

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の耐震設計上の施設区分及び設計用地震力

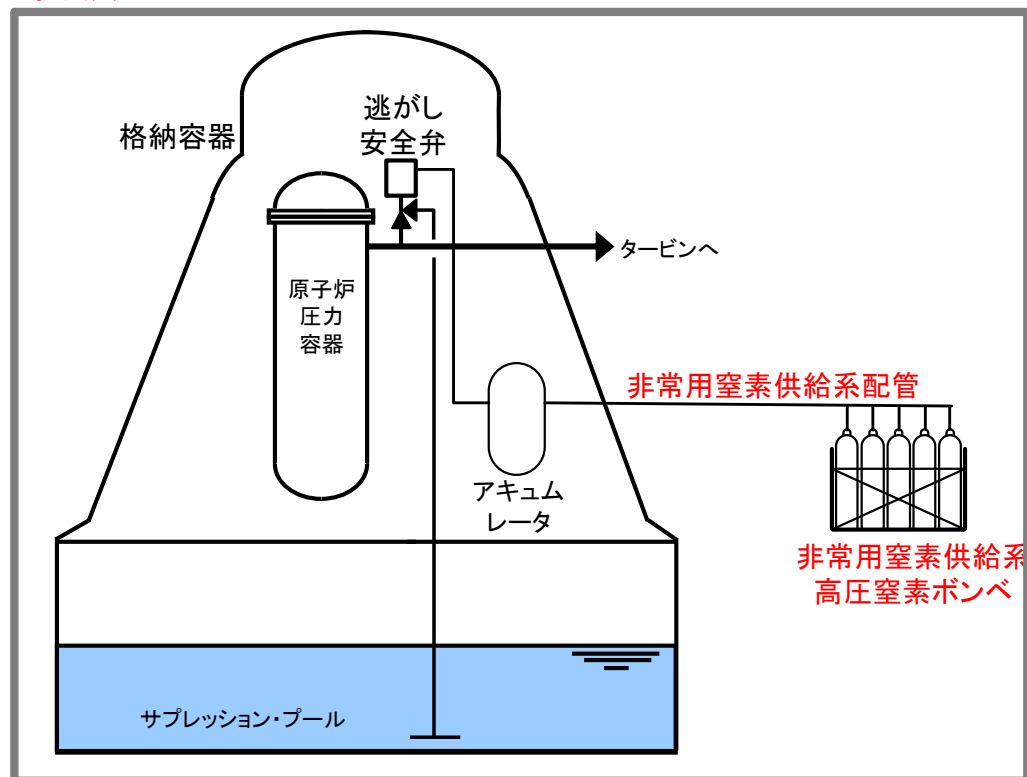
○重大事故等対処設備は、要求される機能に応じて、**重大事故等の発生を防止する機能を有する設備**(重大事故防止設備)、又は**事故の拡大を防止しまたその影響を緩和するための設備**(重大事故緩和設備)に区分し、さらに設置方法により常設、可搬に区分される。

○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: 2.4Ci* ・Cクラスを代替する設備: 1.2Ci *: 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Ssによる地震力

非常用窒素供給設備(減圧手段の強化)の耐震評価結果

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Ss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。

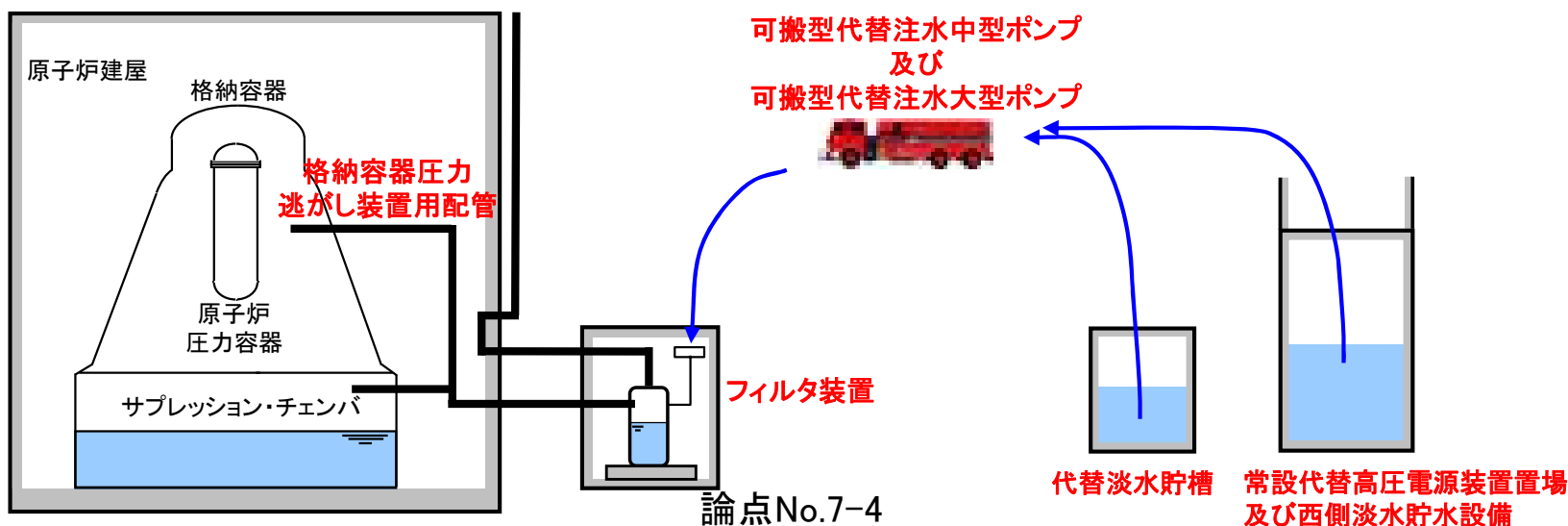
評価対象設備 (設備区分)	設計用 地震力	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
非常用窒素供給系配管 (常設耐震重要重大事故防止設備)	Ss	構造強度	配管本体	一次応力	144 MPa	371 MPa
非常用窒素供給系高圧窒素 ポンベ (可搬型重大事故防止設備)	Ss	構造強度	アンカプレート	せん断	13 MPa	70MPa
原子炉建屋 (常設耐震重要重大事故防止設備等が 設置される重大事故等対処施設)	Ss	構造強度	耐震壁	せん断ひずみ	0.60×10^{-3}	2.0×10^{-3}

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関しても、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。

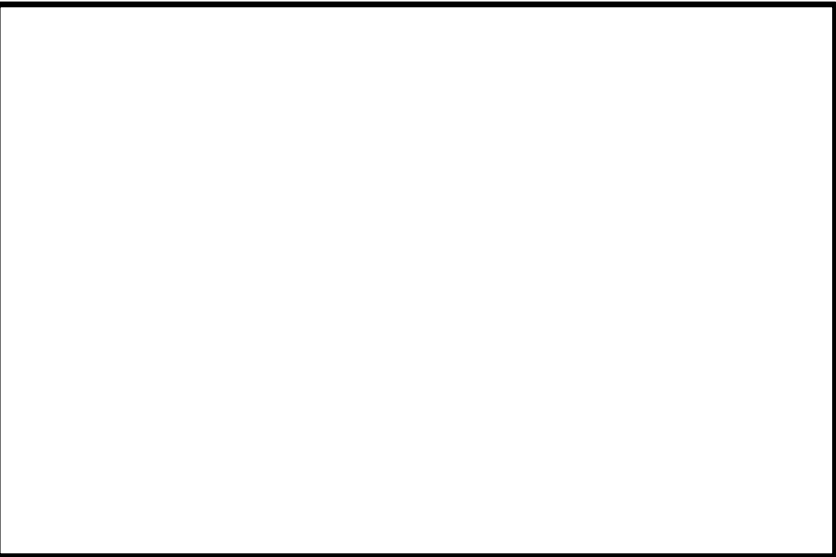
2. 緊急時対策所設備の概要と建物

○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

緊急時対策所の建屋概要



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 ・プ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

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ることがないよう、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	平面図 断面図	杭仕様:材質SKK490, 本数88本(11×9), 径φ1000, 厚さ22mm 凡例 ○:杭 (杭伏図) 平面図 断面図
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。

別紙 耐震評価結果一覧 建物・構築物(緊急時対策所)



○ 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	基礎ボルト (無線通信用アンテナ(緊急時対策所建屋側))	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

別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(2/6)



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-2-8-2-7	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

別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所) (3/6)



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-2-8-3-3-5	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:底部のフランジプレートとの接合部	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接合部	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接合部)	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

別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所) (5/6)



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-2-10-1-7-10	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遠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遠隔操作盤	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

別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所) (6/6)



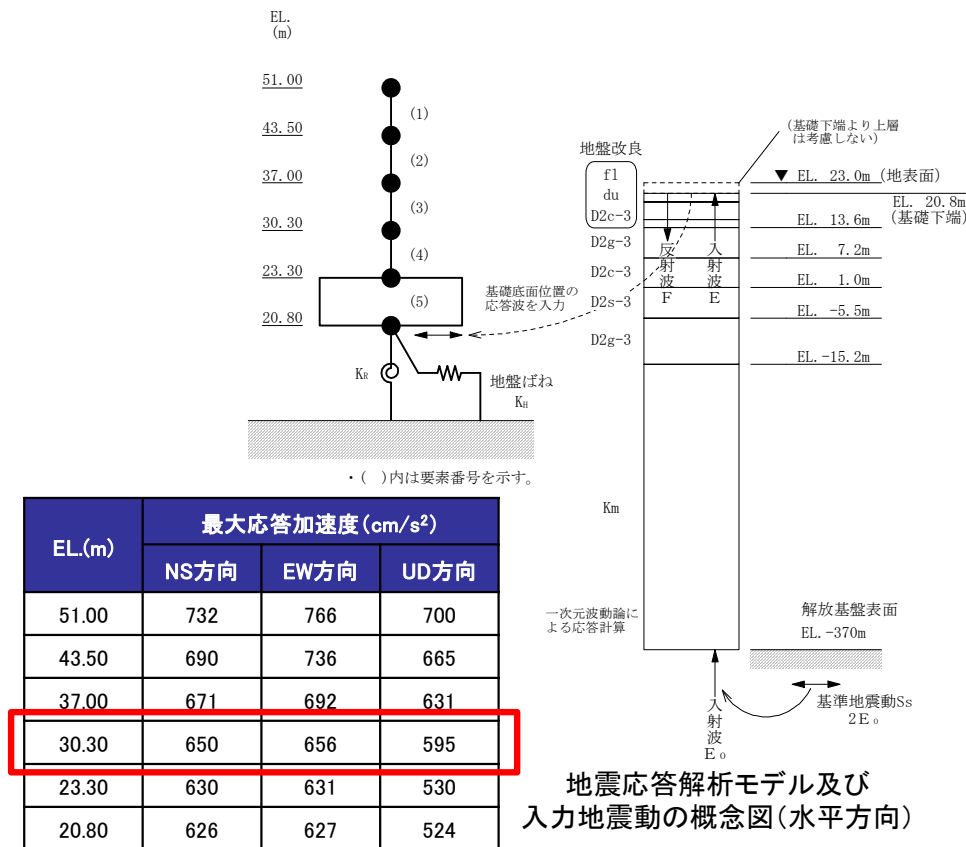
目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-10-1-7-19	緊急時対策所用動力変圧器の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	90	210	2.33
V-2-10-1-7-20	緊急時対策所用パワーセンタの耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	40	210	5.25
		機能維持	緊急時対策所用パワーセンタ	応答加速度(鉛直)	G	1.17	1.64	1.40
V-2-10-1-7-21	緊急時対策所用モータコントロールセンタの耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	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

別紙 主な耐震評価結果 建物・構築物(緊急時対策所)



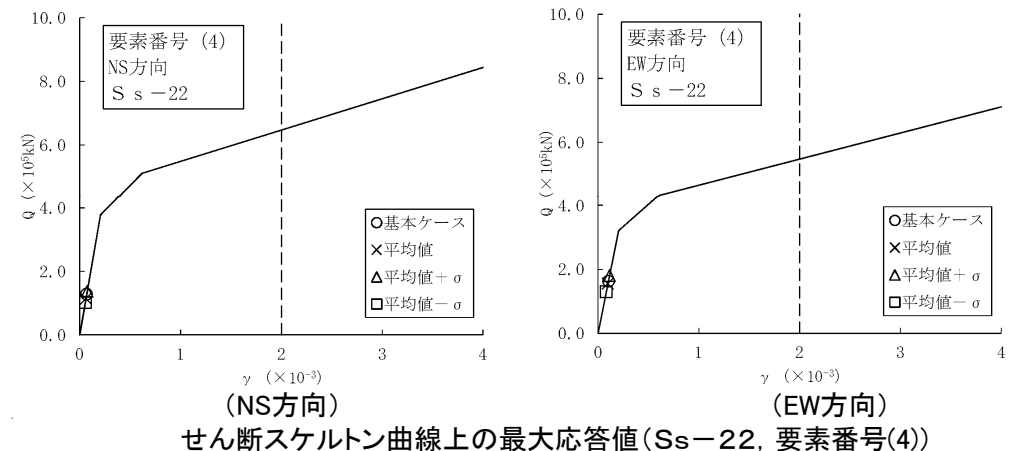
○ 緊急時対策所建屋

- ・地盤物性のばらつきを考慮した緊急時対策所建屋の耐震壁のせん断ひずみを算出し、最大せん断ひずみと許容限界を比較した結果、**耐震壁の最大せん断ひずみは 0.115×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})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
	支持地盤 表層地盤	地盤改良土	
基本ケース	平均値	改良目標値	基本ケース
地盤物性の変動 による影響	平均値	平均値	試験施工の平均値を考慮
	+σ相当	+σ相当	試験施工のばらつきを考慮(+σ)
	-σ相当	-σ相当	試験施工のばらつきを考慮(-σ)



緊急時対策所建屋に設置される代表機器の耐震評価結果

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
緊急時対策所用発電機	構造強度	取付ボルト	引張応力	81 (MPa)	210 (MPa)
	機能維持	緊急時対策所用発電機	応答加速度 (鉛直)	0.55 (G)	1 (G)
緊急時対策所用制御盤	構造強度	取付ボルト	引張応力	147 (MPa)	385 (MPa)
	機能維持	緊急時対策所用制御盤	応答加速度 (水平)	0.65 (G)	1.3 (G)

- ・福島第一原子力発電所の免震重要棟は、2011年の事故時にその機能を維持し、事象収束へ向けた対策検討、指揮命令を発する場所として機能したことから、免震構造には一定の効果があるといえる。一方、**東海第二発電所の緊急時対策所建屋では、先行プラントの状況等を勘案し、耐震構造とすることとした。**
- ・右表に緊急時対策所建屋に設置される代表機器の評価結果を示す。全ての評価対象設備について、**応力・加速度の発生値が許容値を下回ることを確認した。**

【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】

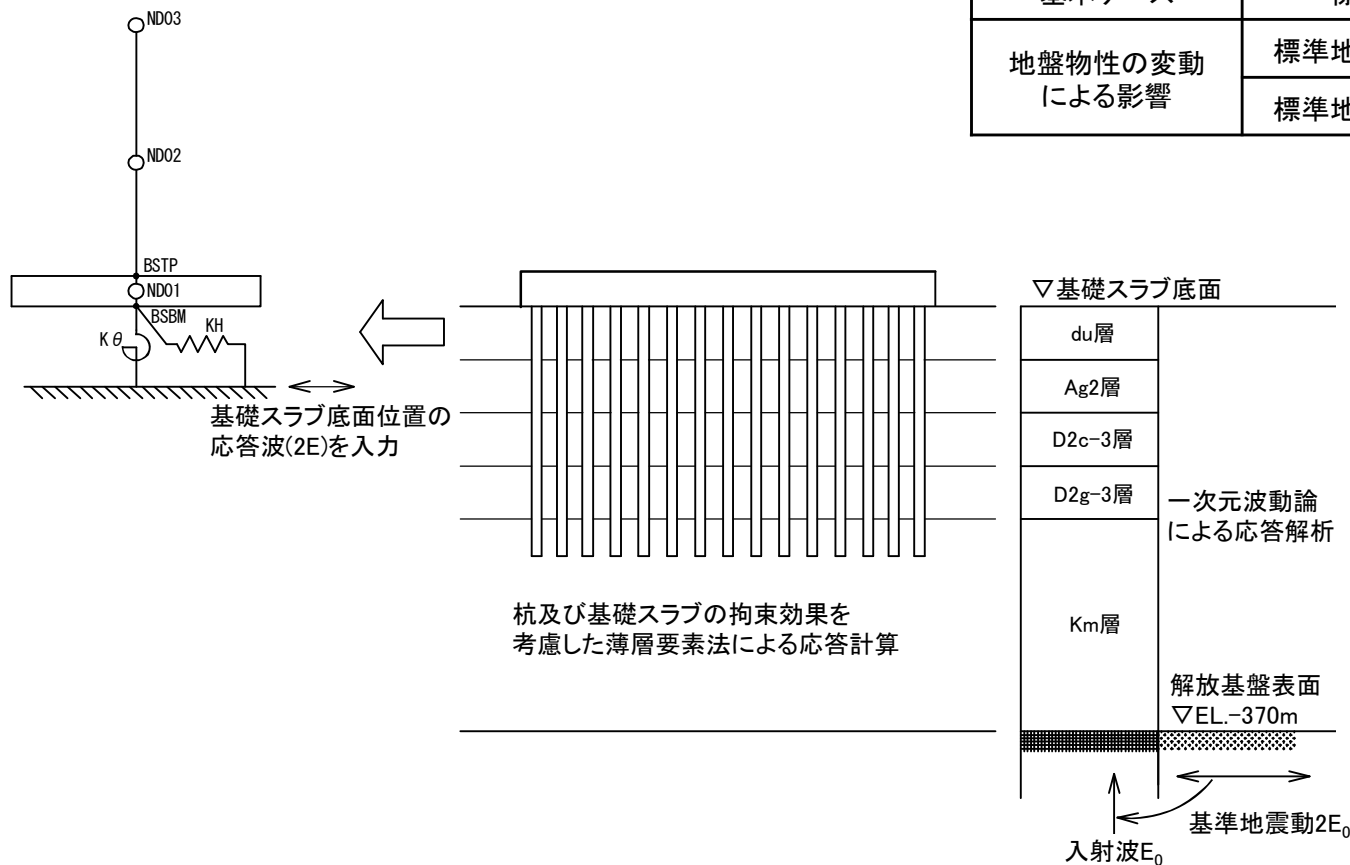
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋では、地盤物性のばらつきを考慮して地震応答解析を実施している。
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価における水平地盤ばねは、水平載荷試験結果に基づき評価した水平地盤反力係数に、基礎指針に基づく群杭係数を乗じて評価している。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析

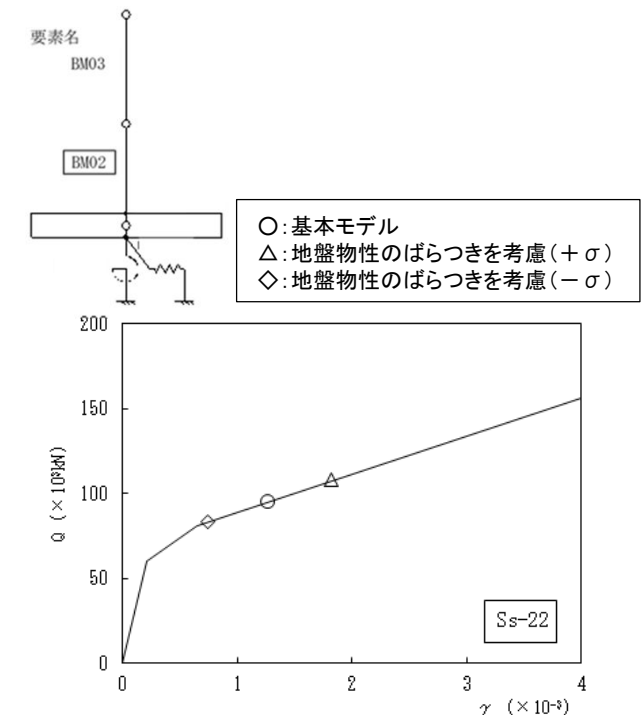
- ・解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s (8波)に基づく入力地震動を質点系モデルに入力して地震応答解析を実施した。
- ・地盤物性のばらつきを考慮した使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁について、全ての基準地震動 S_s に対して各層のせん断ひずみを算出し、許容限界と比較した結果、せん断ひずみが全ての基準地震動 S_s の中で最大となる S_s-22 の場合においても、耐震壁の最大せん断ひずみは 1.82×10^{-3} (要素番号BM02, 地盤物性のばらつき(+ σ), NS方向, S_s-22)であり、波及的影響を及ぼさないための許容限界(4.0×10^{-3} (終局点))を超えな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

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)

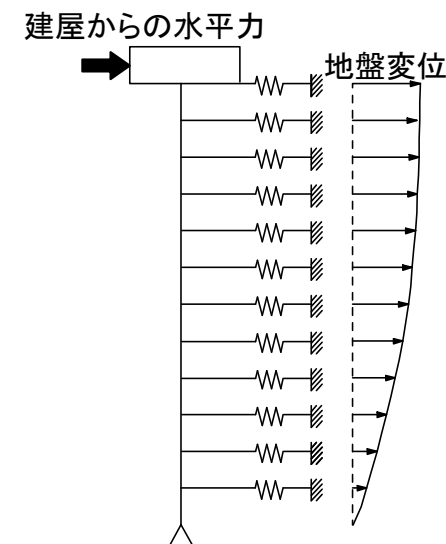


せん断スケルトン曲線上の最大応答値

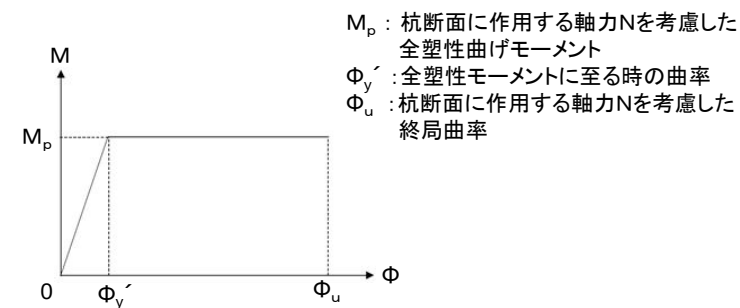
(要素番号BM02, NS方向)

○ 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



杭の曲げモーメント-曲率($M-\Phi$)関係

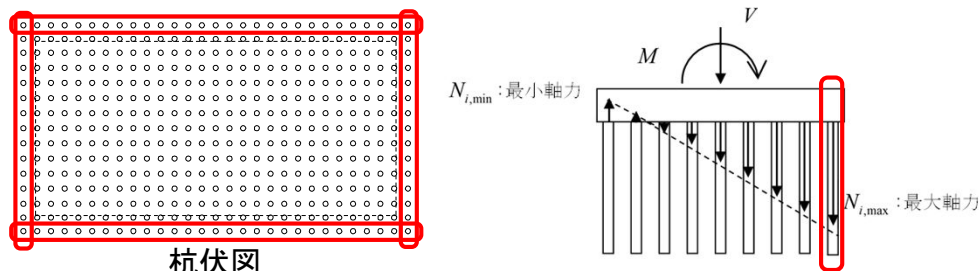
杭の評価結果

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

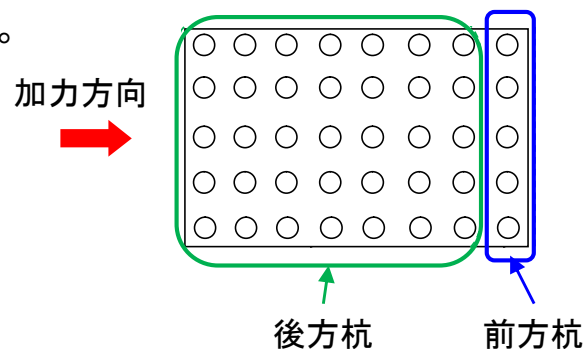
使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価

○ 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。
- ・評価の際に乘じる群杭係数は、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。



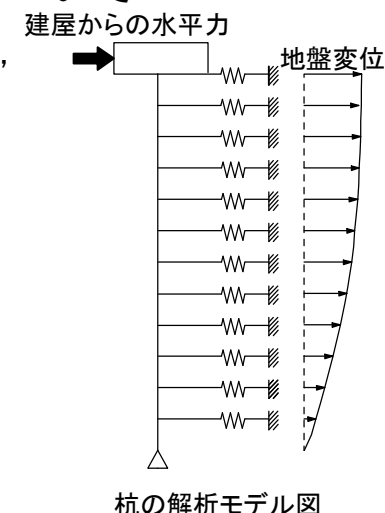
杭位置による前方杭と後方杭の区分

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

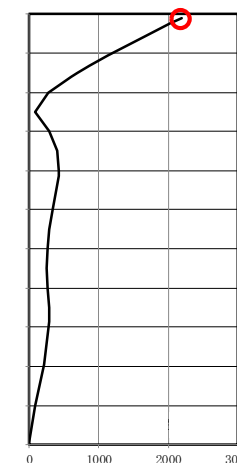
- ・杭応力に対する評価においては、杭径及び板厚が同一の杭であることから、1本の杭に代表させて評価を実施する。

- ・建屋からの水平力は、全ての基準地震動Ss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。



杭の解析モデル図

- ・地盤変位については、全ての基準地震動Ss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。



Ss地震時の杭応力分布
(曲げモーメント)

- ・Ss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。

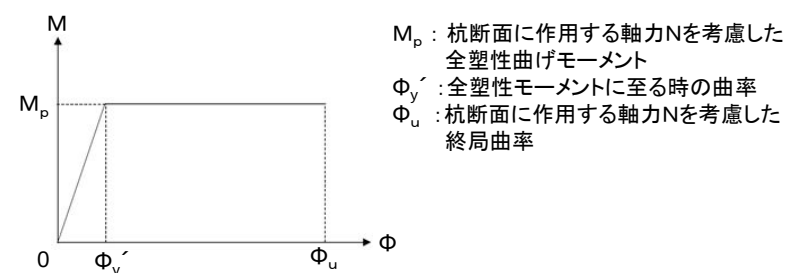
杭に作用する荷重が保守的な条件となるよう、地震波毎や作用位置毎ではなく、全ての最大値を取るよう設定した。

○ 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ー曲率(M- Φ)関係

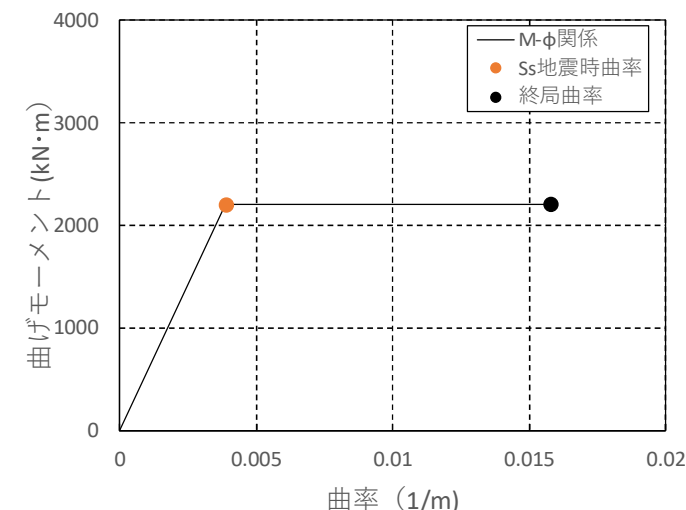
※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。

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

* 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

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)

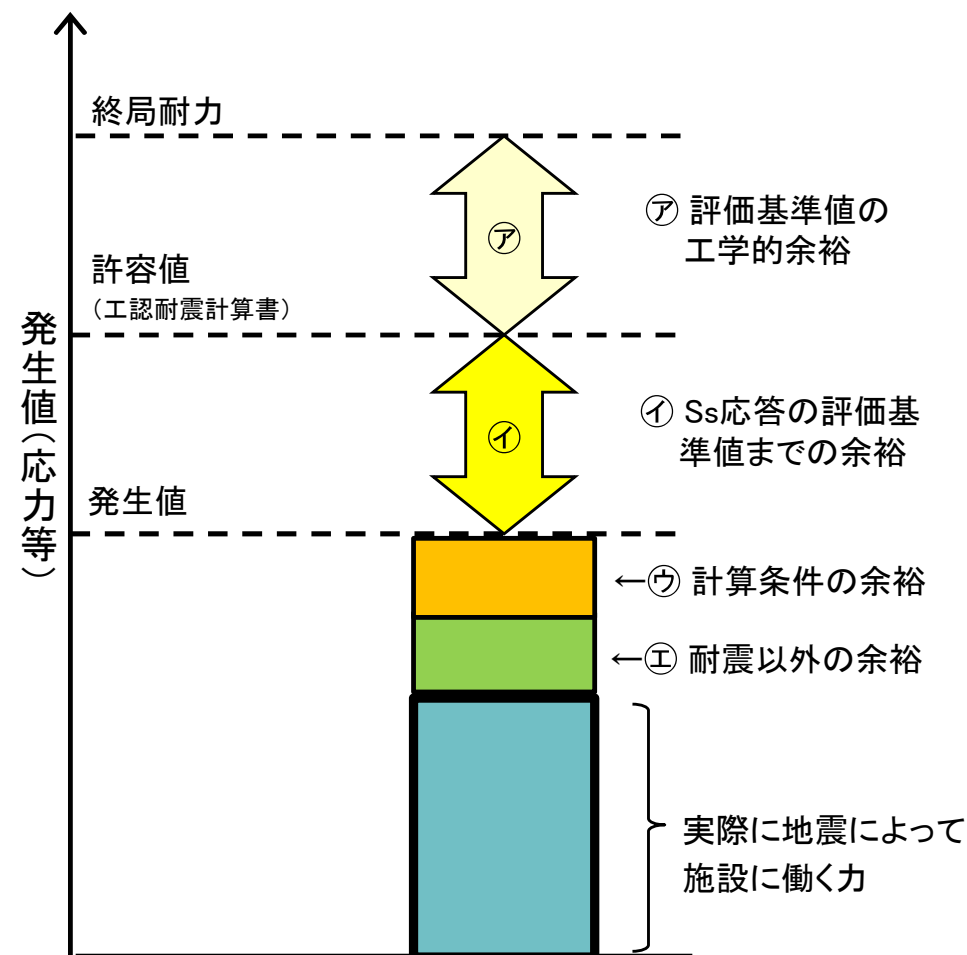
- ㊦ 許容値に対して工学的な判断のもと持たせる余裕

(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。



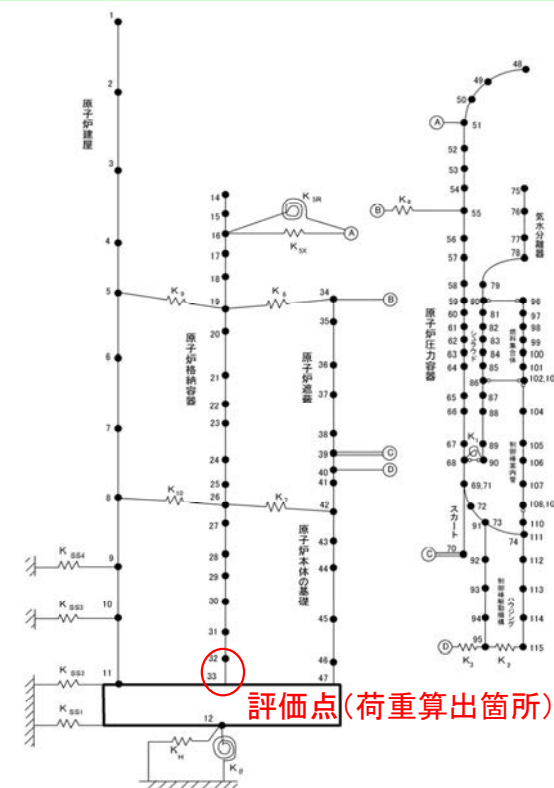
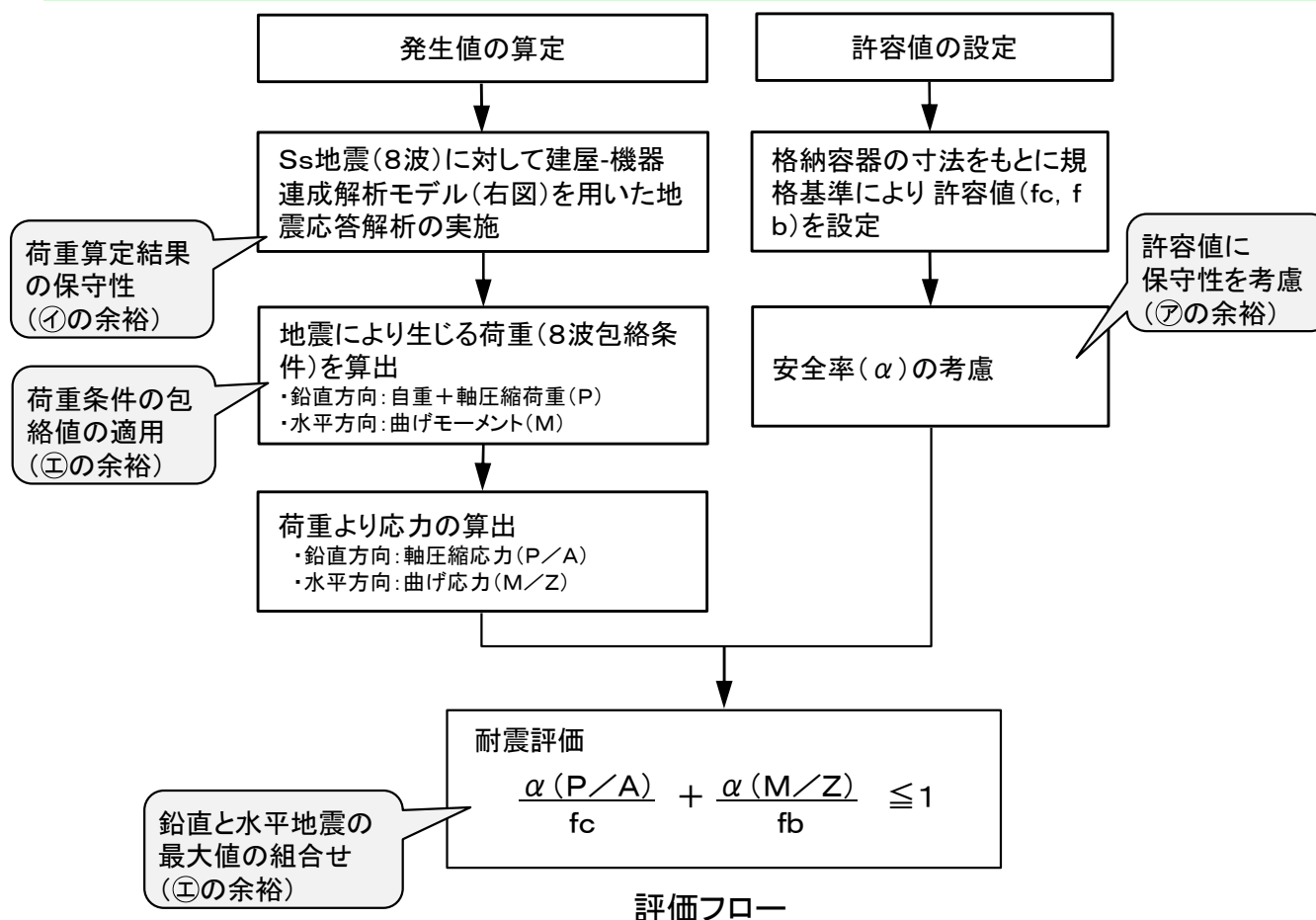
耐震評価で有する保守性（イメージ図）

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。



原子炉格納容器の座屈評価における保守性(ア)の余裕

⑦ 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

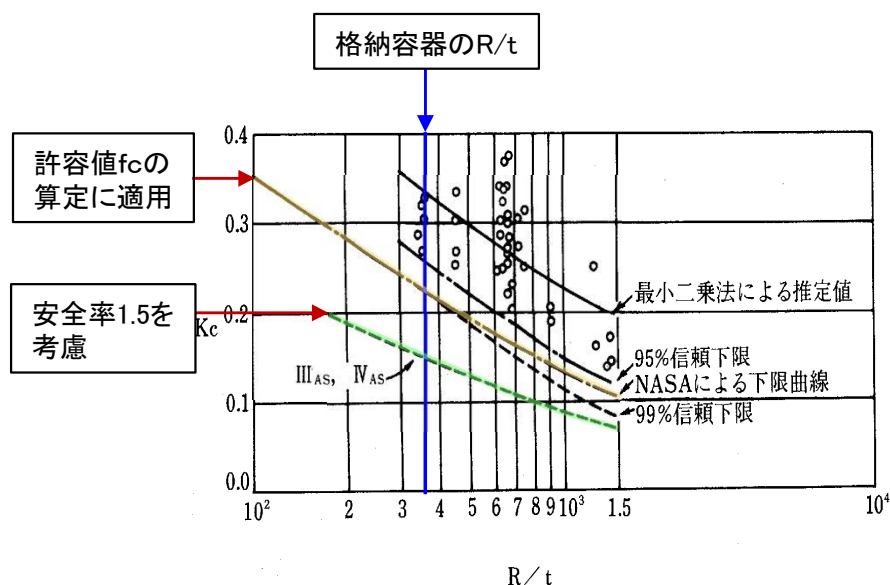
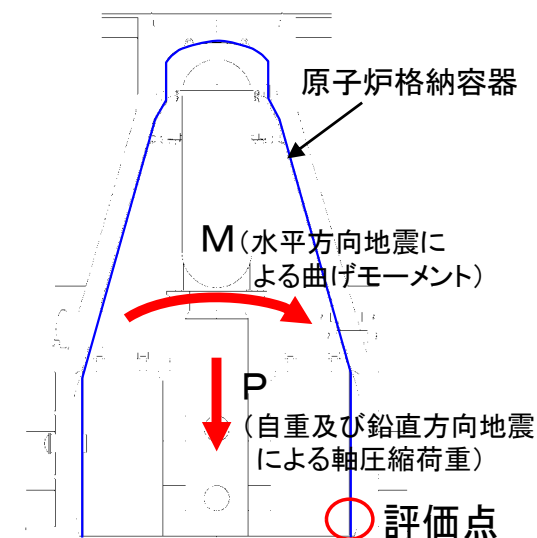
- ・ 座屈評価に用いる許容値は、座屈に重要なパラメータR(半径)/t(板厚)に対して、海外で実施された**広範な座屈実験により定められた下限曲線をもとに**設定されている。
- ・ さらに格納容器の耐震評価に適用している座屈評価式では、**安全率として1.5を考慮**したもののとなっている。

【座屈の評価式】

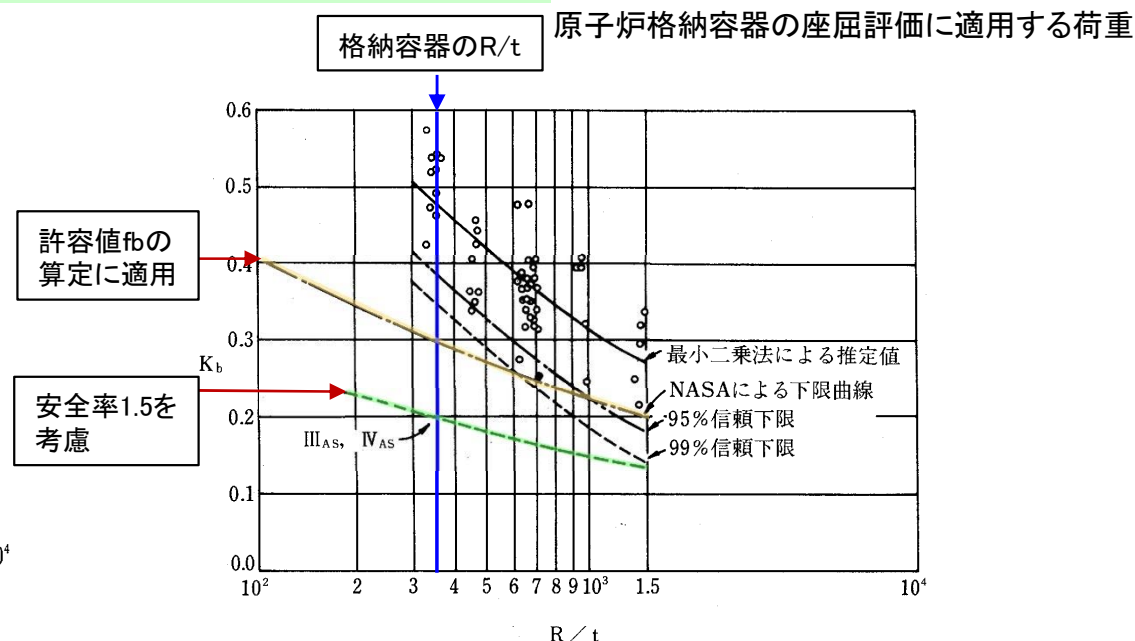
$$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b} \leq 1$$

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

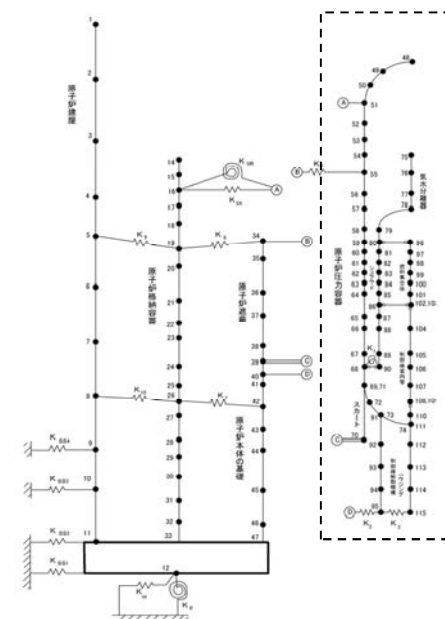
原子炉格納容器の座屈評価における保守性(㊦の余裕)

㊦ 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

- ・ 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

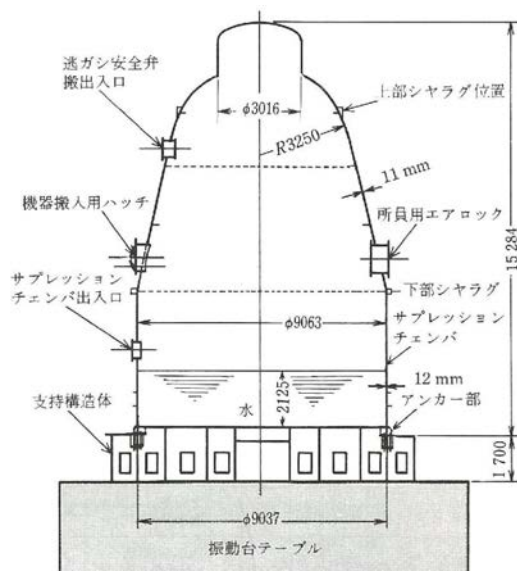


東海第二発電所の解析モデルでは原子炉内部構造物を詳細にモデル化しているが、その他のモデル化は試験体解析モデルと同様である。

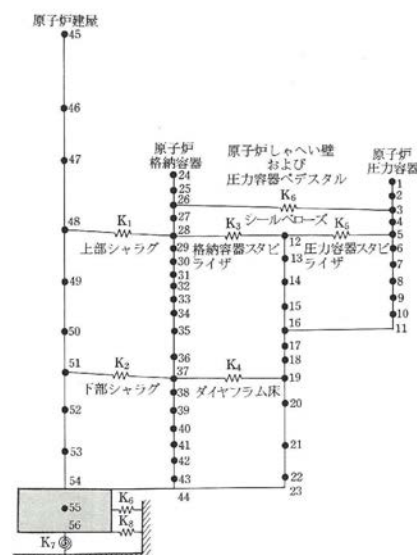
東海第二発電所解析モデル(水平方向)

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	実測値		設計解析値
	内面	外面	
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



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)

㊦ 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)

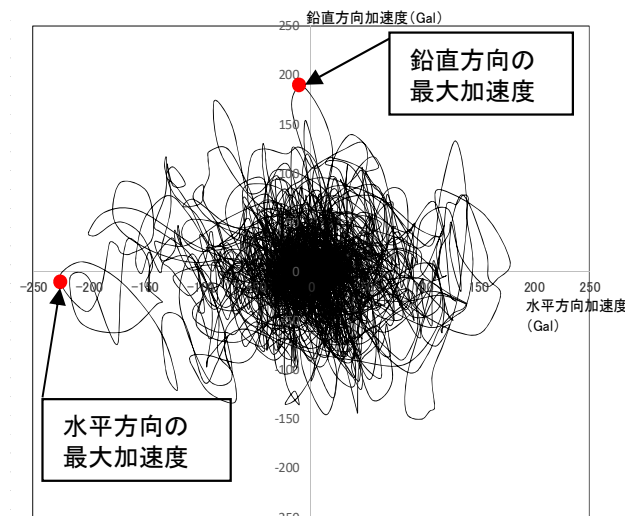


図1 原子炉建屋基礎上でリサージュ波形(東北地方太平洋沖地震における例)

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

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(かんぬき)**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

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。

$$A_L = 0.6T_L \times (Sy_d/Sy_t)$$

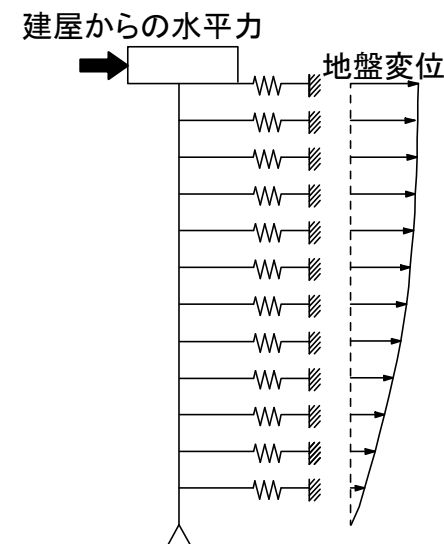
T_L : 荷重試験により破損するおそれのある荷重(試験体3体のうち最小値)

Sy_d/Sy_t : 最高使用温度と試験温度との補正值

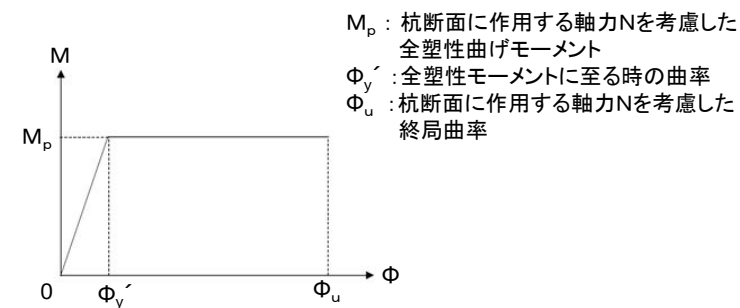
ブローアウトパネル閉止装置用チェーンの試験結果

○ 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



杭の曲げモーメント-曲率($M-\Phi$)関係

杭の評価結果

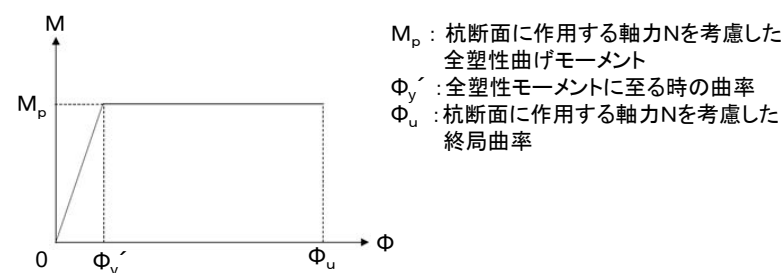
評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

○ 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。



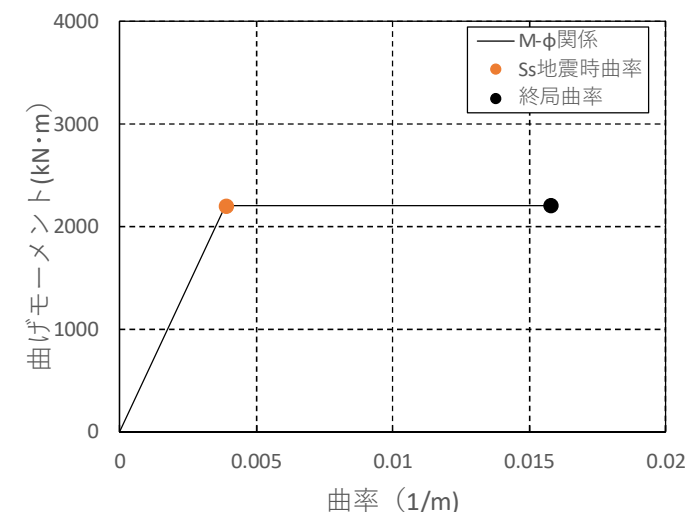
杭の曲げモーメント-曲率(M-Φ)関係

※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	$0.389 \times 10^{-2} (1/m)$	$1.58 \times 10^{-2} (1/m)$	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



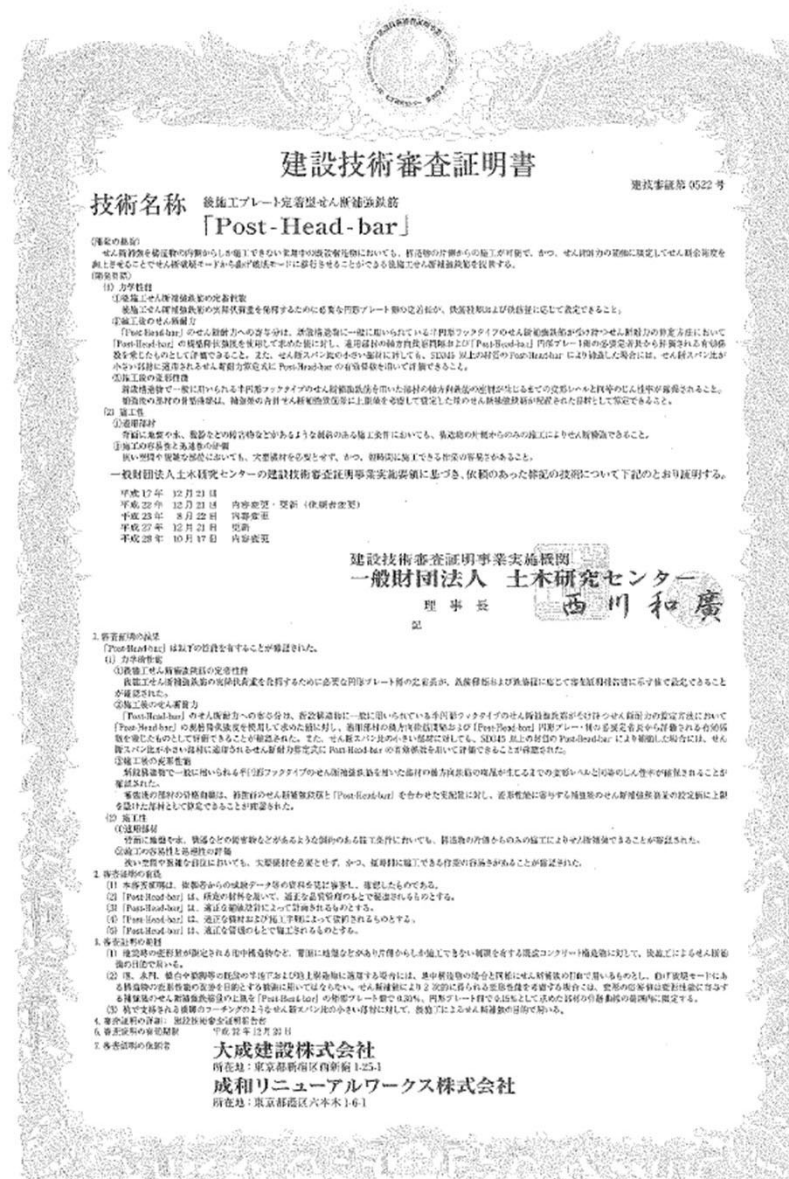
PHb(Post-Head-bar)工法は、平成17年(一財)土木研究センター¹⁾より建設技術審査証明を交付されている。
また、国土交通省の公共工事等における新技術活用システム²⁾の中核となる新技術情報システム(NETIS)により、令和元年度の準推奨技術³⁾として選定されている。

