

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-23
提出年月日	2023年2月7日

遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書に関する  
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

1. はじめに .....	1
2. 試験概要 .....	1
3. 振動特性把握試験 .....	8
4. 加振試験 .....	15

別紙 加振試験を行う構成要素毎の代表機器選定の考え方について

1. はじめに

本資料は、遠隔手動弁操作設備の動的機能維持を確認するために実施した加振試験について説明するものである。なお、本資料が関連する図書は以下のとおり。

- ・VI-2-9-4-7-1-4 遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書

2. 試験概要

遠隔手動弁操作設備は、既往の研究において動的機能維持が確認されている設備ではないことから、遠隔手動弁操作設備の構成要素毎の機能確認済加速度を設定することを目的とし、遠隔手動弁操作設備の構成要素毎の代表機器を加振した。

遠隔手動弁操作設備の外観図を図 2-1 に、構成要素の構造図を図 2-2 から図 2-7 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、柔構造又は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の加振試験を実施した。また、加振試験に加え、加振試験後の構成要素毎の動作試験及び外観試験を実施することで健全性を確認している。振動試験装置レイアウトを図 2-8 から図 2-11 に、加振台仕様を表 2-1 から表 2-3 に、試験体と実機の仕様比較を表 2-4 示す。

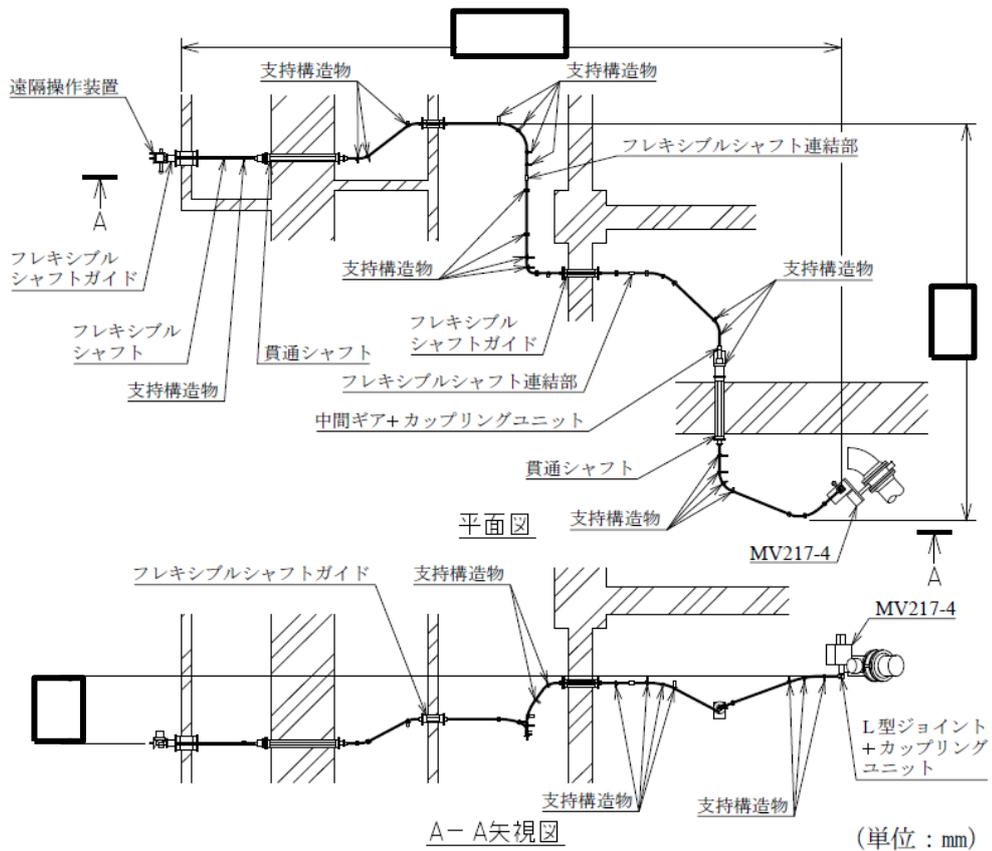


図 2-1 遠隔手動弁操作設備の外観図 (MV217-4 の場合)



