

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

資料番号	TK-1-703 改2
提出年月日	平成30年6月8日

東海第二発電所

ブローアウトパネル閉止装置 機能確認試験要領書

日本原子力発電株式会社

平成30年6月

目次

1. 目的	1
2. 試験期間及び場所	1
3. 試験項目	1
4. 加振試験	3
5. 試験要領	13

東海第二発電所 ブローアウトパネル閉止装置機能確認試験要領について

1 目的

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

2 試験期間及び場所

実施時期：平成 30 年 6 月 18 日（月）～22 日（金）

場 所：国立研究開発法人 防災科学研究所 兵庫耐震工学研究センター
兵庫県三木市志染町三津田西亀屋 1501-21

3 試験項目

3.1 閉止装置に要求される機能について

閉止装置は、原子炉建屋外側ブローアウトパネル（以下「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、BOPの開放部を速やかに閉止し、原子炉建屋の気密性を維持することが求められる。具体的には下記の機能が求められる。

- ・ 地震後においても、容易かつ確実に閉止でき、また現場において人力による操作できる作動性を確保し、原子炉建屋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。
- ・ 閉止装置を閉止した状態で、地震が発生したとしても、原子炉建屋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) 基準地震動 S_s 加振波による加振

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。

(2) 振動台性能限界加振波による加振

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 1.1 倍相当※）での加振波を用いて加振を行う。

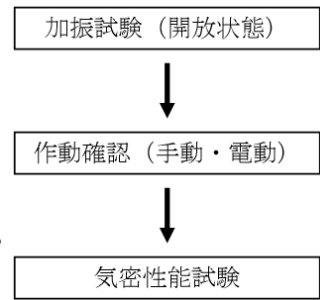
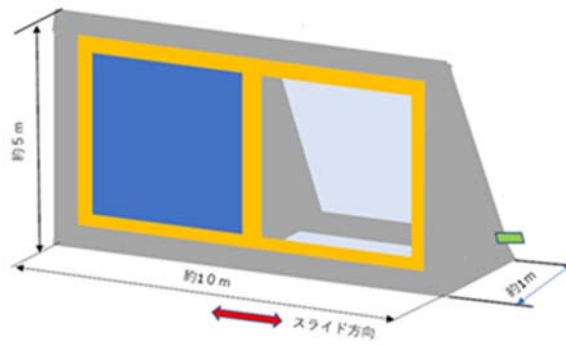
※ 加振台を動かす油量等の制限により数値が上下する可能性がある。

3.3 試験項目

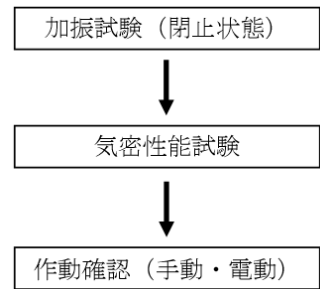
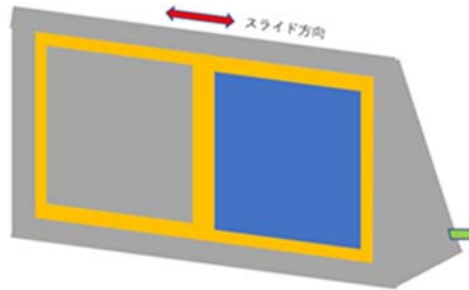
基準地震動 S_s 加振波及び振動台性能限界加振波による加振を行い、閉止装置に要求される機能が確保されことを確認する。

- ・ 加振後の作動試験：閉止装置が開放状態において、加振後の作動性が確保していることを確認する。
- ・ 加振後の気密性能試験：閉止装置が開放状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。
- ・ 加振後の気密性能試験：閉止装置が閉止状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。
- ・ 加振後の作動試験：閉止装置が閉止状態において、加振後の作動性が確保していることを確認する。

