

| | |
|-------------------|---------------|
| 島根原子力発電所第2号機 審査資料 | |
| 資料番号 | NS2-補-020 改01 |
| 提出年月日 | 2022年1月20日 |

工事計画に係る説明資料
(安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下
における健全性に関する説明書)

2022年1月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料
添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

| 資料 No. | 添付説明資料名 | 補足説明資料（内容） | 備考 |
|--------|---|-----------------------------|--------|
| 1 | 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書 | | |
| 2 | 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート | | |
| 3 | 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止について | | |
| 4 | ブローアウトパネル関連設備の設計方針 | 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 | 今回提出範囲 |

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性能について | 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 | 原子炉建物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 | 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル取付枠内での物理的な干渉について | 4-7-1 |
| 4-8 | 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルの飛出し挙動について | 4-8-1 |
| 4-9 | 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開放時の他設備への影響について | 4-9-1 |
| 4-10 | ブローアウトパネルの保全管理について | 4-10-1 |
| 4-11 | ブローアウトパネル機能確認試験要領について | 4-11-1 |
| 4-12 | ブローアウトパネル機能確認試験結果について | 4-12-1 |
| 4-13 | 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開放時の設計基準事故被ばく評価への影響について | 4-13-1 |
| 4-14 | 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について | 4-14-1 |
| 4-15 | 原子炉建物内の圧力解析について | 4-15-1 |
| 4-16 | 原子炉建物燃料取替階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 | 4-16-1 |
| 4-17 | 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の保全管理について | 4-17-1 |
| 4-18 | 原子炉建物燃料取替階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 | 4-18-1 |
| 4-19 | 原子炉建物燃料取替階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 | 原子炉建物燃料取替階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関連設備の要求機能について

1. はじめに

ブローアウトパネル関連設備（原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）、原子炉建物主蒸気管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。）、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）及び原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル強制開放装置（以下「オペフロBOP強制開放装置」という。））について、技術基準上の主な要求事項を整理した。

2. オペフロBOPの要求事項

(1) 開放機能

オペフロBOPは、主蒸気管破断（以下「MSLBA」という。）を想定した場合の放出蒸気による圧力から原子炉建物や原子炉格納容器等を防護するため、放出蒸気を建物外に放出することを目的に設置されている。このため、建物の内外差圧により自動的に開放する機能が必要である。（技術基準規則 第12条 溢水等による損傷の防止）

設計基準対象施設であるオペフロBOPは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性（建物躯体の健全性）を確保する設計とする。また、設計竜巻により開放機能を損なわないようにする必要があるが、設計竜巻は、その発生頻度が非常に小さく、設計基準事故との重畳は、判断基準の目安となる 10^{-7} 回/年を下回り十分小さいこと、プラント運転中又は停止中の設計竜巻を想定してもプラント停止及び冷却に必要な設備は確保でき原子炉安全に影響しないことから、安全上支障のない期間に補修が可能な設計とすることで安全機能を損なわない設計とする。

重大事故等対処設備であるオペフロBOPは、格納容器バイパス（以下「ISLOCA」という。）発生を想定した場合の発生箇所を隔離するための操作等の活動ができるよう、所定の時間内に原子炉建物原子炉棟（以下、「原子炉棟」という。）の圧力及び温度を低下させるため、確実に開放する必要がある。（技術基準規則 第61条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備）

ISLOCA発生時においては、原子炉格納容器外かつ原子炉棟で低圧設計部が破断することを想定しているため、原子炉棟で瞬時に減圧沸騰して大量の水蒸気が発生する。このため、原子炉棟の圧力が急上昇するが、外気との差圧（設計圧力6.9kPa以下）で原子炉建物燃料取替階に設置したオペフロBOPが自動的に開放し、原子炉棟内を減圧する設計とする。

また、開放したオペフロBOPの開口面（全面）を経由して外気と熱交換が行われることにより原子炉棟内でも人力でISLOCA発生箇所を隔離するための隔離弁が操作可能となる。なお、

ISLOCA発生時には、基本的に中央制御室で隔離弁を閉操作するが、万が一中央制御室から操作できない場合には、現場で隔離弁を操作することとしている。

重大事故等対処設備であるオペフロBOPは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性（建物躯体の健全性）を確保する設計とする。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

オペフロBOPは、上記(1)の開放機能を満足させるため、原子炉棟外壁に設置されており、原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要である。（技術基準規則 第38条 原子炉制御室等及び第44条 原子炉格納施設）

このため、設計基準対象施設であるオペフロBOPは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により二次格納施設としてのバウンダリ機能を損なわないようにする必要があるが、その一方で、地震動により開放しないように設計する場合、本来の差圧による開放機能を阻害する可能性がある。この2つの要求機能を考慮した結果、二次格納施設のバウンダリ機能維持に対しては、オペフロBOPの設置目的である差圧による開放機能を阻害しない範囲で耐震性を確保する設計とする。具体的には原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）によれば、基準地震動 S_2 （ S_s 相当）と運転状態IV（設計基準事故）の組合せは不要であるが、基準地震動 S_1 （ S_d 相当）と運転状態IV（設計基準事故）の荷重の組合せは必要とされていることを踏まえ、オペフロBOPは二次格納施設としてのバウンダリ機能を有することから、長期にわたり事象が継続した場合も考慮し、弾性設計用地震動 S_d で開放しない設計とする。設計竜巻については、その最大気圧低下量がオペフロBOP開放の設計差圧より大きく、設計竜巻の気圧差により開放の可能性を否定できないが、設計竜巻の発生頻度は非常に小さく、設計基準事故との重畳は、判断基準の目安となる 10^{-7} 回/年を下回り十分小さいこと、プラント運転中又は停止中の設計竜巻を想定してもプラント停止及び冷却に必要な設備は確保でき原子炉安全に影響しない。このため、万一、地震や竜巻により開放し、安全上支障のない期間に復旧できず、二次格納施設としてのバウンダリ機能が維持できない場合には、安全な状態に移行（運転中は冷温停止へ移行、停止中は炉心変更時又は原子炉棟で照射された燃料に係る作業の停止）することを保安規定に定める。

3. MSトンネル室BOPの要求事項

(1) 開放機能

MSトンネル室BOPは、MSLBAを想定した場合の放出蒸気による圧力から原子炉建物や原子炉格納容器等を防護するため、放出蒸気を建物外に放出することを目的に設置されている。このため、主蒸気管トンネル室（以下、「MSトンネル室」という。）内外の差圧（設計圧力12.26kPa

以下)により自動的に開放する機能が必要である。(技術基準規則 第12条 溢水等による損傷の防止)

設計基準対象施設であるMSトンネル室BOPは、待機状態(閉状態)にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性(建物躯体の健全性)を確保する設計とする。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

MSトンネル室BOPは、上記(1)の開放機能を満足させるため、原子炉棟のMSトンネル室に設置されており、原子炉棟の壁の一部となるMSトンネル室BOPについては、二次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要である。(技術基準規則 第38条 原子炉制御室等、第44条 原子炉格納施設及び第74条 運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)

このため、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備であるMS トンネル室BOPは、待機状態(閉状態)にて、基準地震動 S_s により二次格納施設としてのバウンダリ機能を損なわないようにする必要があるが、その一方で、地震動により開放しないように設計する場合、本来の差圧による開放機能を阻害する可能性がある。この2つの要求機能を考慮した結果、二次格納施設のバウンダリ機能維持に対しては、MSトンネル室BOPの設置目的である差圧による開放機能を阻害しない範囲で耐震性を確保する設計とする。具体的には原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編(J E A G 4 6 0 1・補-1984)によれば、基準地震動 S_2 (S_s 相当)と運転状態IV(設計基準事故)の組合せは不要であるが、基準地震動 S_1 (S_d 相当)と運転状態IV(設計基準事故)の荷重の組合せは必要とされていることを踏まえ、MSトンネル室BOPは二次格納施設としてのバウンダリ機能を有することから、長期にわたり事象が継続した場合も考慮し、弾性設計用地震動 S_d で開放しない設計とする。

4. BOP閉止装置の要求事項

(1) 閉止機能

技術基準第74条(運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)の解釈では、「原子炉制御室の居住性を確保するために原子炉建屋に設置されたブローアウトパネルを閉止する必要がある場合は、容易かつ確実に閉止操作ができること。また、ブローアウトパネルは、現場において人力による操作が可能なものとする。」が要求されている。

島根原子力発電所2号機のオペフロBOPは、開放後、炉心損傷に至る事故が発生した場合には、作業員の被ばく防止の観点から再閉止操作を行うことが困難であるため、技術基準第74条要求に適合させるためにBOP閉止装置を設置する。

このため、重大事故等対処設備であるBOP閉止装置は、待機状態(開状態)にて、基準地震動 S_s により閉止機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健

全性を確保することが必要である。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

BOP閉止装置は、オペフロBOPに代わって原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能（原子炉棟の気密性能確保）が必要である。

一方、BOP閉止装置の閉機能維持が必要な状況とは、基準地震動 S_s によりオペフロBOPが開放し、更に重大事故に至った場合である。技術基準第74条（運転員が原子炉制御室にとどまるための設備）では、7日間で100mSvを超えないことが要求されており、7日間で想定する地震動は、設置許可基準規則第39条（地震による損傷の防止）で整理するSA発生後の最大荷重の組合せの考え方を踏まえ、BOP閉止装置が閉状態で組み合わせるべき地震動は弾性設計用地震動 S_d であるが、長期の閉止機能維持を考慮して基準地震動 S_s とする。

5. オペフロBOP強制開放装置（自主対策設備）への要求事項

オペフロBOP強制開放装置は、仮に、重大事故等時に静的触媒式水素処理装置、格納容器フィルタベント系により原子炉建物内の水素濃度が低下しなかった場合に、原子炉建物内の水素濃度低減を目的にブローアウトパネルを強制的に開放する必要が発生した場合に用いる自主対策設備であるため、強制開放装置の損傷が安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさないようにする必要がある。

6. ブローアウトパネル関連設備の要求機能

表6にブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理を示す。

表6 ブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理

| ブローアウト パネル 関連設備 | 要求機能 | 設計基準対象施設 | | | 重大事故等対処設備 | | |
|-----------------------|----------------------------------|------------|---------------------|----------------------|--------------|-------------------|--------------------|
| | | 5条 地震 | 7条 竜巻 (差圧) | 7条 竜巻 (飛来物) | 50条 地震 | 54条 竜巻 (差圧) | 54条 竜巻 (飛来物) |
| オペフロ BOP | 開放機能 (MSLBA) (12条) | ○ (S s) | ○ プラント停 止にて対応 | ○ 竜巻防護ネ ットにて対応 | — | — | — |
| | 開放機能 (ISLOCA) (12条) | — | — | — | ○ (S s) | — | — |
| | バウンダリ機能 (建物気密性) (38条, 44条) | ○ (S d) | ○ プラント停 止にて対応 | ○ 竜巻防護ネ ットにて対応 | — | — | — |
| MS トンネル室 BOP | 開放機能 (MSLBA) (12条) | ○ (S s) | — | — | — | — | — |
| | バウンダリ機能 (建物気密性) (38条, 44条) | ○ (S d) | — | — | ○*1 (S d) | — | — |
| BOP 閉止装置 (SA 緩和設備) | 閉止機能 (74条) | — | — | — | ○ (S s) | ○ (影響なし) | —*2 |
| | バウンダリ機能 (74条) | — | — | — | ○ (S s) | —*3 | —*3 |

注記 *1: S s でも閉維持が可能な実力を有する

*2: BOP閉止装置は, SA緩和設備であるため共通要因故障としての考慮は不要

*3: SA後の閉止状態での設計竜巻は, 事象の重ね合わせの頻度から組み合わせ不要

ブローアウトパネルの配置と構造について

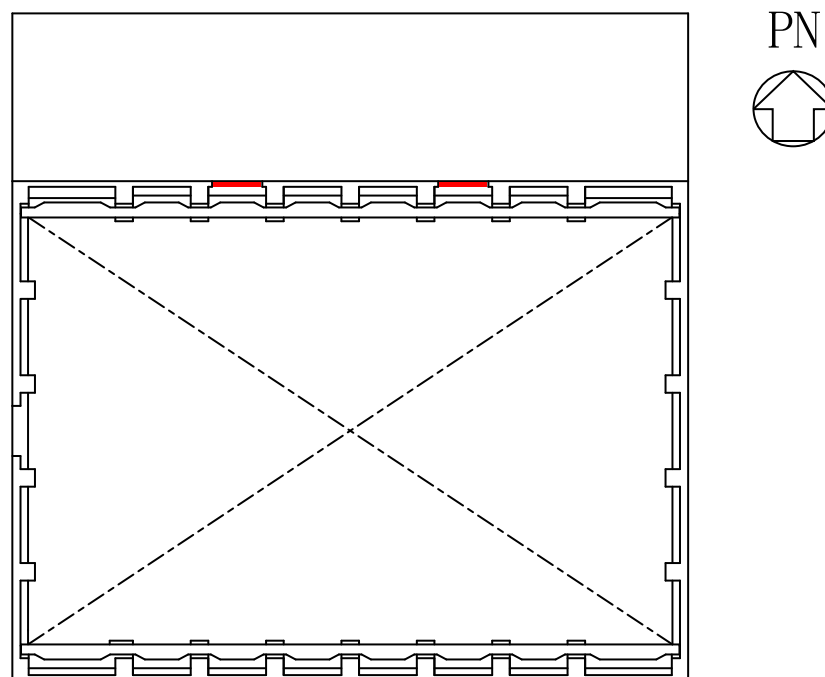
1. 燃料取替階ブローアウトパネルの配置について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）は，原子炉建物原子炉棟の外壁に合計 2 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 |
|-----------------------|-------------|----|
| 原子炉建物原子炉棟地上 4 階中間床 | 北側の壁面に 2 箇所 | |



原子炉建物地上4階中間床 概略平面図

— : (オペフロBOP 2枚)

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 20 個で原子炉建物原子炉棟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 13.7kPa 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 20 個（幅 85mm）が設置されているが、新規制基準対応として、機能要求を確保するための設計圧力の引上げ及び確実に設計圧力で開放させる観点からクリップ形状及び数を最適化し、クリップはオペフロ BOP 1 枚あたり 16 個（幅約 140 mm を 16 個）とする。

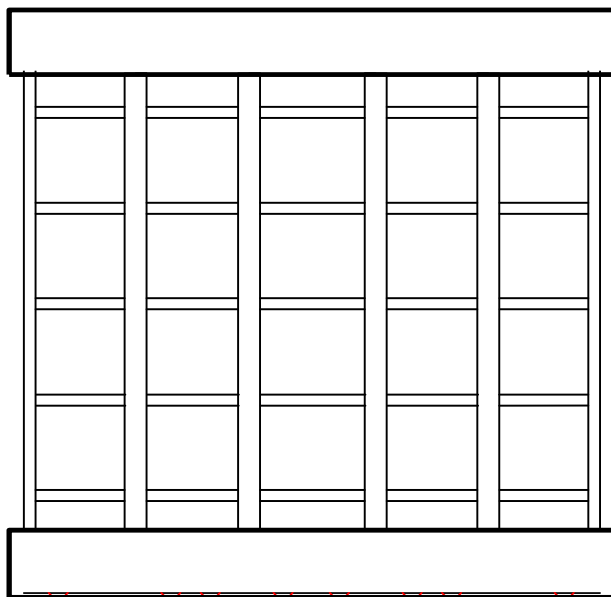
オペフロ BOP は、このクリップだけで建物躯体側の枠材に固定され、パネル下部には、パネル移動時（開放時）の摩擦による抗力を低減するためのすべり材が設置されている。また、パネルと躯体の間隙にはパッキンが設置され、原子炉建物原子炉棟の二次格納施設としてのバウンダリ機能を確保する設計としている。

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

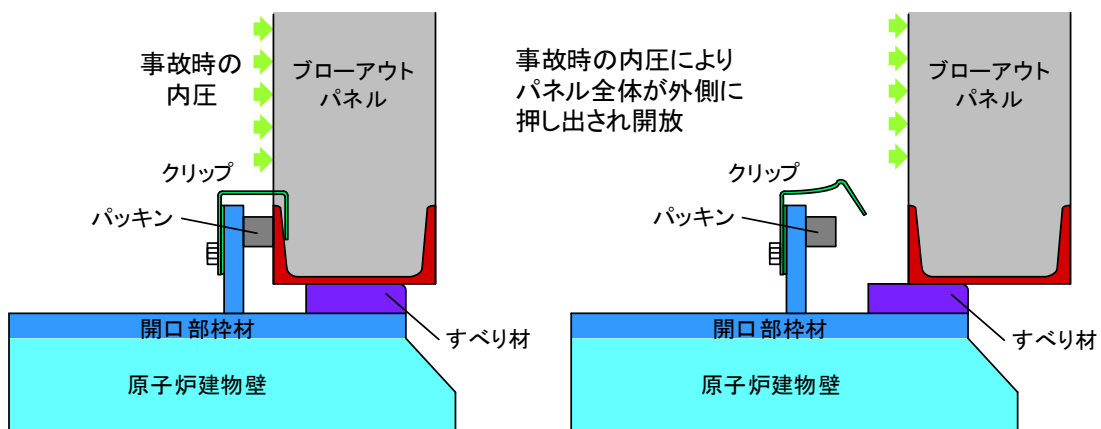
| 設置場所 | | 寸法 | 材質 | クリップ数 |
|------------|----------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| 4 階 中間床 | 北壁面 2 箇所 | 3940 mm × 3920mm | SS400 SUS304 | 幅 140mm 16 個 (幅 85mm 20 個) |

クリップ数の () 個数は、変更前の個数



○：幅約 140 mmのクリップ

○：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

建物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①～②)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(二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。

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

ここで、

①クリップを変形させる荷重×クリップ個数

- ・クリップを変形させ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パネルとすべり材部の摩擦力

- ・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材を2箇所設置
- ・すべり材間の摩擦係数

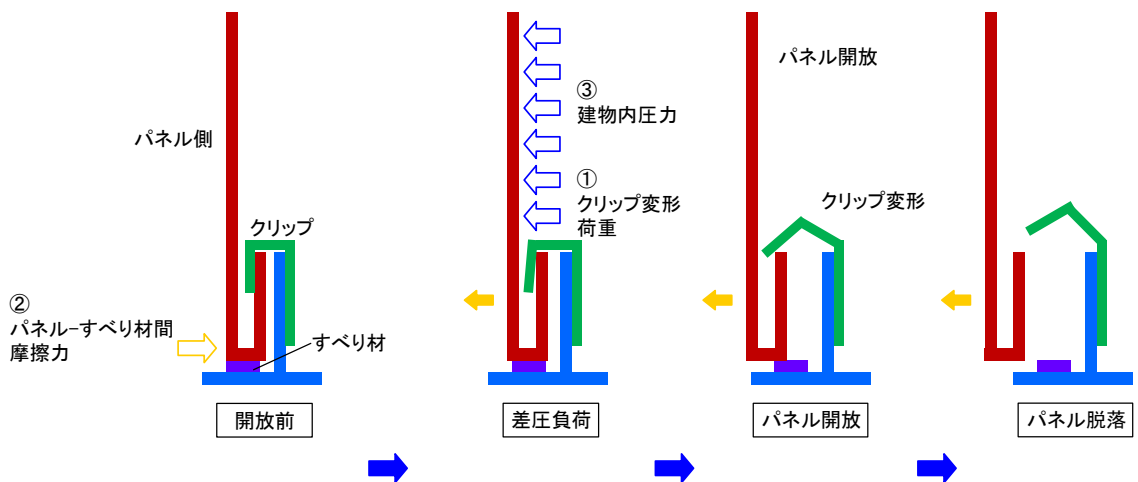


図 3-1 オペフロ BOP 開放のメカニズム

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階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。

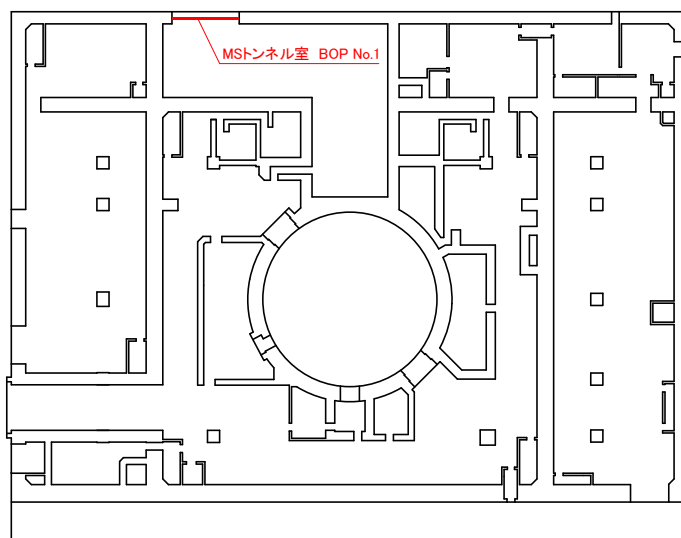
5. 主蒸気管トンネル室ブローアウトパネルの配置について

原子炉建物主蒸気管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，主蒸気管トンネル室(以下MSトンネル室という。)のタービン建物側等，二次格納施設境界壁3箇所合計71枚設置する。

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

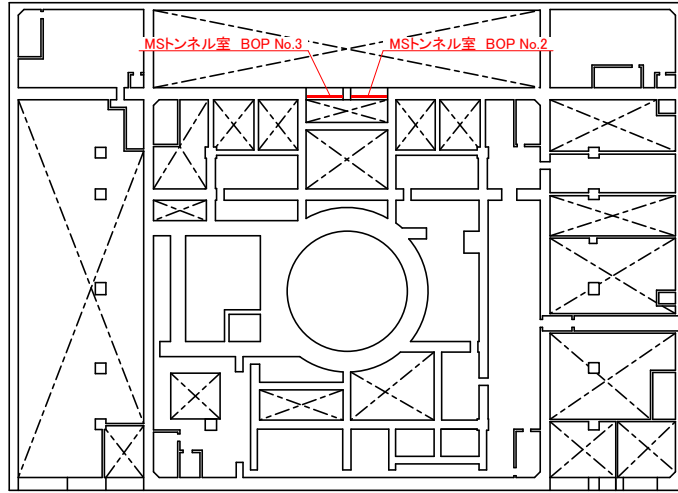
| 設置階 | 配置 | 備考 |
|------------------------------|--------|--|
| 原子炉建物原子 炉棟地上1階及 び2階中間床 | 壁面に71枚 | BOP No.1 29枚 BOP No.2 18枚 BOP No.3 24枚 |



原子炉建物地上1階 概略平面図

— : (MSトンネル室 BOP 29枚)

図5-1 (1) MSトンネル室BOP配置図



原子炉建物地上2階中間床 概略平面図

— : (MSトンネル室 BOP 42枚)

図5-1(2) 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

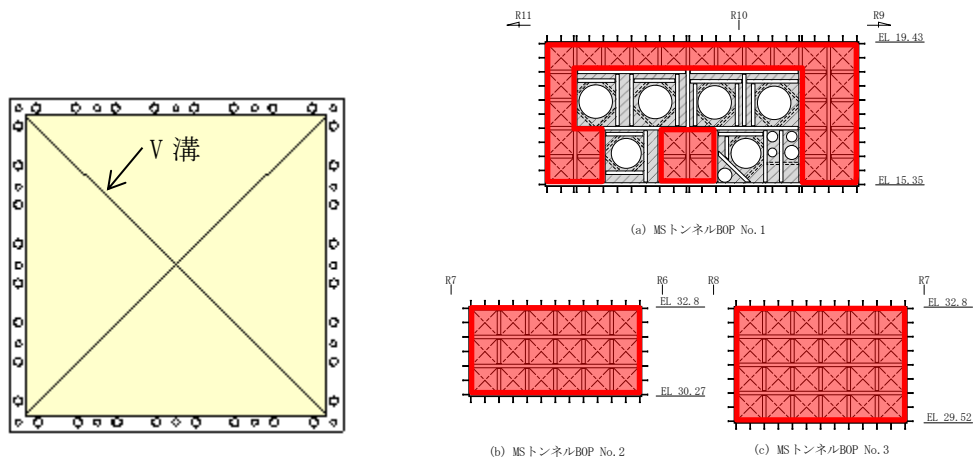
MS トンネル室 BOP は、ラプチャーパネルで MS トンネル室のタービン建物側等、二次格納施設境界壁に設置されており、原子炉格納容器の設計上の最高使用外圧 13.7kPa に対し、5.89kPa 以上、9.81kPa 以下で開放するように設計されているが、新規制基準対応によるオペフロ BOP の設計圧力の引上げに伴い、MS トンネル室も 7.36kPa 以上、12.26kPa 以下へ引上げる。パネル寸法とパネル数を表 6-1 に、構造概要を図 6-1 に示す。

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、原子炉建物原子炉棟の二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 階及び2階中間床 | 壁面に 71 箇所 | 780 mm × 780mm | A1050P |



ラプチャーパネル

■ : MS トンネル室 BOP

MS トンネル室 概略立面図

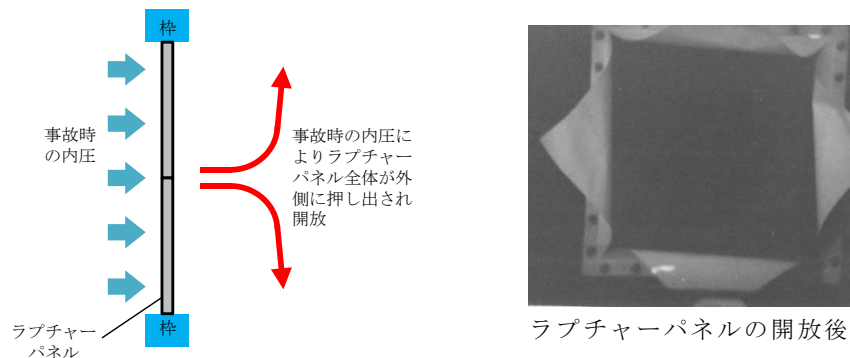


図 6-1 MS トンネル室 BOP の構造と作動原理

7. MS トンネル室 BOP の開放について

MS トンネル室 BOP はラプ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、原子炉建物原子炉棟主蒸気管トンネル室内に蒸気が噴出し規定の圧力が加わったラプ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（蒸気が伝播しラプチャーパネルに初めて到達する段階）に全数のラプ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、未開放ラプ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プチャーパネルが破損せず、かつ、主蒸気管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、それ以上のラプ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、未開放のラプ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

オペフロ BOP 外側には、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インターフェイスシステム LOCA（以下「ISLOCA」という。）時の建物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 3-1 に示す通り、オペフロ BOP の外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、ISLOCA 時の蒸气流路の一部となる。

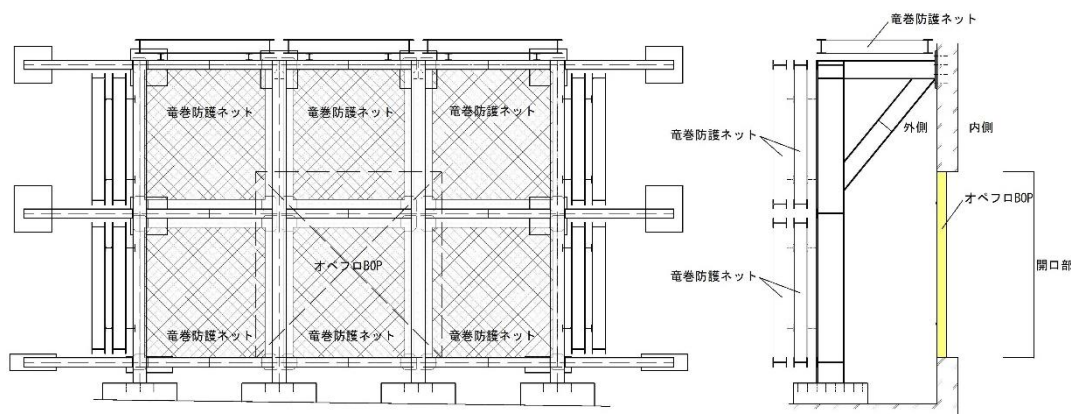


図 3-1 オペフロ BOP と竜巻防護ネットの概要

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、 14.2m^2 (縦 3.76m × 横 3.78m) である (図 3-2 参照)。

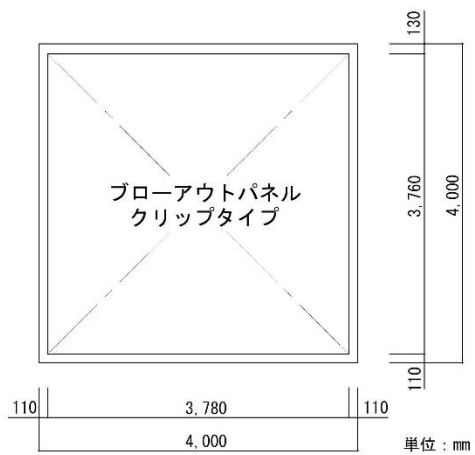


図 3-2 オペフロ BOP の寸法

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、約 2.0m の離隔がある。ネットは前面、上面及び側面に張っており、下面は開口となっている（図 3-3 参照）。

竜巻防護ネットのネット部及び下面部を足し合わせ、面積を求めると約 128.44m² となる。

（参考）竜巻防護ネット（ネット部） S_2 ：約 107.74m²

竜巻防護ネット（下面部） S_3 ：約 20.7m²

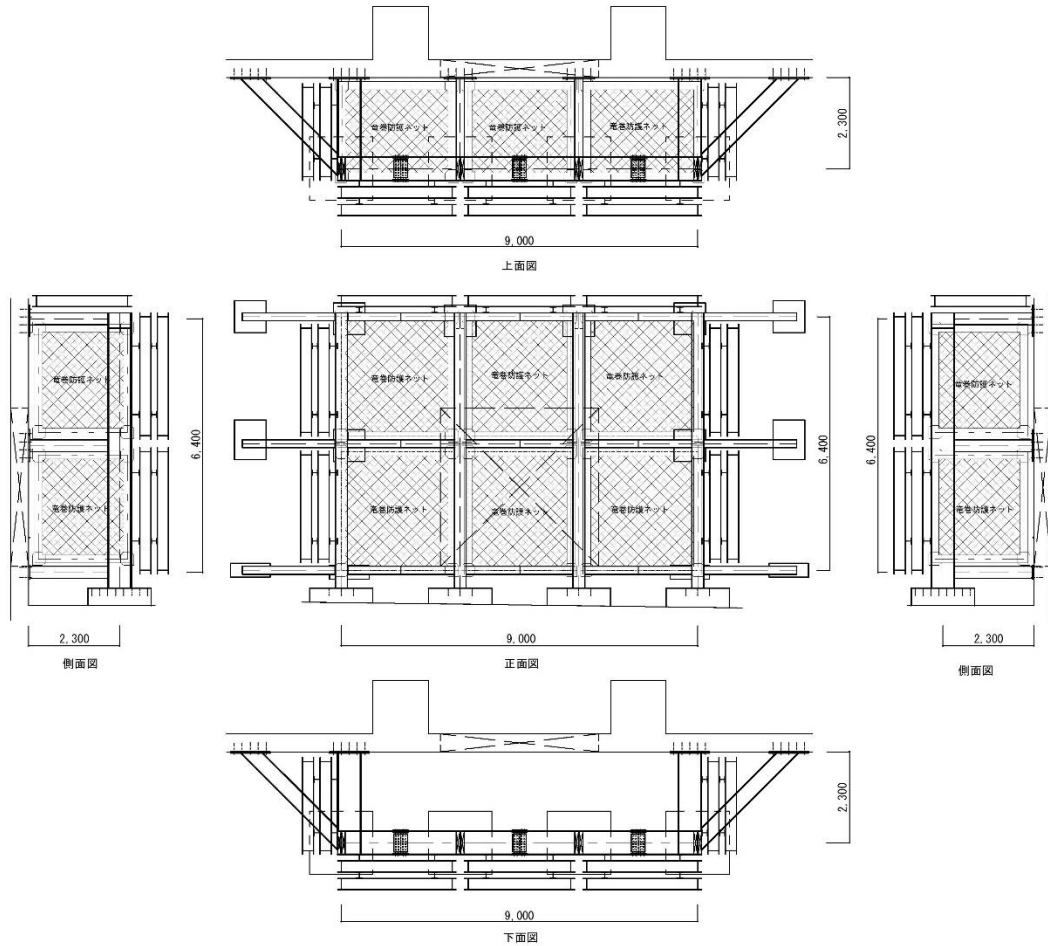


図 3-3 竜巻防護ネット

3.4 竜巻防護ネットの開口率

竜巻防護ネット（ネット部）の開口率は である。

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 を流路が通過する際には、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 4-1 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 単独での上記通過時の圧損係数 (ζ_1) は、となる。

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

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

$$D_h = \sqrt{F_0}$$

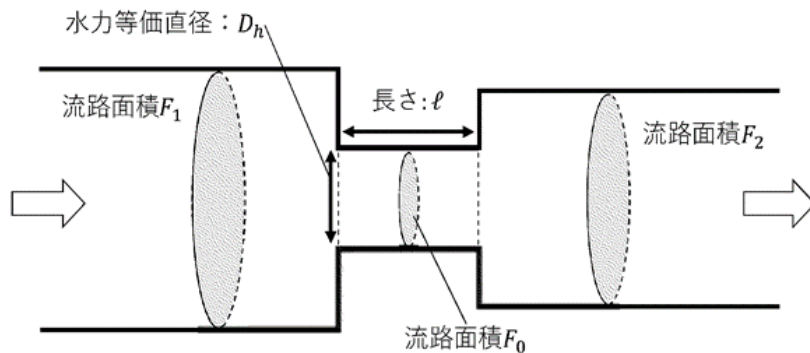


図 4-1 オリフィスの実験相関式中に用いるパラメータの関係図

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 4-2、図 4-3 参照）。

$$Re = \frac{w_0 \delta_m}{\nu} \geq 400$$

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

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

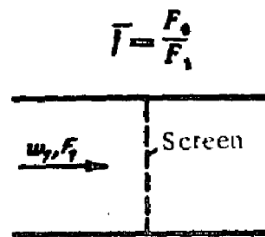


図 4-2 金属製棒状素線によるネット構造の圧損係数計算式

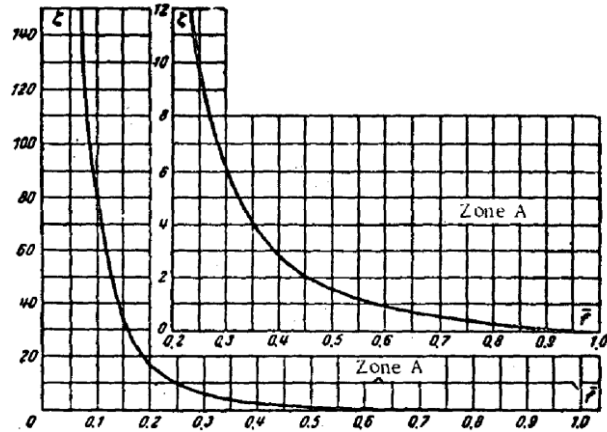


図 4-3 金属製棒状素線によるネット構造の開口率と圧損係数の関係

(1) 竜巻防護ネット

竜巻防護ネットの開口率は であり，図 4-2 の式に当てはめて算出すると，竜巻防護ネット通過時の圧損係数 (ζ_2) 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

竜巻防護ネット通過時の流速を 1 とした場合のオペフロ BOP 及び竜巻防護ネット通過時の流速比は，

$$V_1 = (V_2 \times S_2) / S_1 \text{ より,}$$

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

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 0.014 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 1%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。竜巻防護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 1%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，数秒で建物内圧力が上昇し，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。竜巻防護ネット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も考えられるが、1%程度の圧力損失上昇であれば、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る。

また、ISLOCA 時の流速は主蒸気管破断事故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, the U.S. Atomic Energy Commission and the National Science Foundation, Washington, D.C.

