

東海第二発電所

ブローアウトパネル及び関連設備の 工事計画認可申請に係る論点整理について (コメント回答)

平成30年6月22日

日本原子力発電株式会社

<本論点の経緯>

平成29年11月、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部が改正され、原子炉建屋に設置されたブローアウトパネルに対する要求事項等が明確化された。このため、東海第二発電所のブローアウトパネル及びブローアウトパネル閉止装置が要求機能を満足することを確認するための実証試験等について説明する。

<コメント>

- ⑥ 加振台の性能限界加振波による加振試験の目的、実施方法について要領書に記載すること。

<回 答>

試験要領書の「3. 2 加振条件」及び「4. 3 (4)地震波加振試験」に下記を追記

3. 2 加振条件

- (1) 基準適合性を確認するための加振(基準地震動 S_s 加振波による加振)

基準適合性を確認するため、閉止装置の設置位置(最も高所の設置位置)における基準地震動 S_s を上回るように設定された加振波を用いて加振を行う。

- (2) 閉止装置の耐震裕度を確保するための加振(基準地震動 S_s 加振波を超える加振波による加振)

閉止装置の耐震裕度(基準地震動 S_s を多少超える地震でも閉止でき、負圧が確保できること)を確認するため、振動台の性能限界(基準地震動 S_s の1.1倍相当(目標値))での加振波を用いて加振を行う。

4. 3 (4)地震波加振試験

加振レベルは4段階に分けて振動台の加振性能限界まで漸増させていく。加振方向は3方向同時とし、閉止装置の開状態、閉状態のそれぞれで実施する。なお、基準地震動 S_s を超える加振試験として、振動台の性能限界である基準地震動 S_s の1.1倍相当(目標値)をレベル4として実施し、閉止装置の耐震裕度を確保する。

【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法(2/9)



<コメント>

⑦ ブローアウトパネル閉止装置の気密性能試験における流量の算出方法について要領書に説明を追加すること。

<回答>

・試験要領書の「3. 2 加振条件」及び「4. 3 (4)地震波加振試験」に下記を追記

・気密性能試験は、ASTM E283-4に準じた試験装置を用いる。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する。

$$q = Q' / A$$

q: 通気量 (m³/h・m²)

A: 試験体の内のり面積 (m²)

Q': 通過した空気量 (20°C, 1,013hPa換算値) (m³/h)

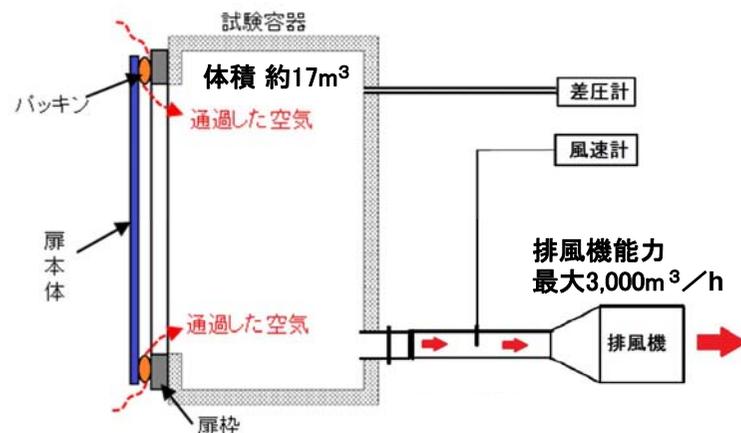
Q: 通過した空気量 (試験時)

P: 試験容器内の気圧 (hPa)

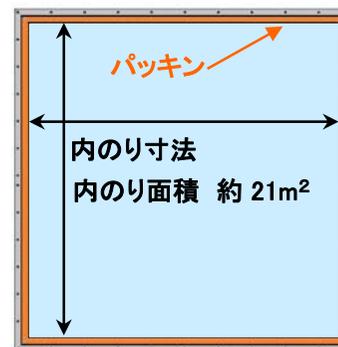
T: 試験時の空気温度 (°C)

$$Q' = Q \cdot \frac{P}{1,013} \cdot \frac{273 + 20}{273 + T}$$

・風速計により測定した風速V(m/s), 風量測定管の断面積S(m²)から、通過した空気量Q (m³/h)は、
Q=V×S×3,600(m³/h)。なお、風量測定管は、直径φ50mm(通過した空気量が多い場合はφ130mm)を使用する。



