m)	7.286×10^9	

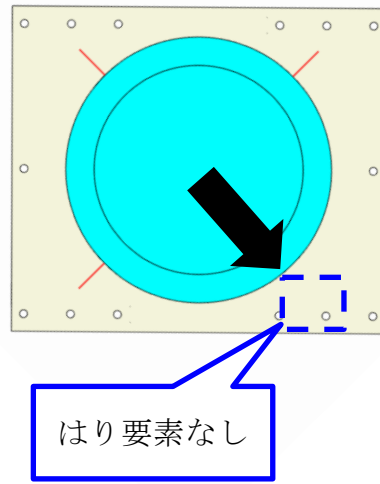
第2.4表 乾式キャスク（タイプ2）におけるばね剛性の算出結果

ばね剛性	剛性値	
	ケース 1 (下図参照)	ケース 2 (下図参照)
回転ばね剛性 (N・m/rad)	1.766×10^{10}	1.740×10^{10}
水平ばね剛性 (N/m)	2.860×10^9	5.126×10^9
鉛直ばね剛性 (N/m)	6.748×10^9	



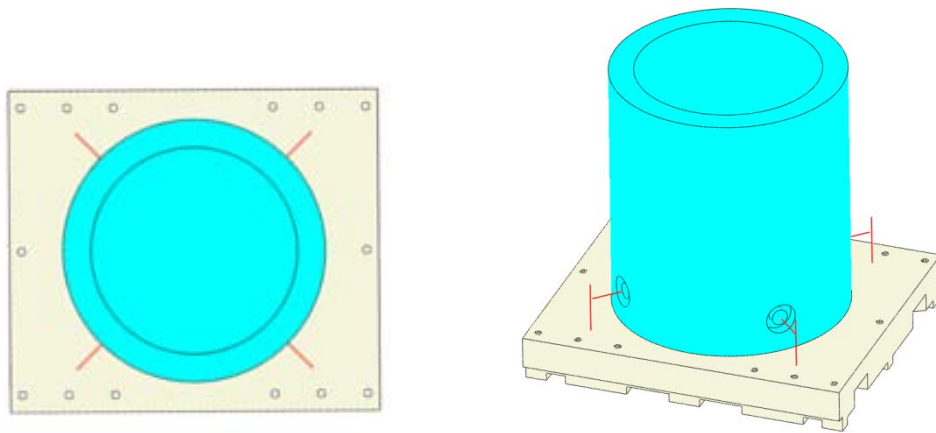


ケース 1 の傾き方向

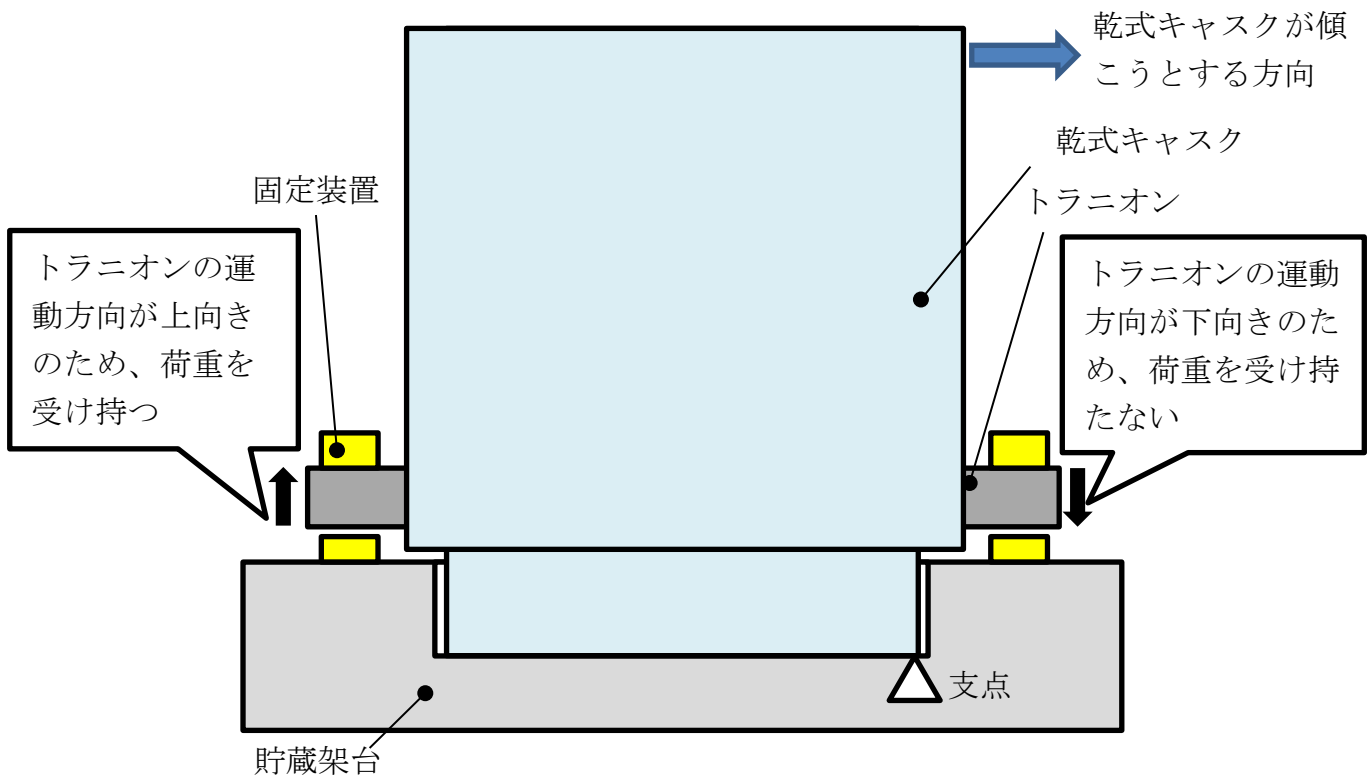


ケース 2 の傾き方向

