

## 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14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の要求事項に対して、考慮すべき自然現象発生後に設計基準事故が発生する場合、逆に設計基準事故後に自然現象が発生する場合に、公衆被ばくの影響の観点から整理すること。

### <回答>

- ◆ 公衆の被ばく影響の観点から開放機能に影響を与えないよう耐震性を確保することで、設計基準事故後4日以降に自然現象により、ブローアウトパネルが開放した場合でも、被ばく量は判定基準5mSv及び設計基準事故で最も被ばく量の大きい主蒸気管破断事故の評価値 $1.8 \times 10^{-1}$ mSv未満であることを確認した。なお、Sdの発生が有意となる時期は、約0.77年後(約281日後)である。
- ◆ 中央制御室運転員の被ばく影響の観点から開放機能に影響を与えないよう耐震性を確保することで、設計基準事故後73日以降に自然現象によりブローアウトパネルが開放した場合でも、被ばく量は判定基準100mSv未満であることを確認した。なお、Sdの発生が有意となる時期は、約0.77年後(約281日後)である。
- ◆ 通常運転時にブローアウトパネルが開放した場合には、保安規定に従い原子炉停止するため平常時被ばく量に大きな増加はない。
- ◆ 以上のことから、以下をブローアウトパネルの設計方針とする。
  - ・被ばく影響の観点から、基準地震動Sdで開放しない設計とする。
  - ・通常運転時にブローアウトパネルが開放した場合には、保安規定に従い原子炉を停止する。

# 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)

◆ 評価の考え方は以下のとおり。

(1) 公衆及び運転員に対する被ばく影響の観点から考慮すべきブローアウトパネル(BOP)の機能, 設計基準事故及び自然現象

◆ ブローアウトパネルの機能としては二次格納施設としての閉維持機能, 想定すべき設計基準事故としては燃料集合体落下及び原子炉冷却材喪失, 想定すべき自然現象としては, 地震及び竜巻である。



# 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)

## (2) 評価の考え方(事象の組み合わせ)

### ① 自然現象と設計基準事故の組み合わせについて評価する。

- ◆ BOPを開放する可能性がある自然現象発生後に、設計基準事故が自然現象の従属事象又は独立事象として発生する可能性
- ◆ 設計基準事故発生後に、BOPを開放する可能性がある自然現象が設計基準事故の従属事象又は独立事象として発生する可能性

先行事象 \ 後続事象	地震・竜巻の従属事象としての設計基準事故	地震・竜巻後の独立事象としての設計基準事故
地震・竜巻	◆ 地震・竜巻で冷却材喪失事故や燃料集合体落下事故は発生しない	考慮不要 ◆ 自然現象によりBOPが開放した場合、保安規定に従いプラント停止や使用済燃料に関連する作業は速やかに中止することから設計基準事故は発生しない
先行事象 \ 後続事象	設計基準事故の従属事象としての地震・竜巻	設計基準事故後の独立事象としての自然現象
設計基準事故	◆ 設計基準事故の従属事象として地震・竜巻は発生しない	考慮要 ◆ 独立事象の重ね合わせの観点から評価が必要

### ② 設計基準事故(原子炉冷却材喪失及び燃料集合体落下)後に、BOP閉維持機能に影響を与える可能性がある自然現象(地震及び竜巻)が発生した場合の被ばく影響について評価する。

BOPを開放する可能性がある自然現象を考慮する時期については、自然現象及び設計基準事故の発生頻度を基に、航空機落下や設計基準対象施設の耐震設計のスクリーニング基準である $10^{-7}$ /年を参考に決定する。

- ◆ 重量を考慮すべき基準:  $10^{-7}$ /年(航空機落下, JEAG4601)
- ◆ 設計基準事故発生頻度: 約  $10^{-3}$ /年 (集合体落下)  
(「発電用軽水型原子炉施設に係る新安全基準骨子案に対する意見募集の結果について」(平成25年4月3日原子力規制庁技術基盤課))  
冷却材喪失事故:  $1.3 \times 10^{-4}$ /年 (東二 PSA結果 小LOCA)
- ◆ 地震
  - ・Sd発生頻度: 約  $10^{-3}$ /年 (東二地震PSA) ⇒ 有意となる時間は約0.77年後 ( $10^{-7}/(10^{-3} \times 1.3 \times 10^{-4})$ )=約0.77年
  - ・Sd発生頻度: 約  $10^{-4}$ /年 (東二地震PSA) ⇒ 有意となる時間は約0.77年後 ( $10^{-7}/(10^{-4} \times 1.3 \times 10^{-4})$ )=約7.69年
- ◆ 竜巻
  - ・Sd相当の荷重を発生させる竜巻(差圧約0.9kPa)の発生頻度は約  $4.6 \times 10^{-4}$ /年(第520回審査会合資料「外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻)」)  
⇒ 有意となる時間は約1.67年後 ( $10^{-7}/(1.3 \times 10^{-4} \times 4.6 \times 10^{-4})$ )=約1.67年
  - ・BOP設計差圧(6.9kPa)の発生頻度: 約  $5.2 \times 10^{-6}$ /年(第520回審査会合資料「外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻)」)  
⇒ 有意となる時間は約19年後 ( $10^{-7}/(10^{-3} \times 5.2 \times 10^{-6})$ )=約19.2年

# 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)

## (3) 評価結果

◆ 設計基準事故後に地震によりBOPが開放した場合の影響を確認した結果、運転員の被ばく影響の観点から保守的に弾性設計用地震動Sdで開放しない設計とする。なお、弾性設計用地震動Sdによる開放荷重と同程度の差圧を発生させる竜巻の発生時期は、事故発生後約1.67年後であり、Sdを考慮すべき時期である約0.77年より遅いため、放射能の減衰効果も期待できたため、弾性設計用地震動Sdで開放しない設計とすることで問題ない。