ISLOCA 時の MS トンネル室 BOP への影響について

1. 目的

ISLOCA より原子炉建物原子炉棟内の圧力が上昇した際の MS トンネル室 BOP への影響（開放の有無）を確認する。

2. ISLOCA 時の蒸気伝播の流れ

ISLOCA 時の蒸気伝播の流れを示した概略図を示す（図 2-1）。ISLOCA 発生時には、残留熱除去系（以下「RHR」という）(A) ポンプ室及び RHR(A) 熱交換器室・弁室から放出された蒸気が機器ハッチ等の開口部を經由し、原子炉建物原子炉棟内の各フロアの圧力が上昇する。R/B4F の圧力がオペフロ BOP 開放設定圧力に達すると、オペフロ BOP が開放し蒸気が環境中に放出されることにより、原子炉建物原子炉棟内の圧力は低下する。

各フロアの圧力は、配管破断箇所から下流にいくにつれ、流路の圧損による影響から低くなっていく。また、オペフロ BOP 開放後には、蒸気が環境中に放出されるため、オペフロ BOP が開放する直前で MS トンネル室 BOP の圧力は最大になると考えられる。

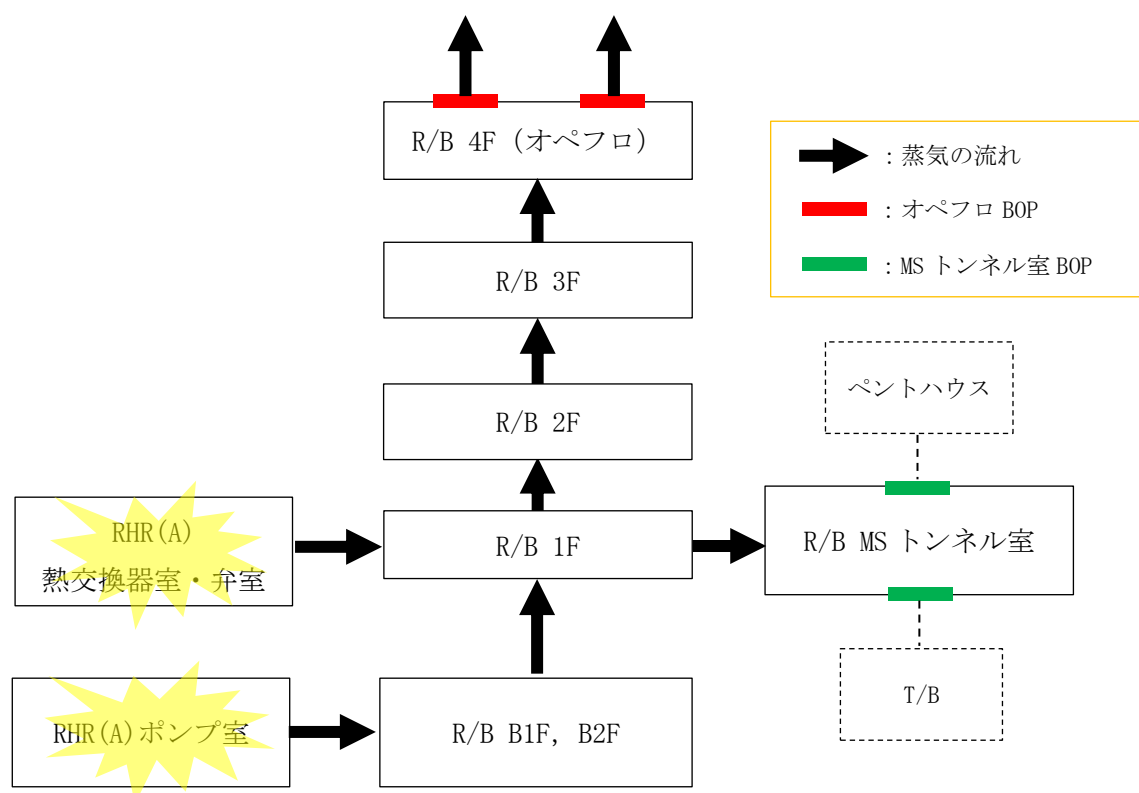


図 2-1 ISLOCA 時における蒸気伝播の概略図

3. 評価の方針

ISLOCA 時に MS トンネル室 BOP に加わる圧力と MS トンネル室 BOP の開放設定圧力を比較し、ISLOCA 時に MS トンネル室 BOP に加わる圧力が開放設定圧力を上回らないことを確認する。なお、R/B MS トンネル室の R/B 1F と接する面にも、ブローアウトパネルが設置されているが、原子炉棟のバウンダリではないため、ここでは考慮せずに評価を行う。

ISLOCA 時に MS トンネル室 BOP に加わる圧力は、R/B 1F での圧力から R/B MS トンネル室までの流路圧損（図 3-1 中の ΔP_4 ）を差し引いた値になると考えられるが、本評価では保守的に ΔP_4 の圧力低下に期待せず、R/B 1F における圧力と同等とみなす。

R/B 1F における圧力の最大値は、オペフロ BOP の開放設定圧力に R/B 1F から R/B 4F までの流路圧損（図 3-1 中の ΔP_1 、 ΔP_2 、 ΔP_3 ）を加えた値になるため、この値が MS トンネル室 BOP の開放設定圧力に到達しないことを確認する。なお、ISLOCA により放出された蒸気は各フロアで分岐や蒸気凝縮等により、破断点より放出された蒸気流量より小さくなると考えられるが、本評価では保守的に破断点から放出された蒸気流量の全量が R/B 1F から R/B 4F にかけて流れることを想定する。その際の蒸気流量としては、設置許可時の ISLOCA の条件を参考にし、破断時に発生する流量の時刻歴における最大値を用いて流路の圧損（ ΔP_1 、 ΔP_2 、 ΔP_3 ）を算出する。なお、蒸気流量に換算する際には、保守的に密度を小さくするために 100℃、1 気圧における蒸気を用いる。

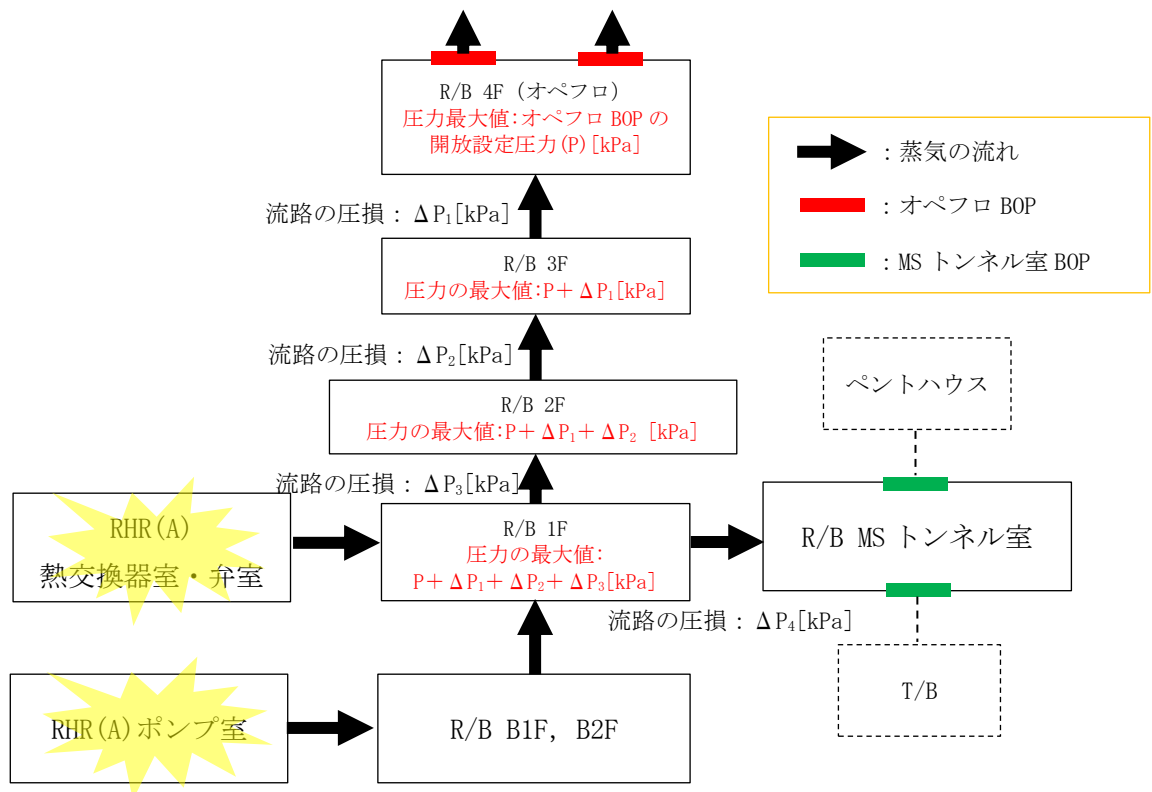


図 3-1 ISLOCA 時における蒸気伝播の概略図（説明付）

4. 評価条件

4.1 オペフロ BOP の開放設定圧力

オペフロ BOP は、内外圧差が 6.9kPa 以下で開放する設計となっている。オペフロ BOP の開放試験では、～kPa で開放する結果を得られているが、本検討では、保守的に MS トンネル室 BOP に加わる圧力が高くなるよう、開放設定圧力を 6.9kPa として評価を行う。

4.2 MS トンネル室 BOP の開放設定圧力

MS トンネル室 BOP は、ラプチャーパネルを採用している。MS トンネル室 BOP の開放設定圧力としては、設計における開放設計圧力 9.81kPa±2.45kPa より、保守的に開放しやすい条件となるよう下限値の 7.36kPa と設定する。

4.3 流路の圧損係数

4.3.1 R/B 1F～R/B 4F (オペフロ) 通過時における圧損係数 ($\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$)

式(1)に示すオリフィスの実験相関図を用いて R/B 1F～R/B 4F 通過時における圧損係数を算出した。

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

$$\tau = (2.4 - \bar{\ell}) \times 10^{-\varphi(\bar{\ell})} \geq 0, \bar{\ell} = \frac{\ell}{D_h}, \varphi(\bar{\ell}) = 0.25 + \frac{0.535\bar{\ell}^8}{0.05 + \bar{\ell}^8} \quad (1)$$

$$D_h = \sqrt{F_0}$$

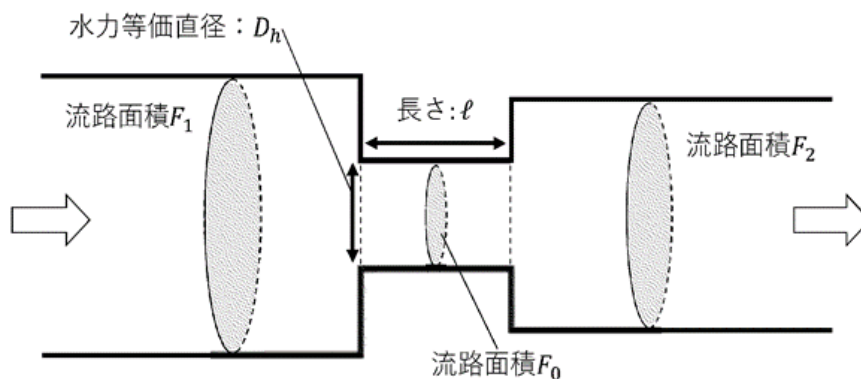


図 4-1 オリフィスの概念図

F_0 は、R/B 1F～R/B 4F の流路となる機器ハッチの開口面積 (39 m²) を設定する。また、保守的に圧損係数が大きくなるよう、 F_1, F_2 は無限大とし、 ℓ は 0m として算出する。以上より、R/B 1F～R/B 4F 通過時の圧損係数は、それぞれ 2.9 となる。

4.4 流路の圧損係数

表 4-1 評価条件まとめ

| 分類 | 項目 | 記号 | 値 | 単位 | 備考 |
|----------|---------------------|----------------|----------|-------------------|---|
| BOP 設定圧力 | オペフロ BOP 開放設定圧力 | | 6.9 | kPa | 設計値 |
| | MS トンネル室 BOP 開放設定圧力 | | 7.36 | kPa | 下限値で設定 |
| R/B 3F～ | 流路面積 | A ₁ | 39 | m ² | |
| R/B 4F | 圧損係数 | ζ ₁ | 2.9 | | |
| | 蒸気流速 | V ₁ | 4.3 | m/s | V ₁ =W/ρ/A ₁ |
| R/B 2F～ | 流路面積 | A ₂ | 39 | m ² | |
| R/B 3F | 圧損係数 | ζ ₂ | 2.9 | | |
| | 蒸気流速 | V ₂ | 4.3 | m/s | V ₂ =W/ρ/A ₂ |
| R/B 1F～ | 流路面積 | A ₃ | 39 | m ² | |
| R/B 2F | 圧損係数 | ζ ₃ | 2.9 | | |
| | 蒸気流速 | V ₃ | 4.3 | m/s | V ₃ =W/ρ/A ₃ |
| 蒸気流量 | 最大蒸気流量 | W | 100 | kg/s | 設置許可時の ISLOCA の条件を参考にし、保守的に 100kg/s と設定 |
| 蒸気条件 | 蒸気温度 | | 100 | °C | 保守的に 100°C と設定 |
| | 蒸気密度計算用圧力 | | 101325 | Pa | 保守的に 1 気圧と設定 |
| | 蒸気密度 | ρ | 0.597578 | kg/m ³ | |

5. 影響評価

ISLOCA 時の R/B 1F における最大の圧力は、以下の式により求められる。

$$R/B 1F \text{ における圧力 [kPa]} = \text{オペフロ BOP 開放設定圧力} + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3$$

ΔP_1 : R/B 3F～R/B 4F 通過時に生じる圧損

ΔP_2 : R/B 2F～R/B 3F 通過時に生じる圧損

ΔP_3 : R/B 1F～R/B 2F 通過時に生じる圧損

$$\Delta P_1 = (\zeta_1 \times \rho \times V_1^2) / 2 \quad \approx \quad 0.016 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_2 = (\zeta_2 \times \rho \times V_2^2) / 2 \quad \approx \quad 0.016 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_3 = (\zeta_3 \times \rho \times V_3^2) / 2 \quad \approx \quad 0.016 \text{ kPa}$$

したがって、R/B 1F における圧力は、6.95kPa 程度となり、MS トンネル室 BOP の開放設定圧力 (7.36kPa) を上回らないことから、ISLOCA 時に MS トンネル室 BOP は開放しない。

クリップ引張試験について

1. 目的

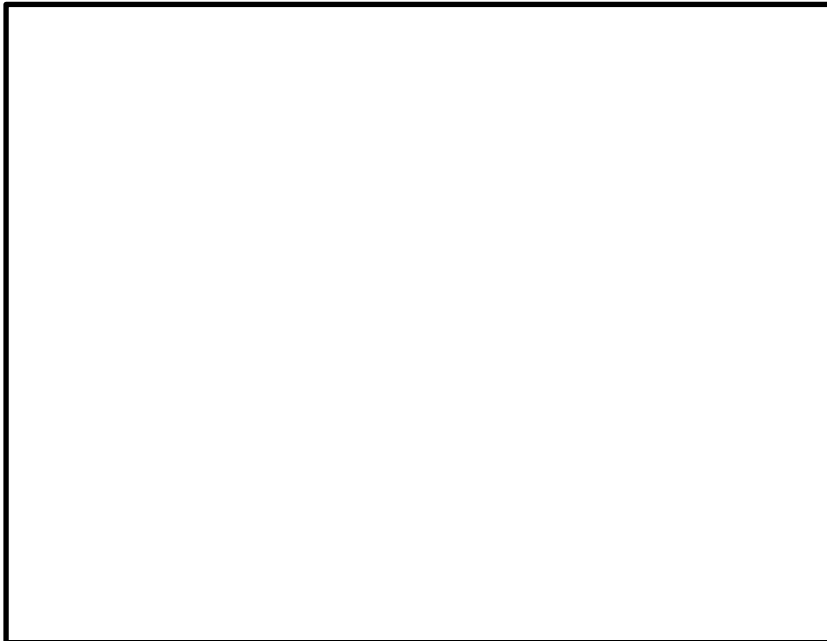
クリップは原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル(以下「オペフロ BOP」という。)を建物躯体に固定するとともに, オペフロ BOP の開放圧力を決定する主要な部品である。このため, 設計差圧 (6.9kPa) 以下でパネルが確実に開放し, 弾性設計用地震動 S d では開放しないことを設計上担保するため, クリップ単体での開放試験を実施する。

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
- 【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

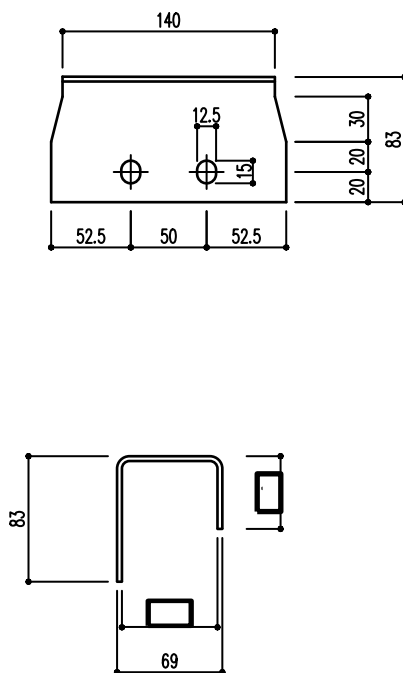
3. 試験結果

(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1種類（幅約140mm）とし、開放試験を実施した。試験確認項目、目的及び具体的な仕様を表3-1に、試験用クリップ形状を図3-1に、試験体寸法測定箇所を図3-2に、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、目的及び具体的な仕様

| 項目 | 目的 | 具体的な仕様 |
|-----------------|---------------|----------|
| 材質 | — | SUS304 |
| 板厚 | — | □ mm |
| 幅 (a) | クリップ幅と強度の関係確認 | 約 140 mm |
| 掛り寸法 (c) | — | □ mm |
| 曲げ加工後のクリップ幅 (b) | — | 69 mm |



幅約 140mm クリップ

図 3-1 試験用クリップ形状（正面図・断面図）

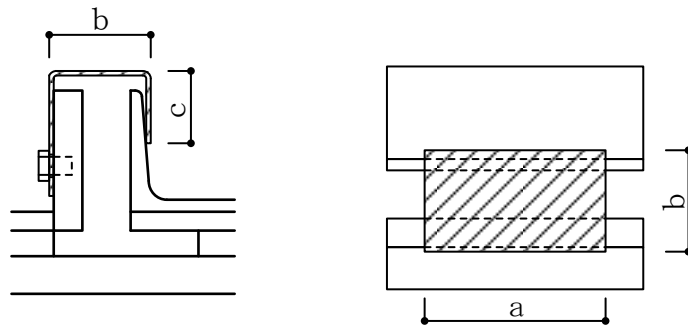


図 3-2 試験体寸法測定箇所

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 | □mm | 約 140mm | □mm | 69mm | 既設と同じ | 2mm/分 | 30 |

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 140mm の最大耐力の平均値は 4679N、標準偏差 σ は 228N であった。なお、標準偏差については

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

s : 標準偏差、 n : 試験回数、 x_i : 試験データ、 \bar{x} : 試験データの平均値により算定した。

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 N とした。また、クリップは約 mm 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 30 個) | | クリップ幅約 140mm |
|------------------------|-----|----------------------|
| | | 荷重 (N) |
| 最大耐力 | 平均値 | <input type="text"/> |
| | 最大値 | <input type="text"/> |
| | 最小値 | <input type="text"/> |
| 標準偏差 σ | | <input type="text"/> |
| 最大耐力 (平均) + 3 σ | | <input type="text"/> |
| 最小耐力 (平均) - 3 σ | | <input type="text"/> |

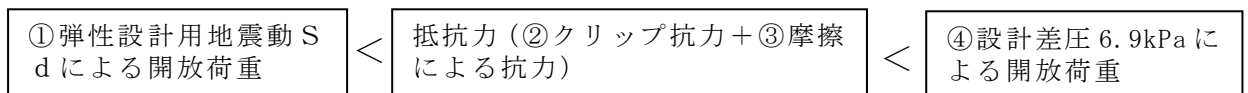


図 3-3 クリップの荷重・変位の関係

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

1. 燃料取替階ブローアウトパネル

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）の満たすべき開放条件について整理した。オペフロ BOP を開放させるために満たすべき条件は以下の通りであり，抵抗力（②クリップ抗力，③パネル移動時の摩擦力による抗力の合計）が，④差圧による荷重以下（6.9kPa 以下）の条件を満足する必要がある。また，二次格納施設としての原子炉建物原子炉棟のパウンダリ機能確保の観点から，①弾性設計用地震動 S d で開放しないように設計する。



各項目の考え方，根拠は以下のとおり。

(1) 基本パラメータ・条件

オペフロ BOP の重量は，2000 kg として評価する。

弾性設計用地震動 S d の加速度は，ブローアウトパネル設置位置より高く，地震加速度が大きい原子炉建物原子炉棟地上 4 階中間床（EL 51.7m）での最大応答加速度に保守性を考慮した 2.51G を用いて評価する。なお，オペフロ BOP の固有振動数は，実機大モックアップ試験装置で固有振動数を測定しており，1 次固有振動数は約 Hz である。

(2) 設計差圧 6.9kPa 時の開放荷重（④）

設計差圧以下でパネルを開放させるため，設計差圧 6.9kPa とする。オペフロ BOP に 6.9kPa が付加する場合の荷重として約 106.5kN と評価する。

(3) 弾性設計用地震動 S d による開放荷重（①）

弾性設計用地震動 S d による地震力としては，約 49.3kN（2000 kg × 2.51G × 9.80665m/s²=49229N）とする。

(4) クリップの個数と配置（②下限側）

クリップの抗力算定に使用するクリップ開放荷重を，クリップ（幅約 140mm）を用いて求めた。30 個のクリップ試験結果から，保守的に N/個（幅約 140mm のクリップ開放試験での平均値 - 3σ）× 16 個 = 約 kN と評価した。

なお，クリップはオペフロ BOP の上部が先行して開放するように配置する方針とす

る。パネル移動時にパネル下側は摩擦力が発生するが、パネル上側には摩擦力が発生しないため、クリップの抵抗を上下で [] で上部が先行して開放する。

つまり、クリップは [] 個 (幅約 140mm) とし、合計 16 個とする。

(5) 摩擦力 (摩擦係数) (③)

摩擦力算定に用いる摩擦係数は静止摩擦係数 [] を採用して設計する。なお、オペフロ BOP 移動時に生じる摩擦による抗力についても、保守的に [] を採用して設計する。この場合の摩擦による抗力は約 [] kN ($2000 \text{ kg} \times [] \times 9.80665 \text{ m/s}^2 = [] \text{ N}$) と評価した。

(6) まとめ

以上より、 S_d による地震荷重は約 49.3kN、クリップのみの抗力は約 [] kN となり、クリップ抗力等を保守的に見積もっても弾性設計用地震動 S_d による地震荷重を十分に上回り、下限側の条件を満足できることを確認した。

また、クリップ試験の結果から、クリップの最大耐力は、幅約 140mm のクリップ開放試験での平均値 + 3σ は約 [] N であるため、クリップ 16 個で約 [] kN となる (②上限側)。そのため、クリップ抗力 + 摩擦による抗力の合計は約 [] kN (約 [] kN + 約 [] kN) となり、設計差圧 6.9kPa 時の開放荷重約 106.5kN を下回るため、上限側の条件を満足できることを確認した。

このため、クリップ開放試験での平均値 + 3σ または -3σ を考慮したとしても、弾性設計用地震動 S_d 及び設計差圧 6.9kPa 時の開放荷重約 106.5kN に対して、14%程度 (約 15kN 程度) の十分な余裕を有しており、ブローアウトパネルの機能は確保される。

2. 主蒸気管トンネル室ブローアウトパネル

原子炉建物主蒸気管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。）の満たすべき開放条件について整理した。MS トンネル室 BOP を開放させるために満足すべき条件は以下の通りであり、MS トンネル室 BOP の開放圧力が設計差圧以下（12.26kPa 以下）となる必要がある。また、二次格納施設としての原子炉建物原子炉棟のバウンダリ機能確保の観点から、基準地震動 S_s で開放しないように設計する。

| | | | | |
|--------------------------|---|---|---|-----------------------------|
| ① 基準地震動 S_s による地震荷重 | < | ② MS トンネル室 BOP 開放圧力 (設計条件 9.81 ± 2.45 kPa) | < | ③ 設計差圧 12.26 kPa による開放圧力 |
|--------------------------|---|---|---|-----------------------------|

各項目の考え方、根拠は以下のとおり。

(1) 基本パラメータ・条件

MS トンネル室 BOP の重量は、 0.54 kg/m^2 として評価する。

基準地震動 S_s の加速度は、ブローアウトパネル設置階及びその上階の値のうち大きい方での設計用床応答スペクトル (S_s) より得られる応答水平震度に保守性を考慮して設定した震度 25G を用いて評価する。

(2) 設計差圧 12.26 kPa 時の開放圧力 (③)

設計差圧以下で MS トンネル室 BOP を開放させるため、設計差圧 12.26 kPa とする。

(3) 基準地震動 S_s による開放荷重 (①)

基準地震動 S_s による地震力は、約 0.133 kN/m^2 ($0.54 \text{ kg/m}^2 \times 25\text{G} \times 9.80665 \text{ m/s}^2 = 132389 \text{ N/m}^2$) とする。なお、MS トンネル室 BOP の固有振動数は、固有値解析により算出し、枠部の 1 次固有振動数は No.1 約 Hz, No.2 約 Hz 及び No.3 約 Hz となる。また、ラプチャーパネルの 1 次固有振動数は加振試験の結果、約 Hz ~ Hz である。このため、ラプチャーパネルの固有振動数を考慮して設計用床応答スペクトル (S_s) を用いて地震力を算出する。

(4) MS トンネル室 BOP の開放圧力 (②)

破裂試験の結果、破裂圧力は $9.23 \text{ kPa} \sim 10.30 \text{ kPa}$ である。

(5) まとめ

以上より、 S_s による地震荷重は約 0.133 kN/m^2 、MS トンネル室 BOP の開放圧力が $9.23 \text{ kPa} \sim 10.30 \text{ kPa}$ であり、下限側の条件を満足できることを確認した。

また、MS トンネル室 BOP の開放圧力は $9.23 \text{ kPa} \sim 10.30 \text{ kPa}$ 、設計差圧は 12.26 kPa であり、上限側の条件を満足できることを確認した。

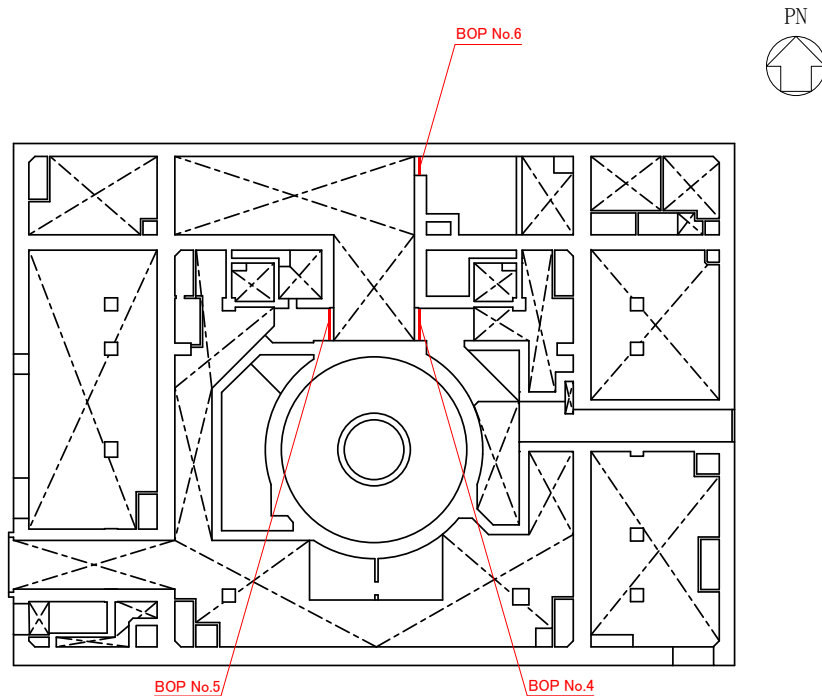
原子炉建物内側ブローアウトパネルの配置と構造について

1. 原子炉建物内側ブローアウトパネルの配置について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル及び原子炉建物主蒸気管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。）以外に，原子炉棟内のブローアウトパネルとして主蒸気管トンネル室（以下「MS トンネル室」という。）の壁面 3 箇所に原子炉建物内側ブローアウトパネルが合計 42 枚設置されている。原子炉建物内側ブローアウトパネルの配置について，主要仕様を表 1-1 に，配置を図 1-1 に示す。

表 1-1 原子炉建物内側ブローアウトパネルの主要仕様

| 設置場所 | | 寸法 | 材質 | 備考 |
|--------|----------|-------------|--------|---|
| 1 階中間床 | 壁面に 42 枚 | 780mm×780mm | A1050P | BOP No.4 15 枚 BOP No.5 15 枚 BOP No.6 12 枚 |



原子炉建物地上 1 階中間床 概略平面図

— : (MS トンネル室 BOP 42 枚)

図 1-1 原子炉建物内側ブローアウトパネル配置図 (EL 19.5m)

2. 原子炉建物内側ブローアウトパネルの構造について

原子炉建物内側ブローアウトパネルは，MS トンネル室 BOP と同じ構造でラプチャーパ

ネル及びラプチャーパネルを MS トンネル室壁面内に設置する枠部により構成されており、差圧のみで自動開放し、MS トンネル室での漏えい蒸気を原子炉棟内に放出するよう設計されている。図 2-1 に原子炉建物内側ブローアウトパネルの構造を示す。

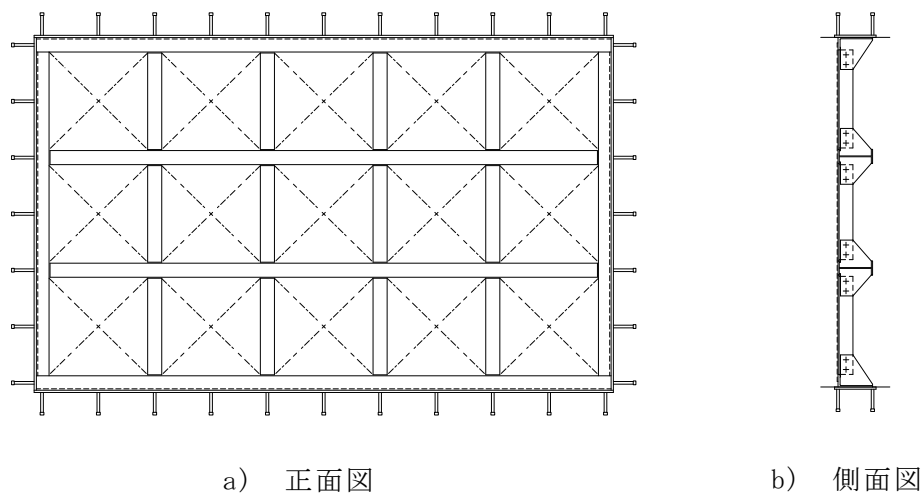


図 2-1 (1) 原子炉建物内側ブローアウトパネルの構造 (No.4, No.5 立面図)

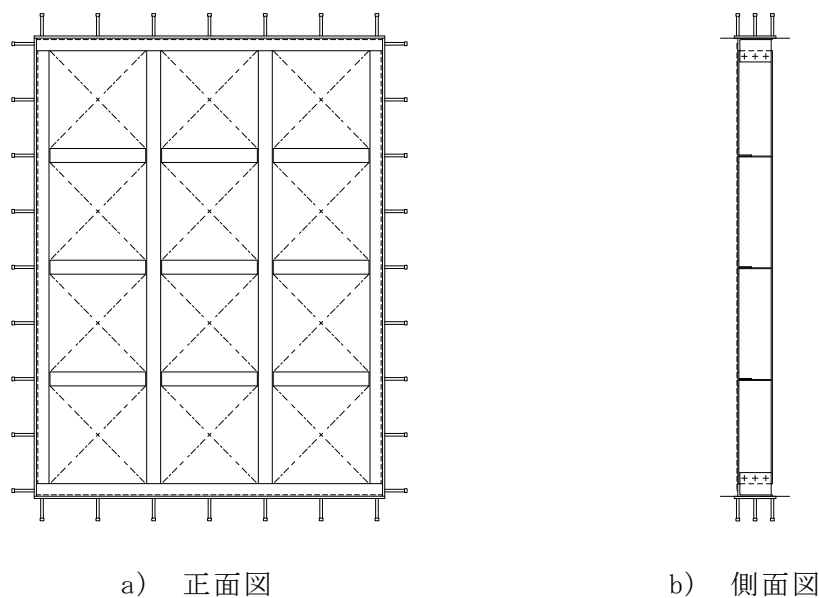


図 2-1 (2) 原子炉建物内側ブローアウトパネルの構造 (No.6 立面図)

3. 原子炉建物内側ブローアウトパネルの開放荷重について

原子炉建物内側ブローアウトパネルは、MS トンネル室 BOP と同じ内外差圧（設計差圧 12.26kPa 以下）で開放する構造である。

クリップ破損時の他設備への影響について

1. 概要

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）のクリップは、ボルトにて躯体側に固定する設計（実機用クリップ試験も模擬して固定）としており、容易に脱落することはないが、オペフロ BOP の開放時に、クリップが脱落した場合を想定し、この影響について検討し、燃料取替階に設置されている設備への影響がないことを確認した。

2. 評価結果

オペフロ BOP より建物内側には、BOP 閉止装置が設置されており、クリップが脱落した場合でも、BOP 閉止装置架台内に留まるため、BOP 閉止装置及び燃料取替階床面に設置されている設備へ影響を及ぼすことはない。BOP 閉止装置架台図を図 2-1 に示す。