図 2-2 L型ジョイント付貫通シャフトの構造図



図 2-3 中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフトの構造図

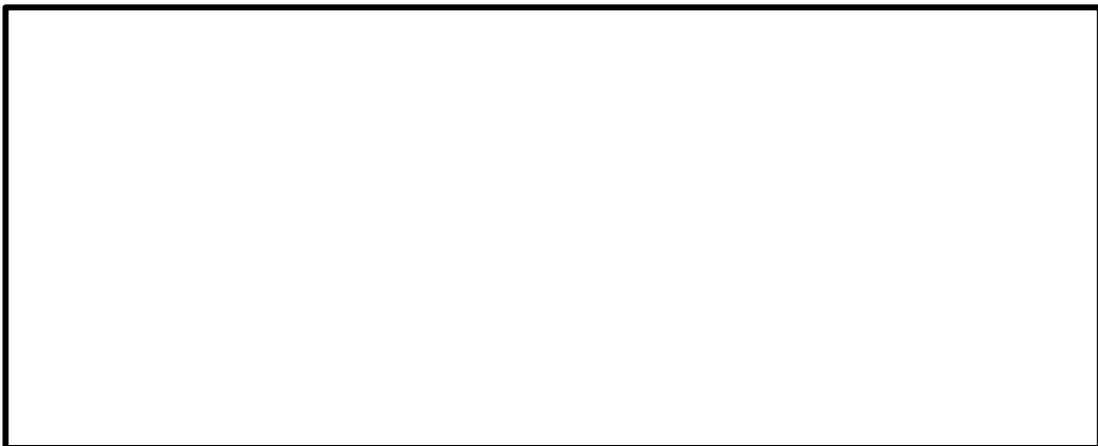


図 2-4 中間ギアの構造図



図 2-5 カップリングユニットの構造図



図 2-6 フレキシブルシャフトの構造図

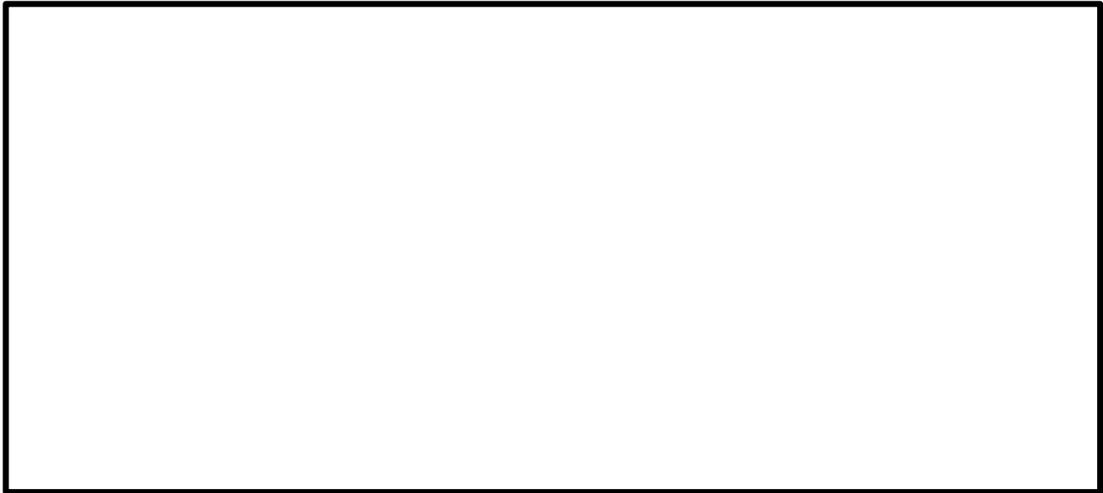


図 2-7 L型ジョイントの構造図

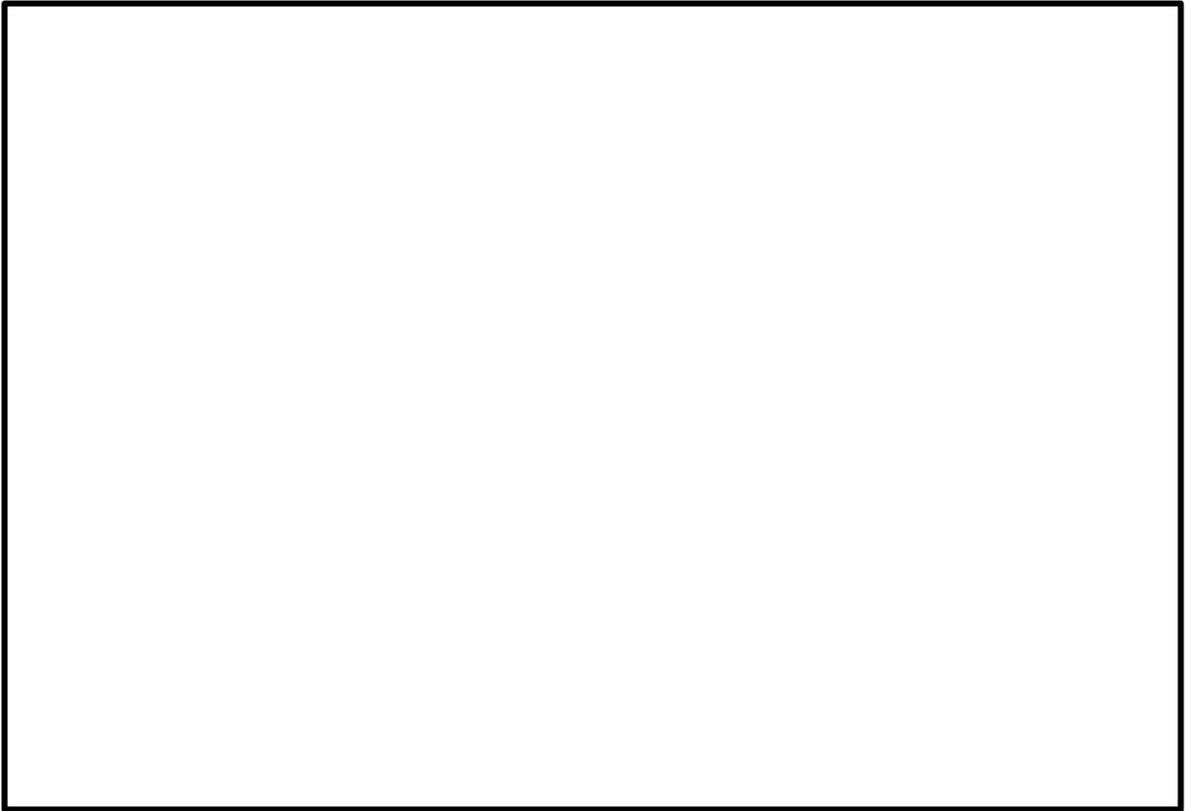


図 2-8 振動試験装置レイアウト (L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト)

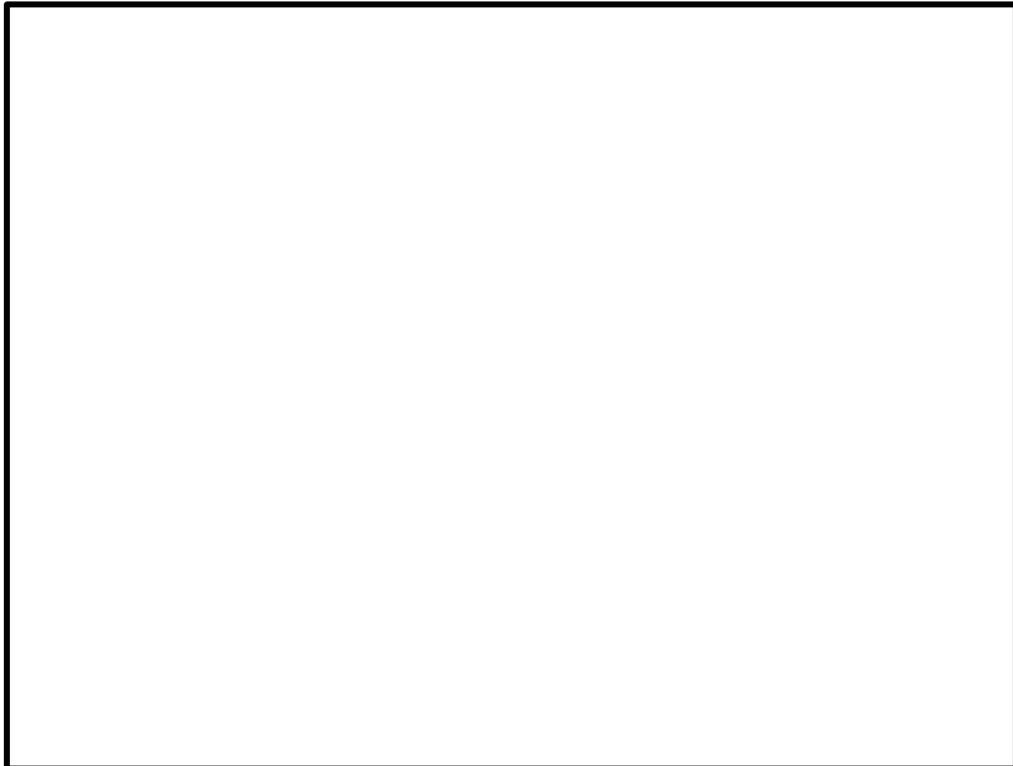


図 2-9 振動試験装置レイアウト (中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト)