第 2.4 図 三次元 FEM モデル (水平方向)



第 2.5 図 三次元 FEM モデル (鉛直方向)

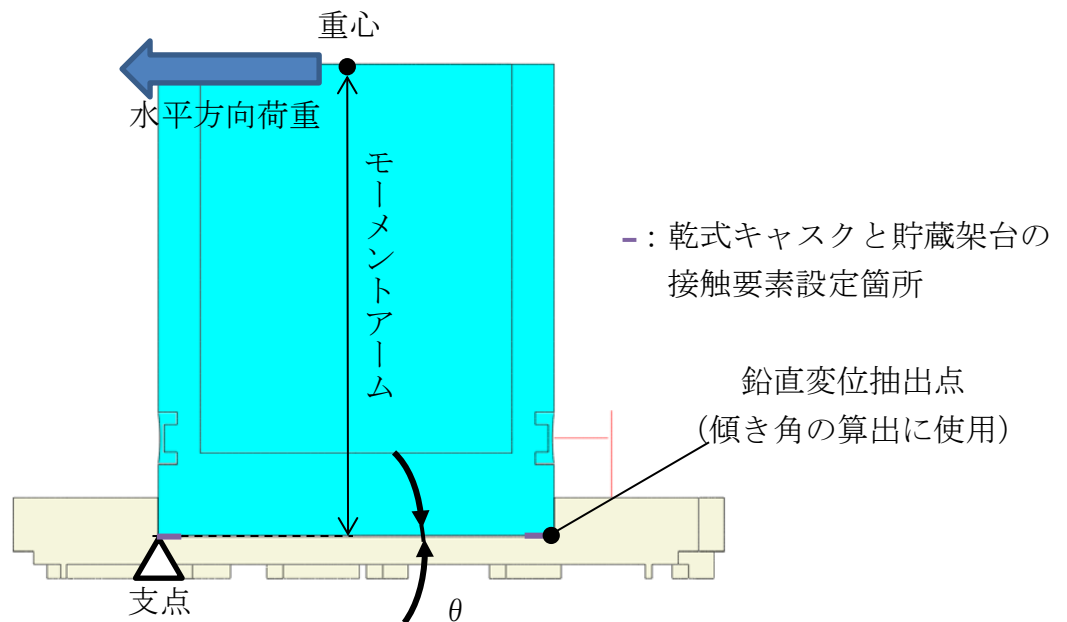


第2.6図 回転モーメントのつり合い

(1) 回転ばね剛性の算出方法

三次元 FEM モデルの乾式キャスクの重心に水平方向荷重を負荷することで、第 2.7 図のように乾式キャスクが傾こうとする。その時の傾き角、負荷した荷重及びモーメントアームを (1) 式に代入して算出している。

$$\text{回転ばね剛性} = \frac{\text{水平方向荷重} \times \text{モーメントアーム}}{\text{傾き角 } \theta} \dots (1)$$



