

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

補足説明

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機
工事計画認可申請に係る論点整理について

2020年2月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

溶融燃料-冷却材相互作用発生時を想定した原子炉格納施設の評価条件について	3
ブローアウトパネル関連設備の設計方針に係る補足説明資料	25
4-2 ブローアウトパネル関連設備の配置と構造	27
4-3 クリップ引張試験について	38
4-10 ブローアウトパネル機能確認試験要領について	43
4-11 ブローアウトパネル機能確認試験結果について	63
4-17 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験要領について	71
4-19 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果について	94
4-21 ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について	102
-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書	108
原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料	
別紙 3 - 2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	290

溶融燃料-冷却材相互作用発生時を想定した原子炉格納施設の評価条件について

1. はじめに

本資料は、溶融燃料-冷却材相互作用発生時を想定した原子炉格納施設の評価条件について説明する資料である。

2. 評価条件の設定方針

FCI 発生時の評価条件（V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件説明書における V (S)-3）は、以下の方針で設定する。

- ・発電用原子炉施設設置変更許可申請書（以下「原子炉設置変更許可申請書」という。）本文十号の記載と整合を図る。
- ・水力学的動荷重は既往の知見に基づき設定する。

なお、原子炉設置変更許可申請書本文十号における本件関連の記載は下記の通り。

「急速な原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用による熱的・機械的荷重については、工学的に発生する可能性がある圧力スパイクの観点で最も厳しい「過渡事象発生時に高圧注水機能及び低圧注水機能が喪失し、さらに重大事故等対処設備による原子炉注水に失敗する事故」における原子炉格納容器下部への初期水張りを考慮した場合において、圧力スパイクによって原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力の最高値は約 0.51MPa[gage]であり、不確かさを考慮しても熱的・機械的荷重によって原子炉格納容器バウンダリの機能が喪失することはない」

3. 原子炉格納容器圧力

FCI 発生時の原子炉格納容器構造健全性評価において設定する原子炉格納容器圧力は、原子炉設置変更許可申請書本文十号に記載の原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用時のドライウエル圧力及びその際のサプレッションチェンバ圧力と整合する値として、以下の値とする。

ドライウエル圧力：504kPa

サプレッションチェンバ圧力：391kPa

4. 水力学的動荷重

設置変更許可申請書本文十号においては、原子炉格納容器圧力バウンダリにかかる圧力の最高値に加えて、熱的・機械的荷重を組み合わせても原子炉格納容器圧力バウンダリの機能が喪失しないことを記載しているため、3. に記載した原子炉格納容器圧力に対して、水力学的動荷重を組み合わせる。このとき、組み合わせる水力学的動荷重としては設計基準事故時の蒸気凝縮振動荷重 (C0) の荷重を用いる。この妥当性については、別紙 1 に記載する。

5. 評価条件のまとめ

これまでに述べた評価条件を整理すると、表1の通りとなる。

本条件に基づき、原子炉格納容器の構造健全性評価を実施する。

表1 FCI発生時の評価条件

評価状態	格納容器圧力	水力的動的荷重	荷重組合せ
V (S)-3 (FCI発生時)	D/W 504kPa S/C 391kPa	蒸気凝縮振動荷重 (CO)	D+P+H

注： D：死荷重，P：圧力荷重，H：水力的動的荷重

FCI 発生時の水力学的動荷重の評価について

1. はじめに

FCI 発生時の水力学的動荷重について既往の知見から検討した結果について以下に示す。

2. FCI 発生時のベント管蒸気流束の保守性について

FCI 発生時の水力学的動荷重は、水張りされた下部ドライウエルに RPV の破断口から溶融燃料が落下する際に発生する蒸気により、ドライウエル内の非凝縮性ガス及び蒸気並びにベント管内の水がサプレッションチェンバへ移行することにより生じる。このため FCI 発生時の水力学的動荷重は、溶融燃料落下時の蒸気発生量、従って RPV の破損の仕方と溶融燃料の落下量に影響を受ける。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉設置変更許可申請書 添付書類十「7.2.3 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用」(以下「FCI 有効性評価」という。)では MAAP コードを用いて、事故解析を実施しているが、以下の理由から、RPV の破断口面積が実現象に比べ大きく評価され、これにより FCI 発生時の蒸気発生量及びベント管蒸気流束が保守的に評価されている。

2.1 RPV 破損試験の知見

RPV の破損に関する知見としては、OECD の OLHF (OECD Lower Head Failure) プロジェクト報告書^[1]に結果が示されている。OLHF では、底部の貫通部を模擬した RPV を用い、RPV の破損時の挙動を調査しており、その結果、RPV 底部の貫通部材の抜け落ちは確認されず、RPV と溶接部の境界部分の破損が確認されたと報告されている。このことから、RPV 破損時には、まず RPV と溶接部の境界部分の破損が生じ、貫通部から溶融燃料の漏えいが起こるものと考えられる。

2.2 MAAP 解析結果

FCI 有効性評価においては、MAAP コードを用いて事故の解析を実施しているが、RPV 破損時には、RPV 中央ノードにある CRDハウジングの全数にあたる 34 本の CRDハウジングが同時に逸出し、破断口から溶融燃料が下部ドライウエルに急速に落下する解析結果となっている。2.1 の知見を踏まえれば、MAAP の解析結果は、実現象に比べ溶融燃料の落下量を大きく評価しているものと考えられる。よって、実際には、溶融燃料の落下量はより少量となり、その際に発生する蒸気量及びベント管蒸気流束もより少ないものと考えられる。

3. 水力学的動荷重の評価に用いるベント管蒸気流束について

2. で述べたとおり、MAAP コードでは CRDハウジング 34 本相当の RPV 破損面積が仮定されており、FCI 発生時のベント管蒸気流束は実現象よりも大きく、保守的な評価結果であるも

のと考えられる。この点、後続の MAAP コード (ver. 4.07 以降) では、RPV 破損モデルが適正化されており、RPV の破損ノードが中央ノードの場合、CRDハウジング 1 本相当程度の RPV 破損面積が設定されるモデルが標準となっている。前述の RPV 破損試験の知見と照らしても、RPV の破損面積は後続の MAAP コードで採用されている CRD1 本相当程度の方がより実現象を再現しているものと考えられる。

RPV 破損面積を CRD ハウジング 1 本相当とした場合に発生する水力的動荷重が、設計基準事故で想定される CO 荷重に包絡されることは、「工事計画認可に係る補足説明資料 (原子炉格納施設) 資料 1 重大事故等時の動荷重」の 4. で述べたとおりである。

一方で、保守的な想定ではあるが、CRD ハウジング 34 本相当の RPV 破損面積が仮定された、FCI 有効性評価と同じベント管蒸気流束を前提とした場合には、ベント管蒸気流束の最大値は約 595 kg/s/m^2 であり、ABWR における水平ベント確認試験^[2]で確認された蒸気流束 (最大約 $\square \text{ kg/s/m}^2$) を超える流束となる。従って、この場合の影響について以降で検討を行う。

4. FCI 発生時の蒸気流束における蒸気凝縮モードについて

蒸気流束が大きい領域における蒸気凝縮に関する知見としては、SRV 作動時の蒸気凝縮に関して、SRV 排気管出口にストレートパイプを用いた場合の知見があることから、当該知見に基づき FCI 発生時におけるベント管出口での蒸気凝縮挙動 (蒸気凝縮モード) について検討した。

4.1 蒸気凝縮モードマップ

図 4-1 にストレートパイプ型 SRV における蒸気凝縮モードマップ^[3]を示す。当該マップにおいては、蒸気流束とプール水温に基づき蒸気凝縮モードを ZONE 分けしており、各 ZONE についてはそれぞれ以下のとおりである。

- ZONE1: 低蒸気流束下での蒸気凝縮であり、不定期で比較的低い振幅の振動が生じる
- ZONE2: 中蒸気流束下での凝縮であり、凝縮振動は不規則で $\square \text{ psi}$ の範囲である。
- ZONE3: 臨界流に近いまたは臨界流での大蒸気流束かつプール水温が比較的低い場合における凝縮である。蒸気凝縮は安定しており、振動は $\square \text{ psi}$ で約 $\square \text{ Hz}$ である。
- ZONE4: 大蒸気流束かつ高プール水温下での凝縮であり、不安定な蒸気凝縮により \square 気圧程度の大きな振動を伴う。
- ZONE5: 大蒸気流束かつ ZONE4 よりさらに高いプール水温での凝縮であり、振動は無視可能なほど小さい。

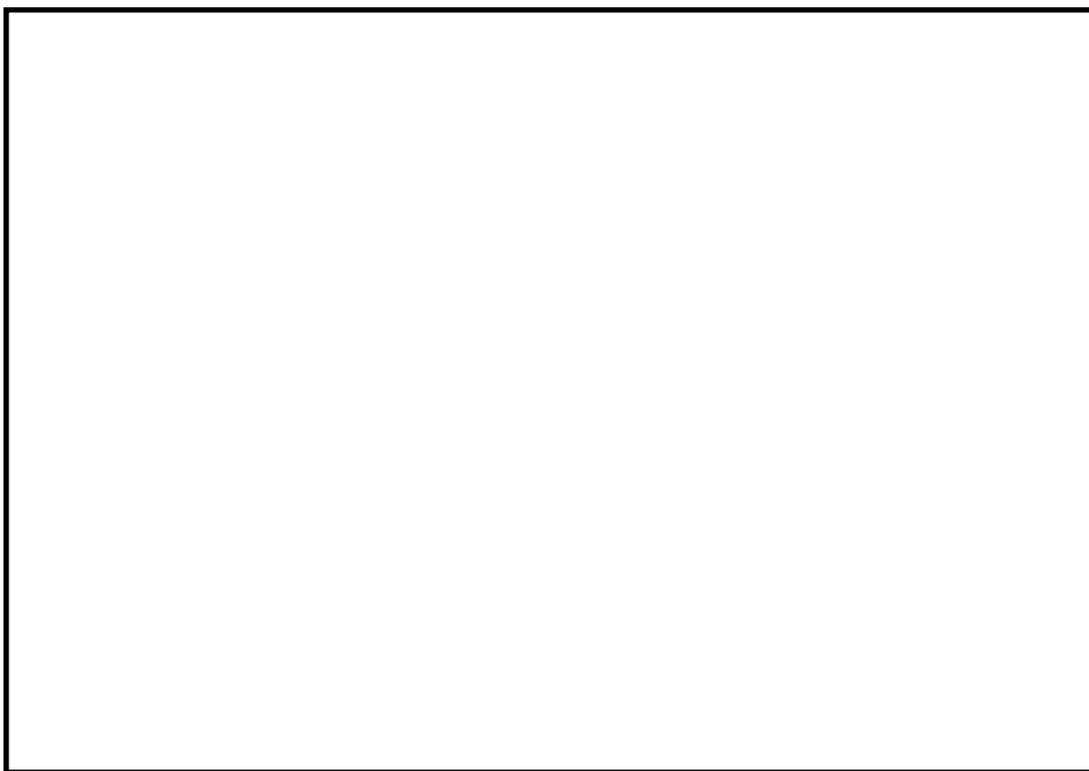
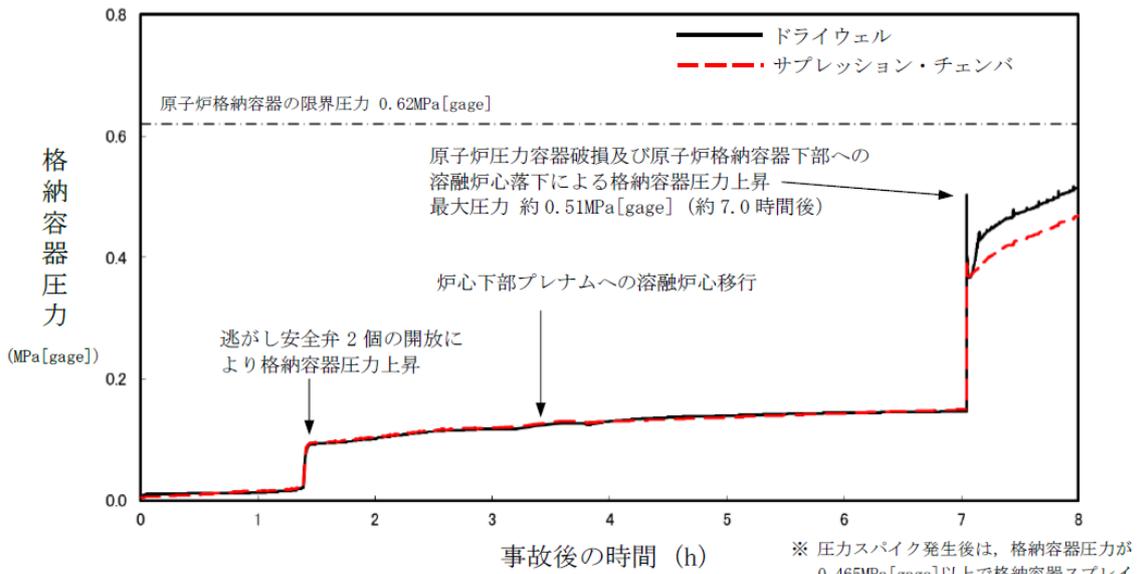


図 4-1 ストレートパイプ型 SRV における蒸気凝縮マップ

4.2 FCI 発生時の蒸気凝縮モード

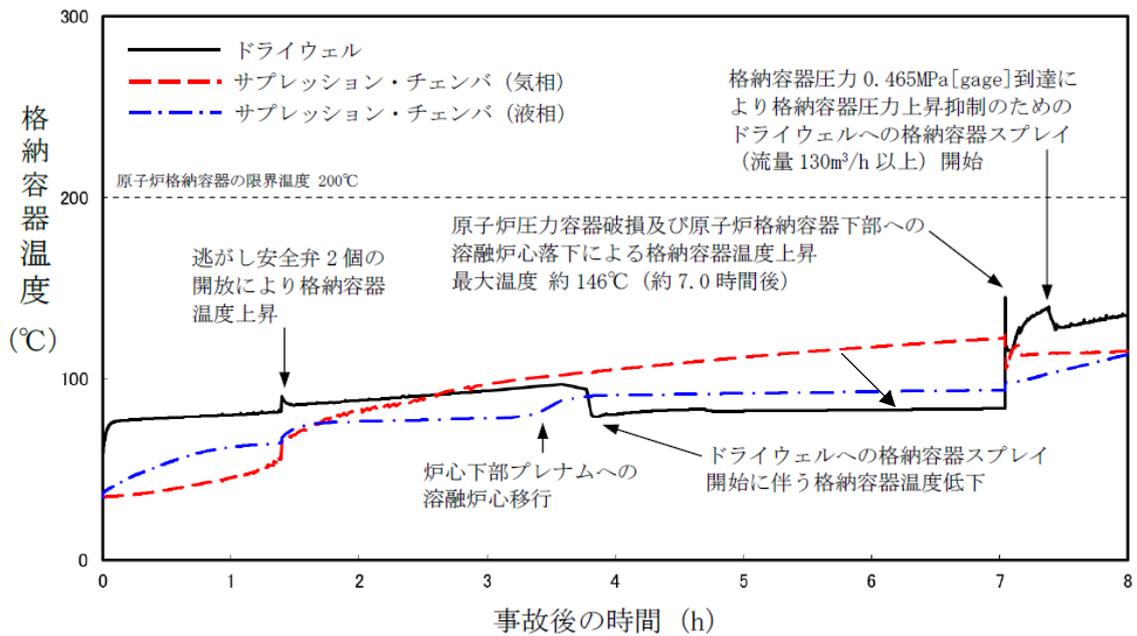
図 4-2 及び図 4-3 にそれぞれ MAAP による FCI 有効性評価の格納容器圧力、格納容器水温を示す。また 4.1 の蒸気凝縮モードマップに MAAP 解析結果をプロットしたものを図 4-4 に示す。ここで動荷重試験は大気圧条件で実施されていると推定されること、現象論的には蒸気凝縮はサブクール度で支配されると考えられることから MAAP の解析結果は、FCI 時の圧力上昇によるサブクール度上昇を考慮してプロットした。蒸气流束のピーク時は ZONE3 の領域となり、大振動が発生する ZONE4 には入らないことが分かる。

従って、FCI 有効性評価と同じベント管蒸气流束であっても、安定凝縮状態であると考えられる。



第 3.3.3 図 格納容器圧力の推移

図 4-2 格納容器圧力



第 3.3.4 図 格納容器温度の推移

図 4-3 格納容器水温

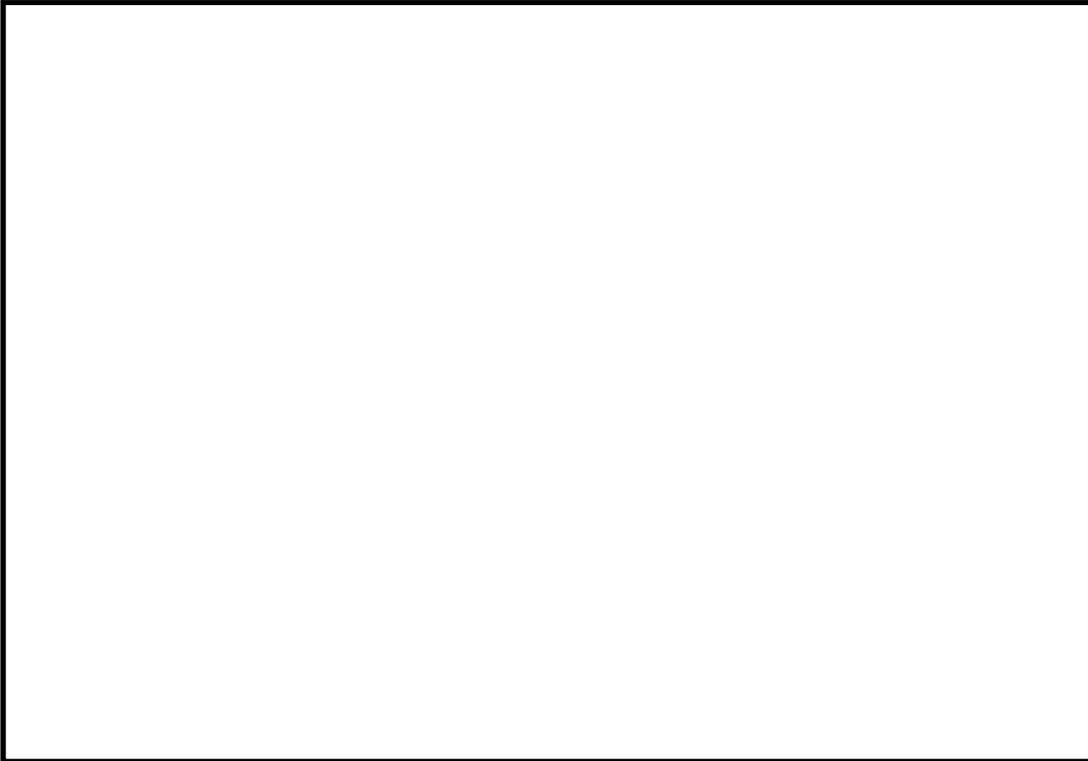


図 4-4 FCI 発生時の MAAP 解析結果と蒸気凝縮モードマップの比較

5. FCI 発生時の蒸気流束における蒸気凝縮振動(CO)荷重について

前述のとおり，CRDハウジング 34 本同時逸出を想定したケースにおいては，FCI 発生時のベント管蒸気流束が水平ベント確証試験で確認された蒸気流束を逸脱することから，蒸気流束の増大が CO 荷重に与える影響について検討した。

5.1 CO 荷重に関する定性的傾向

「BWR. MARK II 型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」（以下「Mark-II 動荷重指針」という）には，プール水中の蒸気凝縮の現象に関しては，以下の 3 つの現象がみられるとされている。

- (1) 蒸気流速*が高い場合の，比較的静かな凝縮
- (2) 蒸気流速*が中位の場合の，振動的な凝縮
- (3) 蒸気流速*が低い場合の，間欠的な凝縮（チャギング）

注記 *：各種試験は蒸気流束にて整理されていることから，以後，蒸気流束にて説明する。

したがって，CO 荷重に関しては，蒸気流束が高い領域よりも若干蒸気流束が低下した領域で最大の荷重が発生すると考えられる。

さらに、旧原研で実施された CRT 試験結果^[4]からは、破断口径、最大蒸気流束を変化させても S/P 底部での圧力振幅には大きく影響しないことが読み取れる (図 5-1)。

ABWR では、水平ベント方式を採用しており、Mark-II における垂直ベント管とは放出口の向き等が異なるが、ベント管出口における蒸気凝縮の現象としては同じであることから、定性的な傾向としては、ABWR でも Mark-II と同様であると考えられる。

したがって、蒸気流束が高い領域においてはベント管を通過する蒸気流束が増大しても CO 荷重の増大にはつながらないと考えられる。

5.2 高蒸気流束における凝縮振動荷重の傾向

5.2.1 SRV 試験における蒸気凝縮振動荷重の傾向

4. 同様、高い蒸気流束範囲まで試験が実施されているストレートパイプ型 SRV 試験に関する知見をもとに CO 荷重の傾向について考察する。

4. に示したとおり、FCI 時には、蒸気流束は高いものの、S/C 圧力が上昇することによりサブクール度が上昇するため、蒸気凝縮モードマップ上で不安定凝縮が懸念される ZONE4 に至ることはない。

また、ストレートパイプによる試験では、蒸気流束を変えた条件でのプール水温と蒸気凝縮にともなう荷重値の関係が確認されている(図 5-2)^[5]。当該結果について、FCI 時のサブクール領域における蒸気流束と荷重値の関係をプール水温毎に整理すると図 5-3 の傾向となる。当該結果からは、蒸気凝縮時の荷重に関しては、蒸気流束が増大しても大きくなることはなく、むしろ低下する傾向がみられることから、CO 荷重に関しても、蒸気流束が増大しても荷重として大きくなることはないと考えられる。

5.2.2 小規模試験結果を踏まえた高蒸気流束領域での蒸気凝縮荷重

5.2.1 の図 5-2 及び図 5-3 では、データ範囲が蒸気流束 \square kg/s/m² 以下に限られている。そこで、ここではより蒸気流束が高い領域までの試験が実施されている小規模体系の試験結果^[6]を参照し、FCI 発生時の蒸気流束の最大値 595kg/s/m² における蒸気凝縮荷重について考察した。

小規模体系において凝縮振動と安定凝縮の遷移点が図 5-4 のとおり確認されている。試験のノズル口径は 4.45~10.85mm の範囲であるが、口径が大きくなるほど安定凝縮領域がより低蒸気流束まで広がっていることが分かる。水平ベント管出口の内径が 700mm であることを踏まえると、FCI 発生時の蒸気流束の最大値 595kg/s/m² においては、蒸気凝縮モードは安定凝縮モードとなり、荷重が大きくなることはないと考えられる。

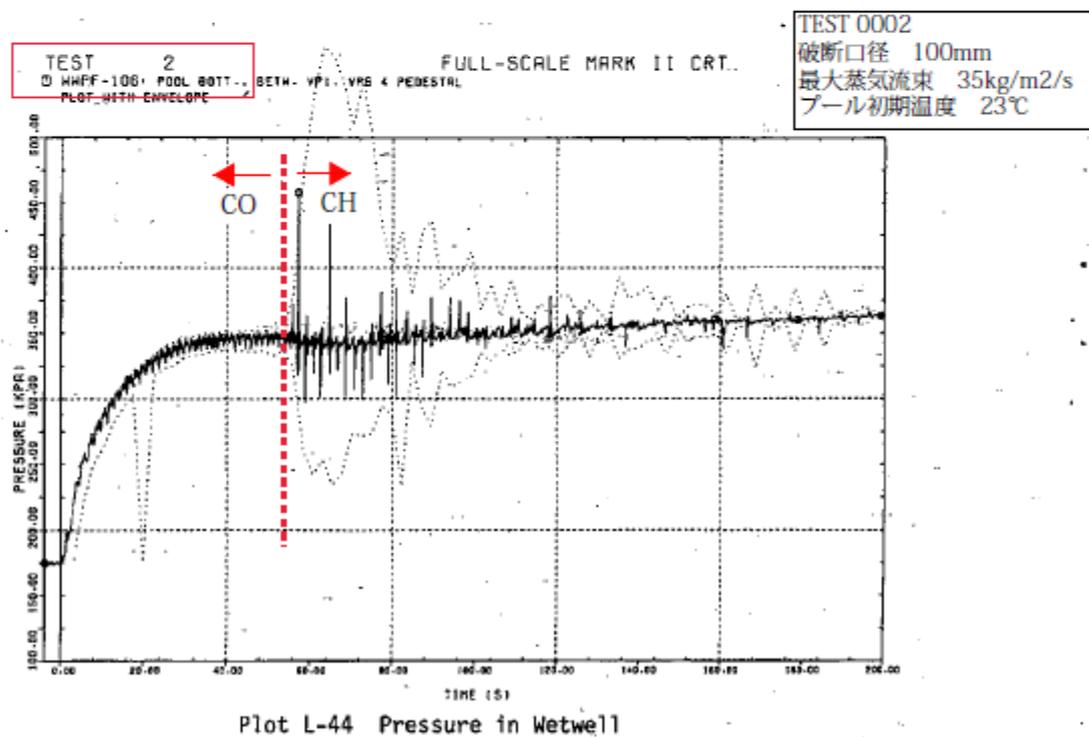
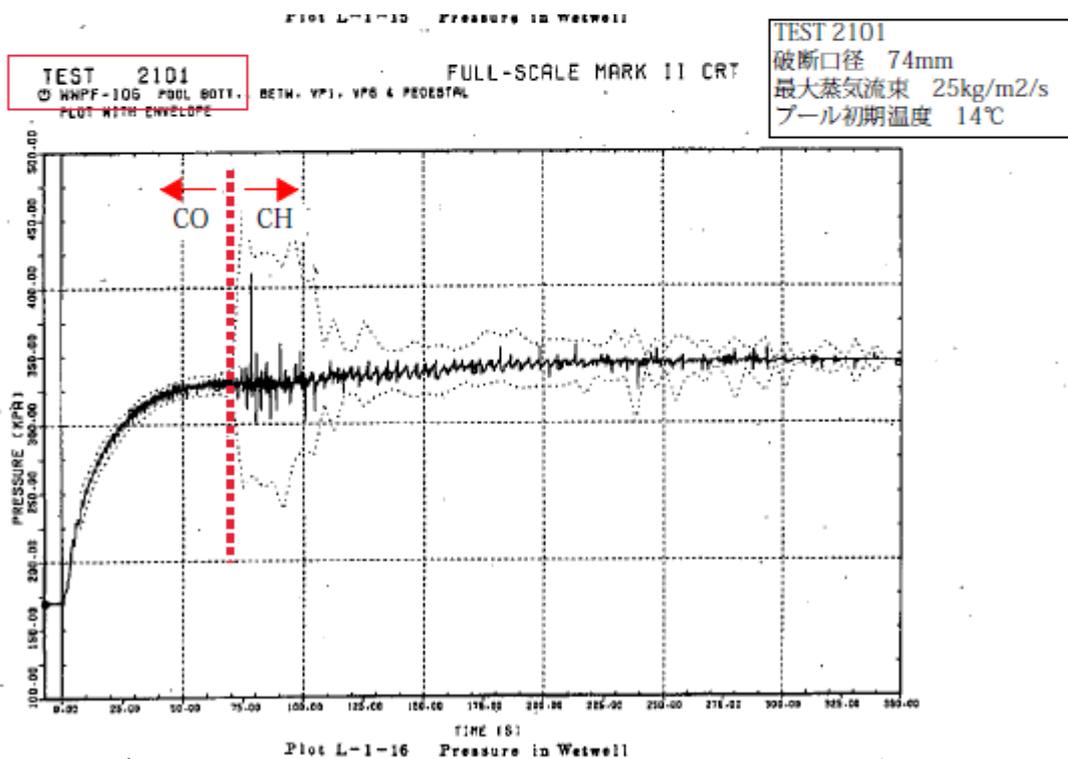


図 5-1 CRT 試験におけるプール底部の圧力振動 (1/2)

JAERI-M 8762

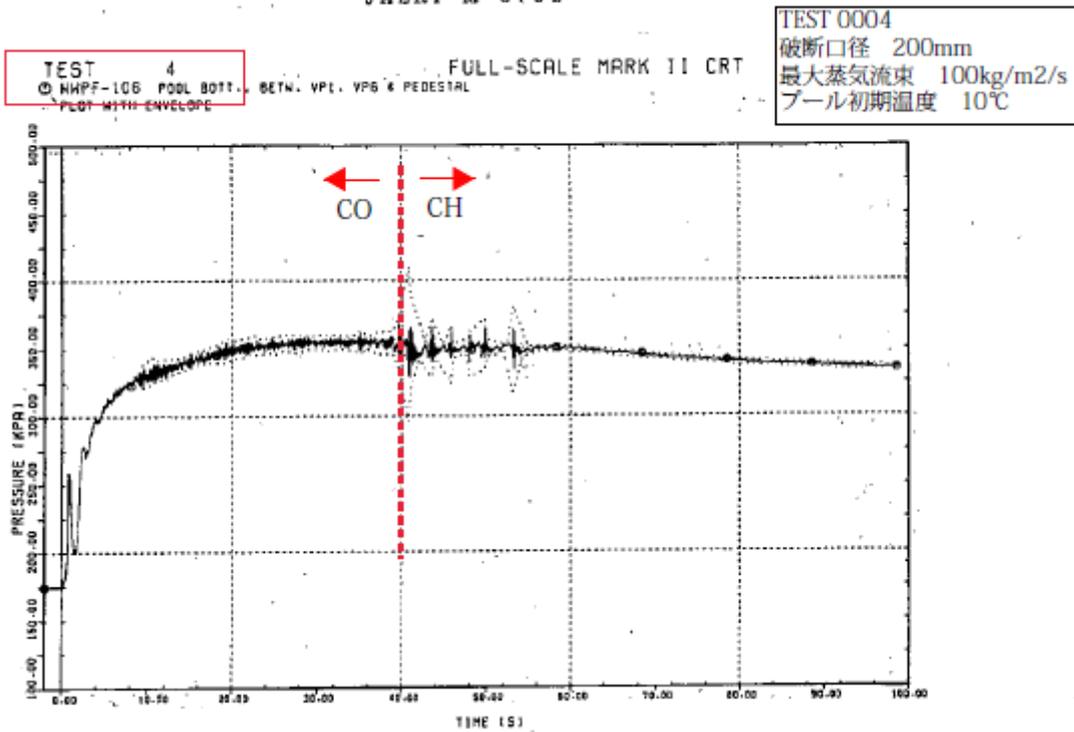


図 5-1 CRT 試験におけるプール底部の圧力振動 (2/2)

