

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5月24日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

第562回審査会合(4月5日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

コメント:ブローアウトパネル本体の品質・施工管理, 保守管理等について整理して説明すること。

回 答:ブローアウトパネルの施工管理項目, 今後の保守管理内容は以下のとおり。なお, 今後実施する実機大モックアップ試験等を踏まえ, 必要に応じて適宜見直すこととする。

対象機器	必要な機能	管理項目	実施内容
施工管理	開放機能	クリップ(配置含む)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ クリップがモックアップ試験にて機能を確認した位置に設置されていること。 ◆ クリップの各寸法が公差内(±0.1mm)にあること。 ◆ クリップの開放荷重は, 前提となるクリップ単体試験の開放荷重の範囲内にあること(試験体のミルシート毎に確認)
		シール材目地深さ	<ul style="list-style-type: none"> ◆ モックアップに用いたものと同仕様のシール材であること ◆ シール材抗力に関するシール材の目地深さは, 規定値内(深さ10mm以内)にあること。
		型枠内面状況	◆ 摩擦力に影響する型枠の内面(ブローアウトパネルとの間)に異常(有意な腐食やバリ等)がないこと。(ブローアウトパネルを順次取り外して確認)
		パネル寸法確認	◆ ブローアウトパネルの寸法は, 規定寸法内(設計値±4mm)にあること。
	気密性能	—	◆ 原子炉建屋気密性能検査にて, 原子炉建屋としての気密性能が確保されること。
	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造・機能に影響を及ぼすような損傷, 異常のないこと。(シール部を含むパネル全体, クリップ部を含む)
保守管理	開放機能	クリップの性能管理	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 定期的の実機クリップを取り外し, クリップが所定荷重以下で降伏することを引張試験にて確認。クリップは製造ロット毎に管理し, 要求仕様を満足しない場合には当該ロットは全て取替 ◆ クリップは, 5階, 6階東西南北に対応する5ロットで管理し, 5サイクル毎にクリップ開放荷重を確認。
	気密性能	気密性能試験(建屋)	◆ 定期検査毎の原子炉建屋気密性能検査にて確認(1回/1サイクル)
		外観目視(シール部)	◆ 構造健全性確認検査として目視点検(1回/1サイクル)
		シール取替	◆ 当該シールは紫外線による劣化が想定されず, 通常的环境条件も緩やかである。シールメーカーによれば一般的に10年は問題ないとの見解であるため, 10年毎のシール取替
	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造健全性確認検査として目視点検(1回/1サイクル)

第572回審査会合(5月17日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(2)

<コメント>

ブローアウトパネル実機大モックアップ試験時の地震に対する考え方について示すこと。

<回答>

◆ブローアウトパネルは、被ばく影響の観点から地震動Sdで開放しない設計とする。これを確認するため、実機大モックアップ試験にて付加する地震荷重について検討した。付加する地震荷重は、ブローアウトパネルの固有値をもとに、FRSから該当する加速度を求め決定する。

- ① ブローアウトパネルの固有値を以下の式により算出した結果、固有値は約15Hz(固有周期0.065秒)であった。この固有値に対応するブローアウトパネル設置建屋屋上部(ブローアウトパネルの設置高さは約EL.57mであるが、保守的にEL63.65mの応答スペクトルを使用)の応答スペクトルは、2.395G(Ss:4.79Gの1/2)である。
- ② 実機大モデルの固有振動を測定し、固有値を決定する。

◆以上より、上記①、②に対して、より地震加速度が大きくなる地震加速度に相当する荷重を油圧ジャッキにて付加し、地震動Sd相当では開放しないことを確認する。

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記号を第2表に示す。

第2表 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義	
f	Hz	ブローアウトパネルの1次固有振動数	15.32
ℓ	m	はり長さ	3.965
E	N/m ²	ヤング率	2.05E+11
I	m ⁴	断面2次モーメント	1.52E+7
m	kg/m	質量分布	132.4

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

第572回審査会合(5月17日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(3)