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)	最終沈澱池、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)

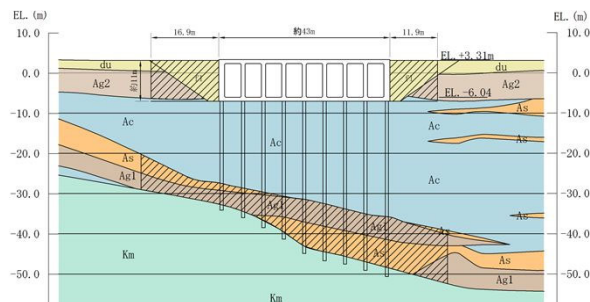


PHb工法研究会ホームページより

○ 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。

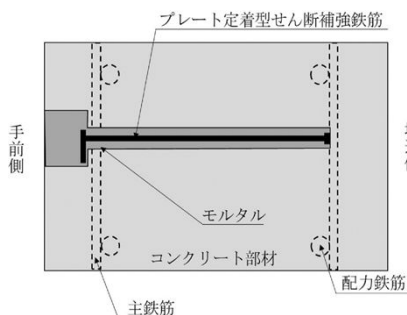


地盤改良範囲(斜線部)

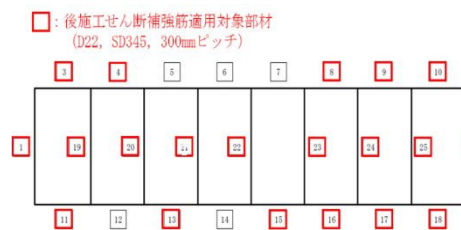
【後施工せん断補強筋(PHb工法)】

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。

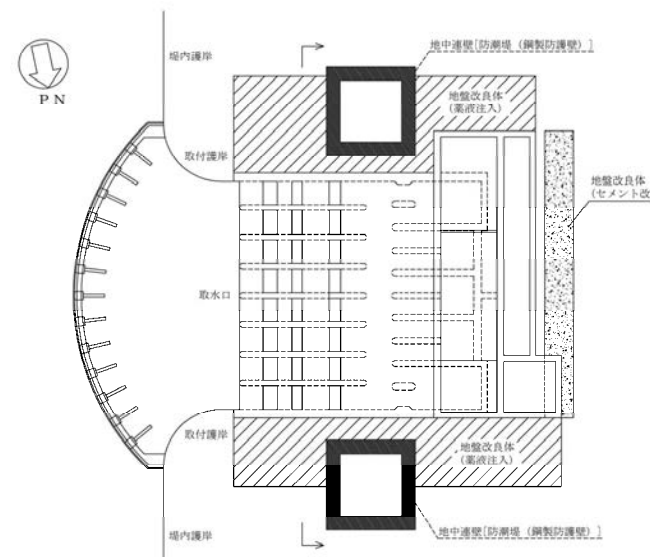


PHb工法の概要



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	せん断耐力	照査値
			部材幅	部材高	有効高		Vd (kN)	Vyd (kN)	
			b (mm)	h (mm)	d (mm)				$\gamma_i \cdot Vd/Vyd$
中底版	④	S _s -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 _s -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

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

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。

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

加振試験に用いる加振波の策定

○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。

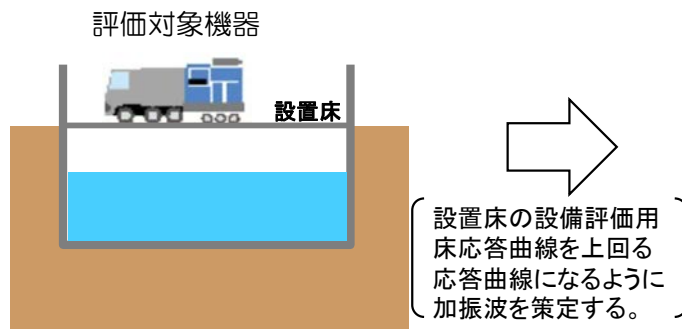
JEAG4601の記載要約

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。

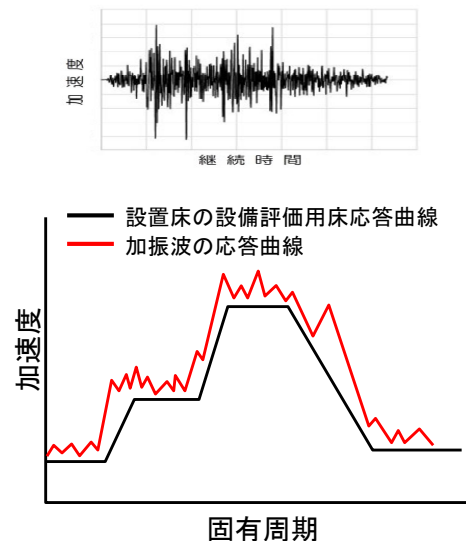
なお、1次固有周期が卓越する機器については正弦波による試験を行ってもよい。

○東海第二発電所の加振波のJEAG4601への適合状況

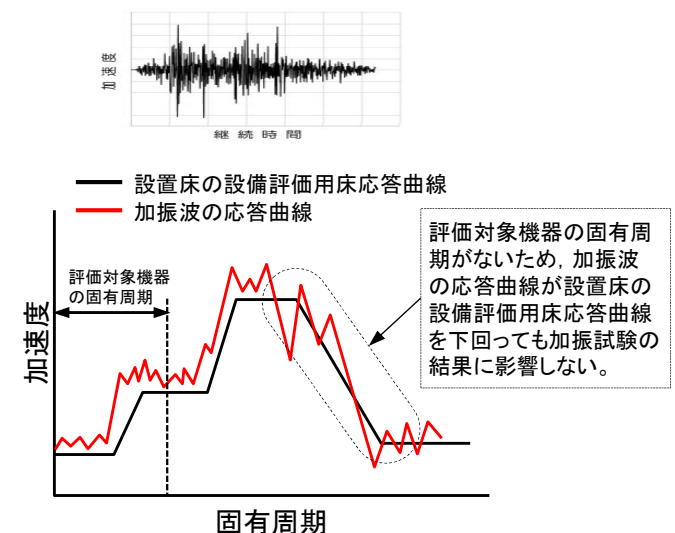
東海第二発電所では、この要求を満足するように加振波を策定した上で加振試験を適用している。なお、加振波の策定には、地盤物性等のばらつきを考慮した設備評価用床応答曲線を適用している。



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

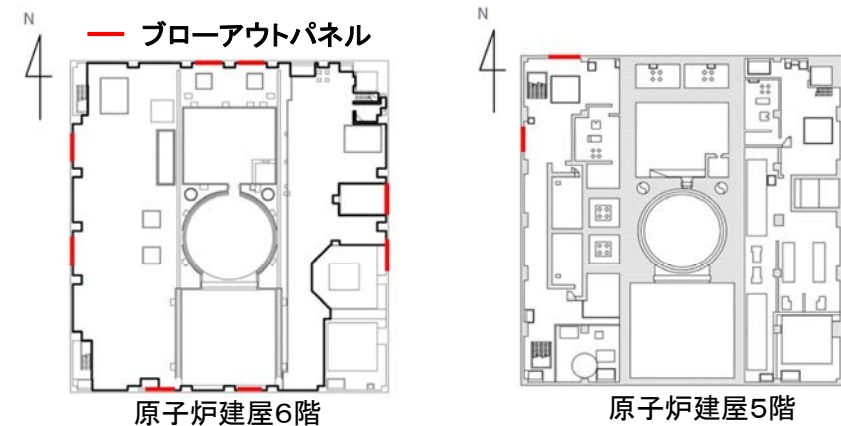


ブローアウトパネル閉止装置の加振試験結果(1/2)

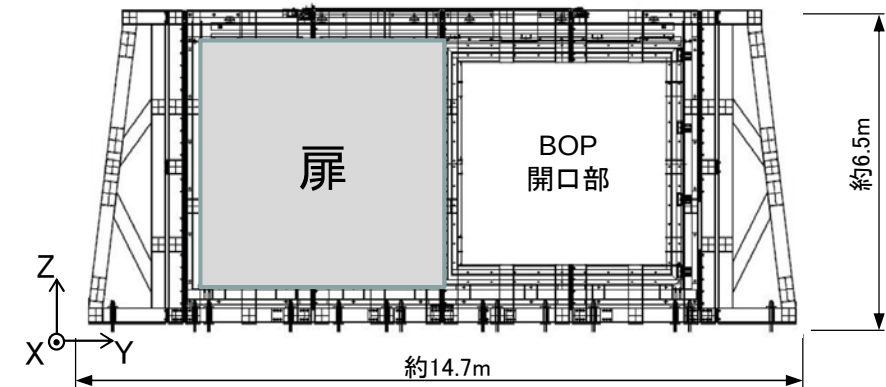
ブローアウトパネル(BOP)閉止装置の動的機能維持の確認について、実機大の加振試験装置を用いた模擬地震波による加振試験により行った。

加振試験等の条件

	BOP閉止装置
加振台仕様	・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



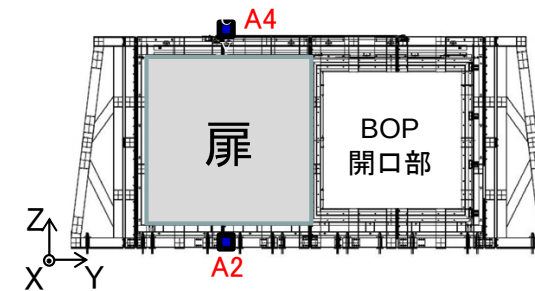
ブローアウトパネル閉止装置の加振試験結果(2/2)

○ 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

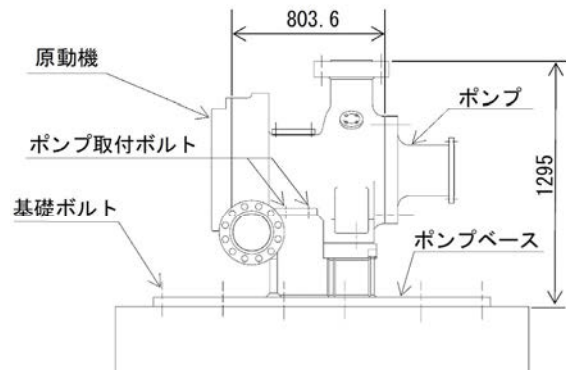
区分 (扉状態)	試験項目	結果
加振試験 (扉開状態)	作動確認 ・扉閉操作 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好
加振試験 (扉閉状態)	作動確認 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好

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。

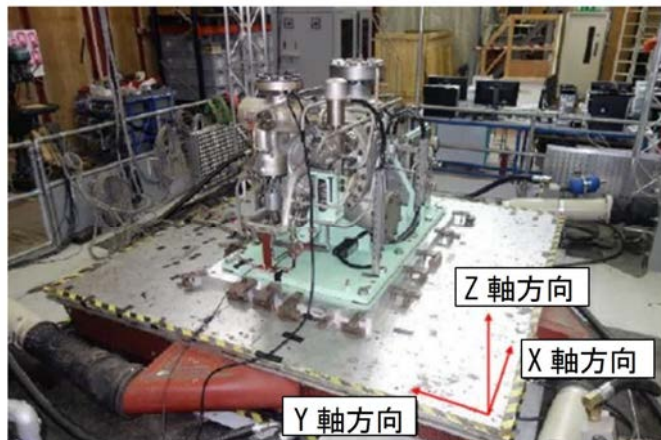
加振試験等の条件

	常設高圧代替注水ポンプ
加振台仕様	・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

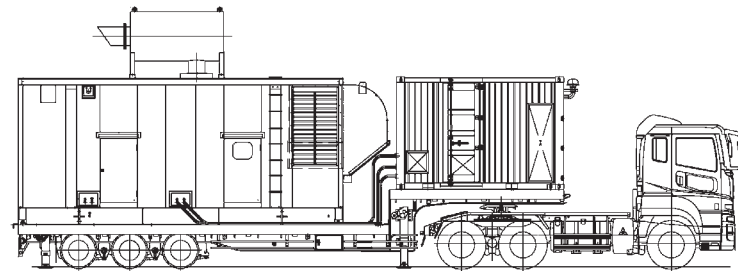
試験項目	結果
漏えいのないこと	良好
構造上損傷のないこと	良好
加振中にガバナが許容値以上変位しないこと	良好
トリップ装置が誤作動しないこと	良好
動作試験として加振試験前後の性能比較により機器の健全性及び動作性に異常がないこと	良好
分解点検の外観目視試験により損傷のないこと	良好

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

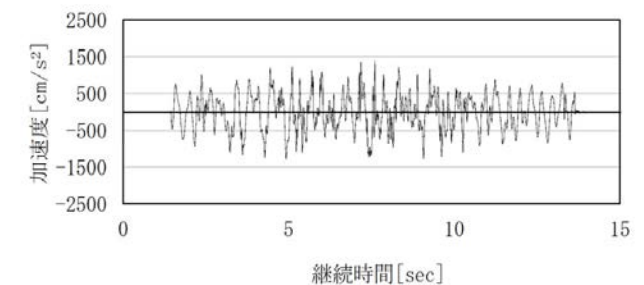
	常設代替高圧電源装置
加振台仕様	・寸法:20m×15m ・最大積載量:1200t ・加振台:防災科学研究所(Eーディフェンス)
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



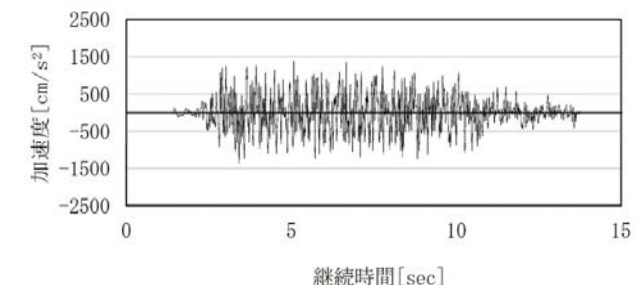
常設代替高圧電源装置外形図



常設代替高圧電源装置加振試験装置



水平方向



鉛直方向

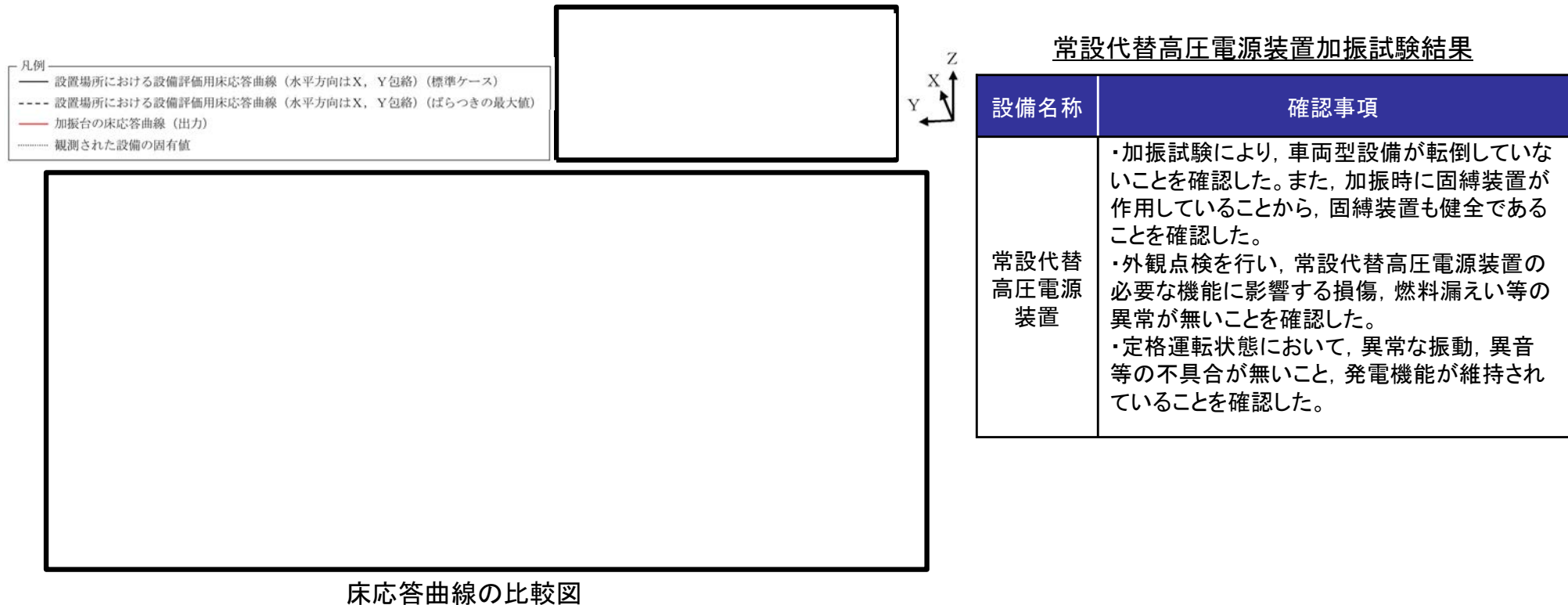
模擬地震波の時刻歴波形

○ 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。

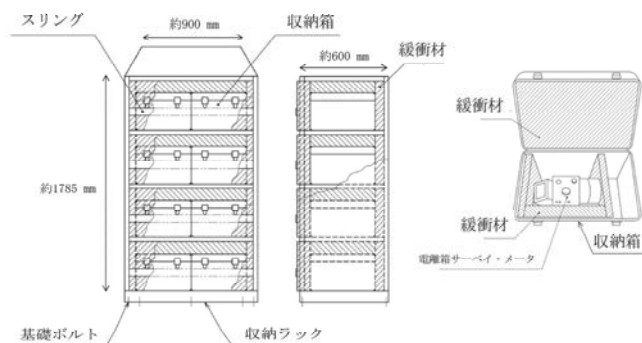


可搬型設備の動的機能維持の確認について、実機適用する同型式の設備を用いた模擬地震波による加振試験により行った。可搬型設備のうち電離箱サーベイ・メータを代表して説明する。

- | 《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 | ・可搬型気象観測設備端末 | ・携帯型有線通話装置 |
| ・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) | ・逃がし安全弁用可搬型蓄電池 |
| ・可搬型ダスト・よう素サンプラ | ・可搬型計測器(圧力、水位及び流量計測用) | ・衛星電話設備(可搬型)(待避室) |
| ・β線サーベイ・メータ | ・酸素濃度計 | ・可搬型照明(SA) |
| ・NaIシンチレーションサーベイ・メータ | ・二酸化炭素濃度計 | ・小型船舶 |
| ・ZnSシンチレーションサーベイ・メータ | ・データ表示装置(待避室) | ・可搬型整流器 |
| ・電離箱サーベイ・メータ | ・衛星電話設備(携帯型) | |

加振試験等の条件

	電離箱サーベイ・メータ
加振台仕様	・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)

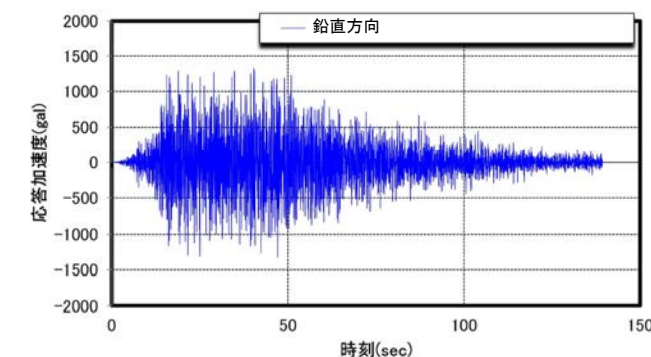
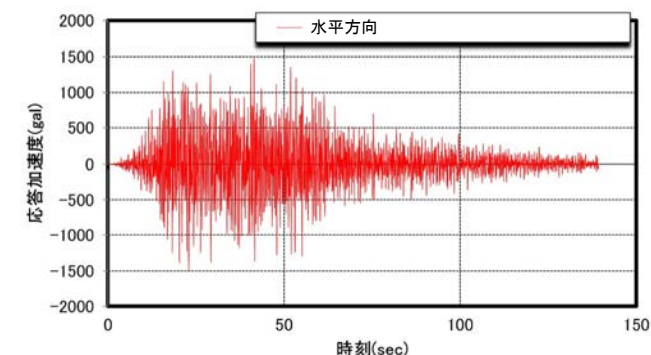


可搬型設備(電離箱サーベイ・メータ)収納状況図



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	・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。

* 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

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。

設計基準対象施設の耐震重要度分類及び設計方針

- 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	- 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	- 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	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

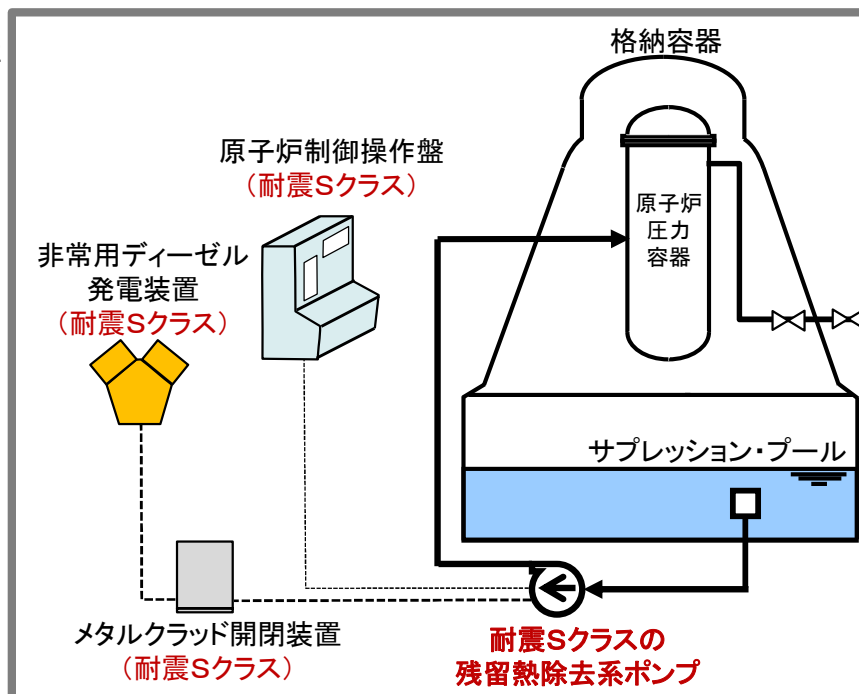
- ・ 耐震重要度の分類の考え方を耐震Sクラスである残留熱除去系ポンプを例に示す。主に機能が要求される耐震Sクラス設備(残留熱除去系ポンプ)に加え、当該設備の動作に必要な補助設備として、非常用ディーゼル発電装置、原子炉制御操作盤、メタルクラッド開閉装置についても、同様の耐震重要度に分類し、耐震Sクラスとしての耐震健全性の確認を行っている。
- ・ また、耐震Sクラス設備が設置されている建物として、原子炉建屋は、耐震Sクラス設備の機能が維持できるように基準地震動Ssにより耐震評価を行い健全性を確認している。なお、タービン建屋は耐震Cクラスであるが、耐震重要度が高い設備が設置された原子炉建屋に近接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

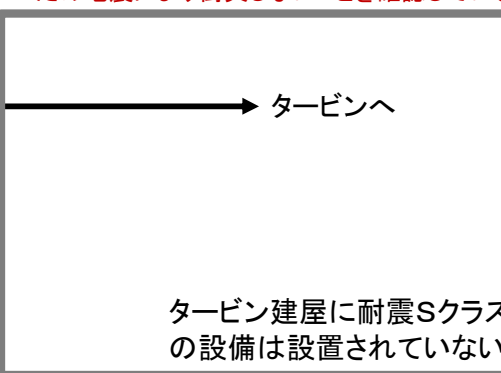
*1 波及的影響の観点による耐震健全性

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)



タービン建屋
(耐震Cクラスであるが、原子炉建屋に近接するため地震により衝突しないことを確認している。)



設計基準対象施設の耐震重要度分類及び設計方針



- 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。

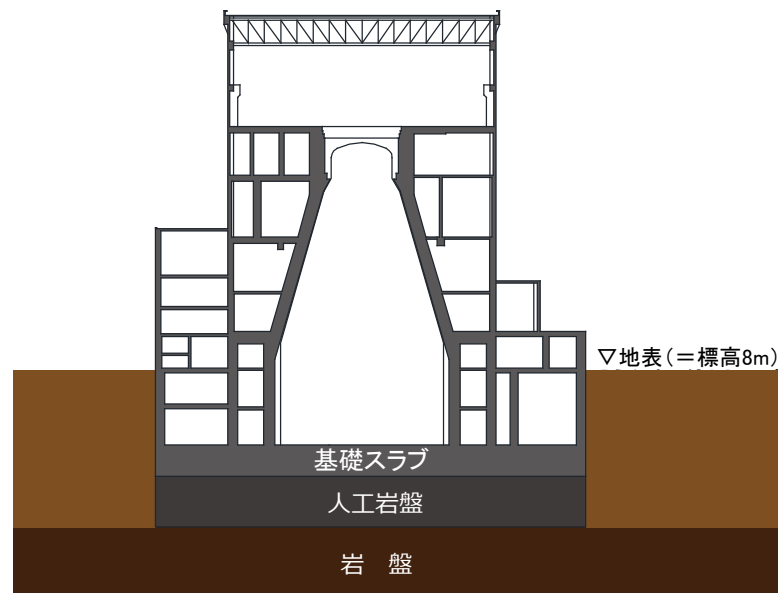
評価対象施設	評価項目	評価部位	応力分類	単位	発生値	許容値
残留熱除去系ポンプ	構造強度	バレルケーシング	一次一般膜応力	MPa	59	< 223
	機能維持	ポンプ/原動機	応答加速度 (鉛直)	G	0.75	< 1
非常用ディーゼル発電装置	構造強度	反直結側軸受台部 基礎ボルト	引張応力	MPa	82	< 182
	機能維持	発電機/ 機関本体/ ガバナ	応答加速度 (鉛直)	G	0.75	< 1
メタルクラッド開閉装置	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	25	< 210
	機能維持	メタルクラッド 開閉装置2D	応答加速度 (鉛直)	G	0.8	< 1
原子炉制御操作盤	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

建屋の設置状況

○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 $F_c = 13.7 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



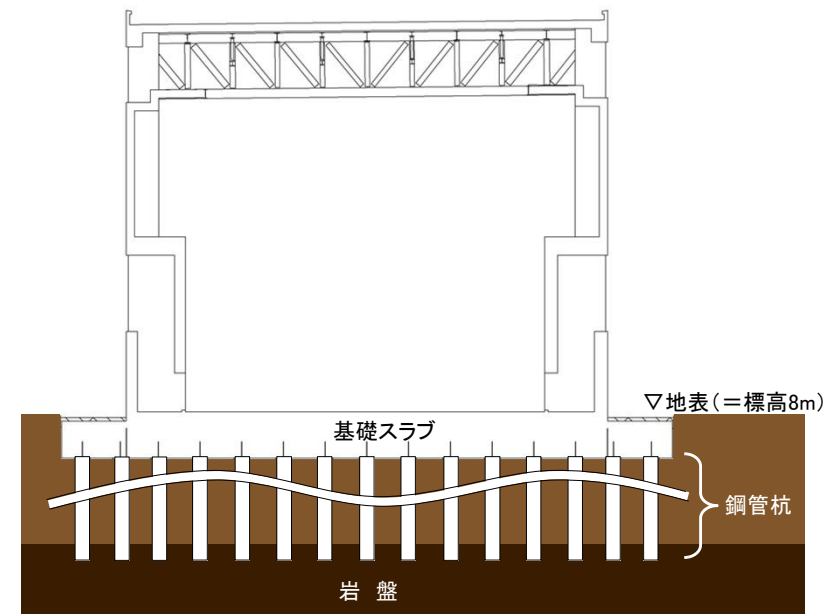
原子炉建屋の設置状況図

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 ・燃料取替機 ・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プレッション・チェンバ	S 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	・原子炉格納容器 ・原子炉格納容器バウダリに属する配管・弁	S S	・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備	S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋	S _s	・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 S _s S _s 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	・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プレッション・チェンバ	S S S S S S S	・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 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（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 S _s 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
	(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	・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 S S S S S S	・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	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・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 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
	(ix) 敷地における津波監視機能を有する施設	・取水ビット水位計 ・潮位計 ・津波・構内監視カメラ	S S S	・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	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・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 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
	(x) その他	・ほう酸水注入系（注8） ・圧力容器内部構造物（注9）	S S	・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	・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 S	・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 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(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	—	—	・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	・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 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 ・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

* 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

【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。

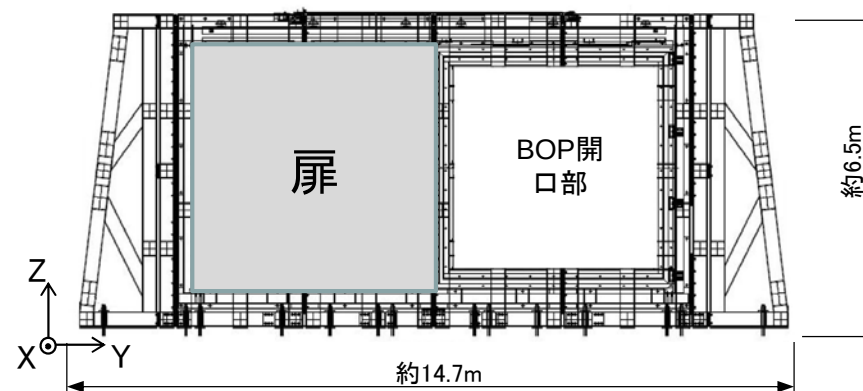
当該結果を受け、改善策を講じた上で再試験を実施し、上記の問題が生じないこと及び閉止装置の機能が保持されることを確認した。

●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

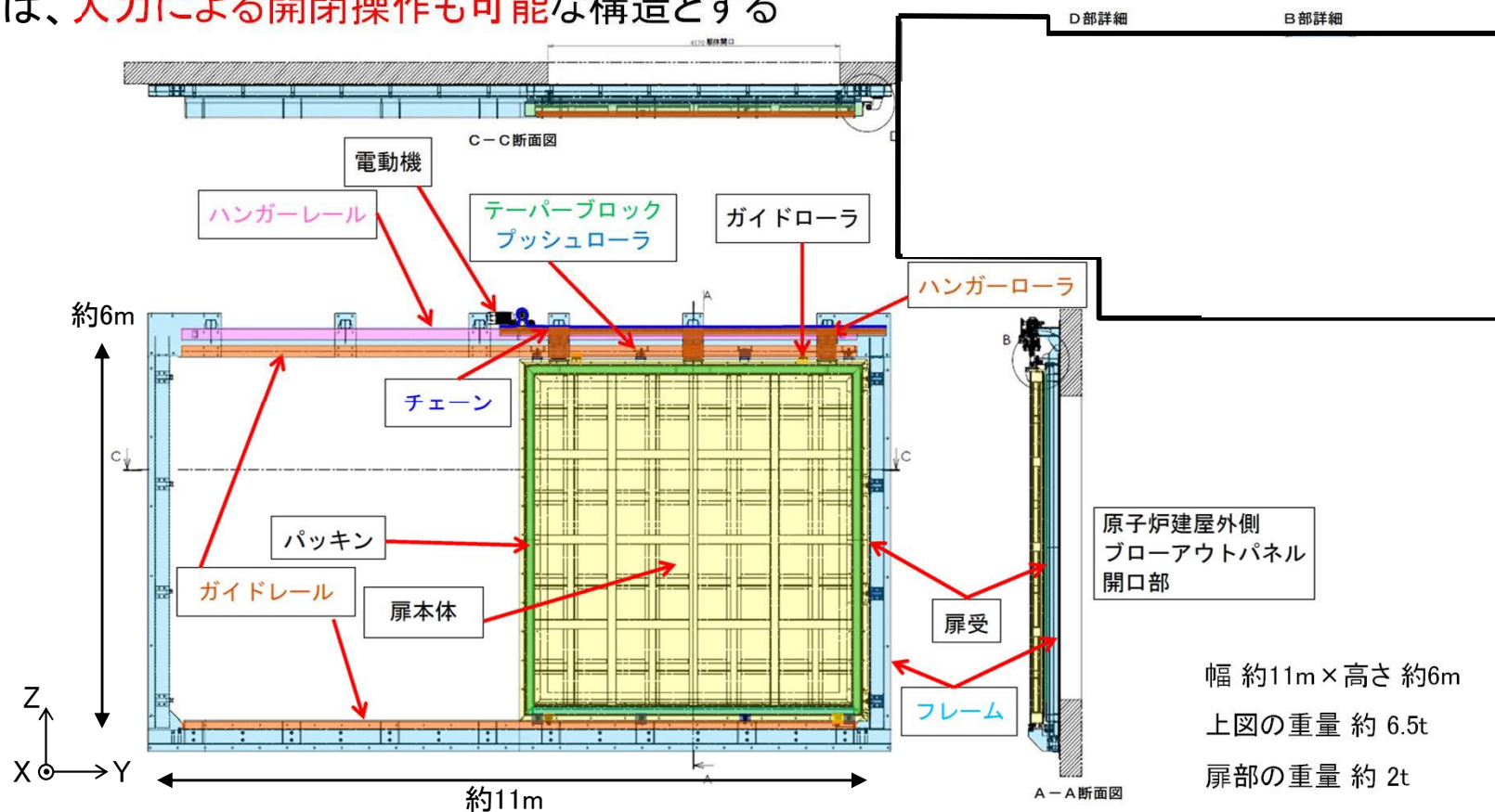
ブローアウトパネルの配置



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

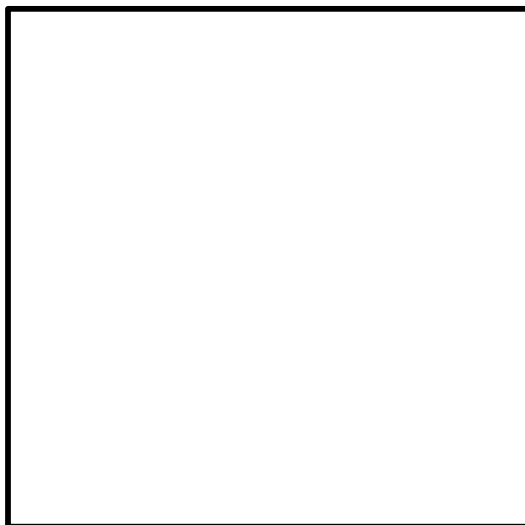
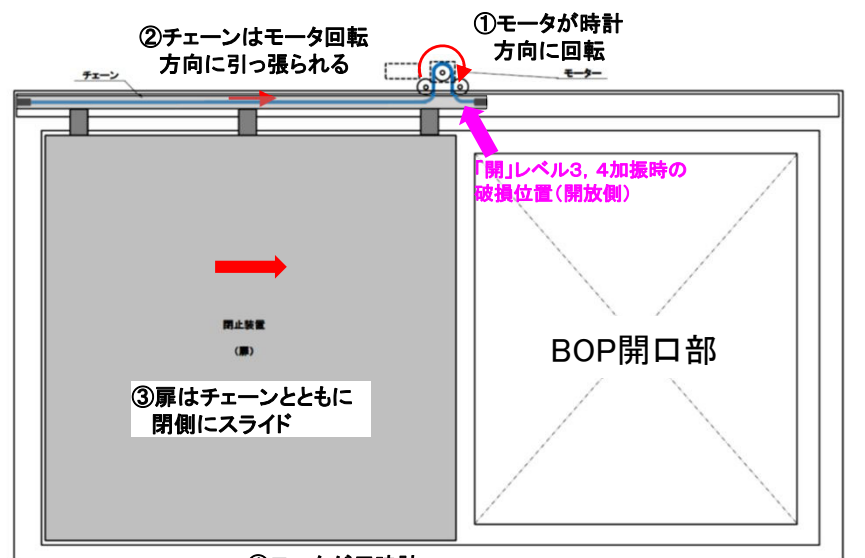
対策を検討し、再試験を実施した

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)

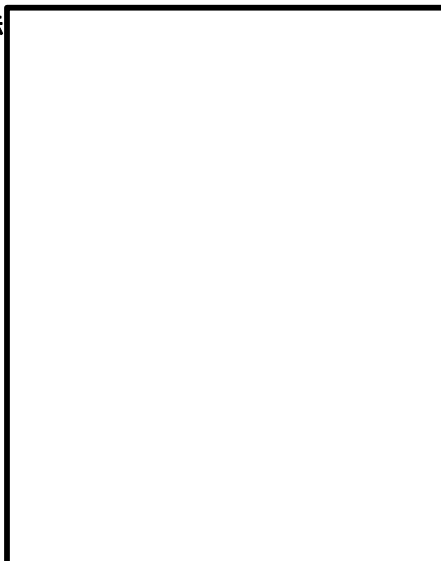
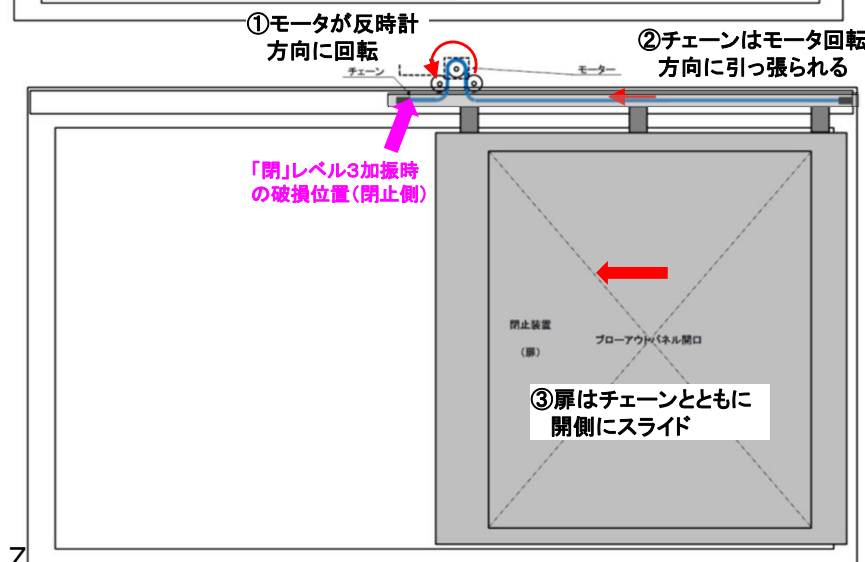
電動駆動用チェーンの一部が破損した。破損箇所は、扉全開又は全閉時にガイド用歯車(スプロケット)とのチェーン端部までの距離が短い側(扉開状態では開放側が破損、扉閉状態では閉止側が破損)



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)

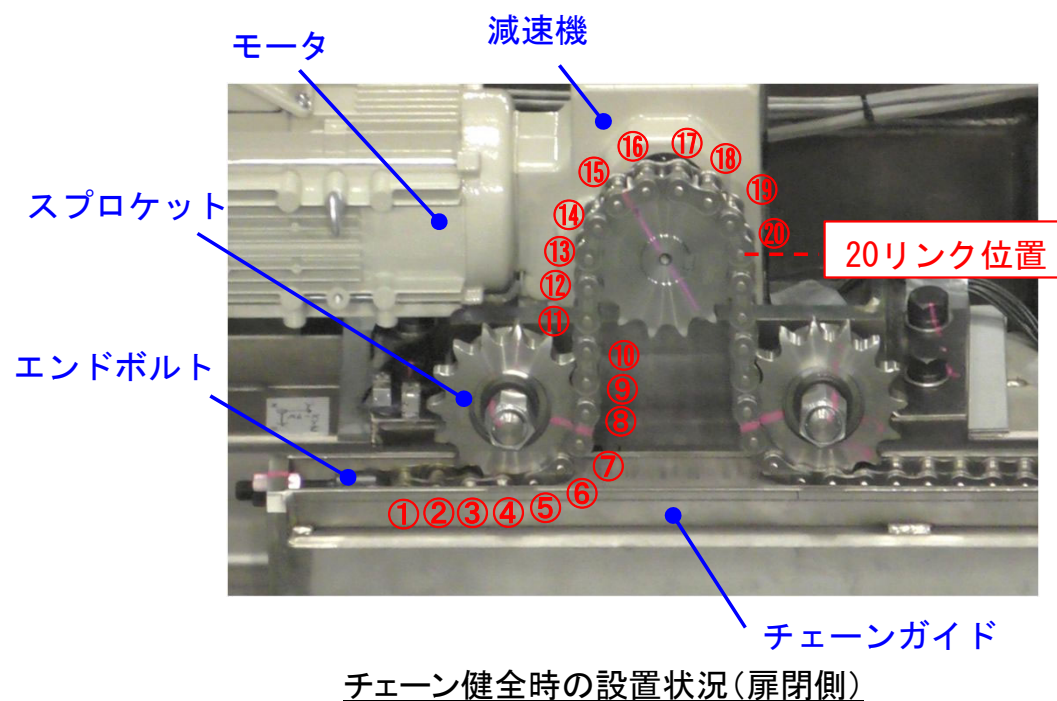


扉閉状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月21日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、チェーン破損はなかったが、約38mm(新品全長は約6m)の伸びが確認された)

扉開閉のメカニズム

●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。



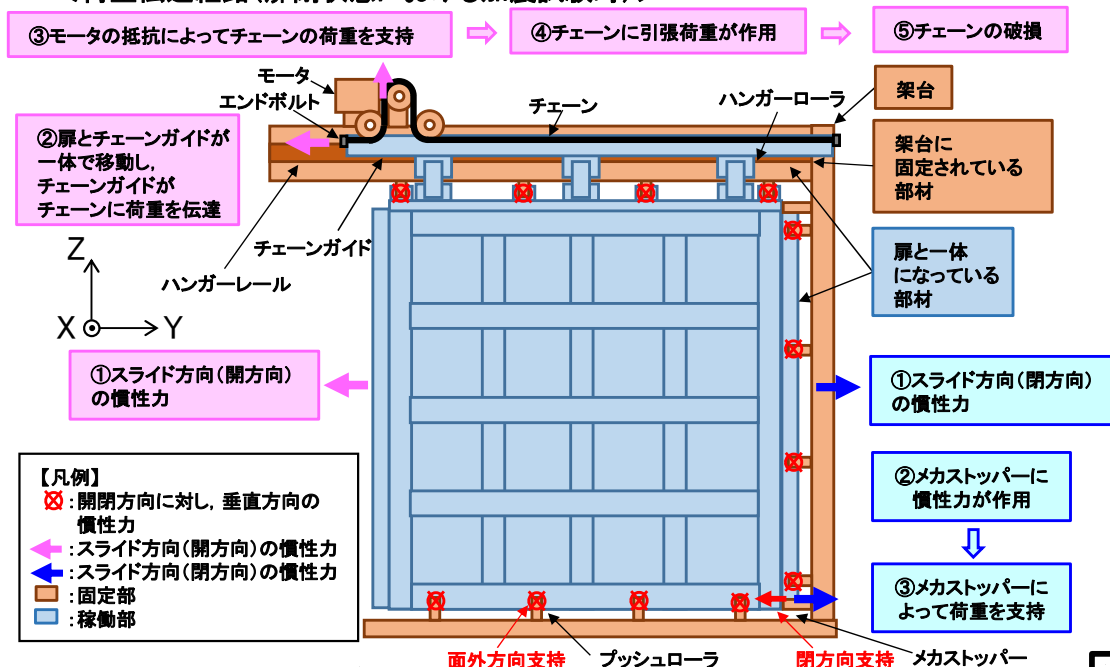
チェーンの伸び測定記録 (単位:mm)

--

●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)＞



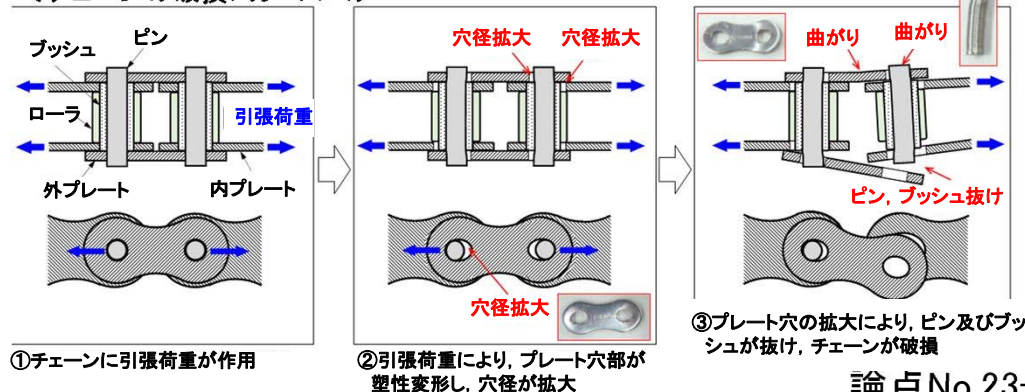
＜荷重伝達経路を構成する部品の強度評価＞



強度評価結果

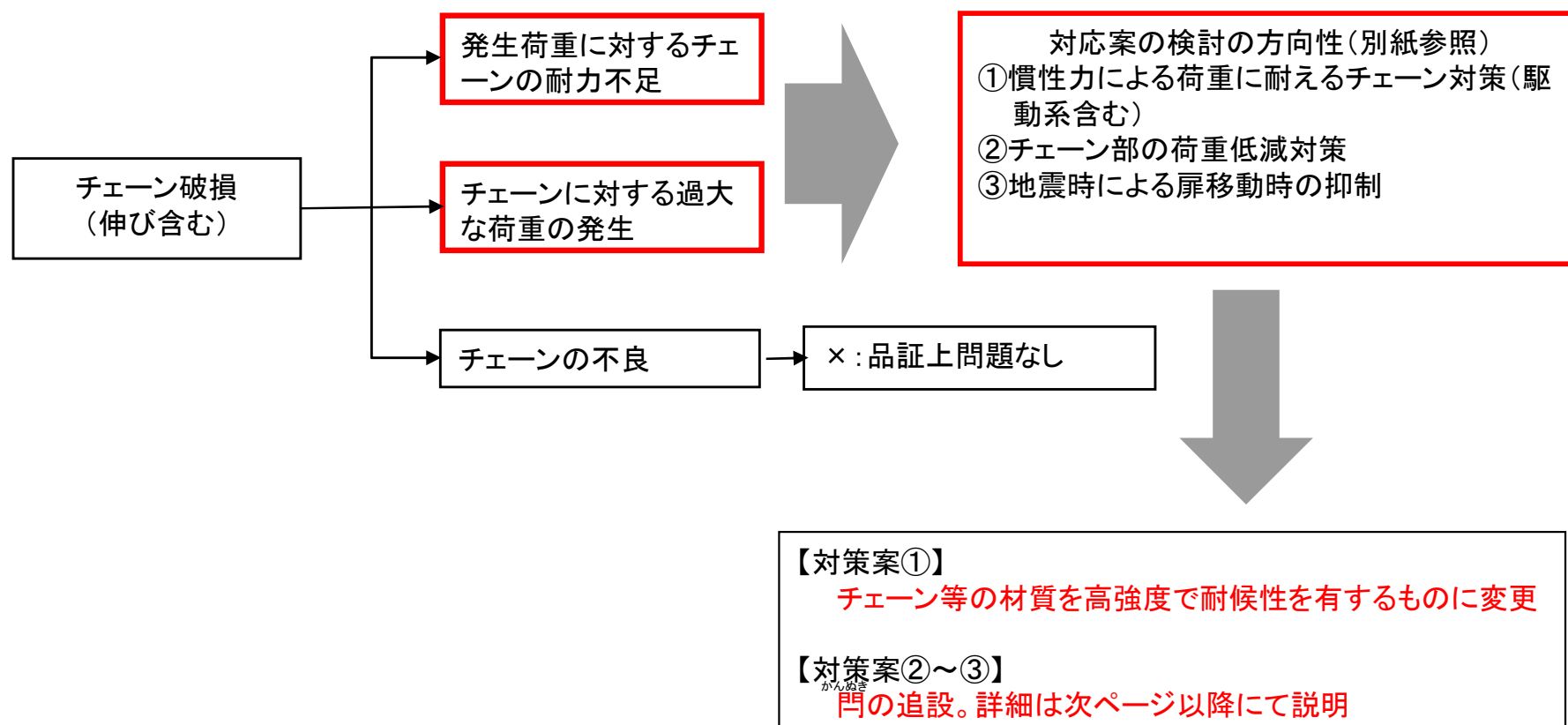


＜チェーンの破損メカニズム＞



⇒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

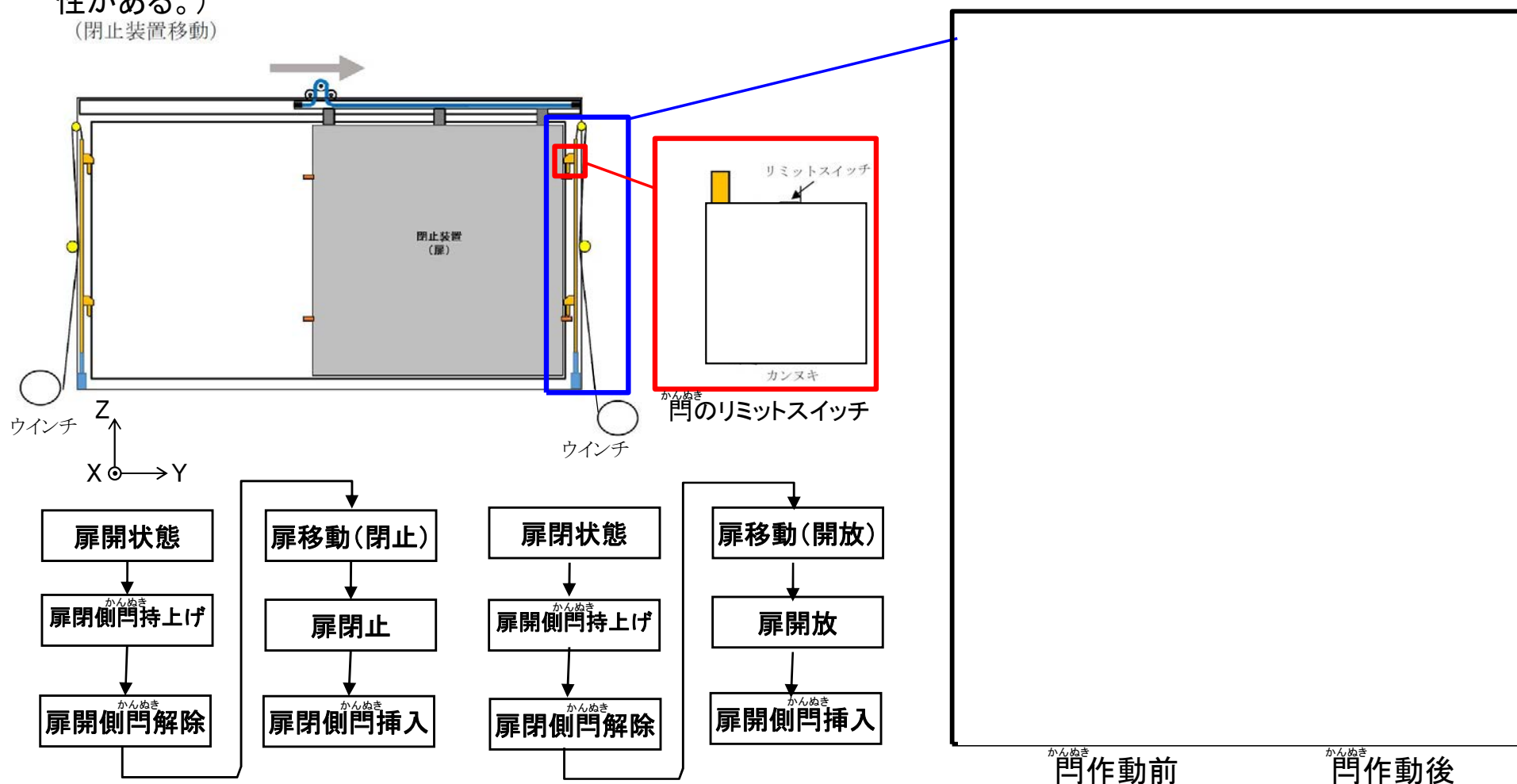
●チェーン損傷対策の方針



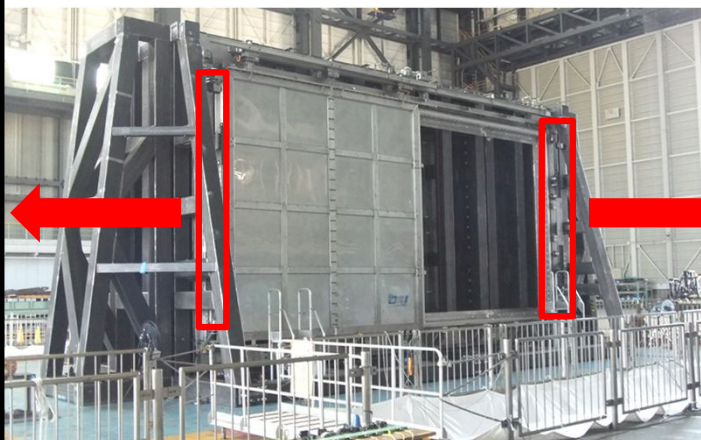
●チェーン損傷対策：門の追設(1/2) チェーン損傷対策の方針のうち②～③の対策

