

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10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。

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)

<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を整理し、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整理し、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判断事故の評価値 1.8×10^{-2} mSv未満であることを確認した。
- ◆ 中央制御室運転員の被ばく影響の観点から整理し、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100mSv未満であることを〇〇〇〇(評価中)
- ◆ 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により対応ため平常時被ばく量に大きな増加はない。

※: 自然現象の発生頻度と事故との重畳について評価し、弾性設計用地震Sdの発生が有意となる時期として保守的に設定。なお、Sd以下の地震動によりブローアウトパネルが開放しないことは、実機大モックアップ試験時に確認

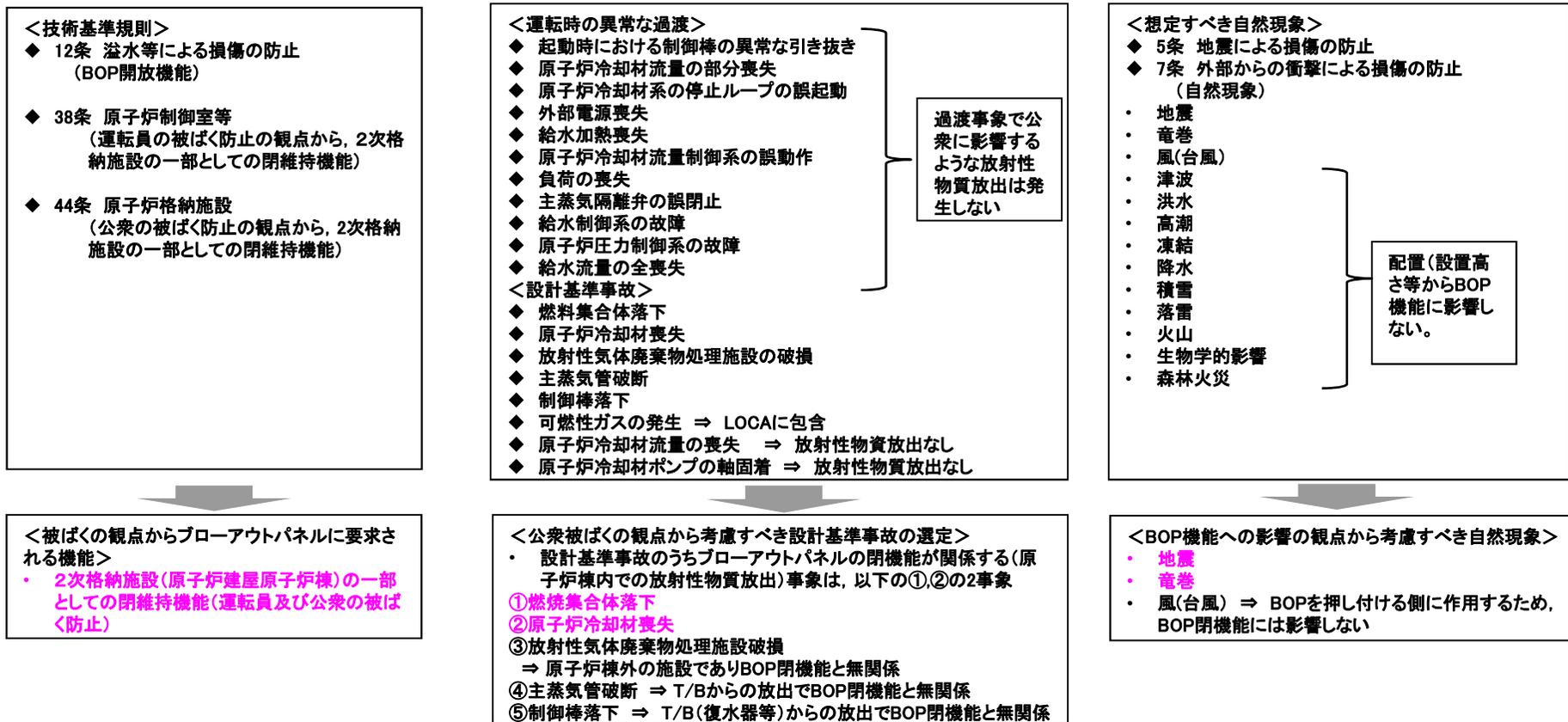
4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

