

PNC <sup>T</sup> J272 84-02  
ISES 8409

配布限定



区分変更	
変更理由	二
平成年月日	平成13年11月30日

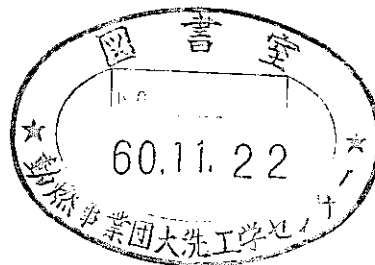
昭和58年度動力炉・核燃料開発事業団委託研究

高速炉用Na弁の地震時機能維持に関する研究(Ⅲ)

### 成果報告書

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
S	J272 84-02
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

昭和59年5月



高温構造安全技術研究組合

Technical Research Association for INTEGRITY OF STRUCTURES AT ELEVATED  
SERVICE TEMPERATURES

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

のです。  
転載、

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



配 布 限 定  
PNC J 272 84-02  
I S E S 84-09  
昭 和 59 年 5 月

## 高速炉用 Na 弁の地震時機能維持に関する研究 (Ⅲ)\*

高温構造安全技術研究組合  
第 19 委員会 191 G  
主 査 藤 井 澄 二\*\*

### 要 旨

原子力発電設備の安全上重要な設備に属し、設計、安全評価上想定される地震動に対し動的機能維持が要求される機器は設計段階において評価を行い、十分な信頼性を有することを確認しておく必要がある。

このため、本研究では高速増殖炉発電設備の動的機器の一つである Na 弁を対象に薄肉構造等の Na 機器に特有の問題に着目し、地震時機能維持の確認と評価法の確立を図ることとした。

研究は、昭和56年度より開始され、前年度まで研究 (Ⅰ)、研究 (Ⅱ) を行い、基本方針、研究計画の立案とこれに基づく機能維持評価を目的とした解析法、試験方法の検討を行ってきた。

本年度は前年度に引き続き計画された全体加振試験、全体静荷重試験及び要素試験の評価項目、計測点及び試験荷重の検討を行い、さらにフリーズシール部のシール性能を評価するためのモデルによる基礎試験の立案を行った。

また、弁の駆動装置の耐震性について、駆動装置メーカー実施の装置単体の振動試験結果より評価・検討を行った。

\* 本報告書は、高温構造安全技術研究組合第19委員会が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

\*\* 東京電機大学 理工学部 教授



NOT FOR PUBLICATION

A STUDY ON FUNCTIONAL QUALIFICATION  
ON FBR SODIUM VALVE UNDER STRONG EARTHQUAKE CONDITION (III) \*

ISES Committee 19  
191G  
Chairman S. Fujii \*\*

ABSTRACT

Safety related active components of the nuclear power stations should be well designed and evaluated to keep their functions during a strong earthquake and increase their integrity of the function.

This study aims to establish a design and evaluation guideline for the functional qualification of safety related FBR sodium valves under strong earthquake condition by paying special attention on original features of sodium component such as thin wall structure.

The study began in 1981, and phase (I) and phase (II) work has already finished. During these work, the fundamental philosophy and schedule of the experimental study was established and the analytical and experimental method to establish the evaluation method for functional qualification of sodium valve were studied.

In this year, the evaluating items, the measuring items and the loading conditions of seismic experiment were studied and also a fundamental model test plan to evaluate the characteristics of freezed seal has been made. The aseismic design features of the valve actuator were studied and evaluated based upon the vibration test of the actuator which was performed by the manufacturers of actuators.

---

\* This document was prepared by ISES Committee 19 under the sponsorship of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

\*\* Tokyo Denki University

# 目 次

第 1 章 研究概要 .....	1
1.1 研究の目的 .....	3
1.2 研究の概要 .....	3
1.3 研究の組織 .....	3
第 2 章 試験要領の検討 .....	7
2.1 全体加振試験 .....	9
2.1.1 試験概要 .....	9
2.1.2 試験方法の検討 .....	12
2.1.3 計測点の検討 .....	42
2.2 全体静荷重試験 .....	68
2.2.1 試験概要 .....	68
2.2.2 試験方法の検討 .....	72
2.2.3 計測点の検討 .....	80
2.3 要素試験 .....	88
2.3.1 フリーズシール部剪断 / 摺動試験 .....	88
2.3.2 エクステンションロッド部分試験 .....	97
第 3 章 試験荷重の検討 .....	105
3.1 試験荷重設定の考え方 .....	107
3.2 試験の実施順序 .....	107
3.2.1 弁箱に初期降伏を与える駆動部加速度レベル .....	108
3.2.2 弁本体に初期降伏を与える配管反力荷重負荷レベル .....	109
3.2.3 試験の実施順序 .....	110
3.3 全体静荷重試験時の荷重負荷方向 .....	110
3.4 試験荷重レベルの設定 .....	111
3.4.1 全体加振試験 .....	111
3.4.2 全体静荷重試験 .....	112
第 4 章 評価方法の検討 .....	123
4.1 評価項目の検討 .....	125

4.2 評価手法(案)の設定 .....	126
第5章 弁の機能維持に関連する検討・調査 .....	131
5.1 Na弁フリーズシール部の地震時機能維持基礎試験 .....	133
5.2 電動弁アクチュエータの耐震性 .....	135
第6章 まとめ .....	141