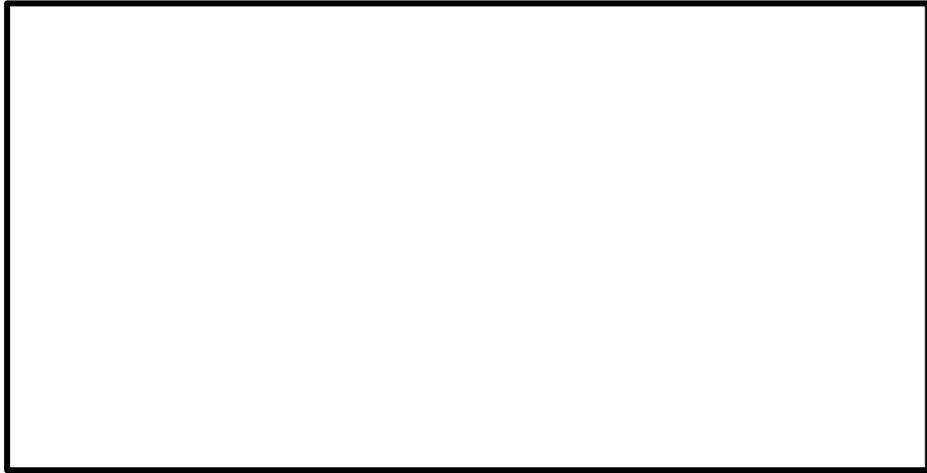


図 2-10 振動試験装置レイアウト (L型ジョイント)

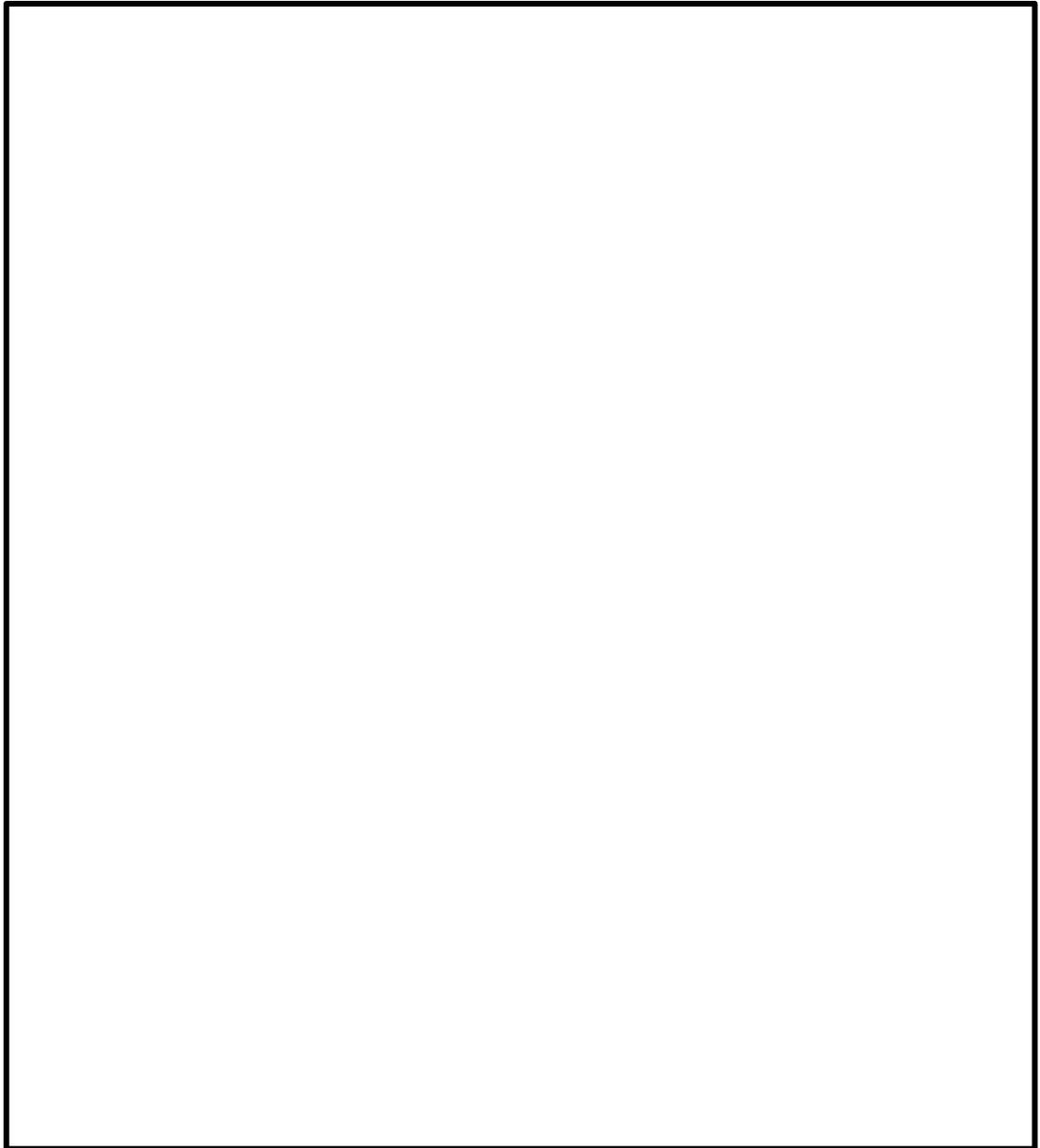


図 2-11 振動試験装置レイアウト (フレキシブルシャフト)

表 2-1 加振台仕様 (L 型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト  
及び中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト)

試験場	エミック株式会社
寸法	2.8 [m]×2.8 [m]
最大積載重量	2 [t]
加振振動数範囲	2~2100 [Hz]
最大加速度	27 [m/s <sup>2</sup> ] (X, Y), 30 [m/s <sup>2</sup> ] (Z)

表 2-2 加振台仕様 (L 型ジョイント)

試験場	エミック株式会社
寸法	水平テーブル:1.2 [m]×1.2 [m] 鉛直テーブル:1.1 [m]×1.1 [m]
最大積載重量	1.6 [t]
加振振動数範囲	2~2100 [Hz]
最大加速度	1000 [m/s <sup>2</sup> ]

表 2-3 加振台仕様 (フレキシブルシャフト連結部)

試験場	エミック株式会社
寸法	水平テーブル:2.0 [m]×2.0 [m] 鉛直テーブル:1.5 [m]×1.5 [m]
最大積載重量	6.0 [t]
加振振動数範囲	5~1700 [Hz]
最大加速度	1000 [m/s <sup>2</sup> ]

表 2-4 遠隔手動弁操作設備の主な仕様の比較

構成要素	仕様	試験体	実機
貫通シャフト	仕様	15030028-13000(中間ギア+ カップリングユニット付) 15030028-14000 (L型ジョイント付)	15030028-13000(中間ギア+ カップリングユニット付) 15030028-14000 (L型ジョイント付) 15030028-15000 15030028-16000
	質量	220kg	約 100~220kg
	長さ	1980mm(中間ギア+ カップリングユニット付) 2702.5mm(L型ジョイント付)	約 1900mm~3100mm
中間ギア	型式	PA-1	同左
	質量	約 120kg	同左
L型ジョイント (カップリングユ ニット含む)	仕様	15030028-32000	同左
	質量	55kg	同左
フレキシブル シャフト 連結部	型式	F-18B	同左
	質量	約 27kg (5m, 支持装置除く)	同左

