

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-12 改 03
提出年月日	2023年2月22日

地下水位低下設備の耐震性に係る補足説明資料

2023年2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。

目 次

第1章 揚水井戸の耐震性に係る補足説明

第2章 ドレーンの耐震性に係る補足説明

(別紙1) 揚水井戸蓋の耐震計算について

(別紙2) 揚水井戸蓋の強度計算について

第3章 揚水ポンプの加振試験に関する補足説明

今回提出範囲：

第3章 揚水ポンプの加振試験に関する補足説明

目 次

1. 試験概要	1
2. 試験体及び試験装置	1
3. 振動特性把握試験	3
3.1 試験方法	3
3.2 試験結果	5
3.3 没水による固有周期への影響について	6
4. 加振試験	6
4.1 試験方法	6
4.2 試験条件に対する妥当性確認	8
4.2.1 気中加振の妥当性	8
4.2.2 停止中加振の妥当性	8
4.3 試験結果	8

1. 試験概要

地下水位低下設備のうち揚水ポンプは、ポンプと電動機が一体構造となった水中ポンプであり、J E A G 4 6 0 1にて定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種範囲から外れることから、機能確認済加速度を設定することを目的とし、加振設備を用いて加振試験を実施する。

試験方法としては、振動特性把握試験を実施し、固有振動数を求め、剛構造であることを確認した後、機器の据付位置における評価用加速度を包絡する加振波で加振を実施した。加振試験後は、性能試験及び性能試験後の分解点検を実施することで健全性を確認した。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・VI-2-別添 4-3-1「揚水ポンプの耐震性についての計算書」

2. 試験体及び試験装置

加振試験は、地下水位低下設備に設置する同形式のポンプを支持構造物含め、実機の据付状態で加振した。試験体と加振台の位置関係を示した試験装置の図を図2-1に、揚水ポンプ外形図を図2-2に、振動試験装置外観を図2-3に、加振台仕様を表2-1に、試験体と実機の主な仕様の比較を表2-2に示す。

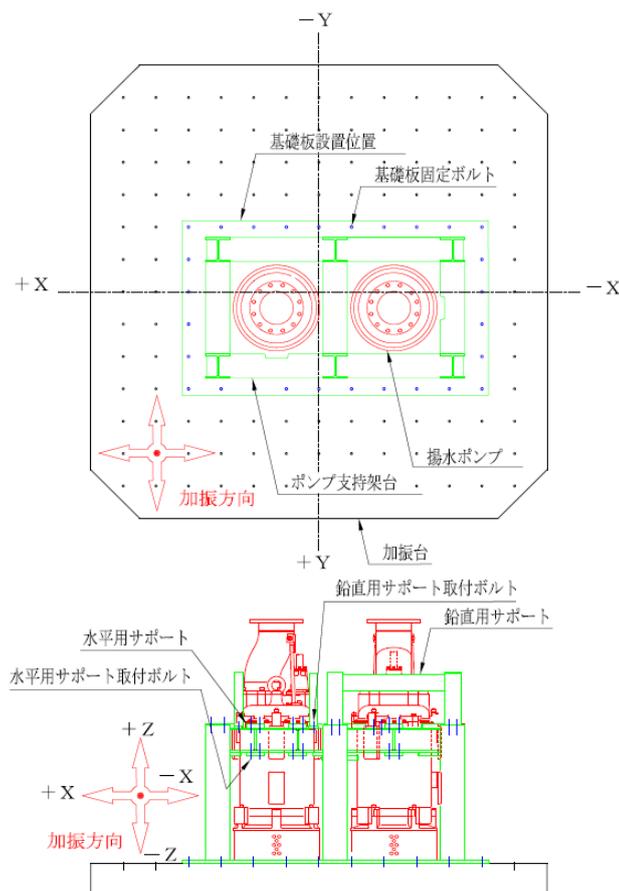


図2-1 加振試験装置図

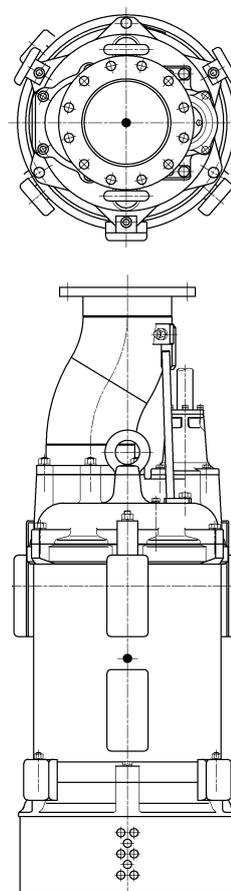


図2-2 揚水ポンプ外形図



図 2-3 振動試験装置外観

表 2-1 加振台仕様

寸法	2.8(m)×2.8(m)
最大積載質量	2(t)
周波数範囲	0.1~150(Hz)
加振力	水平 88.25(kN(0-p)) 鉛直 117.6(kN(0-p))

