

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-028-10-47 改0
提出年月日	2024年1月22日

静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書に係る補足説明資料

2024年1月

東京電力ホールディングス株式会社

静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書に係る補足説明資料

## 目次

1. 概要 .....	1
2. 静的触媒式水素再結合器の取付ボルト部の構造及び解析モデル上の取扱い.....	1
2.1 取付ボルト部の構造 .....	1
2.2 取付ボルト部の解析モデル上の取扱い.....	2
3. 静的触媒式水素再結合器の触媒カートリッジの固定方法について.....	3

参考資料 1 静的触媒式水素再結合器の加振試験について

## 1. 概要

本資料は、VI-2-9-4-5-3-1「静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書」の補足説明資料として、静的触媒式水素再結合器の取付ボルト部の構造及び解析モデル上の取り扱い並びに静的触媒式水素再結合器の触媒カートリッジの固定方法について示すものである。

## 2. 静的触媒式水素再結合器の取付ボルト部の構造及び解析モデル上の取扱い

### 2.1 取付ボルト部の構造

静的触媒式水素再結合器は取付ボルト 4 本で架台に固定されている。取付ボルト部の構造を図 2-1 に示す。



触媒式水素再結合器の触媒反応時の熱膨張を考慮した設計としている。

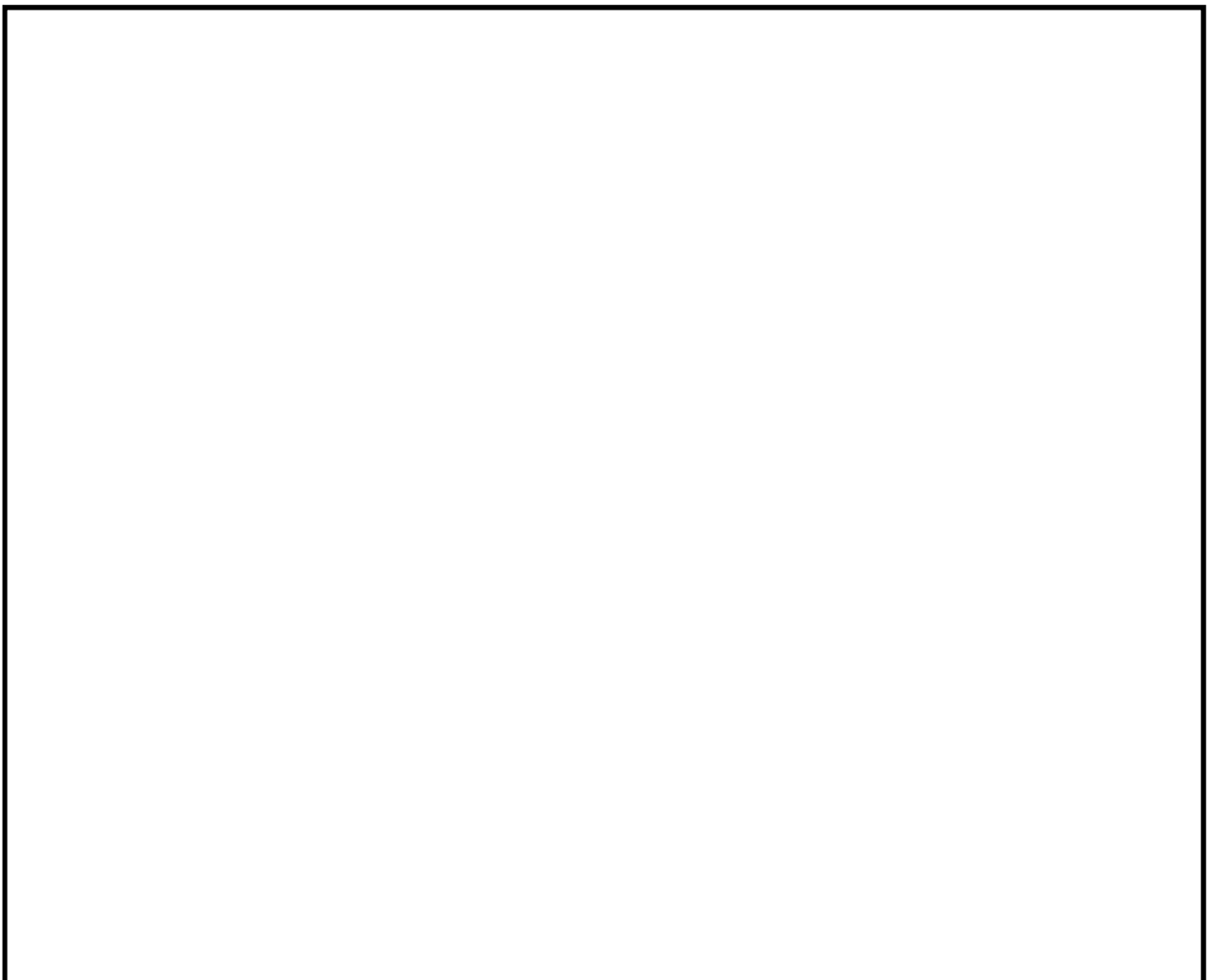


図 2-1 取付ボルト部の構造

## 2.2 取付ボルト部の解析モデル上の取扱い

静的触媒式水素再結合器は、「2.1 取付ボルト部の構造」に記載のとおり、静的触媒式水素再結合器に取付けている [ ] 静的触媒式水素再結合器本体を固定する構造となっている。