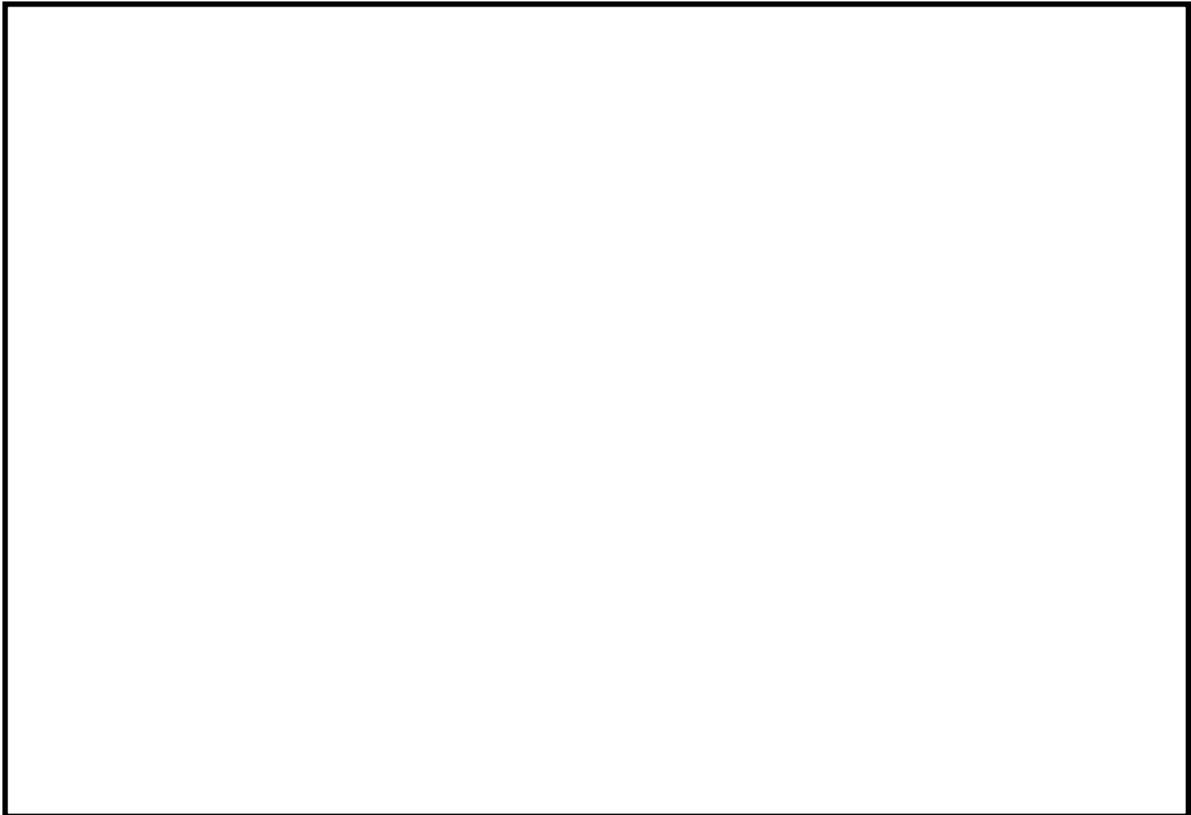


図 5-2 ストレートパイプ型 SRV 作動時の圧力振動

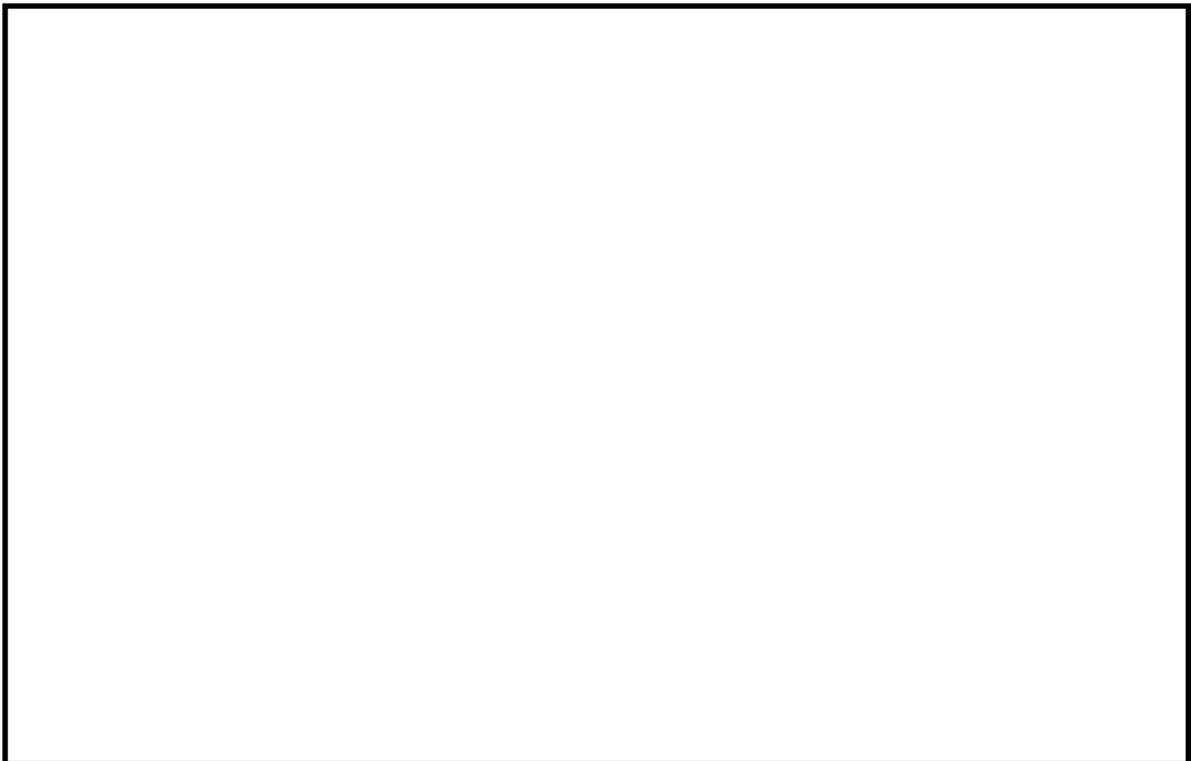


図 5-3 蒸気流束と圧力振幅の関係 (直管 [] mm)

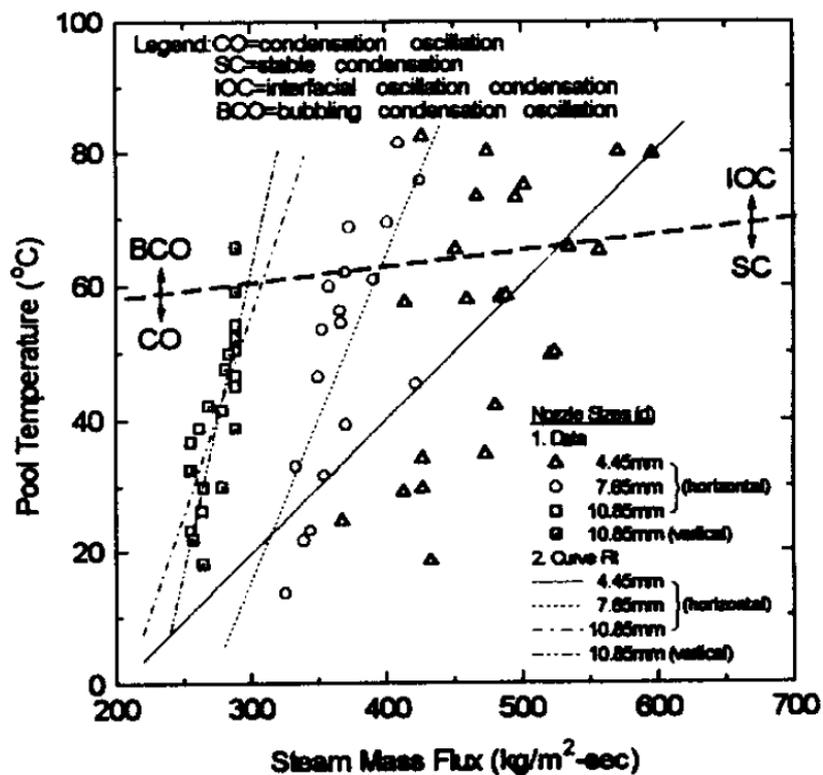


図 5-4 小規模体系試験における CO/SC 遷移点

5.3 FCI 時における CO 荷重について

以上より、FCI 時の条件においては、蒸气流束の増大を考慮しても荷重値としては増大することはなく、既往の DBA 条件に包絡されると考えられる。したがって、FCI 時に想定する CO 荷重条件は、DBA 時に想定する CO 荷重と同じ条件を想定する。

6. 垂直管の蒸気凝縮に関する知見を水平ベント管に適用することの妥当性

4 及び 5 で参照したのはいずれも垂直ベント管又はストレートパイプ型 SRV に関する知見であり、水中への蒸気の吹き出し方向の点で ABWR の水平ベント管と異なっている。そこで以下では蒸気の吹き出し方向の違いによる凝縮挙動への影響について考察した。

6.1 プール水中での蒸気凝縮現象について

プール水中での蒸気凝縮現象は、プール水中に放出される蒸气流束に応じて、蒸気凝縮振動とチャギングに分けられる。プール水中に放出される蒸气流束が高い領域において生じる蒸気凝縮振動は、放出口周辺に形成された蒸気泡が不安定な凝縮によって膨張と収縮による振動を繰り返す現象である。一方、プール水中に放出される蒸气流束が低い領域において生じるチャギングは、蒸气流束の低下にともない、プール内（放出口外）での蒸気泡の維持が出来なくなり間欠的な蒸気泡の形成と蒸気凝縮による蒸気泡の崩壊を放出口内外で繰り返す現象である。

蒸気凝縮現象における、蒸気泡の膨張(形成)と収縮(崩壊)の挙動は、蒸気泡とプール水との界面における蒸気凝縮と蒸気放出口から放出される蒸気量とのバランスによってもたらされるものと考ええると、放出される蒸气流束と放出口周囲のプール水温が支配的なパラメータとなると考えられる(図 6-1)。一方で、蒸気泡の形成時には、蒸気泡は周囲のプール水に加わる水頭等の圧力に打ち勝ってほぼ等方的に膨張していくものと考え、放出口の向きによって蒸気泡の形成・膨張の挙動が変わるものではない。さらに、蒸気泡の収縮・崩壊に関しても、これらの挙動が蒸気泡とプール水との界面における蒸気凝縮によってもたらされると考えると、蒸気泡とプール水との界面の変化も蒸気泡形成・膨張の挙動と同様となり、放出口の向きによって影響を受けるものではない。

参考として、蒸気凝縮試験^[7]の様子を図 6-2 に示す。

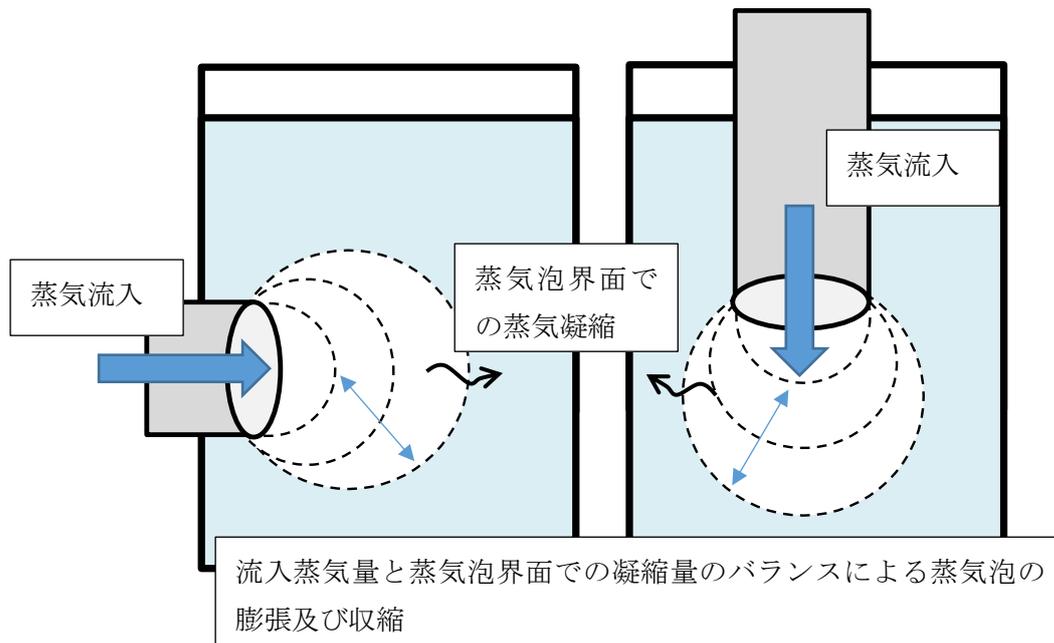


図 6-1 蒸気凝縮現象の模式図

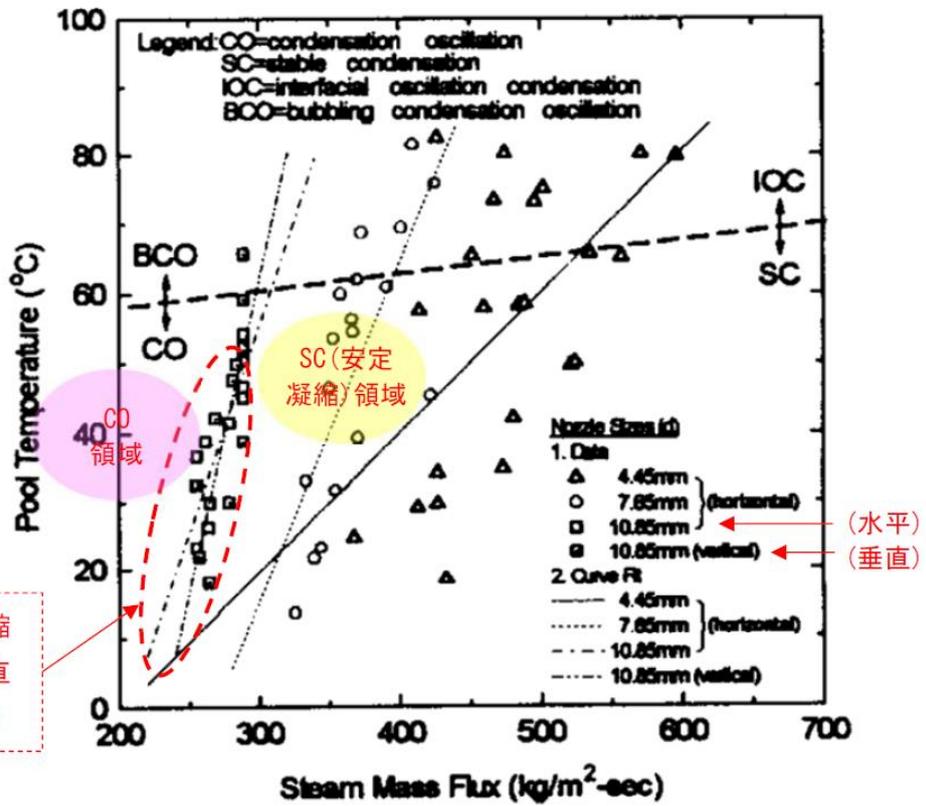
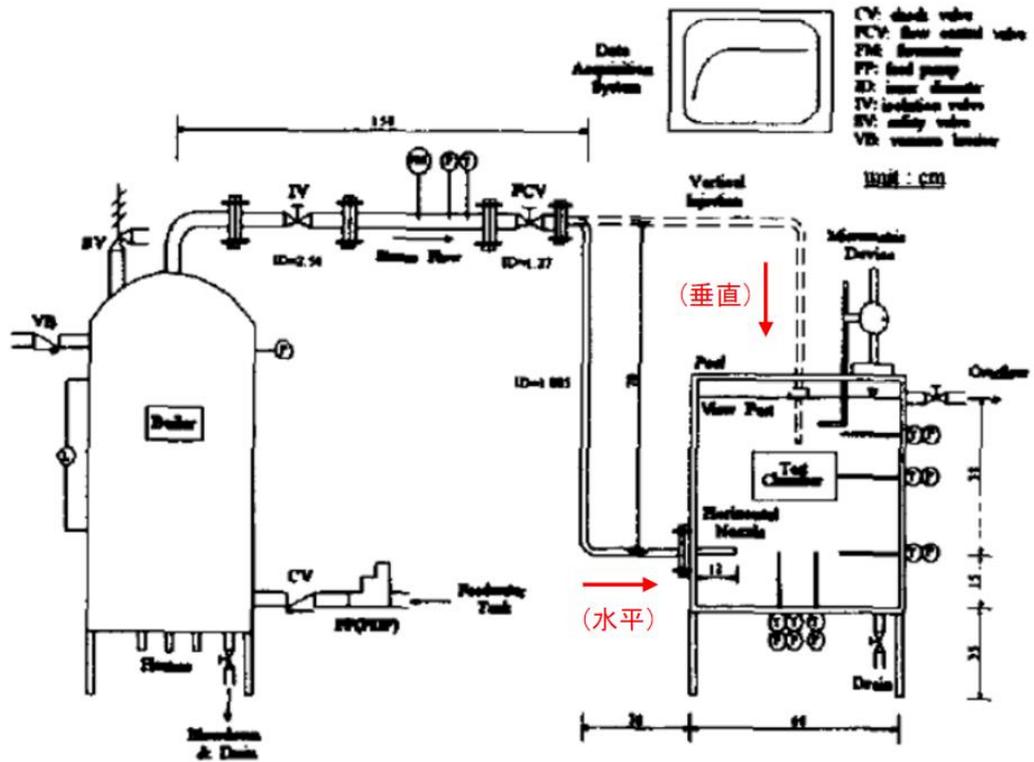


図 6-2 蒸気凝縮試験の様子

6.2 試験における蒸気凝縮挙動の比較について

6.2.1 小規模試験^[6]

小規模（ノズル口径 5～10mm）の試験装置で、凝縮モードマップを作成している（図 6-3）。凝縮振動（CO）領域と安定凝縮（SC）領域の間の遷移境界に、垂直管／水平管で違いがみられないことから、いずれの吹き出し方向でも蒸気凝縮挙動に大きな違いはないものと考えられる。



CO→安定凝縮
 の境界は垂直
 /水平で同等

図 6-3 実験装置及び凝縮モードマップ

6.2.2 AREVA 社試験^[8]

実規模ベント管形状（1本）で試験を実施しており，CO 期間の圧力振動には垂直管／水平管で大きな差異は観察されていない（図 6-4）。

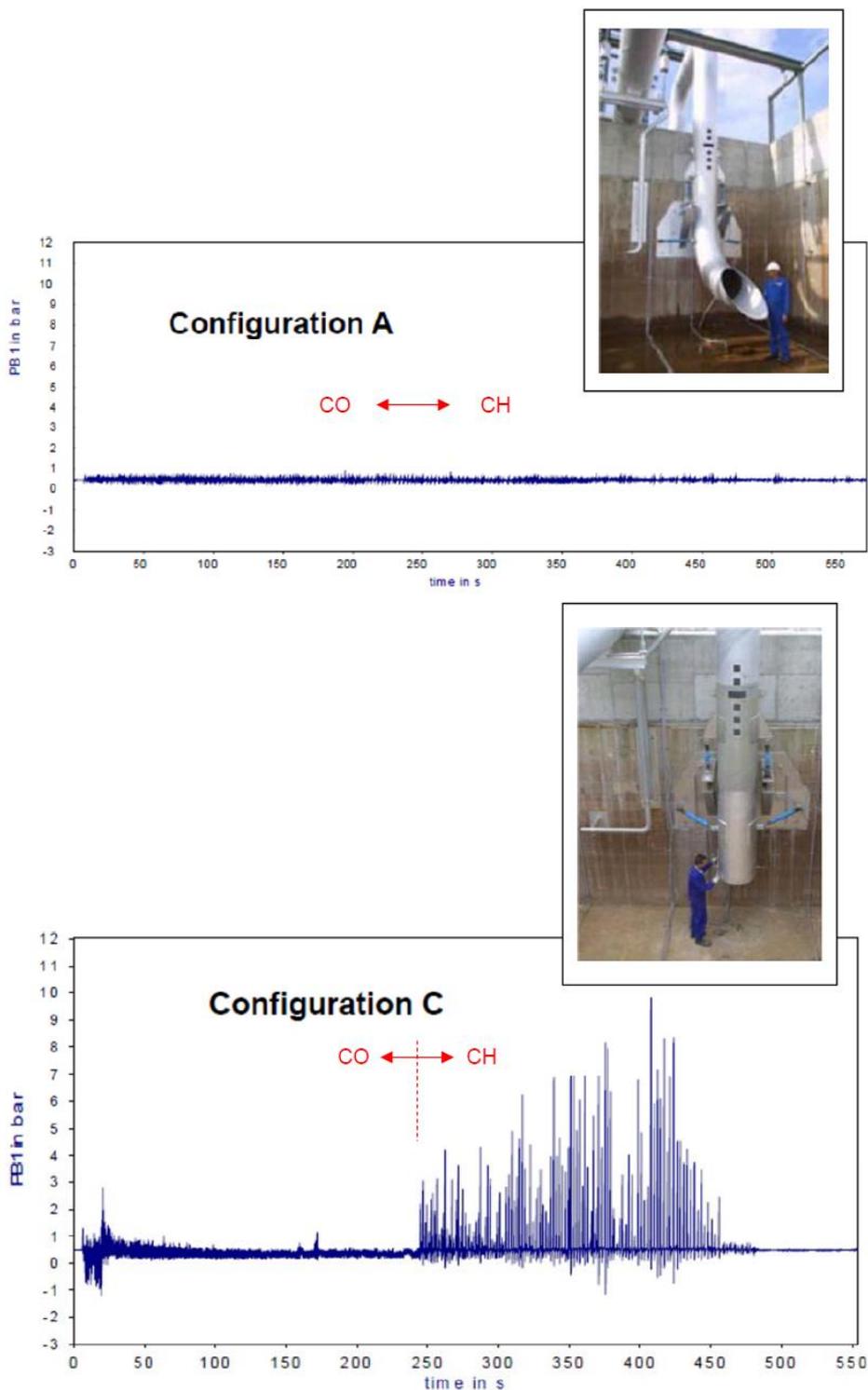


図 6-4 AREVA 社試験におけるプール底部の圧力振動

6.2.3 凝縮振動とチャギングの遷移境界について

(1) 水平ベント確証試験他による蒸気凝縮モードマップ

ABWR 開発時に、GE 社が有する PSTF 装置を改良し、水平ベント圧力抑制確証試験^{[2][9]}が実施されており、凝縮振動 (CO) とチャギング (CH) の遷移点が確認されている。これらの結果をもとに、凝縮振動 (CO) とチャギング (CH) の遷移領域は図 6-5 のとおり示される^[10]。



図 6-5 水平ベント確証試験の CO/CH 遷移領域

(2) 他の小規模試験との比較

国内では小規模試験に基づき、凝縮振動様式の遷移状態^[11]が示されている。これに図 6-5 に示す水平ベント確証試験での CO/CH 遷移領域を重ね合わせると、図 6-6 のとおりとなり、CH 上限の領域は、CO/CH 遷移の境界近傍となっている。

また、別の文献で示される凝縮振動様式の遷移状態^[12]マップに、図 6-5 に示す水平ベント確証試験での CO/CH 遷移領域を重ね合わせると、図 6-7 のとおりとなり、上記と同様に、CH 上限の領域は、CO/CH 遷移の境界近傍となっている。

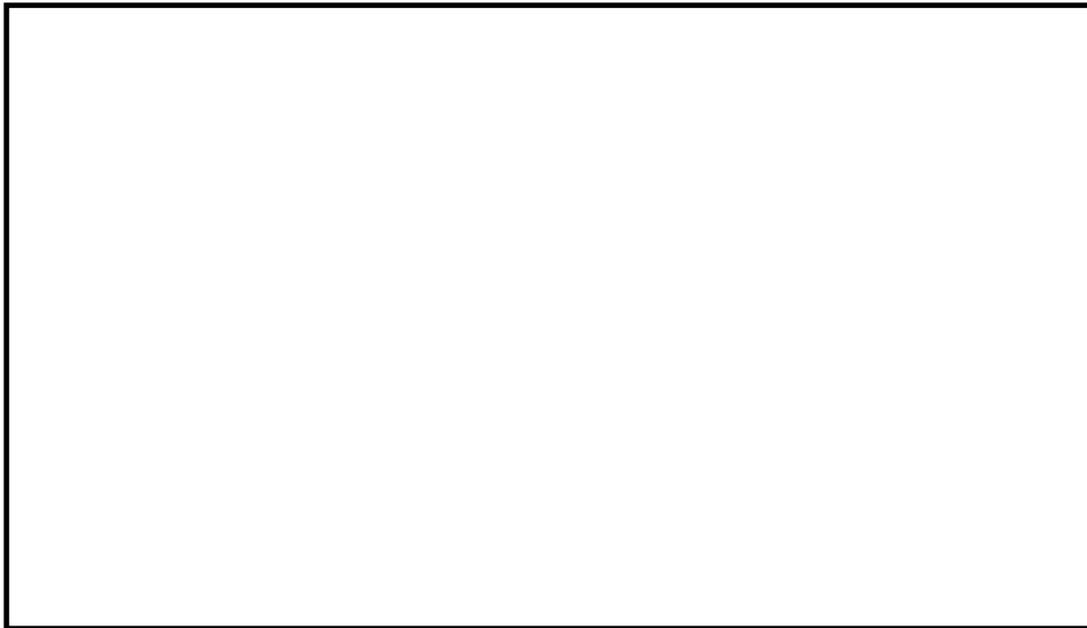


図 6-6 凝縮振動様式の状態線図と水平ベント試験の CO/CH 遷移領域の比較 1



図 6-7 凝縮振動様式の状態線図と水平ベント試験の CO/CH 遷移領域の比較 2

6.3 まとめ

以上より、ベント管の出口における蒸気凝縮振動は、蒸気の吹出しの方向ではなく、蒸気流束とプール水温が支配パラメータとなっており、試験結果からも蒸気の吹出し方向（垂直／水平）が違っても CO/SC の遷移領域の傾向は同様となっていること、また CO 領域では圧力振動に大きな差がないことが確認されていることから、吹出し方向の違いにより蒸気凝縮の挙動が大きく変化することはないものと考えられる。したがって、4 及び 5 で参照した垂直ベント管又はストレートパイプ型 SRV に関する凝縮振動の知見は、ABWR の水平ベント管にも適用可能である。

7. 結論

FCI 有効性評価において MAAP を用いて評価された FCI 発生時の水蒸気発生量及びベント管蒸気流束は水力学的動荷重を評価する観点で保守的な値である。この保守的な評価に基づくベント管蒸気流束を前提にした場合でも、蒸気凝縮振動により発生する荷重は既往の DBA 条件に包絡されると考えられる。

8. 参考文献

- [1] L.L. Humphries, T.Y. Chu, and J. Bentz et. al., “OECD Lower Head Failure Project Final Report (Volume 1 - Integral Experiments and Material Characterization)”, Sandia National Laboratories
- [2] 共同研究報告書“格納容器水平ベント方式の確証試験(その2) 昭和 61 年度下半期(最終報告書)”, 昭和 62 年 3 月
- [3] NEDO-21061, “MARK II CONTAINMENT DYNAMIC FORCING FUNCTIONS INFORMATION REPORT” (proprietary), General Electric Company and Sargent & Lundy Engineers, June 1978
- [4] 格納容器圧力抑制系信頼性実証試験評価委員会報告書, 科学技術庁原子力局, 昭和 58 年 11 月
- [5] NEDO-30632, “ELIMINATION OF LIMIT ON BWR SUPPRESSION POOL TEMPERATURE FOR SRV DISCHARGE WITH QUENCHERS”, General Electric Company, December 1984
- [6] Chun, M. H. et al., An Investigation of Direct Condensation of Steam Jet in Subcooled Water, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol.23 (1996)
- [7] NKS-199 “Experiments with a Modified Blowdown Pipe Outlet”, Nordic nuclear safety research, Aug 2009
- [8] Brettschuh, W. and Meseth, J., Experimental Verification of SWR1000 Passive Components and Systems, ICAPP 2007
- [9] 「水平ベント方式の圧力抑制型格納容器における水力学的動荷重評価の方法について」HLR-040, 昭和 63 年 2 月, 株式会社 日立製作所

- [10] 「柏崎刈羽原子力発電所 6, 7 号炉 原子炉格納容器の動荷重評価について」, 基
0108(RK-3)-2, 平成元年 2 月
- [11] 「気液二相流の動的配管計画」, 藤井照重, 他, 1999 年, 日刊工業新聞社
- [12] "The Thermal Hydraulics of a Boiling Water Nuclear Reactor", Second Edition ,
R. T. Lahey, Jr & F. J. Moody, 1993, American Nuclear Society

以 上

ブローアウトパネル関連設備の設計方針に係る補足説明資料

目次

4-1	ブローアウトパネル関連設備の要求機能について	4-1-1
4-2	ブローアウトパネルの配置と構造について	4-2-1
4-3	クリップ引張試験について	4-3-1
4-4	ブローアウトパネルの開放機能を担保する設計条件について	4-4-1
4-5	原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置と構造について	4-5-1
4-6	クリップ破損時の他設備への影響について	4-6-1
4-7	燃料取替床ブローアウトパネルの飛出し挙動について	4-7-1
4-8	ブローアウトパネル開放時の他設備への影響について	4-8-1
4-9	燃料取替床ブローアウトパネル及び主蒸気系トンネル室ブローアウト パネルの保安全管理について	4-9-1
4-10	ブローアウトパネル機能確認試験要領について	4-10-1
4-11	ブローアウトパネル機能確認試験結果について	4-11-1
4-12	ブローアウトパネル開放時の設計基準事故時被ばく評価への影響について	
4-13	ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について	4-13-1
4-14	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第五十四条への 適合性について	4-14-1
4-15	ブローアウトパネル閉止装置のパッキン耐久性試験について	4-15-1
4-16	ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について	4-16-1
4-17	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験要領について	4-17-1
4-18	ブローアウトパネル閉止装置の門ピンと門受の熱膨張による影響について	4-18-1
4-19	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果について	4-19-1
4-20	燃料取替床ブローアウトパネル強制開放装置（自主対策設備）の配置と 構造について	4-20-1
4-21	ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について	4-21-1