表 2-2 揚水ポンプの主な仕様の比較

仕様		試験体	実機
ポンプ	外形寸法	Φ530(mm) (直径) Φ555(mm) (最大径) 1488(mm) (高さ)	同左
	質量	505(kg)*	同左
	種類	うず巻形	同左
	容量	3.6(m ³ /min)	同左
支持構造物	外形寸法	870(mm) (縦) 1590(mm) (横) 1159(mm) (高さ) 基礎板を除くサポートを含む	同左
	質量	1530(kg)	同左
電動機	種類	誘導電動機	同左
	容量	37(kW)	同左

注記* : ケーブルを除くポンプ単体概算乾燥質量

3. 振動特性把握試験

3.1 試験方法

ポンプ及び加振台に加速度センサを取り付け、5～100Hz の範囲で正弦波掃引試験を行い、固有周期を求める。加速度センサ取付位置を図 3-1 に、ポンプに取り付けた加速度センサの設置箇所を表 3-1 に示す。

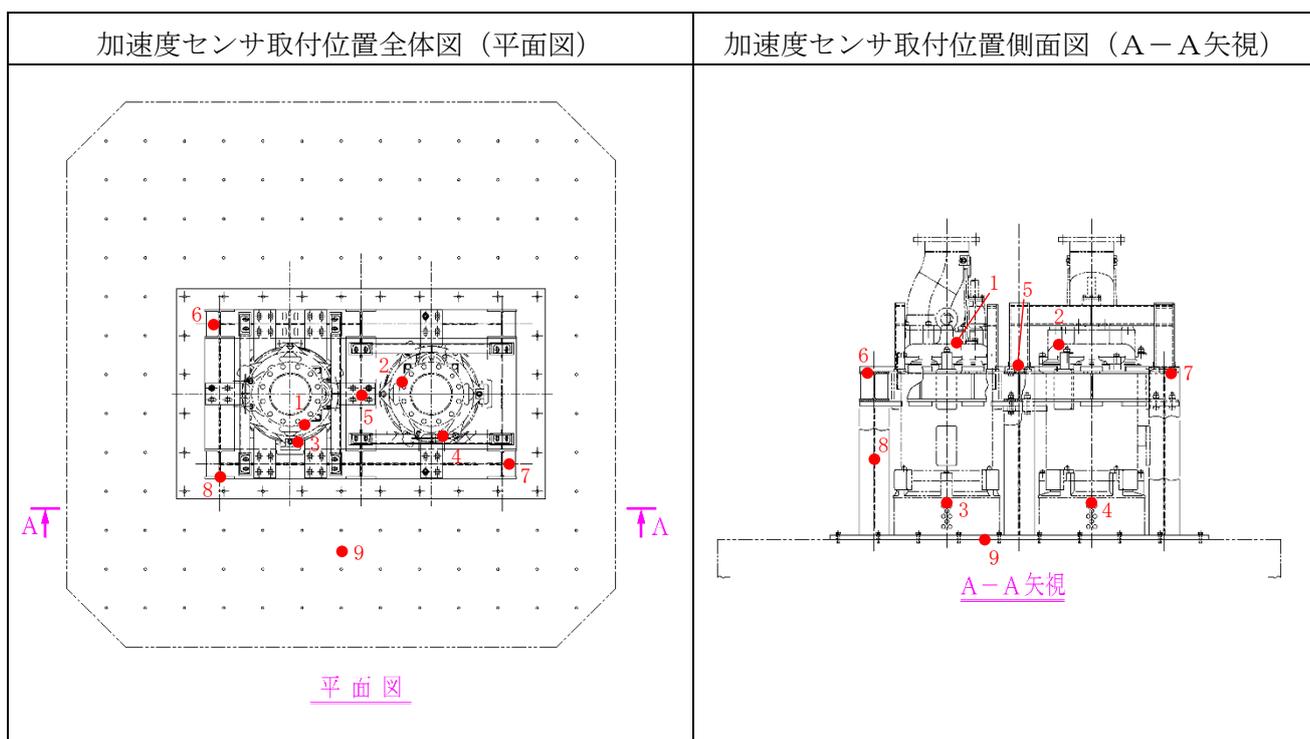


図 3-1 加速度センサ取付位置

表 3-1 加速度センサ設置箇所

部位	水平 X 方向	水平 Y 方向	鉛直方向
揚水ポンプ A 天面	1 X	1 Y	1 Z
揚水ポンプ B 天面	2 X	2 Y	2 Z
揚水ポンプ A 下方・側面	3 X	3 Y	3 Z
揚水ポンプ B 下方・側面	4 X	4 Y	4 Z
ポンプ支持架台 上面・中心 ポンプ A・B 間	5 X	5 Y	5 Z
ポンプ支持架台 上面・カド ポンプ A 側	6 X	6 Y	6 Z
ポンプ支持架台 上面・カド ポンプ B 側	7 X	7 Y	7 Z
ポンプ支持架台 脚・高さ・中央	8 X	8 Y	8 Z
加振台	9 X	9 Y	9 Z

3.2 試験結果

正弦波掃引試験により得られた応答加速度を図 3-2 に、各方向の最大応答共振点と固有周期を表 3-2 に示す。各方向いずれも固有周期は 0.05 秒を下回り剛構造であることを確認した。

水平X方向	
水平Y方向	
鉛直方向	

図 3-2 正弦波掃引試験による応答加速度

表 3-2 各方向の最大応答共振点と固有周期

方向	共振点 (Hz)		固有周期 (s)	
水平 X 方向				
水平 Y 方向				
鉛直方向				

3.3 没水による固有周期への影響について

揚水ポンプは、水中ポンプであるため、没水による固有周期への影響を確認する。固有周期は、となり、剛構造であることを確認した。

固有周期の算出にあたっては、補足説明資料「NS2-補-027-10-13 排除水質量の考慮による応答低減の考慮」に基づいて算出した気中-水中間の補正比率を固有振動数に乗じて水中における固有振動数を求めた。

$$\text{補正比率} = \frac{M_1}{M_1 + M_{11}} \cong 0.542$$

M_1 : (505kg (ポンプ質量) + 80kg (ポンプ内包水質量)) × 2 + 520kg (支持構造物) = 1690kg

M_{11} : 4060kg (水の付加質量)