- ・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}扉開側(門挿入状態)

^{かんぬき}扉閉側(門挿入状態)

^{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 ・門動作確認	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
	扉	加振	チェーン	扉開閉止	門	その他部位	チェーン伸び
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, 異常ではないと判断した。

擦れ跡
かんぬき
 (門が差し込まれた状態
 で加振される場合, かんぬき
 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
			扉閉側	良	良	良	良	異常なし	異常なし
H30.7.25	閉		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
H30.7.31	開	1.0Ss (本試験)	扉開側	良	良	良	良	—	—
			扉閉側	良	良	良	良	—	—
H30.7.31	閉		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。

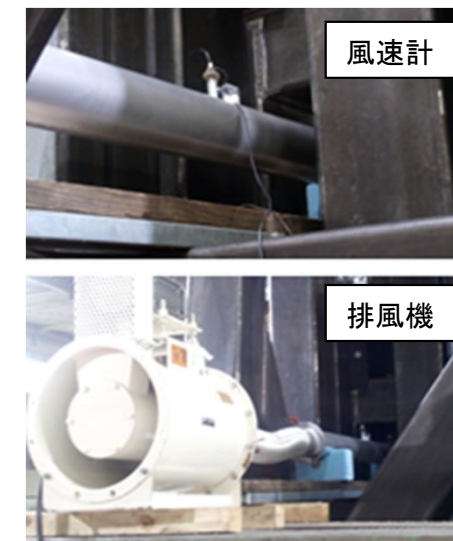
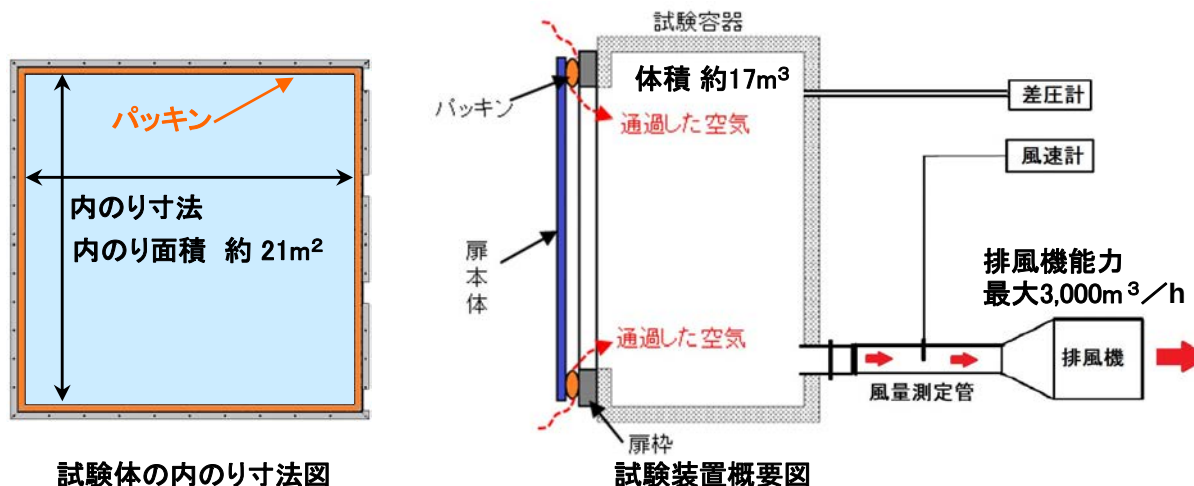
試験日	試験条件		通気量[m ³ /h・m ²] (63 Pa時)※	備考	【参考】第1回試験 通気量[m ³ /h・m ²]
	扉	加振			
H30.7.25	閉	初期状態	0.28 0.28 0.32	・ かんぬき 門穴の間隙による扉移動(最大±5mm)を考慮して試験実施 ・数値は上から扉停止位置、閉側に5mm移動させた位置、開側に8mm(設計最大量5mm+保守的に3mm)移動させた位置での試験結果	0.25 — —
H30.7.26	開	1.0Ss (予備試験)	0.28	加振後に扉を閉止し試験	0.25
H30.7.25	閉		0.32	扉閉状態での加振後の状態で試験	—
H30.7.31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

$$q = Q' / A$$

q : 通気量 (m³/h・m²)

A : 試験体の内りの面積 (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

機器・配管等の具体的な耐震補強対策等について

【説明概要】

- ・各施設に応じた設計用地震力に対して健全性の確保が困難な場合は、耐震補強により健全性を確保する。設計用地震力を用いた耐震評価から耐震補強までの流れを配管系及び格納容器スタビライザを例として説明する。
- ・設備の構造上の特徴により地震による揺れの影響が異なる。代表的な設備として原子炉圧力容器は、水平方向の地震による影響を受け易いが、建設時の耐震評価に用いた耐震条件は、今回工認に用いた耐震条件と大きく変わっておらず、耐震補強は必要としない。一方で3次元的な広がりを持つ配管は地震による揺れを受け易く耐震補強にて耐震裕度の確保を行っている。
- ・高温になる配管の耐震補強に際しては、熱膨張による伸びは拘束しないが地震による揺れに対しては拘束するサポート(スナッパ)を適用することで、熱膨張による伸びを拘束しないようにしている。

○ 各施設の重要度に応じて、以下に定める地震力に対して、健全性が確保できるように設計する。また、既設設備については、基準適合のため必要に応じて耐震補強を行った上で、基準地震動 S_s に対する健全性を確保する。

DB/SA	施設区分		静的地震力 ^(注1)		動的地震力 ^{(注1)(注2)}	
			水平	鉛直	水平	鉛直
設計基準対象施設	建物・構築物 ^(注3) 機器・配管系	S	建物: 3.0 C_i ^(注4) 機器: 3.6 C_i	建物: 1.0 C_v ^(注5) 機器: 1.2 C_v	S_s, S_d	S_s, S_d
		B	建物: 1.5 C_i ^(注4) 機器: 1.8 C_i	—	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	$S_d \times 1/2$ ^(注6)
		C	建物: 1.0 C_i ^(注4) 機器: 1.2 C_i	—	—	—
	土木構造物	C	1.0 C_i ^(注4)	—	S_s ^(注7)	S_s ^(注7)
	津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備	S	—	—	S_s	S_s
重大事故等 対処施設	常設耐震重要重大事故防止設備 可搬型重大事故防止設備		—	—	S_s	S_s
	常設重大事故緩和設備 可搬型重大事故緩和設備		—	—	S_s	S_s
	常設耐震重要重大事故防止設備 以外の常設重大事故防止設備		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			

(注1) 機器・配管系については設置された床の応答を入力とする。

(注2) 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

(注3) 建物・構築物の保有水平耐力は、必要保有水平耐力に対して、施設の耐震重要度分類に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認する。必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数に乗じる施設の耐震重要度分類に応じた係数はS、B、Cクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_o は耐震重要度分類にかかわらず1.0とする。

(注4) $C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_o$ (R_t : 振動特性係数0.8 A_i : C_i の分布係数 C_o : 標準せん断力係数0.2)

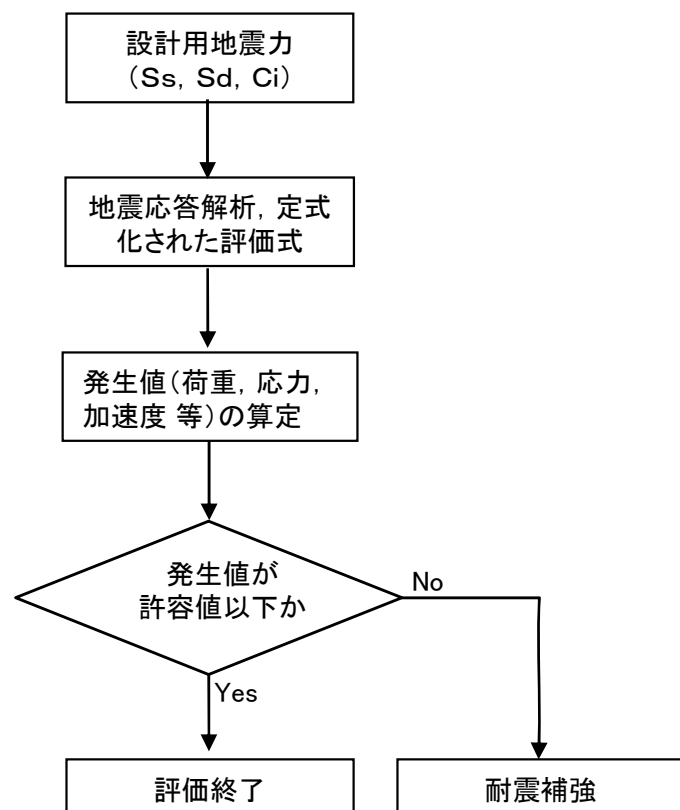
(注5) $C_v = R_v \cdot 0.3$ (R_v : 鉛直方向振動特性係数0.8)

(注6) 地震動に対して共振のおそれのある施設について適用する。

(注7) 屋外重要土木構造物(非常用取水設備、Sクラスの機器・配管系を支持する土木構造物)に適用する。

各施設の耐震評価は、基準地震動 S_s 等に基づく設計用地震力から算定される発生値に対して許容値以下であれば、構造物の健全性が確認でき、評価が終了となる。一方で発生値が許容値を上回れば、耐震補強を実施することで発生値の低減や許容値の向上を図ることになる。

詳細な評価の内容を格納容器スタビライザ及び配管系を代表として説明する。



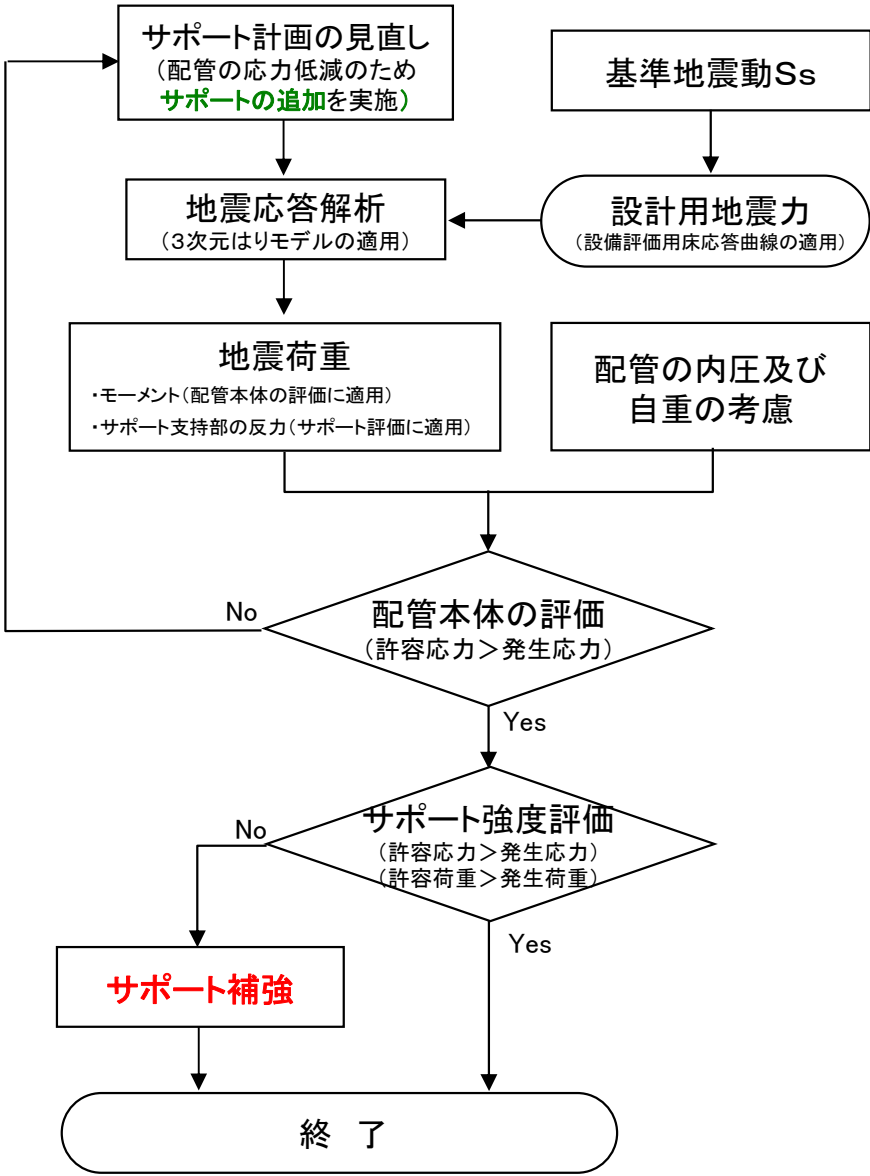
耐震評価の概略フロー

	施設・設備名称	目的	耐震補強内容
機器・配管系	格納容器スタビライザ	フランジボルトの許容限界値の向上	高強度材料適用
	原子炉建屋クレーン	地震時落下防止による波及的影響防止	落下防止対策の追設
	燃料取替機	地震時落下防止による波及的影響防止	ガーダ等の部材強化
	配管系	支持機能強化	サポートの追加及び補強
	残留熱除去系熱交換器	支持機能強化	架台部への耐震補強サポート追設
	水圧制御ユニット	支持機能強化	架構部への補強梁追加
	格納容器シアラグ部	格納容器とシアラグ取付け部の応力低減対策	シアラグ部への補強材追加
	使用済燃料乾式貯蔵容器	支持機能強化	支持構造物の部材のサイズ変更及び高強度材料適用
建物・構築物	主排気筒	支持機能強化	鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良
	地下排水設備	地盤の変位の抑制	地盤改良
土木構造物	貯留堰取付護岸	地震時の護岸構造健全性維持による貯留堰への波及的影響防止	地盤改良
	屋外二重管基礎構造	屋外二重管の支持機能強化	屋外二重管を支持する基礎構造の追設
	取水構造物	地震時の取水構造物の健全性維持	地盤改良

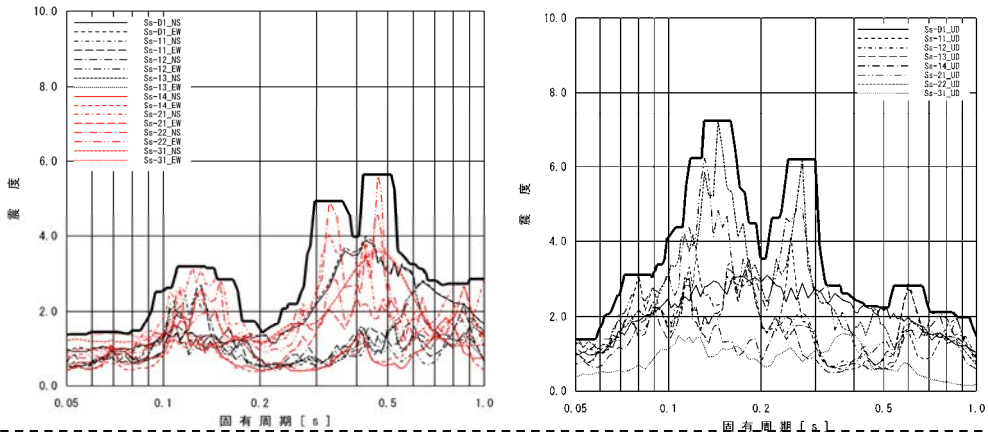
配管系の耐震評価及び耐震補強の例



配管系の耐震評価による設計手順



設備評価用床応答曲線の例
(原子炉建屋 EL.20.3m 減衰2.0%)



配管系の耐震補強の例 (原子炉再循環系配管)

- 配管本体の耐震性確保のため **サポートの追加** を実施する。
- サポートの耐震性確保のため **サポートの補強** を実施する。

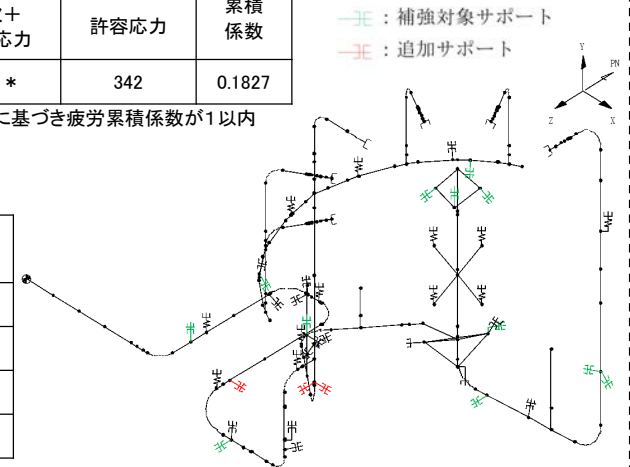
配管本体の耐震評価結果

一次応力 (MPa)				一次+二次応力 (MPa)		疲労 累積 係数
一次 応力	許容 応力	曲げとねじり 応力	許容 応力	一次+ 二次応力	許容 応力	
182	252	138	273	718 *	342	0.1827

* 一次+二次応力が許容応力を超えているが、規格要求に基づき疲労累積係数が1以内であることを確認している。

サポートの耐震評価結果

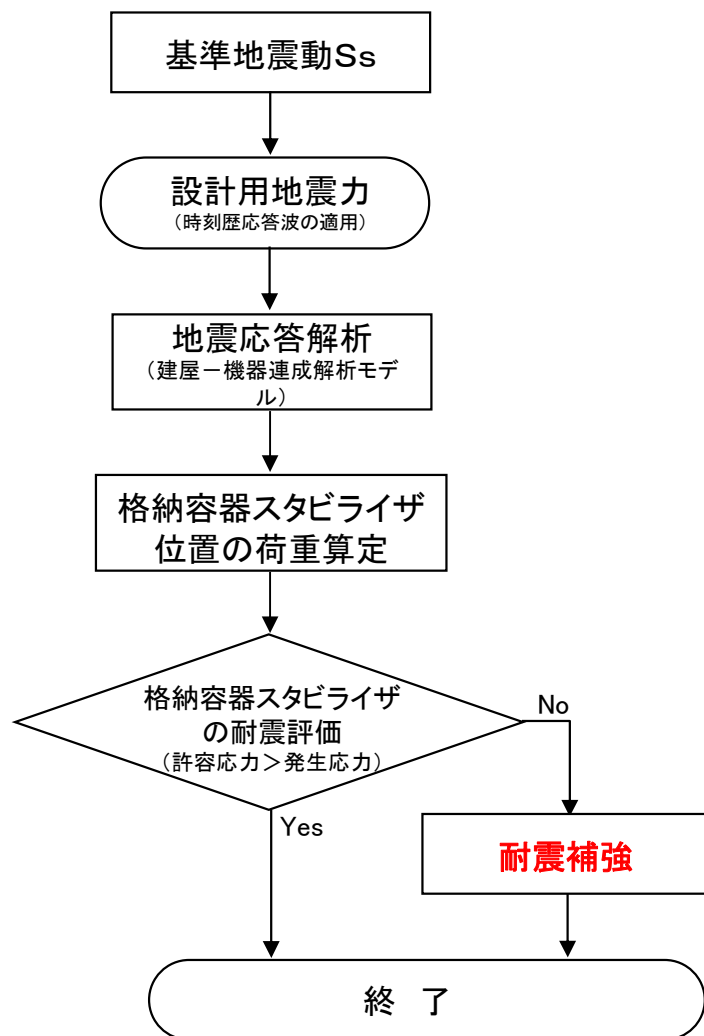
サポート種類	発生 荷重(kN)	許容 荷重(kN)
オイルスナッチ	1430	1500
ロッドレストレイント	852	1080
スプリングハンガ	58.4	72.9
コンスタントハンガ	180.0	207.9



地震応答解析に適用する3次元はりモデル

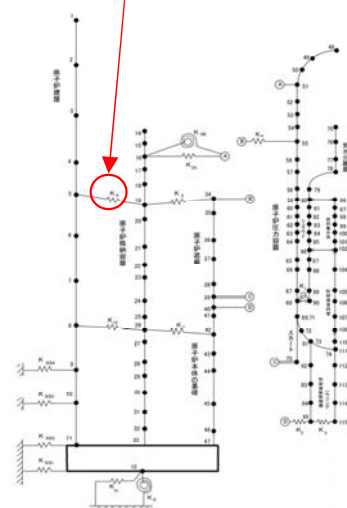
格納容器スタビライザの耐震評価及び耐震補強の例

格納容器スタビライザの耐震評価による設計手順

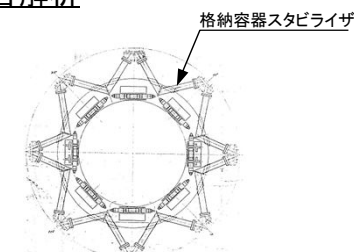


建屋－機器連成解析モデルを用いた地震応答解析

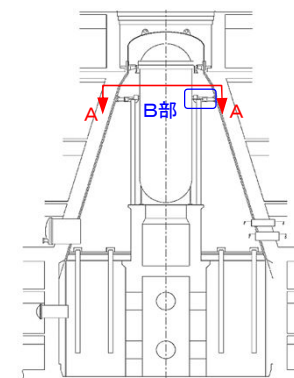
格納容器スタビライザ
をモデル化し、当該部位
に発生する荷重を算出



建屋－機器連成解析モデル



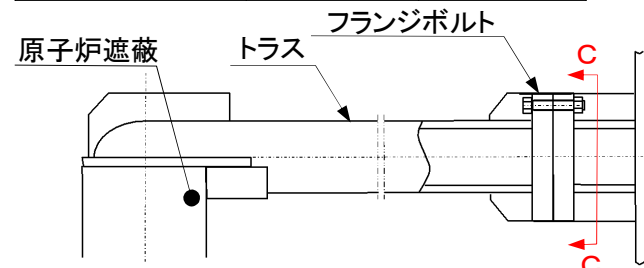
A-A矢視



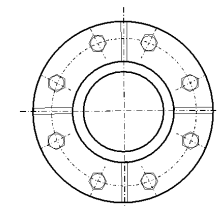
格納容器スタビライザの耐震補強

格納容器スタビライザの構成部材(評価部位)であるフランジボルトの材質を高強度材料(SCM3→SNB24-1)に変更

評価部位	発生応力	許容応力
フランジボルト	509 MPa	534 MPa

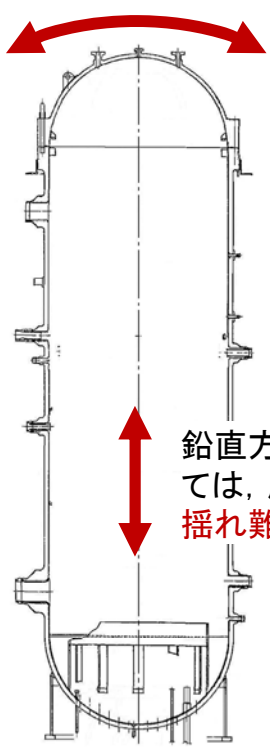
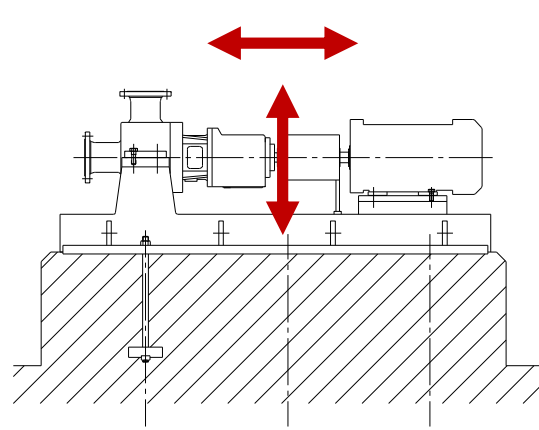
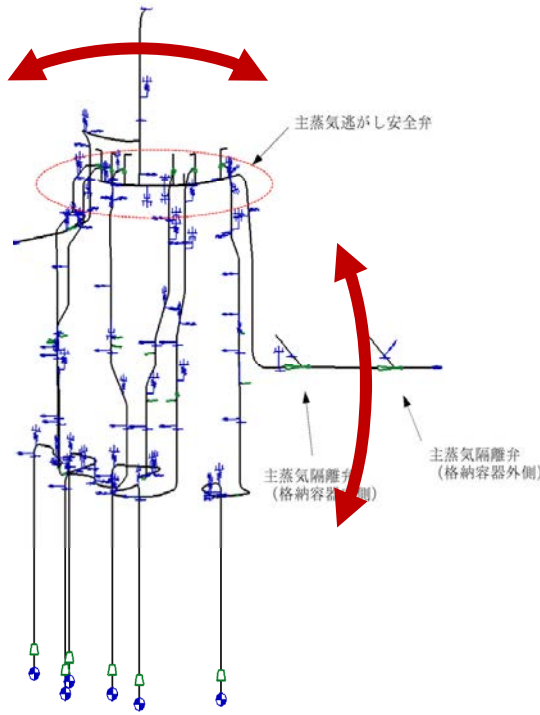


B部詳細



C-C矢視

- 各設備の構造的な特徴によって地震による揺れがどのように影響を受けるかで、設計用地震力に対する影響が変わる。代表的な設備として、原子炉圧力容器、ポンプ、配管に対して、地震の揺れの影響の受け易さにより、建設時から設計用地震力の増大による設備への影響を概略的に示す。

原子炉圧力容器	ポンプ	配 管
水平方向の地震に対しては、長尺構造であるため揺れ易い傾向となる。  鉛直方向の地震に対しては、厚肉容器であり、揺れ難い傾向となる。	モータを含むポンプは基礎に固定されており、水平方向及び鉛直方向の地震に対して揺れ難い傾向となる。 	配管は、水平方向、鉛直方向に3次元的な広がりをもって施工されているため、水平方向の地震及び鉛直方向の地震の両方に揺れ易い傾向となる。  主蒸気逃がし安全弁 主蒸気隔離弁 (格納容器側) 主蒸気隔離弁 (格納容器外側)

機器配管系における設計用地震力の増大に対する影響



○ 地震に対して揺れ難い特徴を持つ設備(剛設備)に対する設計用地震力の増大による影響

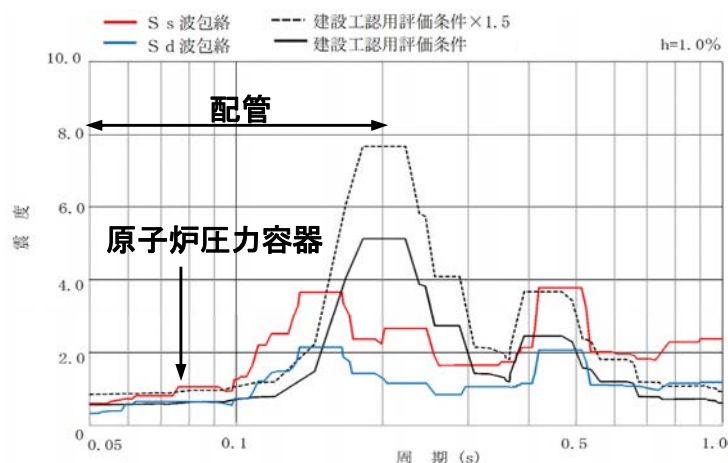
- ・ 水平方向: 建設時と今回工認の値はほぼ変わらないため、設備の耐震性への影響はない。
- ・ 鉛直方向: 建設時の値よりも今回工認の値のほうが大きい、数値として小さく耐震性への影響はほぼない。

標高	水平方向の設計用地震力(震度)					
	建設時			今回工認		
	評価条件 × 1.5	評価条件	静的震度	Ss	Sd	静的震度
原子炉建屋 基礎上 (EL.-4.0m)	0.795	0.53	0.576	0.58	0.31	0.58

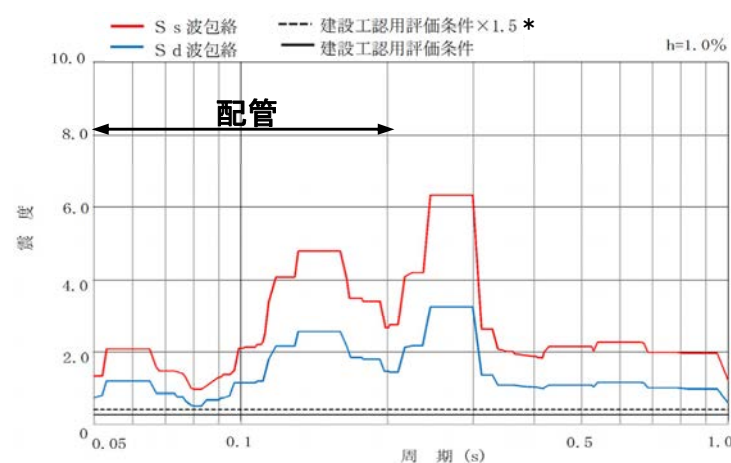
標高	鉛直方向の設計用地震力(震度)					
	建設時			今回工認		
	評価条件 × 1.5	評価条件	静的震度	Ss	Sd	静的震度
原子炉建屋 基礎上 (EL.-4.0m)	—	—	0.29	0.60	0.32	0.29

○ 地震に対して揺れ易い特徴を持つ設備(柔設備)に対する設計用地震力の増大による影響

- ・ 水平方向: 周期によって今回工認(基準地震動Ss, 弾性設計用地震動Sd)と建設時の設計用地震力の大小が変わる。
 - 原子炉圧力容器の固有周期位置では、ほぼ変わらないため耐震性への影響はない。
 - 配管系は、複数の固有周期を持っており、一部周期帯(0.1秒超)では影響を受ける。【→耐震補強にて対応】
- ・ 鉛直方向: 建設時の値よりも今回工認の値のほうが大きい、影響を受ける。【→耐震補強にて対応】



原子炉建屋基礎上(EL.-4.0m)の床応答スペクトル(水平方向)



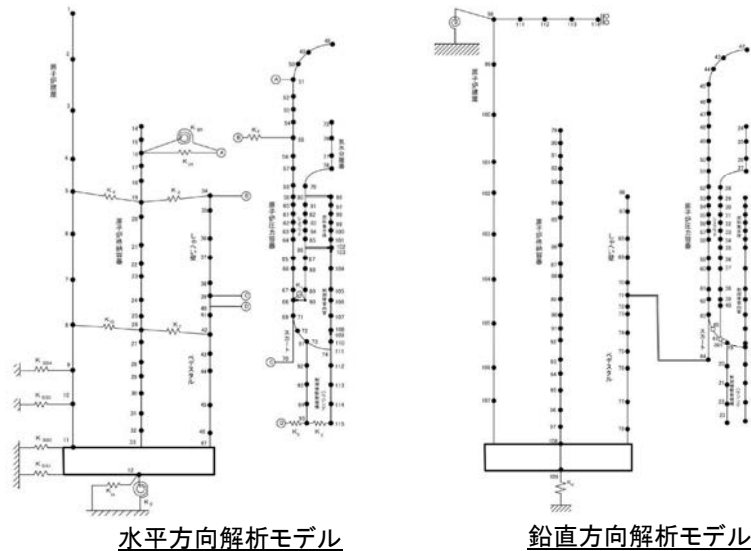
原子炉建屋基礎上(EL.-4.0m)の床応答スペクトル(鉛直方向)

* 建設工認用評価条件は、静的震度の値を全ての周期の値として図を作成した。

原子炉圧力容器の耐震評価

・原子炉圧力容器の耐震評価のうち、基礎ボルトの耐震評価に用いた建設時工認及び新規制基準による工認における地震時の荷重を例示として示す。

①建屋－機器連成解析



②基準地震動 S_s の荷重を算出

		建設時工認	新規制工認
水平方向地震	せん断力 Q (kN)	5960	8340
	曲げモーメント M (kN・m)	91400	52600
鉛直方向地震	重力加速度±鉛直方向地震による加速度 G	0.71: 下向き* (1±0.29)	-0.40: 上向き* (1±1.4)

* 鉛直方向地震は、数値が小さいほうが原子炉圧力容器が浮き上がるように考慮され基礎ボルトの評価が厳しい結果となる。また、評価に際して当該加速度と原子炉圧力容器総重量との積により鉛直荷重 N を算出する。

③地震以外の荷重 (新規制工認での値)

	鉛直方向荷重 N (kN)
地震以外 (自重+制御棒挿入時の荷重)	26200(最大) 1030(最小)

④基礎ボルトの応力算定

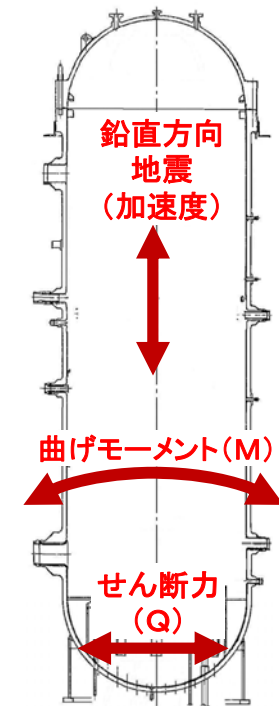
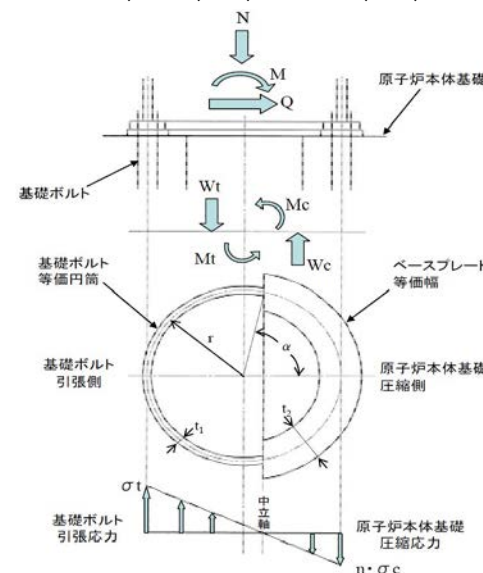
引張応力は下図において、以下の関係が成り立っており、 σ_t , σ_c , α を繰り返し計算により求める。せん断応力はせん断力を基礎ボルト断面積を除することにより求める。

$$N + W_t - W_c = 0$$

$$M - N \cdot r \cdot \cos \alpha - M_t - M_c = 0$$

中立軸の位置と応力の関係

$$\sigma_t / (n \cdot \sigma_c) = (1 + \cos \alpha) / (1 - \cos \alpha)$$

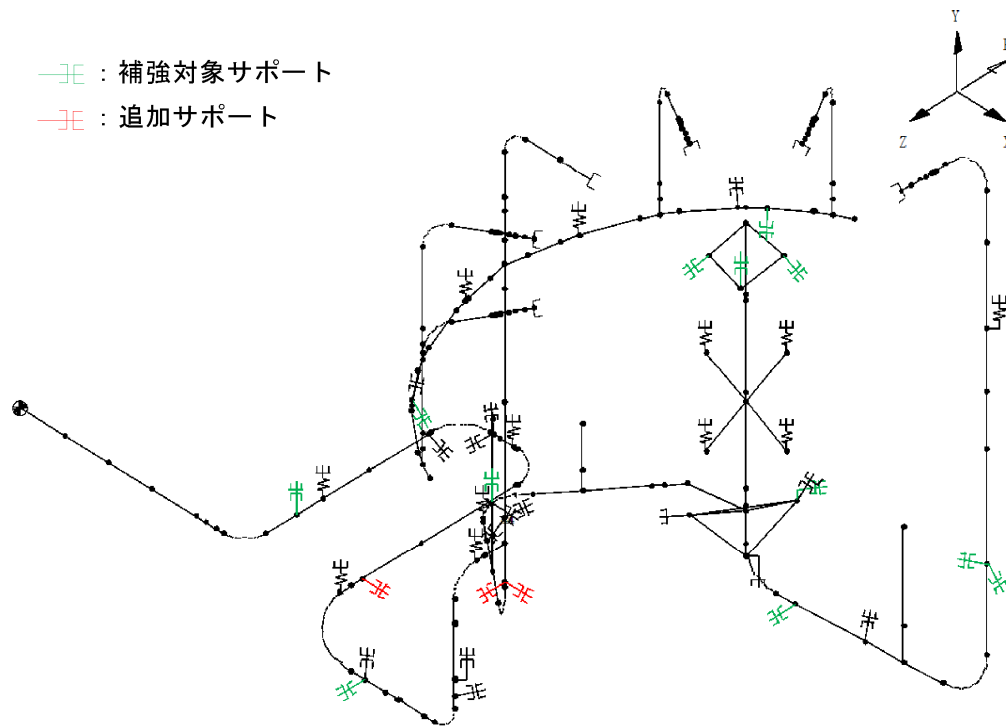


	建設時工認による応力値 (MPa)	新規制工認による応力値 (MPa)	許容値 (MPa)
引張応力	90	118	491
せん断応力	7*	16	378

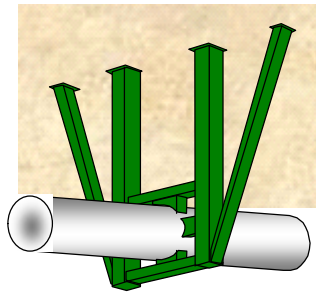
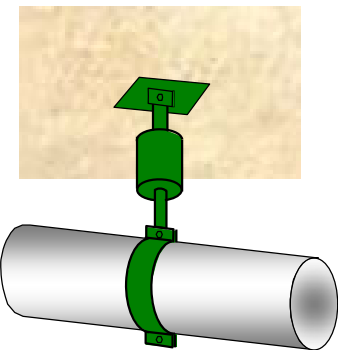
* 建設時工認では基礎部の摩擦の効果を考慮している。

配管のサポート補強について

- ・配管本体は自重や地震による揺れに対して耐えるようにサポートにより支持する。配管系の耐震補強は、配管本体の発生値を低減させる目的としてサポートの追加、既往サポートの発生値を低減させる目的としてサポートの補強を実施する。
- ・高温となる配管に対しては熱膨張による配管の伸びを拘束しないように使用環境に応じた構造のものを適切に選定する。



配管系の耐震補強の例(原子炉再循環系配管)

代表的なサポートの例	
架構式レストレイント	オイルスナッパ
	
地震及び熱による変位を拘束するため、熱膨張をしない低温用の配管に適用する。	熱膨張のような緩やかな変位に対しては拘束せず、地震のように急激な変位は拘束するため、熱膨張による伸びが大きな高温用の配管に適用する。

【論点No.21】

機器・配管等の具体的な耐震補強対策等について

【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.754

東海第二の基準地震動は設置許可申請時に僅か270ガルで設計され、その後耐震設計審査指針見直しで380ガル→600ガル→901ガル、そして最終的には、2014年に提出した補正書で1009ガルにまで引き上げられた。なんと3.8倍に膨れ上がっている。実際の耐震性能アップ対策が何処まで真面目になされたのか甚だ疑問だ。考えられるのは配管の補強強化ぐらいだが、原子炉圧力容器等、機器固有に対する耐震性能アップ策はどの様になされたのか。

No.1177

P.6～9

原子炉内の配管ですが、以前写真で見た物は大変太く、地震の時は大変揺れたと聞きました。3.11以後、日本原電で話を聞きましたが、しっかり固定しましたと図で説明されました。地震の多い日本であのようにぶら下がっている状態は最初から危険と想定出来るはずです。何故、ぶら下がりの状態だったのか、現在も多くの配管がぶら下がっているのですか。固定すると熱膨張に堪えられなくなると聞いたことがあります。固定するのが安全であれば初めからやっていたら良いはず。

P.9

配管本体の応力算定式の例

JEAG4601によるクラス1管の一次応力の評価式

(a) 直管部(管台及びティー継手を除く)

$$S_{prm} = \frac{B_1 PD_0}{2t} + \frac{B_2 M_{ip}}{Z_i}$$

(b) 管台及びティー継手を除く

$$S_{prm} = \frac{B_1 PD_0}{2t} + \frac{B_{2b} M_{bp}}{Z_b} + \frac{B_{2r} M_{rp}}{Z_r}$$

【凡例】

S_{prm} : 一次応力(MPa)
 P : 地震と組み合わせるべき運転状態において配管に作用する圧力(MPa)
 D_0 : 管の外径(mm)
 t : 管の厚さ(mm)
 Z_i : 管の断面係数(クラス1配管)(mm³)
 Z_b : 管台又はティー継手に接続される分岐管の断面係数(mm³)
 Z_r : 管台又はティー継手に接続される主管の断面係数(mm³)
 M_{ip} : 管に生じる自重及び地震によるモーメント(N・mm)
 M_{bp} : 管台又はティー継手に接続される分岐管に生じる自重及び地震によるモーメント(N・mm)
 M_{rp} : 管台又はティー継手に接続される主管に生じる自重及び地震によるモーメント(N・mm)
 B_1, B_2, B_{2b}, B_{2r} : 応力係数(設計・建設規格PPB-3810に定める値)

許容値の例

JEAG4601による基準地震動 S_s に対するクラス1管の許容応力

許容応力 状 態	一次一般膜 応 力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次＋ 二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
IV _A S	2・ S_m	3・ S_m * ¹	3・ S_m * ² 地震動のみに よる応力振幅 について評価 する。	地震動のみによ る疲労解析を行 い、運転状態Ⅰ、 Ⅱにおける疲労 累積係数との和 が1.0以下である こと。

* 1:ただし、ねじりによる応力が $0.73 \cdot S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $2.4 \cdot S_m$ とする。

* 2: $3 \cdot S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300(同PVB-3313を除く)又はPPB-3536(1), (2), (4)及び(5)の簡易弾塑性解析を用いる。

【凡例】

$IVAS$: 地震により生じる応力に対する許容応力
 S_m : 設計応力強さ(設計・建設規格 付録材料図表 Part5表1に規定される値)

【建設時】

地震動	最大加速度 (cm/s ²)	
	水平成分	UD成分
EL CENTRO/TAFT/IBARGI	180 *	—

* 安全上特に重要な施設（格納容器等）については，270cm/s²を適用

【新規制基準】

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS方向	EW方向	UD成分
S s - D 1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
S s - 1 1	F 1 断層、北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1)	717	619	579
S s - 1 2	F 1 断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2)	871	626	602
S s - 1 3	F 1 断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3)	903	617	599
S s - 1 4	F 1 断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2)	586	482	451
S s - 2 1	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
S s - 2 2	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
S s - 3 1	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280

①外部電源の送電線・開閉所に対する地震対策上の対応について

②外部電源の送電鉄塔等に係る地震対策の考え方等について

【説明概要】

地震により外部電源系統から受電できない場合でも、耐震性の高い複数の非常用電源や代替電源により、原子炉等の安全を確保するための設備に給電可能である。

外部電源系統は、大きな地震の発生時には受電できない可能性があるが、地震時の外部電源の信頼性を高めるため、また外部電源が一旦喪失しても復旧をできるだけ早める観点から、発電所内外の設備に対して耐震性向上の取り組みを行っている。

③ガス絶縁開閉装置の耐震性について(耐震評価等の結果を含む。)

【説明概要】

発電所で外部電源を受電する開閉所設備について、より耐震性が高いガス絶縁開閉装置に取り替えを実施している。また、開閉所の基礎やケーブル洞道等について、それらの設置地盤が耐震Cクラスの地震力に対して十分な支持性能があることを確認している。

○東海第二発電所では、地震により外部電源系統*¹から受電できない場合でも、所内に設置した耐震性の高い複数の非常用電源や代替電源により、原子炉等の安全を確保するための設備に給電可能

*¹ 当該発電所外の他の発電所、変電所、送電鉄塔・送電線等で構成される送配電網

○東海第二発電所では、基準地震動に対する耐震性を担保していない外部電源系統(開閉所設備等)*²に対しては、大きな地震の発生時には受電できない可能性があるが、地震時の外部電源の信頼性を高め、また外部電源が一旦喪失しても復旧をできるだけ早める観点から、耐震性向上の取り組みを行っている。 *² 耐震重要度分類上のCクラスに区分(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)

(1) 所外より発電所につながる変電所設備、送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

- ・発電所に繋がる変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認
- ・発電所に繋がる複数系統の送電鉄塔・電線路の経路の配置より、仮に1つの鉄塔が倒壊しても、すべての送電線が同時に機能喪失しないように、電線路間の水平距離(離隔)を確保

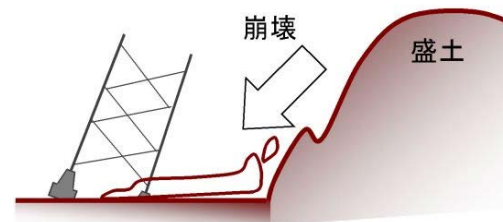
(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

- ・発電所の開閉所設備を気中開閉所から、より耐震性の高いガス絶縁開閉装置に変更
- ・発電所の開閉所の基礎やケーブル洞道等の地震に対する耐性が高いことを確認

〈別紙参照〉

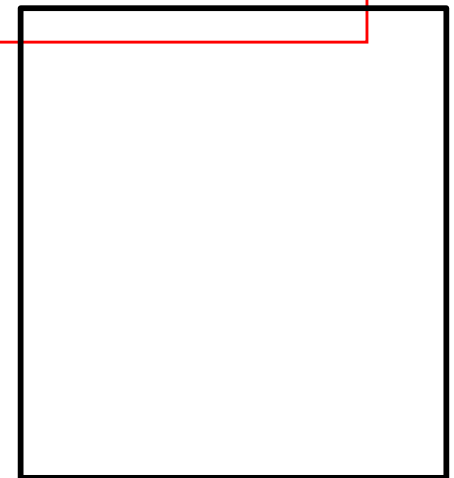


ガス絶縁開閉装置への設備変更



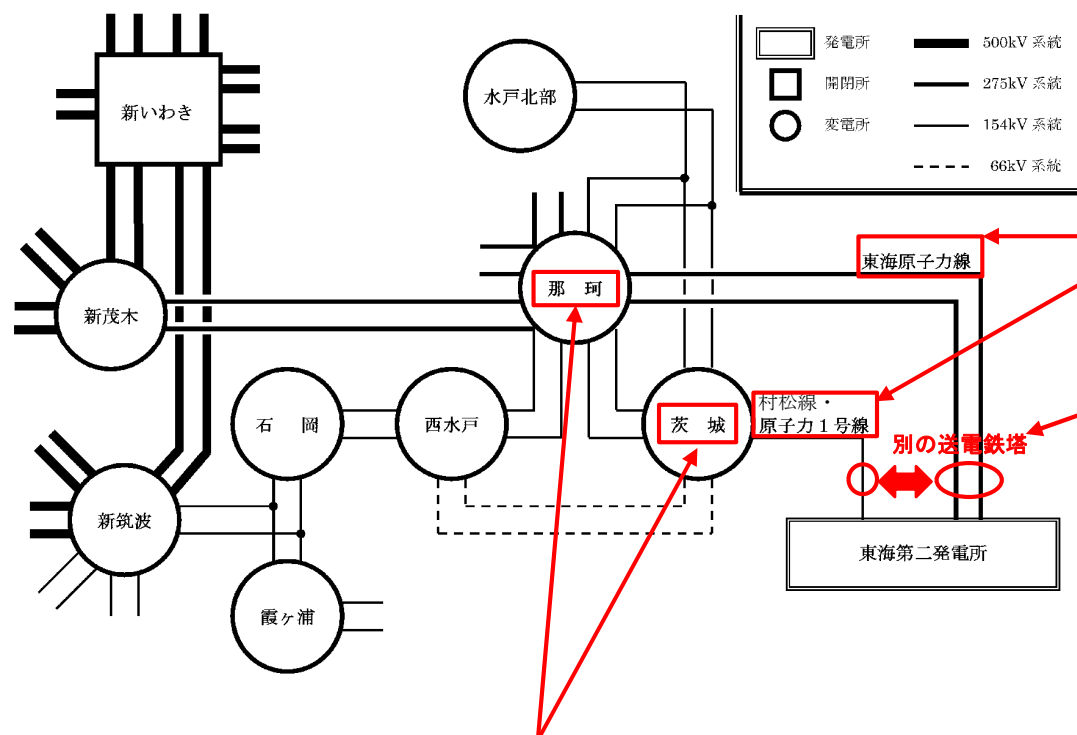
鉄塔基礎の安定性評価

論点No.22,82,83-2



発電所敷地周辺の鉄塔配置

- 1 発電用原子炉施設は、重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給するため、電力系統に連系したものでなければならない。
- 4 設計基準対象施設に接続する電線路のうち少なくとも二回線は、それぞれ互いに独立したものであって、当該設計基準対象施設を電力系統に連系するものでなければならない。
- 5 前項の電線路のうち少なくとも一回線は、設計基準対象施設において他の回線と物理的に分離して受電できるものでなければならない。
- 6 設計基準対象施設に接続する電線路は、同一の工場等の二以上の発電用原子炉施設を電力系統に連系する場合には、いずれの二回線が喪失した場合においても電力系統からこれらの発電用原子炉施設への電力の供給が同時に停止しないものでなければならない。