◆ 評価の考え方は以下のとおり。

(1) 公衆被ばく影響の観点から考慮すべきブローアウトパネルの機能, 設計基準事故及び自然現象について

◆ 被ばく影響の観点から抽出したブローアウトパネルに要求される機能, 考慮すべき設計基準事故及び想定すべき自然現象について整理した。

◆ ブローアウトパネルの機能としては2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。



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)

(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、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、逆に、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について評価する。評価結果は以下のとおり。

| 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 | <p style="text-align: center;">考慮不要</p> ◆ 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で対応するため影響なし |
| 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 | <p style="text-align: center;">考慮要</p> ◆ 独立事象の重ね合わせの観点から評価が必要 |

- ② ①に基づき、運転員及び公衆の被ばく防止の観点から、想定すべき設計基準事故(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。ブローアウトパネル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、重畳を考慮すべき時期は、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。
- ◆ 重畳を考慮すべき基準: 10^{-7} /年
 - ◆ 設計基準事故発生頻度: 約 10^{-3} /年 (「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))
 - ◆ Sd発生頻度: 約 10^{-2} /年 (JEAG4601) ⇒ 有意となる時間は約4日後 ($10^{-7}/(10^{-3} \times 10^{-2})=0.01$ 年)
 - ◆ Ss発生頻度: 約 5×10^{-4} /年 (JEAG4601) ⇒ 有意となる時間は約73日後 ($10^{-7}/(10^{-3} \times 5 \times 10^{-4})=0.2$ 年)
 - ◆ Sd相当の荷重を発生させる竜巻(差圧0.9kPa)の発生頻度は 4.6×10^{-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)より) ⇒ 有意となる時間は、約80日後
(ブローアウトパネルにSd地震時に付加される荷重は約13600N～約14000N, 差圧0.9kPa時の開放荷重は約13811N～約14400N)
 - ◆ BOP設計差圧(6.9kPa)の発生頻度: 約 5.2×10^{-6} /年 ⇒ 有意となる時間は、約19年後 ($10^{-7}/(10^{-3} \times 5.2 \times 10^{-6})=19.2$ 年)
- ③ 被ばく評価は、設計基準事故発生から自然現象によりブローアウトパネルが開放する可能性がある時期までは安全解析と同様に2次格納施設が健全であるとし、開放後は地上放出するとして実施した。

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(2)

(3) 評価結果

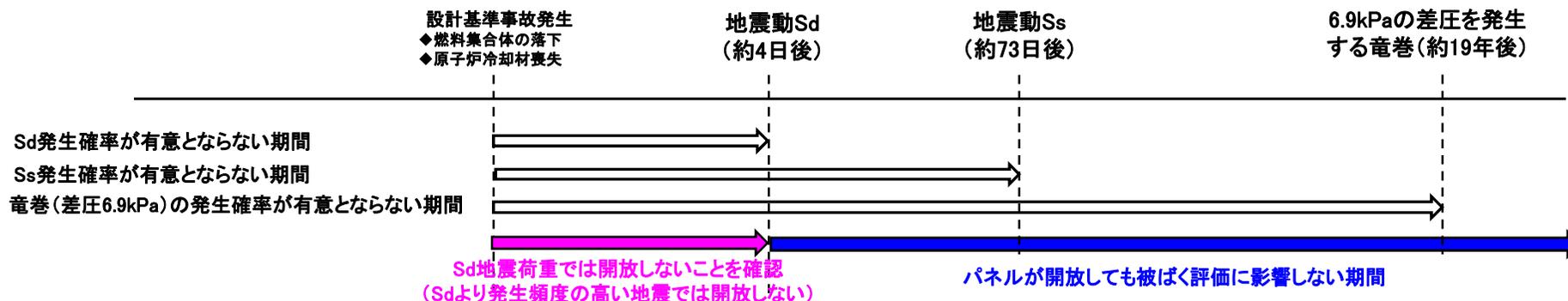
<地震について被ばく評価結果>

- ◆ 設計基準事故後、弾性設計用地震Sdにより事故後4日目に原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能が喪失すると仮定し、被ばく評価を実施し、いずれの場合も基準の被ばく量を下回ることを確認した。

| 評価対象事故 | 公衆の場合(基準:5mSv未満) | 運転員の場合(基準:100mSv未満) |
|---------|---------------------------------|---------------------|
| 冷却材喪失事故 | $1.5 \times 10^{-1} \text{mSv}$ | ? mSv (評価中) |
| 燃料集合体落下 | $1.9 \times 10^{-2} \text{mSv}$ | — (冷却材喪失事故で包絡) |

