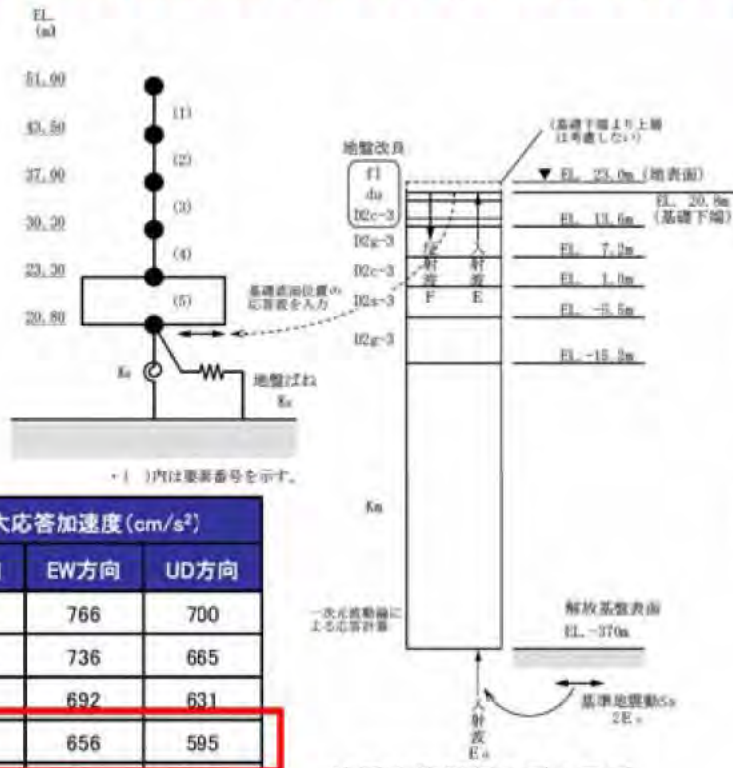


14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策
別紙 主な耐震評価結果 建物・構築物(緊急時対策所)



○ 緊急時対策所建屋

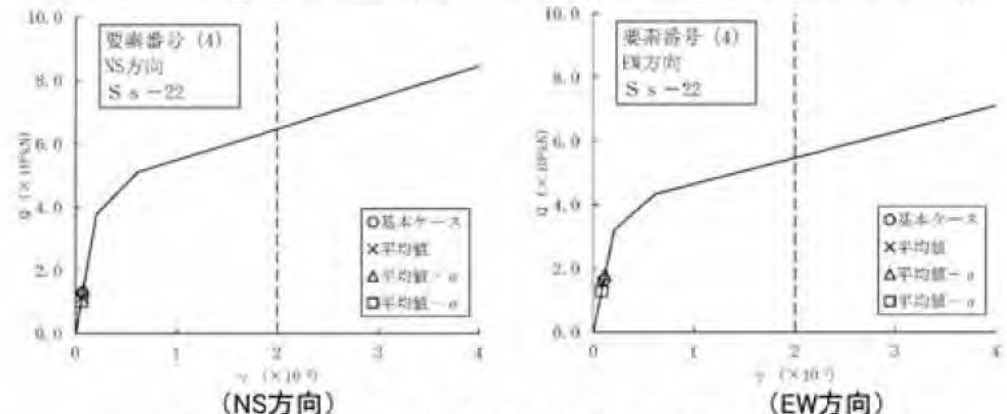
・地盤物性のばらつきを考慮した緊急時対策所建屋の耐震壁のせん断ひずみを算出し、最大せん断ひずみと許容限界を比較した結果、耐震壁の最大せん断ひずみは 0.115×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



地震応答解析モデル及び入力地震動の概念図(水平方向)

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)



せん断スケルトン曲線上の最大応答値(Ss-22, 要素番号(4))

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。

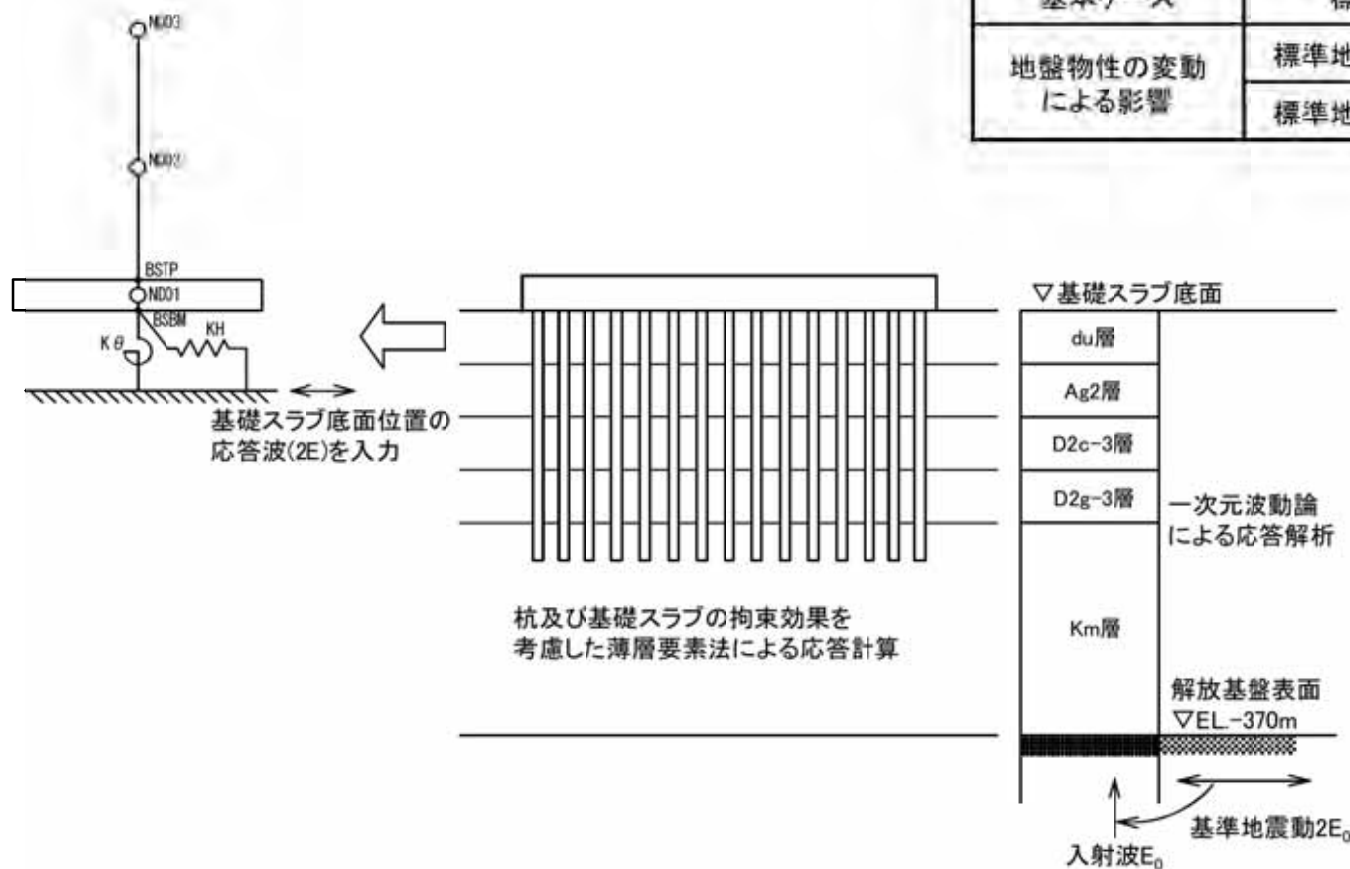
使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析



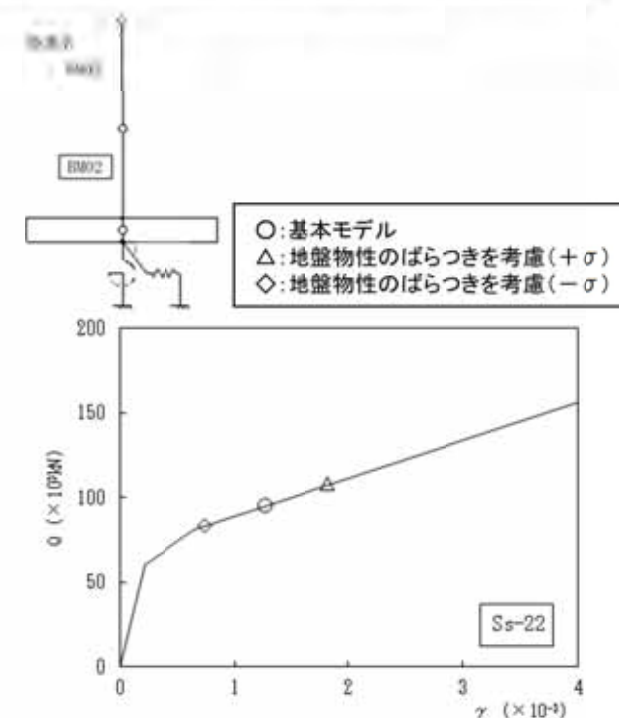
- ・解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s (8波)に基づく入力地震動を質点系モデルに入力して地震応答解析を実施した。
- ・地盤物性のばらつきを考慮した使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁について、全ての基準地震動 S_s に対して各層のせん断ひずみを算出し、許容限界と比較した結果、せん断ひずみが全ての基準地震動 S_s の中で最大となる S_s-22 の場合においても、耐震壁の最大せん断ひずみは 1.82×10^{-3} (要素番号BM02, 地盤物性のばらつき(+ σ), NS方向, S_s-22)であり、波及的影響を及ぼさないための許容限界(4.0×10^{-3} (終局点))を超えな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

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)

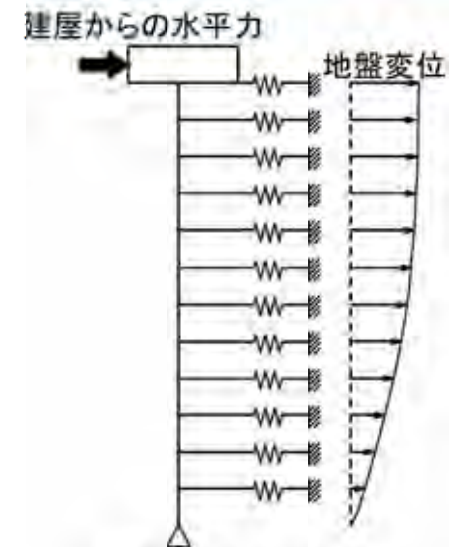


地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図(水平方向)

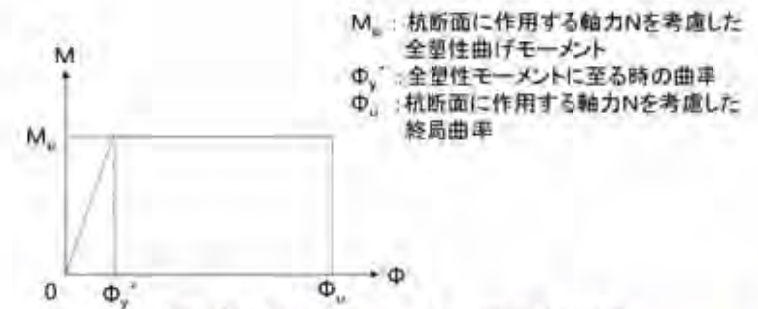


○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

- ・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

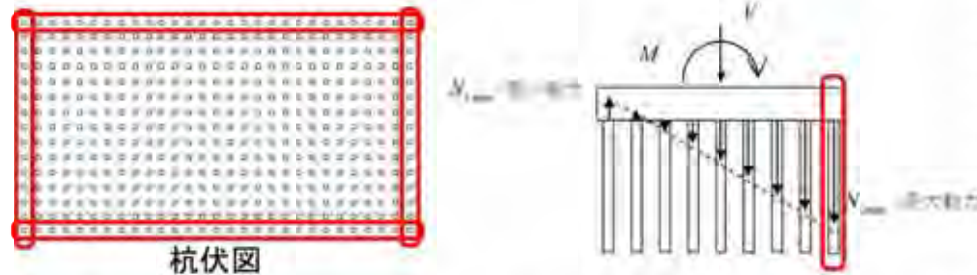
杭の曲げモーメント-曲率(M- Φ)関係

杭の評価結果

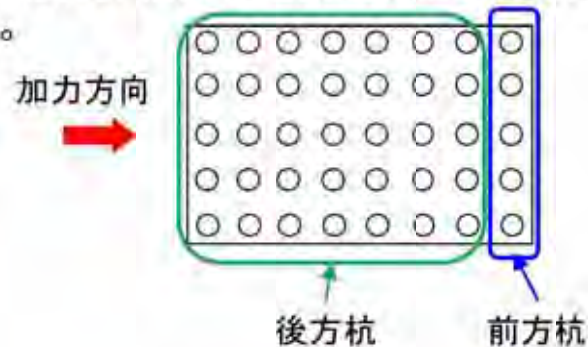
評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

○ 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。

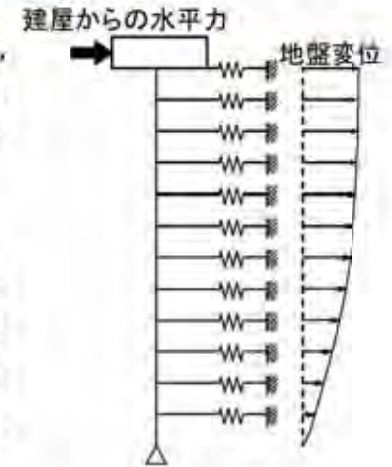


杭位置による前方杭と後方杭の区分

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。

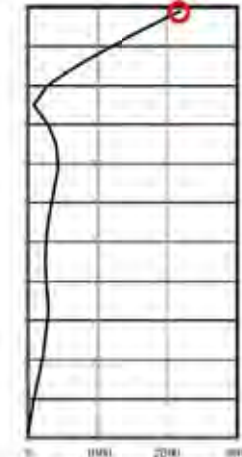
○ 杭の評価における保守性について

- ・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 S_s による地震応答解析結果より得られた水平力の最大値を杭1本あたりの荷重として杭頭位置に入力する。



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 S_s に対する自由地盤応答解析より得られる杭先端位置に対する地盤の相対変位の最大値を強制変位として水平地盤ばね位置に入力する。



S_s 地震時の杭応力分布 (曲げモーメント)

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

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

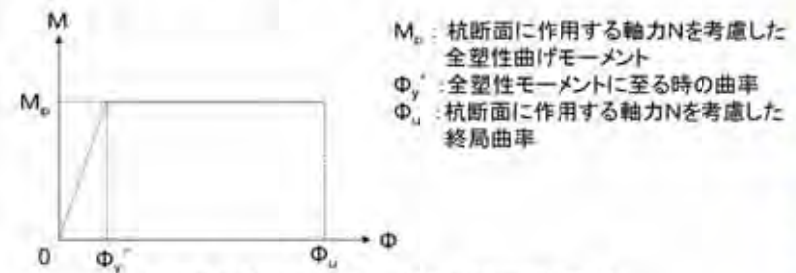
使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価(3/3)

○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

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

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

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

杭の曲げモーメント-曲率(M- Φ)関係

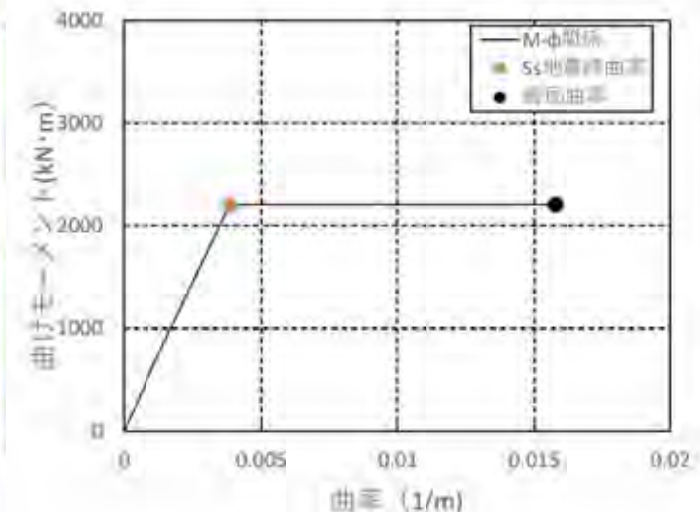
※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。

そのため、杭の曲げに対する評価では終局曲率に対して余裕のある結果であれば耐震設計上問題となるものではない。

杭の評価結果

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

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



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

(許容値の設定時における余裕)

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

(許容値と発生値との差により生じる余裕)

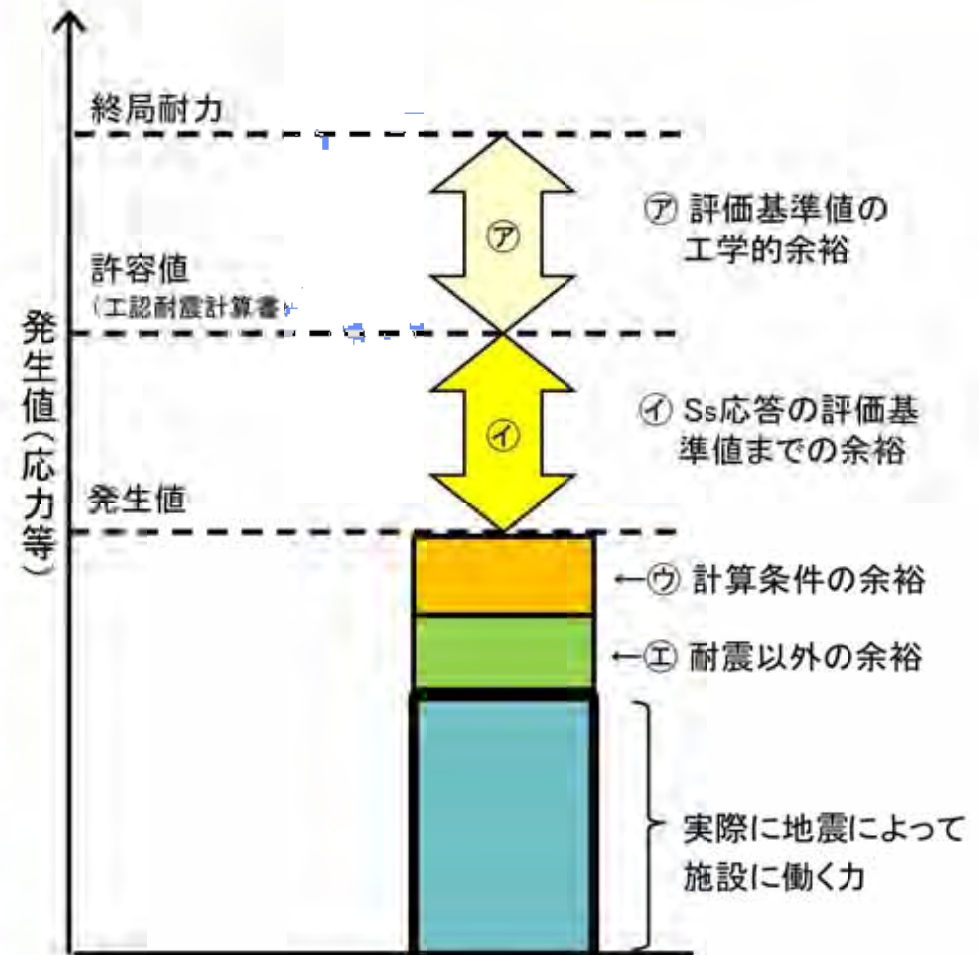
- ㊧ 許容値に対して工学的な判断のもと持たせる余裕

(発生値の算定時における余裕)

