

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-028-10-11 改0
提出年月日	2023年10月23日

高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2023年10月

東京電力ホールディングス株式会社

11. 高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書
に関する補足説明資料

目 次

1. 試験概要	1
2. 振動特性把握試験	3
2.1 試験方法	3
2.2 試験結果	5
3. 加振試験	6
3.1 試験方法	6
3.2 試験結果	8
3.3 まとめ	8

高圧代替注水系ポンプの加振試験について

1. 試験概要

高圧代替注水系ポンプは横形のポンプであるが、原動機であるタービンと一体構造となっており、J E A G 4 6 0 1における適用形式が異なることから、機能確認済加速度を用いた評価とすることができない。そのため、機能確認済加速度を設定することを目的とし、
の加振設備を用いて柏崎刈羽原子力発電所第6号機向けのポンプと同型式のポンプの加振試験を実施した。本ポンプはタービンと一体構造であるため、ガバナ等の付属品を含む形で試験を実施した。ポンプ断面イメージを図1-1に示す。

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機能維持評価用加速度を包絡する加振波で加振試験を実施した。また、加振試験に加え、試験前後の性能比較及び試験後に機器毎の部品に分解し、目視検査を実施することで健全性を確認している。振動試験装置外観を図1-2に、加振台仕様を表1-1に示す。また、試験体と実機の主な仕様の比較を表1-2に示す。



図1-1 ポンプ断面イメージ図

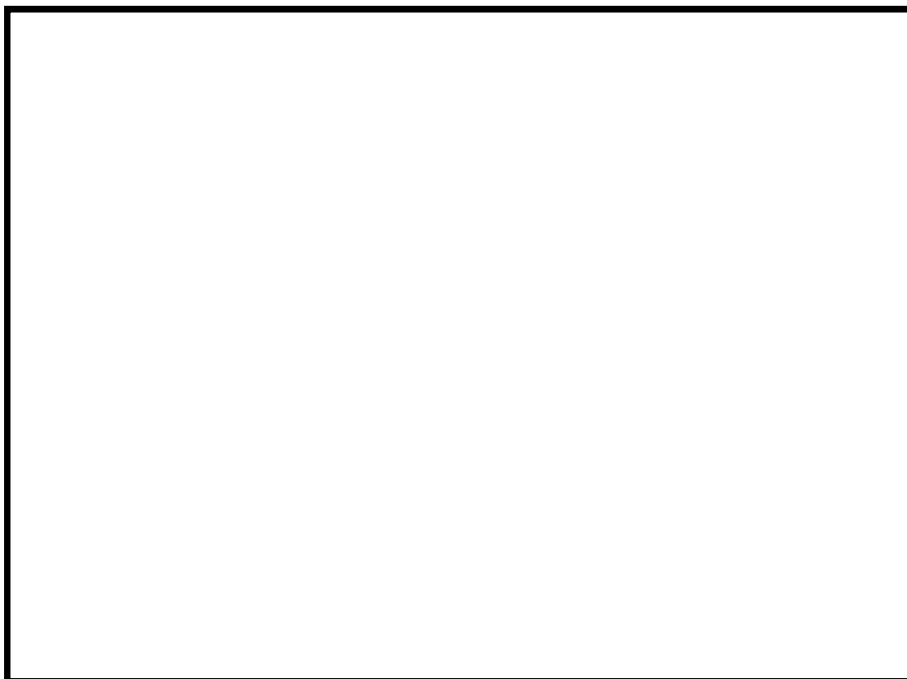


図 1-2 振動試験装置外観

表 1-1 加振台仕様

寸法		
最大積載量		
運転周波数帯域		
最大加速度 (10t 搭載時)	水平	1.6×9.8 m/s ²
	鉛直	1.2×9.8 m/s ²

表 1-2 高圧代替注水系ポンプの主な仕様の比較

仕様		試験体	実機
外形寸法		1430mm (長さ) 940mm (幅) 1295mm (高さ)	同左
重量		3650kg (公称値)	同左
ポンプ	種類	ターボ形	同左
	容量	136m ³ /h	182m ³ /h
原動機	種類	背圧式蒸気タービン	同左
	出力	553kW	740kW