また、解析での評価に先立ち実機と同型の試験体での加振試験を実施しており、柏崎刈羽原子力発電所第6号機での取付状態と同様に、 [ ] [ ] により試験体を固定して試験を実施し、試験の結果、 [ ] [ ] 試験体の移動が生じないことを確認した。

以上より、解析モデル化にあたっては、 [ ] [ ] 4箇所全てを同じようにモデル化して評価している。取付ボルト部の解析モデルを図2-2に示す。

応力評価にあたっては、引張力及びせん断応力が各々の取付ボルトに作用するため、応力についても各々の取付ボルトに作用するが、耐震計算書の応力算出にあたっては保守性を考慮し、4箇所の引張力及びせん断力の合計をボルト1本で受けるものとして応力を算出する。

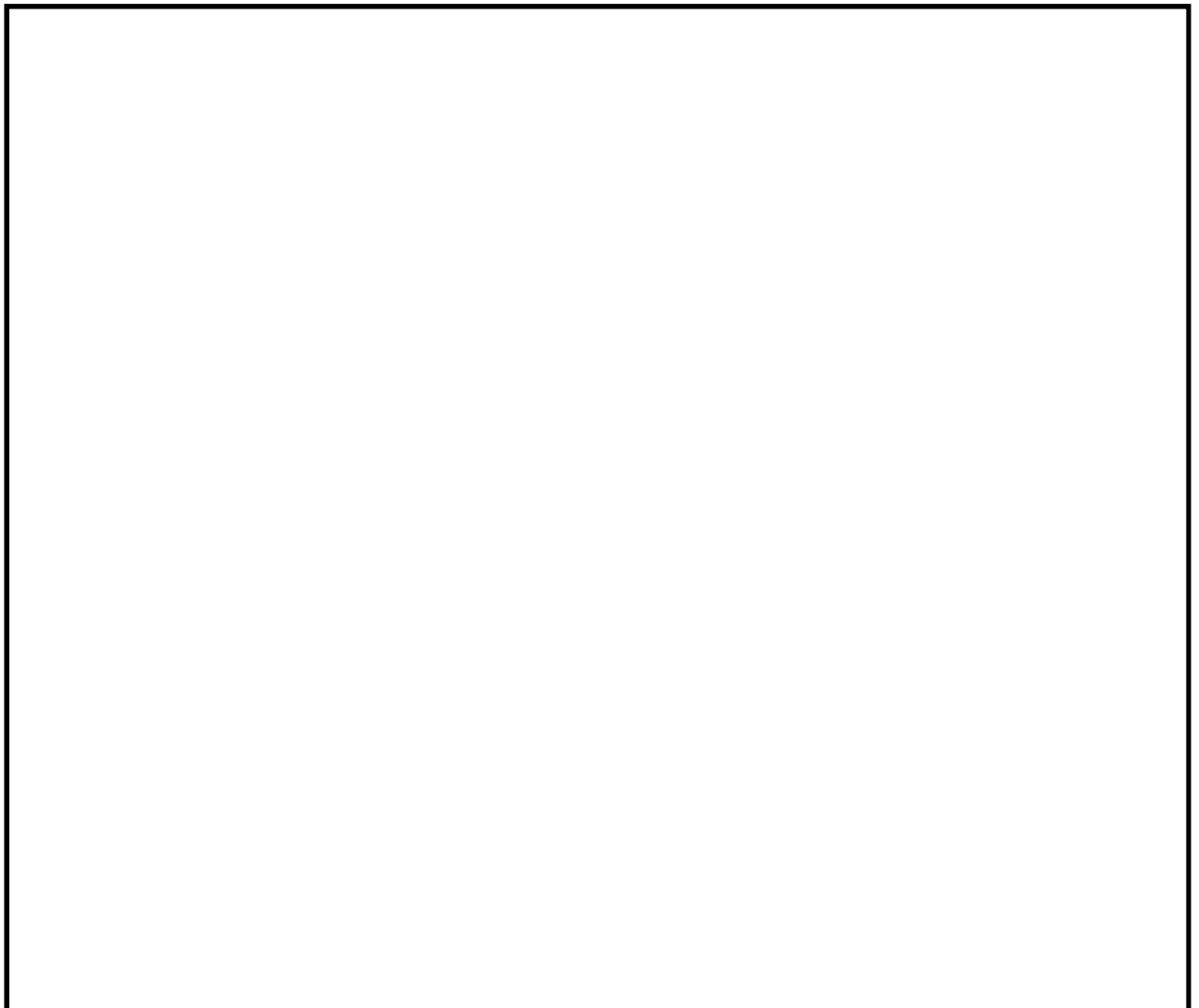


図2-2 取付ボルト部の解析モデル

3. 静的触媒式水素再結合器の触媒カートリッジの固定方法について

静的触媒式水素再結合器本体の構造を図3-1に示す。触媒カートリッジは、ハウジング内部の対面に取付けられている触媒カートリッジガイドの溝に沿って全11枚を縦に等間隔に収納し、ブラケットにて触媒カートリッジの両端を支持する構造となっている。