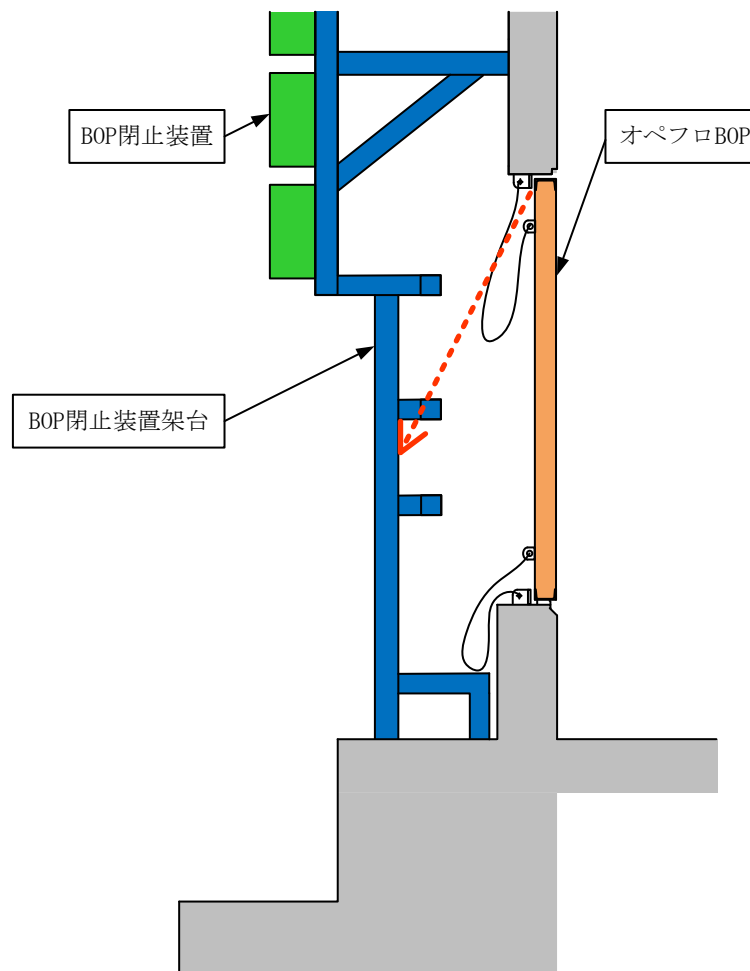


図 2-1 BOP 閉止装置架台図（断面図）

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル取付枠内での物理的な干渉について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）の傾き等が発生した場合、パネル本体が取付枠に物理的に干渉し、移動が拘束される可能性について評価した。その結果、本体の寸法と取付枠の寸法との関係より上端、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、取付枠に干渉せずに開放することを確認した。

具体的には、パネル設置状態での取付枠との隙間は、上部 50 mm、下部及び左右 30mm であり、開放時のパネルの移動を保守的に 0 mm（パネル下部若しくは側面が移動量なしで開放する）とした場合でのパネルの倒れこみを考慮しても、パネルと取付枠間には上部で約 46 mm（水切り金物を考慮した場合は約 17mm）、左右で約 25mm（水切り金物を考慮した場合は約 14mm）の隙間を有した状態であり、パネルは取付枠に干渉せず開放に影響はない。この状況を図 1-1 に示す。なお、パネルの寸法公差は、保守的に J I S による普通公差とした場合でも ±4mm 範囲であり、この分を考慮しても取付枠とパネルの隙間は、上部で約 42mm、左右で約 21mm 確保されることから開放に影響はない。

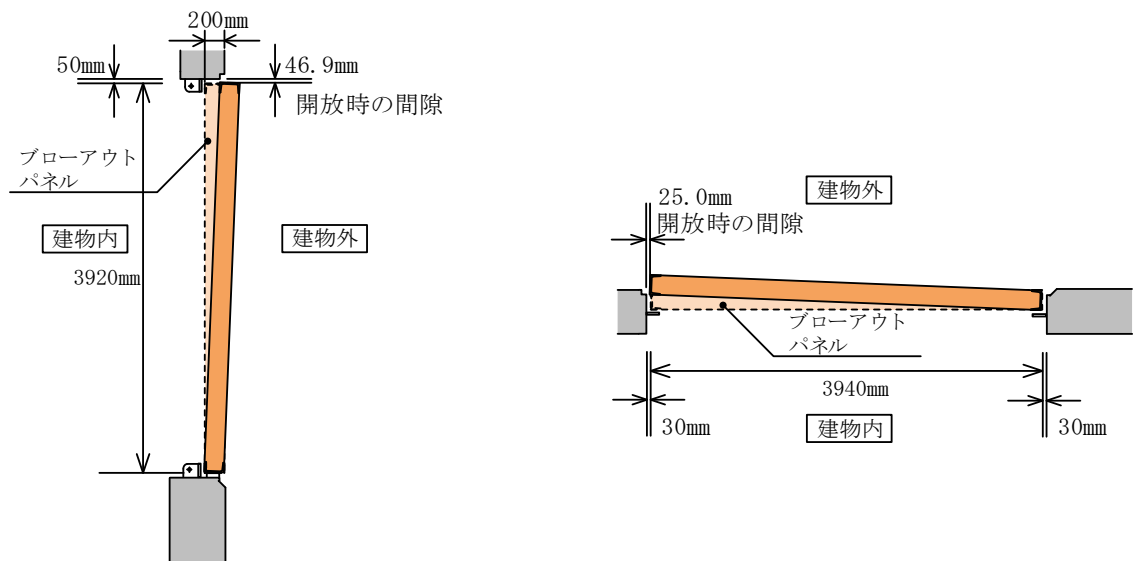


図 1-1 原子炉建物 BOP 開放時の縦・横断面図

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルの飛出し挙動について

1. 目的

原子炉建物地上4階中間床の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）が、設計差圧（6.9 kPa 以下）を受け、飛び出した際の挙動を検討した。

2. 検討条件

オペフロ BOP 周辺の概要図を図 2-1 に、評価に用いる寸法条件を表 2-1 に示す。オペフロ BOP の上部・下部の建物内側には飛散防止チェーンが設置され、オペフロ BOP の下端は取付け枠に設置されたすべり材により鉛直方向に支持されている。

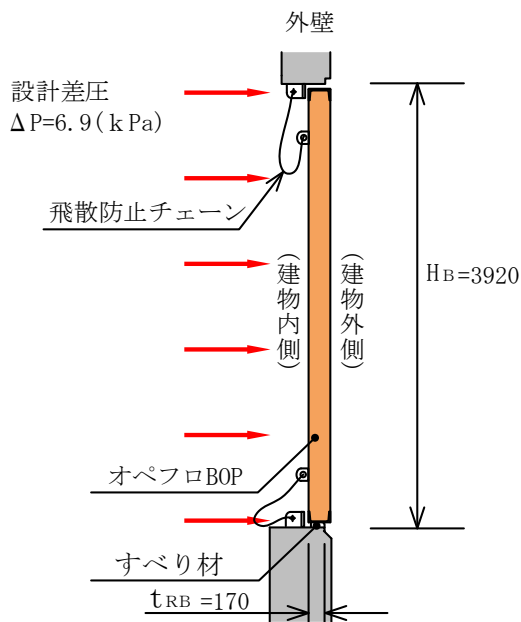


図 2-1 オペフロ BOP 概略図

表 2-1 寸法条件

| | | | |
|--------------|------------|------|------|
| BOP | 幅 B_B | (mm) | 3940 |
| | 高さ H_B | (mm) | 3920 |
| | 質量 m_B | (kg) | 2000 |
| 建物 (すべり材) | 幅 t_{RB} | (mm) | 170 |

3. 飛出し挙動

図 3-1 にオペフロ BOP 飛出し挙動時の概略図及び検討モデル図を示す。オペフロ BOP は、設計差圧 ΔP を受けてクリップが外れた後、下端の接触面には摩擦が生じ、オペフロ BOP の上端と下端の移動速度は異なることとなるが、その差は微小であり、ほぼ垂直状態で移動することを確認する。

図 3-1 のモデル図に示すとおり、オペフロ BOP の下端がすべり材の外縁に達した際の上端との移動量の差である dx_T を算出することにより、オペフロ BOP の状態を確認する。

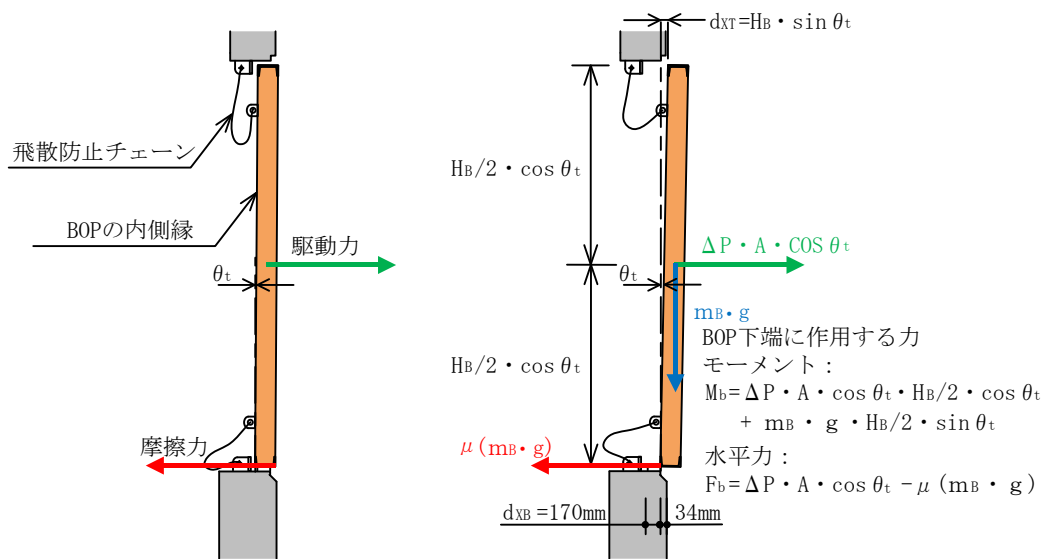


図 3-1 オペフロ BOP 飛出し挙動時の概略図及び検討モデル図

- (1) 下端を中心とする回転時の慣性モーメント (I) は、次式により求める。

$$I = \frac{m_B \times H_B^2}{3}$$

- (2) オペフロ BOP の回転に関する運動方程式は、次式のとおりである。

$$I \cdot \ddot{\theta}_t = \Delta P \cdot A \cdot \cos \theta_t \times \frac{H_B}{2} \cos \theta_t + m_B \cdot g \times \frac{H_B}{2} \sin \theta_t$$

ここで、 $\ddot{\theta}_t$: BOP の時刻 t における角加速度

θ_t : BOP の時刻 t における回転角

A : BOP の面積 ($B_B \times H_B$)

g : 重力加速度

- (3) オペフロ BOP の並進に関する運動方程式は、次式のとおりである。

$$m_B \cdot \ddot{x}_t = \Delta P \cdot A \cdot \cos \theta_t - \mu \cdot m_B \cdot g$$

ここで、 \ddot{x}_t : BOP の水平加速度

μ : 摩擦係数 (=)

クリップが外れた瞬間を $t=0$ とすると、初期条件 $\theta=0$ より、初期角加速度 $\ddot{\theta}_0$ 及び初期並進加速度 \ddot{x}_0 が算出できる。また、初期角速度 $\dot{\theta}_0=0$ 、初期並進速度 $\dot{x}_0=0$ である。

次に、任意の時刻 t から微小時間 Δt 後のオペフロ BOP の傾き角度の増加分 $\Delta \theta_t$ は以下のとおりとなる。

$$\Delta \theta_t = \dot{\theta}_t \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \ddot{\theta}_t \cdot \Delta t^2$$

$$\text{ここで, } \dot{\theta}_t = \dot{\theta}_{t-\Delta t} + \ddot{\theta}_{t-\Delta t} \cdot \Delta t$$

同様に、任意の時刻 t から微小時間 Δt 後のオペフロ BOP の下端の移動量の増分 Δx_t は以下のとおりとなる。

$$\Delta x_t = \dot{x}_t \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \ddot{x}_t \cdot \Delta t^2$$

$$\text{ここで, } \dot{x}_t = \dot{x}_{t-\Delta t} + \ddot{x}_{t-\Delta t} \cdot \Delta t$$

これらの関係を用いて、オペフロ BOP の下端がすべり材端部まで移動 ($d_{xB}=170$ mm) するまでの時間 t を求めると、

$$t = 0.082 \text{ (s)}$$

となり、このときの傾きと上端の変位は、

$$\theta = 0.0686 \text{ (rad)} \quad (= 3.9^\circ)$$

$$d_{xT} = 269 \text{ (mm)}$$

である。

また、下端ブローアウトパネルの下端の速度は 4.1m/s であることから、0.01 秒後には外壁の外縁に到達する。

4. 検討結果

以上の検討により、オペフロ BOP は、クリップが開放したのち、パネルの上端が建物外側にやや傾斜するものの、ほぼ垂直状態で移動し、外壁外縁から飛び出すことを確認した。

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開放時の他設備への影響について

1. 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルと原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の配置について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）は屋外方向に開放する設計としており，屋外方向には建物開口部竜巻防護対策設備（以下「竜巻防護ネット」という。）が設置されているが，原子炉建屋 BOP に設置している落下防止チェーンを竜巻防護ネットに接触しない長さとする事から，竜巻防護ネットに干渉することはない。

また，原子炉棟内については，原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）が設置されているがオペフロ BOP に設置している落下防止チェーンは，下部よりも上部を長くし，かつ，オペフロ BOP が屋外の屋根スラブに接地しない設計としていることから，オペフロ BOP 開放時は屋内に倒れこむことはなく，BOP 閉止装置に干渉することはない。配置の関係を図 1-1 に示す。

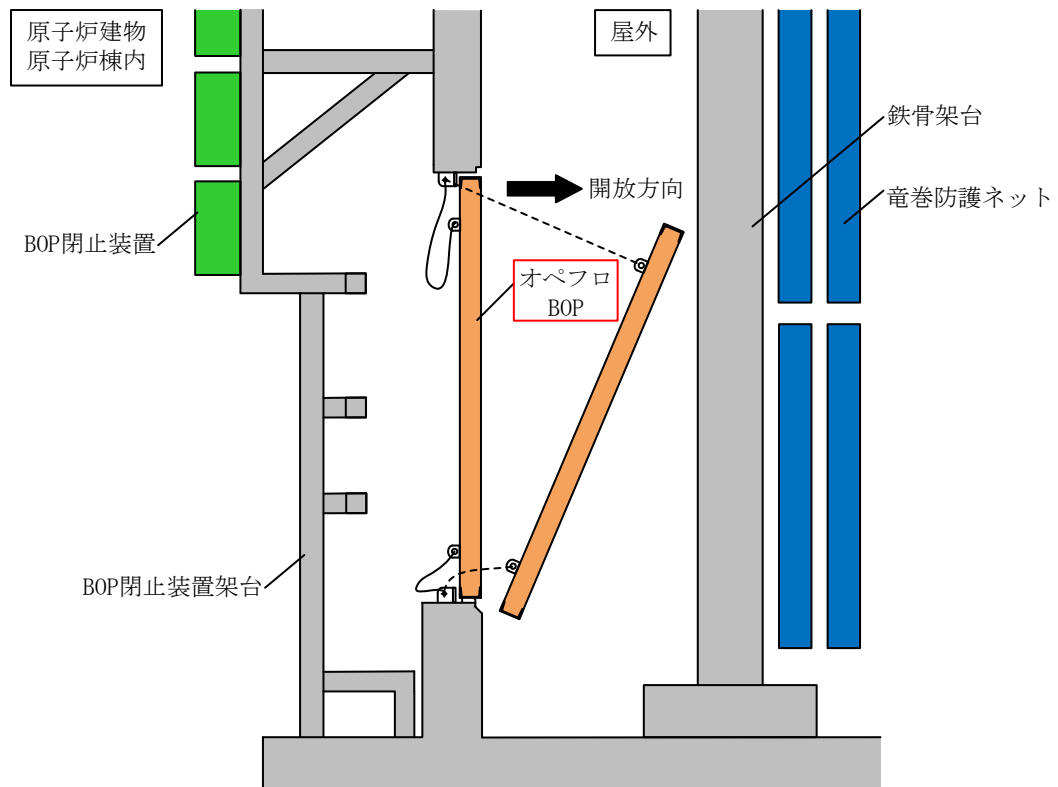


図 1-1 オペフロ BOP と BOP 閉止装置及び竜巻防護ネットの配置関係

ブローアウトパネルの保安全管理について

1. 燃料取替階ブローアウトパネルの保安全管理について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）は，要求される機能（設計差圧 6.9kPa 以下での開放機能及び弾性設計用地震動 S_d で開放しない機能を含む原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の壁の一部としてのバウンダリ機能）を担保するため，適切に保安全管理することが必要である。

計画中の保安全管理（案）は，表 1-1 のとおりである。なお，点検周期については，今後，要素試験や産業界実績を踏まえ決定し，保全計画に反映していく。

表 1-1 オペフロ BOP の保安全管理（案）

| 区分 | 必要な機能 | 目的 | 管理項目 | 実施内容 |
|----------|-------|---------|----------------|---------------------------------------|
| 保守 管理 | 開放機能 | 開放機能確保 | パネル本体部・枠部の劣化状況 | ・変形，損傷の有無，発錆状況の確認，塗装劣化状態の確認 |
| | | | クリップの劣化状況 | ・変形，損傷の有無，クリップ取付状態の確認，発錆状況の確認 |
| | 気密性能 | 気密性能確保 | 気密性能（建物） | ・原子炉棟気密性能検査にて，原子炉棟としての気密性能が確保されることを確認 |
| | 構造健全性 | 構造健全性確認 | 外観目視点検 | ・構造・機能に影響を及ぼすような損傷，異常のないことを目視にて確認 |

2. 主蒸気管トンネル室ブローアウトパネルの保全管理について

原子炉建物主蒸気管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、要求される機能（設計差圧 12.26kPa 以下での開放機能及び基準地震動 S s で開放しない機能を含む原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の壁の一部としてのバウンダリ機能）を担保するため、適切に保全管理することが必要である。

計画中の保全管理（案）は、表 2-1 のとおりである。なお、点検周期については、今後、要素試験や産業界実績を踏まえ決定し、保全計画に反映していく。

表 2-1 MS トンネル室 BOP の保全管理（案）

| 区分 | 必要な機能 | 目的 | 管理項目 | 実施内容 |
|----------|-------|---------|------------------|---------------------------------------|
| 保守 管理 | 開放機能 | 開放機能確保 | ラプチャーパネル・枠部の劣化状況 | ・変形、損傷の有無、発錆状況の確認、塗装劣化状態の確認 |
| | 気密性能 | 気密性能確保 | 気密性能（建物） | ・原子炉棟気密性能検査にて、原子炉棟としての気密性能が確保されることを確認 |
| | 構造健全性 | 構造健全性確認 | 外観目視点検 | ・構造・機能に影響を及ぼすような損傷、異常のないことを目視にて確認 |

ブローアウトパネル機能確認試験要領について

1. 目的

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）及び主蒸気管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 6.9kPa 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。

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*

【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 に取り付けられた溝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 及び取付け枠を模擬した試験用架構を現地で製作し実施する。図 3-1 に試験場の配置図を示す。

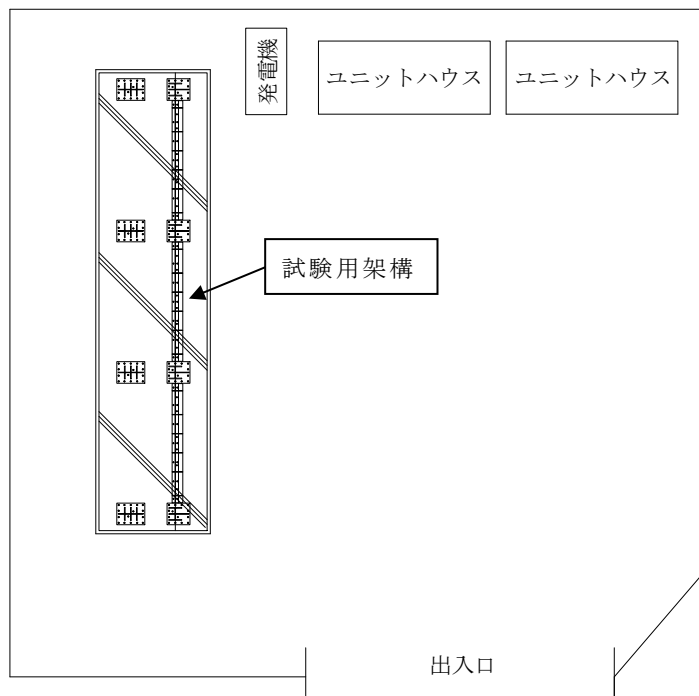


図 3-1 試験場配置図（平面図）

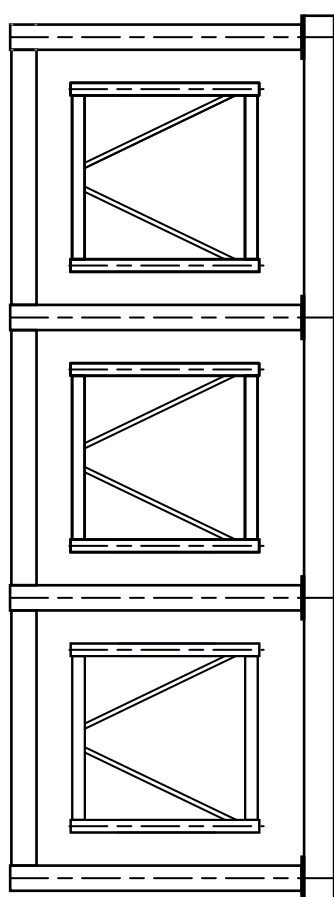
3.2 試験装置概要

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。

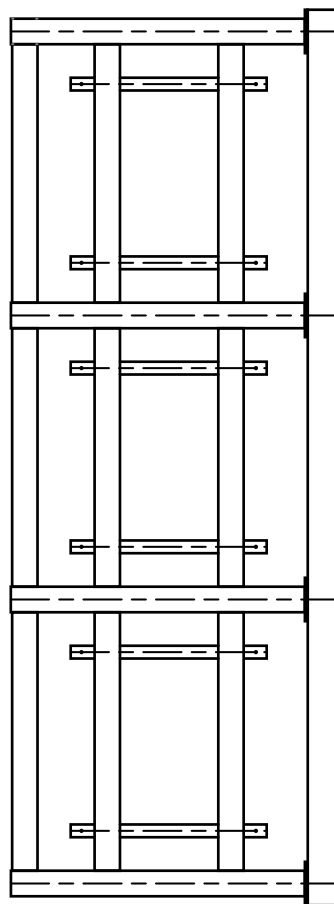
オペフロ BOP は実機に取り付けられているオペフロ BOP を模擬して実施する。サイズは約 3.94m×約 3.92m、重量は約 2t である。なお、オペフロ BOP は 3 体製作する。

取付け枠は四方を鉄筋コンクリート造の原子炉建物開口部を再現した鉄骨架構により支持する。パネルとの接触により摩擦の影響を強く受ける取付け枠下部は実機同様にすべり材を設ける。

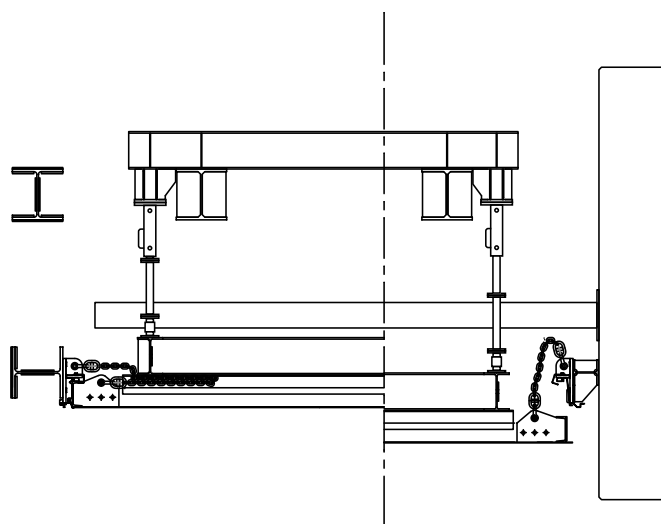
オペフロ BOP 試験体は実機と同様に脱落時の倒れ込みおよび損傷を抑制するため、8 本のチェーンを介して BOP 試験体裏面（屋内側）と試験用架構と連結する。



パネル及び押し出し梁図



試験用架構図



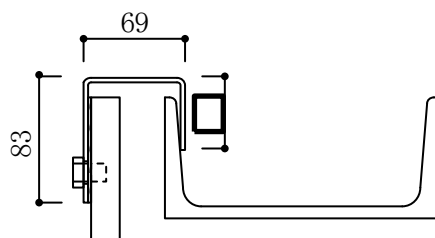
側面図

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、試験装置架台（実機では躯体）に取り付けられた鋼製の取付け枠材と、オペフロ BOP に取り付けられた溝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上部 個，下部 個（幅約 140mm）の計 16 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 SUS304 とし，形状は図 3-3 に示すように，クリップ幅約 140 mm，厚み約 69 mm，溝形鋼への掛り代約 mm とし，M12 ボルトにより取付け枠材の 19mm プレートに取付ける。



取付け枠材（PL-19）パネル本体鉄骨（溝形鋼）

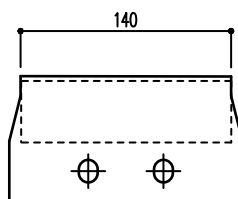


図 3-3 クリップ形状及び取付け位置図（正面図・断面図）

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 (1.175 kg) 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 3-4 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：

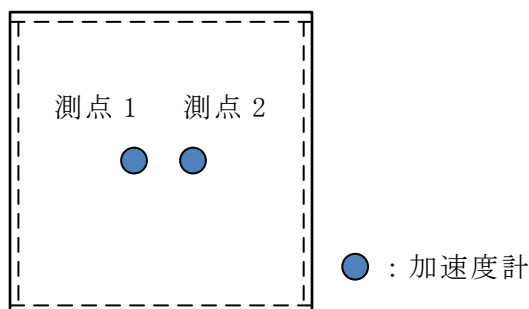


図 3-4 計測機器取付け位置図 (立面図)

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 に示す。

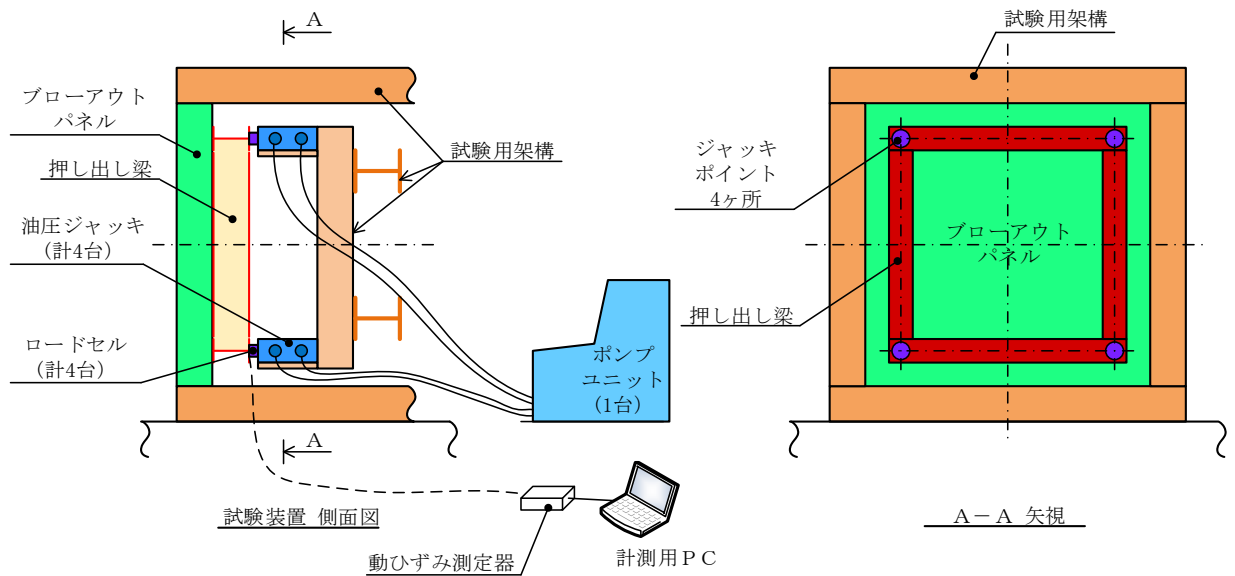


図 4-1 試験機器配置及び構成概念図

試験用架構にオペフロ BOP1 面を取り付ける。オペフロ BOP 試験体背面に「押し出し梁」を接触させ、その「押し出し梁」を 4 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 試験体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試験用架構で受ける構造とする。また、各油圧ジャッキのパネル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。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、それぞれの出力は計測用 PC で記録する。試験体は 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 | 鹿島建設株式会社 |
| 型式 | 実機パネル模擬 |
| 概算質量 | 2000 kg |
| 数量 | 各 1 面 |
| サイズ | 幅 3940 mm×高さ 3920 mm |
| クリップ取付け箇所 | 16 箇所 |

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 4 台を使用する。ジャッキは 1 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、4 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 4-2 に、押し出し梁の支持装置を図 4-3 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。

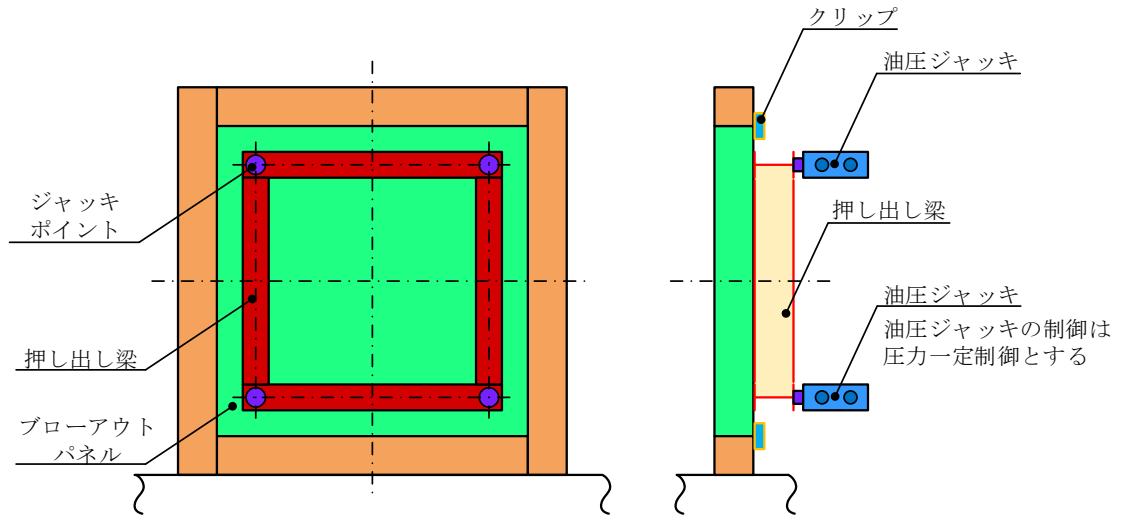


図 4-2 加力方法概要立面図



図 4-3 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 | <input type="text"/> |
| 型 式 | <input type="text"/> |
| 能力 (1 台あたり) | <input type="text"/> |
| 使用数量 | 4 台 |
| ストローク (最大) | <input type="text"/> |
| 伸長速度 (理論値) | <input type="text"/> |

表 4-3 ポンプユニット仕様

| | |
|--------|------------|
| 製造メーカー | [REDACTED] |
| 型 式 | [REDACTED] |
| 吐出量 | [REDACTED] |
| 使用数量 | 1 台 |
| 電 源 | [REDACTED] |
| 電動機 | [REDACTED] |
| 質 量 | [REDACTED] |

4.3 オペフロ BOP 試験方法

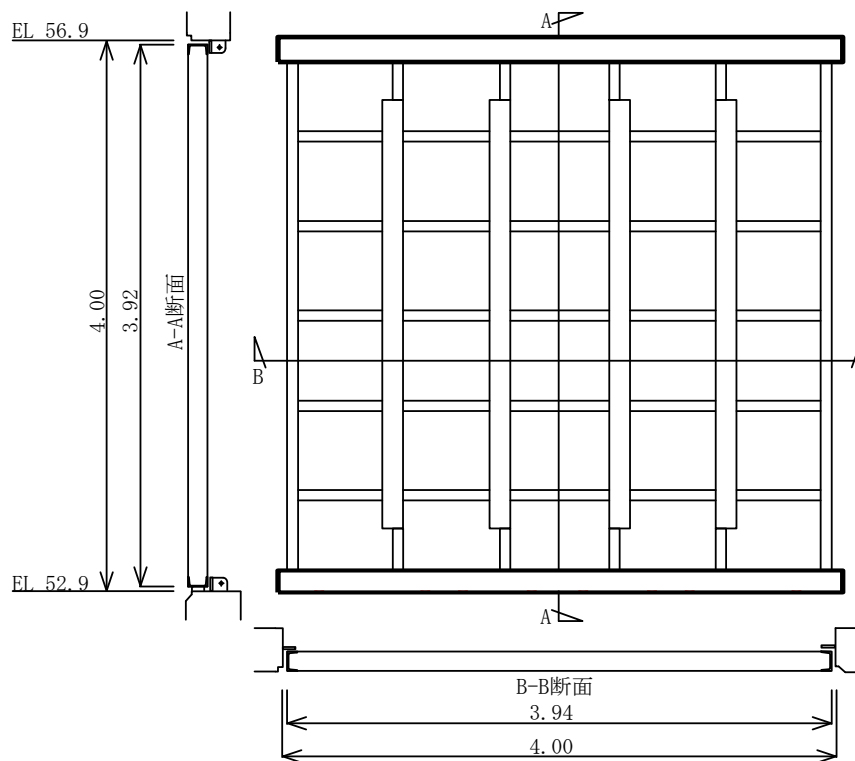
(1) 試験手順

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。

いずれの試験体もクリップ配置は上部□個、下部□個（幅約140mm）の計16箇所とする。これは、現状で予想されるパネル下部の摩擦，クリップ1個あたりの耐力から，Sd地震時には開放せず，かつ，設定差圧の6.9kPa以下にて確実に開放するように設計された配置である。クリップ取付け位置を図4-4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 | □個 | □個 | 約140mm | 63mm | □mm | |
| 試験体2 | □個 | □個 | 約140mm | 63mm | □mm | |
| 試験体3 | □個 | □個 | 約140mm | 63mm | □mm | |



○：幅約140mmのクリップ

図4-4 クリップ取付け位置図（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1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4点（上記，ロードセルより取得），ブローアウトパネルの変位4点（加力位置近傍の変位）及びクリップのひずみ4点（上下の両側，図4-5参照）並びに試験時の開放状況を動画撮影する。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□秒程度とする。