<竜巻についての被ばく評価結果>

- ◆ 弾性設計用地震Sdと同程度の開放荷重(900Pa)を発生させる竜巻の発生頻度は、Sdの発生頻度に比べ小さいため、被ばく評価値はSdで開放した場合の評価に包絡される。
(発生頻度が小さく、地上放出を仮定するまでの時間が長いため、被ばく影響はより小さくなる。)
- ◆ なお、東海第二の場合、上記の評価結果を担保するため、「開放機能に影響を与えないように耐震性を確保する」方針(平成30年4月5日審査会合)に従い、耐震性を確保する地震動としてSdを選定し、開放しないことを実機大モックアップ試験時に確認する。



【設計基準事故とその後の自然現象、被ばく評価影響の関係の概要】

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)

- ◆ ブローアウトパネルの2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、被ばく量は判定基準内であることを確認した。

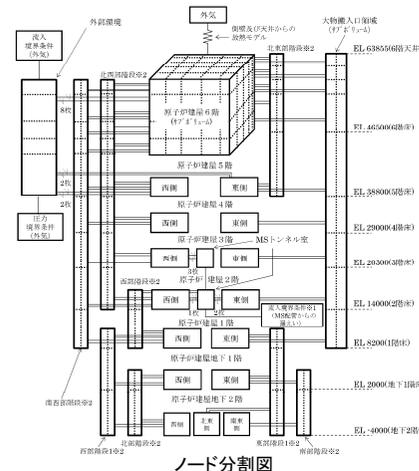
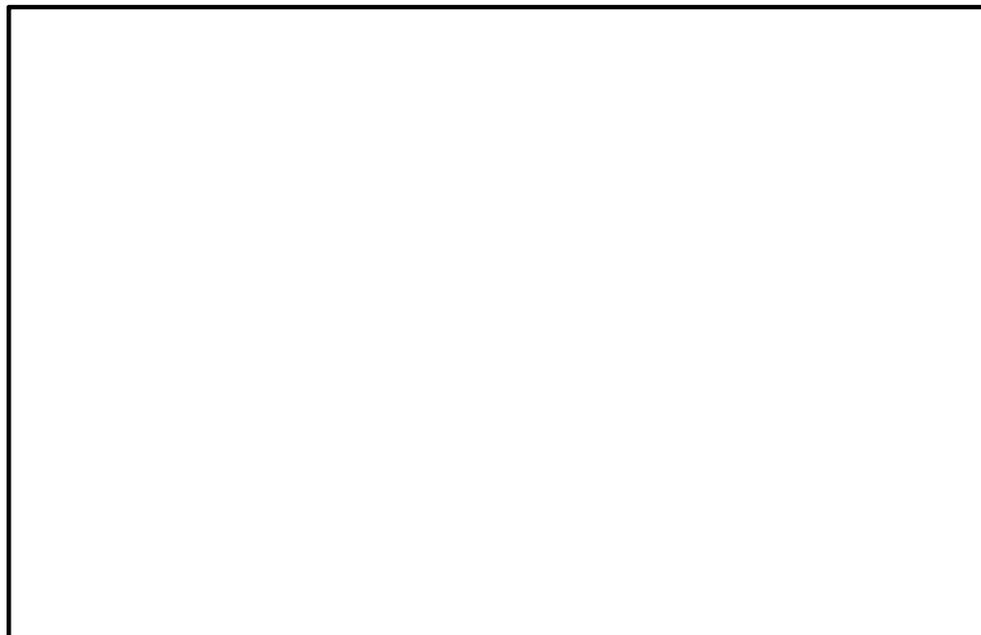
| 適用条文 | ブローアウトパネルの要求機能 | プラント状態 | 判定基準 | 評価 |
|---|-------------------------|--------|---------------------------------------|---|
| ◆ 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針:公衆の受ける線量目標値 | — | 通常運転時 | 50 μ Sv/年 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 通常運転時, BOPが開放した場合には, 保安規定に従いプラント停止にて対応するため, 既許可評価値約8.4 μ Sv/年を大きく超過することはない。 ◆ 開放したBOPは, 可能な限り速やかに復旧する。なお, 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 μ Sv/月であり, 復旧に1月間を要したとしても問題ない。 |
| ◆ 42条 生体遮蔽等 | — | 通常運転時 | 50 μ 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"> ◆ 開放したBOPは, 可能な限り速やかに復旧する。なお, 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ため, 直接ガンマ線・スカイシャインガンマ線の影響はない。 ◆ なお, 通常運転時の既許可評価値は約16 μ Gy/年であり, この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 μ Gy/年以下である。 |
| ◆ 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 | ◆ 事故後4日目に降※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? mSvであり, 判定基準100mSvを下回ることを確認 (評価中) |
| ◆ 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 | ◆ 事故後4日目に降※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 1.5×10^{-1} mSv, 燃料集合体落下は 1.9×10^{-2} 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 1.8×10^{-1} mSvを下回ることを確認 |

