

[平成27年8月12日原子力安全専門部会資料2-1]

伊方発電所3号機
耐震裕度確保に係る取組みについて
(原子力安全専門部会資料[平成27年7月28日]の改訂)

平成27年8月28日
四国電力株式会社



目次

1. はじめに
2. 取組みの基本的な考え方
3. 対象設備
4. 検討の流れ
5. 耐震裕度評価結果(実力評価対象設備)
6. 実力評価(適用評価手法)
7. 実力評価例
8. 耐震性向上工事
9. 外部有識者による確認
10. まとめ

- 添付－1 耐震裕度評価結果(全195設備)
- 添付－2 実証試験(JNES試験)
- 添付－3 外部有識者による確認内容
- 添付－4 用語の定義

1. はじめに

- 当社は、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受け、愛媛県からご要請のありました「更なる揺れ対策」に対する取組みとして、耐震裕度向上を目指して、安全上重要な機能を有する設備(伊方3号機で全195設備)に対して耐震評価を行い、必要に応じて耐震性向上工事を実施している。
- 今回の評価内容の妥当性については第三者的な立場からの確認を得ることとしており、有識者2名を委員とした検討会を計9回開催した。
- 本資料は、伊方3号機の耐震裕度確保に係る取組み、検討会における確認結果について取りまとめたものである。

2. 取組みの基本的な考え方

- 今回の取組みは、地震に対して設備がどの程度の耐震裕度を有しているか定量的に確認するとともに、必要に応じて耐震性向上工事を実施することにより、発電所の安全性・信頼性を高めていくものである。
- このため、対象とする範囲は、当初の安全上重要な機能を有する設備(134設備)に加え、新規制基準対応として新たに設置した重大事故等対処設備のうち、安全上重要な機能を有する設備(61設備)を対象範囲とする。(全195設備)
- 工事計画認可申請における耐震評価(以下、「工認評価」という)は、設備の設計時に適用するため、余裕を持たせた評価となっており、まずこの評価により、対象設備について耐震安全性が確保されていること、すなわち、地震時においても、安全上重要な機能が損なわれないことを確認する。
- その上で、工認評価における耐震裕度が、設定裕度※を下回った場合は、適用実績のある詳細評価(以下、「実力評価」という)を実施し、耐震裕度(実力)が設定裕度を満足していることを確認する。本実力評価は、許認可上の規格基準体系から少し距離を置いたところで評価するものである。

※ 設定裕度：実力評価を実施する設備を選定する際の閾値であり、今回の評価にあたって基準とする裕度(1000ガル/650ガル)

2. 取組みの基本的な考え方

○ 工認評価とは

工認評価とは、規制基準に基づき、基準地震動を入力した時に、設備に発生する応力(発生値)が、規格基準で許容されている応力(評価基準値)を超えないこと(耐震裕度でいえば、「1以上」あること)を確認するものであり、通常、工認評価は設備の設計段階で実施するため、その後の製作、現地据付(建屋等、構築物への設置)における一定のバラツキを考慮して、設備の寸法や評価モデル等を安全側に設定することで、余裕を持った評価となっている。

○ 実力評価とは

工認評価において、耐震裕度が、設定裕度(1000ガル/650ガル)を満足しない場合、実力評価を実施する。この評価は、許認可上の規格基準体系から少し距離を置いたところで実施するものであり、既に製作、現地に設置された設備に対して、地震時に発生する応力やその挙動を踏まえたものである。具体的には、現実的な寸法や評価モデルの精緻化、解析プログラムによる評価並びに実証試験で確認されたデータ等に基づき、算定した耐震裕度(実力)が設定裕度を満足できることを確認している。

3. 対象設備

安全上重要な機能を有する設備(当初対象設備)

No.	機器名 [耐震Sクラス設備]
1	原子炉容器
2	炉内構造物
3	炉内構造物のうち制御棒クラスタ案内管
4	炉心支持構造物
5	燃料集合体
6	原子炉容器支持構造物
7	原子炉容器支持構造物埋込金物
8	蒸気発生器
9	蒸気発生器内部構造物
10	蒸気発生器支持構造物
11	蒸気発生器支持構造物埋込金物
12	一次冷却材ポンプ
13	一次冷却材ポンプ支持構造物
14	一次冷却材ポンプ支持構造物埋込金物
15	加圧器
16	加圧器支持構造物
17	加圧器支持構造物埋込金物
18	加圧器ヒータ
19	一次冷却材管
20	再生熱交換器
21	充てんポンプ・原動機
22	封水注入フィルタ
23	余熱除去冷却器
24	余熱除去ポンプ・原動機
25	高圧注入ポンプ・原動機
26	蓄圧タンク
27	原子炉補機冷却水冷却器
28	原子炉補機冷却水ポンプ・原動機
29	原子炉補機冷却水サージタンク
30	海水ポンプ・原動機
31	海水ストレーナ
32	燃料取替用水タンク
33	格納容器再循環サンブスクリーン
34	制御棒クラスタ
35	制御棒クラスタ駆動装置
36	ほう酸ポンプ・原動機
37	ほう酸タンク
38	ほう酸フィルタ
39	炉内計装引出管
40	主盤および原子炉補助盤
41	制御用空気圧縮機・原動機
42	制御用空気だめ
43	燃料取替用水タンクポンプ・原動機
44	使用済燃料ラック
45	格納容器高レンジエリアモニタ
46	アニュラス排気ファン・原動機

No.	機器名 [耐震Sクラス設備]
47	中央制御室空調ファン・原動機
48	中央制御室非常用給気ファン・原動機
49	中央制御室再循環ファン・原動機
50	安全補機室排気ファン・原動機
51	アニュラス排気フィルタユニット
52	中央制御室非常用給気フィルタユニット
53	安全補機室排気フィルタユニット
54	原子炉格納容器本体
55	機器搬入口
56	エアロック
57	格納容器貫通部
58	アニュラスシール
59	格納容器スプレイ冷却器
60	格納容器スプレイポンプ・原動機
61	よう素除去薬品タンク
62	pH調整貯蔵タンク
63	真空逃がし装置
64	格納容器排気筒
65	電動補助給水ポンプ・原動機
66	タービン動補助給水ポンプ・駆動用タービン
67	補助給水タンク
68	非常用DG 内燃機関
69	非常用DG 始動空気だめ
70	非常用DG 燃料油サービスタンク
71	非常用DG 発電機
72	直流電源装置
73	一次冷却設備配管・サポート
74	主蒸気設備配管・サポート
75	主給水設備配管・サポート
76	余熱除去設備配管・サポート
77	安全注入設備配管・サポート
78	原子炉格納容器スプレイ設備配管・サポート
79	化学体積制御設備配管・サポート
80	その他配管・サポート
81	動力変圧器
82	制御用空気除湿装置吸着塔
83	一般弁
84	ゴムダイヤフラム弁
85	主蒸気隔離弁操作用電磁弁
86	加圧器安全弁
87	主蒸気安全弁
88	主蒸気逃がし弁
89	制御棒(挿入性)
90	制御室退避時制御盤
91	安全保護系計器ラック盤
92	安全保護系ロジック盤

No.	機器名 [耐震Sクラス設備]
93	安全防護系シーケンス盤
94	ソレノイド分電盤
95	ディーゼルコントロールセンタ
96	ディーゼル発電機盤
97	タービン動補助給水ポンプ起動盤
98	メタクラ
99	パワーセンタ
100	原子炉コントロールセンタ
101	ドロップ盤
102	直流コントロールセンタ
103	直流分電盤
104	充電器盤
105	計装用インバータ盤
106	計装用分電盤
107	計装用切替器盤
108	制御用空気圧縮機盤
109	海水ポンプ現場盤
110	原子炉補機冷却水ポンプ現場盤
111	電動補助給水ポンプ現場盤
112	充てんポンプ現場盤
113	ほう酸ポンプ現場盤
114	高圧注入ポンプ現場盤
115	格納容器スプレイポンプ現場盤
116	余熱除去ポンプ現場盤
117	燃料取替用水タンクポンプ現場盤
118	制御用地震計
119	ディーゼル発電機電圧計
120	蒸気発生器水位計
121	主蒸気ライン圧力計
122	1次冷却材高温側および低温側温度計
123	1次冷却材圧力計
124	加圧器水位計
125	格納容器圧力計
126	余熱除去ポンプ出口流量計
127	制御用空気供給母管圧力計
128	燃料取替用水タンク水位計
129	加圧器圧力計

No.	機器名 [波及的影響を考慮する設備]
130	使用済燃料ピットクレーン
131	燃料取扱棟クレーン
132	格納容器ボーラクレーン

No.	機器名 [緊急安全対策設備]
133	電源車
134	消防自動車

3. 対象設備

重大事故等対処設備設備(61設備)

No.	設備名 [安全上重要な主な重大事故等対処設備]
135	使用済燃料ピット水位(AM)
136	使用済燃料ピット温度(AM)
137	使用済燃料ピット広域水位(AM)
138	中型ポンプ車
139	加圧ポンプ車
140	大型ポンプ車
141	大型ポンプ車(泡混合機能付)
142	大型放水砲
143	小型放水砲
144	窒素ポンベ(加圧器逃がし弁用)
145	可搬型代替冷却水ポンプ
146	原子炉トリップ遮断器
147	窒素ポンベ(原子炉補機冷却水サージタンク用)
148	多様化自動作動設備盤(ATWS緩和設備)
149	線源領域計測装置
150	中間領域計測装置
151	出力領域計測装置
152	高圧注入ライン流量
153	原子炉容器水位
154	格納容器内圧力(AM)
155	格納容器水素濃度計測装置
156	格納容器内温度
157	代替格納容器スプレイライン積算流量(AM)
158	格納容器スプレイラインB積算流量
159	格納容器再循環サンプル水位(広域)
160	格納容器再循環サンプル水位(狭域)
161	格納容器水位