なお、静的触媒式水素再結合器については実機と同型の試験体での加振試験を実施しており、加振試験後の外観確認において、静的触媒式水素再結合器のハウジング、ブラケット及び触媒カートリッジに損傷がないこと、並びに触媒カートリッジが所定の位置より外れていないことから、基準地震動 $S_s$ により機能喪失しないことを確認している。

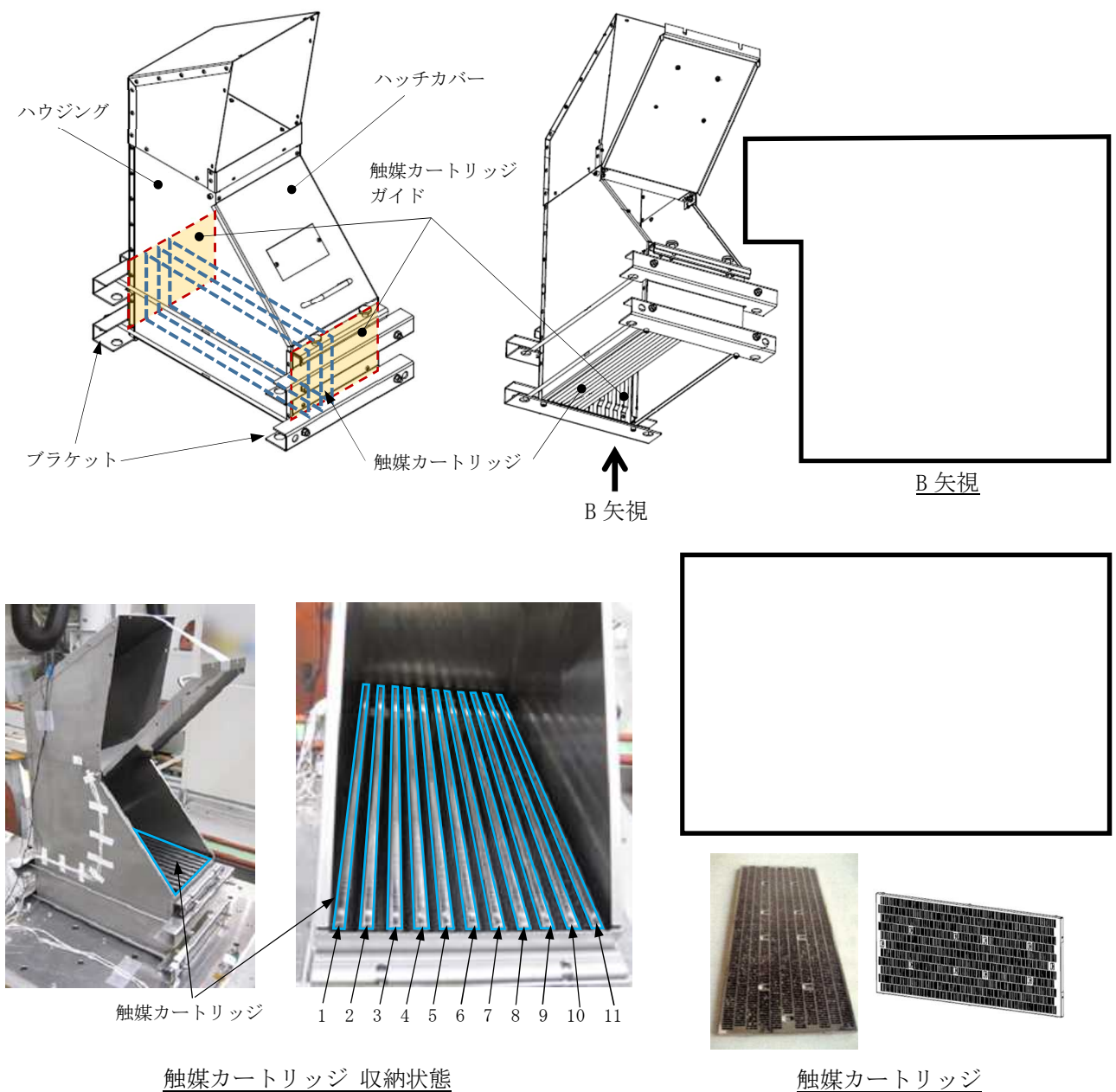


図3-1 静的触媒式水素再結合器本体の構造

静的触媒式水素再結合器の加振試験について

1. はじめに

静的触媒式水素再結合器については、VI-2-9-4-5-3-1「静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書」で示しているとおり、解析により耐震性の確認を行っている。

一方で、解析による耐震性の確認に先立ち、柏崎刈羽原子力発電所第6号機に設置するものと同型の試験体を加振台に設置し試験を行うことで、基準地震動 $S_s$ により静的触媒式水素再結合器が機能喪失しないことを確認している。

静的触媒式水素再結合器の加振試験に関する試験項目等を以下に示す。

2. 試験概要

加振試験は、2014年7月にIMV株式会社名古屋テストラボの加振台を用いて実施した。静的触媒式水素再結合器の外観図を図2-1に示す。

試験方法は、振動特性把握試験により固有周期を求め、剛構造であることを確認した後、静的触媒式水素再結合器に適用する原子炉建屋T.M.S.L.38.2[m]の最大応答加速度（基準地震動 $S_s$  1.2ZPA）を上回る加速度の試験波を用いて加振試験を実施している。試験波の最大入力加速度と静的触媒式水素再結合器に適用する基準地震動 $S_s$ の最大応答加速度の比較を表2-1に示す。