ブローアウトパネルの配置と構造について

1. 燃料取替床ブローアウトパネルの配置について

燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）は、原子炉建屋原子炉区域の外壁に合計 4 箇所設置する。

オペフロ BOP の配置について表 1-1 と図 1-1 に示す。

表 1-1 オペフロ BOP の配置について

設置階	配置	備考
原子炉建屋原子炉区域地上 4 階 中間床	南の壁面に 1 箇所，北の壁面に 3 箇所の合計 4 箇所	

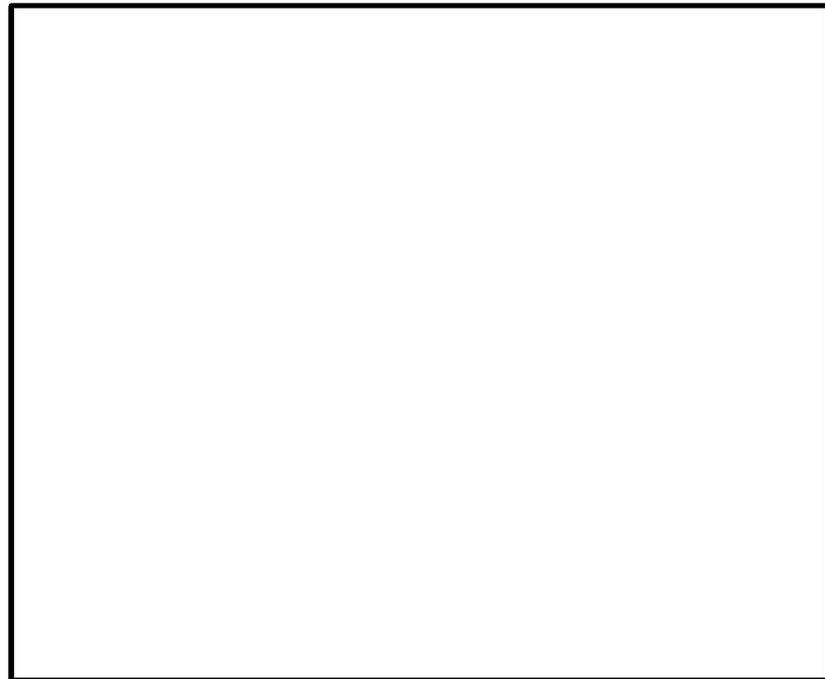


図 1-1 オペフロ BOP 配置図

2. オペフロ BOP の構造について

オペフロ BOP は、厚さ約 mm のクリップと呼ばれる装置 個で原子炉建屋原子炉区域外壁に設置されており、原子炉格納容器の設計上の最高使用外圧 14kPa に対し、3.43kPa 以下で開放するように設計されている。パネル寸法と現状のクリップ数を表 2-1 に、構造概要を図 2-1 に示す。

現在、クリップはパネル 1 枚あたり 個が設置されているが、新規制基準対応として、確実に設計圧力で開放させる観点からクリップ形状、数を最適化し、クリップはオペフロ BOP 1 枚あたり 個（幅約 を 個，幅約 を 個）とする。

オペフロ BOP は、このクリップだけで建屋躯体側の枠材に固定され、パネル下部には、パネル移動時（開放時）の摩擦による抗力を低減するためのすべり台が設置されている。また、パネル

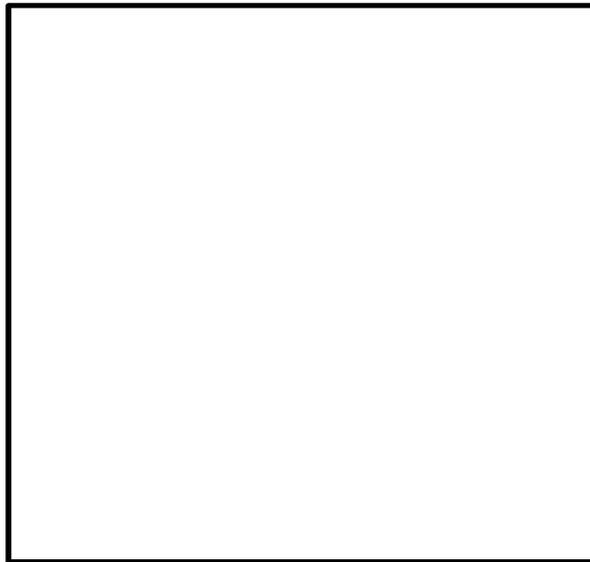
と躯体の間隙にはパッキンが設置され、原子炉建屋原子炉区域の2次格納施設としてのバウンダリ機能を確保する設計としている。

オペフロ BOP は、内圧によりパネル本体が外側に押され、このクリップが外れ、更に内圧により外側に押されて開放する構造であり、オペフロ BOP は、電源や空気源に頼ることなく、静的、かつ圧力上昇に対して確実に開放できる仕組みとして、クリップ構造が採用されており、この開放機構は、既設系統設備でも採用実績のある破壊板（ラプチャーディスク）と同様の考え方（差圧により部材を破壊）であり、構造が単純であることから、信頼性が高いものである。

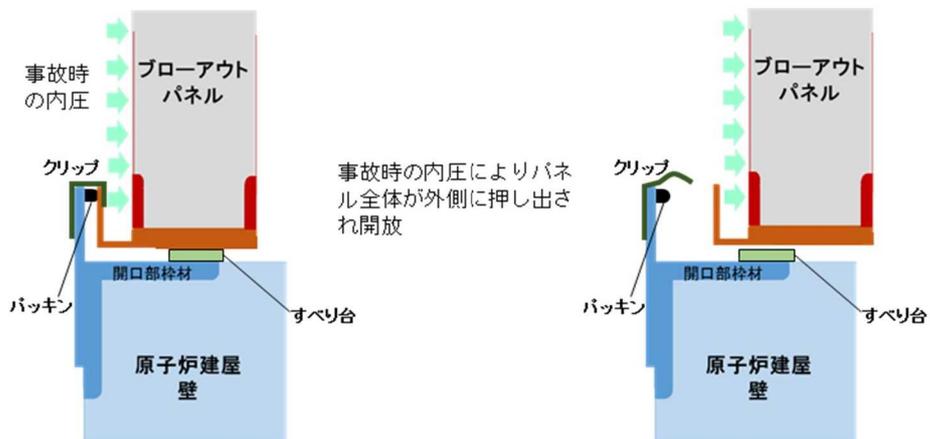
表 2-1 オペフロ BOP の主要仕様

設置場所		寸法	材質	クリップ数
4 階 中間床	北 3, 南 1	4160 mm×4260 mm	SS400	□ 個 □ 個)

クリップ数の () 個数は、変更前の個数



○：新規制基準対応としてクリップ形状等を最適化した後のクリップ位置



断面図（クリップ式構造の概念図）

図 2-1 オペフロ BOP の構造と作動原理

3. オペフロ BOP が開放するための条件の整理

建屋内圧力によるクリップの変形及びパネルの開放時の具体的な流れを図 3-1 に示す。パネルを規定差圧で開放させるためには、パネルの開放に対する抗力（下記①～③）を規定差圧による開放荷重より小さく設定する必要がある。また、オペフロ BOP への要求機能（2 次格納施設としてのバウンダリ機能）から、弾性設計用地震動 S d では開放しない設計とする必要がある。

以上より、オペフロ BOP に要求される機能を満たすための条件は以下のとおりであり、本条件を満足するように設計する。

$$\begin{array}{ccccc} \text{弾性設計用地震動 S d} < & \text{パネルの開放に必要な荷重} < & \text{建屋内圧力による荷重} \\ \text{(5)} & \text{(パネル開放時の抗力)} & \text{(4)} \\ & \text{(1+2+3)} & \end{array}$$

ここで、

①：クリップを変形させる荷重×クリップ個数

- ・クリップを変形されるための荷重はクリップ試験の結果を踏まえて保守的に設定
- ・クリップ個数は弾性設計用地震動 S d、クリップ試験結果を踏まえて設定

②：パネルとすべり台部の摩擦力

- ・パネルと躯体の摩擦力を低減させるため、パネル及び躯体にステンレス製のすべり台を 2 箇所設置
- ・すべり台間の摩擦係数

③：シール材*の破断に必要な荷重（シール材メーカーカタログ値より保守的に設定）

注記 *：雨水等の侵入を防ぐため、上部及び側面にシール材（シリコンシーラント）が塗布されている。

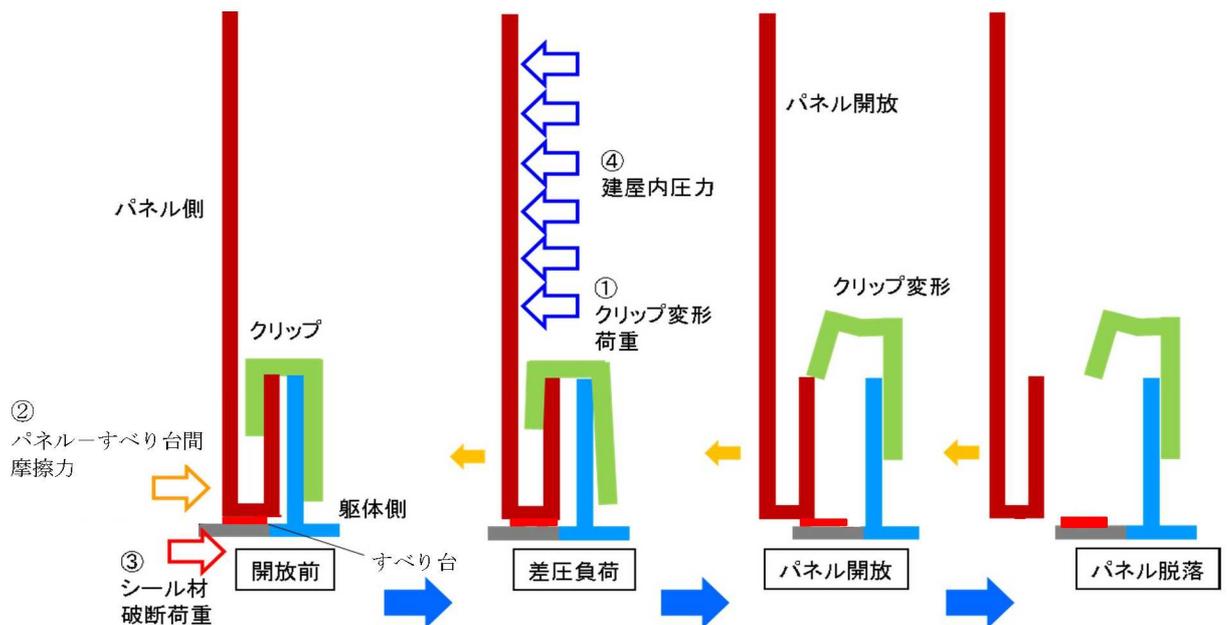


図 3-1 オペフロ BOP 開放のメカニズム

4. オペフロ BOP の開放の検知について

オペフロ BOP の開放を検知し、プラント停止や燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置による開口部の閉止等の対応措置を速やかに実施するため、個々のオペフロ BOP の開放を検知するリミットスイッチを設置し、中央制御室で状態を把握可能な設計とする。

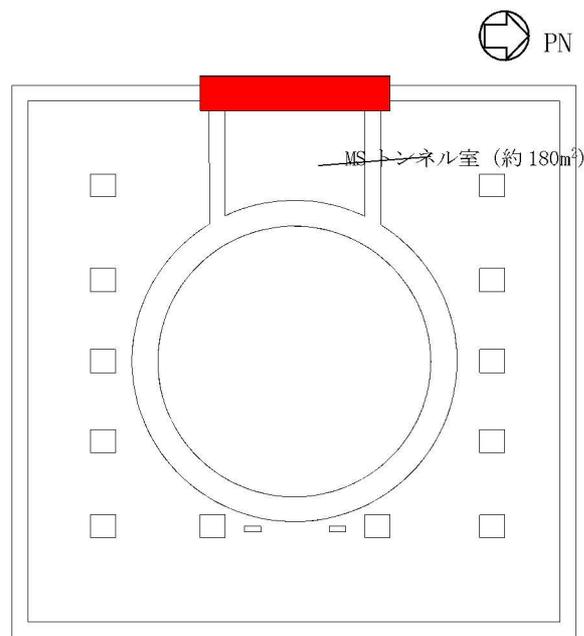
5. 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの配置について

主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル（以下 MS トンネル室 BOP という。）は、主蒸気系トンネル室（以下 MS トンネル室という。）のタービン建屋側との境界壁に合計 79 箇所設置する。

MS トンネル室 BOP の配置について表 5-1 と図 5-1 に示す。

表 5-1 MS トンネル室 BOP の配置について

設置階	配置	備考
原子炉建屋原子炉区域地上 1 階	壁面に 79 箇所	



原子炉建屋原子炉区域地上 1 階 概略平面図

■ : MS トンネル室 BOP 79 枚

図 5-1 MS トンネル室 BOP 配置図

6. MS トンネル室 BOP の構造について

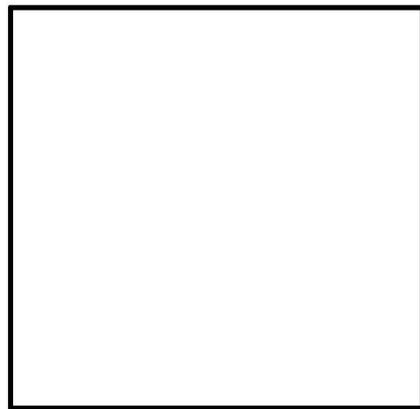
MS トンネル室 BOP は、ラプチャーパネルで MS トンネル室のタービン建屋側との境界壁に設置されており、原子炉格納容器の設計上の最高使用外圧 14kPa に対し、9.81kPa 以下で開放するように設計されている。パネル寸法とパネル数を表 6-1 に、構造概要を図 6-1 に示す。

MS トンネル室 BOP は、ラプチャーパネルと枠部で建屋躯体に固定されている。また、原子炉建屋原子炉区域の 2 次格納施設としてのバウンダリ機能を確保する設計としている。

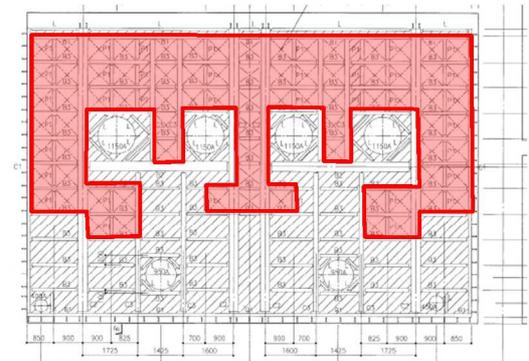
MS トンネル室 BOP は、内圧によりパネル本体が外側に押され、ラプチャーパネルに設置されている V 溝からパネルが開放し、最終的に完全に開放する構造である。

表 6-1 MS トンネル室 BOP の主要仕様

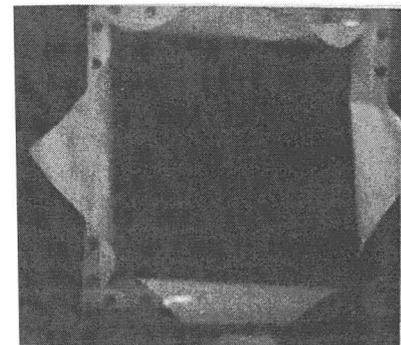
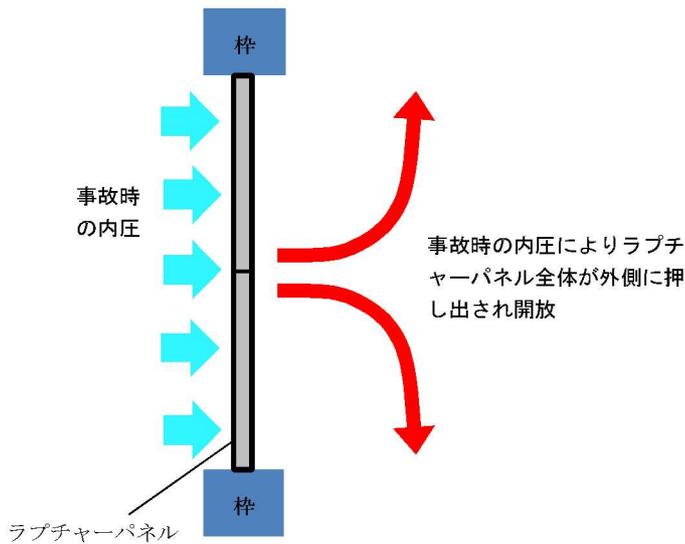
設置場所		寸法	材質
1 階	西 79	780 mm×780 mm	A1050P



ラプチャーパネル



■ : MS トンネル室 BOP
MS トンネル室 立面図



ラプチャーパネルの開放後

図 6-1 MS トンネル室 BOP の構造と作動原理

7. MS トンネル室 BOP の開放について

MS トンネル室 BOP はラブチャーパネルを採用しており、専用の動力を必要とせず、受圧面に規定の圧力が加われば破裂し開放する。主蒸気管が破断した場合には、原子炉建屋原子炉区域主蒸気系トンネル室内に蒸気が噴出し規定の圧力が加わったラブチャーパネルから破裂・開放していくことになる。

仮に、事象の初期（蒸気が伝播しラブチャーパネルに初めて到達する段階）に全数のラブチャーパネルが破裂・開放しなかったとしても、その後の蒸気の継続的供給により、室内の圧力が上昇し受圧面に規定の圧力が加われば、未開放ラブチャーパネルが破裂することになる。また、事象の規模が小さく全数のラブチャーパネルが破損せず、かつ、主蒸気系トンネル室内の圧力が規定の開放圧力まで上昇しなければ、それ以上のラブチャーパネルの破裂・開放は発生しない。

設計基準事故の事故解析（環境への放射性物質の異常な放出）で対象としている主蒸気管破断事故においては、主蒸気管 1 ラインの破断を考慮しており、主蒸気隔離弁完全閉止までは、室内に蒸気は供給され続ける。仮に、未開放のラブチャーパネルがあったとしても、その後の圧力上昇により未開放の状態を維持することは困難である。

竜巻防護ネットによる流路への影響について

1. 目的

K7 オペフロ BOP 内側には、竜巻による飛来物の侵入を防ぐことを目的として、竜巻防護ネットを設置している。本資料では、竜巻防護ネットの設置により、主蒸気管破断事故時の蒸気排出及び IS-LOCA 時の建屋内換気への影響を評価する。

2. 評価の方針

オペフロ BOP での圧力損失と竜巻防護ネットによる圧力損失を比較し、竜巻防護ネットによる圧力損失が十分に小さいことを確認することで、竜巻防護ネットによる影響が有意でないことを確認する。

3. 評価に関連する設備の概要

3.1 オペフロ BOP 及び竜巻防護ネットの位置関係

竜巻防護ネットは、図 1 に示す通り、オペフロ BOP の内側に支持構造物により支持されており、主蒸気管破断事故時、IS-LOCA 時の蒸气流路の一部となる。

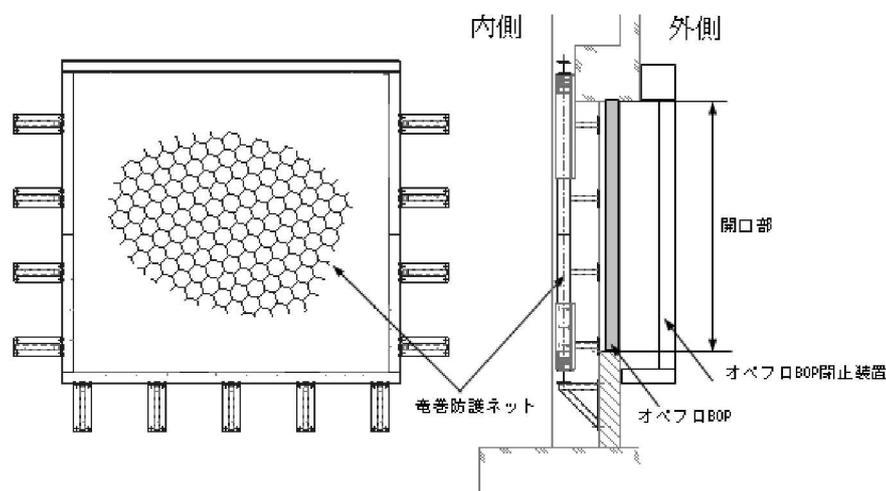


図 1 オペフロ BOP と竜巻防護ネットの概要

3.2 オペフロ BOP の開口面積

オペフロ BOP の開口面積 (S_1) は、 である (図 2 参照)。



図2 オペフロ BOP の寸法

3.3 竜巻防護ネット通過時の流路面積

竜巻防護ネットとオペフロ BOP との間には、 の隙間がある。ネットは一面にのみ張っており、側面は開口となっている（図3参照）。

竜巻防護ネットのネット部及び側面部を足し合わせ、面積を求めると となる。なお、算出にあたっては、竜巻防護ネットの支持構造物の流路上の投影面積を除いている。

(参考) 竜巻防護ネット（ネット部） S_2 :
竜巻防護ネット（側面部） S_3 :
支持構造物 :



図3 竜巻防護ネット

3.4 竜巻防護ネット（ネット部）の開口率

竜巻防護ネット（ネット部）の開口率は1枚当たり であり、このネットが二枚重ねで張られている。

4. 影響評価

4.1 オペフロ BOP 通過時の圧損係数

オペフロ BOP を蒸気が通過する際には、流路は急縮小し、その後急拡大するため、Handbook of Hydraulic Resistance⁽¹⁾に示されているオリフィスの実験相関式が適用できると考えられる。

図 4 に示すオリフィスの実験相関式を用いてオペフロ BOP における圧損係数を算出した結果、オペフロ BOP 単独での蒸気通過時の圧損係数 (ζ_1) は、となる。

$$\zeta = 0.5 \left(1 - \frac{F_0}{F_1}\right)^{0.75} + \left(1 - \frac{F_0}{F_2}\right)^2 + \tau \left(1 - \frac{F_0}{F_1}\right)^{0.375} \left(1 - \frac{F_0}{F_2}\right)$$

$$\tau = (2.4 - \bar{l}) \times 10^{-\varphi(\bar{l})} \geq 0, \quad \bar{l} = \frac{l}{D_h}, \quad \varphi(\bar{l}) = 0.25 + \frac{0.535 \bar{l}^8}{0.05 + \bar{l}^8}$$

$$D_h = \sqrt{F_0}$$

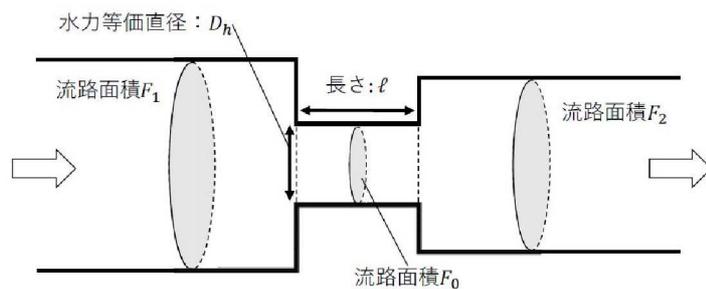


図 4 オリフィスの実験相関式中に用いるパラメータの関係図

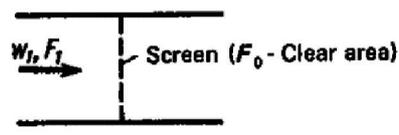
4.2 竜巻防護ネット通過時の圧損係数

竜巻防護ネット通過時の圧損係数は、Handbook of Hydraulic Resistance⁽¹⁾に示されている金属製棒状素線によるネット構造の圧損係数計算式を参照し算出する（図5、図6参照）。

$$Re = \frac{w_0 \delta_m}{\nu} \geq 10^3$$

$$\zeta_{wir} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2}$$

$$= 1.3(1 - \bar{f}) + \left(\frac{1}{\bar{f}} - 1\right)^2$$



$$\bar{f} = \frac{F_0}{F_1}$$

図 5 金属製棒状素線によるネット構造の圧損係数計算式

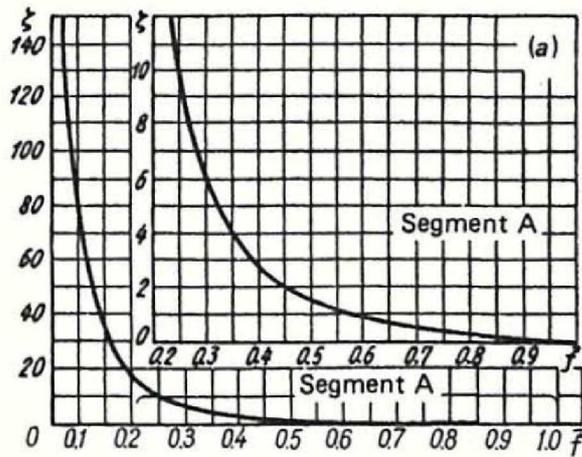


図6 金属製棒状素線によるネット構造の開口率と圧損係数の関係

(1) 竜巻防護ネット（ネット部）

竜巻防護ネットの開口率は であり、図5の式に当てはめて算出すると、圧損係数は、 となる。竜巻防護ネットは二枚重ねで張られていることから、竜巻防護ネット（ネット部）通過時の圧損係数（ ζ_2 ）は となる。

(2) 竜巻防護ネット（側面部）

竜巻防護ネットの側面部にはネットが張られていなく開口部となっている。本評価では、保守的にネットとみなし、開口部を占有している支持構造物の投影面積から開口率を求め、図5の式に当てはめ圧損係数を算出した結果、竜巻防護ネット（側面部）通過時の圧損係数（ ζ_3 ）は となる。

4.3 オペフロ BOP 及び竜巻防護ネット通過時の流速

オペフロ BOP、竜巻防護ネット（ネット部）及び竜巻防護ネット（側面部）通過時の流速比を求める。

V_1 : オペフロ BOP 通過時の流速

V_2 : 竜巻防護ネット（ネット部）通過時の流速

V_3 : 竜巻防護ネット（側面部）通過時の流速

竜巻防護ネット（ネット部）を通過する圧力損失と竜巻防護ネット（側面部）を通過する圧力損失は等しくなるため、以下の式が成り立つ。

$$\zeta_2 \times V_2^2 = \zeta_3 \times V_3^2$$

したがって、竜巻防護ネット（ネット部）通過時の流速を1とした場合の竜巻防護ネット（ネット部）と竜巻防護ネット（側面部）通過時の流速比は、

$$V_2 : V_3 = 1 : \text{} \text{ となる。}$$

以上より、竜巻防護ネット（ネット部）通過時の流速を1とした場合のオペフロ BOP、竜巻防護ネット（ネット部）及び竜巻防護ネット（側面部）通過時の流速比は、

$$V_1 = (V_2 \times S_2 + V_3 \times S_3) / S_1 \text{ より、}$$

$$V_1 : V_2 : V_3 = \square : 1 : \square \text{ となる。}$$

4.4 オペフロ BOP と竜巻防護ネットの圧力損失比

圧力損失は、圧損係数と流量の 2 乗の積で求まることから、以下の式が成り立つ。

$$\text{圧力損失比} = (\zeta_2 \times V_2^2) / (\zeta_1 \times V_1^2)$$

上記の計算式を求めると、圧力損失比は約 0.07 となり、オペフロ BOP 単独での通過時の圧力損失に対して竜巻防護ネット通過時の圧力損失の影響は 7%程度となる。

5. まとめ

竜巻防護ネット設置による影響評価を実施した。竜巻ネットを設置した場合の主蒸気管破断時の流速での圧力損失は、従来（設置前）と比較しても 7%程度の増加であることが確認された。主蒸気管破断事故は、数秒で建屋内圧力が上昇し BOP 開放とともに、さらに数秒で圧力が大気圧に静定する事象である。ネット設置により圧力の最大値と大気圧に静定するまでの時間が若干増加することが考えられるが、7%程度の圧力損失の上昇であれば、事故時の挙動に有意な変化をもたらすものではないと考えられる。

また、IS-LOCA 時の流速は主蒸気管破断時の流速より小さいため、主蒸気管破断時と比較し、さらに圧力損失が小さくなる結果となると考えられ、換気的能力に与える影響は小さいと考えられる。

6. 参考文献

- (1) I.E. Idelchik, Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition, Jaico Publishing House.