【扉開放状態】



【扉閉止状態】



第1図 試験治具概念図

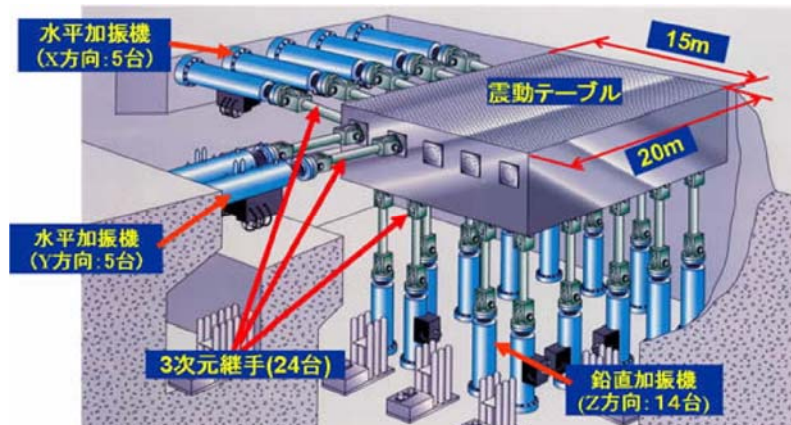
4 加振試験について

4.1 加振装置（三次元振動台）の概要

振動台の上に試験体を設置し、水平方向と鉛直方向を同時に加振する。第1表に振動台の仕様、第2図に三次元振動台の概要図及び第3図に試験体の鳥瞰図を示す。

第1表 三次元振動台の仕様

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



第2図 三次元振動台の概要図



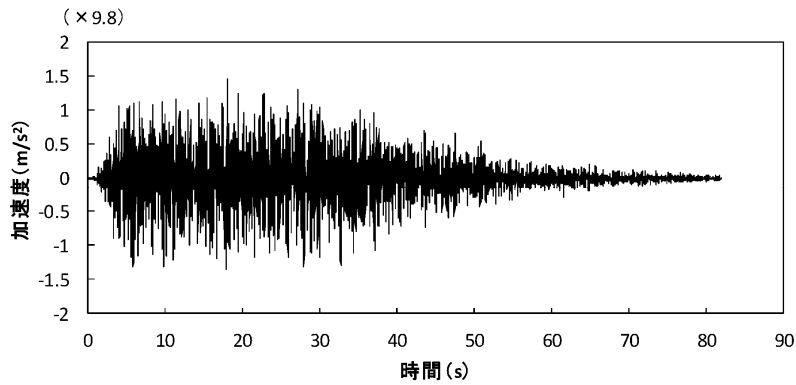
第3図 試験体の鳥瞰図

4.2 加振波

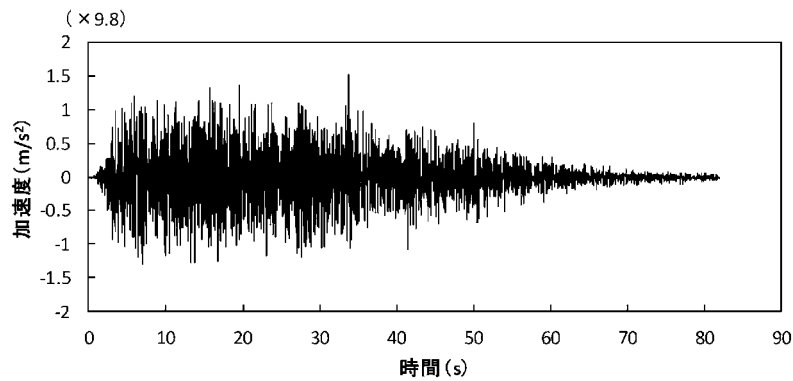
(1) 基準地震動 S_s 加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。第4図、第5図に、複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波の時刻歴波形、床応答スペクトルを示す。

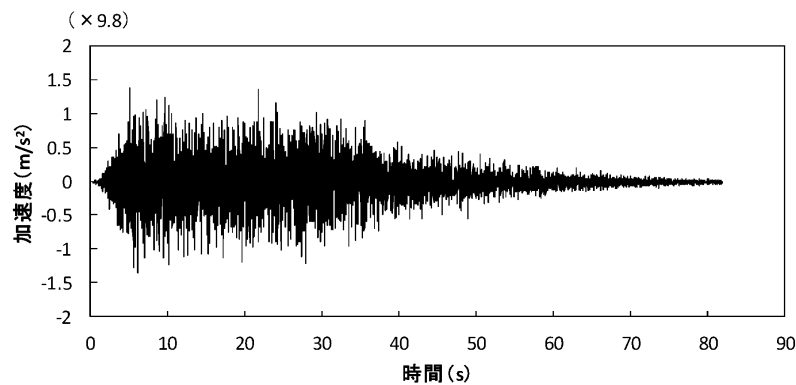
- ・ 閉止装置の設置高さより上方の原子炉建屋 EL. 63. 65m
- ・ 基準地震動 S_s 8 波及び建屋影響評価で考慮するばらつきケースを包絡
- ・ 加振目標の包絡スペクトルは減衰定数 1. 0%で設定



(1) 水平 (NS) 方向

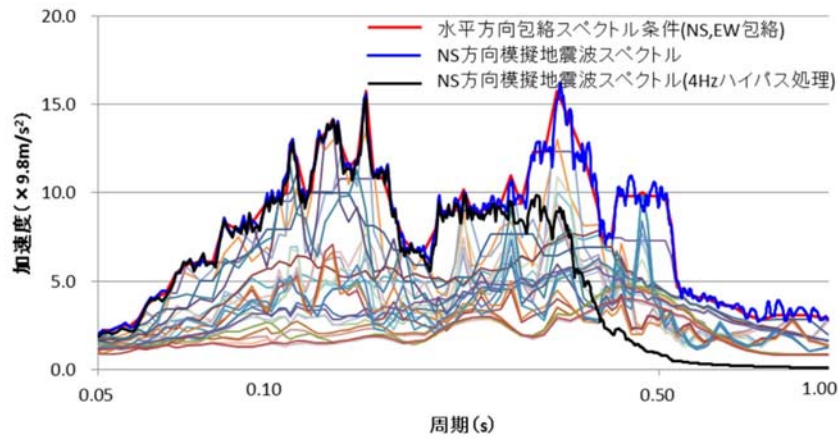


(2) 水平 (EW) 方向

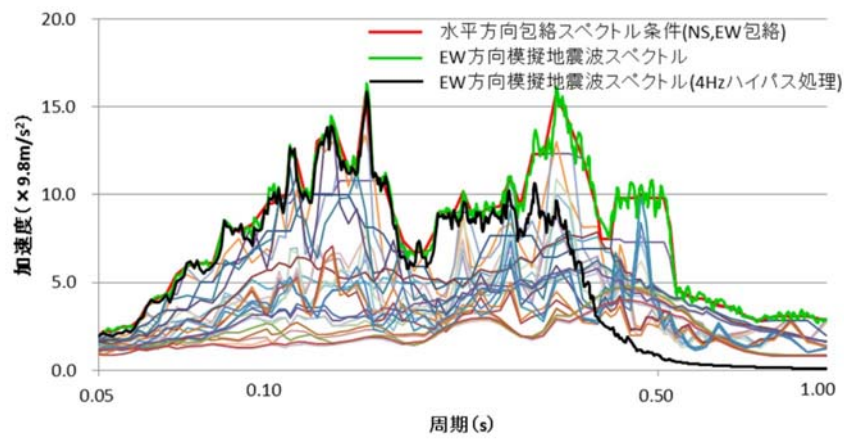


(3) 鉛直方向

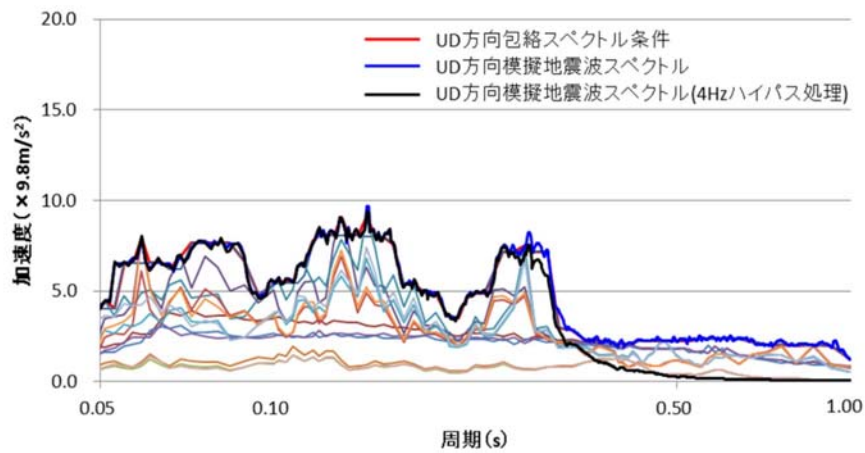
第4図 模擬地震波の時刻歴波形



(1) 水平 (NS) 方向



(2) 水平 (EW) 方向



(3) 鉛直方向

第 5 図 模擬地震波の床応答スペクトル (減衰定数 1%)