第2.7図 回転ばね剛性算出の概要

(2) 水平ばね剛性の算出方法

剛性算出に用いる解析は、回転ばね剛性と同じである。水平ばね剛性は、(2)式のように、水平方向の負荷荷重を乾式キャスクの横滑りによる変位で割ることで算出している。

$$\begin{aligned} \text{水平ばね剛性} &= \frac{\text{水平方向荷重}}{\text{乾式キャスクの横滑りによる変位}} \\ &= \frac{\text{水平方向荷重}}{\text{解析で算出した水平変位}-\text{傾きによる水平変位}} \cdots (2) \end{aligned}$$

$$\text{傾きによる水平変位} = \text{乾式キャスク底部外径} \times (1 - \cos \theta) \cdots (3)$$

(3) 鉛直ばね剛性の算出方法

鉛直ばね剛性は、三次元 FEM モデルの乾式キャスクの重心に鉛直上向き方向^(注)の荷重を負荷した時の重心の鉛直方向変位量、及び負荷した荷重を(4)式に代入して算出している。

$$\text{鉛直ばね剛性} = \frac{\text{鉛直方向荷重}}{\text{重心の鉛直方向変位}} \cdots (4)$$

(注) 鉛直下向き方向に荷重を負荷した場合は、乾式キャスクが貯蔵架台に押し付けられることから、上向きに荷重を負荷した場合よりも高い剛性となるため、上向きを代表としている。

3. まとめ

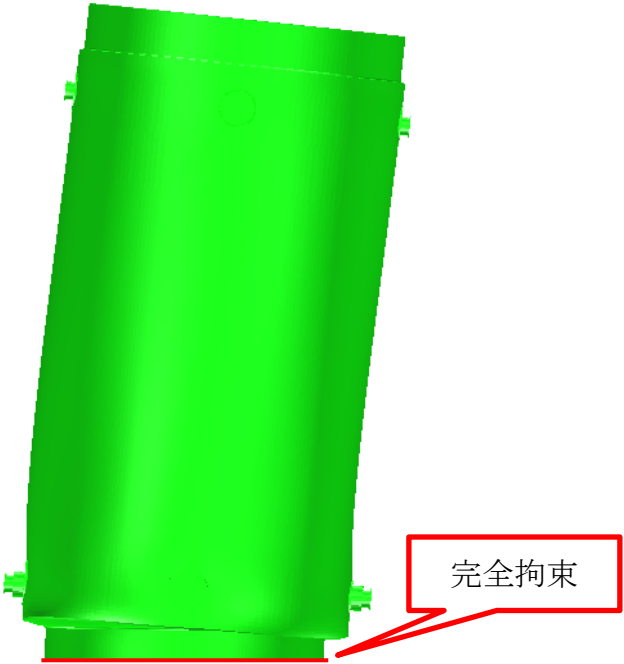
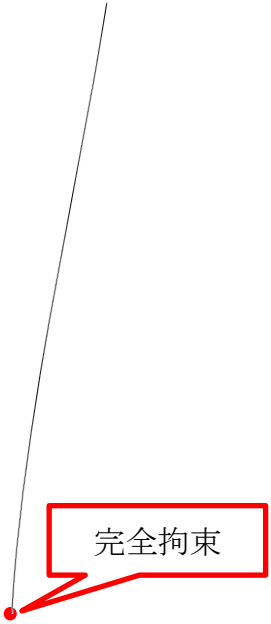
本資料では、乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震評価に適用した固有値解析モデルについて、2.1 項にて乾式キャスクのモデル化の考え方を、2.2 項にて剛性のモデル化の考え方を検討した。

本モデル化の考え方は、炉内構造物等の地震応答解析に適用した実績があり、各検討において、工認適用モデルと三次元 FEM モデル等の比較により、適切にモデル化されていることを確認した。