クリップ引張試験について

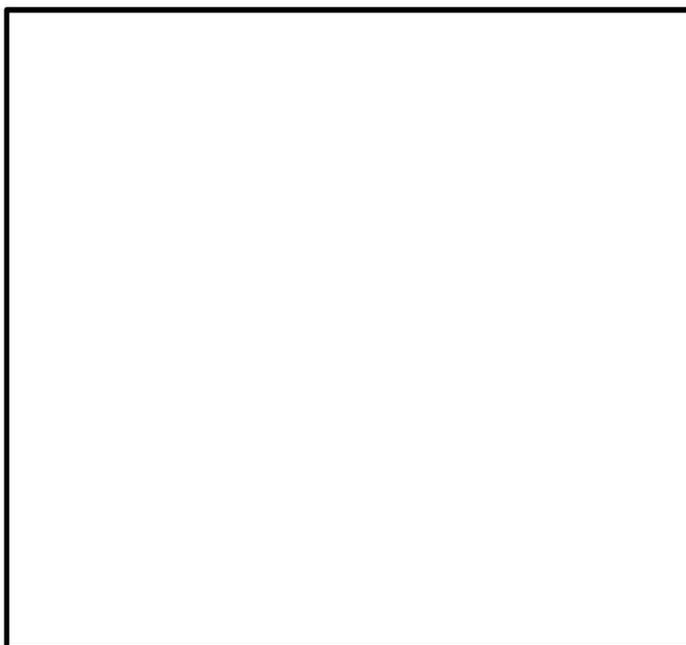
1. 目的

クリップは燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）を建屋躯体に固定するとともに、オペフロ BOP の開放圧力を決定する主要な部品である。このため、設計差圧（0.5 psi=3.43 kPa）以下でパネルが確実に開放し、弾性設計用地震動 S_d では開放しないことを設計上担保するため、クリップ単体での開放試験を実施する。

2. 試験方法

試験は、クリップ取付部を模擬した鋼材に試験体としてのクリップを取り付け、引張試験機にて鋼材を引っ張ることにより、クリップに付加される荷重、変位、ひずみ等を測定した。図 2-1 にクリップの引張試験概要図を示す。試験条件は以下のとおり。

- ・引張試験機：オートグラフ試験機
- ・制御方式：変位制御（引張速度 2 mm/min）



- ◆ 引張試験内容
クリップ単体を引張試験にてパネルの水平方向の荷重を模擬する
- 【測定項目】
 - ①試験荷重
 - ②クリップ変位
 - ③クリップのひずみ
- 【測定結果の評価】
クリップの最大荷重と変位の試験結果より、クリップの作動時におけるばらつきを検証する
パネルが設定差圧にて確実に開放するための管理項目を検証する
- 【クリップの管理項目】
 - ①材質
 - ②形状
 - ③クリップの寸法（板厚、幅）
 - ④取付方法と取付寸法

図 2-1 クリップの引張試験概要図

3. 試験結果

(1) 基本試験での試験体仕様

オペフロ BOP を躯体に固定しているクリップの特性を把握し、クリップ数を確定させるため、実際に使用するクリップ単体の開放試験を実施した。クリップは2種類（幅約 及び約 ）あり、それぞれに対して開放試験を実施した。各項目の試験目的と具体的な仕様を表 3-1、試験用クリップ形状を図 3-1、試験体寸法測定箇所を図 3-2、試験用クリップ一覧を表 3-2 に示す。

表 3-1 試験確認項目、目的と具体的な仕様

項目	目的	具体的な仕様
材質	—	SUS304
板厚	—	<input type="text"/>
幅 (a)	クリップ幅と強度の関係確認	約 <input type="text"/> / 約 <input type="text"/>
掛り寸法 (c)	—	<input type="text"/>
曲げ加工後のクリップ幅 (b)	—	<input type="text"/>

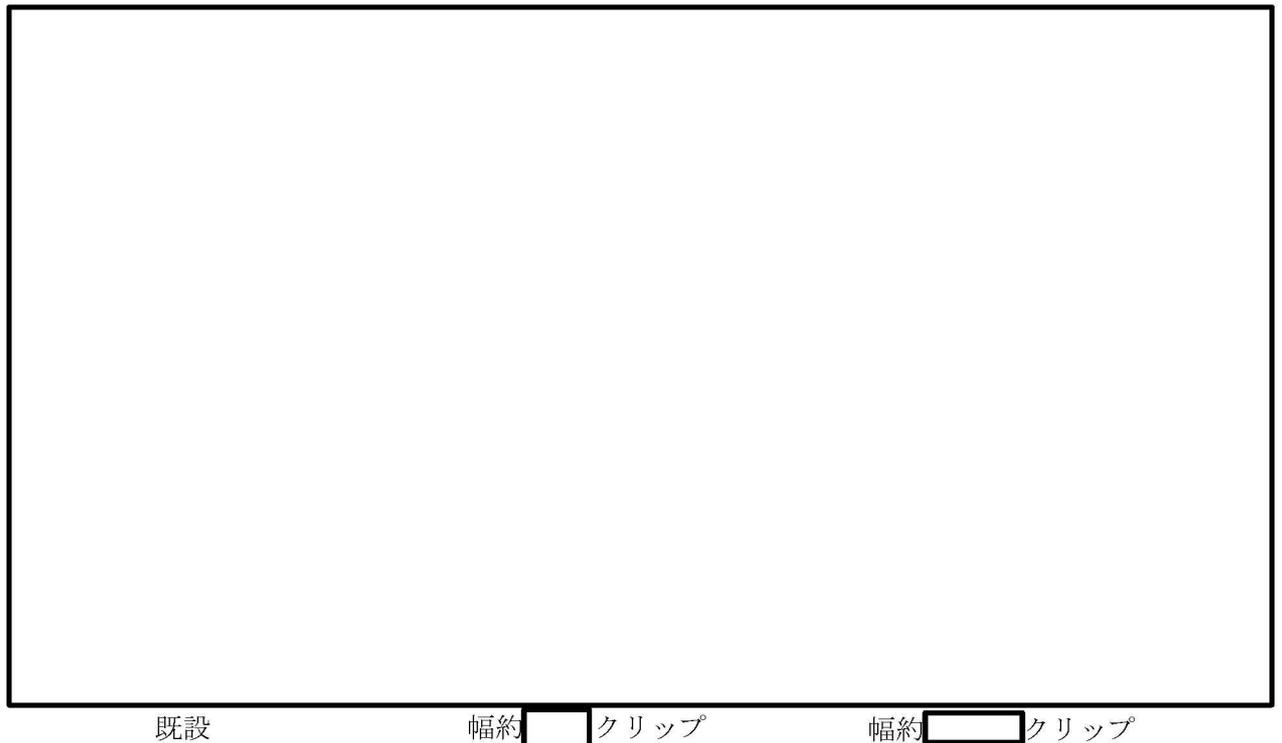


図 3-1 試験用クリップ形状(正面図・断面図)

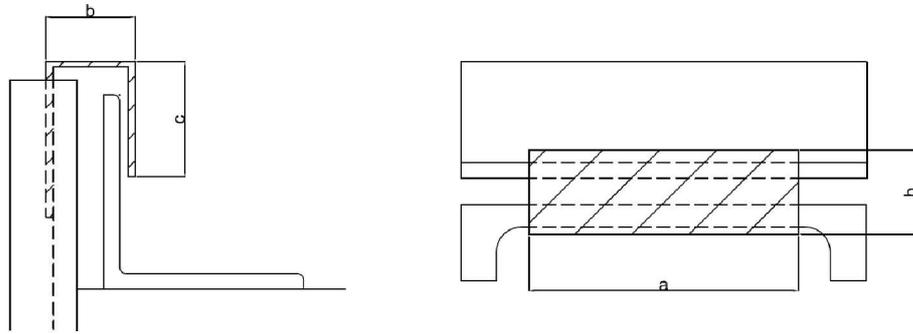


図 3-2 試験体寸法測定箇所

表 3-2 試験用クリップ一覧

試験体 NO	材質	板厚	幅(a)	掛り寸 法(c)	曲げ加工 後幅(b)	形状	変位 速度	試験 体数
試験体 1	SUS304*1	□	約 □	□	□	既設と 同じ	2 mm/分	3
試験体 2			約 □					3

注記 *1: オーステナイト系ステンレス鋼

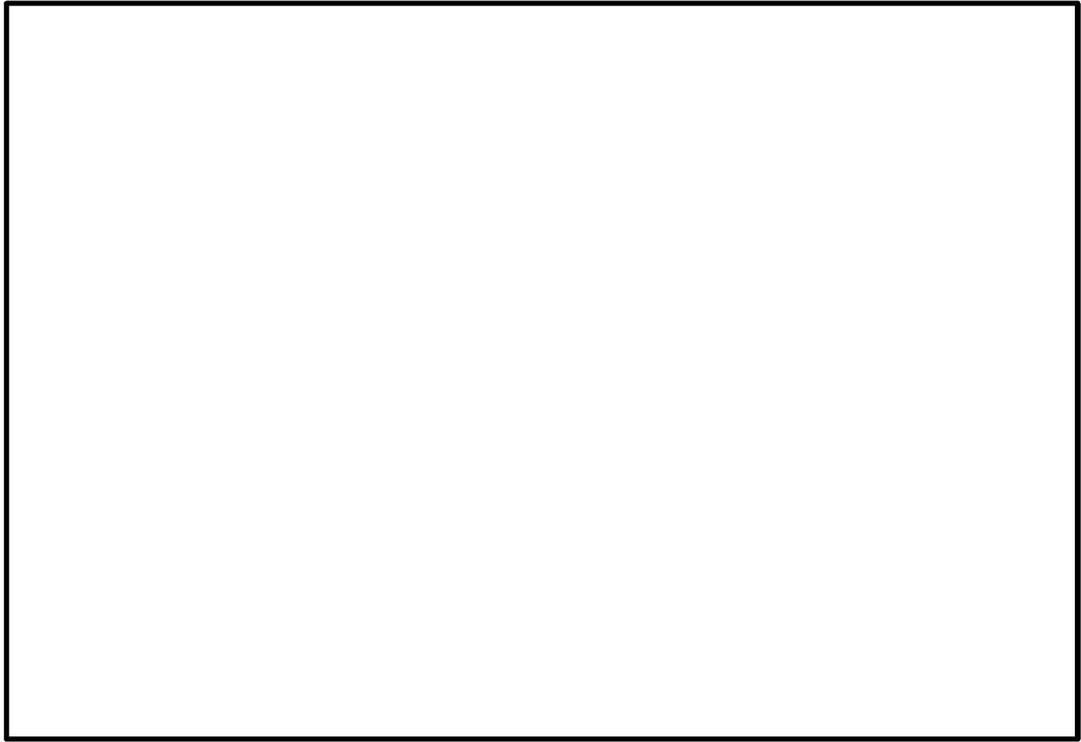
(2) 試験結果及び考察

試験結果を表 3-3 に、クリップの荷重・変位の関係を図 3-3 に示す。

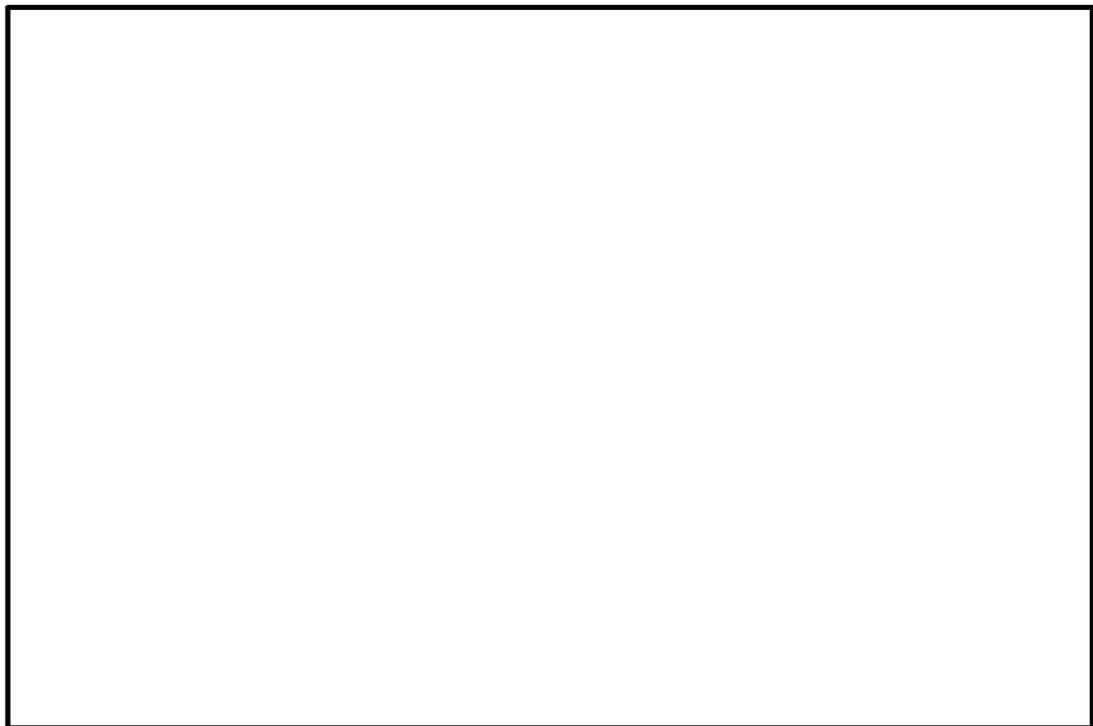
クリップ幅約 [] の最大耐力の平均値は [] N、標準偏差 σ は [] N であった。また、クリップ幅約 [] の最大耐力の平均値は [] N、標準偏差 σ は [] N であった。クリップ数の決定にあたっては、弾性設計用地震動 S_d による地震荷重で開放しない必要があることから、クリップ 1 個が開放するための必要荷重は、保守的に標準偏差の 3 倍を見込み、1 個当たり、クリップ幅約 [] で [] N、クリップ幅約 [] で [] N として考慮する。また、クリップは約 [] 引っ張られるとクリップ取付部から外れる（クリップは開放の抵抗とならない）ことを確認した。

表 3-3 実機用クリップ試験結果

耐力 (試験体数は3個)		クリップ幅約 []	クリップ幅約 []
		荷重 (N)	
最大耐力	平均値	[]	[]
	最大値	[]	[]
	最小値	[]	[]
標準偏差 σ		[]	[]
最大耐力 (平均) $+3\sigma$		[]	[]
最小耐力 (平均) -3σ		[]	[]



(a) クリップ幅約



(b) クリップ幅約

図 3-3 クリップの荷重・変位の関係

ブローアウトパネル機能確認試験要領について

1. 目的

燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）及び主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル（以下「MS トンネル室 BOP」という。）の機能を確認するため、実機規模の試験体を用いた開放試験を行い、機能維持確認を実施する。

2. オペフロ BOP

2.1 試験場所

試験装置等を設置し新たに試験会場として設定

2.2 試験項目

- (1) 作動確認 : オペフロ BOP の開機能確認
- (2) 閉維持確認 : オペフロ BOP の耐震性能の確認

オペフロBOP（取付け枠及び新たに設計したクリップを含む）を設置した実機大のモックアップ試験体を製作し、設計作動圧の3.43 kPa以下で確実に開放されることを確認するため、油圧ジャッキを用いた加力による開放試験を実施する。さらに、本試験にて実測する開放に必要な荷重より、シール材の抗力及びパネル下部（パネル及びすべり台）の摩擦による抗力を求め、クリップの条件を必要に応じて最適化する。

また、オペフロ BOP の耐震性能を確認する。

本試験での確認事項を以下に示す。

【作動確認】

- ①オペフロBOPの開放動作の確認
- ②オペフロBOPの開放荷重の確認
- ③クリップ脱落荷重の確認*
- ④シール材抗力及び下部摩擦による抗力の開放荷重に与える影響の確認

【閉維持確認】

- ①固有周期測定
- ②オペフロBOPがS d相当荷重で開放しないこと（パネルの荷重曲線より評価）

注記 *：クリップがオペフロBOPに取り付けられた山形鋼から完全に外れて荷重を負担しなくなった時点をクリップ脱落とする。また、クリップのひずみ計測などから判断し、その時の荷重を確認する。図2-1にクリップの固定状態及び脱落状態を示す。



図 2-1 クリップの固定状態及び脱落状態

3. オペフロBOP試験概要

3.1 試験場所概要

モックアップ試験は、オペフロBOP及び取付け架台を試験場で作成し実施する。図3-1に試験場の配置図を示す。

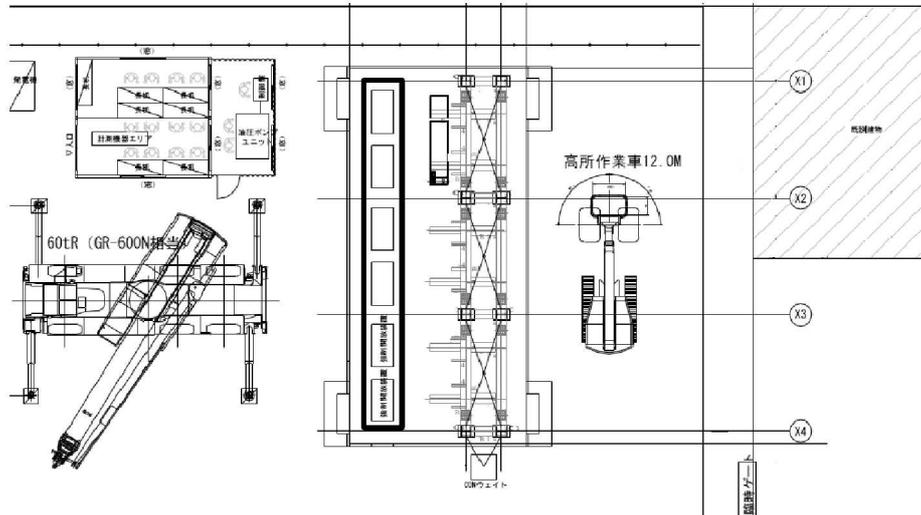


図3-1 試験場配置図（平面図）

3.2 試験装置概要

試験装置は、実機を模擬したオペフロBOP、加力装置及び躯体を再現するオペフロBOP取付け部と加力装置取付け部を一体化した取付け架台で構成する。図3-2に試験で使用するオペフロBOP及び取付け架台の概略図を示す。

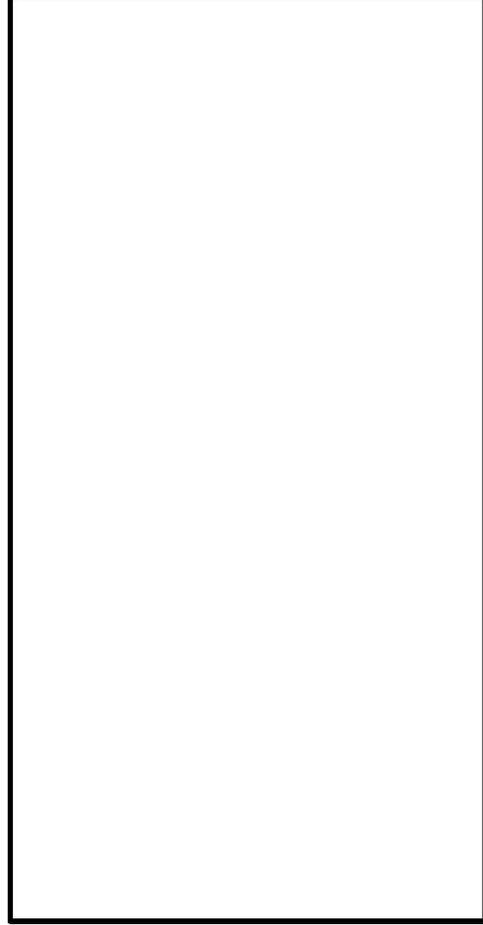
オペフロBOPは実機に取り付けられているオペフロBOPを模擬して実施する。サイズは約4.16 m×約4.26 m、重量は約1.5 tである。なお、オペフロBOPは3体製作する。

取付け架台は四方が鉄筋コンクリート造の原子炉建屋開口部を再現する。パネルとの接触により摩擦の影響を強く受ける[]は実機同様すべり台とし、開口部の[]および[]はH形鋼によって再現する。

試験体のオペフロBOPは、脱落時の損傷等を防止するために、2本のチェーンにて落下を防止し、復旧による複数回の試験を実施可能とするものとする。



パネル及び押し出し梁図



試験用架構図



側面図

図 3-2 オペフロ BOP 及び取付け架台の概略立面図

3.3 オペフロBOPの架台への取付け方法

オペフロBOPは、屋外側上部及び左右の3面にシーリング材を施工する。シーリング材は、シリコンシーラントとし、目地深さは□とする。オペフロBOPは、試験装置架台（実機では躯体）に取り付けられた溝形鋼と、オペフロBOPに取り付けられた山形鋼をクリップで挟むことにより固定する。クリップを取り付け可能な箇所は、□（幅約□を□個、幅約□を□個）、□（幅約□を□個）の計□箇所とする。

クリップの形状および溝形鋼への取付け位置を図3-3に示す。クリップの材質は□とし、形状は図3-3に示すように、クリップ幅約□または幅約□、厚み約□、溝形鋼への掛り代約□とし、M12ボルトにより取付け枠の16mmプレートに取付ける。



取付け枠体部 (PL-16) パネル本体鉄骨 (溝形鋼)



図 3-3 クリップ形状及び取付け位置図（正面図・断面図）

3.4 固有周期測定方法

オペフロ BOP 試験体に加速度計を取り付け、オペフロ BOP の固有振動数をハンマーによる打撃，又は常時微動計測により測定し固有周期を求める。

注：地盤は常に僅かに揺れており，この微振動を常時微動という。常時微動は，風や波浪などの自然現象や，交通機関，工場の機械などの人工的振動など不特定多数の原因により励起される。この常時微動で地盤や構造物の振動特性を推定することができる。

試験概要

(1) 計測方法

a. ハンマーによる打撃

オペフロ BOP 試験体中央部に設置した加速度計の傍をゴムハンマー (g) で打撃し，加速度を計測する。

b. 常時微動計測

オペフロ BOP 試験体中央部に設置した加速度計により常時微動により励起された加速度を計測する。

(2) 計測機器

計測機器の取付け位置を図 3-5 に示す。

a. 加速度計

メーカー名称：，型番名称：

b. アンプ

メーカー名称：，型番名称：

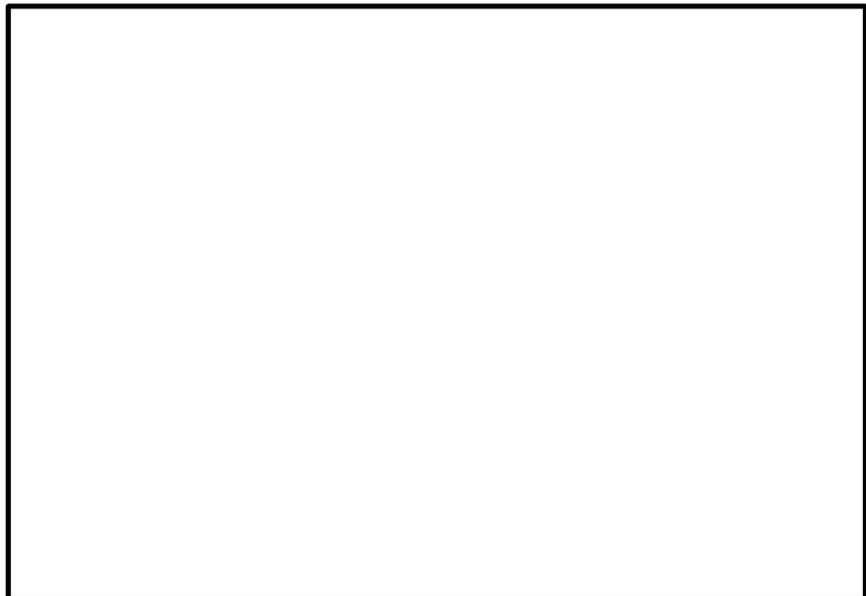


図3-4 計測機器取付け位置図 (立面図)

4. オペフロBOPの加力方法

4.1 試験機器構成及び加力方法概要

本試験に使用する機器の配置及び構成の概念図を図4-1に、試験用の架構のイメージを図4-2に示す。

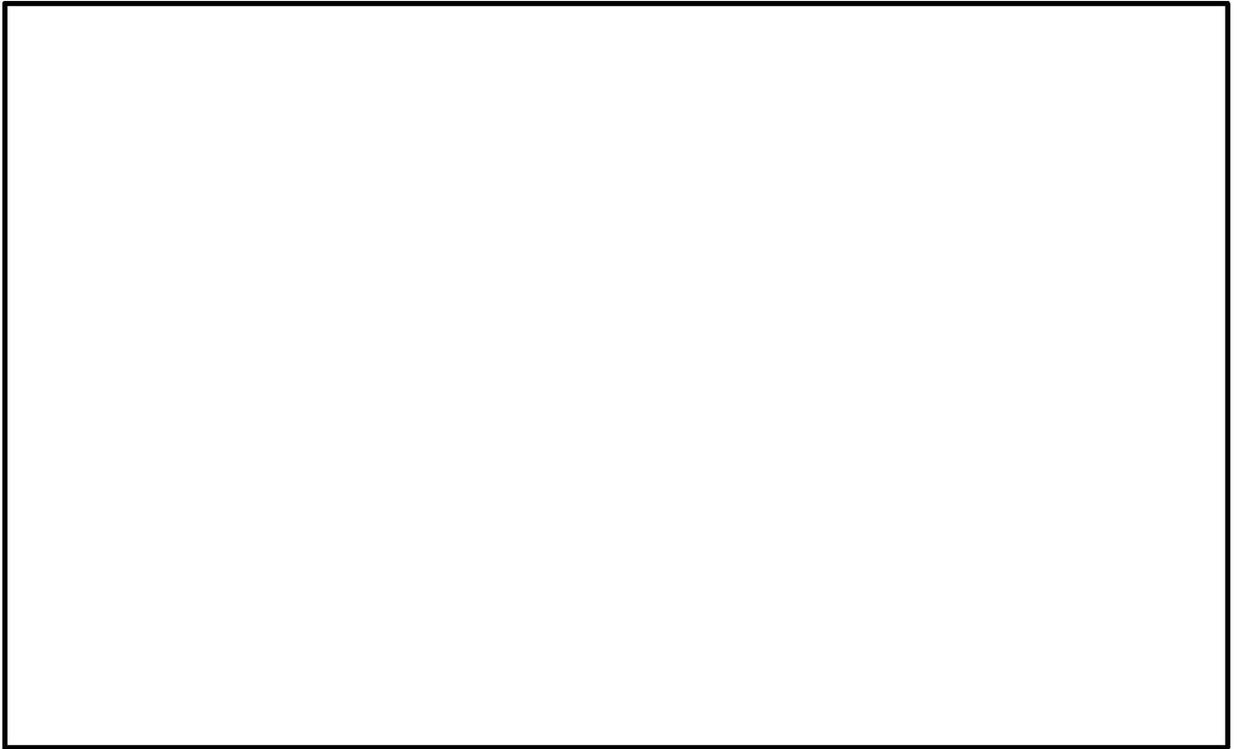


図 4-1 試験機器配置及び構成概念図

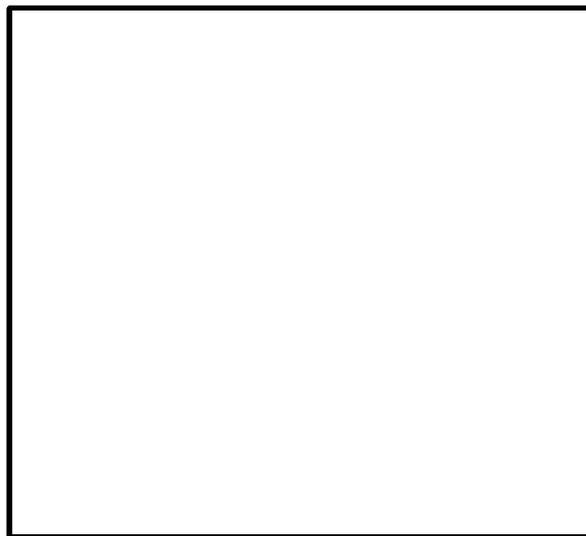


図 4-2 試験用架構 (イメージ図)

試験用架構にオペフロBOP1面を取り付ける。当該パネルに「押し出し梁」を接触させ、その「押し出し梁」を□台の油圧ジャッキを使用して押し出すことにより、オペフロBOPを加力する。

「押し出し梁」はオペフロBOPに対して独立しておりオペフロBOPの開放条件に影響を与えないものとする。

油圧ジャッキの反力は取付架台で受ける構造とする。

また、各油圧ジャッキの反力側にはロードセルを取り付け、各油圧ジャッキから試験体への負荷を測定するものとする。各ロードセルはロードセルモニタにて出力を抽出・変換し、それぞれの出力はユニバーサルレコーダ及びPCで記録するものとする。

試験体は既設仕様に合わせて3体製作する。試験体仕様を表4-1に示す。

表4-1 試験体仕様（試験体1～3）

製 造	清水建設株式会社
型 式	既存パネル模擬
概算質量	1500 kg
数量	各1面
サイズ	幅 4260 mm×高さ 4160 mm
クリップ取付け箇所	<input type="checkbox"/> 箇所*
シール材	シリコンシーラント

注記 *：クリップ個数及び形状は、試験体により変更する場合有り。

4.2 加力仕様

オペフロBOPを押し出し梁により加力するために、複動型油圧ジャッキ \square 台を使用する。ジャッキは \square 台のポンプユニットから加圧する。当該ポンプユニットは、 \square 台のジャッキへの吐出油圧を一定とすることで、一定の加重にて作動を制御する。

加力方法概要図を図4-3に、押し出し梁の支持装置を図4-4に示す。油圧ジャッキ及びポンプユニットの仕様を表4-2、表4-3に示す。



図 4-3 加力方法概要立面図



図4-4 押し出し梁と支持装置の概要断面図

表4-2 油圧ジャッキ仕様

製造メーカー		
型 式		
能力 (1台あたり)		
使用数量		
ストローク (最大)		
伸長速度 (理論値)		

表4-3 ポンプユニット仕様

製造メーカー		
型 式		
吐出量		
使用数量		
電 源		
電動機		
質 量		

4.3 オペフロBOP試験方法

(1) 試験手順

モックアップ試験は3ケース実施した。試験ケースを表4-4に示す。

試験体1のクリップ配置は [] (幅約 [] を [] 個, 幅約 [] を [] 個), [] (幅約 [] を [] 個) とする。これは、現状で予想されるシールの抗力とパネル下部の摩擦、クリップ1個あたりの耐力から、S d 地震時には開放せず、かつ、設定差圧の3.43 kPa以下にて確実に開放するように設計された配置である。 [] のクリップについては、摩擦による抗力を考慮して [] 個減らしている。試験体1のクリップ取付け位置を図4-5に示す。また、試験体2,3は、試験体1と同条件にて再現性を確認する。

表 4-4 試験ケース

	クリップの配置 及び個数		クリップ形状, 取付け寸法			備考
	上	下	幅	内寸法	掛かり代	
試験体 1	[]					
試験体 2						
試験体 3						



図 4-5 クリップ配置図 (立面図)

4.4 測定内容及び方法

(1) 測定内容

各油圧ジャッキ負荷，変位

(2) 測定方法

各油圧ジャッキに〇台ずつ配置したロードセルを使用する。その他の測定項目と連動し，時刻歴測定とする。

計測項目は，ジャッキによる加力荷重〇点（上記，荷重計より取得），ブローアウトパネルの変位〇点（加力位置近傍の変位），クリップのひずみ〇点（試験時の開放状況を動画撮影）とする。荷重，変位及び，ひずみ計測の機器構成を図4-7に示す。加力が短時間で終了する試験のため，動的な計測システムを用い，サンプリング時間は〇秒程度とする。