No.	設備名 [安全上重要な主な重大事故等対処設備]
162	原子炉下部キャビティ水位
163	アニュラス水素濃度(AM)計測装置
164	窒素ポンベ(アニュラス排気系空気作動弁用)
165	補助給水ライン流量
166	原子炉補機冷却水サージタンク水位
167	原子炉補機冷却水サージタンク加圧ライン圧力計
168	補助給水タンク水位
169	ほう酸タンク水位
170	可搬型温度計測装置(格納容器再循環ユニット入口/出口用)
171	代替格納容器雰囲気ガスサンプリング圧縮装置
172	中央制御室空調ユニット
173	代替格納容器スプレイポンプ
174	格納容器再循環ユニット
175	静的触媒式水素再結合装置
176	静的触媒式水素再結合装置作動温度計測装置
177	イグナイタ
178	イグナイタ作動温度計測装置
179	300kVA電源車
180	可搬型直流電源装置
181	重油タンク
182	軽油タンク
183	ミニローリー
184	代替電源設備受電盤
185	代替動力変圧器
186	燃料油貯油槽
187	蓄電池C
188	加圧器逃がし弁用可搬型蓄電池

No.	設備名 [災害時の指揮、支援に要する主な重大事故等対処設備]
189	安全パラメータ表示システム
190	SPDS表示端末
191	緊急時対策所用発電機
192	緊急時対策所空気浄化ファン
193	緊急時対策所空気浄化フィルタユニット
194	緊急時対策所加圧装置
195	緊急時対策所

4. 検討の流れ



工認評価※(基準地震動Ss-1(650ガル)を含む
11波を入力)の結果から、耐震裕度を確認する。

※ 工認評価は、設備の設計時に適用するため、余裕を持たせた評価である。
本評価により、全195設備について耐震安全性が確保されていることを確認。

設定裕度(1000ガル/650ガル)を下回った場合(24設備)は、実力評価を実施する。

実力評価にあたっては、

- ① 当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ② 他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ③ 現在制定されている日本電気協会規格による手法(公衆審査終了済の改定版含む)

を用いる。

(上記手法は原子力安全専門部会(平成25年10月16日)にてご確認頂いた手法)

耐震裕度(実力)が設定裕度を満足していることを確認する。

5. 耐震裕度評価結果(実力評価対象設備)(1/3)

工認評価で設定裕度を満足しなかった設備(24設備)について実力評価の結果を以下に示す。

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事 有:○	
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震裕度 (実力) ^{※1}	適用評 価手法		
1	原子炉容器	管台	膜応力+ 曲げ応力	MPa	289	422	1.46	実力評価例 (p15)参照		ⓑ	1.54 以上	①②	
2	炉内構造物	ラジアル サポート	膜応力+ 曲げ応力	MPa	307	372	1.21	-	-	-	-		
			崩壊荷重	kN	-	-	-	1,529	3,158	Ⓐ	2.06 ^{※2}	①②③	
5	燃料集合体	制御棒案内シ ンプル	膜応力+ 曲げ応力	MPa	149	194	1.30	-	-	ⓒ	1.54 以上	①②	
7	原子炉容器支持構造物埋込 金物	スタッド	せん断	kN	29,170	35,025	1.20	18,699	35,025	Ⓐ	1.87	①②	
8	蒸気発生器	管台	膜応力+曲 げ応力	MPa	270	413	1.52	実力評価例 (p15)参照		ⓑ	1.54 以上	①②	
9	蒸気発生器内部構造物	伝熱管	膜応力+曲 げ応力	MPa	440	481	1.09	298	481	Ⓐ	1.61	①②	
10	蒸気発生器支持構造物	支持脚	支圧	MPa	336	426	1.26	272	426	Ⓐ	1.56	①②	
11	蒸気発生器支持構造物埋込 金物	支持脚 埋込金物 コンクリート	引張	kN	5,371	6,536	1.21	3,870	6,536	Ⓐ	1.68	①②	
12	一次冷却材ポンプ	軸受	荷重	kN	1,040	1,569	1.50	873	1,569	Ⓐ	1.79	③	
14	一次冷却材ポンプ支持構造 物埋込金物	上部支持構 造物埋込金 物基礎ボルト	引張	MPa	410	516	1.25	317	516	Ⓐ	1.62	①②	

※1: 耐震裕度(実力)については、Ⓐ ~ ⓒ の3区分に分類(添付-4参照)

※2: 部材(材料)の降伏点に着目した精緻化評価により評価基準値(実力)を求め、耐震裕度(実力)を算出

5. 耐震裕度評価結果(実力評価対象設備)(2/3)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事 有:○	
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震裕度 (実力)	適用評 価手法		
34	制御棒クラスタ	被覆管	膜応力+曲 げ応力	MPa	442	585	1.32	—	—	Ⓒ	1.54 以上	①②	
35	制御棒クラスタ駆動装置	タイロッド	せん断応力	MPa	161	219	1.36	109	219	Ⓐ	2.00	①②③	
43	燃料取替用水タンクポンプ・ 原動機	軸位置	機能損傷	G	0.83	1.0	1.20	0.83	2.0	Ⓐ	2.4	③	
44	使用済燃料ラック	溶接部	せん断応力	MPa	103	118	1.14	76	118	Ⓐ	1.55	①②	
54	原子炉格納容器本体	胴部	座屈	—	0.89	1	1.12	—	—	—	—		
				MN	—	—	—	91.85	174.1	Ⓐ	1.89*	②	
58	アニュラスシール	根太	曲げ応力	MPa	275	276	1.00	83	276	Ⓐ	3.32	①②③	
64	格納容器排気筒	本体	曲げモー メント	N・m	143400	202200	1.41	25200	202200	Ⓐ	8.02	①②③	○
66	タービン動補助給水ポンプ・ 駆動用タービン	弁箱	機能損傷	G	0.74	1.0	1.35	0.74	2.0	Ⓐ	2.70	③	
80	その他配管・サポート	本体	一次応力	MPa	343	468	1.36	111	468	Ⓐ	4.21	①②③	○
83	一般弁	据付位置	機能損傷	G	4.2	6.0	1.42	4.2	9.5	Ⓐ	2.26	②	

※：部材（材料）の降伏点に着目した精緻化評価により評価基準値(実力)を求め、耐震裕度(実力)を算出

5. 耐震裕度評価結果(実力評価対象設備)(3/3)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○	
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震裕度 (実力)	適用評 価手法		
85	主蒸気隔離弁操作用電磁弁	据付位置	機能損傷	G	1.5	2.2	1.46	1.5	6.1	(A)	4.06	②	
87	主蒸気安全弁	据付位置	機能損傷	G	2.8	3.0	1.07	1.9	3.0	(A)	1.57	①②③	
89	制御棒(挿入性)	挿入性		秒	2.39	2.5	1.21	—	—	(C)	1.54 以上	①②	
175	静的触媒式水素再結合装置	本体	組合せ応力	MPa	140	208	1.48	127	208	(A)	1.63	①②	

6. 実力評価(適用評価手法)(1/4)

- 実力評価にあたっては、原子力専門部会(平成25年10月16日)にてご確認いただいた手法を用いて実施している。
- 以下に実力評価の概要と考え方について示す。

<適用評価手法>

- ①: 当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ②: 他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ③: 現在制定されている日本電気協会規格による手法(公衆審査終了済の改定版含む)

	対象設備	実力評価の概要	適用評価手法	実力評価に適用することの考え方
1 8	原子炉容器 蒸気発生器	工認評価では地震と地震以外による応力を足し合わせて評価しているが、実力評価では地震による応力に着目して評価	①②	地震による応力に着目した耐震裕度による評価は、伊方3号機ストレステストにおける原子炉容器の耐震評価で実績があり、同様な手法を用いて評価できると判断した。
2	炉内構造物	工認評価ではスペクトルモーダル解析を用いて評価しているが、実力評価では時刻歴解析および極限解析を用いて評価	①②③	時刻歴解析は従来から耐震評価に用いられている評価手法で、伊方3号機建設工認では炉内構造物の耐震評価で実績があり、同様な手法を用いて評価できると判断した。 また、極限解析は、JEAC4601-2008に記載されている許容値算定方法であり、適切な評価手法である。
5 34 89	燃料集合体 制御棒クラスタ 制御棒(挿入性)	工認評価では燃料集合体応力解析等を用いて評価しているが、実力評価ではJNES試験にて得られた制御棒挿入性の試験結果を用いて評価	①②	JNES試験は制御棒が問題なく挿入できることを確認した加振試験であり、伊方3号機のストレステストにおける制御棒(挿入性)、燃料集合体、制御棒クラスタの評価で実績があり、本試験結果を用いて評価できると判断した。
7 10 11 14	原子炉容器支持構造物埋込金物 蒸気発生器支持構造物 蒸気発生器支持構造物埋込金物 一次冷却材ポンプ支持構造物埋込金物	工認評価では地震応答解析により算出された荷重を割増した値を用いて各部位の強度(応力)評価を実施しているが、実力評価では既に設計施工済の設備の評価であることを踏まえ、地震応答解析により算出された荷重をそのまま用いて評価	①②	設備にかかる実質的な地震力を算出するために、割増しせずに荷重を用いることは適切な評価手法である。伊方3号機のストレステストにおける重機器支持構造物の耐震評価で実績があり、当該設備も同様な手法を用いて評価できると判断した。

6. 実力評価(適用評価手法)(2/4)

<適用評価手法>

- ①: 当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ②: 他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ③: 現在制定されている日本電気協会規格による手法(公衆審査終了済の改定版含む)