$$\text{} \times 0.542 \cong \text{}$$

4. 加振試験

4.1 試験方法

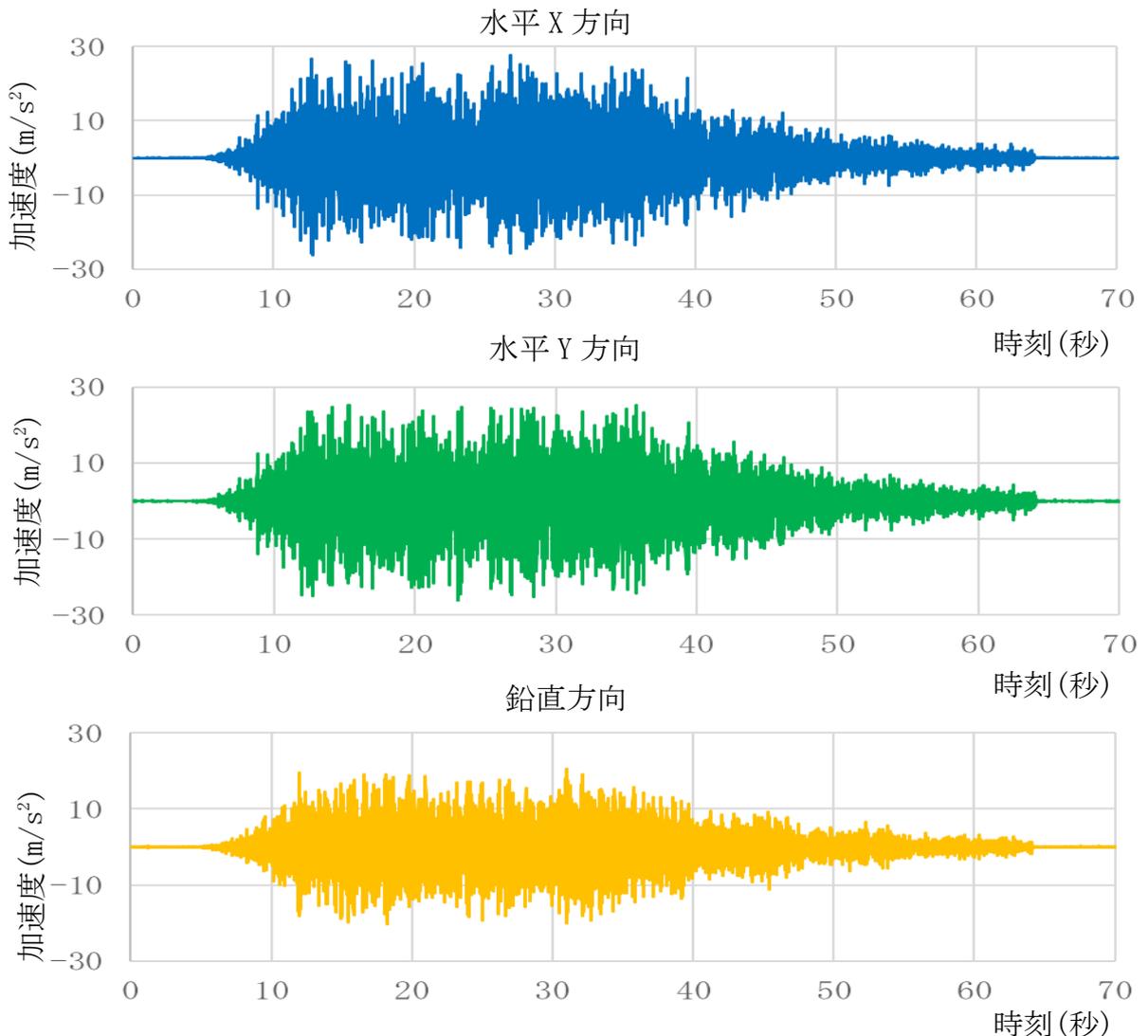
機器の据付位置における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波を作成し、加振試験を実施する。試験は水平 X 方向、水平 Y 方向及び鉛直方向それぞれ独立に加振を行う。

加振試験における試験条件を表 4-1 に、試験に用いた模擬地震波を図 4-1 に示す。

表 4-1 加振試験条件

項目	試験条件
加振試験波	模擬地震波
加振方向	水平 X 方向 水平 Y 方向 鉛直方向
運転状態	停止中加振
取付状態	ポンプ支持架台を加振台にボルトにて取り付け*

注記* : 実機と同じボルト本数及び配列により設置する。また、ボルトについては、実機と同じ径のM12及びM16を適用し、ボルト材質についても、実機で使用するSCM435を使用することから取付状態に実機と差異はない。



注 : 模擬地震波の継続時間については、基準地震動 S_s の継続時間 (60 秒) を上回るように設定している。

図 4-1 模擬地震波

4.2 試験条件に対する妥当性確認

4.2.1 気中加振の妥当性