275kV送電線(東京電力パワーグリッド株式会社東海原子力線)1ルート2回線及び154kV送電線(東京電力パワーグリッド株式会社村松線・原子力1号線)1ルート1回線で電力系統に連系した設計とする。

東京電力パワーグリッド株式会社東海原子力線2回線及び村松線・原子力1号線1回線は、同一の送電鉄塔に架線しないよう、それぞれに送電鉄塔を備える設計であることを確認している。

これらの送電線は1回線で発電所の停止に必要な電力を供給し得る容量とされ、いずれの2回線が喪失しても、発電用原子炉施設が外部電源喪失に至らない構成であることを確認している。*

275kV送電線は、東京電力パワーグリッド株式会社那珂変電所に連系する。
154kV送電線は、東京電力パワーグリッド株式会社茨城変電所に連系する。

* 275kV送電線の送電容量:約1,138MW(1回線当たり)及び154kV送電線の送電容量:約269MWは、それぞれ非常用ディーゼル発電機容量(1基):5.2MW以上を確保

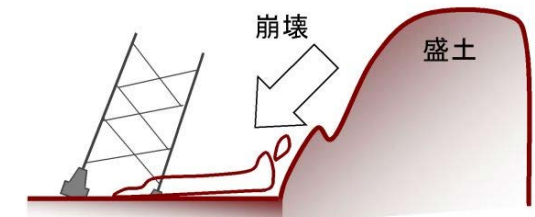
(1) 所外より発電所に繋がる送電設備, 送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所に接続する送電・変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認

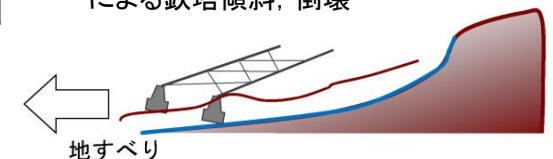
○2011年の東北地方太平洋沖地震では, 東海第二発電所の外部電源が一時的に失われたが, 東海第二発電所に接続する変電所までの各送電鉄塔に傾斜・倒壊等は生じていない。

○各送電鉄塔の基礎の安定性を評価するため, 盛土の崩壊, 地滑り, 急傾斜地の土砂崩壊を対象に, 図面等による机上調査を基に, 地質専門家による現地の調査を行い, 各鉄塔基礎の安定性に悪影響がないことを確認している。

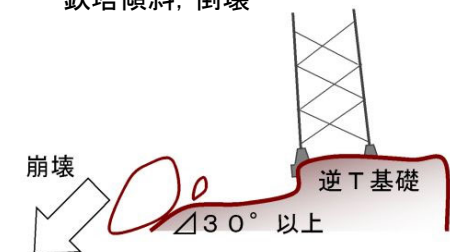
線路名	鉄塔 基数	現地の調査による確認基数			対応必要 基数
		盛土	地すべり	急傾斜地	
275kV 東海原子力線	44基	2基	0基	3基	0基
154kV 原子力1号線	8基	0基	0基	0基	0基
154kV 村松線	28基	0基	0基	2基	0基



盛土の崩壊に伴う土塊の流れ込みによる鉄塔傾斜, 倒壊



鉄塔を巻込んだ地すべりによる鉄塔傾斜, 倒壊



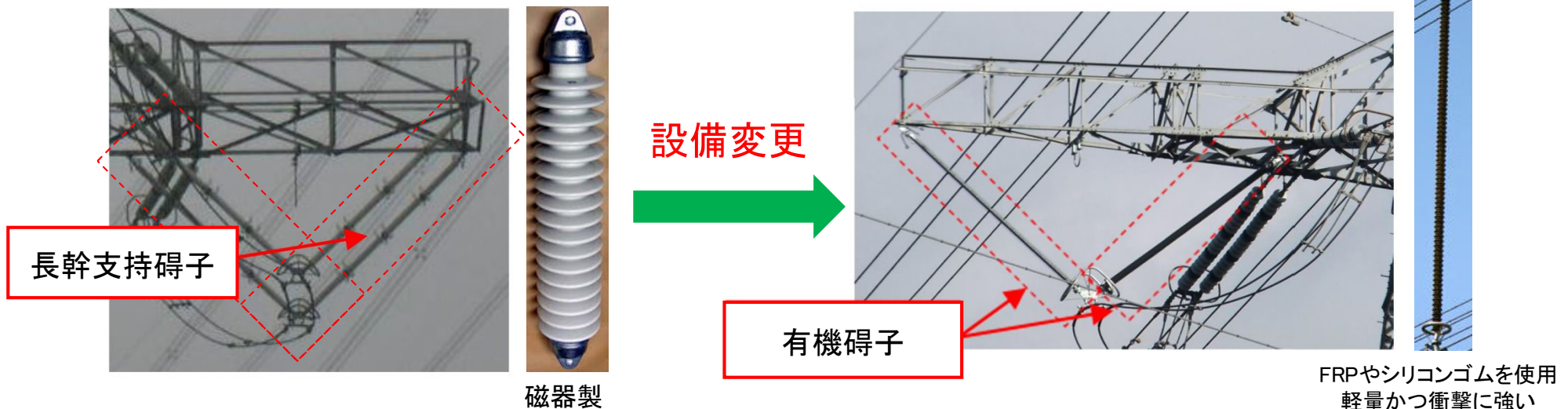
逆T字型基礎における地盤崩壊による鉄塔傾斜, 倒壊

出典: 経済産業省原子力安全・保安院報告「原子力発電所及び再処理施設の外部電源における送電鉄塔基礎の安定性評価について (平成24年2月17日, 東京電力株式会社)」

(1) 所外より発電所に繋がる送電設備, 送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所に接続する送電・変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認

○東海第二発電所に変電所から接続する送電線(東海原子力線(275kV) *¹) *²の碍子の耐震性向上対策として、より耐震性の高い碍子への取り替えが実施されている。



* 1: 2011年の東北地方太平洋沖地震にて、長幹支持碍子の損傷が発生している。

注 碍子の拡大図はイメージ

* 2: 発電所に接続する別の送電系統である、村松線・原子力1号線(154kV)には長幹支持碍子は使用されていなかった。

出典: 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会電力安全小委員会資料「東北地方太平洋沖地震におけるジャンパ支持V吊長幹支持がいし装置の折損原因分析結果について(平成23年12月27日、東京電力株式会社)」を基に一部加筆

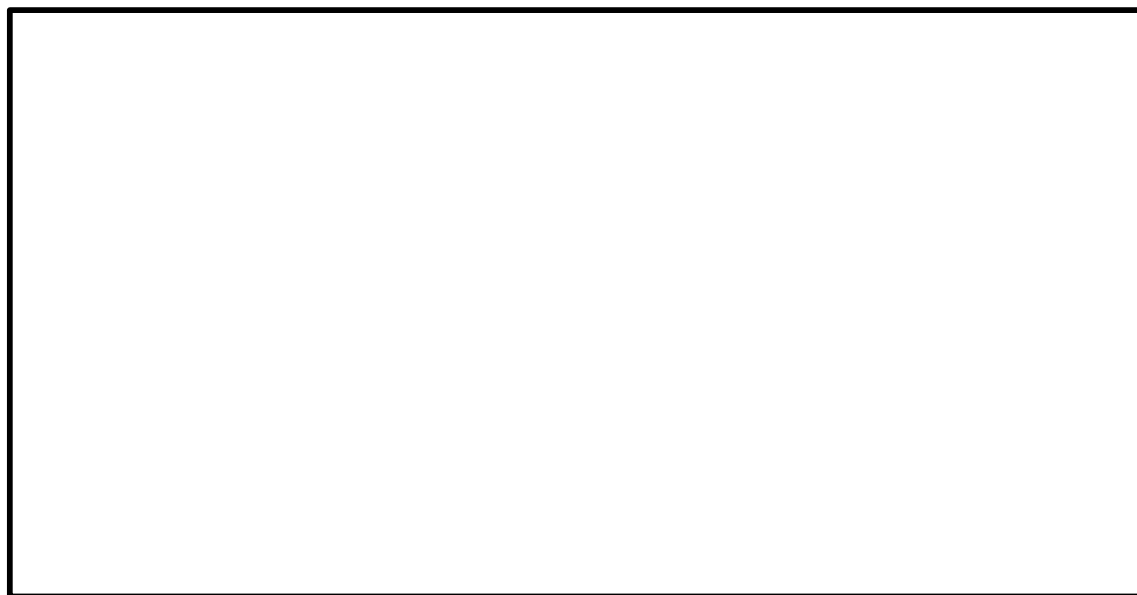
○東海第二発電所に接続している那珂変電所及び茨城変電所は、重心が低く、耐震性の高いガス遮断器 *³が採用されていることを確認している。

* 3: JEAG5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に基づいた評価が実施されており、設計上の裕度を確認している。

(1) 所外より発電所につながる変電所設備, 送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所に繋がる複数系統の送電鉄塔・電線路の経路の配置より, 仮に1つの鉄塔が倒壊しても, すべての送電線が同時に機能喪失しないように, 電線路間の水平距離(離隔)を確保

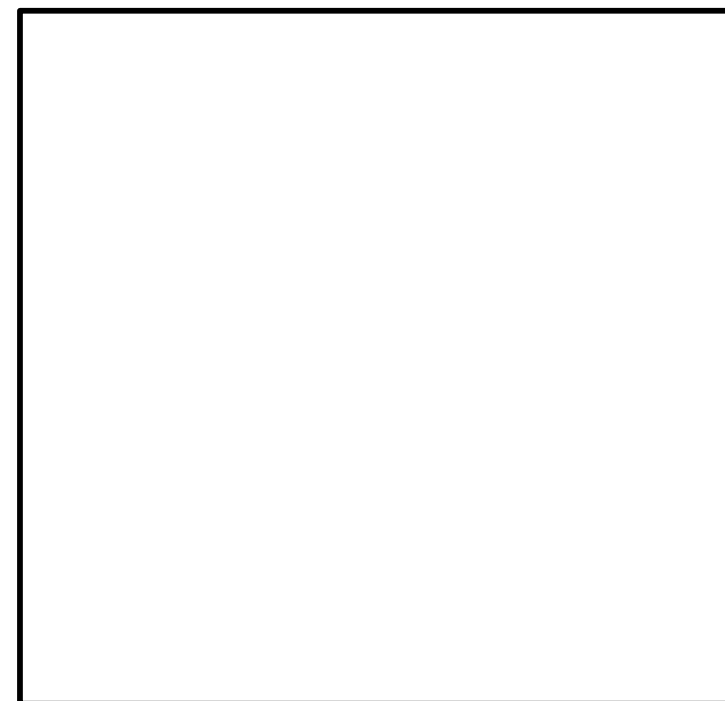
○275kV東海原子力線No2鉄塔—154kV原子力1号線
No5 鉄塔間が両電線路の近接箇所



第1図 外部電源送電線ルート



○今後, 154kV原子力1号線 No5鉄塔を
275kV東海原子力線 No2鉄塔の
倒壊範囲外へ移設



第2図 発電所敷地周辺の鉄塔配置

○この対策により, 仮に1つの鉄塔が倒壊しても, すべての送電線が同時に機能喪失しない,
電線路間の水平距離を確保可能

(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所の開閉所設備を気中開閉所(取替前)からより耐震性の高いガス絶縁開閉装置に変更

- ガス絶縁開閉装置は、構造上、気中開閉所機器よりも重心が低く、より耐震性が高い。
- コンパクトな配置が可能であり、メンテナンス性も良い。



気中開閉所(取替前)



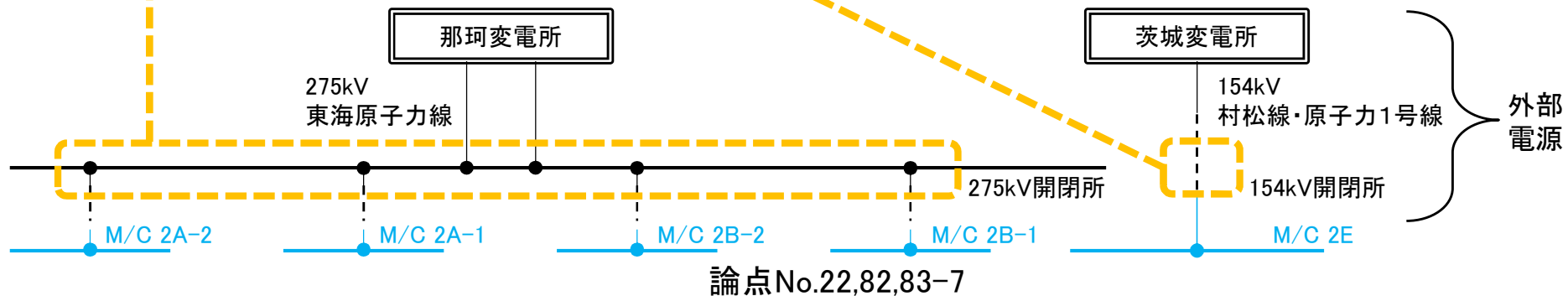
気中開閉所(取替前)

設備変更実施中

変更済



[対策例] 154kV開閉所 ガス絶縁開閉装置(取替後)



○東海第二発電所の従来設備の気中開閉所(275kV東海原子力線, 154kV村松線・原子力1号線)は耐震重要度分類上のCクラスとしての耐震性を十分確保していたが、外部電源システムの信頼性を高めるため、より耐震性の高いガス絶縁開閉装置に取り替えを実施している。

○気中開閉所及びガス絶縁開閉装置について、JEAG5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に基づいた耐震評価を行い、気中開閉所に比べてガス絶縁開閉装置は、より設計上の裕度が増加したことを確認している。

開閉所設備の耐震評価結果(従来設備)

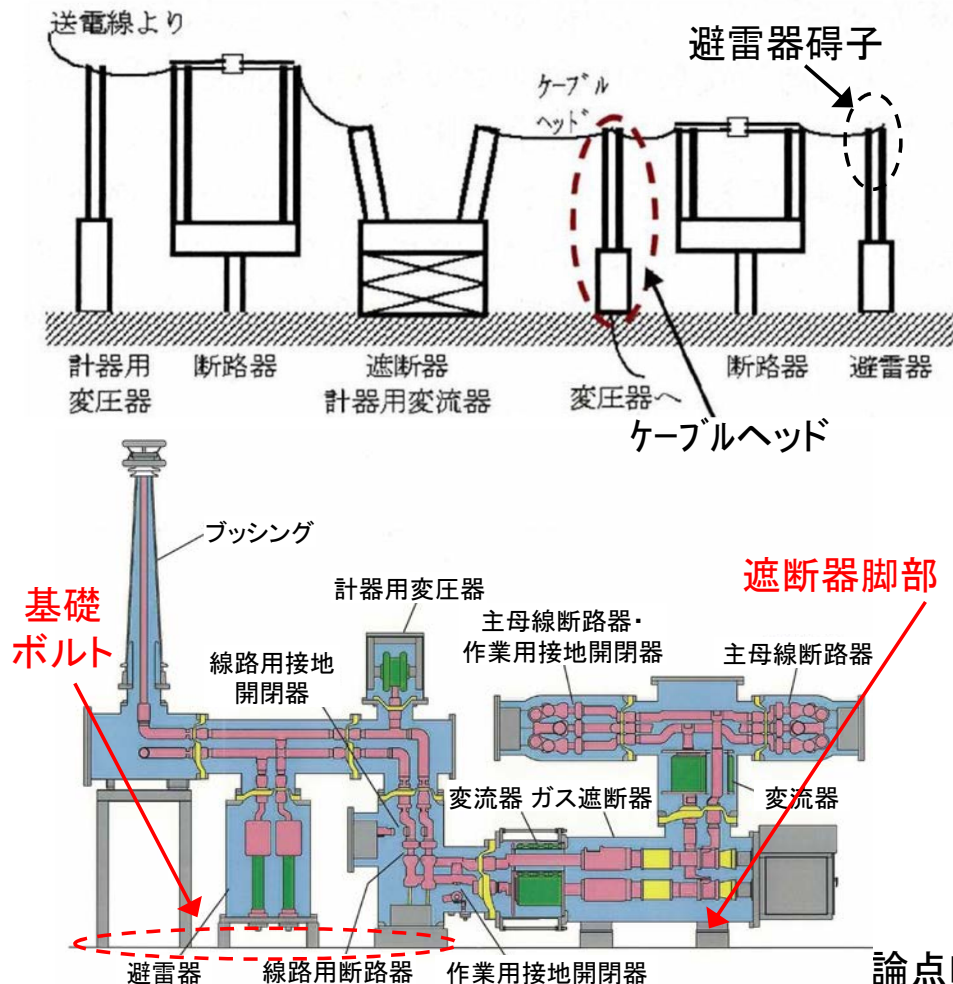
照査項目	耐震裕度*	評価部位
275kV超高圧開閉所 気中遮断器	1.32	ケーブルヘッド
154kV特別高圧開閉所 気中遮断器	1.31	避雷器碍子

* 過去の地震データをほぼ包含するよう機器下端に3m/s²共振正弦3波を入力した動的解析。1以上であれば耐震性を満足する。

設備変更

開閉所設備の耐震評価結果(取替後)

照査項目	耐震裕度*	評価部位
275kV超高圧開閉所 ガス絶縁開閉装置	2.24	遮断器脚部
154kV特別高圧開閉所 ガス絶縁開閉装置	1.79	基礎ボルト



(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所の開閉所の基礎やケーブル洞道等の地震に対する耐性が高いことを確認

○東海第二発電所の開閉所の基礎の設置地盤の支持性能、開閉所から原子炉建屋等へ繋がるケーブル洞道等の設置地盤の支持性能及び不等沈下量を評価し、**耐震Cクラスで適用する地震力**に対して設置地盤は十分な支持性能があることを確認している。

開閉所基礎、ケーブル洞道・トラフの支持性能の評価結果

照査項目 (最大接地圧)	評価値	評価基準値	判定
①275kV超高压開閉所	434 (kN／本)	< 2,629 (kN／本)	○
②154kV特別高压開閉所	62 (kN／m ²)	< 192 (kN／m ²)	○
③ケーブル洞道	162 (kN／m ²)	< 372 (kN／m ²)	○
④ケーブルトラフ	32 (kN／m ²)	< 640 (kN／m ²)	○

ケーブル洞道及びケーブルトラフの最大沈下量の評価結果

	ケーブル洞道 (275kV超高压開閉所～タービン建屋間)	ケーブルトラフ (154kV特別高压開閉所～原子炉建屋間)	判定
最大沈下量	9.5mm	1.7mm	○*

* 沈下量が1cm未満であり不等沈下によるケーブル性能への影響は生じない。

開閉所、ケーブル洞道及びケーブルトラフの配置

【論点No.22】

外部電源の送電線・開閉所に対する地震対策上の対応について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.850

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

(19)送電系統の受電容量・耐震性(地震)

上記の太平洋プレート内地震(北部)も含めて, 所外から受電する送電系統(東海原子力線, 村松線・原子力1号線)の鉄塔等が, 何らかの損傷し, 受電できなくなる可能性はない心配である。

P.2-9

【論点No.82】

外部電源の送電鉄塔等に係る地震対策の考え方等について

【委員からの指摘事項等】

No.78

外部電源の確保のところで、鉄塔は倒壊することが前提なのか。なるべく倒れないように設計すれば良いと思う。

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.2-6

【論点No.83】

ガス絶縁開閉装置の耐震性について(耐震評価等の結果を含む。)

【委員からの指摘事項等】

No.79

ガス絶縁開閉装置について、耐震性は具体的にどの程度高いのか。耐震性のチェックはしているか。

P.2,7-9

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

外部電源の信頼性向上対策及び外部電源喪失時の対策について

【説明概要】

東海第二発電所の外部電源は、耐震性向上のため変電所から接続する送電線の碍子や、開閉所の気中遮断器について、より耐震性の高い碍子やガス絶縁開閉装置への取替を行い信頼性向上を図っている。

事故等の発生時には、外部電源の喪失を想定し、非常用交流電源設備である非常用ディーゼル発電機からプラントを安全な状態に維持するために必要な負荷へ電力の供給を行う設計としている。

さらに、非常用交流電源設備が喪失したことにより重大事故等が発生した場合においても、プラントを安全な状態に維持するために必要な負荷へ電力を供給するため、常設代替交流電源設備である常設代替高圧電源装置等の代替電源設備を設置することにより電源確保の信頼性向上を図っている。

○東海第二発電所では、基準地震動に対する耐震性を担保していない外部電源系統（開閉所設備等）
*2に対しては、大きな地震の発生時には受電できない可能性があるが、**地震時の外部電源の信頼性を高め、また外部電源が一旦喪失しても復旧をできるだけ早める観点から、耐震性向上の取り組みを行っている。** *2 耐震重要度分類上のCクラスに区分（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）

（1）所外より発電所につながる変電所設備、送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

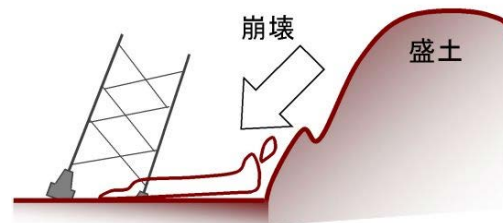
- ・発電所に繋がる変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認
- ・発電所に繋がる複数系統の送電鉄塔・電線路の経路の配置より、仮に1つの鉄塔が倒壊しても、すべての送電線が同時に機能喪失しないように、電線路間の水平距離（離隔）を確保

（2）発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

- ・発電所の開閉所設備を気中開閉所から、より耐震性の高いガス絶縁開閉装置に変更
- ・発電所の開閉所の基礎やケーブル洞道等の地震に対する耐性が高いことを確認



ガス絶縁開閉装置への設備変更



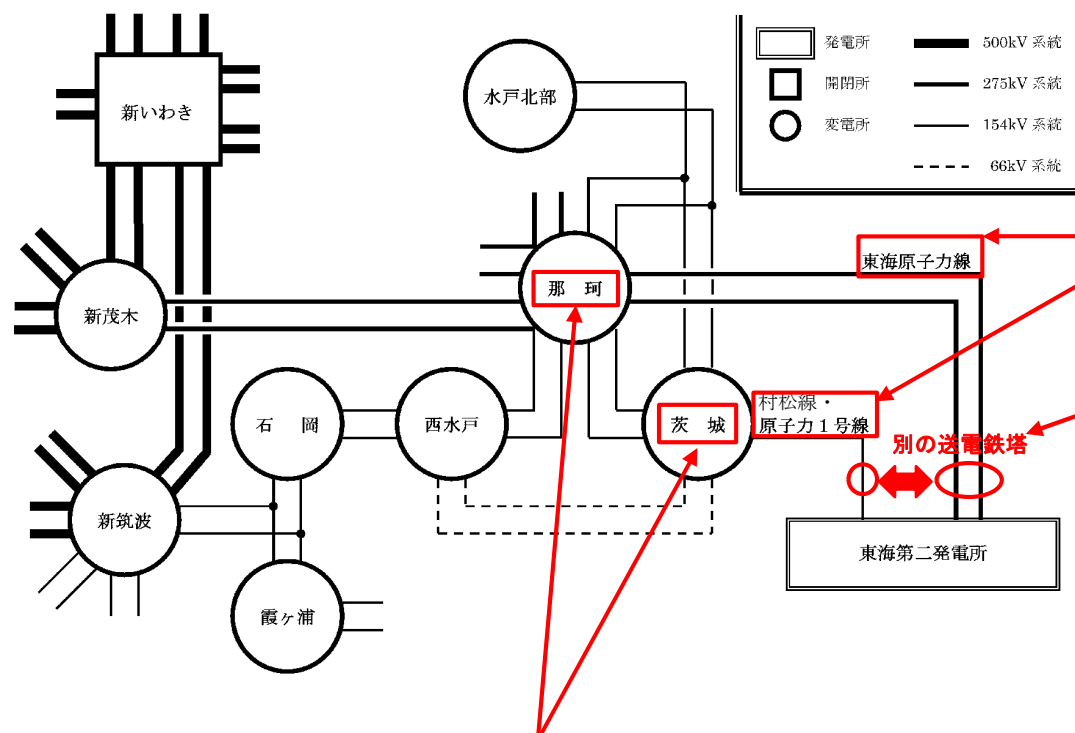
鉄塔基礎の安定性評価



発電所敷地周辺の鉄塔配置

設置許可基準規則 第33条(保安電源設備)(抜粋)

- 1 発電用原子炉施設は、重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給するため、電力系統に連系したものでなければならない。
- 4 設計基準対象施設に接続する電線路のうち少なくとも二回線は、それぞれ互いに独立したものであって、当該設計基準対象施設を電力系統に連系するものでなければならない。
- 5 前項の電線路のうち少なくとも一回線は、設計基準対象施設において他の回線と物理的に分離して受電できるものでなければならない。
- 6 設計基準対象施設に接続する電線路は、同一の工場等の二以上の発電用原子炉施設を電力系統に連系する場合には、いずれの二回線が喪失した場合においても電力系統からこれらの発電用原子炉施設への電力の供給が同時に停止しないものでなければならない。



275kV送電線(東京電力パワーグリッド株式会社東海原子力線)1ルート2回線及び154kV送電線(東京電力パワーグリッド株式会社村松線・原子力1号線)1ルート1回線で電力系統に連系した設計とする。

東京電力パワーグリッド株式会社東海原子力線2回線及び村松線・原子力1号線1回線は、同一の送電鉄塔に架線しないよう、それぞれに送電鉄塔を備える設計であることを確認している。

これらの送電線は1回線で発電所の停止に必要な電力を供給し得る容量*とされ、いずれの2回線が喪失しても、発電用原子炉施設が外部電源喪失に至らない構成であることを確認している。

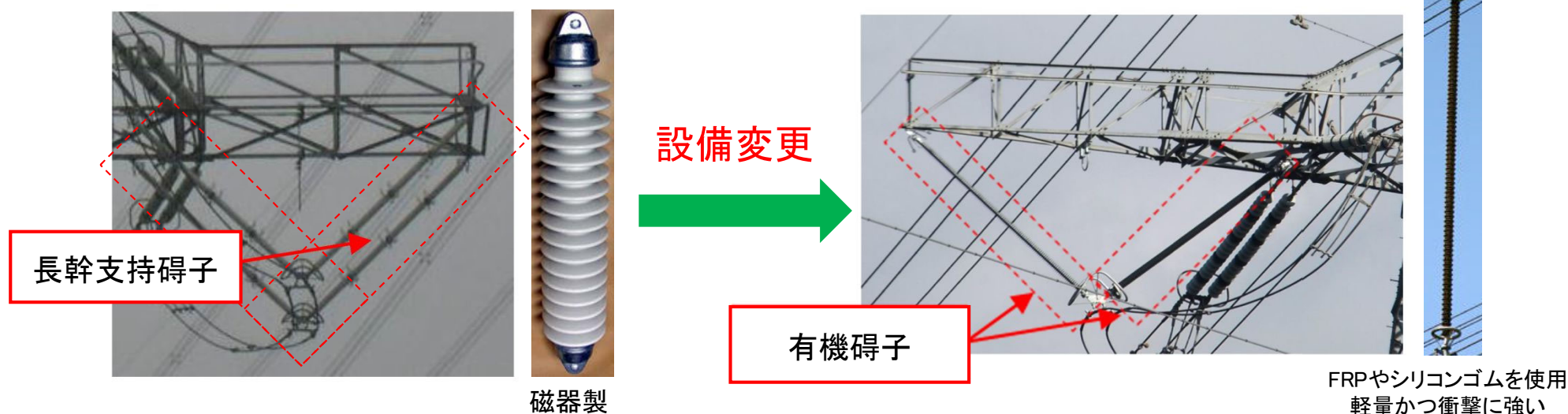
275kV送電線は、東京電力パワーグリッド株式会社那珂変電所に連系する。
154kV送電線は、東京電力パワーグリッド株式会社茨城変電所に連系する。

* 非常用ディーゼル発電機容量: 5.2MW/基に相当し、
275kV送電線の送電容量: 約1,138MW(1回線当たり)及び
154kV送電線の送電容量: 約269MWは、それぞれ必要容量以上を確保している。

(1) 所外より発電所に繋がる送電設備、送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所に接続する送電・変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認

○東海第二発電所に変電所から接続する送電線（東海原子力線（275kV）^{*1}）^{*2}の碍子の耐震性向上対策として、より耐震性の高い碍子への取り替えが実施されている。



* 1: 2011年の東北地方太平洋沖地震にて、長幹支持碍子の損傷が発生している。

* 2: 発電所に接続する別の送電系統である、村松線・原子力1号線（154kV）には長幹支持碍子は使用されていなかった。

出典: 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会電力安全小委員会資料「東北地方太平洋沖地震におけるジャンパ支持V吊長幹支持がいし装置の折損原因分析結果について（平成23年12月27日、東京電力株式会社）」を基に一部加筆

○東海第二発電所に接続している那珂変電所及び茨城変電所は、重心が低く、耐震性の高いガス遮断器^{*3}が採用されていることを確認している。

* 3: JEAG5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に基づいた評価が実施されており、設計上の裕度を確認している。

(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所の開閉所設備を気中開閉所（取替前）からより耐震性の高いガス絶縁開閉装置に変更

- ガス絶縁開閉装置は、構造上、気中開閉所機器よりも重心が低く、より耐震性が高い。
- コンパクトな配置が可能であり、メンテナンス性も良い。



気中開閉所（取替前）



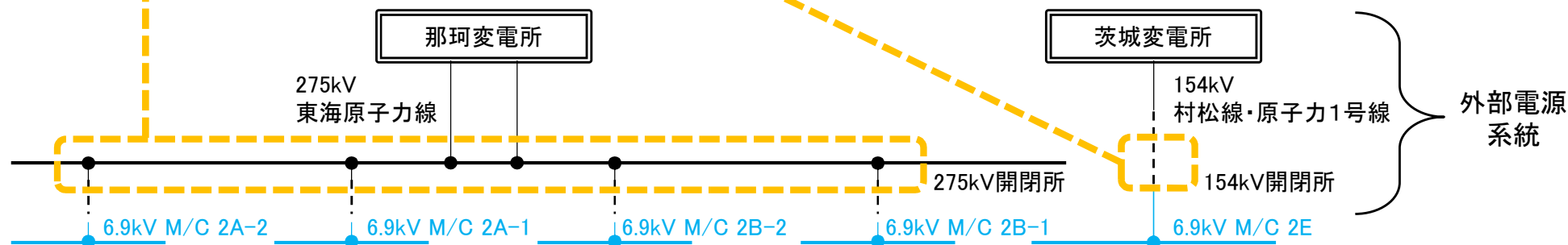
気中開閉所（取替前）

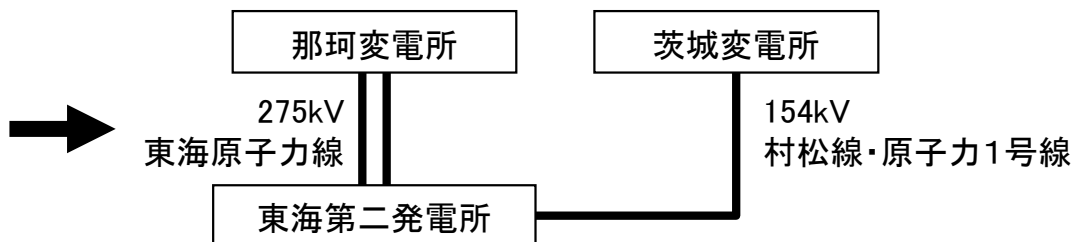
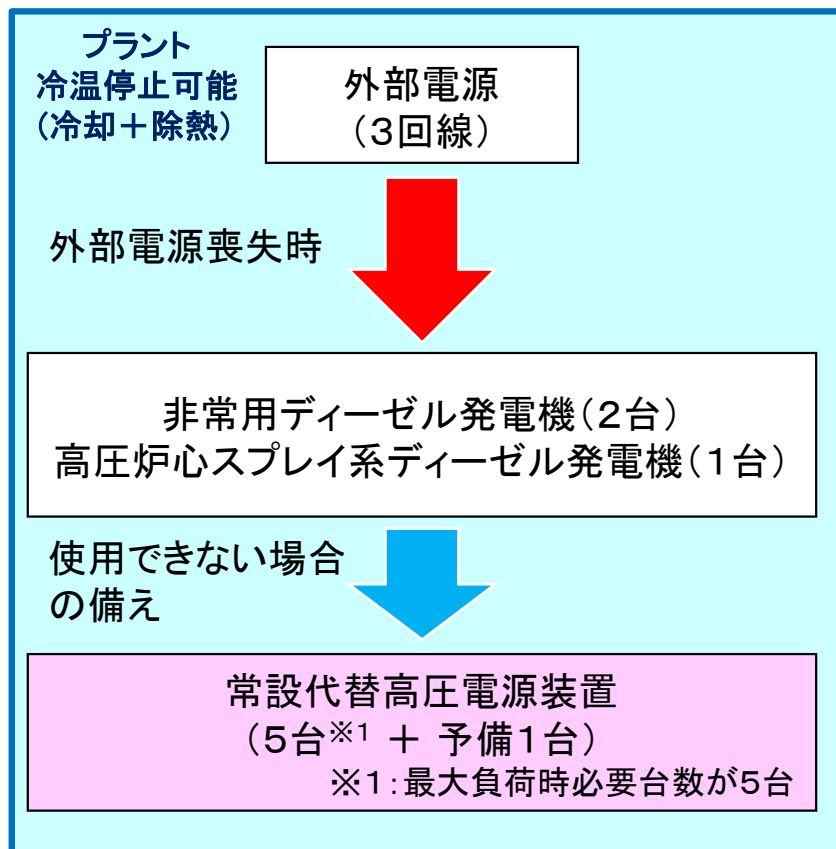
設備変更実施中

変更済



[対策例] 154kV開閉所 ガス絶縁開閉装置（取替後）

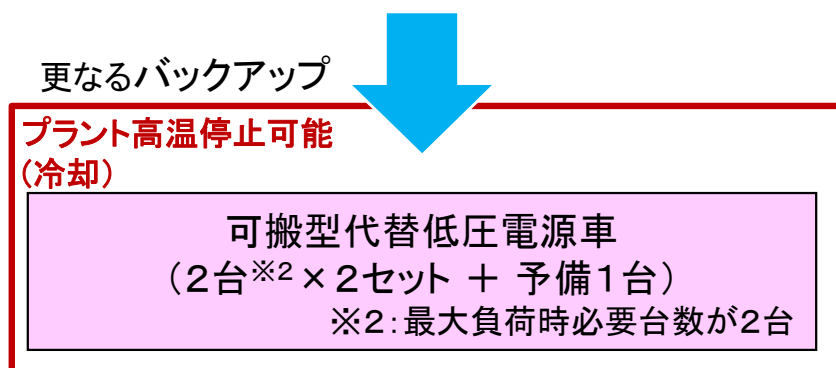




設計基準事故に対処する
ための電力を供給



重大事故等に対処するた
めの電力を供給



可搬型代替注水ポンプ等
の可搬型の重大事故等
対処設備と組み合わせて
重大事故等に対処するた
めの電力を供給

□ : 新規設置

交流電源及び直流電源喪失時の対応

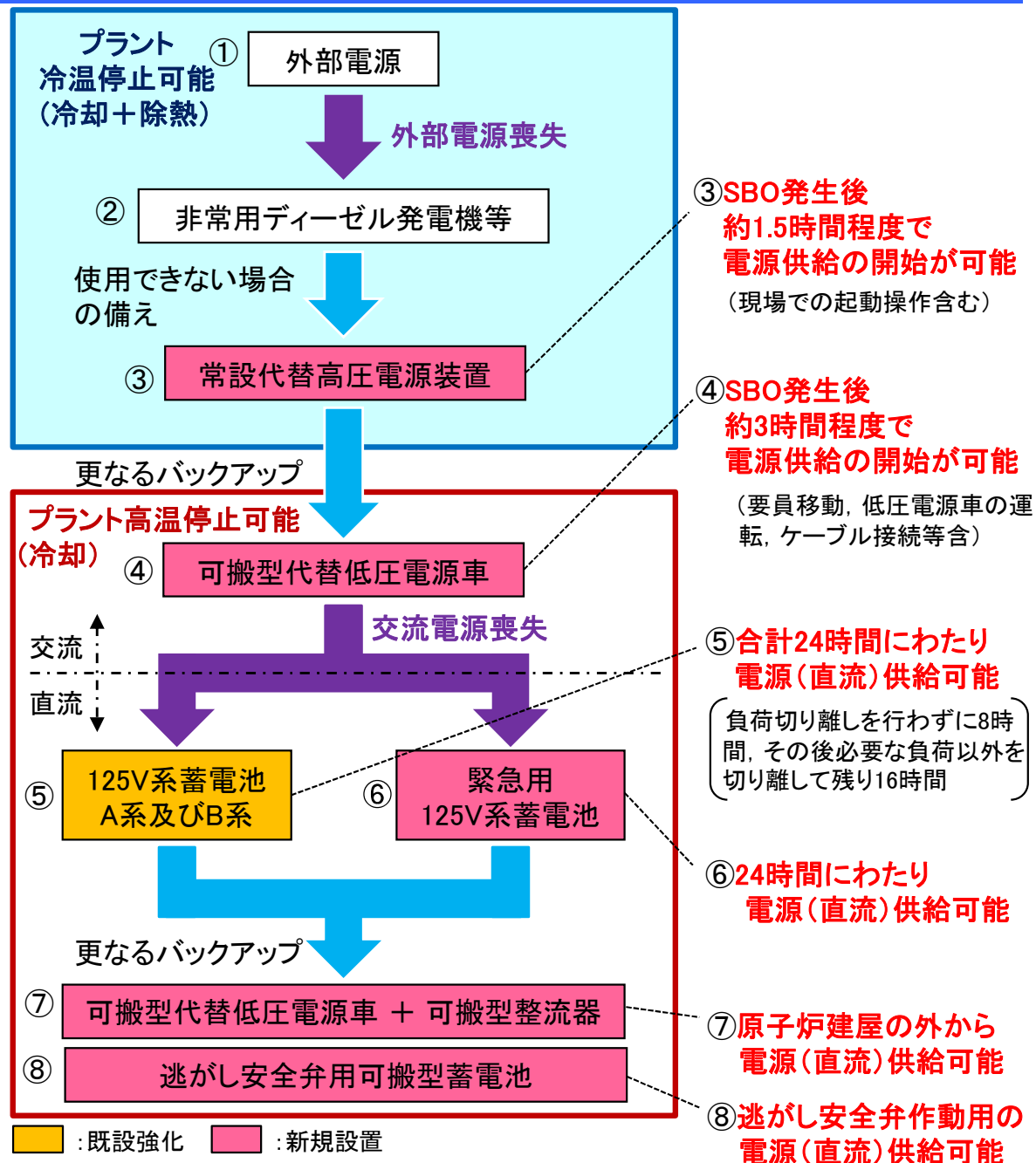
- 東海第二発電所で外部電源が喪失すると、非常用ディーゼル発電機等(全3台*)が自動起動して発電所内に非常用電源を供給する。仮に、**何らかの異常により非常用ディーゼル発電機が全台とも使用できない場合には、発電所は全交流動力電源喪失(SBO)の状態に至る。**

* 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。

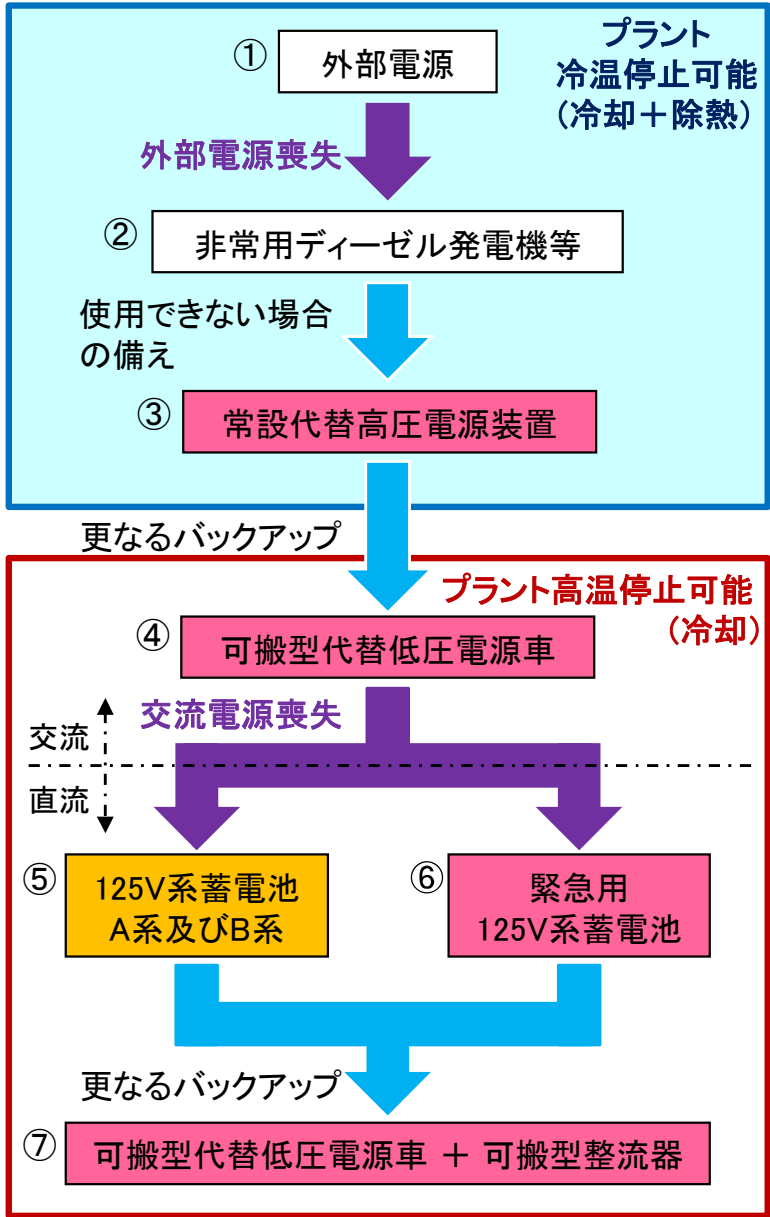
- SBOに至った状態でも、直流電源を用いる設備は蓄電池(125V系蓄電池A系及びB系、又は緊急用125V系蓄電池)から継続して給電可能であり、これらの蓄電池は必要な直流電源を24時間にわたり供給できる容量を有している。

- 24時間以降は、代替電源設備として整備した常設代替高圧電源装置又は可搬型代替低圧電源車より交流電源を供給し、直流に変換することで継続的に直流電源を供給できる。仮に、交流から直流への変換ができない事態でも、可搬型代替低圧電源車及び可搬型整流器を組み合わせることで原子炉建屋の外から直接直流電源を供給できる。

- 更に、上記蓄電池とは別に、原子炉減圧・冷却上で特に重要な逃がし安全弁作動用として専用の**逃がし安全弁用可搬型蓄電池**を中央制御室に設け信頼性を高めている。



給電対象負荷一覧

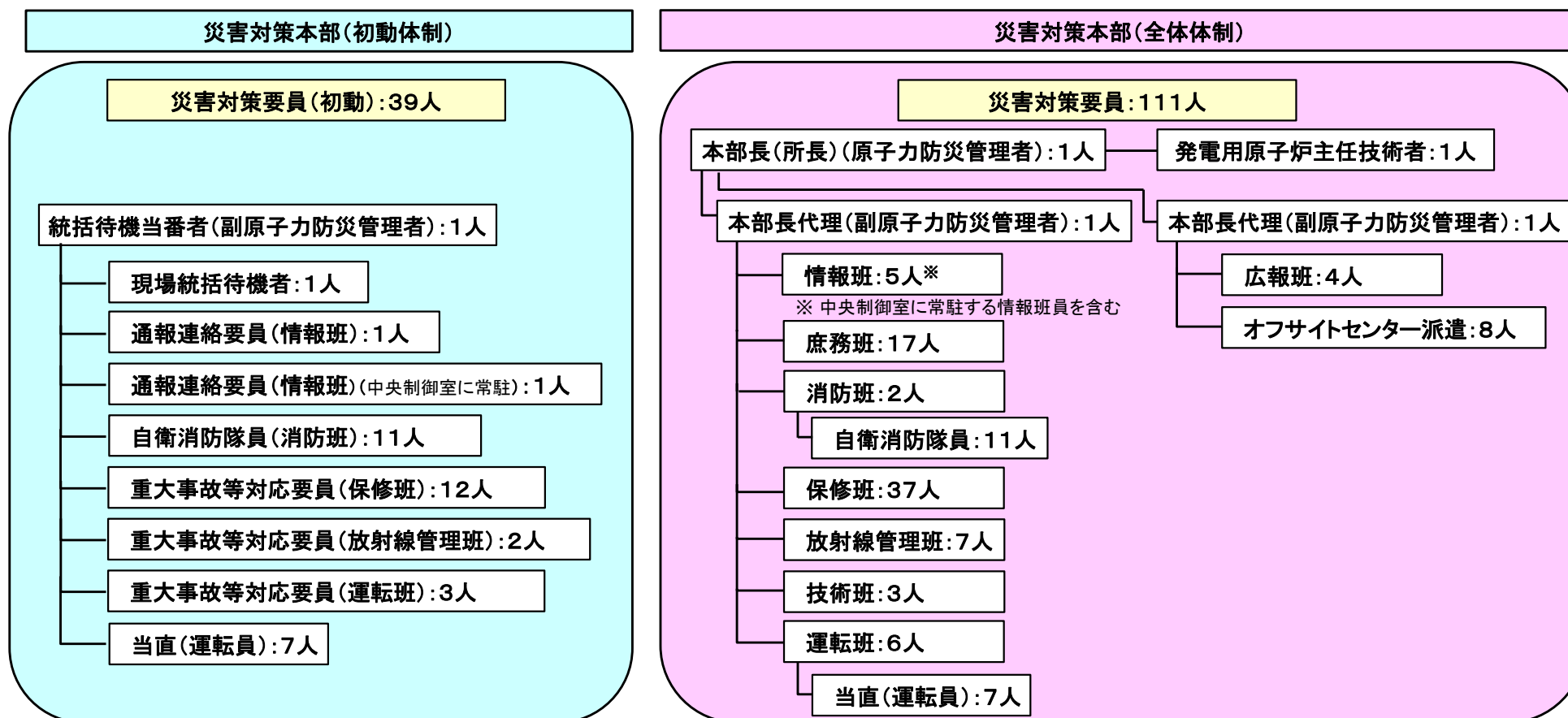


機能	系統	冷温停止(冷却+除熱)			高温停止(冷却)			
		① 外部 電源	② 非常用 ディーゼル 発電機等	③ 常設 代替 高圧 電源 装置	④ 可搬型 代替 低圧 電源車	⑤ 125V系 蓄電池 A系 及びB系	⑥ 緊急用 125V系 蓄電池	⑦ 可搬型 代替低圧 電源車 + 可搬型 整流器
炉心 冷却 ※1	高圧炉心 スプレイ系	○	○	—	—	—	—	—
	高圧代替 注水系	○	○	○	○	—	○	○
	原子炉隔離 時冷却系	○	○	○	○	○	—	○
	低圧 ECCS系	○ (2系列)	○ (2系列)	○ (1系列)	※3 —	※3 —	※3 —	※3 —
	低圧代替 注水系(常設)	○	○	○	※3 —	※3 —	※3 —	※3 —
除熱 ※1	残留熱 除去系	○	○	○	—	—	—	—
	代替循環 冷却系	○	○	○	—	—	—	—
SFP ※2 冷却 ※1	燃料プール 冷却系	○	○	—	—	—	—	—
	代替燃料 プール冷却系	○	○	○	○	※3 —	※3 —	※3 —
補機 冷却 ※1	緊急用 海水系	○	○	○	※3 —	—	—	—
監視	監視計器類	○ (交流+直流)	○ (交流+直流)	○ (交流+直流)	○ (交流+直流)	○ (直流)	○ (直流)	○ (直流)