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



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



耐震評価で有する保守性（イメージ図）

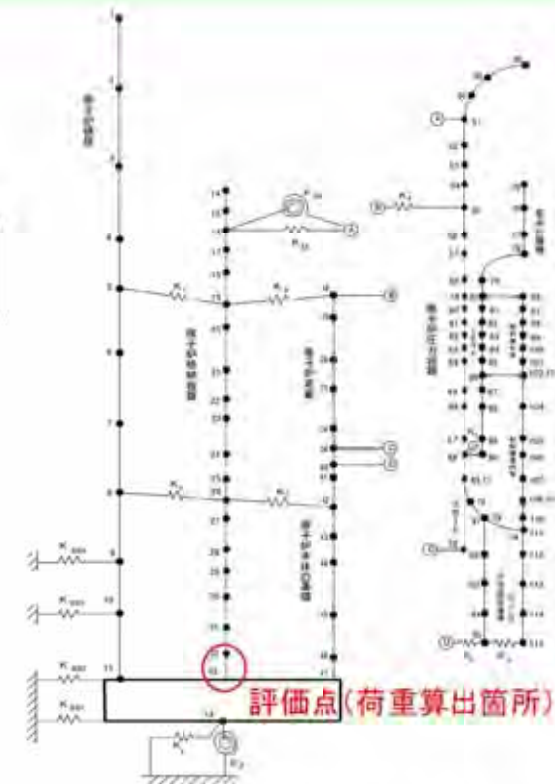
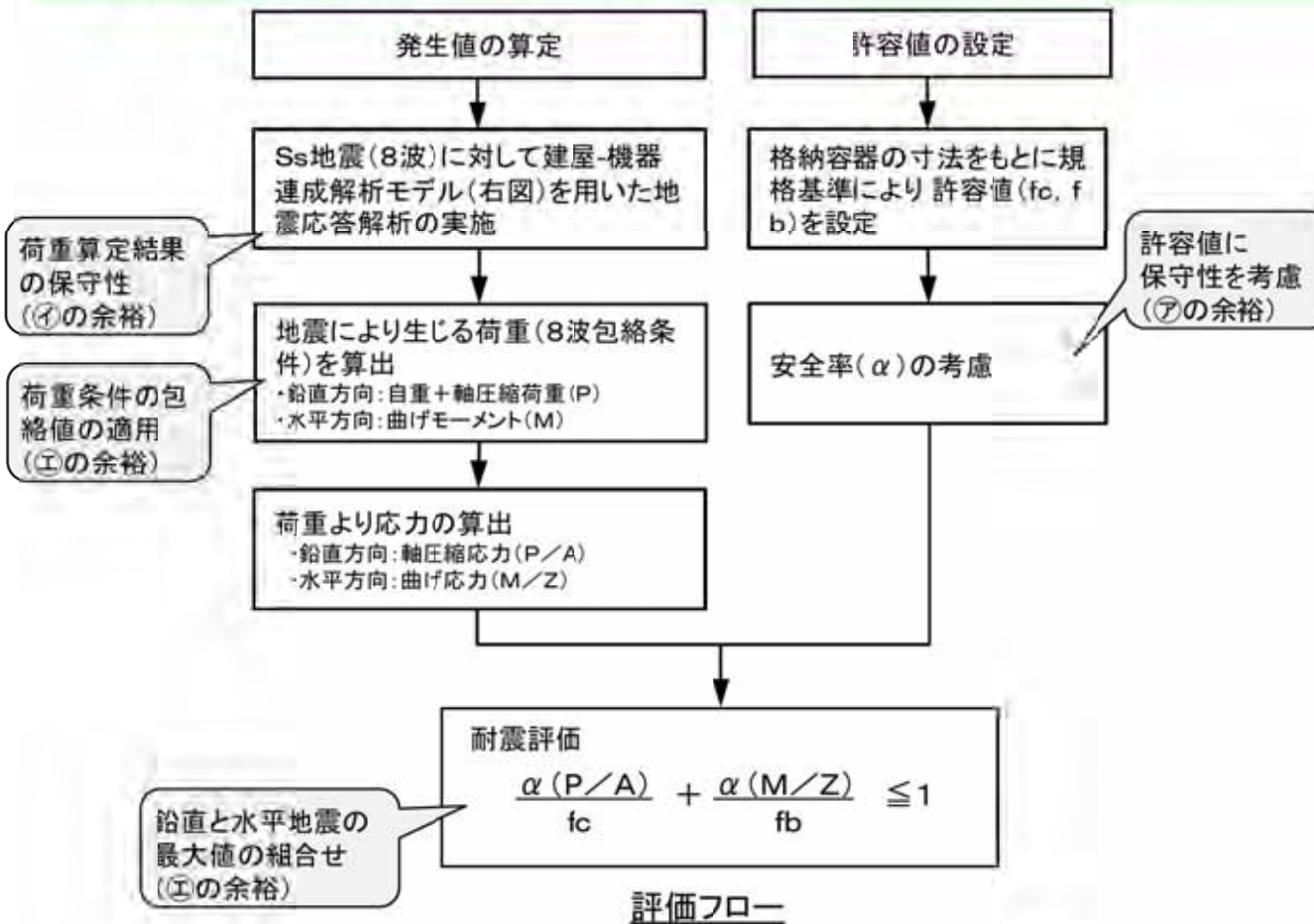
原子炉格納容器の座屈評価における保守性(評価の流れ)



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

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

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



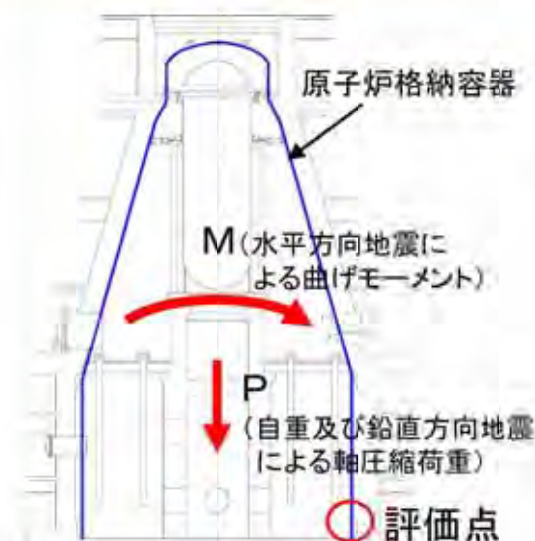
建屋-機器連成解析モデル図

16. 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
原子炉格納容器の座屈評価における保守性(ア)の余裕



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

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



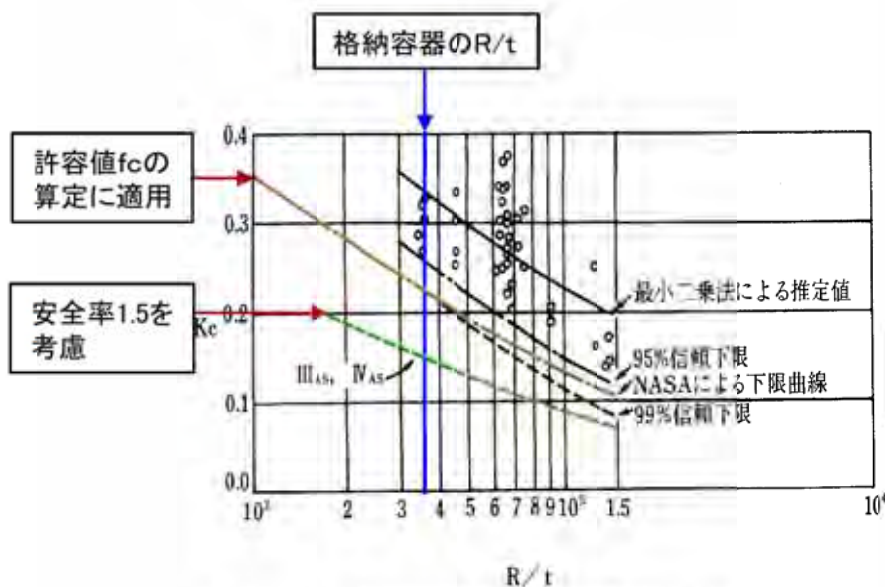
【座屈の評価式】

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

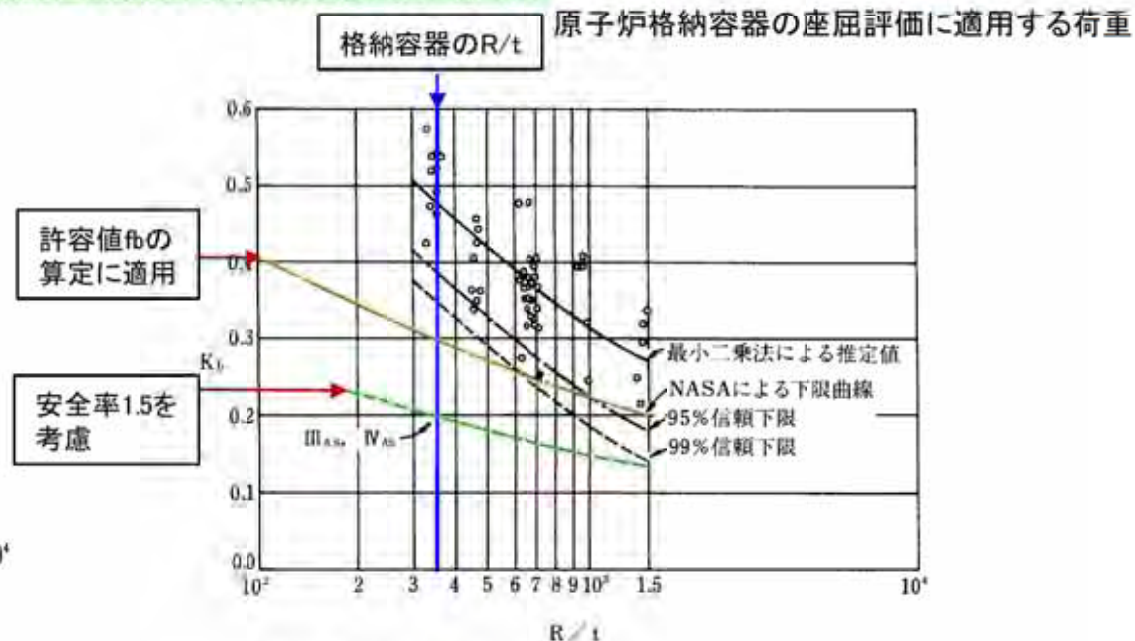
- P: Ss地震及び自重による軸圧縮荷重(N)
- A: 断面積(mm²)
- M: Ss地震による曲げモーメント(N・mm)
- Z: 断面係数(mm³)
- f_c: 半径(R)/板厚(t)の相関(K_c)により求まる軸圧縮応力に対する許容値(MPa)
- f_b: R/tの相関により求まる曲げ応力に対する許容値(MPa)
- α: 安全率(1.5)

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

原子炉格納容器の座屈評価に適用する荷重



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(⓪)の余裕

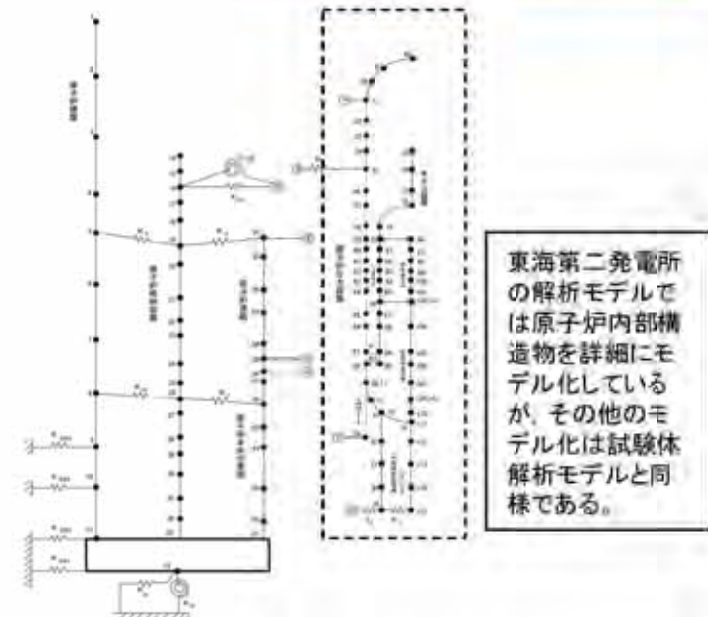


⓪ 地震によって働く力を計算する過程で、評価値が非安全側とならないように計算条件の設定等を保守的に設定

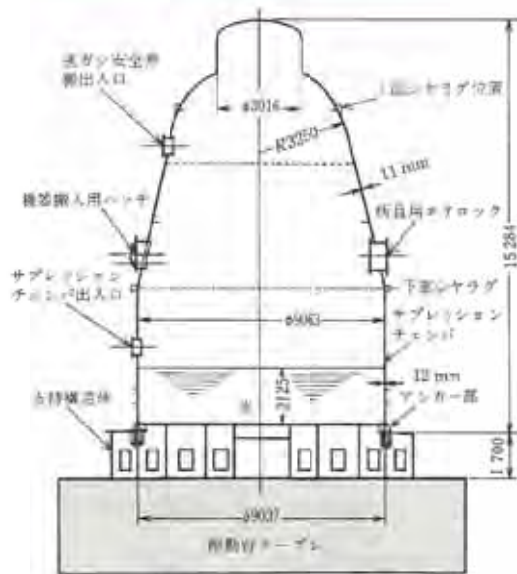
- ・ 座屈評価に適用する荷重算定に用いる解析モデルは、質点重量等を保守的に設定することで、安全側に大きな荷重として算定されるようにしている。
- ・ 解析による応答値の算出が保守的に算定されることは、財団法人原子力発電技術機構多度津工学試験センター(当時)にて実施された大型振動台を用いた試験結果との比較により確認がされている。

【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



東海第二発電所解析モデル(水平方向)



試験体全体概要図
(縮尺1:3.2)



試験体解析モデル(水平方向)

PCV主要部の軸方向最大応力の比較(S₂波加力)(単位:kgf/mm²)

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

㊦ 耐震以外の条件や計算手法を保守的に設定

- ① 鉛直地震による最大値と水平地震による最大値との組合せ
- 地震により発生する荷重は、交差的に発生する荷重であり最大荷重は瞬間的に発生するため、**水平方向地震による最大荷重と鉛直方向地震による最大荷重が同時に発生することは考えにくい。**(図1)
 - 座屈評価では、**水平方向地震により最大となる曲げ応力と鉛直方向地震により最大となる軸圧縮応力が同時に発生することを考慮した保守的な評価を実施している。**(図2)
- ② Ss地震(8波)の荷重条件の包絡値の適用
- 評価に用いる荷重条件は、地震波ごとの荷重条件で評価するのではなく、**全ての地震波における最大値**を用いている。
 - 水平方向地震において最大荷重となる地震波と鉛直方向地震において最大荷重となる地震波とは異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)

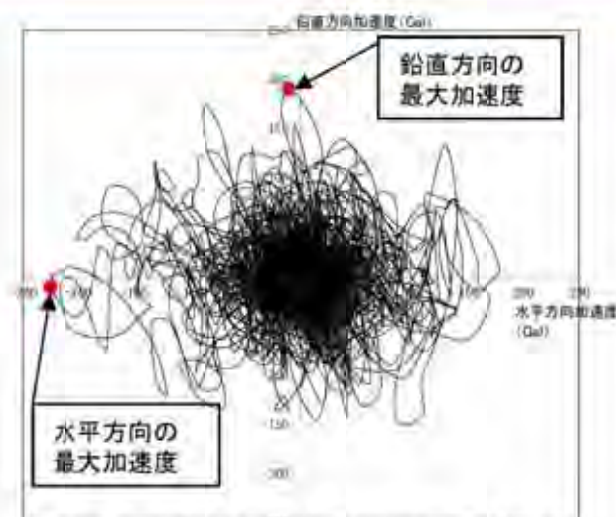


図1 原子炉建屋基礎上でリサージュ波形(東北地方太平洋沖地震における例)

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

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の適用している。

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

チェーンの耐震評価結果

発生荷重	許容値
43.8kN	43.83kN

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。

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

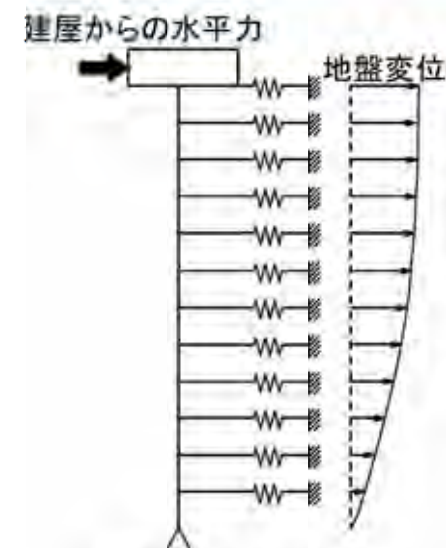
T_L : 荷重試験により破損するおそれのある荷重(試験体3体のうち最小値)