※:自然現象の発生頻度と事故との重畳について評価し, 弾性設計用地震Sdの発生が有意となる時期として保守的に設定。なお, Sd以下の地震動によりブローアウトパネルが開放しないことは, 実機大モックアップ試験時に確認

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

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し, 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。

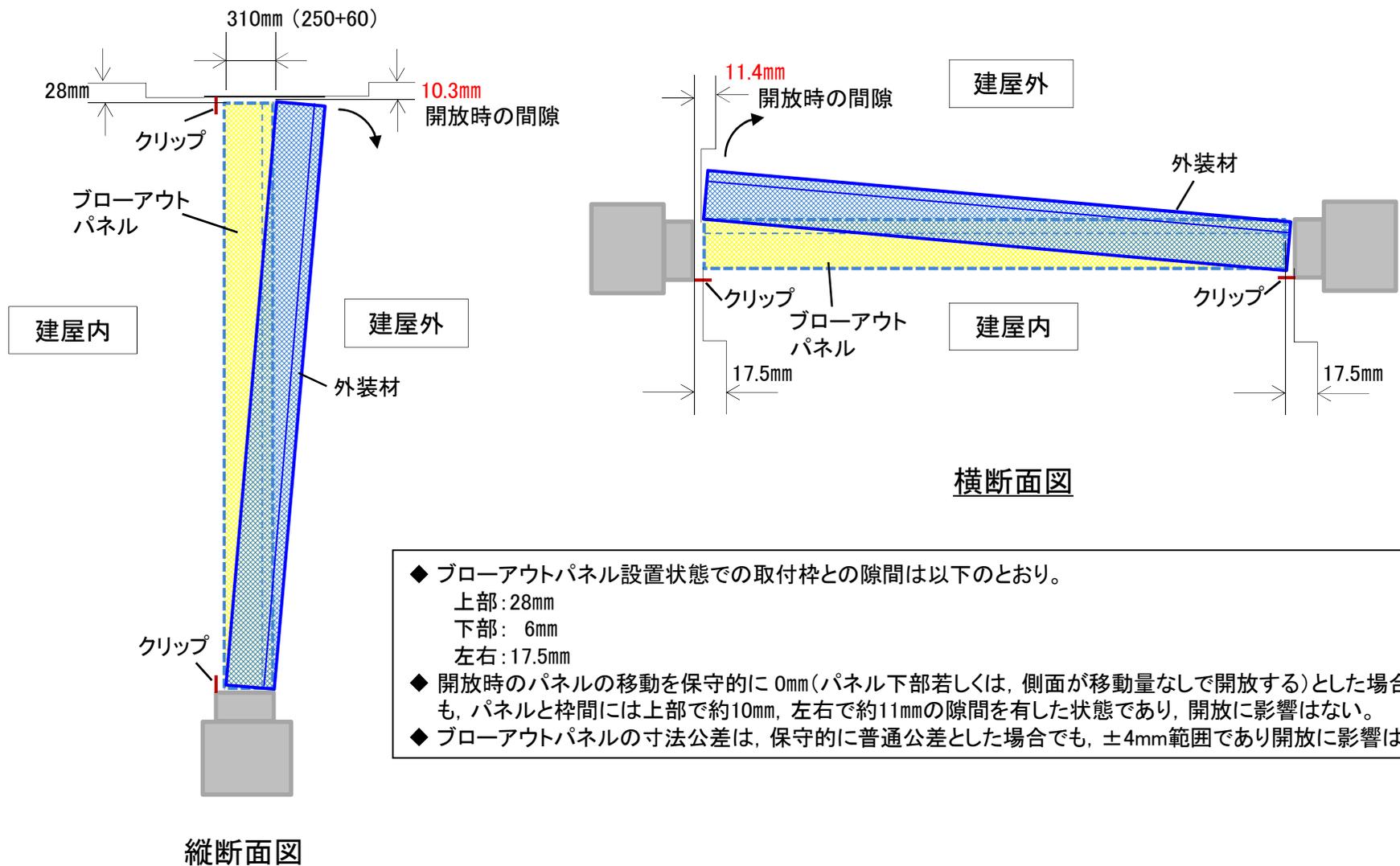


5階西側の2枚のBOP開放後でも, 6階のBOP(8枚)近傍には1psi(6.9kPa)の圧力が付加されていることを確認
 (5階BOPが設置されている建屋西側から6階への蒸気伝播経路は階段のみであるが, 東側は機器搬入口の開口部があり, 開口面積は西側の約5.5倍もあるため, 6階面の圧力上昇は5階のBOP 開放の影響を大きく受けない)

原子炉棟 6階 (赤線: パネル(全8枚)) 圧力伝播箇所 (ピンク色) 原子炉棟 5階 (赤線: パネル(全2枚))

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

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。



- ◆ ブローアウトパネル設置状態での取付枠との隙間は以下のとおり。
 - 上部: 28mm
 - 下部: 6mm
 - 左右: 17.5mm
- ◆ 開放時のパネルの移動を保守的に 0mm (パネル下部若しくは、側面が移動量なしで開放する) とした場合でも、パネルと枠間には上部で約10mm、左右で約11mmの隙間を有した状態であり、開放に影響はない。
- ◆ ブローアウトパネルの寸法公差は、保守的に普通公差とした場合でも、±4mm範囲であり開放に影響はない。

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(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。

