

茨城県原子力安全対策委員会
東海第二発電所
安全性検討ワーキングチーム(第22回)
ご説明資料

委員からの指摘事項等を踏まえた論点及び 県民意見を踏まえた論点への説明

2022年11月1日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

重大事故等対処設備(サポート系を含む)に係る耐震設計方針について

【説明概要】

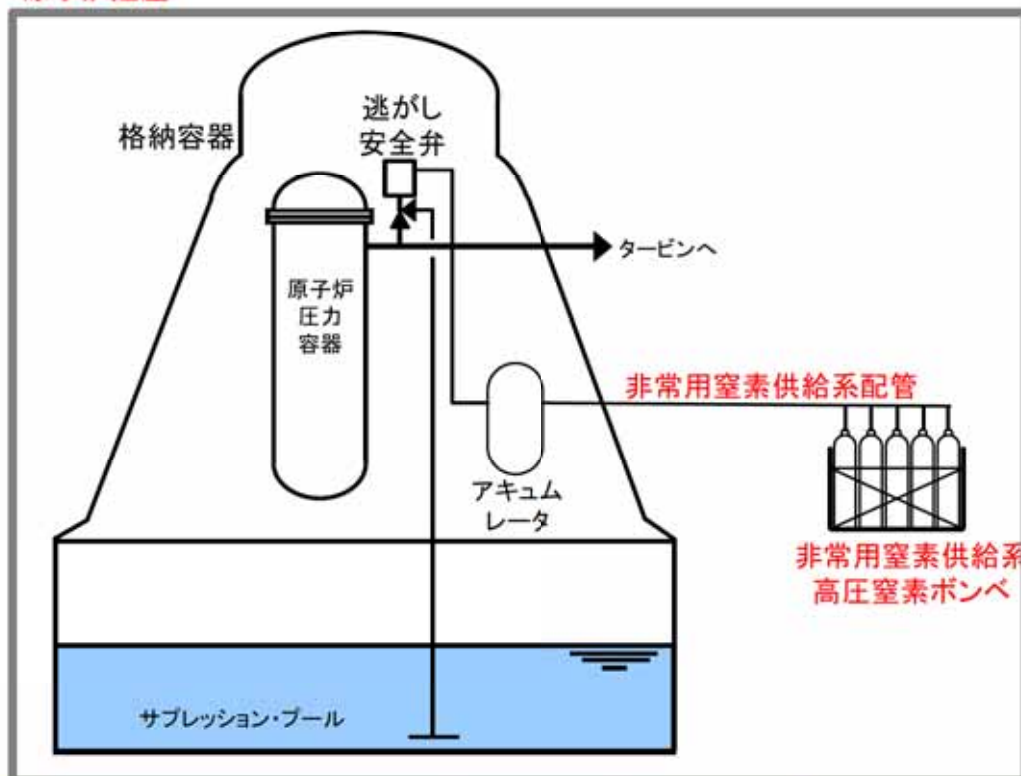
- ・重大事故等対処設備は、各設備の役割に応じ区分され、設備区分に応じた設計用地震力に対する設計が要求されている
- ・非常用窒素供給系配管は、「常設耐震重要重大事故防止設備」に該当し、非常用窒素供給系高圧窒素ポンペは「可搬型重大事故防止設備」に該当するため、いずれも基準地震動 S_s による健全性の確保が要求される。また、これら設備が設置される建物も同様に基準地震動 S_s による健全性の確保が要求される。このため基準地震動 S_s に対する評価を行い、発生値が許容値に収まることを確認した。
- ・フィルタベントは、「常設重大事故緩和設備」に該当し、基準地震動 S_s による健全性の確保が要求される。当該装置を継続して機能するための設備類について基準地震動 S_s による評価を行い、発生値が許容値に収まることを確認した。

○重大事故等対処設備は、要求される機能に応じて、**重大事故等の発生を防止する機能を有する設備**（重大事故防止設備）、又は**事故の拡大を防止しまたその影響を緩和するための設備**（重大事故緩和設備）に区分し、さらに設置方法により常設、可搬に区分される。

○これら設備区分に応じ耐震評価に適用する設計用地震力は下表のとおりとなる。

設備区分		該当する施設 (設備、機能の例)	設計用地震力
重大事故 防止設備	常設耐震重要 重大事故防止設備	重大事故防止設備のうち常設のものであって、重大事故等時において耐震Sクラスに属する設備の機能を代替するもの (代替制御棒挿入機能、高圧代替注水系による原子炉注水)	基準地震動 S_{ss} による地震力
	常設耐震重要重大事故防止施設以外の 常設重大事故防止設備	重大事故防止設備のうち常設のものであって、重大事故等時において耐震Bクラス及び耐震Cクラスに属する設備の機能を代替するもの (使用済燃料プール水位・温度監視設備(主要監視設備の代替機能))	代替する設備の耐震クラス(Bクラス又はCクラス)に対する地震力 ・Bクラスを代替する設備: $2.4C_i^*$ ・Cクラスを代替する設備: $1.2C_i$ *: 共振する可能性がある設備: $S_d \times 1/2$
	可搬型重大事故防止設備	重大事故防止設備のうち可搬型のもの (可搬型代替注水中型/大型ポンプ、可搬型代替低圧電源装置)	基準地震動 S_{ss} による地震力
	常設耐震重要重大事故防止設備及び可搬型重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設	常設耐震重要重大事故防止設備及び可搬型重大事故防止設備が設置される建物・構築物及び土木構造物 (原子炉建屋)	基準地震動 S_{ss} による地震力
重大事故 緩和設備	常設重大事故 緩和設備	重大事故緩和設備のうち常設のもの (格納容器圧力逃がし装置)	基準地震動 S_{ss} による地震力
	可搬型重大事故 緩和設備	重大事故緩和設備のうち可搬型のもの	基準地震動 S_{ss} による地震力
	常設重大事故緩和設備及び可搬型重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設	常設重大事故緩和設備及び可搬型重大事故緩和設備が設置される建物・構築物及び土木構造物	基準地震動 S_{ss} による地震力

原子炉建屋



- 非常用窒素供給設備*のうち、非常用窒素供給系配管は「常設耐震重要重大事故防止設備」に、非常用窒素供給系高圧窒素ポンベは「可搬型重大事故防止設備」に該当するため、いずれも基準地震動 S_s による地震力を用いた評価を行い、発生値が許容値に収まることを確認している。
- また、これら設備が設置される原子炉建屋についても、「常設耐震重要重大事故防止設備等」が設置される建物として基準地震動による地震力により発生値が許容値に収まることを確認している。

* 減圧手段の強化の一つとして、逃がし安全弁に動作に必要な窒素が喪失した場合でも、非常用窒素供給系高圧窒素ポンベにより、逃がし安全弁に窒素を供給することで、逃がし安全弁を動作させ、原子炉を減圧させることができるようにする。

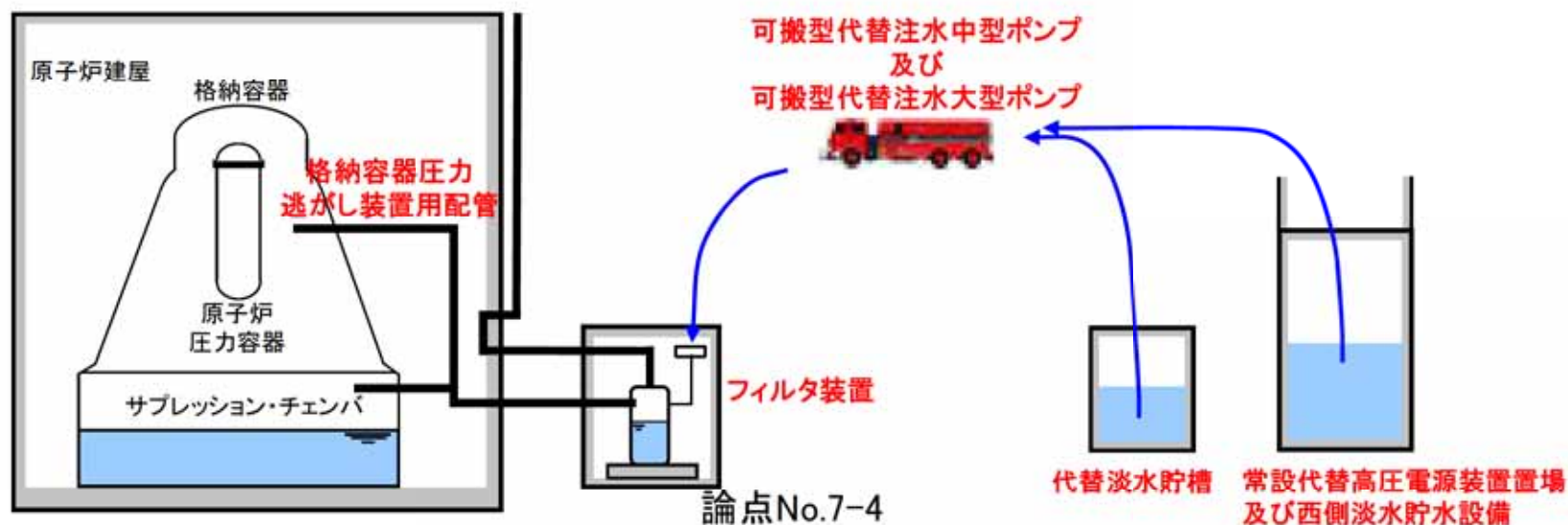
評価対象設備 (設備区分)	設計用 地震力	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
非常用窒素供給系配管 (常設耐震重要重大事故防止設備)	S_s	構造強度	配管本体	一次応力	144 MPa	371 MPa
非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ (可搬型重大事故防止設備)	S_s	構造強度	アンカプレート	せん断	13 MPa	70MPa
原子炉建屋 (常設耐震重要重大事故防止設備等が 設置される重大事故等対処施設)	S_s	構造強度	耐震壁	せん断ひずみ	0.60×10^{-3}	2.0×10^{-3}

格納容器圧力逃がし装置及び関連設備の耐震評価結果

- 格納容器圧力逃がし装置(フィルタ装置及び格納容器圧力逃がし装置用配管)は、「常設重大事故緩和設備」に該当するため、基準地震動 S_s による地震力を用いた評価を行い、**発生値が許容値に収まることを確認**している。
- また、フィルタ装置が継続して機能するために必要となる設備類についても、基準地震動 S_s による地震力に対して機能が必要であることから**発生値が許容値に収まることを確認**している。

評価対象施設	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
フィルタ装置	構造強度	スカート	組合応力	50 MPa	194 MPa
格納容器圧力逃がし装置用配管	構造強度	配管本体	一次応力	197 MPa	363 MPa
可搬型代替注水大型ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	115 MPa	451 MPa
	機能維持*	可搬型代替注水大型ポンプ	応答加速度(水平)	1.08 G	1.52 G
可搬型代替注水中型ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	141 MPa	178 MPa
	機能維持*	可搬型代替注水中型ポンプ	応答加速度(鉛直)	0.58 G	0.89 G
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	曲げ軸力(鉄筋)	316 N/mm ²	435 N/mm ²
代替淡水貯槽	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	曲げ軸力(鉄筋)	360 N/mm ²	435 N/mm ²

* : 加振試験により機能維持を確認



【論点No.7】

重大事故等対処設備(サポート系を含む)に係る耐震設計方針について

【委員からの指摘事項等】

No.9

P.3

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

高圧時の減圧用に窒素で弁を開くとの説明があったが、窒素配管の耐震強度はどれくらいか。

緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策について

【説明概要】

- ・耐震設計に関しては、先行PWRの緊急時対策所にて採用実績のある耐震構造にて、耐震安全性を確保する。
- ・施設内の設備・機器については、耐震評価を行い必要な強度を確保した固定を行う。また、人員については、本部内の机に掴まることで体勢維持し安全を確保する。

1. 緊急時対策所設備の概要と建物緊急時対策所に耐震構造を採用した理由

- 緊急時対策所に要求される厳しい設計条件に対して、先行PWR電力の緊急時対策所にて実績のある耐震構造を採用することにより、耐震性を十分確保する設計とした。耐震構造を採用することで耐震安全性が確保可能と考えている。

2. 緊急時対策所設備の概要と建物

- 緊急時対策所は耐震構造とし、基準地震動 S_s による地震力に対し、機能(遮蔽性, 気密性等)を損なわない設計とする。
- 災害対策本部室の設置されている床(代表: EL.30.30)の加速度は、**最大応答値 656cm/s^2** (S_s -31 試験施工のばらつきを考慮(+ σ)のケースの応答値)となり、同床に配置されている机等には適切に固縛, 転倒防止措置等を施し、機能が喪失しない設計とする。他床も適切に評価を行っている。

EL.(m)	最大応答加速度 (cm/s^2)		
	NS方向	EW方向	UD方向
51.00	732	766	700
43.50	690	736	665
37.00	671	692	631
30.30	650	656	595
23.30	630	631	530
20.80	626	627	524

項目	基本仕様
1 建屋構造	・鉄筋コンクリート造(耐震構造)
2 階層	・4階建て
3 建屋延床面積／災害対策本部室床面積	・建屋: 約 $4,000\text{m}^2$ ／災害対策本部室: 約 350m^2 宿泊・休憩室: 約 70m^2
4 耐震強度	・基準地震動 S_s で機能維持
5 耐津波	・防潮堤内側, 発電所構内高台(T.P.+約23m)に設置
6 中央制御室との共通要因による同時機能喪失防止	・中央制御室との十分な離隔(約320m) ・中央制御室と独立した機能(電源設備及び換気設備は独立した専用設備)
7 電源設備	・通常電源設備: 常用所内電気設備, 非常用所内電気設備(通信連絡設備等の負荷のみ) ・代替電源設備: 緊急時対策所用発電機(2台)
8 遮蔽, 放射線管理	・建屋外壁等十分な壁厚を確保した遮蔽設計 ・よう素除去フィルタ付非常用換気設備の設置 ・ブルーム通過時の加圧設備の設置 ・加圧判断のためのエリアモニタ, 可搬型モニタリング・ポストの配備 ・居住性確認のための酸素濃度計及び二酸化炭素濃度計の配備 ・チェンジングエリアの設置
9 原子炉施設の情報	・対策に必要な情報を表示するデータ表示装置の設置
10 通信連絡	・発電所内・外の必要のある箇所と必要な連絡を行うための通信連絡設備の設置
11 食料, 飲料水等	・7日間必要とされる食料, 飲料水等を配備

緊急時対策所の建屋概要



3. 施設内の設備・機器等及び人員に係る耐震上の評価及び対策について

○緊急時対策所の耐震設計を実施するにあたり、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、各種の不確かさを十分に考慮した東海第二発電所の基準地震動 S_s （8波）を策定した。この基準地震動 S_s （8波）による地震力に対し、緊急時対策所建屋及び建屋内の設備の機能が損なわれないよう、耐震構造を採用することで耐震安全性を確保した。

○緊急時対策所に新たに配備する机、OA機器、什器及び資機材等（個別の耐震評価は実施されていない）については、緊急時対策所に必要な機能を維持するため、適切な固縛、転倒防止措置を施す。

○施設内の人員に対する安全性を確保する。

地震発生時による緊急時対策所に居住する要員への危険を排除するため、配備する机等には適切に固縛、転倒防止措置等を施し、要員は、机等の固定した物に掴まることで体勢を維持する。^{*1}。

（*1 第13回中央制御室 茨城県原子力安全対策委員会 東海第二発電所安全性検討ワーキングチームにてご説明）

4. まとめ

- ◆緊急時対策所建屋は、地震及び津波等の外部事象に備えて、基準地震動 S_s による地震力に対し機能(遮蔽性, 気密性等)を損なわない設計とする。また、建屋内の各設備も基準地震動 S_s に対して機能を損なわない設計とする。
 - ◆耐震評価を実施していない資機材等については、緊急時対策所に必要な機能を維持するため、適切な固縛, 転倒防止措置を施す。
 - ◆緊急時対策所に居住する要員へ安全性確保のため、地震発生に備えた机等の固縛及び転倒防止措置等を実施する。また、要員は机等の固定した物に掴まることで体勢を維持する。
- これらの対策により、自然災害時においても多数の災害対策要員が緊急時対策所に滞在を続け、プラント状況の把握と発電所内外との通信連絡を確保しつつ、重大事故等対応のための指揮命令が行えることを確認している。

○ 代表的な建物・構築物について、原子炉建屋及び緊急時対策所建屋を例に構造概要を示す。

	原子炉建屋	緊急時対策所建屋
構造概要	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)	鉄筋コンクリート造
基礎	厚さ:約5m (人工岩盤を介して、砂質泥岩である久米層に岩着)	厚さ:2.5m(一部2.2m及び5.7m) (場所打ち鋼管コンクリート杭を介して、砂質泥岩である久米層に岩着)
平面形状		約38m(南北方向)×約36m(東西方向)
高さ		基礎版底面から約30m
図面	<p>図面</p> <p>平面図</p> <p>断面図</p> <p>(NS方向、A-A断面)</p> <p>(EW方向、B-B断面)</p>	<p>杭仕様:材質SKK490, 本数88本(11×9), 径φ1000, 厚さ22mm</p> <p>凡例 ○:杭</p> <p>(杭伏図)</p> <p>平面図</p> <p>断面図</p> <p>(NS方向、A-A断面)</p> <p>(EW方向、B-B断面)</p>
建屋の特徴	建物中央部には原子炉格納容器を囲む円形の壁があり、その外側に二次格納施設である原子炉棟の外壁及び原子炉建屋付属棟の外壁がある。	緊急時対策所建屋2階に、重大事故等の発生時においても、必要な指示及び対策を行う要員がとどまることができる緊急時対策所を設置している。

○ 建物・構築物について基準地震動Ssにおける発生値が許容値に収まることを確認した。

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	検定比
V-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	構造強度	耐震壁	せん断ひずみ	$\times 10^{-3}$	0.6	2.00	0.300
V-2-2-5	使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書	構造強度	杭	曲げモーメント	kN・m/本	2200	2210	0.996
V-2-2-11	緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書	構造強度	杭	鉛直支持力	kN/本	10819	17224	0.629
V-2-2-15-1	主排気筒の耐震性についての計算書	構造強度	鉄塔(主柱材)	軸力+曲げ	- *1	0.915	1.000	0.915
V-2-2-15-2	主排気筒の基礎の耐震性についての計算書	構造強度	杭	鉛直支持力	kN	8641	13193	0.655
V-2-2-17	非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性についての計算書	構造強度	上部構造(柱)	軸力+曲げモーメント+せん断力*	- *1	0.497	1.000	0.497
V-2-2-19	格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書	構造強度	耐震壁(地下外壁)	軸力+曲げモーメント+面内せん断力	- *2	0.557	1.000	0.557
V-2-4-2-1	使用済燃料プールの耐震性についての計算書	構造強度	使用済燃料プール躯体(底版)	面外せん断力	N/mm ²	2.15	3.01	0.715
V-2-7-2-5	非常用ガス処理系排気筒の耐震性についての計算書	構造強度	排気筒サポート	圧縮応力	N/mm ²	131.9	163.2	0.809
V-2-8-4-2	中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書	構造強度	天井スラブ	曲げモーメント	kN・m	142.6	173	0.825
V-2-9-2-2	原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書	構造強度	底部	軸力+曲げモーメント	N/mm ²	1.01	1.06	0.953
V-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書	構造強度	屋根トラス	圧縮応力	N/mm ²	200	208	0.962
V-2-9-3-4	原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書	構造強度	付属棟基礎	軸力+曲げモーメント	$\times 10^3$ kN・m/m	10.9	12.2	0.894

*1: 鉄骨部材における組合せ応力による評価とし、許容値を1とする。
*2: 配筋量に対する必要鉄筋量の比を発生値及び許容値として示す。

別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(1/6)



○ 機器・配管系について基準地震動Ssにおける発生値が許容値に収まることを確認した。

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-6-7-2-4	衛星電話設備(固定型)(緊急時対策所)の耐震性についての計算書	機能維持	衛星電話設備(固定型)(緊急時対策所)	応答加速度(水平)	G	0.67	1.79	2.67
V-2-6-7-2-5	屋外アンテナ(緊急時対策所)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	せん断応力	MPa	5	113	22.60
		機能維持	屋外アンテナ(緊急時対策所)	応答加速度(水平)	G	1.61	8.24	5.11
V-2-6-7-2-6	衛星電話設備用通信機器収納ラック(緊急時対策所)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	39	147	3.76
		機能維持	衛星電話設備用通信機器収納ラック(緊急時対策所)	応答加速度(鉛直)	G	0.61	1.67	2.73
V-2-6-7-3	安全パラメータ表示システム(SPDS)SPDSデータ表示装置の耐震性についての計算書	機能維持	SPDSデータ表示装置	応答加速度(水平)	G	0.67	1.8	2.68
V-2-6-7-4	安全パラメータ表示システム(SPDS)無線通信用アンテナの耐震性についての計算書	構造強度	無線通信用アンテナ(緊急時対策所建屋)	引張応力	MPa	27	123	4.55
		機能維持	無線通信用アンテナ(原子炉建屋側)	応答加速度(鉛直)	G	1.56	3	1.92
V-2-6-7-5	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震性についての計算書	機能維持	IP電話(衛星系)	応答加速度(水平)	G	1.28	1.69	1.32
V-2-6-7-6	統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書	構造強度	衛星アンテナ支持架台の基礎ボルト(1)	引張応力	MPa	67	184	2.74
		機能維持	ODU電源部	応答加速度(鉛直)	G	1.21	2	1.65
V-2-6-7-7	LAN収容架(SA)の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	21	184	8.76
		機能維持	ルータ等	応答加速度(鉛直)	G	1.14	2	1.75
V-2-6-7-8	再循環系ポンプ遮断器の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	49	210	4.28
		機能維持	再循環系ポンプ遮断器(B)	応答加速度(水平)	G	0.92	2.3	2.50
V-2-6-7-9	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	63	202	3.20
		機能維持	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	応答加速度(水平)	G	1.29	2.3	1.78