また、加振試験後の外観検査により静的触媒式水素再結合器の健全性を確認している。

試験装置の外観を図2-2に、加振台仕様を表2-2に示す。

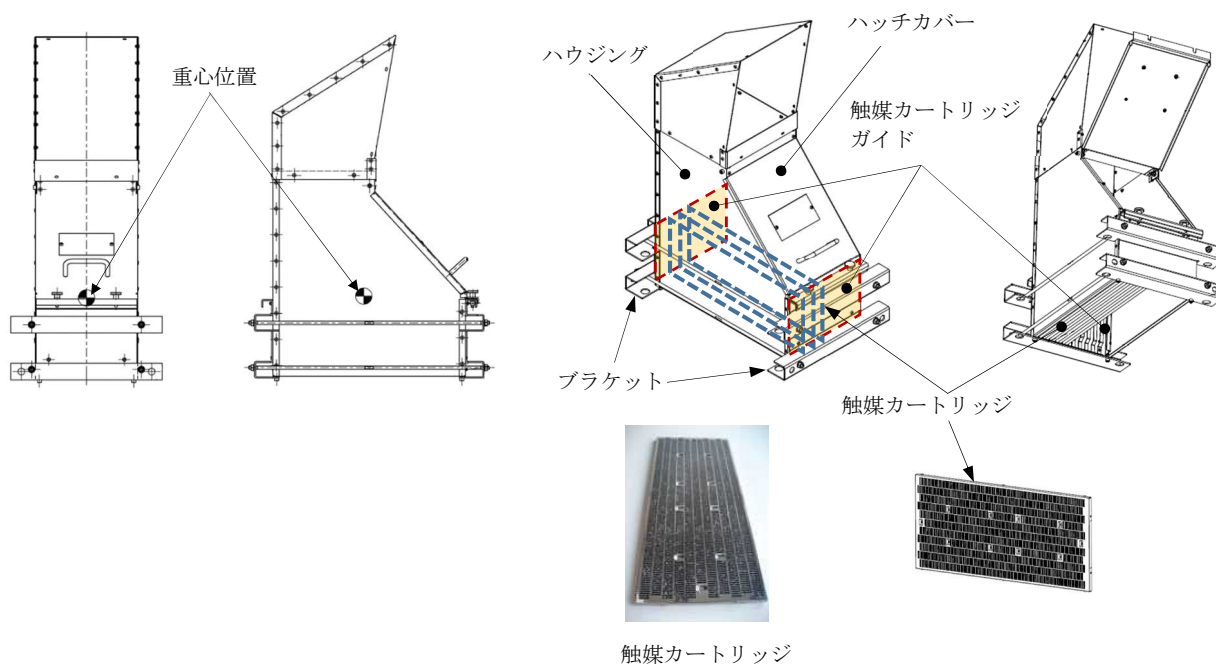


図 2-1 静的触媒式水素再結合器の外観図

表 2-1 試験波の最大入力加速度と静的触媒式水素再結合器に適用する基準地震動  $S_s$  の最大応答加速度の比較

	試験波の最大入力加速度	静的触媒式水素再結合器に適用する基準地震動 $S_s$ の最大応答加速度*
水平方向	50 [m/s <sup>2</sup> ]	15.89 [m/s <sup>2</sup> ] ( 1.62 [G] )
鉛直方向	40 [m/s <sup>2</sup> ]	11.77 [m/s <sup>2</sup> ] ( 1.20 [G] )

注記\* : 原子炉建屋 T. M. S. L. 38.2 [m] の設計用最大応答加速度 I (基準地震動  $S_s$ )



図 2-2 試験装置の外観 (静的触媒式水素再結合器取付け済み)

表 2-2 加振台仕様

寸法	水平テーブル : 800 [mm] × 800 [mm] 鉛直テーブル : 750 [mm] × 750 [mm]
最大積載質量	600 [kg]
最大振動数	2200 [Hz]
最大加速度	1488 [m/s <sup>2</sup> ]



### 3. 特性把握試験

#### 3.1 試験方法

静的触媒式水素再結合器に加速度センサを取付け、加振波として  $0.5 \text{ [m/s}^2\text{]}$  の加速度で  $5 \sim 100 \text{ [Hz]}$  の範囲を  $1 \text{ [oct/min]}^*$  の速度で対数掃引し、各軸の共振点を求める。

なお、加振加速度に対する応答倍率が 2 倍以上となる加振振動数を共振点（固有振動数）と定義する。加速度センサの取付け位置を図 3-1 に、静的触媒式水素再結合器の加振台据付後の状態を図 3-2 示す。