$$\text{①クリップの抗力} + \text{②摩擦による抗力} + \text{③シール材の抗力} < \text{④設計差圧6.9kPaによる開放荷重}$$

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)^{※1}に+3σ (3×198=592^{※1})を見込み設定
 ◆ 6568+592=7160(N)^{※1}
 ◆ 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/s²)×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(cm²)
 ◆ 破断荷重: y (N/cm²)
 (シール材選定中)
 ◆ 保守的に、面積1600cm²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(m²)=105888(N)

$$\text{①}7200 \cdot X(N) + \text{②}9702(N) + \text{③} Y(N) < \text{④}105888(N)$$

- ◆ 設計の妥当性は実機大のモックアップ試験にて確認する

以下, 参考資料

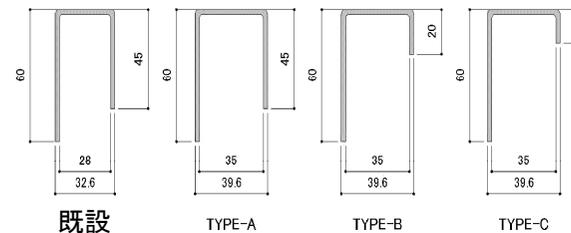
【参考】クリップ開放試験の概要(1/3)

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

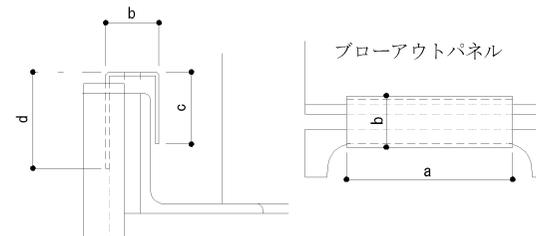
| 項目 | 目的 | 具体的な仕様 |
|----------------|-------------------------|------------------|
| 材質 | 材質による強度のばらつきを確認 | SS400, SPCC |
| 板厚 | 一定(既設と同じ) | 2.3mm |
| 幅(a) | クリップ幅と強度の関係を確認 | 100mm, 70mm |
| 掛り寸法(c) | 掛り寸法による強度(外れ易さ)のばらつきを確認 | 45mm, 20mm, 15mm |
| 曲げ加工後のクリップ幅(b) | 曲げ加工後のクリップ幅と強度のばらつきを確認 | 28mm, 35mm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