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-8-2-7	耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	14	147	10.50
		機能維持	耐圧強化ベント系放射線モニタ	応答加速度(水平)	G	1.4	3	2.14
V-2-8-2-8	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(低レンジ)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	3	156	52.00
		機能維持	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(低レンジ)	応答加速度(水平)	G	1.74	3	1.72
V-2-8-2-9	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(高レンジ)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	3	156	52.00
		機能維持	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(高レンジ)	応答加速度(水平)	G	1.74	3	1.72
V-2-8-3-1-1	中央制御室換気系ダクトの耐震性について計算書	構造強度	支持架構	組合応力	MPa	141	280	1.98
V-2-8-3-1-2	中央制御室換気系空調和機ファン、中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	64	184	2.87
		機能維持	ファン原動機	応答加速度(鉛直)	G	0.98	1	1.02
V-2-8-3-1-3	中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	43	190	4.41
V-2-8-3-2-1	管の耐震性についての計算書(中央制御室退避室)	構造強度	MCRS-1	一次応力	MPa	244	468	1.91
V-2-8-3-2-2	中央制御室待避室差圧の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	4	168	42.00
		機能維持	中央制御室待避室差圧	応答加速度(水平)	G	1.34	3	2.23
V-2-8-3-3-1	緊急時対策所換気系ダクトの耐震性についての計算書	構造強度	溶接部	組合応力	MPa	125	141	1.12
V-2-8-3-3-2	管の耐震性についての計算書(緊急時対策所換気系)	構造強度	HAPS-001	一次応力	MPa	216	431	1.99
V-2-8-3-3-3	緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	73	153	2.09
		機能維持	ファン原動機	応答加速度(鉛直)	G	1	1	1.00
V-2-8-3-3-4	緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	せん断応力	MPa	33	118	3.57

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-8-3-3-5	緊急時対策所用差圧の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	8	168	21.00
		機能維持	緊急時対策所用差圧	応答加速度 (水平)	G	1.35	3	2.22
V-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書 (第二弁操作室)	構造強度	PCVVCC-1	一次応力	MPa	213	468	2.19
V-2-8-3-4-2	第二弁操作室差圧の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	5	168	33.60
		機能維持	第二弁操作室差圧	応答加速度 (水平)	G	1.55	3	1.93
V-2-9-2-1	原子炉格納容器の耐震性についての計算書	構造強度	P6:底部のフランジブ レートとの接合部	座屈	-	0.98	1	1.02
V-2-9-2-3	上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書	構造強度	シアプレート	組合応力	MPa	259	275	1.06
V-2-9-2-4	下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震性についての計算書	構造強度	シアプレート	組合応力	MPa	219	275	1.25
V-2-9-2-5	原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書	構造強度	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	MPa	256	317	1.23
V-2-9-2-6	機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書	構造強度	ドライウェル円錐胴と補 強板との接合部	疲労評価	-	0.57	1	1.75
V-2-9-2-7	所員用エアロックの耐震性についての計算書	構造強度	ドライウェル円錐胴と補 強板との接合部	疲労評価	-	0.056	1	17.85
V-2-9-2-8	サブプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	構造強度	サブプレッションチェンバ 円筒胴と補強板との結 合部	疲労評価	-	0.428	1	2.33
V-2-9-2-9	配管貫通部の耐震性についての計算書	構造強度	X-31(P1原子炉格納容 器胴とスリーブとの結 合部)	一次膜+一次曲げ応 力	MPa	267	348	1.30
V-2-9-2-10	電気配線貫通部の耐震性についての計算書	構造強度	格納容器胴とスリーブ との接合部	疲労評価	-	0.378	1	2.64
V-2-9-2-11	サブプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書	構造強度	底部ライナ部P2周辺部	膜ひずみ	-	0.00044	0.003	6.81
V-2-9-3-2	原子炉建屋大物搬入口の耐震性についての計算書	構造強度	押し込みローラ部ベア リング	支圧	MPa	648	663	1.02
V-2-9-3-3	原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書	構造強度	ヒンジピン	組合応力	MPa	189	530	2.80
V-2-9-4-1	ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	構造強度	柱	圧縮応力	N/mm ²	117.2	144	1.22

別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所) (4/6)



目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-10-1-4-5-2	常設代替高圧電源装置制御盤(No.6)の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	64	525	8.20
		機能維持	発電機	応答加速度(鉛直)	G	0.42	1.14	2.71
V-2-10-1-4-6	管の耐震性についての計算書(常設代替高圧電源装置)	構造強度	C-01-1360-107	一次応力	MPa	66	446	6.75
V-2-10-1-5-1	緊急時対策所用発電機内燃機関の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	122	210	1.72
V-2-10-1-5-2	緊急時対策所用発電機燃料油サービスタンクの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	18	210	11.66
V-2-10-1-5-3	緊急時対策所用発電機給油ポンプの耐震性についての計算書	構造強度	ポンプ取付ボルト	引張応力	MPa	12	207	17.25
		機能維持	逃し弁	応答加速度(水平)	G	0.65	1	1.53
V-2-10-1-5-4	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンクの耐震性についての計算書	構造強度	ポンプ取付ボルト	引張応力	MPa	264	487	1.84
V-2-10-1-5-5	緊急時対策所用発電機の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	81	210	2.59
		機能維持	緊急時対策所用発電機	応答加速度(鉛直)	G	0.55	1	1.81
V-2-10-1-5-6	緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	147	385	2.61
		機能維持	緊急時対策所用発電機制御盤	応答加速度(水平)	G	0.65	1.3	2.00
V-2-10-1-6-1	非常用無停電電源装置の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	67	168	2.50
		機能維持	非常用無停電電源装置	応答加速度(鉛直)	G	0.8	3	3.75
V-2-10-1-6-2	緊急用無停電電源装置の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	67	168	2.50
		機能維持	緊急用無停電電源装置	応答加速度(鉛直)	G	0.8	3	3.75
V-2-10-1-6-3	125V系蓄電池A系/B系の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	42	165	3.92
V-2-10-1-6-4	125V系蓄電池 HPCS系の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	66	165	2.50

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-10-1-7-10	緊急用計装交流主母線盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	71	168	2.36
		機能維持	緊急用計装交流主母線盤	応答加速度(鉛直)	G	0.8	2	2.50
V-2-10-1-7-11	緊急用電源切替盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	90	156	1.73
		機能維持	緊急用交流電源切替盤B	応答加速度(鉛直)	G	1	2	2.00
V-2-10-1-7-12	緊急用無停電計装分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	せん断応力	MPa	23	113	4.91
		機能維持	緊急用無停電計装分電盤	応答加速度(鉛直)	G	0.83	3	3.61
V-2-10-1-7-13	緊急用直流125V充電器の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	61	168	2.75
		機能維持	緊急用直流125V充電器	応答加速度(鉛直)	G	0.8	1	1.25
V-2-10-1-7-14	緊急用直流125V主母線盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	32	168	5.25
		機能維持	緊急用直流125V主母線盤	応答加速度(鉛直)	G	0.8	2	2.50
V-2-10-1-7-15	緊急用直流125Vモータコントロールセンタの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	62	168	2.70
		機能維持	緊急用直流125Vモータコントロールセンタ	応答加速度(鉛直)	G	0.83	2	2.40
V-2-10-1-7-16	緊急用直流125V計装分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	53	138	2.60
		機能維持	緊急用直流125V計装分電盤	応答加速度(鉛直)	G	0.83	3	3.61
V-2-10-1-7-17	常設代替高圧電源装置連隔操作盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	37	210	5.67
		機能維持	常設代替高圧電源装置連隔操作盤	応答加速度(鉛直)	G	0.84	5	5.95
V-2-10-1-7-18	緊急時対策所用メタルクラッド開閉装置の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	46	210	4.56
		機能維持	緊急時対策所用メタルクラッド開閉装置	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-10-1-7-19	緊急時対策所用動力変圧器の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	90	210	2.33
V-2-10-1-7-20	緊急時対策所用パワーセンタの耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	40	210	5.25
		機能維持	緊急時対策所用パワーセンタ	応答加速度(鉛直)	G	1.17	1.64	1.40
V-2-10-1-7-21	緊急時対策所用モータコントロールセンタの耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	31	210	6.77
		機能維持	緊急時対策所用モータコントロールセンタ	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70
V-2-10-1-7-22	緊急時対策所用100V分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	10	210	21.00
		機能維持	緊急時対策所用100V分電盤2-2	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70
V-2-10-1-7-23	緊急時対策所用直流125V主母線盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	32	210	6.56
		機能維持	緊急時対策所用直流125V主母線盤	応答加速度(鉛直)	G	1.17	1.64	1.40
V-2-10-1-7-24	緊急時対策所用直流125V分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	31	210	6.77
		機能維持	緊急時対策所用直流125V分電盤	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70
V-2-10-1-7-25	緊急時対策所用災害対策本部操作盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	14	210	15.00
		機能維持	緊急時対策所用災害対策本部操作盤	応答加速度(鉛直)	G	1.14	2	1.75
V-2-10-1-7-26	緊急時対策所用非常用換気空調設備操作盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	28	210	7.50
		機能維持	制御盤他	応答加速度(鉛直)	G	1.14	2	1.75
V-2-10-1-7-27	可搬型代替低圧電源車接続盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	56	168	3.00
V-2-10-1-7-28	可搬型代替直流電源設備用電源切替盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	28	168	6.00
		機能維持	可搬型代替直流電源設備用電源切替盤	応答加速度(鉛直)	G	0.8	2	2.50

【論点No.8】

緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策について

【委員からの指摘事項等】

No.10

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

緊急時対策所は耐震構造とするとあるが、実際の過去の地震等で経験したもので耐震構造で性能を発揮したという報告はされていない。免震棟は福島で随分効果があったという報告がある。基準地震動に対して建物は大丈夫だとしても、中の人間や機器などが大丈夫という検証は行っているか。免震床など地震動の揺れを遮断、軽減するような対策は考えていないのか。設備・機器等を含めた耐震構造の問題については既に検討されているか。中の応答加速度が大変大きくなるので、それにどう対処するかというあたりを確認したい。

P.2

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.852

(20)緊急時対策所の耐震性(地震)

緊急時対策所建屋は免震構造ではないが、どのようにその機能を確保するか知りたい。

P.3~P.5

No.983

緊急時対策所は、免震構造になっていません。

P.2

* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震評価における具体的な応答解析手法(前提条件等)について

【説明概要】

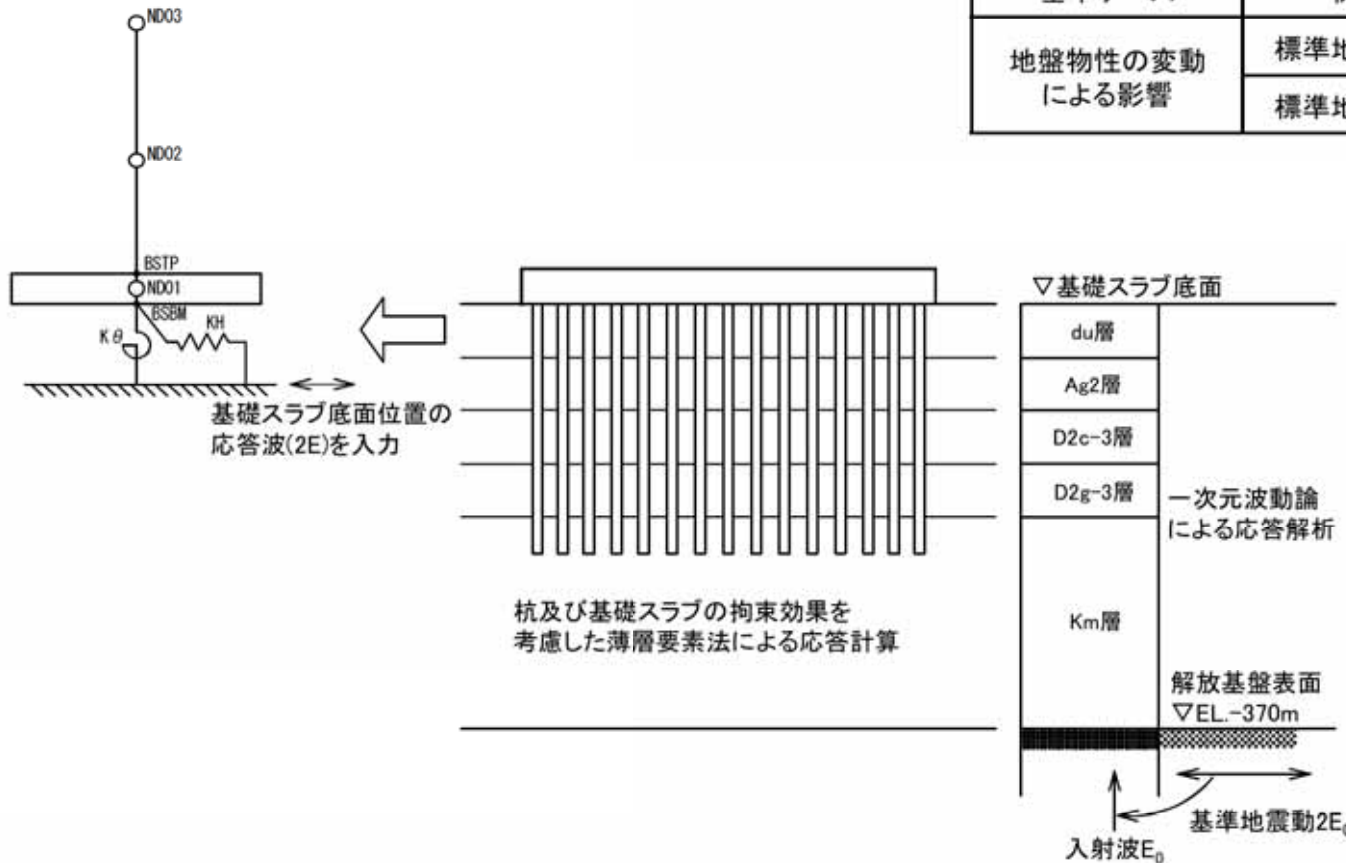
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋では、地盤物性のばらつきを考慮して地震応答解析を実施している。
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価における水平地盤ばねは、水平載荷試験結果に基づき評価した水平地盤反力係数に、基礎指針に基づく群杭係数を乗じて評価している。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析

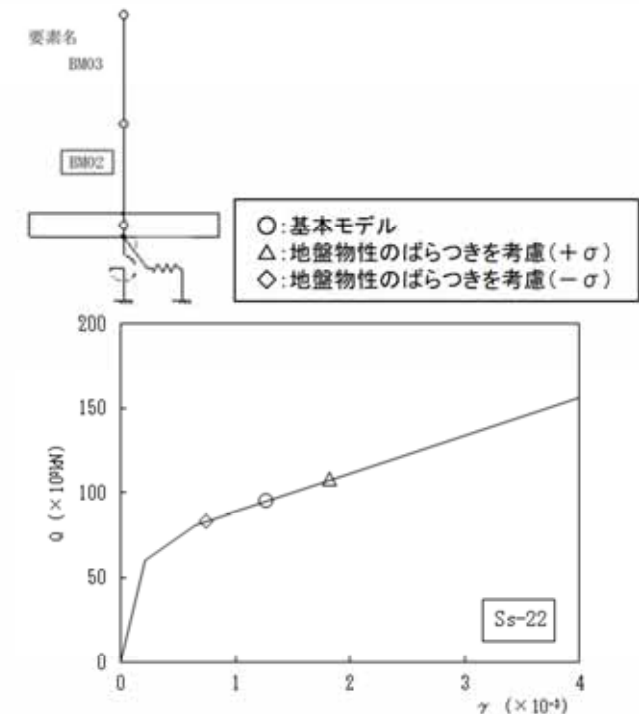
- ・解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s (8波)に基づく入力地震動を質点系モデルに入力して地震応答解析を実施した。
- ・地盤物性のばらつきを考慮した使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁について、全ての基準地震動 S_s に対して各層のせん断ひずみを算出し、許容限界と比較した結果、せん断ひずみが全ての基準地震動 S_s の中で最大となる S_s-22 の場合においても、耐震壁の最大せん断ひずみは 1.82×10^{-3} (要素番号BM02, 地盤物性のばらつき(+ σ), NS方向, S_s-22)であり、波及的影響を及ぼさないための許容限界(4.0×10^{-3} (終局点))を超えないことを確認した。

地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	地盤物性	モデル名称
基本ケース	標準地盤	基本モデル
地盤物性の変動による影響	標準地盤+ σ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(+ σ)
	標準地盤- σ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(- σ)



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)

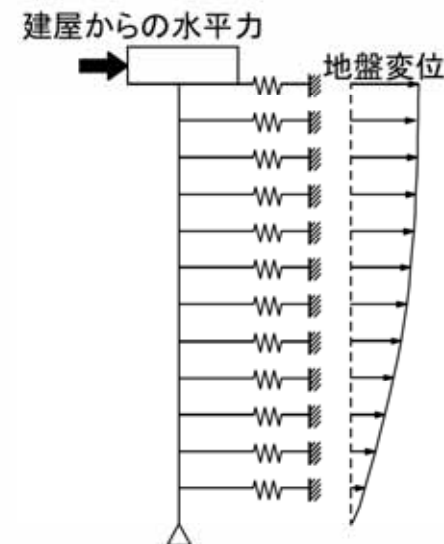


せん断スケルトン曲線上の最大応答値

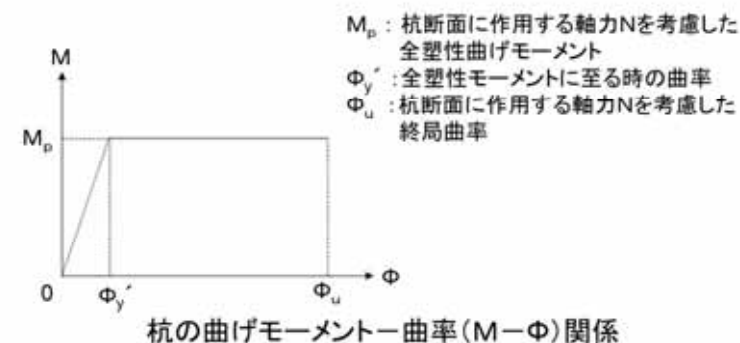
(要素番号BM02, NS方向)

○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価は、基準地震動 S_s に対して支持機能を維持できることを確認するため、非線形はり-非線形地盤ばねモデルを用いた非線形応力解析を実施する。
- ・水平地盤ばねは、水平載荷試験結果に基づき評価した水平地盤反力係数に基礎指針に基づく群杭係数を乗じて評価する。
- ・全ての基準地震動 S_s による建屋の地震応答解析で得られた建屋の水平力の最大値を杭頭位置に、全ての基準地震動 S_s による自由地盤応答解析で得られた地盤変位の最大値を杭の水平地盤ばね位置に入力し、杭に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。
- ・いずれの評価項目も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、**発生応力が許容限界を超えないことを確認した。**
 なお、杭の曲げに対する評価において、実際の許容限界は終局曲率であるが、保守的に評価する観点から全塑性モーメントを許容限界として設定し、杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントを超えないことを確認した。



杭の解析モデル図



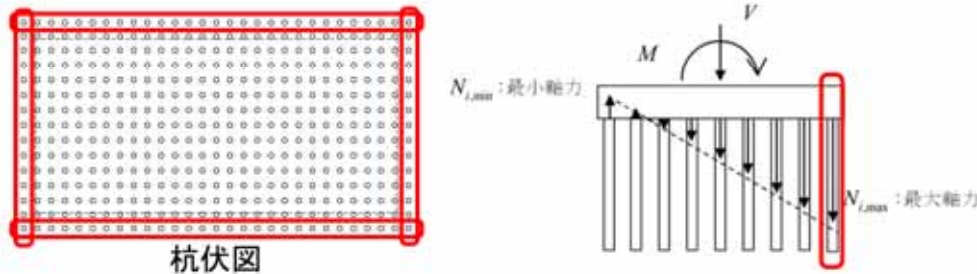
杭の評価結果

評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

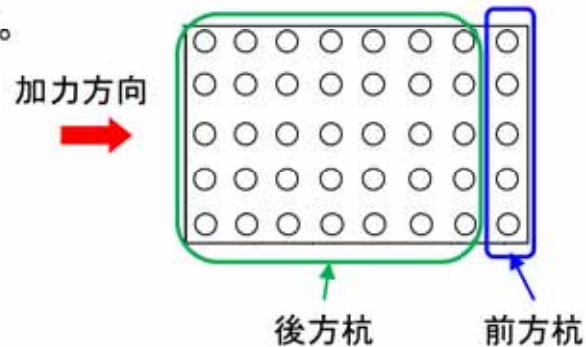
使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価

○ 杭の評価における評価対象位置について

- ・各水平方向において軸力が最大となる最外端位置の杭を対象とする。



- ・杭の評価に用いる水平地盤ばねは、水平載荷試験結果に基づき評価した水平地盤反力係数に基礎指針に基づく群杭係数を乗じて評価する。
- ・評価の際に乗じる群杭係数は、水平地盤ばね反力が小さくなるよう、後方杭における群杭係数を前方杭にも用いる。

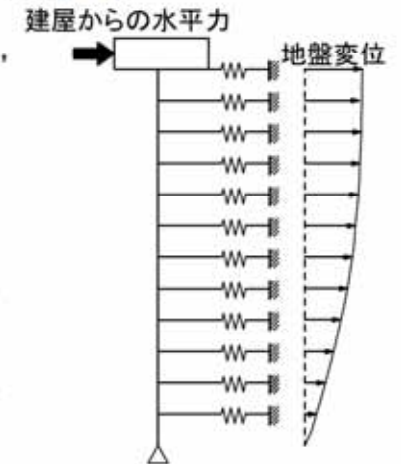


杭位置による前方杭と後方杭の区分

杭に作用する荷重条件が厳しくなる杭位置は、加力方向に対して前方杭である。

○ 杭の評価における保守性について

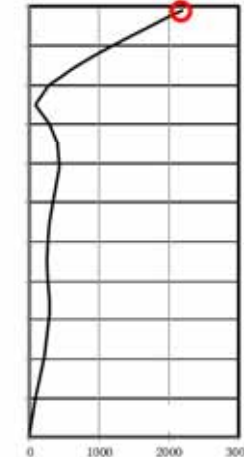
- ・杭応力に対する評価においては、杭径及び板厚が同一の杭であることから、1本の杭に代表させて評価を実施する。



杭の解析モデル図

- ・建屋からの水平力は、全ての基準地震動 S_s による地震応答解析結果より得られた水平力の最大値を杭1本あたりの荷重として杭頭位置に入力する。

- ・地盤変位については、全ての基準地震動 S_s に対する自由地盤応答解析より得られる杭先端位置に対する地盤の相対変位の最大値を強制変位として水平地盤ばね位置に入力する。



S_s 地震時の杭応力分布 (曲げモーメント)