※ 振動台の性能を考慮し、閉止装置の固有周期近傍の加速度に影響を及ぼさない長周期側の加速度を減衰処理した入力地震動にて試験を実施する。

(2) 振動台性能限界加振波

振動台性能限界加振波は、4.2 (1) の基準地震動 S_s 加振波の振幅を、振動台の性能限界付近（基準地震動 S_s の 1.1 倍相当）の加速度振幅になるよう等倍した加振波とする。

4.3 加振試験項目及び内容

加振試験ケースの項目、概要は以下の通りである。各試験ケースの扉の試験体条件（閉止装置の開閉状態）、加振波等を第 2 表に示す。

(1) 振動台補償加振

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

(2) センサ確認試験

センサの取付方向、感度確認を行うために、各方向単独で正弦波加振を行う。

(3) 振動特性把握試験

試験体の振動特性を把握するため、0.1Hz～30Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波による加振試験を行う。加振方向は各方向単独とし、扉の開状態及び閉状態の振動特性を確認する。なお、試験体の固有振動数が高い場合は、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数がないことを確認する。

(4) 地震波加振試験

加振レベルは 4 段階に分けて振動台の加振性能限界まで漸増させていく。加振方向は 3 方向同時とし、閉止装置の開状態、閉状態のそれぞれで実施する。

なお、基準地震動 S_s を超える加振試験として、振動台の性能限界である基準地震動 S_s の 1.1 倍相当をレベル 4 として実施し、閉止装置の耐震裕度を確認する。

第2表 試験ケース一覧

No	試験項目	試験体条件	加振方向	加振波	加振レベル	備考
—	振動台補償加振	—	X+Y+Z	—	—	—
1	センサ確認試験	扉閉	X	正弦波	0.5m/s ² 程度	1~2Hz で実施
2			Y			
3			Z			
4	振動特性把握試験	扉閉	X	ランダム波 ^{*1}	2.0m/s ² 程度	—
5			Y			
6			Z			
7	振動特性把握試験	扉閉	X	ランダム波 ^{*1}	2.0m/s ² 程度	—
8			Y			
9			Z			
10	地震波加振	扉閉	X+Y+Z	包絡波 ^{*2}	0.3×S _s	レベル1
11					0.6×S _s	レベル2
12					1.0×S _s	レベル3
13					1.1×S _s	レベル4 ^{*3}
14		振動台性能限界				
15		扉閉	X+Y+Z	包絡波 ^{*2}	0.3×S _s	レベル1
16					0.6×S _s	レベル2
17					1.0×S _s	レベル3
18					1.1×S _s	レベル4 ^{*3}
19					振動台性能限界	

※1 0.1Hz~30Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波で加振を行う。

※2 方向毎に複数の基準地震動S_sの床応答スペクトルを包絡する模擬地震波を作成して加振する。

※3 基準地震動S_sに対する裕度を確認するために実施。

4.4 計測要領

(1) 計測項目

試験体の代表的挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を第3表に示す。

第3表 計測項目

項目	計測点
加速度	・ 振動台 ・ 支持架台 ・ 扉 ・ 駆動装置
ひずみ	・ プッシュローラ（開閉時に扉を抑える部位）

(2) 計測位置

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

① 加速度

第6図に加速度計の設置位置を示す。

② ひずみ

第7図にひずみゲージの設置位置を示す。扉の開時、閉時において扉を抑える荷重が発生するプッシュローラを代表位置として加振試験時のひずみを計測する。ただし今後の詳細検討、試験時の状況判断により、計測位置の見直し、追加の可能性はある。