表4-5に計測機器等仕様を示す。

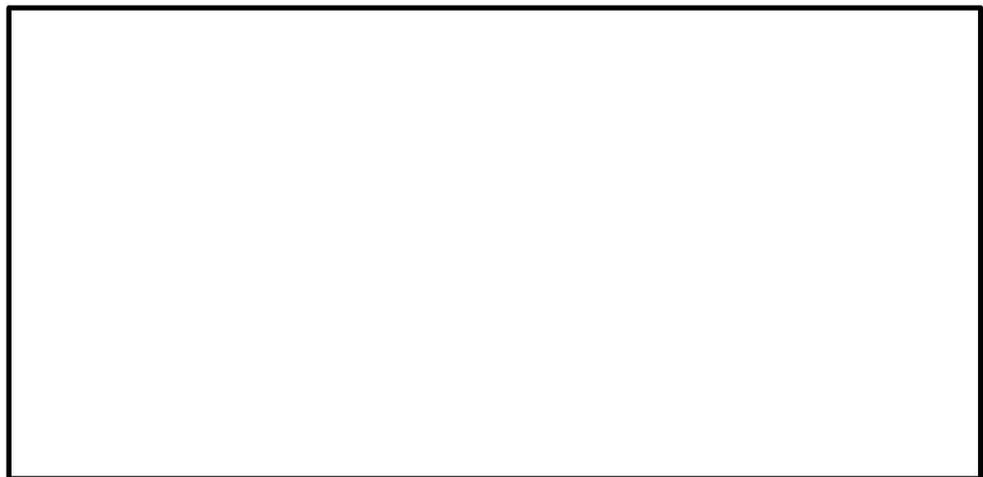


図4-6 計測器取付け位置図（立面図）

表4-5 計測機器等仕様（又は相当品）

No.	機器名	員数	メーカー	型番
1	電動ポンプユニット			
2	複動型油圧ジャッキ			
3	薄型圧縮型ロードセル			
4	レーザ変位計			
5	動ひずみ測定器			
6	ユニバーサルレコーダ			
7	コンディショナカード			
8	ノートパソコン			

注：ケーブル等の付属品は省略

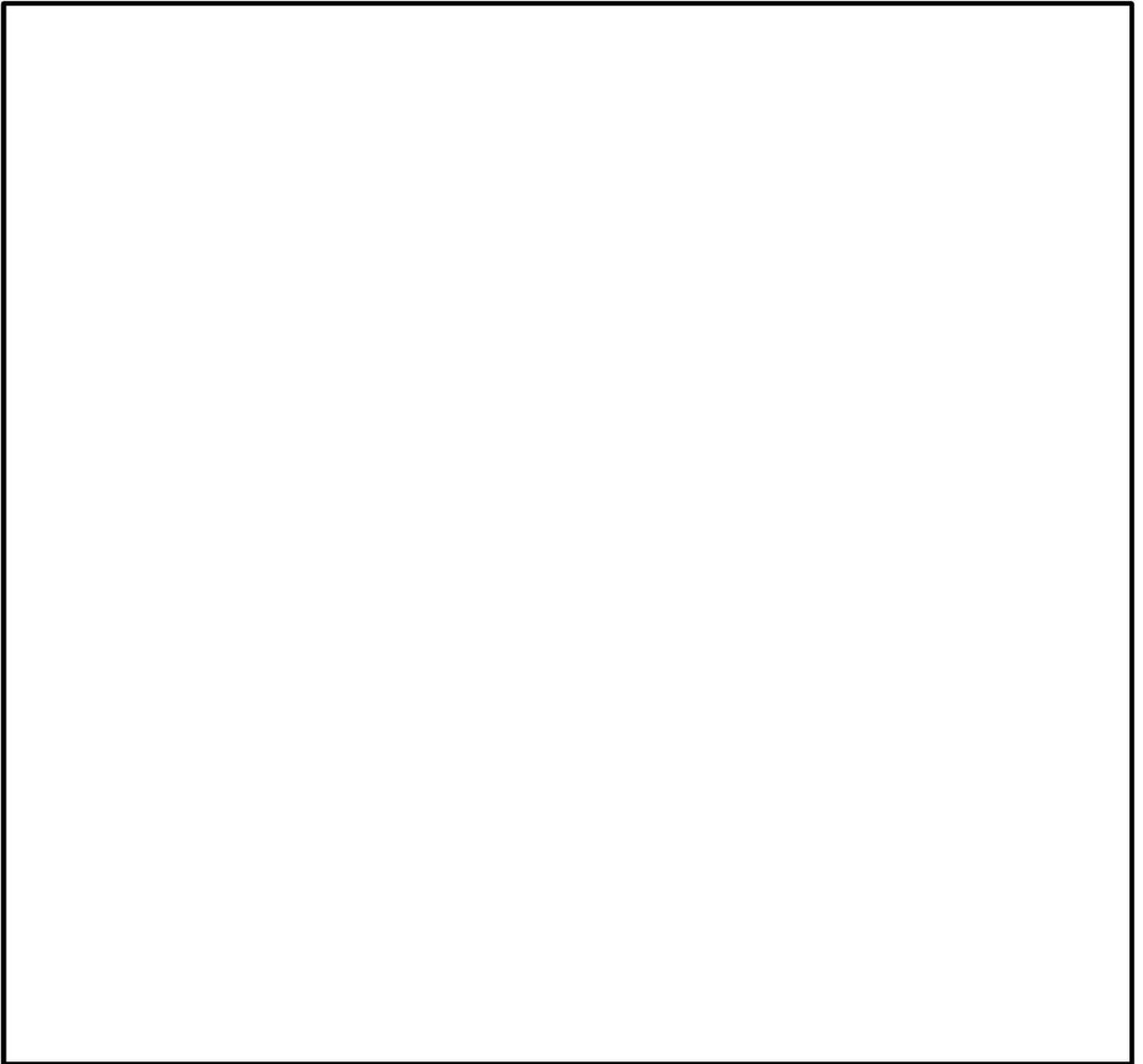


図 4-7 計測システム構成

(3) 確認項目

開放試験における確認項目を以下に示すとともに、オペフロBOPの開放時の荷重と変位及び他の抗力との関係を求める。

開放試験にて得られる記録値とこの関係から、オペフロBOPの耐震性能を確認する。

- ・ ジャッキ荷重 — 変位関係 (グラフ)
- ・ オペフロBOPの開放荷重
- ・ クリップの脱落時荷重
- ・ シール材の抗力と下部の摩擦

5. MS トンネル室 BOP

5.1 試験場所

【作動確認】

場 所：株式会社 ブイテックス 東海工場

【閉維持確認】

場 所：清水建設株式会社 技術研究所 先端地震防災研究棟

5.2 試験項目

- (1) 作動確認 : MS トンネル室 BOP の開機能確認
- (2) 閉維持確認 : MS トンネル室 BOP の耐震性能の確認

MS トンネル室BOP及びその取付け枠を設置した実機大のモックアップ試験体を製作し、設計作動圧の9.81kPa以下で確実に開放されることを確認するため、圧縮空気による破裂試験を実施する。

さらに、加振試験により、MS トンネル室 BOP の耐震性能を確認する。

本試験での確認事項を以下に示す。

【作動確認】

- ①MS トンネル室BOPの破裂圧力の確認

【閉維持確認】

- ①MS トンネル室BOPが弾性設計用地震動 S d 相当荷重で開放しないことの確認

6. MSトンネル室BOP作動確認試験概要

6.1 試験装置概要

試験装置は、実機を模擬したMSトンネル室BOP（ラプチャーパネル及びラプチャーパネル取付け部）と温度調整用のヒーターを取り付けた破裂試験装置で構成する。図6-1に試験で使用するMSトンネル室BOP及び破裂試験装置の概略図を示す。

MSトンネル室BOPのサイズは780 mm×780 mm，比重は約 $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ である。

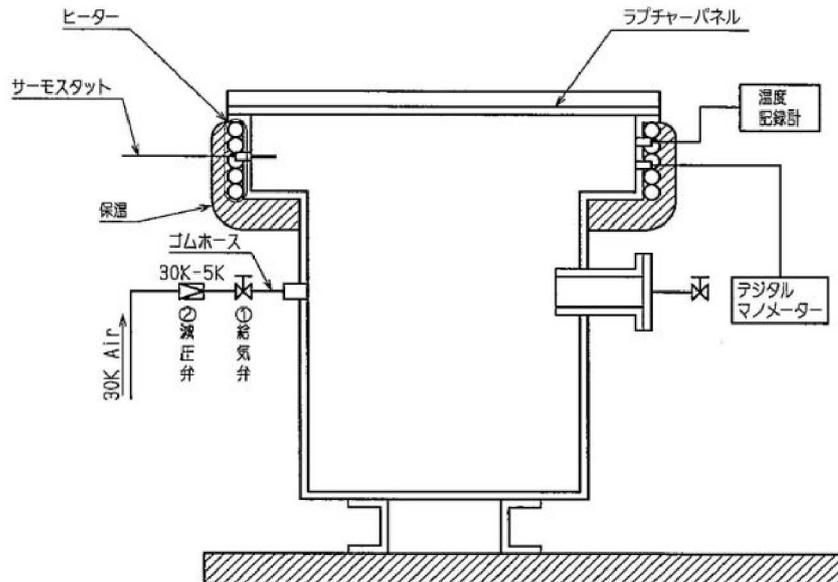


図 6-1 MS トンネル室 BOP 及び破裂試験装置の概略断面図

6.2 MS トンネル室 BOP 試験方法

(1) 試験手順

MSトンネル室BOPを破裂試験装置に組み込み，破裂試験装置の上部をヒーターで加熱し，温度を調整する。

所定温度に到達してから20分以上保持後，給気弁を開き，圧縮空気を装置内へ送り，破裂時の圧力を確認する。

(2) 確認項目

MS トンネル室 BOP 破裂時の圧力。

7. MSトンネル室BOP閉維持確認試験概要

7.1 試験場所概要

閉維持確認試験は、加振試験用枠体に固定したMSトンネル室BOPを振動台上に設置し実施する。図7-1に試験場の配置図を示す。

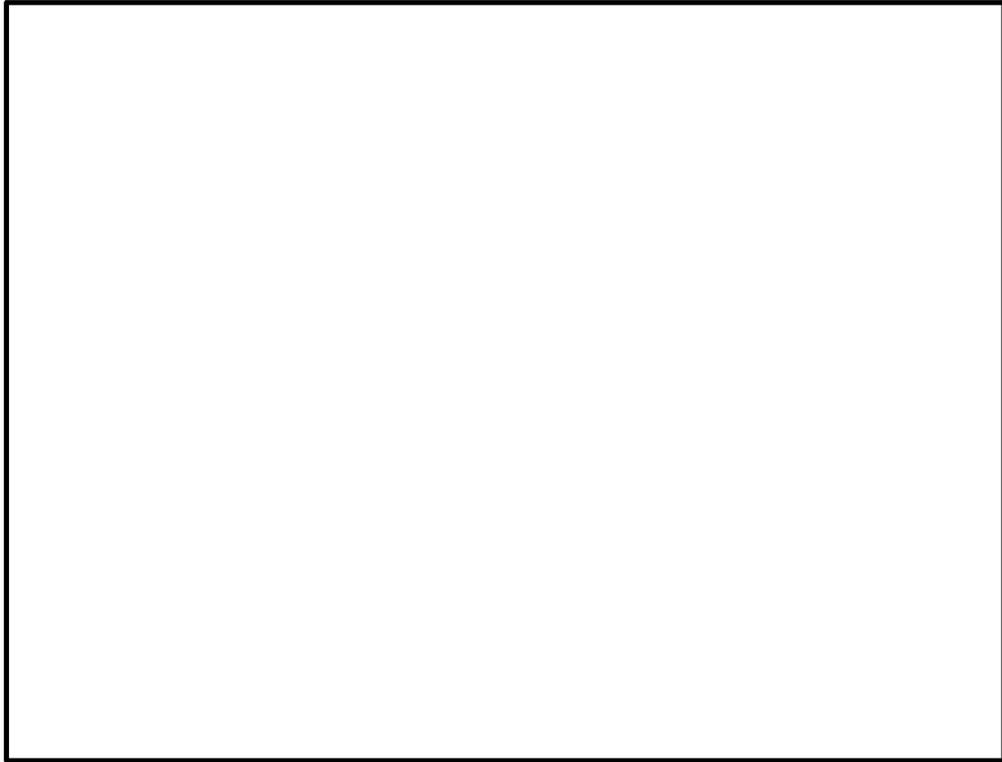


図7-1 試験場配置図（平面図）

7.2 試験装置概要

図7-2に試験で使用するMSトンネル室BOP及び加振試験用枠体の概略図を示す。

MSトンネル室BOPのサイズは780 mm×780 mm，比重は約 2.7×10^3 kg/m³である。加振試験用枠体はH形鋼により構成されており，加振試験用枠体を振動台に固定し，ボルトによってMSトンネル室BOPを加振試験用枠体に固定する。

なお，試験体のMSトンネル室BOPは3体製作し，それぞれに対し同一の試験を実施する。

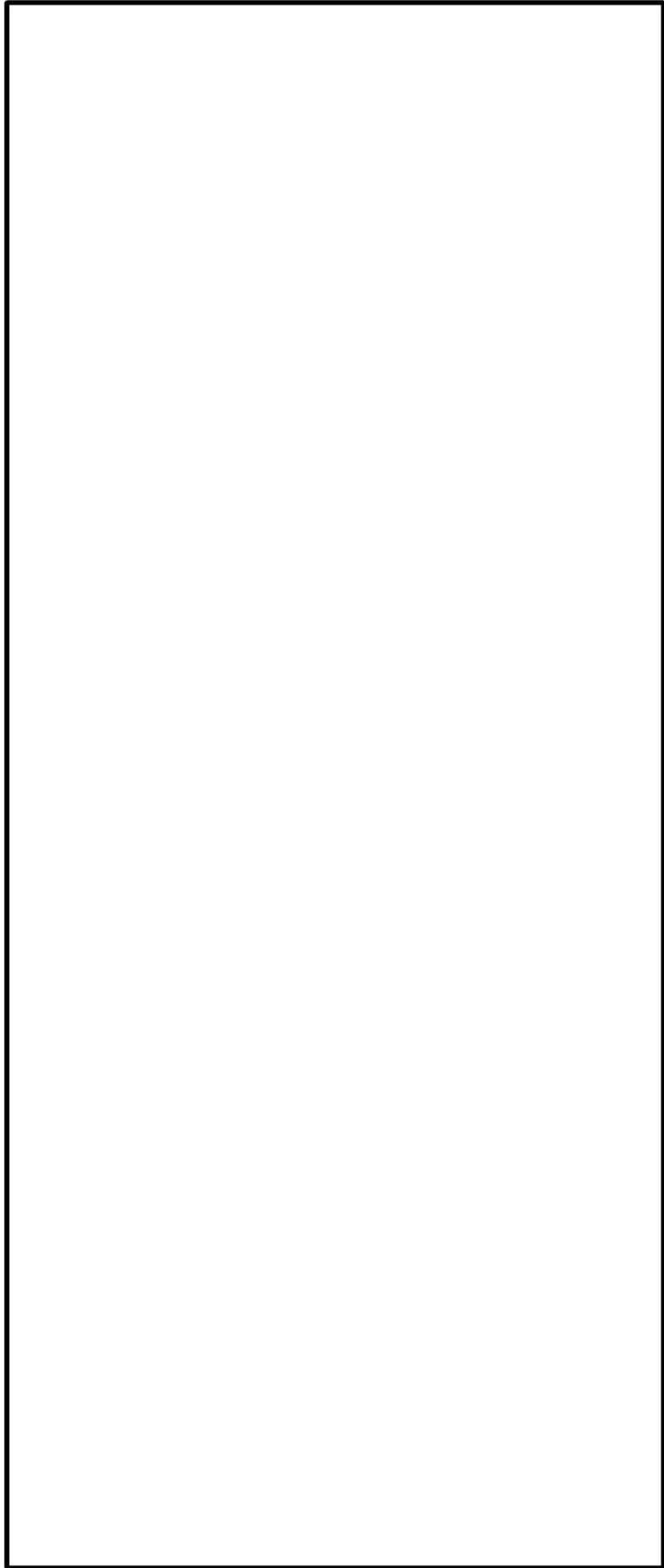


図 7-2 MS トンネル室 BOP 及び加振試験用枠体の概略図

(1) 試験機器構成

本試験に使用する試験体の仕様を表7-1に示す。

表 7-1 試験体仕様表

製 造	清水建設株式会社
型 式	既存パネル模擬
比 重	約 $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (アルミ)
数 量	3 枚
サイズ	幅 780 mm × 高さ 780 mm

(2) 試験台の仕様

本試験に使用する振動台の仕様を表 7-2 に示す。

表 7-2 振動台仕様

項 目	仕 様
振動台寸法	7m (X 方向) × 7m (Y 方向)
加振方向	3 軸
最大搭載重量	70t
最大加速度 (無積載時)	水平 : -1G, 鉛直 : -1G
最大加速度 (10t 積載時)	水平 : 3.7G, 鉛直 : 4.2G

7.3 試験ケース

MSトンネル室BOPの加振試験による耐震性能確認を行う。試験ケースを表7-3に示す。

表 7-3 試験ケース

加振波	加振方向	備考
模擬地震波	XYZ方向	S d 地震相当

7.4 MSトンネル室BOPの加振方法

MSトンネル室BOP試験体を、弾性設計用地震動 S d 相当の加振波によって加振し、MSトンネル室BOPが開放しないことを確認する。

(1) 試験概要

加振試験用枠体に固定した MS トンネル室 BOP を振動台に設置し、表 7-3 に示す加振波で加振し、試験後、MS トンネル室 BOP スリット部の亀裂の有無を目視により確認する。

7.5 計測機器

計測機器の取付け位置を図 7-3 に示す。

a. 加速度計

メーカー名称：, 型番名称：

設置場所：

メーカー名称：, 型番名称：

設置場所：



図7-3 計測機器取付け位置図（立面図）

(1) 測定内容

加速度，亀裂の有無

(2) 測定方法

図7-3に示す位置に加速度計を取付け，加振時の加速度を時刻歴で測定し，サンプリング時間は， 秒程度とする。

試験時の状況を動画撮影する。

(3) 確認項目

本試験における確認項目を以下に示す。

- ・各加振波におけるMSトンネル室BOPの加速度
- ・MSトンネル室BOPの開放の有無

ブローアウトパネル機能確認試験結果について

試験要領書に従って実施した試験結果は以下のとおり。

1. 燃料取替床ブローアウトパネル固有値確認結果

ハンマーによる打撃及び常時微動による燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）中央の加速度波形から高速フーリエ変換により算定したフーリエスペクトルを図1-1に示す。 Hz近傍に大きなピークがあり、オペフロBOPの1次振動数である。

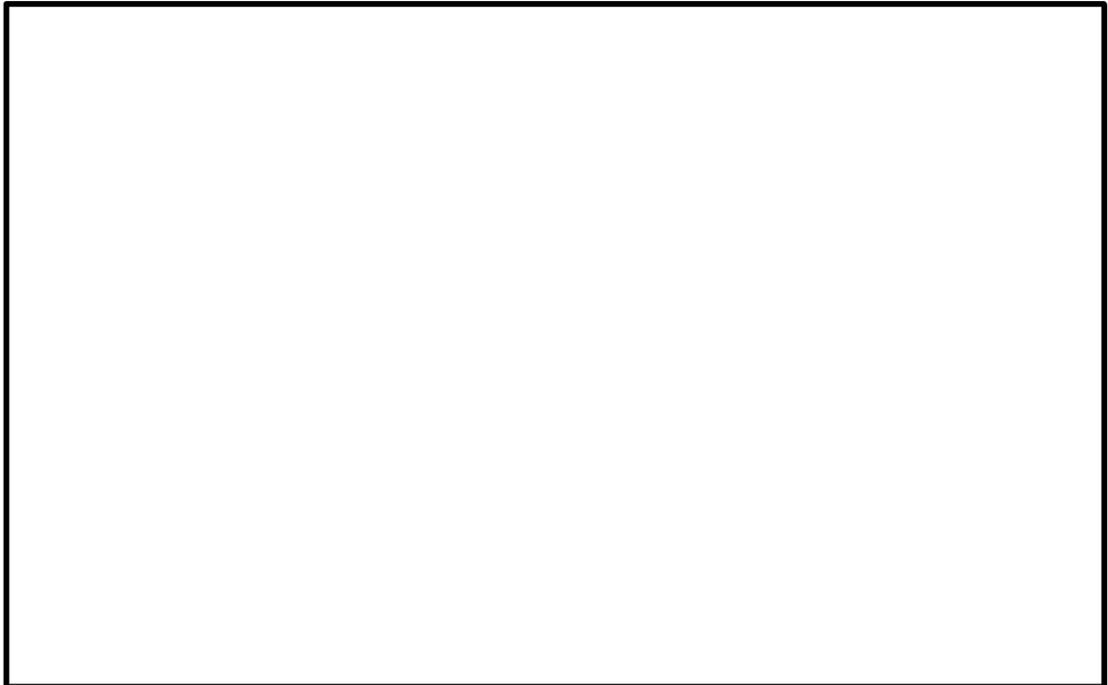


図1-1 オペフロBOPの固有振動数測定結果

2. オペフロBOP作動確認結果

(1) 開放機能確認結果

設計条件としたクリップ数 \square 個（幅約 \square を \square 個，幅約 \square を \square 個）の実機大モックアップ試験体に対して， \square 本の油圧ジャッキによる開放試験を実施し，オペフロBOPが設計条件（差圧3.43 kPa以下）の荷重にて開放することを確認した（試験体1）。同条件にて再試験を実施し再現性を確認した（試験体2, 3）。試験結果を表2-1に，各油圧ジャッキの反力（オペフロBOPの抗力）を図2-1から図2-6に示す。

表2-1 オペフロBOPの開放荷重試験結果

項目	試験日	測定値 (kN)	許容値 (kN) (3.43 kPa 相当値)	判定	備考 相当する差圧値 (kPa)
試験体1	2019/7/2	\square		○	\square
試験体2	2019/7/4			○	
試験体3	2019/7/5			○	

試験体1

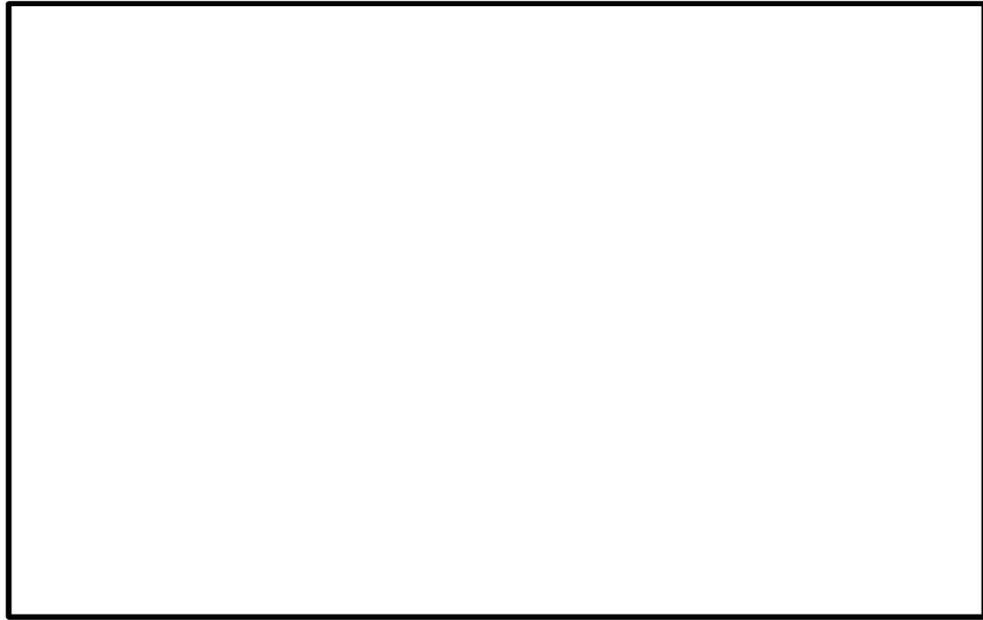


図 2-1 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

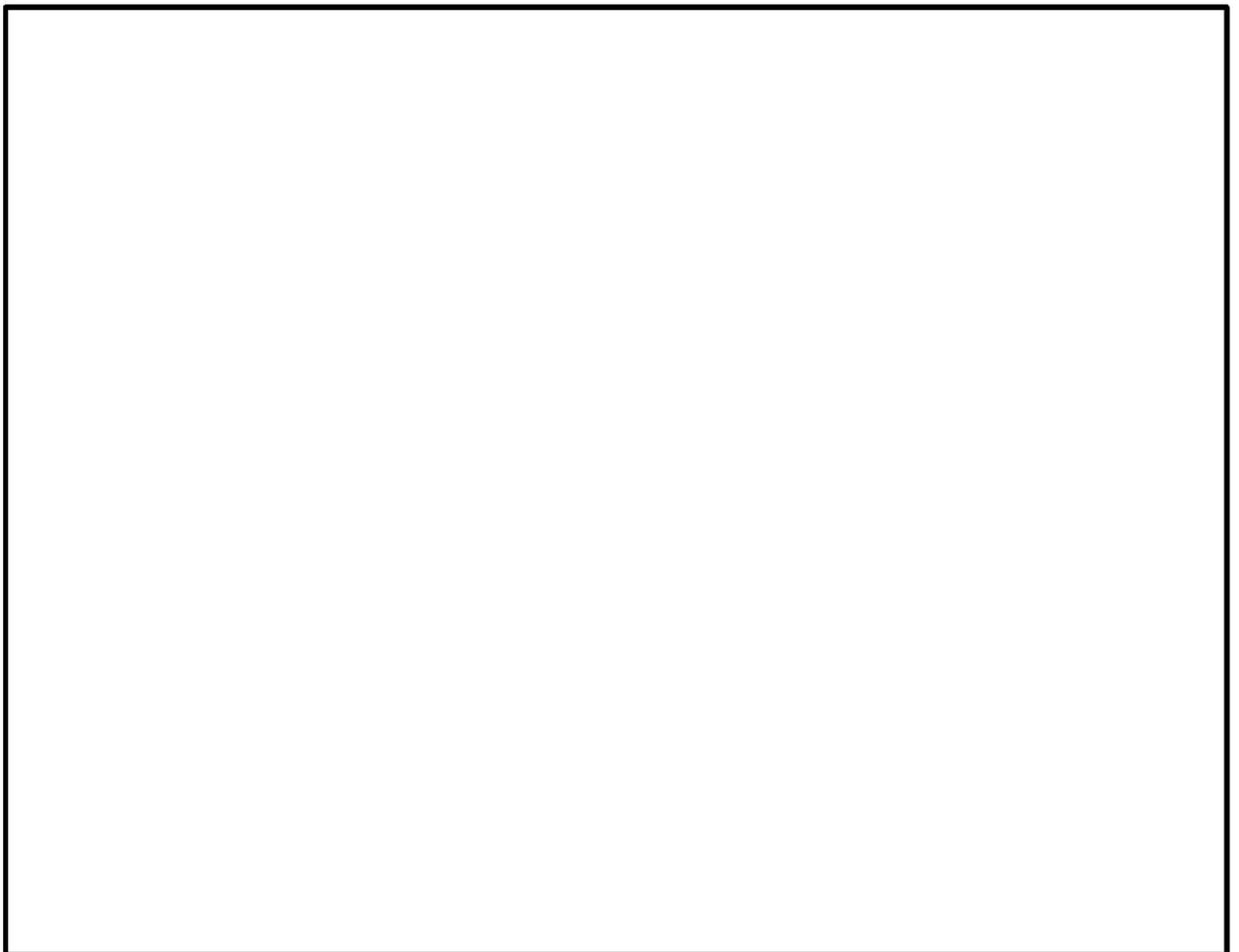


図 2-2 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (試験体 1)