- ・ S_s 地震時に発生する曲げモーメントは、杭頭位置で最大値を示しており、この曲げモーメントに対して許容値と比較し、評価を実施した。

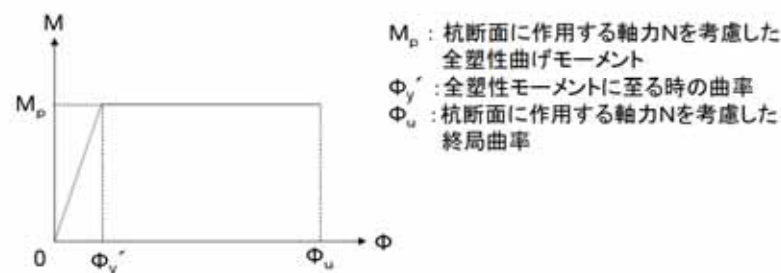
杭に作用する荷重が保守的な条件となるよう、地震波毎や作用位置毎ではなく、全ての最大値を取るよう設定した。

○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

・いずれの評価項目も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

杭の曲げに対する評価において、実際の許容限界は終局曲率であるが、保守的に評価する観点から全塑性モーメントを許容限界として設定し、杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントを超えないことを確認した。

なお、実際の許容限界である終局曲率に対する検定比は0.246であり、1に対して十分な余裕を有しており、今回の解析モデルにより杭を適切に評価できている。



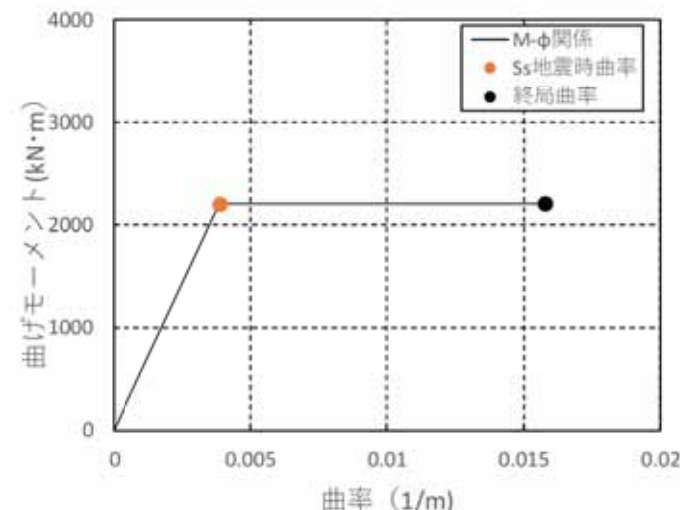
杭の曲げモーメント-曲率(M-φ)関係

※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。そのため、杭の曲げに対する評価では終局曲率に対して余裕のある結果であれば耐震設計上問題となるものではない。

杭の評価結果

評価項目	Ss地震時の発生値	許容値 (全塑性モーメント)	検定比
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996

評価項目	Ss地震時の発生値	終局曲率	Ss地震時の発生値 / 終局曲率
曲率	0.389×10^{-2} (1/m)	1.58×10^{-2} (1/m)	0.246



【論点No.9】

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震評価における具体的な応答解析手法(前提条件等)について

【委員からの指摘事項等】

No.11

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価において、地盤ばねはどのように考慮されているのか。ばらつきがあればどのように応答が変動するのか。地盤ばねがどういう状態で、一番不利な条件としているのか等について、具体的に説明すること。

P.2, 3

【論点No.9】

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震評価における具体的な応答解析手法(前提条件等)について

【委員からの指摘事項等】

<第20回ワーキングチーム指摘事項>

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

使用済燃料乾式貯蔵建屋を支持する杭の耐震評価におけるモデル化の考え方(より丁寧なモデルとする必要性)について説明すること。

P.3~5

耐震評価における具体的な保守性及び許容値等に対する余裕度について

【説明概要】

- ・耐震評価において有する余裕を示すとともに、原子炉格納容器の座屈評価を例示として整理した。原子炉格納容器の座屈評価の工事計画の耐震計算において発生値が許容値に近接しているが、許容値の設定及び発生値の算定に余裕を有していることを確認した。
- ・ブローアウトパネル閉止装置チェーンの耐震評価に用いた発生値及び許容値の設定方法について整理した。
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価について、基準地震動 S_s における曲率の発生値は終局曲率に対して0.246であることを確認した。

耐震評価において、以下に示す許容値の設定時における余裕、許容値と発生値との差により生じる余裕、発生値に算定時における余裕を有している。

(許容値の設定時における余裕)

- ㊦ 耐震設計時の判定の基準となる許容値は、実際に施設(建物、機器等)が壊れる限界値に対し、保守性を持たせた値を設定

(許容値と発生値との差により生じる余裕)

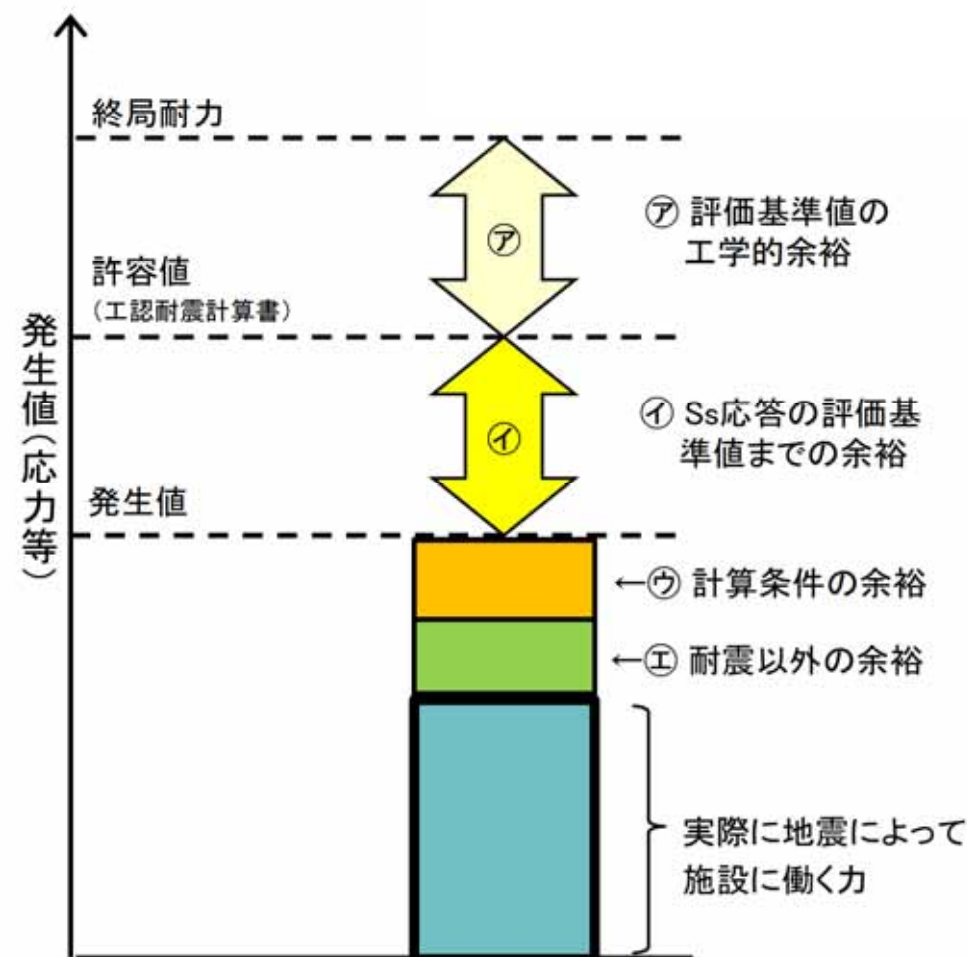
- ㊧ 許容値に対して工学的な判断のもと持たせる余裕

(発生値の算定時における余裕)

- ㊨ 地震によって働く力を計算する過程で、評価値が非安全側とならないように計算条件の設定等を保守的に設定
- ㊩ 耐震以外の条件や計算手法を保守的に設定



工事計画の耐震計算書において、許容値と発生値との差(上記㊧)が小さい格納容器の座屈評価について、耐震評価で有する保守性として上記㊦、㊨、㊩による余裕を説明する。



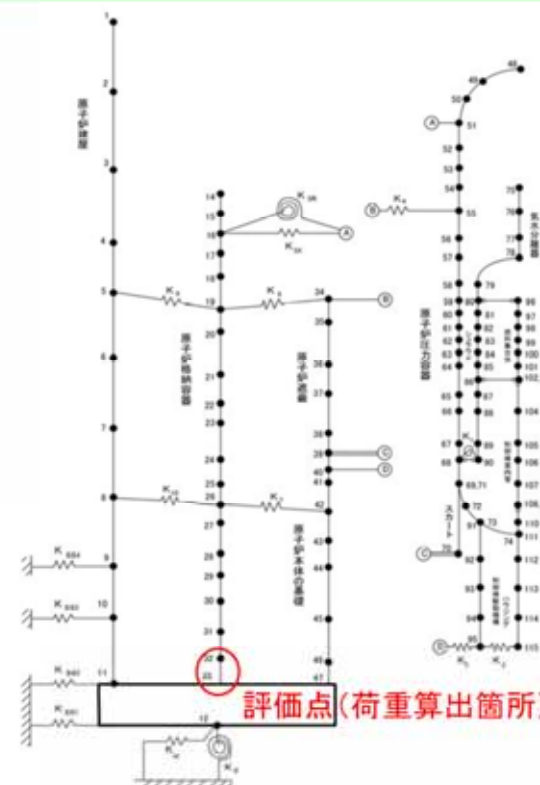
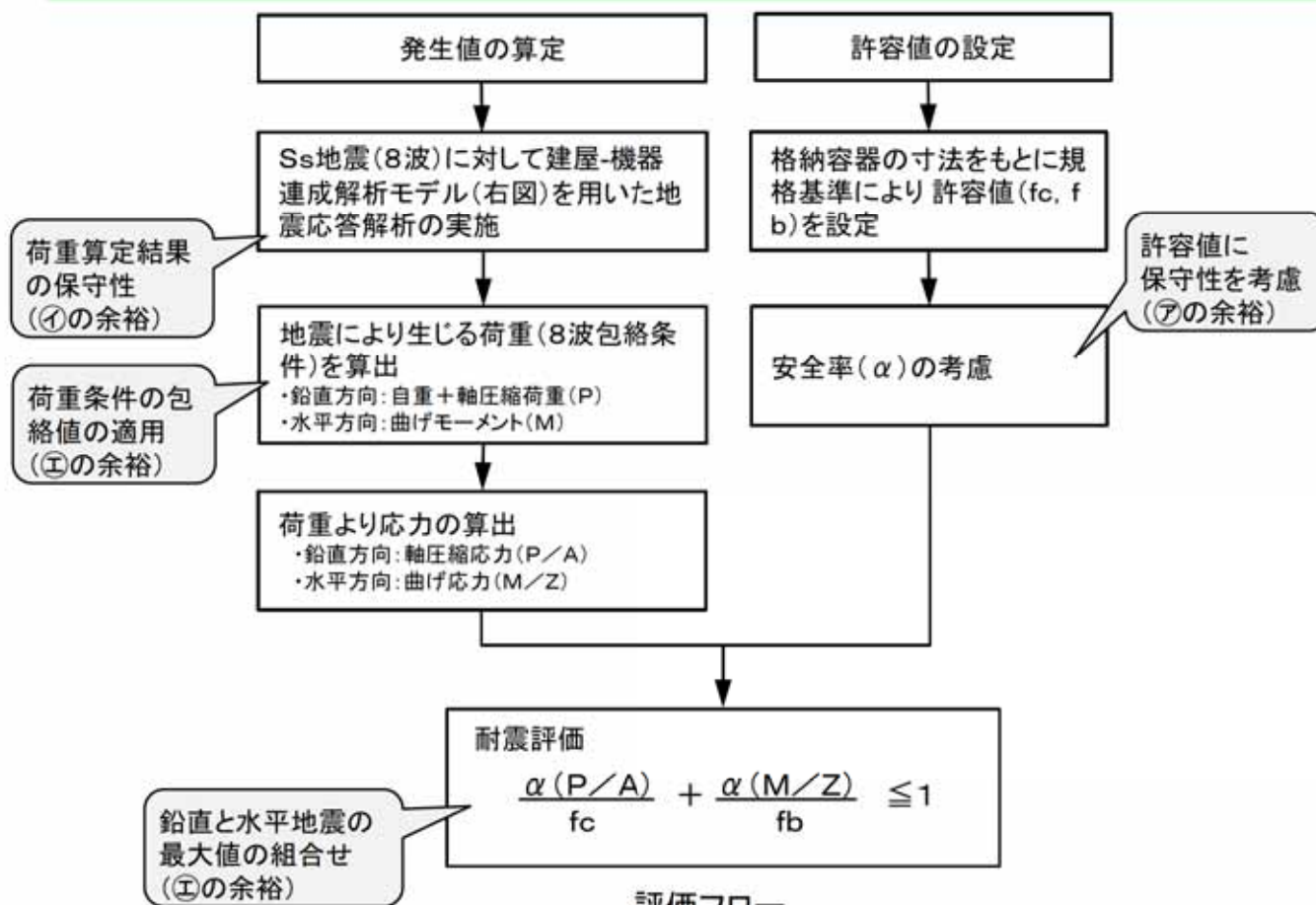
耐震評価で有する保守性(イメージ図)

原子炉格納容器の座屈評価における保守性(評価の流れ)

- 原子炉格納容器の底部とフランジプレートとの接合部の座屈評価において、発生値(0.98)に対して、許容値(1)が近接している結果となっている。
- 格納容器の座屈評価では、鉛直地震による許容値に対する発生値の比率と水平地震による許容値に対する発生値の比率の和が1以下であることを確認している。

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
原子炉格納容器	構造強度	底部とフランジプレートとの接合部	座屈	0.98	1

注 耐震計算の各段階では、評価結果が厳しくなるように各種条件を設定しており、以下評価フローに示すとおり許容値の設定及び発生値の算定には保守性を有している。



建屋-機器連成解析モデル図

評価フロー

ア 耐震設計時の判定の基準となる許容値は、実際に施設が壊れる限界値に対し、保守性を持たせた値を設定

- 座屈評価に用いる許容値は、座屈に重要なパラメータR(半径)/t(板厚)に対して、海外で実施された**広範な座屈実験により定められた下限曲線をもとに設定されている。**
- さらに格納容器の耐震評価に適用している座屈評価式では、**安全率として1.5を考慮したものとなっている。**

【座屈の評価式】

$$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b} \leq 1$$

- P: Ss地震及び自重による軸圧縮荷重(N)
- A: 断面積(mm²)
- M: Ss地震による曲げモーメント(N・mm)
- Z: 断面係数(mm³)
- f_c: 半径(R)/板厚(t)の相関(K_c)により求まる軸圧縮応力に対する許容値(MPa)
- f_b: R/tの相関により求まる曲げ応力に対する許容値(MPa)
- α: 安全率(1.5)

参考文献: 原子力発電所耐震技術指針重要度分類・許容応力編JEAG4601・補-1984

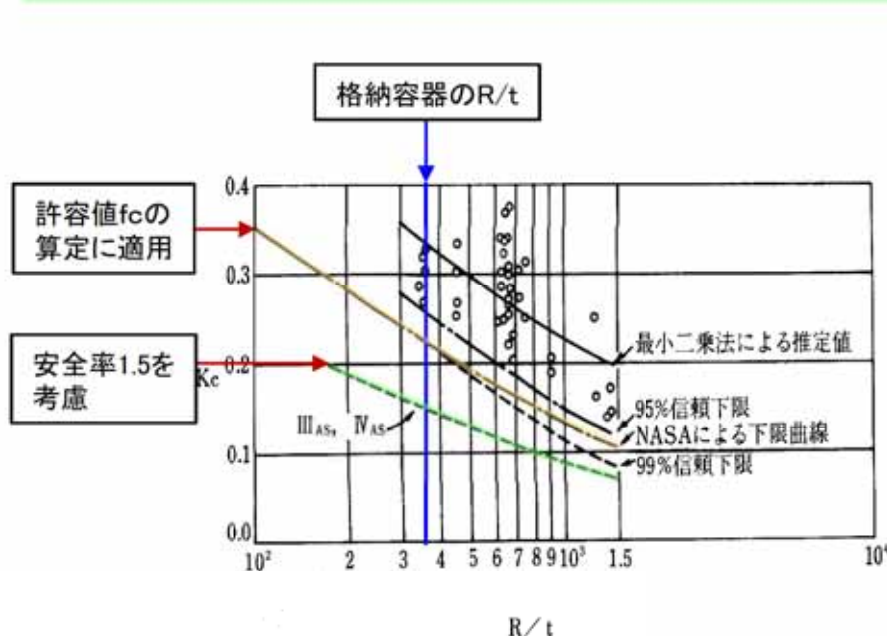
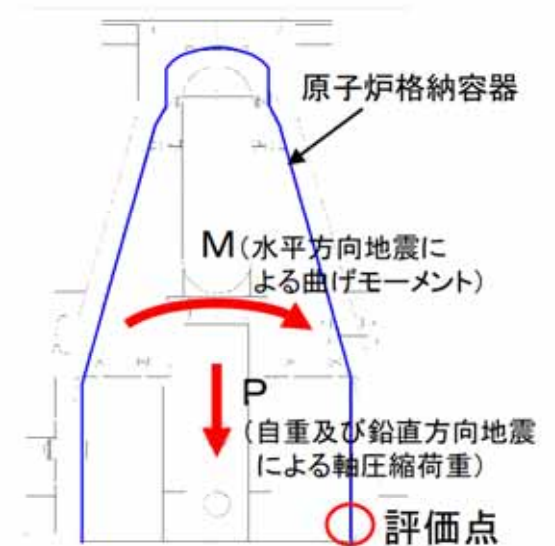


図 II - 1 軸圧縮座屈応力値の実験データによる下限曲線

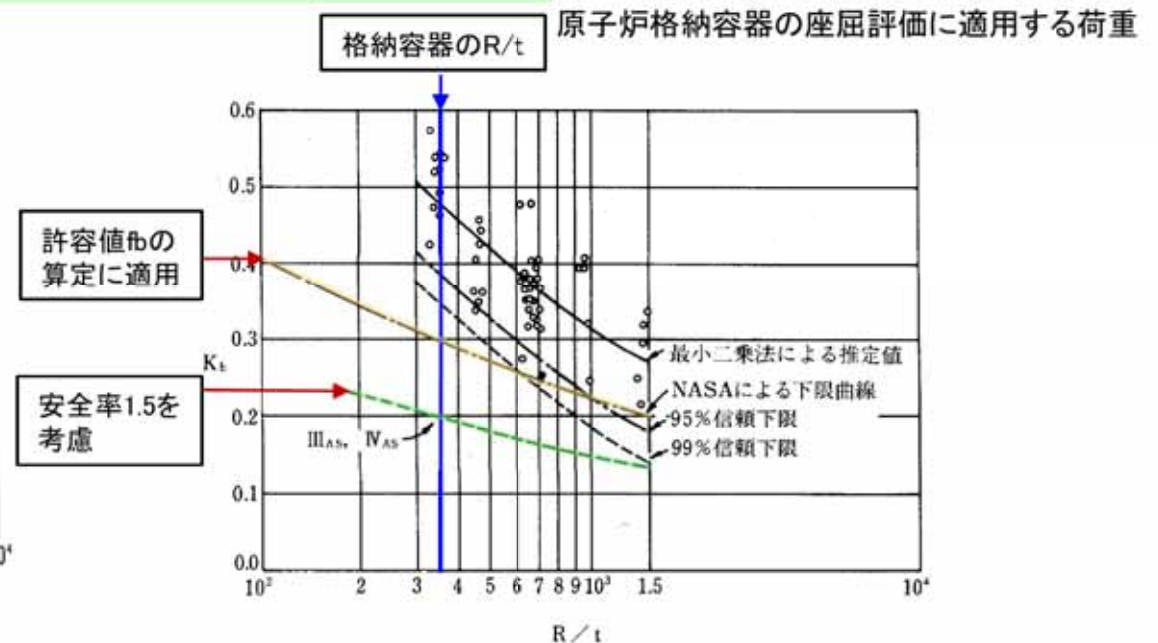


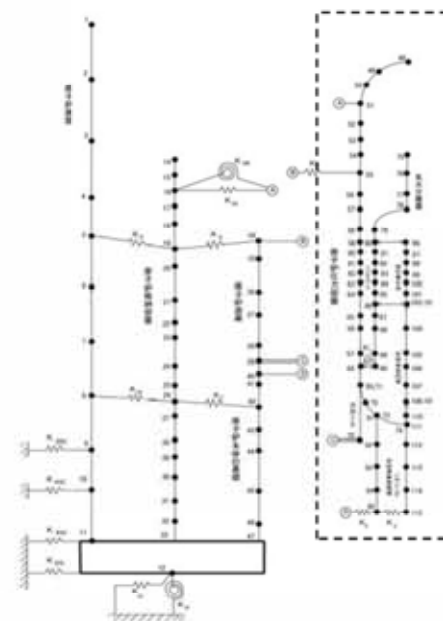
図 II - 2 曲げ座屈応力値の実験データによる下限曲線

㊦ 地震によって働く力を計算する過程で、評価値が非安全側とならないように計算条件の設定等を保守的に設定

- ・ 座屈評価に適用する荷重算定に用いる解析モデルは、質点重量等を保守的に設定することで、安全側に大きな荷重として算定されるようにしている。
- ・ 解析による応答値の算出が保守的に算定されることは、財団法人原子力発電技術機構多度津工学試験センター(当時)にて実施された大型振動台を用いた試験結果との比較により確認がされている。

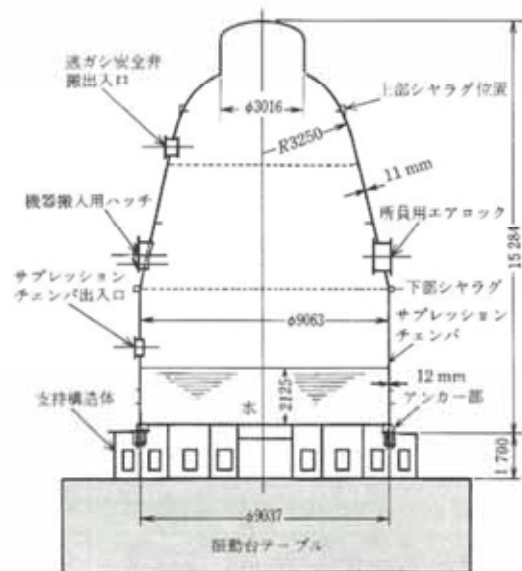
【当該試験の概要】

- 当該試験では、試験より得られる発生応力(下表:実測値)と解析より得られる発生応力(下表:設計解析値)とを比較し、**解析より得られる発生応力が試験より得られる発生応力を上回り安全側の結果となることを確認。**
- この検討に用いた解析より得られる発生応力の算定は、東海第二発電所を含めBWRプラントで一般的に適用される建屋と機器とを連成させた解析モデルの応答を用いた評価を適用