	対象設備	実力評価の概要	適用事例	実力評価に適用することの考え方
9	蒸気発生器内部構造物	工認評価では地震応答解析の入力として設計用床応答曲線を用いてスペクトルモーダル解析を実施しているが、実力評価では地震応答解析の入力として建屋応答解析結果より求まる床応答スペクトルを直接用いてスペクトルモーダル解析を実施し、実質的な地震力を算出している。また、板厚については寸法公差を考慮した最小板厚から公称板厚へ見直して評価	①②	地震応答解析の入力として建屋応答解析結果より求まる床応答スペクトルを直接用いることは伊方3号機のストレステストにおける蒸気発生器の耐震評価で実績があり、当該設備も同様な手法を用いて評価できると判断した。また、公称板厚の適用についても、伊方3号機のストレステストにおける蒸気発生器の耐震評価で実績がある。
12	一次冷却材ポンプ	工認評価では鉛直上向きのスラスト荷重を自重が下向きに作用することを考慮せずに評価しているが、実力評価では自重が下向きに作用することを考慮して評価	③	自重が下向きに作用することを考慮した評価は従来から耐震評価に用いられている適切な評価手法である。様々な機器にて適用実績があり、JEAC4601-2008に記載の基礎ボルト評価式では自重が下向きに作用した評価式となっており、同様な手法を用いて評価できると判断した。
35	制御棒クラスタ駆動装置	工認評価ではせん断荷重の作用する断面積を実際よりも保守的な(小さい)面積にて評価しているが、実力評価では実際のせん断荷重の作用する断面積を用いて評価	①②③	せん断荷重の作用する断面積に実際の断面積を用いることは従来から耐震評価に用いられている適切な評価手法である。伊方3号機ストレステストにおける制御棒クラスタ駆動装置の耐震評価で実績があり、同様な手法を用いて評価できると判断した。
43 66	燃料取替用水タンクポンプ・原動機 タービン動補給水ポンプ・駆動用タービン	工認評価ではJEAC4601-2008に記載の機能維持確認済加速度を用いて評価しているが、実力評価では今後改訂されるJEAC4601(公開審査済)に記載の新機能維持確認済加速度を用いて評価	③	新機能維持確認済加速度は試験あるいは解析にて機能を維持できることが確認された加速度であり、今後改訂されるJEAC4601(公開審査済)に記載の本加速度を用いて評価できると判断した。
44	使用済燃料ラック	工認評価では地震応答解析の入力として設計用床応答曲線を用いてスペクトルモーダル解析を実施しているが、実力評価では地震応答解析の入力として建屋応答解析結果より求まる床応答スペクトルを直接用いてスペクトルモーダル解析を実施し評価	①②	地震応答解析の入力として建屋応答解析結果より求まる床応答スペクトルを直接用いることは伊方3号機のストレステストにおける蒸気発生器の耐震評価で実績があり、当該設備も同様な手法を用いて評価できると判断した。

6. 実力評価(適用評価手法)(3/4)

<適用事例>

- ①: 当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ②: 他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ③: 現在制定されている日本電気協会規格による手法(公衆審査終了済の改定版含む)

	対象設備	実力評価の概要	適用事例	実力評価に適用することの考え方
54	原子炉格納容器本体	工認評価では原子力発電所耐震設計技術指針 JEA4601-1987(日本電気協会)に記載の座屈評価式にて評価しているが、実力評価ではFEM(有限要素法)を用いて評価	②	FEMは精緻な評価が実施できる有用な数値解析法として、設備・構築物の力学解析をはじめ、理工学分野で広く用いられている手法である。 もんじゅのバックチェックにおける格納容器の座屈評価や、伊方3号機のストレステストにおける蒸気発生器の耐震評価で実績があり、同様な手法を用いて評価できると判断した。
58	アニュラスシール	工認評価では材料力学ベースの公式を用いて評価しているが、実力評価ではFEM解析を用いて評価	①②③	FEM解析は従来から耐震評価に用いられている適切な評価手法である。 今回適用するFEM解析は、伊方3号機 格納容器再循環サンプスクリーン取替工事における工認の耐震評価で実績があり、同様な手法を用いて評価できると判断した。
64	格納容器排気筒	工認評価では排気筒に生ずるモーメントが許容モーメント以下となるように最大の支持間隔を求め、この支持間隔以内で支持することで評価しているが、実力評価では実際の支持間隔を用いて評価	①②③	実際の支持間隔を用いて評価することは従来から耐震評価に用いられている適切な評価手法である。 伊方3号機バックチェックにおける低温配管の耐震評価で実績があり、同様な手法を用いて評価できると判断した。
80	その他配管・サポート	工認評価では配管に生ずる応力が許容応力以下となるように最大の支持間隔を求め、最大支持間隔以内で支持することで設計しているが、今回は3次元はりモデルにて配管を個別に評価	①②③	3次元はりモデルによる評価は従来から高温及び低温配管の耐震評価に用いられている適切な評価手法である。 伊方3号機の建設・改造工認においても多数の配管の評価実績があり、本手法を用いて評価できると判断した。
83 85	一般弁 主蒸気隔離弁操作電磁弁	工認評価ではJEA4601-2008に記載の機能維持確認済加速度にて評価しているが、実力評価では「平成19年度 原子力施設の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その4(弁)に係る報告書」(独立行政法人原子力安全基盤機構発行)に記載の加振試験にて確認された機能維持確認済加速度を用いて評価	②	実機試験において動的機能が維持できることが確認された加速度を用いることは、適切な評価手法である。 高浜3/4号の工認申請において同様な評価を実施しており、本手法を用いて評価できると判断した。

6. 実力評価(適用評価手法)(4/4)

<適用事例>

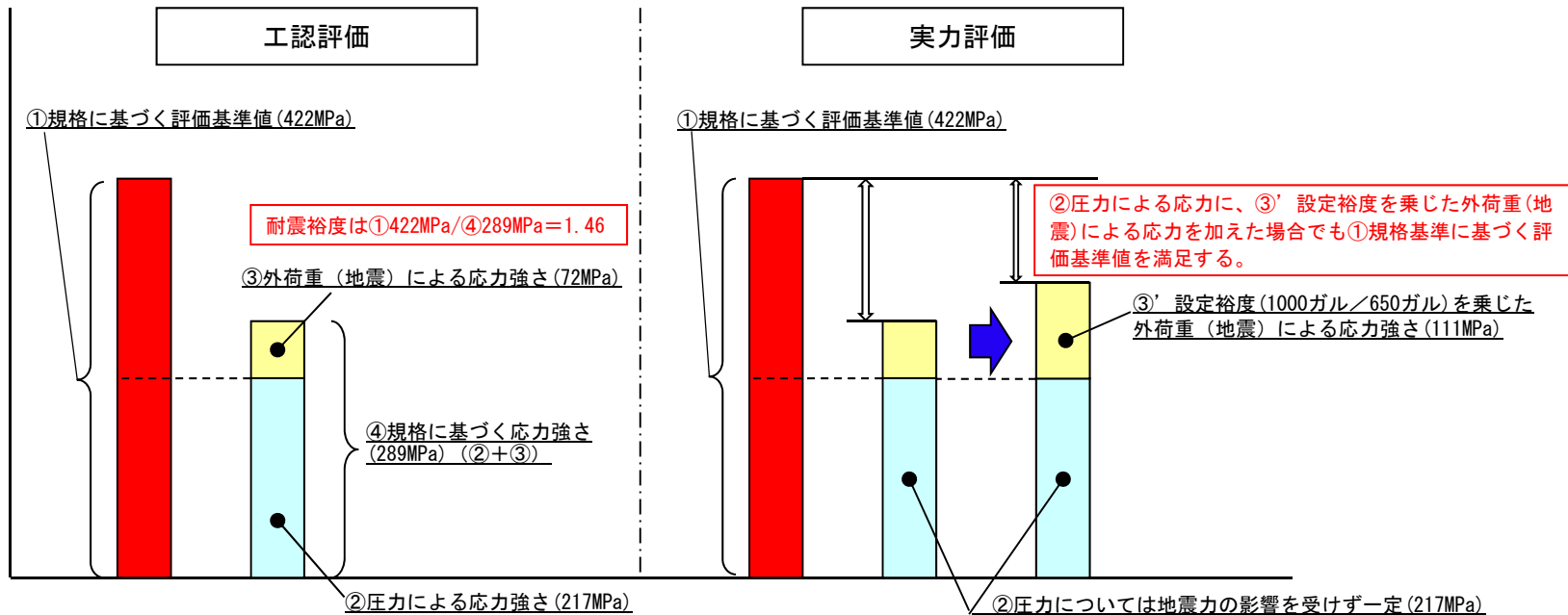
- ①: 当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ②: 他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
- ③: 現在制定されている日本電気協会規格による手法(公衆審査終了済の改定版含む)

	対象設備	実力評価の概要	適用事例	実力評価に適用することの考え方
87	主蒸気安全弁	工認評価ではスペクトルモーダル解析を用いて評価しているが、実力評価では時刻歴解析を用いて評価	①②③	時刻歴解析は従来から耐震評価に用いられている適切な評価手法である。 伊方3号機バックチェックにおける主蒸気配管の耐震評価で実績があり、当該設備も同様な手法を用いて評価できると判断した。
175	静的触媒式水素再結合装置	工認評価では静的触媒式水素再結合装置が設置されている架構の地震応答解析の入力として、設計用床応答曲線を用いてスペクトルモーダル解析を実施しているが、実力評価では地震応答解析の入力として建屋応答解析結果より求まる床応答スペクトルを直接用いるとともにX、Y方向別々にスペクトルモーダル解析を実施し、実質的な地震力を算出して評価	①②	地震応答解析の入力として建屋応答解析結果より求まる床応答スペクトルを直接用いることは伊方3号機のストレステストにおける蒸気発生器の耐震評価で実績があり、当該設備も同様な手法を用いて評価できると判断した。また、X、Y方向それぞれの入力を用いて地震応答解析を実施することについては、川内1、2号機使用済燃料ラック等の工認耐震評価で実績があり、同様な手法を用いて評価できると判断した。