計測機器等仕様を表4-5に，計測システム構成を図4-6に示す。

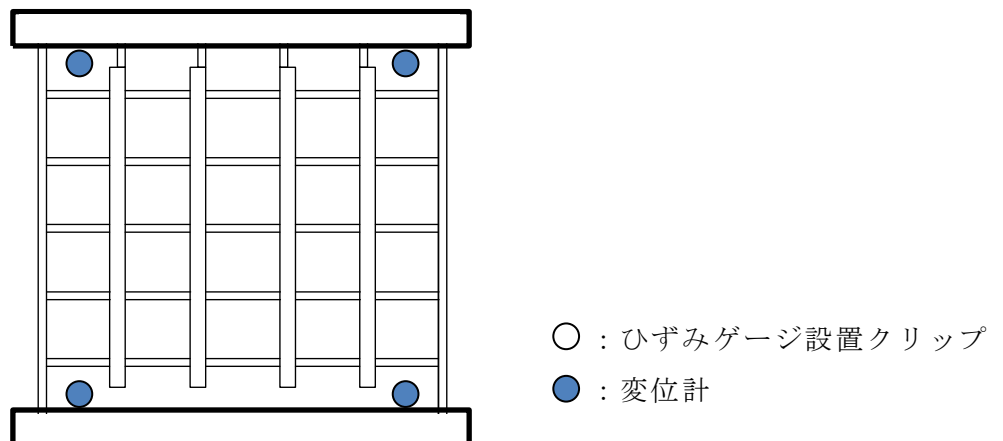


図4-5 計測器取付け位置図（立面図）

表4-5 計測機器等仕様

| 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 | ロードセル | | | |
| 4 | レーザ変位計 | | | |
| 5 | 動ひずみ測定器 | | | |
| 6 | ひずみゲージ | | | |
| 7 | 計測用PC | | | |

注：ケーブル等の付属品は省略



図 4-6 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

(4) 判定基準

【作動確認】

オペフロ BOP が設計差圧 (6.9 kPa 以下) の圧力にて開放すること

【閉維持確認】

オペフロ BOP の開放時の荷重が S d 荷重相当値 (約 49.3 kN) 以上であること

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 12.26kPa 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 が基準地震動 S_s 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 780mm×780mm、比重は約 $2.7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ である。

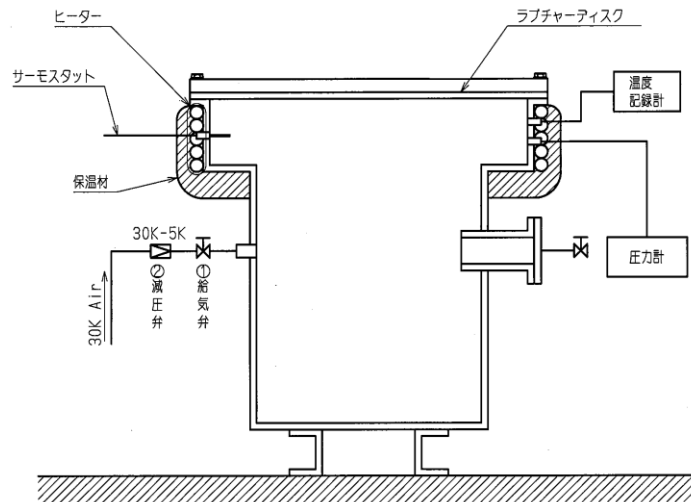


図 6-1 MS トンネル室 BOP 及び破裂試験装置の概略断面図

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。

(3) 判定基準

MS トンネル室 BOP が設計差圧（12.26kPa 以下）の圧力にて開放すること。

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。

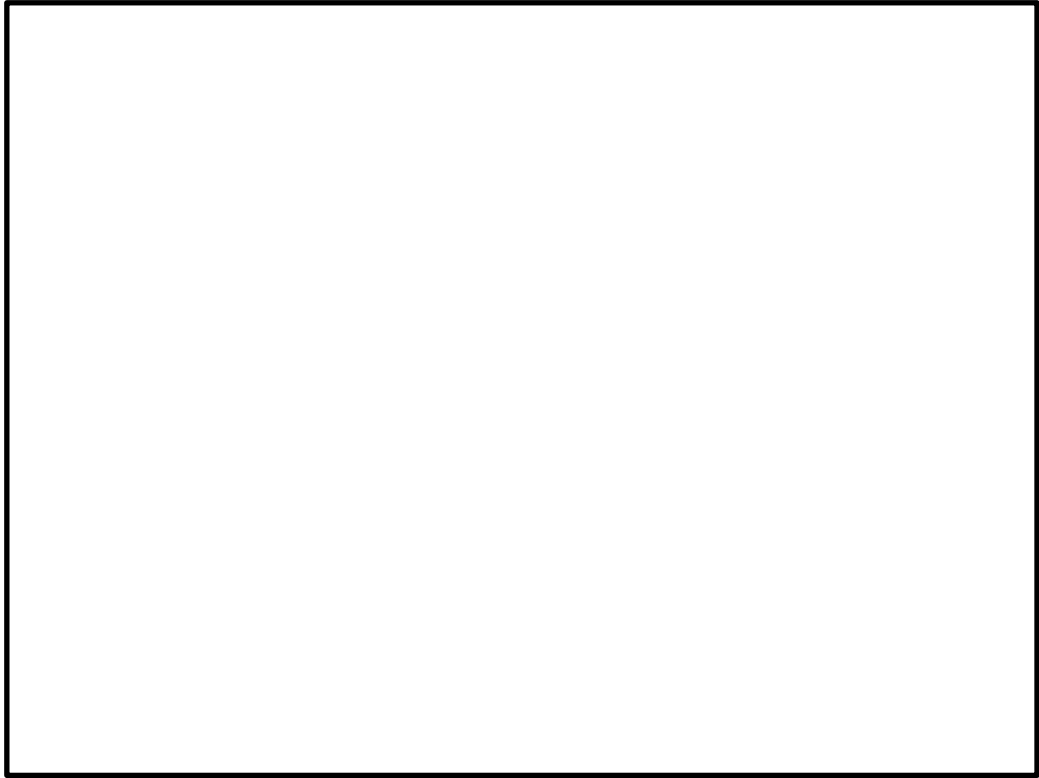


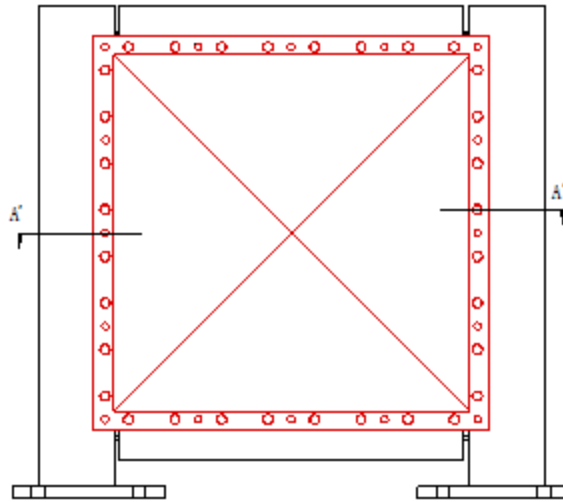
図 7-1 試験場配置図（平面図）

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 780mm×780mm，比重は約 $2.7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 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。



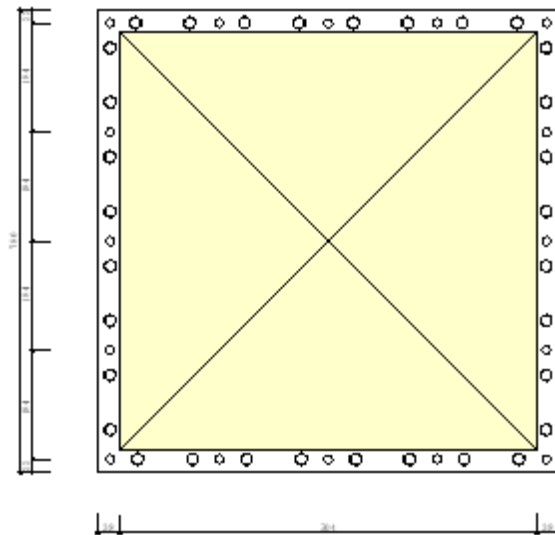
加振試験用枠体

(MS トンネル室 BOP 取付け時)



加振試験用枠体

(A-A 断面図)



MS トンネル室 BOP (立面図)

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 | 実機パネル模擬 |
| 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) 振動台の仕様

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 (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 s 地震相当 |

7.4 加振波

(1) MS トンネル室 BOP 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。VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトル (原子炉建物 EL) 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図 7-3, 図 7-4 に示す。

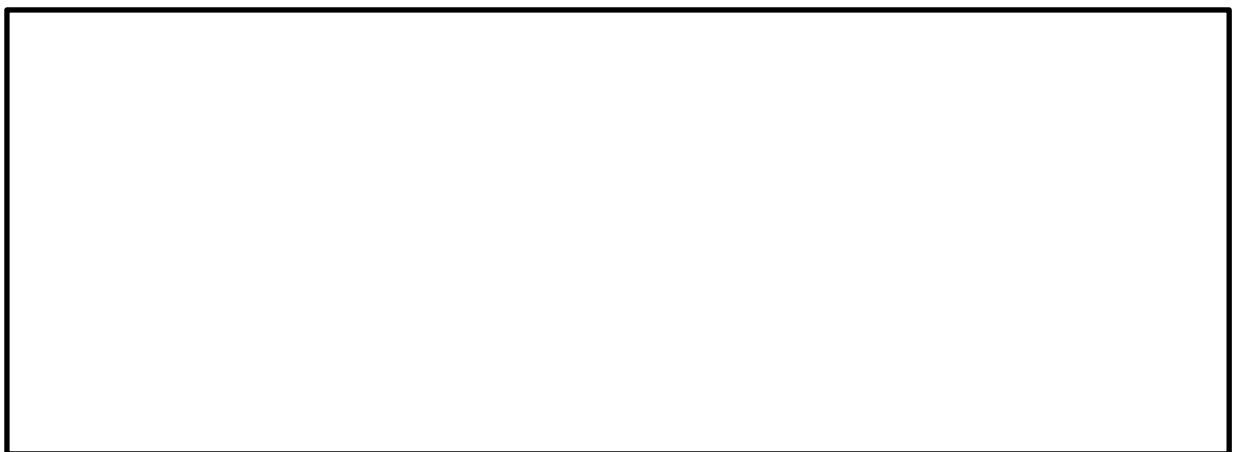
- ・ MS トンネル室 BOP の設置高さを含む上下の原子炉建物 EL
- ・ 基準地震動 S_s 5 波及び建物影響評価を考慮するばらつきケースを包絡
- ・ 加振目標の包絡スペクトルは減衰定数 % で設定



(1) 水平 (N S) 方向



(2) 水平 (E W) 方向



(3) 鉛直方向

図 7-3 模擬地震波の時刻歴波形



(1) 水平 (N S) 方向



(2) 水平 (E W) 方向



(3) 鉛直方向

図 7-4 模擬地震波の応答スペクトル (減衰定数 %)

7.5 MS トンネル室 BOP の加振方法

MS トンネル室 BOP 試験体を，基準地震動 S_s 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。

7.6 計測機器

計測機器の取付け位置を図 7-5 に示す。

a. 加速度計

メーカー名称： ， 型番名称：

設置場所：加振試験用枠体脚部

メーカー名称： ， 型番名称：

設置場所：MS トンネル室 BOP 中央部

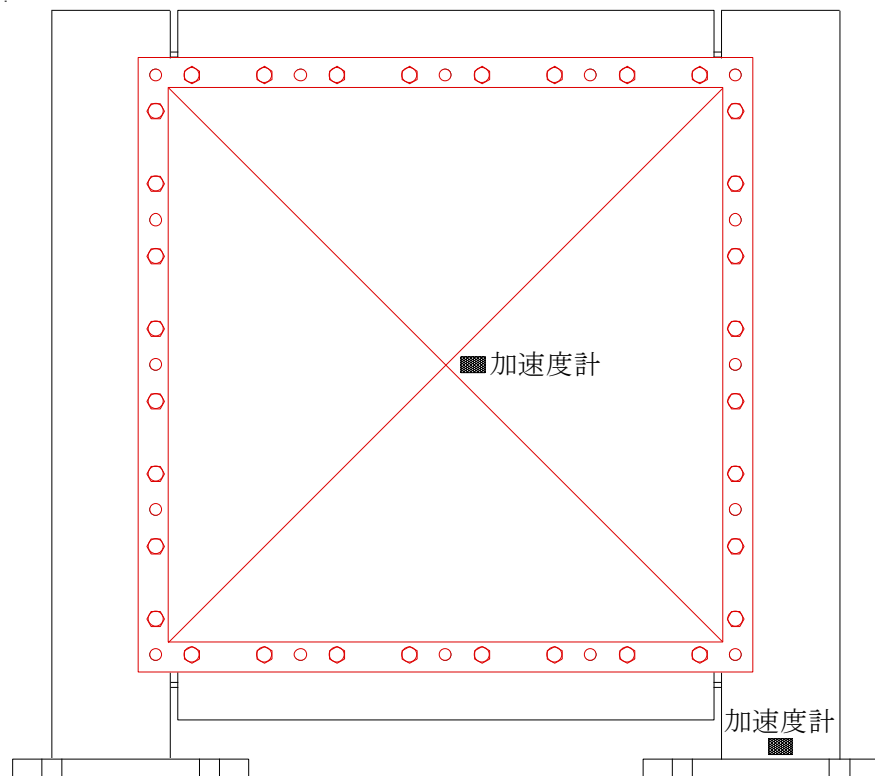


図 7-5 計測機器取付け位置図（立面図）

(1) 測定内容

加速度，亀裂の有無

(2) 測定方法

図 7-5 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。

(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

(4) 判定基準

本試験における判定基準を以下に示す。

- ・MS トンネル室 BOP の開放荷重 (7.36kN/m^2) 以下であること。
- ・亀裂が生じていないこと。

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. 燃料取替階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備微動による原子炉建物燃料取替階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、1 次、2 次振動モード図を図 1-2 に示す。□ Hz 及び □ Hz 近傍に大きなピークがあり、それぞれが 1 次振動数、2 次振動数である。

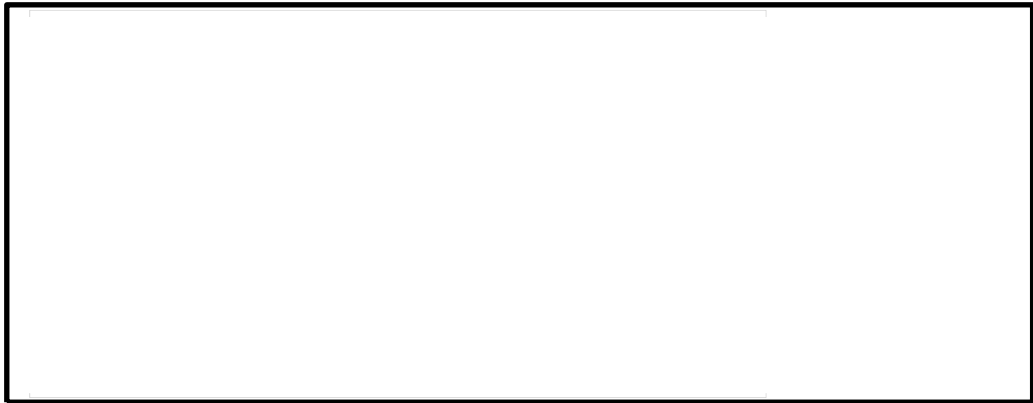


図 1-1 オペフロ BOP の固有振動数測定結果

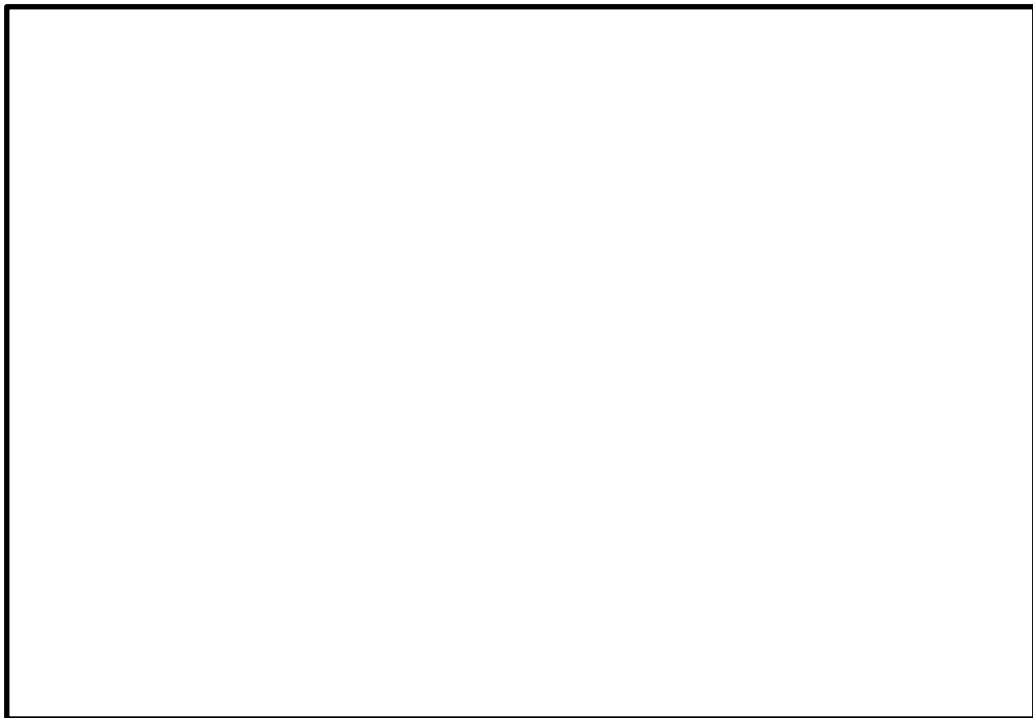


図 1-2 オペフロ BOP の振動モード図

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 16 個（幅約 140mm）の実機大モックアップ試験体に対して、4 体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 6.9 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) (6.9kPa 相当値) | 判定 | 備考 相当する差圧値 (kPa) |
|-------|-----------|----------------------|-----------------------------|----|------------------------|
| 試験体 1 | 2021/8/23 | <input type="text"/> | 106.5 | ○ | <input type="text"/> |
| 試験体 2 | 2021/8/24 | <input type="text"/> | | ○ | <input type="text"/> |
| 試験体 3 | 2021/8/25 | <input type="text"/> | | ○ | <input type="text"/> |

試験体 1

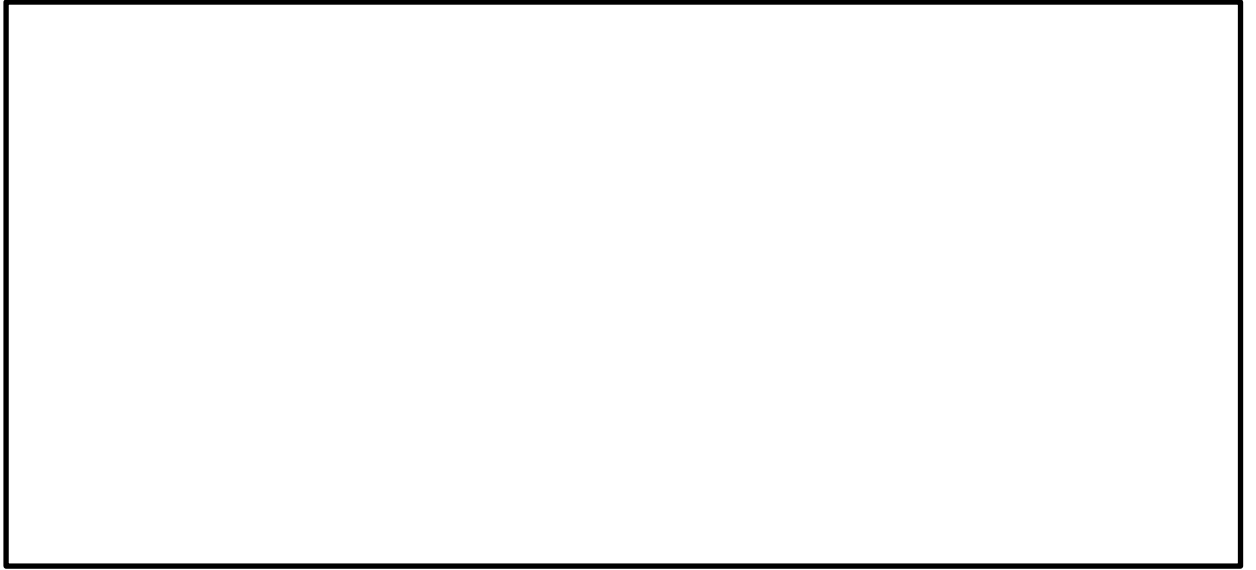


図 2-1 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

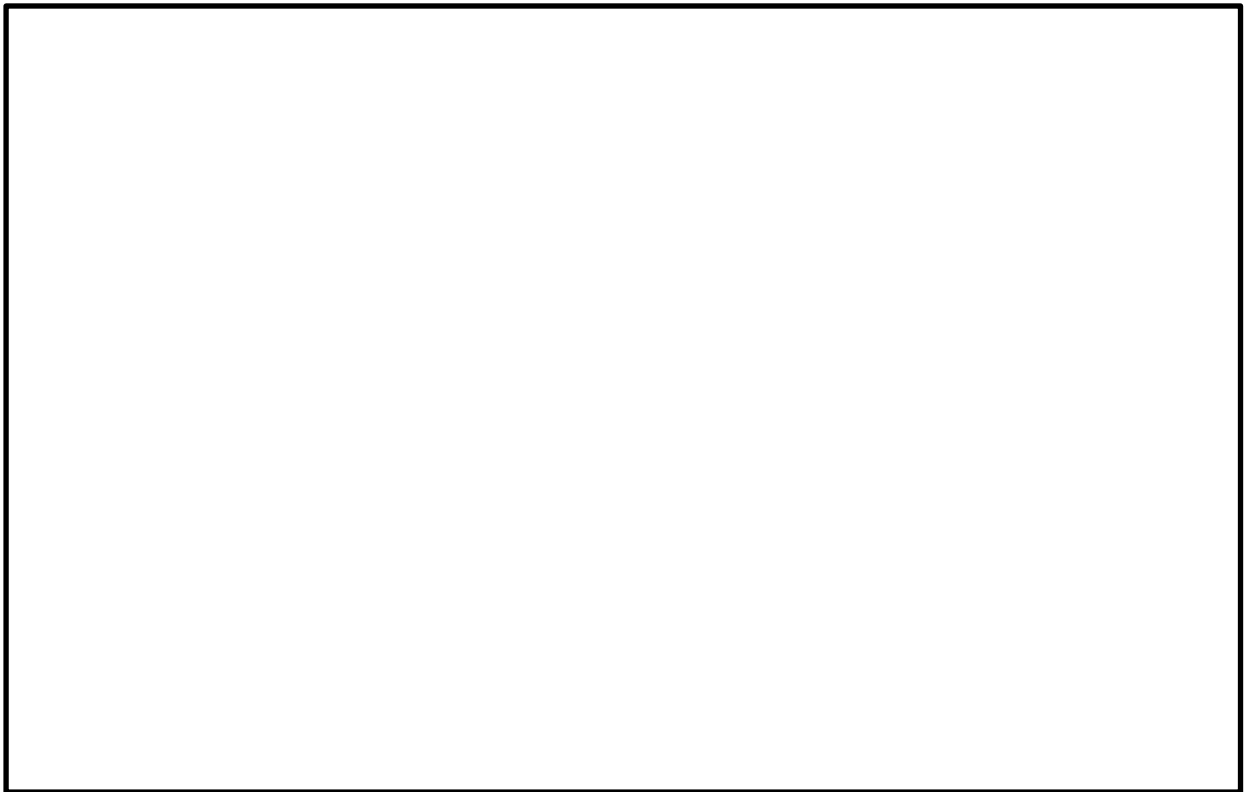


図 2-2 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果（試験体 1）

試験体 2



図 2-3 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

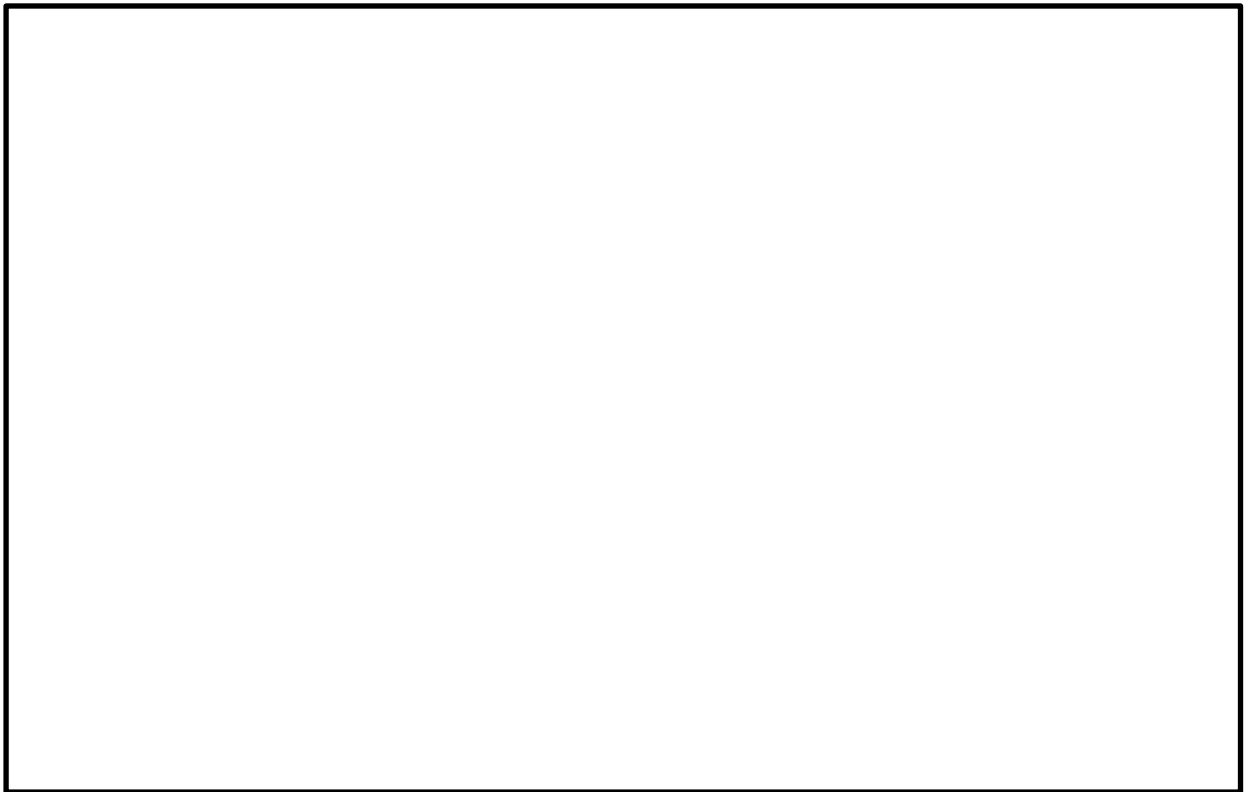


図 2-4 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (試験体 2)

試験体 3



図 2-5 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

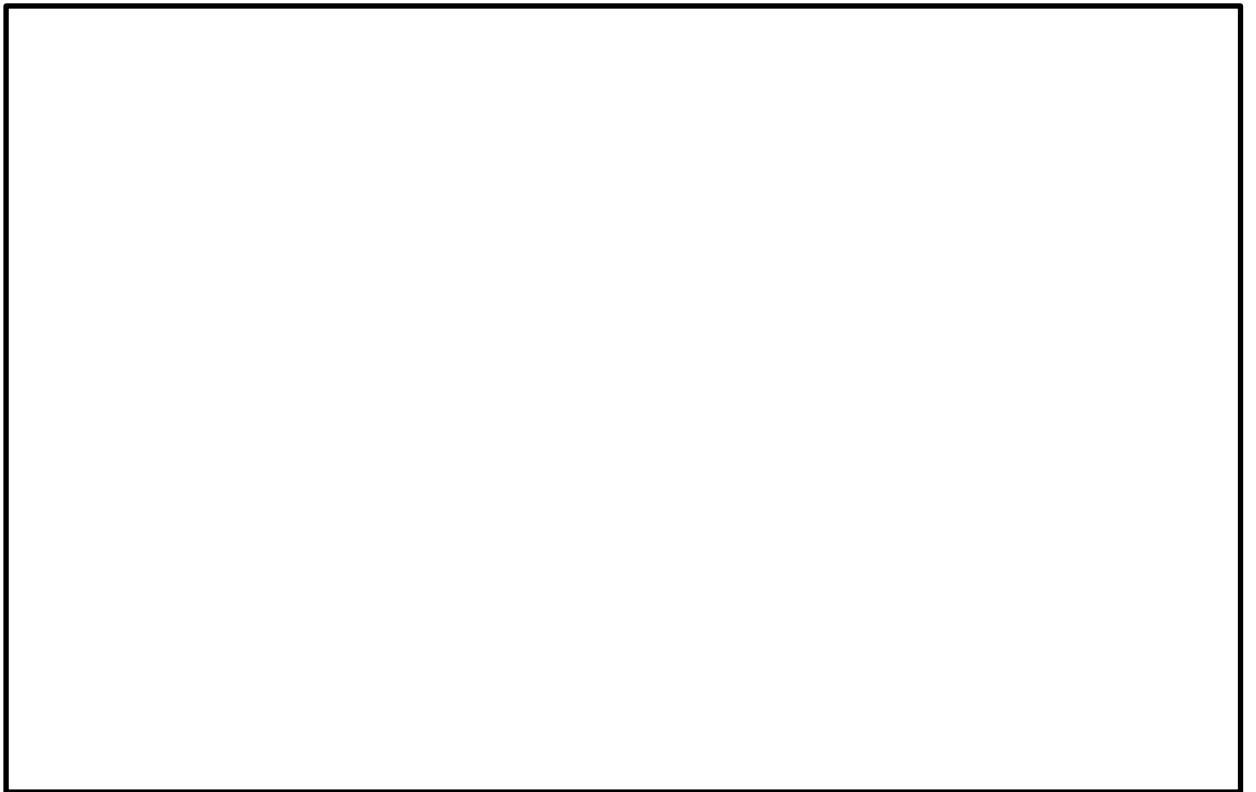


図 2-6 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果（試験体 3）

(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 49.3kN) 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 49.3kN の根拠は、以下のとおり。

オペフロ BOP 重量 : 約 2000 kg

オペフロ BOP 設置場所 (EL 52.9 m) 応答水平震度 : 2.51*

注記* : 最大応答加速度に保守性を考慮した震度

S d 相当荷重値 : $2000 \text{ kg} \times 9.80665 \text{ m/s}^2 \times 2.51G = 49229 \text{ N} \approx 49.3 \text{ kN}$

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 | 2021/8/23 | <input type="text"/> | 49.3 | ○ |
| 試験体 2 | 2021/8/24 | <input type="text"/> | | ○ |
| 試験体 3 | 2021/8/25 | <input type="text"/> | | ○ |

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、上部及び下部クリップの開放による最大荷重に到達した後、取付け枠からパネルが完全に脱落することを確認している。

ジャッキ荷重は上下左右で同程度の荷重値となっており、パネルを均等に載荷することができている。

なお、下部のみに摩擦荷重が作用するため、上部が先行して開放し、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. 主蒸気管トンネル室ブローアウトパネル作動確認結果

(1) 開放機能確認結果

試験装置に設置した原子炉建物主蒸気管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。）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（12.26 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 | 2021/3/11 | 9.23 | 12.26 | ○ |
| 試験体2 | | 10.16 | | ○ |
| 試験体3 | | 10.30 | | ○ |

(2) 閉維持確認結果

ブローアウトパネル設置位置での設計用床応答スペクトル（S s）より得られる応答水平震度に保守性を考慮して設定した震度から算出した S s 荷重は 0.133kN/m²，加振試験による S s 荷重の測定値は []kN/m²～[]kN/m² であり，MS トンネル室 BOP の開放荷重（7.36kN/m²）以下であることを確認した。

評価結果を表 4-2 に示す。

ここで，S s 地震相当の模擬地震波による加振試験において，試験体脚部に設置した加速度計の計測記録が目標値（S s 包絡条件）を上回ることを確認した。表 4-3 に最大加速度値，図 4-1 に加速度応答スペクトルの計測結果を示す。目標応答を計測結果が一部下回っているが，ランダム波加振により，ラブチャーパネル中央に設置した加速度計で計測した 1 次固有周期は []Hz（約 []秒），試験体 2 で []Hz（約 []秒），試験体 3 で []Hz（約 []秒）であることから，固有振動数帯での計測結果は，目標応答を上回っていることを確認した。

表 4-2 MS トンネル室 BOP の耐震性能確認結果（S s）

| 項目 | 試験日 | 算定値 (kN/m ²) (S s 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 | 2021/5/11 | 0.133 | [] | 7.36 | ○ |
| 試験体2 | 2021/5/12 | | [] | | ○ |
| 試験体3 | 2021/6/17 | | [] | | ○ |

表 4-3 MS トンネル室 BOP の加振試験結果 (試験体脚部最大加速度)

(a) 試験体 1

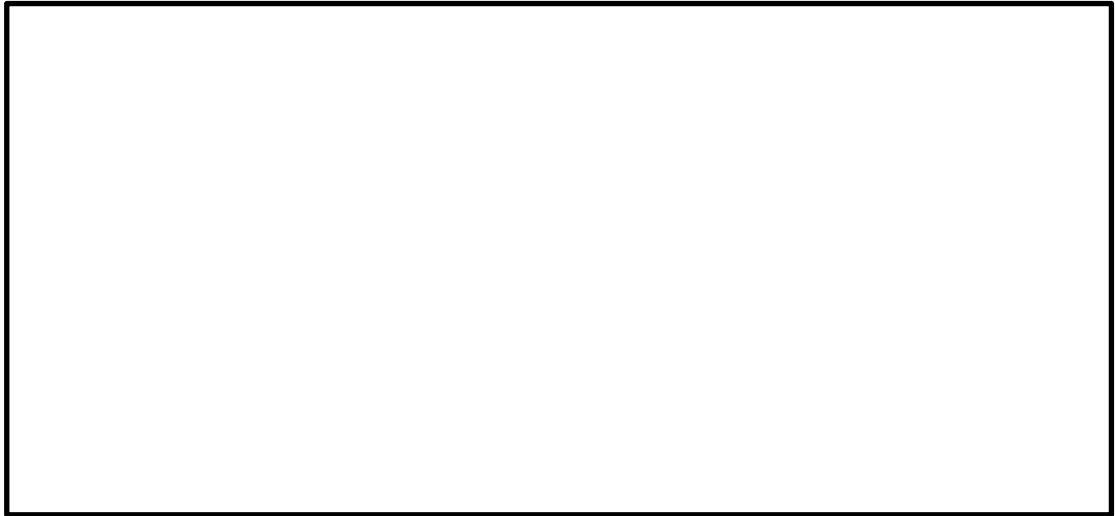
| 方向 | S s 包絡条件 (m/s^2) | 計測結果 (m/s^2) | 判定結果 |
|------|-------------------------|---------------------|------|
| 面外方向 | | | ○ |
| 面内方向 | | | ○ |
| 上下方向 | | | ○ |

(b) 試験体 2

| 方向 | S s 包絡条件 (m/s^2) | 計測結果 (m/s^2) | 判定結果 |
|------|-------------------------|---------------------|------|
| 面外方向 | | | ○ |
| 面内方向 | | | ○ |
| 上下方向 | | | ○ |