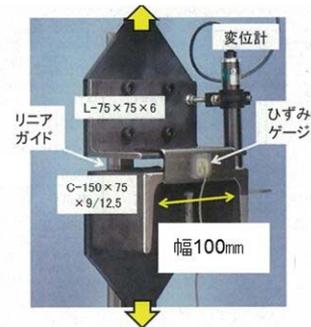
試験用クリップ



クリップ取付状況



クリップ寸法確認箇所

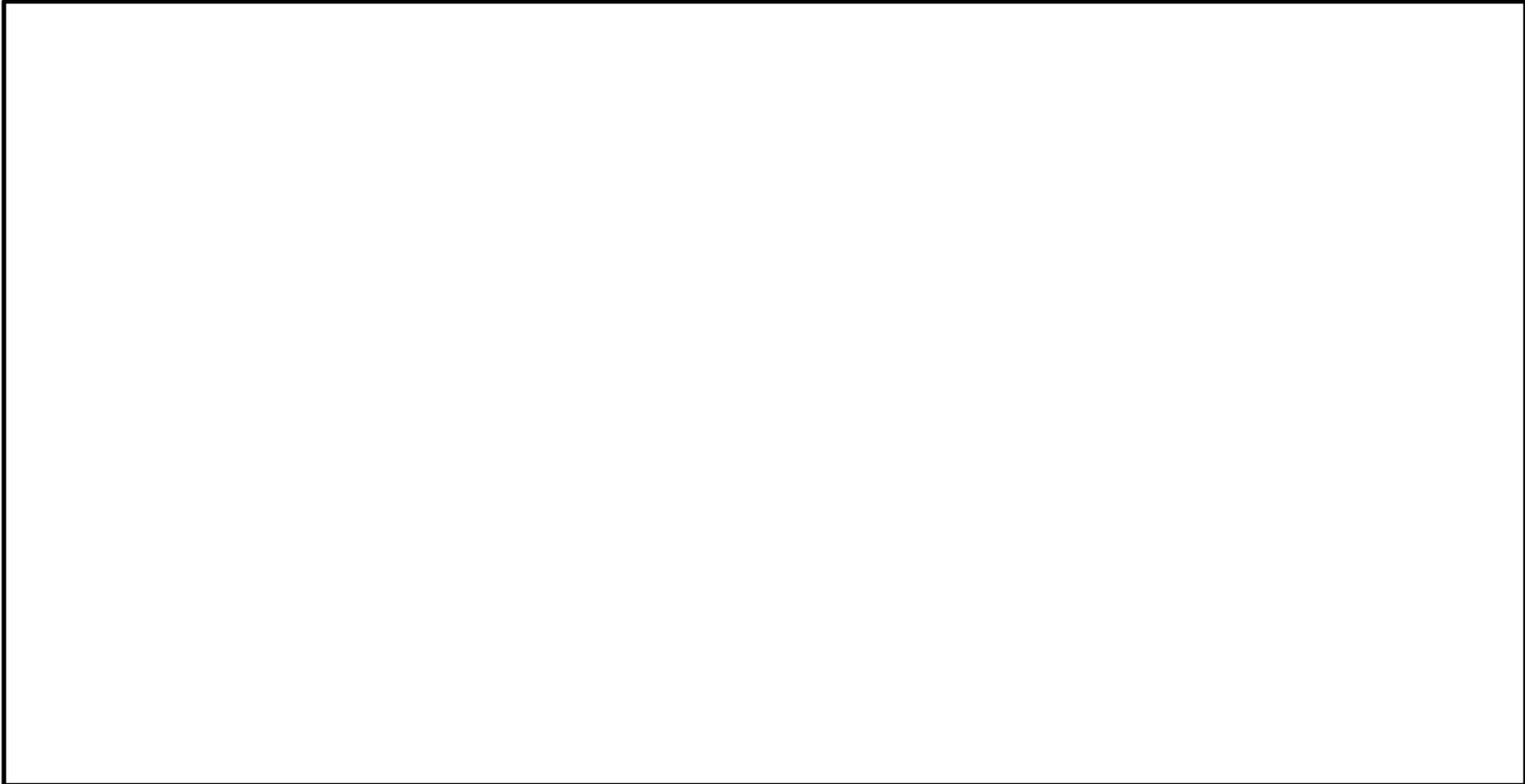


試験用クリップ一覧

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

【参考】 クリップ開放試験の概要(2/3)

【クリップ試験結果】