注記\*：1 分間で振動数が 2 倍になる速度を示す。

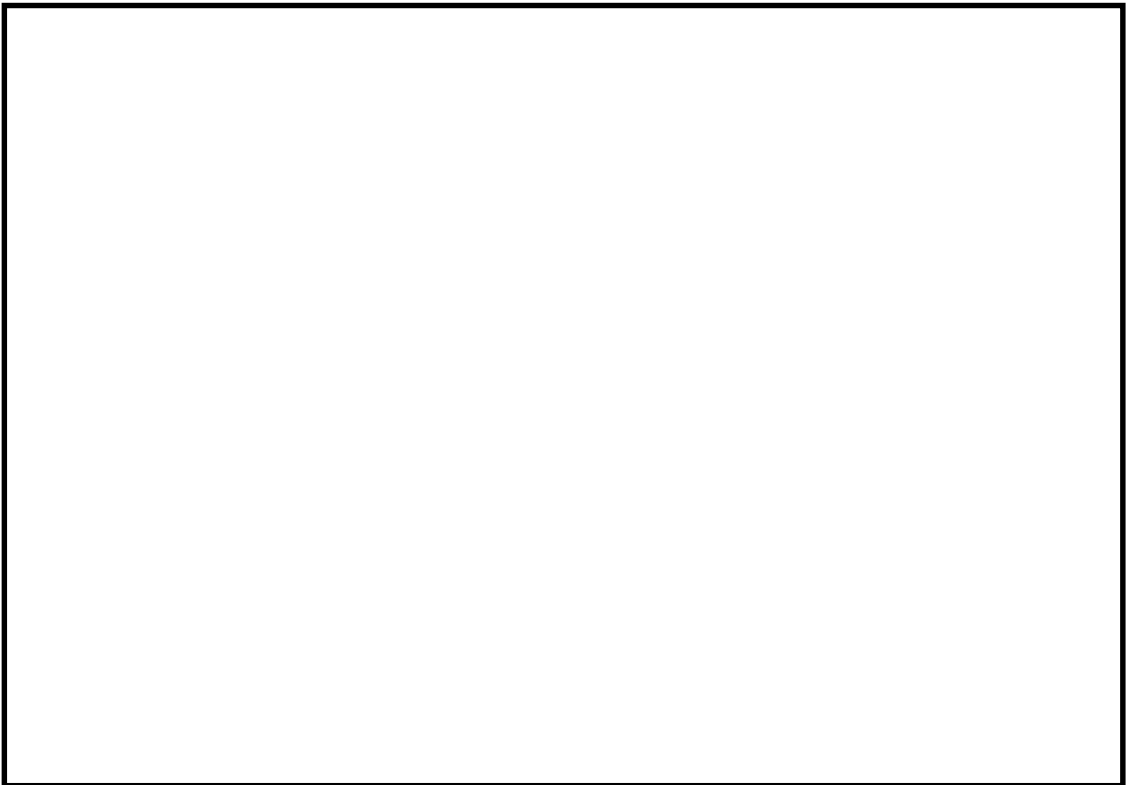


図 3-1 加速度センサ取付位置（本体，触媒カートリッジ）



図 3-2 静的触媒式水素再結合器の加振台据付後の状態

### 3.2 試験結果

試験により得られた周波数応答関数を図 3-3 に、各軸方向の固有周期を表 3-1 に示す。  
特性把握試験の結果、各軸方向について剛構造と見なせる固有周期 0.05 [s] を十分に下回ることを確認した。