③ その他

加速度、ひずみ以外に、加振試験時や扉の開閉動作の記録のため、動画撮影を実施する。なお、必要に応じ試験場に備え付けられているカメラも活用する。

- ・ 試験体全景：振動台外から、試験体全景を撮影
- ・ 扉近傍：振動台または支持架台上から、レール、プッシュローラ付近を撮影

(3) 測定計器

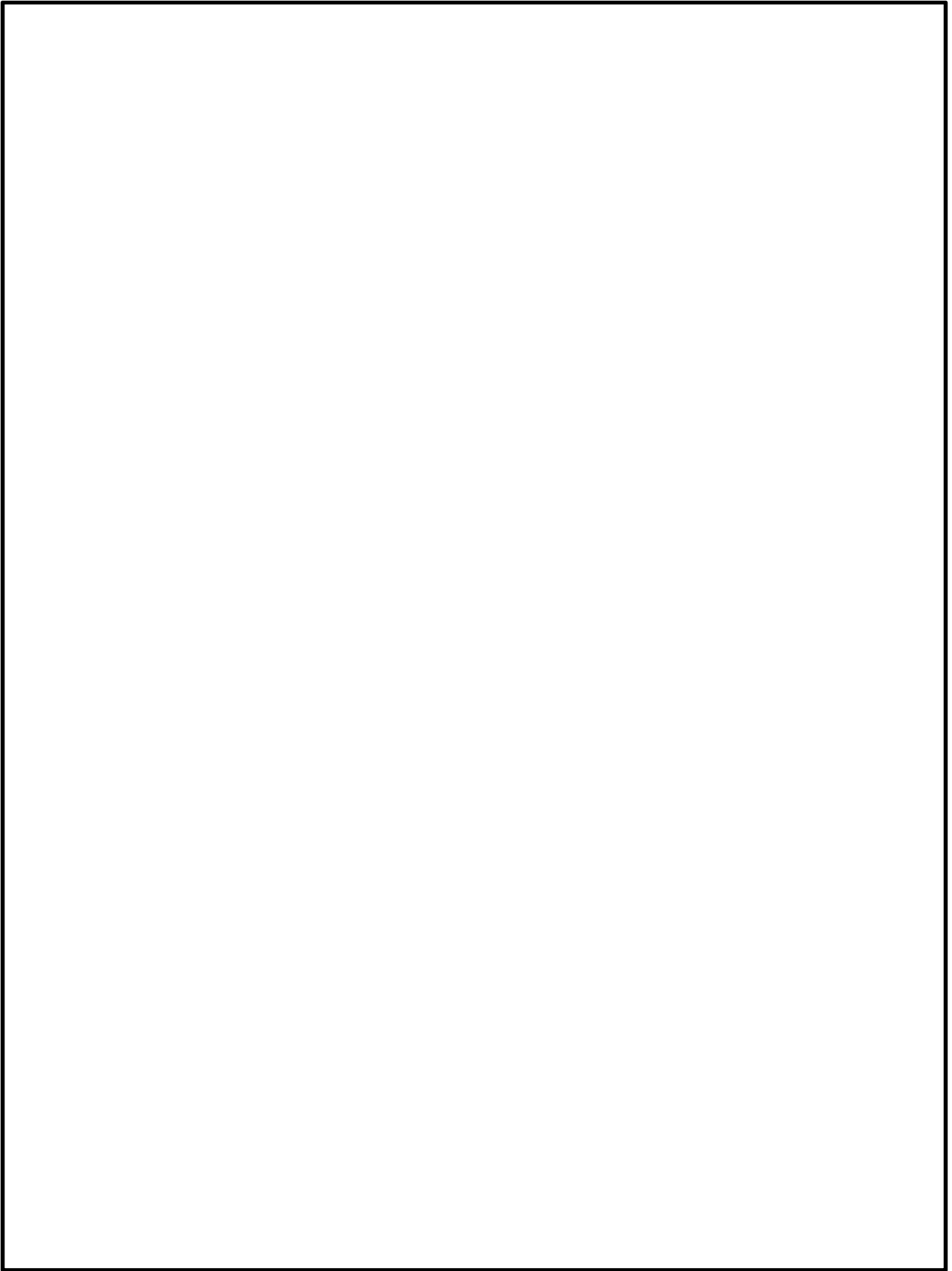
試験に使用する測定計器を第12表に示す。

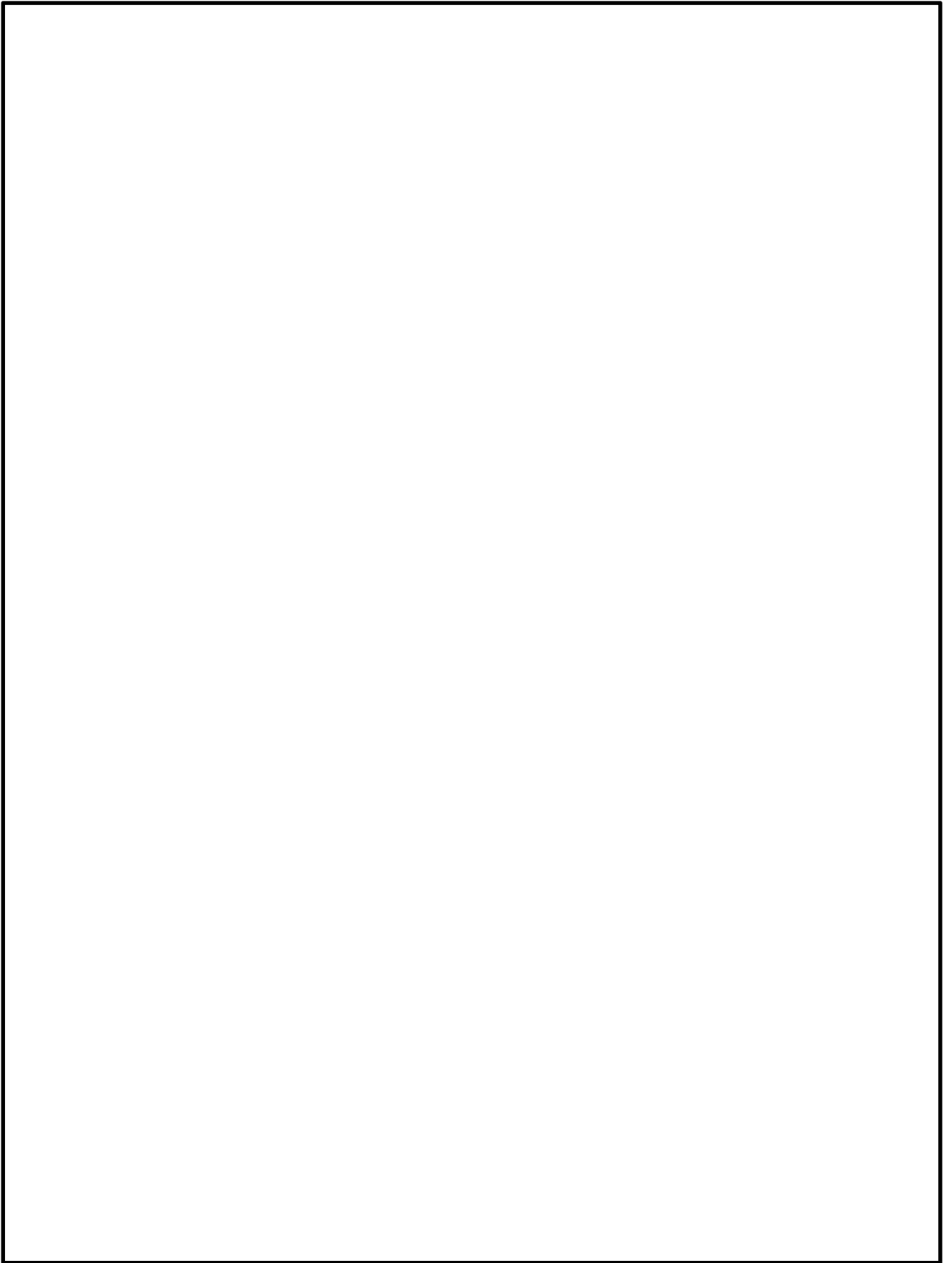
第4表 計測項目

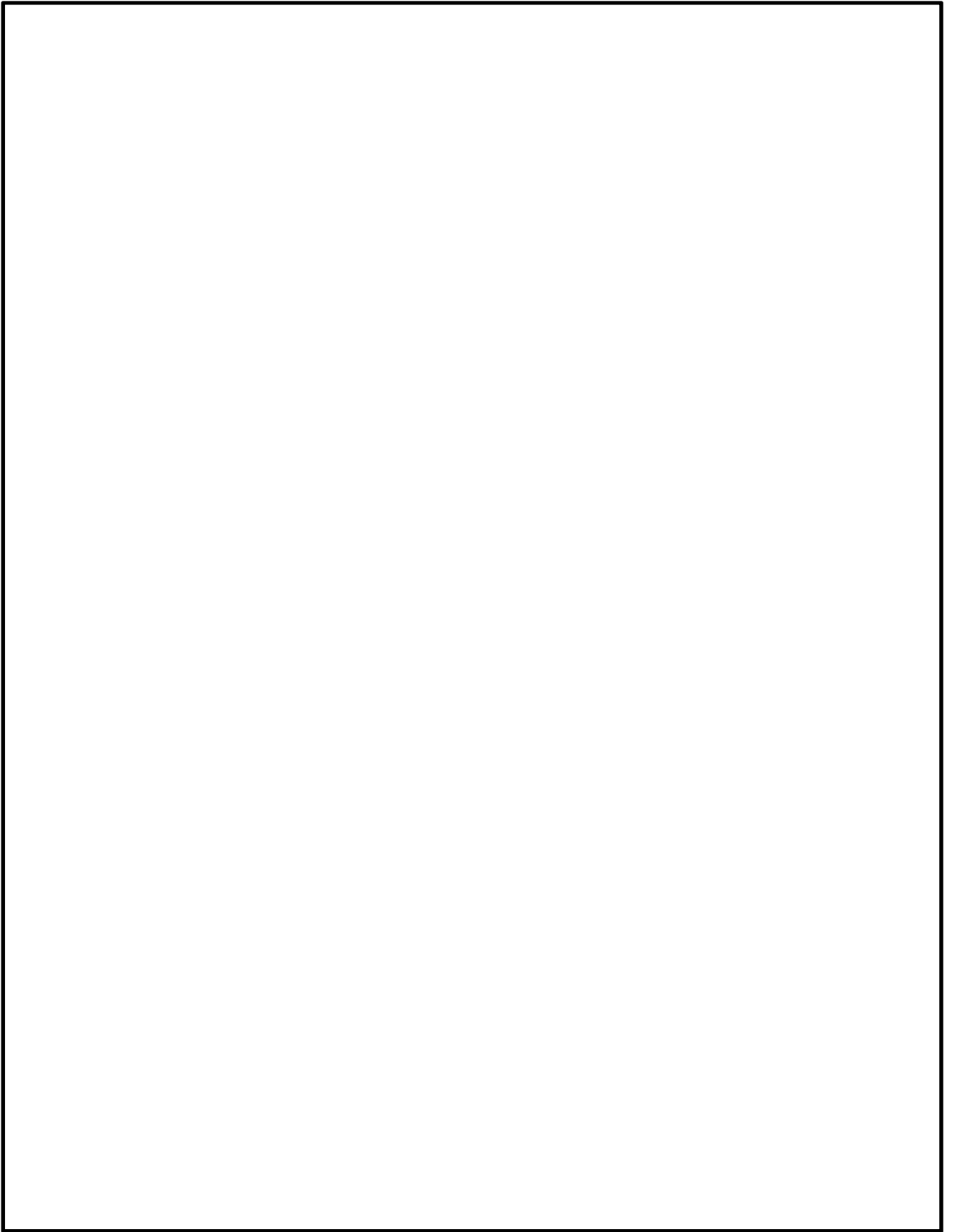
No	項目	記号	測定点	方向	備考		
1	加速度	A1	振動台	X	<ul style="list-style-type: none"> ・振動台上加速度を計測 ・計画条件の範囲内で加振試験が実施されたことの確認が目的 		
2				Y			
3				Z			
4				A2		X	
5						Y	
6						Z	
7		A3	扉上部(閉時)	X	<ul style="list-style-type: none"> ・閉時, 開時の扉上部の支持架台に設置 ・閉時, 開時の閉止装置の機能維持確認 ・支持架台の振動特性確認も兼ねる 		
8				Y			
9				Z			
10		A4	扉上部(開時)	X			
11				Y			
12				Z			
13		A5	駆動装置本体	X	<ul style="list-style-type: none"> ・駆動装置単体の機能維持確認 ・駆動装置の振動特性確認も兼ねる 		
14				Y			
15				Z			
16				A6		駆動装置の取付位置	X
17							Y
18							Z
19		A7	扉の中央部	X	<ul style="list-style-type: none"> ・扉の振動特性確認が目的 ・振動特性把握試験時に設置^{※1} 		
20				Y			
21				Z			
22	A8			扉の右・中央		X	
23	A9			扉の左・中央		X	
24	A10	扉の中央部	X	<ul style="list-style-type: none"> ・地震波加振, 扉閉, レベル3または4 (第1表のNo. 16または17)のケース で扉3箇所^{※1}に設置 			
25	A11	扉の中央部	X				
26	A12	扉の中央部	X				
27	ひずみ	S1	プッシュローラ (扉閉時) ^{※2}	-	<ul style="list-style-type: none"> ・扉の開放状態及び閉止状態での加振試験時に代表位置として, ひずみの計測が目的 		
28		S2					
29		S3	プッシュローラ (扉開時) ^{※2}				
30		S4					