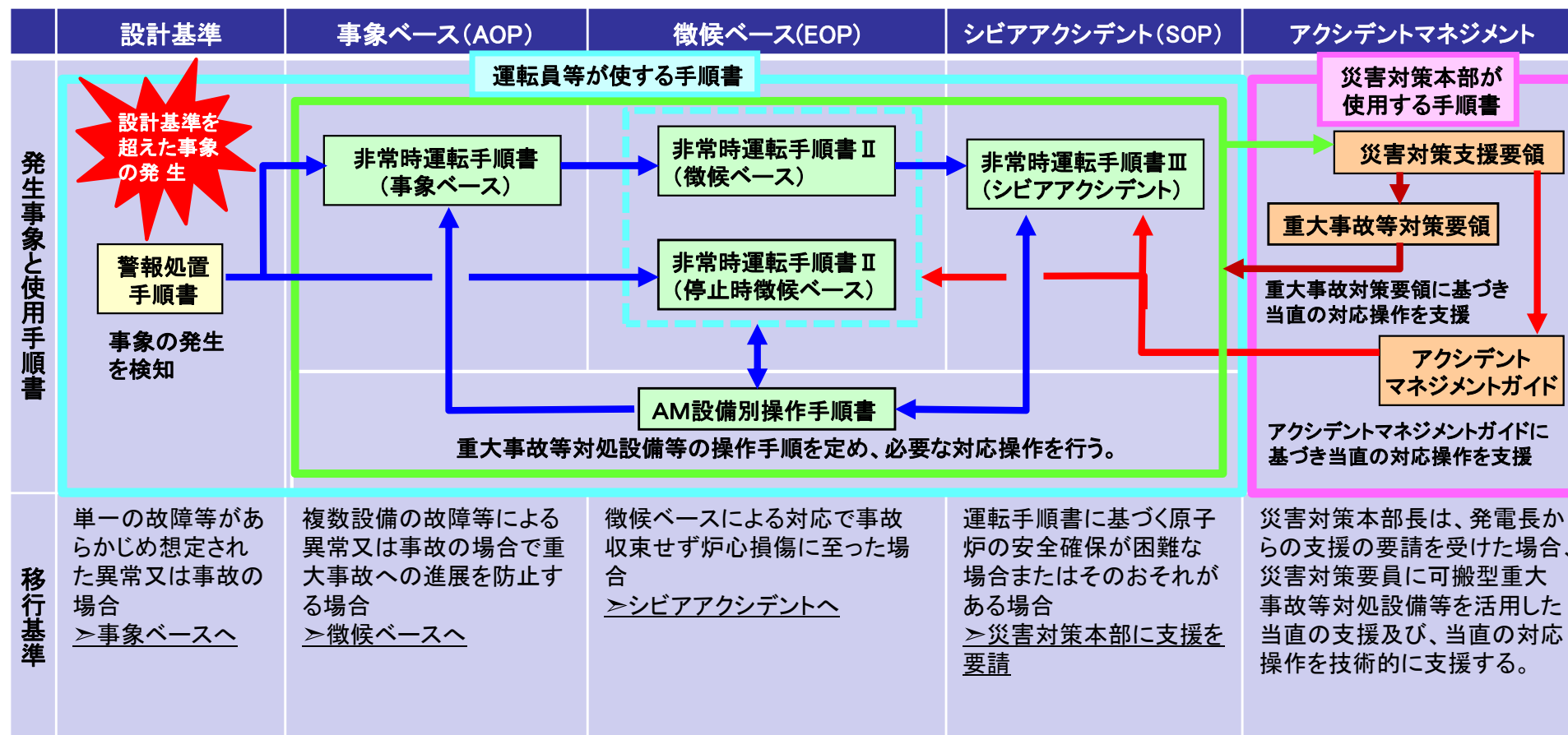
■ : 既設強化 ■ : 新規設置

※1: 起動・制御に関するものを含む。 ※2: SFPIは、使用済燃料プール(Spent Fuel Pool)の略。
※3: 可搬型注水設備(ポンプ車等)により、炉心冷却等を実施。

- 夜間及び休日(平日の勤務時間以外)においては、初動対応を担う要員が発電所構内に常駐する体制を整備
- 事象発生初期に必要な対応操作を行う要員を、**災害対策要員(初動)**として**発電所構内に常駐**
 - 災害対策要員(初動)以外の災害対策要員は、**非常招集**により**参集**して初動体制に加わることで、災害対策本部の体制は初動体制(39人)から**全体体制(111人)に移行**



- 設計基準を超えた事象の対応に当たっては、各手順書毎に移行基準を定めており、移行基準を元に手順書に移行し、対応操作を行っていく手順書体系を構成している。
- 重大事故等時の手順書については、炉心損傷及び格納容器破損防止を防ぐために最優先すべき操作等の判断基準をあらかじめ明確化し、発電長の判断により迅速な操作ができるようにする。



【論点No.87】

・外部電源の信頼性向上対策及び外部電源喪失時の対策について

【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.946

② 福島第一発電所の事故に鑑み、外部電源の強化として那珂火力発電所から必要に応じ専用ケーブルで受電するアイデアは如何でしょうか？那珂火力発電所から日本原子力開発機構の敷地を経由して11KV程度のケーブルでつなげば、送電距離が短いこともあり外部電源の信頼度が大きく向上します。また、11KV程度であれば、送電線の架設費用も合理的な範囲に収まると思います。

論点No.87-2,4,5,6

No.851

特に、受電容量の小さな村松線・原子力1号線だけが残った場合、津波の引き波や漂流物による送電システムの損傷が発生しないか、また、安全系の設備に必要な電力が供給できるか心配である。

No.1032

論点No.87-3,6

Q16:電気系統全停(ブラックアウト)に対する評価

関東地区で大地震が発生した場合、発電所が一斉に停止し長期間停電する可能性がある。特に台風・夜間時の地震発生は最悪事態となろう。要員の集合は困難になろう。非常用蓄電池は数時間で放電する。このような事態に対処する手順書、体制は存在し有効と判断されたのか、検討項目に見当たらないので危惧する。資料(5)に交流動力電源喪失の記載があるが、蓄電池容量だけの確認になっている。大地震時の電源喪失とは検討範囲が異なる。電気照明・道路の信号機・通信・水道・換気扇・地震損傷・津波これらの問題が発生し、運転員も住民も大変である。

以上

論点No.87-6,7,8,9,10

* 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

①シュラウドサポート溶接部のひび割れ及び運転開始後60年時点における経年劣化状況を踏まえた耐震評価及びその保守性について

【説明概要】

シュラウドサポート溶接部のひび割れの耐震評価について、「解析モデル」、「地震荷重」及び「評価における安全率」のそれぞれに裕度を持たせた評価を行っており、評価結果には十分な保守性があると考ええる。

②シュラウドサポートのひび割れを踏まえたこれまでの対応及び今後の管理方針について

【説明概要】

2005年にシュラウドサポートの溶接部にひび割れが確認されて以降、継続的にシュラウドサポートの検査を実施し、また、ひびの進展の予測評価を行い、60年運転時点でもシュラウドサポートの健全性に問題ないことを確認している。

今後も当該部の点検を継続し、仮に予測を上回るようなひびの進展が見られた場合には、シュラウドサポートの構造強度の再評価を行い、健全性を確認する。

③新規制基準に基づく基準地震動 S_s 策定に伴うシュラウドサポートの耐震安全性評価上の裕度の変化について

【説明概要】

新規制基準を踏まえた高経年化技術評価時の基準地震動 S_s は全ての地震時荷重が大きく増加したことから、第24回定検時の構造安全性評価と比べて、極限解析の裕度は第24回定検の7.239から今回の2.356と小さくなったが、裕度は2倍以上を有しており耐震安全上の問題にならないことを確認した。

① 第21回定期検査(2005年度)

- シュラウドサポートシリンダ縦溶接継手(以下、「V8溶接継手」という)にひび割れ(3箇所)を確認

② 第24回定期検査(2009年度)

- 上記①で確認されたV8溶接継手の継続検査を実施したところ、V8溶接継手内面及び炉心シュラウドとシュラウドサポートシリンダの水平溶接継手(以下、「H7溶接継手」という)内面に新たなひび状の指示模様(以下、「欠陥指示」という)を確認したため、範囲を拡大して検査した結果、合計40箇所の欠陥指示を確認
- 電気事業法第55条第3項(現炉規制法*¹第43条の3の16第4項)に該当する設備に発見された、技術基準*²に適合しなくなるおそれのある部分の措置に該当するため、電気事業法施行規則第94条(現実用炉則*³第58条第1項)に基づき、確認された欠陥指示を包絡する仮想亀裂を想定した解析モデルを用いて、技術基準に適合しなくなると見込まれる時期を評価し、評価時点(運転開始後30年)から45年後であることを、2010年3月に当時の経済産業省 原子力安全・保安院に法令に基づく報告を実施

*1: 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

*2: 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則

*3: 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則

③第25回定期検査(2011年度)

- 上記②の継続検査を実施し、**新たなひび割れを認めたものの、②の評価にて予測した範囲内であること**(評価に用いた解析モデルの想定亀裂の範囲内であること)を確認し、2011年12月に当時の経済産業省 原子力安全・保安院に**情報提供を実施**
- 第24回定期検査時に確認したひび状の指示模様(V8溶接継手内面並びにH7溶接継手内面(インコネル溶金部))について、**ウォータージェットピーニングによる残留応力低減対策を実施**

④第25回定期検査(2019年度)

- 設置許可基準規則*4に適合した基準地震動が新たに設定され、第24回定期検査時に報告した評価結果を見直す必要があること、現状では今後の補修等の措置は実施しない計画であることから、高経年化技術評価として**60年時点での健全性に対する評価**を実施し、**健全性に問題のないことを確認**

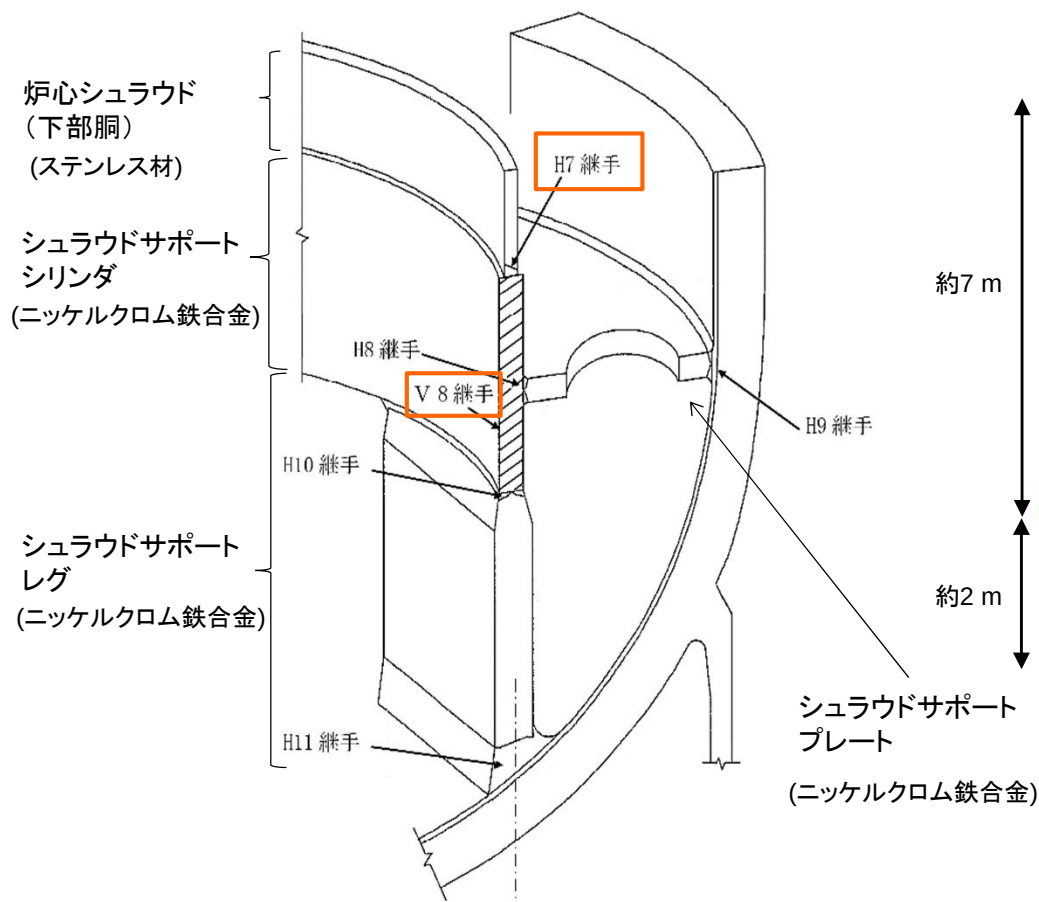
⑤第25回定期検査(2020年度)

- 技術基準規則*4に適合しなくなると見込まれる時期の見通しとして、第24回定期検査までの**運転開始後約30年の時点から約44年後***5となることを評価

*4: 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

*5: 44年はプラント連続運転を仮定した評価。日数は設備利用率80%で換算すると55年となる。

(1) シュラウドサポートのひび割れの確認から現在までの対応実績



 : ひび割れの確認された溶接継手

図-1 シュラウドサポート概略図

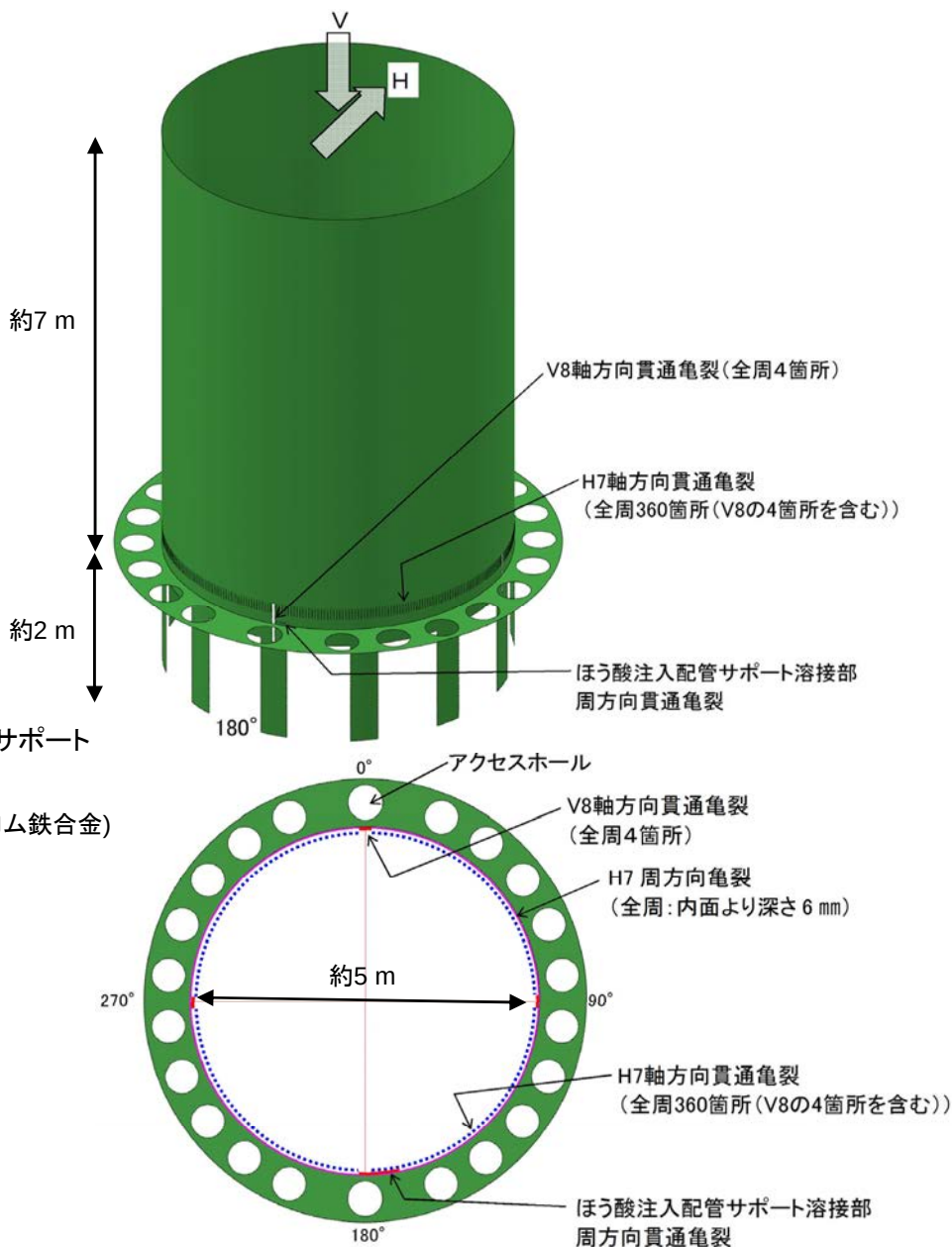


図-2 解析モデル及び亀裂の想定箇所

① 評価内容

- 実機で確認された亀裂を包絡する亀裂を考慮した亀裂(←裕度)^{※1}を仮定したFEM解析モデルを用い、地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度(←裕度)を考慮した「設備評価用床応答曲線」を用いて応力評価^{※2}を行い、維持規格^{※3}に基づく安全率1.5(←裕度)を考慮した設計荷重が崩壊荷重を下回ることを確認する。

※1: 第24回定検における構造健全性評価及び第25回施設定検で実施したシュラウドサポートの検査結果(H7については点検不可範囲があるため、算出式を用いた想定箇所数)を考慮した。(表-1参照)

※2: 地震荷重を考慮した変位曲線と、材料の2倍の弾性勾配直線の交点が崩壊荷重となる2倍勾配法を適用。
【別紙, 「特別点検, 劣化状況評価及び保守管理に関する方針について」補足説明資料参照】

※3: 日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格(2008)

表-1 確認された亀裂数と評価モデルに設定した亀裂数の比較(図-3参照)

継手	亀裂方向	実機で確認された亀裂数		評価で想定する亀裂数
		第24回定期検査	第25回定期検査	解析モデル注
H7	軸方向	33* ¹ (126* ²)	59* ¹ (91* ²)	356* ⁴
	周方向	0	0	1* ⁵
V8	—	8* ³	8* ³	4* ⁶

注: 解析モデルでは、確認された亀裂数・寸法を大幅に上回る軸方向亀裂及び確認されていないが耐震評価上厳しくなる周方向の全周亀裂を想定

*1: 検査範囲拡大(47%→65.2%)に伴う亀裂確認数の増加であり、1運転サイクルでひび割れが有意に増えたり進展していることはない。

*2: 点検不可範囲があるため、日本原子力技術協会「BWR炉内構造物点検評価ガイドライン[シュラウドサポート](第3版)」の「未点検範囲の想定範囲」に基づき全周の亀裂数を算出

*3: 内面5箇所、外面3箇所。ほう酸水注入配管サポートの周方向亀裂を含む。 *4: 1° ピッチの貫通スリットを想定

*5: 全周に幅2mm、深さ6mmの亀裂を想定(亀裂進展評価による60年運転に相当するひび割れ深さを考慮)

*6: *3の確認された亀裂を包絡する、90° ピッチで幅40mmの貫通を想定

(2) シュラウドサポートの粒界型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価

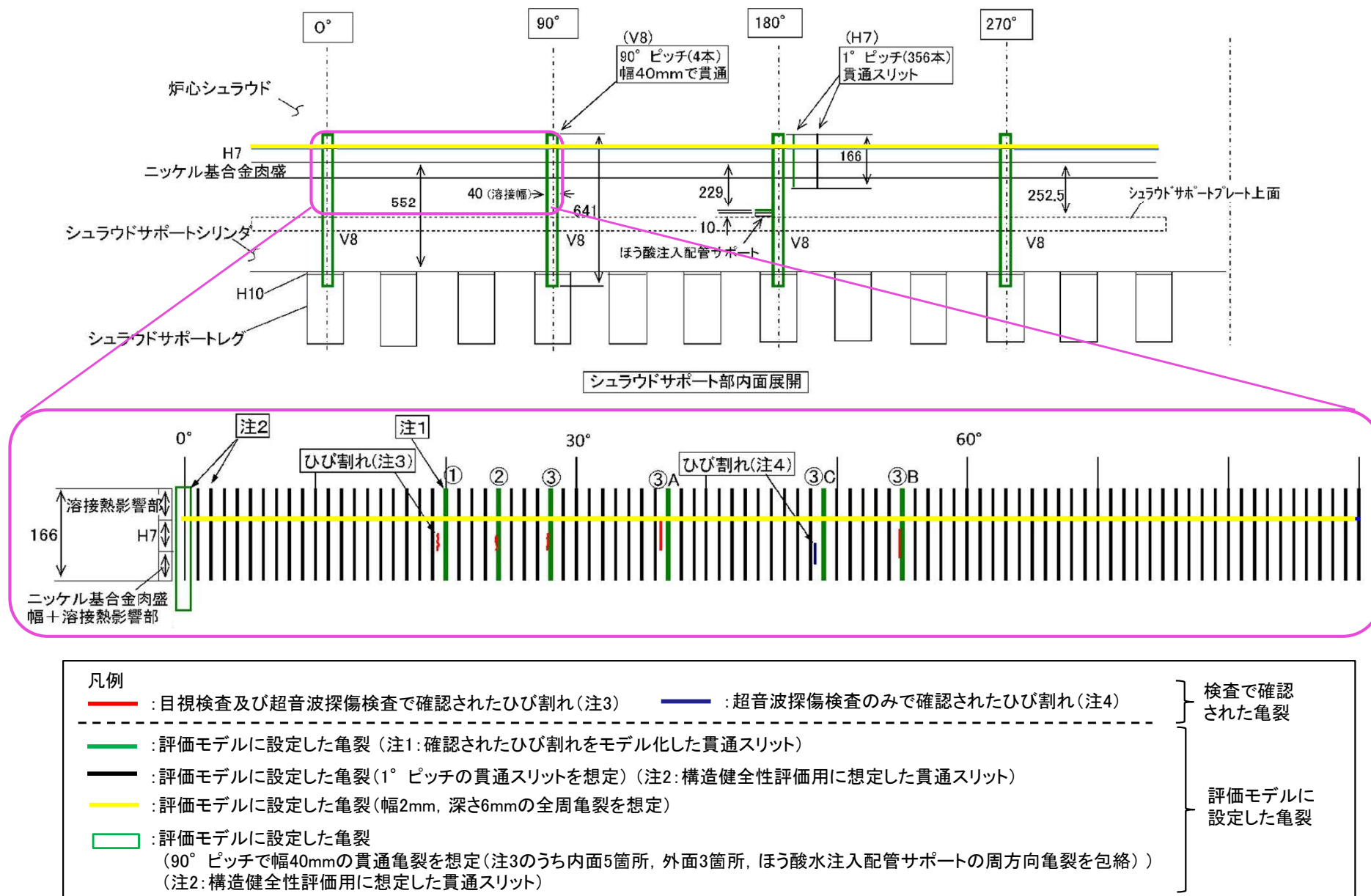


図-3 確認された亀裂と評価モデルに設定した亀裂の比較 (0° ~ 90°)

(2) シュラウドサポートの粒界型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価

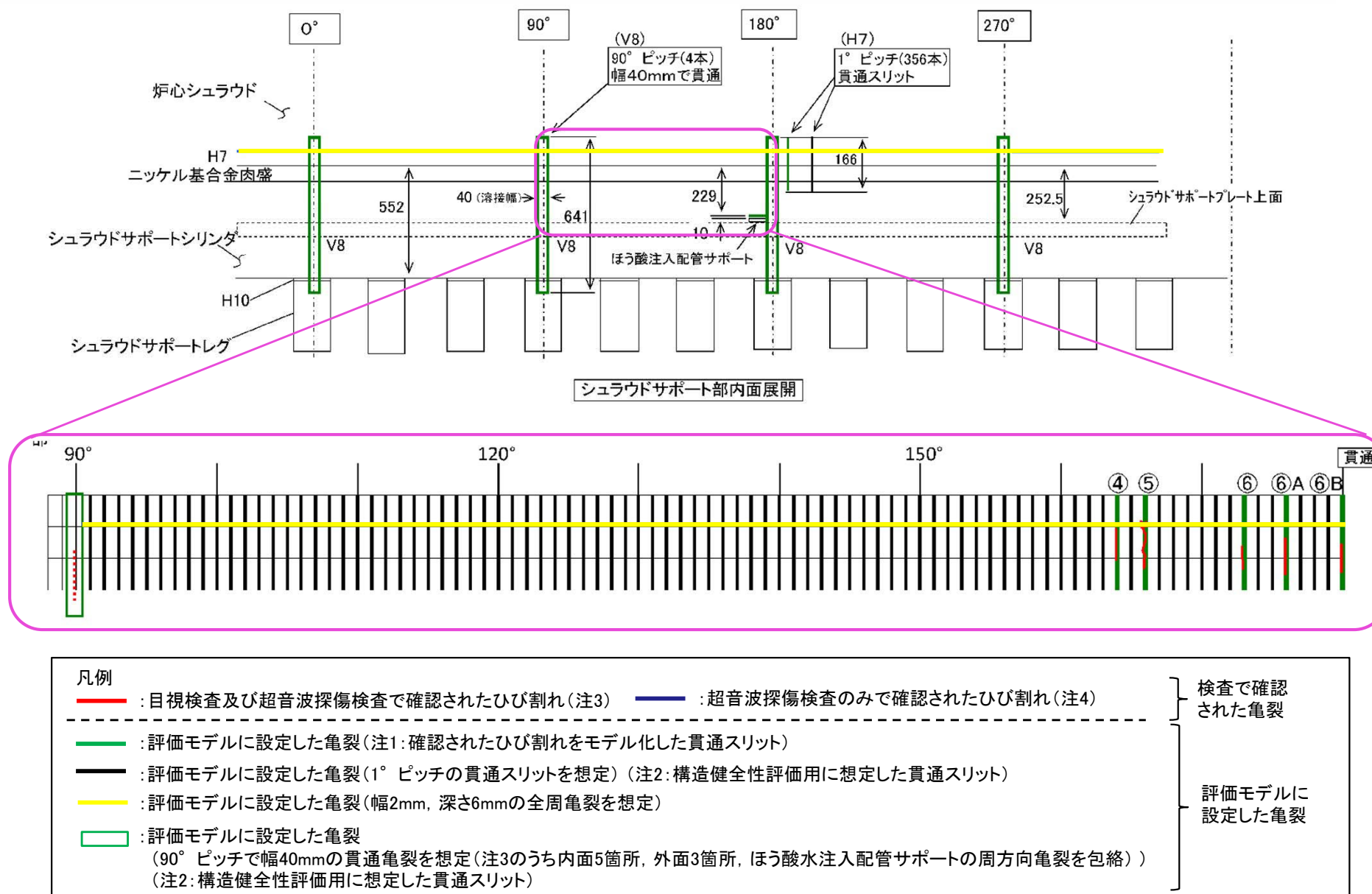


図-3 確認された亀裂と評価モデルに設定した亀裂の比較(90° ~ 180°)

(2) シュラウドサポートの粒界型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価

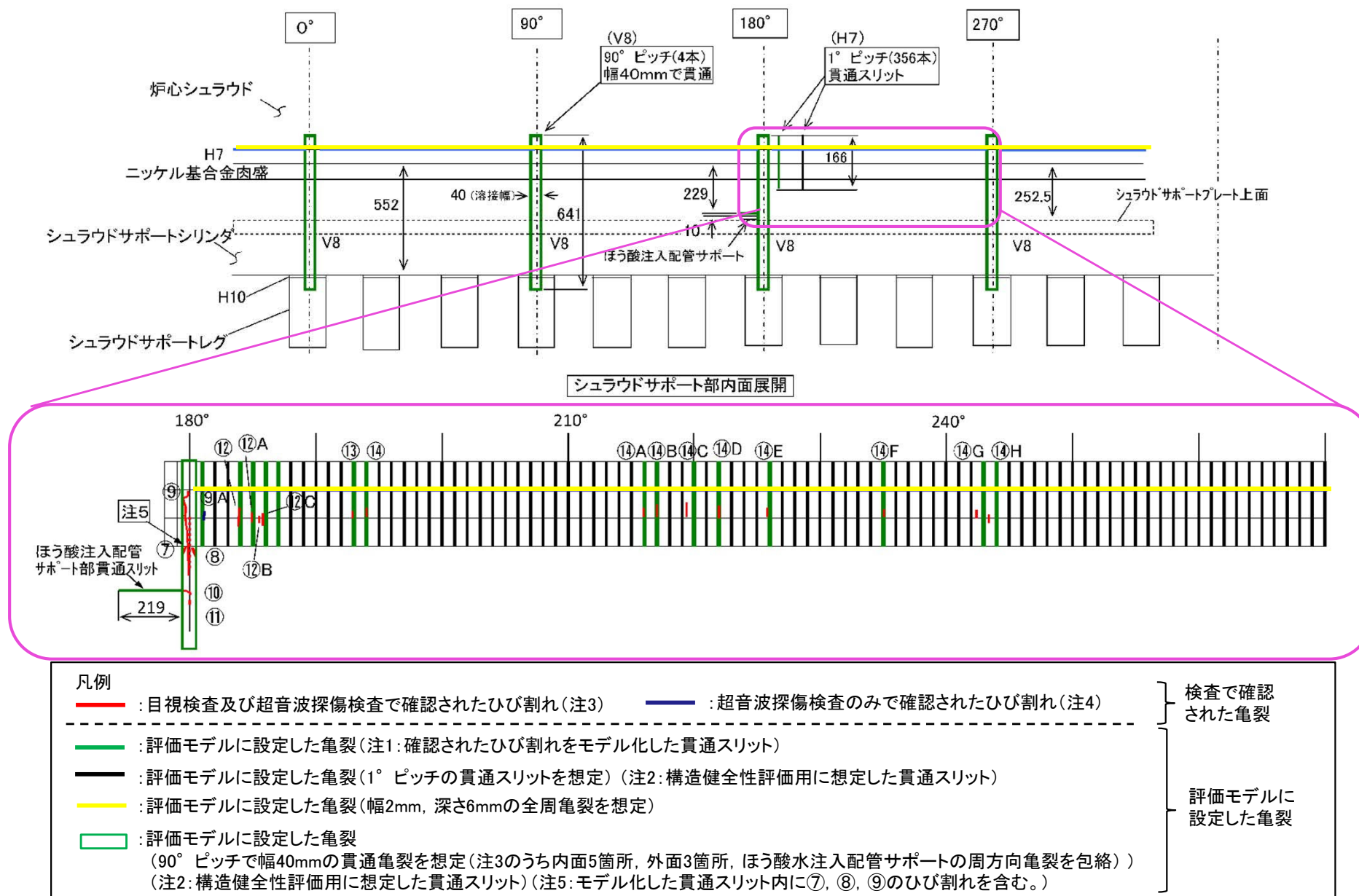


図-3 確認された亀裂と評価モデルに設定した亀裂の比較(180° ~ 270°)

(2) シュラウドサポートの粒界型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価

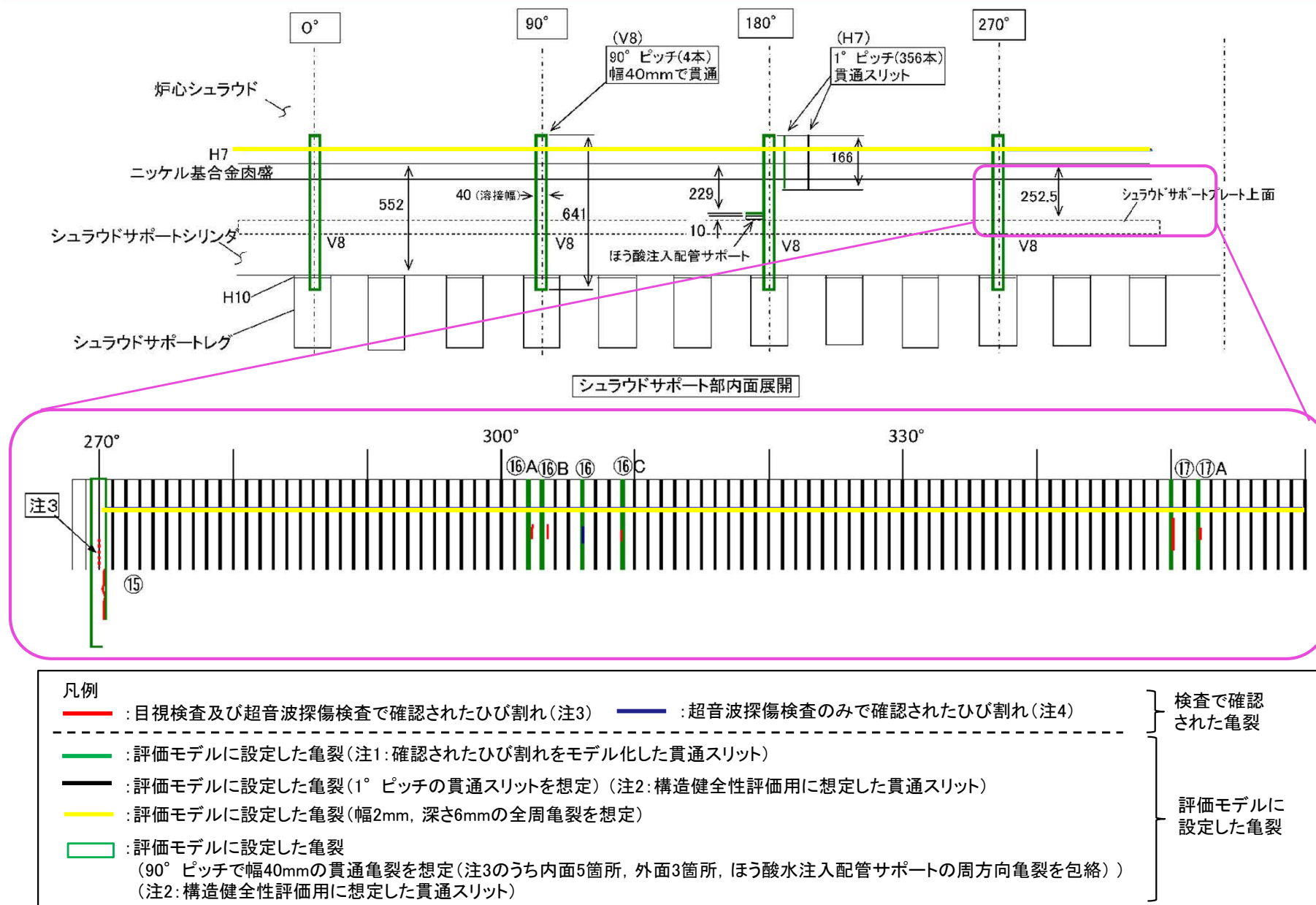


図-3 確認された亀裂と評価モデルに設定した亀裂の比較(270° ~ 360°)

② 評価結果

- 第24回定検の構造安全性評価における地震荷重 S_s (最大加速度600gal, 以下「 $S_s(24)$ 」という。)での荷重条件と, 高経年化技術評価時の基準地震動 S_s (最大加速度1,009gal, 以下「 $S_s(新)$ 」という。)の設備評価用床応答曲線による荷重条件を比較した結果, **全ての地震時の荷重が大きくなったことから, 荷重条件を用いて算出した極限解析の裕度は第24回定検の7.239から今回の2.356と小さくなった。** <極限解析による崩壊荷重評価手法及び評価条件について別紙参照>
- $S_s(新)$ の設備評価用床応答曲線の結果, **裕度は2倍以上を有しており, 耐震安全上の問題にはならない。** $S_s(24)$ の極限解析結果を図-4に, $S_s(新)$ の極限解析結果を図-5に示す。

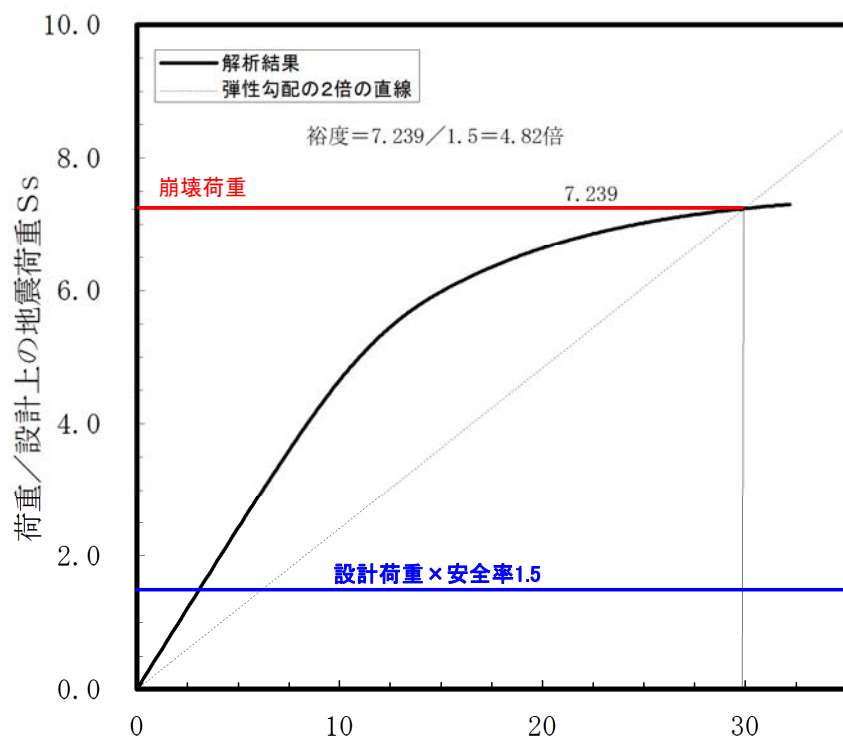


図-4 $S_s(24)$ での極限解析結果

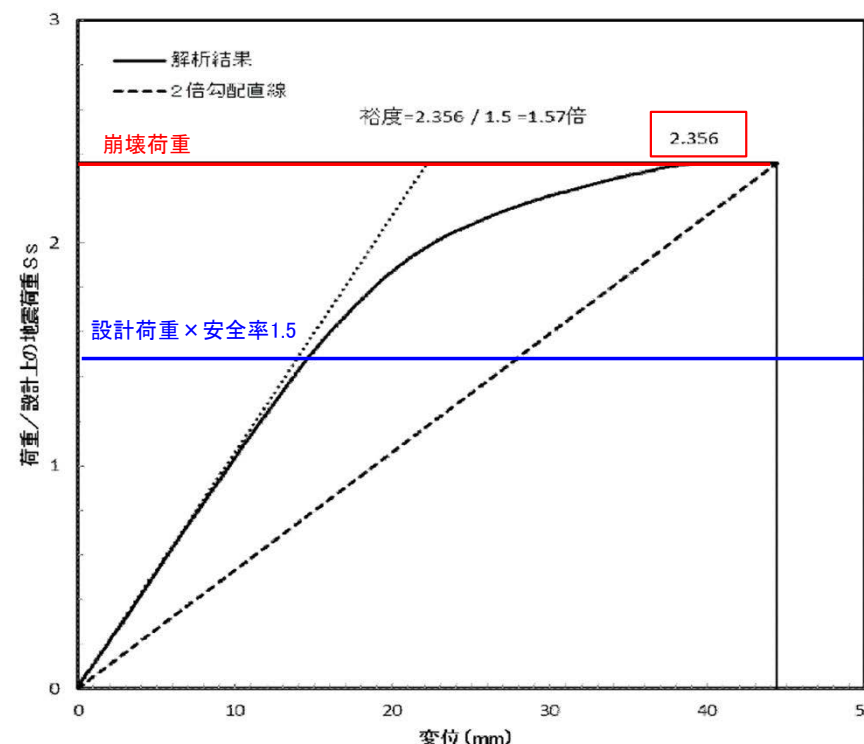


図-5 $S_s(新)$ での極限解析結果

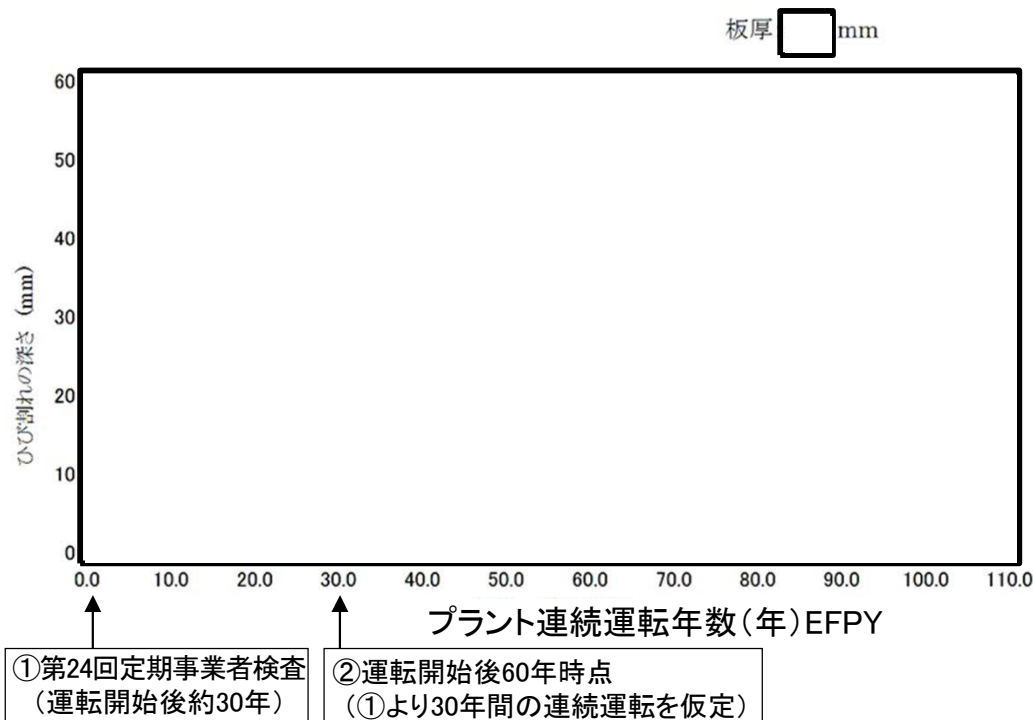
* $S_s(新)$ では地震荷重が大きくなることにより, 同荷重・同変位に対する縦軸の値は相対的に小さくなる。

(3) 技術基準に適合しなくなると見込まれる時期の評価

- 運転期間延長認可の取得以降に、基準地震動 S_s を用いた耐震安全評価を行い、**運転開始後60年を超えて技術基準規則に適合しなくなると見込まれる時期**を評価した。
- 亀裂進展評価^{*1}による**60年運転に相当するひび割れ深さ(6mm)**と、**更にひび割れを進展させた条件(35mm)**による極限解析結果2点の内挿により、維持規格に基づき必要とされる**安全裕度1.5倍に相当するひび割れ深さは28.3mm**と求められた。このひび割れ深さの進展は**運転開始後約30年の時点から約44年後^{*2}の運転年数に相当する**。
- これより、技術基準規則に適合しなくなると見込まれる時期は**運転開始後約30年の時点から約44年後^{*2}となった**。

*1: 日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格(2008)に基づく評価

*2: 約44年はプラント連続運転を仮定した評価。日数は設備利用率80%で換算すると55年となる。

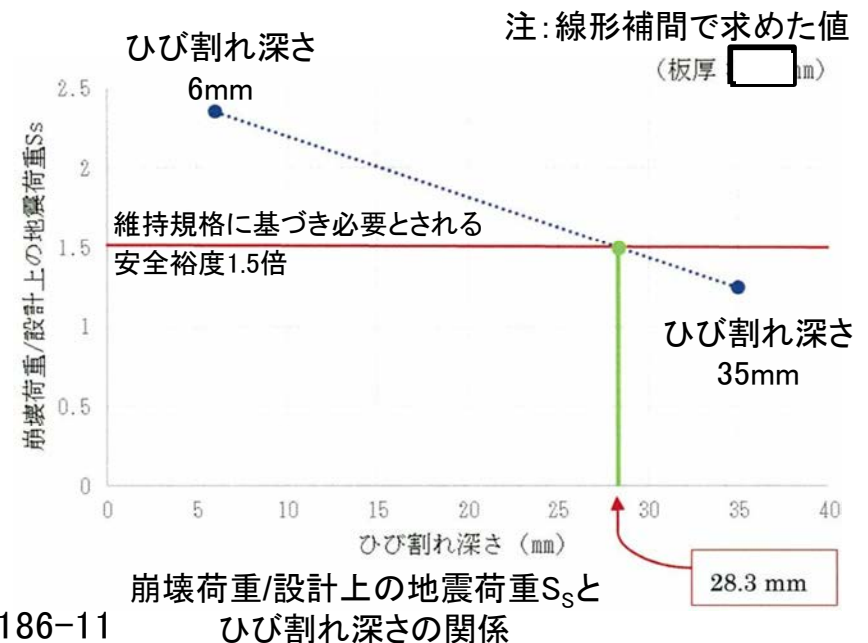


亀裂進展評価によるひび割れ深さと運転年数の関係

論点No.177,185,186-11

ひび割れ深さに応じた極限解析結果

運転年数相当 (年)	ひび割れ深さ (mm)	安全裕度 (崩壊荷重/設計上の地震荷重)
60	6	2.356
30+44 (30+55)	28.3 注	1.5
—	35	1.247



崩壊荷重/設計上の地震荷重 S_s とひび割れ深さの関係

① 評価に用いた解析モデルへのひび割れ箇所の保守的な設定

実機で確認された亀裂を包絡(確認されている亀裂数・寸法を大幅に上回る軸方向亀裂、確認されていないが耐震評価上厳しくなる周方向の全周亀裂を想定)するとともに耐震評価上亀裂を考慮した解析モデルにより評価を行うことにより、保守性を持たせている。

② 地震荷重の保守的な設定

(1)の保守性を持たせた評価モデルを用いた極限解析により算出される崩壊荷重は、評価用地震動(基準地震動Ss8波^{*1})を包絡した地震荷重に基づき設定した「設備評価用床応答曲線^{*2}」により応力評価しているため、保守的な設定となっている。

^{*1} Ss-D1, Ss-11~14, Ss-21~22, Ss-31

^{*2} 機器の据え付け高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮

③ 維持規格に基づく安全率の考慮

シュラウドサポートの健全性評価については、維持規格に基づき実施しており、崩壊荷重が地震荷重等を考慮して算出した設計荷重に安全率1.5を掛け合せた値以上であることを確認する様規定されているため、保守的な評価となっている。

以上の①~③より、評価モデル、地震荷重(設計荷重)及び評価時の安全率それぞれに裕度のある評価により健全性を確認しており、評価結果には十分な保守性があると考ええる。

なお、運転期間延長認可の取得以降に、運転期間60年以降で技術基準規則に適合しなくなると見込まれる時期を評価し、運転開始後約30年の時点から約44年後^{*3}となる評価結果を得ている。^{*3} 44年はプラント連続運転を仮定した評価。日数は設備利用率80%で換算すると55年となる。

(4) 今後の対応予定

- ・今後、シュラウドサポート当該部に対して補修等の措置を実施しない場合は、亀裂の解釈^{*4}に定められた点検頻度を適切に点検計画に反映して点検を実施するとともに、点検の結果、**当初の健全性評価における予測を超えるような亀裂等の進展が見られた場合には、構造強度に影響を与える再評価を実施**する。
- ・これまでの検査によるひび割れの確認結果と亀裂進展評価により、運転開始後約30年の時点から約44年後^{*5}までシュラウドサポートの健全性が確保できる見込みが得られている。このことから、亀裂の解釈^{*4}の点検に関する規定^{*6}に基づき、**具体的な点検頻度は定期事業者検査2回毎に1回の頻度でシュラウドサポートの検査を実施する方針で進めていく。**

^{*4} 実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈

^{*5} 44年はプラント連続運転を仮定した評価。日数は設備利用率80%で換算すると55年となる。

^{*6} 「健全性評価の結果、将来は進展が止まると予測された亀裂等については、至近の定期検査において点検した後は、隔回毎の定期検査に移行して差し支えない」

○崩壊荷重について

構造物に作用する荷重が徐々に増大すると、構造物内に発生する応力は増加するため、最終的に構造物は荷重に耐えられず変形する。そのときの荷重を崩壊荷重という。

○2倍勾配法について

崩壊荷重を決定する手法として、規格※に2倍勾配法が規定されている。

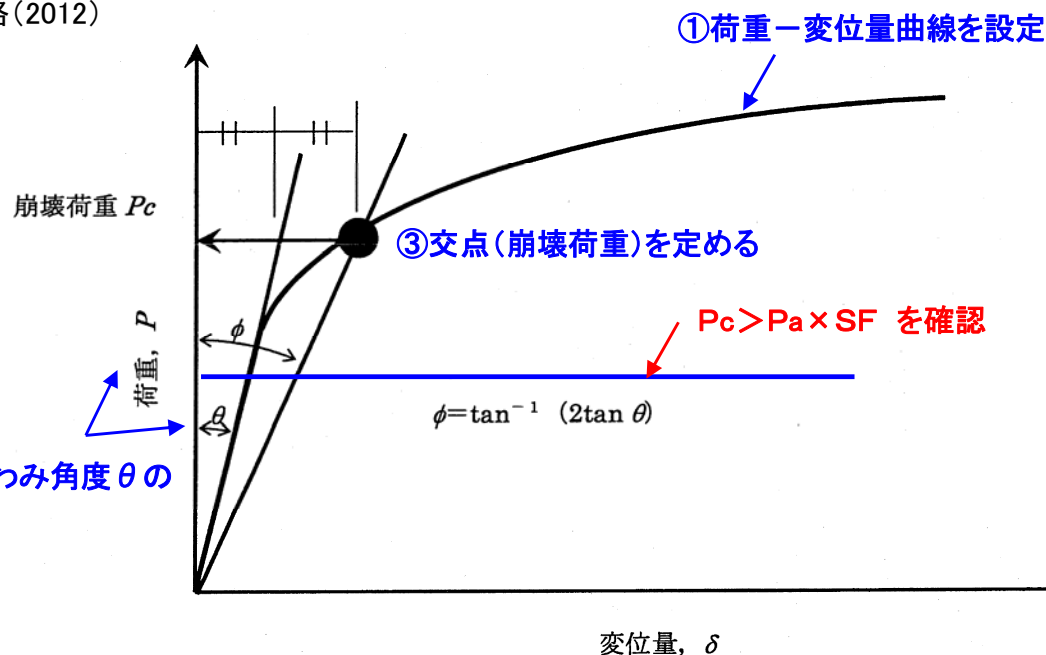
- ①当該構造物の温度での縦弾性係数、荷重－変位量曲線を設定
- ②有限要素法による弾塑性解析により荷重 P とたわみ角度 θ の関係を求める
- ③荷重－変位量曲線において、弾性範囲の荷重軸に対する2倍の勾配直線を求め、直線と曲線の交点を定める。この交点を崩壊荷重 P_c と定義する。

※：日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格(2012)

上記の崩壊荷重(P_c)に対して、安全率(SF)を考慮した許容荷重(P_a)が下回ることを確認する。

$$P_c > P_a \times SF$$

②荷重 P 、たわみ角度 θ の関係を求める



2倍勾配法による崩壊荷重の求め方

<別紙> 解析に用いた諸条件(1/2)

① 解析モデル

評価対象が炉心シュラウドとシュラウドサポートの水平溶接継手(H7溶接継手)及びシュラウドサポートシリンダ縦溶接継手(V8溶接継手)近傍であることからシュラウドサポートから炉心シュラウド下部胴までを模擬

② ひび割れ(亀裂)の付与位置

- ・V8長手方向溶接継手:全4箇所(0° , 90° , 180° , 270°)にシュラウドサポートシリンダの頂部からシュラウドサポートレグ接続部まで全長貫通亀裂(幅40 mmの短形開口)を設定
- ・ほう酸注入配管サポート溶接部:上部に水平長さ mmの周方向貫通亀裂(スリット)を設定
- ・H7周方向溶接継手:軸方向貫通亀裂(スリット)を 1° 間隔で設定するとともに, 溶接熱影響部の全周に周方向亀裂(内表面に深さ6 mm, 幅2 mm)を設定。なお, 耐震安全性評価上, 周方向溶接継手に周方向の亀裂を想定することが厳しい扱いとなるが, 軸方向の亀裂は周方向溶接継手の健全性に与える影響が軽微なため評価結果への寄与が小さい。