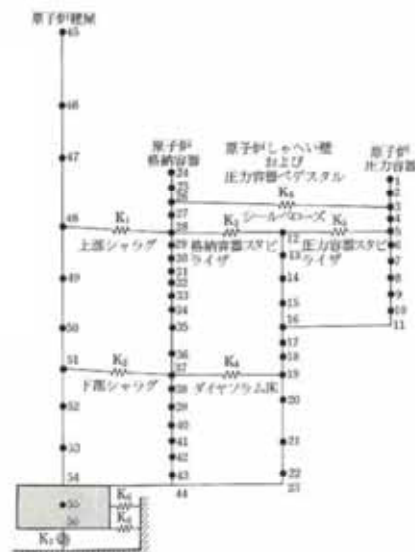


東海第二発電所の解析モデルでは原子炉内部構造物を詳細にモデル化しているが、その他のモデル化は試験体解析モデルと同様である。

東海第二発電所解析モデル(水平方向)



試験体全体概要図
(縮尺1:3.2)



試験体解析モデル(水平方向)

PCV主要部の軸方向最大応力の比較(S₂波加力)(単位:kgf/mm²)

測定位置	応力		設計解析値
	実測値	内面	
サプレッションチェンバ基部シェル	2.8	3.7	7.2
円筒-円錐接合部	8.9	2.8	12.3
PCV円錐部シェル	2.3	0.8	2.9

㊦ 耐震以外の条件や計算手法を保守的に設定

① 鉛直地震による最大値と水平地震による最大値との組合せ

- 地震により発生する荷重は、交差的に発生する荷重であり最大荷重は瞬間的に発生するため、**水平方向地震による最大荷重と鉛直方向地震による最大荷重が同時に発生することは考えにくい。**(図1)
- 座屈評価では、**水平方向地震により最大となる曲げ応力と鉛直方向地震により最大となる軸圧縮応力が同時に発生することを考慮した保守的な評価を実施している。**(図2)

② Ss地震(8波)の荷重条件の包絡値の適用

- 評価に用いる荷重条件は、地震波ごとの荷重条件で評価するのではなく、**全ての地震波における最大値**を用いている。
- 水平方向地震において最大荷重となる地震波と鉛直方向地震において最大荷重となる地震波とは異なっており保守的な評価条件により評価を実施している。(表1)

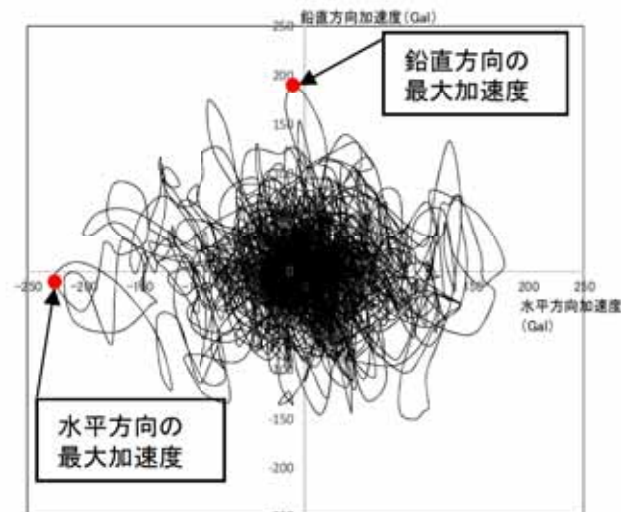


図1 原子炉建屋基礎上でリサーチ波形(東北地方太平洋沖地震における例)

$$\underbrace{\frac{\alpha(P/A)}{f_c}}_{\text{自重及び鉛直方向地震による軸圧縮応力に対する評価}} + \underbrace{\frac{\alpha(M/Z)}{f_b}}_{\text{水平方向地震による曲げ応力に対する評価}} \leq 1$$

図2 座屈の評価式

表1 Ss地震波による地震応答解析結果

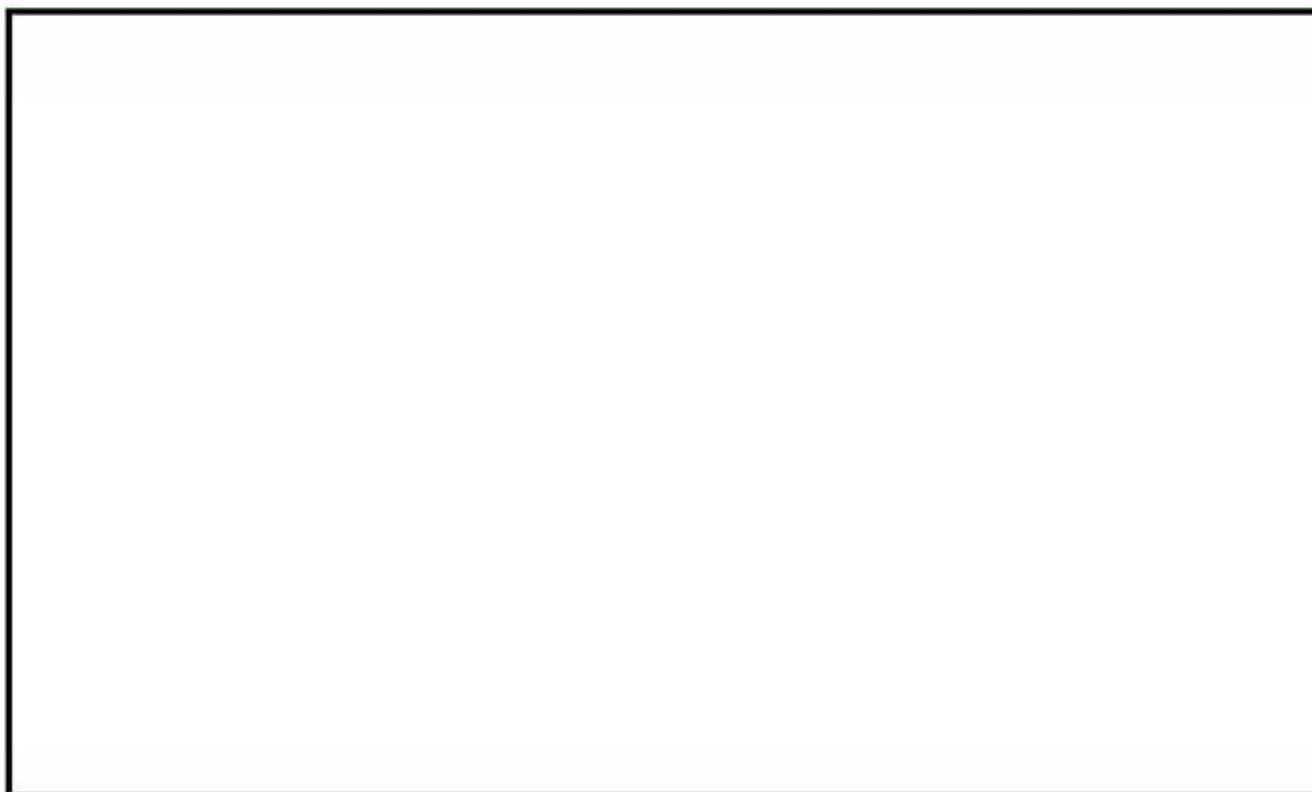
	Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	最大値*
水平地震による曲げモーメント(kN・m)	410000	175000	196000	203000	148000	363000	380000	566000	566000 (Ss-31)
鉛直地震による軸圧縮(kN)	5100	4930	5200	5170	3720	6410	5670	1970	6410 (Ss-21)

*耐震評価には、当該値に地盤物性等のばらつきを考慮したものを適用している。

- ブローアウトパネル閉止装置のチェーンは、加振試験結果を踏まえて設置した門(かぬき)により、構造上伸び量は に制限される。チェーンの地震時の発生荷重(43.8kN)の算定は、この限界まで伸びたことを想定しており、基準地震動Ssによってこれよりも大きな値となることはない。
- 許容値は、日本機械学会の設計・建設規格の許容荷重設定の考え方を適用し、実機に適用する実際のチェーンを試験することにより設定している。今回の工認で用いた許容値(43.83kN)は、チェーンの破断荷重に対して0.6倍した値に最高使用温度と試験温度との差を補正することにより設定しており、実際に破断するまでには余裕を有している。

チェーンの耐震評価結果

発生荷重	許容値
43.8kN	43.83kN



ブローアウトパネル閉止装置用チェーンの試験結果

設計・建設規格における許容荷重設定

許容荷重 A_L は、次の計算式により計算した値を超えないこと。

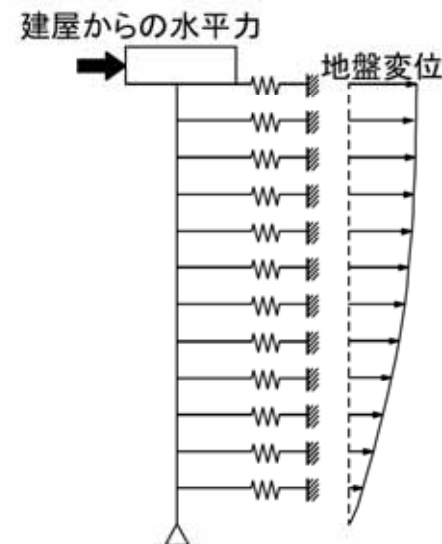
$$A_L = 0.6T_L \times (Syd/Syt)$$

T_L : 荷重試験により破損するおそれのある荷重(試験体3体のうち最小値)

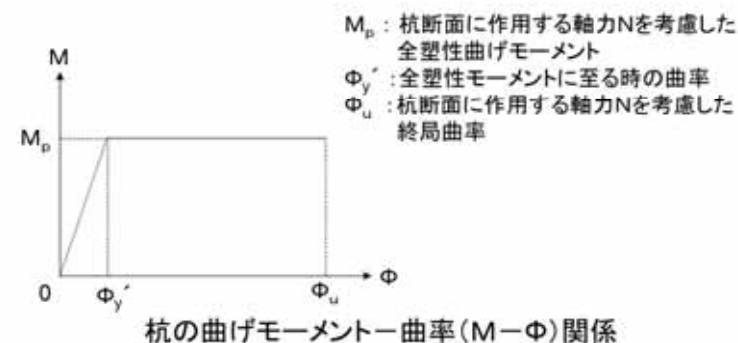
Syd/Syt: 最高使用温度と試験温度との補正值

○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価は、基準地震動 S_s に対して支持機能を維持できることを確認するため、非線形はり-非線形地盤ばねモデルを用いた非線形応力解析を実施する。
- ・水平地盤ばねは、水平載荷試験結果に基づき評価した水平地盤反力係数に基礎指針に基づく群杭係数を乗じて評価する。
- ・全ての基準地震動 S_s による建屋の地震応答解析で得られた建屋の水平力の最大値を杭頭位置に、全ての基準地震動 S_s による自由地盤応答解析で得られた地盤変位の最大値を杭の水平地盤ばね位置に入力し、杭に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。
- ・いずれの評価項目も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、**発生応力が許容限界を超えないことを確認した。**
なお、杭の曲げに対する評価において、実際の許容限界は終局曲率であるが、保守的に評価する観点から全塑性モーメントを許容限界として設定し、杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントを超えないことを確認した。



杭の解析モデル図



杭の評価結果

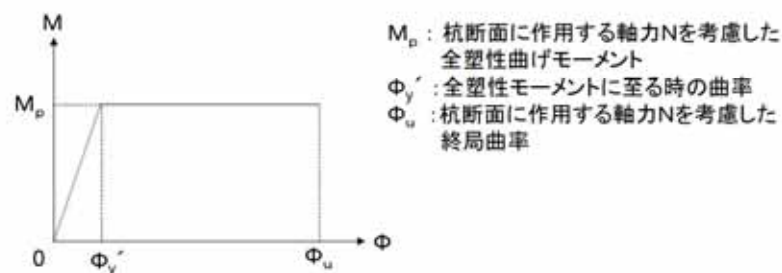
評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

・いずれの評価項目も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

杭の曲げに対する評価において、実際の許容限界は終局曲率であるが、保守的に評価する観点から全塑性モーメントを許容限界として設定し、杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントを超えないことを確認した。

なお、実際の許容限界である終局曲率に対する検定比は0.246であり、1に対して十分な余裕を有しており、今回の解析モデルにより杭を適切に評価できている。



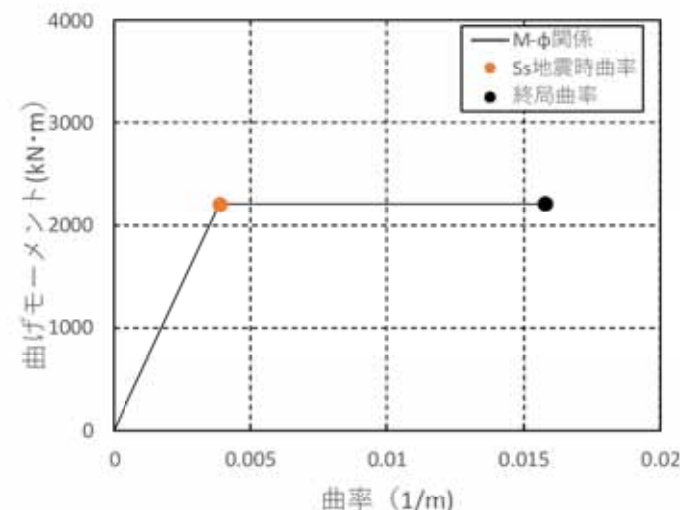
杭の曲げモーメント-曲率 (M-φ) 関係

※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。そのため、杭の曲げに対する評価では終局曲率に対して余裕のある結果であれば耐震設計上問題となるものではない。

杭の評価結果

評価項目	Ss地震時の発生値	許容値 (全塑性モーメント)	検定比
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996

評価項目	Ss地震時の発生値	終局曲率	Ss地震時の発生値 / 終局曲率
曲率	0.389×10^{-2} (1/m)	1.58×10^{-2} (1/m)	0.246



【論点No.10】

耐震評価における具体的な保守性及び許容値等に対する余裕度について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

No.12

原子炉格納容器の構造強度に関し、底部とフランジプレートとの接合部の座屈について余裕度がほとんどないが、問題ないのか。また、ブローアウトパネル閉止装置のチェーンの余裕度もほとんどない。どのように評価しているか、具体的に説明すること。

No.13

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価に関し、曲げモーメントの評価では、保守的に全塑性モーメントを許容限界としているが、検定比が0.996と1に極めて近い。実際の許容限界は終局曲率とあるが、終局曲率のほうだと検定比は何%か。

【論点No.10】

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震評価における具体的な応答解析手法(前提条件等)について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

<第20回ワーキングチーム指摘事項>

使用済燃料乾式貯蔵建屋を支持する杭の耐震評価におけるモデル化の考え方(より丁寧なモデルとする必要性)について説明すること。

*委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく

PHb(Post-Head-bar)工法の具体について

【説明概要】

PHb(Post-Head-bar)工法は、平成17年に(一財)土木研究センターより工法の有効性が認定され(建技審証第0522号)、国土交通省の新技术情報提供システム(NETIS)に登録(NETIS登録番号KT090022V)されている。また、国土交通省の令和元年度準推奨技術として選定されている。施工実績は、道路、浄化センター、ポンプ場、鉄道、発電所等の工事で施工されている。

PHb(Post-Head-bar)工法の公的機関審査証明書



PHb(Post-Head-bar)工法は、平成17年(一財)土木研究センター¹⁾より建設技術審査証明を交付されている。
 また、国土交通省の公共工事等における新技術活用システム²⁾の中核となる新技術情報システム(NETIS)により、令和元年度の準推奨技術³⁾として選定されている。

- 注記 1)一般財団法人土木研究センター
- ・昭和54年4月に設立
 - ・土木に関する調査、試験及び研究の促進に努めるとともに、その成果の普及を図り、もって国土建設技術の発展向上に寄与する目的で設立
- 2)民間企業等により開発された新技術を、公共工事等において積極的に活用していくためのシステム
- 3)公共工事等に関する技術の水準を一層高めるために選定された画期的な新技術で、推奨技術と位置付けるには更なる発展を期待する部分がある新技術

PHb(Post-Head-bar)工法施工実績⁴⁾

対称施設		施工件数
道路・地下街	空港アクセス地下街・道路橋他	36件
浄化センター(ポンプ場合)	最終沈殿池、ポンプ室他	385件
鉄道	地下駅舎・トンネル部	11件
浄水場	配水池他	127件
水門	津波対策用防潮水門他	156件
排水機場	排水機場他	31件
排水路	地下排水路	14件
発電所・プラント	貯水池・水路他	6件

注記 4)PHb工法研究会資料より(H31年4月現在)

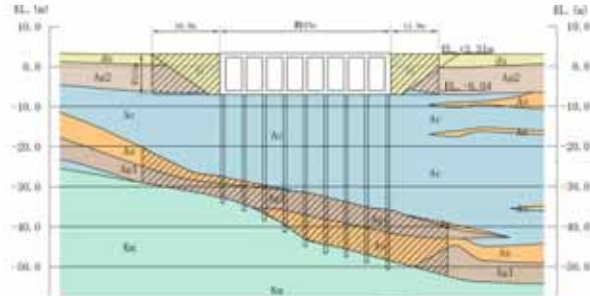


PHb工法研究会ホームページより

○ 取水構造物に対する補強対策

【地盤改良体(薬液注入)】

構造物の側方及び深部の地盤に対し、地盤改良(薬液注入)を実施することで、構造物及び鋼管杭に作用する地震時土圧を低減する。

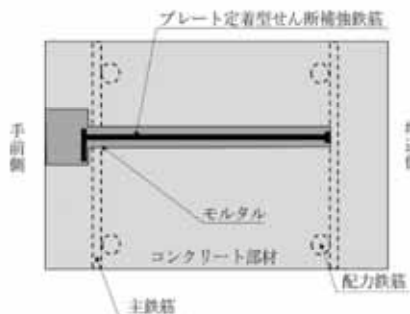


地盤改良範囲(斜線部)

【後施工せん断補強筋(PHb工法)】

既存構造物の表面からPHbドリルで削孔を行い、その孔内に専用モルタルグラウトを充填後、後施工プレート定着型せん断補強鉄筋 (PHb)を設置し、構造躯体と一体化をはかり、部材のせん断耐力を向上させる工法である。

取水構造物の鉄筋コンクリート部材に対して、耐震性向上を目的として後施工せん断補強筋工法(PHb工法)による耐震補強を行う。

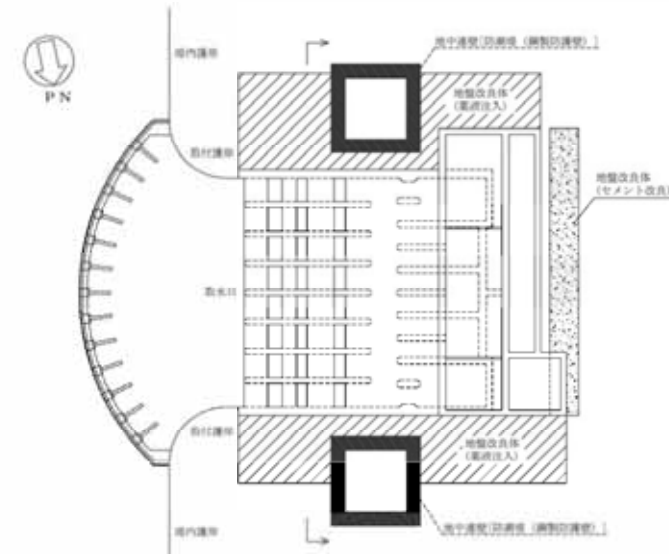


PHb工法の概要



後施工せん断補強筋の適用部材

○ 取水構造物の平面図



○ 左記補強結果を踏まえた評価結果

照査値は1を下回り、許容値を満足することを確認した。

鉄筋コンクリート部材における最大照査値(せん断)

評価位置	解析ケース	地震動	断面形状(mm)			鉄筋仕様 PHbせん断補強筋	照査用せん断力 Vd (kN)	せん断耐力 Vyd (kN)	照査値 $\gamma \cdot Vd / Vyd$
			部材幅	部材高	有効高				
			b (mm)	h (mm)	d (mm)				
中底版	④	S _u -D1	1000	1000	925	—	293	422	0.695

鋼管杭における最大照査値(せん断)

評価位置	解析ケース	地震動	照査用せん断力	終局せん断耐力	照査値
			Qd (kN)	Qu (kN)	
杭①①	④	S _u -D1	1965	2904	0.677

【論点No.11】

PHb(Post-Head-bar)工法の具体について

【委員からの指摘事項等】

No.14

取水構造物に対する後施工せん断補強筋について、PHb工法というのは一般的な工法か。公的機関で認められている工法か。

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

P.2

加振試験に係る具体的な試験条件とその保守性について

【説明概要】

- ・ 機器・配管系の耐震健全性は、強度評価に加えて動的機能維持評価を実施している。動的機能維持評価は、一般的には予め動作が確認された加速度（以下「機能確認済加速度」という）を用いた検討を行うが、機能確認済加速度がない設備に関しては、加振試験により機能確認を行う。
- ・ 今回の工認においては、ブローアウトパネル閉止装置、常設高圧代替注水系ポンプ、車両型設備、可搬型設備に対して加振試験により動的機能の確認を実施した。

機器・配管系の耐震健全性では、構造強度評価により強度的に問題がないことを確認することに加え、動的機能要求がある設備に関しては地震発生によっても問題なく動作することも確認している。

動的機能維持の確認については、予め動作が確認された加速度（機能確認済加速度）に対して基準地震動 S_s による加速度が超えないことの確認、又は機能確認済加速度がない設備は、加振試験により動的機能が維持できることを確認している。

本資料では加振試験により動的機能の維持を確認した設備について説明する。

① 予め動作が確認された加速度を有する設備区分

- ・ポンプ
- ・ポンプ駆動用タービン(RCIC用)
- ・電動機
- ・ファン
- ・ダンパ
- ・非常用ディーゼル発電機
- ・弁
- ・制御棒
- ・電気品