(c) 試験体 3

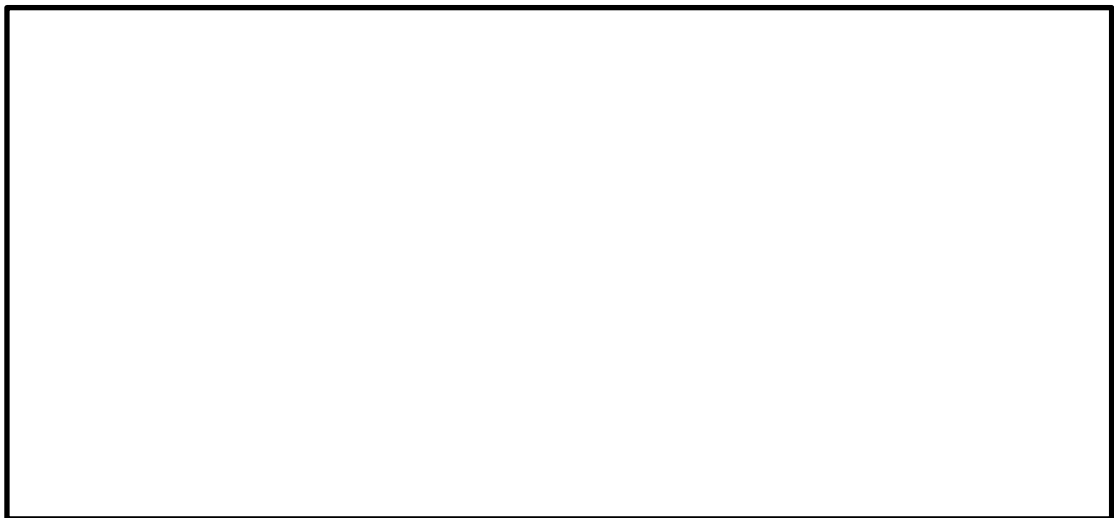
| 方向 | S s 包絡条件 (m/s^2) | 計測結果 (m/s^2) | 判定結果 |
|------|-------------------------|---------------------|------|
| 面外方向 | | | ○ |
| 面内方向 | | | ○ |
| 上下方向 | | | ○ |



(a) 面外方向

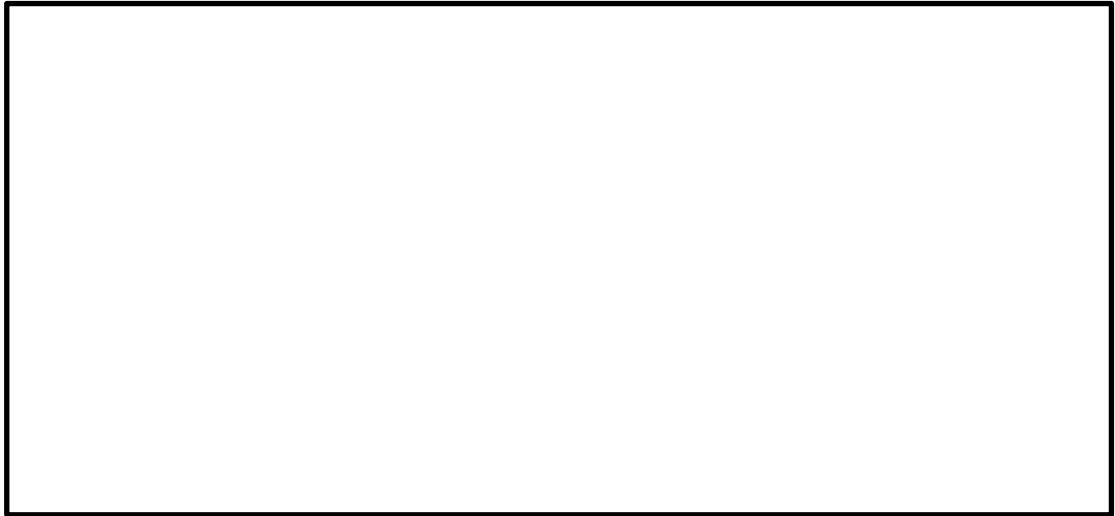


(b) 面内方向

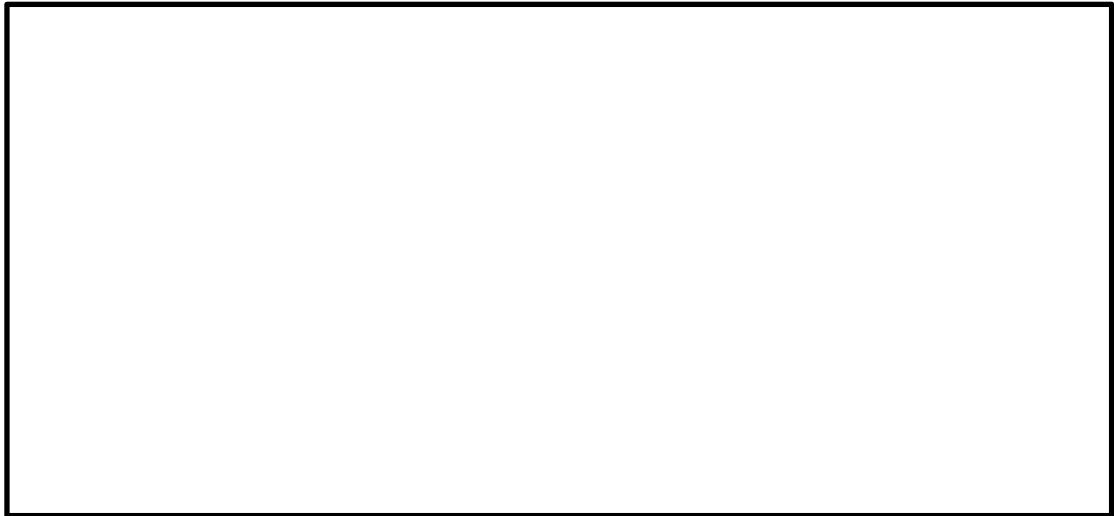


(c) 上下方向

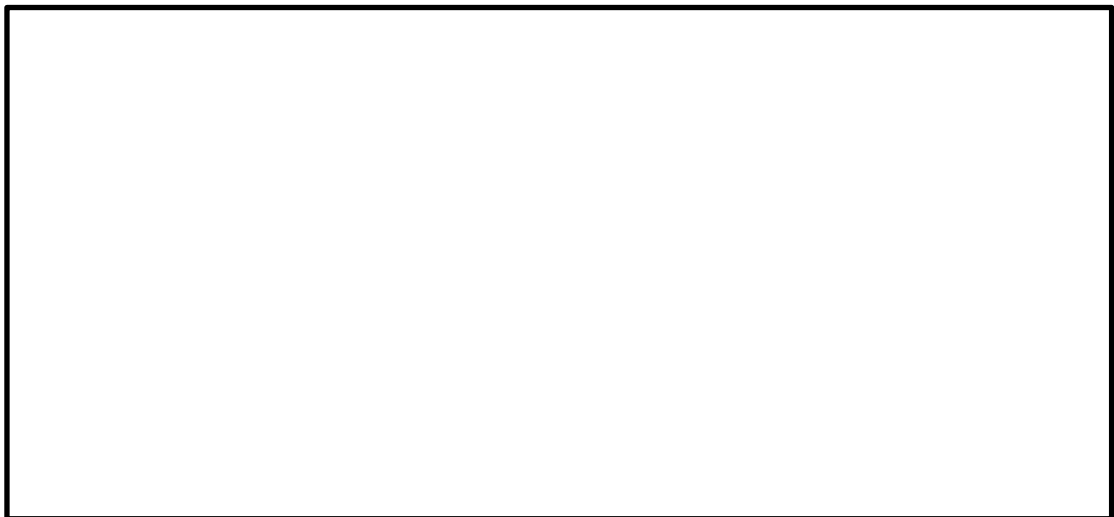
図 4-1(1) MS トンネル室 BOP の加振試験結果
(試験体脚部加速度応答スペクトル, 試験体 1, 減衰定数 %)



(a) 面外方向

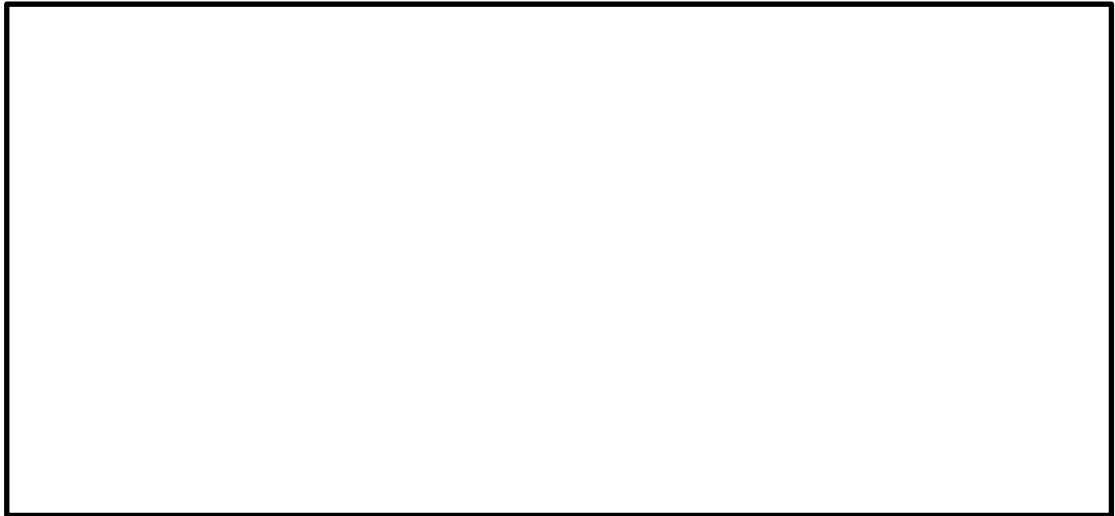


(b) 面内方向

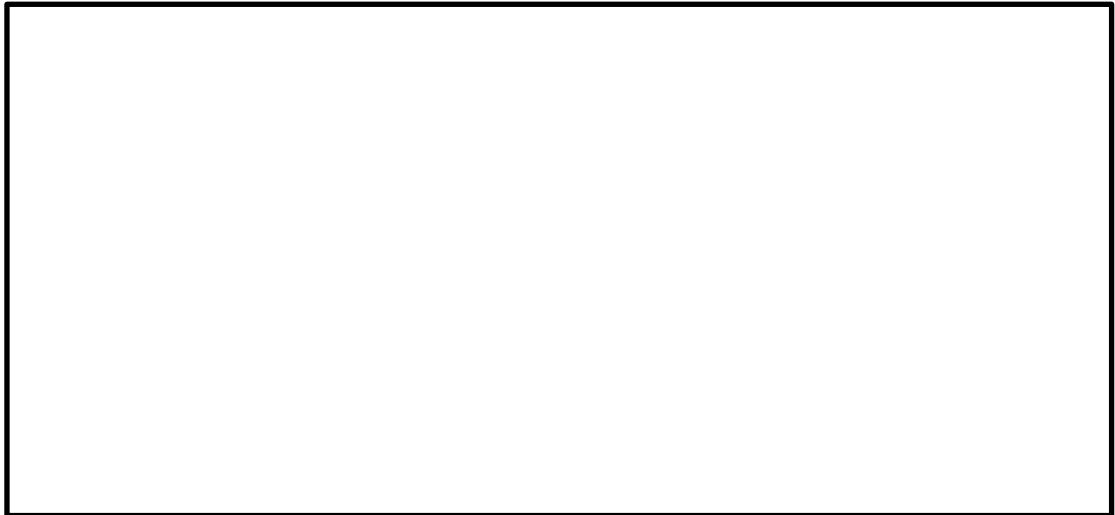


(c) 上下方向

図 4-1(2) MS トンネル室 BOP の加振試験結果
(試験体脚部加速度応答スペクトル, 試験体 2, 減衰定数 %)



(a) 面外方向



(b) 面内方向



(c) 上下方向

図 4-1(3) MS トンネル室 BOP の加振試験結果
(試験体脚部加速度応答スペクトル, 試験体 3, 減衰定数 %)

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開放時の設計基準事故被ばく評価への影響について

1. 概要

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）は、二次格納施設のバウンダリとしての機能を有しているため、弾性設計用地震動S_dで開放しない設計としている。このため、設計基準事故事象のうち、二次格納施設バウンダリ機能の健全性を前提としている事故事象に対して、これら事象との組み合わせを考慮し、弾性設計用地震動S_dを超える地震にてオペフロBOPが開放した場合の公衆への被ばく影響を確認する。

設計基準事故のうち「燃料集合体の落下」及び「原子炉冷却材喪失」では、放射性物質は非常用ガス処理系で処理された後、排気筒から放出される想定としているが、オペフロBOPが開放した場合は、二次格納施設の負圧維持ができなくなり、オペフロBOP開放部から直接大気中に放射性物質が放出される可能性がある。

本評価では事故発生から30日*後以降に地震によりオペフロBOPが開放されると想定した時の設計基準事故時の被ばく評価への影響について以下のとおり確認した。

注記*：設計基準事故の発生確率を 10^{-3} /年、弾性設計用地震S_dの発生確率を 10^{-3} /年、重畳を考慮すべき基準を 10^{-7} /年（航空機落下，J E A G 4 6 0 1）とし、重畳を考慮すべき時期として $10^{-7}/(10^{-3} \times 10^{-3}) = 0.1$ 年（約36.5日）から30日を仮定

2. 放出量評価

事故発生から30日後までは、設置許可申請書添付書類十に記載される評価に基づき放出量評価を行い、事故発生30日後からは非常用ガス処理系を経由せずにオペフロBOPから直接大気に放射性物質が放出されると仮定し、非常用ガス処理系による素除去効果及び換気率を見込まずに、放射性物質が地上放出されるものとして放出量を評価する。

評価対象事象は、非常用ガス処理系に期待しており、オペフロBOPの開放によって影響が生じる「原子炉冷却材喪失」を選定する。具体的な放出量評価方法については別紙1に示す。

なお、燃料集合体の落下の放出率は、別紙1の別図1に示すように約20日でほぼゼロであり、事故発生から30日後以降のオペフロBOP開放の影響はない。

放出量の評価結果を表2-1に示す。

表2-1 原子炉冷却材喪失時の放出量の評価結果

| 項目 | 評価期間 | 原子炉冷却材喪失 | |
|-------------------------|--------------------|---|--|
| | | 希ガス (γ 線実効エネルギー 0.5MeV換算値) (Bq) | よう素 (I-131等価量-小児実効 線量係数換算値) (Bq) |
| 設置許可申請書における放出量 | 無限期間 | 約 6.7×10^{11} | 約 3.7×10^7 |
| オペフロ BOP 開放を 想定した放出量 | 事故発生から 30 日後まで* | 約 6.5×10^{11} | 約 3.4×10^7 |
| | 事故発生から 30 日後以降* | 約 2.0×10^{10} | 約 9.4×10^9 |
| | 合計 | 約 6.7×10^{11} | 約 9.4×10^9 |

注記*：オペフロBOP開放は事故発生から720時間後を想定し、その前後で評価期間を分けている。

3. 大気拡散条件

大気拡散評価は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に基づき行う。

事故発生から30日後までは排気筒放出、30日後以降は地上放出を想定し大気拡散評価を行う。また、オペフロBOPが開放した場合は原子炉建物から瞬時に放出するものとし、実効放出継続時間は1時間とする。

大気拡散条件の評価結果を表3-1に示す。

表3-1 原子炉冷却材喪失時の相対濃度及び相対線量の評価結果

| 項目 | | 放出位置 | 実効放出 継続時間 (h) | 相対濃度/相対線量 | | 評価方位 |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------|------|
| 設置許可申請書における 拡散条件 | | 非常用ガス 処理系 排気管 | 24 | D/Q (Gy/Bq) | 1.5×10^{-19} | SW |
| | | | 24 | χ /Q (s/m ³) | 2.7×10^{-6} | |
| オペフロ BOP 開放を 想定した 拡散条件 | 事故発生 から 30 日 後まで* | 非常用ガス 処理系 排気管 | 24 | D/Q (Gy/Bq) | 9.0×10^{-20} | NW |
| | | | 24 | χ /Q (s/m ³) | 1.5×10^{-6} | |
| | 事故発生 から 30 日 後以降* | 原子炉建物 (地上放出) | 1 | D/Q (Gy/Bq) | 2.1×10^{-18} | |
| | | | 1 | χ /Q (s/m ³) | 3.5×10^{-4} | |

注記*：オペフロBOP開放は事故発生から720時間後を想定し、その前後で評価期間を分けている。

4. 被ばく評価結果

オペフロBOPが開放した場合の設計基準事故時の被ばく評価結果を表4-1に示す。

オペフロBOP開放を考慮した評価結果は、設計基準事故の基準である5mSvを十分に下回る結果となっており、設計基準事故に係る被ばく評価の結論に影響はない。

なお、設置許可申請補本文十号に記載されている設計基準事故で最も線量が高くなる燃料集合体の落下の線量（約 8.0×10^{-2} mSv）と比べても低い値となっていることを確認している。

表4-1 原子炉冷却材喪失時の被ばく評価結果

| 項目 | | 実効線量(mSv) | |
|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| 設置許可申請書添付書類十記載値 | 希ガス | 約 1.0×10^{-4} | |
| | よう素 | 約 9.4×10^{-7} | |
| | 直接・スカイシャイン線*1 | 約 3.1×10^{-7} | |
| | 合計 | 約 1.0×10^{-4} | |
| オペフロ BOP 開放を想定した場合 | 事故発生から 30 日後まで*2 | 希ガス | 約 5.8×10^{-5} |
| | | よう素 | 約 4.9×10^{-7} |
| | 事故発生から 30 日後以降*2 | 希ガス | 約 4.2×10^{-5} |
| | | よう素 | 約 3.1×10^{-2} |
| | 直接・スカイシャイン線*1 | | 約 3.1×10^{-7} |
| | 合計 | | 約 3.1×10^{-2} |

注記*1：オペフロBOP開放後は原子炉建物原子炉棟内の放射性物質は大気中へ放出されるため、原子炉建物からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線はなくなるが本評価においては考慮しない

*2：オペフロBOP開放は事故発生から720時間後を想定し、その前後で評価期間を分けている。

オペフロBOPの開放を考慮した放出量評価について

「燃料集合体の落下」及び「原子炉冷却材喪失」の放出量評価においては非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率を考慮して式①及び式②により放出量評価を行っている。

オペフロBOPが開放した場合には、非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率が期待できなくなる。このため、別表1及び別表2に示す条件の違いを考慮してオペフロBOP開放後の放出量を評価した。

1. 燃料集合体の落下

燃料集合体の落下におけるオペフロBOP開放前の放出量は式①により求める。オペフロBOP開放後の放出量は別表1に示す条件の違いを考慮して放出量を評価する。

ただし、燃料集合体の落下の放出率は別図1に示すように約20日で≒0であり、事故発生から30日後以降のオペフロBOP開放の影響はない。

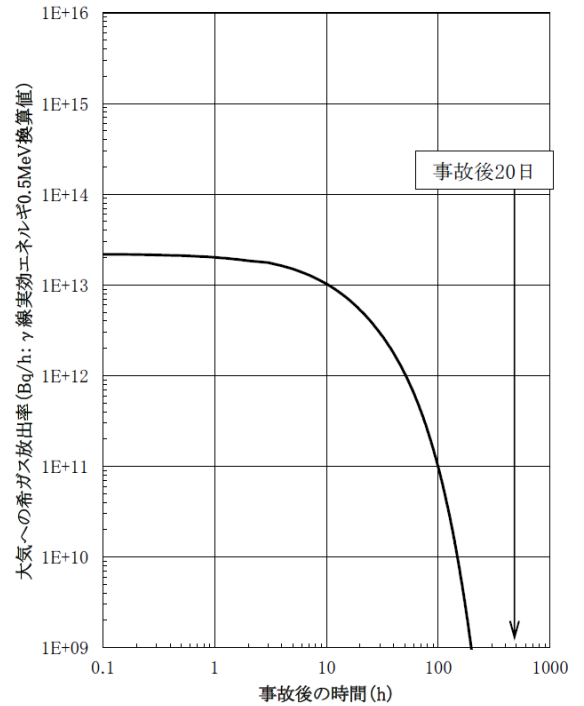
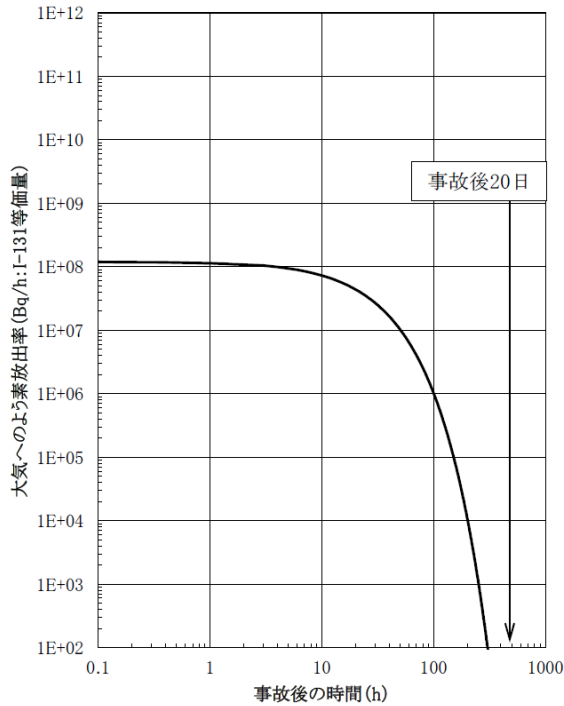
$$Q_i = \frac{\lambda_{LSGTS} \cdot (1 - f_{SGTS}) \cdot \frac{F}{DF} \cdot Q_p^i}{\lambda_R^i + \lambda_{LSGTS}} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

- Q_i : 大気中の放出される核分裂生成物の放出量(Bq)
- Q_p^i : 事故直前に燃料ギャップ部に存在する核分裂生成物の量(Bq)
- F : 核分裂生成物の存在割合

| | |
|-------|--------------------|
| 希ガス | : F=1 |
| 有機よう素 | : F=全よう素中の有機よう素の割合 |
| 無機よう素 | : F=全よう素中の無機よう素の割合 |
- DF : 無機よう素のプール水による除去係数 (DF=500)
(希ガス及び有機よう素はDF=1)
- λ_{LSGTS} : 非常用ガス処理系による原子炉建物内の換気率 (d⁻¹)
- f_{SGTS} : 非常用ガス処理系フィルタのよう素除去効率 (-)
- λ_R^i : 各種iの崩壊定数 (d⁻¹)

別表1 燃料集合体の落下時の非常用ガス処理系の評価条件

| | 設置許可申請書添付書類十における評価条件 | オペフロ BOP 開放を考慮した場合の評価条件 |
|-------------------|--|-------------------------|
| F | 希ガス $F=100\%$ 有機よう素 $F=1\%$ 無機よう素 $F=99\%$ | 同左 |
| DF | 希ガス $DF=1$ 有機よう素 $DF=1$ 無機よう素 $DF=500$ | 同左 |
| λ_{LSGTS} | 1 回/d | 無限大 |
| f_{SGTS} | 99.97% | 0% |
| λ_R^i | (例) 希ガス (Xe-133) : 0.131 (d ⁻¹) よう素 (I-131) : 0.086 (d ⁻¹) | 同左 |



別図1 燃料集合体の落下時におけるよう素及び希ガスの放出率の時間推移

別表2 原子炉冷却材喪失時の非常用ガス処理系等の評価条件

| | 設置許可申請書添付書類十 | オペフロ BOP の開放を考慮した場合の評価条件 |
|-------------------|--|--------------------------|
| C_W^i | 1.4×10^3 Bq/g (I-131) | 同左 |
| M | 200 t | 同左 |
| q_f^i | 3.7×10^{13} Bq (I-131) | 同左 |
| g | 希ガス $g = 100\%$ 有機よう素 $g = 4\%$ 無機よう素 $g = 96\%$ | 同左 |
| F_2 | 50% | 同左 |
| V_A | 12600 m ³ | 同左 |
| V_W | 2800 m ³ | 同左 |
| P | 無機よう素 $P = 100$ | 同左 |
| λ_{LPCV} | 0.5%/d | 同左 |
| λ_{LSGTS} | 1 回/d | 無限大 |
| f_{SGTS} | 99.97% | 0% |
| λ_R^i | (例) 希ガス (Xe-133) : 0.131 (d ⁻¹) よう素 (I-131) : 0.086 (d ⁻¹) | 同左 |

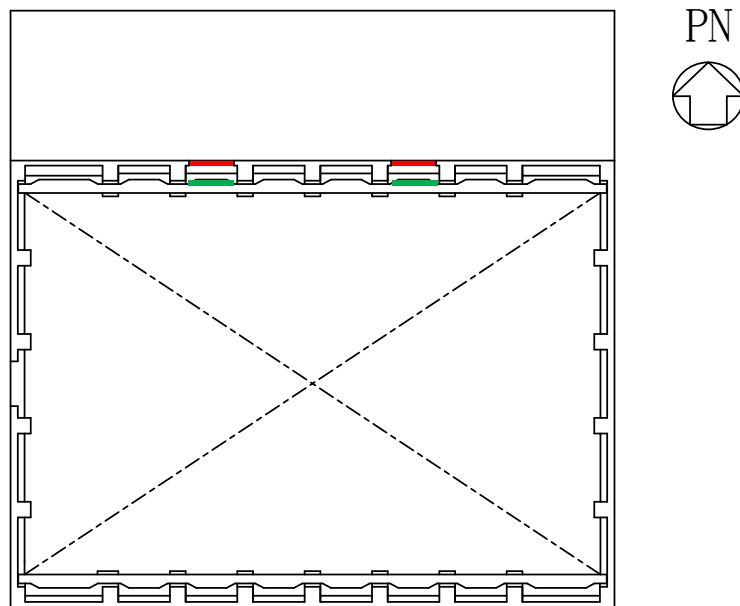
原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について

1. 概要

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則及び規則の解釈の第74条で要求される設備であり、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放した状態において、炉心の著しい損傷が発生した場合に中央制御室にとどまる運転員を過度の被ばくから防護するため、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放した後の躯体の開口部を閉止し、原子炉建物原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能を確保するために設置する。

2. 設置位置及び個数

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開口部2箇所に対して原子炉建物原子炉棟4階内壁面に計48台（1箇所あたりダンパ24台）設置する。概略平面図を図2-1に示す。



原子炉建物地上4階中間床 概略平面図

■ : (オペフロ BOP2 箇所)
■ : (BOP 閉止装置 2 箇所)

図2-1 原子炉建物原子炉棟地上4階 概略平面図

3. BOP閉止装置の構造

BOP閉止装置は、アクチュエータの回転をシャフトに伝達することで羽根の開閉が可能な構造としており、リミットスイッチにより羽根の開閉状態を中央制御室にて確認できる構造としている。

羽根は、補強リブにてシャフトとボルト締結された構造としており、閉止状態においては、羽根に取り付けられているパッキンをケーシングに押し付けることにより高い気密性を確保する構造としている。

なお、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放する際に、BOP閉止装置は干渉しない構造とする。

図3-1にBOP閉止装置の構造概要図（2連ダンパを例とする）を、図3-2に駆動概要図を、図3-3にBOP閉止装置を含めた関連設備の設置概要図を示す。

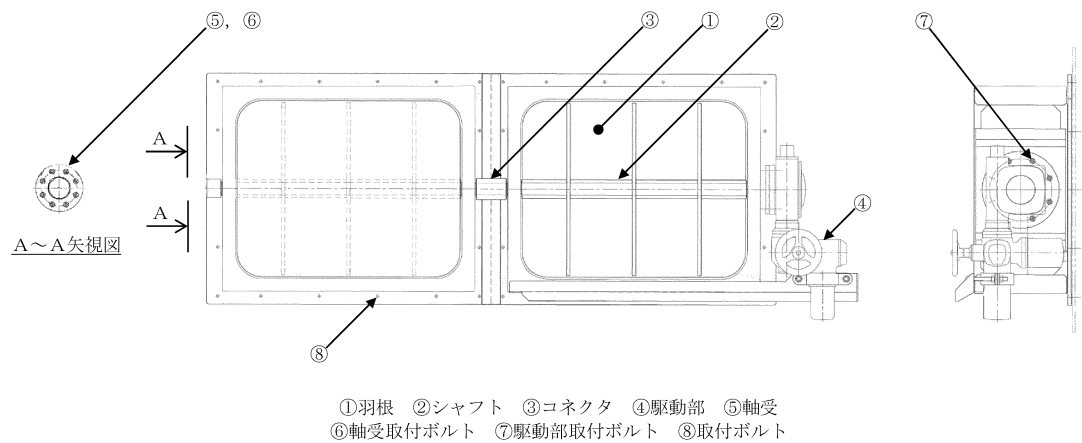


図3-1 BOP閉止装置（2連ダンパ）の構造概要図



図3-2 BOP閉止装置の駆動概要図（左：閉止，右：開放）

○駆動機構について

- ・羽根の動作は，シャフトに接続されているアクチュエータが駆動することで閉止又は開放する。

○手動操作について

- ・アクチュエータに取付けられている手動ハンドルを操作することで，シャフトを人力で回転させ開閉動作が可能。

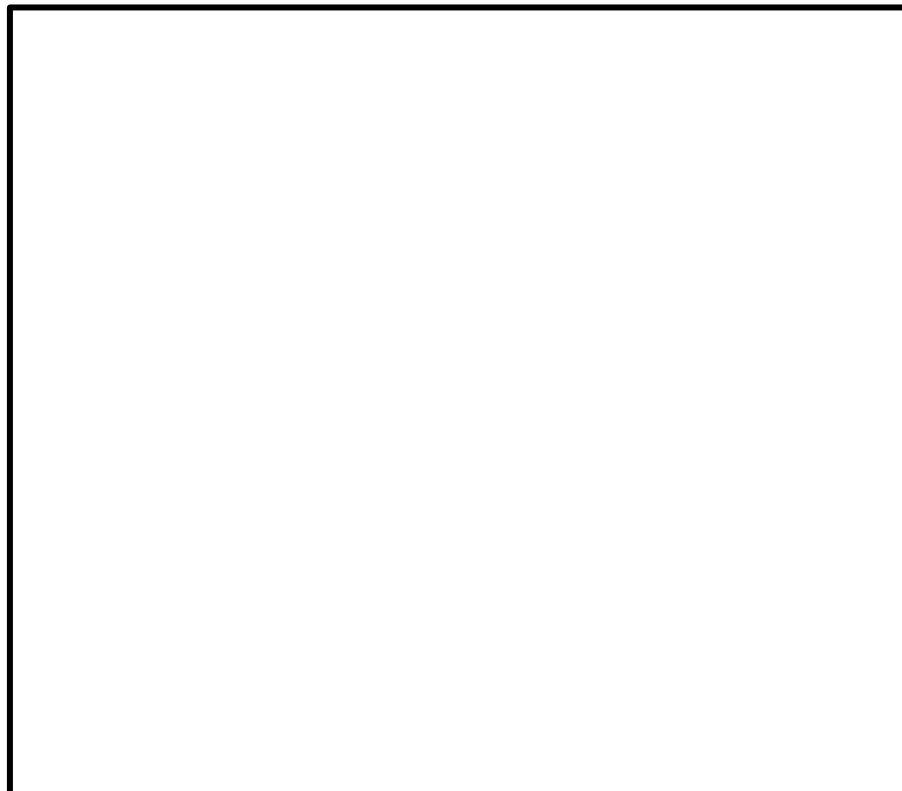


図3-3 BOP閉止装置の設置概要図

原子炉建物内の圧力解析について

1. はじめに

島根原子力発電所2号機の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は、原子炉建物原子炉棟内の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）への蒸气流路上に設置する。このため、待機時の羽根開状態において、主蒸気管破断等が発生した際に、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないよう、蒸気を建物外へ放出するために必要な流路を確保する必要がある。

上記を踏まえ、主蒸気管破断事故時における原子炉建物内圧力解析を実施し、原子炉格納容器の設計外圧未満となることを確認することで、BOP閉止装置の設置が、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないことを確認する。

なお、重大事故等対策の有効性評価において、インターフェイスシステムLOCAとして残留熱除去系熱交換器フランジ部及び残留熱除去系計器の破断を想定しているが、破断面積は主蒸気管破断事故と比較し非常に小さく、主蒸気管破断事故に評価は包絡される。また、BOP閉止装置の設置による重大事故等時の原子炉建物内の設備の環境条件へ影響はない。

2. 解析方法

(1) 解析コード

汎用熱流動解析コードGOTHIC (Ver. 8.1)

(2) 想定事象

主蒸気管破断事故 (MSLBA)

(3) 解析条件・解析モデル

解析条件：事故時の冷却材流出量については、設置許可申請書添付書類十主蒸気管破断事故解析結果を包絡する条件を用いる。その他の解析条件は表2-1のとおり。

解析モデル：図2-1のとおり。流路圧損について、区画間の流路圧損に加え、BOP閉止装置による圧損を考慮したモデルとした。

表2-1 解析条件

| No. | 項目 | 解析条件 | 備考 |
|-----|---------------------------------|---|--|
| 1 | 初期条件 (1)温度 (2)圧力 (3)湿度 | 10℃ 大気圧 相対湿度 100% | 通常運転時の環境使用温度の最低値を設定 |
| 2 | 空間容積 | 原子炉建物地上 4 階：41300m ³ 原子炉建物地上 3 階：5920m ³ 原子炉建物地上 2 階：5190m ³ 原子炉建物地上 1 階：8240m ³ 原子炉建物地下 1 階・地下 2 階（トールラス室）：4410m ³ MS トンネル室：2682m ³ ペントハウス：3223m ³ T/B：24580m ³ PCV シェルギヤップ：41m ³ | 空間容積は、躯体分、機器配管分を差し引いた値 |
| 3 | 流路面積 (1)BOP (2)区画間面積 | オペフロ BOP：20.97m ² (13.98m ² ×2 枚を保守的に 1.5 枚の面積として評価) MS トンネル室 BOP1：20.58m ² MS トンネル室 BOP2：20.58m ² MS トンネル室 BOP3：14.21m ² ペントハウス BOP：30.02m ² タービン建物 BOP：40.365m ² 原子炉建物地上 4 階-3 階：39m ² 原子炉建物地上 3 階-2 階：39m ² 原子炉建物地上 2 階-1 階：39m ² 原子炉建物地上 1 階-地下 1 階・地下 2 階：3.24m ² MS トンネル室 2 階-1 階：27m ² ペントハウス 3 階-2 階：20.24m ² PCV シェルギヤップ [°] -地上 2 階：0.173m ² PCV シェルギヤップ [°] -地上 1 階：1.912m ² PCV シェルギヤップ [°] -地下 1 階：0.749m ² T/B 地下 1 階~2 階-吹き抜け：71.02m ² | BOP 閉止装置による圧損はオペフロ BOP 開口部で考慮。 |
| 4 | BOP 開放圧力 (差圧) | オペフロ BOP：6.9kPa MS トンネル室 BOP1：12.26kPa MS トンネル室 BOP2：12.26kPa MS トンネル室 BOP3：12.26kPa ペントハウス BOP：3.5kPa タービン建物 BOP：3.5kPa | ISLOCA 時及び MSLBA 時等に屋外へ開放 MSLBA 時に原子炉建物地上 1 階側へ開放 MSLBA 時にペントハウス側へ開放 MSLBA 時にタービン建物側へ開放 MSLBA 時に屋外へ開放 MSLBA 時に屋外へ開放 |