第1図 試験装置図



第2図 試験体の内のり寸法図



第3図 排風機及び風速計設置状況

【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法(3/9)



<コメント>

⑧実施する単体の気密確認試験結果も踏まえて原子炉建屋原子炉棟全体としての気密性能が確保できる見込みであることを説明すること。

<回答>

本閉止装置を設置した場合の63Pa時の漏えい量は、非常用ガス処理系の定格容量の50%程度であり、非常用ガス処理系にて63Pa以上の負圧が達成可能であることを確認した。

・判定基準:

設計基準と同様に非常用ガス処理系の定格流量 $3,570\text{m}^3/\text{h}$ 以下の風量で63Pa以上の負圧を確保できること

・既設建屋の推定漏えい量 : 約 $1,710\text{m}^3/\text{h}$ (63Pa時換算)

至近で漏えい量の最も多かった原子炉建屋気密性能試験結果から評価

・閉止装置10個の内のり面積の合計 : 約 213m^2

・閉止装置単体の漏えい率 : 約 $\square\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$

(平成30年5月31日に工場にて実施(加振なし))

以上より、本閉止装置を設置した場合の63Pa時の推定漏えい量は、以下のとおりであり、非常用ガス処理系にて負圧が達成可能である。

$$1,710\text{m}^3/\text{h} + \square\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) \times 213\text{m}^2 = \square\text{m}^3/\text{h} < 3,570\text{m}^3/\text{h}$$



閉止装置の気密確認試験結果

<コメント>

⑨模擬地震波の床応答スペクトルについて、方向に依存しない応答スペクトルのNS/EW方向への分け方を説明すること。

<回答>

・東海第二発電所の基準地震動Ss波のうち、水平方向に依存しない地震動は①応答スペクトルに基づく地震動(Ss-D1)と、②2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動(Ss-31)の2つであり、これらはNS, EWの両方向ともに開放基盤面では同じ応答スペクトルを入力としている。



次ページへ

種類		地震動名	最大加速度 (cm/s ²)		
			NS成分	EW成分	UD成分
基準地震動Ss	応答スペクトルに基づく地震動	Ss-D1	870		560
	断層モデルを用いた手法に基づく地震動	Ss-11	717	619	579
		Ss-12	871	626	602
		Ss-13	903	617	599
		Ss-14	586	482	451
		Ss-21	901	887	620
		Ss-22	1009	874	736
北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	Ss-31	610		280	

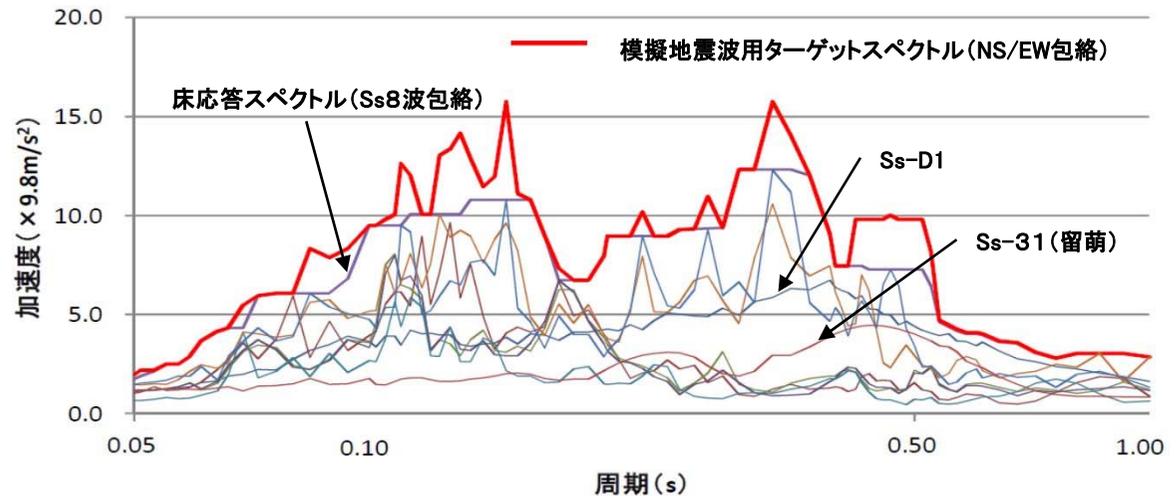
【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法(5/9)