### 3. 振動特性把握試験

#### 3.1 試験方法

貫通シャフト，中間ギア，L型ジョイント及びフレキシブルシャフト連結部に3軸加速度計を取付け，加振波として5Hzから100Hzまでの範囲で，掃引速度1[オクターブ/min]の連続正弦波を使用した各軸単独加振を実施し，固有振動数を求める。なお，剛柔判定は20Hzを閾値とし，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。計測取付位置を図3-1から図3-4に示す。

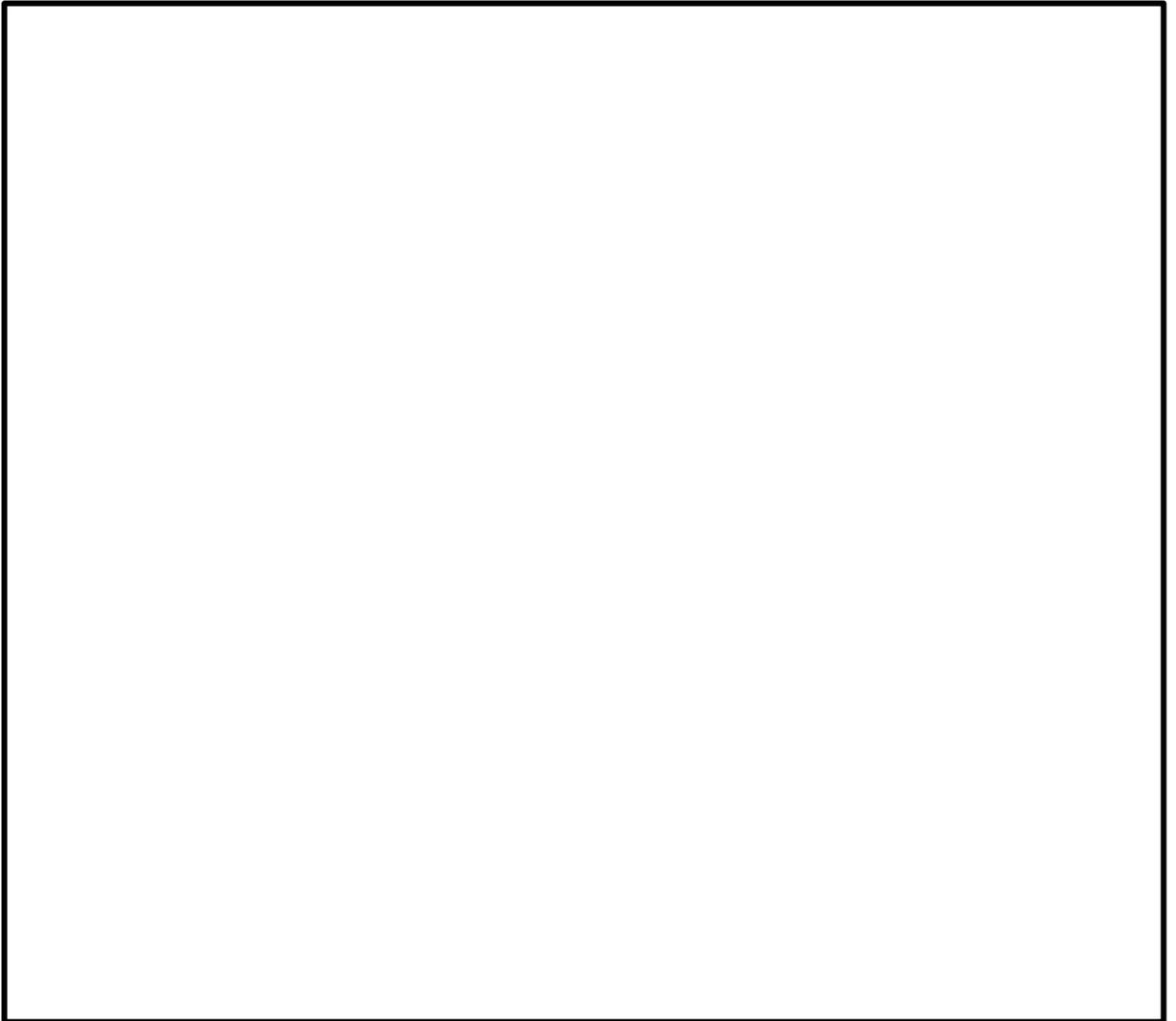


図3-1 計測センサー取付位置（L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト）



図 3-2 計測センサー取付位置 (中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト)

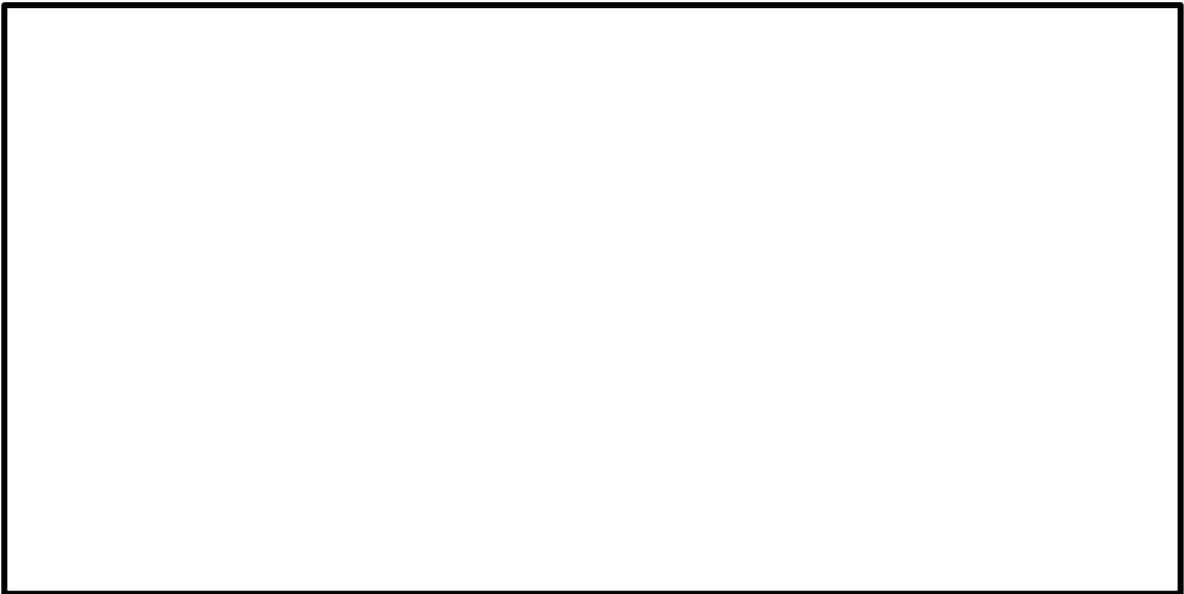


図 3-3 計測センサー取付位置 (L型ジョイント)