② 加振試験により動的機能の維持を確認した設備区分

- ・ブローアウトパネル閉止装置
- ・常設高圧代替注水系ポンプ
- ・車両型設備
- ・可搬型設備

○日本電気協会原子力発電所耐震設計技術指針1991年版(以下「JEAG4601」という。)における加振波の選定方針

JEAG4601において加振波の選定方針が以下のとおり示されている。

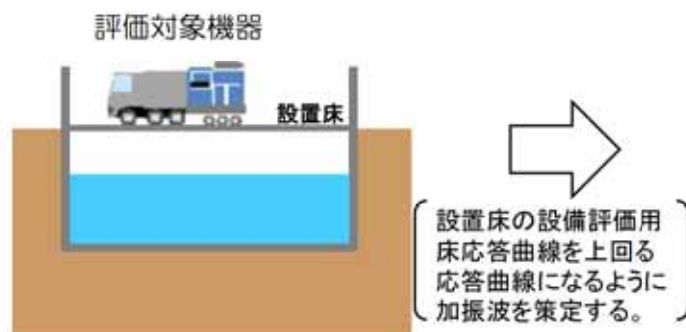
JEAG4601の記載要約

評価対象機器に適用する設計用床応答曲線と等価な加振波を選定することが望ましく、全周期範囲にわたって、設計用床応答曲線と等価な加振波とすることが困難な場合には、少なくとも評価対象機器の主要な固有周期が存在する領域について設計用床応答曲線と等価な加振波を選定する必要がある。

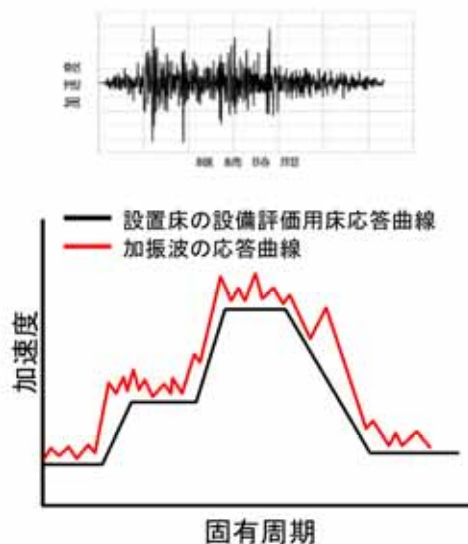
なお、1次固有周期が卓越する機器については正弦波による試験を行ってもよい。

○東海第二発電所の加振波のJEAG4601への適合状況

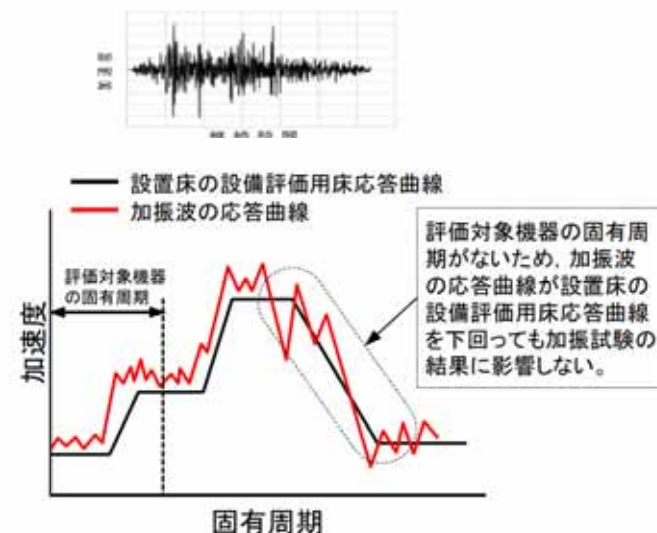
東海第二発電所では、この要求を満足するように加振波を策定した上で加振試験を適用している。なお、加振波の策定には、地盤物性等のばらつきを考慮した設備評価用床応答曲線を適用している。



全周期範囲にわたって加振波の応答曲線が設備評価用床応答曲線を上回っているケースの例



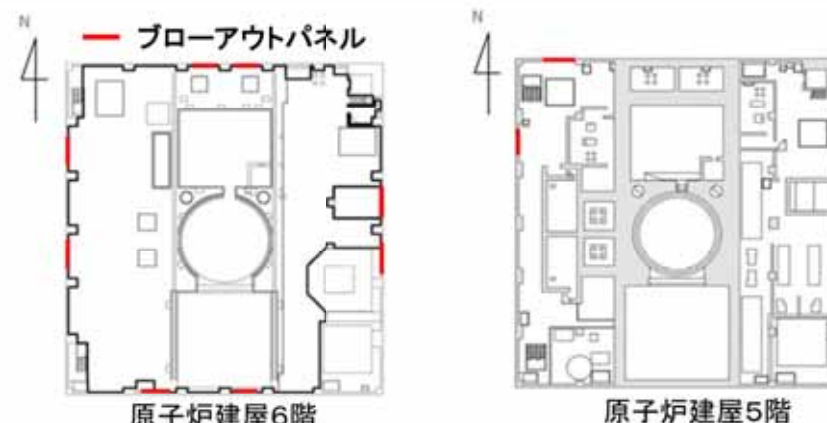
評価対象機器の固有周期の範囲において加振波の応答曲線が設備評価用床応答曲線を上回っているケースの例



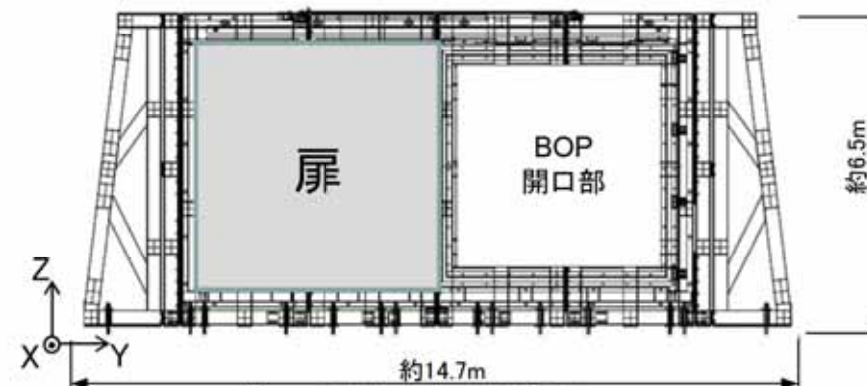
ブローアウトパネル(BOP)閉止装置の動的機能維持の確認について、実機大の加振試験装置を用いた模擬地震波による加振試験により行った。

加振試験等の条件

BOP閉止装置	
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 20m × 15m ・最大積載量: 1200t ・加振台: 防災科学研究所 (Eーディフェンス)
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



ブローアウトパネル配置図



ブローアウトパネル外形図



模擬地震波の時刻歴波形



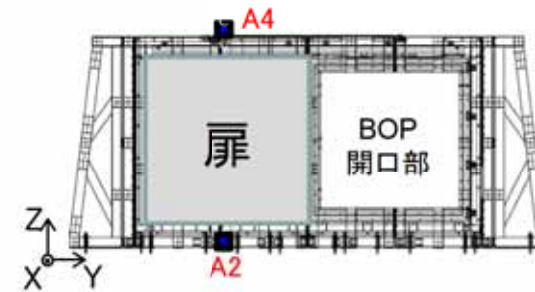
ブローアウトパネル閉止装置加振試験装置

○ 加振試験の妥当性

BOP閉止装置の固有周期範囲において、加振波の応答曲線(図の赤線)は、ブローアウトパネル閉止装置の設置位置である原子炉建屋の設備設計用床応答曲線(図の黒線)を超えていることを確認した。

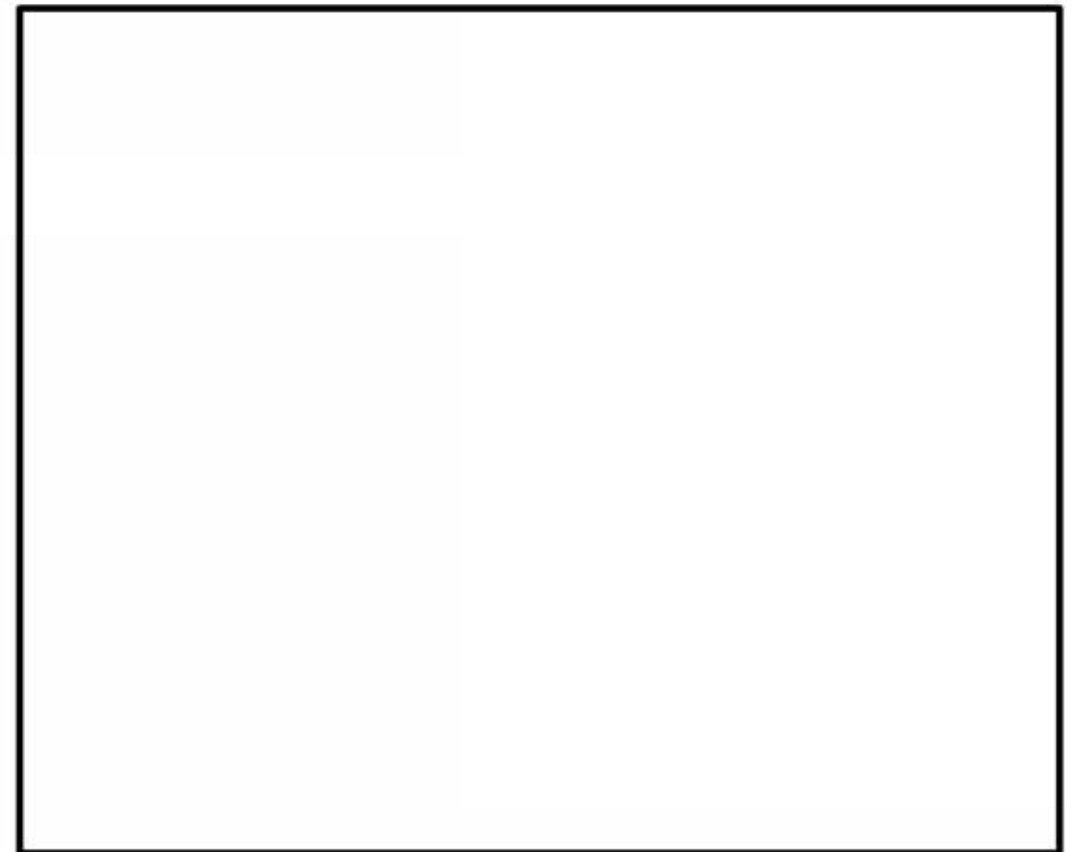
○ 加振試験結果

各部に破損等の異常は確認されず、ブローアウトパネル閉止装置の耐震健全性が確認された。加振試験後においても、気密性が確保でき、原子炉建屋原子炉棟の気密性能も確保できることを確認した。



BOP閉止装置加振試験結果

区分 (扉状態)	試験項目	結果
加振試験 (扉開状態)	作動確認 ・扉閉操作 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好
加振試験 (扉開状態)	作動確認 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好

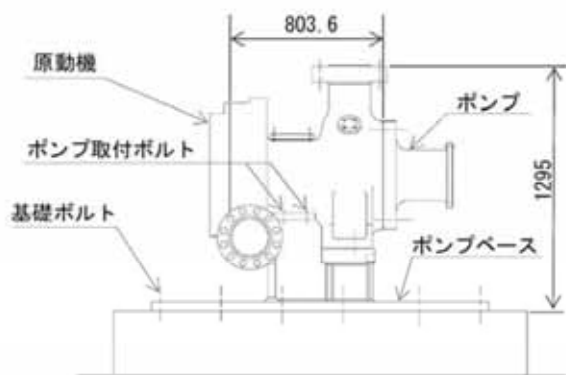


床応答曲線の比較図(扉開時)

常設高圧代替注水系ポンプの動的機能維持の確認について、実機大の加振試験装置を用いた模擬地震波による加振試験により行った。

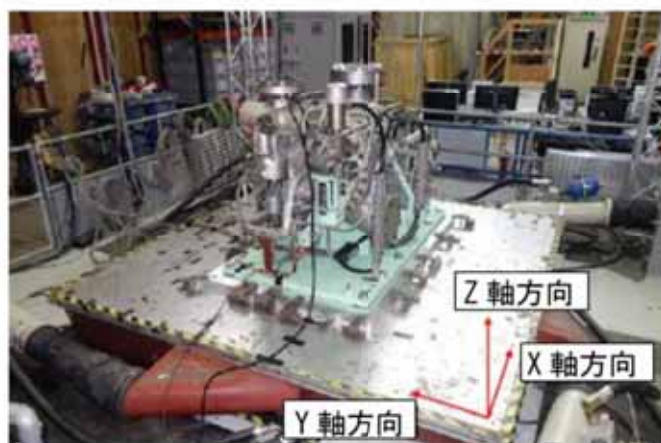
加振試験等の条件

常設高圧代替注水ポンプ	
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 3m × 3m ・最大積載量: 15t ・加振台: 英国Bristol大学
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



(単位: mm)

常設高圧代替注水系ポンプ外形図



常設高圧代替注水系ポンプ加振試験装置



模擬地震波の時刻歴波形

○ 加振試験の妥当性

振動特性の把握試験から当該ポンプの有する固有周期は、十分な剛構造(固有振動数として20Hz以上)であることが確認できたため、最大加速度の比較より加振試験の妥当性確認を行った。**加振波の最大加速度が、設置床の最大加速度以上であることを確認した。**

○ 加振試験結果

加振試験後の動作試験にて性能上問題ないこと、分解点検等により各部品に損傷が確認されず常設高圧代替注水系ポンプの耐震健全性が確認された。

各方向の固有周期

方向	固有周期 (S)	固有振動数 (Hz)
X		
Y		
Z		

最大加速度の比較

方向	設置床の最大加速度	加振波の最大加速度
X	0.72	
Y	0.72	
Z	0.75	

常設高圧代替注水系ポンプ加振試験結果

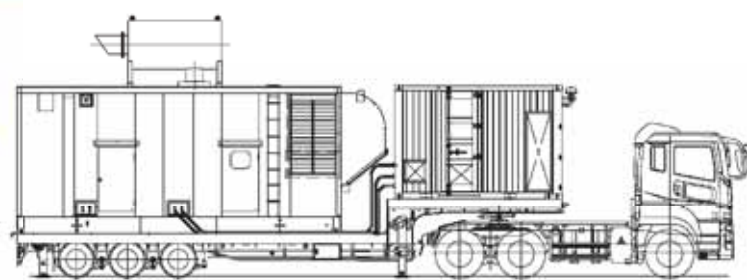
試験項目	結果
漏えいのないこと	良好
構造上損傷のないこと	良好
加振中にガバナが許容値以上変位しないこと	良好
トリップ装置が誤作動しないこと	良好
動作試験として加振試験前後の性能比較により機器の健全性及び動作性に異常がないこと	良好
分解点検の外観目視試験により損傷のないこと	良好

車両型設備の動的機能維持の確認について、実機適用する同型式の車両を用いた模擬地震波による加振試験により行った。車両型設備のうち常設代替高圧電源装置(No.1~No.5)を代表して説明する。

- 《車両型設備一覧》
- ・常設代替高圧電源装置(No.1~No.5)
 - ・常設代替高圧電源装置(No.6)
 - ・可搬型代替注水大型ポンプ
 - ・可搬型代替注水中型ポンプ
 - ・可搬型代替低圧電源車及び窒素供給装置用電源車
 - ・窒素供給装置
 - ・タンクローリ

加振試験等の条件

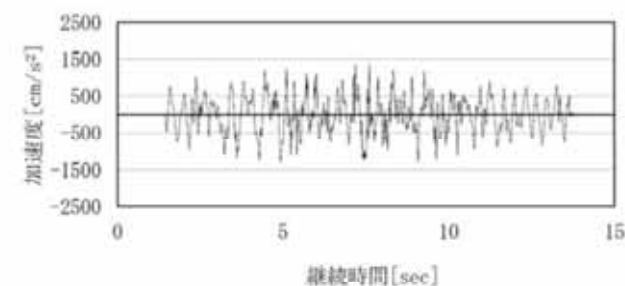
常設代替高圧電源装置	
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 20m × 15m ・最大積載量: 1200t ・加振台: 防災科学研究所 (E-ディフェンス)
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



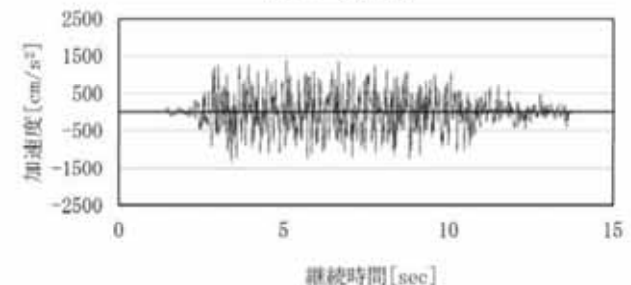
常設代替高圧電源装置外形図



常設代替高圧電源装置加振試験装置



水平方向



鉛直方向

模擬地震波の時刻歴波形

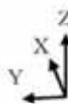
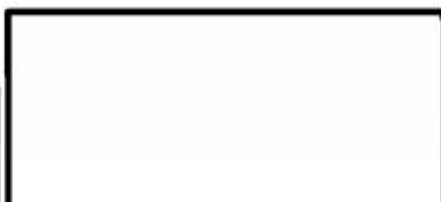
○ 加振試験の妥当性

加振波の応答曲線(図の赤線)は、常設代替高圧電源装置の設置位置である常設代替高圧電源装置置場の設備評価用床応答曲線(図の黒線)を超えていることを確認した。

○ 加振試験結果

加振試験中において車両が転倒しないこと、また加振後の定格運転において発電機能が維持等の確認をすることで、耐震健全性が確認された。

- 凡例
- 設置場所における設備評価用床応答曲線 (水平方向はX、Y包絡) (標準ケース)
 - 設置場所における設備評価用床応答曲線 (水平方向はX、Y包絡) (ばらつき最大値)
 - 加振台の床応答曲線 (出力)
 - 観測された設備の固有値



常設代替高圧電源装置加振試験結果

設備名称	確認事項
常設代替高圧電源装置	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、車両型設備が転倒していないことを確認した。また、加振時に固縛装置が作用していることから、固縛装置も健全であることを確認した。 ・外観点検を行い、常設代替高圧電源装置の必要な機能に影響する損傷、燃料漏えい等の異常が無いことを確認した。 ・定格運転状態において、異常な振動、異音等の不具合が無いこと、発電機能が維持されていることを確認した。

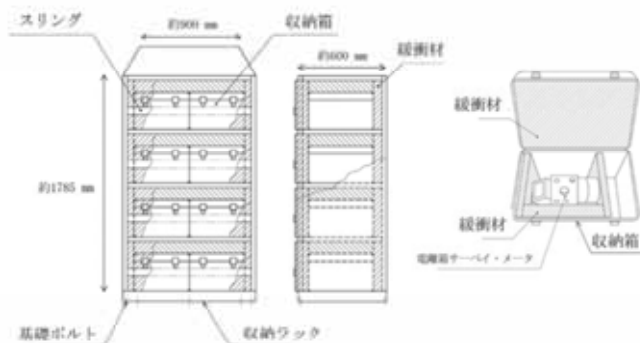
床応答曲線の比較図

可搬型設備の動的機能維持の確認について、実機適用する同型式の設備を用いた模擬地震波による加振試験により行った。可搬型設備のうち電離箱サーベイ・メータを代表して説明する。

- | 《可搬型設備一覧》 | ・緊急時対策所エリアモニタ | ・可搬型気象観測設備 | ・無線連絡設備(携帯型) |
|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|
| ・可搬型モニタリング・ポスト | ・可搬型モニタリング・ポスト端末 | ・可搬型計測器(温度、圧力、水位及び流量計測用) | ・携帯型有線通話装置 |
| ・可搬型ダスト・よう素サンプラ | ・β線サーベイ・メータ | ・可搬型計測器(圧力、水位及び流量計測用) | ・送がし安全弁用可搬型蓄電池 |
| ・NaIシンチレーションサーベイ・メータ | ・ZnSシンチレーションサーベイ・メータ | ・酸素濃度計 | ・衛星電話設備(可搬型)(待避室) |
| ・電離箱サーベイ・メータ | | ・二酸化炭素濃度計 | ・可搬型照明(SA) |
| | | ・データ表示装置(待避室) | ・小型船舶 |
| | | ・衛星電話設備(携帯型) | ・可搬型整流器 |

加振試験等の条件

	電離箱サーベイ・メータ
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 4m × 3m ・最大積載量: 7t ・加振台: (株)NTTファシリティーズ
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)

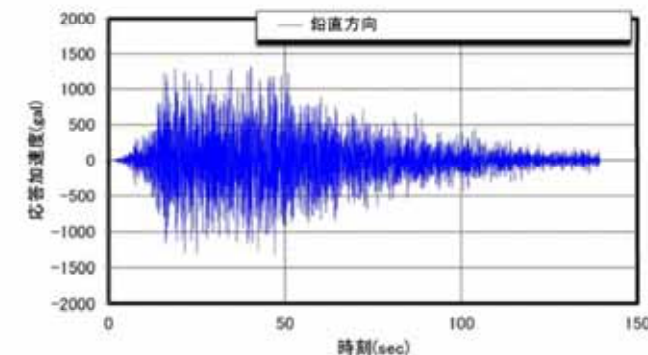
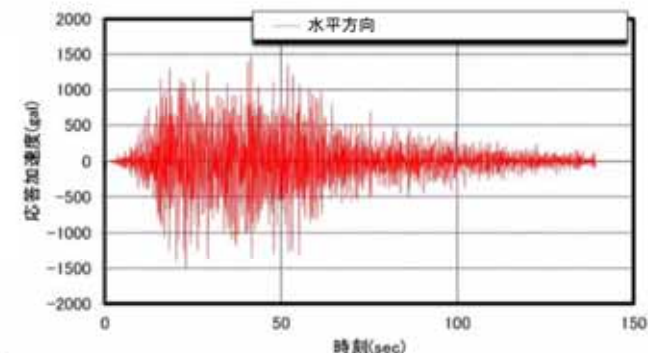


可搬型設備(電離箱サーベイ・メータ)収納状況図



可搬型設備の加振試験

論点No.14-10



模擬地震波の時刻歴波形

○ 加振試験の妥当性

加振波の応答曲線(図の赤線)は、電離箱サーベイ・メータの設置位置である緊急時対策所建屋の設備評価用床応答曲線(図の黒線)を超えていることを確認した。

○ 加振試験結果

加振試験中において収納ラックが転倒しないこと、また加振後に正常に動作することを確認した。



床応答曲線の比較図

電離箱サーベイ・メータ加振試験結果

設備名称	確認事項
電離箱 サーベ イ・メータ	<ul style="list-style-type: none">・加振試験後の外観点検により、収納ラックと固縛に使用しているスリングが健全であり、転倒していないことを確認した。・外観点検を行い、著しい損傷がないことを確認した。・各動作が正常に動作することを確認した。