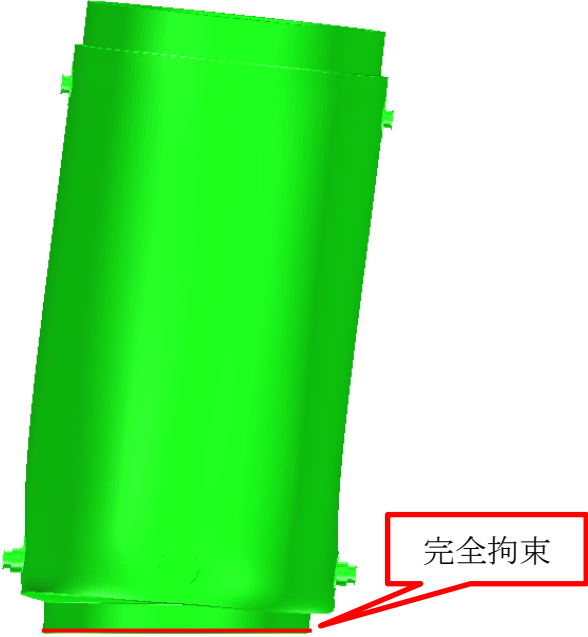
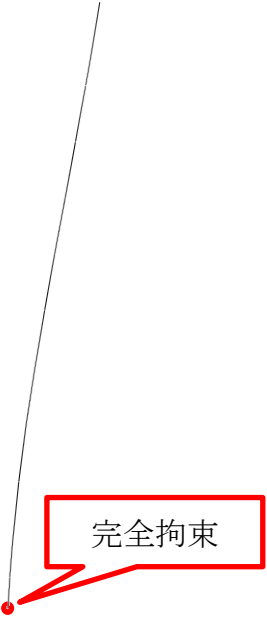
三次元要素モデルとはりモデルの固有値解析結果の比較

乾式キャスク（タイプ 1）における三次元要素モデル及びはりモデルにおける固有値解析結果の比較を第 1 表に示す。また、乾式キャスク（タイプ 2）における三次元要素モデル及びはりモデルにおける固有値解析結果の比較を第 2 表に示す。乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）において、はりモデルの 1 次固有振動モード及び 1 次固有振動数は共に三次元要素モデルとよく一致している。

第1表 1次固有振動数の比較 (乾式キャスク (タイプ1))

モデル化要素	三次元要素	はり要素及び質点
1次固有振動モード		
1次固有振動数 [Hz]	41.5	41.2

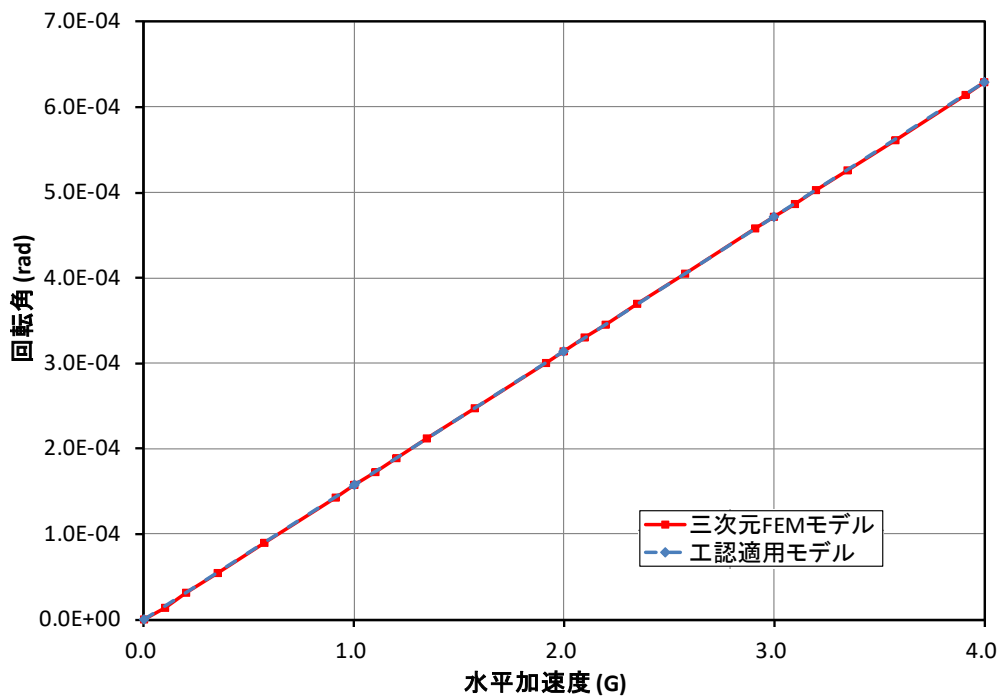
第2表 固有振動数の比較 (乾式キャスク (タイプ2))