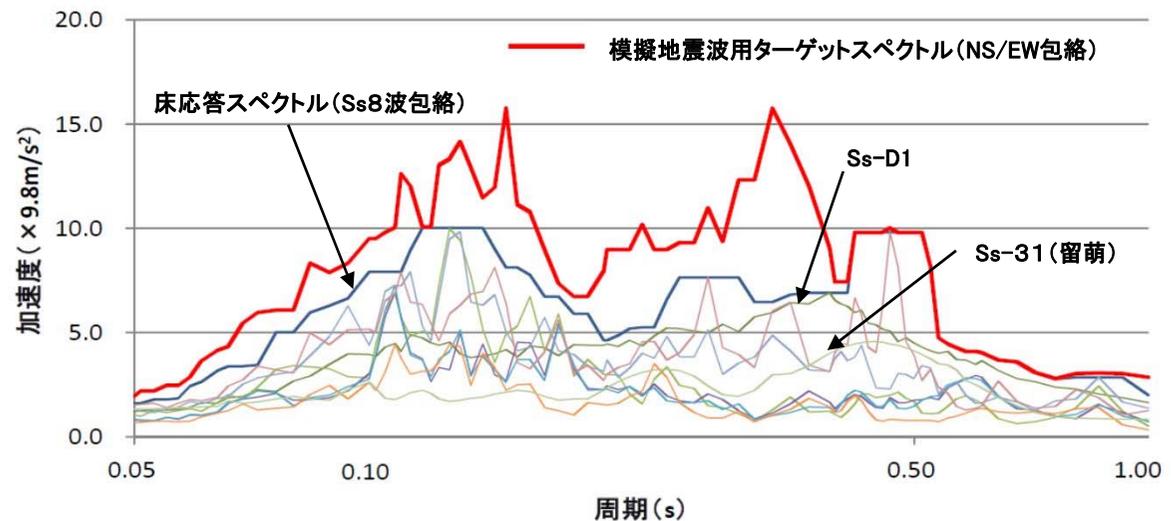
・建屋モデルがNS/EWで異なるため、NS/EWで同じ応答スペクトルが入力された場合でも、床応答スペクトルはNS/EW方向で異なること、また、Ss-D1, Ss-31以外の断層波の応答スペクトルは、NS/EWで異なることから、床応答スペクトルはNS/EWの各々の方向で別々に作成

・加振用模擬地震波用床応答スペクトル(ターゲットスペクトル)は、NS/EW両方向の床応答スペクトルとばらつきを考慮した地震の床応答スペクトルの全てを包絡するように作成(NS/EWで同じターゲットスペクトル)

・ターゲットスペクトルとなるようNS/EW方向別に地震波(時刻歴波)を作成



R/B E.L.63.65m 床応答スペクトル(NS方向)とターゲットスペクトル



R/B E.L.63.65m 床応答スペクトル(EW方向)とターゲットスペクトル

【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法(6/9)



<コメント>

⑭ブローアウトパネルについて、設計基準事故と地震の組合せの考え方について説明すること。

表 I-1 運転状態と地震動との組合せの確率的評価

<回答>

◆原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編(JEAG4601・補)によれば、基準地震動S2(Ss相当)と運転状態IV(設計基準事故)の組合せは不要であるが、基準地震動S1(Sd相当)と運転状態IV(設計基準事故)の荷重の組合せは必要とされている。

◆ブローアウトパネルは2次格納施設としてのバウンダリ機能を有するため、長期にわたり事象が継続した場合も考慮し、弾性設計用地震動Sdで開放しない設計とする。

発生確率	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	
運転状態の発生確率 (1/年)	I	II	III	IV							
基準地震動の発生確率 (1/年)			S ₁	S ₂							
基準地震動 S ₂ との組合せ	従属事象	← S ₁ 従属 →									
	1分以内								← S ₁ +II		
	1時間以内						← S ₁ +II		← S ₁ +III		
	1日以内					← S ₁ +II		← S ₁ +III		← S ₁ +IV	
	1年以内	← S ₁ +II		← S ₁ +III		← S ₁ +IV					
	従属事象	← S ₂ 従属 →									
	1分以内	(S ₂ +IIは10 ⁻⁹ 以下となる)									
	1時間以内								← S ₂ +II		← S ₂ +III
1日以内						← S ₂ +II		← S ₂ +III			
1年以内	← S ₂ +II			← S ₂ +III			← S ₂ +IV				