7. 実力評価例(1原子炉容器、8蒸気発生器の実力評価概要)

- 原子炉容器、蒸気発生器などの管台について、工認評価では圧力による発生応力と外荷重(地震)による発生応力を合わせて、評価基準値以内であることを確認している。
- 圧力については地震動の影響を受けず一定であることから、実力評価では地震力に着目して設定裕度を乗じた外荷重(地震)の場合においても、評価基準値を満足することを確認した。

図1 実力評価方法のイメージ図(原子炉容器管台の例)



実力評価結果

設備名	①	②	③	③'	評価結果
1原子炉容器	422MPa	217MPa	72MPa	111MPa	①>②+③' (422MPa>328MPa)
8蒸気発生器	413MPa	243MPa	27MPa	42MPa	①>②+③' (413MPa>285MPa)

7. 実力評価例(2炉内構造物の実力評価概要)

- 炉内構造物のラジアルキーについて、工認評価ではスペクトルモーダル解析による応答解析(図1)にて算出された地震荷重を用いて、弾性応力解析を行い、発生応力が評価基準値以内であることを確認している。
- 実力評価では、時刻歴モーダル解析による応答解析にて算出された地震荷重と、JSME(CSS-3160)に従い実施したラジアルキーの極限解析(図2)により求まる崩壊荷重との比較により耐震裕度(実力)を確認した。

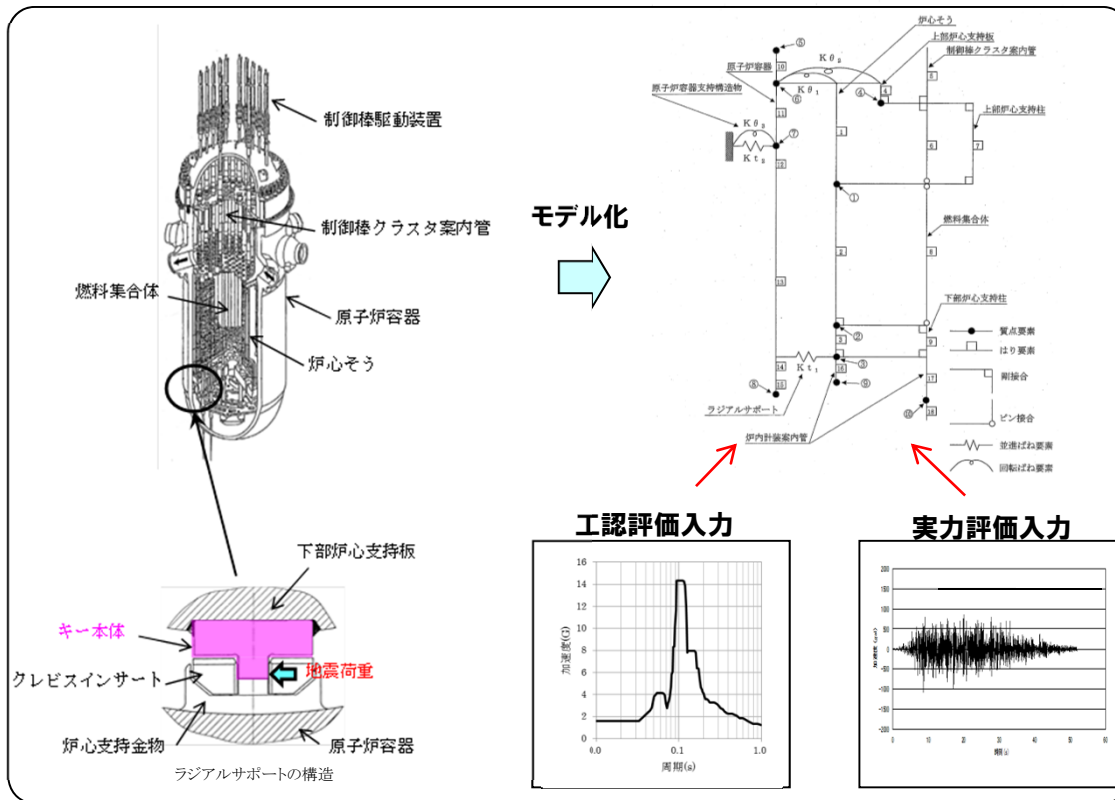


図1 応答解析のイメージ

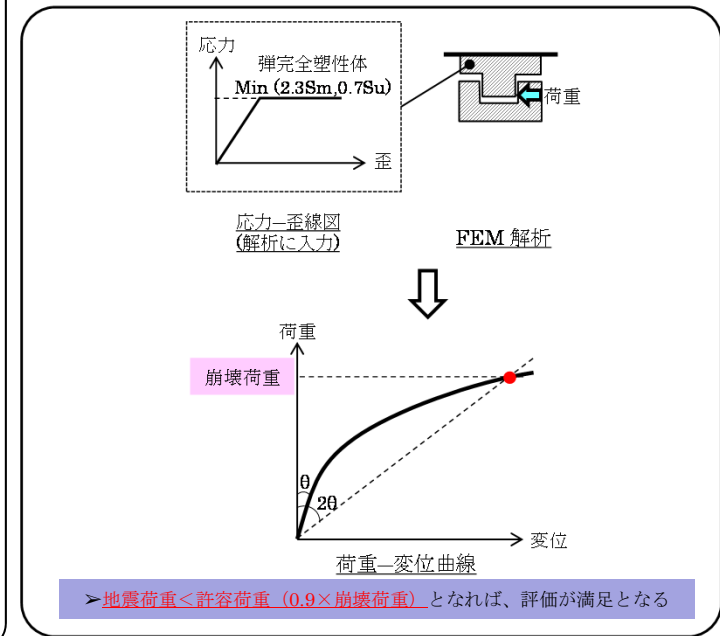


図2 極限解析のイメージ

7. 実力評価例(54原子炉格納容器本体の実力評価概要)

- 原子炉格納容器本体の座屈について、工認評価ではJEAC4601-2008の標準式「クラスMC容器における座屈の防止」を用いた評価を実施している。
- 実力評価では、FEM静的弾塑性座屈解析により基準地震動に対する座屈耐力を計算し、地震動レベルと座屈耐力を比較することで、耐震裕度(実力)を確認した。

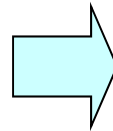
工認評価

【評価内容】

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


α_B : 安全率 = 1.5
 M : 曲げモーメント (水平地震による荷重)
 P : 軸圧縮荷重 (自重 + 鉛直地震荷重)
 Z : 格納容器断面係数
 A : 格納容器断面積
 f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力
 f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力

- 広範な座屈実験結果を基に定められた、弾性座屈に対する保守的な設計公式
- さらに、原子力発電所の耐震設計では、安全率1.5を考慮

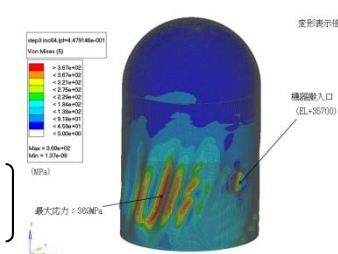


実力評価

【評価内容】



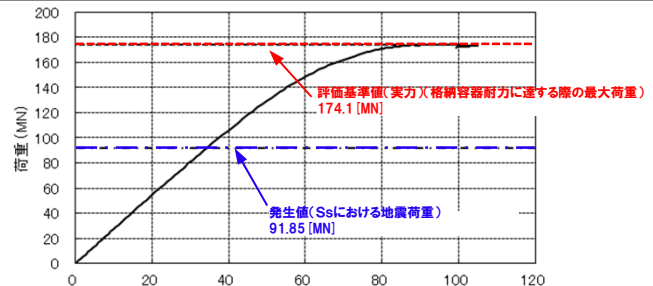
3次元FEM解析モデル



最大荷重時の変形・応力コンター図

地震荷重を漸増させ、設備にかかる力が格納容器耐力に達する際の最大荷重を算出


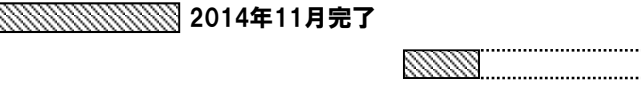
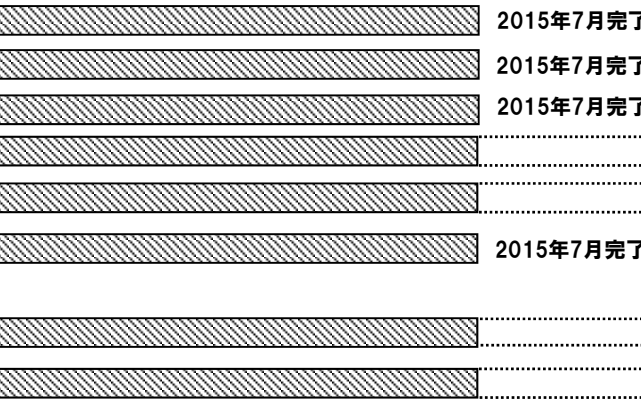


- 実機構造を精緻に再現した3次元FEMモデルを構築
- より詳細で高度な解析手法である、静的弾塑性座屈解析を実施



頂部変位 - 荷重関係 (水平方向)

8. 耐震性向上工事(1/3)