Sy_d/Sy_t : 最高使用温度と試験温度との補正值

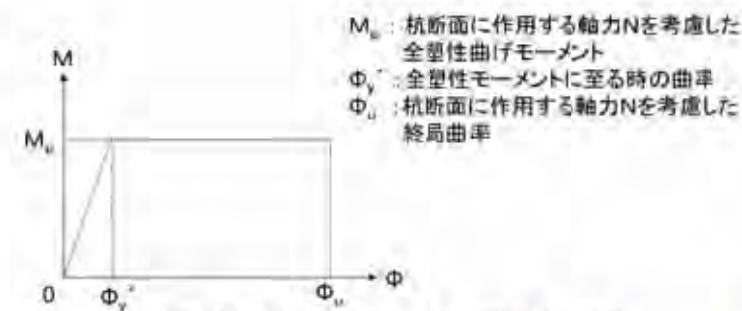
ブローアウトパネル閉止装置用チェーンの試験結果

○ 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- Φ)関係

杭の評価結果

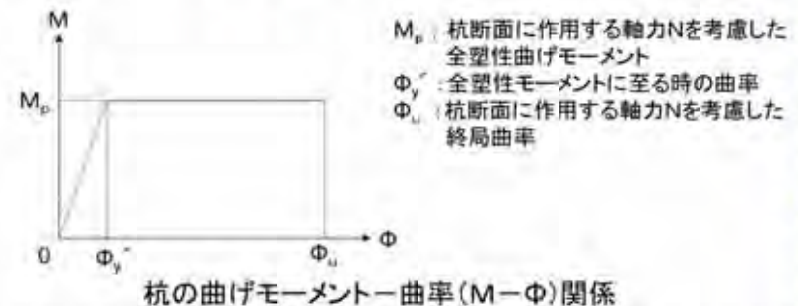
評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

○ 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。



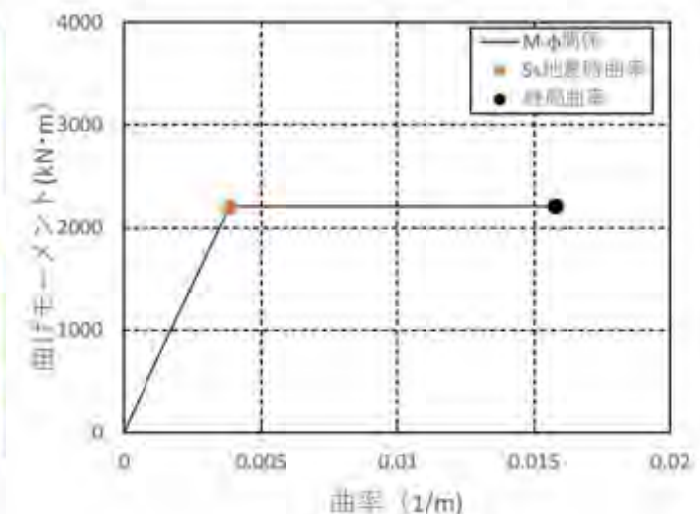
※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。

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



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。

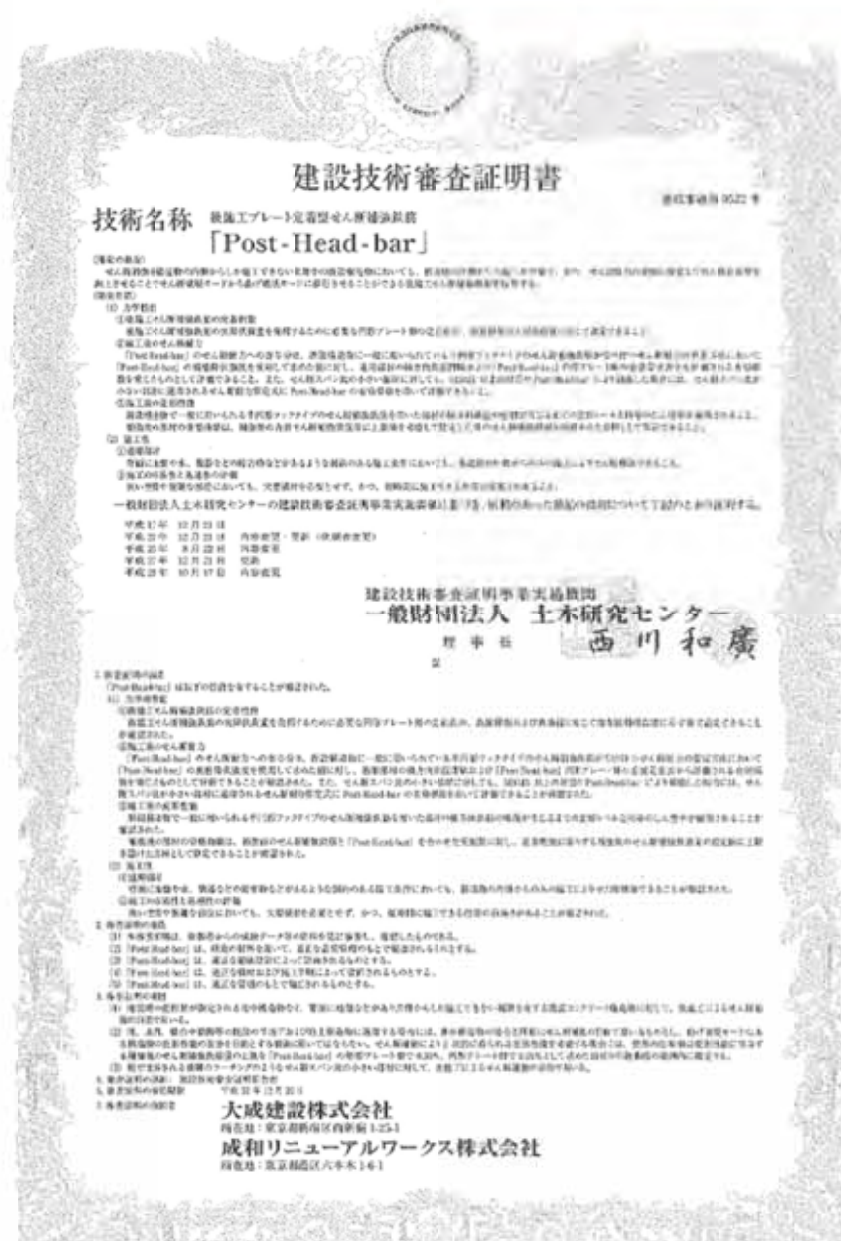
また、国土交通省の公共工事等における新技術活用システム²⁾の中核となる新技術情報システム(NETIS)により、令和元年度の準推奨技術³⁾として選定されている。

- 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)



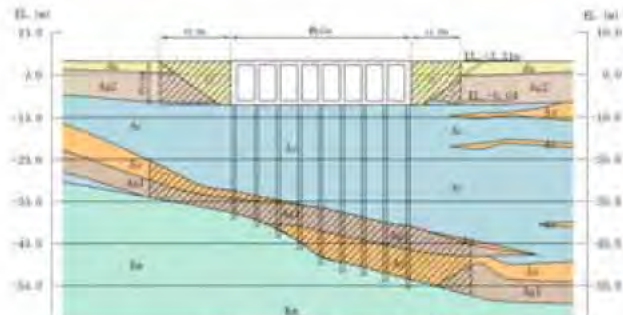
PHb工法研究会ホームページより

17. PHb(Post-Head-bar)工法の具体
 参考 取水構造物耐震評価結果



【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。

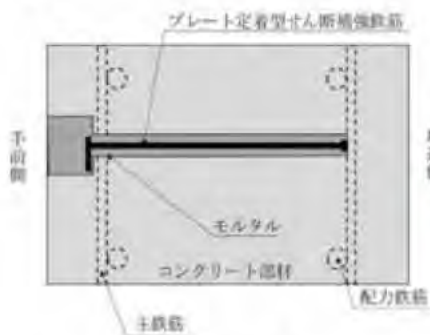


地盤改良範囲(斜線部)

【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。

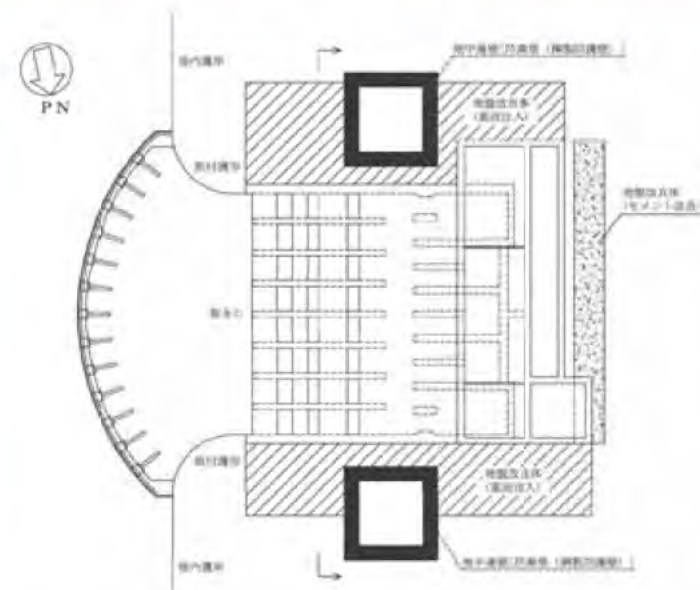
取水構造物の鉄筋コンクリート部材に対して、耐震性向上を目的として後施工せん断補強筋工法(PHb工法)による耐震補強を行う。



PHb工法の概要



後施工せん断補強筋の適用部材



○ 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	照査用せん断力	せん断耐力	照査値
			部材幅	部材高	有効高				
			b (mm)	h (mm)	d (mm)	PHbせん断補強筋	Vd (kN)	Vyd (kN)	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$
中底版	④	S ₀ -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①	④	S ₀ -D1	1965	2904	0.677

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

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

本資料では加振試験により動的機能の維持を確認した設備について説明する。

① 予め動作が確認された加速度を有する設備区分

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

② 加振試験により動的機能の維持を確認した設備区分

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

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

JEAG4601において加振波の選定方針が以下のとおり示されている。

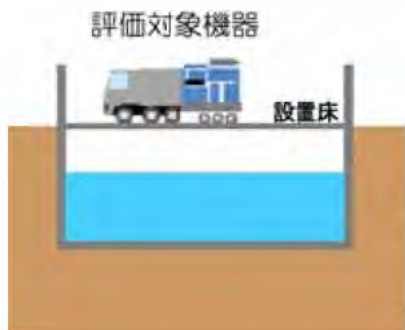
JEAG4601の記載要約

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

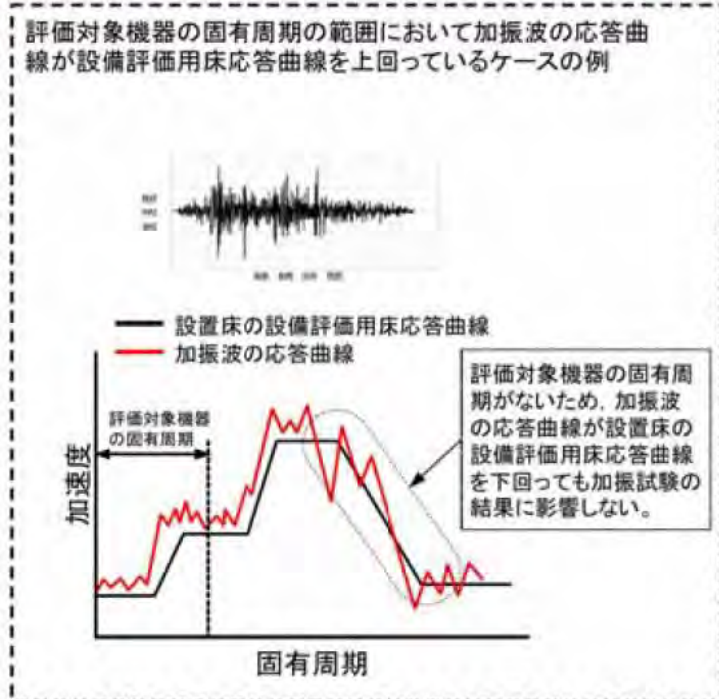
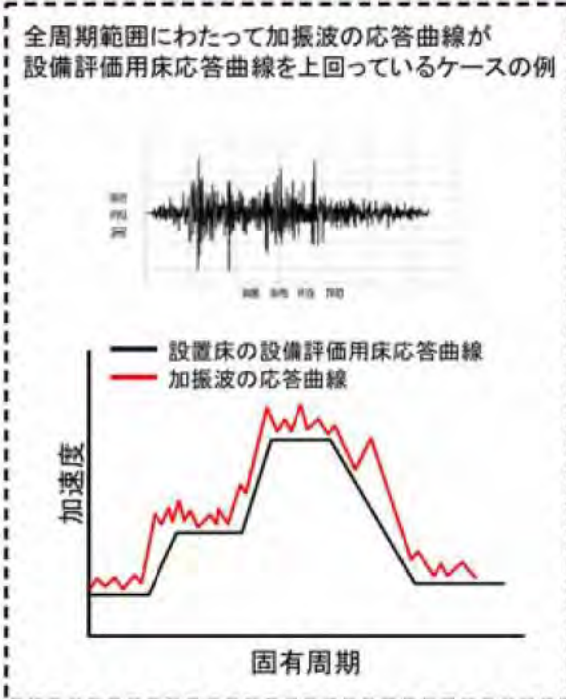
なお、1次固有周期が卓越する機器については正弦波による試験を行ってもよい。

○東海第二発電所の加振波のJEAG4601への適合状況

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



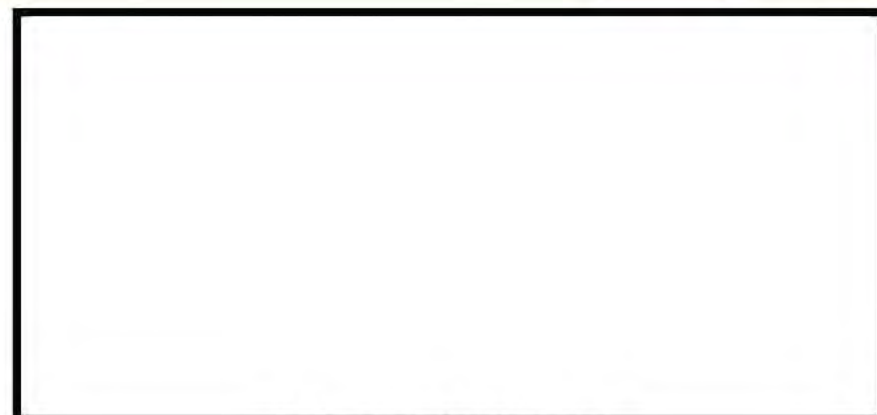
設置床の設備評価用床応答曲線を上回る応答曲線になるように加振波を策定する。



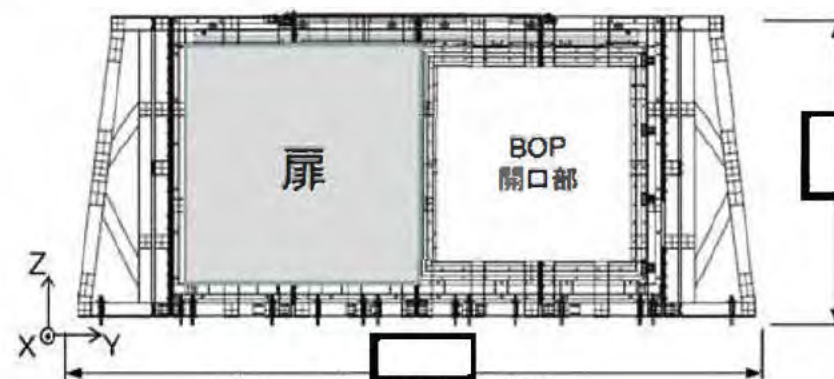
ブローアウトパネル(BOP)閉止装置の動的機能維持の確認について、実機大の加振試験装置を用いた模擬地震波による加振試験により行った。

加振試験等の条件

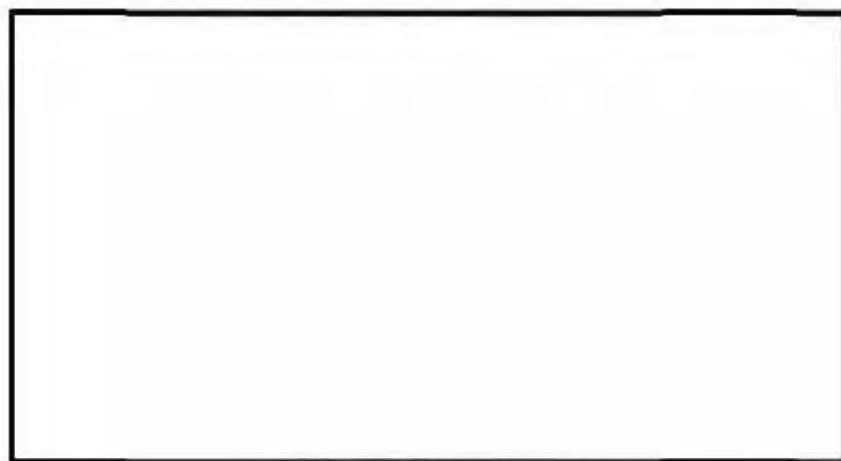
	BOP閉止装置
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 20m × 15m ・最大積載量: 1200t ・加振台: 防災科学研究所 (E-ディフェンス)
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