試験体 2

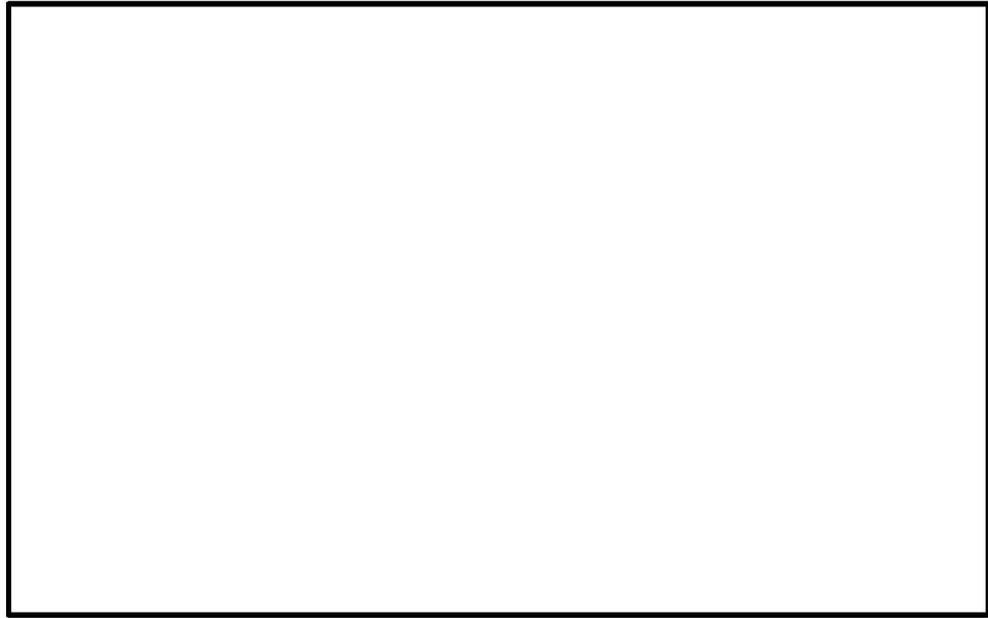


図 2-3 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

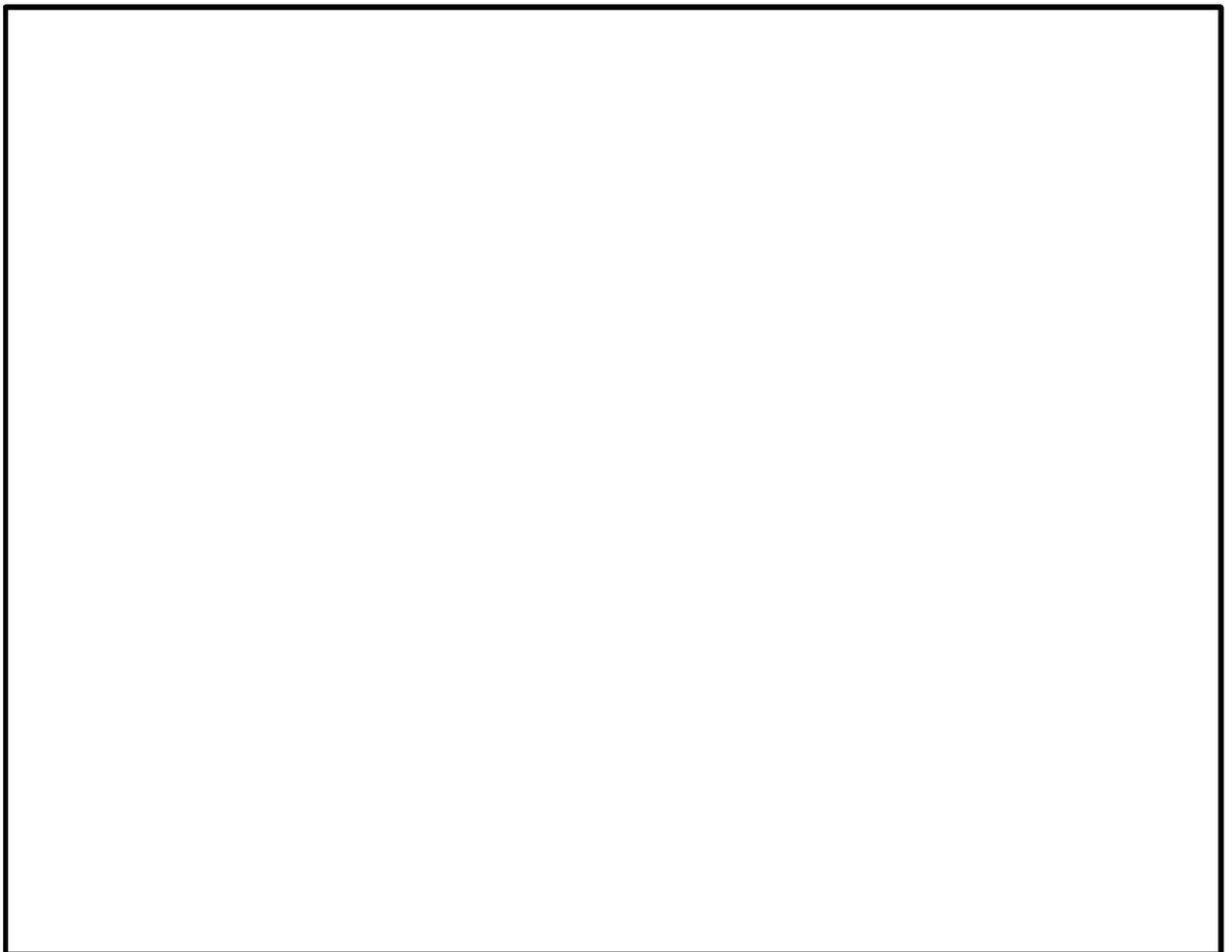


図 2-4 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (試験体 2)

試験体 3

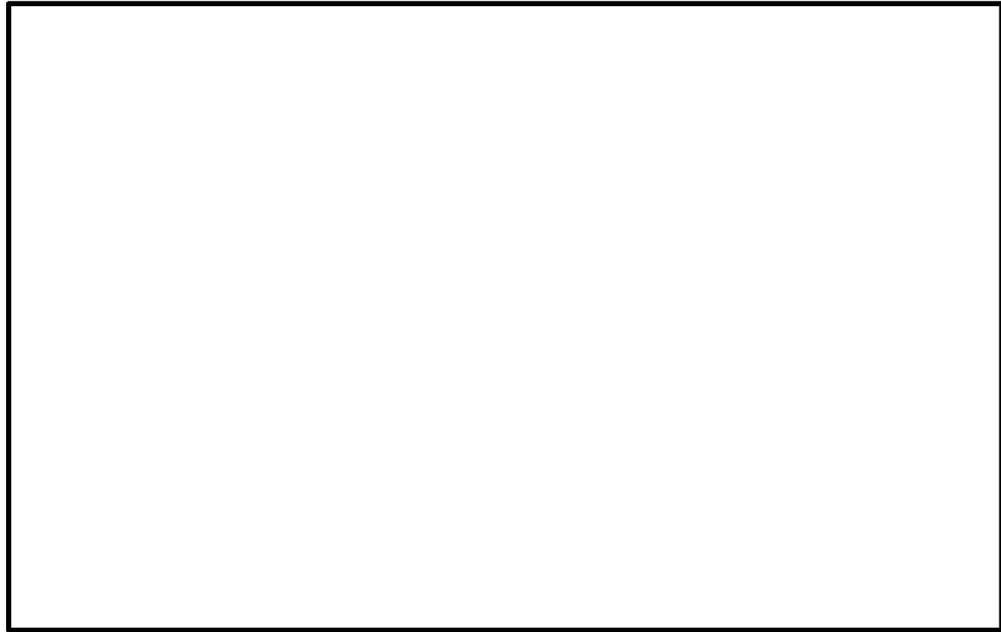


図 2-5 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

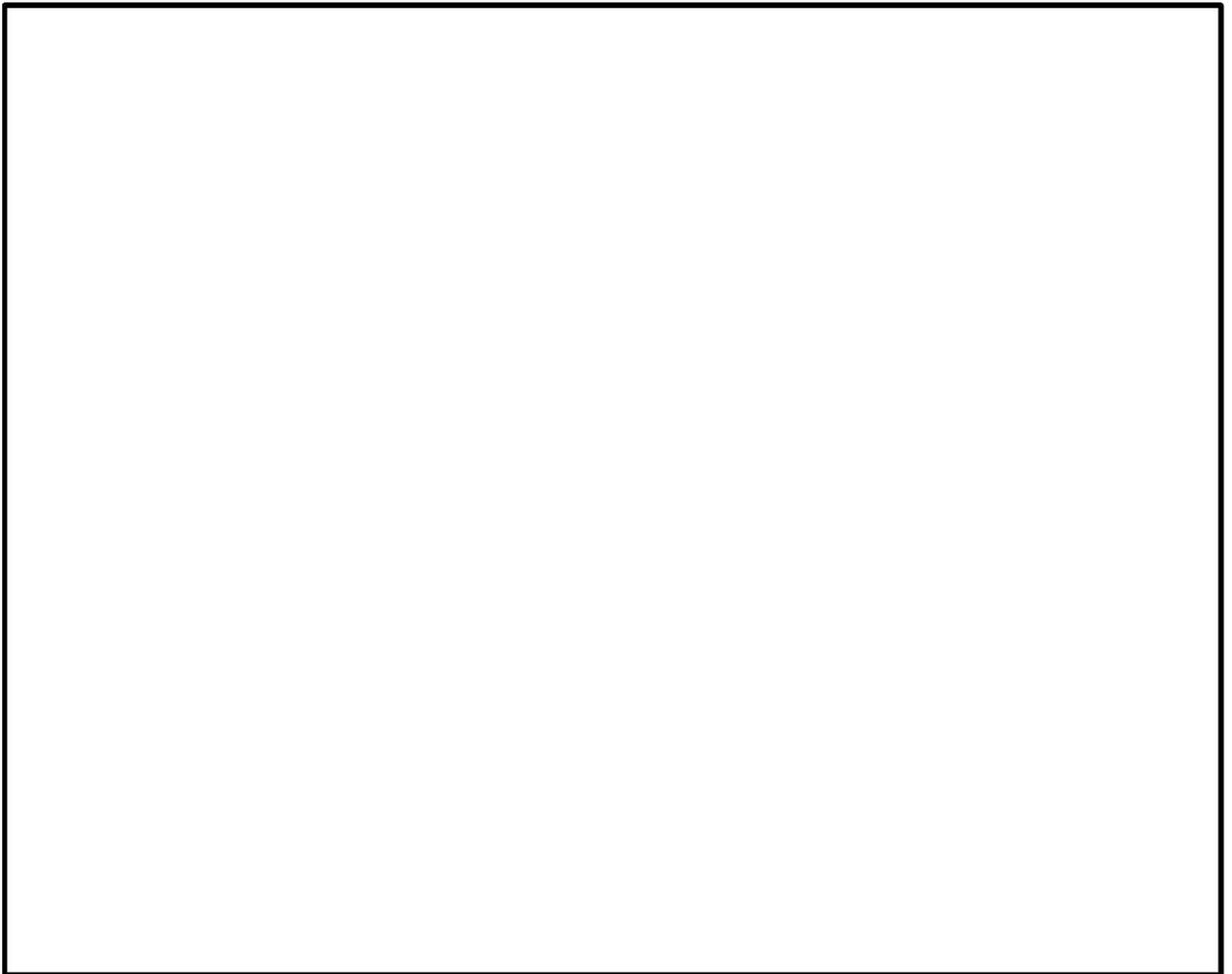


図 2-6 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (試験体 3)

(2) 閉維持確認結果

(1)開放機能確認結果より、オペフロBOPの開放荷重はS d 荷重相当値（約19.2 kN）以上であることを確認した。評価結果を表2-2に示す。

S d 相当荷重値約19.2 kNの根拠は、以下のとおり。

オペフロBOP重量 : 1500 kg

オペフロBOP設置場所 (T. M. S. L. 49.7 m) 応答水平震度 : 1.30*

注記* : オペフロBOPの固有振動数 (Hz) を考慮した震度

S d 相当荷重値 : $1500 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.30 = 19110 \text{ N}$

表2-2 オペフロBOPの耐震性能確認結果

項目	試験日	測定値 (kN)	判定値(kN) (S d 荷重相当)	判定
試験体1	2019/7/2	<input type="text"/>	19.2	○
試験体2	2019/7/4			○
試験体3	2019/7/5			○

3. 実機大モックアップ試験の開放挙動に関する考察

実機大モックアップ試験では、ジャッキ荷重は3回のピーク荷重を形成した。最初のピークは上部クリップの開放、2回目のピークはシール材の破断、最後のピークは下部クリップの開放によるものである。

シール材は使用環境により経年劣化するものであることから、接着力及びパネル開放時のシール材の負担荷重は変化することが考えられるが、開放荷重へのシール材の影響は小さいため、設計差圧以下で開放することには影響を与えないものと想定される。

また、上部クリップの負担荷重に比べ、下部クリップの負担荷重と下部の摩擦荷重が大きいため、上部クリップと下部クリップの開放に差が生じているが、取付け枠からパネル本体が完全に脱落することを確認している。

4. MSトンネル室BOP作動確認結果

(1) 開放機能確認結果

試験装置に設置したMSトンネル室BOPに対して、加圧による破裂試験を実施し、MSトンネル室BOPが設計差圧 (9.81 kPa以下) の圧力にて開放することを確認した。試験結果を表4-1に示す。

表4-1 MSトンネル室BOPの破裂試験結果

項目	試験日	測定値 (kPa)	許容値 (kPa)	判定
試験体1	2019/3/27	7.74	9.81	○
試験体2		7.85		○
試験体3		7.53		○

(2) 閉維持確認結果

V-2-9-3-1-2「主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」による S d 荷重の算定値は 0.00508kN/m^2 、加振試験による S d 荷重の測定値は kN/m^2 であり、MSトンネル室BOPの開放荷重 kN/m^2 以下であることを確認した。評価結果を表4-2に示す。

表4-2 MSトンネル室BOPの耐震性能確認結果

項目	試験日	算定値 (kN/m^2) (S d 荷重相当)	測定値 (kN/m^2)	判定値 (kN/m^2) (設計開放荷重)	判定
試験体1	2019/5/23	0.00508	<input type="text"/>		○
試験体2	2019/5/24				○
試験体3	2019/5/27				○

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験要領について

1. 目的

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「オペフロ BOP 閉止装置」という。）に要求される機能を確認するため、実機規模の試験体を用いた加振試験を行い、重大事故等時における閉止装置の機能維持確認を実施する。

2. 試験場所

(1) オペフロ BOP 閉止装置

場 所：国立研究開発法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター

3. 試験項目

3.1 オペフロ BOP 閉止装置に要求される機能について

オペフロ BOP 閉止装置は、燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）が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、オペフロ BOP の開放部を速やかに閉止し、原子炉建屋の気密性を維持することが求められる。具体的には下記の機能が求められる。

- ・ 地震後においても、容易かつ確実に閉止でき、また現場において人力により操作できる作動性を確保し、原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を確保していること。
- ・ 開放したオペフロ BOP を復旧するまでの期間においてオペフロ BOP 閉止装置を使用するため、重大事故後、一定期間内に想定される地震が発生した場合においても、原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を確保していること。

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）

オペフロ BOP 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^* に対する設計用震度を上回るように設定された加振波を用いて加振を行う。

注記 *：閉止状態のオペフロ BOP 閉止装置は、オペフロ BOP と同等の弾性設計用地震動 S_d による荷重が作用した場合の気密性確保が求められるが、耐震裕度を確保するため、基準地震動 S_s 加振波を用いて加振を行う。

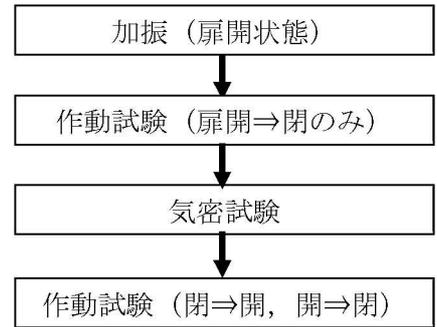
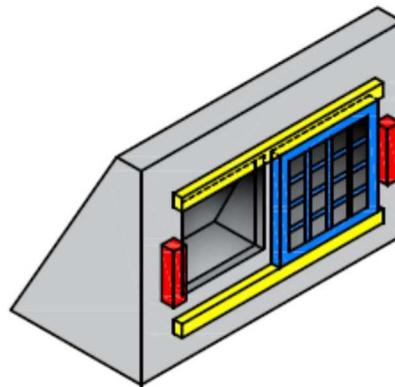
3.3 試験項目

基準地震動 S_s 加振波及び振動台性能限界加振波による加振を行い、オペフロ BOP 閉止装置に要求される機能が確保されていることを確認する。

- 加振後の作動確認 : オペフロ BOP 閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の扉本体の作動性が確保されていることを確認する。また、扉本体の作動確認に合わせて、閘の作動性が確保されていることを確認する。
- 加振後の気密性能試験 : オペフロ BOP 閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。

図 3-1 にオペフロ BOP 閉止装置試験治具概念図を示す。

【扉開放状態】



【扉閉止状態】

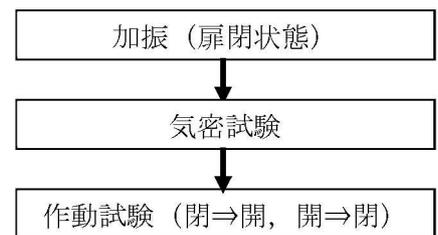
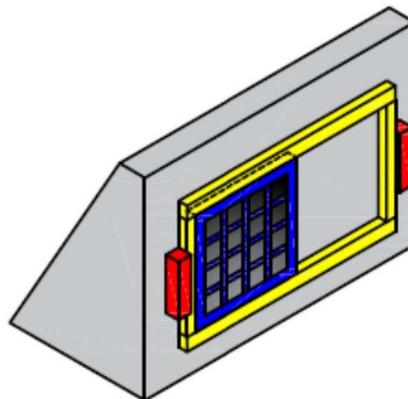


図 3-1 オペフロ BOP 閉止装置試験治具概念図

4. 加振試験

4.1 加振装置（三次元振動台）の概要

(1) 兵庫耐震工学研究センター

振動台の上に試験体を設置し、水平方向と鉛直方向を同時に加振する。表 4-1 に振動台の仕様、図 4-1 に三次元振動台の概要図、図 4-2 に試験体の鳥瞰図を示す。

表 4-1 三次元振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
振動台寸法	20 m×15 m		
最大積載重量	1200 tf		
加振方向	X方向	Y方向	Z方向
最大加速度	900 cm/s ²	900 cm/s ²	1500 cm/s ²
最大速度	200 cm/s	200 cm/s	70 cm/s
最大変位	±100 cm	±100 cm	±50 cm

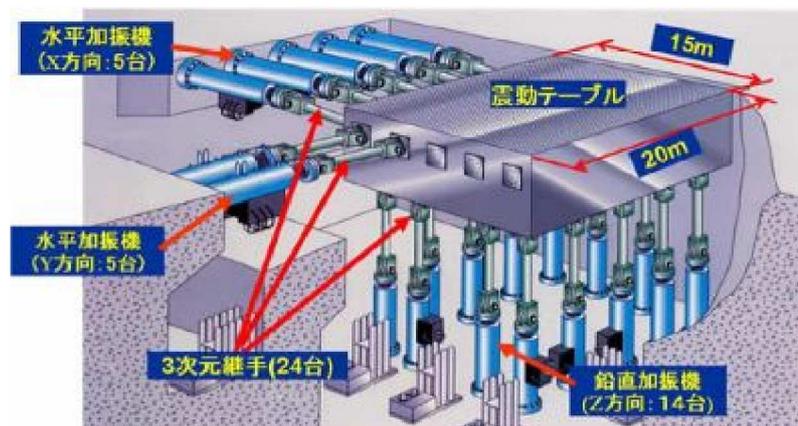


図 4-1 三次元振動台の概要図

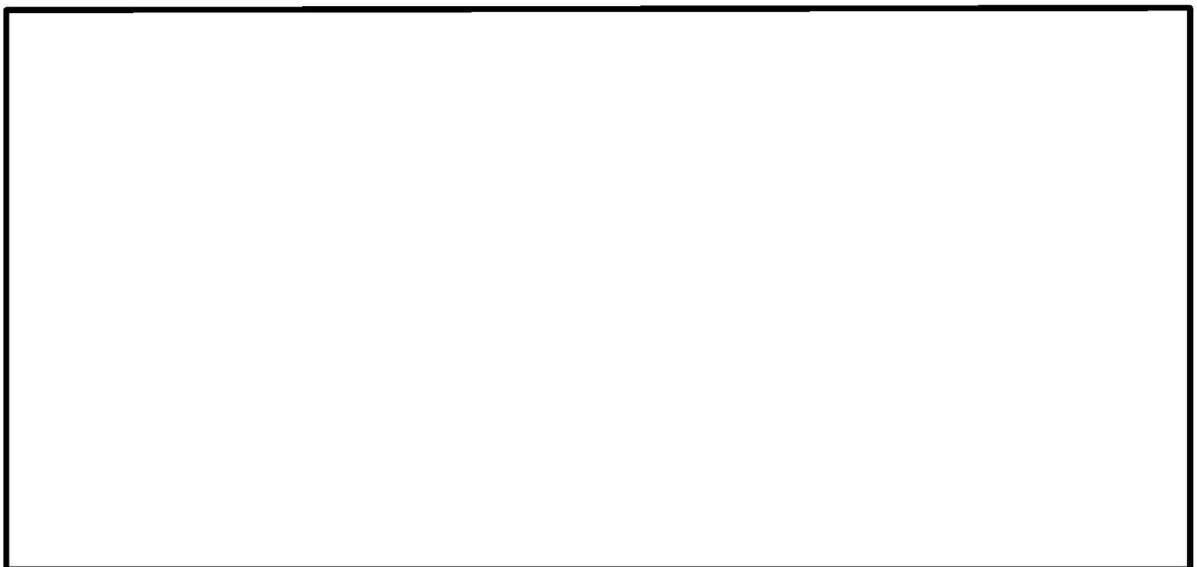


図 4-2 試験体の鳥瞰図

4.2 加振波

(1) オペフロ BOP 閉止装置の基準地震動 S_s 加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。図 4-3, 図 4-4 に, 複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波の時刻歴波形, 床応答スペクトルを示す。

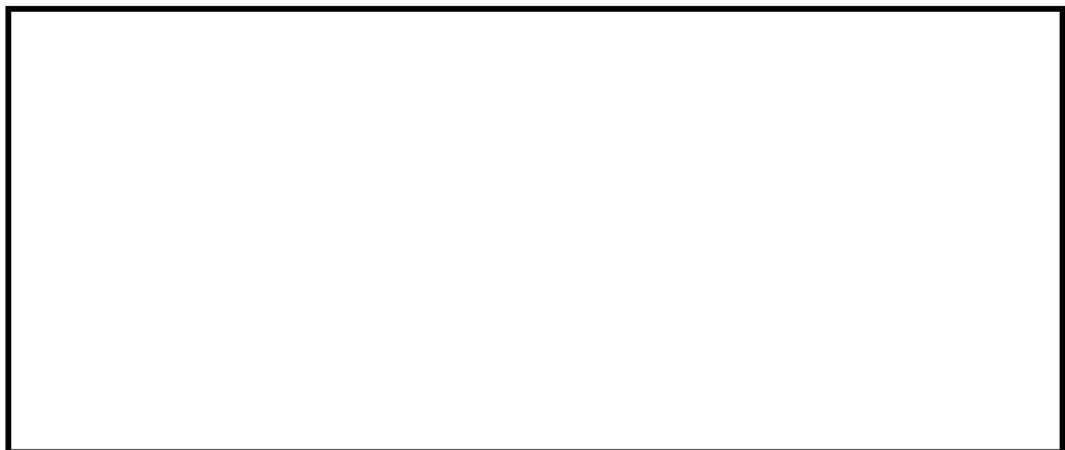
- ・オペフロ BOP 閉止装置の設置高さより上方の原子炉建屋 T. M. S. L. m
- ・基準地震動 S_s 8 波及び建屋影響評価で考慮するばらつきケースを包絡
- ・加振目標の包絡スペクトルは減衰定数 % で設定



(1) 水平 (NS) 方向



(2) 水平 (EW) 方向

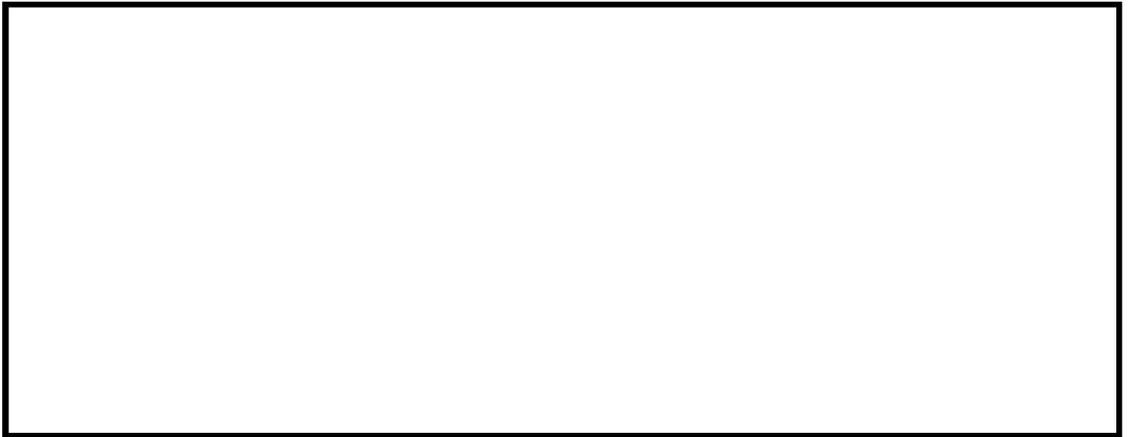


(3) 鉛直方向

図 4-3 模擬地震波の時刻歴波形



(1) 水平 (NS) 方向



(2) 水平 (EW) 方向



(3) 鉛直方向

図 4-4 入力波の応答スペクトル (減衰定数 %)

注記* : 振動台の性能を考慮し, オペフロ BOP 閉止装置の固有周期近傍の加速度に影響を及ぼさない長周期側の加速度を低減処理した入力地震動にて試験を実施する。

4.3 加振試験項目及び内容

加振試験ケースの項目，概要は以下のとおりである。各試験ケースの扉の試験体条件（オペフロ BOP 閉止装置の開閉状態），加振波等を表 4-1 に示す。

(1) 振動台補償加振

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振を行う。本試験は，試験体を振動台に搭載しない条件で行う。

(2) センサ確認試験

センサの取付方向，感度確認を行うために，各方向単独で正弦波加振を行う。

(3) 振動特性把握試験

試験体の振動特性を把握するため，オペフロ BOP 閉止装置では□～□程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波による加振試験を行う。加振方向は各方向単独とし，扉の開状態及び閉状態の振動特性を確認する。なお，試験体の固有振動数が高い場合は，入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数がないことを確認する。

(4) 地震波加振試験

オペフロ BOP 閉止装置では，加振方向は 3 方向同時とし装置の開状態，閉状態のそれぞれで実施する。

表 4-1 試験ケース一覧 (オペフロ BOP 閉止装置)

	試験項目	試験体条件	加振方向	加振波	加振レベル	備考
—	振動台補償加振	—	X+Y+Z	—	—	—
1	センサ確認試験	扉閉	X	正弦波	1.0 m/s ² 程度	—
2			Y			
3			Z			
4	振動特性把握試験	扉閉	X	ランダム波*1	2.0 m/s ² 程度	—
5			Y			
6			Z			
7	振動特性把握試験	扉閉	X	ランダム波*1	2.0 m/s ² 程度	—
8			Y			
9			Z			
10	地震波加振試験	扉閉	X+Y+Z	包絡波*2	<input type="text"/>	—
11					<input type="text"/>	—
12					<input type="text"/>	—

注記 *1: ～程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波で加振を行う。

*2: 水平, 鉛直方向毎に複数の基準時振動 (S_s) の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波を作成して加振。

4.4 計測要領

4.4.1 計測項目

(1) オペフロ BOP 閉止装置の計測項目

計測項目は，試験体の代表的挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を表 4-2 に示す。

表 4-2 オペフロ BOP 閉止装置計測項目

項目	計測点
加速度	<ul style="list-style-type: none">・ 振動台・ 支持架台・ 扉・ 扉の駆動装置
ひずみ	<ul style="list-style-type: none">・ 扉・ プッシュローラ（開閉時に扉の面外方向を抑える部位）・ レール（ハンガーレール，下部ガイドレール）・ チェーン（エンドボルト）・ 門周辺（門の荷重を伝達する部位）

4.4.2 計測位置

(1) オペフロ BOP 閉止装置の計測位置

計測点は、試験体の代表的な挙動を評価する位置に設置する。表 4-3 に計測項目の一覧表を示す。

① 加速度

図 4-5, 図 4-6 に加速度計の設置位置を示す。

② ひずみ

図 4-7 から図 4-11 にひずみゲージの設置位置を示す。

4.4.3 測定計器

オペフロ BOP 閉止装置の試験に使用する測定計器を表 4-4 に示す。

表 4-3 オペフロ BOP 閉止装置加振試験計測項目の一覧表 (1/2)

No.	項目	記号	測定点	方向	備考		
1	加速度	A1-1	振動台	X	<ul style="list-style-type: none"> 振動台上加速度を計測 扉開／閉位置における扉中心位置と同じ Y 軸の振動台上に設置 		
2				Y			
3				Z			
4				A2-1		X	
5						Y	
6						Z	
7		A1-2	下部ガイド レール	X	<ul style="list-style-type: none"> 下部ガイドレール上加速度を計測 支持架台による加速度増幅の確認が目的 測定点 A1-1, A2-1 と同じ Y 軸位置の下部ガイドレールに設置 		
8				Y			
9				Z			
10				A2-2		X	
11						Y	
12						Z	
13		A1-3	支持架台 (A1-2, A2-2 裏側)	X	<ul style="list-style-type: none"> 支持架台上加速度を計測 支持架台による加速度増幅の確認が目的 測定点 A1-2, A2-2 と同じ高さ位置の支持架台に設置 		
14				Y			
15				Z			
16				A2-3		X	
17						Y	
18						Z	
19		A3	扉上部(開時)	X	<ul style="list-style-type: none"> 閉時, 開時の扉上部の支持架台に設置 閉時, 開時の BOP 閉止装置の機能維持確認 済加速度の計測が目的 支持架台の振動特性確認も兼ねる 		
20				Y			
21				Z			
22				A4		X	
23						Y	
24						Z	
25		A5	扉の駆動装置 本体	X	<ul style="list-style-type: none"> 扉の駆動装置単体の機能維持確認加速度 の計測が目的 扉の駆動装置の振動特性確認も兼ねる 		
26				Y			
27				Z			
28		A6	扉の駆動装置 の取付位置	X			
29				Y			
30				Z			
31		A7	扉の中央	X	<ul style="list-style-type: none"> 扉の振動特性, 地震応答の確認が目的 		
32				Y			
33				Z			
34				A8		扉の右・中央	X
35				A9		扉の左・中央	X

前項の続き

36		A10	扉中央(上部)	X	
37				Y	
38		A11	扉中央(下部)	X	
39				Y	

表 4-3 オペフロ BOP 閉止装置加振試験計測項目の一覧表 (2/2)

No.	項目	記号	測定点	備考
40	ひずみ	S1	プッシュローラ (扉開時)	・ 扉閉時, 開時におけるプッシュローラのひずみを計測
41		S2		
42		S3		
43		S4		
44		S5	プッシュローラ (扉閉時)	
45		S6		
46		S7		
47		S8		
48		S9	レール (ハンガーレール, 下部ガイドレール)	・ S9, S10 は, 扉開時のローラ付近のレールのひずみを計測 ・ S11, S12 は, 扉閉時のローラ付近のレールのひずみを計測
49		S10		
50		S11		
51		S12		
52		S13	チェーン (エンドボルト)	・ チェーンの固定端付近(エンドボルト)を計測
53		S14		
54		S15	門周辺 (扉開時)	・ 閉時, 開時における門の荷重が伝達する部位のひずみを計測
55		S16		
56		S17		
57		S18		
58		S19	ハンガーローラのリンク部	・ 鉛直方向の扉の荷重が伝達する部位のひずみを計測
59		S20		
60		S21		
61		S22	扉・中央の梁	・ S22 は水平方向, S23 は鉛直方向の扉中央のひずみを計測
62	S23			