### <公衆被ばく>

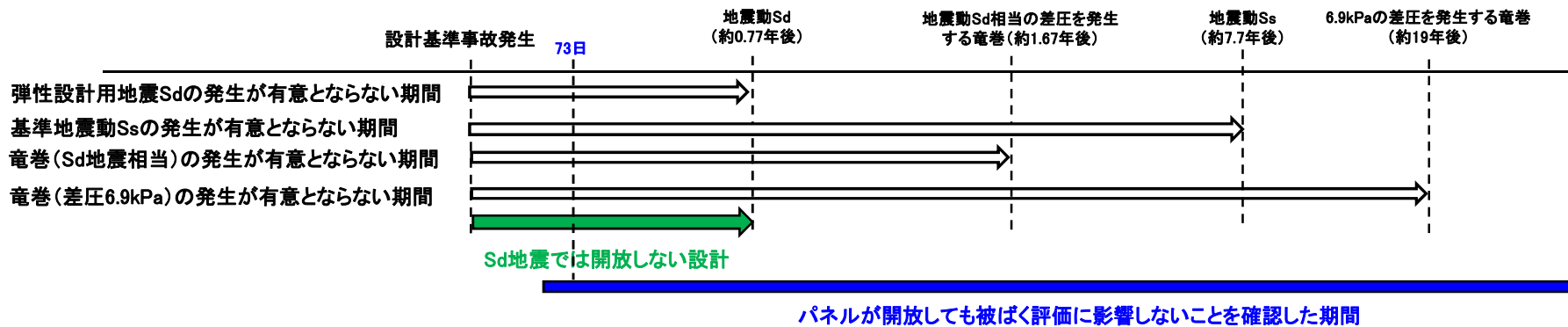
◆ 保守的に事故後約4日後に原子炉建屋の閉じ込め機能が喪失すると仮定(Sd相当で開放すると仮定)して評価し、基準値を下回ることを確認した。

### <運転員の被ばく※>

◆ 保守的に事故後約73日後に原子炉建屋の閉じ込め機能が喪失すると仮定(Ss相当で開放すると仮定)して評価し、基準値を下回ることを確認した。

※運転員の被ばく評価の場合、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について(内規)」(平成21・07・27原院第1号 原子力安全・保安院)によれば、運転員の被ばく評価対象とすべき事象は、冷却材喪失事故及び主蒸気管破断の2事象であるが、主蒸気管破断は地上放出を仮定しており、BOP開閉状態に関係しないため既許可と同じ評価となる。

評価対象事故	公衆の場合(基準:5mSv未満) (事故後4日目のBOP開放仮定)	運転員の場合(基準:100mSv未満) (事故後73日目のBOP開放を仮定)
冷却材喪失事故	約 $1.5 \times 10^{-1}$ mSv	約8.4mSv
燃料集合体落下	約 $1.9 \times 10^{-2}$ mSv	—



【設計基準事故とその後の自然現象、被ばく評価影響の概要】

## 4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

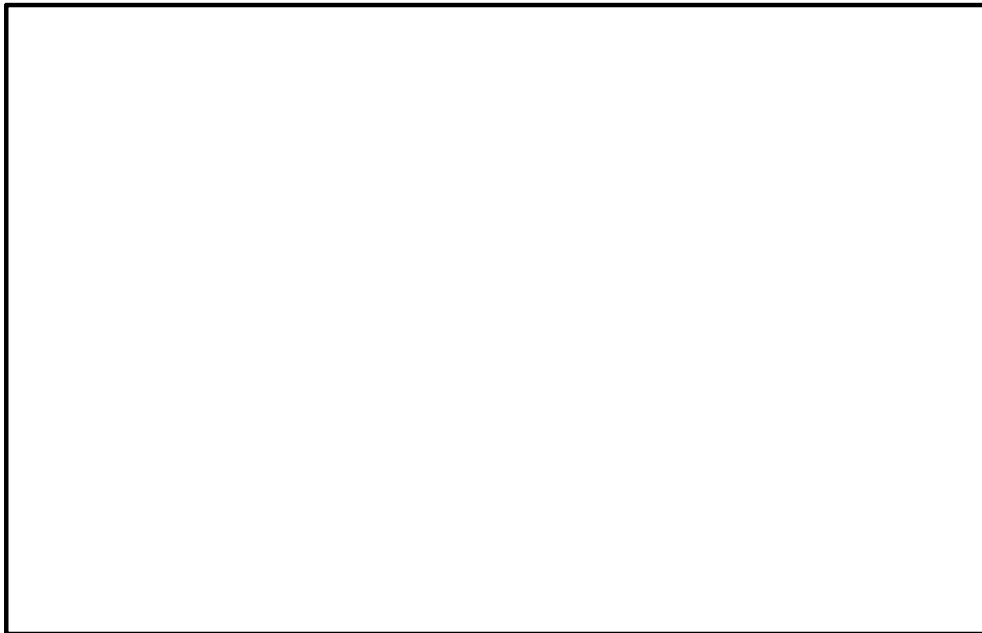
- ◆ 通常運転時も含め、ブローアウトパネルの二次格納施設としての閉維持機能について、被ばくの観点から整理した結果は以下のとおり
- ◆ 通常運転時及び設計基準事故後の自然現象によるブローアウトパネルの開放を想定しても、弾性設計用地震動Sdで開放しない設計(Sdの発生が有意となる時期は事故後約280日後)とすることにより、運転員及び公衆の被ばく量は判定基準内であることを確認