ブローアウトパネル配置図



ブローアウトパネル外形図



模擬地震波の時刻歴波形



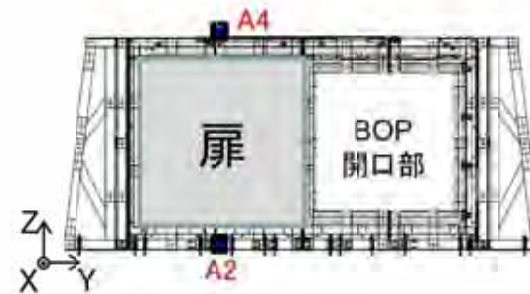
ブローアウトパネル閉止装置加振試験装置

○ 加振試験の妥当性

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

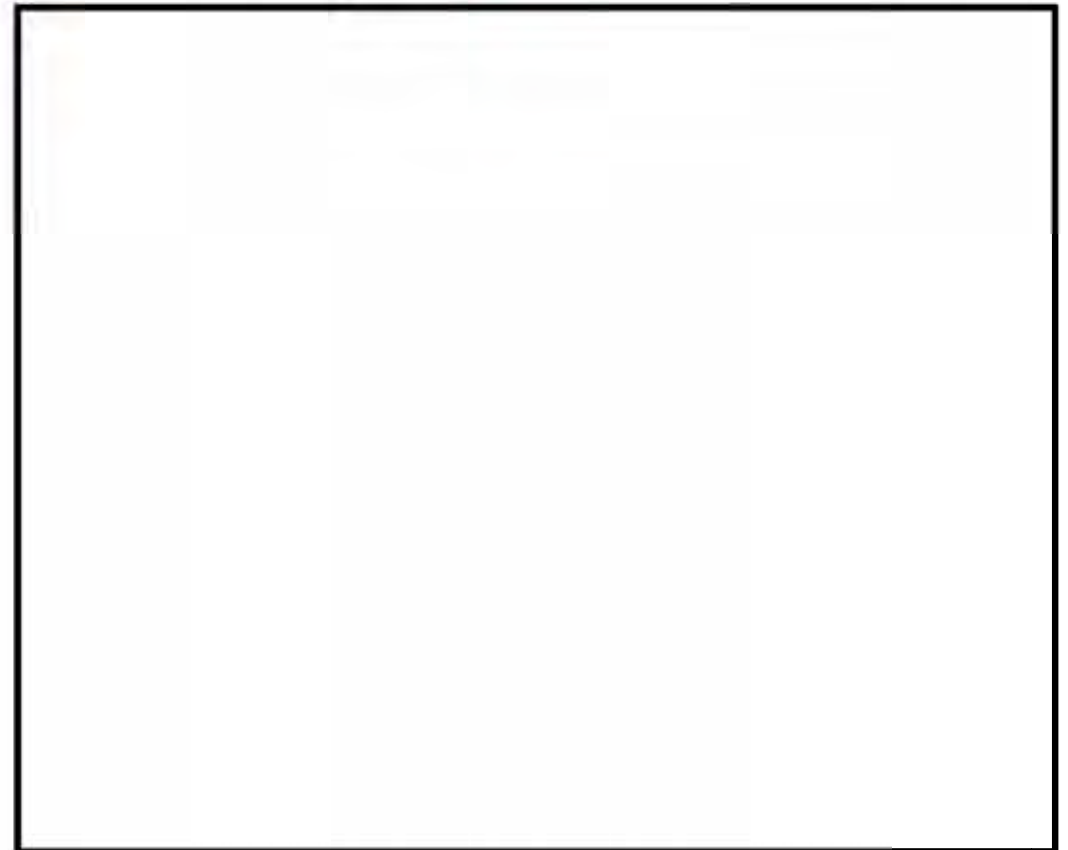
○ 加振試験結果

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



BOP閉止装置加振試験結果

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

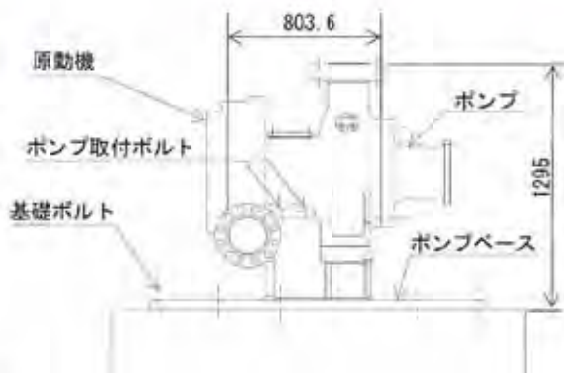


床応答曲線の比較図(扉開時)

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

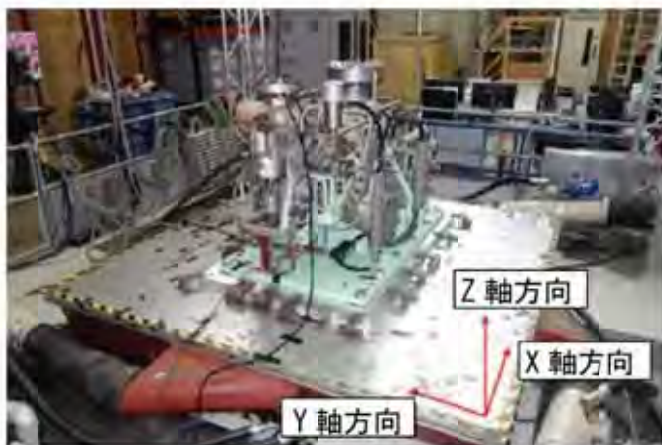
加振試験等の条件

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

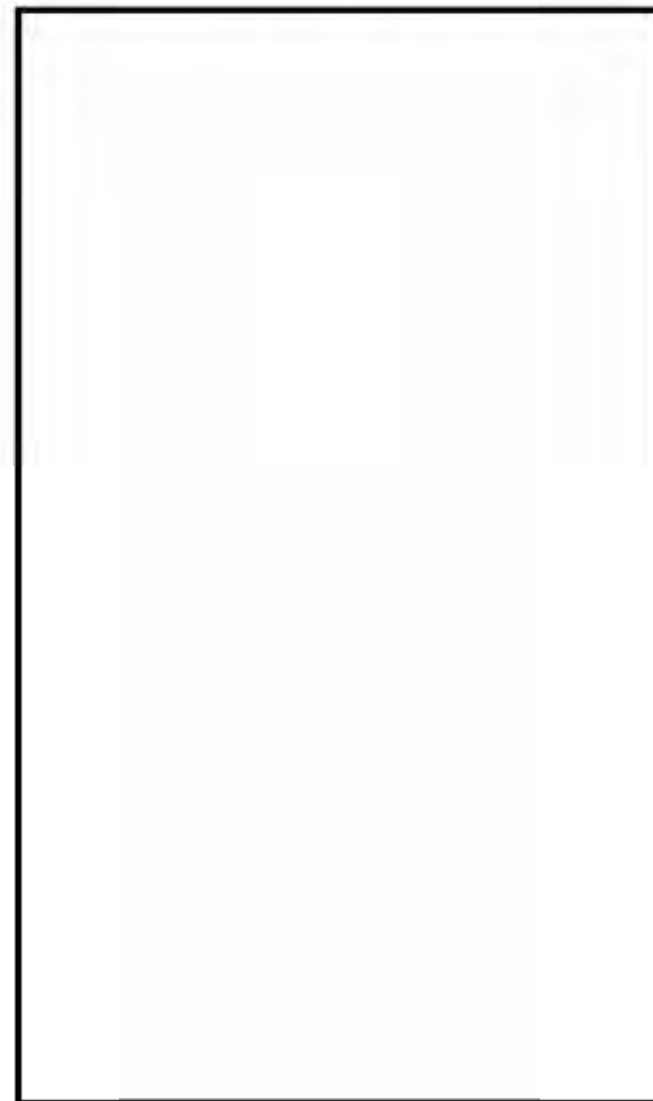


(単位: mm)

常設高圧代替注水系ポンプ外形図



常設高圧代替注水系ポンプ加振試験装置



模擬地震波の時刻歴波形

○ 加振試験の妥当性

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

○ 加振試験結果

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

各方向の固有周期

方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
X		
Y		
Z		

最大加速度の比較

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

常設高圧代替注水系ポンプ加振試験結果

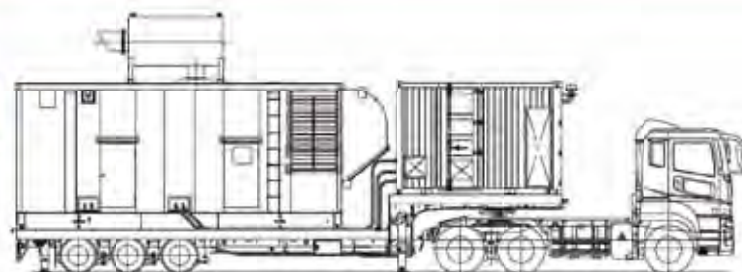
試験項目	結果
漏えいのないこと	良好
構造上損傷のないこと	良好
加振中にガバナが許容値以上変位しないこと	良好
トリップ装置が誤作動しないこと	良好
動作試験として加振試験前後の性能比較により機器の健全性及び動作性に異常がないこと	良好
分解点検の外観目視試験により損傷のないこと	良好

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

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

加振試験等の条件

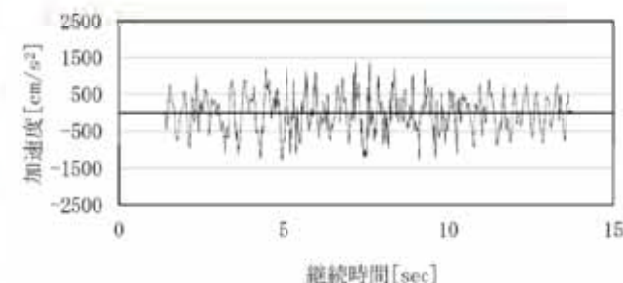
常設代替高圧電源装置	
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 20m × 15m ・最大積載量: 1200t ・加振台: 防災科学研究所 (E-ディフェンス)
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



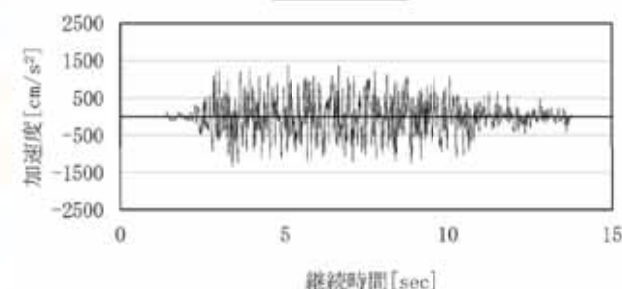
常設代替高圧電源装置外形図



常設代替高圧電源装置加振試験装置



水平方向



鉛直方向

模擬地震波の時刻歴波形

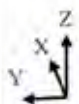
○ 加振試験の妥当性

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

○ 加振試験結果

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

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



常設代替高圧電源装置加振試験結果

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

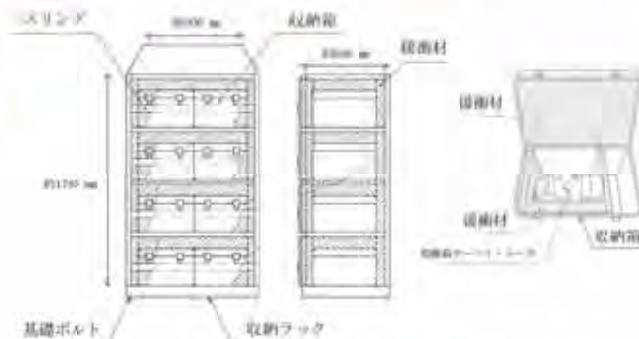
床応答曲線の比較図

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

《可搬型設備一覧》		
・緊急時対策所エリアモニタ	・可搬型気象観測設備	・無線連絡設備(携帯型)
・可搬型モニタリング・ポスト	・可搬型気象観測設備端末	・携行型有線通話装置
・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)	・逃がし安全井用可搬型蓄電池
・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

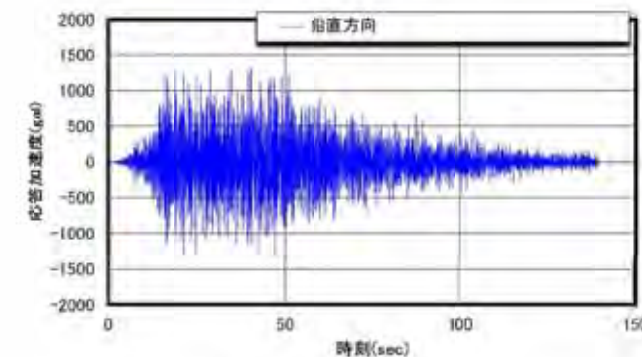
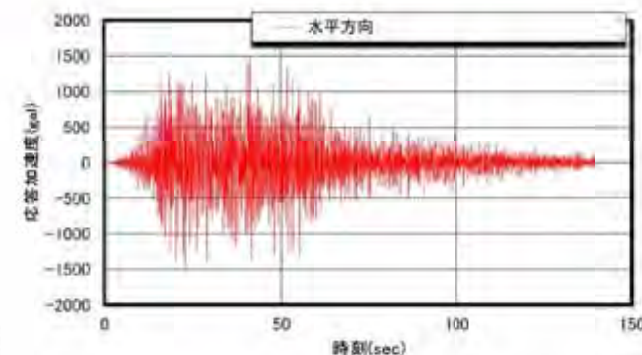
電離箱サーベイ・メータ	
加振台仕様	・寸法: 4m × 3m ・最大積載量: 7t ・加振台: (株)NTTファシリティーズ
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



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



模擬地震波の時刻歴波形

○ 加振試験の妥当性

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

○ 加振試験結果

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



床応答曲線の比較図

電離箱サーベイ・メータ加振試験結果

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

- ・ 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 영향が小さいもの
 - Cクラス: Sクラス及びBクラス以外のもの

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

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

設計基準対象施設の耐震重要度分類及び設計方針(2/3)

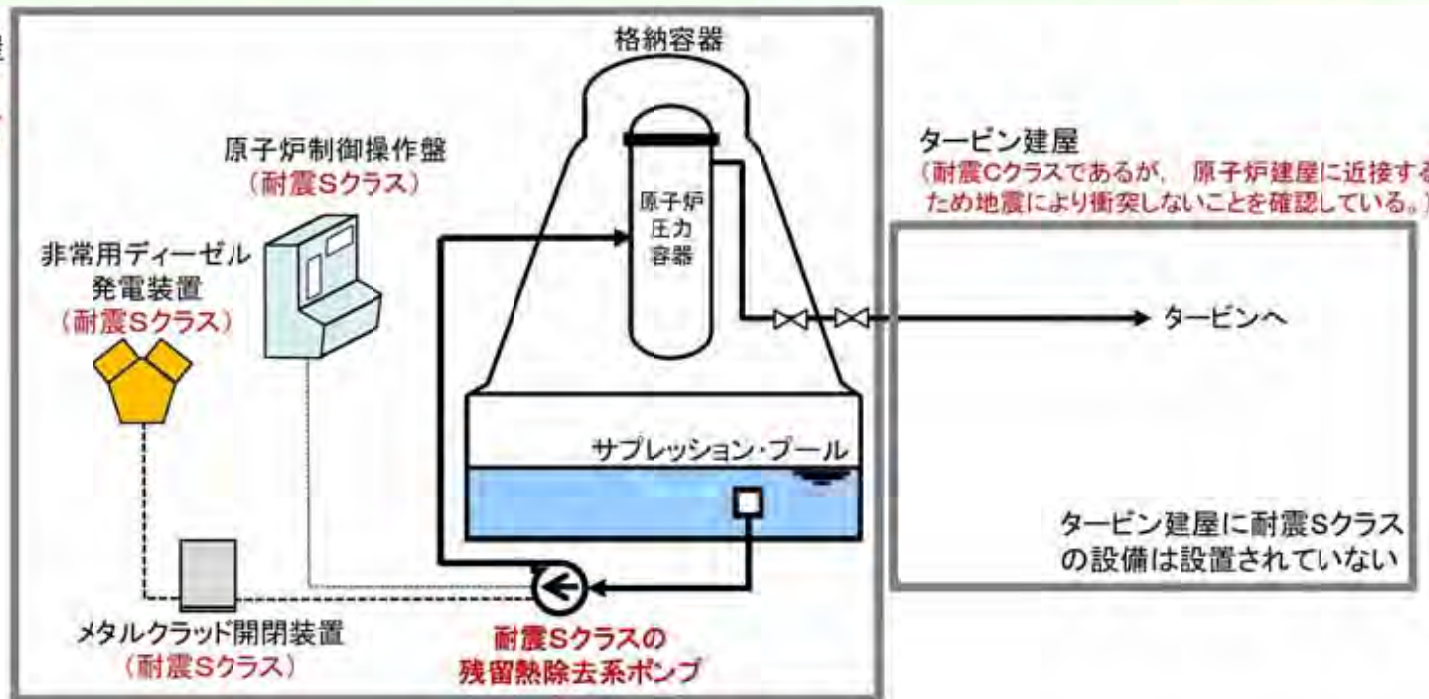
- 耐震重要度の分類の考え方を耐震Sクラスである残留熱除去系ポンプを例に示す。主に機能が要求される耐震Sクラス設備(残留熱除去系ポンプ)に加え、当該設備の動作に必要な補助設備として、非常用ディーゼル発電装置、原子炉制御操作盤、メタルクラッド開閉装置についても、同様の耐震重要度に分類し、耐震Sクラスとしての耐震健全性の確認を行っている。
- また、耐震Sクラス設備が設置されている建物として、原子炉建屋は、耐震Sクラス設備の機能が維持できるように基準地震動 S_s により耐震評価を行い健全性を確認している。なお、タービン建屋は耐震Cクラスであるが、耐震重要度が高い設備が設置された原子炉建屋に近接す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

*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 S_s 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 S_s に対する健全性を確認)



- 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Ss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Ss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	パレルケーシング	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。