図 3-4 計測センサー取付位置 (フレキシブルシャフト連結部)

### 3.2 試験結果

試験により得られた振動特性及び位相を図 3-5 から図 3-8 に、各軸方向の固有振動数を表 3-1 から表 3-4 に示す。

フレキシブルシャフト連結部及び中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト Y 方向の固有振動数は 20Hz 未満であり、柔構造であることを確認した。その他構成要素は剛構造とみなせる固有振動数 20Hz 以上の結果が得られた。なお、各軸最も応答倍率が高い値が計測された計測点を代表で示している。

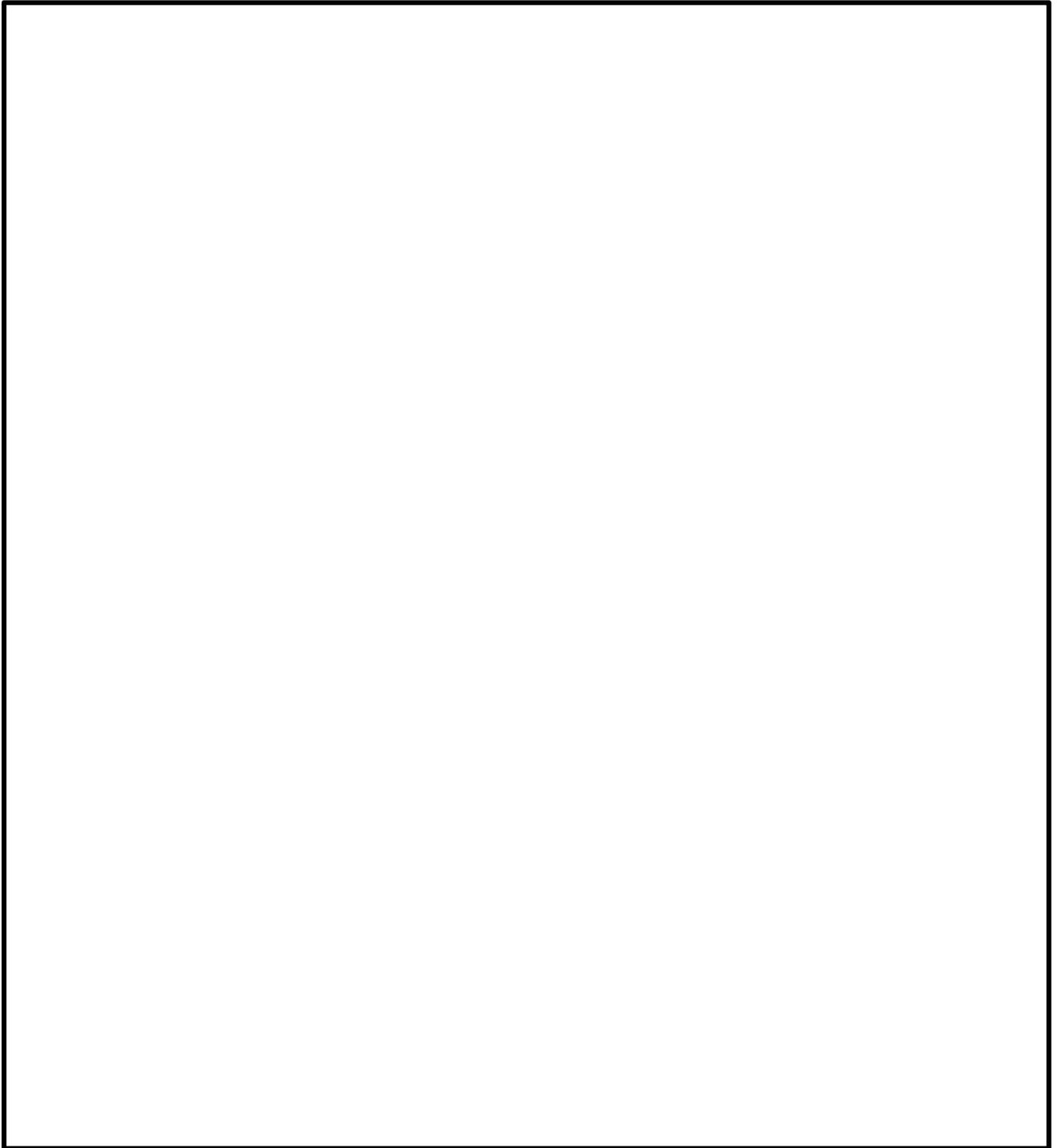


図 3-5 L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフトの振動特性

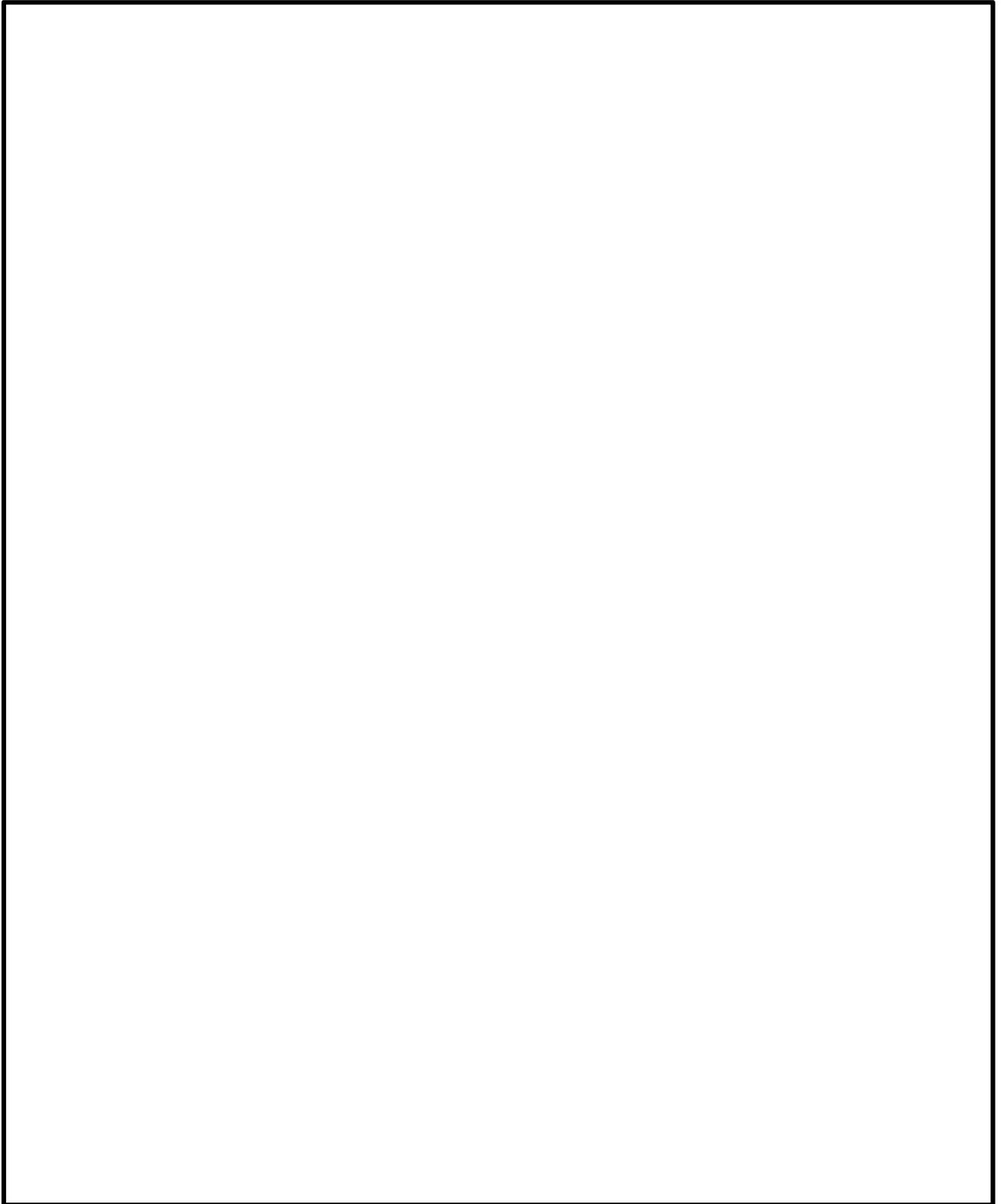


図 3-6 中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフトの振動特性

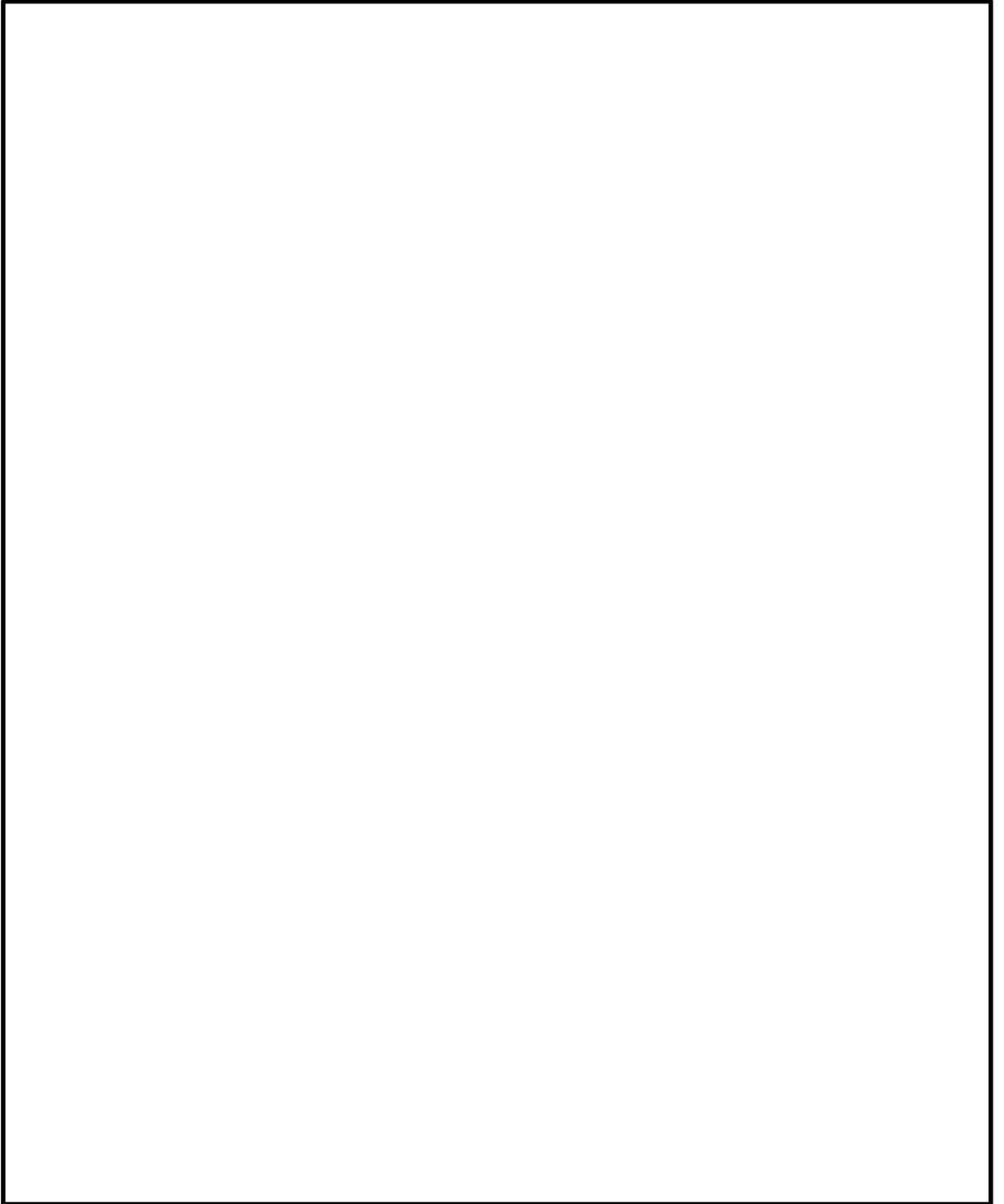


図 3-7 L 型ジョイントの振動特性

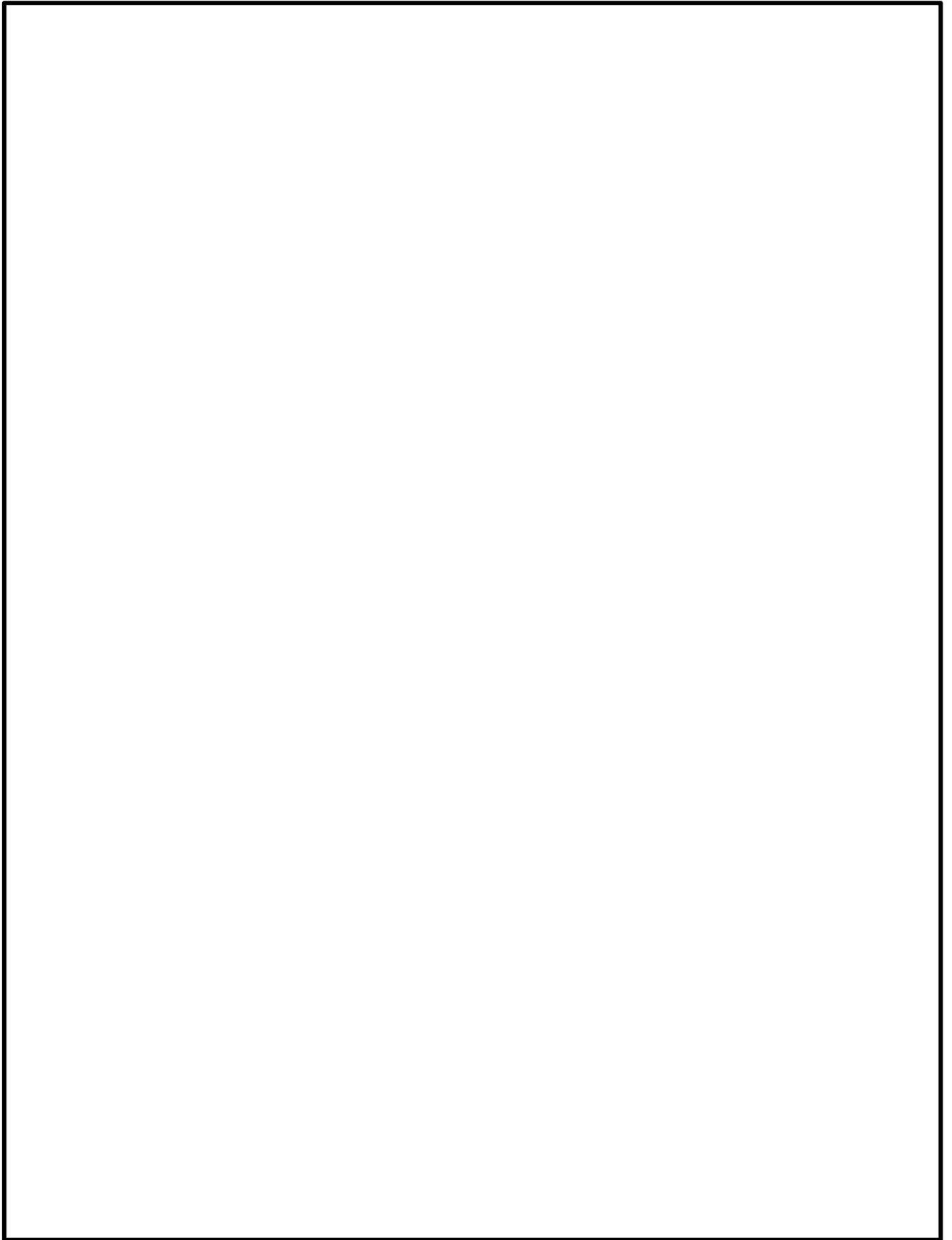


図 3-8 フレキシブルシャフト連結部の振動特性

表 3-1 各軸方向での 1 次固有周期

(L 型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト)

方向	固有周期[s]	固有振動数[Hz]
X		
Y		
Z		

表 3-2 各軸方向での 1 次固有周期 (中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト)

方向	固有周期[s]	固有振動数[Hz]
X		
Y		
Z		

表 3-3 各軸方向での 1 次固有周期 (L 型ジョイント)

方向	固有周期[s]	固有振動数[Hz]
X		
Y		
Z		

注記\* : 5Hz から 100Hz までの範囲に共振点無し

表 3-4 各軸方向での 1 次固有周期 (フレキシブルシャフト連結部)

方向	固有周期[s]	固有振動数[Hz]