適用条文	ブローアウトパネルの要求機能	プラント状態	判定基準	評価
◆ 39条 廃棄物処理設備等(発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針:公衆の受ける線量目標値)	—	通常運転時	50 $\mu$ Sv/年	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 通常運転時, BOPが開放した場合には, 保安規定に従いプラント停止にて対応するため, 既許可評価値約8.4 <math>\mu</math> Sv/年を大きく超過することはない。</li> <li>◆ なお, 開放したBOPは, 可能な限り速やかに復旧する。平常運転時の地上放出を仮定した場合でも, 被ばく量は, 約3.2 <math>\mu</math> Sv/月であり, 復旧に1カ月間を要したとしても問題ない。</li> </ul>
◆ 42条 生体遮蔽等	—	通常運転時	50 $\mu$ Gy/年 (直接ガンマ線・スカイシャインガンマ線)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 通常運転時, BOPが開放した場合には, 保安規定に従いプラント停止にて対応するため, 既許可評価値約16 <math>\mu</math> Gy/年(大半はタービン建屋からのもので原子炉棟からのものは0.1 <math>\mu</math> Gy/年以下)を大きく超過することはない。</li> <li>◆ なお, 開放したBOPは, 可能な限り速やかに復旧する。BOPが開放した場合, 原子炉棟内の放射性物質が大気中に放出されるが, 直接ガンマ線・スカイシャインガンマ線の影響はない。また, BOPの遮蔽なしとした場合の影響は, 1.1倍程度で軽微である。(遮蔽モデル上でのブローアウトパネルの扱いと影響評価 TK-1-287 改1)</li> </ul>
◆ 38条 原子炉制御室等	閉維持機能 (運転員の被ばく防止の観点)	過渡時	—	◆ 過渡事象による放射性物質の放出はないため問題ない
		事故時	100mSv	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 事故後73日目以降<sup>*1</sup>に自然現象によるBOP開放を想定しても, 冷却材喪失事故時の被ばく量は約8.4mSvであり, 判定基準100mSvを下回ることを確認</li> <li>◆ なお, 安全解析における主蒸気管破断の評価では地上放出を仮定しているため, 評価において閉じ込め機能喪失の影響はない。(既許可 約1.7mSv)</li> </ul>
◆ 44条 原子炉格納施設	閉維持機能 (公衆の被ばく防止の観点)	過渡時	—	◆ 過渡事象による放射性物質の放出はないため問題ない
		事故時	5mSv	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 事故後4日目以降<sup>*2</sup>に自然現象によるBOP開放を想定しても, 冷却材喪失事故時の被ばく量は<math>1.5 \times 10^{-1}</math>mSv, 燃料集合体落下は<math>1.9 \times 10^{-2}</math>mSvであり, 判定基準5mSv及び既許可で最も大きいMSLBA時の被ばく量<math>1.8 \times 10^{-1}</math>mSvを下回ることを確認</li> </ul>

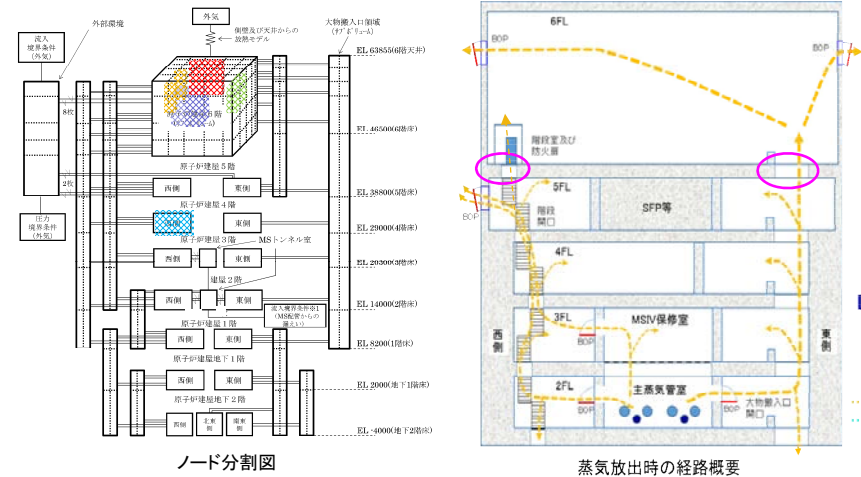
# 第562回審査会合(4月5日)時コメント回答 ブローアウトパネル関連(2)

コメント:強制開放装置の位置づけを明確にすること

回答 :原子炉建屋外壁に設置されるブローアウトパネル10枚に作用する主蒸気管破断時の圧力は音速で伝播する。GOTHIC解析によれば,原子炉棟5階のパネル2枚開放後,6階のパネル8枚にも作動圧力以上の圧力が負荷されるため,ブローアウトパネルは開放する。なお,寸法上,下端,若しくは左端(又は右端)を固定した状態でも,上端,若しくは右端(又は左端)は,型枠に干渉せずに開放する。強制開放装置は,念のための装置であることから,自主設備と位置付けている。