2. 振動特性把握試験

2.1 試験方法

ポンプに3軸加速度計を取付け、加振波として までの範囲でランダム波を使用した各軸単独加振を実施し、3軸それぞれについて応答加速度から周波数応答関数を得て、固有周期について求める。計測センサー取付位置を図2-1及び図2-2に示す。

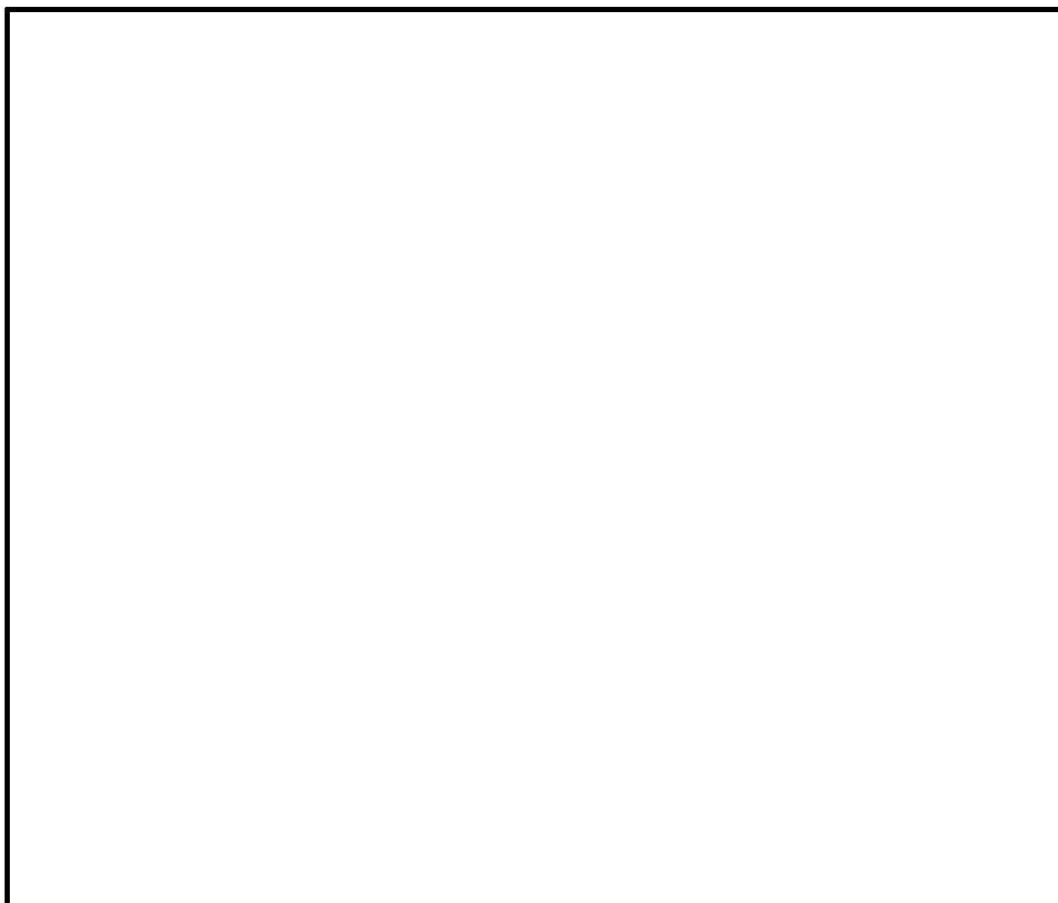


図2-1 計測センサー取付位置 (その1)