X		
Y		
Z		

注記\* : 自由振動の計測の結果より固有振動数を確認した。

#### 4. 加振試験

##### 4.1 試験方法

加振試験は、振動特性把握試験にて得られた固有振動数が 20Hz 以上で剛構造とみなせるものであっても、33Hz 以下に固有振動数があるものについては、固有振動数での加振を実施した。

##### (1) L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト

「3.2 試験結果」で示しているように、L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフトの固有振動数が 20Hz 以上で剛構造であることから、供試体を加振テーブルに対し水平方向に 45° 傾けた状態での設置とし、水平方向は加振装置の合成波、鉛直方向は単軸で加振試験を実施する。

加振試験における試験条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 加振試験条件

項目	試験条件
加振地震波	正弦波
加振方向	水平 直交 2 方向に設置された水平方向用の加振機の合成波で単独加振 鉛直 単独加振
運転状態	停止中加振
取付状態	加振台上に設置された台板にボルトにて取付け
試験回数	1 回

##### (2) 中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト

「3.2 試験結果」で示しているように、中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフトの X,Z 方向の固有振動数が 20Hz 以上で剛構造であるが、Y 方向の固有振動数が 20Hz 未満で柔構造であることから、振動特性把握試験で確認された振動数にて供試体を加振テーブルに対し水平方向に 45° 傾けた状態での設置とし、水平方向は加振装置の合成波、鉛直方向は単軸で加振試験を実施する。

加振試験における試験条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 加振試験条件

項目	試験条件
加振地震波	正弦波
加振方向	水平 直交 2 方向に設置された水平方向用の加振機の合成波で単独加振 鉛直 単独加振