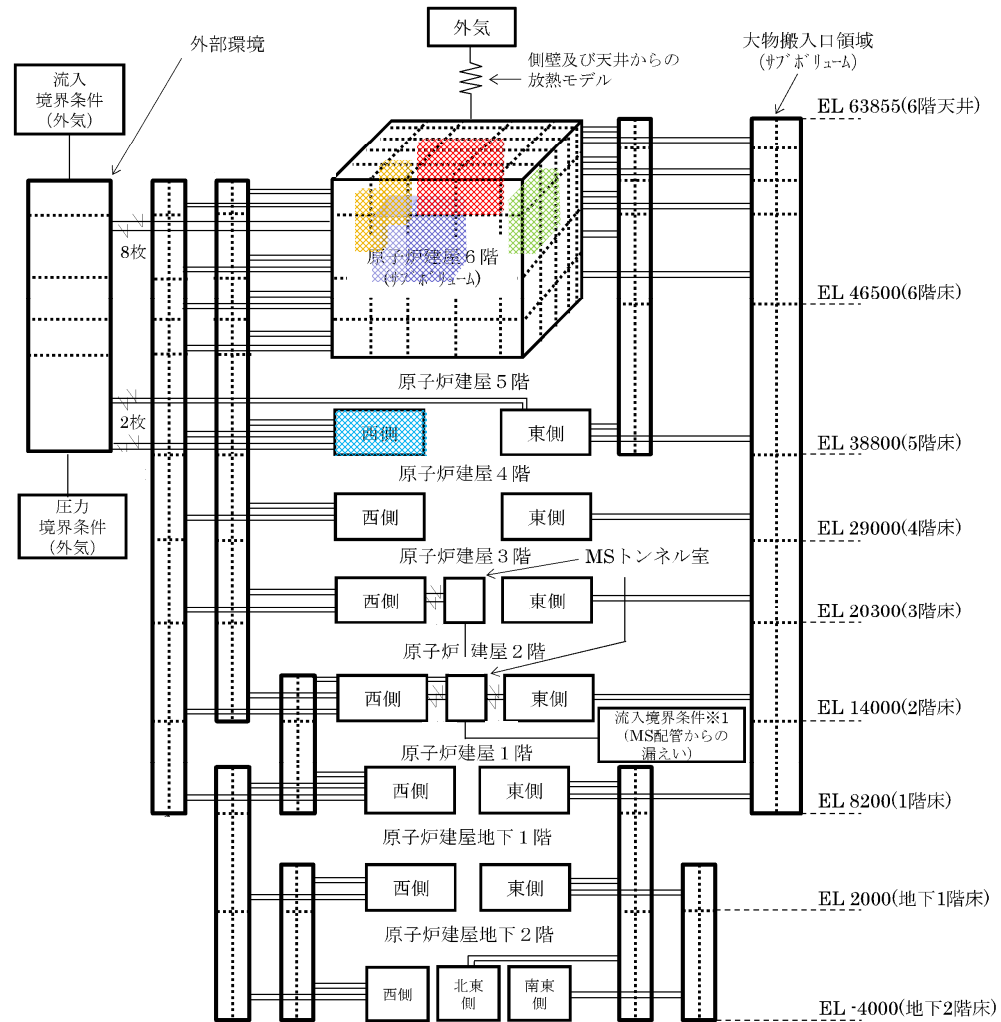


5階西側の2枚のBOP開放後でも,6階のBOP(8枚)近傍には1psi(6.9kPa)の圧力が付加されていることを確認




原子炉棟 6階  
 ( ) : 8パネル(全8枚)      ■ : 圧力伝播部

# 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(2)



6階部のノード分割(100分割)

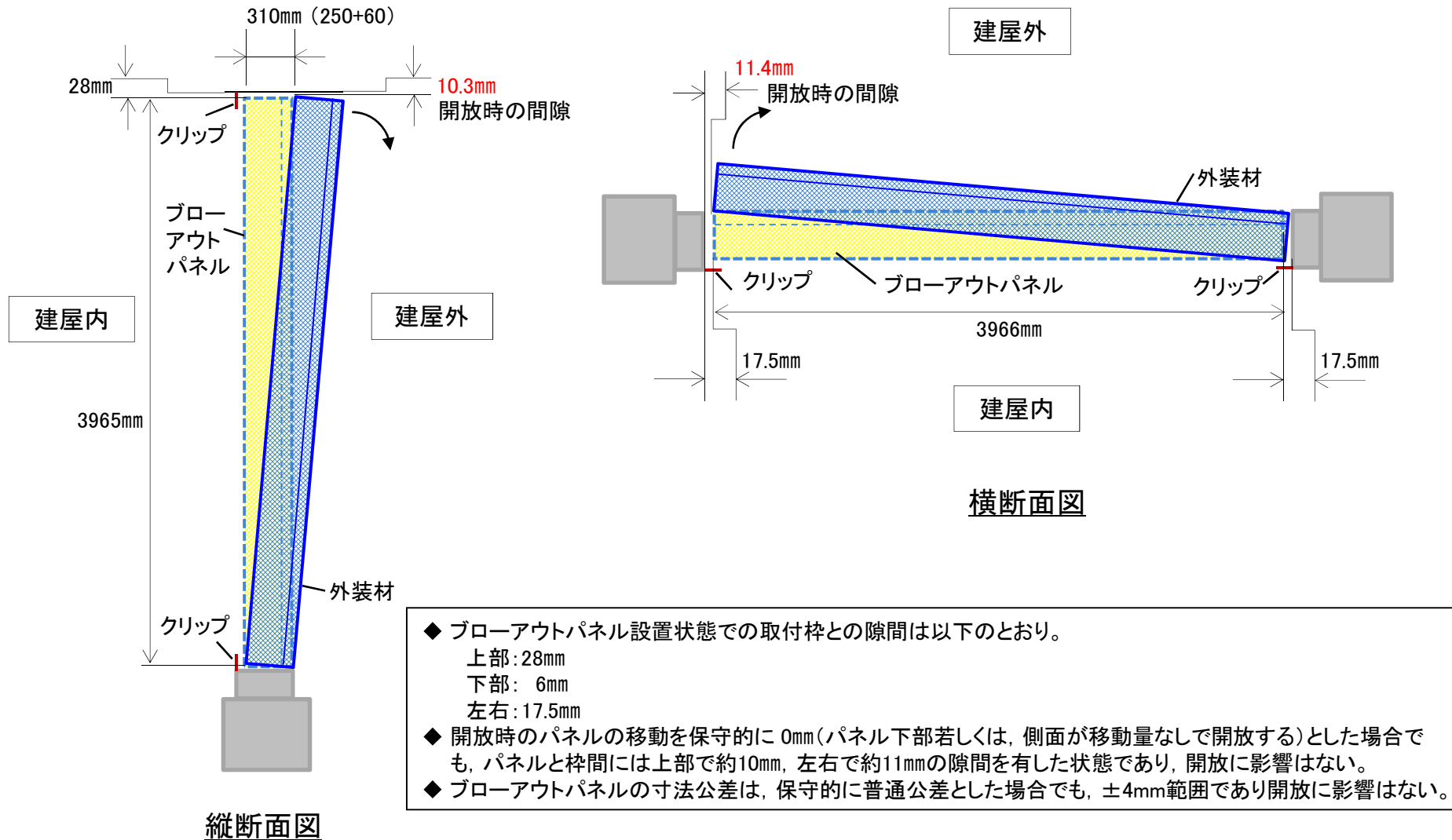
 : ブローアウトパネルに対応するノード(5階西側)