モデル化要素	三次元要素	はり要素及び質点
1次固有振動モード		
1次固有振動数 [Hz]	42.1	42.0

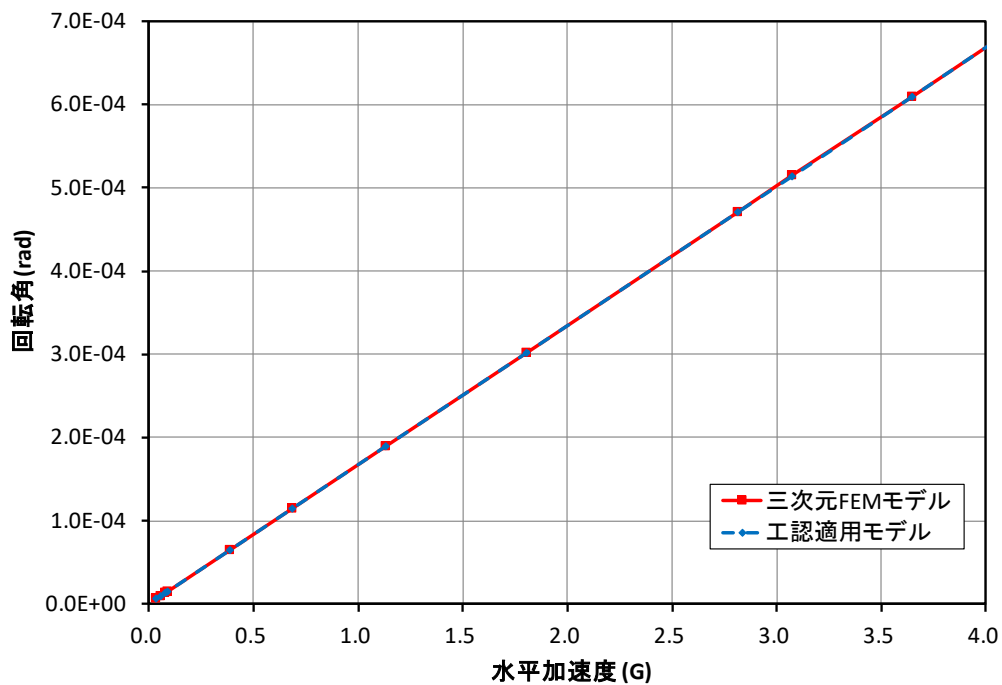
三次元 FEM モデルで算出した傾き角及び変位と入力加速度の関係

工認適用モデルにおける乾式キャスクの重心位置に加速度を入力して算出した傾き角、水平方向変位及び鉛直方向変位について、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の結果を第 1 図～第 3 図に示す。

第 1 図～第 3 図に示した結果より、工認適用モデルの重心位置に加速度を入力して算出した傾き角、水平方向変位及び鉛直方向変位が、三次元 FEM モデルの算出値とよく一致していることを確認した。