- 注：(1) 発生確率から見て
 ← 組合せが必要なもの。
 ← 発生確率が10⁻⁷以下となり組合せが不要となるもの。
- (2) 基準地震動 S₂ の発生確率は10⁻⁴～10⁻⁵/サイト・年と推定されるが、ここでは5×10⁻⁴～10⁻⁵/サイト・年を用いた。
- (3) 表に示す発生確率は現在の知見によるものである。

<原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (JEAG4601・補-1984)より抜粋>

【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法(7/9)



<コメント>

⑮ブローアウトパネルの耐震評価に当たって、ブローアウトパネルの設置・取付状況を踏まえた固有値の考え方を整理し提示すること。

<回答>

◆ブローアウトパネルの固有振動数を以下の2つの方法により求め、小さい方をブローアウトパネルの固有値とする。

- ブローアウトパネルの固有振動数を、両端支持(ピン支持)のはりモデルより算出
・評価結果：固有振動数は約26Hz

固有振動数の算出方法

1次固有振動数 f を「土木学会 構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

パネル本体は、板材及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに、クリップによりパネルを枠に支持させる構造であることから、両端支持はりにより単純化したモデルとし、はり長さはパネル幅とする。固有振動数算出に用いるデータを右表に示す。

パネル内の芯材の配置の違いにより、固有振動数に相違があるため、剛性の厳しい鉛直方向の値を記載。
(水平方向の固有振動数は、約28Hz)

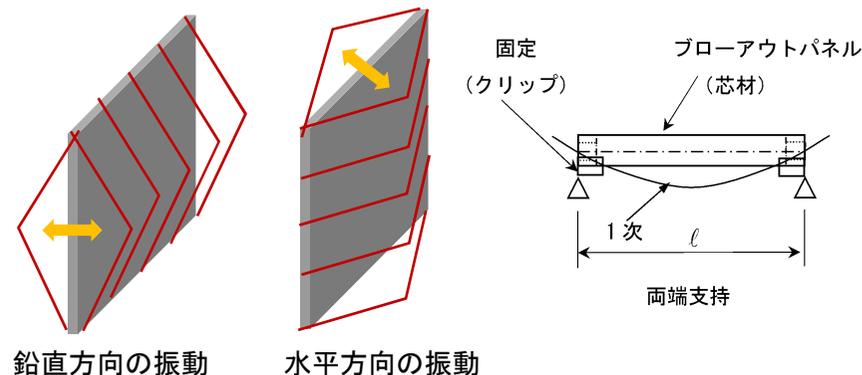
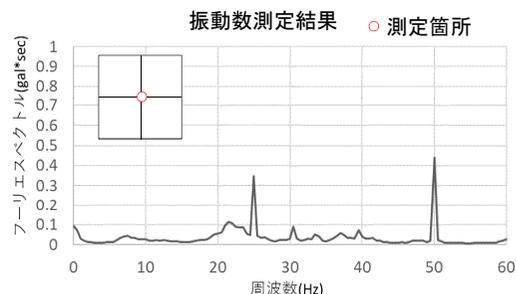
固有振動数算出に用いる記号と計算値

記号	単位	定義	数値
f	Hz	ブローアウトパネルの1次固有振動数	25.81
l	m	はり長さ	3.97
E	N/m ²	ヤング率	2.05×10^{11}
I	m ⁴	断面2次モーメント	1.63×10^{-4}
M	kg/m	質量分布	500

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{E I}{M}}$$

- 実機大モデルの固有振動数をタッピングにて測定し固有振動数、減衰定数を確認した。

- 測定結果：1次固有振動数は約25Hz
2次固有振動数は約50Hz



【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法(8/9)



(1) 実機大モデルの固有振動数測定結果(6月9日)

- ・ブローアウトパネルの1次固有振動数は約25Hz, 2次固有振動数は約50Hz (ブローアウトパネルは剛構造)