ノード分割図



## 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(2)

ブローアウトパネルの開放時における、パネルと躯体枠との間隙寸法関係を以下に示す。



## 【参考】ブローアウトパネル強制開放装置について(自主対策設備)

### (1) 強制開放装置の概要

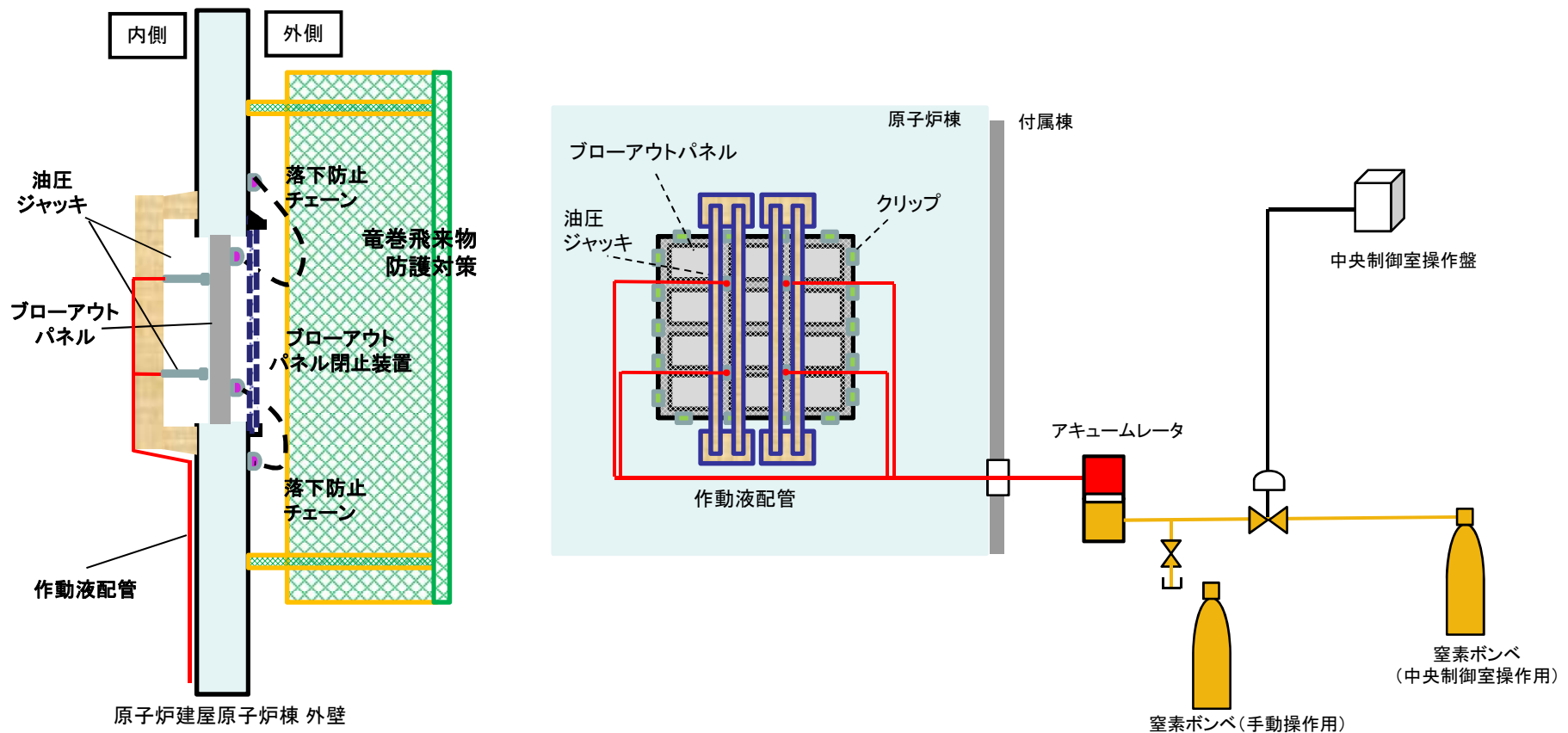
#### <目的>

- ◆ 開放が必要となるブローアウトパネルに対して、原子炉棟内側より不燃性の作動液(水-グリコール)を用いた油圧ジャッキで押し出して開放する。

#### <設計方針>

- ・ 中央制御室からの遠隔操作に加えて現場における手動操作により、ブローアウトパネルを開放する設計
- ・ 他設備への波及的影響に考慮した設計(耐震性を考慮)

### (2) 強制開放装置の設置イメージ



## 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(3)

コメント: 設計差圧(6.9kPa)以下で開放する設計(設定値)について、クリップ開放試験結果等を踏まえた考え方について説明すること。

回答:

- ◆ 6.9kPa以下で確実にパネルを開放させるため、パネル開放の抵抗力(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)を考慮し、この合計が④差圧による荷重以下とする。
- ◆ クリップは、パネルの左右, 上下で対称となるように設置し、負荷される差圧に対し、可能な限り、抵抗が均一になるように配置する。
- ◆ 6.9kPa以下で確実に開放するようにクリップ数を決定する。

①クリップの抗力 + ②摩擦による抗力 + ③シール材の抗力

<

④設計差圧6.9kPaによる開放荷重

### ①クリップの抗力

- ◆ 7200(N)/1個として設計
- <根拠>
- ◆ クリップ試験結果の平均値 6568(N)<sup>※1</sup>に+3σ (3×198=592<sup>※1</sup>)を見込み設定
- ◆ 6568+592=7160(N)<sup>※1</sup>
- ◆ クリップ数をX個とすると、クリップの抗力は、7200・X(N)
- ※1: 追加試験にてデータ拡充を計画

### ②摩擦力

- ◆ 0.6として設計
- <根拠>
- ◆ コンクリートと鉄鋼の静止摩擦係数0.4(鋼構造設計基準 柱脚)に50%のマージンを見込み0.6
- ◆ 保守的に静止摩擦係数を動摩擦係数としても採用
- ◆ 1650(kg)×9.8(m/s<sup>2</sup>)×0.6=9702(N)

### ③シール材破壊力

- ◆ Y(N)として設計
- <根拠>
- ◆ シール材面積: 1600(cm<sup>2</sup>)
- ◆ 引張破断荷重: 31(N/cm<sup>2</sup>)
- ◆ 保守的に、面積1600cm<sup>2</sup>のシール材が引張られ切断されるために必要な荷重として面積×破断荷重で設定

### ④差圧による荷重

- ◆ 6.9kPa以下
- <根拠>
- ◆ 設計値6.9kPa以下
- ◆ 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が付加されるとして算定
- ◆ 6900(Pa)×15.346(m<sup>2</sup>)=105888(N)

①7200・X(N)

+

②約1×10<sup>4</sup>(N)

+

③ 約5×10<sup>4</sup>(N)