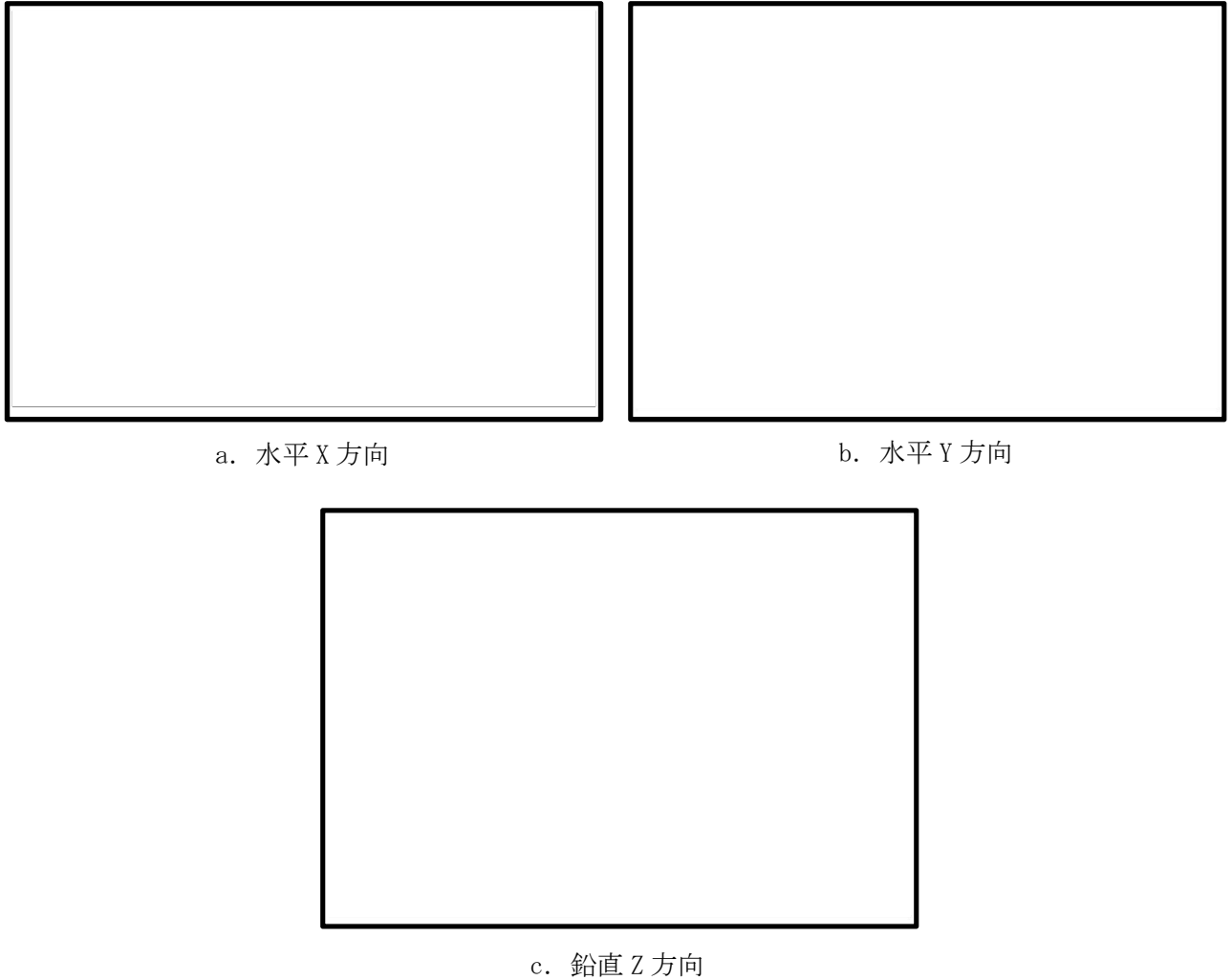


図 3-3 周波数応答関数

表 3-1 各軸方向の固有周期

方向	固有周期[s]	固有振動数[Hz]
X		
Y		
Z		

#### 4. 加振試験

##### 4.1 試験方法

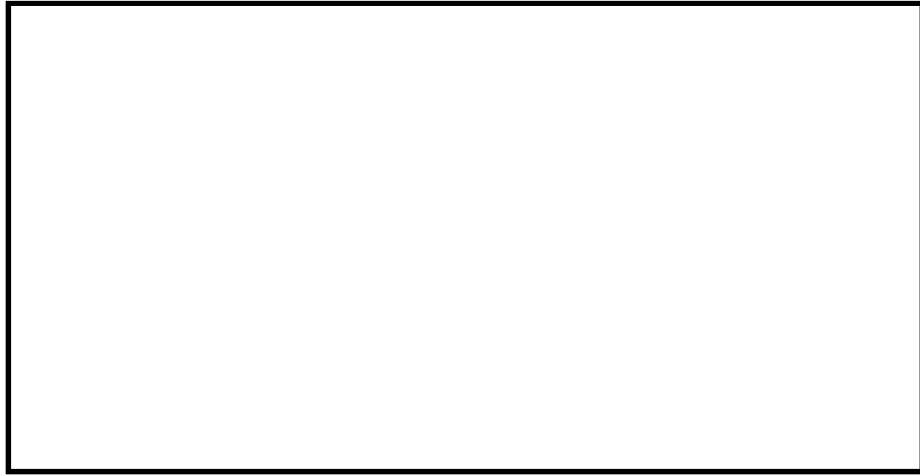
加振試験における試験条件を表 4-1 に、加振試験用に定めたベースとなる試験波を図 4-1 に示す。図 4-1 の試験波に対し、試験条件に合わせ係数を乗じて加速度レベルを調整し、水平方向最大 50 [m/s<sup>2</sup>]、鉛直方向最大 40 [m/s<sup>2</sup>] 加速度で加振試験を実施する。