【論点No.14】

加振試験に係る具体的な試験条件とその保守性について

【委員からの指摘事項等】

No.17

P.2~P.11

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

加振試験の何分加振したかという情報も説明すること。

安全機能を有する構築物、系統及び機器に関する耐震設計方針(重要度分類等含む)について

【説明概要】

- ・設計基準対象施設は、その重要度に応じて耐震Sクラス、耐震Bクラス、耐震Cクラスに分類している。このうち耐震Sクラス施設については、基準地震動 S_s に対して耐えるように設計するとともに、下位クラス施設である耐震Bクラス及び耐震Cクラスの施設に損傷等により、その機能に影響を与えないことを確認している。また、耐震重要度分類に応じた耐震健全性の確認の考え方を及びその結果について、耐震Sクラスである残留熱除去系ポンプを例として説明する。なお、重大事故等対処施設の耐震設計方針は論点No.7にて説明する。
- ・原子炉建屋は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持することを目的として、人工岩盤を介して岩盤に設置している。

・ 設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、定められた該当施設(設置許可基準規則の解釈)により、東海第二発電所の各施設の耐震重要度を定めている。

- Sクラス: 周辺公衆への放射線被ばくの影響が大きいもの
- Bクラス: 上記より比較的影響が小さいもの
- Cクラス: Sクラス及びBクラス以外のもの

耐震重要度	該当する施設
Sクラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・ 使用済燃料を貯蔵するための施設 ・ 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・ 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設 ・ 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設 ・ 津波防護機能を有する設備及び浸水防護機能を有する設備* ・ 敷地における津波監視機能を有する施設*
Bクラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・ 放射性廃棄物を内蔵している施設 ・ 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設 ・ 使用済燃料を冷却するための施設 ・ 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設
Cクラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

* : 福島第一原子力発電所事故で得られた教訓を踏まえて、新たに耐震Sクラスとなった施設

設計基準対象施設の耐震重要度分類及び設計方針

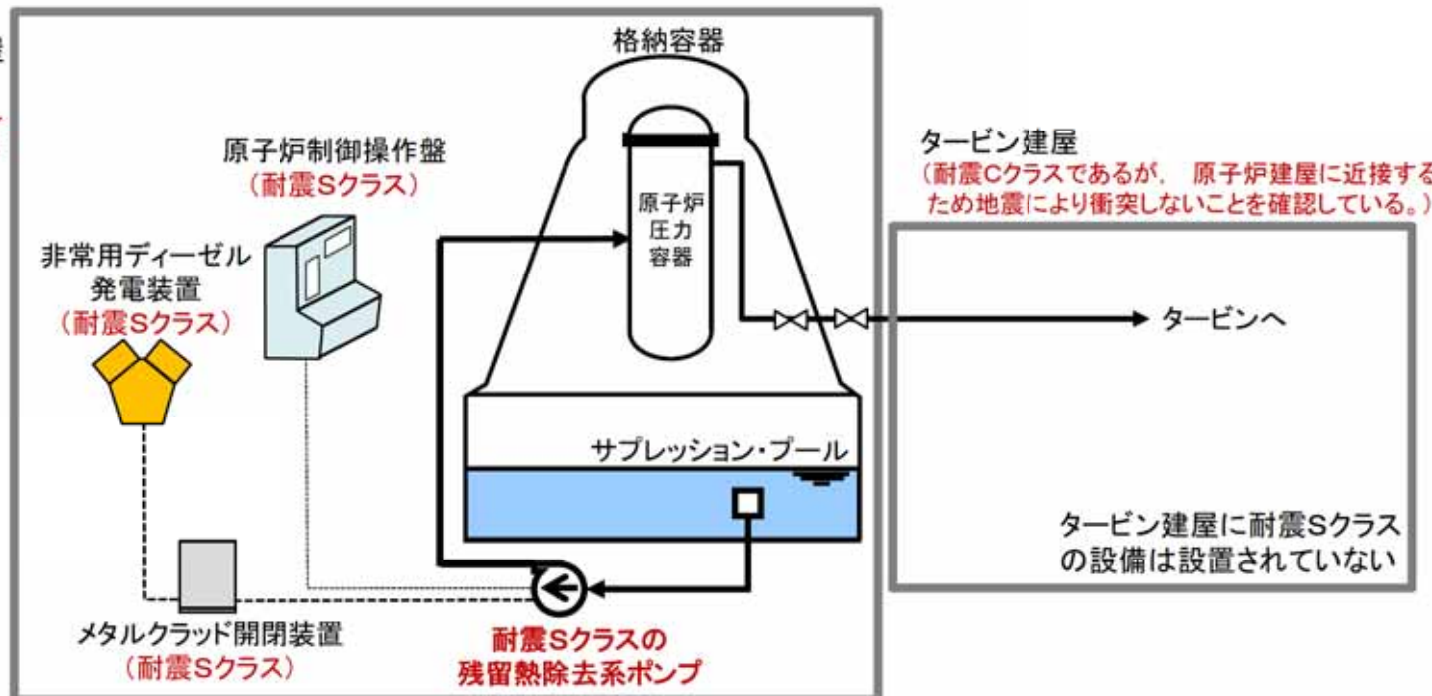
- 耐震重要度の分類の考え方を耐震Sクラスである残留熱除去系ポンプを例に示す。主に機能が要求される耐震Sクラス設備(残留熱除去系ポンプ)に加え、当該設備の動作に必要な補助設備として、非常用ディーゼル発電装置、原子炉制御操作盤、メタルクラッド開閉装置についても、同様の耐震重要度に分類し、耐震Sクラスとしての耐震健全性の確認を行っている。
- また、耐震Sクラス設備が設置されている建物として、原子炉建屋は、耐震Sクラス設備の機能が維持できるように基準地震動Ssにより耐震評価を行い健全性を確認している。なお、タービン建屋は耐震Cクラスであるが、耐震重要度が高い設備が設置された原子炉建屋に近接するため、基準地震動Ssによって、原子炉建屋に衝突しないことを確認している。

主要設備		補助設備		設置される建屋		波及的影響を*1考慮すべき設備	
適用範囲	耐震重要度分類	適用範囲	耐震重要度分類	適用範囲	確認用地震動	適用範囲	確認用地震動
残留熱除去系ポンプ	S	ポンプ運転に必要な電気計装設備 ・非常用ディーゼル発電装置 ・メタルクラッド開閉装置 ・原子炉制御操作盤	S	原子炉建屋	Ss	タービン建屋	Ss

***1 波及的影響の観点による耐震健全性**

耐震Bクラス及び耐震Cクラスに属する施設の損傷等によって、耐震Sクラス施設の機能に影響を与えないように基準地震動Ssを用いた評価により耐震Sクラス施設の機能に影響を及ぼさないことを確認する。

原子炉建屋
(耐震Sクラスの設備が設置される建物としてSsに対する健全性を確認)



論点No.20-3

- 残留熱除去系ポンプ及びその補助設備(非常用ディーゼル発電装置, メタルクラッド開閉装置及び原子炉制御操作盤), さらに設備が設置される原子炉建屋について, 構造強度及び機能維持評価の結果, 基準地震動 S_s による発生値が許容値を下回ることを確認した。
- タービン建屋は, 基準地震動 S_s によって波及的影響を及ぼさないことを確認するとともに, 原子炉建屋に衝突しないことを確認した。

評価対象施設	評価項目	評価部位	応力分類	単位	発生値	許容値
残留熱除去系ポンプ	構造強度	バレルケーシング	一次一般膜応力	MPa	59	< 223
	機能維持	ポンプ/原動機	応答加速度 (鉛直)	G	0.75	< 1
非常用ディーゼル発電装置	構造強度	反直結側軸受台部 基礎ボルト	引張応力	MPa	82	< 182
	機能維持	発電機/ 機関本体/ ガバナ	応答加速度 (鉛直)	G	0.75	< 1
メタルクラッド開閉装置	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	25	< 210
	機能維持	メタルクラッド 開閉装置2D	応答加速度 (鉛直)	G	0.8	< 1
原子炉制御操作盤	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	31	< 210
	機能維持	原子炉制御 操作盤	応答加速度 (水平)	G	1.11	< 2.20
原子炉建屋	構造強度	耐震壁	せん断ひずみ	$\times 10^{-3}$	0.6	< 2.0
タービン建屋	波及的 影響	原子炉建屋に衝突 しないこと	相対変位	mm	33.2	< 50

○原子炉建屋

- 原子炉建屋は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持することを目的として、人工岩盤(コンクリート造*)を介して岩盤に設置している。

* : 設計基準強度 $F_c = 13.7$ (N/mm²)



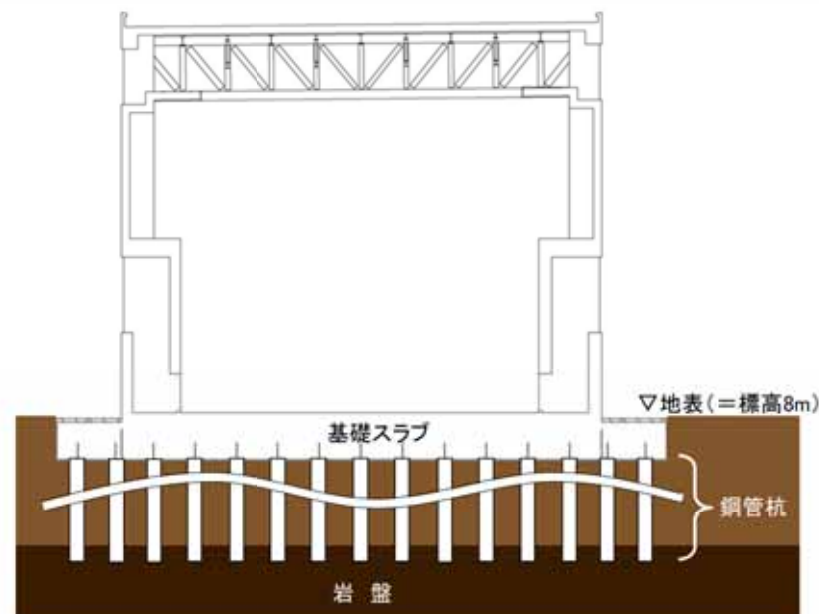
原子炉建屋の設置状況図

原子炉建屋の地震応答解析結果

評価項目	Ss地震時の発生値	許容値	検定比
最大せん断ひずみ	0.60×10^{-3}	2.0×10^{-3}	0.30

○使用済燃料乾式貯蔵建屋

- 使用済燃料乾式貯蔵建屋は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持することを目的として、鋼管杭を介して岩盤に設置している。



使用済燃料乾式建屋の設置状況図

杭の評価結果

評価項目	発生値	許容値	検定比
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243

(参考)耐震重要度分類表(1/5)



耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)		波及的影響を考慮すべき施設(注5)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注6)	適用範囲	検討用地震動(注6)
Sクラス	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	・原子炉圧力容器 ・原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁	S S	・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備	S	・原子炉圧力容器スカート ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S S	・原子炉本体の基礎 ・原子炉建屋	S _s S _s	・原子炉遮蔽 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s S _s
	(ii) 使用済燃料を貯蔵するための施設	・使用済燃料プール ・使用済燃料貯蔵ラック ・使用済燃料乾式貯蔵容器	S S S	・使用済燃料プール水補給設備(残留熱除去系) ・非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む)	S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・原子炉建屋クレーン ・燃料取扱機 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s S _s S _s S _s
	(iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設	・制御棒、制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系(スクラム機能に関する部分)	S	・炉心支持構造物 ・電気計装設備 ・チャンネル・ボックス	S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・原子炉本体の基礎	S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s
	(iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備) ・冷却水源としてのサブプレッション・チェンバ	S S S S	・残留熱除去系海水系 ・炉心支持構造物 ・高圧炉心スプレイ系 ・ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設 ・非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S S S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s
	(v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系(低圧注入モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 ・冷却水源としてのサブプレッション・チェンバ	S S S S	・残留熱除去系海水系 ・高圧炉心スプレイ系 ・ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設 ・中央制御室の遮蔽と空調設備 ・非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S S S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s

(参考)耐震重要度分類表(2/5)



耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)		波及的影響を考慮すべき施設(注5)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注6)	適用範囲	検討用地震動(注6)
Sクラス	(vi) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器 原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁 	S	<ul style="list-style-type: none"> 隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉ウェル用遮蔽ブロック タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s
	(vii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための設備であり、(vi)以外の施設	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード運転に必要な設備) 可燃性ガス濃度制御系 原子炉建屋原子炉棟 非常用ガス処理系 非常用ガス再循環系 原子炉格納容器圧力低減装置(ダイヤフラム・フロア、ベント管) 冷却水源としてのサブレーション・チェーンバ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 当該施設の機能維持に必要な空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉本体の基礎(注7) 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 排気筒 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s
	(viii) 津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤 防潮扉 放水路ゲート 構内排水路逆流防止設備 貯留堰 浸水防止蓋 貫通部止水処置 	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s
	(ix) 敷地における津波監視機能を有する施設	<ul style="list-style-type: none"> 取水ピット水位計 潮位計 津波・構内監視カメラ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s
	(x) その他	<ul style="list-style-type: none"> ほう酸水注入系(注8) 圧力容器内部構造物(注9) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 原子炉圧力容器 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉本体の基礎 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s

(参考)耐震重要度分類表(3/5)



耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注6)
Bクラス	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	・主蒸気系(外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで)	B (注10)	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋(外側主蒸気隔離弁より主塞止弁までの配管・弁を支持する部分)	S _d S _d
		・主蒸気逃がし安全弁排気管	B (注11)	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋	S _s
		・主蒸気系及び給水系 ・原子炉冷却材浄化系	B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋	S _B S _B
	(ii) 放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損による公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べて十分小さいものは除く)	・放射性廃棄物処理施設(Cクラスに属するものは除く)	B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・廃棄物処理建屋	S _B S _B
	(iii) 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設	・タービン、主復水器、給水加熱器及びその主要配管 ・復水脱塩装置 ・復水貯蔵タンク ・燃料プール冷却浄化系 ・放射線低減効果の大きい遮蔽 ・制御棒駆動水圧系(放射性流体を内蔵する部分) ・原子炉建屋クレーン ・燃料取替機 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン ・制御棒貯蔵ラック	B B B B B B B B B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	S _B S _B S _B S _B

(参考)耐震重要度分類表(4/5)



耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注5)
Bクラス	(iv) 使用済燃料を冷却するための施設	・燃料プール冷却浄化系	B	・原子炉補機冷却系 ・補機冷却系海水系 ・電気計装設備	B B B	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	S _B S _B
	(v) 放射性物質の放出を伴うような場合に, その外部放散を抑制するための施設で, Sクラスに属さない施設	—	—	—	—	—	—	—	—
Cクラス	(i) 原子炉の反応度を制御するための施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	・再循環流量制御系 ・制御棒駆動水圧系 (Sクラス及びBクラスに属さない部分)	C C	—	—	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	C	・原子炉建屋	S _C
	(ii) 放射性物質を内蔵しているか, 又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	・試料採取系 ・洗濯廃液処理系 ・固化装置より下流の固体廃棄物処理系 (貯蔵庫を含む) ・雑固体減容処理設備 ・放射性廃棄物処理施設のうち濃縮装置の凝縮水側 ・新燃料貯蔵庫 ・その他	C C C C C C C C	—	—	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	C	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・固体廃棄物貯蔵庫 ・給水加熱器保管庫 ・固体廃棄物作業建屋	S _C S _C S _C S _C S _C S _C

(参考)耐震重要度分類表(5/5)



耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注6)
Cクラス	(iii) 原子炉施設ではあるが、放射線安全に関係しない施設	<ul style="list-style-type: none"> ・循環水系 ・タービン補機冷却系 ・所内ボイラ及び所内蒸気系 ・消火系 ・主発電機・変圧器 ・空調設備 ・タービン建屋クレーン ・所内用空気系及び計器用空気系 ・その他 	C C C C C C C C	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他 	S _c S _c S _c S _c

(注1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。

(注2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。

(注3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。

(注4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物(建物・構築物)をいう。

(注5) 波及的影響を考慮すべき施設とは、下位の耐震クラスに属する施設の破損によって上位クラスに属する施設に波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。また、その他の施設として「1.3.1.5 設計における留意事項」での検討を踏まえた施設も適用範囲とする。

(注6) S_s : 基準地震動 S_sにより定まる地震力
 S_d : 弾性設計用地震動 S_dにより定まる地震力
 S_B : 耐震Bクラス施設に適用される地震力
 S_C : 耐震Cクラス施設に適用される静的地震力

(注7) 原子炉本体の基礎の一部は、間接支持構造物の機能に加えてドライウェルとサブプレッション・チェンバとの圧力境界となる機能を有する。

(注8) ほう酸水注入系は、安全機能の重要度を考慮して、Sクラスに準ずる。

(注9) 圧力容器内部構造物は、炉内にあることの重要性からSクラスに準ずる。

(注10) Bクラスではあるが、弾性設計用地震動 S_dに対して破損しないことの検討を行うものとする。

(注11) 地震により主蒸気逃がし安全弁排気管(以下「排気管」という。)がサブプレッション・チェンバ内の気相部で破損した場合、放出された蒸気は凝縮することが出来ないため、基準地震動 S_sに対してサブプレッション・チェンバ内の排気管が破損しないことを確認する。また、排気管がドライウェル内で破損した場合であれば、放出された蒸気はベント管を通してサブプレッション・チェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、原子炉格納容器の内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動 S_sに対してドライウェル内の排気管が破損しないことを確認する。

【論点No.20】

安全機能を有する構築物、系統及び機器に関する耐震設計方針(重要度分類等含む)について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

No.628

地震などの際、配管の接合部切断
健屋の基礎が地震で横たおしにならないか
燃料棒が屹立していただけるか

No.822

耐震設計は重要度に応じてS,B,Cクラスに分類されるとあり、耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響について、規制委員会は地震ガイドを踏まえているとしている。しかし、東海第二は3.11で被災した原子力発電所であり、しかも40年寿命に到達している随分古い時代の材料と建築設計物です。その意味ですべての建物、設備は地震への危険度は高いと考えられており、下位クラス(低い耐震性)があることはおかしい。すべての建物、機器は上位(Sクラス)で再設計する方針で取り掛かってもらいたい。県がはたらきかけてほしい。

巨大地震が起きて、下位クラスの建物、施設が損壊し信号や制御などの情報が(重要施設と)行き来ができなくなったら、重要施設の機器も正常に動かせなくなってしまうはずです。また、建物間に配管等がつながれていると、上位と下位で揺れ方が異なることで配管等のひび割れ、破損や断裂が生じます。すなわち原子炉建屋だけが無事であっても発電所の機能はマヒし大変な事態になります。 P.2~4 「地震対策への対応について(改訂版)」参照

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.855

(23)フィルターベント(放射性物質の大気放出)

格納容器内の空気を大気放出する場合、まずフィルターベントを通して放射性物質を水で吸収するとしても、限界がある。また、ある程度使用すれば除去性能が低下し、洗浄液の交換等の様々な操作が必要になる。こうした操作ができるか疑問である。また、洗浄液の供給系や排気系の設備等も含めて、耐震性が確保されているか不明である。

No.1129

論点No.7参照

・砂上の建屋と燃料棒：原電は、地下約25～60mの地下岩盤に到達する防潮堤の設置工事を行っているとしています。防波堤のすぐ下は砂、礫であるのが図に示されています。

しかしながら、2018年の原電の水戸市住民説明会では原子炉建屋(鉄筋コンクリート造、一部鉄骨造)の基礎を岩盤に固定しているのかはわかりませんでした。

P.5

左図は、日本原電冊子より2017.12付

(https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/gentai/anzen/nuclear/anzen/documents/181019_enchoshinsei_tenpu_02_sono3.pdf)

ブローアウトパネルに係る加振試験の再試験結果について

【説明概要】

平成30年6月21日に行われたブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験において、加振後の閉止装置と開口部の間に隙間が認められるとともに、閉止装置の開閉操作チェーンの破断も認められた。

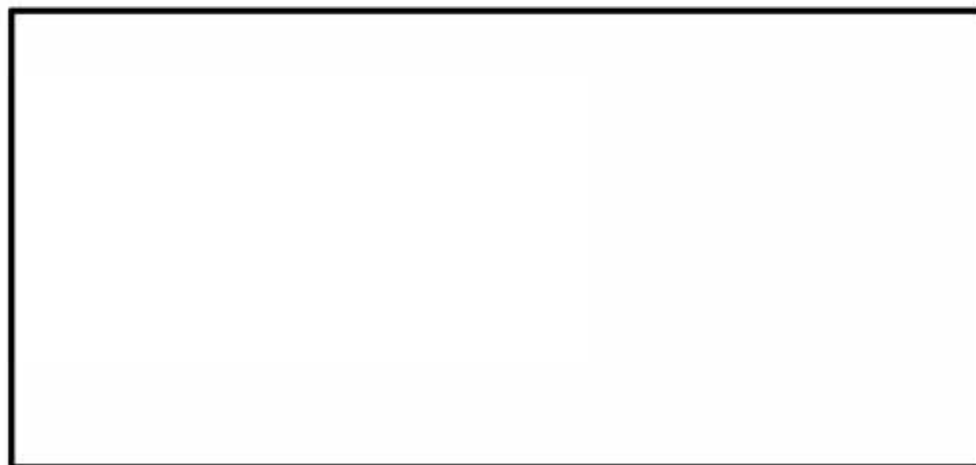
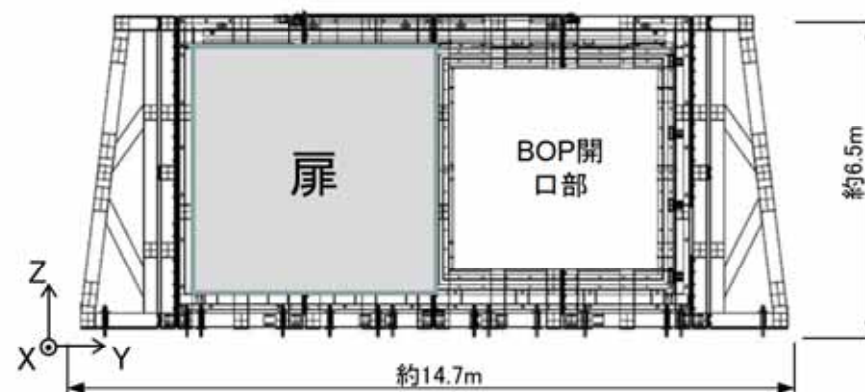
当該結果を受け、改善策を講じた上で再試験を実施し、上記の問題が生じないこと及び閉止装置の機能が保持されることを確認した。

●加振試験の実施について

- ブローアウトパネル閉止装置は、ブローアウトパネル開放後に原子炉建屋原子炉棟の機能確保の観点から設置する。当該設備は地震後において動作可能であることを要求されることから、**加振試験を用いて健全性を確認した。**