<

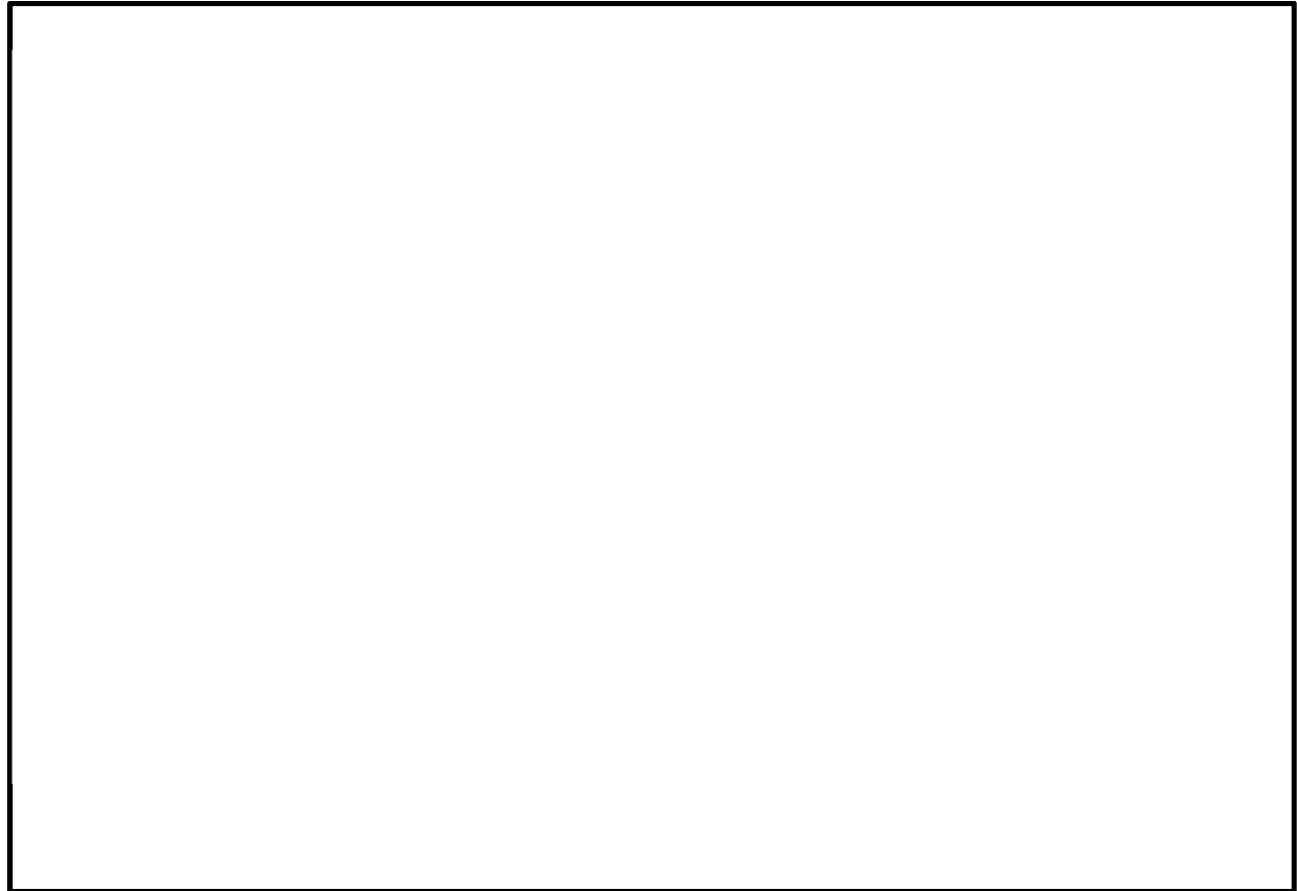
④約1.1×10<sup>5</sup>(N)

◆ クリップ数を6個を基本として、その妥当性は実機大のモックアップ試験にて確認

◆ クリップ数及びクリップ寸法(幅)の変更により開放荷重は調整可能であるため、複数の実機大モックアップ試験装置を準備

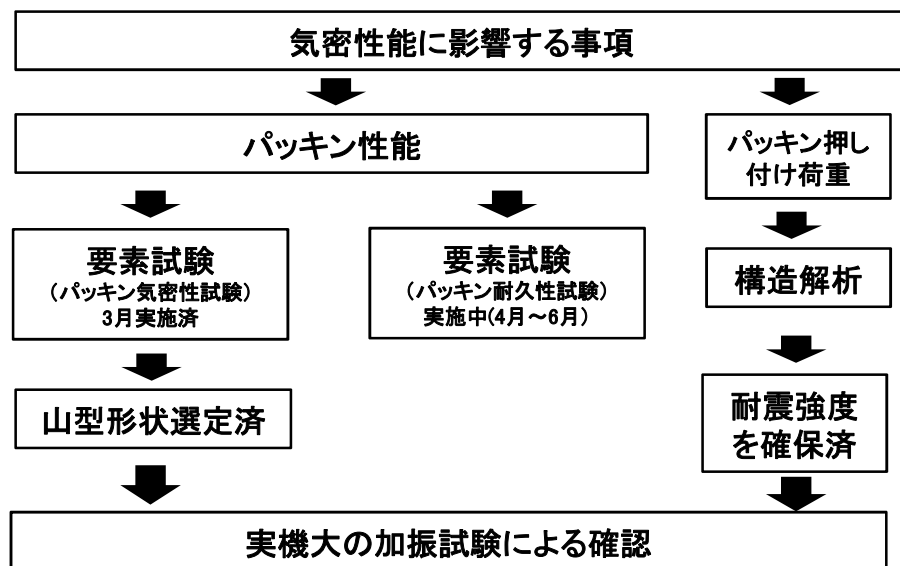
## ブローアウトパネル閉止装置に係る検討項目について(1/3)

- ブローアウトパネル(BOP)閉止装置の機能要求  
BOP開放状態で炉心損傷が発生した場合に、運転員等の中央制御室での居住性確保のため、開放したBOP部を速やかに閉止し、原子炉建屋の気密性を確保する。
- BOP閉止装置の構造
  - ◆ 扉は、上部及び下部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としており、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の開閉を行う。
  - ◆ 閉止時には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原子炉建屋側に押し付け、気密性をより高める構造としている。
  - ◆ 開閉状態については、リミットスイッチを設置し、中央制御室で監視できる設計としている。



BOP閉止装置概略図

## ブローアウトパネル閉止装置に係る検討項目について(2/3)



- その他要素試験 電動機等の加振試験(4月実施済み)
  - ・閉止装置用電動機, リミットスイッチの単体加振試験を実施し, 基準地震動 $S_s$ を包絡する地震動で機能維持することを確認
- 実機大の試験体による試験
  - ・実機大の試験体の作動及び気密性を確認予定(6/1, メーカー工場)
  - ・実機大の試験体による加振試験を行い, 加振試験後においても気密性能、作動性能が確保されることを確認※(6月18日~6月22日 Eディフェンス)