※1 扉の開閉による作動性能の確認の際にケーブルが試験体や他センサと干渉する恐れがあるため, 代表試験ケースのみでの計測とする。

※2 開時、閉時において扉を抑える荷重がプッシュローラに発生するため代表位置とする。なお、支持部材の形状により、測定位置が変更になる可能性がある。







5 試験要領

5.1 試験手順

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

なお、試験場との調整、現場の進捗状況等により、試験手順が変更となる場合もある。

- (1) 加振試験の準備として、センサ（加速度計及びひずみゲージ）が所定の位置に設置されていることを確認する。また、測定計器の仕様が適切であることを確認する。
- (2) センサ確認試験を以下の手順で実施する。
 - ① 閉止装置の扉が閉止状態であることを確認する。
 - ② 加振レベル 0.5m/s^2 程度、振動数 $1\sim 2\text{Hz}$ にて、各方向単独で正弦波加振を行う。
 - ③ センサの取付方向、感度を確認する。
- (3) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① 閉止装置の扉が閉止状態であることを確認する。
 - ② 加振レベル 2.0m/s^2 程度にて、各方向単独で、 $0.1\text{Hz}\sim 30\text{Hz}$ 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波の加振を行う。
 - ③ 試験体の固有振動数を測定し、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数の有無を確認する。
 - ④ 閉止装置の扉を開放状態とし、(3) ②, ③ を実施する。

【閉止装置の扉開放状態における加振試験】

- (4) 地震波 ($0.3 \times S_s$) 加振試験を以下の手順で実施する。
 - ① 閉止装置の扉を開放状態であることを確認する。
 - ② センサ取付状況及び試験体の外観目視を行い、異常のないことを確認する。
 - ③ 3方向同時加振の包絡波によるレベル1 ($0.3 \times S_s$) で加振する。
 - ④ 加振後、採取データを確認する。
- (5) 地震波 ($0.6 \times S_s$) 加振試験を実施する。
 - ① 閉止装置の扉が開放状態であることを確認する。
 - ② センサ取付状況及び試験体の外観目視を行い、異常のないことを確認する。
 - ③ 3方向同時加振の包絡波によるレベル2 ($0.6 \times S_s$) で加振する。
 - ④ 加振後、採取データを確認する。
 - ⑤ 作動試験を「5.2 (1) 作動試験」のとおり実施する。

ただし、レベル2においては電動作動試験のみを実施する。
 - ⑥ 気密性能試験を「5.3 (1) 気密性能試験」のとおり実施する。
- (6) 地震波 ($1.0 \times S_s$) 加振試験を実施する。
 - (5) ① ~ ⑥と同じ。ただし、下記に読み替える。

- ・レベル2 ($0.6 \times S_s$) をレベル3 ($1.0 \times S_s$)
 - ・基準地震動 S_s の 0.6 倍を 1.0 倍
- (7) 地震波 ($1.1 \times S_s$) 加振試験を実施する。

- (5) ① ~ ⑥と同じ。ただし、下記に読み替える。
- ・レベル2 ($0.6 \times S_s$) をレベル4 ($1.1 \times S_s$)
 - ・基準地震動 S_s の 0.6 倍を 1.1 倍

【閉止装置の扉閉止状態における加振試験】

閉止装置の扉を閉止状態とし、5.1(4)~(7)を実施する。ただし、下記に読み替える。

- ・扉の開放状態を閉止状態

5.2 作動試験について

(1) 作動試験

【電動作動確認】

電動駆動により閉止装置が閉止できることを確認する。その後、開閉を5回繰り返し電動機の電流測定及び開閉時間の測定を実施する。

【手動作動確認】

① 閉止装置の扉が開放状態での加振後

手動操作により閉止装置が閉止できることを確認する。

ただし、電動作動確認結果から作動状況に変化がないと判断できる場合は、手動作動確認を省略する。

② 閉止装置の扉が閉止状態での加振後

手動操作により閉止装置が開放できることを確認する。

ただし、電動作動確認結果から作動状況に変化がないと判断できる場合は、手動作動確認を省略する。

(2) 判定基準

【電動作動確認】

電動駆動により開閉できること。

扉の閉止 : 全閉位置であること

開閉時間 : 2分以内(参考値)

電流値 : 定格電流値以内であること

【手動作動確認】

手動操作により閉止(開放状態の加振後)又は開閉(閉止状態の加振後)できること。

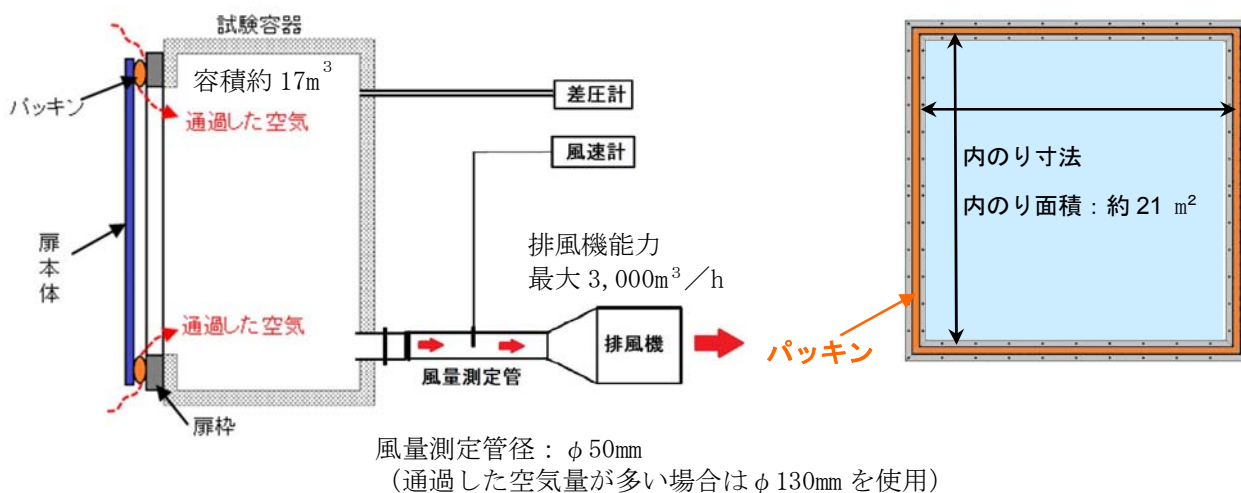
扉の閉止 : 全閉位置又は全開位置であること

5.3 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。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。