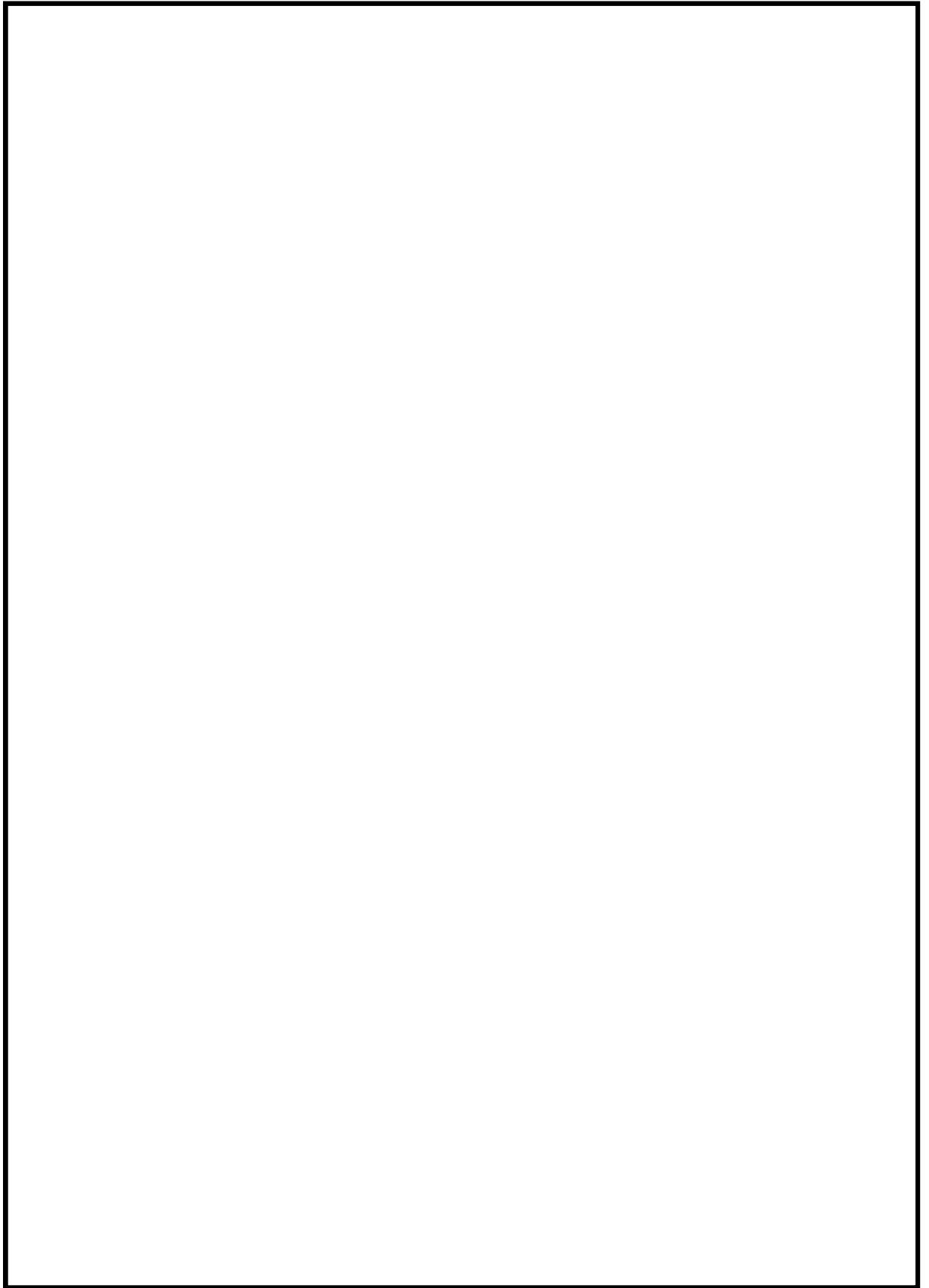
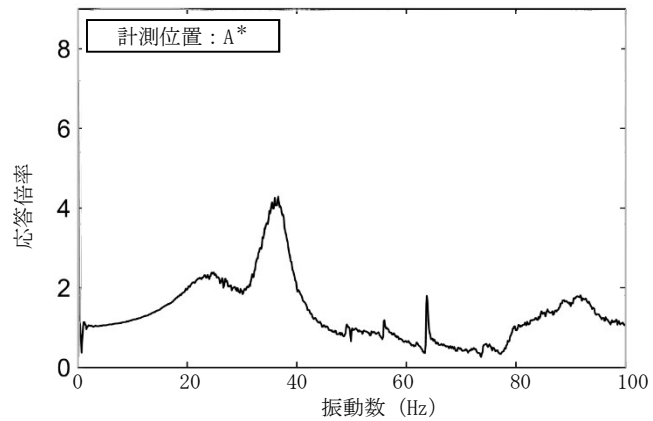