○旧基準地震動(570ガル)を用いて実施した概ね1000ガルに係る耐震性評価において裕度が少ない設備、また基準地震動の見直しに伴い耐震裕度が低下することを踏まえ、以下の設備について耐震性を向上させるための工事を実施している。

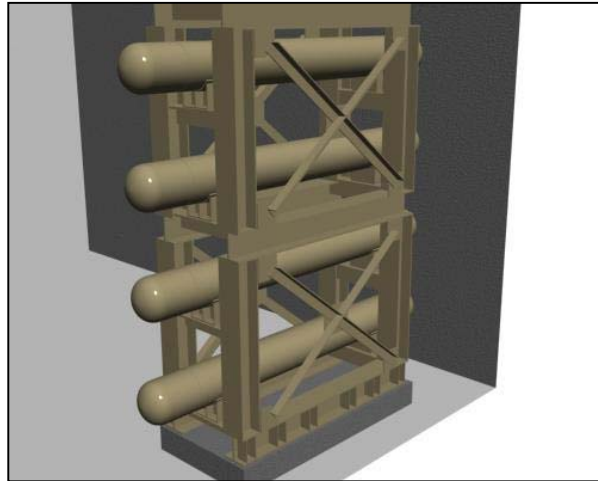
設備区分	対象設備	工事箇所数	工程 ※
タンク・熱交換器	○再生熱交換器 ○蓄圧タンク ○原子炉補機冷却水冷却器	8箇所	
空調設備	○アニュラス排気フィルタユニット ○格納容器排気筒	4箇所	
配管	○一次冷却設備配管・サポート ○主蒸気設備配管・サポート ○主給水設備配管・サポート ○余熱除去設備配管・サポート ○安全注入設備配管・サポート ○原子炉格納容器スプレイ設備配管・サポート ○化学体積制御設備配管・サポート ○その他配管・サポート	664箇所	
電源設備	○ドロツパ盤 ○充電器盤	4箇所	
その他設備	○使用済燃料ピットクレーン	1箇所	

※ 現在実施中の耐震性向上工事は、今年秋完了予定。

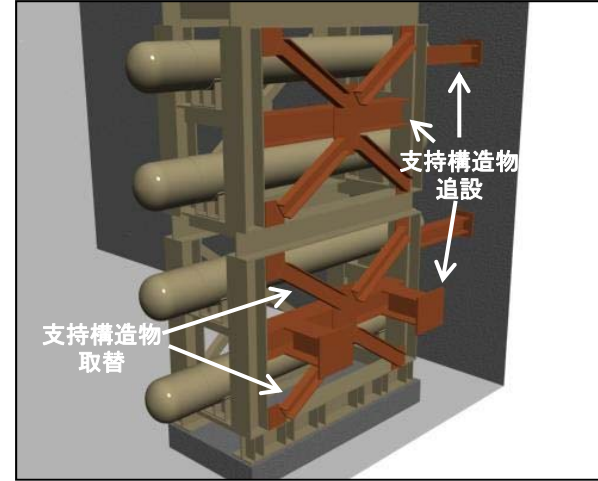
8. 耐震性向上工事(2/3)

<工事例>

再生熱交換器

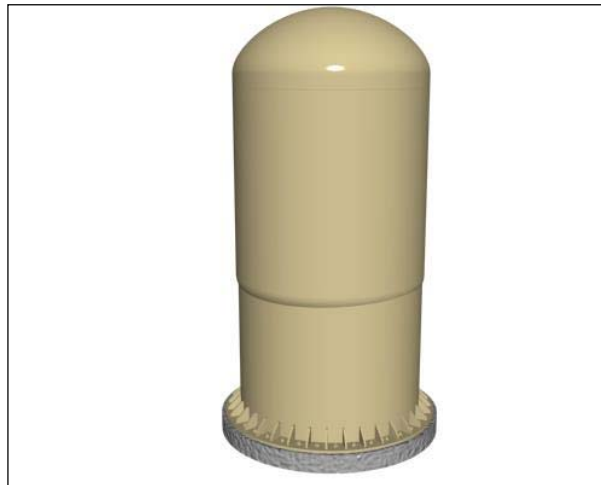


工事前

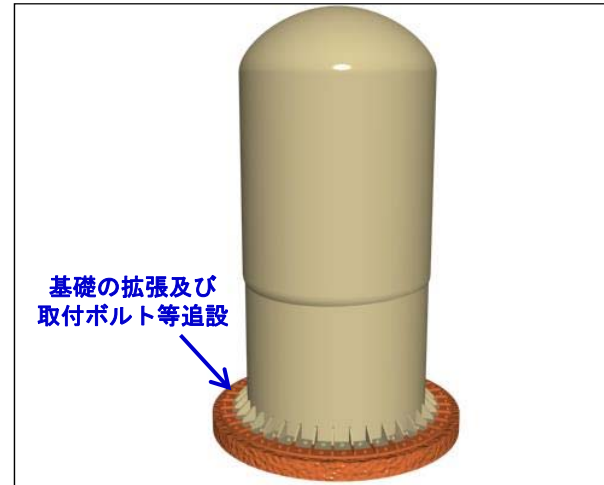


工事後

蓄圧タンク



工事前

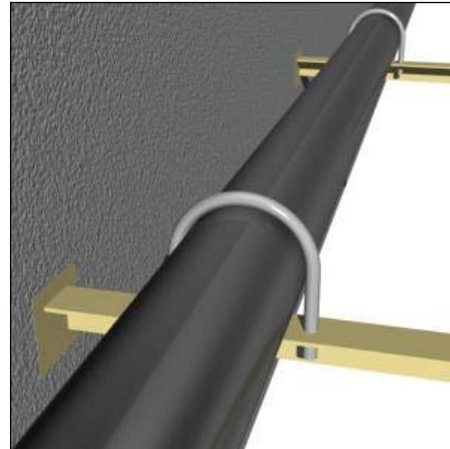


工事後

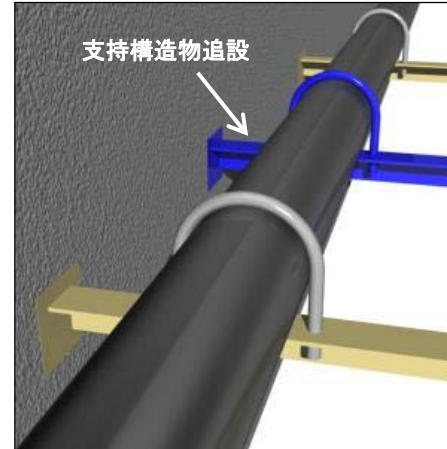
8. 耐震性向上工事(3/3)

<工事例>

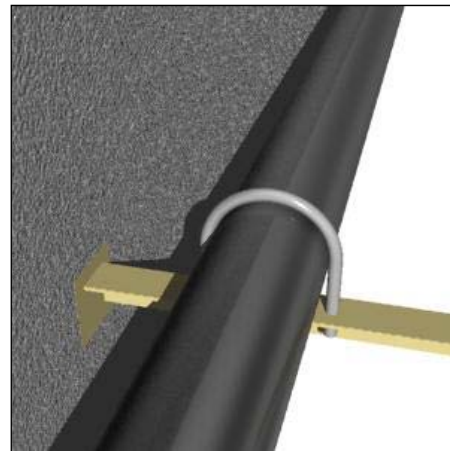
配管支持構造物



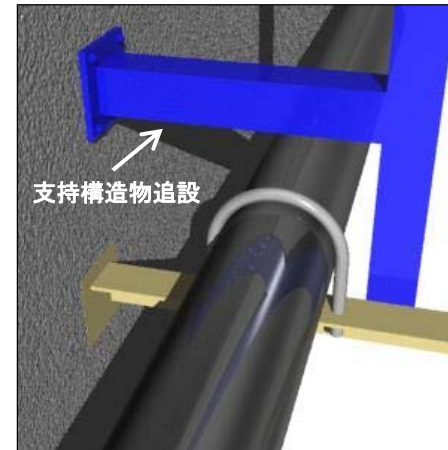
工事前



工事後



工事前



工事後

9. 外部有識者による確認

- 耐震裕度確保に係る評価内容について、第三者的な立場からの確認を得ることとし、外部有識者2名を委員とした検討会を9回開催した。
- 有識者からは、「今回の実力評価は、許認可上の規格基準体系から少し距離を置いたところで、発電所に既に設置されている設備に対して、地震時に発生するであろう応力や物理現象等に着目した、言うなれば、設備の実態に即した評価であると理解している。実力評価にあたっては、適用実績のある手法を使っており、この取組みに用いることに問題はないものとする。」との見解が示されている。

【有識者】

藤田 聡（ふじた さとし） 東京電機大学 工学部長
山口 篤憲（やまぐち あつのり） 日本保全学会 理事

【確認概要】

- ・取組みの全体について
- ・原子炉容器、蒸気発生器、原子炉格納容器等の実力評価について

10. まとめ

- 今回、基準地震動(基準地震動Ss-1(650ガル)を含む11波)を用いて、全195設備に対して、まず、工認評価を行い、耐震安全性が確保されていること、すなわち、地震時においても、安全上重要な機能が損なわれないことを確認しました。
- その上で、耐震裕度が、設定裕度(1000ガル/650ガル)を下回った場合、許認可上の規格基準体系から少し距離を置いたところで実力評価を行い、耐震裕度(実力)が設定裕度を満足していることを確認しました。
- 今回の取組みは、地震に対して設備がどの程度の耐震裕度(実力)を有しているか定量的な確認を行い、必要に応じて耐震性向上工事を実施することで、自主的に発電所の安全性を高めていくものであり、今後とも県民の皆さまにご安心いただけるよう、規制の動きや最新の知見等を取り入れながら、このような取組みを継続的に行って参ります。
- 県民の皆さまに対しては、まず規制基準に基づく工認評価において耐震安全性が確保されていることを説明するとともに、今回の評価の趣旨やプロセスを含め丁寧な対応に心掛けて参ります。