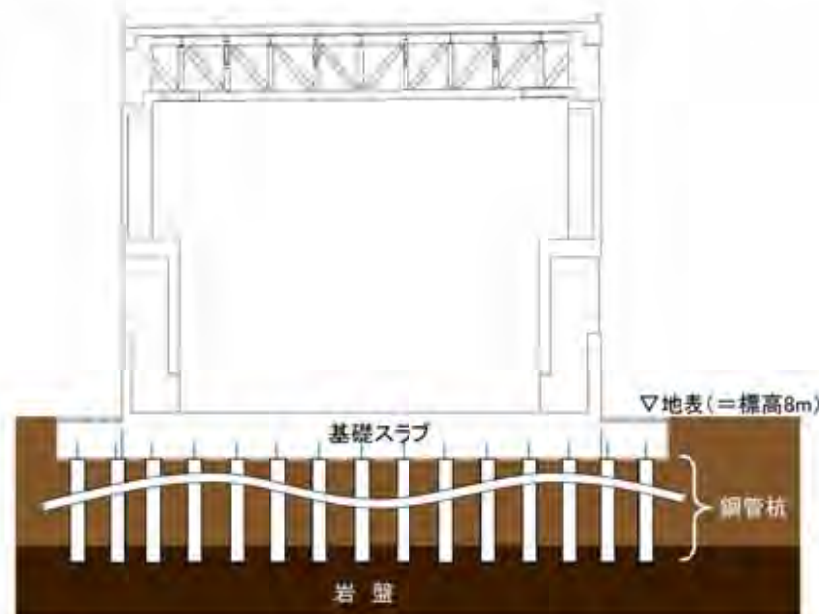
*: 設計基準強度 $F_c = 13.7$ (N/mm²)



原子炉建屋の設置状況図

○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

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

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

19. 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)

(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筐体系・補助施設を含む)	S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・原子炉建屋クレーン ・燃料取扱機 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s S _s S _s S _s
	(iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設	・制御棒、制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系(スクラム機能に関する部分)	S	・炉心支持構造物 ・電気計装設備 ・チャンネル・ボックス	S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・原子炉本体の基礎	S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s
	(iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備) ・冷却水源としてのサブプレッション・チェンバ	S S S S	・残留熱除去系海水系 ・炉心支持構造物 ・高圧炉心スプレイ系 ・ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設 ・非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S S S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s
	(v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系(低圧注入モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 ・冷却水源としてのサブプレッション・チェンバ	S S S S 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

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)		波及的影響を 考慮すべき施設(注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Sクラス	(vi) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力降下となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器 原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁 	S	<ul style="list-style-type: none"> 隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 	S ₀	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉ウエル用遮蔽ブロック タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S ₀
	(vii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための設備であり、(vi)以外の施設	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード運転に必要な設備) 可燃性ガス濃度制御系 原子炉建屋原子炉棟 非常用ガス処理系 非常用ガス再循環系 原子炉格納容器圧力低減装置(ダイヤモンド・フロア、ベント管) 冷却水源としてのサプレッション・チェンバ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 当該施設の機油維持に必要な空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉本体の基礎(注7) 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 排気筒 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S ₀	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S ₀
	(viii) 津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤 防潮扉 放水路ゲート 構内排水路逆流防止設備 貯留堰 浸水防止蓋 貫通部止水処置 	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S ₀	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S ₀
	(ix) 敷地における津波監視機能を有する施設	<ul style="list-style-type: none"> 取水ピット水位計 潮位計 津波・構内監視カメラ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S ₀	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S ₀
	(x) その他	<ul style="list-style-type: none"> ほう酸水注入系(注8) 圧力容器内部構造物(注9) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 原子炉圧力容器 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉本体の基礎 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S ₀	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S ₀

(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5)
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 ₀ S ₁
		・主蒸気逃がし安全弁排気管	B (注10)	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋	S ₁
		・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 ₀ S ₀
	(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し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 ₀ S ₀
	(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	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 ₀ S ₀ S ₀ S ₀
		・復水脱塩装置	B	—	—				
・復水貯蔵タンク		B	—	—					
・燃料プール冷却浄化系		B	—	—					
・放射線低減効果の大きい遮蔽		B	—	—					
・制御棒駆動水圧系(放射性流体を内蔵する部分)		B	—	—					
・原子炉建屋クレーン	B	—	—						
・燃料取替機	B	—	—						
・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	B	—	—						
・制御棒貯蔵ラック	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)	
		通用範囲	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 _{FL} S _{FL}
	(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 ・制御棒駆動水系統(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	-	-	・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5)
Cクラス	(出)原子炉施設ではあるが、放射線安全に関係しない施設	<ul style="list-style-type: none"> ・循環水系 ・タービン補機冷却系 ・所内ボイラ及び所内蒸気系 ・消火系 ・主変電機・変圧器 ・空調設備 ・タービン建屋クレーン ・所内用空気系及び計器用空気系 ・その他 	C C C C C C C C			<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他 	S _s S _d S _B S _C

(注1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。

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

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

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

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

(注6) S_s : 基準地震動 S_sにより定まる地震力

S_d : 弾性設計用地震動 S_dにより定まる地震力

S_B : 耐震Bクラス施設に適用される地震力

S_C : 耐震Cクラス施設に適用される静的地震力

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

(注8) ほう酸水注入系は、安全機能の重要度を考慮して、Sクラスに準ずる。

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

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

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

○ 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_0 は耐震重要度分類にかかわらず1.0とする。

(注4) $C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$ (R_t : 振動特性係数0.8 A_i : C_i の分布係数 C_0 : 標準せん断力係数0.2)

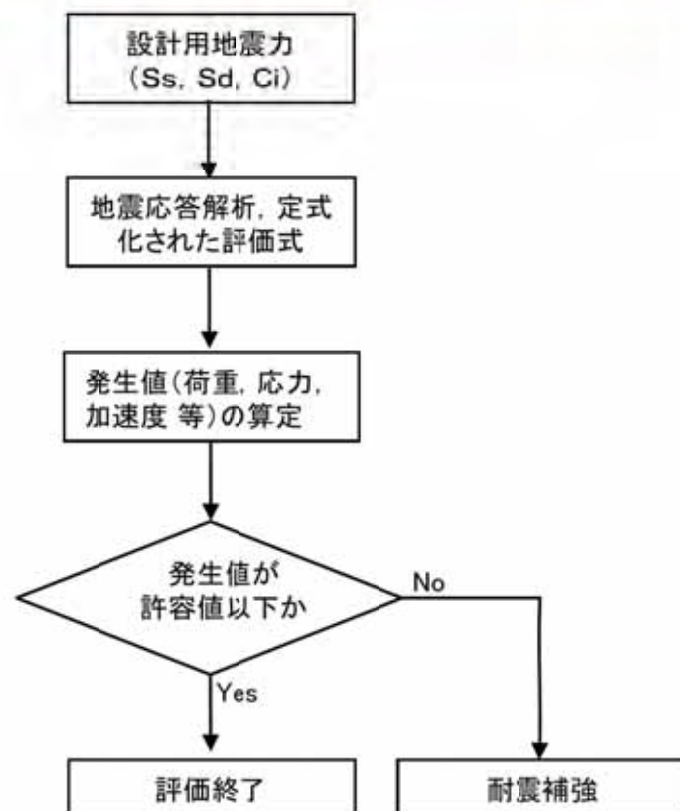
(注5) $C_v = R_v \cdot 0.3$ (R_v : 鉛直方向振動特性係数0.8)

(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、建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。

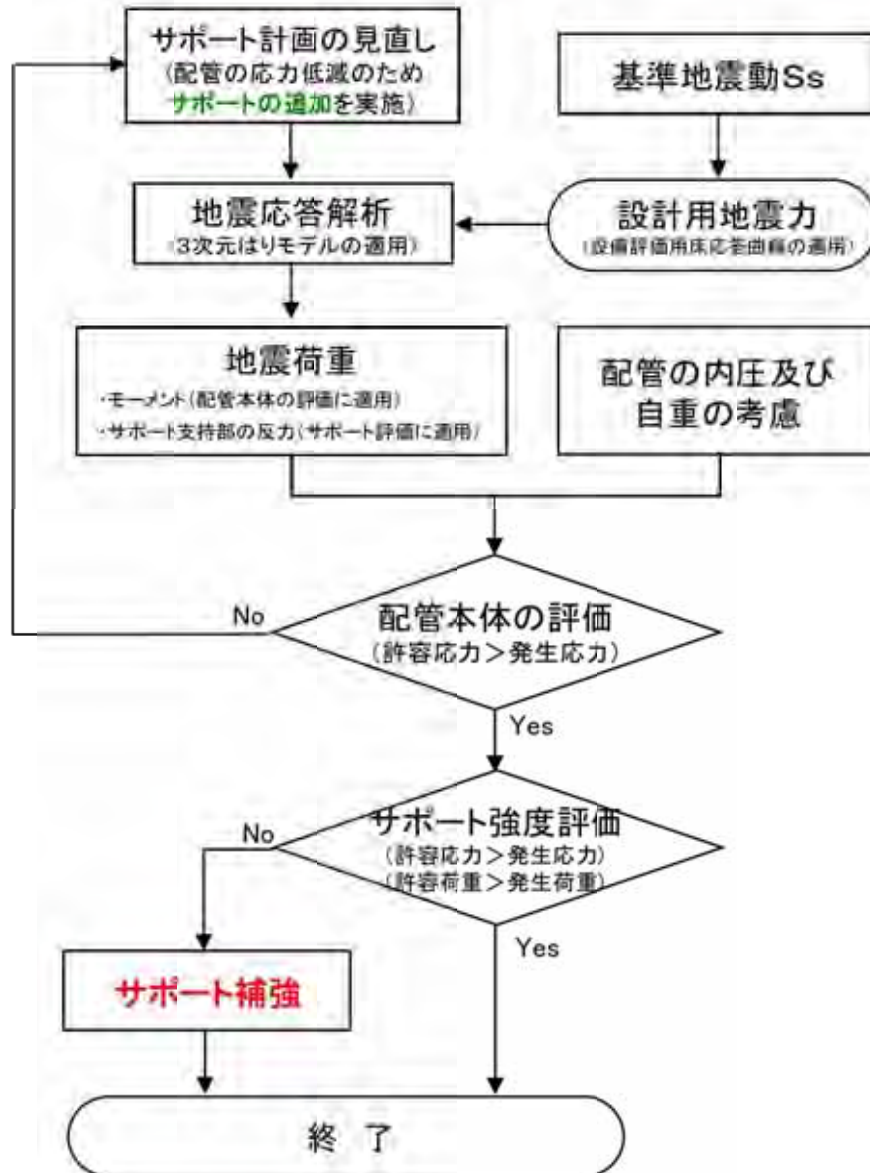
詳細な評価の内容を格納容器スタビライザ及び配管系を代表として説明する。



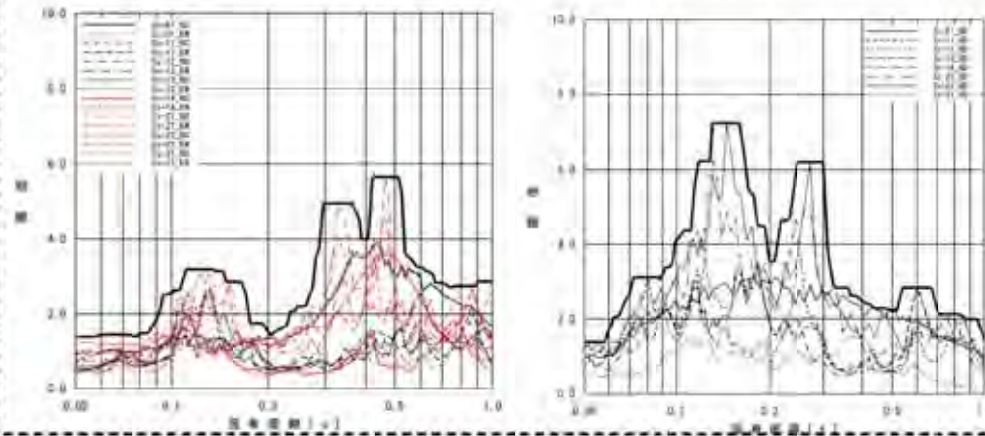
耐震評価の概略フロー

	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	支持建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 構築物	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
	取水構築物	地震時の取水構築物 の健全性維持	地盤改良

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

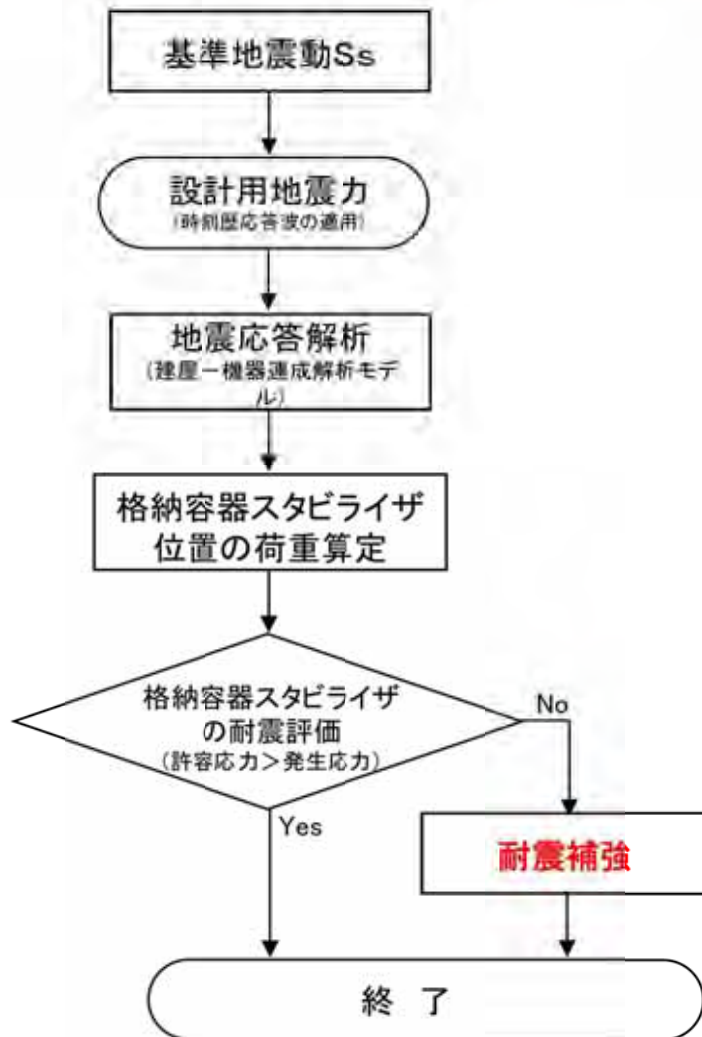
* 一次+二次応力が許容応力を超えているが、規格要求に基づき疲労累積係数が1以内であることを確認している。

サポートの耐震評価結果

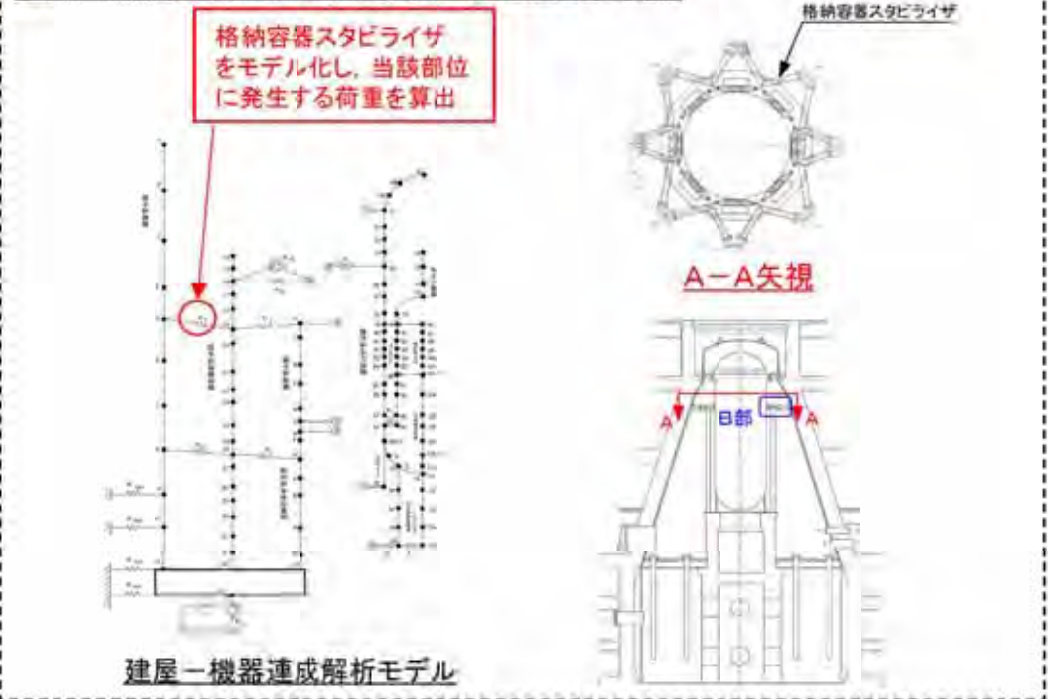
サポート種類	発生 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
オイルスナッパ	1430	1500
ロッドレストレイント	852	1080
スプリングハンガ	58.4	72.9
コンスタントハンガ	180.0	207.9