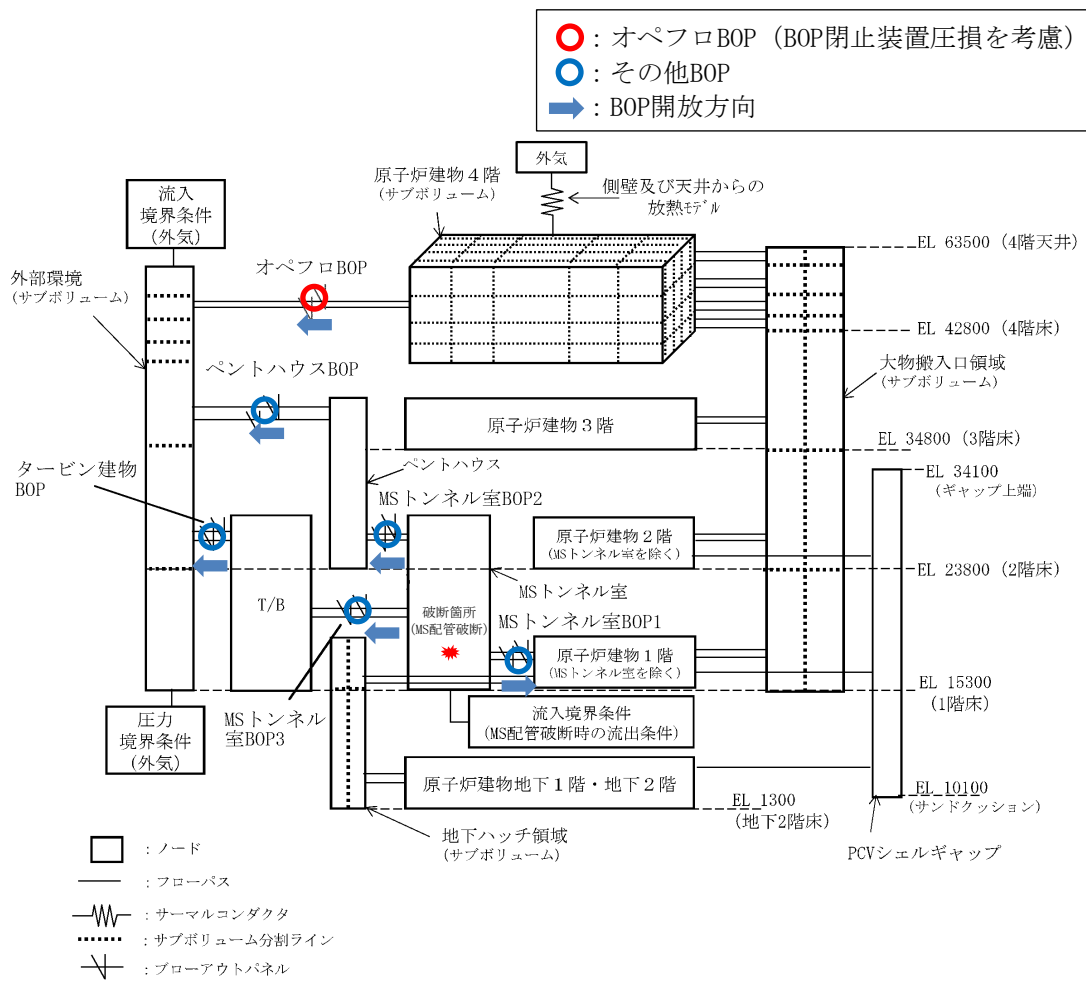


図2-1 解析モデル

3. 解析結果

解析結果を図3-1に示す。主蒸気管破断事故時において、原子炉格納容器外側に作用する圧力の最大値は13.5kPa[gage]となり、原子炉格納容器の設計外圧（13.7kPa[gage]）以下であることを確認した。この結果より、BOP閉止装置の設置が、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないことを確認した。

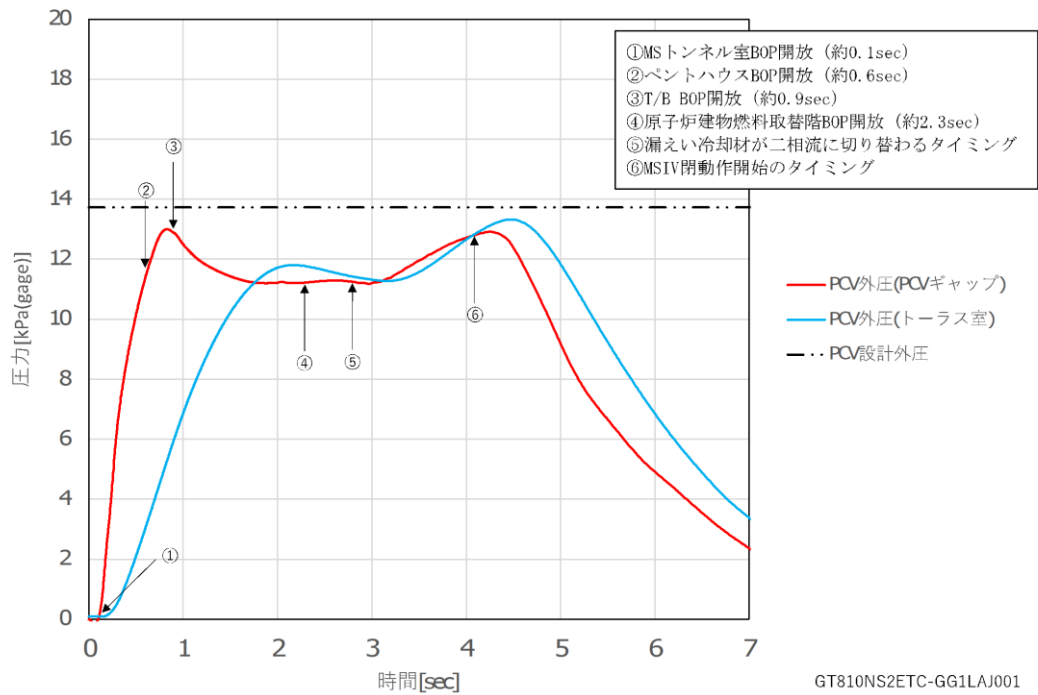


図3-1 主蒸気管破断時に原子炉格納容器外側に作用する圧力

原子炉建物燃料取替階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

1. 技術基準規則第五十四条への適合性について

(1) 環境条件（技術基準規則第五十四条第一項第一号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合における温度，放射線，荷重その他の使用条件において，重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮するものであること。

b. 適合性

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は，屋内に設置するが，重大事故等時に原子炉建物原子炉棟内の気密性を確保するために閉止する設備であることから，その機能を期待される重大事故等時における屋外又は原子炉建物原子炉棟内の環境条件を考慮している。

(2) 操作性（技術基準規則第五十四条第一項第二号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において確実に操作できるものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は，中央制御室の操作盤のスイッチで遠隔による開閉が可能な設計とするとともに，現場においても人力により開閉操作が可能な設計としている。

(3) 試験検査（技術基準規則第五十四条第一項第三号）

a. 要求事項

健全性及び能力を確認するため，発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は，原子炉の運転中又は停止中に構造健全性のため外観検査が可能な設計としている。また，BOP閉止装置は，原子炉の停止中に機能・性能検査として動作状態の確認が可能な設計としている。

試験検査内容を表1-1示す。

表1-1 BOP閉止装置の試験検査内容

| 必要な機能 | 検査内容 |
|-------|--|
| 気密性能 | パッキンの外観点検により気密性能に影響を及ぼす劣化がないことを確認する。 |
| 動作性能 | BOP閉止装置を電動による遠隔操作及び現場での手動操作により開閉が可能なことを確認する。 |
| 構造健全性 | 外観目視検査によるBOP閉止装置構成部品の健全性を確認する。 |

(4) 切替えの容易性（技術基準規則第五十四条第一項第四号）

a. 要求事項

本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあつては、通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備えるものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、本来の用途以外の用途として使用しない設計としている。

(5) 悪影響の防止（技術基準規則第五十四条第一項第五号）

a. 要求事項

工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさないものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、他の設備から独立して使用が可能であり、他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。また、BOP閉止装置の開閉動作が他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。

(6) 設置場所（技術基準規則第五十四条第一項第六号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において重大事故等対処設備の操作及び復旧作業を行うことができるよう、放射線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講じたものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、原子炉建物原子炉棟の壁面（屋内）に設置し、重大事故等時において放射線量が高くなるおそれの少ない中央制御室から操作が可能な設計としている。

(7) 容量（技術基準規則第五十四条第二項第一号）

a. 要求事項

想定される重大事故等の収束に必要な容量を有するものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開口部2箇所に対して原子炉建物原子炉棟4階内壁面に計48台（開口部1箇所あたりダンパ24台）設置する。なお、

BOP閉止装置は、重大事故等時において中央制御室の運転員の居住性を確保するために必要な気密性能を有していること。

(8) 共用の禁止（技術基準規則第五十四条第二項第二号）

a. 要求事項

二以上の発電用原子炉施設において共用するものでないこと。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合であって、同一の工場等内の他の発電用原子炉施設に対して悪影響を及ぼさない場合は、この限りでない。

b. 適合性

BOP閉止装置は二以上の発電用原子炉施設において共用しない設計としている。

(9) 設計基準事故対処設備との多様性（技術基準規則第五十四条第二項第三号）

a. 要求事項

常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、常設重大事故緩和設備であるため、多様性を考慮する必要はない。

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）の保全内容（案）は表1-1のとおり。なお、点検周期については、今後、試験や産業界実績を踏まえ決定し、保全計画に反映していく。

表1-1 BOP閉止装置の保安全管理（案）

| 区分 | 必要な機能 | 目的 | 管理項目 | 実施内容 |
|-------|---------|-----------|-----------------------------------|---|
| 保安全管理 | 動作性能 | 羽根の開閉機能確保 | 動作試験 | ・あらかじめ定めた施設定期検査時に、羽根の開閉試験（電動及び手動）にて確認 |
| | 気密性能 | シール健全性確保 | 気密性能試験（建物） | ・あらかじめ定めた施設定期検査時に、BOP閉止装置を閉状態とし、原子炉建物原子炉棟気密性能検査と同様の手法で気密性能試験を実施 |
| | | | 外観目視（シール部） | ・構造健全性確認検査として、シール部に異常がないことを目視にて確認 |
| | | | パッキン取替 | ・定期的な交換 |
| 構造健全性 | 構造健全性確認 | 外観目視試験 | ・構造・機能に影響を及ぼすような損傷、異常のないことを目視にて確認 | |

原子炉建物燃料取替階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

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「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BOP閉止装置の機能維持確認を実施する。

2. 試験場所

場 所：鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場

3. 試験項目

3.1 BOP閉止装置に要求される機能について

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階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、原子炉建物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る操作できる動作性を確保し、原子炉建物原子炉棟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、原子炉建物原子炉棟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 に基づき設定した加振波による加振）

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 に基づき設定した加振波を用いて加振を行う。

(2) BOP閉止装置の耐震裕度を確認するための加振（振動台性能限界加振波による加振）

BOP閉止装置の耐震裕度を確認するため、振動台の性能限界（基準地震動 S_s の α 倍相当*）での加振波を用いて加振を行う。

注記*：振動台を動かす油量等の制限により数値が上下する可能性がある。

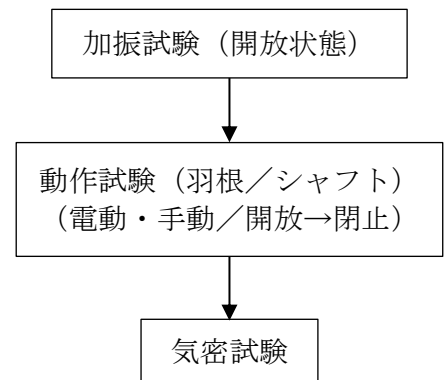
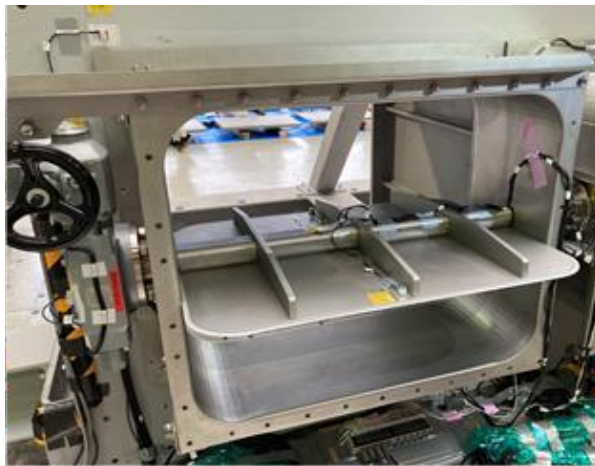
3.3 試験項目

基準地震動 S_s に基づき設定した加振波及び振動台性能限界加振波による加振を行い、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。

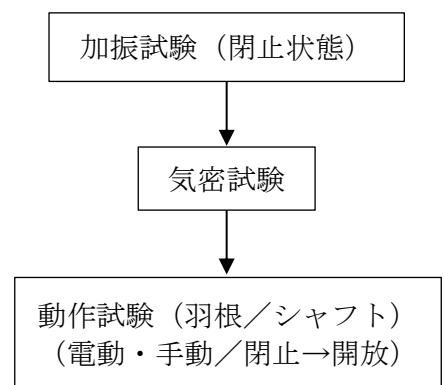
- ・加振後の動作確認 : BOP閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の羽根本体およびシャフトの作動性が確保されていることを確認する。
- ・加振後の気密性能試験 : BOP閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。

図3-1に試験治具概念図を示す。

【羽根開放状態】



【羽根閉止状態】



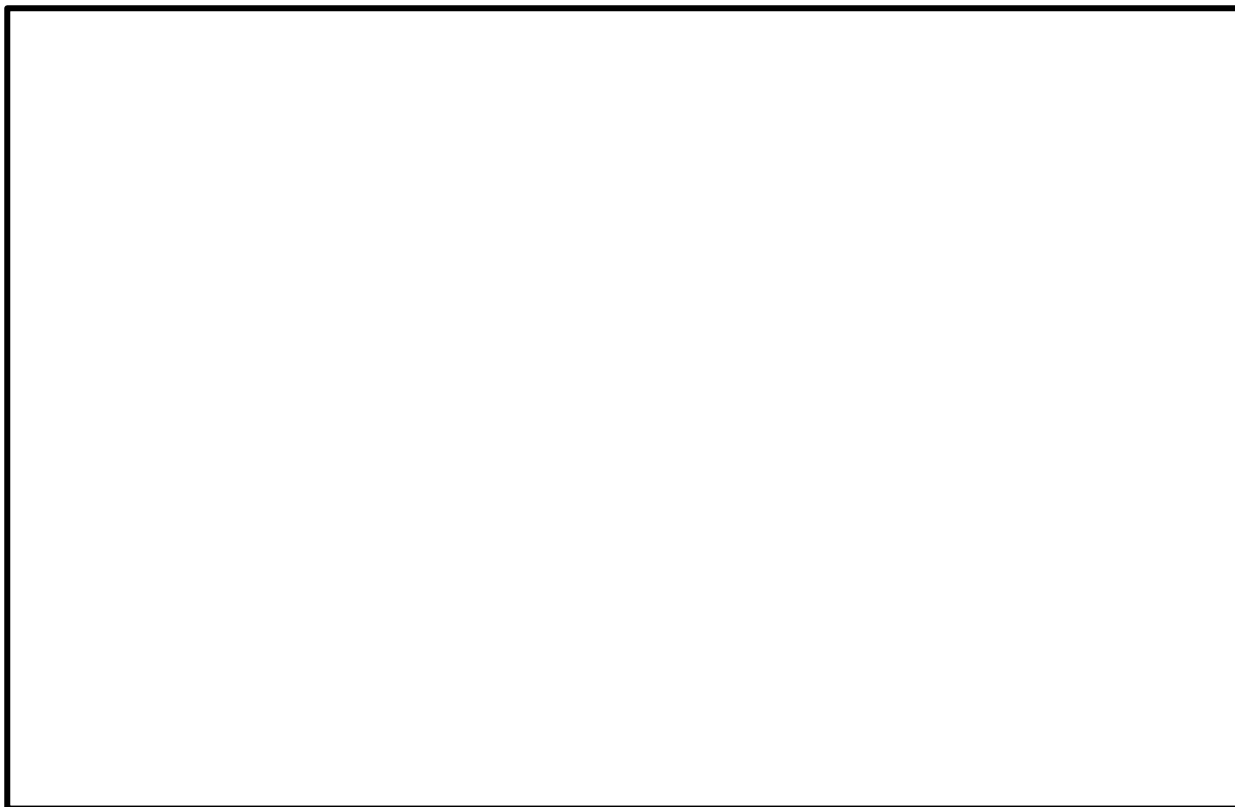


図3-1 試験治具概念図

4 加振試験

4.1 加振装置（三次元振動台）の概要

(1) 鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場

振動台の上に試験体を設置し，X, Y, Z方向の単軸加振を実施する。表4-1に振動台の仕様，図4-1に三次元振動台の概要図を示す。

表4-1 三次元振動台の仕様

| | | |
|------------------|-------------|-----------|
| テーブル | 大きさ | 5 m × 7 m |
| | 重量 | 380 kN |
| 搭載荷重 | 定格 | 600 kN |
| | 最大 | 1000 kN |
| 加振力 | 水平 | 2171 kN |
| | 上下 | 3880 kN |
| 最大加速度 (定格搭載時) | 水平 | ± 2 g |
| | 上下 | ± 2 g |
| 最大速度 | 水平 | ± 2.0 m/s |
| | 上下 | ± 1.0 m/s |
| 最大変位 | 水平 | X ± 0.5 m |
| | | Y ± 0.7 m |
| | 上下 | Z ± 0.3 m |
| 加振振動数範囲 | DC ~ 50 Hz | |
| 加振方式 | 電気・油圧サーボ方式 | |
| 制御方式 | デジタル TVC 方式 | |

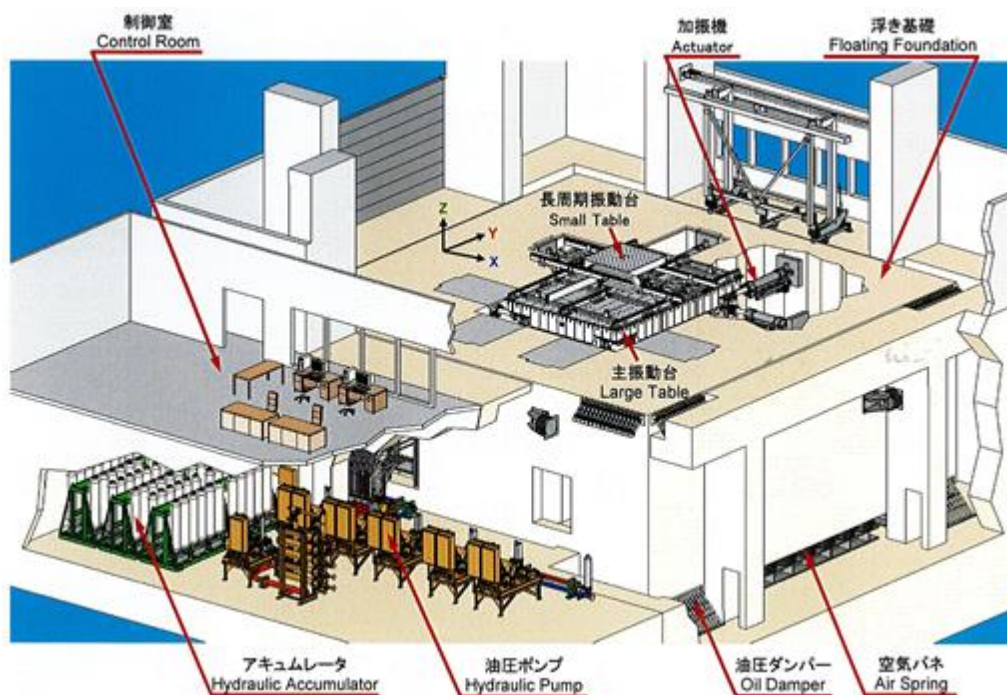


図4-1 三次元振動台の概要図（出典元：鹿島建設（株）技術研究所パンフレット）

4.2 加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき作成した設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波の時刻歴波形を図4-2，応答スペクトルを図4-3に示す。

- ・最大加速度及び応答スペクトルはBOP閉止装置の設置高さより上方の原子炉建物 EL. 63.5 mの床応答に基づき設定
- ・応答スペクトルは，基準地震動 S_s の設計用床応答スペクトル I を上回るように設定



図4-2 模擬地震波の時刻歴波形

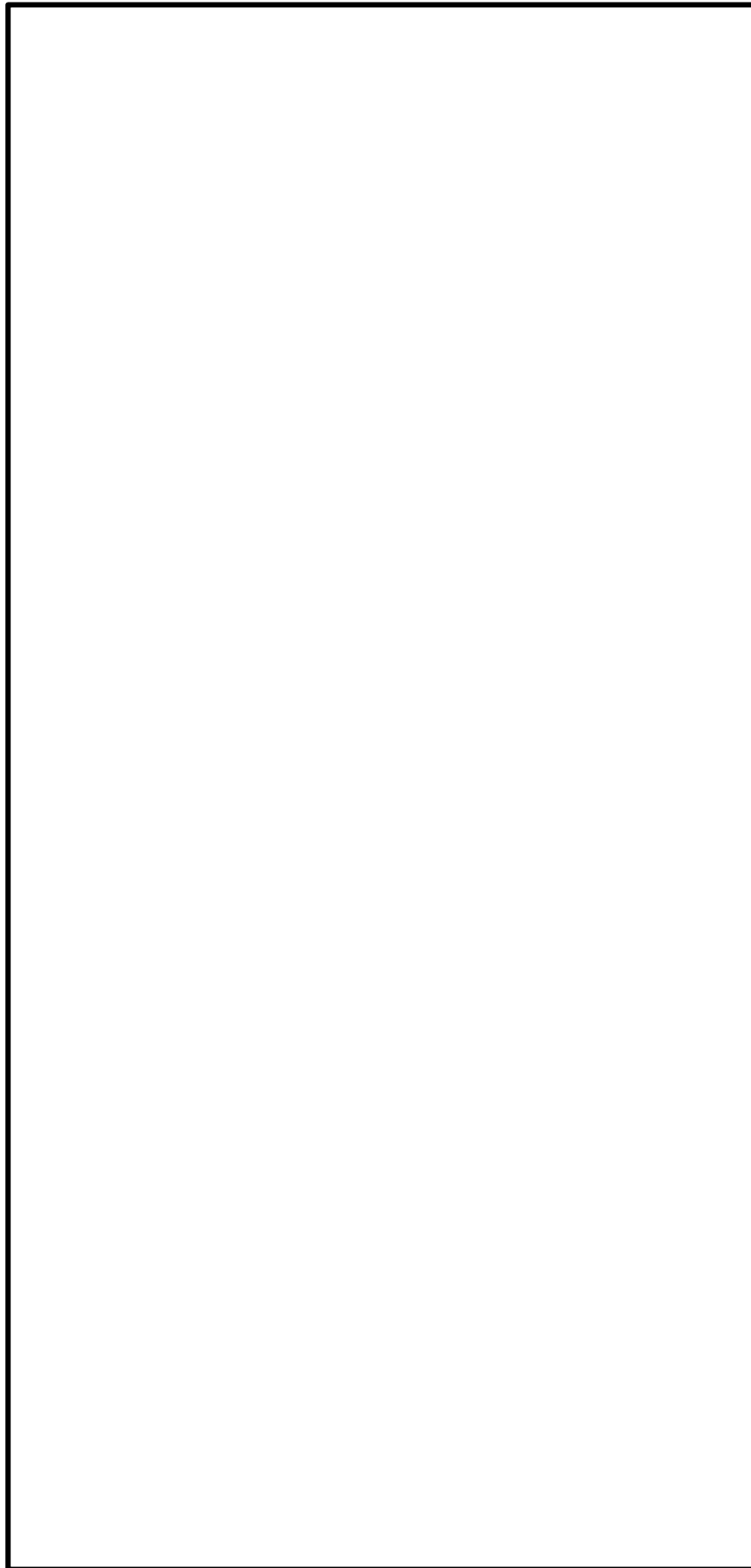


図4-3 模擬地震波の応答スペクトル

4.3 加振試験項目及び内容

加振試験の項目，概要は以下の通りである。各試験項目，加振波等を表4-2に示す。

(1) 計測系確認試験

計測機器の動作確認を行うために，入力加速度 2m/s^2 の正弦波により各方向の単軸加振を行う。

(2) 振動特性把握試験

試験体の共振振動数を確認するため，Hz～Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波を用いて，各方向の単軸加振を行う。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。

(3) 地震波加振試験

模擬地震波を用いてX, Y, Z方向の単軸加振にて，入力レベル1.0倍， α 倍（振動台の加振限界）の地震波加振試験を実施する。

振動台の加振限界における加振波の入力倍率（ α ）については，入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から，X(NS)=1.15倍, Y(EW)=1.20倍, Z(UD)=1.25倍とする。

表4-2 2連ダンパ（開） 試験項目一覧（1/4）

| No. | 試験項目 | 入力波 | 加振方向 | 入力加速度 入力倍率 |
|-----|----------|--------------------------------|------|-------------------|
| 1 | 計測系確認試験 | 正弦波 (<input type="text"/> Hz) | X | 2m/s ² |
| 2 | | | Y | |
| 3 | | | Z | |
| 4 | 振動特性把握試験 | ランダム波* ¹ | X | 6m/s ² |
| 5 | | | Y | |
| 6 | | | Z | |
| 7 | 地震波加振試験 | 模擬地震波 NS* ² | X | 1.00 倍 1.15 倍 |
| 8 | | 模擬地震波 EW* ² | Y | 1.00 倍 1.20 倍 |
| 9 | | 模擬地震波 UD* ² | Z | 1.00 倍 1.25 倍 |

*1 : Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平、鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 2連ダンパ（閉） 試験ケース一覧（2/4）

| No. | 試験項目 | 入力波 | 加振方向 | 入力加速度 入力倍率 |
|-----|----------|--------------------------------|------|-------------------|
| 1 | 計測系確認試験 | 正弦波 (<input type="text"/> Hz) | X | 2m/s ² |
| 2 | | | Y | |
| 3 | | | Z | |
| 4 | 振動特性把握試験 | ランダム波* ¹ | X | 6m/s ² |
| 5 | | | Y | |
| 6 | | | Z | |
| 7 | 地震波加振試験 | 模擬地震波 NS* ² | X | 1.00 倍 1.15 倍 |
| 8 | | 模擬地震波 EW* ² | Y | 1.00 倍 1.20 倍 |
| 9 | | 模擬地震波 UD* ² | Z | 1.00 倍 1.25 倍 |

*1 : Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平、鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 3連ダンパ（開） 試験ケース一覧（3/4）

| No. | 試験項目 | 入力波 | 加振方向 | 入力加速度 入力倍率 |
|-----|----------|-------------------------------|------|-------------------|
| 1 | 計測系確認試験 | 正弦波（ <input type="text"/> Hz） | X | 2m/s ² |
| 2 | | | Y | |
| 3 | | | Z | |
| 4 | 振動特性把握試験 | ランダム波*1 | X | 6m/s ² |
| 5 | | | Y | |
| 6 | | | Z | |
| 7 | 地震波加振試験 | 模擬地震波 NS*2 | X | 1.00 倍 1.15 倍 |
| 8 | | 模擬地震波 EW*2 | Y | 1.00 倍 1.20 倍 |
| 9 | | 模擬地震波 UD*2 | Z | 1.00 倍 1.25 倍 |

*1： Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2： 水平，鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 3連ダンパ（閉） 試験ケース一覧（4/4）

| No. | 試験項目 | 入力波 | 加振方向 | 入力加速度 入力倍率 |
|-----|----------|-------------------------------|------|-------------------|
| 1 | 計測系確認試験 | 正弦波（ <input type="text"/> Hz） | X | 2m/s ² |
| 2 | | | Y | |
| 3 | | | Z | |
| 4 | 振動特性把握試験 | ランダム波*1 | X | 6m/s ² |
| 5 | | | Y | |
| 6 | | | Z | |
| 7 | 地震波加振試験 | 模擬地震波 NS*2 | X | 1.00 倍 1.15 倍 |
| 8 | | 模擬地震波 EW*2 | Y | 1.00 倍 1.20 倍 |
| 9 | | 模擬地震波 UD*2 | Z | 1.00 倍 1.25 倍 |

*1： Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2： 水平，鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

4.4 計測要領

(1) 計測項目

試験体の主要な挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を表4-3に示す。

表4-3 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・羽根・ケーシング・ギアボックス・アクチュエータ・リミットスイッチ・羽根回転軸・羽根回転軸継手 |
| ひずみ | <ul style="list-style-type: none">・ケーシング・羽根・羽根回転軸・羽根回転軸継手 |

(2) 計測位置

計測点は、試験体の主要な挙動を評価できる位置に設置する。表4-4に計測項目の一覧表を示す。

① 加速度

図4-4から図4-6に加速度計の設置位置を示す。

② ひずみ

図4-7、図4-8にひずみゲージの設置位置を示す。

(3) 測定計器

試験に使用する測定計器を表4-5に示す。

表4-4 2連ダンパ 計測項目の一覧表 (1/2)

| No. | 項目 | 記号 | 計測位置 | 備考 |
|-----|------|---------------------------|---|---|
| 1 | 加速度 | A1X | 振動台 (中央) | <ul style="list-style-type: none"> 振動台上加速度を計測 設計用床応答スペクトルI以上で加振試験が実施されたことの確認が目的 |
| 2 | | A1Y | | |
| 3 | | A1Z | | |
| 4 | | A2Y | 振動台 (搬入口側) | |
| 5 | | A2Z | | |
| 6 | | A3X | 振動台 (制御室側) | |
| 7 | | A3Z | | |
| 8 | | A5X | ダンパ支持架台 中央 下端 | <ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 |
| 9 | | A5Y | | |
| 10 | | A5Z | ダンパ支持架台 アクチュエータ側 中央高さ | |
| 11 | | A6X | | |
| 12 | | A6Y | ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 中央高さ | <ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持台上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 |
| 13 | | A6Z | | |
| 14 | | A7X | ダンパ支持架台 中央高さ | |
| 15 | | A7Y | | |
| 16 | | A7Z | ダンパ支持架台 アクチュエータ側 上端 | |
| 17 | | A8X | | |
| 18 | A9X | ダンパ支持架台 中央 上端 | <ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持台上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 | |
| 19 | A9Y | | | |
| 20 | A9Z | ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 上端 | | |
| 21 | A10X | | | |
| 22 | A11X | ダンパケーシング 羽根端部 | <ul style="list-style-type: none"> ダンパケーシングの振動特性, 地震応答の確認が目的 | |
| 23 | A11Y | | | |
| 24 | A11Z | | | |
| 25 | A12X | ダンパケーシング (シャフト高さ) | | |
| 26 | A12Y | | | |
| 27 | A12Z | ギアボックス | | |
| 28 | A13X | | | |
| 29 | A13Y | アクチュエータ中間部 | | |
| 30 | A13Z | | | |
| 31 | A14X | モーター | | |
| 32 | A14Y | | | |
| 33 | A14Z | アクチュエータ頂部 | | |
| 34 | A15X | | | |
| 35 | A15Y | リミットスイッチ | | |
| 36 | A15Z | | | |
| 37 | A16X | | <ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 | |
| 38 | A16Y | | | |
| 39 | A16Z | | | |
| 40 | A17X | | | |
| 41 | A17Y | | | |
| 42 | A17Z | | | |

| No. | 項目 | 記号 | 計測位置 | 備考 |
|-----|------|---------------------------|---|--|
| 43 | 加速度 | A18X | 羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根) | <ul style="list-style-type: none"> 羽根回転軸の振動特性, 地震応答の確認が目的 |
| 44 | | A18Y | | |
| 45 | | A18Z | 羽根回転軸先端 | |
| 46 | | A19X | | |
| 47 | | A19Y | | |
| 48 | | A19Z | | |
| 49 | | A21X | | |
| 50 | | A21Y | 第1羽根 (弁体) 中央リブ付根 | <ul style="list-style-type: none"> 第1羽根の振動特性, 地震応答の確認が目的 |
| 51 | | A21Z | | |
| 52 | | A22X | 第1羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根 | |
| 53 | | A23X | | |
| 54 | A24X | 第2羽根 (弁体) 中央リブ付根 | | |
| 55 | A24Y | | | |
| 56 | A24Z | 第2羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根 | <ul style="list-style-type: none"> 第2羽根の振動特性, 地震応答の確認が目的 | |
| 57 | A25X | | | |
| 58 | A26X | 第1羽根 ダンパケーシング 羽根端部 | | |
| 59 | A30X | | | |
| 60 | A30Y | 第1羽根 ダンパケーシング 羽根端部 | | |
| 61 | A30Z | | | |
| 62 | ひずみ | S1 | 第1羽根 ダンパケーシング 固定部 | <ul style="list-style-type: none"> 第1羽根の振動特性, 地震応答の確認が目的 加振時のダンパケーシング, 開閉機構の変形の確認が目的 |
| 63 | | S2 | 第2羽根 ダンパケーシング 固定部 | |
| 64 | | S4 | 第1羽根端部 補強リブ中間 | |
| 65 | S5 | 羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根) | 第1羽根シヤフト近傍 ケーシング回転軸先端近傍 | |
| 66 | S7 | | | |
| 67 | S8 | | | |