【加振試験内容】

- 基準地震動 S_s 後においても、**作動性及び扉閉止後の気密性を保持できることを確認する。**
- 加振試験では鉛直方向と水平2方向の**3軸(X/Y/Z)同時に加振した。**(開状態、閉状態それぞれについて)
- 加振試験は、防災科学研究所(E-ディフェンス、最大積載量1200t)にて実施した。
- 試験体は**実機と同じ構造・サイズ**を用いた。



原子炉建屋6階

原子炉建屋5階

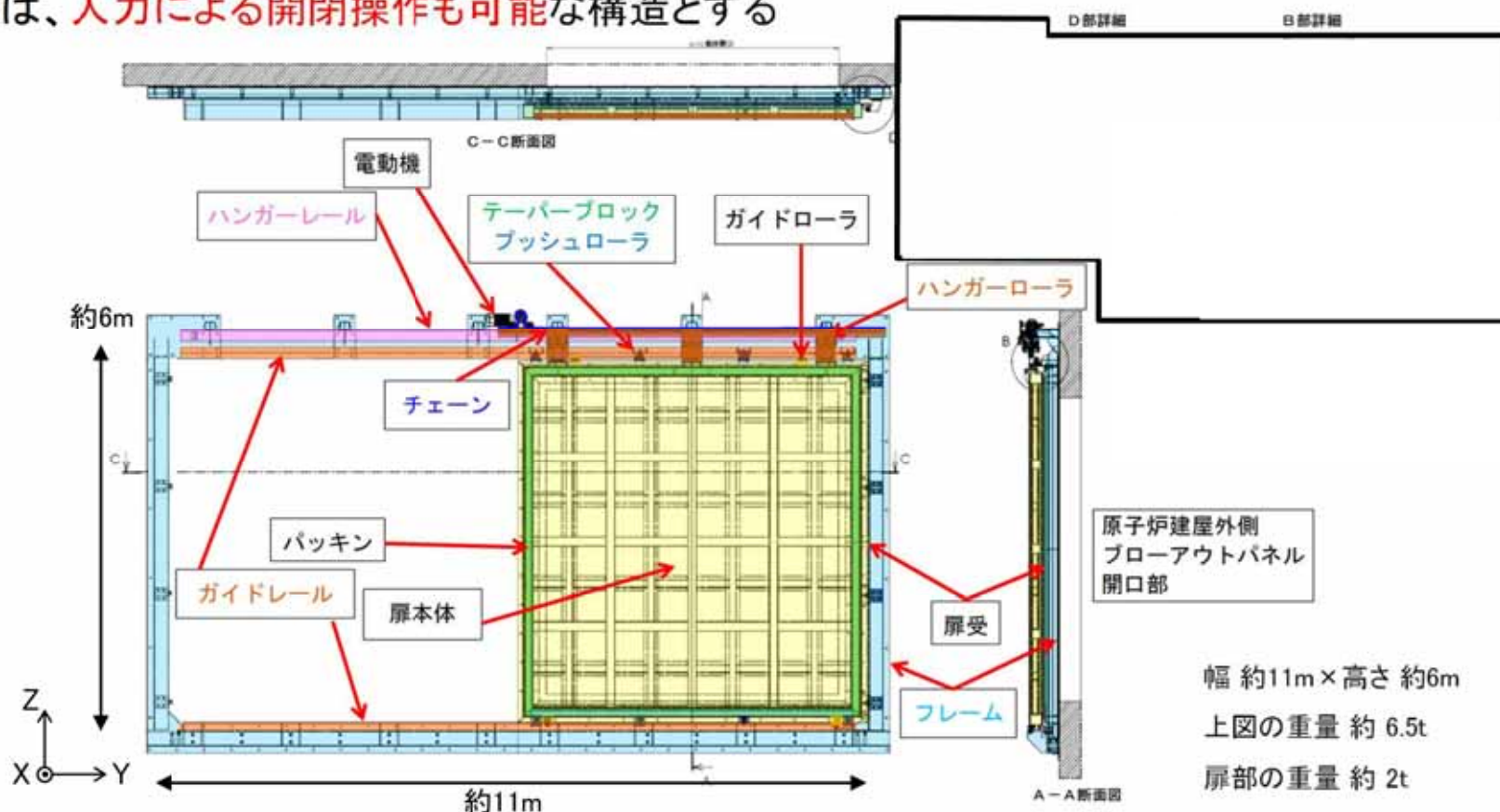
ブローアウトパネルの配置



ブローアウトパネル閉止装置加振試験装置

●ブローアウトパネル閉止装置(試験体)の構造概要

- ✓ 試験体は、幅 11 m×高さ 6 m 架台を含めた試験体の総重量約 90 ton 扉本体重量約 2 ton
- ✓ 扉は、上下のガイドローラにより面外方向をガイドし、ハンガーローラを介してハンガーレールに吊り下げられた構造
- ✓ 閉止時にプッシュローラにより扉に取り付けているテーパブロック部を押し込むことにより、扉を建屋側に押し付け、気密性を高めるよう工夫
- ✓ 電動機の回転をチェーンにより開閉方向の動作に変換を行い扉を開閉
- ✓ 扉は、人力による開閉操作も可能な構造とする



ブローアウトパネル閉止装置の構造(概要図)

●加振試験(1回目)の結果

試験の結果、**チェーンの破損及び変形**、並びに**扉の移動**(静止位置からのズレ)が認められた。

- ◆ チェーンが破損すると、1.0Ssで開閉機能を喪失する可能性がある
- ◆ 扉のズレ(開放)については、中央制御室運転員の被ばく評価に影響する可能性がある



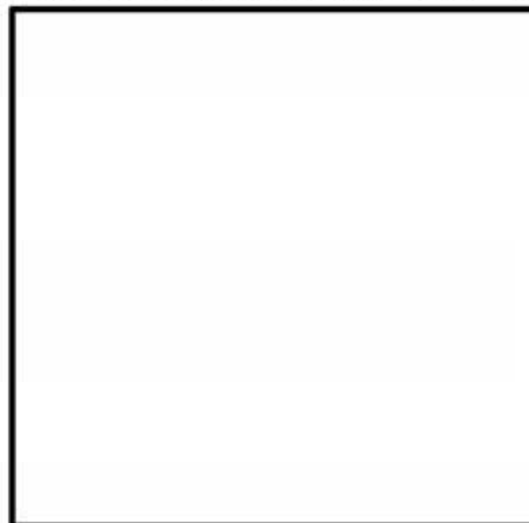
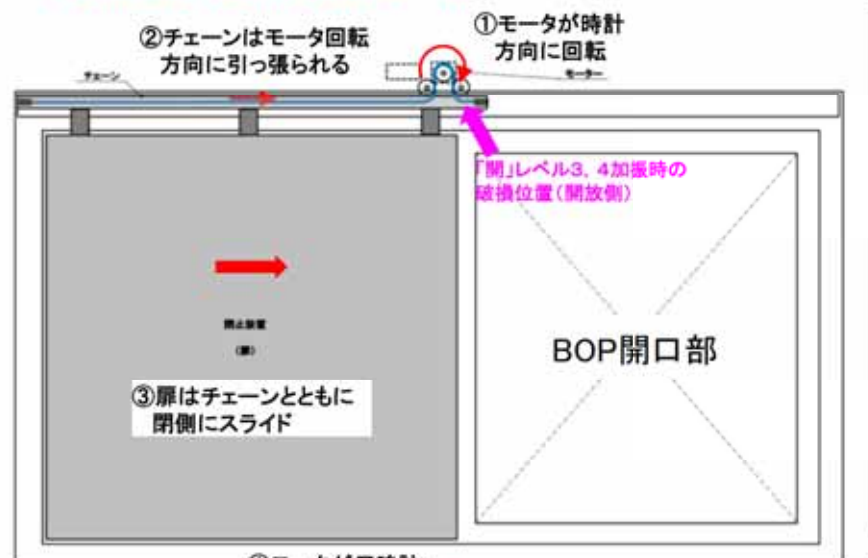
対策を検討し、再試験を実施した

加振時扉状態	試験日	加振条件	試験体下端の計測結果の最大加速度	チェーン補強有無	チェーン破損有無	扉状態	閉機能(電動)	開機能(電動)	備考
開	H30.6.20	レベル3 (1.0Ss)	面外X:1.51G 面内Y:1.56G 鉛直Z:1.64G	無	・破損(開側)		・有(破損は扉を開ける側)	・無(破損は扉を開ける側)	
	H30.6.22	レベル4 (1.1Ss)	面外X:1.56G 面内Y:1.57G 鉛直Z:1.72G	有	・破損(開側)		・有(破損は扉を開ける側)	・無(破損は扉を開ける側)	
閉	H30.6.20	レベル2 (0.6Ss)	—	無	・破損なし	・扉は完全閉状態から開方向に52mm移動	・有	・有	
	H30.6.21	レベル3 (1.0Ss)	面外X:1.41G 面内Y:1.60G 鉛直Z:1.60G	無	・破損(閉側)	・扉は完全閉状態から開方向に約300mm移動	・喪失(破損は扉を閉じる側)	・有(破損は扉を閉じる側)	
		レベル4 (1.1Ss)	面外X:1.43G 面内Y:1.58G 鉛直Z:1.62G	有	・破損なし(チェーン全体で38mmの伸び確認)	・扉は完全閉状態から開方向に約85mm移動	・有	・有	

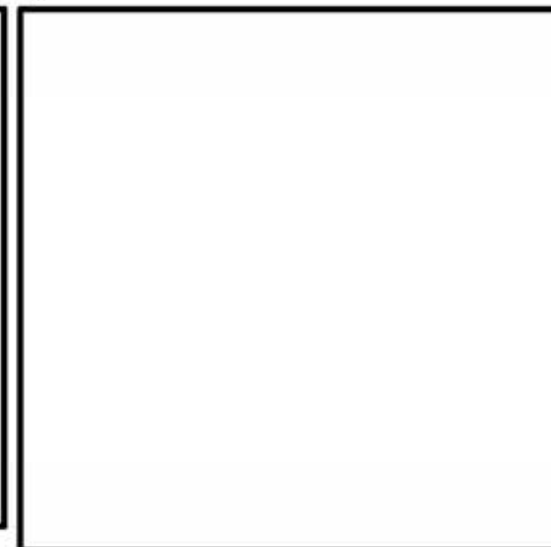
: 異状が発見された項目

●チェーンの損傷状況(1/2)

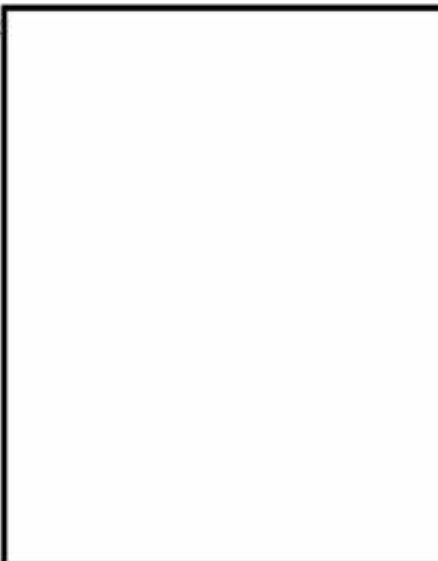
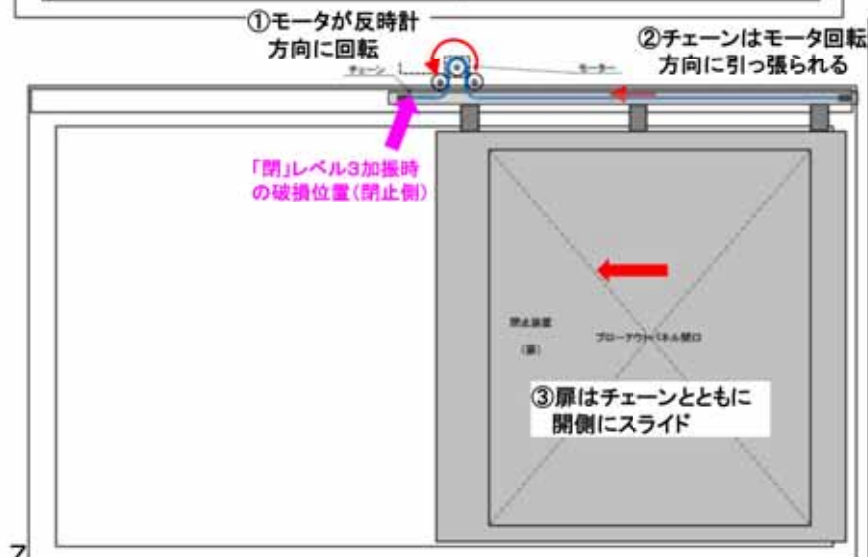
電動駆動用チェーンの一部が破損した。破損個所は、扉全開又は全閉時にガイド用歯車(スプロケット)とのチェーン端部までの距離が短い側(扉開状態では開放側が破損, 扉閉状態では閉止側が破損)



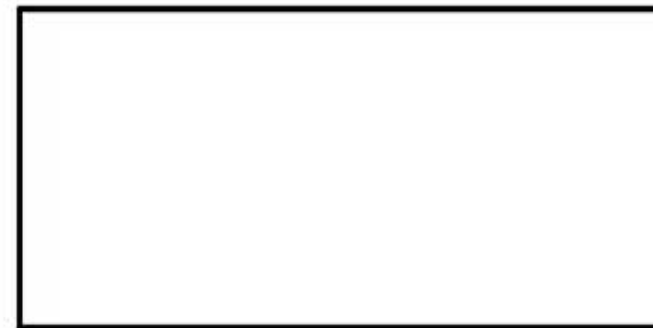
扉開状態レベル3加振後のチェーンの状態(6月20日)



扉開状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月22日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、廻り止め溶接を実施していないチェーンに破損を確認)



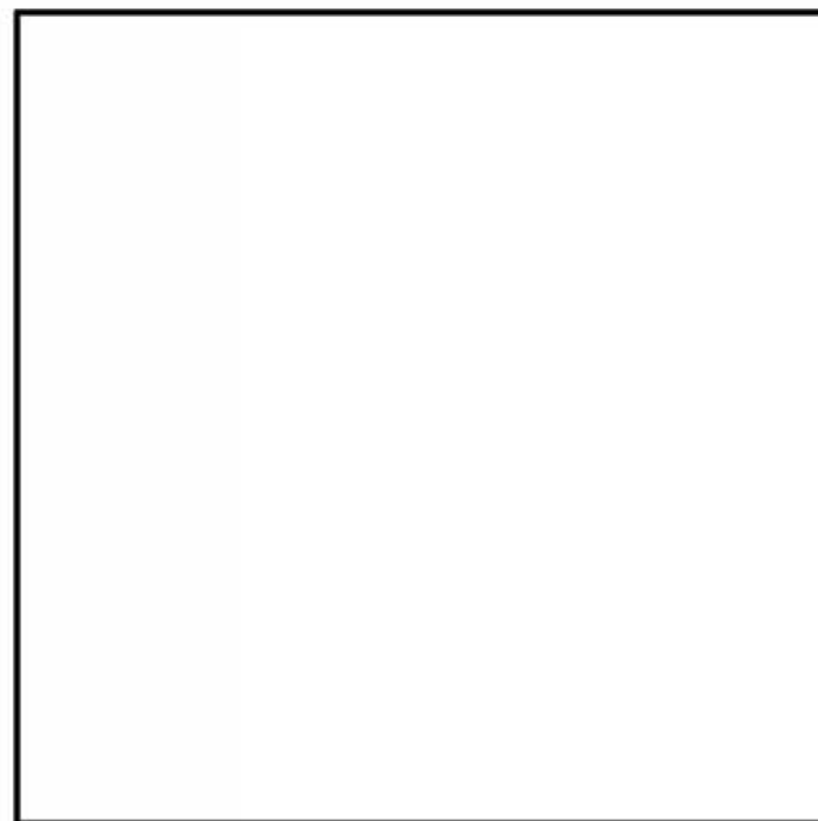
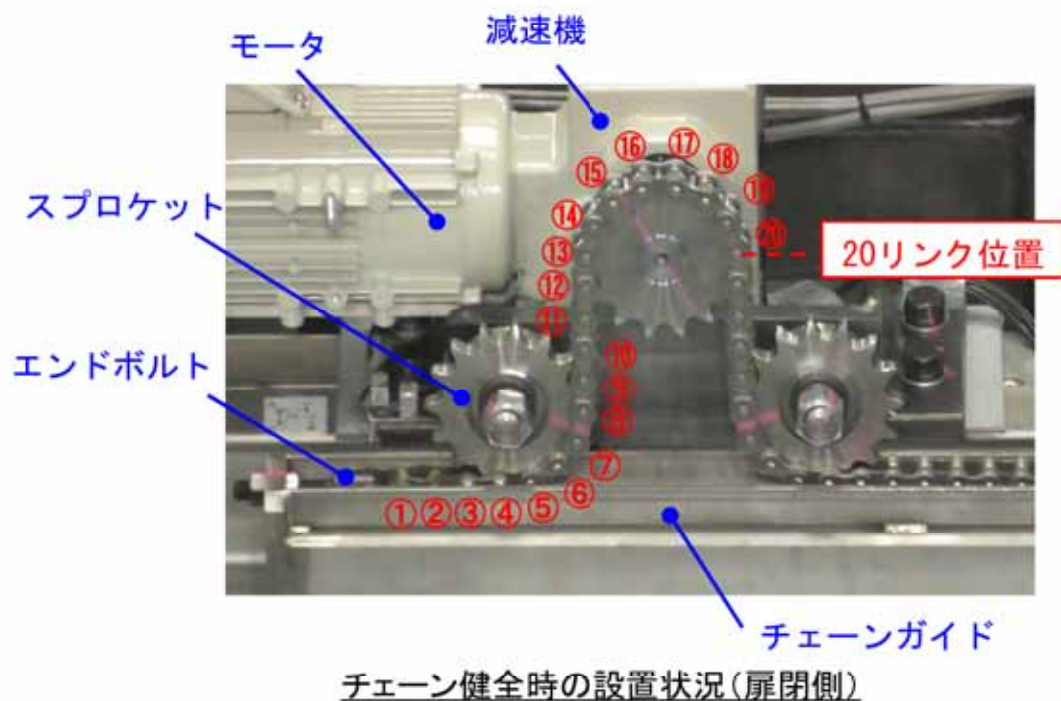
扉閉状態レベル3加振後のチェーンの状態(6月21日)



扉閉状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月21日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、チェーン破損はなかったが、約38mm(新品全長は約6m)の伸びが確認された)

●チェーンの損傷状況(2/2)

チェーンの伸び箇所とギア等との位置関係を調査した結果、寸法測定の結果から、**エンドボルト側から17リンク目までが伸びが大きい**ことが分かった。



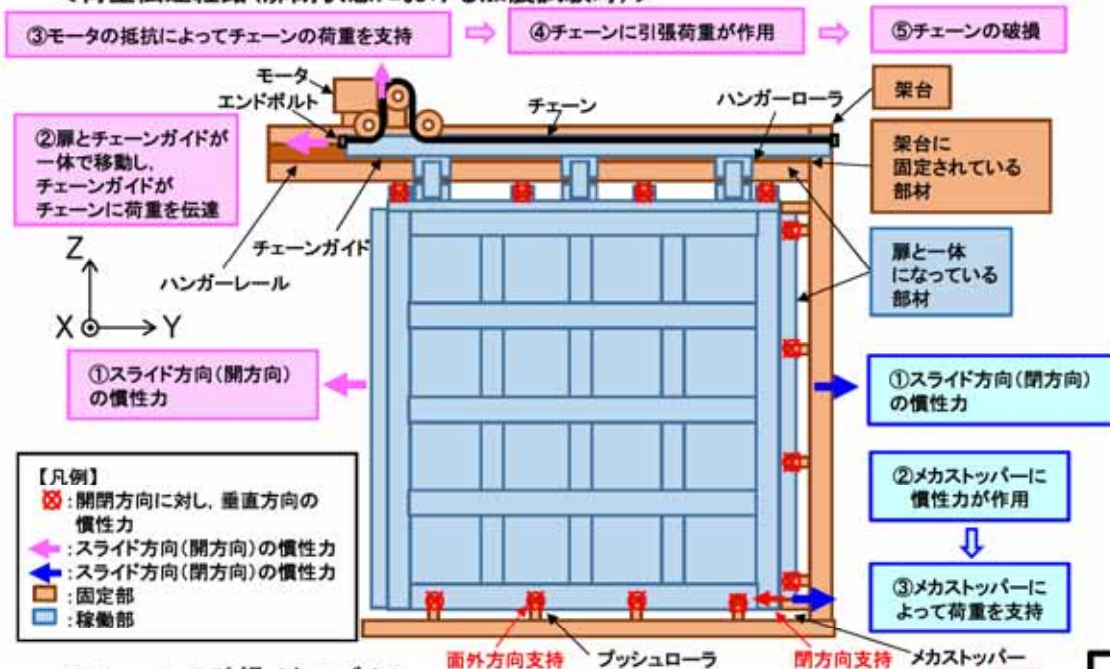
チェーンの伸び測定記録 (単位:mm)



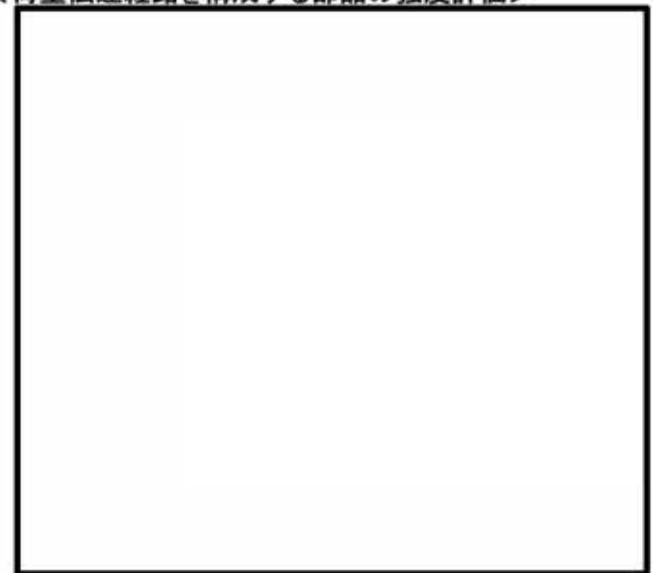
●チェーンの損傷原因

本事象は、加振試験により発生した**スライド方向の慣性力**が扉と一体になってるチェーンガイド等を伝達してチェーンに荷重が加わり、モータのスライド方向支持による反力によって、**チェーンに過大な引張荷重が発生し**、チェーンが塑性変形したものと推定した。また、扉が閉状態を維持できない事象については、チェーンの塑性変形に加え、各部のガタツキによるものと推定した。