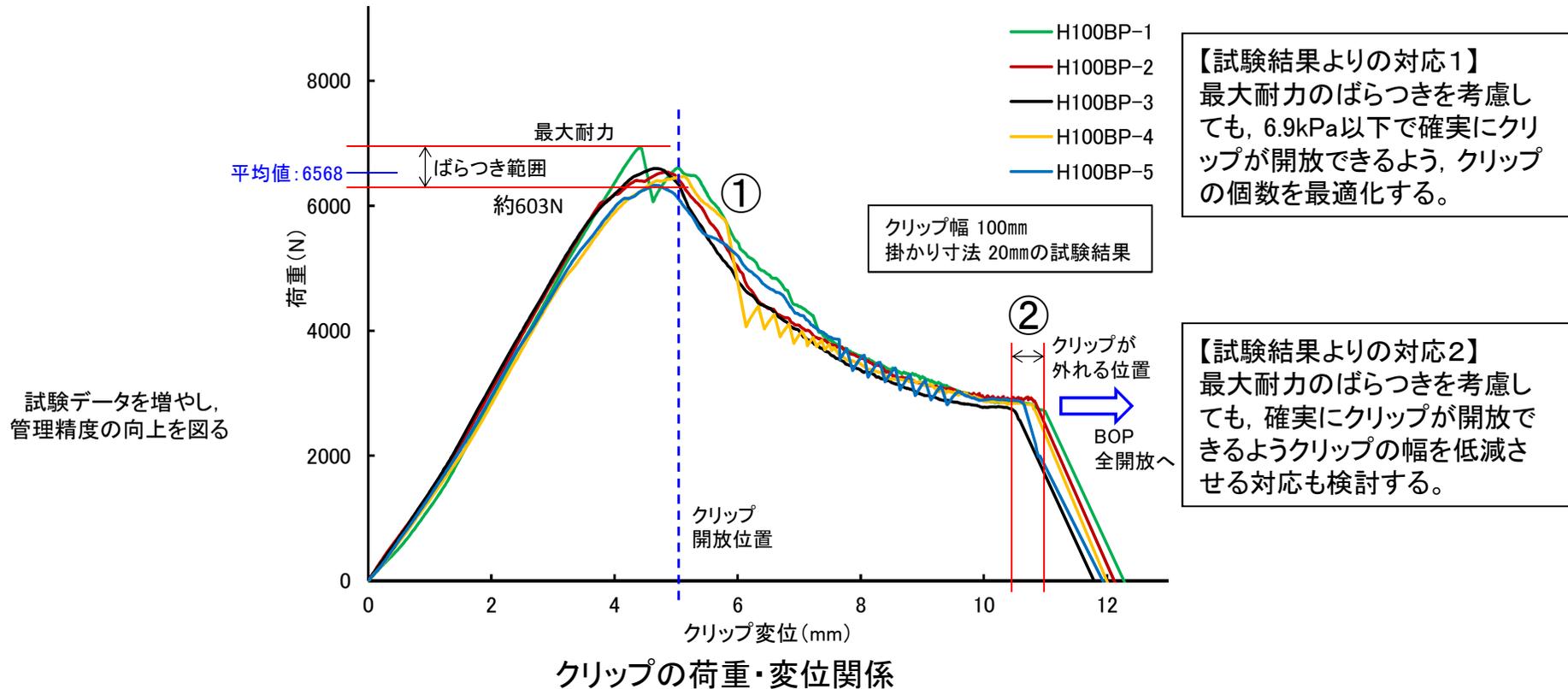
- ◆ 試験1の結果から, SS400の降伏点は明確で, ばらつきも低減できることを確認 ⇒ 材質はSS400を選定
- ◆ 試験1の結果から, 材料に関係なく, 降伏荷重(平均値)はクリップ幅に比例することを確認($C70/C100=H70/H100 \approx 0.69$)
- ◆ 試験2の結果から, 掛り寸法は, 20mm程度(TYPE-B)が最もばらつきが小さく適切な形状と判断