<コメント>

ブローアウトパネルの実機大モックアップ試験時の予備品(予備試験体)の考え方, リスク管理について説明すること。

<回答>

◆試験体の使用についての考え方, 目的は以下のとおり。

試験体1: 設計したクリップ等の条件で, ブローアウトパネルが設計条件の6.9kPa以下で開放することを確認。同時に地震動Sdでは開放しないことの確認。なお, 併せて, 実機大でのシール材の抗力と摩擦力を確認

試験体2: 試験体1の結果を反映したクリップ数条件で, 開放試験を実施

試験体1で6.9kPa以下で開放しない場合には, クリップ数を減で再試験。同時に地震動Sdでは開放しないことの確認。

試験体3: 予備。なお, 不要な場合には, 試験体2と同じクリップ数条件で, ブローアウトパネルの耐震性(Sd相当で開放しないこと)を確認

なお, 試験を終了した試験体は, 速やかに再組立(シール材再施工)し, 追加試験に備えることとする。

◆実機大モックアップ試験に対するリスク管理の考え方は以下のとおり。

項目	対応方針	備考
Sd相当の地震力で開放するリスク	◆ クリップ数を増加することにより開放に対する抗力を増加	◆ クリップ数を変更することにより抗力の増加を図る。なお, この場合も, 摩擦抗力分を考慮し, パネルの下部を減として, クリップを配慮する。
	◆ クリップ幅を増加することにより開放に対する抗力を増加	◆ クリップ幅の異なる(幅100mm, 幅80mm)クリップを準備するとともに, クリップ試験(各30個)を実施し, データを整備する。
6.9kPaで開放しないリスク	◆ クリップ数を減少させることにより開放に対する抗力を低減	◆ クリップ数を変更することにより抗力の低減を図る。なお, この場合も, 摩擦抗力分を考慮し, パネルの下部を減として, クリップを配慮する。
	◆ クリップ幅を減少させることにより開放に対する抗力を低減	◆ クリップ幅の異なる(幅100mm, 幅80mm)クリップを準備するとともに, クリップ試験(各30個)を実施し, データを整備する。

第572回審査会合(5月17日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(4)

【試験スケジュール】

- ◆ 現在, 実機大試験体作製中であり, 6月上旬から製造メーカーにて開放試験予定
- ◆ 80mm幅のクリップ要素試験30個データ採取。引き続き100mmクリップ要素試験の追加実施

試験項目	試験目的	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		追加試験片準備(コメント反映)		クリップ試験(追加分) (5/21~5/27)		クリップ試験(追加分)		
	実機大モックアップ試験	試験計画策定・資機材準備								実機大試験体作製				結果説明▽
													△1体目(6/6※) △2体目(6/10※) 3体目(6/15日※)△ 開放試験	

※:シール乾燥状態により多少前後する可能性有

第572回審査会合(5月17日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(5)