第 8 図に気密性能試験装置図、第 9 図に試験体の内のり寸法図を示す。



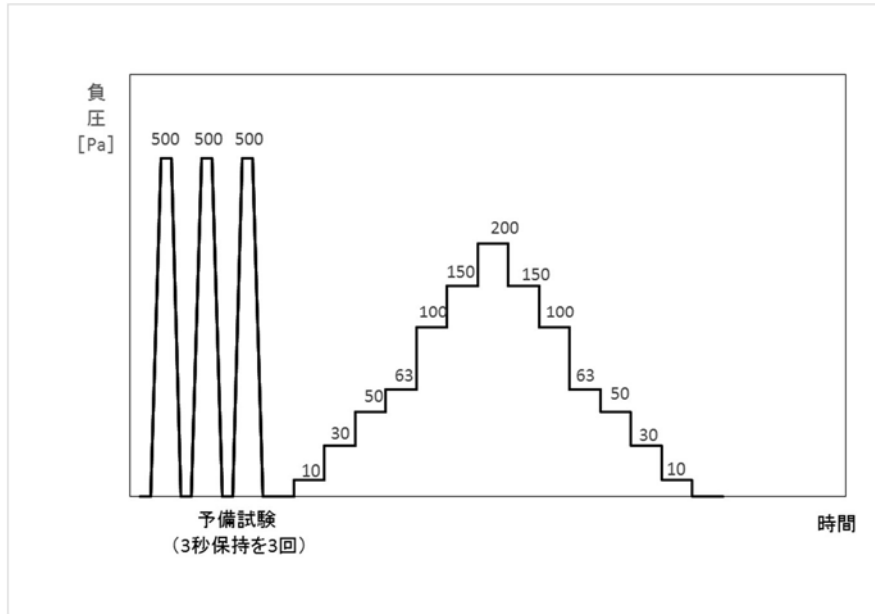
第 8 図 気密性能試験装置図

第 9 図 試験体の内のり寸法図

試験体を通過した空気量 Q (m^3/h) は、風速計の風速 V (m/s)、風量測定管の直径 d (m) から算出する。

$$Q = V \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times 3,600$$

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、負圧での圧力差 10Pa, 30Pa, 50Pa, 63Pa, 100Pa, 150Pa, 200Pa と上げ、150Pa, 100Pa, 63Pa, 50Pa, 30Pa, 10Pa と下げていく (保持時間 1 分)。通気方向は 1 方向 (負圧) とする。(第 10 図 負圧試験線図)



第 10 図 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 , $1,013$ hPa) に換算し、扉の内法面積 (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。圧力差に応じた通気量の推移を確認する。

$$q = Q' / A$$

ここで、

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

A : 試験体の内り面積 (m^2)

Q' : 通過した空気量 (20°C , $1,013\text{hPa}$ 換算値) (m^3/h)

$$Q' = Q \cdot \frac{P}{1,013} \cdot \frac{273+20}{273+T}$$

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 ($^\circ\text{C}$)

(2) 判定基準

通気量 : $12.6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 以下※ (差圧 63Pa 時)

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

第 11 図 試験工程※¹

項目	6/15(金)		6/16(土)		6/17(日)		6/18(月)		6/19(火)		6/20(水)		6/21(木)		6/22(金)	
	AM※ ³	PM※ ³	AM	PM	AM	PM	AM	AM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
振動台補償加振	■															
センサ確認試験 3 方向 (扉開)							■									
振動特性把握試験 3 方向 (扉開)							■									
振動特性把握試験 3 方向 (扉閉)							■									
地震波加振 (扉開) レベル 1 (0.3×S _s)									■							
地震波加振 (扉開) レベル 2 (0.6×S _s)									■							
地震波加振 (扉開) レベル 3 (1.0×S _s)※ ²									■							
地震波加振 (扉閉) レベル 1 (0.3×S _s)											■					
地震波加振 (扉閉) レベル 3 (1.0×S _s)※ ²											■					
地震波加振 (扉閉) レベル 2 (0.6×S _s)											■					
地震波加振 (扉閉) レベル 3 (1.0×S _s)※ ²												■				
地震波加振 (扉閉) レベル 4 (1.1×S _s)※ ²													■			
地震波加振 (扉閉) レベル 4 (1.1×S _s)※ ²														■		

※¹ 試験場との調整により変更となる場合もある。

※² 地震波加振のうちレベル 3, 4 の加振後に、健全性確認試験 (作動確認試験, 気密性能試験) を実施する。

※³ AMは, 10:00~1:00 PMは, 13:30~18:00 を想定している。

第 12 図 測定計測器一覧表 (1/2)

No.	用途	計測器名称	メーカー (型式)	仕様
1	絶縁抵抗測定	絶縁抵抗計	sanwa (PDM508S)	定格測定電圧(V/MΩ) : 500/100 精度 : 第一有効測定範囲(指示値の±5%以内) 第二有効測定範囲(指示値の±10%以内)
2	動作試験 (モータ電流値測定)	デジタルクランプ メータ	HIOKI (3282)	交流電流(A) : レンジ 30A, 300A, 600A 精度 : 30A(40~1kHz : ±1%rdg±0.7%fs) 300A/600A(45~60Hz : ±1.0%rdg±5dgt, 40~45Hz : ±1.5%rdg±5dgt 66~1kHz : ±1.5%rdg±5dgt)
3	動作試験 (扉開閉速度測定)	ストップウォッチ	SEIKO (S34-4000)	時間精度 : ±0.0012%(月差±30秒以内)
4	気密性能試験	熱式風速計	日本カノマックス(株) (6141)	3レンジ : 0~1m/s(50等分目盛。最少読取値 0.02m/s) 0~10m/s(50等分目盛。最少読取値 0.2m/s) 0~50m/s(50等分目盛。最少読取値 1m/s) 精度 : 各レンジのメータフルスケールの±2%
5		デジタル圧力計 (差圧計)	(株)サヤマ (マノエース 230-8110HP-B)	圧力レンジ : 0~110kPa, 200kPa, 700kPa 最大表示 : 700kPa 精度 : ±0.35%fs±1dgt
6		ガラス製単管温度計	日本計量器工業(株) (DF-201)	範囲 : -20℃~50℃以下 目盛 : 1℃