③ 物性値

解析に用いた物性値を表1に示す。

表1 解析に用いた物性値

材質	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	S_m (MPa)	弾完全塑性体の 降伏点(MPa)	縦弾性係数 E (MPa)	加工硬化係数 (MPa)
SUS304L (シュラウド下部胴)	302	96.8	$S_1^*: 1.5S_m = 145$		(注2)
			$S_2: 2.3S_m = 222$ (注1) $0.7S_u = 253$		
NCF600-P (シュラウドサポート)	302	164	$S_1^*: 1.5S_m = 246$		(注2)

(注1): $2.3S_m$ と $0.7S_u$ のいずれか小さい方を用いる。

(注2): 加工硬化係数は, 応力-塑性ひずみ曲線の傾きとして定義される係数である。弾完全塑性体を用いる極限解析において, 解析応力が降伏応力を超えると, 荷重とひずみのバランスが不安定となり解析の収束が難しくなるため, 極めて小さな加工硬化係数($=E/1000$)を与えることにより, 降伏後の解析の収束性を上げている。

＜別紙＞ 解析に用いた諸条件(2/2)

④ 荷重条件

供用状態A,Bの荷重(死荷重及び差圧)を負荷後、地震荷重を比例負荷し、設計上の地震に対する負荷荷重の比率(荷重倍率)と変位の関係を求め、2倍勾配法により崩壊時の荷重倍率を求めている。

水平荷重の負荷方向は、90° ピッチで同じひびがある場合、180° 付近のほう酸注入配管サポート溶接部の上部に mmの周方向貫通亀裂(が中心)を加えているため、荷重負荷方向を から の方向とした場合が、周方向のひび割れをもっとも開口し易い地震荷重負荷方向となることから、構造健全性評価における地震荷重負荷は から の方向に設定している。

第24回定期検査時の構造健全性評価に用いた荷重条件($S_s(24)$)を表2に、耐震安全性評価に用いた荷重条件($S_s(新)$)を表3に示す。

表2 第24回定期検査時の構造健全性評価に用いた荷重条件($S_s(24)$)

荷重	種類	鉛直力V (kN)	水平力H (kN)	モーメントM (kN・m)	圧力P (MPa)
供用状態A,Bの荷重	死荷重		—	—	—
	差圧	—	—	—	
地震時の荷重	地震荷重 S_s				—

表3 耐震安全性評価に用いた荷重条件($S_s(新)$)

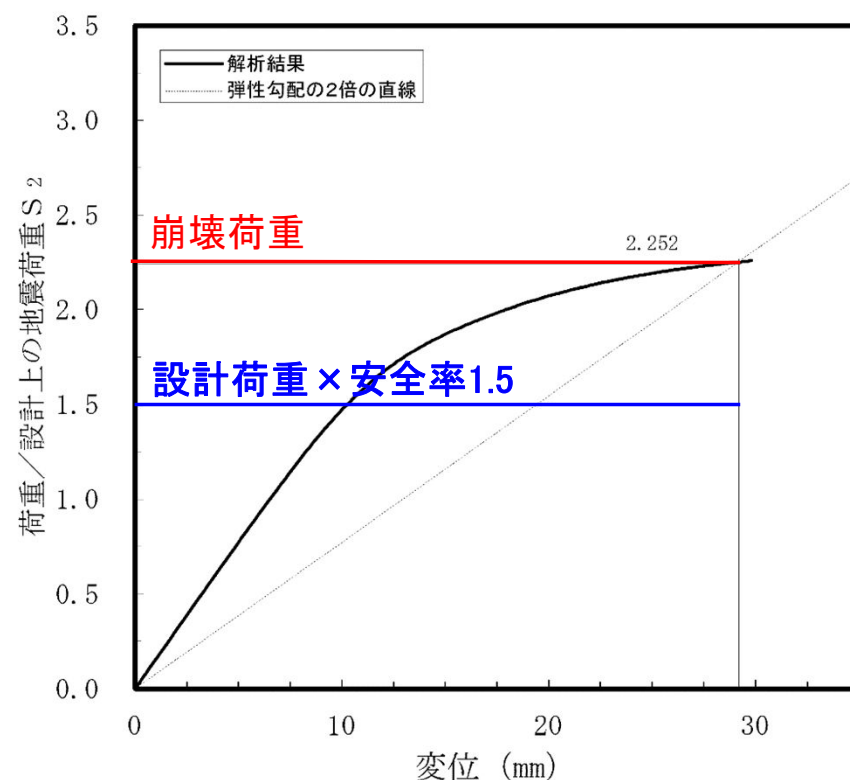
荷重	種類	鉛直力V (kN)	水平力H (kN)	モーメントM (kN・m)	圧力P (MPa)
供用状態A,Bの荷重	死荷重		—	—	—
	差圧	—	—	—	
地震時の荷重	基準地震動 S_s				—

*1: S_s -21による算出結果

*2: S_s -22による算出結果

論点No.177,185,186-16

○第24回定検の構造安全性評価における地震荷重 S_s ($S_s(24)$)での荷重条件とともに、当時の設計用地震動である地震荷重 $S2$ ($S2(24)$)での評価も実施し、健全性に問題のないことを確認している。



S2(24)での極限解析結果

第24回定検の構造健全性評価で用いた荷重条件

荷重	種類	鉛直力V (kN)	水平力H (kN)	モーメントM (kN・m)	圧力P (MPa)
供用状態A,Bの荷重	死荷重		—	—	—
	差圧	—	—	—	
地震時の荷重	地震荷重 S_2				—

【論点No.177】

シュラウドサポート溶接部のひび割れ及び運転開始後60年時点における経年劣化状況を踏まえた耐震評価及びその保守性について

【委員からの指摘事項等】

No.165

東海第二発電所では、シュラウドサポート溶接部にひび割れが見つかり、その耐震評価も実施したと思うが、その結果についても説明すること。

P.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

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.256

・被災する前より指てきされていた老朽化・シュラウドなど。

P.2-13

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.464

新基準の適合と設置許可の関係は非常に長い説明だったんですけれども、老朽したこの東海第二原発の運転延長問題のところが非常に短い説明でよくわからないんですね。

質問したいのは、72ページの炉心シュラウドのところについて書いてあるんですけれども、一番上では、一定の値を超えた場合、応力腐食割れが発生する可能性がある。いろいろな検討がされて、結果ということで、運転開始後60年時点を考慮しても不安定破壊に至ることはないからという説明になっています。

P.2-13

今まで、東海第二原発で応力腐食割れの事故というのは起きていないんですか。そういうふうに取り出れるんですけれども、どのような審査を行ったのか、お聞きしたいです。

P.2-13

全然わからないんですけれども、要するに、ひび割れも含めて今まであったわけですね。その部分の対策というのは全然とられていないという、そのままになっているわけでしょう。2005年の定期検査の中では3カ所のひび割れがあったし、それについても結構深さは深刻な、一番深いところというところだと42ミリとか、63ミリとか、そういうところの亀裂の問題が保修されずにそのままになっているんじゃないんですか。最近でいっても、40カ所のひび割れが起きているということもわかっているわけですね。原電からもその報告は出ているわけですよ。それについてどのような対策を講じているんですか。40年超えの老朽原発を動かすなんてとんでもない話ですからね。もう1回、教えてくださいよ。

No.800

P.2-13

P.2-13

2つ目は、炉心を囲む隔壁のサポート部に腐食割れが進行しており、将来の地震で崩れて炉にぶつかる危険がある。腐食したサポート部を新しくすることが急がれる。8年前の大地震によってひびが入ったりずれたりしてこわれている箇所を探し出し、新しくしなければならない。一体どれだけの箇所があるか、県は把握しているのか。会社に公表を迫るべきだ。

論点No.204, 205参照

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.835

(5) 炉内構造物の予期しない破損の可能性(施設設備の老朽化)

BWR原子炉では、日本原電敦賀発電所の1号炉及び東電福島第一発電所の1号炉から3号炉及び5号炉において、炉心を支持している大型構造物(シュラウド)にひび割れが発生し、新しいものに交換する大掛かりな工事を既に実施している。

こうしたさまざまな炉内構造物は、中性子照射による脆化や応力腐食割れ、スエリング、疲労割れ等の様々な事象が発生することが分かっており、原子炉の運転を継続した場合、どのような時点で、どのような異常が発生するか知りたい。また、予測に反して早い時点で、突然異常が発生するおそれはないか心配である。

No.1038

・老朽化について

論点No.175参照

「特別点検、劣化状況評価及び保守管理方針」
劣化状況評価参照

そもそも40年を超える原発は稼働しない事が前提であった。脆化試験片もそれを前提に使い切ったと思われる。圧力容器の中性子線による劣化が心配される。また、圧力容器の中の燃料棒を支える部分にひび割れがあることがわかっており、このひび割れが進展すれば、燃料棒のコントロール不能に陥るであろう。

P.2-13

【論点No.185】

シュラウドサポートのひび割れを踏まえたこれまでの対応及び今後の管理方針について

【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.174

シュラウドサポートの耐震評価に関し、シュラウドサポートは今後は補修せずに、継続的に点検して、崩壊荷重を見て使うということか。

No.175

応力腐食割れについて、シュラウドの中間胴ではピーニングによる応力改善を実施したとのことだが、インコネルの溶金部に対しては残留応力改善を実施する予定はあるか。

No.176

シュラウドには評価上周方向の亀裂を仮定しているとのことだが、直近の点検において周方向には亀裂が進んでいないことを確認しているのか。

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.256

・被災する前より指てきされていた老朽化・シュラウドなど。

* 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

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.464

新基準の適合と設置許可の関係は非常に長い説明だったんですけれども、老朽したこの東海第二原発の運転延長問題のところが非常に短い説明でよくわからないんですね。

質問したいのは、72ページの炉心シュラウドのところについて書いてあるんですけれども、一番上では、一定の値を超えた場合、応力腐食割れが発生する可能性がある。いろいろな検討がされて、結果ということで、運転開始後60年時点を考慮しても不安定破壊に至ることはないからという説明になっています。

P.2-13

今まで、東海第二原発で応力腐食割れの事故というのは起きていないんですか。そういうふうに取り出れるんですけれども、どのような審査を行ったのか、お聞きしたいです。

P.2-13

全然わからないんですけれども、要するに、ひび割れも含めて今まであったわけですね。その部分の対策というのは全然とられていないという、そのままになっているわけでしょう。2005年の定期検査の中では3カ所のひび割れがあったし、それについても結構深さは深刻な、一番深いところだと42ミリとか、63ミリとか、そういうところの亀裂の問題が保修されずにそのままになっているんじゃないんですか。最近でいっても、40カ所のひび割れが起きているということもわかっているわけですね。原電からもその報告は出ているわけですよ。それについてどのような対策を講じているんですか。40年超えの老朽原発を動かすなんてとんでもない話ですからね。もう1回、教えてくださいよ。

No.800

P.2-13

P.2-13

2つ目は、炉心を囲む隔壁のサポート部に腐食割れが進行しており、将来の地震で崩れて炉にぶつかる危険がある。腐食したサポート部を新しくすることが急がれる。8年前の大地震によってひびが入ったりずれたりしてこわれている箇所を探し出し、新しくしなければならない。一体どれだけの箇所があるか、県は把握しているのか。会社に公表を迫るべきだ。

論点No.204, 205参照

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.835

(5) 炉内構造物の予期しない破損の可能性(施設設備の老朽化)

BWR原子炉では、日本原電敦賀発電所の1号炉及び東電福島第一発電所の1号炉から3号炉及び5号炉において、炉心を支持している大型構造物(シュラウド)にひび割れが発生し、新しいものに交換する大掛かりな工事を既に実施している。

こうしたさまざまな炉内構造物は、中性子照射による脆化や応力腐食割れ、スエリング、疲労割れ等の様々な事象が発生することが分かっており、原子炉の運転を継続した場合、どのような時点で、どのような異常が発生するか知りたい。また、予測に反して早い時点で、突然異常が発生するおそれはないか心配である。

No.1038

・老朽化について 論点No.175参照

「特別点検、劣化状況評価及び保守管理方針」
劣化状況評価参照

そもそも40年を超える原発は稼働しない事が前提であった。脆化試験片もそれを前提に使い切ったと思われる。圧力容器の中性子線による劣化が心配される。また、圧力容器の中の燃料棒を支える部分にひび割れがあることがわかっており、このひび割れが進展すれば、燃料棒のコントロール不能に陥るであろう。

P.2-13

【論点No.186】

新規制基準に基づく基準地震動 S_s 策定に伴うシュラウドサポートの耐震安全性評価上の裕度の変化について

【委員からの指摘事項等】

No.177

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

新規制基準の S_s の策定に伴う崩壊荷重の変化等について、どのくらい裕度が変わったか。

* 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

①排気筒等の基礎ボルトの減肉を仮定した耐震安全性評価を行う構造物，系統及び機器に関する動的な評価について

【説明概要】

主排気筒等の機器付基礎ボルトの減肉に係る耐震安全性評価は，動的解析を含めて工事計画認可申請と同様の解析手法を用いており，基礎ボルトの減肉の影響は，基礎ボルトの応力計算において考慮している。

②排気筒等の経年劣化を考慮した耐震安全性評価における評価条件の裕度について

【説明概要】

排気筒基礎ボルトについて，地震時の発生応力がボルトの許容応力を上回るボルト呼び径を算出し，腐食量に対して10倍以上の裕度があることを確認した。

○高経年化を考慮した基礎ボルトの耐震安全性評価：評価対象

- ・「機器付基礎ボルト」は、設置される機器の床面（コンクリート）に埋設して設置されることから、機器が一旦設置されると、定期的に交換することは困難である。一方、配管やケーブルトレイを固定する際に使用される「後打ちアンカ」は機器付基礎ボルトに比して交換は容易である。
- ・このため、機器付基礎ボルトについては、60年時点を想定した腐食による耐震安全性評価が必要となる。以下に、機器付基礎ボルトの評価対象を整理している。

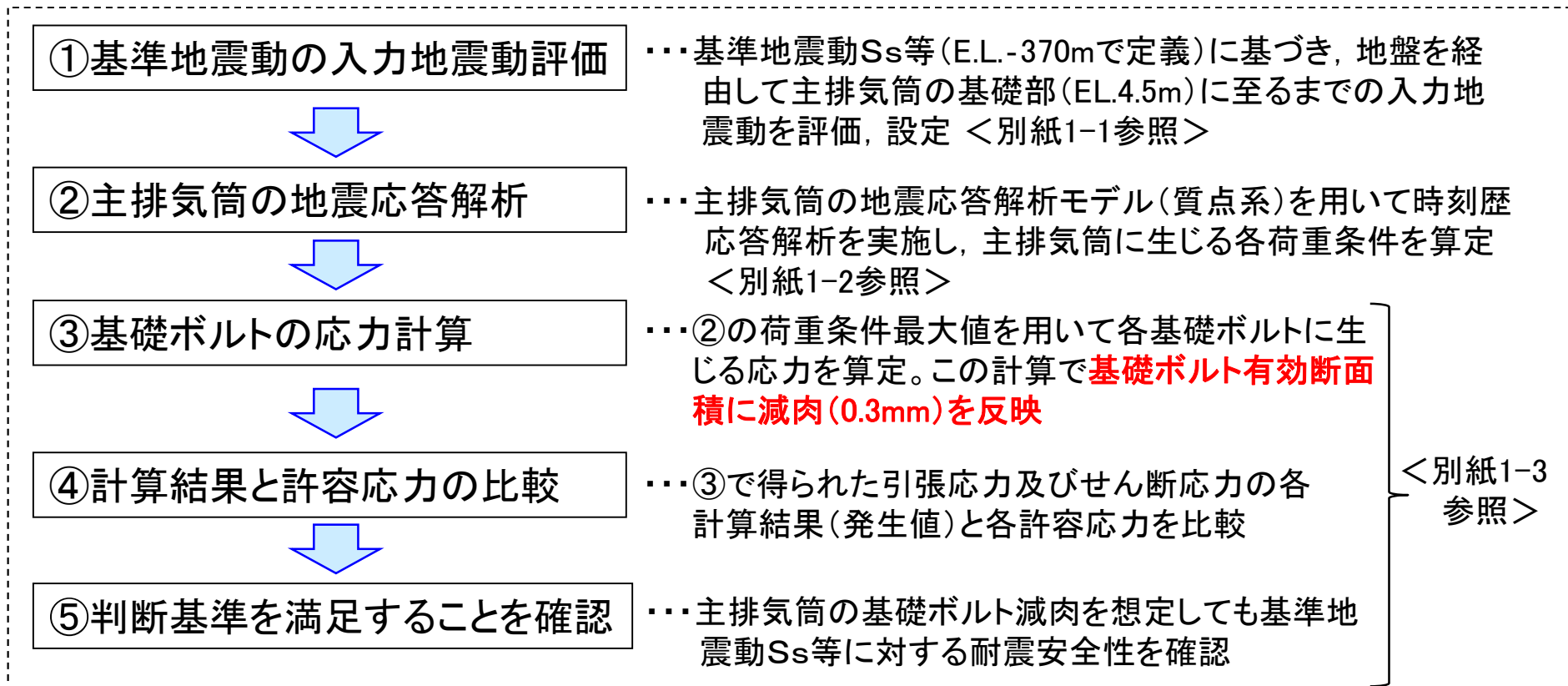
機器種別	機器付基礎ボルトの評価対象例
ポンプ	高圧炉心スプレイ系ポンプ、残留熱除去系ポンプ 他
熱交換器	残留熱除去系熱交換器、給水加熱器 他
ポンプモータ	残留熱除去系ポンプ 他
容器	ほう酸水注入系貯蔵タンク、原子炉冷却材浄化系フィルタ脱塩器 他
タービン設備	主タービン、原子炉隔離時冷却系タービン 他
計測制御設備	地震加速度計測装置
空調設備	非常用ガス再循環系排風機、中央制御室換気系フィルタユニット 他
機械設備	非常用ディーゼル機関、 <u>主排気筒</u> 、使用済燃料乾式貯蔵容器 他
電源設備	非常用ディーゼル発電機、原子炉保護系MGセット

上記の評価対象に対して、耐震安全性評価*を実施している。次頁より、評価結果(発生応力と許容応力の比)が最も厳しい主排気筒を代表として説明する。

* 対象設備に応じて耐震補強工事も前提としている。

○高経年化に伴う基礎ボルト等の減肉を考慮した耐震評価の流れ

- ・高経年化に伴う施設・設備の支持構造部位の減肉量はわずかであり(基礎ボルトの場合で0.3mm), 地震に対する応答(固有振動数等)に影響するようなものではないため, 一般に, **地震応答解析までは工事計画認可申請書と同様に減肉を考慮しない評価**を行っている。
- ・これに続く耐震評価の計算は, 設計時のものと同様に静的な評価式に基づき, **基礎ボルト等の支持構造部位の応力計算において, 腐食による減肉影響を有効断面積の減少等で反映**している。
- ・例として, 主排気筒の基礎ボルトの減肉を考慮した耐震評価の流れを以下に示す。



(2) 排気筒基礎ボルトの耐震評価に係る裕度の確認 (1/2)

- 従来実施している標準的な耐震評価手法としては、評価部材の許容応力と地震により評価部材に作用する発生応力を比較し、発生応力が許容応力を下回ることを確認している。
- 本評価では、主排気筒の基礎ボルトについて、発生応力が許容応力を上回る際のボルトの呼び径を算出し、想定している腐食量(0.3mm)と比較して裕度のあることを確認するものである。

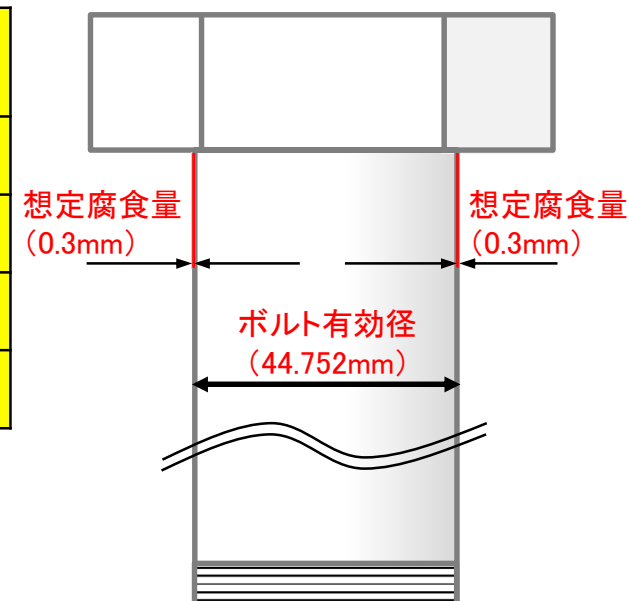
(1) 劣化状況評価時の評価結果

排気筒基礎ボルト(筒身脚部, 鉄塔脚部, 補助鉄塔脚部)の耐震評価結果を表-1に示す

表-1 排気筒基礎ボルト(筒身脚部, 鉄塔脚部, 補助鉄塔脚部)の耐震評価結果

評価部位	応力種別	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
筒身脚部基礎ボルト	引張	257	324	0.80
	せん断	12	187	0.07
鉄塔脚部基礎ボルト	引張	92	236	0.39
補助鉄塔脚部基礎ボルト	引張	164	490	0.34

計算を実施するにあたり、JIS規格に規定される使用ボルト(M48)に基づき、ボルト径は有効径(44.752mm)としている。



排気筒基礎ボルト(M48)
イメージ

(2) 排気筒基礎ボルトの耐震評価に係る裕度の確認 (2/2)



(2) 排気筒の基礎ボルトにおける発生応力が許容応力を上回る際のボルト径の算出

表-1のうち、応力比の大きい排気筒基礎ボルト(筒身脚部)の引張荷重が作用した際に、**許容応力を上回るボルト径を算出**する。

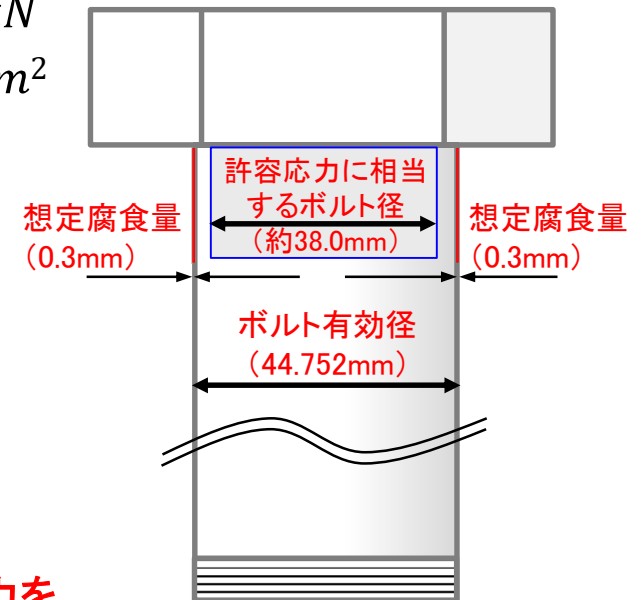
算出にあたっては、劣化状況評価における発生応力の算出に使用した算出式に許容応力 $\sigma_t = 324\text{MPa}$ としてボルト径 d_2 を算出する。

$$\sigma_t = \frac{T}{A_s} \quad 324 = \frac{367.9}{A_s} \quad \begin{array}{l} \sigma_t: \text{引張応力} = 324\text{MPa} \\ T: \text{ボルト引抜力} = 367.9\text{ kN} \\ A_s: \text{有効断面積} = 1135\text{mm}^2 \end{array}$$

$$A_s = \frac{367.9 \times 10^3}{324} = 1.135493 \cdots \times 10^3 = 1135\text{mm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} d_2^2 \quad 1135 = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \times 1135}{\pi}} = 38.014 \cdots$$



排気筒基礎ボルト(M48)
許容応力限界イメージ

計算結果より、**ボルト径が約38.0mmを下回ると、発生応力が許容応力を上回り、ボルトが折損する可能性があるが、ボルトの有効径(44.752mm)と想定腐食量(0.3mm)の関係から、腐食量には10倍以上の裕度があることを確認した。**

主排気筒の耐震クラスはCクラスに分類されるが、耐震Sクラスである非常用ガス処理系排気筒を支持していることから、主排気筒の筒身、鉄塔及び基礎部は設計基準対処施設において、「Sクラスの施設の間接支持構造物」に分類され、設置変更許可の基準地震動により定まる地震力での機能維持が求められる。

そのため、高経年化技術評価を行うにあたり、各機器の耐震重要度に応じて以下のとおり選定している。

耐震重要度	評価用地震力
Sクラス	基準地震動 S_s により定まる地震力（以下、 S_s 地震力という）
	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力とSクラスの機器に適用される静的地震力のいずれか大きい方（以下、「弾性設計用地震力」という）
Bクラス	Bクラスの機器に適用される静的地震力
Cクラス	Cクラスの機器に適用される静的地震力

耐震Bクラスについては、支持構造物の振動と共振のおそれのあるもの（柔の設備であるもの）については、静的地震力の他に弾性設計用地震動 S_d による地震力の1/2についても考慮している。

主排気筒の各基礎ボルトについて、評価結果を示す。

【評価結果】

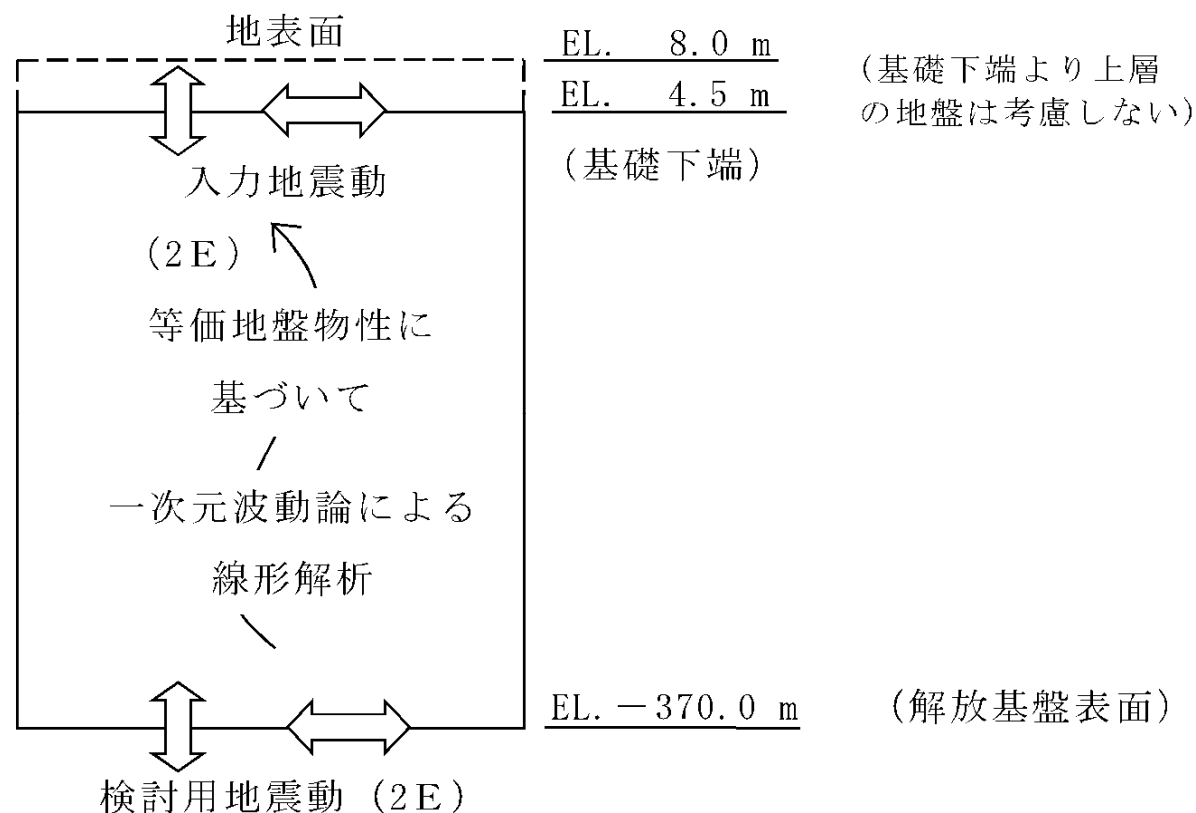
引張、せん断ともに発生応力は許容応力を下回る結果となった。

（計算過程は別紙 1－1～3 に示す。）

評価部位		発生応力(MPa)		許容応力(MPa)
①筒身脚部基礎ボルト	引張	257	<	324
	せん断	12	<	187
②鉄塔脚部基礎ボルト	引張	92	<	236
③補助鉄塔脚部基礎ボルト	引張	164	<	490

○主排気筒の上部構造物への入力地震動は、基準地震動 S_s 及び S_d (EL. -370m) をもとに、一次元波動論による等価線形解析により、地盤の各高さの物性値を用いて、主排気筒の基礎下端 (EL. 4.5m) への露頭波として求め、**上部構造物への入力地震動として設定**する。

○この解析では、**主排気筒の構造等は考慮していない。**



主排気筒上部構造物への入力地震動の評価の概要

別紙 1 - 2 : 主排気筒の地震応答解析



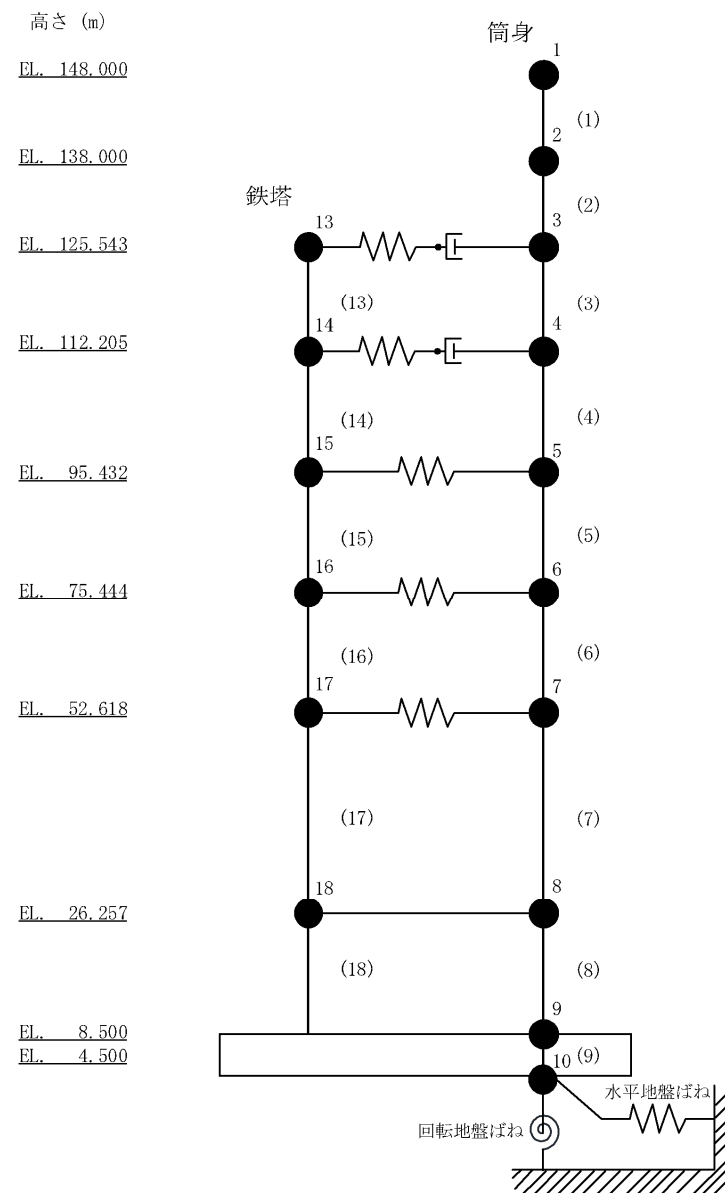
○主排気筒の地震応答解析は、主排気筒の筒身及び鉄塔を軸変形（曲げ変形とせん断変形）をする質点系としてモデル化する。*

○主排気筒の時刻歴応答解析による動的解析として、解析モデルに入力地震動の時々刻々の加速度を与えて地震期間中の主排気筒の応答を計算し、主排気筒各部位に加わる最大の引き抜き力、曲げモーメント、水平力等を評価する。

○本解析では主排気筒の基礎部を含めてモデル化しているが、基礎ボルトのベースプレートとの隙間部の減肉を想定しても、固定状態及び固有振動数に影響を与えることはなく、基礎ボルトの減肉は解析上考慮していない。（別紙3参照）

* 解析モデルは、主排気筒の構造について、主排気筒の各高さに応じて、質点重量、せん断断面積、断面二次モーメント等をモデル化して評価を行う。

- ・ 入力地震動の入力部には、杭-地盤系との相互作用を表す地盤ばねを基礎下端位置に配置する。
- ・ 筒身及び鉄塔については、それぞれを連結するオイルダンパに減衰係数、弾塑性ダンパに弾塑性係数を考慮している。



主排気筒の地震応答解析モデル（水平方向）

論点No.180,181-9

筒身補強脚部基礎ボルトの評価手法及び評価結果は、以下のとおり。

1. 荷重条件

工事計画の「主排気筒の耐震性についての計算書」における機能維持検討時に発生する部材力の各成分の最大値を適用する。

引抜き力	$N_t = 17000 \text{ kN}$ 荷重ケース: S_S 波設計用荷重
曲げモーメント	$M = 5812 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 荷重ケース: S_S 波設計用荷重
水平力	$H = 1089 \text{ kN}$ 荷重ケース: S_S 波設計用荷重

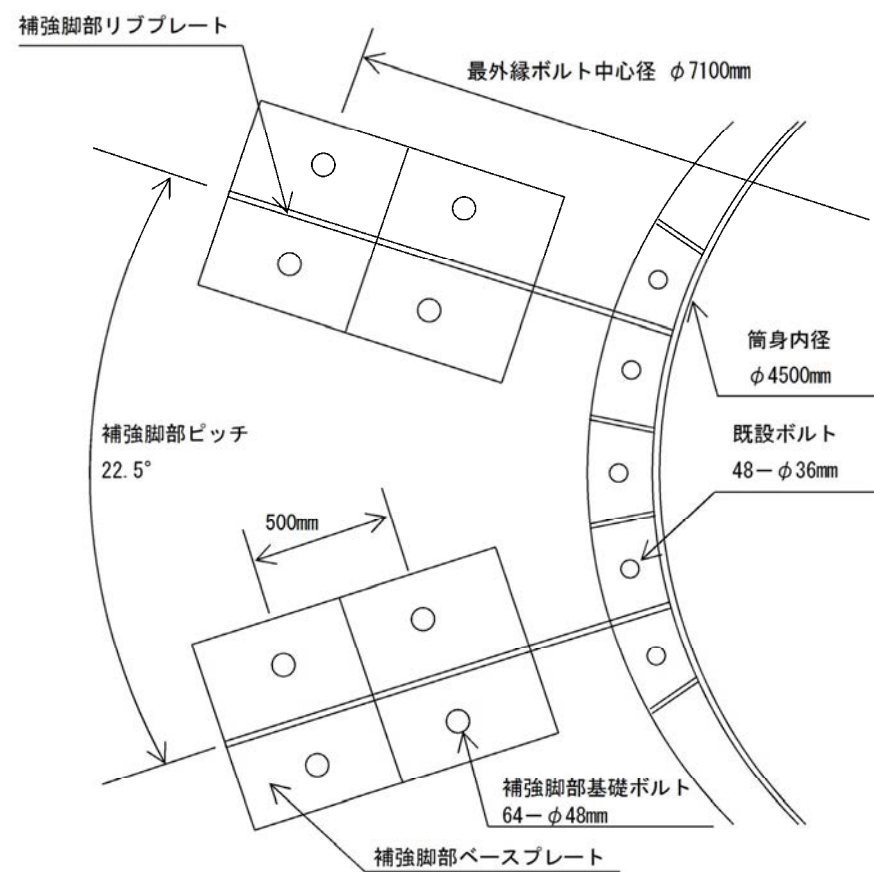
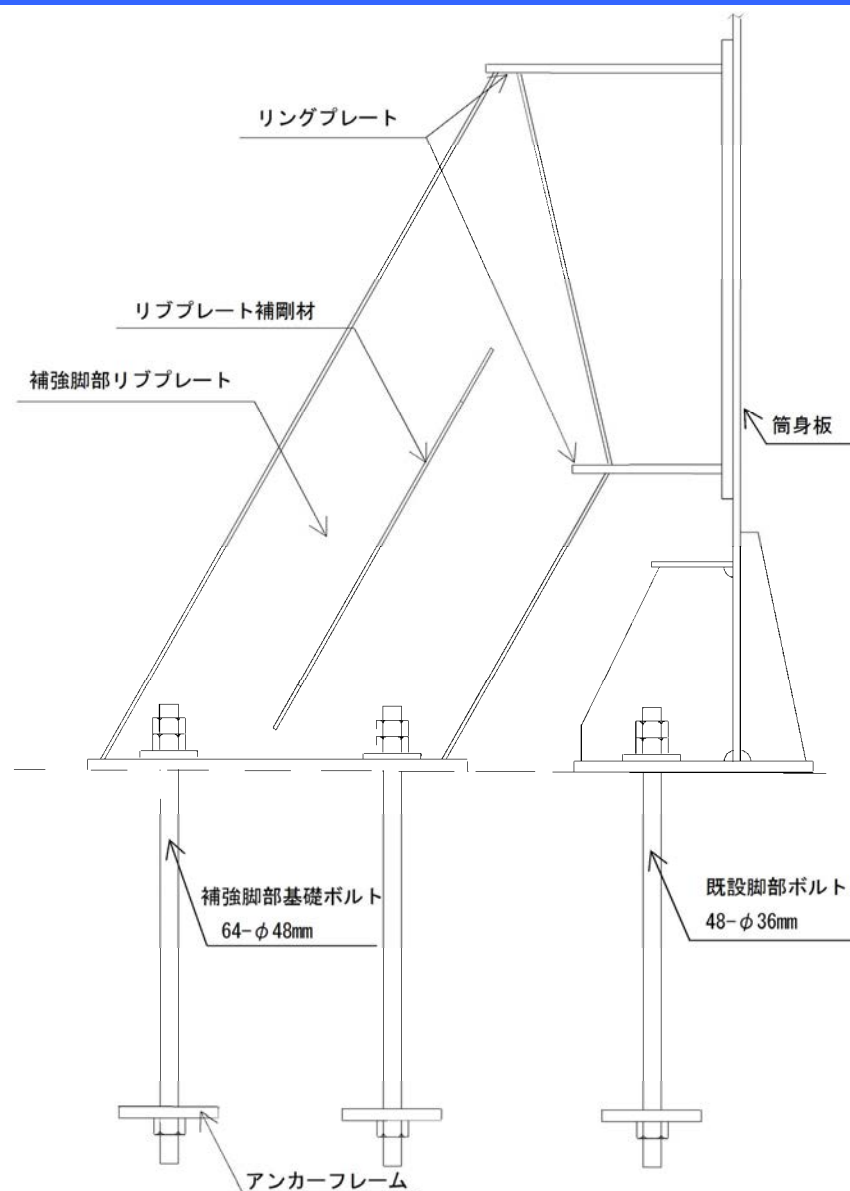
2. 算出過程

- a. 筒身補強脚部基礎ボルトの水平力に対する検討
・ボルト1本に作用するせん断力

ボルト本数 $n = 64$ 本

ボルトせん断力

$$Q = \frac{H}{n} = \frac{1089}{64} = 17.01562 \dots \rightarrow 17.0 \text{ kN}$$



筒身補強脚部概略図

論点No.180,181-11

・基礎ボルトの諸元

サイズ:M48, 材質:490材相当

有効断面積 $A_s = 1433 \text{ mm}^2$

(JIS B 1082:2009 ねじの有効断面積及び座面の負荷面積, JIS B 0205-4:2001 一般用メートルねじ第4部:基準寸法より)

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{(44.752 - 0.6) + 41.26531}{2} \right)^2 \\
 &= 1432.59262 \dots \rightarrow 1433 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_3 &= d_1 - \frac{H}{6} = (42.587 - 0.6※) - \frac{0.866025 \times 5}{6} \\
 &= 41.26531 \dots \text{ mm}
 \end{aligned}$$

※想定腐食量 $0.3\text{mm} \times 2 = 0.6\text{mm}$ (直径)

設計基準強度

$$F = 324.5 \text{ N/mm}^2$$

(基準強度 $\times 1.1$ 倍 (建設省告示第2464号第3より))

許容せん断応力 (機能維持)

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{324.5}{\sqrt{3}} \\
 &= 187.35016 \dots \rightarrow 187 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})
 \end{aligned}$$

論点No.180,181-12

・ボルトに作用するせん断応力度

$$\tau = \frac{Q}{A_s} = \frac{17.0 \times 10^3}{1433}$$

$$= 11.86322 \dots \rightarrow 12 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})$$

b. 筒身補強脚部基礎ボルトの引張力に対する検討

・ボルト1本に作用する引抜力

補強脚部は十分剛とし、ボルトは鉛直力を等負担させるものとする。

ボルト本数

$$n = 64 \text{ 本}$$

$$T_v = \frac{N_t}{n} = \frac{17000}{64} = 265.625 \rightarrow 265.6 \text{ kN}$$

曲げモーメントによる引抜は、外側ボルト群からなる有効断面より算出する。

有効断面係数

$$Z = 8.141 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$T_b = \frac{(M \cdot A_s)}{Z} = \frac{5812 \times 1433}{8.141 \times 10^7} \times 10^3 = 102.30433 \dots \rightarrow 102.3 \text{ kN}$$

ボルト引抜力

$$T = T_v + T_b = 265.6 + 102.3 = 367.9 \text{ kN}$$

・基礎ボルトの諸元

サイズ	M48
ボルト本数	$n = 64$ 本
材質	490材相当
有効断面積	$A_1 = 1433 \text{ mm}^2$
設計基準強度	$f_t = F = 324.5 \text{ N/mm}^2$
(基準強度×1.1倍(建設省告示第2464号第3より))	

許容引張応力度(機能維持)

$$\begin{aligned}
 f_{ts} &= \min[f_t, 1.4f_t - 1.6\tau] \\
 &= \min[324.5, 1.4 \times 324.5 - 1.6 \times 12] \\
 &= 324.5 \rightarrow 324 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})
 \end{aligned}$$

・ボルトに発生する引張応力度

$$\begin{aligned}
 \sigma_t &= \frac{T}{A_s} = \frac{367.9 \times 10^3}{1433} \\
 &= 256.73412 \dots \rightarrow 257 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})
 \end{aligned}$$

1. 荷重条件

工事計画認可の「主排気筒の耐震性についての計算書」より、電算アウトプットの支点反力を座標変換して、鉄塔脚部垂直反力の向きと主柱脚部の軸方向とを一致させ、座標変換後の垂直反力と水平反力の最大値により脚部の検討を行う。なお、水平力は刃型プレートで受けるため、引抜に対してのみ評価する。

最大引張力 ${}_TN_T = 4807 \text{ kN}$ S_S 波設計用荷重 斜め方向

2. 算出過程

a. 鉄塔脚部基礎ボルトの引張力に対する検討

・基礎ボルト諸元

サイズ M64

ボルト本数 $n = 20$ 本

材質 SS400

有効断面積 $A_1 = 2621 \text{ mm}^2$

(JIS B 1082:2009 ねじの有効断面積及び座面の負荷面積, JIS B 0205-4:2001 一般用メートルねじ 第4部:基準寸法より)

$$\begin{aligned}
 A_S &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{(60.103 - 0.6^{※}) + 56.03897}{2} \right)^2 \\
 &= 2621.26228 \dots \rightarrow 2621 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6} = (57.505 - 0.6※) - \frac{0.866025 \times 6}{6}$$

$$= 56.03897 \dots \text{ mm}$$

※想定腐食量 $0.3\text{mm} \times 2 = 0.6\text{mm}$ (直径)

設計基準強度 $F = 236.5 \text{ N/mm}^2$
 (基準強度 $\times 1.1$ 倍 (建設省告示第2464号第3より))

許容引張応力度 (機能維持) $f_t = F = 236.5 \rightarrow 236 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})$

・ボルトの引張に対する検討
 ボルト1本に作用する引抜力

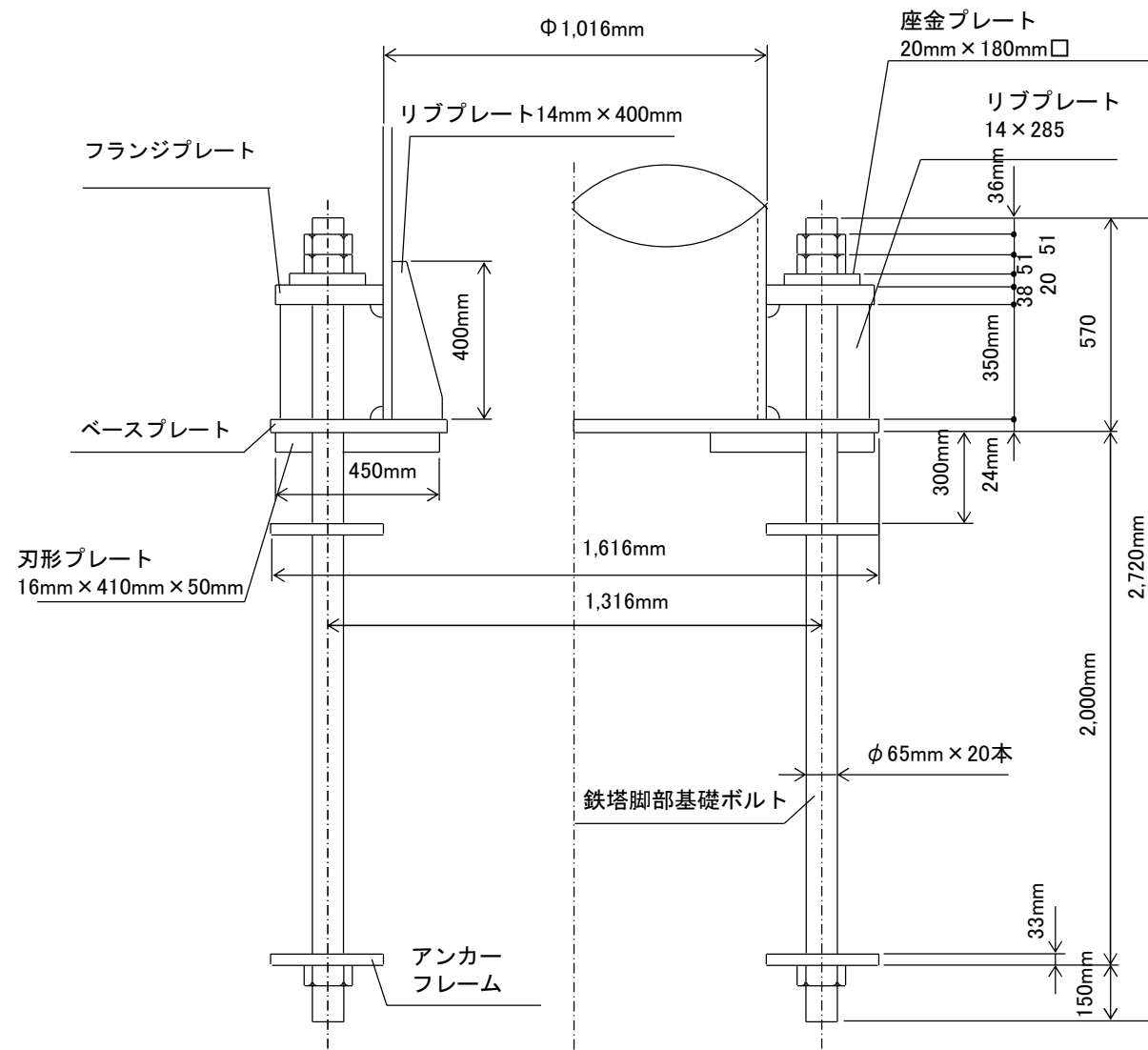
主柱引抜力 ${}_TN_T = 4807 \text{ kN}$

ボルト引抜力 $T = \frac{{}_TN_T}{n} = \frac{4807}{20} = 240.35 \rightarrow 240.4 \text{ kN}$

ボルトに作用する引張応力度

$$\sigma_t = \frac{T}{A_1} = \frac{240.4}{2621} \times 10^3$$

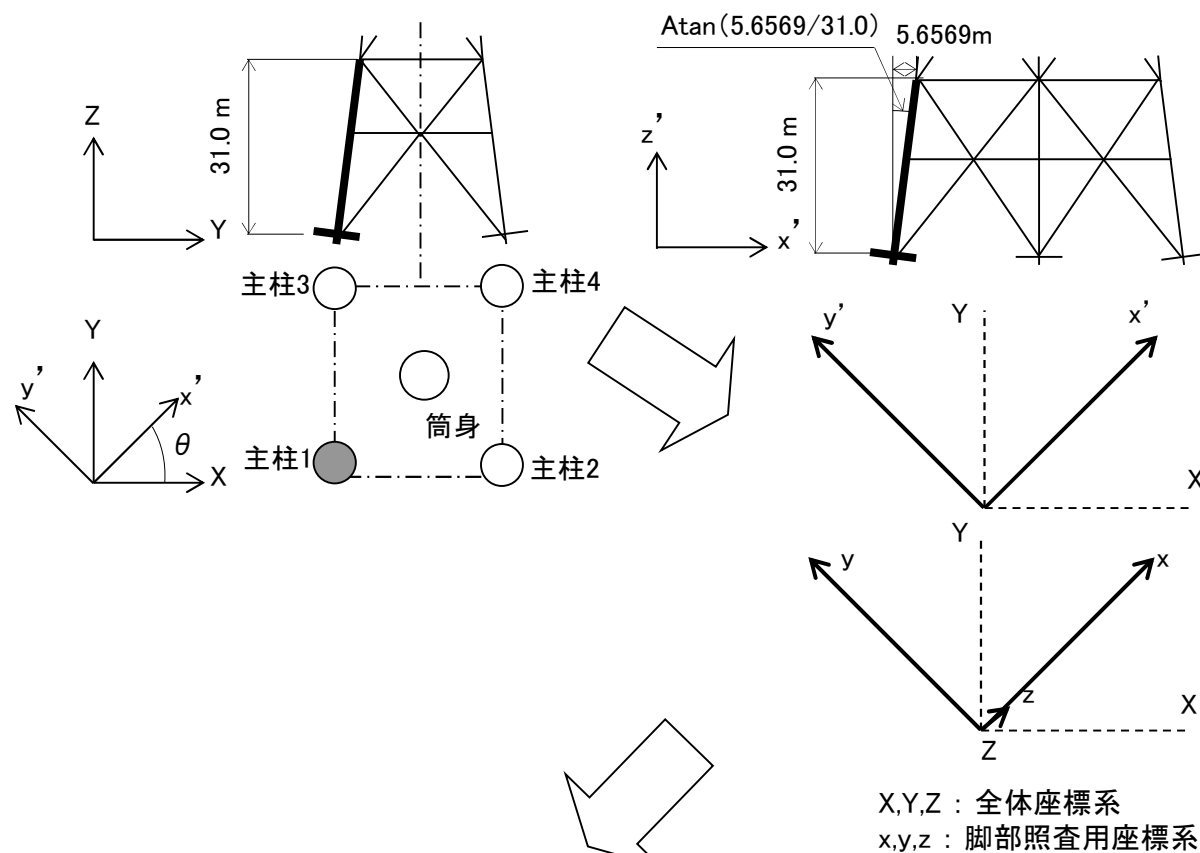
$$= 91.72071 \dots \rightarrow 92 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})$$