<コメント>

実機大モックアップ試験時の試験条件について

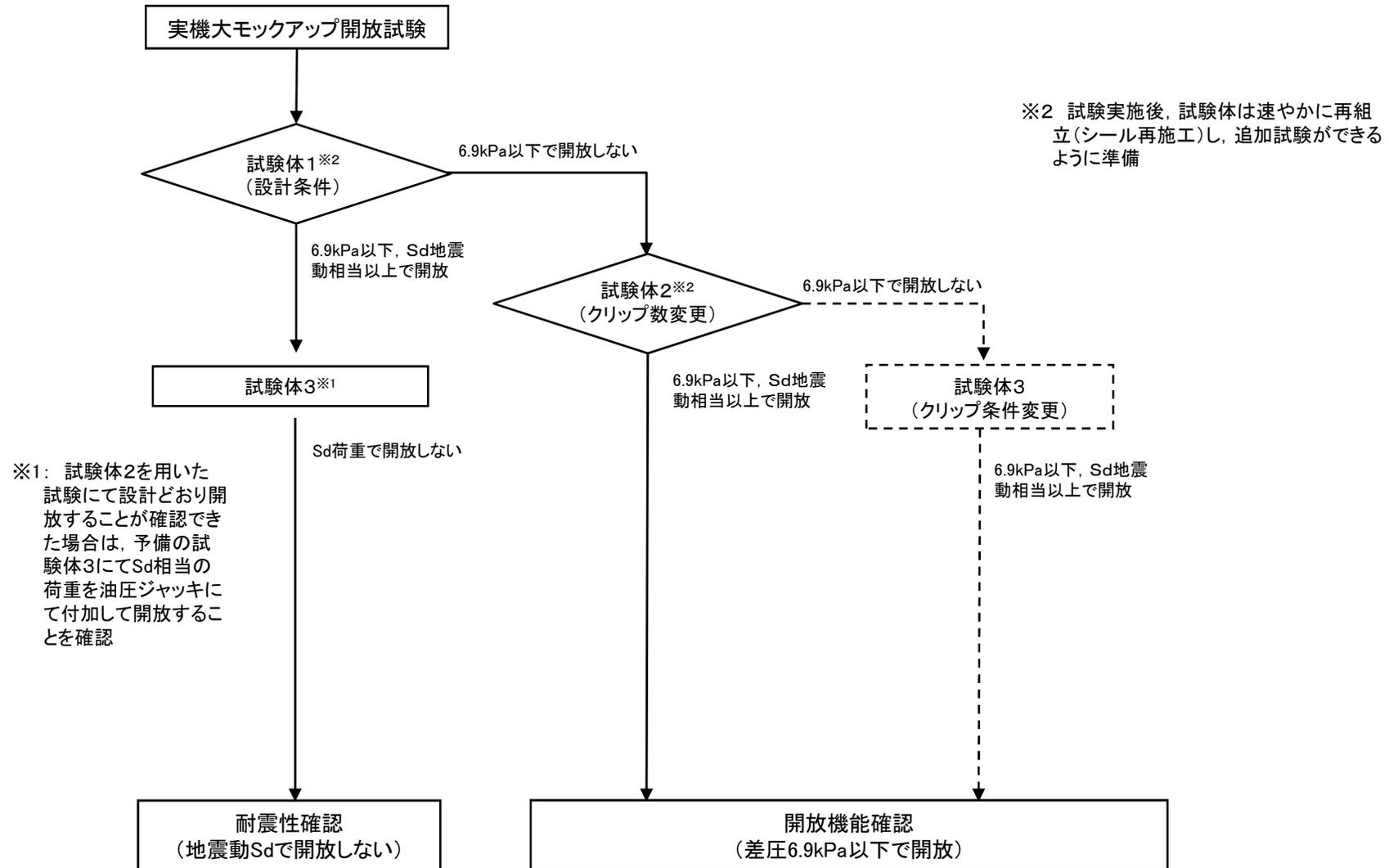
<回答>

◆ブローアウトパネル実機モックアップ試験時の条件は以下のとおり。

No	項目	目的	考え方		備考
1	試験体1 (机上検討条件 の実機確認)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 6.9kPa以下で開放することの確認 ◆ Sdで開放しないことの確認 ◆ クリップ以外の抵抗力の把握 	◆ クリップ数	◆ 10個/パネル(上下左右のクリップ数:4, 2, 2, 2)	◆ 実機大のシール材及び摩擦測定
			◆ 開放荷重	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 6.9kPaの差圧相当の荷重を油圧ジャッキにて付加し開放することを確認 ◆ 荷重変位曲線から地震動Sd相当の荷重では開放しないことを確認 	
2	試験体2 (クリップ条件 の最適化)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 6.9kPa以下で開放することの確認 ◆ Sdで開放しないことの確認 	◆ クリップ数	◆ クリップ(試験体1の結果よりクリップ数を変更)	試験体1の結果より最適化(開放荷重は可能な限り低く設定)
			◆ 開放荷重	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 6.9kPaの差圧相当の荷重を油圧ジャッキにて付加し開放することを確認 ◆ 荷重変位曲線から地震動Sd相当の荷重では開放しないことを確認 	
3	試験体3 (予備)	試験体1, 2で問題ない場合 <ul style="list-style-type: none"> ◆ Sdで開放しないことを確認 	◆ クリップ数	◆ 試験体2と同じクリップ条件	
			◆ 開放荷重	◆ Sd相当の荷重を油圧ジャッキにて付加し開放することを確認	