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
1	原子炉容器	管台	膜応力+ 曲げ応力	MPa	289	422	1.46	実力評価例 (p15)参照		1.54 以上	①②	
2	炉内構造物	ラジアル サポート	膜応力+ 曲げ応力	MPa	307	372	1.21	-	-	-		
			崩壊荷重	kN	-	-	-	1,529	3,158	2.06*	①②③	
3	炉内構造物のうち制御棒ク ラスト案内管	案内管	膜応力+ 曲げ応力	MPa	43	391	9.09					
4	炉心支持構造物	下部炉心支持 柱取付ボルト	膜応力+ 曲げ応力	MPa	308	483	1.56					
5	燃料集合体	制御棒案内シ ンプル	膜応力+ 曲げ応力	MPa	149	194	1.30	-	-	1.54 以上	①②	
6	原子炉容器支持構造物	サポートシュ	支圧	MPa	239	465	1.94					
7	原子炉容器支持構造物埋込 金物	スタッド	せん断	kN	29,170	35,025	1.20	18,699	35,025	1.87	①②	
8	蒸気発生器	管台	膜応力+曲 げ応力	MPa	270	413	1.52	実力評価例 (p15)参照		1.54 以上	①②	
9	蒸気発生器内部構造物	伝熱管	膜応力+ 曲げ応力	MPa	440	481	1.09	298	481	1.61	①②	
10	蒸気発生器支持構造物	支持脚	支圧	MPa	336	426	1.26	272	426	1.56	①②	

※：部材（材料）の降伏点に着目した精緻化評価により評価基準値(実力)を求め、耐震裕度(実力)を算出

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
11	蒸気発生器支持構造物埋込金物	支持脚 埋込金物 コンクリート	引張	kN	5,371	6,536	1.21	3,870	6,536	1.68	①②	
12	一次冷却材ポンプ	軸受	荷重	kN	1,040	1,569	1.50	873	1,569	1.79	③	
13	一次冷却材ポンプ支持構造物	上部支持構 造物用スナ バタイホルト	引張応力	MPa	248	477	1.92					
14	一次冷却材ポンプ支持構造物埋込金物	上部支持構 造物埋込金 物基礎ボルト	引張	MPa	410	516	1.25	317	516	1.62	①②	
15	加圧器	管台	膜応力+ 曲げ応力	MPa	199	405	2.03					
16	加圧器支持構造物	サポートパイ プ	圧縮応力	MPa	59	277	4.69					
17	加圧器支持構造物埋込金物	下部支持構 造部コンクリート	引張応力	kN	2275	8390	3.68					
18	加圧器ヒータ	シース	膜応力+ 曲げ応力	MPa	47	388	8.25					
19	1次冷却材管	管台	膜応力+ 曲げ応力	MPa	171	383	2.23					
20	再生熱交換器	支持脚	組合せ応力	MPa	122	192	1.57					○
21	充てんポンプ・原動機	軸位置	機能損傷	G	0.87	1.4	1.60					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
22	封水注入フィルタ	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	95	253	2.66					
23	余熱除去冷却器	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	131	334	2.54					
24	余熱除去ポンプ・原動機	軸位置	機能損傷	G	0.67	1.4	2.08					
25	高圧注入ポンプ・原動機	軸位置	機能損傷	G	0.67	1.4	2.08					
26	蓄圧タンク	基礎ボルト	引張応力	MPa	226	441	1.95					○
27	原子炉補機冷却水冷却器	基礎ボルト	引張応力	MPa	162	451	2.78					○
28	原子炉補機冷却水ポンプ・ 原動機	軸位置	機能損傷	G	0.67	1.4	2.08					
29	原子炉補機冷却水サージタ ンク	基礎ボルト	引張応力	MPa	215	451	2.09					
30	海水ポンプ・原動機	原動機軸受	機能損傷	G	1.2	2.5	2.08					
31	海水ストレーナ	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	31	236	7.61					
32	燃料取替用水タンク	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	145	267	1.84					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
33	格納容器再循環サンプ スクリーン	基礎ボルト	せん断応力	MPa	74	366	4.94					
34	制御棒クラスタ	被覆管	膜応力+ 曲げ応力	MPa	442	585	1.32	-	-	1.54 以上	①②	
35	制御棒クラスタ駆動装置	タイロッド	せん断応力	MPa	161	219	1.36	109	219	2.00	①②③	
36	ほう酸ポンプ・原動機	軸位置	機能損傷	G	0.87	1.4	1.60					
37	ほう酸タンク	基礎ボルト	引張応力	MPa	22	210	9.54					
38	ほう酸フィルタ	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	18	267	14.83					
39	炉内計装引出管	コンジット チューブ	膜応力+ 曲げ応力	MPa	174	342	1.96					
40	主盤および原子炉補助盤	フレーム	組合せ応力	-	0.50	1.0	2.00					
41	制御用空気圧縮機・原動機	シリンダ部	機能損傷	G	0.51	1.0	1.96					
42	制御用空気だめ	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	58	243	4.18					
43	燃料取替用水タンクポンプ・ 原動機	軸位置	機能損傷	G	0.83	1.0	1.20	0.83	2.0	2.4	③	

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
44	使用済燃料ラック	溶接部	せん断応力	MPa	103	118	1.14	76	118	1.55	①②	
45	格納容器高レンジエアモニタ	架台本体	組合せ応力	-	0.52	1	1.92					
46	アニュラス排気ファン・原動機	基礎ボルト	引張応力	MPa	74	210	2.83					
47	中央制御室空調ファン・原動機	基礎ボルト	引張応力	MPa	61	210	3.44					
48	中央制御室非常用給気ファン・原動機	基礎ボルト	引張応力	MPa	26	210	8.07					
49	中央制御室再循環ファン・原動機	原動機 フレーム	引張応力	MPa	7	44	6.28					
50	安全補機室排気ファン・原動機	原動機 フレーム	引張応力	MPa	8	44	5.50					
51	アニュラス排気フィルタユニット	基礎ボルト	引張応力	MPa	96	210	2.18					○
52	中央制御室非常用給気フィルタユニット	基礎ボルト	引張応力	MPa	37	210	5.67					
53	安全補機室排気フィルタユニット	基礎ボルト	引張応力	MPa	56	210	3.75					
54	原子炉格納容器本体	胴部	座屈	-	0.89	1	1.12	-	-	-		
				MN	-	-	-	91.85	174.1	1.89*	②	

※：部材（材料）の降伏点に着目した精緻化評価により評価基準値(実力)を求め、耐震裕度(実力)を算出

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
55	機器搬入口	取付部	膜応力+ 曲げ応力	MPa	50	280	5.60					
56	エアロック	取付部	膜応力+ 曲げ応力	MPa	68	280	4.11					
57	格納容器貫通部	取付部	膜応力+ 曲げ応力	MPa	83	280	3.37					
58	アニュラスシール	根太	曲げ応力	MPa	275	276	1.00	83	276	3.32	①②③	
59	格納容器スプレイ冷却器	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	118	334	2.83					
60	格納容器スプレイポンプ・原 動機	軸位置	機能損傷	G	0.67	1.4	2.08					
61	よう素除去薬品タンク	基礎ボルト	引張応力	MPa	93	210	2.25					
62	pH調整剤貯蔵タンク	基礎ボルト	引張応力	MPa	105	210	2.00					
63	真空逃がし装置	貫通配管	膜応力+ 曲げ応力	MPa	14	315	22.50					
64	格納容器排気筒	本体	曲げ モーメント	N・m	143400	202200	1.41	25200	202200	8.02	①②③	○
65	電動補助給水ポンプ・原動 機	軸位置	機能損傷	G	0.74	1.4	1.89					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
66	タービン動補助給水ポンプ・ 駆動用タービン	弁箱	機能損傷	G	0.74	1.0	1.35	0.74	2.0	2.70	③	
67	補助給水タンク	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	107	240	2.24					
68	非常用予備発電装置機関本 体	機関重心 位置	機能損傷	G	1.09	1.7	1.55					
69	非常用DG 始動空気だめ	胴	膜応力+ 曲げ応力	MPa	109	391	3.58					
70	非常用DG 燃料油サービスタ ンク	基礎ボルト	引張応力	MPa	16	205	12.81					
71	非常用DG 発電機	軸受部	機能損傷	G	0.46	1	2.17					
72	直流電源装置	フレーム	組合せ応力	-	0.63	1	1.58					
73	一次冷却設備配管・サポート	本体	一次応力	MPa	152	342	2.25					○
74	主蒸気設備配管・サポート	本体	一次応力	MPa	126	315	2.50					○
75	主給水設備配管・サポート	本体	一次応力	MPa	161	380	2.36					○
76	余熱除去設備配管・サポート	本体	一次応力	MPa	159	361	2.27					○

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
77	安全注入設備配管・サポート	本体	一次応力	MPa	158	342	2.16					○
78	原子炉格納容器スプレイ設備配管・サポート	本体	一次応力	MPa	109	379	3.47					○
79	化学体積制御設備配管・サポート	本体	一次応力	MPa	84	342	4.07					○
80	その他配管・サポート	本体	一次応力	MPa	343	468	1.36	111	468	4.21	①②③	○
81	動力変圧器	基礎ボルト	引張応力	MPa	39	210	5.38					
82	制御用空気除湿装置吸着塔	胴板	膜応力+ 曲げ応力	MPa	36	223	6.19					
83	一般弁	据付位置	機能損傷	G	4.2	6.0	1.42	4.2	9.5	2.26	②	
84	ゴムダイヤフラム弁	据付位置	機能損傷	G	1.1	2.7	2.45					
85	主蒸気隔離弁操作電磁弁	据付位置	機能損傷	G	1.5	2.2	1.46	1.5	6.1	4.06	②	
86	加圧器安全弁	据付位置	機能損傷	G	6.0	13.0	2.16					
87	主蒸気安全弁	据付位置	機能損傷	G	2.8	3.0	1.07	1.9	3.0	1.57	①②③	