格納容器スタビライザの耐震評価による設計手順



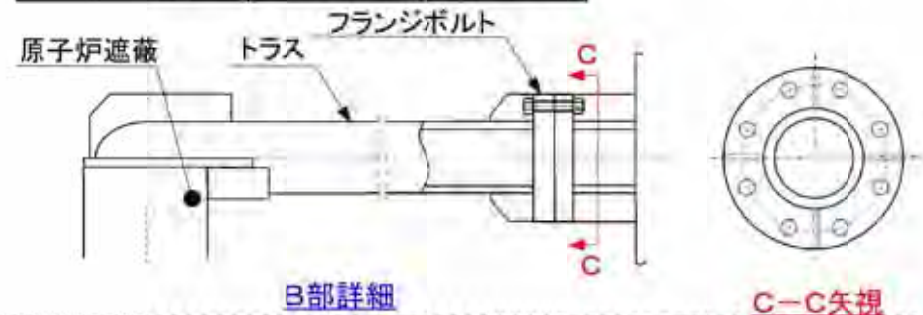
建屋-機器連成解析モデルを用いた地震応答解析



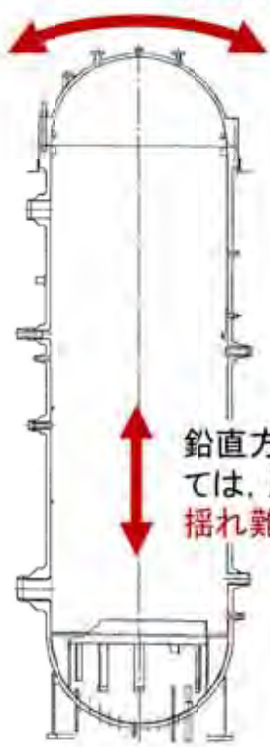
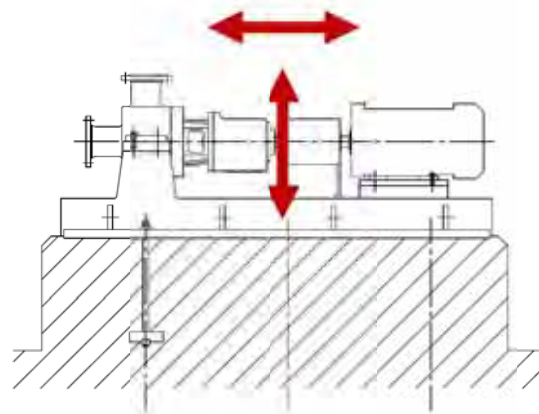
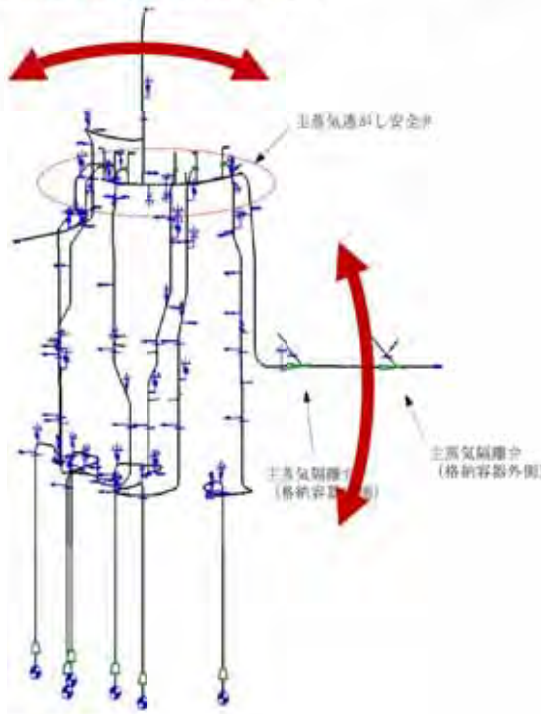
格納容器スタビライザの耐震補強

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



- 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
<p>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。</p>  <p>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。</p>	<p>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。</p> 	<p>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。</p> 

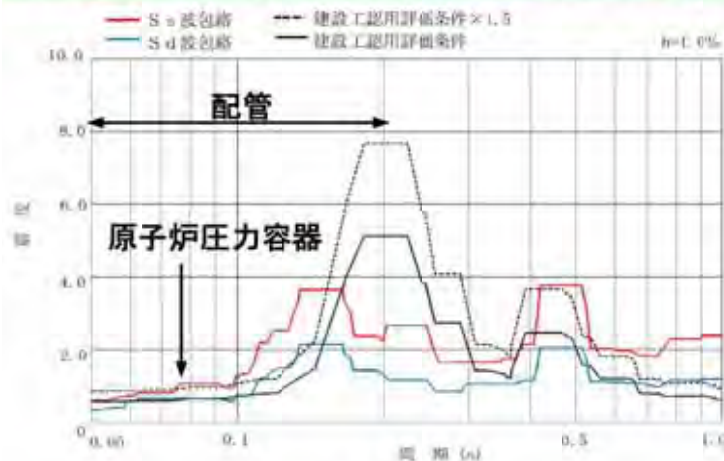
○ 地震に対して揺れ難い特徴を持つ設備(剛設備)に対する設計用地震力の増大による影響

- ・ 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。

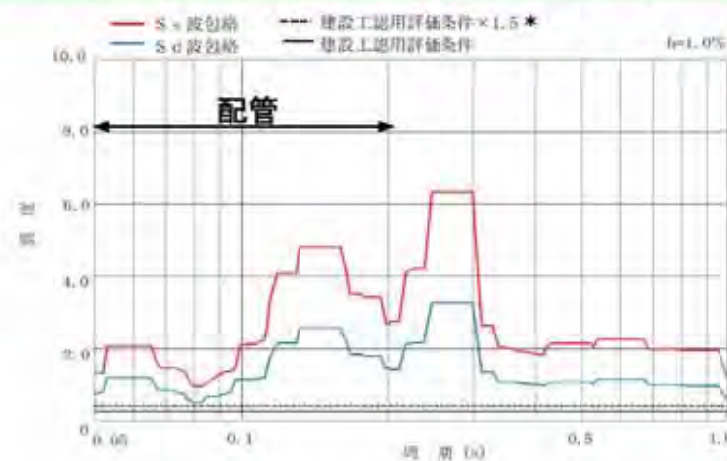
標高	水平方向の設計用地震力(震度)						標高	鉛直方向の設計用地震力(震度)					
	建設時			今回工認				建設時			今回工認		
	評価条件 ×1.5	評価条件	静的震度	S _s	S _d	静的震度		評価条件 ×1.5	評価条件	静的震度	S _s	S _d	静的震度
原子炉建屋 基礎上 (EL.-4.0m)	0.795	0.53	0.576	0.58	0.31	0.58	原子炉建屋 基礎上 (EL.-4.0m)	—	—	0.29	0.60	0.32	0.29

○ 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S_s, 弾性設計用地震動S_d)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】



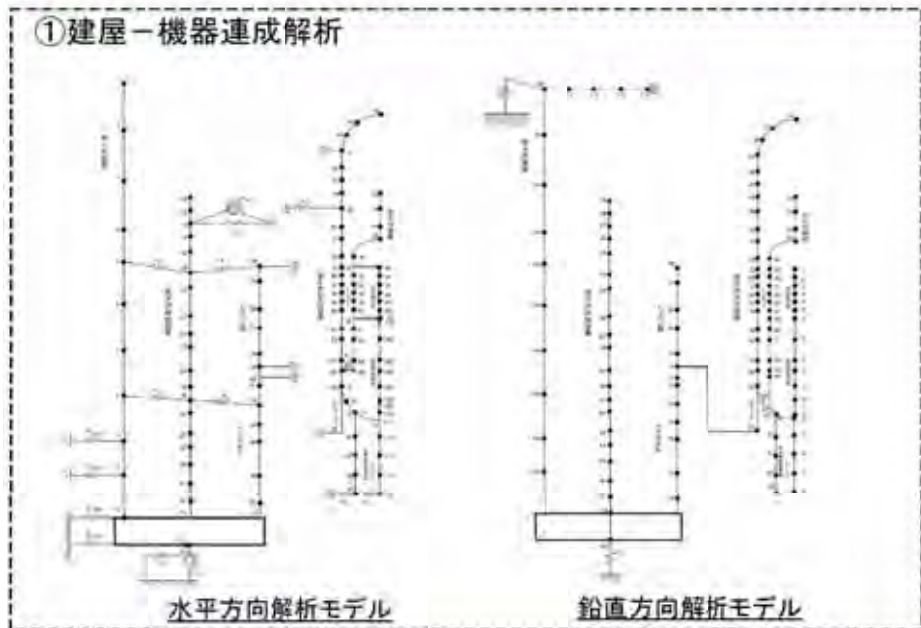
原子炉建屋基礎上(EL.-4.0m)の床応答スペクトル(水平方向)



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。

・原子炉压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。



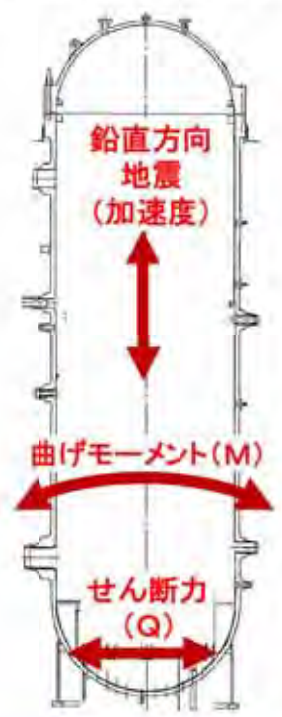
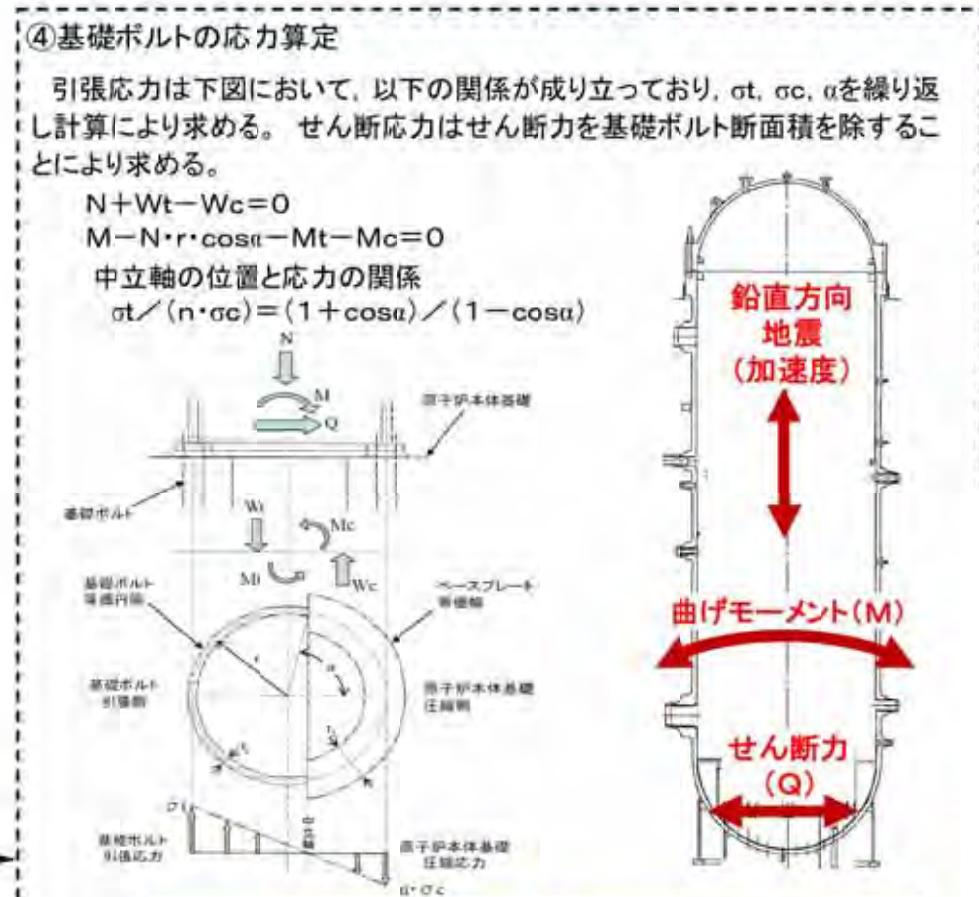
② 基準地震動 S_g の荷重を算出

		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压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压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)

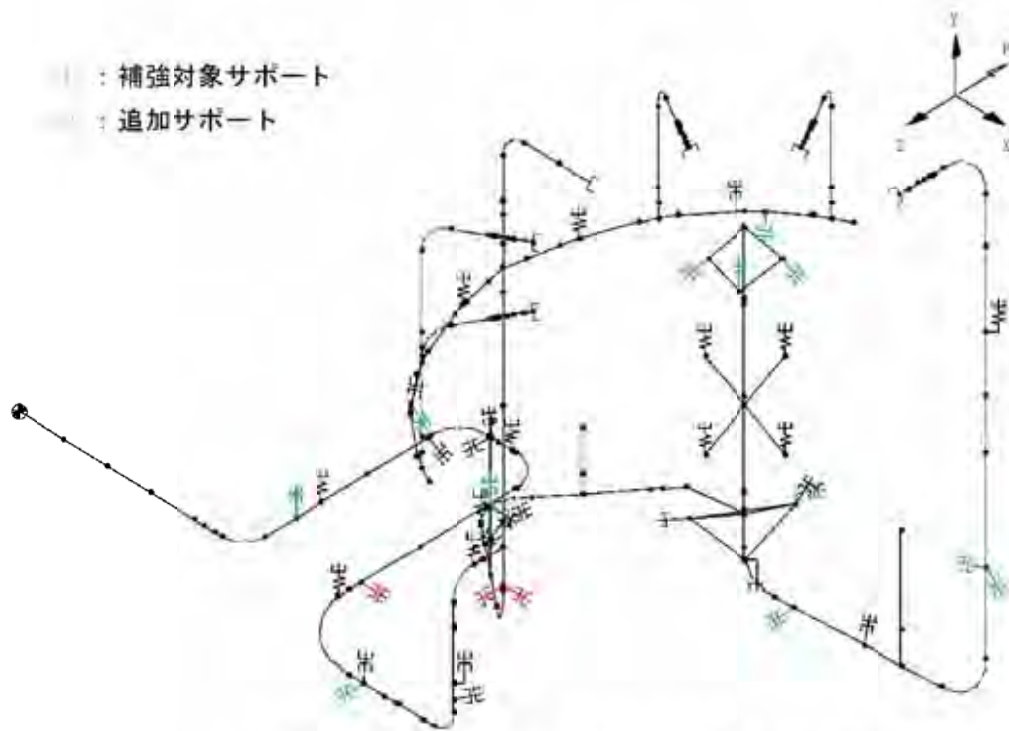
	鉛直方向荷重 N (kN)
地震以外 (自重+制御棒挿入時の荷重)	26200(最大) 1030(最小)



	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えている。

- ・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	オイルスナツバ
	
<p>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。</p>	<p>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。</p>

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	$2 \cdot S_m$	$3 \cdot S_m^{*1}$	$3 \cdot S_m^{*2}$ 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-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
S s-11	F1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-12	F1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-13	F1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-14	F1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-21	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-22	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-31	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

○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

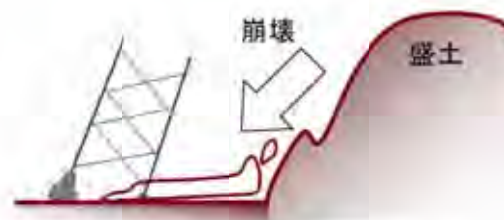
(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

- ・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

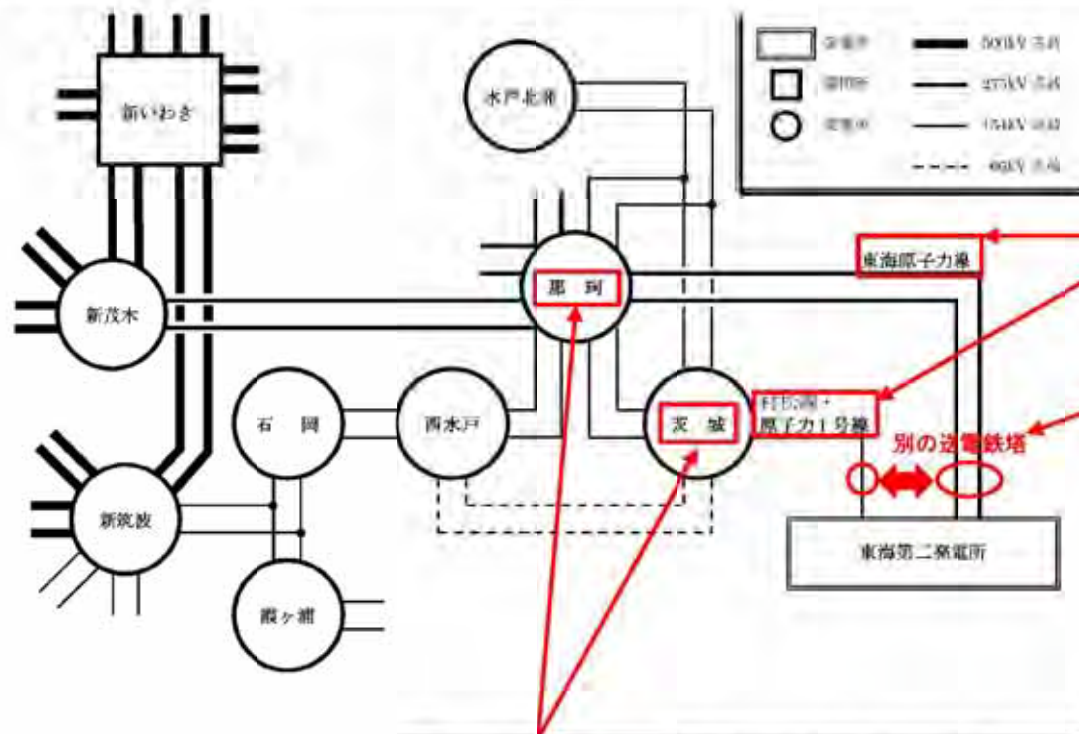


鉄塔基礎の安定性評価



＜別紙＞保安電源設備の規制概要(第33条)と東海第二発電所の対応

- 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。

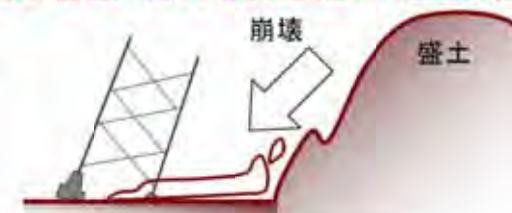
* 275kV送電線の送電容量: 約1,138MW(1回線当たり)及び154kV送電線の送電容量: 約269MWは、それぞれ非常用ディーゼル発電機容量(1基): 5.2MW以上を確保

(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

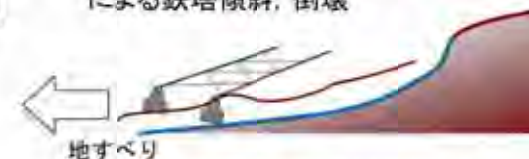
・発電所に接続する送電・変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認

- 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。

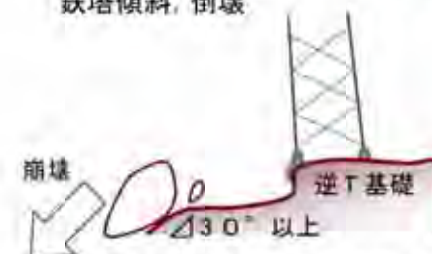
線路名	鉄塔基数	現地の調査による確認基数			対応必要基数
		盛土	地すべり	急傾斜地	
275kV 東海原子力線	44基	2基	0基	3基	0基
154kV 原子力1号線	8基	0基	0基	0基	0基
154kV 村松線	28基	0基	0基	2基	0基