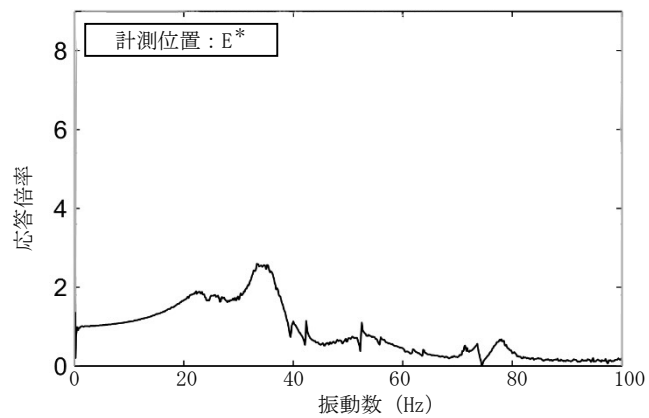
図 2-2 計測センサー取付位置 (その 2)

2.2 試験結果

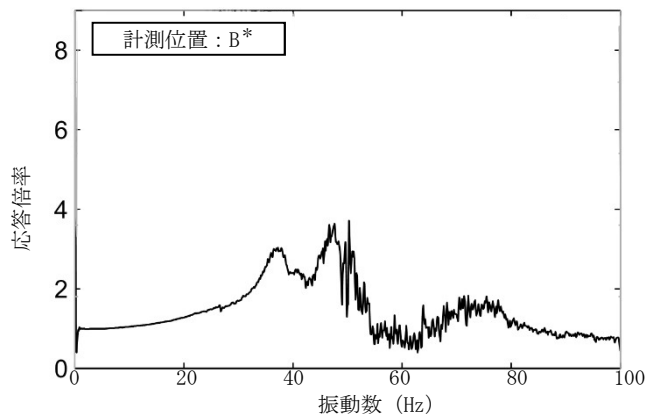
試験により得られた周波数応答関数を図 2-3 に、各軸方向の固有周期を表 2-1 に示す。固有周期は、周波数応答関数の応答倍率を参照のうえ、位相も参考に選定している。各軸方向について剛構造と見なせる固有周期 0.05 秒を十分に下回る結果が得られた。



a. 水平 X 方向



b. 水平 Y 方向



c. 鉛直 Z 方向

注記* : 各計測位置のうち、応答が卓越しているものを代表で記載。

図 2-3 周波数応答関数

表 2-1 各軸方向での固有周期

方向	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
X				
Y				
Z				

3. 加振試験

3.1 試験方法

「2.2 試験結果」で示しているように、機器の固有周期は 0.05 秒を下回っており、剛構造と見なせることから、機器据付位置における機能維持評価用加速度を包絡するような加振波を生成し、加振試験を実施する。加振波は水平（前後）＋水平（左右）＋鉛直方向を加振方向として、次のように生成される。

- ・機器の固有振動数以上の振動数範囲において、機器据付位置における設計用床応答曲線を上回る試験用床応答曲線を設定し、ランダム波を作成する。
- ・作成されたランダム波を入力とした加振試験を実施する。加振台の時刻歴加速度波形を床応答曲線に変換し、試験用床応答曲線を上回ることを確認する。

加振試験における試験条件を表 3-1 に、加振波を図 3-1 に示す。

表 3-1 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 2 方向＋鉛直方向の 3 軸同時加振試験
運転状態	停止中加振 * (満水状態)
取付状態	振動台上に設置された台板にボルトにて取り付け
試験回数	1 回

注記*：重大事故等は「地震の独立事象」として扱っており、高圧代替注水系ポンプの運転を想定する時間は、事象発生後約 24 時間である。地震荷重との組合せ不要な時間 (10⁻² 年) より短時間であるため、加振試験条件として停止時を考慮する。