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
88	主蒸気逃がし弁	据付位置	機能損傷	G	2.4	6.0	2.50					
89	制御棒(挿入性)	挿入性		秒	2.39	2.5	1.21	-	-	1.54 以上	①②	
90	制御室退避時制御盤	据付位置	機能損傷	G	0.74	9.90	13.37					
91	安全保護系計器ラック盤	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.00	2.40					
92	安全保護系ロジック盤	据付位置	機能損傷	G	1.43	10.00	6.99					
93	安全防護系シーケンス盤	据付位置	機能損傷	G	1.67	10.00	5.98					
94	ソレノイド分電盤	据付位置	機能損傷	G	1.02	8.00	7.84					
95	ディーゼルコントロールセンタ	据付位置	機能損傷	G	1.09	7.10	6.51					
96	ディーゼル発電機盤	据付位置	機能損傷	G	2.82	5.20	1.84					
97	タービン動補助給水ポンプ起 動盤	据付位置	機能損傷	G	0.51	3.00	5.88					
98	メタクラ	据付位置	機能損傷	G	0.87	1.50	1.72					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
99	パワーセンタ	据付位置	機能損傷	G	0.55	1.10	2.00					
100	原子炉コントロールセンタ	据付位置	機能損傷	G	0.55	3.00	5.45					
101	ドロツバ盤	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.00	2.40					○
102	直流コントロールセンタ	据付位置	機能損傷	G	0.87	8.00	9.19					
103	直流分電盤	据付位置	機能損傷	G	1.02	8.00	7.84					
104	充電器盤	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.00	2.40					○
105	計装用インバータ盤	据付位置	機能損傷	G	2.45	12.00	4.89					
106	計装用分電盤	据付位置	機能損傷	G	1.02	8.00	7.84					
107	計装用切替器盤	据付位置	機能損傷	G	0.83	3.00	3.61					
108	制御用空気圧縮機盤	据付位置	機能損傷	G	0.61	3.00	4.91					
109	海水ポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
110	原子炉補機冷却水ポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
111	電動補助給水ポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
112	充てんポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
113	ほう酸ポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
114	高圧注入ポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
115	格納容器スプレイポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
116	余熱除去ポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
117	燃料取替用水タンクポンプ現場盤	据付位置	機能損傷	G	2.55	9.90	3.88					
118	制御用地震計	据付位置	機能損傷	G	0.47	1	2.12					
119	ディーゼル発電機電圧計	据付位置	機能損傷	G	1.14	14.00	12.28					
120	蒸気発生器水位計	溶接部	組合せ応力	MPa	47	99	2.10					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
121	主蒸気ライン圧力計	据付位置	機能損傷	G	0.80	2.37	2.96					
122	1次冷却材高温側および低温側温度計	据付位置	機能損傷	G	3.52	15	4.26					
123	1次冷却材圧力計	溶接部	組合せ応力	MPa	36	99	2.75					
124	加圧器水位計	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.37	2.85					
125	格納容器圧力計	据付位置	機能損傷	G	0.80	2.37	2.96					
126	余熱除去ポンプ出口流量計	据付位置	機能損傷	G	0.47	2.37	5.04					
127	制御用空気供給母管圧力計	据付位置	機能損傷	G	0.80	2.37	2.96					
128	燃料取替用水タンク水位計	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.37	2.85					
129	加圧器圧力計	溶接部	組合せ応力	MPa	47	99	2.10					
130	使用済燃料ピットクレーン	転倒防止 金具	組合せ応力	MPa	279	651	2.33					○
131	燃料取扱棟クレーン	転倒防止 金具	組合せ応力	MPa	222	345	1.55					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工 事 有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
132	格納容器ポ-ラクレーン	転倒防止 金具	組合せ応力	MPa	-※1	390	-					
133	電源車	転倒評価		G	0.66	1.45	2.19					
134	消防自動車	転倒評価		-	-	-	2.19※2					

※1：転倒防止金具がレールと接触しないため応力が発生しない。

※2：転倒しないことを確認した地震力と基準地震動との比較を表示

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
135	使用済燃料ピット水位 (AM)	据付位置	機能損傷	G	0.94	3	3.19					
136	使用済燃料ピット温度 (AM)	サポート部材	組合せ応力	MPa	76	204	2.68					
137	使用済燃料ピット広域水位 (AM)	固定ボルト	せん断応力	MPa	6	160	26.66					
138	中型ポンプ車	転倒評価		—	—	—	2.19*					
139	加圧ポンプ車	転倒評価		—	—	—	2.19*					
140	大型ポンプ車	転倒評価		—	—	—	2.19*					
141	大型ポンプ車(泡混合機能付)	転倒評価		—	—	—	2.19*					
142	大型放水砲	固縛スリング	荷重	N	17,175	31,240	1.81					
143	小型放水砲	固縛スリング	荷重	N	1,093	2,450	2.24					
144	窒素ポンベ(加圧器逃がし弁用)	架台	曲げ応力	MPa	14	279	19.90					
145	可搬型代替冷却水ポンプ	固定ボルト	引張応力	MPa	5	210	42.00					

※：転倒しないことを確認した地震力と基準地震動との比較を表示

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
146	原子炉トリップ遮断器	据付位置	機能損傷	G	2.53	5.04	1.99					
147	窒素ポンペ(原子炉補機冷却水サージタンク用)	基礎ボルト	引張応力	MPa	74	210	2.80					
148	多様化自動作動盤(ATWS緩和設備)	据付位置	機能損傷	G	0.9	2	2.22					
149	線源領域計測装置	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.1	2.53					
150	中間領域計測装置	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.1	2.53					
151	出力領域計測装置	据付位置	機能損傷	G	0.83	3.2	3.85					
152	高圧注入ライン流量	溶接部	組合せ応力	MPa	20	97	4.85					
153	原子炉容器水位	据付位置	機能損傷	G	0.83	2.37	2.85					
154	格納容器内圧力(AM)	据付位置	機能損傷	G	1.04	2.37	2.27					
155	格納容器水素濃度計測装置	ボルト	引張応力	MPa	114	204	1.78					
156	格納容器内温度	据付位置	機能損傷	G	2.76	15.00	5.43					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
157	代替格納容器スプレイライン積算流量 (AM)	据付位置	機能損傷	G	0.61	2.37	3.88					
158	格納容器スプレイラインB積算流量	据付位置	機能損傷	G	0.47	2.00	4.25					
159	格納容器再循環サンプ水位 (広域)	据付位置	機能損傷	G	0.68	2.37	3.48					
160	格納容器再循環サンプ水位 (狭域)	据付位置	機能損傷	G	0.68	2.37	3.48					
161	格納容器水位	据付位置	機能損傷	G	0.83	5	6.02					
162	原子炉下部キャビティ水位	据付位置	機能損傷	G	0.68	5	7.35					
163	アニュラス水素濃度 (AM) 計測装置	ボルト	引張応力	MPa	69	204	2.95					
164	窒素ポンペ(アニュラス排気系空気作動弁用)	架台	曲げ応力	MPa	27	279	10.30					
165	補助給水ライン流量	据付位置	機能損傷	G	0.8	2.37	2.96					
166	原子炉補機冷却水サージタンク水位	据付位置	機能損傷	G	1.40	2.37	1.69					
167	原子炉補機冷却水サージタンク加圧ライン圧力計	固縛スリング	荷重	N	118	1,961	16.61					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
168	補助給水タンク水位	据付位置	機能損傷	G	0.94	2.37	2.52					
169	ほう酸タンク水位	据付位置	機能損傷	G	0.55	2.37	4.30					
170	可搬型温度計測装置(格納 容器再循環ユニット入口/ 出口用)	保管箱架台 取付ボルト	引張応力	MPa	8	210	26.25					
171	代替格納容器雰囲気ガスサ ンプリング圧縮装置	基礎ボルト	引張応力	MPa	23	210	9.13					
172	中央制御室空調ユニット	基礎ボルト	引張応力	MPa	64	210	3.20					
173	代替格納容器スプレイポンプ	軸	組合せ応力	MPa	34	276	8.11					
174	格納容器再循環ユニット	ケーシング	圧縮応力	MPa	24	237	9.80					
175	静的触媒式水素再結合装置	本体	組合せ応力	MPa	140	208	1.48	127	208	1.63	①②	
176	静的触媒式水素再結合装置 作動温度計測装置	据付位置	機能損傷	G	6.28	15	2.38					
177	イグナイタ	溶接部	組合せ応力	MPa	26	129	4.96					
178	イグナイタ作動温度計測装置	据付位置	機能損傷	G	6.28	15	2.38					