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。



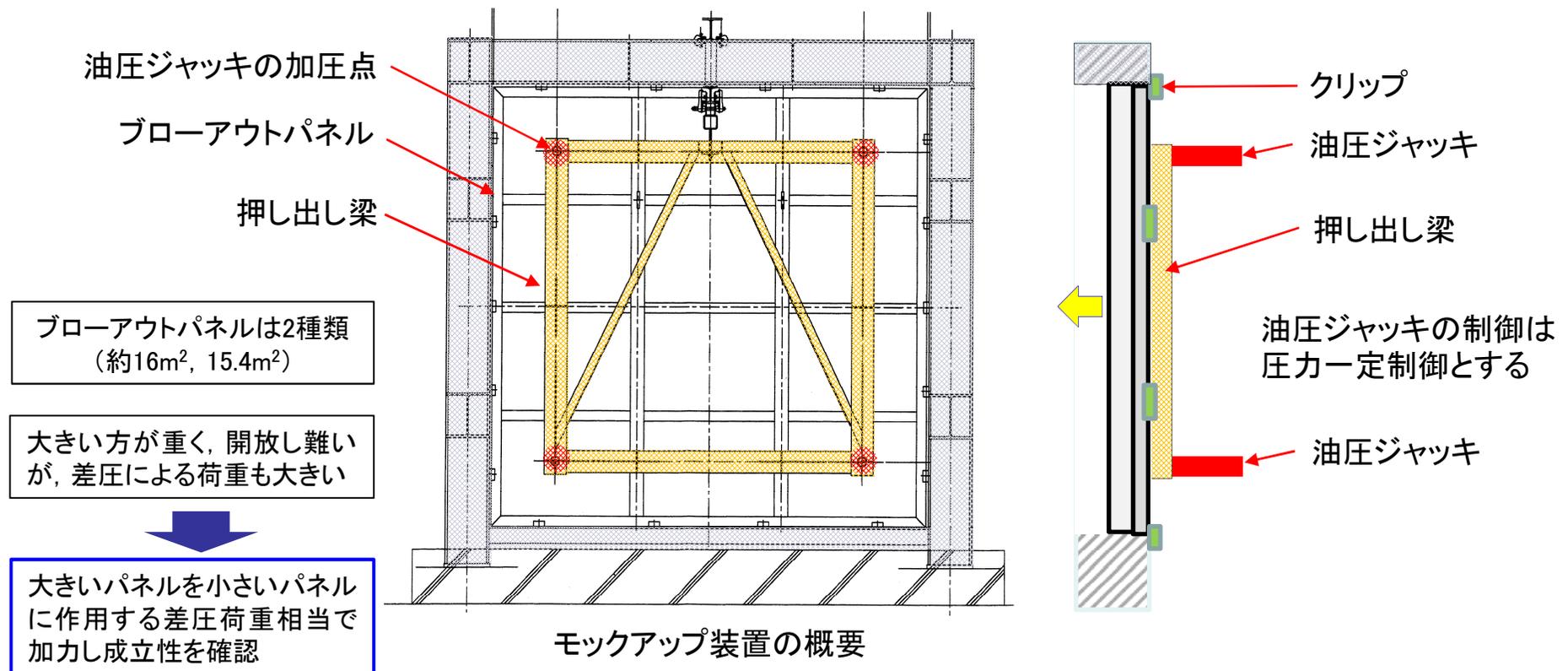
- ①最大耐力に達してクリップが降伏し、荷重が低下していることをクリップ部のひずみ測定により確認した。
- ②クリップの掛かり長さが20mm(H100BP)では変位11mmでクリップが完全に外れることを確認した。

【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×クリップ個数

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)