また、加振時に発生する最大主応力を計測するために 3 軸ひずみゲージを取付ける。3 軸ひずみゲージの取付位置を図 4-2 に示す。

なお、加振時の最大応答加速度を計測する加速度センサ取付位置については、図 3-1 と同じである。

表 4-1 加振試験条件

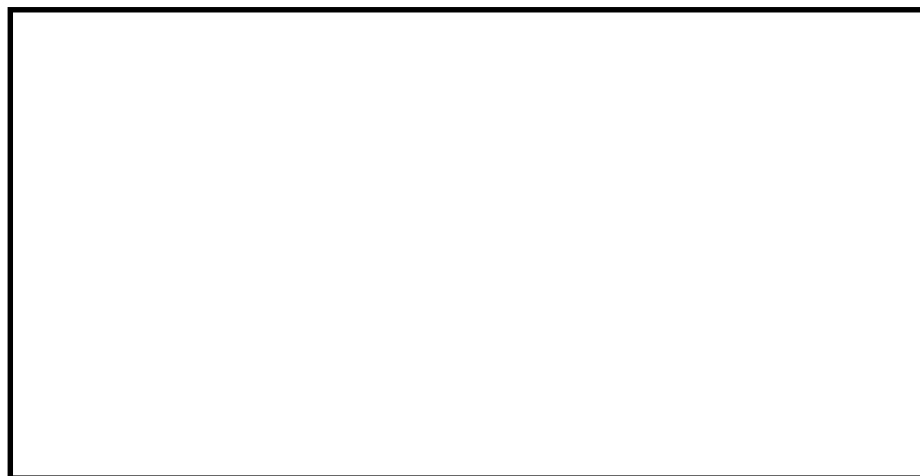
項目	試験条件
加振地震波	ランダム波
加振方向	水平 (NS), 水平 (EW) 及び鉛直 (UD) の単独加振試験
取付状態	柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機への静的触媒式水素再結合器の取付け状態と同様に、 [ ] を設置した上で、取付ボルトにてブラケット及び加振テーブルを固定。
試験回数	X 軸方向 (NS 波) ・ 加速度 50 [m/s <sup>2</sup> ] を [ ] を変えて計 4 回 X 軸方向 (EW 波) ・ 加速度 50 [m/s <sup>2</sup> ] を 1 回 Y 軸方向 (NS 波) ・ 加速度 50 [m/s <sup>2</sup> ] を 1 回 Y 軸方向 (EW 波) ・ 加速度 50 [m/s <sup>2</sup> ] を 1 回 Z 軸方向 (UD 波) ・ 加速度 30 [m/s <sup>2</sup> ] 及び 40 [m/s <sup>2</sup> ] の計 2 回



a. 水平 (NS) 方向波



b. 水平 (EW) 方向波



c. 鉛直 (UD) 方向波

図 4-1 加振試験用に定めたベースとなる試験波

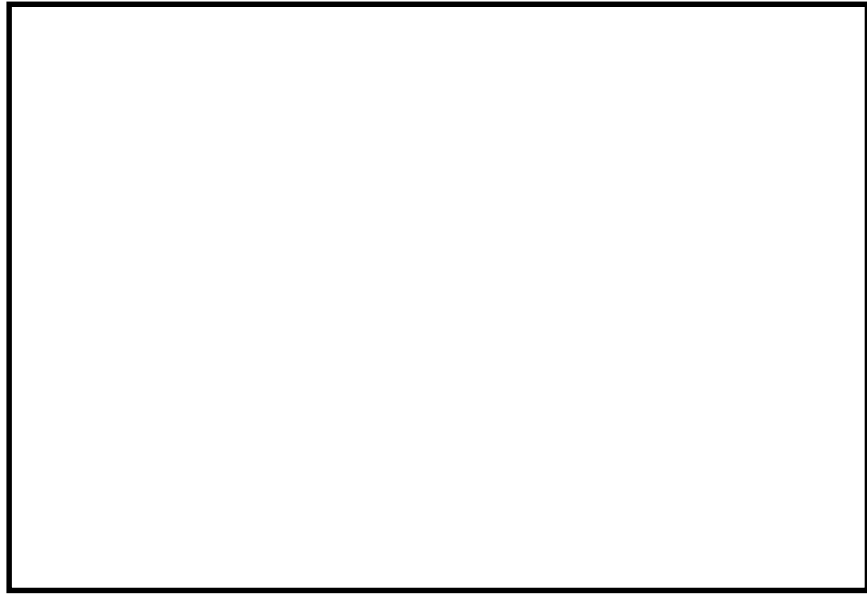


図 4-2 3軸ひずみゲージの取付位置

## 4.2 試験結果

加振試験では水平方向最大 50 [m/s<sup>2</sup>], 鉛直方向最大 40 [m/s<sup>2</sup>]の加速度で試験を実施した。試験結果として, 図 4-3 から図 4-5 に各方向の入力加速度に対する静的触媒式水素再結合器本体とカートリッジの最大応答加速度を, 図 4-6 から図 4-8 に各方向の入力加速度に対する最大主応力を示す。

加振試験の結果, [ ] を変えた X 軸方向 (NS 波) 加振では, 一部ばらつきはあるが, おおむね [ ] が増えるに従って応答加速度が大きくなる傾向となっている。また, Z 軸方向加振では, 入力加速度の上昇に応じて応答加速度が大きくなる傾向となっている。

計測した最大主応力は, 図 4-8 に示す Z 方向 NS 波 40 [m/s<sup>2</sup>]時の [ ] が最大値となったが, 静的触媒式水素再結合器運転時の最高温度 300 [°C]における [ ] の設計降伏点 [ ] より十分小さい値であることを確認した。

加振試験後の外観確認において, 静的触媒式水素再結合器のハウジング, ブラケット及び触媒カートリッジに損傷はなく, 触媒カートリッジも所定の位置から外れていないことを確認した。また, 柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機への静的触媒式水素再結合器の取付状態と同様に加振台へ固定して加振試験を行った結果から, 取り付けている [ ] に係わらず, 取付ボルト部の移動及び損傷が無いことを確認した。