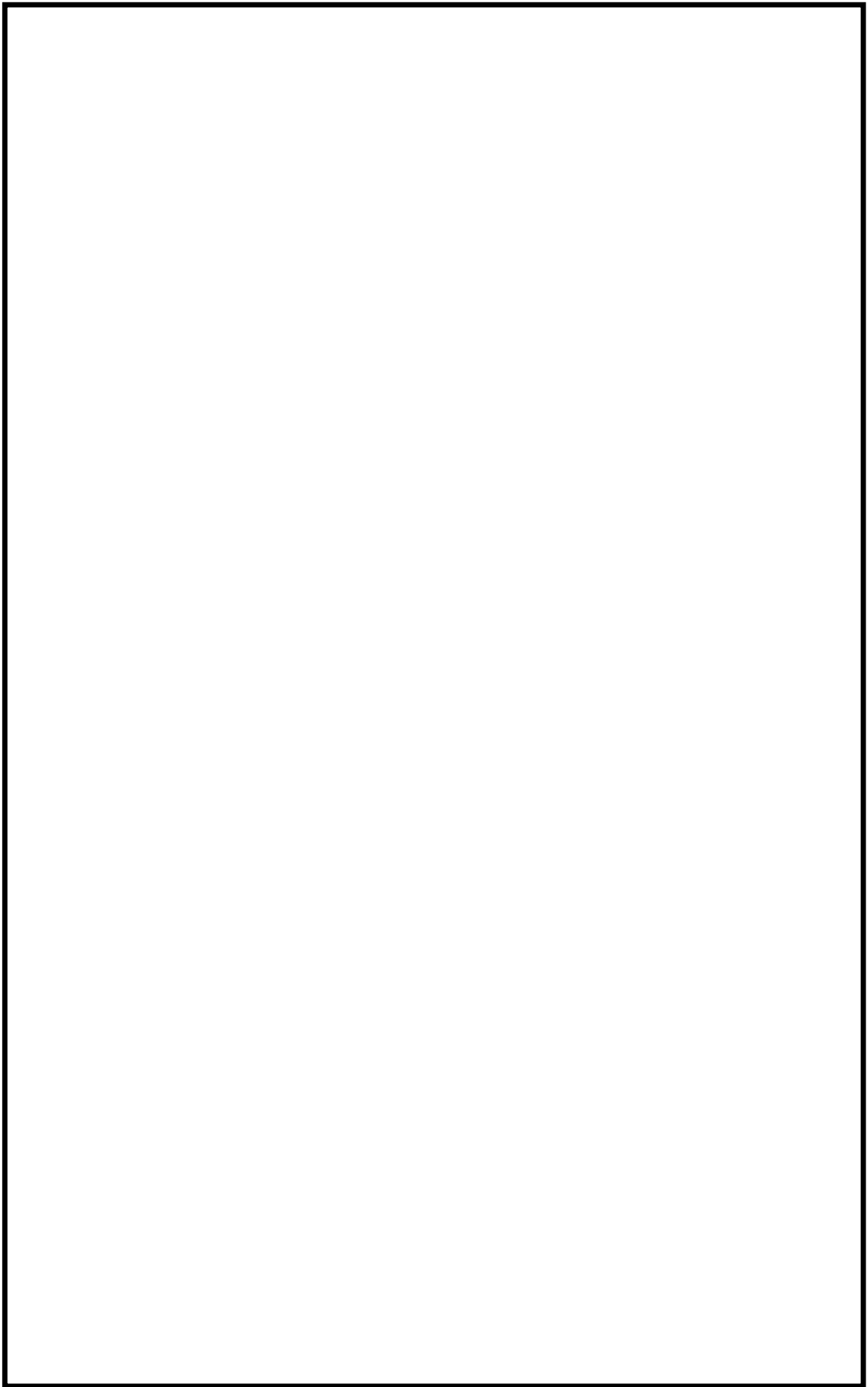


図 3-1 加振試験に用いた加振波（振動台上での計測データ）の加速度時刻歴波形

3.2 試験結果

加振中及び加振後に、以下の項目について確認し、異常のないことをもって、本試験における加振台での最大加速度を整数位で切り捨てた値を機能確認済加速度とした。

図 3-2 に設計用床応答曲線及び加振台床応答曲線を示す。なお、振動台床応答曲線は加振台の影響により 50Hz 近傍にピークが生じている。

また、加振試験前後の動作試験結果を図 3-3 に示す。

- (1) 加振台への時刻歴入力 of 最大加速度が機器据付位置における機能維持評価用加速度以上であること。(表 3-2 参照)
- (2) 漏えいのないこと。
- (3) 構造上損傷のないこと。
- (4) 加振中にガバナが 以上変位しないこと。
- (5) トリップ装置が誤作動しないこと。
- (6) 加振試験前後に動作試験を実施し、機器の健全性及び動作に異常のないこと。
 - a. 高圧及び低圧時における定格流量点で設計揚程の の範囲にあること。
 - b. 高圧時による性能試験で、必要揚程を下回らないこと。
 - c. 高圧時による性能試験で、設定締切揚程を上回らないこと。
 - d. 正常にトリップ機能が動作すること。
 - e. 漏えいのないこと。
- (7) 加振試験後に機器毎の部品に分解し、外観の目視点検により損傷のないこと。