第 12 図 測定計測器一覧表 (2/2)

No.	用途	計測器名称	メーカー (型式)	仕様
7	加振試験	加速度計	株式会社共和電業 (AS-5GB、AS-10GB)	定格容量 AS-5GB : $\pm 49.03\text{m/s}^2$ AS-10GB : $\pm 98.07\text{m/s}^2$ 精度 (非直線性/ヒステリシス) : $\pm 1.0\%R0$ 以内 ※R0 (Rated Output) : 定格出力
8		ひずみゲージ	株式会社共和電業 (KFG-2-120-C1-11)	ひずみ限界 : 約 5% (常温) 誤差 : 最大 10% (ひずみ限界条件における最大誤差)

参考資料 1

「J I S A 1516 建具の気密性試験方法」抜粋

6.3 試験手順 試験は、図2に示す手順に従って行う。

a) 予備加圧 試験に先立ち試験圧力 P_{max} (1) より10%以上大きい圧力差を3秒以上保持し、3回加える。ただし、その圧力差は500 Pa以上とする。

なお、圧力を変化させる時間は、1秒以上とする。

b) 開閉確認 戸の開閉繰返しを5回行い、その後施錠する。

c) 加圧 加圧は、図2に示す試験手順に従い、正圧のもとで各段階ごとに最低10秒以上保持しながら、この試験で要求されている最高圧まで昇圧する。

なお、試験における圧力差の段階は、10、30、50、100、150、200、300、400、500及び600 Paとし(図2)、 P_{max} が600 Paを超える場合は、100 Paを超えない範囲の段階で圧力差を増加する(図3)。この圧力差は、降圧にも適用する。

d) 測定 個々の圧力差ごとに流量が定常になったときの流量を測定する。

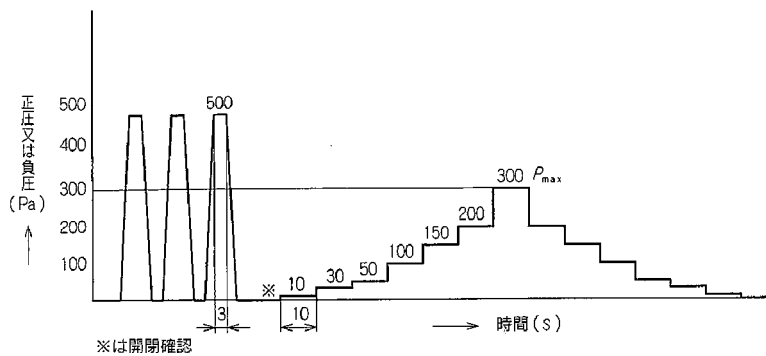


図2 加圧線図 (P_{max} が600 Pa以下の例)

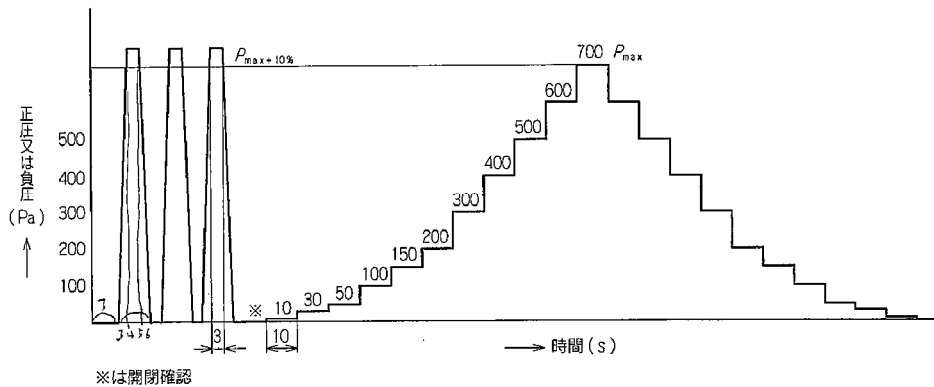


図3 加圧線図 (P_{max} が600 Paを超える例)

7. 試験結果の記録

7.1 通気量の表し方 通気量は、次のいずれか一つで表す。

- 建具面積の平方メートル当たり
- 可動部の平方メートル当たり
- すき間長さメートル当たり

7.2 通気量の算出 通気量は、それぞれの加圧時での通気面積 1 m²当たり (又は、すき間長さ 1 m 当たり)、1 時間当たりの流量で表し、JIS A 1513の5.で規定する基準状態の値に次の式を用いて換算する。

なお、換算結果は JIS Z 8401によって丸めて表す。

・通気面積当たりの換算式

$$q = \frac{Q}{A} \cdot \frac{P_1 \cdot T_0}{P_0 \cdot T_1}$$

・すき間長さ 1 m 当たりの換算式

$$q_1 = \frac{Q}{L} \cdot \frac{P_1 \cdot T_0}{P_0 \cdot T_1}$$

ここに、 q : 基準状態に換算した通気量 (m³/h·m²)

q_1 : 基準状態に換算した通気量 (m³/h·m)

Q : 測定された流量 (m³/h)

A : 通気面積 (m²)

L : すき間長さ (m)

P_0 : 1 013 (hPa)

P_1 : 試験室の気圧 (hPa)

T_0 : 273 + 20 = 293 (K)

T_1 : 測定空気温度 (K)

7.3 記録 7.2で求めた通気量の換算結果は、縦軸に通気量を、横軸に圧力差をとった両対数グラフ (通気量線図) で示す。

なお、通気量線図に示す通気量は、昇圧時の値と降圧時の値の両者のうち、大きい値を記入する。