(2) 実機モックアップ試験結果

- ・油圧ジャッキによる開放試験を実施し, 設計差圧 6.9kPa以下の荷重(最大荷重 kN(差圧 kPa相当))でパネルが開放することを確認

(3) Sdで開放しないことの確認

- ・設置位置のSd相当荷重(約 kN)にて開放しないことを確認



開放試験前の状況



コーキング施工状況(パネル下部)



パネル開放状況



クリップ開放状況(パネル下部)

【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法(9/9)



(1) 実機モックアップ試験結果(2回目:再現確認)(6月15日)

- ・前回6/9実施と同条件にて油圧ジャッキによる開放試験を実施し, 設計差圧 6.9kPa以下の荷重(最大荷重 kN (差圧 kPa相当))でパネルが開放することを確認
- ・1回目実績(最大荷重 kN(差圧 kPa相当))



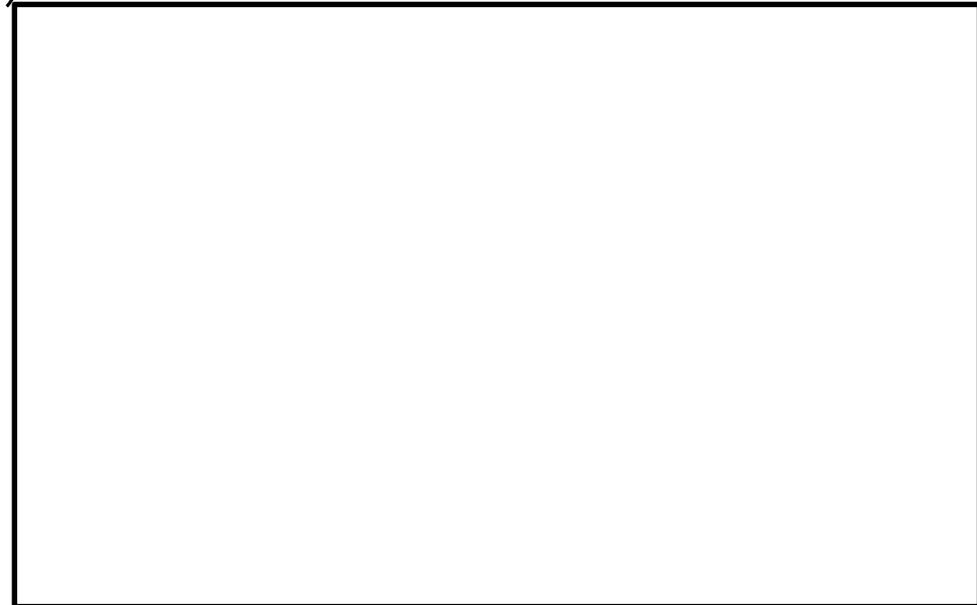
開放試験前の状況



パネル開放状況



パネル開放状況(パネル下部)



開放試験の結果(速報※)



※ 6/20, 21日の試験を含めた計4回の開放試験の結果を集計したもの。
クリップの条件は全て同じ。
クリップ単体の試験結果と比較して、ばらつきが小さい結果となった。