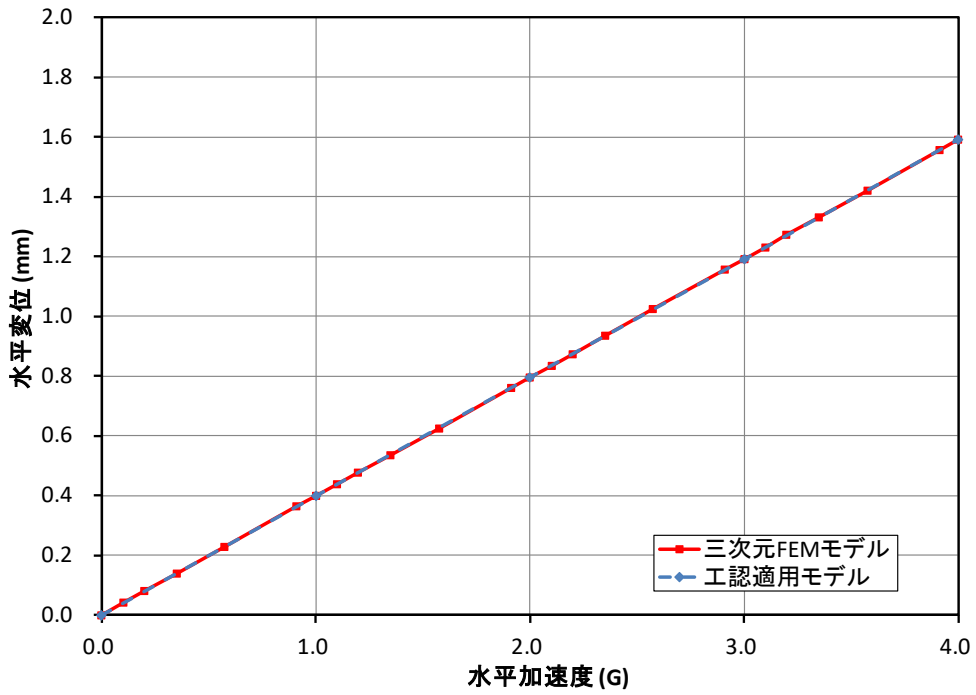


乾式キャスク (タイプ 1)

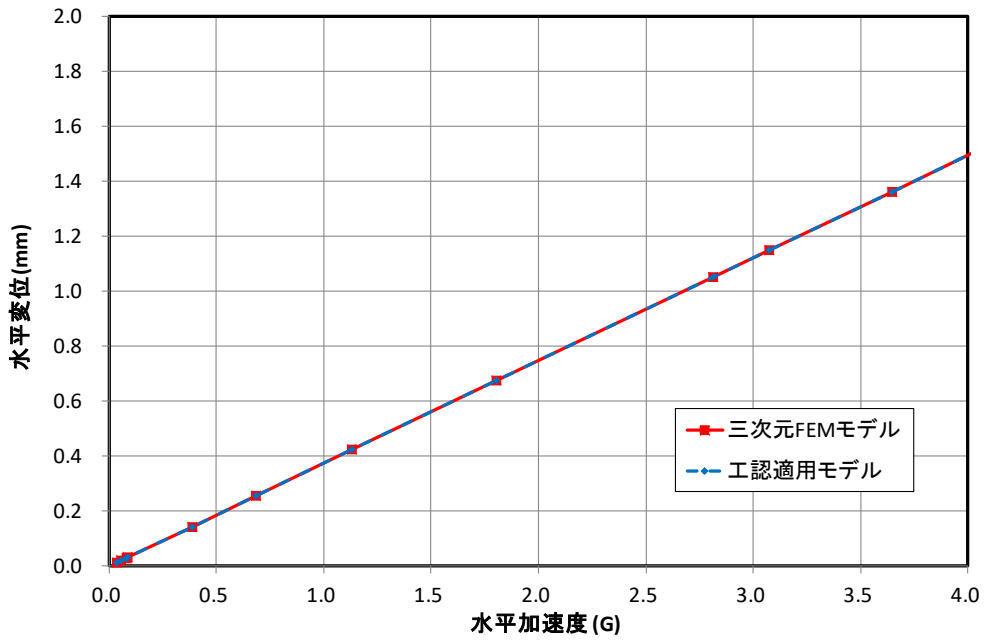


乾式キャスク (タイプ 2)