運転状態	停止中加振
取付状態	加振台上に設置された台板にボルトにて取付け
試験回数	1 回

(3) L型ジョイント

「3.2 試験結果」で示しているように、L型ジョイントの固有振動数が20Hz以上で剛構造であることから、振動数33Hzにて各軸単独加振試験を実施する。

加振試験における試験条件を表4-3に示す。

表4-3 加振試験条件

項目	試験条件
加振地震波	正弦波
加振方向	水平2方向、鉛直方向の各軸単独加振
運転状態	停止中加振
取付状態	加振台上に設置された台板にボルトにて取付け
試験回数	1回

(4) フレキシブルシャフト連結部

「3.2 試験結果」で示しているように、フレキシブルシャフト連結部の固有振動数が20Hz未満で柔構造であることから、振動特性把握試験で確認された振動数にて各軸単独加振試験を実施する。

加振試験における試験条件を表4-4に示す。

表4-4 加振試験条件

項目	試験条件
加振地震波	正弦波
加振方向	水平2方向、鉛直方向の各軸単独加振
運転状態	停止中加振
取付状態	加振台上に設置された台板にボルトにて取付け
試験回数	1回

## 4.2 試験結果

### (1) L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト

以下について機器に異常がないことを確認し、本試験において加振台での最大加速度を小数点以下第2位で切捨てた値を機能確認済加速度とした。表4-5に機能確認済加速度を示す。

- ・変形、破損がないこと（外観検査）
- ・試験体の軸を回転させ、試験前後で変化がないこと（動作確認）

表4-5 機能維持評価用加速度と試験時の機能確認済加速度との比較  
(L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト)  
( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
X	1.5	
Y	1.5	
Z	1.6	

### (2) 中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト

以下について機器に異常がないことを確認し、本試験において加振台での最大加速度を小数点以下第2位で切捨てた値を機能確認済加速度とした。表4-6に機能確認済加速度を示す。