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
179	300kVA電源車	転倒評価		—	—	—	2.19*					
180	可搬型直流電源装置	固縛材	引張応力	MPa	97	279	2.90					
181	重油タンク	基礎ボルト	引張応力	MPa	109	451	4.13					
182	軽油タンク	基礎ボルト	せん断応力	MPa	183	346	1.89					
183	ミニローリー	転倒評価		—	—	—	2.19*					
184	代替電気設備受電盤	据付位置	機能損傷	G	0.61	1.10	1.80					
185	代替動力変圧器	基礎ボルト	引張応力	MPa	75	210	2.80					
186	燃料油貯油槽	基礎ボルト	引張応力	MPa	39	193	4.94					
187	蓄電池C	溶接部	組合せ応力	MPa	51	156	3.05					
188	加圧器逃がし弁用可搬型蓄電池	架台 アンカーボルト	引張応力	MPa	11	210	19.00					
189	安全パラメータ表示システム	据付位置	機能損傷	G	0.56	1.67	2.89					

※：転倒しないことを確認した地震力と基準地震動との比較を表示

添付-1 耐震裕度評価結果(全195設備)

No	設備名	評価部位及び損傷モード		単位	工認評価			実力評価				耐震 工事有:○
		評価部位	損傷モード (応力分類)		発生値	評価 基準値	耐震 裕度	発生値 (実力)	評価 基準値 (実力)	耐震 裕度 (実力)	適用評 価手法	
190	SPDS表示端末	据付位置	機能損傷	G	0.64	2.17	3.39					
191	緊急時対策所用発電機	据付位置	機能損傷	G	0.88	1.77	2.01					
192	緊急時対策所空気浄化ファン	軸受部	機能損傷	G	0.63	1.0	1.58					
193	緊急時対策所空気浄化フィルタユニット	溶接部	組合せ応力	MPa	40	63	1.57					
194	緊急時対策所加圧装置	架台	組合せ	MPa	147	274	1.86					
195	緊急時対策所	耐震壁	せん断 ひずみ	—	32.0×10^{-6}	$2,000 \times 10^{-6}$	62.5					

添付-2 実証試験(JNES試験)

JNES試験「平成17年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その2(PWR制御棒挿入性)」の目的、試験概要、適用実績などについて以下に述べる。

<試験の目的> (上記試験報告書※より抜粋)

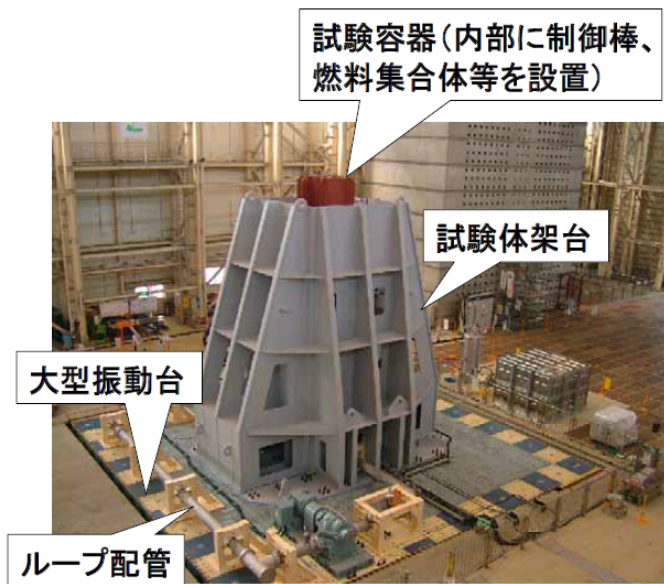
機器耐力その2(PWR制御棒挿入性)は、PWR制御棒挿入性関連機器の耐力データ取得を目的として、実機における制御棒挿入システムを模擬した試験装置により、大入力地震動に対する各機器の応答と制御棒挿入性への影響を把握するための実機試験と、大入力地震動に対する燃料集合体の振動挙動及び構成部品の耐力を把握するための部分試験を実施する。それらの結果を合わせることで実機におけるPWR制御棒挿入性関連機器の耐力を評価するものである。

※「平成17年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その2 (PWR制御棒挿入性)に係る報告書」(独立行政法人 原子力安全基盤機構)

添付-2 実証試験(JNES試験)

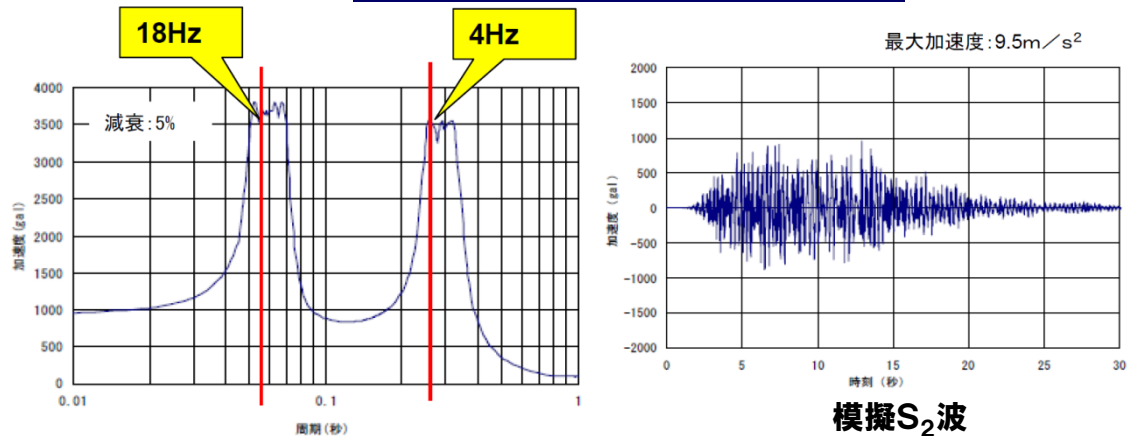
<試験概要>

- 制御棒挿入システム(制御棒、燃料集合体、制御棒駆動機構等で構成(伊方3号機と同様の構造))を対象として実施
- 試験用入力波は国内PWRプラントの設計条件等を調査し、既往試験で実証された評価手法を用いて事前解析を行い、模擬燃料集合体及び制御棒駆動装置の応答が実機と同等になるよう作成
- 振動台上に流水試験ループを設置し、炉心流れの有無による制御棒挿入性への影響を把握する試験も実施
- 加振試験の結果2. 0S₂の試験において制御棒が規定時間(2.2秒)内に正常に挿入されることが確認されるとともに3. 3S₂の試験においても制御棒は挿入され、燃料集合体、制御棒クラスタの構造健全性が確認された。



試験体概観

PWR制御棒挿入性(入力地震波)



- 加振波は改良標準化以降のPWRプラントの最も厳しいS₂波から作成した模擬S₂波(評価対象の固有値に応じてスペクトル調整)
- 模擬S₂波の加速度を3. 3S₂相当まで段階的(1. 0S₂, 1. 5S₂, 2. 0S₂, 3. 0S₂)に割増しながら加振を実施
- 燃料集合体の固有振動数は4.0Hz(初期状態)
- CRDMの固有振動数は15.6Hz(1S₂試験), 約18Hz(3S₂試験)

(試験報告書より引用)

添付-2 実証試験(JNES試験)

<適用実績>

No.	適用実績	内容	確認箇所
1	耐震バックチェック	JNES機器耐力試験(PWR制御棒挿入性)の概要及び過去のNUPEC耐震実証試験との連続性に対する説明を求められ、旧JNESより試験の内容を説明し、試験結果の耐震性評価への適用について問題ないことが確認されている。	旧原子力安全委員会
2	ストレステスト	当社より、JNES機器耐力試験(PWR制御棒挿入性)での大規模加振条件下(実機サイトのS ₂ 包絡波の3.3倍)で制御棒が挿入されていることを説明し、試験結果のストレステストへの適用について問題ないことが確認されている。	旧原子力安全・保安院
3	工事計画認可	新規制基準への適合性審査において、他電気事業者より、JNES試験データを基に試験の再現解析を実施し、適用した挿入時間解析手法の妥当性を説明し、了解を得ている。	原子力規制委員会

添付-3 外部有識者による確認内容

○平成27年6月3日(水)

- ・新規制基準を踏まえ基準地震動が変更となったことから、今回の評価の基本的な考え方について説明し、ご確認いただいた。

○平成27年6月29日(月)

- ・新基準地震動(650ガル)による工認耐震評価の状況(中間的な集約結果)について説明し、ご確認いただいた。
- ・実力評価の状況(中間的な集約結果)について説明し、ご確認いただいた。

○平成27年7月17日(金)

- ・全195設備の工認評価結果について説明し、ご確認いただいた。
- ・全24設備の実力評価結果について説明し、ご確認いただいた。

○平成27年7月23日(木)

- ・外部有識者検討会として、見解をとりまとめていただいた。

添付-4 用語の定義

本資料中の用語については以下のとおり定義しています。

- ・発生値 : 工認評価において、基準地震動を入力した際に、設備にかかる応力等
- ・発生値(実力) : 今回実施した評価において、評価の精緻化や実際の設備の設置状況等を考慮したことにより、工認評価の発生値から修正した値
- ・評価基準値 : 工認評価において、その設備が耐えることができると規格・基準にて定められている値
- ・評価基準値(実力) : 今回実施した評価において、使用する材料の実力値や実際の設備の設置状況等を考慮したことにより、工認評価の評価基準値から修正した値
- ・耐震裕度 : 評価基準値を発生値で割ったもの
- ・耐震裕度(実力) : 実力評価による耐震裕度(実力)は、以下の3区分とする。
 - 実力(A) : 評価基準値(実力)を発生値(実力)で割ったもの
 - 実力(B) : 地震力に着目し、外荷重(地震)に設定裕度を乗じて算出した発生値(実力)と評価基準値を比較するもの
 - 実力(C) : 基準地震動による応答加速度に設定裕度を乗じた加速度と実証試験(JNES試験)にて機能が確認された応答加速度を比較するもの
- ・設定裕度 : 実力評価を実施する設備を選定する際の閾値であり、今回の評価にあたって基準とする裕度(1000ガル/650ガル=1.54)