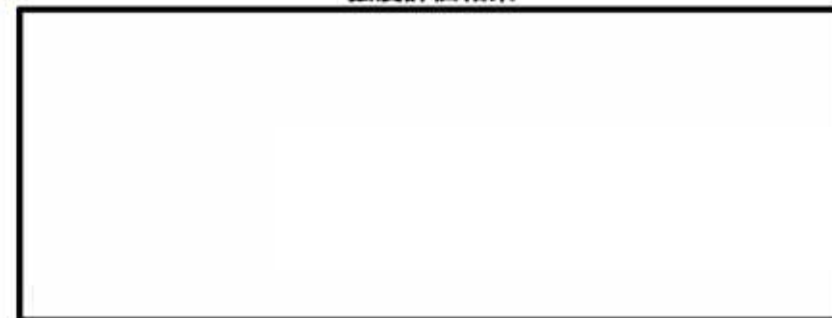
＜荷重伝達経路(扉閉状態における加振試験時)＞



＜荷重伝達経路を構成する部品の強度評価＞

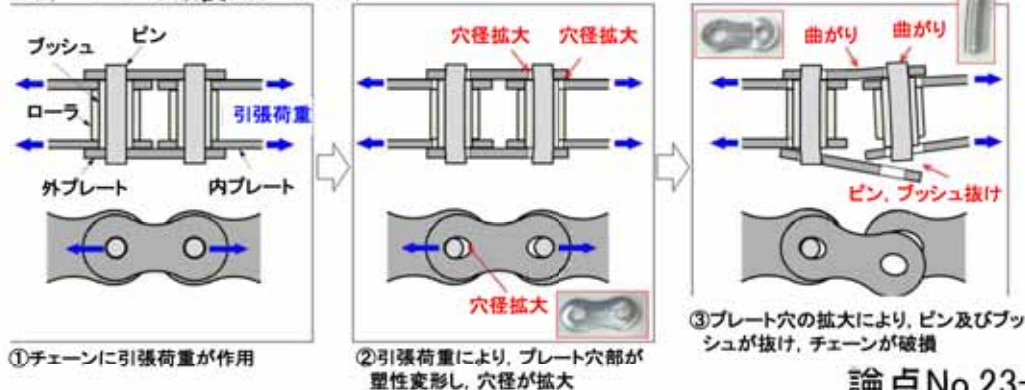


強度評価結果

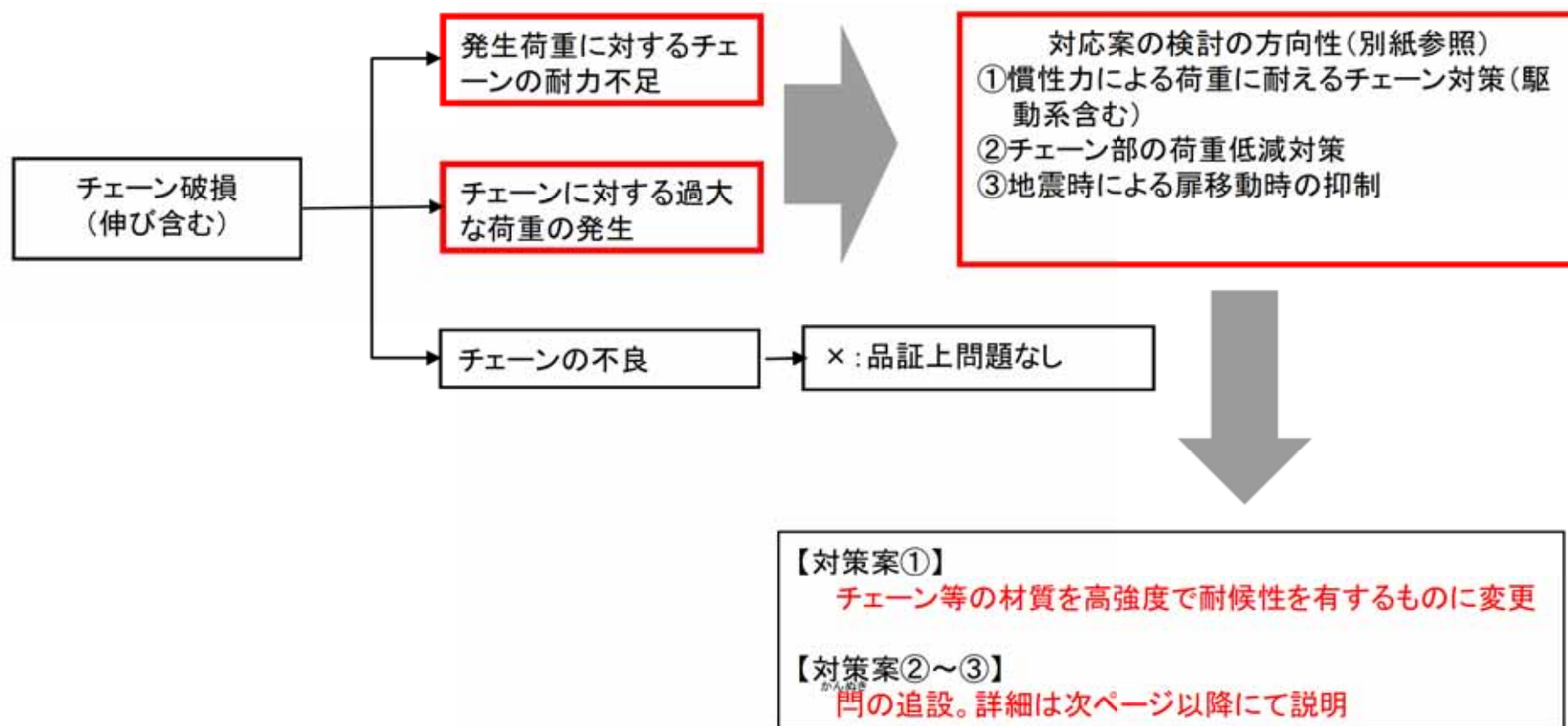


⇒強度評価の結果、荷重伝達経路の中でチェーンが一番発生荷重に対する強度上の裕度が低い

＜チェーンの破損メカニズム＞



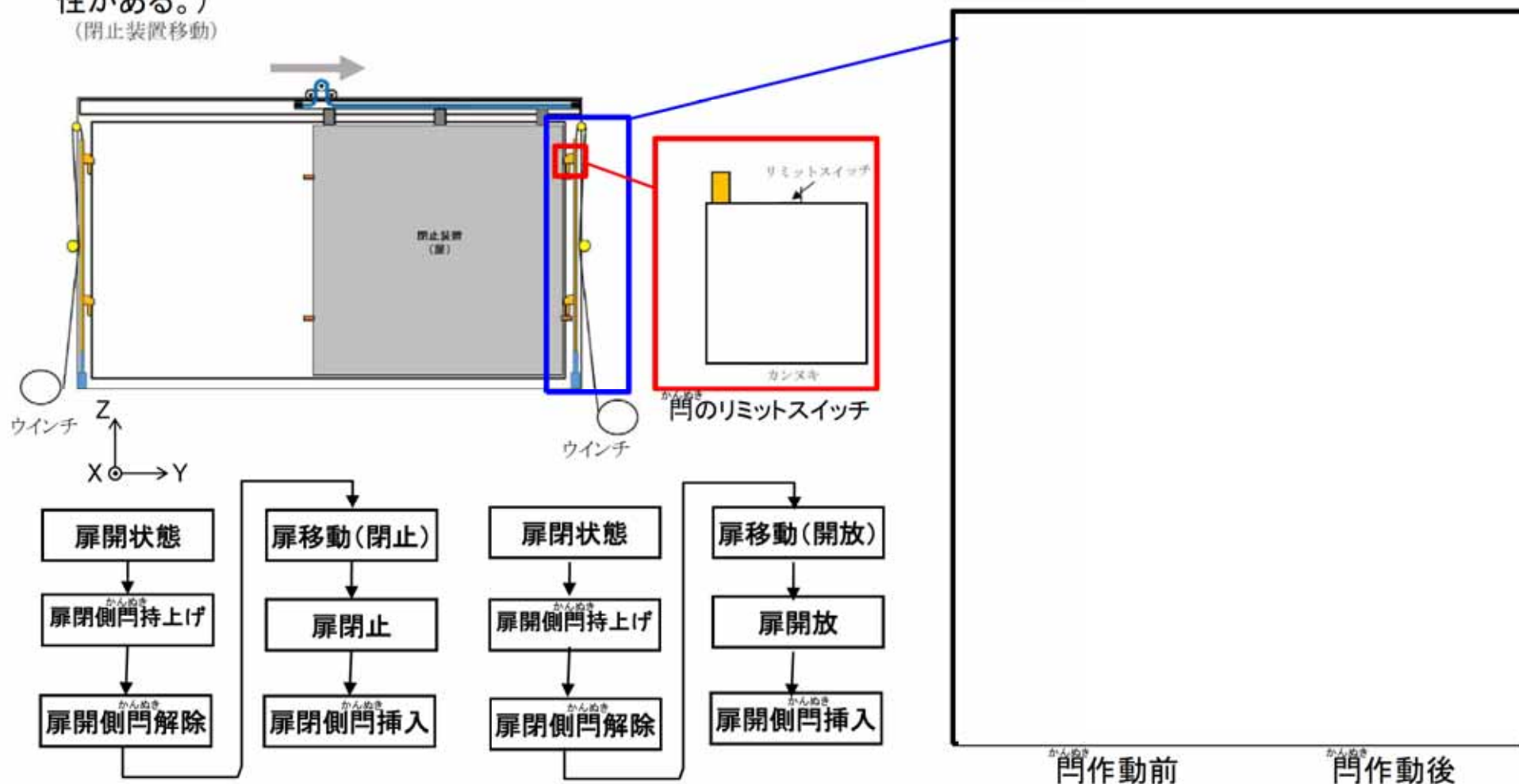
●チェーン損傷対策の方針



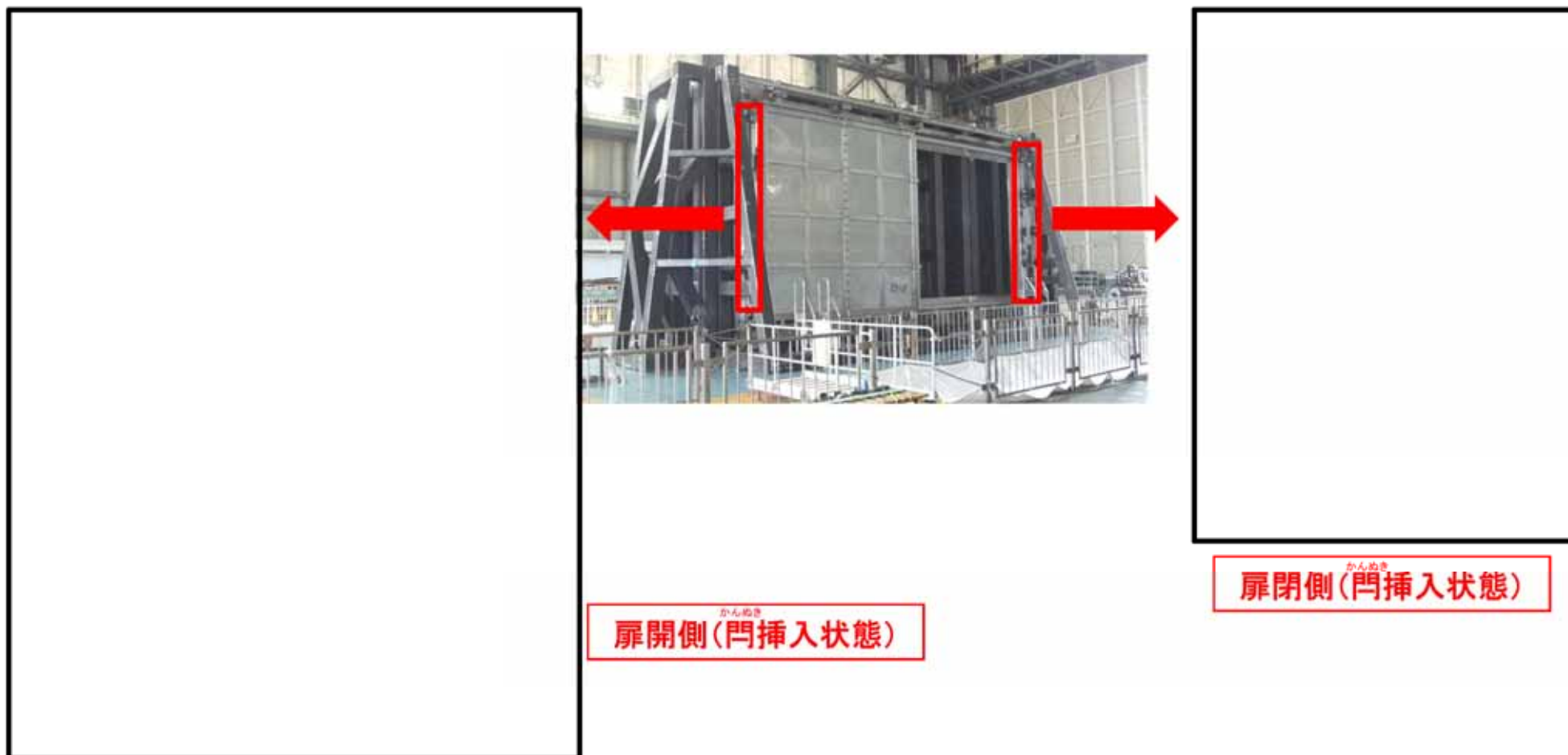
●チェーン損傷対策: 門の追設(1/2) チェーン損傷対策の方針のうち②～③の対策

- ・地震時に発生する扉の慣性力を負担する門を追加した。
- ・遠隔操作時は、電動機により門(ピンク色)を持ち上げ、扉が所定位置まで移動し、その後、電動機により門を下げることににより、扉側の門受け(青色)に門を差し込む構造とする。
- ・人力による手動操作も可能な構造とする。(下図のウインチによる方法は一例であり、設計進捗により変更の可能性がある。)

(閉止装置移動)



●チェーン損傷対策：かんぬき門の追設(2/2)



かんぬき門構造の概要

●再試験(チェーン損傷対策後)

門を追設した閉止装置の耐震性について、以下の試験を実施し、**良好な結果**を得た。
(予備試験及び本試験の詳細は後述)

区分	扉状態	試験項目	目的／試験内容	門有無	H30.7.26	H30.7.25	H30.7.26	H30.7.31
要素試験 (門単体)	開	加振試験1.0Ss ・門作動確認	加振後の門動作確認	有	良好	—	—	—
気密性能確認 (加振無)	閉	気密性能試験	気密性能確認(門間隙を考慮し扉位置を変えて実施)	有	—	良好	—	—
加振試験 (予備試験)	開	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作(門含む) →気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む) ・手動での扉開閉確認(門含む)	有	—	—	良好	—
	閉	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む) ・手動での開閉操作(門含む)	有	—	良好	—	—
加振試験 (本試験)	開	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作(門含む) →気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む)	有	—	—	—	良好
	閉	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む) ・手動での開閉操作(門含む)	有	—	—	—	良好

※前回試験にて計測した加速度が設計加速度以上であることを確認できたことから、再試験は1.0Ssのみで実施。

●再試験結果(1/3)

<チェーンの損傷, 伸び>

門を設置した結果, チェーン破損はなく, 扉開放等の**不具合は認められなかった**。また, 新たに設置した門についても擦れ跡が確認されたが, 割れや変形等の異常は確認されなかった。

試験日	試験条件		外観目視点検結果				備考 チェーン伸び
	扉	加振	チェーン	扉開閉止	門	その他部位	
H30.7.26	開	1.0Ss (予備試験)	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	約4mm
H30.7.25	閉		破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	
H30.7.31	開	1.0Ss (本試験)	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	約1mm
H30.7.31	閉		破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	

<チェーンの伸びについて>

- ・チェーンは組立歪と初期なじみにより初期伸びが発生する。
- ・今回の試験で測定されたチェーンの伸びは, 全長(約6m)の0.05%程度であり, メーカーの製造実績も踏まえると初期伸びに相当するものであり, 異状ではないと判断した。

擦れ跡
(門が差し込まれた状態で加振される場合, 門ピンと扉の門受けが接触するため発生)



●再試験結果(2/3)

<扉及び門作動試験(電動/手動)>

- ・扉及び門の作動時間/電流値が判定基準以内であることを確認した。
- ・扉及び門のシリンダの電動機を含む駆動系に異常のないことを確認した。

【門の作動試験】

試験日	試験条件		門位置	電動				手動	
	扉	加振		押上時		挿入時		押上時	挿入時
				作動時間 (15秒以内)	電流 (2.1A以内)	作動時間 (15秒以内)	電流 (2.1A以内)		
H30.7.26	開	1.0Ss (予備試験)	扉開側	良	良	良	良	異常なし	異常なし
H30.7.25			閉	扉閉側	良	良	良	良	異常なし
H30.7.31	開			扉開側	良	良	良	良	—
			扉閉側	良	良	良	良	—	—
H30.7.31	閉	1.0Ss (本試験)	扉開側	良	良	良	良	異常なし※	異常なし※
			扉閉側	良	良	良	良	異常なし※	異常なし※

※電動による確認結果に異常はなく省略可能であるが、念のため確認

【扉の作動試験】

試験日	試験条件		電動				手動
	扉	加振	開放→閉止		閉止→開放		
			作動時間 (120秒以内)	電流 (7.48A 以内)	作動時間 (120秒以内)	電流 (7.48A 以内)	
H30.7.26	開	1.0Ss(予備試験)	良	良	良	良	開→閉 異常なし
H30.7.25	閉		良	良	良	良	閉→開 異常なし
H30.7.31	開	1.0Ss(本試験)	良	良	良	良	—
H30.7.31	閉		良	良	良	良	開→閉 異常なし※

※電動による確認結果に異常はなく省略可能であるが、念のため確認

●再試験結果(3/3)

＜気密性能試験＞

今回の再試験前に新しいパッキンに取替えを行い、気密性能を確認した結果、加振試験前後での通気量の大きな増加は認められず、加振後においても、気密性が確保できることを確認した。

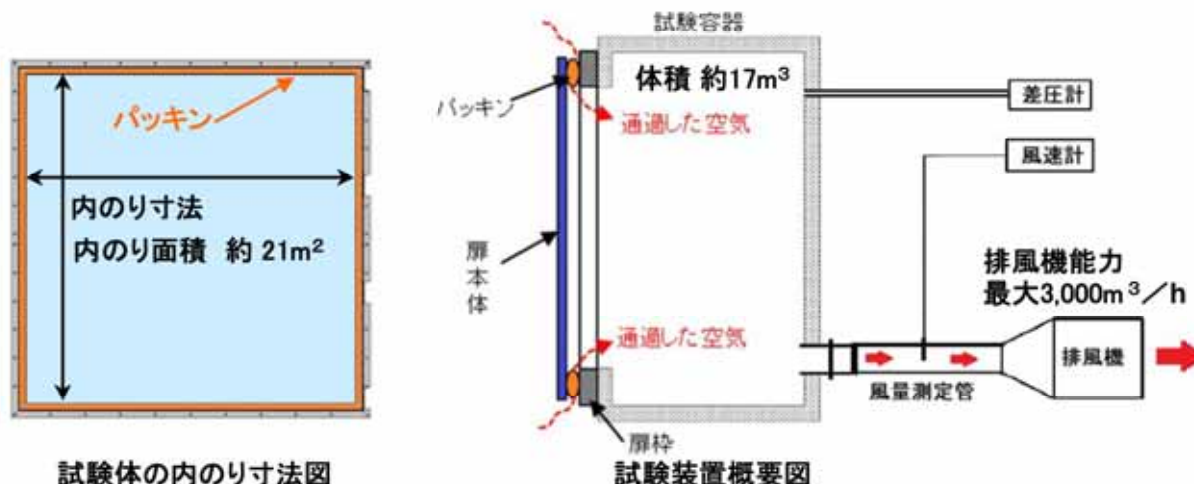
試験日	試験条件		通気量[m ³ /h・m ²] (63 Pa時)※	備考	【参考】第1回試験 通気量[m ³ /h・m ²]
	扉	加振			
H30.7.25	閉	初期状態	0.28	・門穴の間隙による扉移動(最大±5mm)を考慮して試験実施 ・数値は上から扉停止位置、閉側に5mm移動させた位置、開側に8mm(設計最大量5mm+保守的に3mm)移動させた位置での試験結果	0.25
			0.28		—
			0.32		—
H30.7.26	開	1.0Ss (予備試験)	0.28	加振後に扉を閉止し試験	0.25
H30.7.25	閉		0.32	扉閉状態での加振後の状態で試験	—
H30.7.31	開	1.0Ss (本試験)	0.28	加振後に扉を閉止し試験	0.26
H30.7.31	閉		0.35	扉閉状態での加振後の状態で試験	0.26

※目標値は□Paにおいて□m³/h・m²以下

【参考】気密性能試験について

- ✓ 気密性能試験は、ASTM E283-04※に準じた試験装置を使用

※: Test Method for Determining the Rate of Air Leakage through Exterior Windows, Curtain Walls and Doors Under Special Pressure Differences Across the Specimen



排風機及び風速計設置状況

- ✓ 排風機により試験容器内の空気を排出し、試験容器内外に圧力差を生じさせ、試験体のパッキンを通過した空気量を測定

$$q = Q' / A$$

q : 通気量 (m³/h・m²)

A : 試験体の内のり面積 (m²)

Q' : 通過した空気量 (20°C, 1,013hPa換算値) (m³/h) $Q' = Q \times \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$

Q : 通過した空気量 (試験時) $Q = V \times S \times 3600$

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 (°C)

V : 風速計により測定した風速 (m/s)

S : 風量測定管の断面積 (m²)

- ✓ 試験体の設計目標は、JIS A4等級 Paにおいて m³/h・m²)以上

【論点No.23】

ブローアウトパネルに係る加振試験の再試験結果について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.892

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

●ブローアウトパネルについて

6月21日に兵庫県三木市にある防災科学技術研究所でブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験が行われた。想定される最大の揺れを加えた試験の結果、パネルが約5cmも空いてしまい、更に開閉操作のチェーンも切れてしまった。通常であればその改善策後の確認試験が必要であるにも関わらず、立ち会った山中伸介原子力規制委員は、「設計そのものに問題はなかった」と総括。再確認が必要であるがどうなったのか。

P.4-14