第1図 乾式キャスクの傾き角の比較

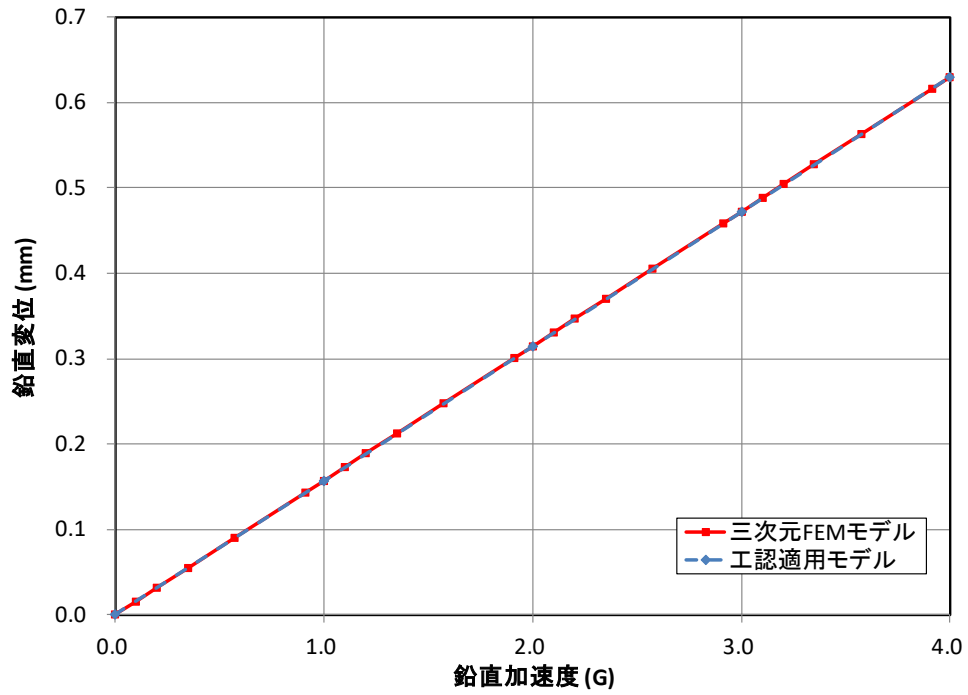


乾式キャスク (タイプ1)

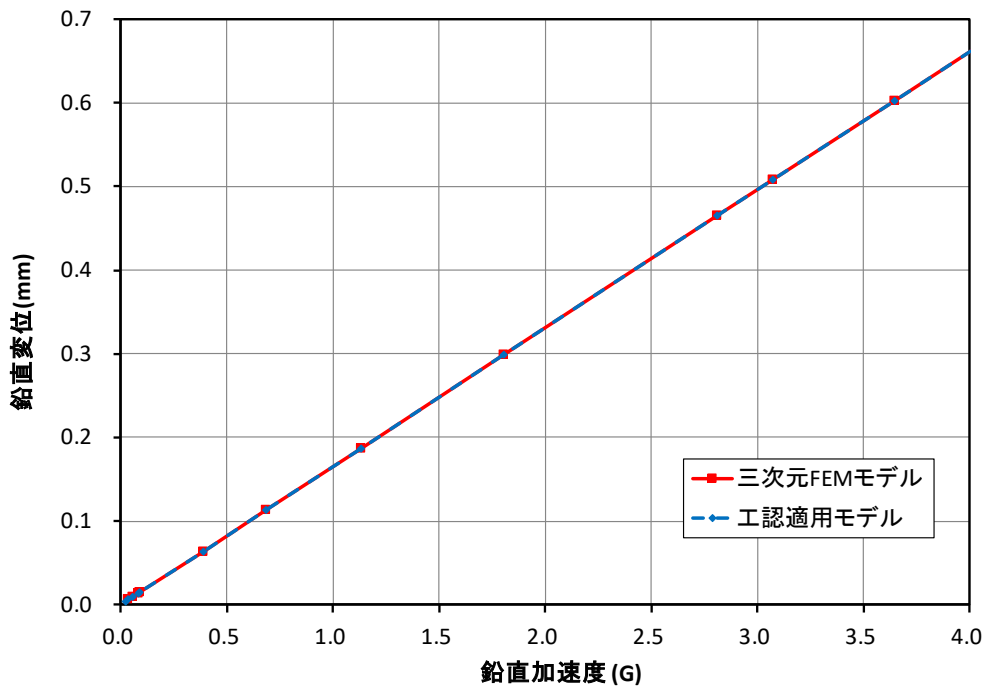


乾式キャスク (タイプ2)

第2図 乾式キャスクの水平変位の比較



乾式キャスク (タイプ1)



乾式キャスク (タイプ2)

第3図 乾式キャスクの重心位置における鉛直方向変位の比較