※ テーパーブロックにライナー等の取付けによりパッキンの押し込み量の増加可能

# ブローアウトパネル閉止装置に係る検討項目について(3/3)

## 各試験スケジュールについて

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)											
	要素試験	構造部材の強度向上 -----↑						実施大試験体製作					
		作動・気密試験※ △											
		加振・作動・気密性能※試験 □											
		結果説明▽											
		要素試験①パッキン気密性能試験 ■											
								要素試験②電動機等の加振試験 ■					
								要素試験③パッキン耐久性試験 ■					

# ブローアウトパネルの各試験スケジュールについて

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				試験体作成 試験装置作製		クリップ要素試験		追加試験片準備(コメント反映)		クリップ試験 (コメント反映追加分)	
	実機大 モックアップ試験	試験計画策定・資機材準備						実施大試験体製作		結果説明▽		開放試験※	

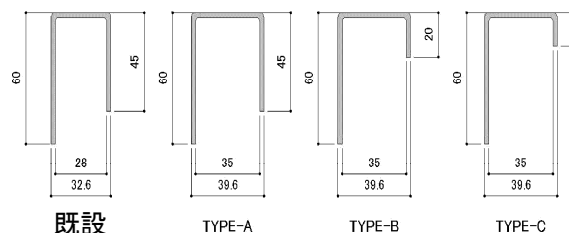
# 【参考】クリップ開放試験の概要(1/3)

## 1. 目的

ブローアウトパネルの開放圧力を決定する大きな因子となるクリップについて、性能に影響する材質、クリップ板厚、クリップ幅、クリップ掛り寸法、曲げ加工後のクリップ幅について組合せを検討し、最も安定した性能を確保できるクリップ仕様を特定する。

## 2. 供試体の組み合わせ

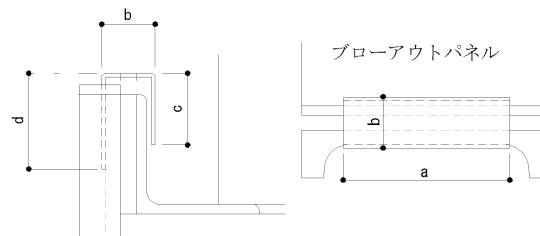
項目	目的	具体的な仕様
材質	材質による強度のばらつきを確認	SS400, SPCC
板厚	一定(既設と同じ)	2.3mm
幅(a)	クリップ幅と強度の関係を確認	100mm, 70mm
掛り寸法(c)	掛り寸法による強度(外れ易さ)のばらつきを確認	45mm, 20mm, 15mm
曲げ加工後のクリップ幅(b)	曲げ加工後のクリップ幅と強度のばらつきを確認	28mm, 35mm



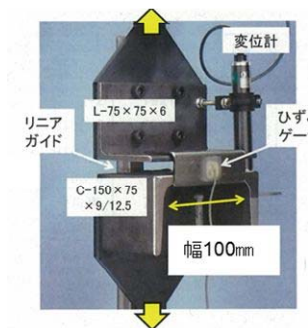
試験用クリップ



クリップ取付状況



クリップ寸法確認箇所



試験用クリップ一覧

試験区分	試験体名称	クリップ材質	クリップ板厚	クリップ幅(a)	クリップ掛り寸法(c)	曲げ加工後のクリップ幅(b)	クリップ形状	変位速度	試験体数
試験1	C70	SPCC (冷間圧延鋼板)	2.3mm	70 mm	45mm	28mm	既設と同じ	1 mm/分	5
	C100			100 mm					
	H70	SS400 (一般構造用圧延鋼材)		70 mm					
	H100			100 mm					
試験2	H100AP	SS400 (一般構造用圧延鋼材)		100 mm	45mm	35mm	TYPE-A		5
	H100BP				20mm		TYPE-B		5
	H100CP				15mm		TYPE-C		5



## 【参考】 クリップ開放試験の概要(2/3)

### 【クリップ試験結果】



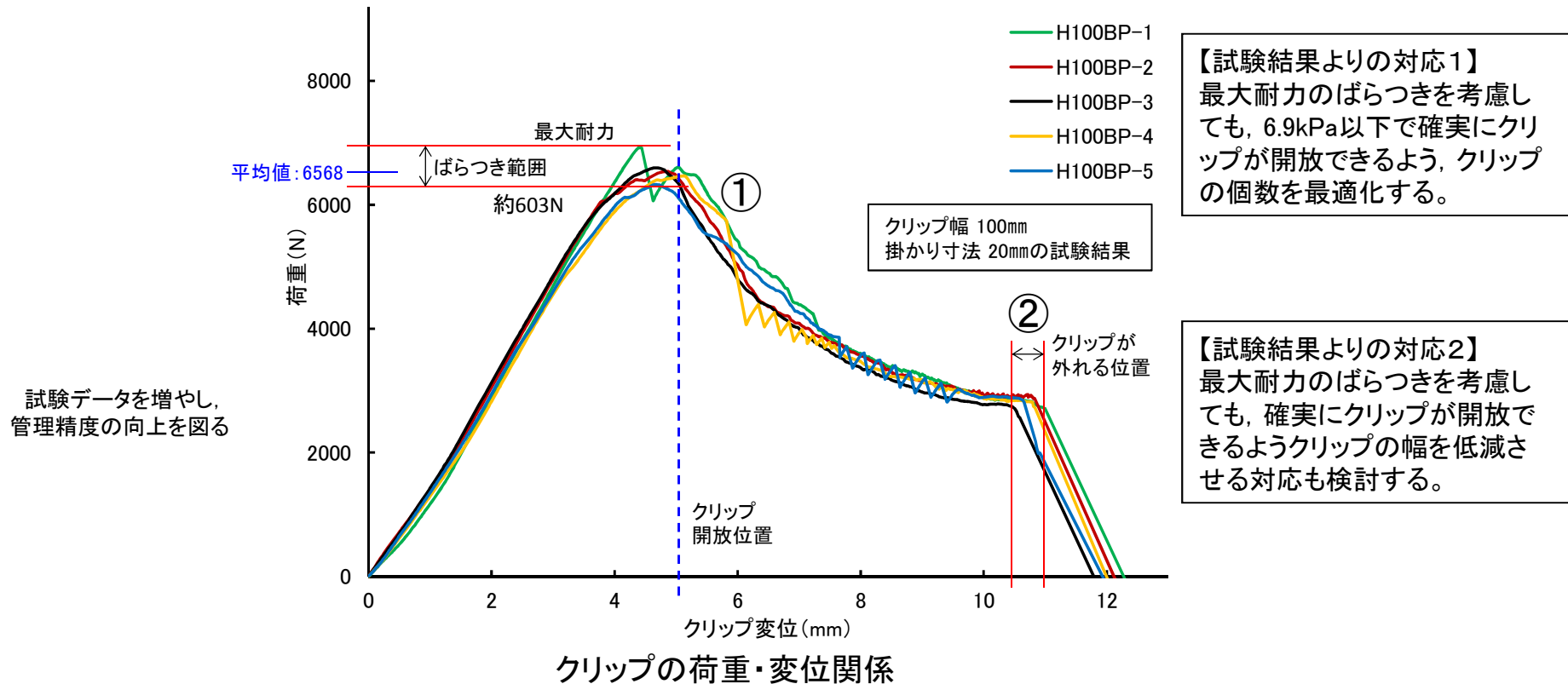
- ◆ 試験1の結果から, SS400の降伏点は明確で, ばらつきも低減できることを確認 ⇒ 材質はSS400を選定
- ◆ 試験1の結果から, 材料に関係なく, 降伏荷重(平均値)はクリップ幅に比例することを確認( $C70/C100=H70/H100 \approx 0.69$ )
- ◆ 試験2の結果から, 掛り寸法は, 20mm程度(TYPE-B)が最もばらつきが小さく適切な形状と判断