※:試験体は、試験終了後、シール等を再施工し組み立てることで、シール乾燥後、速やかに試験ができるように準備する。

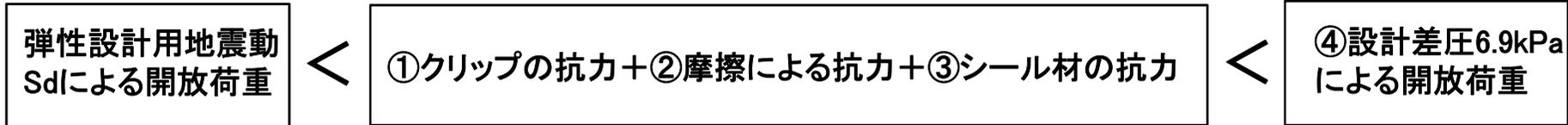
第572回審査会合(5月17日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(6)



第572回審査会合(5月17日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(7)

ブローアウトパネル設計条件の概要

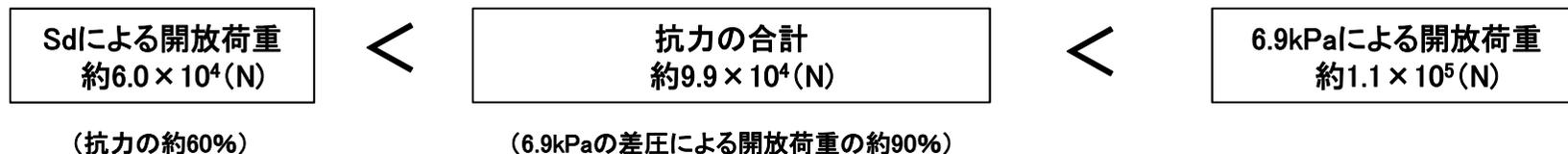
- ◆ パネル開放させるため満足すべき条件は以下の通りであり、抵抗力(①クリップの抗力, ②パネル移動時の摩擦力による抗力, ③パネルと躯体間のシール材の抗力の合計)が, ④差圧による荷重以下の条件を満足する必要がある。



- ◆ 上限値は, 設計最大差圧以下でパネルを開放させるため, 設計最大差圧6.9kPaとする。
- ◆ 下限値は, 被ばく影響の観点から, 弾性設計用地震動Sdによる地震力とする。
- ◆ クリップ形状を今後の保守点検時の交換を考慮し, ボルトにより取付取り外しが可能な形状に変更
- ◆ クリップはブローアウトパネルの左右, 上下で荷重が均一となるように設置
(下側のクリップについて, 摩擦による抗力分とほぼ同等となるようクリップを2個減する)
⇒ クリップ数 左側:2枚, 右側:2枚, 上側:4枚, 下側2枚 の合計10個