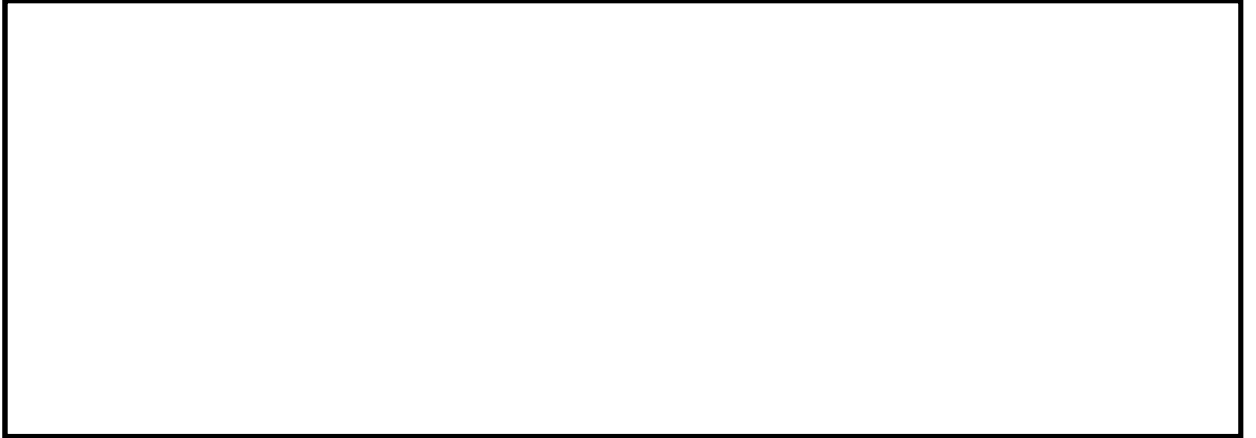


図 4-3 地震波加振試験における最大応答加速度 (X 方向)

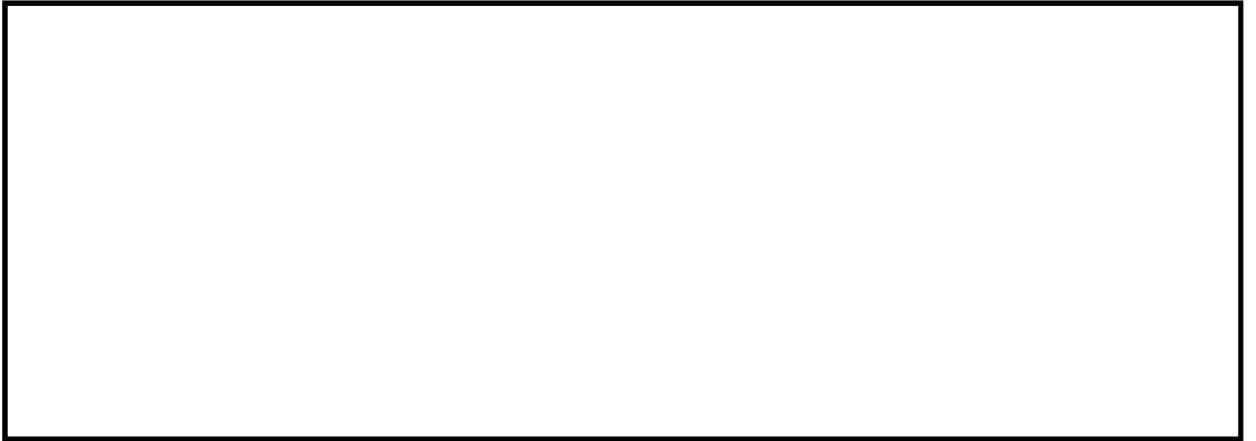


図 4-4 地震波加振試験における最大応答加速度 (Y 方向)



図 4-5 地震波加振試験における最大応答加速度 (Z 方向)

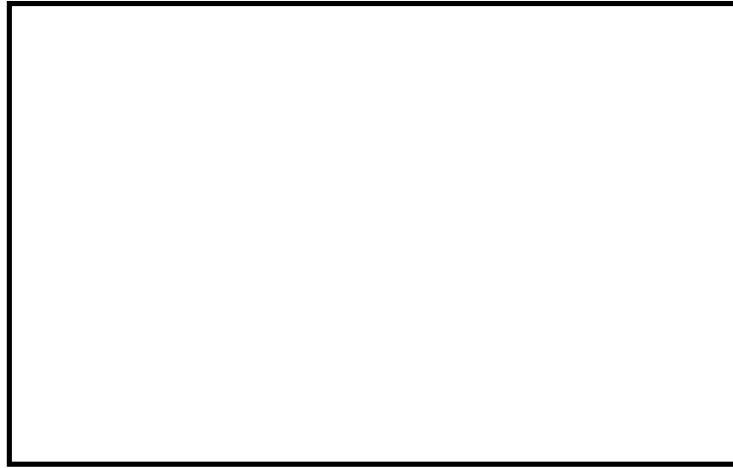


図 4-6 地震波加振試験における最大主応力 (X 方向)



図 4-7 地震波加振試験における最大主応力 (Y 方向)



図 4-8 地震波加振試験における最大主応力 (Z 方向)



## 5. まとめ

振動特性把握試験の結果，固有周期は 0.05 [s] を十分に下回っており，剛構造であることを確認した。

加振試験では最大主応力が静的触媒式水素再結合器運転時の最高温度の設計降伏点より十分に小さい値であることを確認した。

加振試験後の外観確認において，静的触媒式水素再結合器に損傷はなく，触媒カートリッジも所定の位置から外れていないことを確認した。

以上の結果から，基準地震動  $S_s$  により静的触媒式水素再結合器は機能喪失しないことを確認した。