揚水ポンプは、水中ポンプであるため、没水により応答が低減し、ポンプ機能に影響を与えるケーシングや支持構造物等に加わる荷重が軽減される。そのため、加振試験においては、厳しい条件となるよう応答の低減効果が得られない気中での加振を行い、加振後の性能試験及び分解点検により、健全性を確認する。

4.2.2 停止中加振の妥当性

揚水ポンプは、運転中においても基準地震動 S_s による地震力に対して機能維持する設計としているが、揚水ポンプ運転中は主軸の回転によりその回転状態が安定に維持され、加振による軸振れは軽減される。また、ポンプ構成部品への影響については、揚水ポンプ運転中は主軸を支持する軸受や狭隘なライナリング部で形成される水膜により、ばね効果や減衰効果が作用し、ポンプ構成部品に加わる荷重が軽減されることから、加振に対して厳しい条件となる停止中加振を実施し、加振後の性能試験及び分解点検により、健全性を確認する。

4.3 試験結果

加振試験及び加振試験後の性能試験について機器に異常がないことを確認した。本試験の確認項目を以下に示す。

- (1) 加振台の加速度応答スペクトルが据付位置における設計用床応答スペクトルを包絡すること。（図 4-2 参照）
- (2) 加振試験後にサポート取付ボルトの緩みが無いこと。
- (3) 加振試験後の性能試験において、ポンプの健全性及び動作性に異常のないこと。
判定基準：性能試験時の吐出流量 $3.6 \text{ m}^3/\text{min}$ で、全揚程が 35m 以上であること。（図 4-3 参照）
- (4) 性能試験時の分解点検において、内部構造物に割れ等の異常がないこと。