表4-4 3連ダンパ 計測項目の一覧表 (2/2)

| No. | 項目 | 記号 | 計測位置 | 備考 |
|-----|------|--|---------------------------|-----------------------------|
| 43 | 加速度 | A18X | 羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根) | ・羽根回転軸の振動特性、地震応答の確認が目的 |
| 44 | | A18Y | | |
| 45 | | A18Z | | |
| 46 | | A19X | 羽根回転軸継手部 (第2/第3羽根) | |
| 47 | | A19Y | | |
| 48 | | A19Z | | |
| 49 | | A20X | 羽根回転軸先端 | |
| 50 | | A20Y | | |
| 51 | | A20Z | | |
| 52 | | A21X | 第1羽根 (弁体) 中央リブ付根 | ・第1羽根の振動特性、地震応答の確認が目的 |
| 53 | | A21Y | | |
| 54 | | A21Z | | |
| 55 | | A22X | 第1羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根 | |
| 56 | | A23X | | |
| 57 | | A24X | | |
| 58 | | A24Y | 第2羽根 (弁体) 中央リブ付根 | |
| 59 | | A24Z | | |
| 60 | A25X | | | |
| 61 | A26X | 第2羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根 | | |
| 62 | A27X | | | |
| 63 | A27Y | | | |
| 64 | A27Z | 第3羽根 (弁体) 中央リブ付根 | | |
| 65 | A28X | | | |
| 66 | A29X | | | |
| 67 | A30Z | 第1羽根 第1羽根 (弁体) 第2羽根 (弁体) 第3羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根 中央下端部・補強リブ付根 ダンパケーシング 上端 | ・第1羽根の振動特性、地震応答の確認が目的 | |
| 68 | ひずみ | S1 | 第1羽根 ダンパケーシング 固定部 | ・加振時のダンパケーシング、開閉機構の変形の確認が目的 |
| 69 | | S2 | 第2羽根 ダンパケーシング 固定部 | |
| 70 | | S3 | 第3羽根 ダンパケーシング 固定部 | |
| 71 | | S4 | 第2羽根端部 補強リブ中間 | |
| 72 | | S5 | 羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根) | |
| 73 | | S6 | 羽根回転軸継手部 (第2/第3羽根) | |
| 74 | | S7 | 第2羽根シャフト近傍 | |
| 75 | | S8 | ダンパケーシング回転軸近傍 | |

| No. | 項目 | 記号 | 計測位置 | 備考 |
|-----|------|---------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 加速度 | A1X | 振動台 (中央) | ・振動台上加速度を計測 ・設計用床応答スペクトル I 以上で 加振試験が実施されたことの確認が 目的 |
| 2 | | A1Y | | |
| 3 | | A1Z | | |
| 4 | | A2Y | 振動台 (縦入口側) | |
| 5 | | A2Z | | |
| 6 | | A3X | | |
| 7 | | A3Z | 振動台 (制御室側) | |
| 8 | | A5X | | |
| 9 | | A5Y | | |
| 10 | | A5Z | ダンパ支持架台 中央 下端 | ・ダンパ支持架台上加速度を計測 ・ダンパ支持架台の振動特性、地震 応答の確認が目的 |
| 11 | | A6X | ダンパ支持架台 アクチュエータ側 中央高さ | |
| 12 | | A6Y | | |
| 13 | | A6Z | | |
| 14 | | A7X | ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 中央高さ | |
| 15 | | A7Y | | |
| 16 | | A7Z | | |
| 17 | | A8X | ダンパ支持架台 アクチュエータ側 上端 | |
| 18 | A9X | ダンパ支持架台 中央 上端 | | |
| 19 | A9Y | | | |
| 20 | A9Z | | | |
| 21 | A10X | ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 上端 | | |
| 22 | A11X | ダンパケーシング (シャフト高さ) | | |
| 23 | A11Y | | | |
| 24 | A11Z | | | |
| 25 | A12X | ダンパケーシング 上端 | | |
| 26 | A12Y | | | |
| 27 | A12Z | | | |
| 28 | A13X | ギアボックス | | |
| 29 | A13Y | | | |
| 30 | A13Z | | | |
| 31 | A14X | アクチュエータ中間部 | | |
| 32 | A14Y | | | |
| 33 | A14Z | | | |
| 34 | A15X | モーター | | |
| 35 | A15Y | | | |
| 36 | A15Z | | | |
| 37 | A16X | アクチュエータ頂部 | | |
| 38 | A16Y | | | |
| 39 | A16Z | | | |
| 40 | A17X | リミットスイッチ | | |
| 41 | A17Y | | | |
| 42 | A17Z | | | |

表4-5 測定計測器一覧表

| No. | 用途 | 計測器名称 | メーカー (型式) | 仕様 |
|-----|--------------------------------|-----------------|-----------|----|
| 1 | 動作確認 (変圧器電圧値測定) | デジタルクラ ンプメータ | | |
| 2 | 動作確認 (開閉試験, 気密試験 保持時間測定) | ストップウォ ッチ | | |
| 3 | | 面積流量計 | | |
| 4 | 気密試験 | バージメータ | | |
| 5 | | 質量流量計 | | |
| 6 | 加振試験 | 加速度計 | | |
| 7 | | ひずみゲージ | | |

注記* :

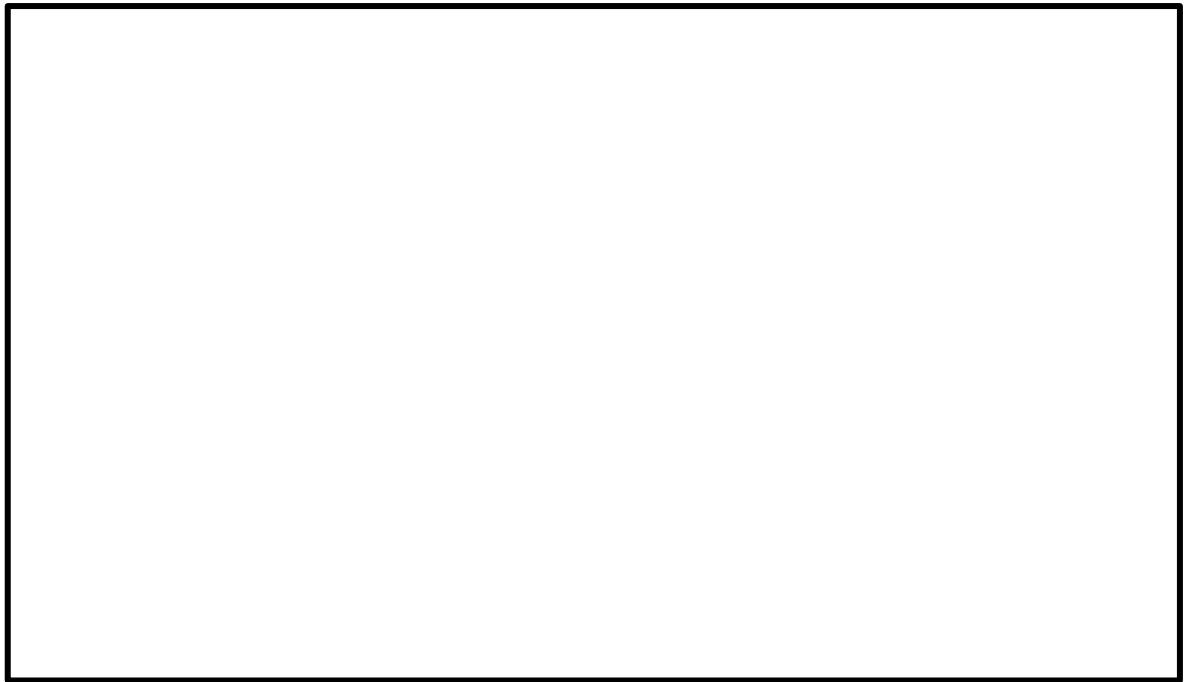


図4-4 加速度計の設置位置（振動台，支持架台）



図4-5 加速度計の設置位置（2連ダンパ）

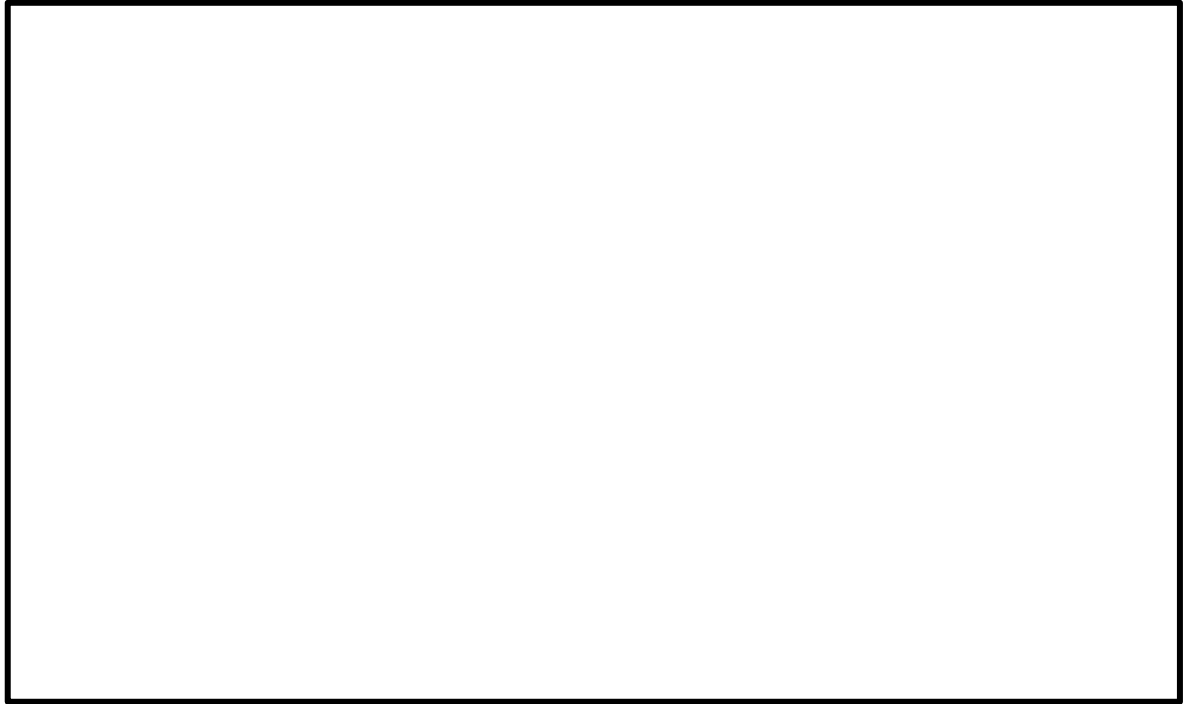


図4-6 加速度計の設置位置 (3連ダンパ)

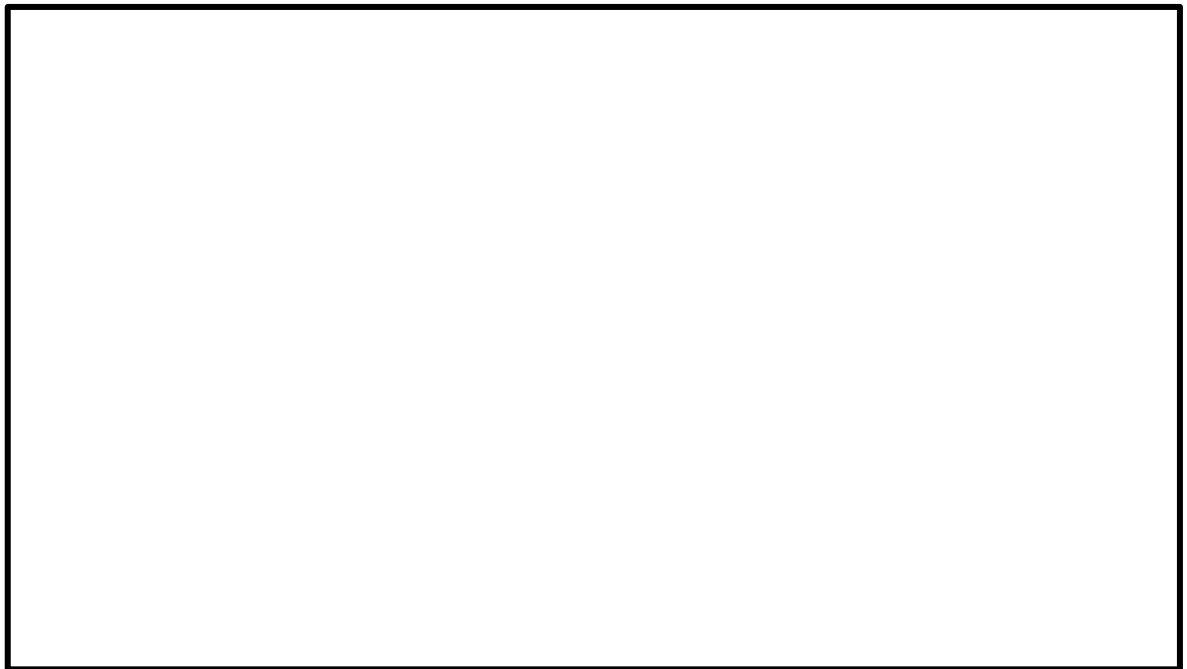


図4-7 ひずみゲージの設置位置 (2連ダンパ)

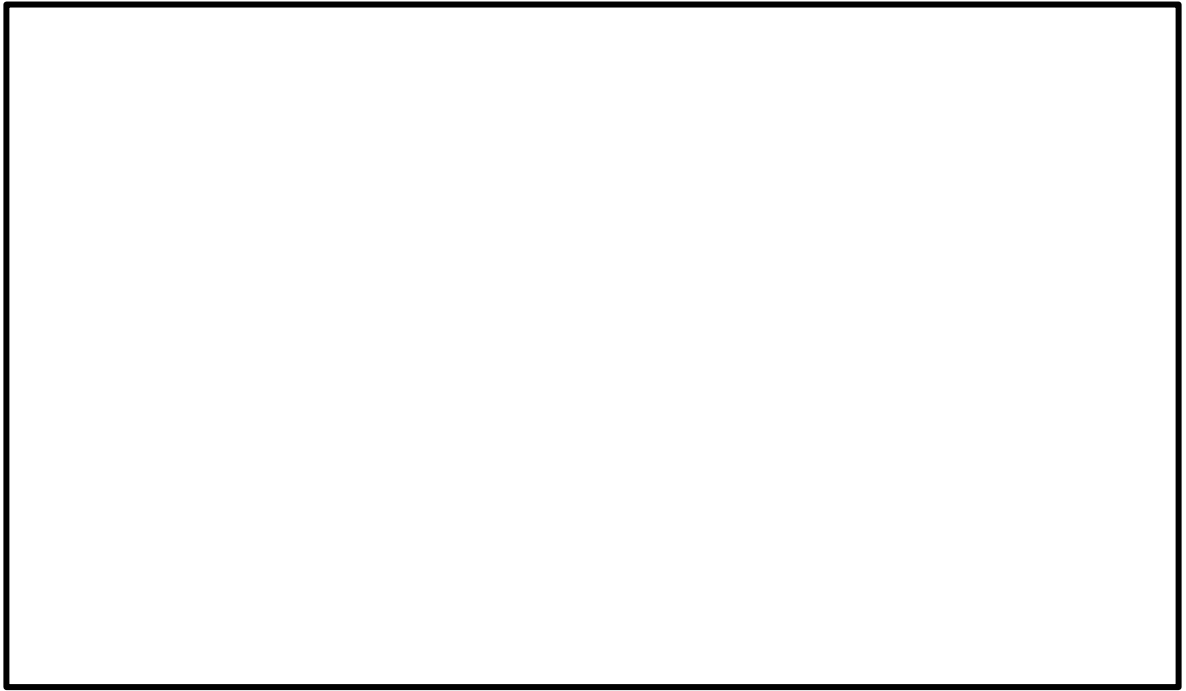


図4-8 ひずみゲージの設置位置 (3連ダンパ)

5 試験要領

5.1 試験手順

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動作試験、気密性能試験を実施する。

【BOP閉止装置の羽根開放状態における加振試験（2連，3連ダンパ）】

- (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) 計測系確認試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② 試験体の共振振動数より十分に離れた低振動数（ Hz）にて、加速度振幅 2m/s^2 の連続正弦波でX, Y, Z方向の単軸加振を行う。
 - ③ 各加速度計の振幅レベルと位相関係から、極性の確認とセンサ出力の異常の有無を確認する。
- (3) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② Hz～ Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波を用いて、ランダム波の継続時間は約64秒、最大入力加速度は 6m/s^2 とし、X, Y, Z方向の単軸加振を行う。
 - 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おける固有振動数の有無を確認する。
- (4) 地震波加振試験（1.0倍）を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② 模擬地震波にて、入力レベル1.0倍でX、Y、Z方向の単軸加振を行う。
 - ③ 加振後、採取データを確認する。
 - ④ 取付及び外観確認を実施する。
- (5) 地震波加振試験（ α 倍）を以下の手順で実施する。
 - (4) ①～④と同じ。ただし、下記に読み替える。
 - ・入力レベルをX(NS)=1.15倍, Y(EW)=1.20倍, Z(UD)=1.25倍

【BOP閉止装置の羽根閉止状態における加振試験（2連，3連ダンパ）】

BOP閉止装置の羽根を閉止状態とし、加振試験を実施する。試験内容については、5.1 (1)～(5)と同様である。

5.2 気密性能試験について

(1) 気密性能試験

A S T M E 283-4 (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。送風機により試験容器内へ空気を給気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に気密性能試験装置図を示す。

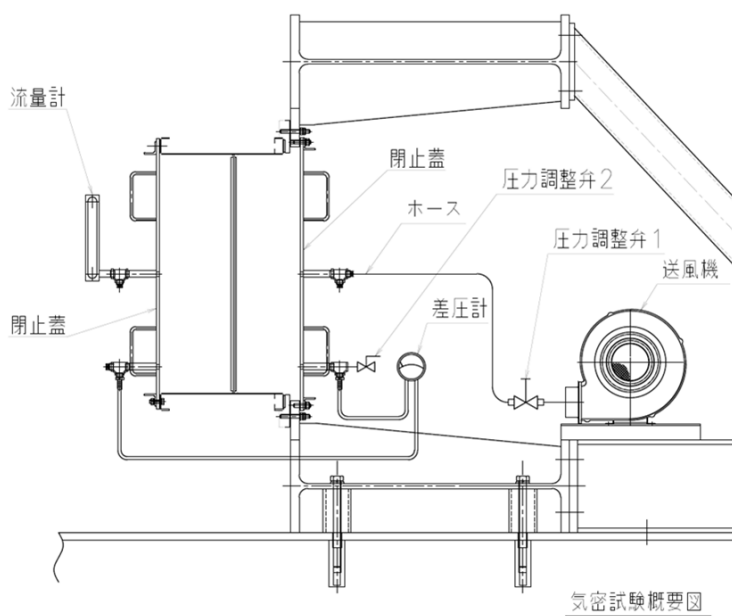


図5-1 気密性能試験装置図

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。), 予備加圧を圧力500Pa×3回実施し、負圧での圧力差 Pa, Pa, Pa, Pa, Pa, Pa, Pa と上げ, Pa, Pa, Pa, Pa, Pa と下げていく (保持時間2分)。通気方向は1方向 (負圧) とする。(図5-2 負圧試験線図)



図5-2 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 (m^3/h) を、標準状態 (20°C , 1013hPa) に換算し、ダンパの流路面積 (m^2) 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 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) として算出する。

$$q = Q' / A$$

ここで、

q : 通気量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)

A : ダンパの流路面積 (m^2)

Q' : 通過した空気量 (20°C , 1013hPa) (m^3/h)

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

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 ($^\circ\text{C}$)

(2) 判定基準

差圧 63 Pa時の漏えい量が、許容漏えい量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) 以下であること。ダンパ寸法と流路面積を図5-3に示す。

尚、流量計単位 L/min から $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ への換算は以下による。

[単位換算式] $X = V \div A \times 60 \div 1000$

X : 漏えい量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)

V : 流量計読み値 (L/min)

1 [h] = 60 (min)

1 [m^3] = 1000 (L)

A : ダンパの流路面積 (=) (m^2)

ダンパの流路面積Aの算出方法を以下に示す。上記 [単位換算式] より、流路面積Aが小さくなった場合に漏えい量Xが大きい値として算出され、判定をする上で保守的となることから、流路面積Aは小数点第二位以下を切り捨てて算出した。

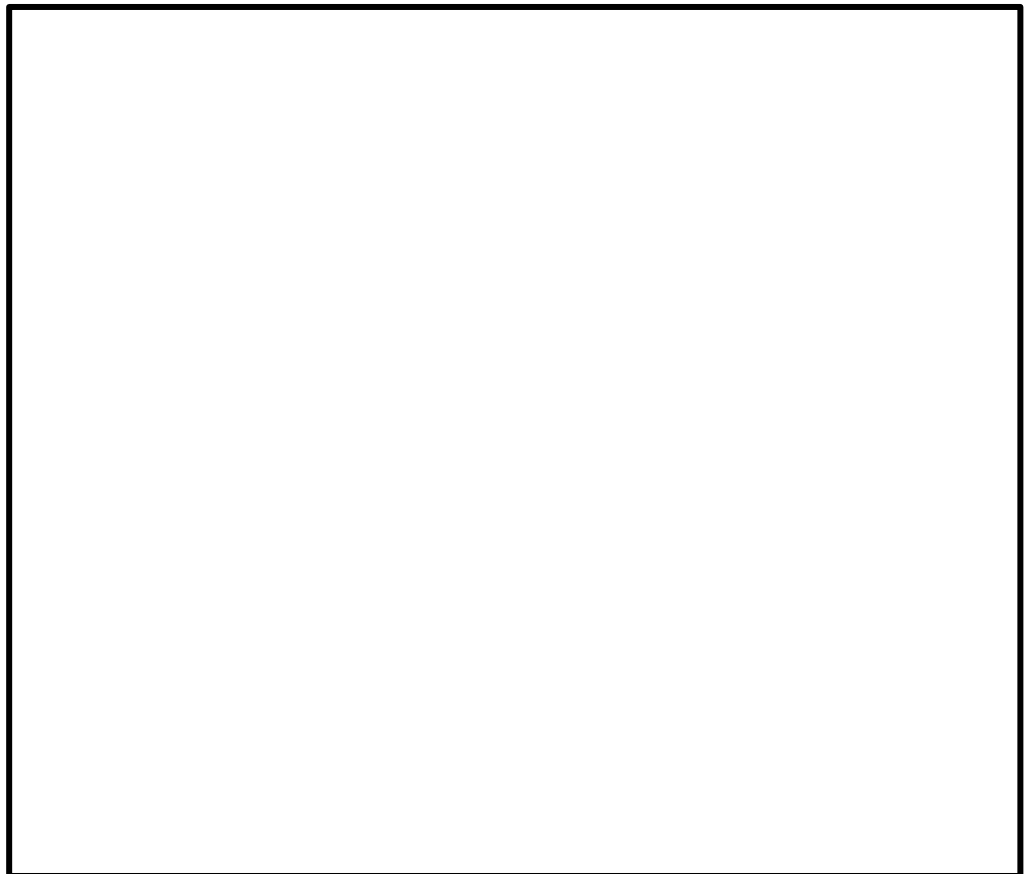


図5-3 ダンパ寸法と流路面積



5.3 動作試験について

(1) 動作試験

【電動動作確認】

操作箱のスイッチで全閉操作・全開操作を行い、リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置で自動停止することを確認する。なお、開閉の動作時間は、操作箱のスイッチ操作から、羽根が全開位置・全閉位置となるまでの時間とする。併せて仮設電源盤の電圧値および参考として開動作・閉動作の時間、電流値を測定する。

【手動動作確認】

ハンドルを回し、開閉がスムーズに行えることを確認し、ハンドルが回らなくなったときに羽根が全閉位置・全開位置にあることを確認する。図5-4に手動操作の概念図を示す。



図5-4 手動操作の概念図

(2) 判定基準

【電動動作確認】

- ・電動駆動により開閉できること。
- ・リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置にて自動停止すること。
- ・変圧器出口側の電圧を測定し、定格電圧値440V以下であること。

(動作試験時の動作時間および電流値は、動作不具合が発生した場合に、原因特定するための参考情報として取得する。)

【手動動作確認】

- ・開閉時に引っ掛かりがなく、スムーズに行えること。

原子炉建物燃料取替階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」に基づき実施した試験結果概要を以下の表1-1に示す。

表1-1 試験結果概要 (1/2)

| No. | 試験項目 | 試験体状態 | 目的 | 結果 |
|-----|----------|--------------|-------------|-------|
| 1 | 計測系確認試験 | 2連ダンパ (開) | 計測機器の動作確認 | 異常なし |
| 2 | | 2連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 3 | | 3連ダンパ (開) | | 異常なし |
| 4 | | 3連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 5 | 振動特性把握試験 | 2連ダンパ (開) | 試験体の共振振動数確認 | 共振点なし |
| 6 | | 2連ダンパ (閉) | | 共振点なし |
| 7 | | 3連ダンパ (開) | | 共振点なし |
| 8 | | 3連ダンパ (閉) | | 共振点なし |

表1-1 試験結果概要 (2/2)

| No. | 試験項目 | 試験体状態 | 目的 | 結果 |
|-----|-------------------------------|---------------|--------------------------------|------|
| 9 | 地震波加振試験 (入力レベル 1.0 倍) | 2 連ダンパ (開) | 基準適合性確認 | 異常なし |
| 10 | | 2 連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 11 | | 3 連ダンパ (開) | | 異常なし |
| 12 | | 3 連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 13 | 地震波加振試験 (入力レベル α 倍) | 2 連ダンパ (開) | 耐震裕度確認 | 異常なし |
| 14 | | 2 連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 15 | | 3 連ダンパ (開) | | 異常なし |
| 16 | | 3 連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 17 | 気密性能試験 | 2 連ダンパ (開) | 機能維持確認 (加振後の気密性能確認) | 異常なし |
| 18 | | 2 連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 19 | | 3 連ダンパ (開) | | 異常なし |
| 20 | | 3 連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 21 | 動作試験 | 2 連ダンパ (開) | 機能維持確認 (電動及び手動での羽 根開閉確認) | 異常なし |
| 22 | | 2 連ダンパ (閉) | | 異常なし |
| 23 | | 3 連ダンパ (開) | | 異常なし |
| 24 | | 3 連ダンパ (閉) | | 異常なし |

2. 計測系確認試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

2連ダンパ，3連ダンパ共に，計測機器の動作確認のため，試験体の共振振動数より十分に離れた低振動数（ Hz）にて，加速度振幅 2m/s^2 の連続正弦波でX, Y, Z方向の単軸加振を行った。各加速度計の振幅レベルと位相関係から，極性の確認を行うとともに，センサ出力の異常が無いことを確認した。

3. 振動特性把握試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

2連ダンパ，3連ダンパ共に，各方向においてランダム波の入力振動数範囲である Hzまで緩やかに応答倍率が増加するものの，明確な共振点は確認されなかった。

本結果から，2，3連ダンパの固有振動数は Hz以上であり，十分剛な構造であることを確認した。

4. 地震波加振試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

2連ダンパについて，振動台限界となる α 倍地震波加振時の最大加速度及び加速度応答スペクトルと設計用震度 I 及び設計用床応答スペクトル I の比較を実施した結果，加振実績の振動台最大加速度は設計用震度 I を上回った。また，加振実績はほぼ全ての振動数域で設計用床応答スペクトル I を上回ることを確認した。

3連ダンパについて，振動台限界となる α 倍地震波加振時の最大加速度及び加速度応答スペクトルと設計用震度 I 及び設計用床応答スペクトル I の比較を実施した結果，加振実績の振動台最大加速度は設計用震度 I を上回った。また，加振実績はほぼ全ての振動数域で設計用床応答スペクトル I を上回ることを確認した。

最大加速度の比較を表4-1，応答スペクトルの比較を図4-1～4-4に示す。

表4-1 地震波加振試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

| 試験対象 | 開閉状態 | 方向 | 設計用震度 I ($\times 9.8\text{m/s}^2$) | 加振実績 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) | 判定結果 |
|-------|------|----|---|--------------------------------------|------|
| 2連ダンパ | 開 | X | | | ○ |
| | | Y | | | ○ |
| | | Z | | | ○ |
| | 閉 | X | | | ○ |
| | | Y | | | ○ |
| | | Z | | | ○ |
| 3連ダンパ | 開 | X | | | ○ |
| | | Y | | | ○ |
| | | Z | | | ○ |
| | 閉 | X | ○ | | |
| | | Y | ○ | | |
| | | Z | ○ | | |