表 4-4 オペフロ BOP 閉止装置加振試験測定計測器一覧表

No.	用途	計測器名称	メーカ (型式)	仕様
1	動作試験 (扉開閉, 門押上げ挿入速度測定)	ストップウォッチ		
2	動作試験 (モータ電流値測定)	デジタルクランプ メータ		
3	気密性能試験	デジタル圧力計 (差圧計)		
4		デジタル圧力計 (差圧計)		
5		圧力計 (絶対圧)		
6		熱式風速計		
7		ガラス製単管温度計		
8	加振試験	加速度計		
9		加速度計		
10		ひずみゲージ		

注記* : RO (Rated Output) : 定格出力

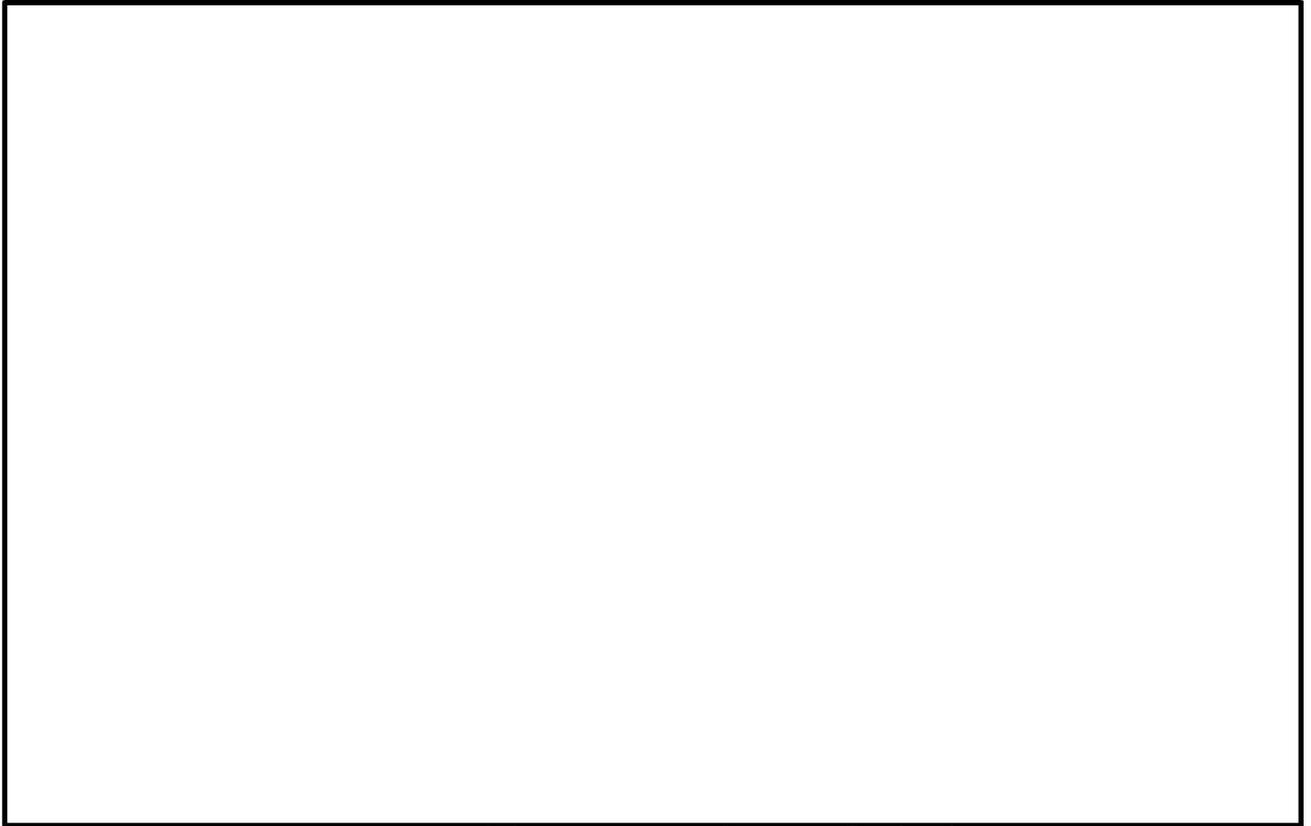


図 4-5 加速度計の設置位置 (振動台, 支持架台)

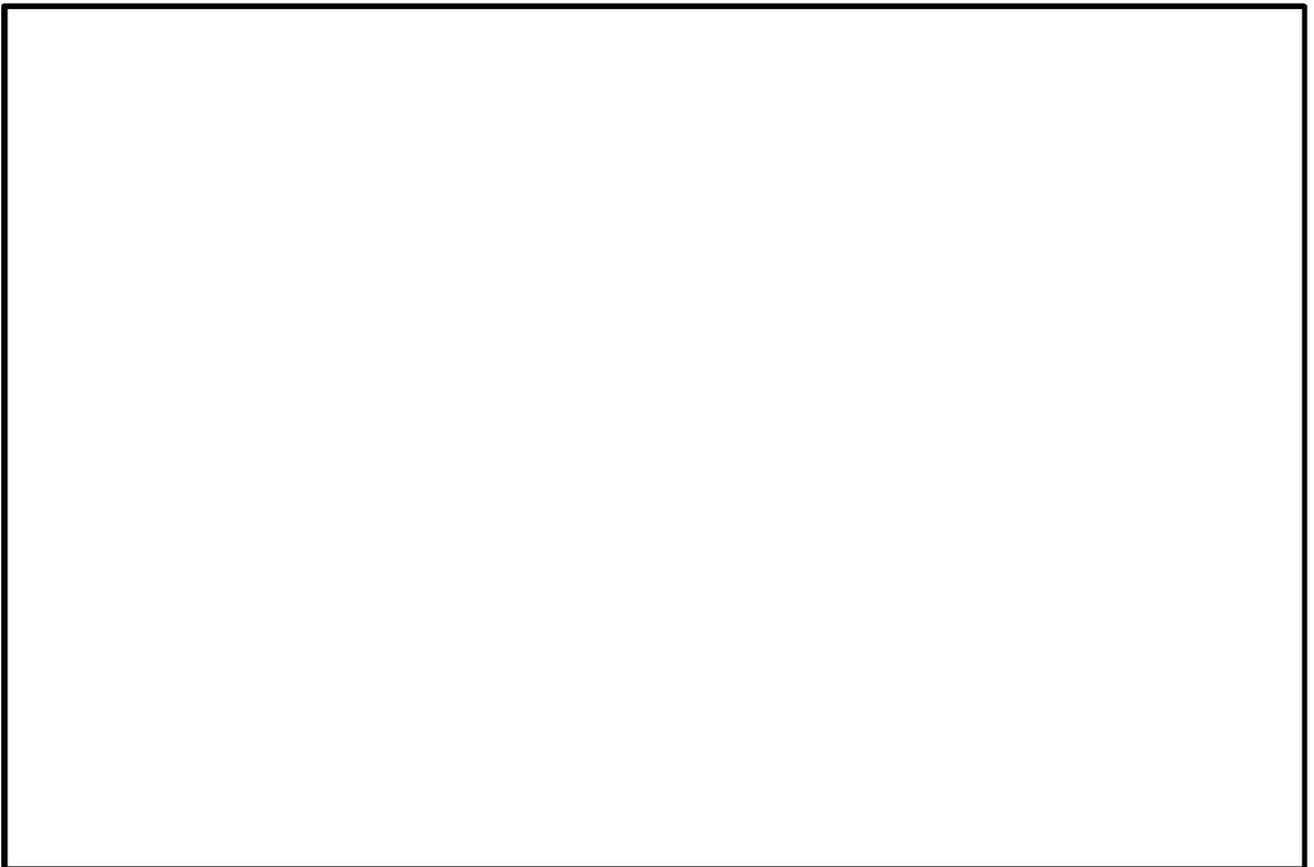


図 4-6 加速度計の設置位置 (扉, 駆動装置)

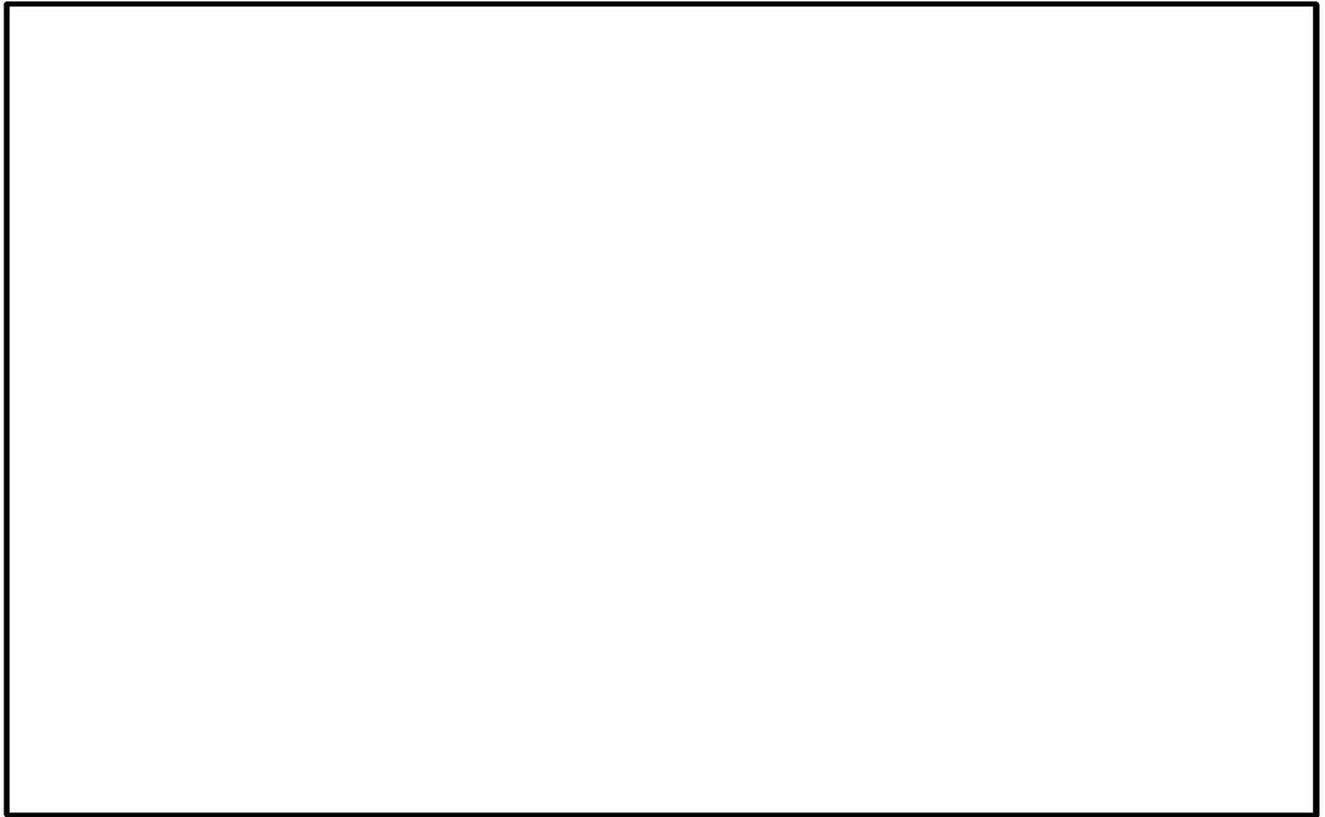


図 4-7 ひずみゲージの設置位置 (プッシュローラ)

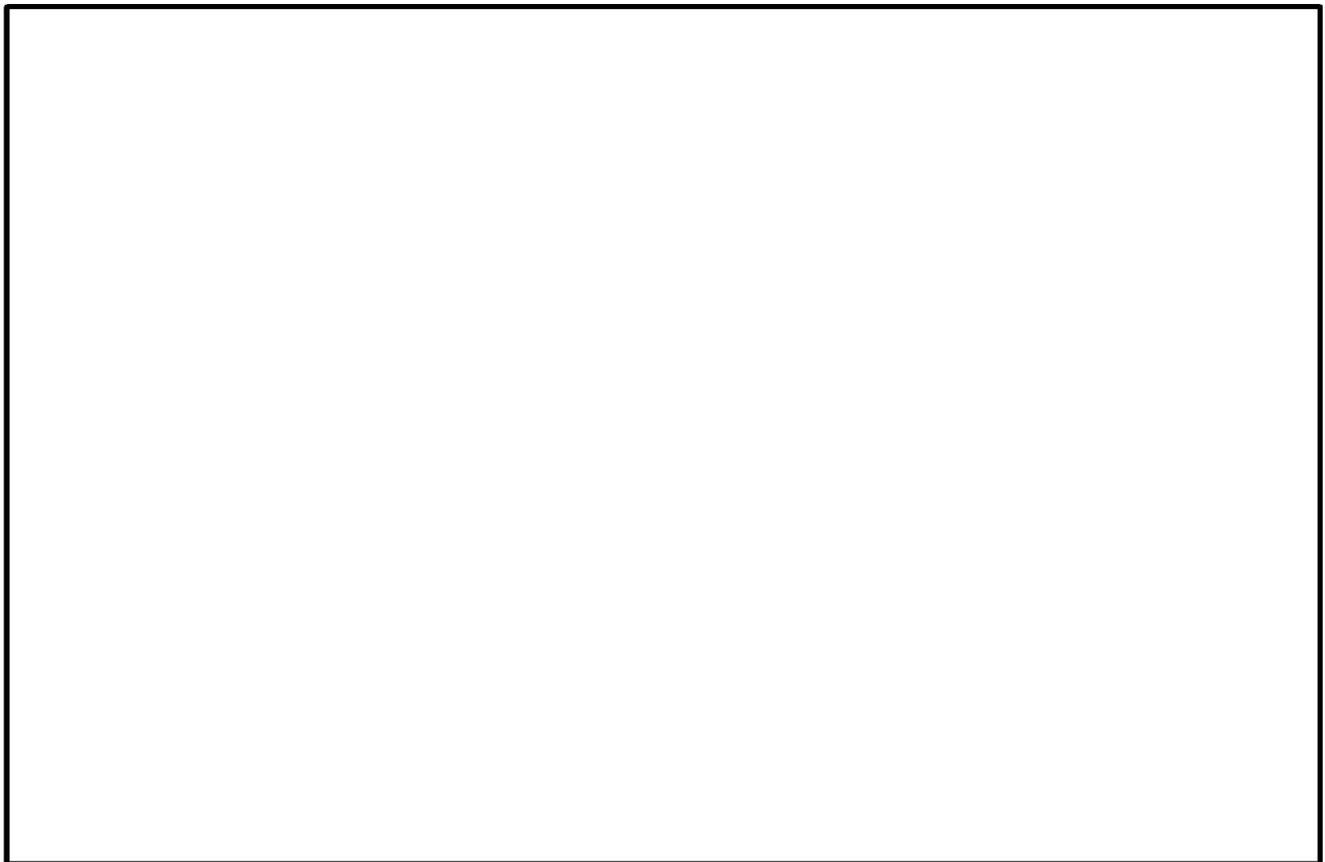


図 4-8 ひずみゲージの設置位置 (ハンガーレール, 及び下部ガイドレール)

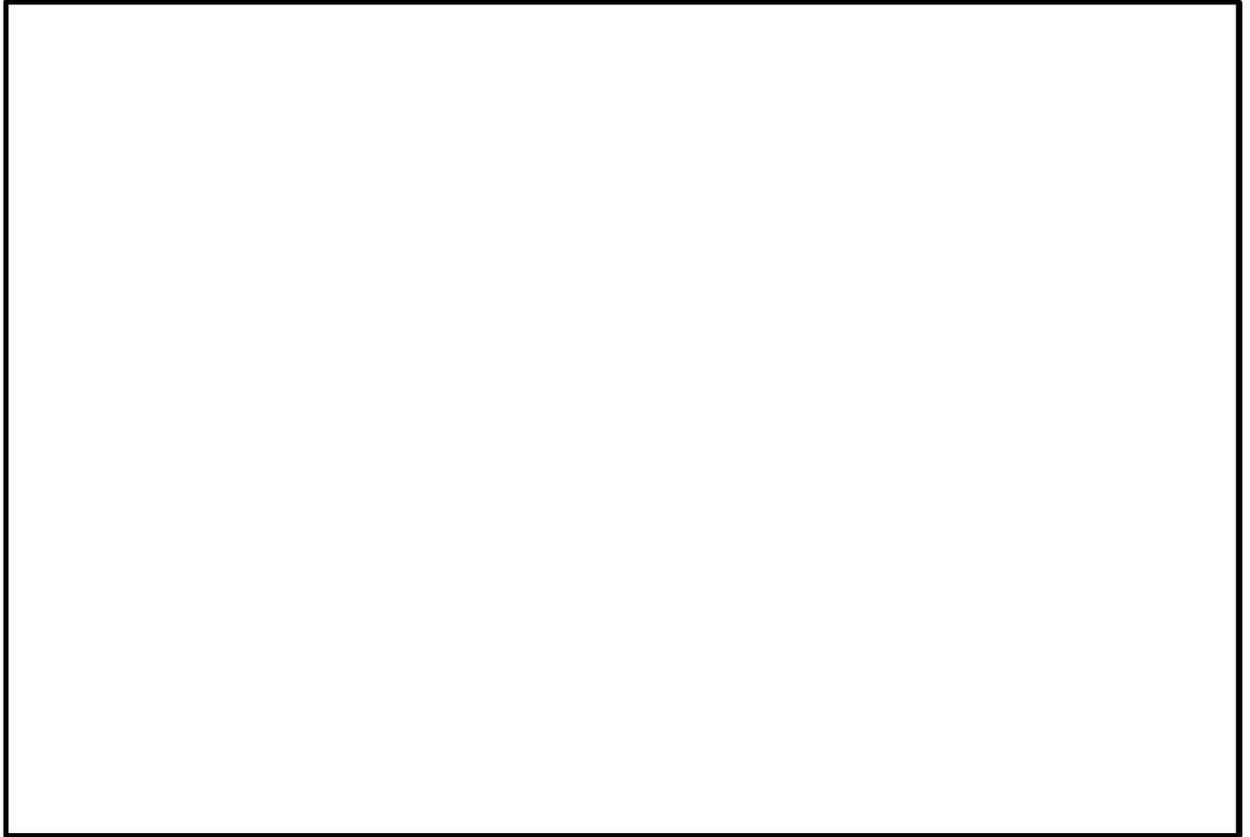


図 4-9 ひずみゲージの設置位置 (チェーンのエンドボルト, 門周辺)

注1) 本図では, 扉, モータ等を表示しておらず, 開時のチェーン端付近にS13, S14の記号を表示。

注2) チェーンのエンドボルト(S13, S14), 及び門周辺(開時にS15, S16, 閉時にS17, S18)のひずみを計測。



図 4-10 ひずみゲージの設置位置 (ハンガーローラ)

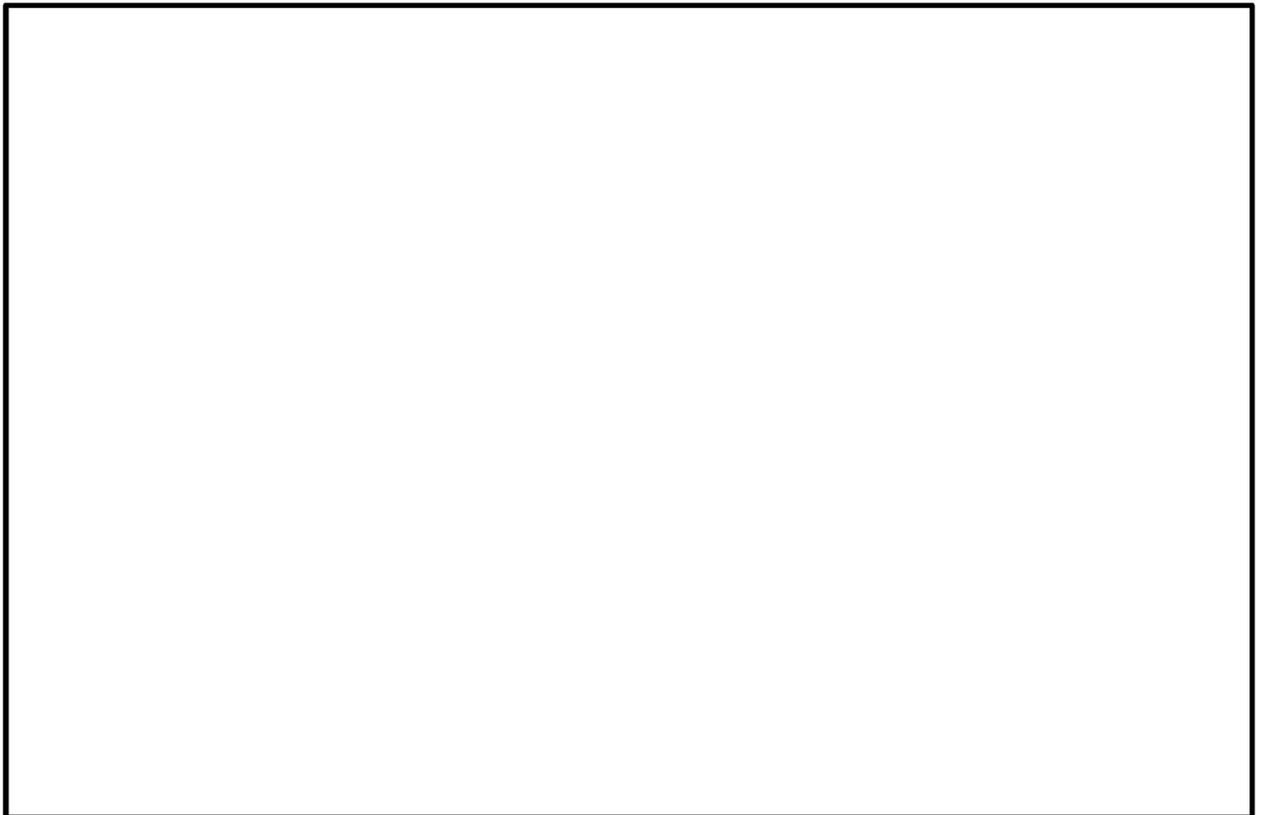


図 4-11 ひずみゲージの設置位置 (扉)

5. 試験要領

5.1 オペフロ BOP 閉止装置加振試験手順

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振の後、試験体を振動台に搭載し、下記の手順で加振及び加振後の作動試験、気密性能試験を実施する。

- (1) 加振試験の準備として、センサ（加速度計及びひずみゲージ）が所定の位置に設置されていることを確認する。また、測定計器の仕様が適切であることを確認する。
- (2) センサ確認試験を以下の手順で実施する。
 - ① 加振レベル 0.5 m/s^2 程度、振動数 ～ にて、各方向単独で正弦波加振を行う。
 - ② センサの取付方向、感度を確認する。
- (3) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① オペフロ BOP 閉止装置の扉が開放状態であることを確認する。
 - ② 加振レベル 2.0 m/s^2 程度にて、各方向単独で、 ～ 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波の加振を行う。
 - ③ 試験体の固有振動数を測定し、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数の有無を確認する。
 - ④ オペフロ BOP 閉止装置の扉を閉止状態とし、(3) ②、③ を実施する。

【オペフロ BOP 閉止装置の扉開放状態における加振試験】

- (4) 地震波 () 加振試験を以下の手順で実施する。
 - ① オペフロ BOP 閉止装置の扉が開放状態であることを確認する。
 - ② センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い、異常のないことを確認する。
 - ③ 3方向同時加振の包絡波による地震波 () で加振する。
 - ④ 加振後、採取データを確認する。
 - ⑤ 作動試験(扉開から閉操作のみ)を「5.4.1(1) 作動試験」のとおり実施する。
 - ⑥ 気密性能試験を「5.3(1) 気密性能試験」のとおり実施する。
 - ⑦ 作動試験を「5.4.1(1) 作動確認」のとおり実施する。

【オペフロ BOP 閉止装置の扉閉止状態における加振試験】

オペフロ BOP 閉止装置の扉を閉止状態とし、加振試験を実施する。ただし、下記に読み替える。

- ・扉の開放状態を閉止状態

5.2 気密性能試験について

(1) 気密性能試験

A S T M E283-4 (Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen) に準じた装置を用いて実施する。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、試験体のシール部から試験容器へ流入す

る通気量を測定する。

図 5-1 にオペフロ BOP 閉止装置気密性能試験装置図，図 5-2 にオペフロ BOP 閉止装置試験体の内のり寸法図を示す。

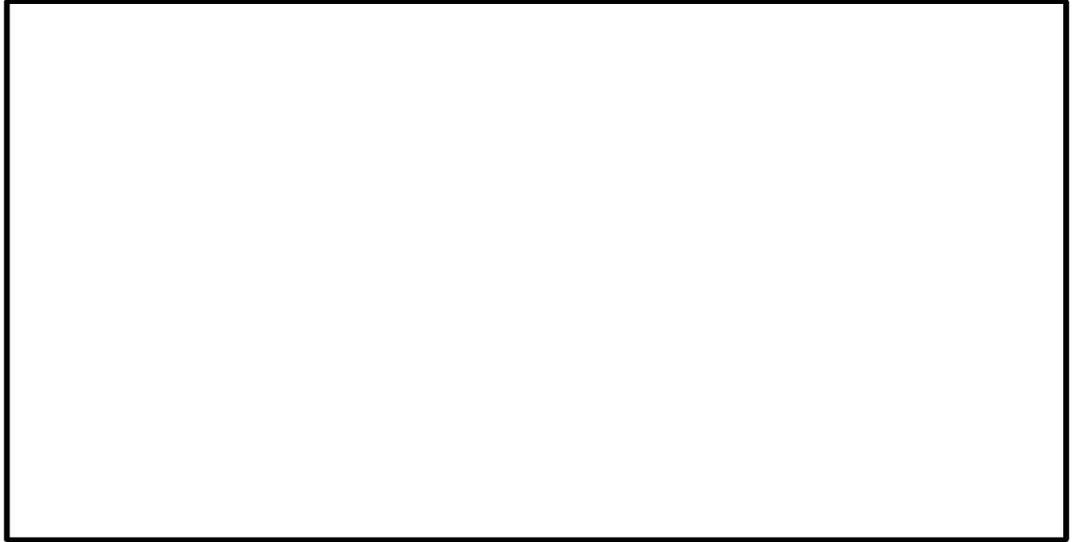


図 5-1 オペフロ BOP 閉止装置気密性能試験装置図

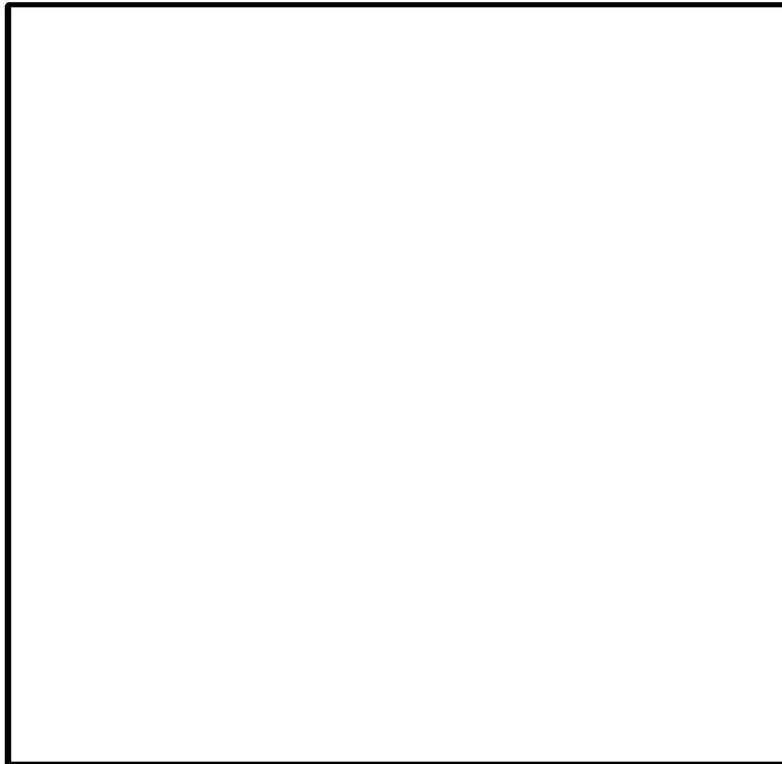


図 5-2 オペフロ BOP 閉止装置試験体の内のり寸法図

試験体を通過した空気量 Q (m³/h) は、風速計の風速 V (m/s)、風量測定管の直径 d (m) から算出する。

$$Q = V \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times 3600$$

試験手順は、「J I S A 1516 (建具の気密性試験方法) 6.3 試験手順」に準じて(ただし、予備加圧後の開閉確認は省略する。), 負圧での圧力差 , , , , , と上げ, , , , , と下げていく* (保持時間 1 分)。通気方向は 1 方向 (負圧) とする。(図 5-3 負圧試験線図)

注記 * : 負圧を維持できる範囲で試験を実施する。



図 5-3 負圧試験線図

試験により得られた試験体を通過した空気量 Q (m³/h) を、標準状態 (20 °C, 1013 hPa) に換算し、扉の内側の面積 (m²) で除すことにより、単位面積当たり、1 時間当たりの通気量 (m³/h・m²) として算出する。圧力差に応じた通気量の推移を確認する。

$$q = Q' / A$$

ここで、

q : 通気量 (m³/h・m²)

A : 試験体の内側の面積 (m²)

Q' : 通過した空気量 (20 °C, 1013 hPa 換算値) (m³/h)

$$Q' = Q \cdot \frac{P}{1013} \cdot \frac{273 + 20}{273 + T}$$

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 (°C)

(2) 判定基準

通気量 : 以下* (差圧 時)

注記 * : 閉止装置単体の判定基準（設計目標）としては、J I S A 1516 で示される A4 等級以上とする。なお、原子炉建屋原子炉区域全体としての気密性能は確保できることを確認する。試験体は、実機に取り付ける全ての閉止装置を考慮し、各々の縦・横寸法を包絡する大きさと製作することにより試験の保守性を確保する。

5.3 作動確認について

5.3.1 作動確認

(1) オペフロ BOP 閉止装置

【電動作動確認】

オペフロ BOP 閉止装置の門引抜きから扉閉閉、門挿入一連の動作を扉の作動確認として、動作可能であることを確認する。併せて、作動時に電動機が定格電流値以下であることを確認するため、電流測定及び開閉時間を測定する。なお、開操作と閉操作は原則各 1 回とするが、初期状態との差異があると判断した場合は、各 5 回計測し、最も保守的な値を判定基準に用いる。なお、電動作動時間については次のとおりとする。