<コメント>

ブローアウトパネルの落下防止チェーンに対する、以下の対応について説明すること。

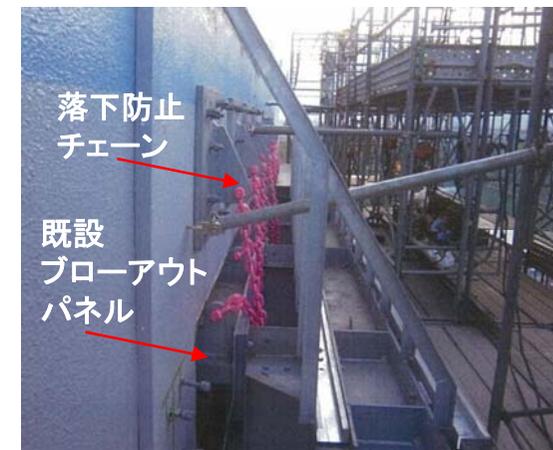
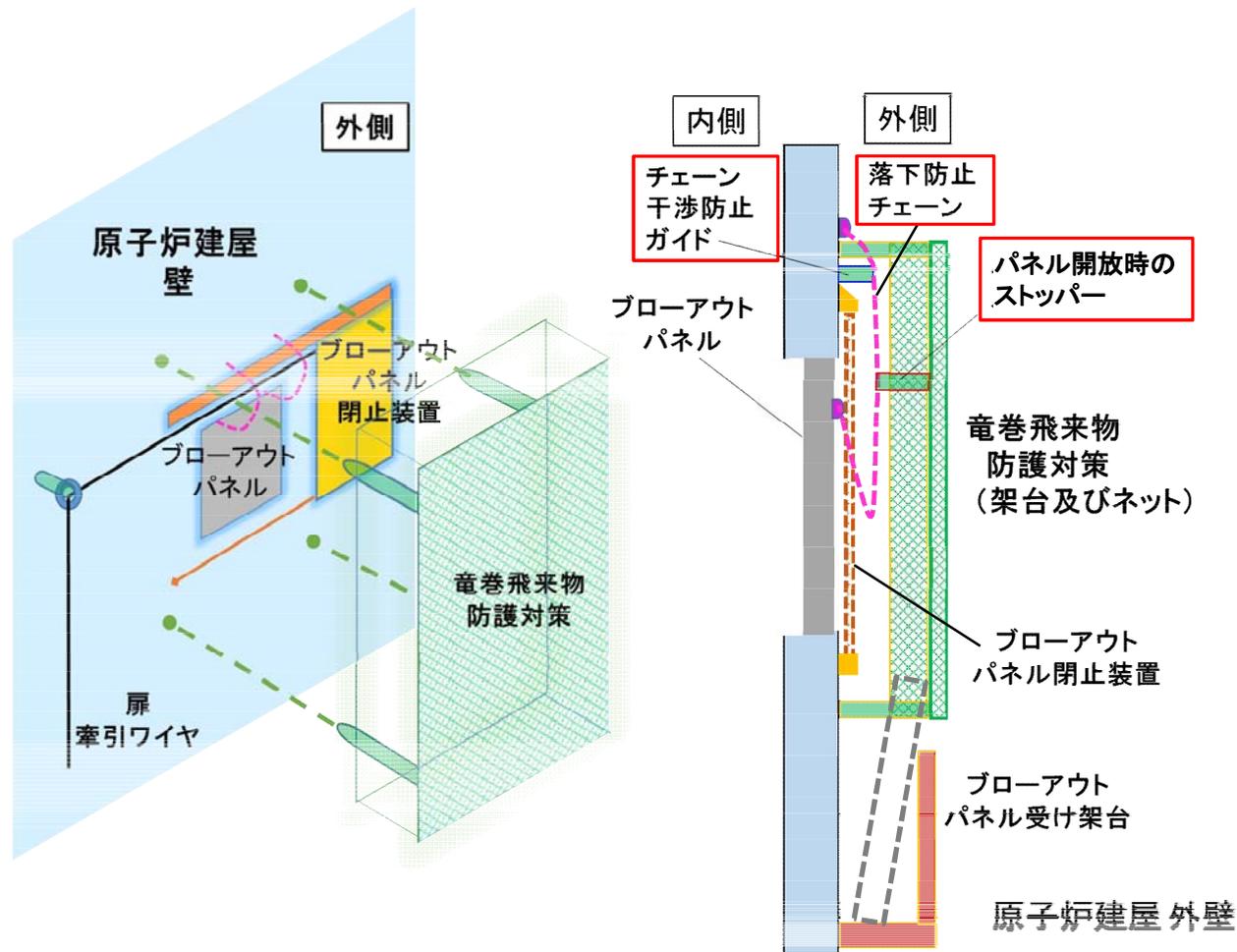
- 1) BOPのチェーンが、閉止装置に干渉しない設計であること。
パネル上部に設置する落下防止チェーンは、干渉防止ガイドを設置することで、閉止装置の上部レール及び下部レールに接触しない配置とする。
- 2) BOPのチェーンが落下の衝撃荷重に十分耐えること。
過去の強制開放装置設置において実績のある落下防止チェーン、シャックル及び吊ピースとアンカー等の評価により、1本のチェーンで約5.5tの重量物を高さ4.5mの落下を想定しても、衝撃荷重に耐えることを確認済み。
このチェーンを2本以上設置することで、開放時の衝撃に耐える設計とする。
- 3) BOP受け架台の目的を明確にすること。
BOPとR/B外壁は落下防止チェーンで接続されるが、受け架台は落下するパネルを受け止め、BOP開放時のチェーンの衝撃を緩和させる役割及び、建屋外壁や他関連設備への波及的影響を防止する機能を果たす。
- 4) パネル下部のチェーンを設置しないとした理由
(審査会合資料から変更した理由)
BOP下部へのチェーン設置は、待機中の閉止装置におけるシール部及びレールに接触する配置となることから、これらの部位を損傷させる恐れがあり、取付位置の見直しを行ったもの。