鉄塔脚部概略図

論点No.180,181-17

下図のように主柱脚部の軸方向と全体座標系のZ方向は一致していないため、主柱1の電算反力をZ軸周りに $\theta = 45^\circ$ ，新しいY軸(y')周りに $\phi = 10.3416^\circ$ 回転する。



回転行列

電算反力 照査用反力

$$\begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta & \cos \phi \sin \theta & -\sin \phi \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ \sin \phi \cos \theta & \sin \phi \sin \theta & \cos \phi \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{Bmatrix}$$

1. 荷重条件

工事計画認可の「主排気筒の耐震性についての計算書」における機能維持検討時に発生する部材力の各成分の最大値を用いて検討を行う。設計荷重は、以下に示す荷重により、補助鉄塔脚部の検討を行う。なお、水平力は刃型プレートで受けるため、引抜に対してのみ評価する。

最大引張力 $TN_T = 7525 \text{ kN}$ S_S 波設計用荷重 斜め方向 算出過程

2. 算出過程

a. 補助鉄塔脚部基礎ボルトの引抜きに対する検討

・基礎ボルトの諸元

サイズ	M64	
ボルト本数	$n = 20$ 本	
材質	700材相当	
有効断面積	$A_1 = 2621 \text{ mm}^2$	
設計基準強度	$F = 490.0 \text{ N/mm}^2$	
<u>許容引張応力度(機能維持)</u>	$f_t = F = 490.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$	
ボルト偏心距離	$\ell = 50 \text{ mm}$	

・ボルトの引張に対する検討
ボルト1本に作用する引抜力

$${}_TN_T = 7525 \text{ kN}$$

鉛直力

$$T_V = \frac{{}_TN_T}{n} = \frac{7525}{20} = 376.25 \rightarrow 376.3 \text{ kN}$$

ボルト孔ピッチ円中心と部材軸の偏心から生じる曲げによる引抜は、ボルト群からなる有効断面より算出する。

有効断面係数

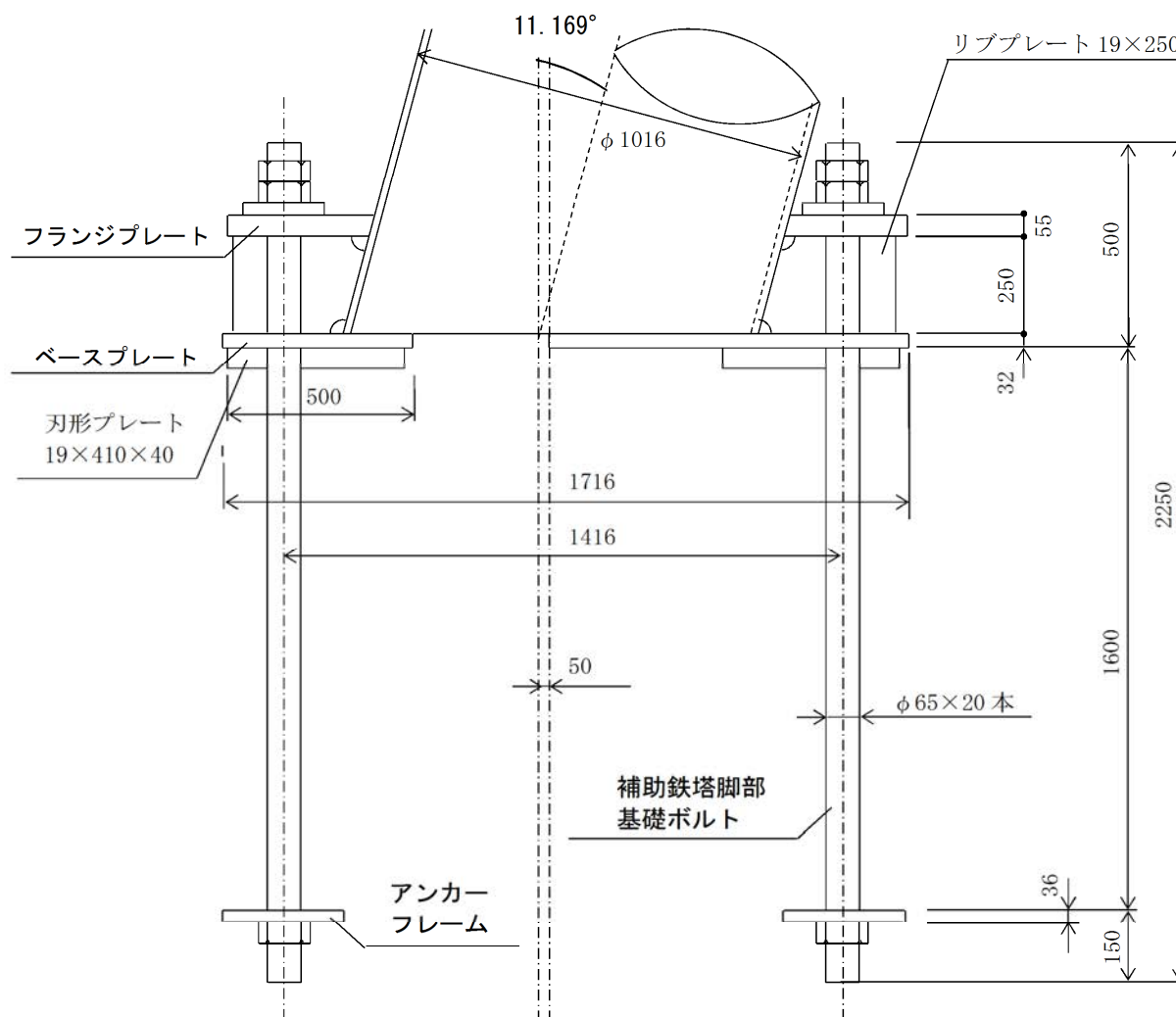
$$\begin{aligned} Z &= 1.857 \times 10^7 \text{ mm}^3 \\ T_b &= \frac{({}_TN_T \cdot \ell \cdot A_1)}{Z} \\ &= \frac{7525 \times 0.05 \times 2621}{1.857 \times 10^7} \times 10^3 \\ &= 53.10453 \dots \rightarrow 53.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

ボルト引抜力

$$T = T_V + T_b = 376.3 + 53.1 = 429.4 \text{ kN}$$

ボルトに作用する引張応力度

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{T}{A_1} = \frac{429.4}{2621} \times 10^3 \\ &= 163.83059 \dots \rightarrow 164 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa}) \end{aligned}$$



注：特記なき寸法は（mm）を示す。

補助鉄塔脚部概略図

論点No.180,181-21

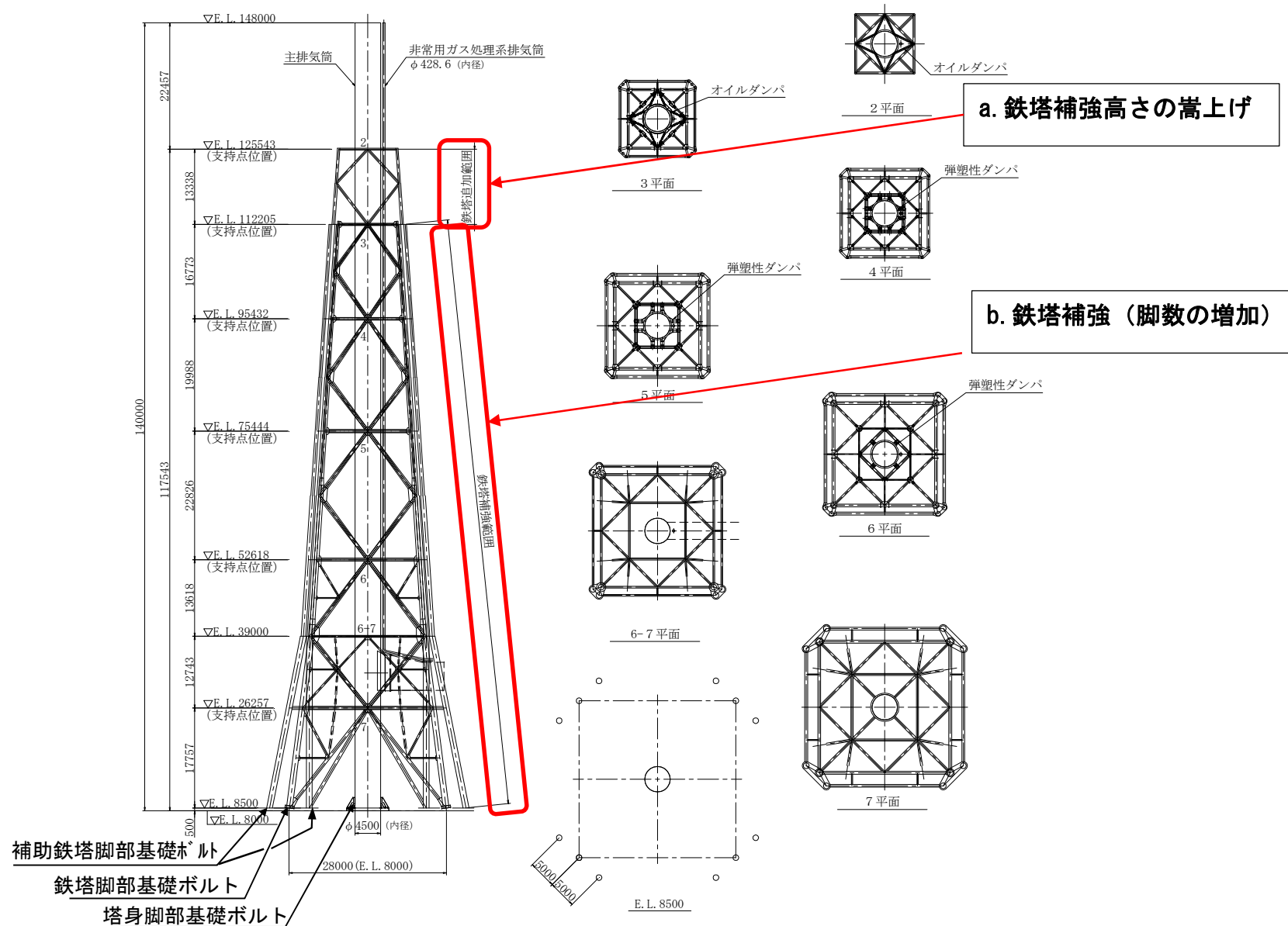
東海第二発電所の主排気筒は、中央の内径4.5m、高さ140mの筒身にかかる水平力を周囲の根開き28m、高さ104.205m(EL.112.205m)の鋼管トラスの4脚鉄塔を補強して支える構造であり、工事計画における耐震評価に伴う以下の耐震補強を予定している。

- a. 鉄塔補強高さの嵩上げ(主柱の延伸)
- b. 鉄塔補強(脚数の増加。高さ104.205m以下において8脚増加。)
- c. 基礎梁の増強, 鋼管杭の増設

別紙2： 工事計画による耐震補強概要図【鉄塔部】



工事計画による耐震補強概要図【鉄塔部】



論点No.180,181-23

c.鉄塔補強高さの嵩上げ

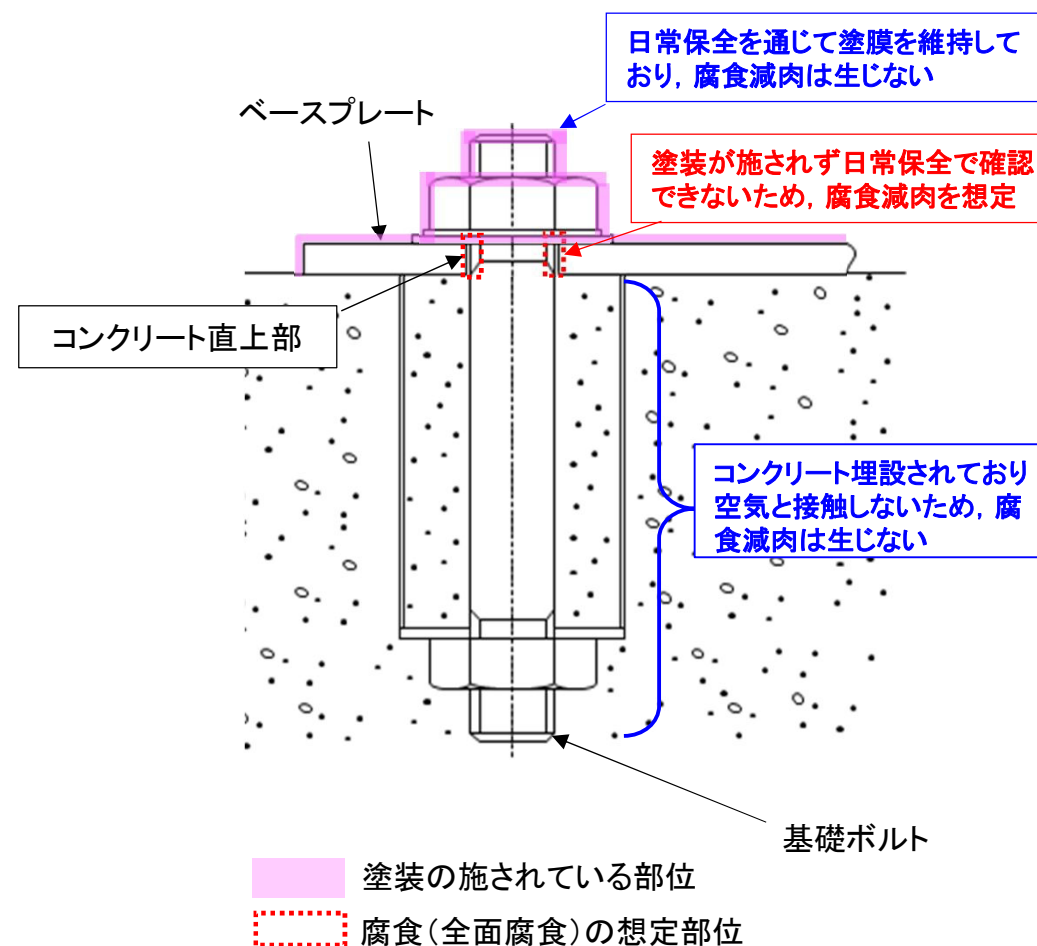
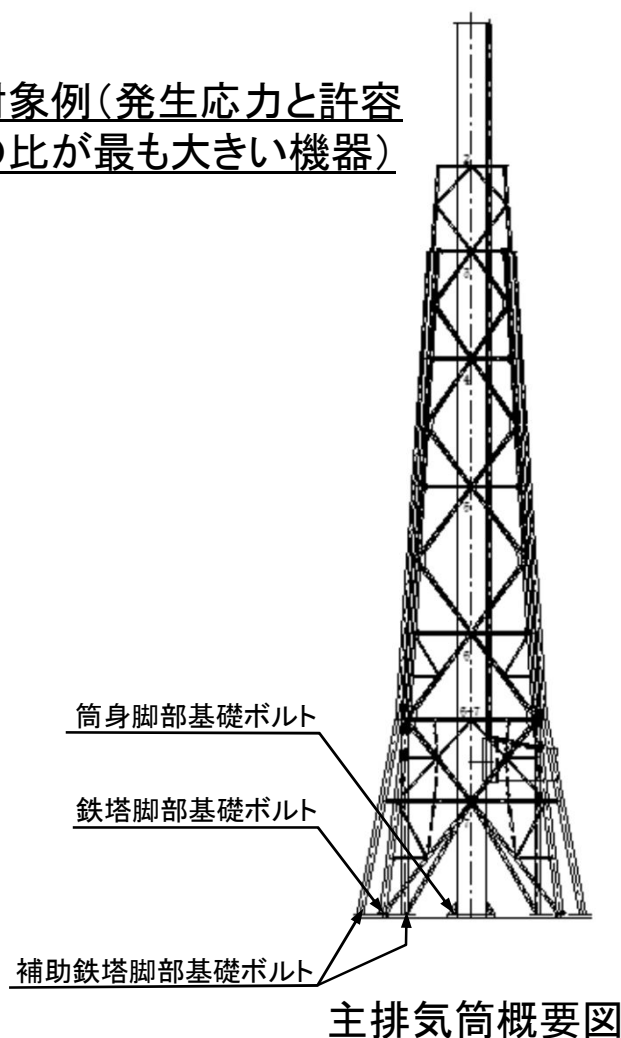


168

○目的

機器を確実に固定している基礎ボルトに腐食(全面腐食)による減肉が発生した場合、**地震発生時に機器を固定できず機器の損傷に至る可能性がある**。そのため、基礎ボルトに腐食減肉を仮定した上で、地震で発生する応力を考慮しても、**材料の許容限界に至ることなく健全であることを確認**する。

評価対象例(発生応力と許容
応力の比が最も大きい機器)



基礎ボルト概要図

論点No.180,181-25

【論点No.180】

排気筒等の基礎ボルトの減肉を仮定した耐震安全性評価を行う構造物，系統及び機器に関する動的な評価について

【委員からの指摘事項等】

No.168

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

排気筒をサポートするボルトの腐食による減肉等を考慮した上で耐震安全性を評価する場合，固有の振動数等，いろいろ考慮して動的に評価されているか。その際，評価する計算モデルは設計時と現在で同じか。

P.2-3, 6-25

【論点No.181】

排気筒等の経年劣化を考慮した耐震安全性評価における評価条件の裕度について

【委員からの指摘事項等】

No.169

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

どの程度まで腐食が進むと排気筒は倒れるか等を示した上で、それに対しどの程度余裕があるかを示した方がわかりやすいのではないか。

①耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象抽出の際の振動応答特性上「軽微若しくは無視」できるか否かの具体的な判断基準・判断方法について

【説明概要】

耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象抽出の際の振動応答特性上「軽微若しくは無視」できるか否かの判断基準・判断方法は、経年劣化事象の進行による影響が剛性のある部位に対し十分小さい等を考慮し、耐震安全上『軽微若しくは無視』すると評価した。

②運転開始後60年時点における経年劣化状況を踏まえた耐震評価及びその保守性について

【説明概要】

経年劣化状況を踏まえた耐震評価として、経年劣化の影響が無視できない事象として、低サイクル疲労、中性子照射脆化、照射誘起型応力腐食割れ、熱時効、応力腐食割れ、腐食(全面腐食)及び腐食(流れ加速型腐食)を抽出し、それぞれ耐震評価を行い、運転開始後60年時点でも健全性を確保していることを確認している。

各耐震評価の保守性として、運転サイクル中の原子炉スクラム等で生じる疲労回数を実績の1.5倍見込む、各設備に与える地震加速度を評価値の1.5倍する、等の保守性を確保した評価を行っている。

③配管に係る高経年化対策及び経年劣化を考慮した耐震評価の網羅性、保守性について

【説明概要】

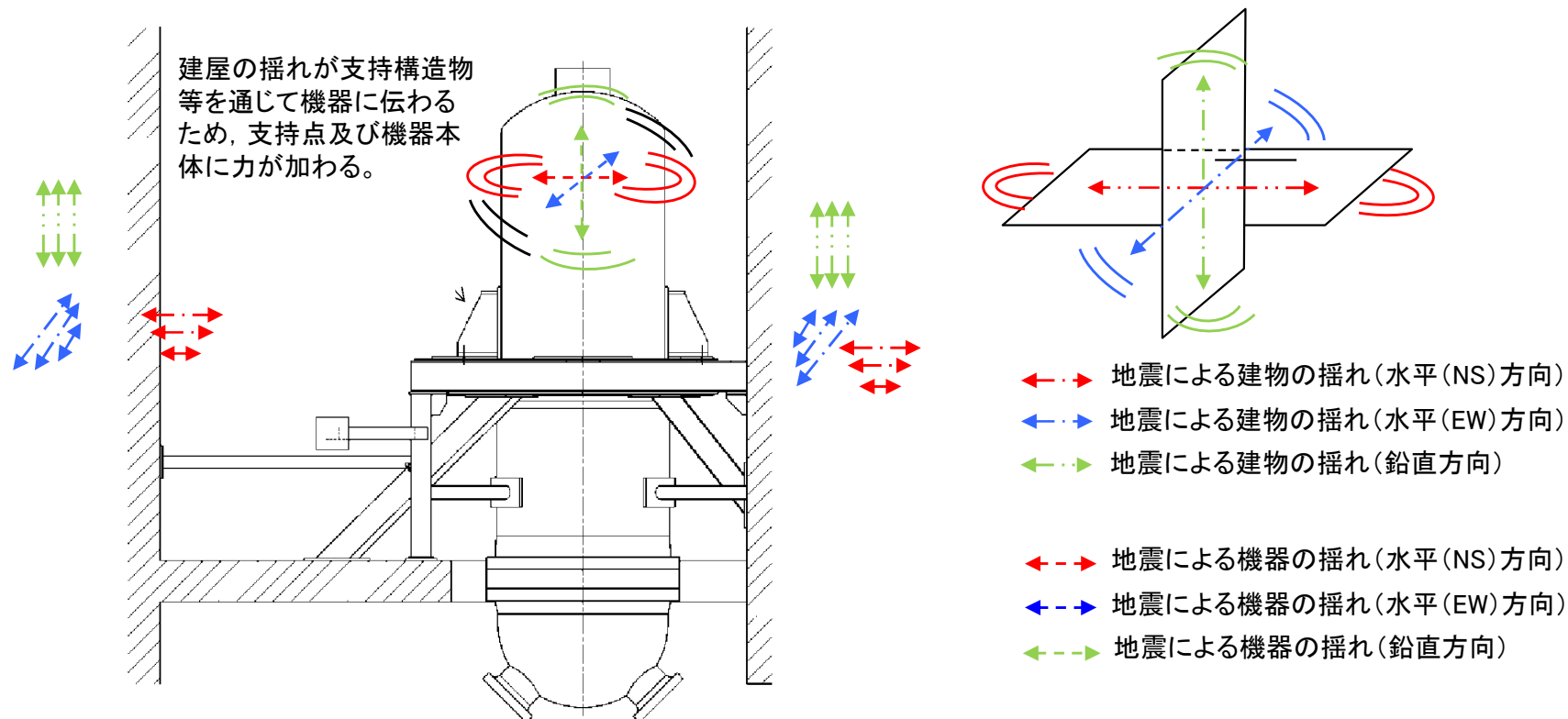
配管(溶接部を含む)に係る耐震安全上考慮すべき経年劣化事象として、配管の疲労割れ及び流れ加速型腐食を抽出し、経年影響及び地震影響に保守性を考慮した耐震評価を行い、耐震安全性に問題のないことを確認している。

①耐震評価の概要

地震が発生した際、発電所内に設置された機器には建屋の床・壁を通じて揺れが生じ、揺れによる力(発生応力)がかかる。

地震動が大きい程、機器に生じる揺れ(発生応力)が大きくなり、機器が持つ耐力(許容応力)を超過すると、機器が損傷する可能性がある。

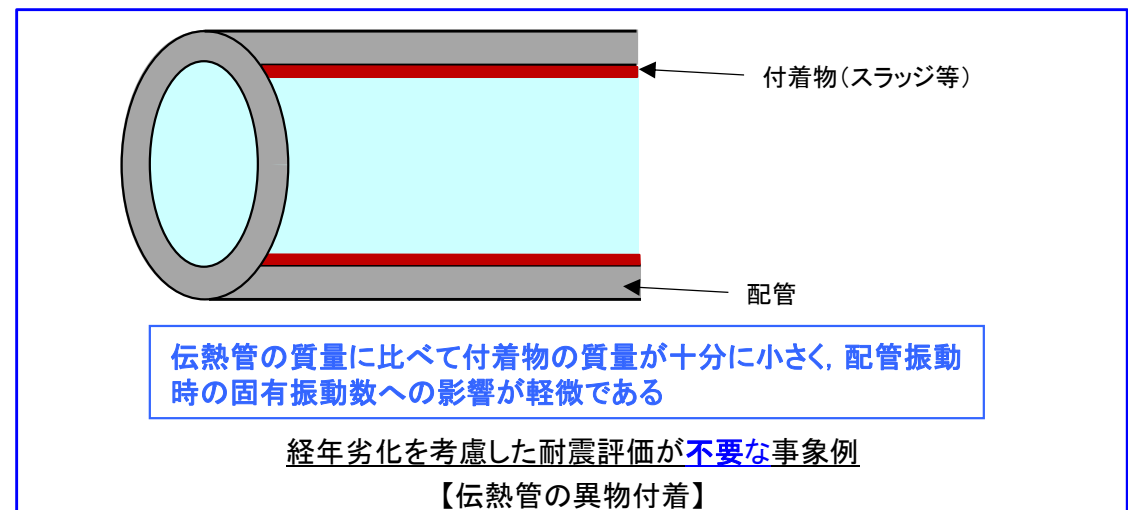
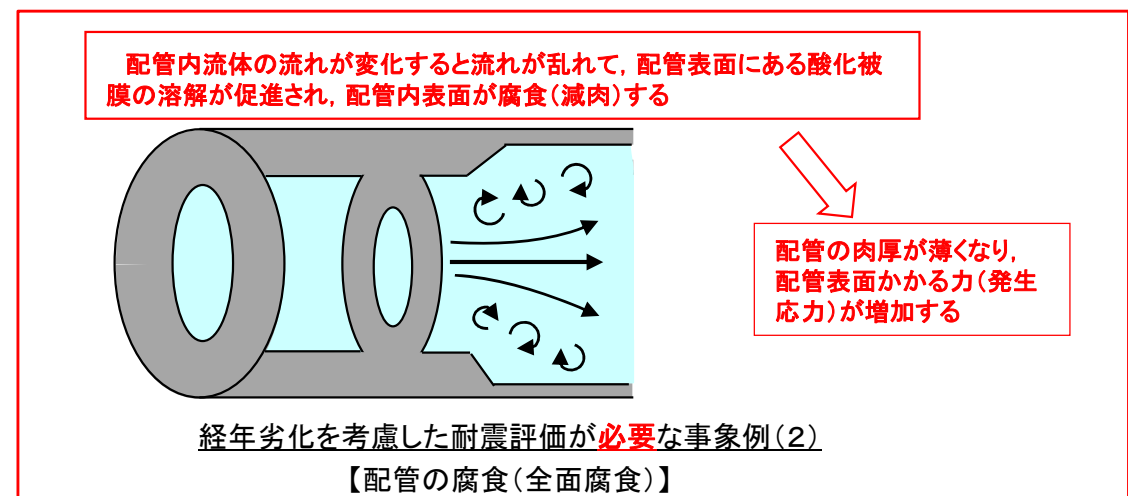
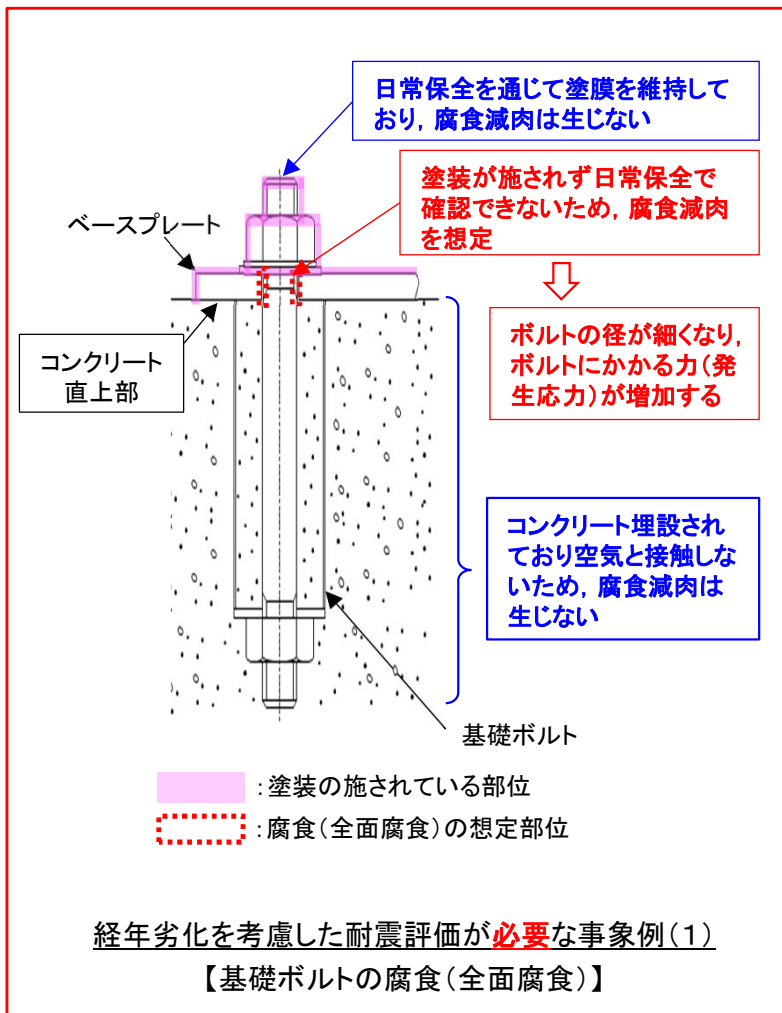
このため、実際の地震時の揺れ(地震力)の伝わり方を考慮して、機器の設置される階層ごとに機器の重要度に応じて設定される地震力(考慮する地震の揺れについては、実際と同様に鉛直及び水平方向の揺れを想定)に対して耐え得る構造であることを設計段階で確認している。



(1) 高経年化技術評価における耐震健全性評価の概要

② 経年劣化事象を考慮した耐震評価

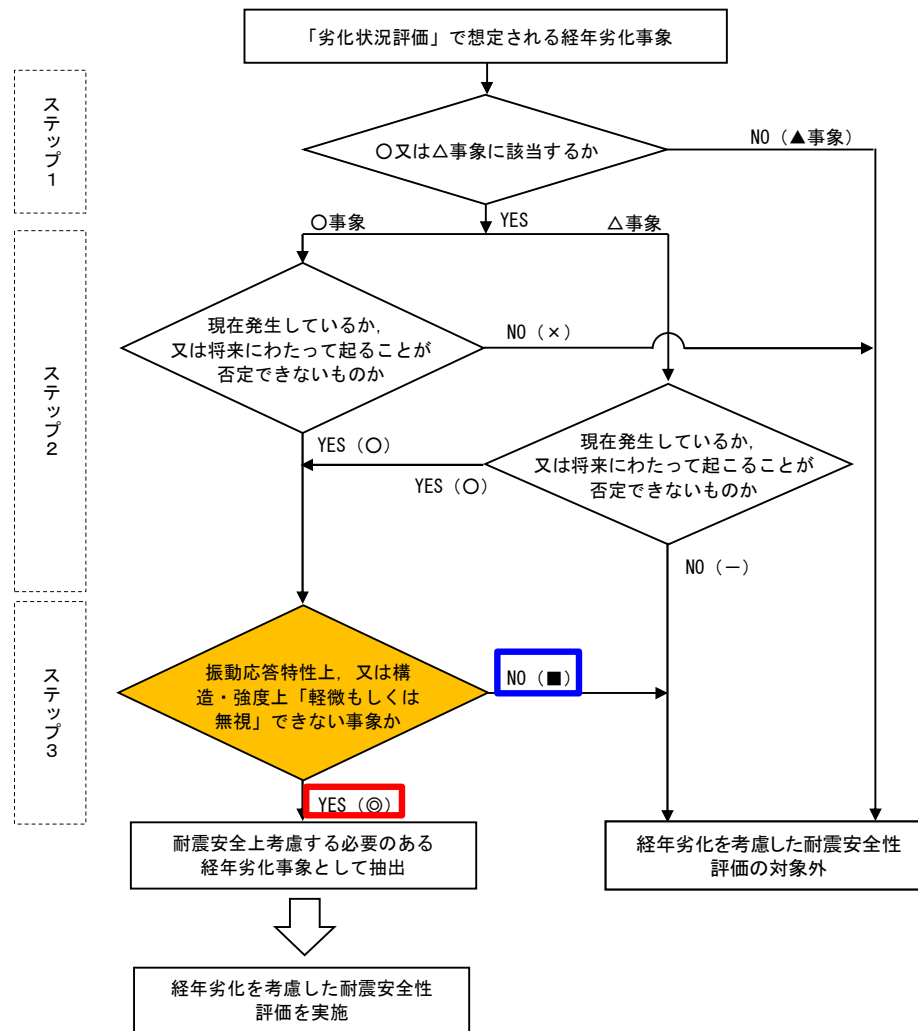
設計段階での耐震評価から、各機器に想定される経年劣化事象のうち、定期的な点検・補修等通常の保全活動における状態維持が困難な経年劣化事象で、耐震評価を行うにあたって発生応力が上昇し、評価結果が厳しくなる(許容応力との差が小さくなる)と選定された事象について、運転開始後60年時点の経年劣化を考慮した状態でも健全性が確保されることを確認する。



(2) 耐震安全性評価の手順(評価対象となる経年劣化事象の抽出)

●耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フロー

耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象は、以下のフローに基づき抽出を実施し、「**軽微もしくは無視**」できると判断された事象以外の経年劣化事象は、**耐震安全上考慮することとする**。



【凡例】

○: 評価対象として抽出

ー: 評価対象から除外

×: 現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、
又は小さいものとして評価対象から除外

■: 振動応答特性上、又は構造・強度上「軽微もしくは無視」
できる事象として評価対象から除外 <別紙1>

◎: 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出

<経年劣化事象の凡例>

○事象: 【高経年化対策上着目すべき経年劣化事象】

△事象: 【高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない
事象(日常劣化管理事象)】

想定した劣化傾向と実際の劣化傾向が想定した劣
化傾向の乖離が考え難い経年劣化事象であって、劣
化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの

▲事象: 【高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない
事象(日常劣化管理事象以外)】

現在までの運転経験や使用条件から得られた材料
試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進
展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと
考えられる経年劣化事象

図1 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フロー

(2) 耐震安全性評価の手順(評価対象となる経年劣化事象の抽出)

下表のとおり、前項のフローに基づき抽出された、**耐震安全上考慮する必要のある各経年劣化事象に対応した個別の機器・構造物を同定**する。

機器・構造物	耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象						
	低サイクル疲労	中性子照射脆化	照射誘起型応力腐食割れ*1	熱時効	応力腐食割れ	腐食	
						流れ加速型腐食	全面腐食
ポンプ	◎	—	—	◎	—	—	◎*3
熱交換器	—	—	—	—	—	◎	◎*2,*3
ポンプモータ	—	—	—	—	—	—	—
容器	◎	◎	—	—	—	—	◎*3
配管	◎	—	—	—	—	◎	◎*3
弁	◎	—	—	◎	—	—	—
炉内構造物	◎	—	◎	—	◎	—	—
ケーブル	—	—	—	—	—	—	◎*3
タービン設備	—	—	—	—	—	—	◎*3
コンクリート構造物及び鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—
計測制御設備	—	—	—	—	—	—	◎*3
空調設備	—	—	—	—	—	—	◎*3
機械設備	—	—	—	—	◎	◎	◎*3
電源設備	—	—	—	—	—	—	◎*3

*1: 中性子照射による靱性低下も考慮している *2: 胴、伝熱管の腐食 *3: 基礎ボルト

【凡例】

◎: 振動応答特性上、又は構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象

—: 日常劣化管理事象のうち、現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さい事象

*4: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象(○事象)のうち、図1の耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フローにて、耐震安全上考慮不要となる経年劣化事象

(a) 技術評価の結果、現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できない事象ではない事象

a. 上部格子板等の照射誘起型応力腐食割れ

b. コンクリート構造物の熱、放射線照射、中性化、塩分浸透及び機械振動による強度低下並びに熱による遮へい能力低下

(b) 振動応答特性上、又は構造・強度上「軽微もしくは無視」できない事象ではない事象

c. 絶縁特性低下、計測制御設備等の特性変化、導通不良

d. シール部、Oリング(電気ペネトレーション)の気密性の低下

● 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象について判断した具体例(1/2)

抽出フローに基づき、明らかに「**軽微もしくは無視**」できると判断*された事象**以外の経年劣化事象は、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出**

* 高経年化に係る国内外の知見や東海第二発電所の過去の高経年化技術評価等に基づき判断

① 高経年化対策上考慮すべき経年劣化事象(○事象)

➤ ◎振動応答特性上、又は構造強度上「**軽微もしくは無視**」できない事象と機器の具体例

経年劣化事象 (【 】内は機器・部位を示す)	判断根拠
・低サイクル熱疲労 <別紙2> 【熱過渡を受ける機器(原子炉圧力容器, 炉内構造物, ポンプ, 配管, 弁, 原子炉格納容器のうち機械ペネトレーション)】 ・中性子照射脆化 <別紙3> 【原子炉圧力容器胴板】 ・照射誘起型応力腐食割れ <別紙4> 【炉心シュラウド】 ・熱時効 <別紙5> 【高温となる箇所では2相ステンレス鋼を使用している機器(ポンプ, 弁)】	材料の持つ強度の変化や延性の低下を伴うと判断している。なお、中性子照射脆化は金属材料が中性子の照射を受けると靱性(破壊に対する抵抗)の低下を生じる事象をいい、その際、金属材料は硬化し強度は上昇する。

➤ ■振動応答特性上、又は構造強度上「**軽微もしくは無視**」できる事象と機器の具体例

経年劣化事象 (【 】内は機器・部位を示す)	判断根拠
・絶縁特性低下, 計測制御設備等の特性変化, 導通不良	質量等に変動を及ぼさないことから, 発生する部位によらず機器の振動応答特性又は構造・強度への影響が「軽微もしくは無視」できると判断している。

(3) 振動応答特性・構造強度で「軽微もしくは無視」できない事象判断の具体例



●耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象について判断した具体例(2/2)

抽出フローに基づき、明らかに「**軽微もしくは無視**」できると判断*された**事象以外の経年劣化事象**は、**耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象**として抽出

* 高経年化に係る国内外の知見や東海第二発電所の過去の高経年化技術評価等に基づき判断

② 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)(△事象)

➤ ◎振動応答特性上、又は構造強度上「軽微もしくは無視」できない事象と機器の具体例

経年劣化事象 (【 】内は機器・部位を示す)	判断根拠
・流れ加速型腐食 【炭素鋼配管, 熱交換器伝熱管(内面)】	部材の断面減少による固有振動数の変化を伴う経年劣化事象
・全面腐食 <別紙6> 【基礎ボルト】 ・応力腐食割れ <別紙7> 【炉内構造物, 機械設備】	部材の断面減少による強度低下を伴う経年劣化事象

➤ ■振動応答特性上、又は構造強度上「軽微もしくは無視」できる事象と機器の主な具体例

経年劣化事象 (【 】内は機器・部位を示す)	判断根拠
・異物付着 【熱交換器伝熱管】	経年劣化による質量変動分が機器本体の質量に比較して十分小さく、剛性の変動がほとんどないと判断している。
・摩耗【減速機歯車等】 ・全面腐食【減速機歯車, 弁体・弁座等】<別紙1>	内部構成品の一部に想定される減肉事象で、地震時に機器構成部品が一体となって挙動するため当該部品にはほとんど相対変位が発生しないと判断している。
・腐食【ポンプケーシング, 弁座等】<別紙1> ・摩耗【ポンプ主軸, 弁体・弁座等】<別紙1>	十分な剛性を有している部位に対しての減肉であり、厚肉のため剛性の変動がほとんどないと判断している。
・シール部, Oリング【電気ペネトレーション】の気密性の低下	シール部, Oリングは、構造・強度部材ではないことから耐震性への影響はないと判断している。

(4) 耐震安全上考慮すべき経年劣化事象における耐震評価時の裕度

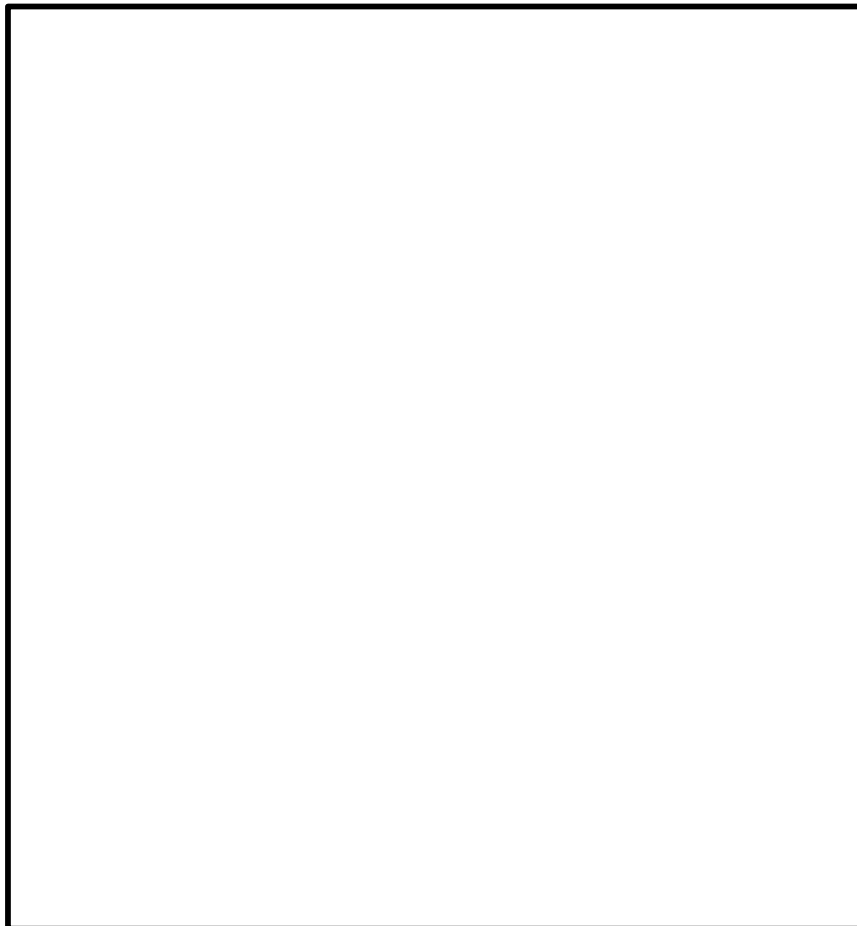
- 耐震安全性評価及び耐震健全性評価で考慮している裕度として、**過渡事象の回数を多めに見積もる、運転期間中の稼働率を高めに見積もる、現状で発生のない割れを考慮する、1.5倍の裕度を考慮した地震時床応答加速度を用いる等、各種の裕度を考慮している。**一覧を下表に示す。

経年劣化事象	健全性評価時の裕度 (各経年劣化事象の説明より抜粋)	耐震安全性評価時の裕度
低サイクル疲労(ポンプ、容器、配管、弁、炉内構造物)	・運転期間延長認可後から60年時点まで疲労累積係数を「実績×1.5倍」の過渡回数を見込んで算出 ・実績のない過渡回数については1と設定	地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」を用いることにより、評価値を算出 (次頁参照)
中性子照射脆化	運転期間延長認可後から60年時点までの稼働率を保守的に算出。また、現状発生していない割れを考慮して算出	
照射誘起型応力腐食割れ(炉内構造物)	運転期間延長認可後から60年時点までの稼働率を保守的に算出。また、現状発生していない割れ(全周き裂)を考慮して算出	
熱時効(ポンプ、弁)	運転期間延長認可後から60年時点までの稼働率を保守的に算出。また、現状発生していない割れ(貫通き裂)を考慮して算出	
応力腐食割れ(炉内構造物、機械設備)	現状発生していない割れを考慮して算出。シュラウドサポートについては、ひび割れの確認された箇所に保守性を見込んだ箇所数を考慮して算出	
腐食(流れ加速型腐食)(配管、熱交換器、機械設備、弁(地震時動的機能要求対象))	必要最小板厚(1部配管では60年時点での板厚)を適用しており発生応力を算出	
腐食(全面腐食)(熱交換器、基礎ボルト)	運転開始後60年時点での腐食減肉量を保守的に適用して発生応力を算出	

(4)耐震安全上考慮すべき経年劣化事象における耐震評価時の裕度

●耐震安全性評価時の裕度

地震動による劣化を算出するため使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」を用いることにより、評価値を算出している。＜別紙8＞



プラント名：東海第二発電所

構造物名：ペDESTAL

方向：水平方向

波形名：S_d-D1, S_d-11, S_d-12, S_d-13, S_d-14, S_d-21, S_d-22及びS_d-31

標高：EL19.856m

減衰：2.0(%)

- 地震の持つ周期と、機器が据え付けられている建物の持つ固有周期及び建物に振動が伝わる際に地震力が減少する減衰率を用いて解析により算出した各固有周期での揺れの強さ(震度)を床応答曲線という。
- 建物の評価高さや揺れの方角(水平・鉛直)により揺れの強さ(震度)が異なるため、建物の床面高さ毎に方向を考慮した床応答曲線を、機器の耐震評価に用いている。
- 今回の新規制基準に対応した工事計画認可申請及び運転期間延長認可申請では、裕度を見込んで上記の床応答曲線の震度を1.5倍とした「設備評価用床応答曲線」を用いて耐震評価を実施している

「設備評価用床応答曲線」の例

(5) 配管における耐震安全上考慮すべき経年劣化事象の抽出

- 配管系について、各配管材質(ステンレス鋼、炭素鋼及び低合金鋼)における全ての経年劣化事象を対象として<別紙9>、**耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フローに基づき抽出した結果、以下の2事象が抽出された。**

* 配管系における「高経年化対策上着目すべき経年劣化事象」、「高経年化対策上着目すべきではない経年劣化事象」の区分は(2)、(3)を参照

①配管(溶接部を含む。)の疲労割れ

- ・ステンレス鋼配管系
- ・炭素鋼配管系

②配管(溶接部を含む。)の腐食(流れ加速型腐食)

- ・炭素鋼配管系

なお、耐震安全性評価を行うにあたっては、

- ・経年劣化事象の抽出時に選定した代表機器(系統)
- ・非代表機器(系統)のうち、規格・運転経験等に基づいて選定した機器(系統)

を対象として評価を実施した。

(5) 配管における耐震安全上考慮すべき経年劣化事象の抽出

①配管(溶接部を含む。)の疲労割れの評価

- ・ステンレス鋼配管系
- ・炭素鋼配管系

○配管系に対して、耐震安全性について経年使用により評価結果(疲労)が足し合わされる劣化事象として、**疲労割れ(低サイクル疲労)**を抽出している。

○東北地方太平洋沖地震を踏まえた影響評価として、基準地震動 S_g による疲労累積係数の一番大きい系統に対して、**運転実績と今後の運転期間による過渡回数に地震動の影響を足し合わせた結果、疲労累積係数の和は許容値1以下であり、配管の疲労割れは耐震安全性に問題のないことを確認している。**

原子炉系(蒸気系)配管の低サイクル疲労評価(地震影響含む)

- ①経年使用による過渡回数での疲労累積係数
- ②地震動(基準地震動 S_g)による疲労累積係数
- ③東北地方太平洋沖地震の地震動を用いて算出した疲労累積係数

**疲労累積係数の和
 $0.741 < 1$ (許容値)**

* 耐震評価方法及び裕度の考え方の詳細は「＜別紙2＞耐震安全性評価－低サイクル疲労割れ」参照

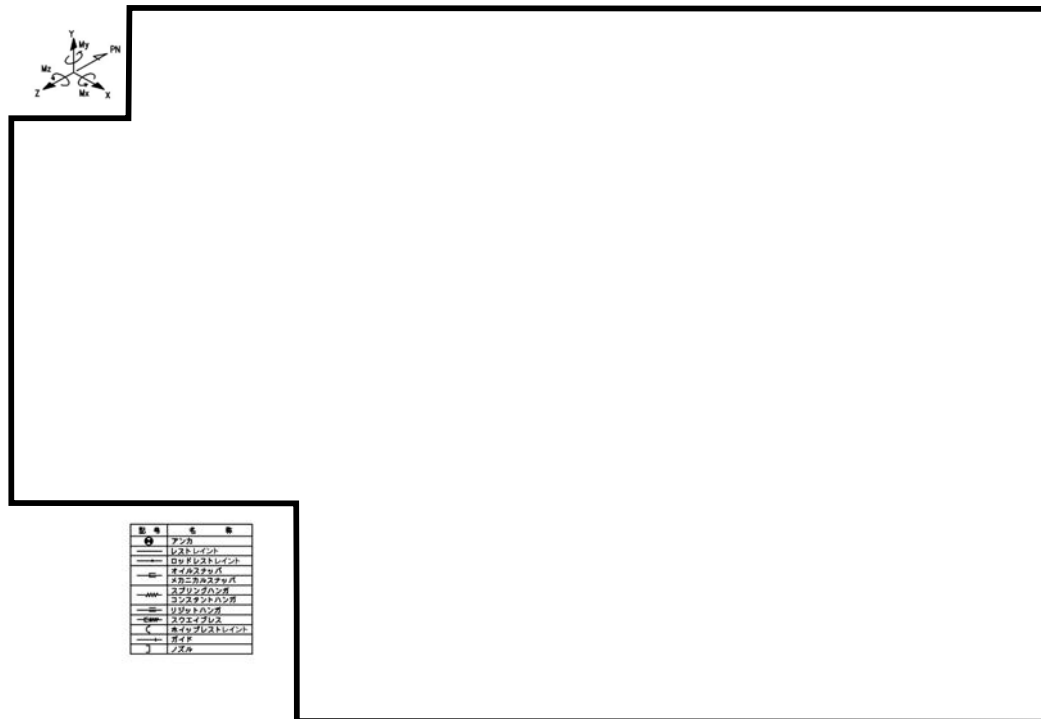
(5) 配管における耐震安全上考慮すべき経年劣化事象の抽出

②配管(溶接部を含む。)の腐食(流れ加速型腐食) ・炭素鋼配管系

- 配管系に対して、耐震安全性について経年使用により部材断面減少等の影響が生じ得る劣化事象として、配管中の水・蒸気等の流体による**流れ加速型腐食**を抽出している。
- 流れ加速型腐食が想定される部位について、**運転実績と今後の運転期間等を考慮した過渡回数と配管減肉を考慮した解析モデルで地震動の影響を評価した結果、発生応力及び疲労累積係数は許容値以下であり、配管の流れ加速型腐食は耐震安全性に問題のないことを確認している。**