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。

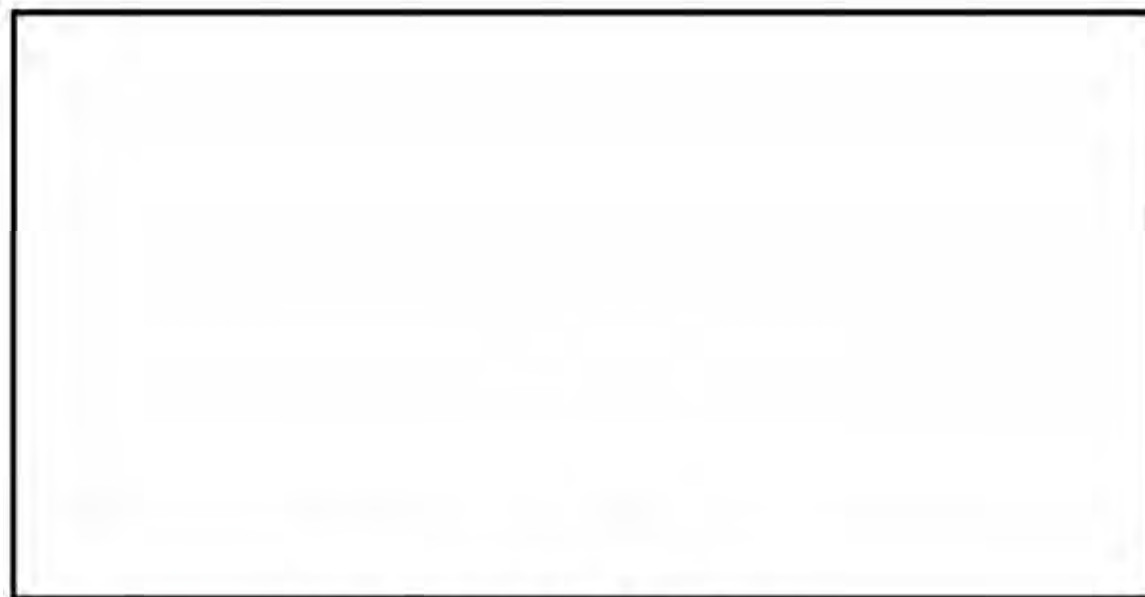
*3: JEAG5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に基づいた評価が実施されており、設計上の裕度を確認している。

(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

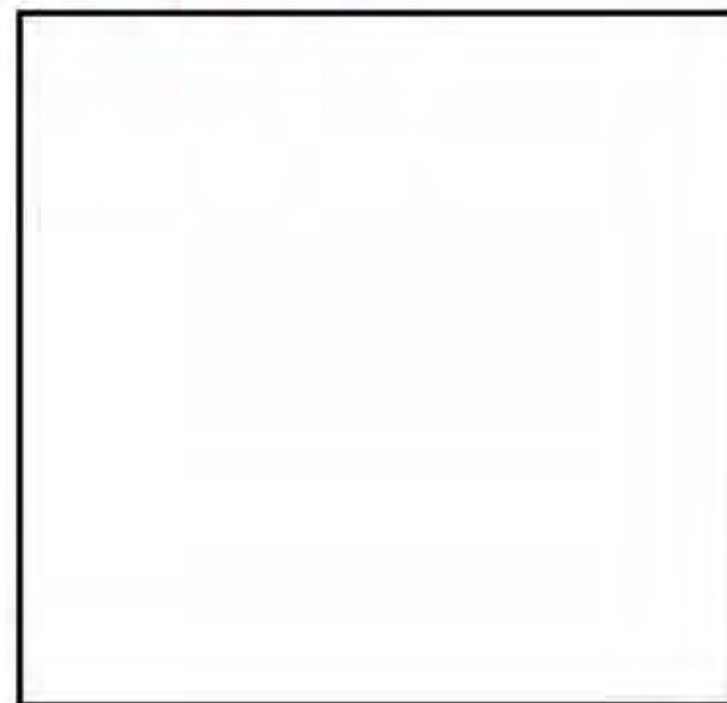
・発電所に繋がる複数系統の送電鉄塔・電線路の経路の配置より、仮に1つの鉄塔が倒壊しても、すべての送電線が同時に機能喪失しないように、電線路間の水平距離(離隔)を確保

○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

○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1図 外部電源送電線ルート



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)



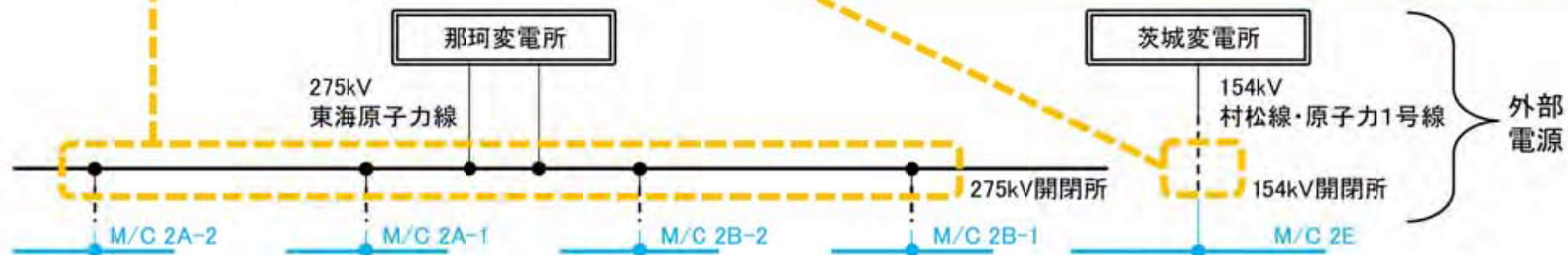
気中開閉所(取替前)

設備変更実施中

変更済

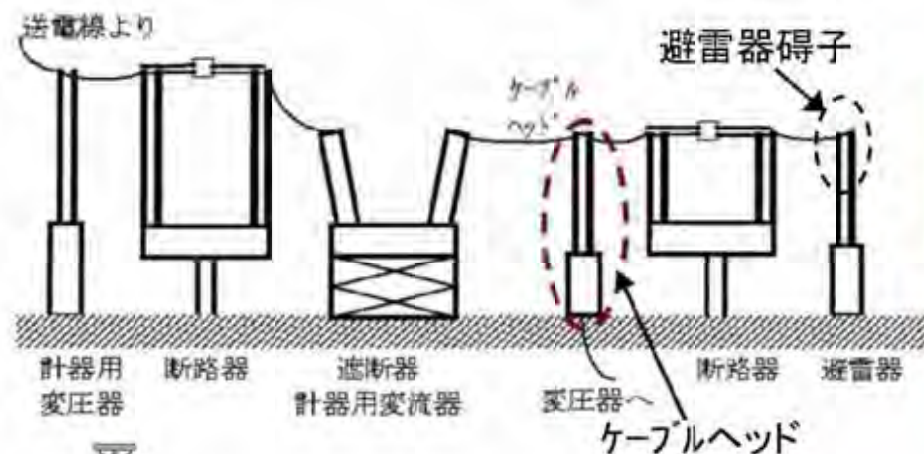


[対策例] 154kV開閉所 ガス絶縁開閉装置(取替後)



○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)

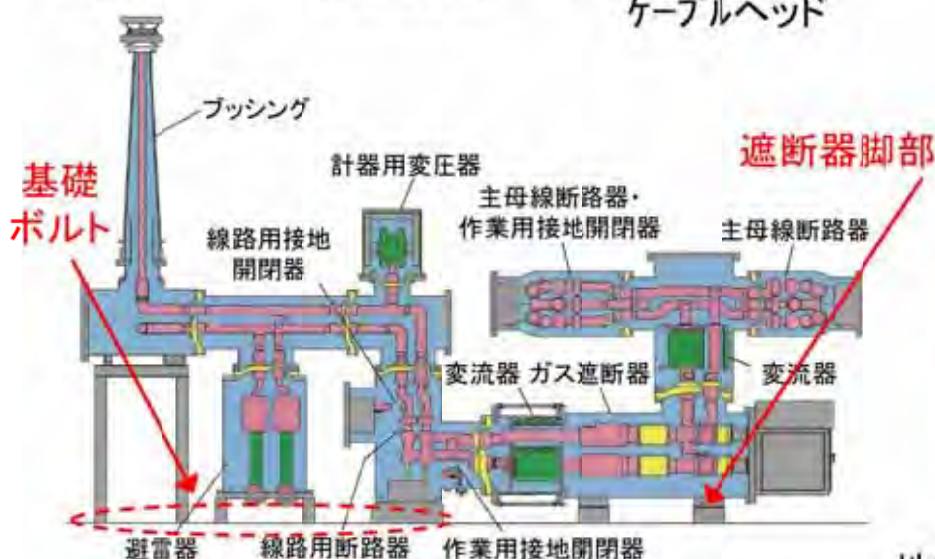
照査項目	耐震裕度*	評価部位
275kV超高圧開閉所 気中遮断器	1.32	ケーブルヘッド
154kV特別高圧開閉所 気中遮断器	1.31	避雷器碍子

* 過去の地震データをほぼ包含するよう機器下端に $3m/s^2$ 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。

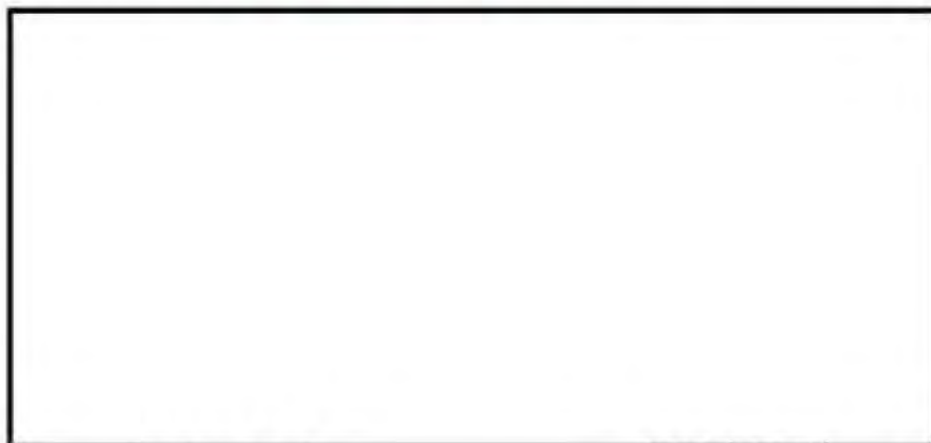
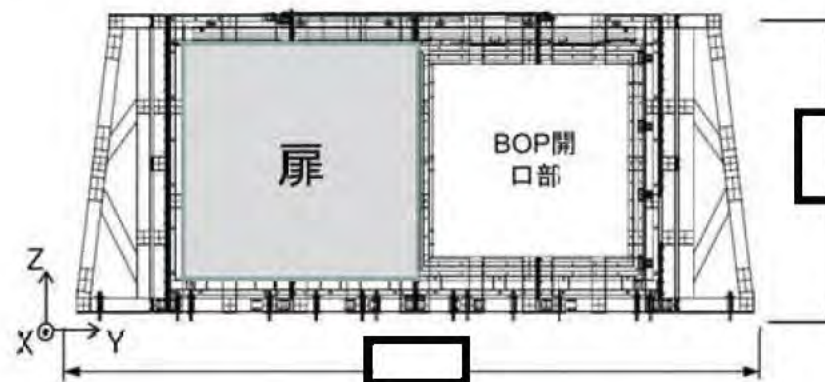
開閉所, ケーブル洞道及びケーブルトラフの配置

●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

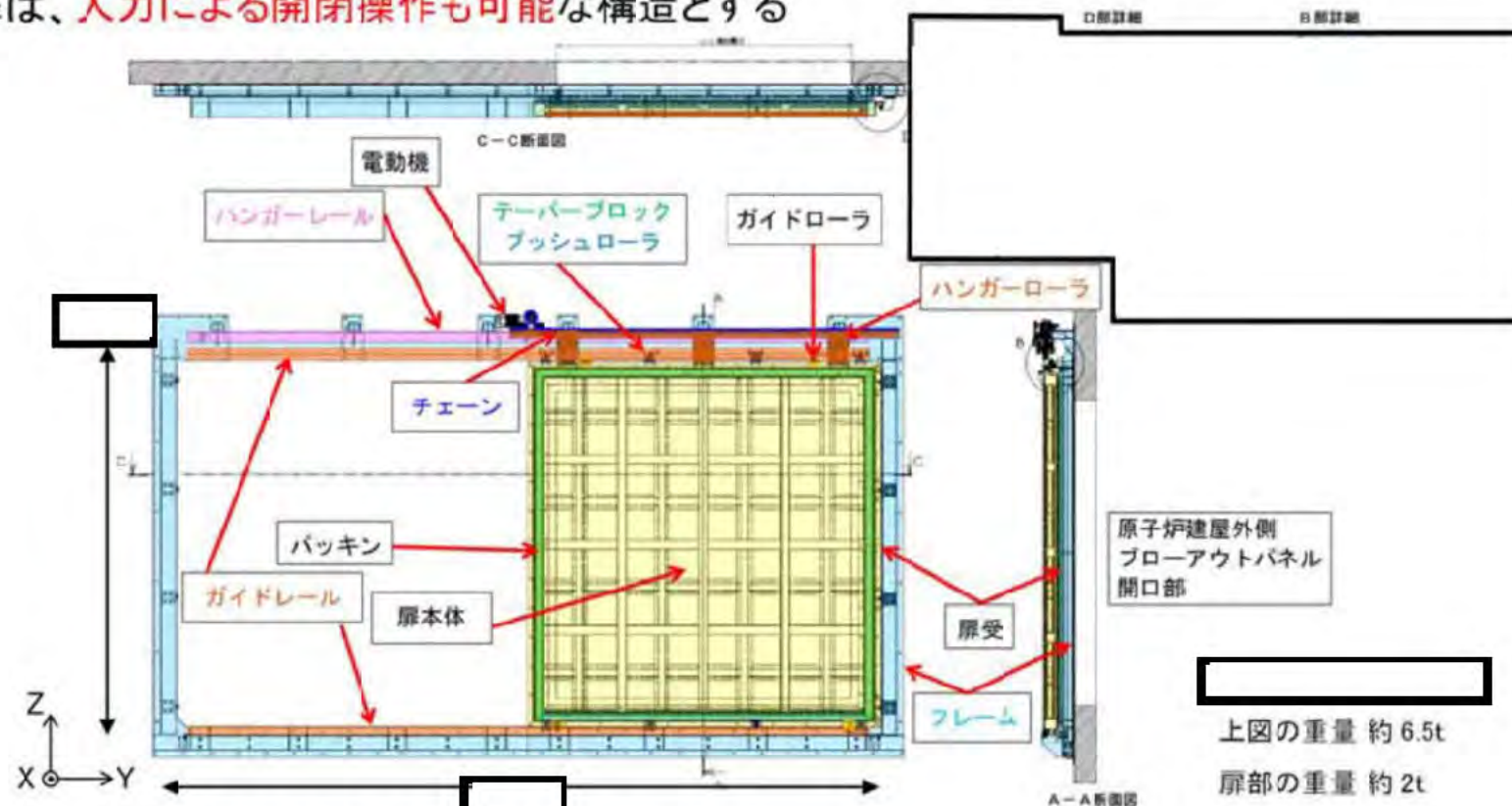
ブローアウトパネルの配置



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、 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

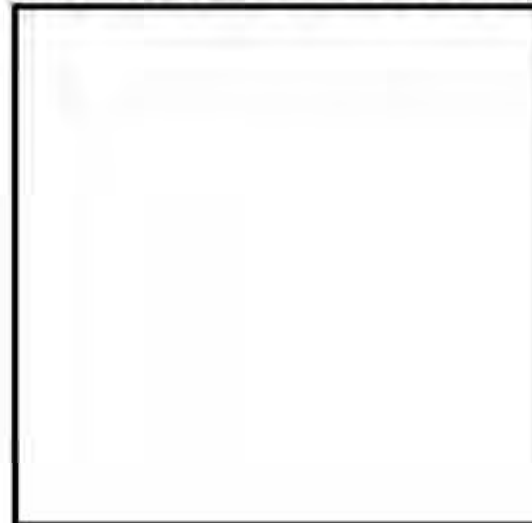
対策を検討し、再試験を実施した

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	

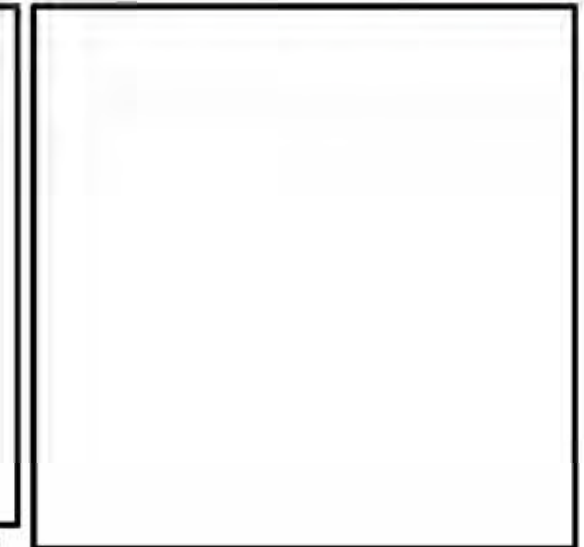
: 異状が発見された項目

●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)



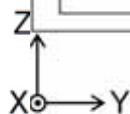
扉開状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月22日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、廻り止め溶接を実施していないチェーンに破損を確認)



扉閉状態レベル3加振後のチェーンの状態
(6月21日)