【論点17】 ブローアウトパネル開放時の干渉対応

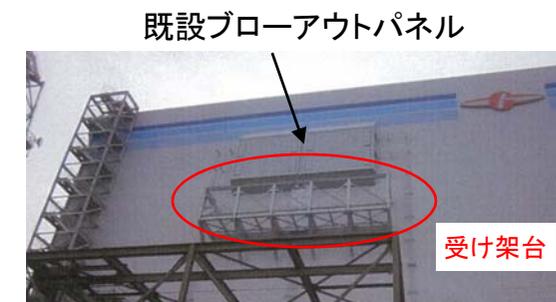


(1) ブローアウトパネル開放時の干渉対策

- ・落下防止チェーンは、建屋外壁に設置し、干渉防止用ガイドを設置することで、ブローアウトパネル落下時の閉止装置との干渉を防止する。(パネル上部にのみ設置)
- ・ブローアウトパネル開放時に、パネルの竜巻防護ネットとの干渉を防止する目的で、ストッパーを設置する。
- ・ブローアウトパネル受け架台を設置し、開放時に落下するパネルを受け止め、建屋外壁や竜巻防護ネットとの干渉を防止する。



落下防止チェーンの設置イメージ



パネル受け架台のイメージ

【参考】ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法



【状況】

- ◆ 6月9日に第1回目の開放試験実施
 - ・振動計測の結果, 1次固有値約25Hz, 2次固有値は約50Hzでブローアウトパネルは剛構造であることを確認
 - ・Sd相当荷重では開放しないことを確認
 - ・設計条件(クリップ数10個)で6.9kPa以下の荷重(最大荷重 kN (kPa相当))で開放することを確認
- ◆ 6月15日に第2回目の開放試験実施(1回目と同条件にて再現の確認)最大荷重 kN(差圧 kPa相当))でパネルが開放することを確認

試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月		
		上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	
・ブローアウトパネルが設計圧力(6.9kPa以下)で開放すること ・規定圧力(Sd地震相当の荷重)では開放しないこと	要素試験	試験計画策定				試験体作製 試験装置作製		結果説明▼		追加試験片準備(コメント反映)				
	実機大モックアップ試験	試験計画策定・資機材準備				クリップ要素試験				クリップ試験 (幅80mm, 30個) 追加クリップ試験 (幅100mm, 30個) (5/21~5/27)		結果説明▽		実機大試験体作製
												開放試験 ▲1体目(6/9) 2体目(6/15)▲ (データ分析中) 2回目(6/20,21)▲		
		BOP型枠(3体分)		BOP本体(3体分)										

【参考】ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法



【状況】

- ◆ 5月31日工場にて開閉試験, 気密性能試験実施 結果 良好
 - ◆ パッキン耐久試験※を実施し, 6月下旬に気密性能の要素試験を実施予定
- ※: JISK6266「直接屋外暴露の再現方法」に基づく紫外線, 温度, 湿度等の加速試験

試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月	
		上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
<p>・ブローアウトパネル閉止装置が, 電動及び手動にて操作でき, その機能が設計基準地震動Ssでも確保できることの確認</p> <p>・閉止後においても必要な気密性能が確保できることを確認</p>	<p>実機大試験 加振試験 開閉動作確認試験 気密性能試験</p>	試験体設計／試験計画策定／材料手配(実機大試験／加振台調整)										Eディフェンス着	
	<p>要素試験</p>	要素試験①パッキン気密性能試験										▲ 発送	
		構造部材の強度向上 -----↑											
		実機大試験体製作											
		組立, 当たり面調整, 作動確認										▲ (5/28~5/31)	
		気密性能試験										▲ (5/31)	
		加振・作動・気密性能試験										■ (6/18~6/22)	
		結果説明▽											
		要素試験②パッキン耐久性試験										■	
		要素試験③電動機等の加振試験										■	