➤ 発生応力算出時の考え方

* 耐震評価の詳細は次頁以降を参照



配管減肉を考慮した解析モデル例(流れ加速型腐食)

＜評価条件の保守性と裕度＞

- ・炭素鋼配管系のうち、流れ加速型腐食が想定される系統の部位について、**配管減肉(必要最小板厚又は60年時点想定板厚)を考慮した解析モデルにて評価**(←肉厚測定及び余寿命評価を行い、必要最小板厚または60年時点想定板厚到達前に交換を行うため裕度を有した評価となっている)
- ・地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に**1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」**を用いて応力拡大係数を算出(←裕度)

(5) 配管における耐震安全上考慮すべき経年劣化事象の抽出

➤ 評価結果(流れ加速型腐食を考慮した耐震評価)

(発生応力と許容応力の比が最大かつ疲労累積係数が最大の箇所をもつ原子炉系配管を例示)

評価対象	区分	耐震重要度	評価地震力	許容応力状態※ ¹	応力種別	①発生応力(MPa)	②許容応力(MPa)
						60年時点肉厚	
原子炉系 (蒸気部) [ドレン配管]	クラス 1	S	S _s	IV _A S	一次応力※ ²	291	< 364
					一次応力+ 二次応力※ ³	831 (③疲労累積係数 :0.3256)	< 366 (疲労累積係数許容値 :1以下)
			S _d	III _A S	一次応力※ ²	225	< 274
					一次応力+ 二次応力※ ³	556 (③疲労累積係数 :0.3132)	< 366 (疲労累積係数許容値 :1以下)

※1: 許容応力状態については下表による。

許容応力状態 III _A S	運転状態 III * ¹ に対応する原子炉圧力容器の温度, 圧力の変動による荷重 (許容応力状態 III _A) + 地震(S _d)により生ずる応力
許容応力状態 IV _A S	運転状態 IV * ² に対応する原子炉圧力容器の温度, 圧力の変動による荷重 (許容応力状態 IV _A) + 地震(S _s)により生ずる応力

* 1: 原子炉施設の故障, 誤作動等により原子炉の運転の停止が緊急に必要とされる状態

* 2: 原子炉施設の安全設計上想定される異常な事態が生じている状態

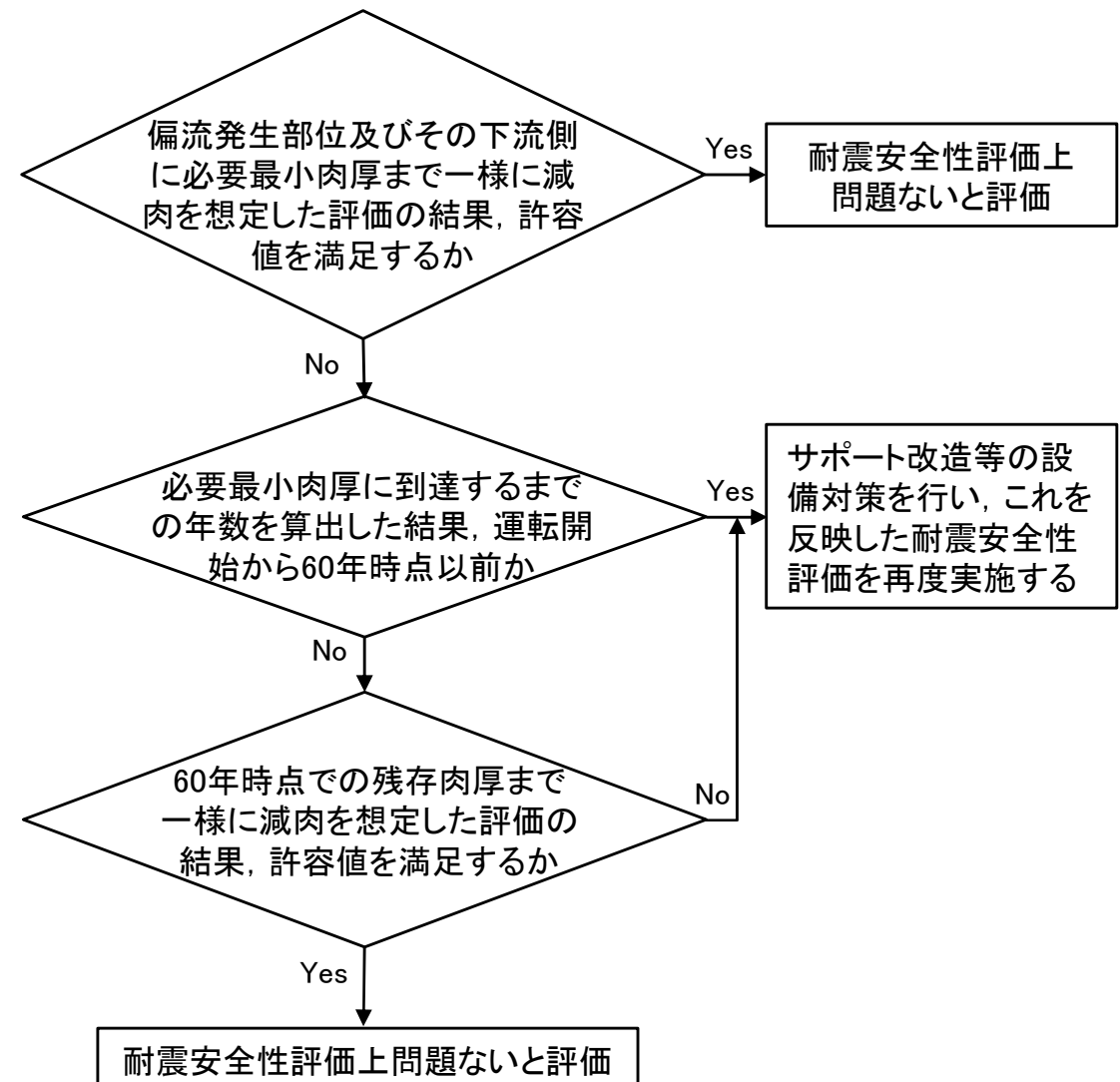
※2: 内圧等により配管の内壁に一様に加わる荷重によって発生する応力(曲げ応力, 膜応力)及び地震荷重による応力

※3: 配管の熱膨張の際に, 支持金具で拘束されることで生じる応力(熱応力)

(5) 配管における耐震安全上考慮すべき経年劣化事象の抽出

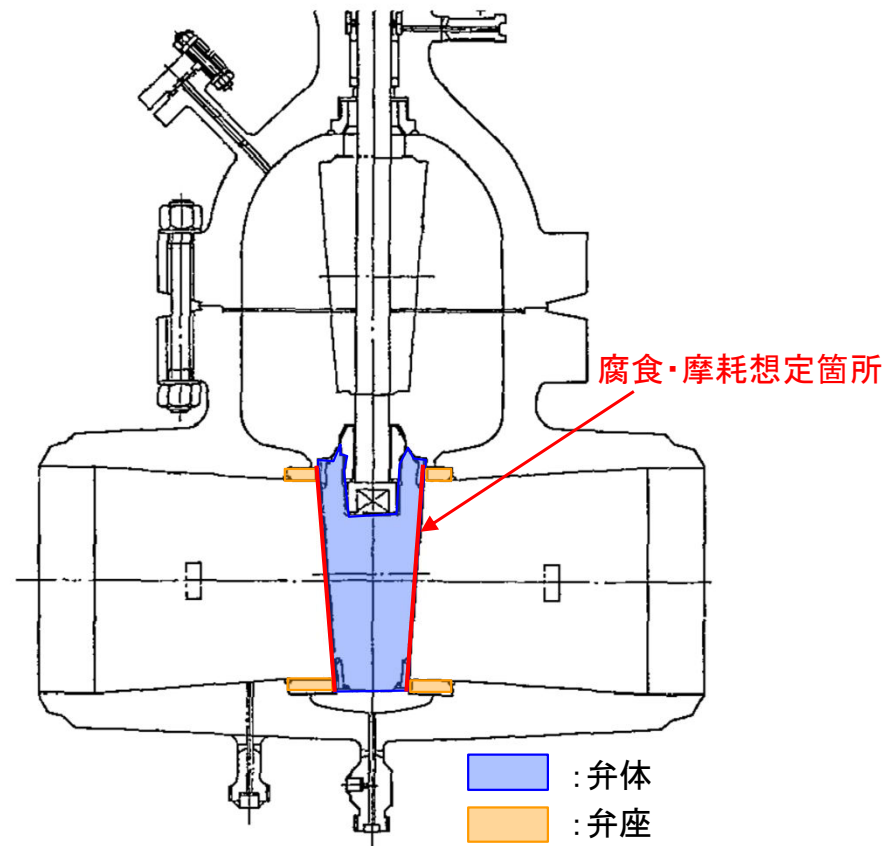
経年劣化事象	腐食(流れ加速型腐食)
想定部位	配管(エルボ部, 分岐部, レジューサ部等(原子炉系(蒸気部)ドレン配管))
耐震安全性評価内容	保全活動の範囲内で発生する可能性のある減肉を考慮して地震時の発生応力, 又は疲労累積係数を算出し, 許容値を下回ることを確認する。
耐震安全性評価結果	・「発生応力 < 許容応力」であること。 ・「許容応力 < 発生応力」である場合, 疲労解析を行い, 疲労累積係数が許容値1以下であること。^{*1} を確認し, 耐震安全性に問題のないことを確認している。

*1: 原子力発電所耐震設計技術指針
重要度分類・許容応力編より



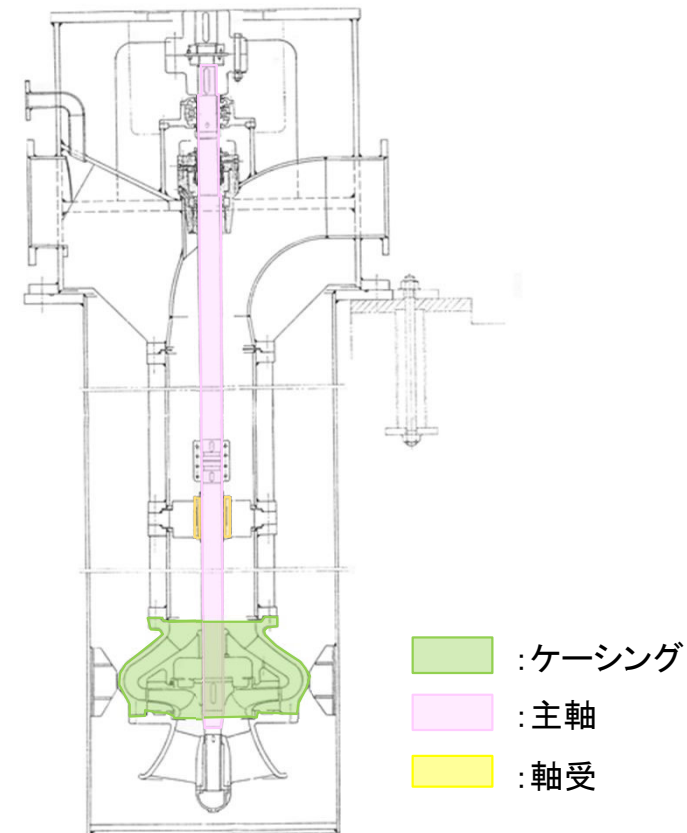
腐食(流れ加速型腐食)(配管)の耐震安全性評価フロー

➤ 振動応答特性上, 又は構造強度上「軽微若しくは無視」できる事象とした具体例



弁体, 弁座は内部流体に接液しており, また弁開閉時の接触のため腐食や摩耗が発生するが, 表面のみで全体質量に影響のない程度であること, 厚肉で剛性の大きい部位の表面腐食であること及び部材と同一に振動するため相対変位を生じない。

弁の全面腐食(弁体・弁座等), 摩耗(弁体・弁座等)



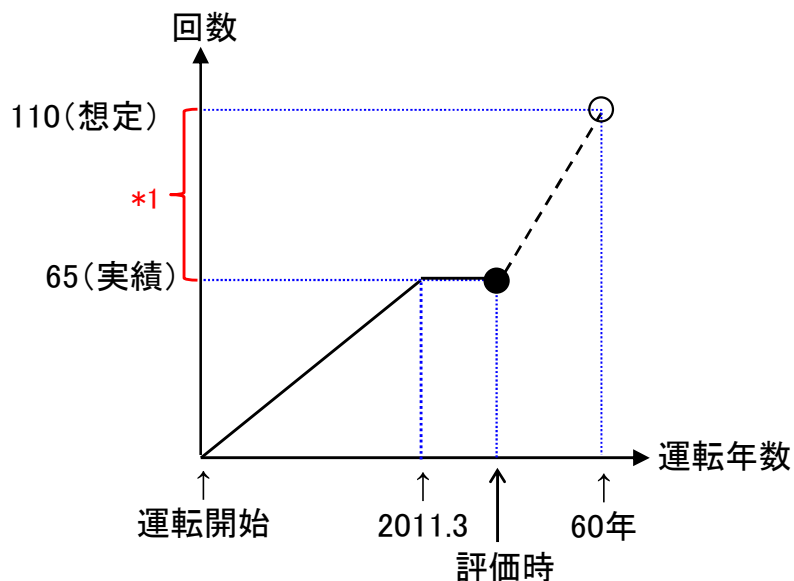
ケーシングは内面・外面が内部流体に接液しており, またポンプ運転時に主軸と軸受が接触して摩耗が発生するが, 全体質量に影響のない程度であること, 厚肉で剛性の大きい部位の表面腐食・摩耗である。

ポンプの腐食(ケーシング等), 摩耗(主軸)

＜別紙2＞耐震安全性評価－低サイクル疲労評価

➤ 60年時点の推定過渡回数算出時の考え方

*2 実績のない運転過渡については1回を想定(←裕度)



*1 = 実績回数から得られた1年あたりの回数
× 残りの年数 × 1.5倍(←裕度)

60年時点の推定過渡回数算出イメージ

運転条件	評価時点までの実績過渡回数	運転開始後60年時点までの推定過渡回数
ボルト締付け	26	48
耐圧試験	72	132
起動(昇温)	65	110
起動(タービン起動)	65	110
夜間低出力運転(出力75%)	67	120
週末低出力運転(出力50%)	115	165
制御棒パターン変更	96	176
給水加熱機能喪失(発電機トリップ)*2	0	1
給水加熱機能喪失(給水加熱器部分バイパス)*2	0	1
スクラム(タービントリップ)	16	22
スクラム(原子炉給水ポンプ停止)	3	6
スクラム(その他)	20	24
停止	65	111
ボルト取外し	26	49

➤ 評価結果(地震動の影響が最も大きい原子炉系(蒸気部)配管を例示)

機器	低サイクル疲労評価	地震動の影響を考慮した評価	①+② 合計値	許容値
	①60年時点の疲労累積係数	②地震動による疲労累積係数 (基準地震動Ss)		
原子炉系(蒸気部)配管	0.0853	+	0.6558	= 0.7411 < 1

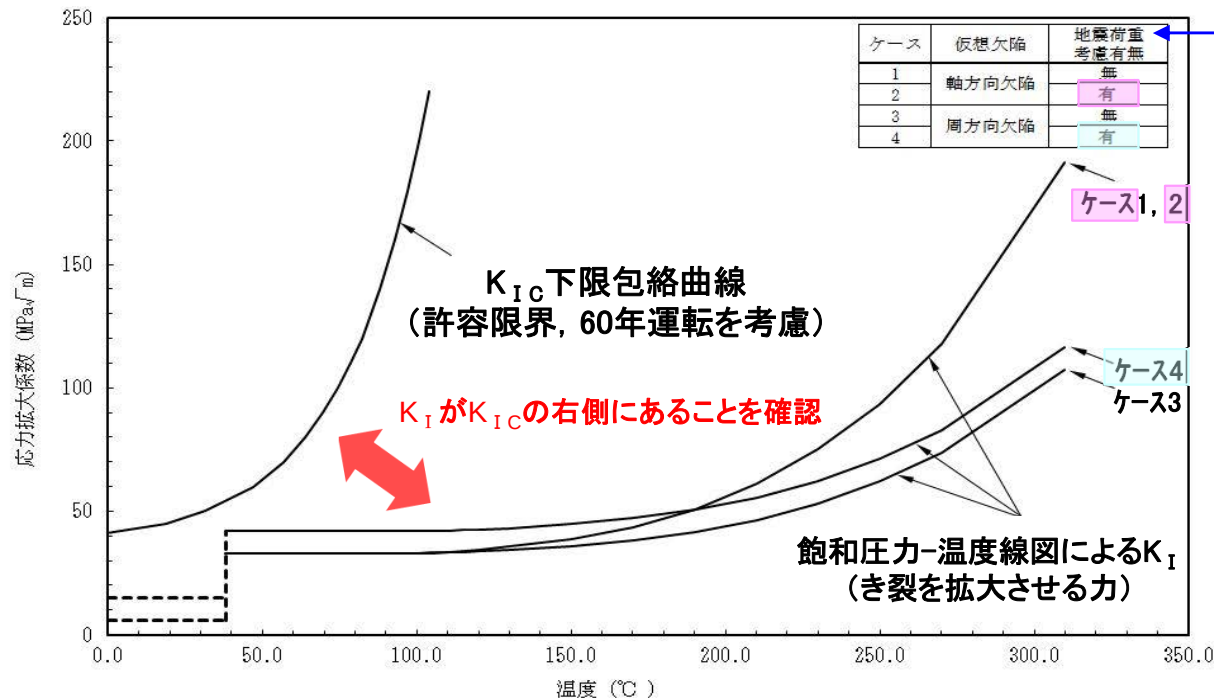
*1, *2の裕度を考慮した数値

地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」を用いて疲労累積係数を算出(←裕度)

裕度を考慮した疲労累積係数に「設備評価用床応答曲線」から算出した地震動による疲労累積係数を足し合わせた合計値が許容値1を下回るため、耐震安全性上問題ないと評価した。

＜別紙3＞耐震安全性評価－中性子照射脆化評価

➤ 応力拡大係数 (K_I) 算出時の考え方



地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」を用いて応力拡大係数を算出(←裕度)

K_{IC} 下限包絡曲線と K_I 曲線(原子炉圧力容器胴:炉心臨界時)

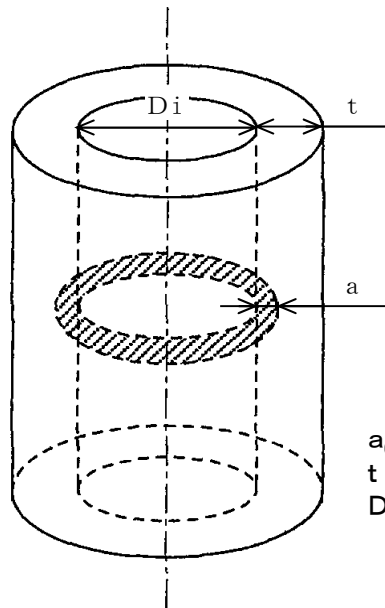
- ・日本電気協会「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」に基づき、評価対象機器の点検で確認されていない板厚の1/4深さの仮想欠陥を想定(←裕度)
- ・ K_I 曲線の入力条件である運転期間延長認可後の設備利用率を、これまでの実績の70%程度を包含する80%で設定(←裕度)

➤ 評価結果

裕度を考慮した K_I に「設備評価用床応答曲線」から算出した地震荷重を足し合わせた K_I 線曲線が K_{IC} 下限包絡曲線を下回るため、耐震安全性上問題ないと評価した。

<別紙4>耐震安全性評価－照射誘起型応力腐食割れ

➤ 応力拡大係数算出時の考え方



a_0 : 亀裂深さ(=1.0[mm])
 t : 炉心シュラウドの板厚
 D_i : 炉心シュラウドの内径

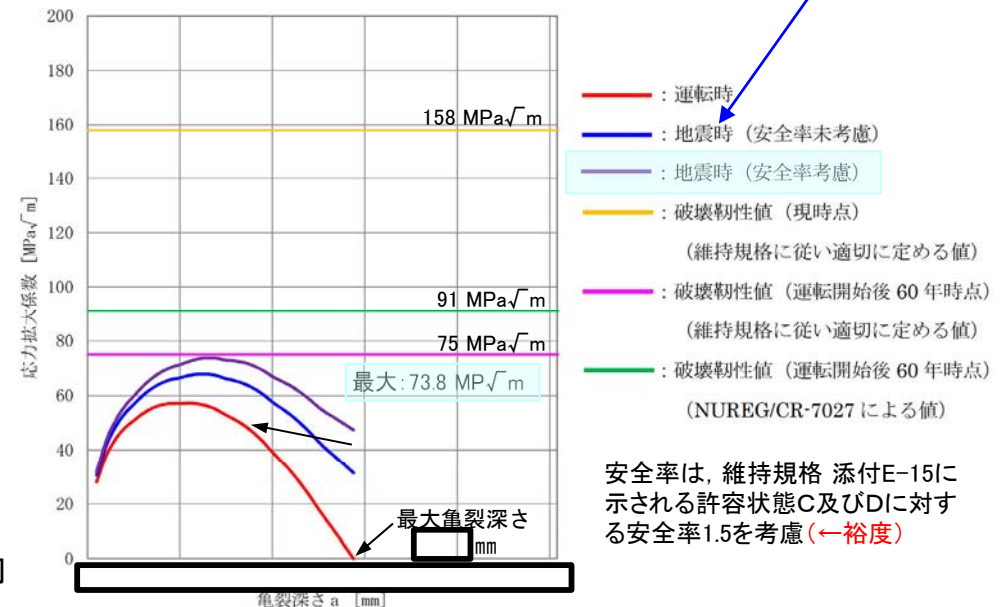
- ・運転期間延長認可後の設備利用率をこれまでの実績の70%程度を包含する80%として応力拡大係数を算出(←裕度)
- ・溶接残留応力を考慮すると、応力拡大係数は板厚中央近傍でゼロとなる見込みであるが、表面は大きな値となり、周方向の亀裂進展が想定されること及び周方向に複数の応力腐食割れの発生を想定し、点検で確認されていない内表面全周亀裂を想定した評価を実施した。(←裕度)

<亀裂想定位置及び評価モデル>

➤ 評価結果

- ・日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格(2008)(以下、「維持規格」という。)に基づく解析により算出した応力拡大係数(73.8MPa√m)と、維持規格に基づき運転開始後60年時点の照射量に応じて算出した破壊靱性値(75MPa√m)と比較した結果、応力拡大係数は破壊靱性値を下回るため、不安定破壊に至らず、耐震安全上問題ないと評価した。

地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」を用いて応力拡大係数を算出(←裕度)



内面全周亀裂を想定した評価による応力拡大係数

安全率は、維持規格 添付E-15に示される許容状態C及びDに対する安全率1.5を考慮(←裕度)

<別紙5>耐震安全性評価－熱時効

- 脆化を考慮した亀裂進展抵抗(J_{mat})と、地震を考慮した応力により生ずる亀裂進展力(J_{app})算出時の考え方

①運転期間延長認可後の設備利用率をこれまでの実績の70%程度を包含する80%とした評価対象期間(←裕度)における脆化予測
 J_{mat} を脆化予測モデル(H3Tモデル)を用いて予測



②評価用想定亀裂の設定
 点検で確認されていない初期欠陥を設定し、疲労により60年時点での亀裂進展を評価。さらに保守的な亀裂形状を設定(←裕度)



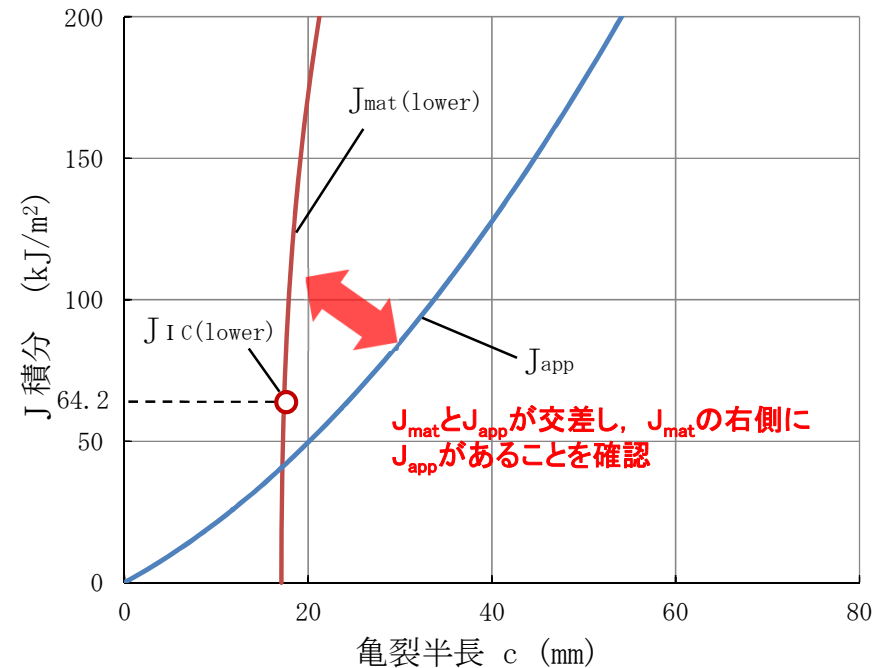
③亀裂進展力の評価
 地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」を考慮し、 J_{app} をJ積分の解析解により算出



④亀裂安定性評価
 ①～③で得られた J_{mat} と J_{app} がグラフ上交差する、すなわち亀裂進展力に対して亀裂進展抵抗が上回ること、不安定破壊しないことを確認する。

➤ 評価結果

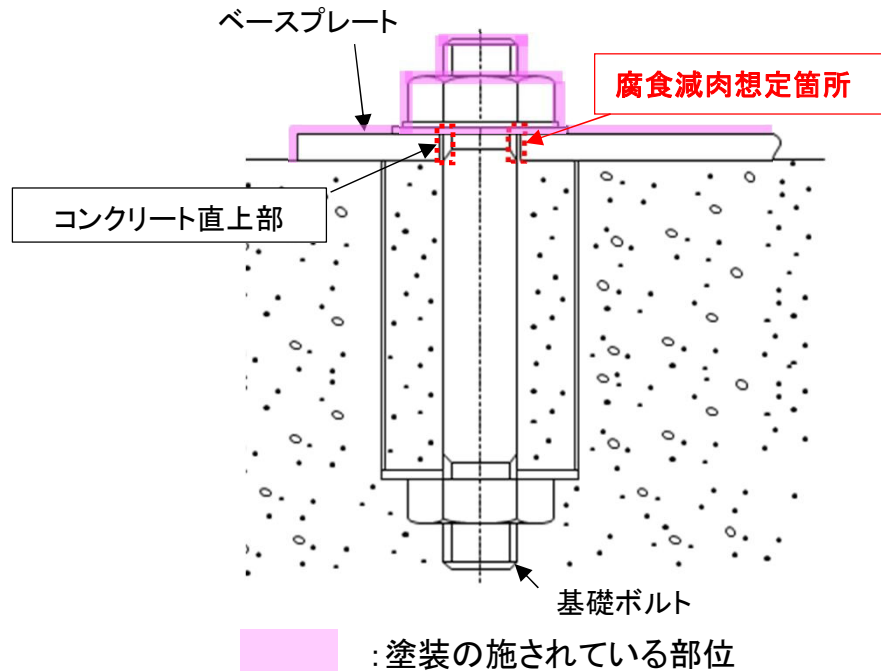
亀裂進展抵抗が亀裂進展力と交差し、亀裂進展抵抗が亀裂進展力を上回ること及び亀裂進展抵抗と亀裂進展力の交点で亀裂進展抵抗の傾きが亀裂進展力の傾きを上回ることから、不安定破壊することはないと評価した。



亀裂安定性評価結果(例)

＜別紙6＞耐震安全性評価－腐食（全面腐食）

➤ 発生応力算出時の考え方



＜基礎ボルト概要図＞

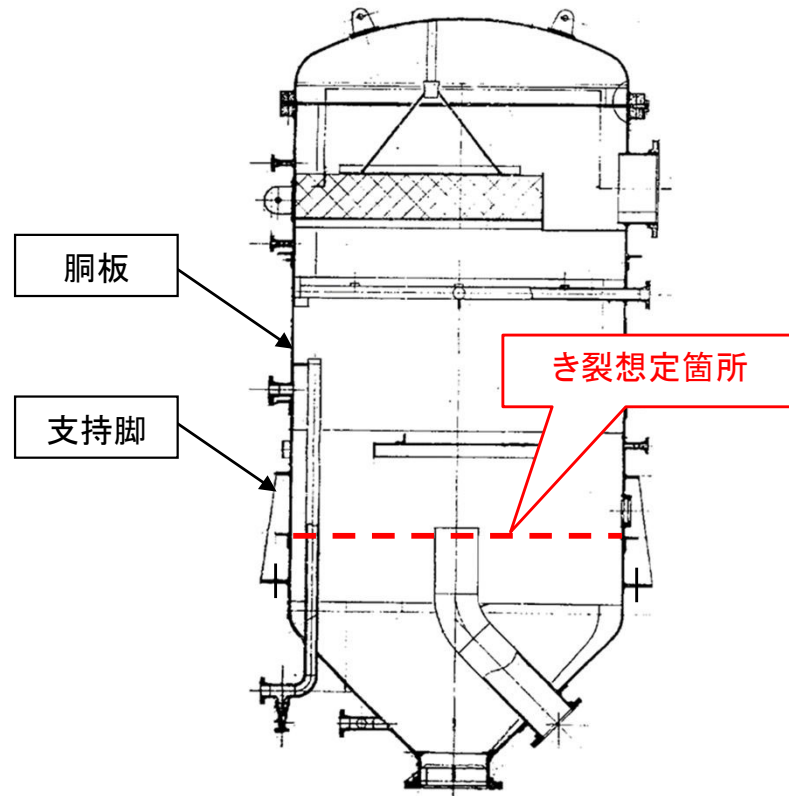
➤ 評価結果（排気筒の耐震評価結果を例示）

評価部位		発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
①筒身脚部基礎ボルト	引張	257	<	324
	せん断	12	<	187
②鉄塔脚部基礎ボルト	引張	92	<	236
③補助鉄塔脚部基礎ボルト	引張	164	<	490

裕度を考慮した地震時の発生応力が許容応力を下回ることから、耐震安全上問題ないと評価した。

<別紙7>耐震安全性評価－応力腐食割れ

➤ 発生応力算出時の考え方



廃液濃縮器蒸発缶構造図

- ・日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針(JEAG 4613-1998)に基づき、点検で確認されていない60年時点のき裂として半周の貫通き裂を仮定して、地震時の発生応力を算出した。
(←裕度)
- ・地震動による劣化を算出するために使用している機器の据付高さ(床面高さ)に応じた床応答曲線に1.5倍の裕度を考慮した「設備評価用床応答曲線」を用いて応力拡大係数を算出(←裕度)

➤ 評価結果

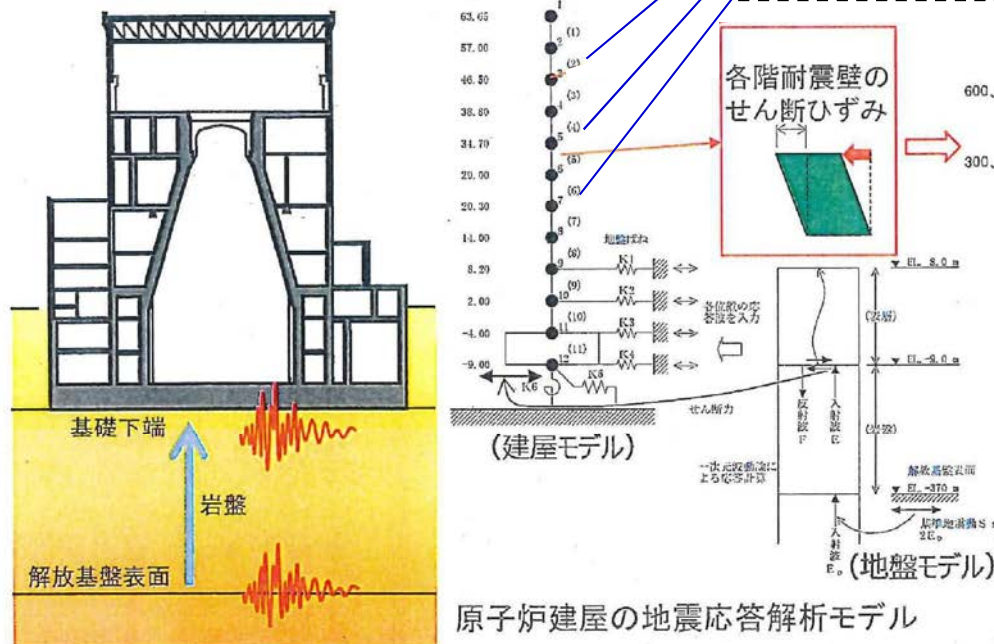
評価対象	発生応力(MPa)	許容応力(MPa)
廃液濃縮器蒸発缶胴板	31	65

裕度を考慮した地震時の発生応力が許容応力を下回ることから、耐震安全上問題ないと評価した。

<別紙8> 動的地震力の設定(建屋からの応答波)

(1) 基準地震動から床応答スペクトル(曲線)までの流れ(イメージ)

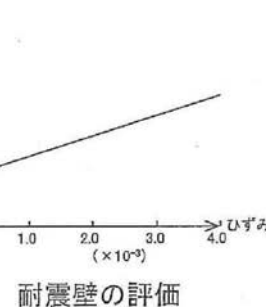
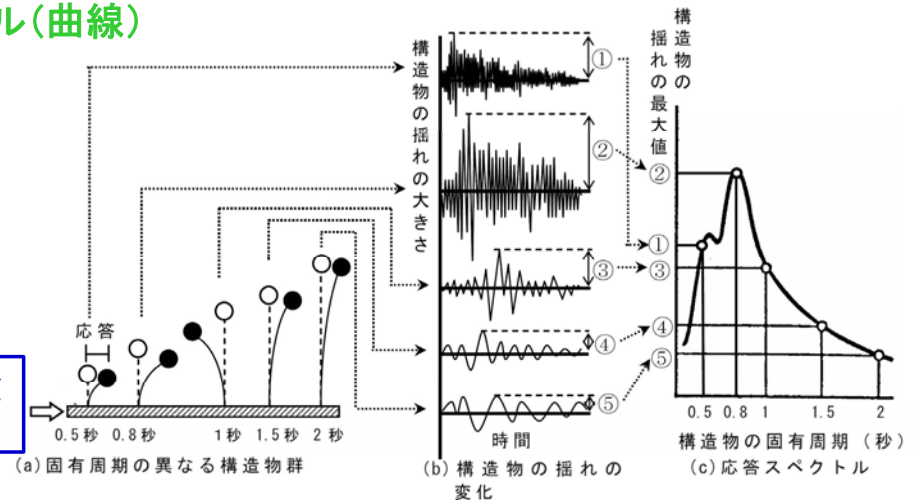
- ① 基準地震動Ss8波等に対して, 地盤モデルを用いて, 解放基盤表面から建屋基礎下端までの岩盤中の地震波の伝播を計算し, これを入力とした建屋モデルにより建屋全体の応答を計算し, 各階床面における応答波を求める。



基準地震動Ss又は弾性設計用地震動Sd

床応答スペクトル(曲線)

各階床面の応答波
(加速度時刻歴)



- ② ①で求めたそれぞれの各階床面の応答波ごとに, 短周期から長周期までの種々の固有周期に対して得られる最大応答加速度を求め, 基準地震動Ss8波等の各応答を包含するように結んだ床応答スペクトル(曲線)を作成する。

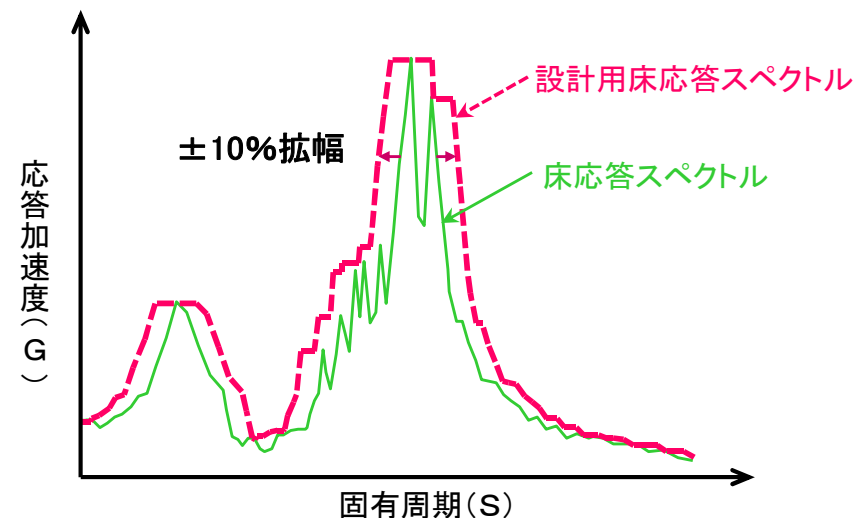
(2) 設計用床応答スペクトル(曲線)と設備評価用床応答曲線(イメージ)

床応答スペクトル(曲線)

- ③ ②で作成した床応答スペクトル(曲線)に変動因子による影響*を踏まえて周期軸方向に対して $\pm 10\%$ 拡幅することで、設計用床応答スペクトル(曲線)とする。

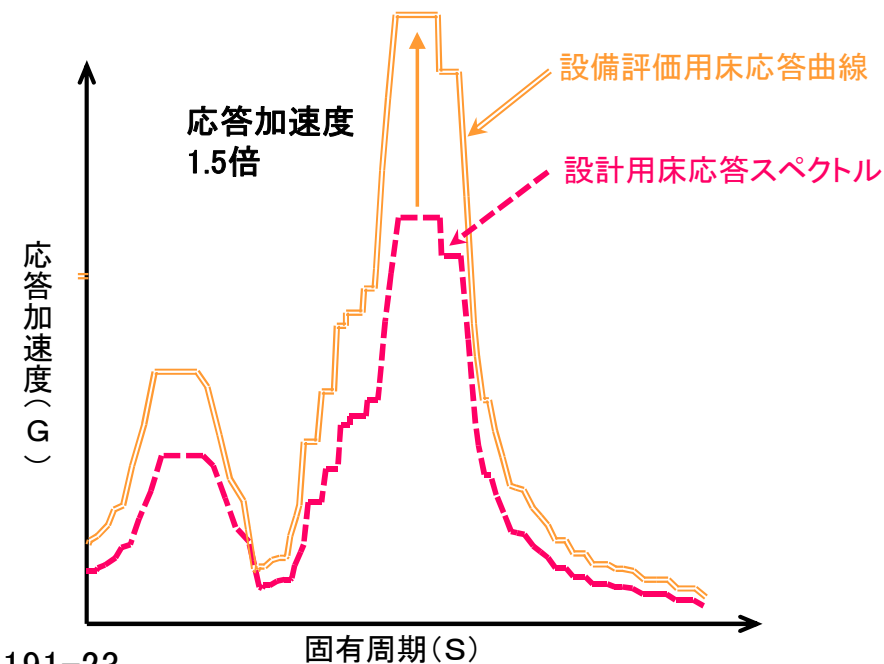
* 以下の変動因子を考慮

- ・地盤物性、建屋剛性
- ・地盤ばね定数の算出式及び減衰定数
- ・模擬地震波の位相特性、機器の固有周期のずれ 等



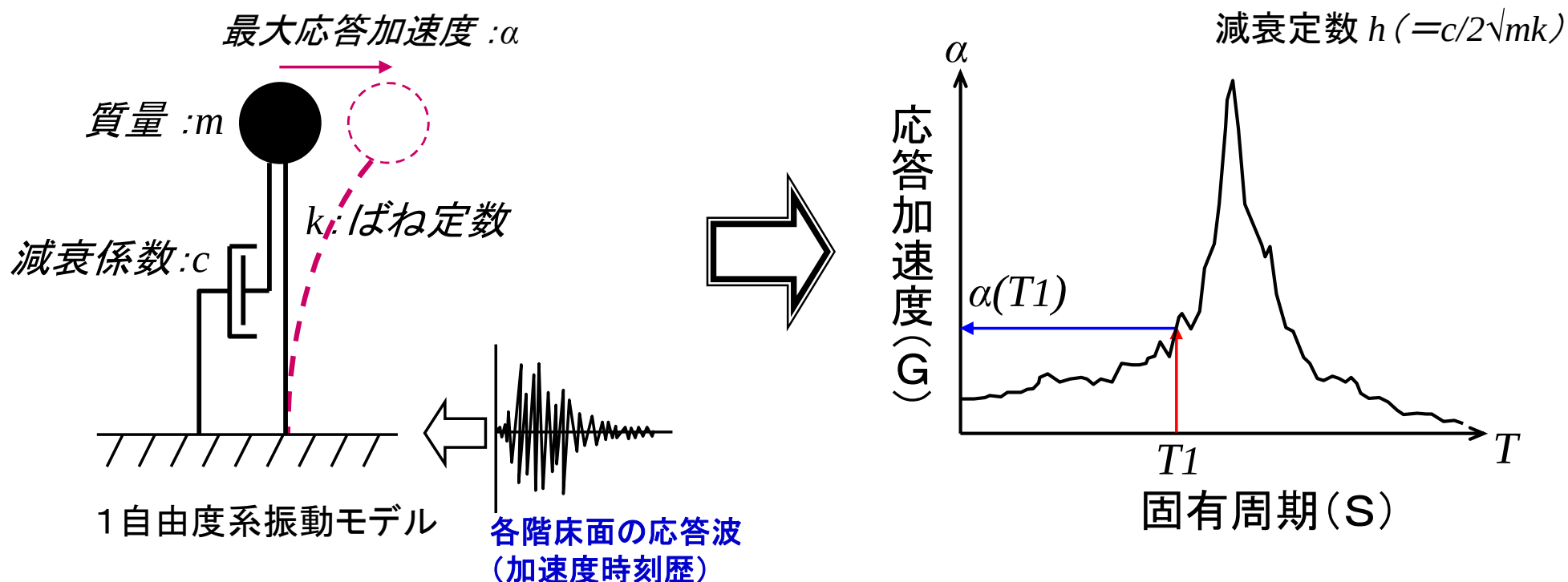
設計用床応答スペクトル(曲線)

- ④ 設計用床応答スペクトル(曲線)に裕度として応答加速度(震度)に1.5倍を見込み、設備評価用床応答曲線を作成する。



設備評価用床応答曲線

別図



- ① 質量(m)とばね定数(k)の関係から1自由度系振動モデルの固有周期($T1$)を定める。
- ② 1自由度系振動モデルの応答解析により固有周期($T1$)における最大応答加速度($\alpha(T1)$)を算出する。
- ③ 固有周期の一定の幅(例:0.05s~1.0s)に対して, ①~②を繰り返して行う。
- ④ 必要な減衰定数(例: $h=0.5\% \sim 5.0\%$)に対して, ①~③を繰り返して行う。

＜別紙9＞配管における高経年化対策上考慮すべき経年劣化事象

○高経年化技術評価において、着目すべき、若しくは着目すべきではない経年劣化事象として抽出した経年劣化事象を以下のとおり配管材質ごとに整理している。

なお、溶接部について考慮すべき経年劣化事象については、配管同等として評価を行っている。

①ステンレス鋼配管の経年劣化事象

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	配管の疲労割れ*
高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	温度計ウェルの高サイクル疲労割れ
	オリフィスの異物付着
	埋込金物(コンクリート埋設部)の腐食
	基礎ボルトの樹脂の劣化(後打ちケミカルアンカ)
	基礎ボルトの腐食(全面腐食)
	配管の貫粒型応力腐食割れ
	フランジボルト・ナットの腐食(全面腐食)
	オイルスナツバ、ハンガ及びレストレイントの腐食(全面腐食)
	埋込金物(大気接触部)の腐食(全面腐食)
	サポート取付ボルト・ナットの腐食(全面腐食)
	配管及び温度計ウェルの粒界型応力腐食割れ
	配管の腐食(全面腐食)
	オイルスナツバ及びハンガの機能低下
	ラグ及びレストレイントの疲労割れ

* 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出

②炭素鋼配管の経年劣化事象

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	配管の疲労割れ*
高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	オリフィス及びフローノズルの異物付着
	埋込金物(コンクリート埋設部)の腐食
	基礎ボルトの樹脂の劣化(後打ちケミカルアンカ)
	基礎ボルトの腐食(全面腐食)
	配管の腐食(流れ加速型腐食)*
	配管及びクローザージョイントの外表面及び内表面腐食(全面腐食)
	配管の外表面腐食(隙間腐食)
	二重管の外表面及び内表面腐食(全面腐食)
	埋込金物(大気接触部)の腐食(全面腐食)
	ラグ, レストレイント, オイルスナッパ, メカニカルスナッパ, ばね防振器及びハンガの腐食(全面腐食)
	フランジボルト・ナットの腐食(全面腐食)
	サポート取付ボルト・ナットの腐食(全面腐食)
	オイルスナッパ, メカニカルスナッパ, ばね防振器及びハンガの機能低下
	配管の内表面腐食(全面腐食)
	ラグ及びレストレイントの疲労割れ

* 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出

③低合金鋼配管の経年劣化事象

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	配管の高サイクル疲労割れ
	配管のクリープ
	埋込金物(コンクリート埋設部)の腐食
	基礎ボルトの樹脂の劣化(後打ちケミカルアンカ)
	基礎ボルトの腐食(全面腐食)
	配管の腐食(液滴衝撃エロージョン)
	サポート取付ボルト・ナットの腐食(全面腐食)
	埋込金物(大気接触部)の腐食(全面腐食)
	オイルスナッパ, ハンガ, ラグ及びレストレイントの腐食(全面腐食)
	配管の腐食(流れ加速型腐食)
	オイルスナッパ及びハンガの機能低下
	ラグ及びレストレイントの疲労割れ

【論点No.188】

耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象抽出の際の振動応答特性上「軽微若しくは無視」できるか否かの具体的な判断基準・判断方法について

【委員からの指摘事項等】

No.179

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

耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象について、振動応答特性上、又は強度上無視できない事象の場合抽出する旨記載されているが、剛性に関する振動応答特性についてどのように判断するのか。

* 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

【論点No.189】

運転開始後60年時点における経年劣化状況を踏まえた耐震評価及びその保守性について

【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.279

P.8,9

「特別点検, 劣化状況評価及び保守管理方針」
劣化状況評価参照

原子力発電所の寿命40+20年において、安全に稼動が維持出来るかどうか。特に地震等の予期しない外力が加わった時コントロール不能の状態にならないか、大変心配しています。(どの時点で地震の外力が加わるかによって、耐力に違いが生じるのではないのでしょうか。)弱点を有する施設(配管・ケーブル・炉心に直結したセンサーの劣化が一番心配です

「特別点検, 劣化状況評価及び保守管理方針」
劣化状況評価参照

No.924

2. P66

試験不可のボルトとは？

試験しなくても大丈夫なのですか？

「特別点検, 劣化状況評価及び保守管理方針」
特別点検参照

何万本位あるのですか？

* 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

【論点No.191】

配管に係る高経年化対策及び経年劣化を考慮した耐震評価の網羅性、保守性について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.1064

4, 配管の接続部についての評価がされていない。

P.10-14, 25-27

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

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.1132

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

・80kmの配管の摩耗, 25000カ所の溶接箇所劣化による切断の可能性: 2010年5月26日の報告では, 配管の誤接続により微量のトリチウムを含んだ水が排水されたと報告がありました。

原子炉は「パイプのお化け」で, 総延長80kmもの長い配管が25000カ所で溶接箇所されています。(p30)配管の誤接続だけでなく, 地震やテロで一カ所でも破損すれば, 冷却水が漏れ出します。冷却できなければ空焚き状態になります。電源や防波堤に問題がなくてもフクシマを再現する可能性があります。建築時に熟練の溶接工がすべての溶接を行っていないとの情報もあります。40年を経過して再稼働し続け, 溶接箇所をすべて問題なく管理することが可能でしょうか。加圧水型軽水炉と呼ばれるタイプの原子炉は, …(略)… 配管の中は157気圧, 320度という熱水が流れています。直径20センチ, 肉厚2センチの特殊合金パイプが20年持たずに摩耗していたのです。地震などが発生したら, 溶接部, とくに原子炉との接合部が切断される危険性が指摘されています。(p31) P.10-14, 25-27

加圧水型軽水炉も 沸騰水型原子炉も, 原子炉で蒸気を発生させて発電タービンを回す点や, 非常時に原子炉を停止させ冷却に移行させる過程は同じですので, 配管内部の摩耗も大きな違いはないものと思われ, 80kmに及ぶ特殊合金パイプの摩耗状態の判断の難しさもあります。 P.10-14, 25-27

※日本の発電用原子炉は, 沸騰水型原子炉(BWR)と加圧水型原子炉(PWR)があります。沸騰水型原子炉(BWR)である東海第二発電所原子炉施設は, 原子炉で熱した水を沸騰させ, その蒸気(放射性物質を含む)でタービンを回し, 発電機で発電します。タービンを回し終わった蒸気は, 復水器にてパイプ内の軽水(普通の水)で冷やされて水に戻り, 原子炉容器に戻され, 循環します。

参考資料は以下

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B2%B8%E9%A8%B0%E6%B0%B4%E5%9E%8B%E5%8E%9F%E5%AD%90%E7%82%89#/media/File:BoilingWaterReactor.gif>

* 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

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.1140

2. 運転期間の延長において、問題なのはパイプの溶接個所(数万カ所ある)の信頼性です。SUS材自体の組成のばらつきに加えて、溶接技術のばらつきを含めての複合信頼性の検証は出来ていないでしょう。SUS材の溶接のばらつきは技能熟練レベルによって大きく、日立製作所はこのために熟練技能者の育成のために、会社内の学校に溶接科を設けたほどです。

今後、別資料(論点No.200)で説明

No.1181

P.10-14, 25-27

原子力発電所には数え切れないほど無数の配管があります。その配管の接続部分は溶接ですから、古くなると腐食し、放射線が当たる部分はおのこ劣化が激しくひび割れ等を起こすと思います。また、原子力発電所施設全体の基準地震動が同じではありませんし、地震動は場所によって伝わり方が一律ではありませんから、溶接部分は特に危険が高くなると考えます。

P.22-24

P.10-14, 25-27

まして、東海第二は古い原発です。また、配管の全てをチェックすることは不可能です。このように、配管の危険性を考えると、そのチェックが完璧にできない限り地震による破壊の可能性を否定できないのではないのでしょうか。何よりも怖いのは配管ですし、福島第一原発においても、地震による配管への影響はまだ確認・検証されていません。東海第二は福島と同じタイプですので、この検証なしには再稼働は到底認められません。

P.10-14, 25-27