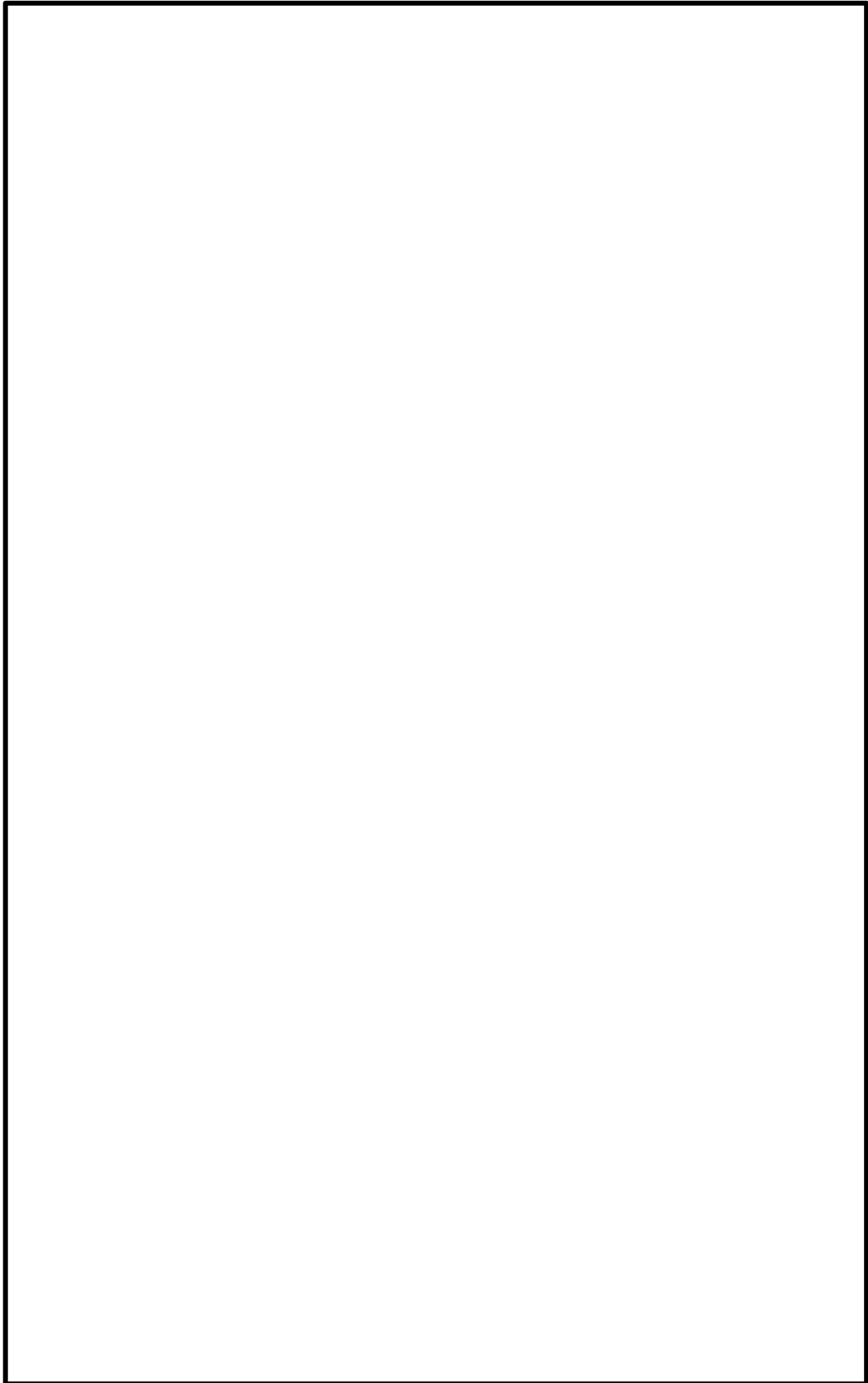


図4-1 地震波加振試験結果（2連ダンパ（開）） 加速度応答スペクトルの比較

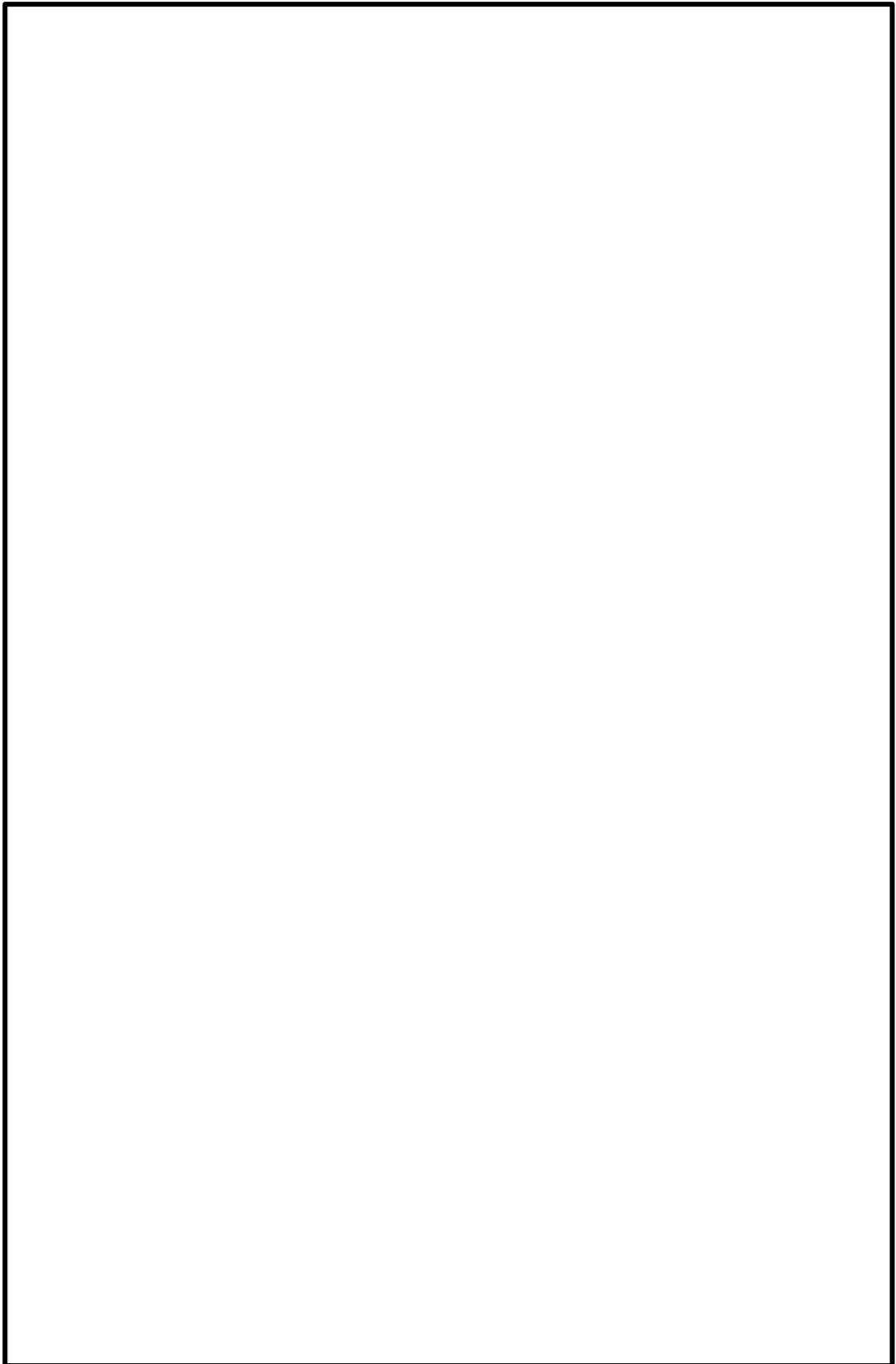


図4-2 地震波加振試験結果 (2連ダンパ (閉)) 加速度応答スペクトルの比較

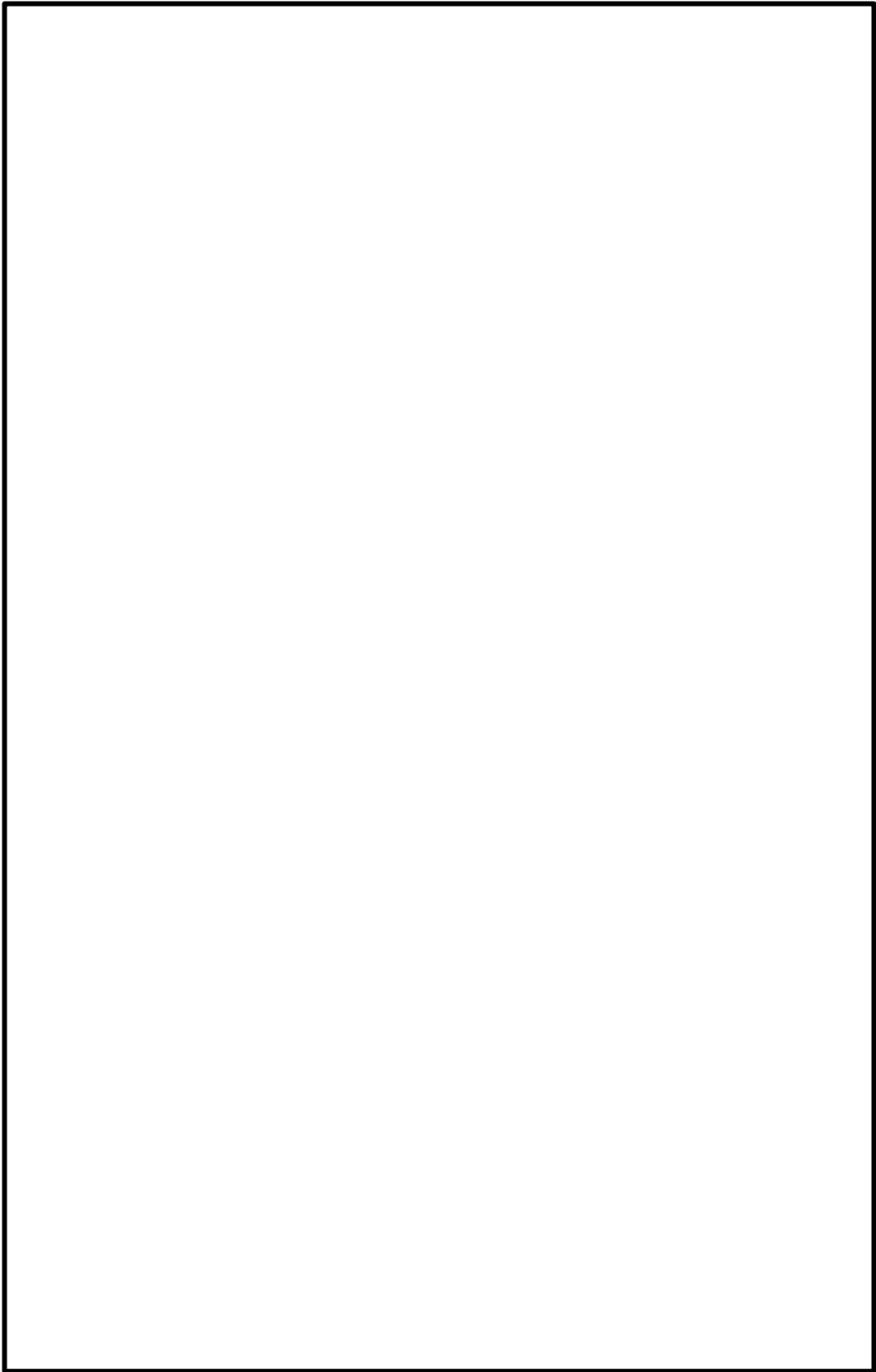


図4-3 地震波加振試験結果（3連ダンパ（開）） 加速度応答スペクトルの比較

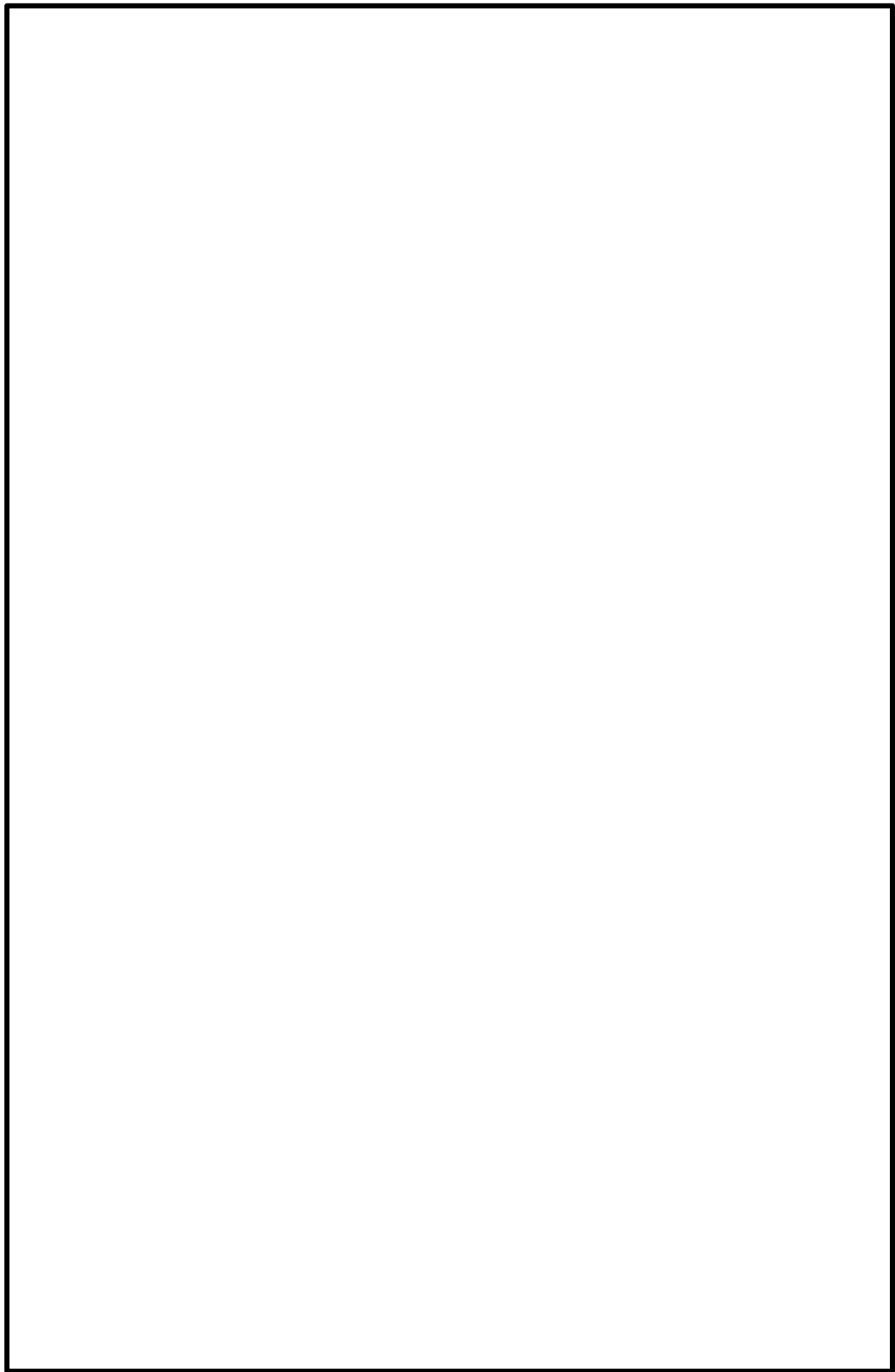


図4-4 地震波加振試験結果（3連ダンパ（閉）） 加速度応答スペクトルの比較

5. 健全性確認結果

5.1 気密性能試験結果

気密性能試験の初期状態及び加振後については表5-1に示す。加振後の漏えい量も十分に小さく、原子炉建物燃料取替階のブローアウトパネル部に適用し、既設原子炉建物のインリーク量を考慮した場合でも、原子炉建物としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。

表5-1 加振後の気密性能試験

| 試験対象 | 加振倍率 | ダンパ | 通気量@63Pa ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) | 備考 |
|-------|------------|-----|--|----------------|
| 事前確認 | — | — | | 羽根を閉止して試験実施 |
| 2連ダンパ | 1.0倍 | 開 | | 加振後に羽根を閉止し試験 |
| | | 閉 | | 羽根閉止状態での加振後に試験 |
| | α 倍 | 開 | | 加振後に羽根を閉止し試験 |
| | | 閉 | | 羽根閉止状態での加振後に試験 |
| 事前確認 | — | — | | 羽根を閉止して試験実施 |
| 3連ダンパ | 1.0倍 | 開 | | 加振後に羽根を閉止し試験 |
| | | 閉 | | 羽根閉止状態での加振後に試験 |
| | α 倍 | 開 | | 加振後に羽根を閉止し試験 |
| | | 閉 | | 羽根閉止状態での加振後に試験 |

<原子炉建物としての負圧達成について>

今回の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）単体での気密性能試験結果から、本装置を原子炉建物燃料取替階のブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建物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（4400m³/h）は、推定インリーク量 m³/h を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて 63Pa 以上の負圧達成可能である。

- ・既設原子炉建物原子炉棟の推定インリーク量：約 2035m³/h（63Pa 時の漏えい量）
- ・BOP 閉止装置の合計台数：48 台
- ・BOP 閉止装置 48 台設置時の推定インリーク量：

$$\text{ m}^2 \times 48 \text{ 台} \times \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \div \text{ m}^3/\text{h} \text{ (63Pa 時の漏えい量)}$$

- ・非常用ガス処理系定格容量：4400m³/h（63Pa 時の通気量）
- ・BOP 閉止装置設置を含めた原子炉建物原子炉棟の推定漏えい量：2035m³/h + m³/h = m³/h（63Pa 時の漏えい量） < 4400m³/h（63Pa 時の通気量）（非常用ガス処理系定格容量）

5.2 動作試験結果

動作試験の結果を表5-2、表5-3に示す。操作箱のスイッチで全閉操作・全開操作を行い、リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置で問題なく自動停止することを確認した。

表5-2 加振後の動作試験（開閉動作）

| 試験対象 | 加振倍率 | 開閉状態 | 試験結果 | | 判定 |
|-------|------------|------|------|------|----|
| | | | 手動操作 | 電動操作 | |
| 事前確認 | — | — | 良 | 良 | 合格 |
| 2連ダンパ | 1.0倍 | 開 | 良 | 良 | 合格 |
| | | 閉 | 良 | 良 | 合格 |
| | α 倍 | 開 | 良 | 良 | 合格 |
| | | 閉 | 良 | 良 | 合格 |
| 事前確認 | — | — | 良 | 良 | 合格 |
| 3連ダンパ | 1.0倍 | 開 | 良 | 良 | 合格 |
| | | 閉 | 良 | 良 | 合格 |
| | α 倍 | 開 | 良 | 良 | 合格 |
| | | 閉 | 良 | 良 | 合格 |

表5-3 加振後の動作試験（動作時間および電流値）

| 試験対象 | 加振倍率 | 開閉状態 | 電動操作（参考値） | |
|-------|------------|------|-----------|--------|
| | | | 時間（秒） | 電流値（A） |
| 事前確認 | — | — | 45.53 | 0.7 |
| 2連ダンパ | 1.0倍 | 開 | 45.36 | 0.7 |
| | | 閉 | 45.28 | 0.7 |
| | α 倍 | 開 | 45.30 | 0.7 |
| | | 閉 | 45.36 | 0.7 |
| 事前確認 | — | — | 47.21 | 0.7 |
| 3連ダンパ | 1.0倍 | 開 | 46.96 | 0.7 |
| | | 閉 | 47.19 | 0.7 |
| | α 倍 | 開 | 47.05 | 0.7 |
| | | 閉 | 46.96 | 0.7 |

動作試験時の動作時間および電流値は、動作不具合が発生した場合に原因特定するための参考情報として取得した。

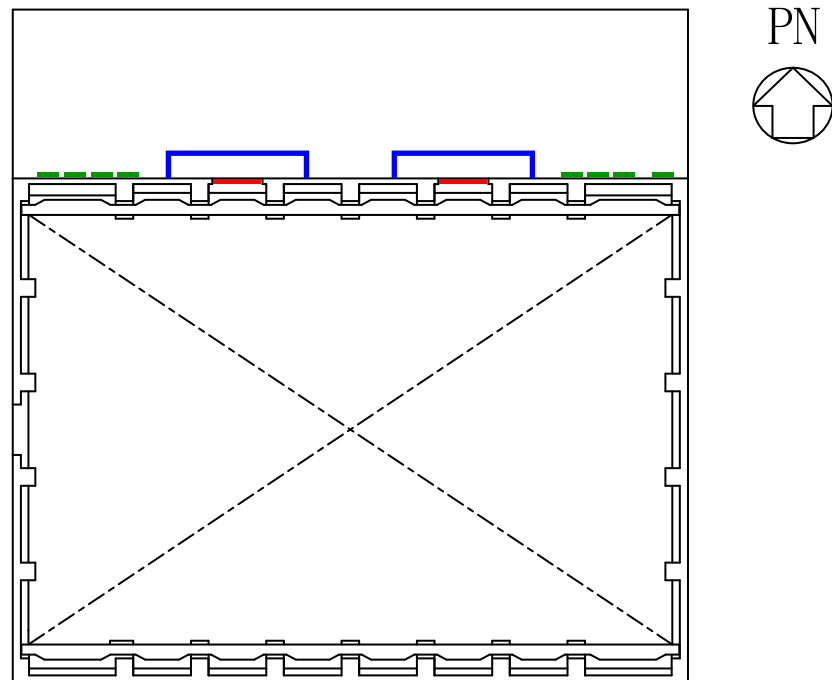
原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル強制開放装置（自主対策設備）
の配置と構造について

1. 概要

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル強制開放装置（以下「オペフロ BOP 強制開放装置」という。）は、重大事故等時に静的触媒式水素処理装置、格納容器フィルタベント系により原子炉建物内の水素濃度が低下しなかった場合に強制的に開放させるために設置する。本設備は、自主対策設備として設置する。

2. 設置位置及び設備概要

オペフロ BOP 強制開放装置は、レバーブロック、ワイヤーロープ等から構成される開放治具であり、通常時は原子炉建物地上4階中間床の建物外壁面に据え付けられた保管箱に収納されている。オペフロ BOP を開放する必要がある際に、開放治具を保管箱から取り出し、ワイヤーロープとオペフロ BOP を接続し、レバーブロックにより緊張することで強制的に開放する。設置位置を図 2-1 に、強制開放装置概要を図 2-2 に示す。



原子炉建物地上4階中間床 概略平面図

- : オペフロBOP
- : 竜巻防護ネット
- : 強制開放装置(保管箱)

図 2-1 オペフロ BOP 強制開放装置設置位置図

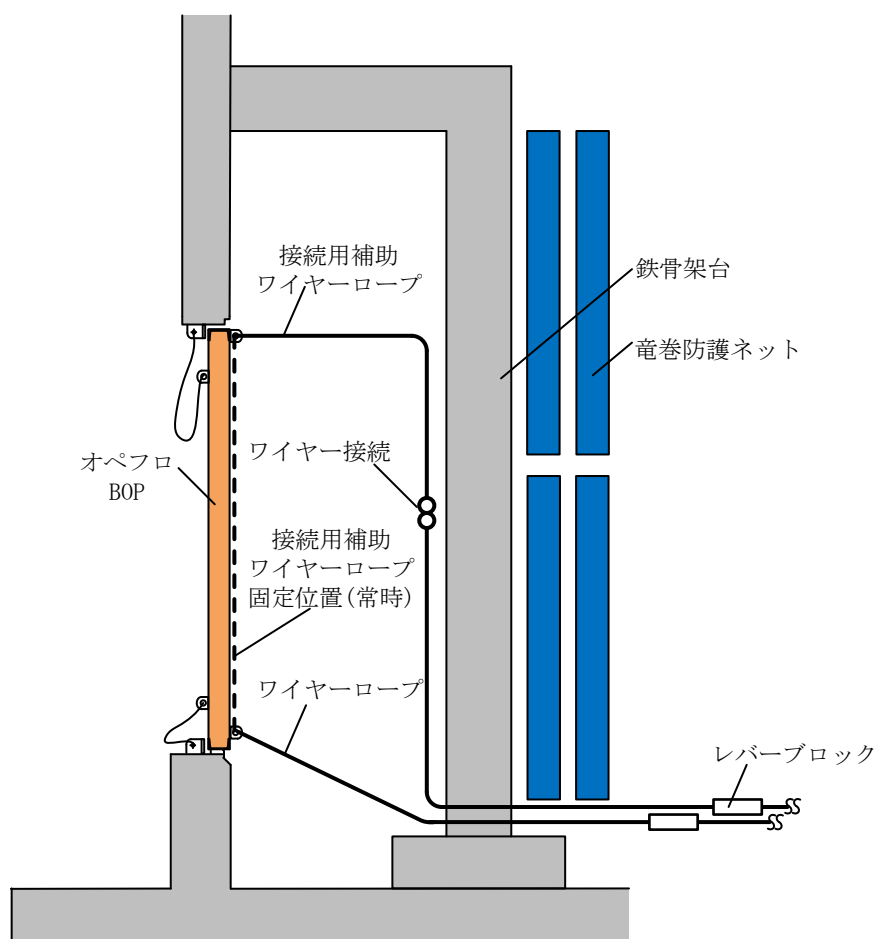


図 2-2 オペフロ BOP 強制開放装置概要図

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（以下「BOP」という。）関連設備の先行電力との差異について説明する。

2. BOP 関連設備の構成比較

BOP 関連設備の構成比較について表 2-1 に示す。

表 2-1 BOP 関連設備の構成比較

| 東海第二 | 柏崎 7 号 | 女川 2 号 | 島根 2 号 | 差異の有無 |
|--------------------|--------------------------|----------------|--------------------------------|-------|
| 原子炉建屋外側 BOP | 燃料取替床 BOP | 原子炉建屋 BOP | 原子炉建物燃料取替階 BOP | 無 |
| — | 主蒸気配管トンネル室 BOP | — | 原子炉建物主蒸気管トンネル室 BOP | 有 |
| BOP 閉止装置 | 燃料取替床 BOP 閉止装置 | 原子炉建屋 BOP 閉止装置 | 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置 | 無 |
| BOP 強制開放装置（自主対策設備） | 燃料取替床 BOP 強制開放装置（自主対策設備） | — | 原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置（自主対策設備）* | 有 |

注記 *：重大事故等時に静的触媒式水素処理装置，格納容器フィルタベント系により原子炉建物内の水素濃度が低下しなかった場合に，強制的に開放する設備（「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第 68 条「原子炉建屋等の水素爆発を防止するための設備」）である。

2.1 差異箇所の詳細について










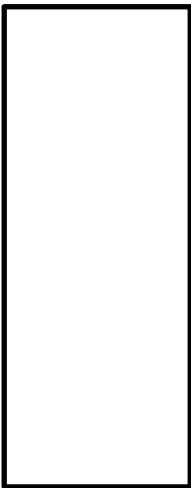
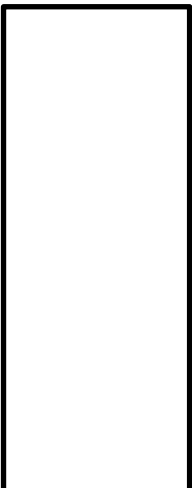
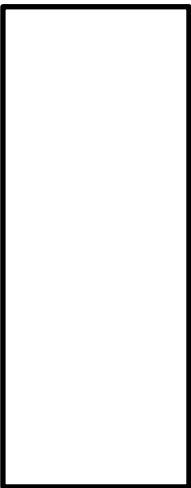

柏崎刈羽 7 号機及び島根 2 号機には主蒸気管トンネル室に BOP が設置されているが，東海第二及び女川 2 号機には設置されていない。東海第二と女川 2 号機では，主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を全て原子炉建物から屋外へ通ずる BOP により，原子炉建物外へ逃がす設計としているが，柏崎刈羽 7 号機と島根 2 号機は原子炉建物燃料取替階から屋外へ通ずる BOP に加えて主蒸気管トンネル室からタービン建物等へ通ずる BOP により，主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を原子炉建物外へ逃がす設計としていることから，相違しているものである。

また，島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置は，屋内に設置されており，原子炉建物燃料取替階 BOP の開放状態によらず閉止動作が可能な設計のため，東海第二および柏崎刈羽 7 号機と同じ目的での強制開放装置は設置していない。

3. 原子炉建物燃料取替階 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 BOP 等と島根 2 号機で設置する原子炉建物燃料取替階 BOP の設備詳細比較を表 3-1 に示す。

表 3-1 原子炉建物燃料取替階 BOP の詳細設備比較

| 項目 | 東海第二 | 柏崎 7 号 | 女川 2 号 | 島根 2 号 | 差異の有無 |
|--------------|--|--|---|---|-------|
| パネル枚数 |  |  |  | 2 枚 | 有 |
| 設計差圧 |  |  |  | 6.9kPa | 有 |
| 材料 |  |  |  | SS400, SUS304 | 有 |
| 作動方式 |  |  |  | クリップ式 個数：16 個 (幅約 140 mm /パネル) 材質：SUS304 幅：約 140 mm 厚さ：約  mm | 有 |
| すべり台, 車輪 | 無 | すべり台 | 車輪 | すべり台 | 有 |
| テンション リング | 無 | 無 | 有 | 無 | 有 |
| コーキング 有無 | パネル 4 辺を シール材によ りコーキング | パネル上部及 び左右に水切 り板を設置 し、その周辺 3 辺をコーキ ング | パネル上下部 及び左右に水 切り板を設置 し、コーキン グはしない | パネル上下部 及び左右に水 切り板を設置 し、コーキン グはしない。 | 有 |

3.1 差異箇所の詳細について

(1) パネル枚数及び設計差圧について

パネルの枚数及び設計差圧については、主蒸気管破断事故等が発生した際に、原子炉格納容器の外側に作用する圧力が設計外圧以下となるよう、プラント毎に設定しているため、相違しているものである。

(2) 作動方式について

□では□としているが、島根2号機では□及び□と同様にクリップ式としている。

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上部□個（幅約140mm）、下部□個（幅約140mm）としている。

クリップ材質については□では材質を□としているが、耐食性の向上を目的として島根2号機では□と同様にSUS304としている。

(3) すべり台、車輪について

パネルと躯体の摩擦力を低減させるため、柏崎刈羽7号機と同様にパネル及び躯体にステンレス製のすべり台を設置している。

(4) テンションリングについて

□では、地震による□の変形を防止する観点から、テンションリングを設置しているが、島根2号機では□及び□と同様にクリップ式のため設置していない。

(5) コーキングについて

島根2号機では、女川2号機と同様にパネル周囲に水切り板を設置し、劣化による不具合防止の観点からシール材によるコーキングはしない。

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等と島根2号機で実施しているクリップ引張試験の比較を表4-1に示す。

表4-1 クリップ引張試験等の比較

| 項目 | 東海第二 | 柏崎7号 | 女川2号* | 島根2号 | 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) 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) 変位：[]変位計にて測定 ひずみ：ひずみゲージにて測定 | 定速型万能試験機 変位制御(载荷速度5mm/min) 変位：[]変位計にて測定 | 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 | 有 |
| 試験体数 | 30体 | 幅約75mm:3体 幅約37.5mm:3体 | 15体 | 30体 | 有 |

注記*: 女川2号機は、[]

4.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験方法について

[]であるため曲げ試験を実施しているが、島根2号機は[]と[]と同じクリップ式であるため引張試験を実施している。

(2) 試験体数について

試験体数は島根2号機では、ばらつきを考慮して30体としている。

5. 原子炉建物燃料取替階 BOP の試験に関する比較

先行電力で実施されている BOP の開放確認試験と島根 2 号機で実施した原子炉建物燃料取替階 BOP の開放確認試験に関する比較を表 5-1 に示す。

表 5-1 原子炉建物燃料取替階 BOP の開放確認試験比較

| 項目 | 東海第二 | 柏崎 7 号 | 女川 2 号 | 島根 2 号 | 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 | 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 | 3 回 | 3 回 | 有 |
| 試験体数 | 3 体 | 3 体 | 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 | 実機と同一 | 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 | 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

東海第二では、開放試験の 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。島根 2 号機では柏崎刈羽 7 号機及び女川 2 号機と同様に 3 回の試験を実施している。

(2) 試験用パネルについて

東海第二では、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、島根 2 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. 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設計に関する比較

先行電力で設置されている BOP 閉止装置と島根 2 号機で設置する原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設計比較を表 6-1 に示す。

表 6-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設備設計比較

| 項目 | 東海第二 | 柏崎 7 号 | 女川 2 号 | 島根 2 号 | 差異の有無 |
|--------|---------|----------|--------|-----------------|-------|
| 方式 | スライド扉方式 | | 扉方式 | ダンパ方式 | 有 |
| 設置場所 | 屋外 | | 屋内 | 屋内 | 有 |
| 閉維持機構 | 門 | | | ウォームギアによるセルフロック | 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 | レンチ | ハンドル | 有 |

6.1 差異箇所の詳細について

(1) 方式及び設置場所について

東海第二及び柏崎 7 号機では屋外にスライド扉方式の BOP 閉止装置を設置するが、島根 2 号機は女川 2 号機と同様に原子炉建物原子炉棟内の BOP への蒸气流路上に設置する。設置にあたっては、BOP の開放機能へ悪影響を及ぼさないよう、蒸气流路の確保に対する考慮に加え、欧州の原子力発電所 (EPR) にて原子炉格納容器のバウンダリに使用されているダンパをベースとしたダンパ方式の BOP 閉止装置とした。島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の概要を図 6-1 に示す。

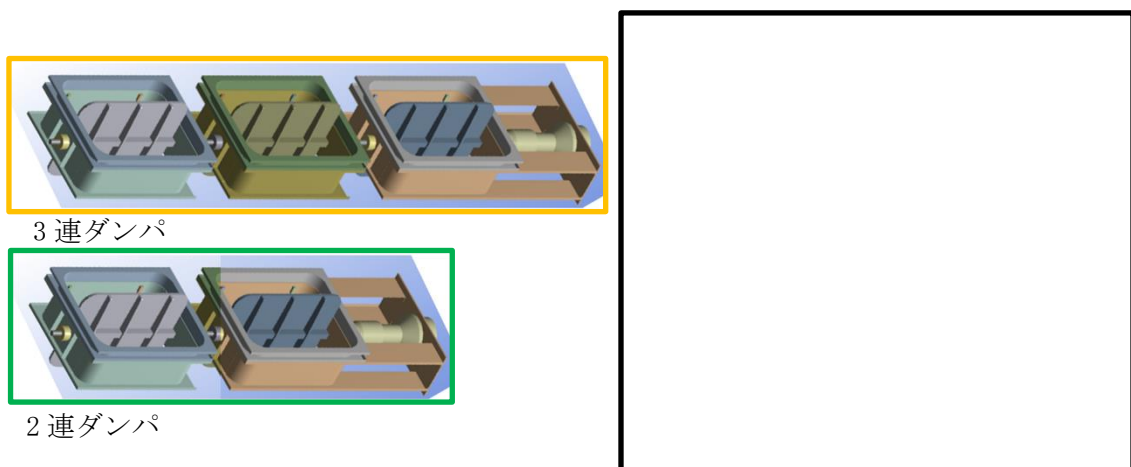


図 6-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の概要図

(2) 閉維持機構について

先行電力では、BOP 閉止装置を閉止後に扉に対して門を挿入することにより、閉状態を維持する設計としている。一方で、島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置は、駆動機構にあるウォームギアによりセルフロックがかかる設計となっている。構造の概要を図 6-2 に示す。

島根 2 号機の基準地震動 S_s 相当による加振試験の際も、このセルフロックによって加振中にダンパが開方向へ動くことなく、閉維持されていたことを目視で確認している。

ウォームギアの構造について

ネジ型の歯があるウォームが回転することで、かみ合っているウォームホイールが従動する仕組み。逆にウォームホイールから駆動させてウォームを従動させることは、摩擦の関係により出来ない構造となる（セルフロック）。

島根 2 号の BOP 閉止装置の場合、ウォームが電動又は手動により回転させる軸で、ウォームホイール側がダンパの軸となる。このため、地震等でダンパへ開方向の力が加わったとしてもセルフロックにより開放しない。

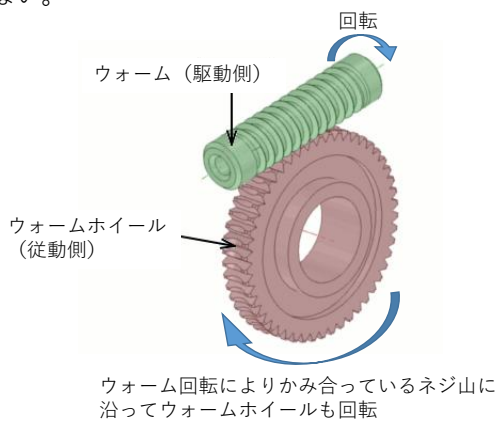


図 1 ウォームギア通常動作

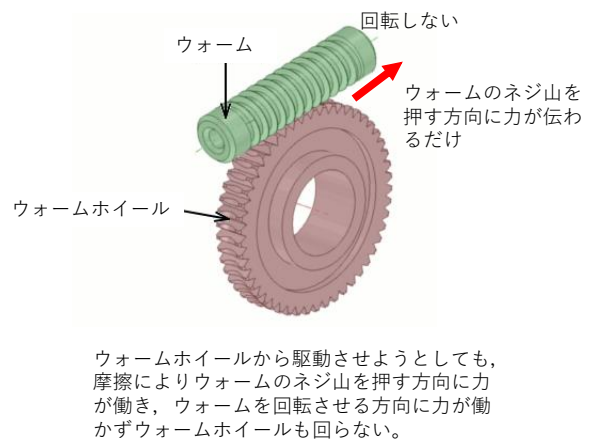


図 2 セルフロック状態

図 6-2 ウォームギアによるセルフロックの概要

(3) 手動操作方式について

東海第二では BOP 閉止装置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による手動操作方式としているが、島根 2 号機は柏崎 7 号機及び女川 2 号機と同様に、BOP 閉止装置の近傍へアクセスし、駆動部に設置されたハンドルにて操作する手動操作方式としている。

7. 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験に関する比較

先行電力で実施されている BOP 閉止装置の加振試験及び気密性能試験と島根 2 号機で実施した原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験及び気密性能試験に関する比較を表 7-1 に示す。

表 7-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験比較

| 項目 | 東海第二 柏崎 7 号 | 女川 2 号 | 島根 2 号 | 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 (清水建設株式会社 技術研究所 先端耐震防災研究棟) | 3 次元振動台 (鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場) | 有 |
| 加振波 | ①BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②建屋影響等のばらつきを包絡 | ①最大加速度は BOP 閉止装置と同程度の設置高さ, 床応答スペクトルは 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 | ①BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②建物影響評価等のばらつきを包絡 | 有 |
| 振動特性把握試験 | 実施 | 実施 | 実施 | 無 |
| 加振試験方法 (開状態) | ①扉開状態加振後に扉閉動作 ②扉閉状態で気密性能試験 ③扉開動作・閉動作 | ①扉開状態加振後に扉閉動作 ②扉閉状態で気密性能試験 ③扉開動作・閉動作 | ①羽根開状態加振後に羽根閉動作 ②羽根閉状態で気密性能試験 ③羽根開動作・閉動作 | 無 |
| 加振試験方法 (閉状態) | ①扉閉状態加振 ②気密性能試験 ③扉開動作・閉動作 | ①扉閉状態加振 ②気密性能試験 ③扉開動作・閉動作 | ①羽根閉状態加振 ②気密性能試験 ③羽根開動作・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 | ①振動台 ②支持架台 ③ダンパ 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 ③チェーン ④門周辺 | — | ①ダンパケーシング ②羽根 ③ダンパ連結継手 | 有 |

| 項目 | 東海第二 柏崎7号 | 女川2号 | 島根2号 | 差異の 有無 |
|----------------------|---|---|---|-----------|
| 加振後の 作動確認 (電動) | ・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 | ・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 | ・ダンパの開閉を確認 ・電動機の電流値, ダンパ動作時間を測定 | 有 |
| 加振後の 作動確認 (手動) | ・扉の開閉, 門の引抜/挿入を確認 | ・扉の開閉, 門の引抜/挿入を確認 | ・ダンパの開閉を確認 | 有 |
| 加振後の 気密性能 試験方法 | ・ASTM E283-4 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。 | ・ASTM E283-4 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。 | ・ASTM E283-4 に準じた装置を用いる。 ・送風機により設置架台とダンパ間の空間を加圧することによりダンパ前後に圧力差を生じさせ, ダンパのシール部から漏えいする通気量を測定する。 | 有 |

7.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験装置について

島根2号機は試験体重量等を考慮した結果, 先行電力と異なる鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場の試験装置を用いて加振試験を実施している。

(2) 加振波について

東海第二, 柏崎7号機及び島根2号機はBOP閉止装置の設置高さより上方の床応答を目標として設定している。女川2号機のBOP閉止装置は設置高さより上方の床応答を目標とした場合, 振動台性能の制約から加振試験が不可能であったことから, 支持架台の応答増幅を考慮して設計用震度を超えるように加振波を設定している。

(3) ひずみ測定箇所について

6.1項で先述のとおり, BOP閉止装置の方式が異なり, 島根2号機の原子炉建物燃料取替階BOP閉止装置の構造上, ひずみの発生が考えられる位置にひずみゲージを設置している。

(4) 加振後の作動確認について

6.1 項で先述のとおり，島根 2 号機は原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の閉維持機構に門を用いていないため，ダンパの作動確認に関するもののみとなる。

(5) 加振後の気密性能試験方法について

先行電力の排風機によって試験装置内を負圧とする方法と異なり，島根 2 号機は試験装置内を送風機によって加圧する方法であるものの，BOP 閉止装置に対して加圧する方向（屋外から屋内方向）に相違はなく，試験結果の妥当性に影響を与えるものではない。

8. 原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置（自主対策設備）に関する比較

先行電力で実施されている BOP 強制開放装置と島根 2 号機で設置されている原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置に関する比較を表 8-1 に示す。

表 8-1 強制開放装置の仕様比較

| 項目 | 東海第二 | 柏崎 7 号 | 女川 2 号 | 島根 2 号 | 差異の有無 |
|------|------|--------|--------|--------|-------|
| 作動方式 | 油圧 | 電動駆動 | — | 手動 | 有 |
| 設置場所 | 屋内 | 屋外 | — | 屋外 | 有 |

8.1 差異箇所の詳細について

(1) 作動方式について

島根 2 号機はレバーブロック及びワイヤーロープ等の開放治具を用いて手動でオペフロ BOP を開放する設計としている。

(2) 設置場所について

島根 2 号機の開放治具は，通常時は原子炉建物屋外外壁の保管箱に収納する設計としている。