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(3/3)

### 【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。



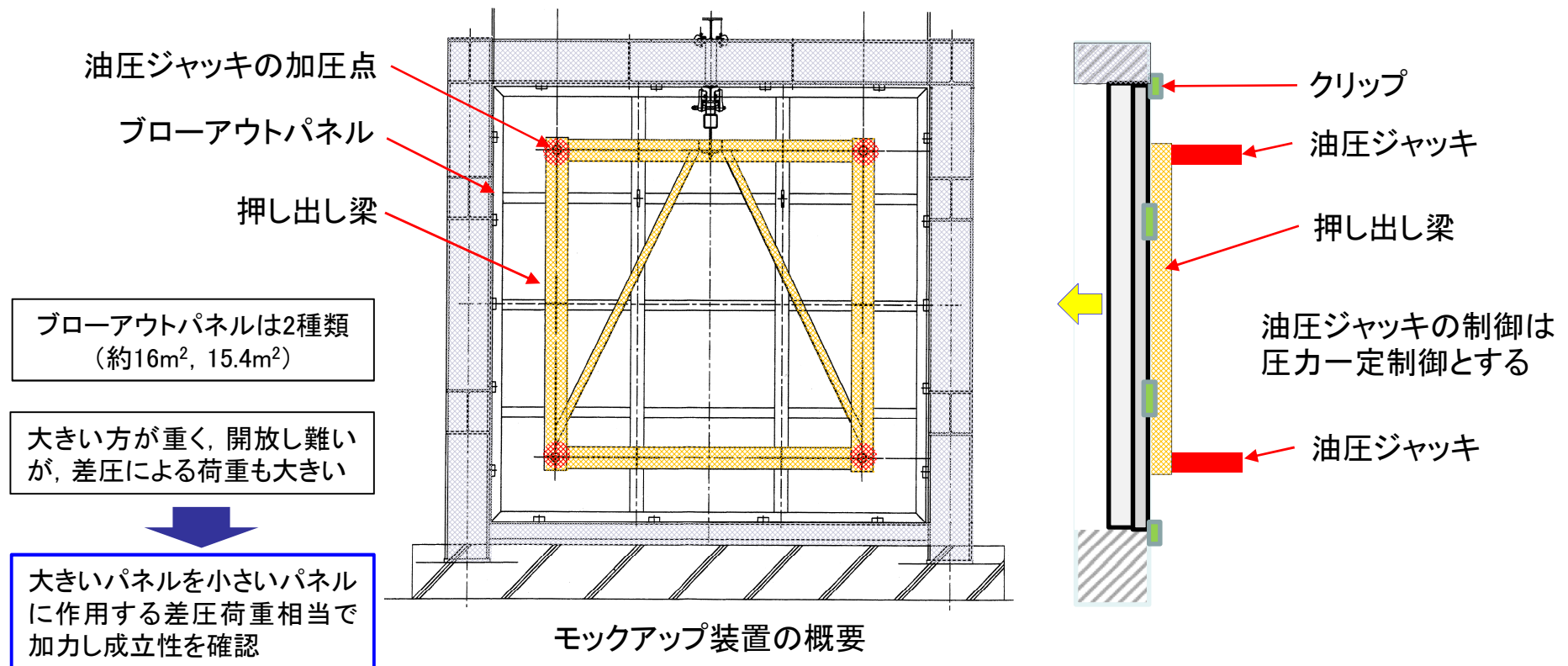
- ①最大耐力に達してクリップが降伏し、荷重が低下していることをクリップ部のひずみ測定により確認した。
- ②クリップの掛かり長さが20mm(H100BP)では変位11mmでクリップが完全に外れることを確認した。

## 【参考】 実機大モックアップによる開放試験

### 【モックアップによる開放試験の概要】

実機同等のブローアウトパネル及びパネルフレーム枠の試験体を製作し、シール施工及び新たに設定するクリップを設置した状態で、油圧ジャッキを用いた加力試験により以下の項目を確認する。

確認項目： 設計差圧以下でブローアウトパネルが開放すること



## 【参考】ブローアウトパネル開放のプロセス

○建屋内圧力によるクリップの変形及びパネルの開放は、具体的には下図の流れとなる。

パネルの開放に必要な荷重 (①+②+③) < 建屋内圧力による荷重(④)

①クリップを変形させる荷重×クリップ个数

②パネルと躯体枠部の摩擦力(パネル鋼材 - 枠鋼材及び枠躯体 ⇒ 摩擦係数0.6)

③シール材の破断に必要な荷重(シール材の選定及び施工方法により設定)