表 3-2 機能維持評価用加速度と試験時の時刻歴最大加速度との比較

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

方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度	加振台加振試験時 最大加速度
X	1.08	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Y	1.08	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z	1.06	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3.3 まとめ

加振試験で水平方向は $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ 、鉛直方向は $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ まで問題ないことを確認した。また、加振試験後の点検で損傷が無いこと及び性能試験において機器の健全性及び動作性に異常が無いこと (図 3-3 参照) を確認し、高圧代替注水系ポンプの動的機能が維持されることを確認した。

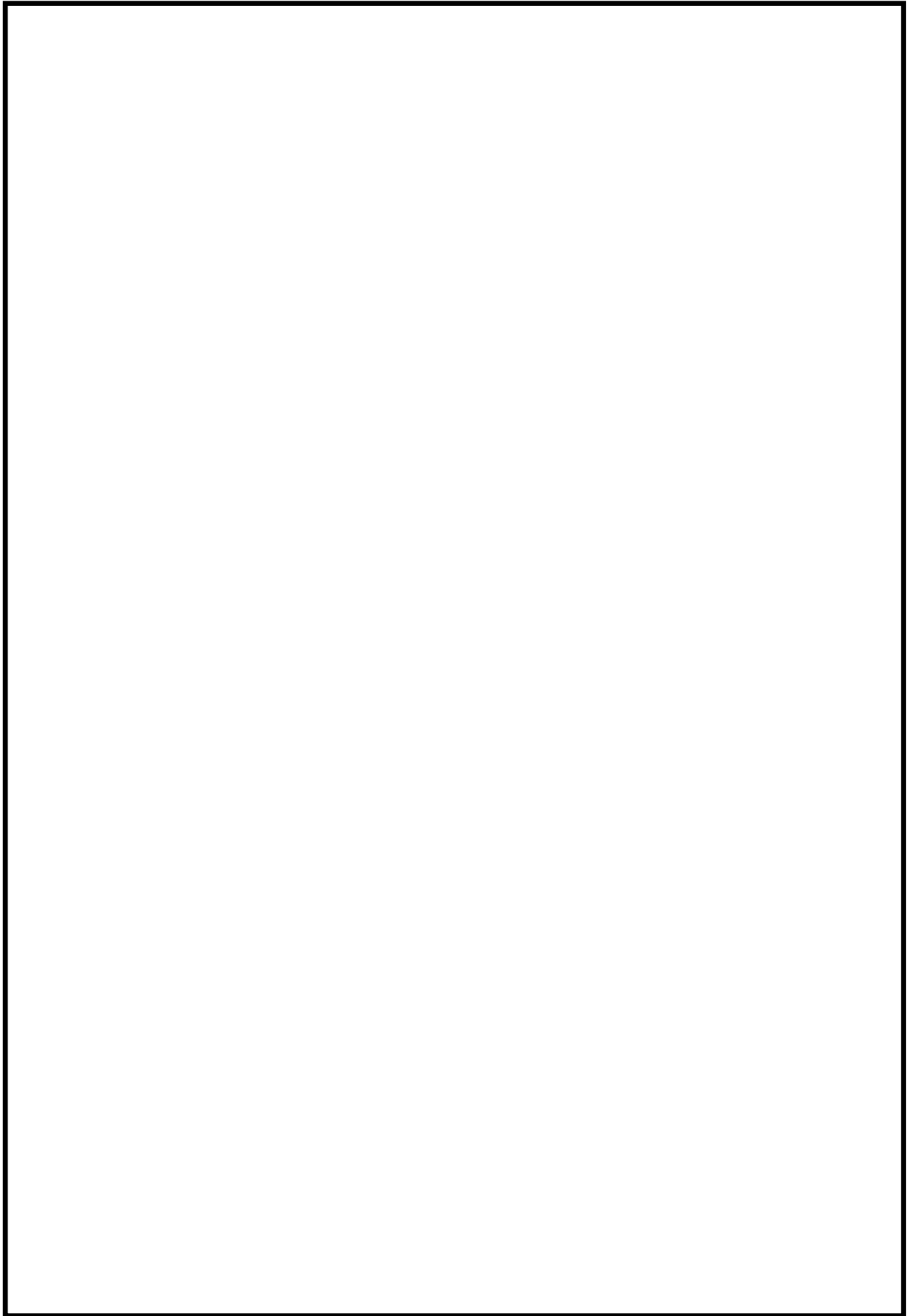


図 3-2 設計用床応答曲線と加振台床応答曲線との比較

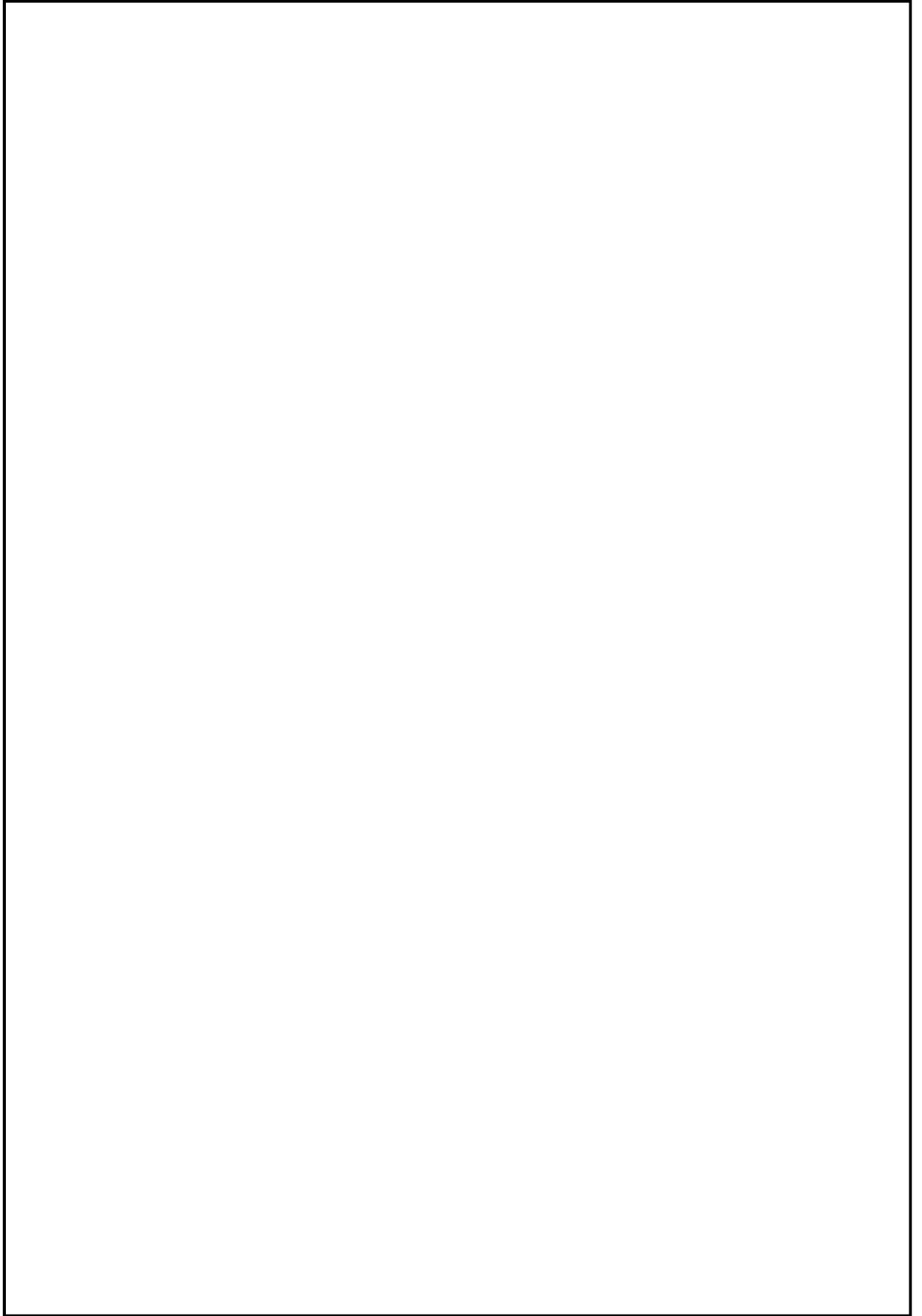


図 3-3(1) 加振試験前の動作試験結果

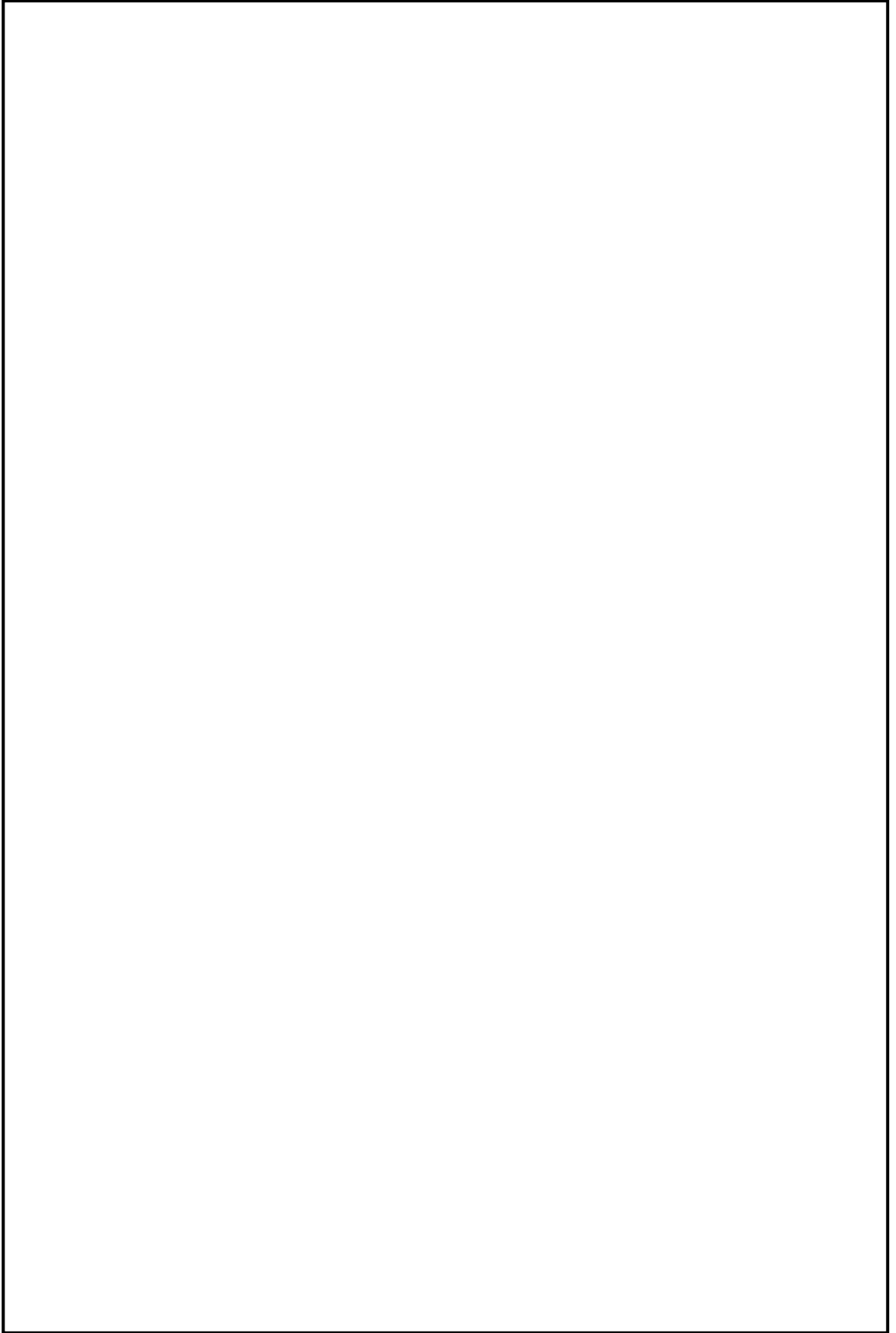


図 3-3(2) 加振試験後の動作試験結果