- ・連動動作（扉閉）：操作盤の自動閉スイッチを押してから、門引抜き、扉が閉止動作を行い、門が挿入され、操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間
- ・連動動作（扉開）：操作盤の自動開スイッチを押してから、門引抜き、扉が開放動作を行い、門が挿入され、操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

また、オペフロ BOP 閉止装置の門が引抜き、挿入できることを確認する。併せて、作動時に電動機が合格基準値以下であることを確認するため電流測定及び開閉時間を測定する。なお、開操作と閉操作は原則各 1 回とするが、初期状態との差異があると判断した場合は、各 5 回計測し、最も保守的な値を判定基準に用いる。なお、電動作動時間については次のとおりとする。

- ・門引抜き時間：操作盤の門引抜きのスイッチを押してから門が引抜かれ、操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間
- ・門挿入時間：操作盤の門挿入のスイッチを押してから門が挿入され、操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

【手動作動確認】

オペフロ BOP 閉止装置の扉が閉止状態での加振後、手動操作によりの門を引抜き、扉閉止、門を挿入できることを確認する。

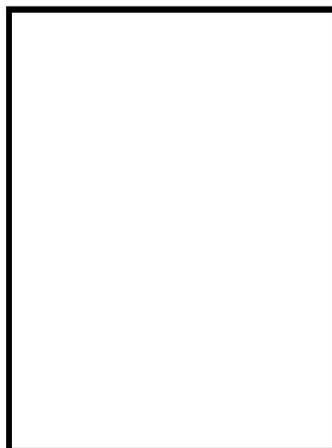


図 5-4 オペフロ BOP 閉止装置手動操作概念図

5.3.2 判定基準

(1) オペフロ BOP 閉止装置

【電動作動確認】

○扉

電動駆動により開閉できること。

扉の閉止：全閉位置であること。

開閉時間：

電流値：定格電流値以内であること。

※作動試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得する。

○門

門駆動モータにより門が引抜き、または挿入できること。

門の位置：門が挿入又は引抜き位置であること。

動作時間：

電流値：定格電流値以内であること。

※作動試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得する。

【手動作動確認】

手動操作により、門を引抜き、扉の閉止または開放、門を挿入の一連の動作ができること。

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果について

1. 試験結果

「試験要領」に基づき実施した燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「オペフロ BOP 閉止装置」という。）の試験結果概要を以下の表 1-1 に示す。

表 1-1 オペフロ BOP 閉止装置試験結果概要

区分	No	試験項目	目的/試験内容	結果
事前確認	1	センサ確認	加速度センサの動作確認	完了
	2	振動特性試験	ランダム波による閉状態での振動特性（固有値）確認	完了
作動確認 （加振無）	3	作動試験	電動での閉止装置作動確認	良好
気密性能確認 （加振無）	4	気密性能試験	気密性能確認	良好
加振試験	5	加振試験 1S_s （扉開） ・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）	良好
	6	加振試験 1S_s （扉閉） ・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	良好

2. 固有振動数

オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数を確認するため、扉が開状態と閉状態時に、各方向 (X, Y, Z 方向) 単独で、 Hz へ Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波 (加振レベル m/s² 程度) で加振し、オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数を確認した。オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数確認結果として、扉開状態では、X 方向 (面外方向)、Y 方向 (面内方向)、Z 方向 (鉛直方向) とともに明確な振動数ピークは確認されず、扉の固有振動数は Hz 以上と評価した。また扉閉状態では、X 方向 (面外方向) にのみピークが確認され、閉状態面外方向の固有振動数は、約 Hz (約 秒) と評価した。固有振動数を図 2-1 に示す。

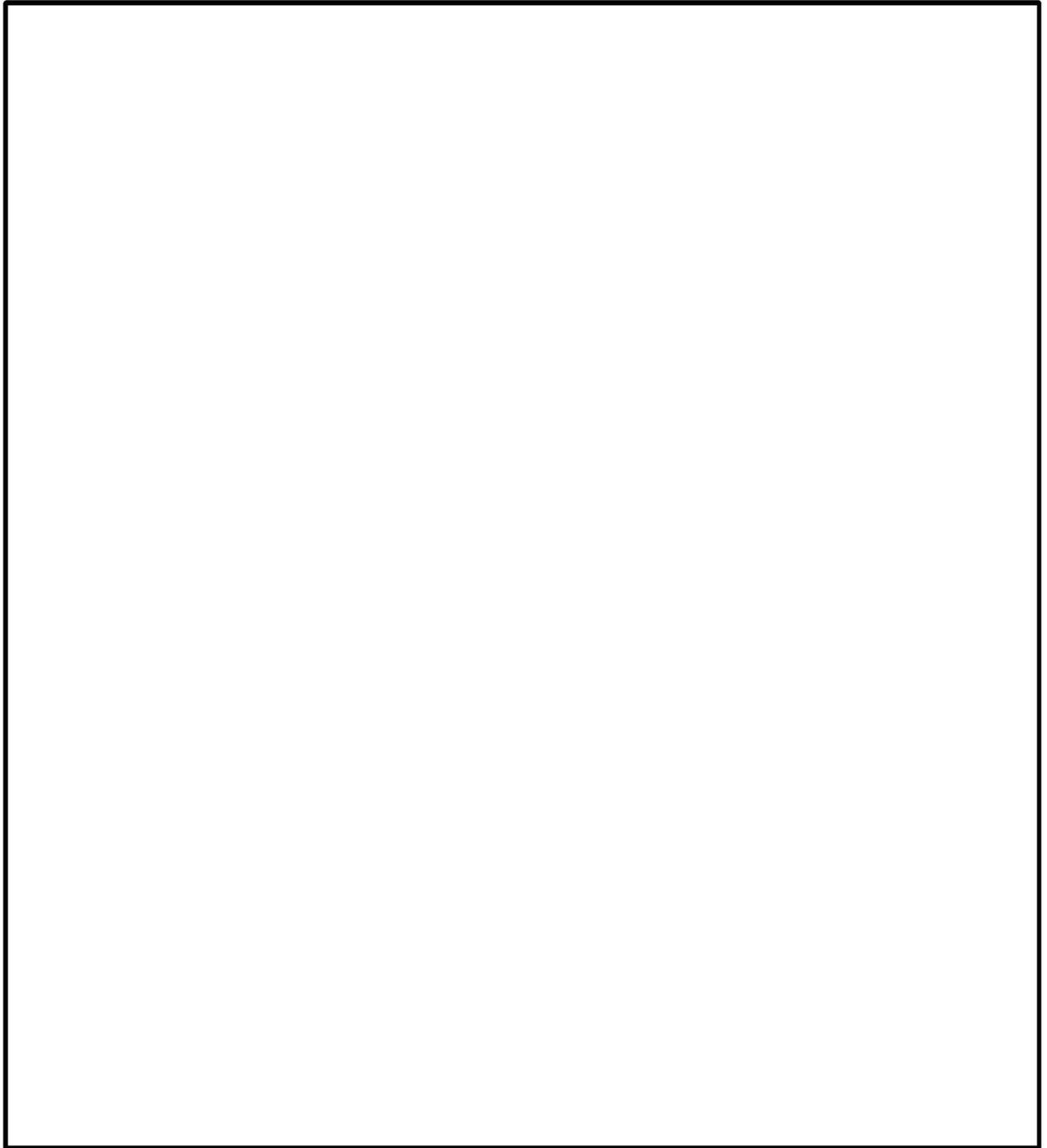


図 2-1 オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数

3. 加振試験加速度の妥当性

(1) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置の上部及び下部の最大加速度は、 S_s 包絡条件を超えており、必要な加振がされていることを確認した。加振レベル S_s の加速度結果を以下の表 3-1 から表 3-4 に示す。また加振時の応答スペクトルが設計応答スペクトルを超えていることを確認した。応答スペクトルの測定結果を図 3-1 から図 3-4 に示す。

表 3-1 扉「開」上部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A3(扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○

表 3-2 扉「開」下部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A1-1 (扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○

表 3-3 扉「閉」上部の加速度評価 (試験 No. 6)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A4(扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○

表 3-4 扉「閉」下部の加速度評価 (試験 No. 6)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A2-1 (扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	<input type="text"/> <	<input type="text"/>	○

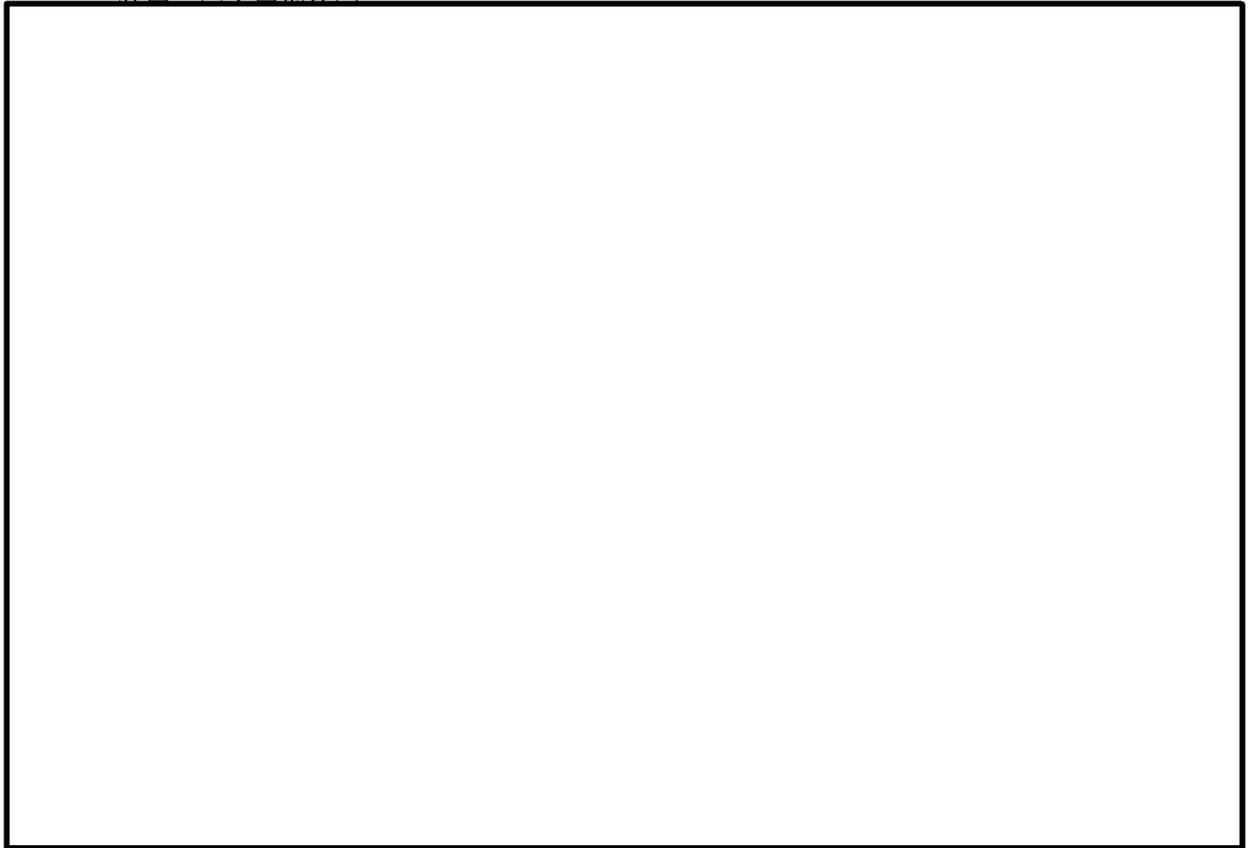


図 3-1 扉開 下部測定結果 (試験 No. 5)

図 3-2 扉開 上部測定結果 (試験 No. 5)

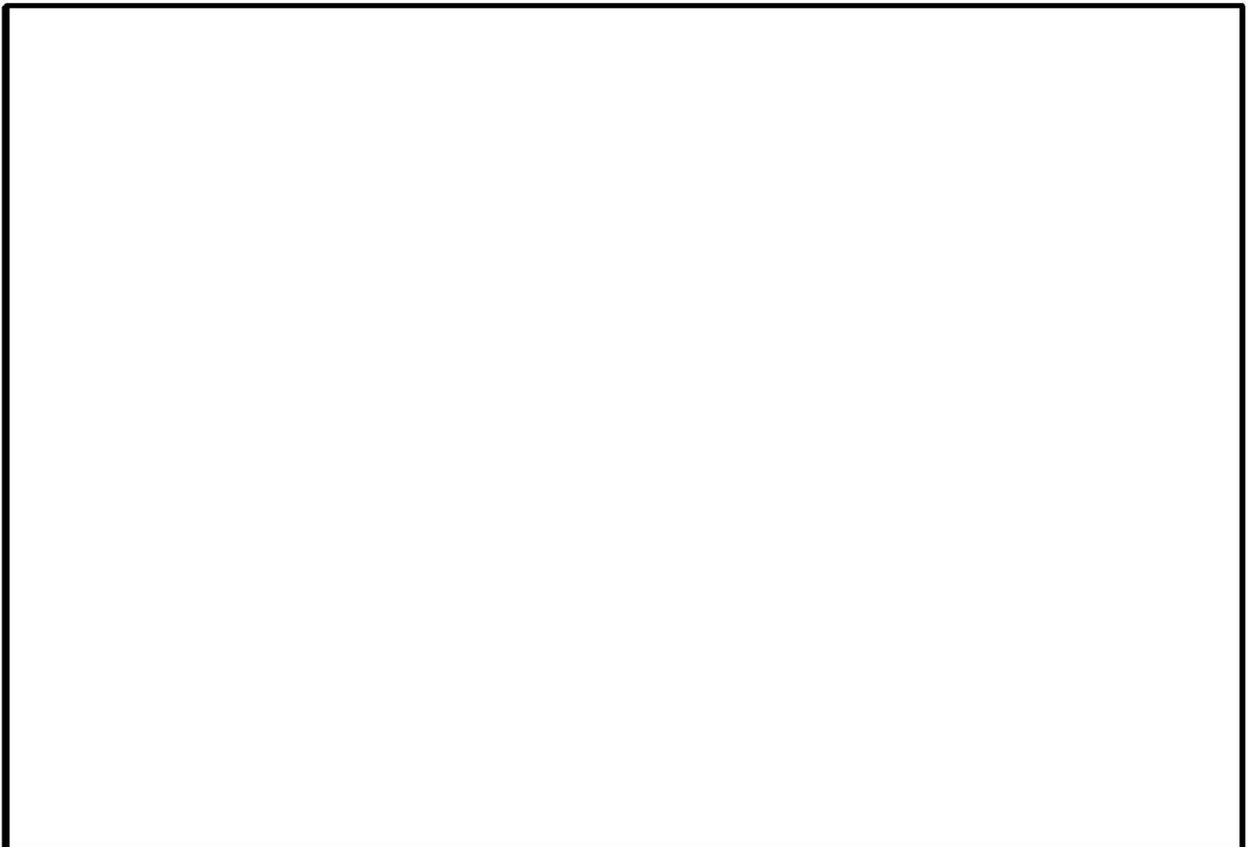


図 3-3 扉閉 下部測定結果 (試験 No. 6)

図 3-4 扉閉 上部測定結果 (試験 No. 6)

4. 加振試験結果

4.1 気密性能試験結果

オペフロ BOP 閉止装置気密性能試験の初期状態及び加振後については表 4-1 のとおり。加振後の漏えい量も十分に小さく、燃料取替床ブローアウトパネル部に適用し、既設原子炉建屋のインリーク量を考慮した場合でも、原子炉建屋としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。

表 4-1 オペフロ BOP 閉止装置加振後の気密漏洩試験

試験条件		通気量 [m ³ /h・m ²] (□ Pa 時)	備考
扉	加振		
開	初期状態	□	扉を閉止して試験実施
開	□ S _s	□	加振後に扉を閉止し試験
閉		□	扉閉状態での加振後の状態で試験

<原子炉建屋としての負圧達成について>

今回のオペフロ BOP 閉止装置の気密性能試験結果から、本装置を燃料取替床ブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建屋原子炉区域の負圧達成可否について評価した結果、非常用ガス処理系定格容量 (m³/h) は、推定漏えい量 m³/h を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて Pa 以上の負圧達成可能である。

- ・既設原子炉建屋の推定インリーク量：約 m³/h@ Pa
- ・オペフロ BOP 閉止装置 台の合計面積：約 m²
- ・オペフロ BOP 閉止装置 台設置時の推定インリーク量： m² × m³/h・m² = m³/h @ Pa
- ・非常用ガス処理系定格容量： m³/h@ Pa
- ・オペフロ BOP 閉止装置設置時の原子炉建屋原子炉区域の推定漏えい量：
 m³/h + m³/h = m³/h@ Pa < m³/h@ Pa
 (非常用ガス処理系定格容量)

4.2 扉作動試験

(1) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置加振前後の扉作動試験の結果は表 4-2、表 4-3 とおり。作動時間、電流値ともに設計目標値を満足しており、問題ないことを確認した。

表 4-2 オペフロ BOP 閉止装置加振前の扉作動試験結果

扉 (初期状態)	電動		手動
	時間	電流値	
	<input type="text"/> 秒以内 (目標値)	<input type="text"/> A以内 (定格値)	
開放→閉止	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/> A	—
閉止→開放	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/> A	—

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

表 4-3 オペフロ BOP 閉止装置加振後の扉作動試験結果

試験条件	扉 (初期状態)	電動				手動
		開放→閉止		閉止→開放		
		時間	電流値	時間	電流値	
		<input type="text"/> 秒以内 (目標値)	<input type="text"/> A以内 (定格値)	<input type="text"/> 秒以内 (目標値)	<input type="text"/> A以内 (定格値)	
<input type="text"/> S _s	開	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/> A	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/> A	—
	閉	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/> A	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/> A	閉→開 異常なし 開→閉 異常なし

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

4.3 門作動試験

(1) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置加振前後の門作動試験の結果は表 4-4、表 4-5 のとおり。作動時間、電流値ともに設計目標値を満足しており、問題ないことを確認した。

表4-4 オペフロBOP閉止装置加振前の門作動試験結果

門位置	電動				手動	
	引抜き時		挿入時		押上げ時	挿入時
	時間	電流値	時間	電流値		
	□秒以内 (目標値)	□A以内	□秒以内 (目標値)	□A以内		
扉開側	□秒	□A	□秒	□A	-	-
扉閉側	□秒	□A	□秒	□A	-	-

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

表4-5 オペフロBOP閉止装置加振後の門作動試験結果

試験条件	扉 (初期状態)	門位置	電動				手動	
			引抜き時		挿入時		引抜き時	挿入時
			時間	電流値	時間	電流値		
			□秒以内 (目標値)	□A以内	□秒以内 (目標値)	□A以内		
□S _s	開	扉開側	□秒	□A	□秒	□A	-	-
		扉閉側	□秒	□A	□秒	□A	-	-
	閉	扉開側	□秒	□A	□秒	□A	異常なし	異常なし
		扉閉側	□秒	□A	□秒	□A	異常なし	異常なし

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について

1. 概要

ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について説明する。

2. ブローアウトパネル関連設備の構成比較

ブローアウトパネル関連設備の構成比較について表 2-1 に示す。

表 2-1 ブローアウトパネル関連設備の構成比較

先行電力	柏崎刈羽 7 号機	差異の有無
原子炉建屋外側ブローアウトパネル	燃料取替床ブローアウトパネル	無
	主蒸気配管トンネル室ブローアウトパネル	有
ブローアウトパネル閉止装置	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置	無
ブローアウトパネル強制開放装置 (自主対策設備)	燃料取替床ブローアウトパネル強制開放装置 (自主対策設備)	無

2.1 差異箇所の詳細について

柏崎刈羽 7 号機には主蒸気配管トンネル室ブローアウトパネル（以下「MS トンネル室ブローアウトパネル」という。）があるが先行電力には設置されていない。先行電力は原子炉建屋 5 階及び 6 階にブローアウトパネルが 枚設置されており、主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を全て原子炉建屋外側ブローアウトパネルで原子炉建屋外へ逃がす設計としているが、柏崎刈羽 7 号機では原子炉建屋 4 階に設置される燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という）4 枚及び原子炉建屋 1 階に設置される MS トンネル室 BOP79 枚により、主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を原子炉建屋外へと逃がす設計としていることから相違しているものである。

3. オペフロ BOP の詳細設計に関する比較

先行電力で設置されている原子炉建屋外側ブローアウトパネルと柏崎刈羽 7 号機で設置するオペフロ BOP の設備詳細比較を表 3-1 に示す。

表 3-1 オペフロ BOP の設備詳細比較

項目	先行電力	柏崎刈羽 7 号機	差異の有無
パネル枚数	<input type="text"/>	4 枚	有
設計差圧	<input type="text"/>	3.43kPa	有
材料	<input type="text"/>	SS400	無
作動方式	<input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	有

クリップ仕様	[redacted]	[redacted]	有
すべり台	無	有	有
コーキング有 無	パネル外周をシール材により コーキング	パネル外周をシール材によりコ ーキング	無

3.1 差異箇所の詳細について

(1) パネル枚数について

パネル枚数については2.1項でも前述の通り、柏崎刈羽7号機では主蒸気管破断事故時に蒸気を逃がす箇所がMSトンネル室側にも存在する為、設置枚数が減少している。

(2) 設計差圧について

設計差圧については2.1項でも前述の通り、柏崎刈羽7号機では主蒸気管破断事故時に蒸気を逃がす箇所がMSトンネル室側にも存在する為、オペフロBOPまで到達する蒸気圧が低くなっており設計差圧が小さくなっている。

(3) クリップの個数について

クリップの個数については、弾性設計用地震動による地震力や設計差圧を考慮してクリップを左右対称に配置する観点から、[redacted]
[redacted]としている。

(4) クリップ仕様について

クリップ仕様については先行電力では材質を[redacted]としているが、耐食性の向上を目的として柏崎刈羽7号機では[redacted]に材質を変更している。

(5) すべり台について

パネルと躯体の摩擦力を低減させるため、パネル及び躯体にステンレス製のすべり台を2箇所設置している。

4. クリップ引張試験に関する比較

先行電力で実施されているクリップ引張試験と柏崎刈羽7号機で実施されているクリップ引張試験の比較を表4-1に示す。

表4-1 クリップの引張試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽7号機	差異の有無
試験方法	オートグラフ試験機 変位制御(引張速度 1mm/min) クリップ変位:変位計にて測定 ひずみ:ひずみゲージにて測定	オートグラフ試験機 変位制御(引張速度 2mm/min) クリップ変位:変位計にて測定 ひずみ:ひずみゲージにて測定	有

試験体数	30 体	幅約 75 mm : 3 体 幅約 37.5 mm : 3 体	有
------	------	------------------------------------	---

4.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験方法について

引張速度は十分小さなひずみ速度となるようにするために設定するが、先行電力と柏崎刈羽 7 号機ではクリップの寸法が異なることから引張速度を変更している。

(2) 試験体数について

試験体数は柏崎刈羽 7 号機では建築構造部材の耐力試験等で一般的に用いられている 3 体としている。

5. オペフロ BOP の試験に関する比較

先行電力で実施されている原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放確認試験と柏崎刈羽 7 号機で実施されているオペフロ BOP の開放確認試験に関する比較を表 5-1 に示す。

表 5-1 オペフロ BOP の開放確認試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽 7 号機	差異の有無
試験装置	油圧ジャッキ 4 体にて加力	油圧ジャッキ 4 体にて加力	無
試験回数	2 回	3 回	有
試験体数	3 体	3 体	無
試験用パネル	実機に設置されているパネルのうち、最大の物と同一	実機と同一	有
動作確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	無

5.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験回数について

先行電力では、開放確認の 1 回とその再現性を確認するための 1 回の合計 2 回としている。柏崎刈羽 7 号機ではクリップ引張試験と同様に 3 回の試験をしている。

(2) 試験用パネルについて

試験用パネルについては先行電力では、実機に設置されているパネルサイズが数種類あり、そのうちの最大のものを採用しているのに対して、柏崎刈羽 7 号機ではパネルサイズが 1 種類であることから実機と同一としている。

6. 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の詳細設計に関する比較

先行電力で設置されているブローアウトパネル閉止装置と柏崎刈羽第 7 号機で設置する燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「オペフロ BOP 閉止装置」という）の設備詳細比較を表 6-1 に示す。

表 6-1 オペフロ BOP 閉止装置の設備詳細比較

項目	先行電力	柏崎刈羽 7 号機	差異の有無
材料 (扉)	□	□	無
台数	□	□	有
門の構造	電動シリンダ	電動シリンダ+シャフト □	有
門の作動方式	自重	自重+電動	有
門のギャップ	□	□	有
ハンガーレール	□	□	有
ガイドレール	□	□	有
テーパブロック	□	□	有
チェーン材料	□	□	有
作動方式	電動 (手動)	電動 (手動)	無
手動操作方式	ワイヤー	クランクハンドル	有

6.1 差異箇所の詳細について

(1) 材料について

チェーンに使用した材料は先行プラントの□から、柏崎刈羽 7 号機では耐候性を考慮して□に変更している。

(2) 台数について

台数については 2.1 項で前述の通り、ブローアウトパネルの枚数に違いがあり、柏崎刈羽 7 号機では□台となっている。

(3) 手動操作方式について

先行電力ではブローアウトパネル閉止装置の近傍にアクセスが難しいことからワイヤーを用いた遠隔操作で手動操作を行うこととしているが、柏崎刈羽 7 号機ではオペフロ BOP 閉止装置近傍までアクセス可能なことから電動機を直接クランクハンドルを用いて操作する手動操作方式としている。

(4) 門の構造について

先行電力では電動シリンダを上昇/下降させることで門機構部をガイドに沿って動作させる構造としているが、柏崎刈羽 7 号機では門機構部にシャフトを□追加することで、門ピンの挿入精度を向上させた。これにより、門のギャップも先行プラントの□から柏崎刈羽 7 号機では□に変更している。

また、先行電力では電動シリンダを下降させることで、自重で門機構部が下降する構造としていたが、柏崎刈羽7号機では強制引込構造を追加することで、自重に加え、電動シリンダの動力で強制的に下降させることも可能な構造に変更している。

(5) 部材の構造について

耐震性の向上を目的として、柏崎刈羽7号機のオペフロ BOP 閉止装置を構成する部材の一部寸法を先行電力のブローアウトパネル閉止装置から変更している。

7. オペフロ BOP 閉止装置の加振試験・気密試験に関する比較

先行電力で実施されているブローアウトパネル閉止装置の加振試験、気密試験と柏崎刈羽7号機で実施されているオペフロ BOP 閉止装置の加振試験、気密試験に関する比較を表 7-1 に示す。

表 7-1 オペフロ BOP 閉止装置の加振試験・気密試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽7号機	差異の有無
試験装置	3次元振動台（兵庫耐震工学研究センター）	3次元振動台（兵庫耐震工学研究センター）	無
加振波	① オペフロ BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ② 建屋影響評価等のばらつきを包絡 ③ 減衰定数 <input type="text"/>	① オペフロ BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ② 建屋影響評価等のばらつきを包絡 ③ 減衰定数 <input type="text"/>	無
振動特性把握試験	実施	実施	無
加振試験方法（扉開状態）	① 扉開状態加振後に扉閉動作 ② 扉閉状態で気密試験 ③ 扉開動作・閉動作	① 扉開状態加振後に扉閉動作 ② 扉閉状態で気密試験 ③ 扉開動作・閉動作	無
加振試験方法（扉閉状態）	① 扉閉状態加振 ② 気密試験 ③ 扉開動作・閉動作	① 扉閉状態加振 ② 気密試験 ③ 扉開動作・閉動作	無
加速度測定箇所	① 振動台 ② 支持架台 ③ 扉 ④ 駆動装置	① 振動台 ② 支持架台 ③ 扉 ④ 駆動装置	無
ひずみ測定箇所	① プッシュローラ ② レール（ハンガーレール，下部ガイドレール） ③ チェーン（エンドボルト） ④ 門周辺	① プッシュローラ ② レール（ハンガーレール，下部ガイドレール） ③ チェーン（エンドボルト） ④ 門周辺	無

加振後の作動確認（電動）	<ul style="list-style-type: none"> 扉の開閉，門の引抜/挿入を確認 電動機の電流値，扉及び門の動作時間を測定 	<ul style="list-style-type: none"> 扉の開閉，門の引抜/挿入を確認 電動機の電流値，扉及び門の動作時間を測定 	無
加振後の作動確認（手動）	<ul style="list-style-type: none"> 扉の開閉，門の引抜/挿入を確認 	<ul style="list-style-type: none"> 扉の開閉，門の引抜/挿入を確認 	無
加振後の機密性能試験方法	<ul style="list-style-type: none"> A S T M E 283-4 に準じた装置を用いる。 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，試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。 	<ul style="list-style-type: none"> A S T M E 283-4 に準じた装置を用いる。 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，試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。 	無
気密試験結果	通気量： <input type="text"/>	通気量： <input type="text"/>	有

7.1 差異箇所の詳細について

(1) 気密試験結果について

先行電力で実施されたブローアウトパネル閉止装置の通気量に比べ，柏崎刈羽7号機の通気量は小さい値となっている。

8. 強制開放装置に関する比較

先行電力で設置されている強制開放装置と柏崎刈羽7号機で設置されているオペフロ BOP 強制開放装置に関する比較を表 7-1 に示す。

表 8-1 強制開放装置の性能確認試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽7号機	差異の有無
作動方式	油圧	電動駆動	有
台数	10	8	有

8.1 差異箇所の詳細について

(1) 先行電力の強制開放装置は，各パネルに対し建屋内へ油圧式の強制開放装置を1台設置しパネルを押し出す方式としているが，柏崎刈羽7号機では各パネルに対し原子炉建屋外へ電動駆動のオペフロ BOP 強制開放装置を2台設置しパネルを引張る方式としている。主な目的として，原子炉建屋内には竜巻防護ネットが取り付けられており，その干渉回避により原子炉建屋外にオペフロ BOP 強制開放装置を設置する必要があるため，先行電力と同様に原子炉建屋内からの油圧による押し出しでの強制開放が出来ないため，作動方式を変更している。また，強制開放時のパネルを可能な限り水平に開放させることを目的として台数を変更している。