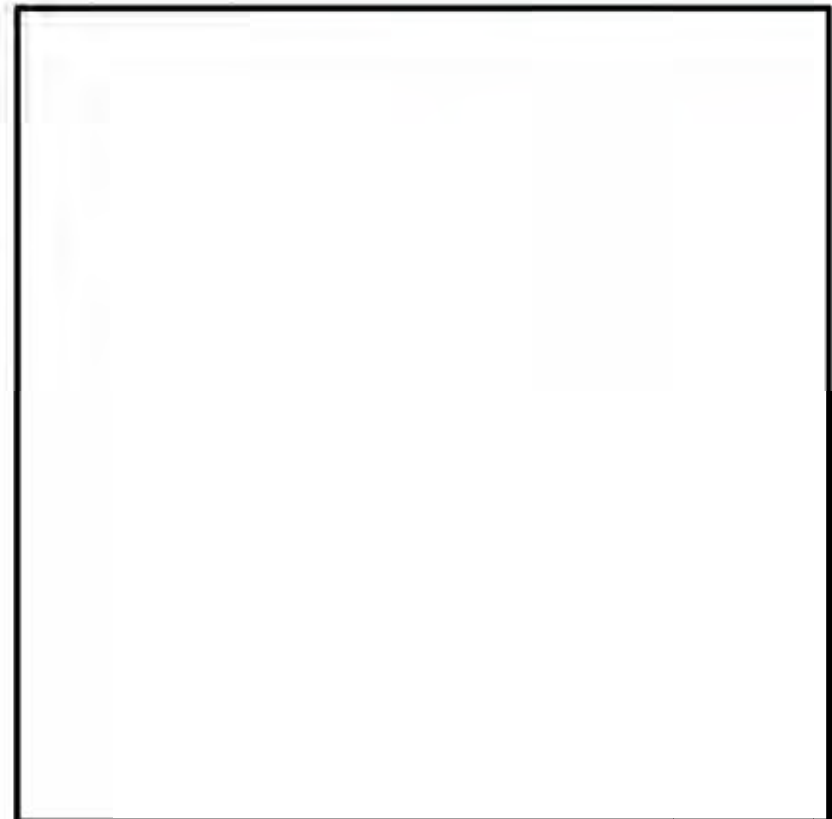
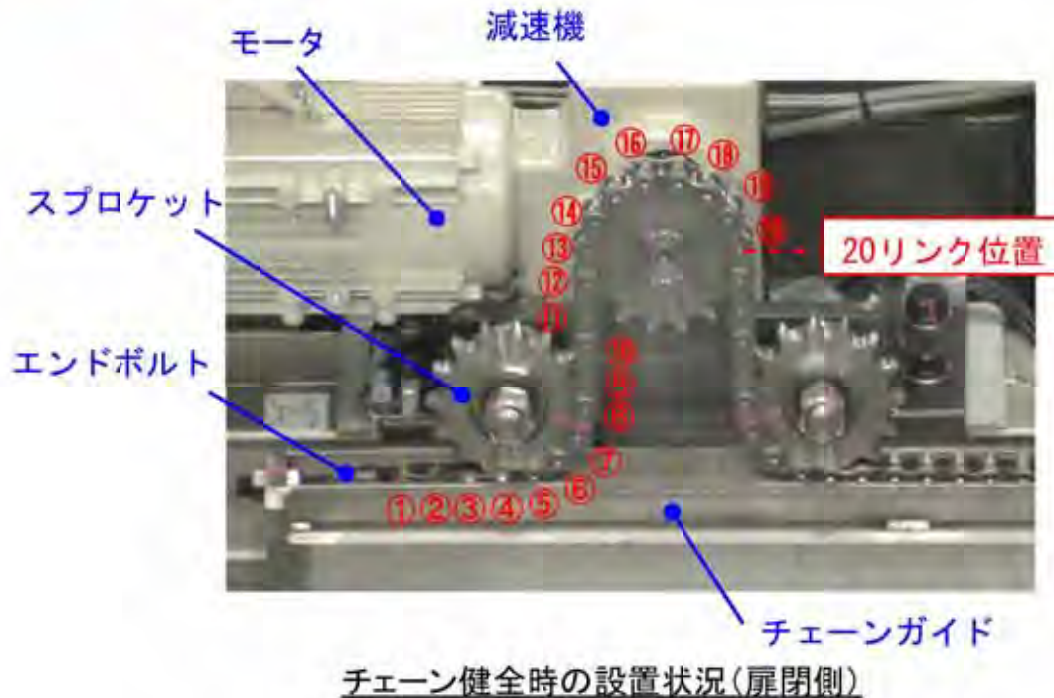
扉閉状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月21日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、チェーン破損はなかったが、約38mm(新品全長は約6m)の伸びが確認された)



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。



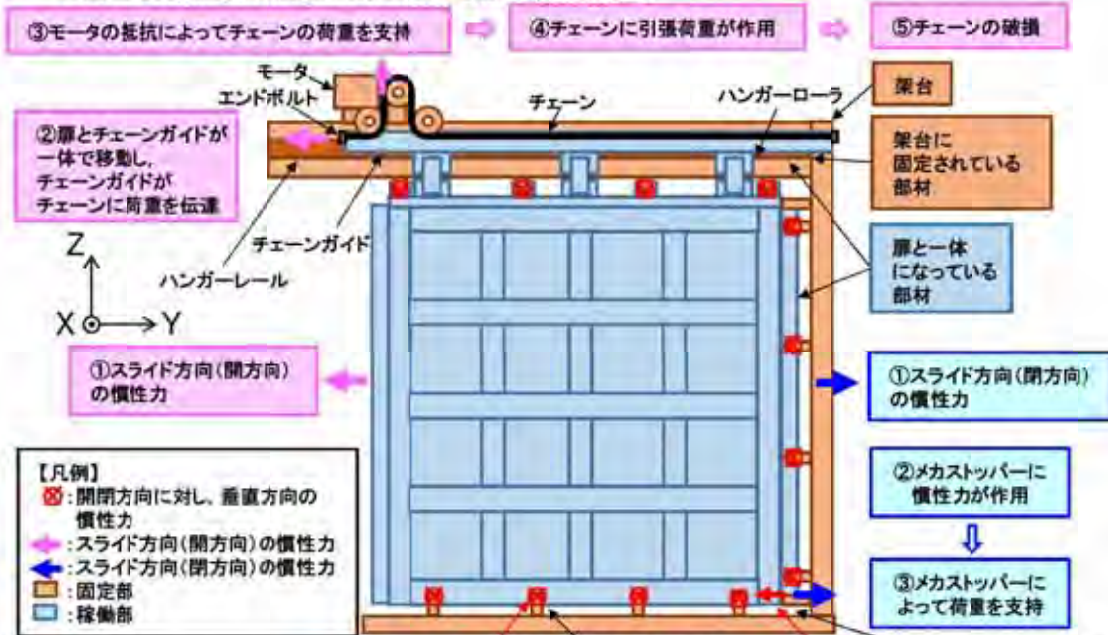
チェーンの伸び測定記録 (単位:mm)



●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い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震試験時)＞

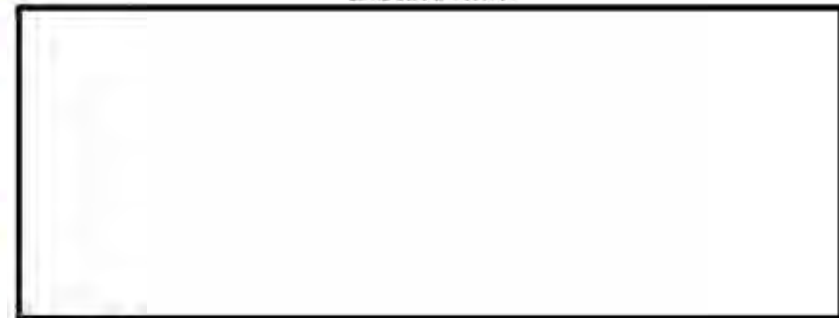
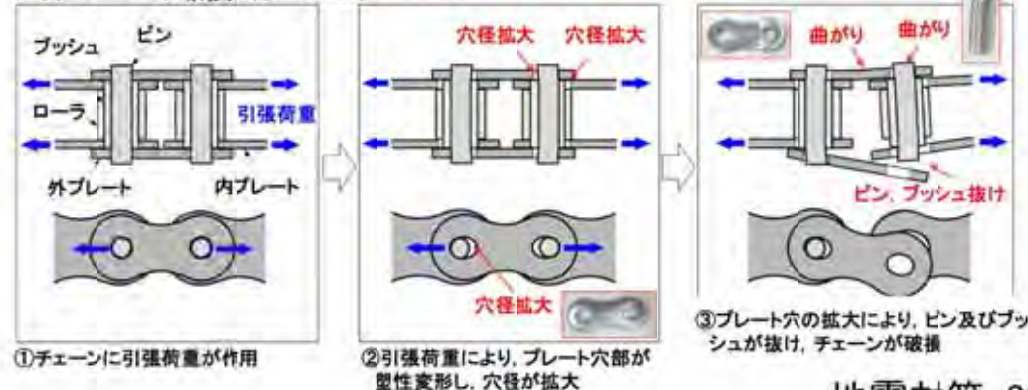


＜荷重伝達経路を構成する部品の強度評価＞



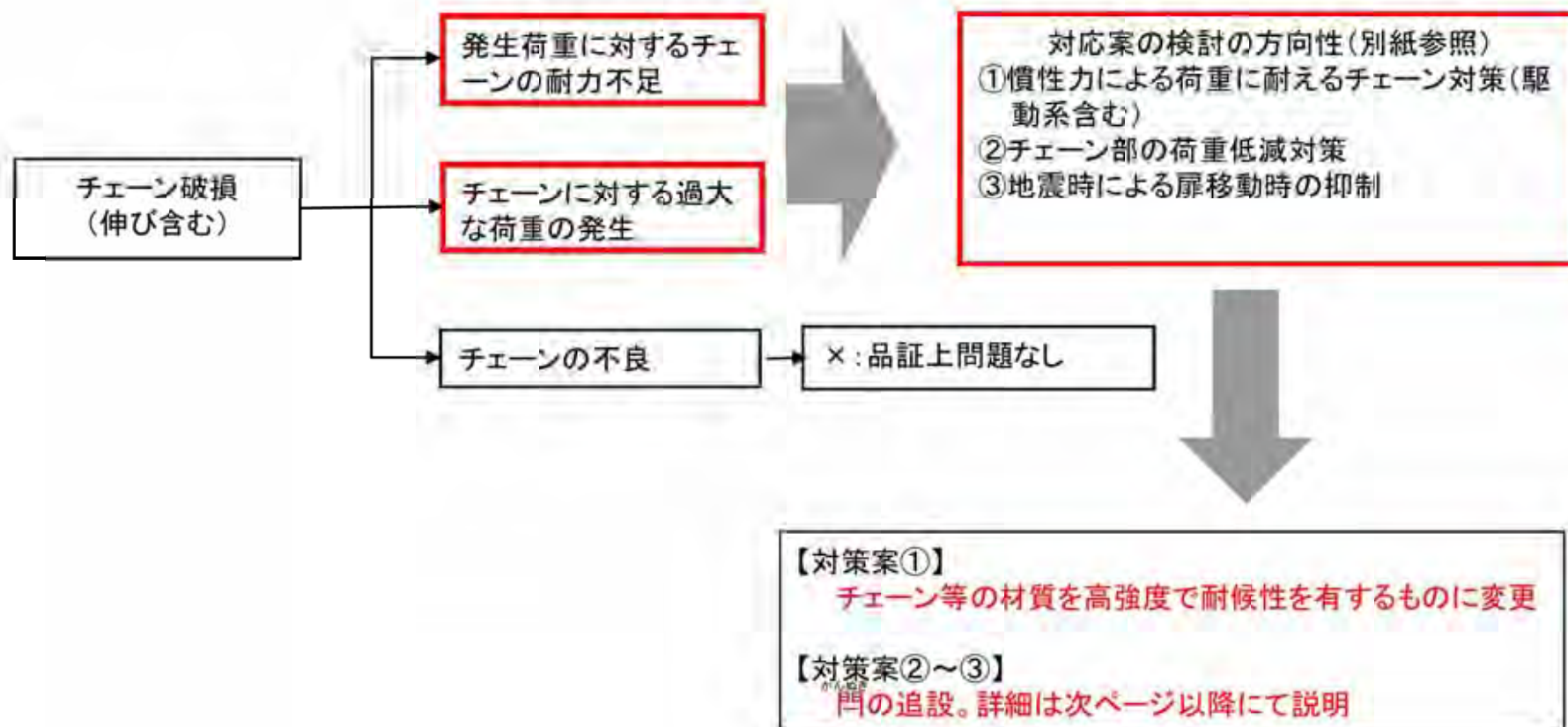
強度評価結果

＜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

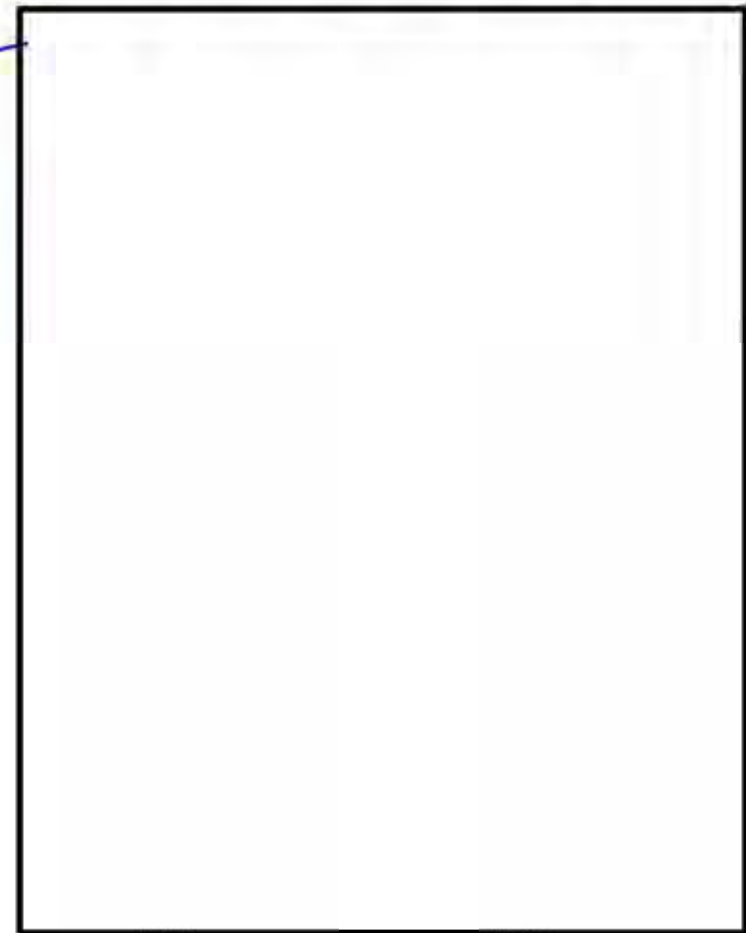
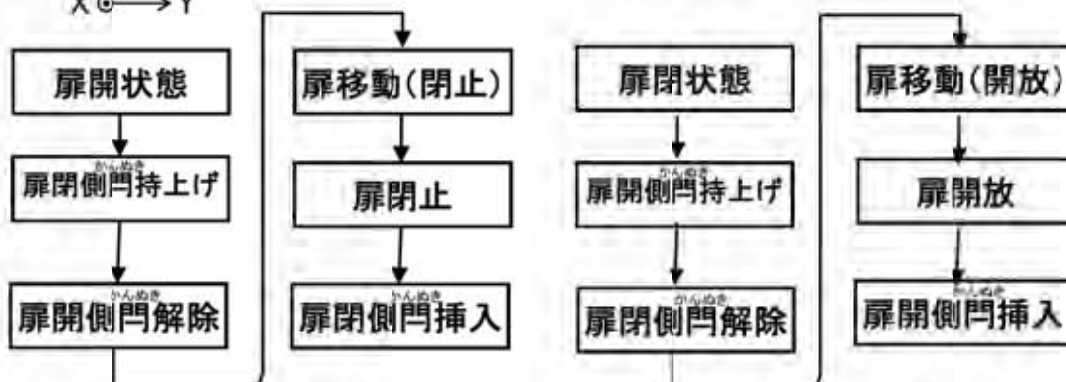
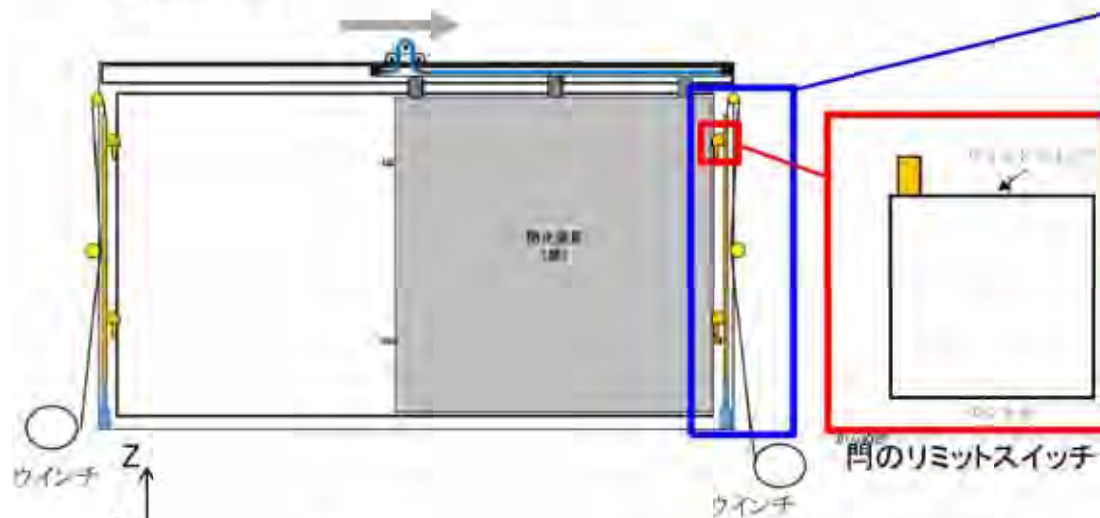
●チェーン損傷対策の方針



●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で、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はある。)

(閉止位置移動)



門作動前

門作動後

扉閉止時の動作フロー

扉開放時の動作フロー

●チェーン損傷対策: 門かんばんの追設(2/2)



扉開側かんばん(門挿入状態)

扉閉側かんばん(門挿入状態)

門構造の概要

●再試験(チェーン損傷対策後)

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

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

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

●再試験結果(1/3)

<チェーンの損傷, 伸び>

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

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

<チェーンの伸びについて>

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

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



●再試験結果(2/3)

<扉及び門作動試験(電動/手動)>

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

【門の作動試験】

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