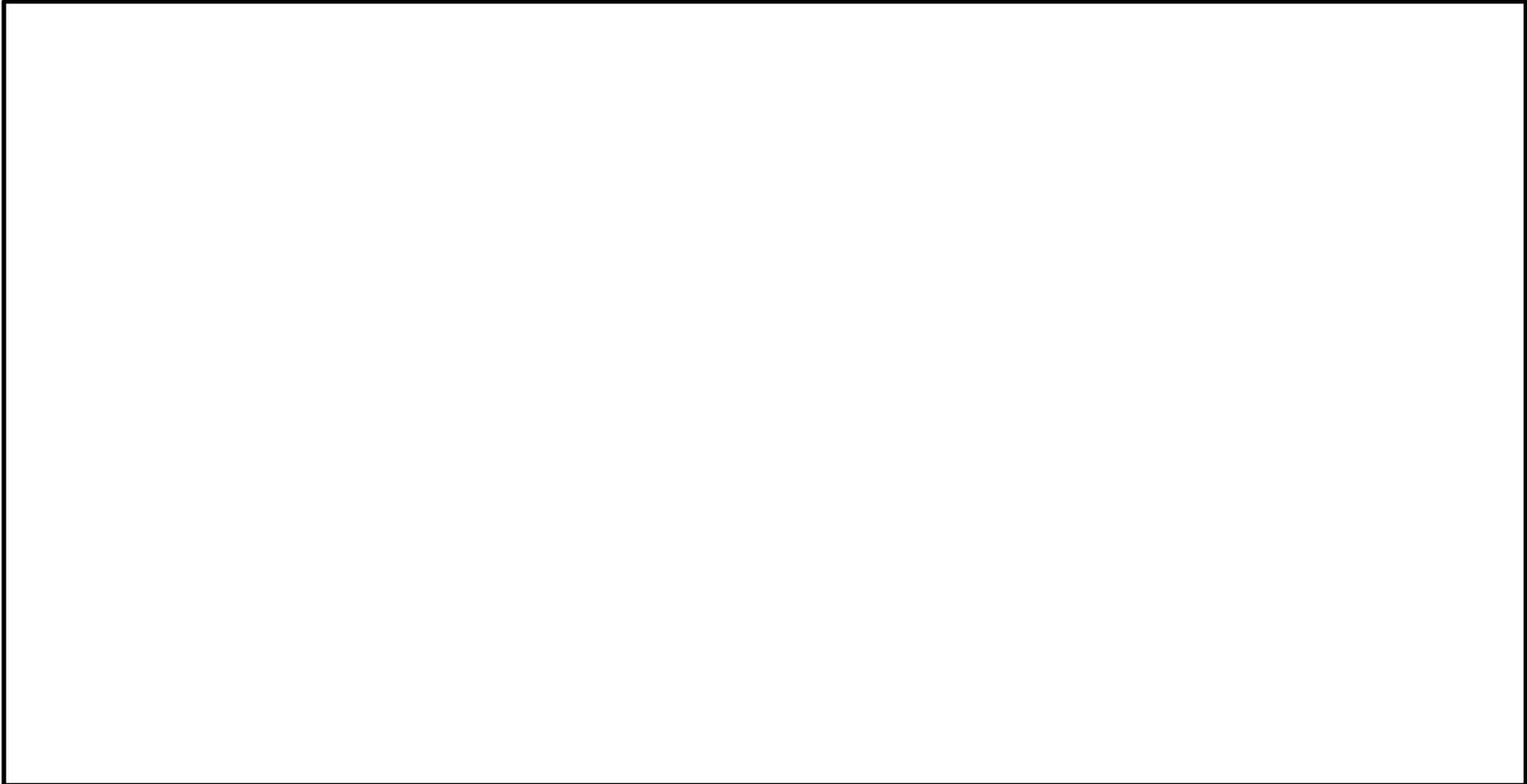
<現在までの知見・方針>

- ✓ Sd地震時の開放荷重(下限) : 原子炉棟屋上部のBOPパネルの固有値に該当する加速度は約2.395Gであるが, この値に保守性を見込んで3.0Gとした際の荷重は約 6.0×10^4 N
- ✓ クリップ開放荷重 : クリップ幅を8cmとした場合のクリップ開放荷重:7700N/個(クリップ開放試験平均値+3 σ)= 7.7×10^3 (N)であり, クリップ10個の場合の抗力は約 7.7×10^4 N(追加データ採取中)
- ✓ 摩擦力 : 静止摩擦係数0.6 (物性値0.4の1.5倍。なお, 動摩擦係数としても本値を使用)であり, この場合の摩擦力は約 12×10^3 N
- ✓ シール材破壊力 : メーカー値の最大引張破壊荷重と最大荷重時の伸び(600%)より, せん断の許容荷重は, クリップが開放する際の移動量約10mm時のシール材の荷重想定(目地深さ10mm×600%のうちの10mm移動時)で約1/6とする(約 10×10^3 N)。なお, 試験結果を踏まえて最適化
- ✓ 差圧による開放荷重(上限) : 約 1.1×10^5 N(最も面積の小さいパネル(差圧による開放荷重が最も小さい)に6.9kPaが付加する場合の荷重)