- ・変形、破損がないこと（外観検査）
- ・試験体の軸を回転させ、試験前後で変化がないこと（動作確認）

表4-6 機能維持評価用加速度と試験時の機能確認済加速度との比較  
(中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト)  
( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
X	1.5	
Y	1.5	
Z	1.6	

(3) L型ジョイント

以下について機器に異常がないことを確認し、本試験において加振台での最大加速度を小数点以下第2位で切捨てた値を機能確認済加速度とした。表4-7に機能確認済加速度を示す。

- ・変形、破損がないこと（外観検査）
- ・試験体の軸を回転させ、試験前後で変化がないこと（動作確認）

表4-7 機能維持評価用加速度と試験時の機能確認済加速度との比較（L型ジョイント）

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
X	5.1	
Y	5.1	
Z	5.3	

(4) フレキシブルシャフト連結部

以下について機器に異常がないことを確認し、本試験において加振台での最大加速度を小数点以下第2位で切捨てた値を機能確認済加速度とした。表4-8に機能確認済加速度を示す。

- ・変形、破損がないこと（外観検査）
- ・試験体の軸を回転させ、試験前後で変化がないこと（動作確認）

表4-8 機能維持評価用加速度と試験時の機能確認済加速度との比較（フレキシブルシャフト連結部）

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
X	1.5	
Y	1.5	
Z	1.6	

4.3 まとめ

加振試験の結果、L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフトは、水平方向  ×9.8m/s<sup>2</sup>、鉛直方向  ×9.8m/s<sup>2</sup> まで、中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフトは、水平方向  ×9.8m/s<sup>2</sup>、鉛直方向  ×9.8m/s<sup>2</sup> まで、L型ジョイントは、水平方向  ×9.8m/s<sup>2</sup>、鉛直方向  ×9.8m/s<sup>2</sup> まで、フレキシブルシャフト連結部は、水平方向  ×9.8m/s<sup>2</sup>、鉛直方向  ×9.8m/s<sup>2</sup> まで問題ないことをそれぞれ確認した。また、加振試験後の外観検査、動作確認において機器の健全性及び動作性に異常のないことを確認し、遠隔手動弁操作設備の動的機能が維持されることを確認した。

## 加振試験を行う構成要素毎の代表機器選定の考え方について

## 1. 概要

本資料では、加振試験を行う遠隔手動弁操作設備の構成要素毎の代表機器選定の考え方について示す。

## 2. 遠隔手動弁操作設備の構成要素

遠隔手動弁操作設備は、原子炉格納容器隔離弁を格納施設外から人力により開閉操作するための設備である。

遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント、カップリングユニット、支持構造物、中間ギアを經由して対象弁に接続されている。中間ギア、L型ジョイント、支持構造物は、基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定されている。また、貫通シャフトは原子炉建物の床又は壁に埋設され固定されている。

隔離弁の遠隔手動弁操作設備の構成要素は基本的に同じであるが、隔離弁から操作位置までの経路は各々の遠隔手動弁操作設備で異なることから、構成要素の寸法や個数が異なる。

遠隔手動弁操作設備の構成要素を表 2-1 に示す。

表 2-1 遠隔手動弁操作設備の構成要素

フレキシブルシャフト
貫通シャフト
中間ギア
L型ジョイント
フレキシブルシャフト連結部
カップリングユニット
支持構造物

## 3. 構成要素毎の加振試験

遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、支持構造物については、原子炉建物と共振しないように十分な剛性を持たせた設計としている。そのため、遠隔手動操作設備の原子炉建物への固定部はアンカとみなすことができる。このことを踏まえ、遠隔手動弁操作設備の加振試験は、構成要素を実機の設置状態に合わせて適切に組み合わせて実施する。

なお、遠隔手動弁操作設備のうちフレキシブルシャフトは可撓性を有しており、地震時に損傷し操作に影響を受ける設備ではないが、フレキシブルシャフト連結部は、弱部と考えられるため、加振試験の対象とする。また、支持構造物は、静的機器であるため加振試験の対象外とする。

#### 4. 構成要素毎の代表選定の考え方

遠隔手動弁操作設備の構成要素（支持構造物を除く）は、寸法、重量が異なるものの、基本的な構造は同じであることから、遠隔手動弁操作設備毎の構成要素を抽出し、構成要素の種類ごとに寸法、重量を整理することで評価上最も厳しくなる代表を選定する。

遠隔手動弁操作設備の構成要素毎の代表選定の考え方を以下に示す。

##### (1) L型ジョイント付貫通シャフト+フレキシブルシャフト

貫通シャフトは、壁や床の躯体貫通部に使用し、構造は貫通シャフトを軸受で支えており、ハンドルやフレキシブルシャフトを連結し回転させることで、回転力を壁や床の逆側に伝達する。遠隔手動弁操作設備では、躯体厚さによって長さが異なるが、基本構造は全て同一となる。本加振試験においては、実機の設置状態に合わせて選定し、貫通シャフトとの連結部の確認を行った。

なお、実機において使用する貫通シャフトに対しては、地震荷重により発生する軸受部に対する貫通シャフトからの反力が、軸受の定格荷重内であり問題ないことを確認している（表4-1参照）。また、地震荷重により貫通シャフトに発生する応力が貫通シャフトの許容値内であり問題ないことを確認している（表4-2参照）。

表4-1 軸受に加わる反力と定格荷重の関係

貫通シャフト反力	1700 [N]
軸受定格荷重	11500 [N]

表4-2 シャフトに発生する応力と許容応力の関係

貫通シャフトに発生する応力	23 [MPa]
貫通シャフト許容応力*	324 [MPa]

注記\*：許容応力は、設置される環境温度での  $S_y$ 、 $0.6S_u$  のうち小さい方の値とした。

##### (2) 中間ギア+カップリングユニット付貫通シャフト

中間ギアは、ウォームギアを用いて高効率に減速を行うギアボックスである。振動特性把握試験において固有振動数が X, Z 方向は 20Hz 以上だったが、Y 方向が 20Hz 未満であり柔構造であることから共振に対する考慮が必要となる。遠隔手動弁操作設備では、全て中間ギアと貫通シャフトが一体となっている同一構造のものを使用していることから代表の選定は不要である。

##### (3) L型ジョイント

L型ジョイントは、2つのかき歯車により駆動力の軸方向を変えるためのギアボックスである。遠隔手動弁操作設備では、全て同一構造のものを使用していることから、代表の選定は不要である。

(4) フレキシブルシャフト連結部

フレキシブルシャフト連結部の固有振動数は、振動特性把握試験において20Hz未満であり、柔構造であることから共振に対する考慮が必要となる。フレキシブルシャフト連結部は差込継手と中間カップリングを接続する構造であり、接続部中心から両端それぞれ500mm（支持構造物間隔1000mm）で支持構造物によりフレキシブルシャフトを固定する配置となっている。そのため、フレキシブルシャフト連結部の支持構造物を含めた配置はすべて同一であることから、代表の選定は不要である。