本試験における加振台での最大加速度を表 4-2 に示し、機能確認済加速度を表 4-3 に示す。図 4-2 に加速度応答スペクトルの比較を示す。また、加振試験後の性能試験結果を図 4-3 に示す。

表 4-2 加振台の最大加速度 (m/s²)

加振方向		最大加速度	
水平	X 方向（架台長軸方向）		
	Y 方向（架台短軸方向）		
鉛直			

表 4-3 機能確認済加速度

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度	
揚水ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		

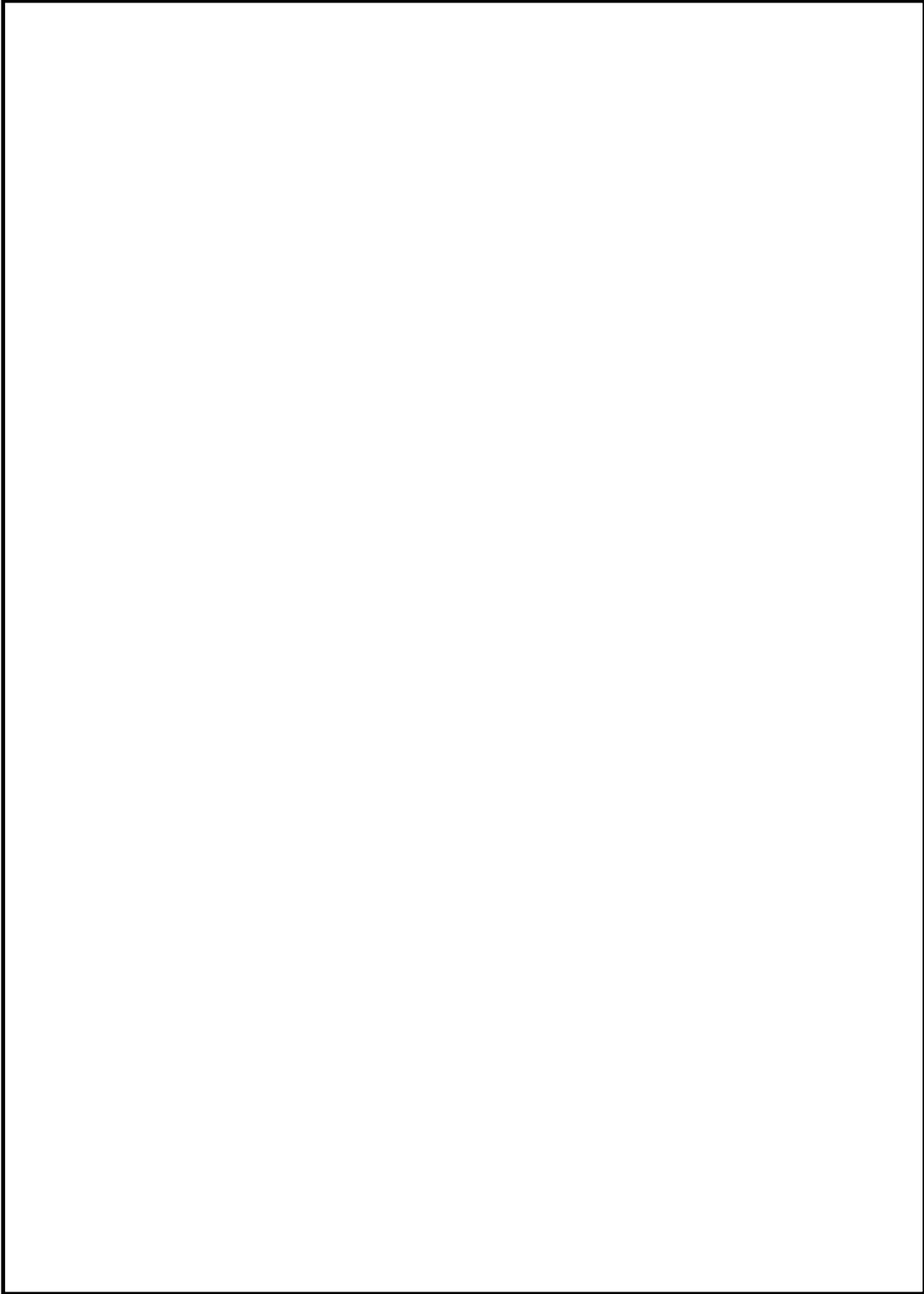


図 4-2 加速度応答スペクトルの比較

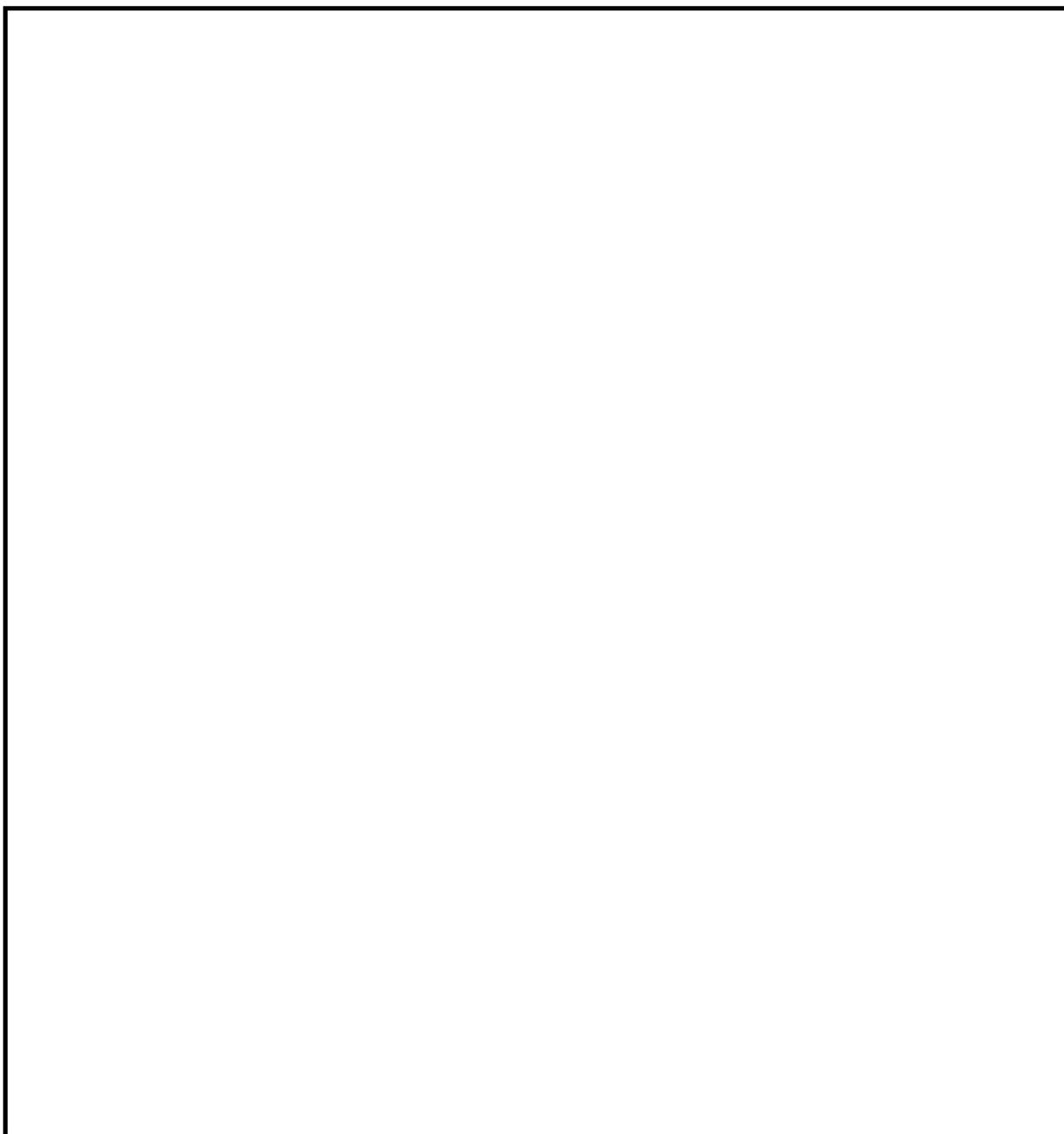


図 4-3 加振試験後の性能試験結果