【参考】 クリップ開放試験の概要(1/2)

【クリップ試験結果】



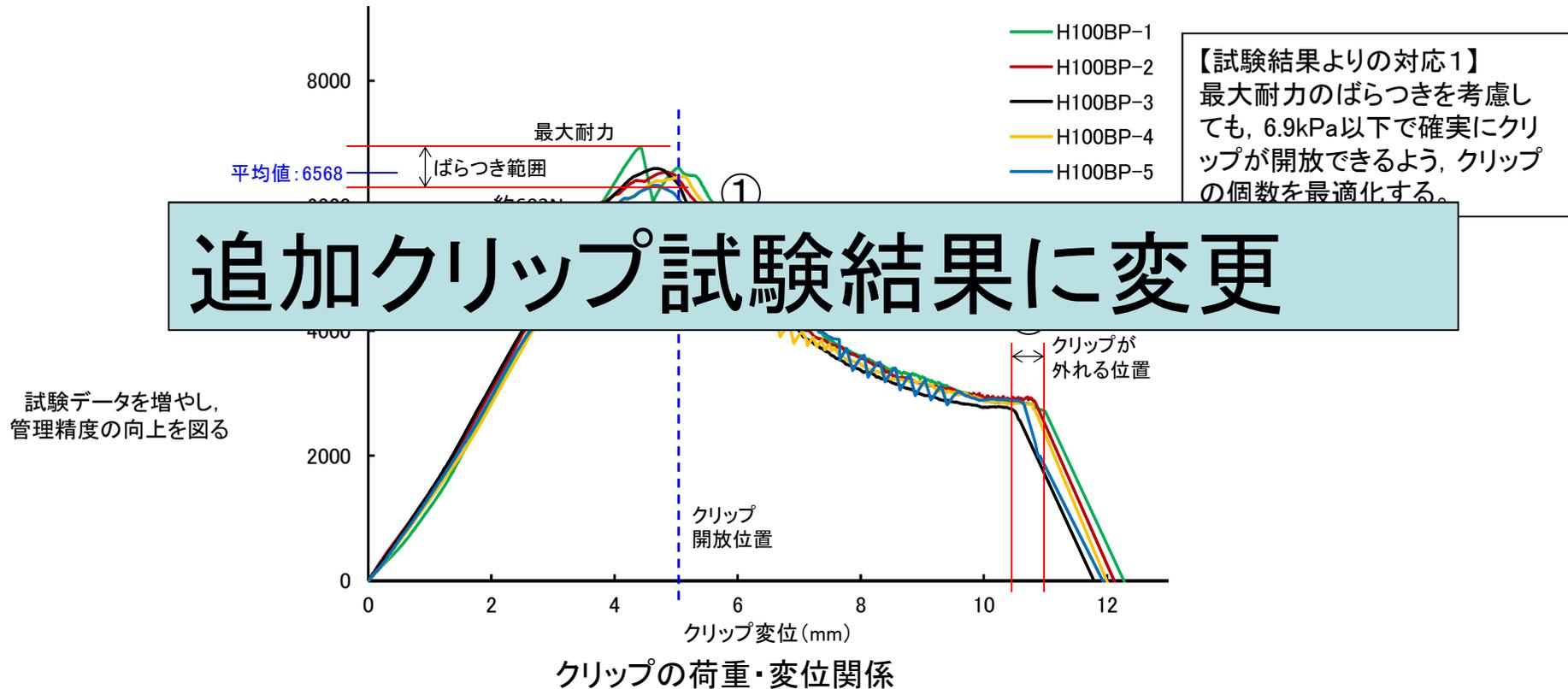
- ◆ 試験1の結果から, SS400の降伏点は明確で, ばらつきも低減できることを確認 ⇒ 材質はSS400を選定
- ◆ 試験1の結果から, 材料に関係なく, 降伏荷重(平均値)はクリップ幅に比例することを確認($C70/C100=H70/H100 \approx 0.69$)
- ◆ 試験2の結果から, 掛り寸法は, 20mm程度(TYPE-B)が最もばらつきが小さく適切な形状と判断

材料SS400のTYPE-Bをクリップの基本形状に選定

【参考】 クリップ開放試験の概要(2/2)

【クリップ試験結果】

基本形状に選定したTYPE-B H100BPの試験結果を示す。



- ①最大耐力に達してクリップが降伏し、荷重が低下していることをクリップ部のひずみ測定により確認した。
- ②クリップの掛かり長さが20mm(H100BP)では変位11mmでクリップが完全に外れることを確認した。

第572回審査会合(5月17日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(8)

<コメント>

実機大モックアップ試験時の試験条件について

<回答>

◆ブローアウトパネル閉止装置のモックアップ試験時の条件は以下のとおり。

○加振試験

・試験条件

- ①扉開状態における3方向同時に加振する。(0.3Ss、0.6Ss、1.0Ss、加振台の性能限界の4段階)
- ②扉閉状態における3方向同時に加振する。(0.3Ss、0.6Ss、1.0Ss、加振台の性能限界の4段階)

・入力波

閉止装置の設置高さを超える原子炉建屋原子炉棟EL.63.65mにおける建屋床応答について、基準地震動Ss8波および影響評価で考慮するばらつきケースを包絡する模擬地震波を作成し、入力波として使用する。

※現在、作成した入力波を試験場のシミュレータを用いて検証中

○気密性能試験

・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することにより試験体前後に圧力差を生じさせ、試験体のパッキンを通過した空気量を測定する。

$$q = Q/A$$

q: 通気量 (m³/h・m²)

Q: 通過した空気量 (m³/h)

A: 試験体の内法面積 (m²)

・判定基準

閉止装置を使用した場合においても原子炉建屋原子炉棟の設計気密度 () を確保できることを基準とする。

非常用ガス処理系の排気量3,570 m³/hは、原子炉建屋原子炉棟の負圧が63 Pa時において原子炉建屋原子炉棟の容積を1日で処理できるよう設計していることから、閉止装置10枚の漏れい量が非常用ガス処理系の排気量を上回らなければ、原子炉建屋原子炉棟の気密性は確保される。

試験体のパッキンの内法面積が () であることから、通気量が () を超えなければ原子炉建屋原子炉棟の気密性を維持できることとなるため、本試験体を用いた気密性能試験の判定基準とする。

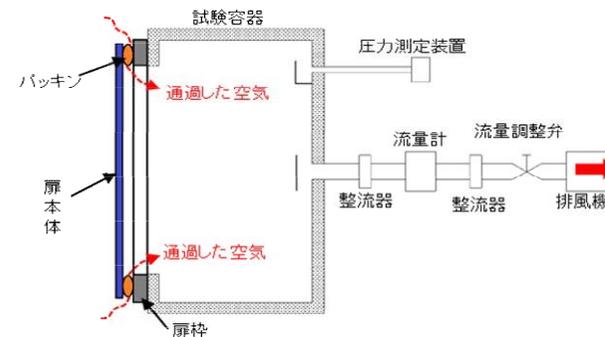


図 試験装置図

ブローアウトパネル閉止装置の状況

【試験スケジュール】

- ◆ 5月??日に工場にて組立完成。5月??日動作試験実施。現在、パッキンのあたり調整中。6月1日気密性能試験予定
- ◆ 現在、パッキン耐久試験(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)を実施中で6月末までに終了予定

試験項目	試験目的	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 ・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	実機大試験 加振試験 開閉動作確認試験 気密性能試験	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(6/15)	
	要素試験	構造部材の強度向上 -----↑										△ 発送(6/12)	
								実機大試験体製作					
								作動・気密試験 △ (6/1)					
								加振・作動・気密性能試験 (6/18~6/22)					
								結果説明▽					
		要素試験①パッキン気密性能試験											
								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					