# 第 1 章 研 究 概 要

# 第1章 研究概要

## 1.1 研究の目的

高速増殖炉発電設備における安全上重要な系統に属するNa弁は、動的機器であることから、想定される地震動に対して強度・耐力などの静的機能維持とともに動的機能を維持することが必要である。これらの動的機器である弁は、地震中あるいは地震後においても高速増殖炉発電設備の安全性を確保するために、要求される機能に従ってその動的機能を維持しなければならない。したがって、地震時の弁の動的機能維持について、設計段階でそれぞれの弁について確認、実証されているか、あるいは製作後試験等による実証を行う必要がある。一般に、地震時の動的機能維持を確認する目的の実証試験を、それぞれの発電設備の設計段階で、使用される機器ごとに実施することはせず、実証された計算手法により動的機能維持を保証する解析評価を行い、確認することが考えられる。

本研究の目的は、高速炉用Na弁を対象としてその実物について試験および解析により地震時の動的機能維持の確認を行うことにある。具体的には種々の供試弁について振動試験及び静荷重試験を行い、その試験結果と各供試弁の振動解析等の結果を比較し、動的機能維持の解析的評価手法の開発及び評価基準の確立を計り、地震時の動的機能維持についての合理的設計評価手法を見出すことにある。

## 1.2 研究の概要

高速炉用Na弁の地震時機能維持に関する研究の全体計画を表1.2-1に示す。昭和56年度においては、研究(I)として、評価指針確立への基本方針、必要な試験項目並びにその実施計画の検討を行うと共に、高速原型炉「もんじゅ」の1次冷却系、2次冷却系、及びEVST冷却系の中から表1.2-2に示す五つの供試弁を機能維持試験用に選定した。また、昭和57年度においては、研究(II)として、全体加振試験、全体静荷重試験、並びにフリーズシール部剪断/摺動試験、エクステンションロッド部分試験の要素試験について、試験要領、解析モデル案、試験荷重及び評価方法の検討を行った。

今年度は研究(III)として、前年度の検討結果をもとに、具体的な試験要領、試験荷重レベル並びに計測項目の検討を行った。

## 1.3 研究の組織

本研究は高温構造安全技術研究組合第19委員会191Gにおいて実施した。同委員会構成は次のとおりである。

主 査：藤 井 澄 二（東京電機大学）  
副 主 査：柴 田 碧（東京大学）  
幹 事：羽 田 幹 夫（獨 東 芝）  
大学側委員：朝 田 泰 英（東京大学）



大学側委員：大橋秀雄（東京大学）  
                   亀岡利行（東京電機大学）  
                   堀幸夫（東京大学）  
                   班目春樹（東京大学）  
 ×側委員：星明男（㈱東芝）  
                   森建二（㈱東芝）  
                   河原愈（㈱日立製作所）  
                   水野貞男（㈱日立製作所）  
                   小林信彦（富士電機製造㈱）  
                   小畑清和（川崎重工業㈱）  
                   清川輝行（三菱重工業㈱）  
                   友松健一（三菱重工業㈱）  
 委託者：深田富啓  
 （動燃事業  
 団）側委員 井上達也  
                   天田健一  
                   森下正樹  
 執筆者：藤井澄二（東京電機大学）  
                   柴田碧（東京大学）  
                   亀岡利行（東京電機大学）  
                   天田健一（動燃事業団）  
                   水野貞男（㈱日立製作所）  
                   大崎敏雄（川崎重工業㈱）  
                   森建二（㈱東芝）  
                   河村豊（㈱東芝）

表1.2-1 全体計画

期 項目	56年度		57年度		58年度		59年度		60年度	
	56/下	57/上	57/下	58/上	58/下	59/上	59/下	60/上	60/下	
ISES 191 委員会	[Hatched bar across all years]									
詳細試験の要領作成		基本要領	詳細要領							
試験荷重の検討			[Hatched bar]	[Hatched bar]	[Hatched bar]					
解析モデル案の検討 (その1およびその2)			[Hatched bar]	[Hatched bar]	[Hatched bar]					
試験の実施 { 要素試験 全体試験						6月	[Bar]		6月-8月/E	
解析モデルの評価検討							[Bar]			
各弁に対する地震時機能維持の評価法確立							[Bar]			[Bar]
供試弁の製作			[Hatched bar]	[Hatched bar]	[Hatched bar]					
全体試験装置の製作						12月	[Bar]		12月/E	
要素試験装置製作							8月	[Bar]	12月/E	

表 1.2-2 高速原型炉用地震時機能維持試験選定供試弁一覧表

No	弁名称	据付位置			機能		開閉時間 : t (s)	主仕様					
		建屋 種別	高さ (m)	据付箇所	地震時 機能	地震後 機能		口径 (B)	操作 方法	軸封 機構	最高使用 温度(°C)	最高使用 圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	流体
1	24 B 逆止弁	R/B	EL 31.9	1次主冷却系 炉容器入口配管	-	(注1)	-	24	-	-	420	10	Na
2	4BY型グローブ弁	A/B	26.0	2次メンテナンス冷 却系C/V 外側配管	(注2) (O→C)	O→C	t ≤ 30	4	M	BS	550	8	Na
3	22B バタフライ弁	A/B	39.0	2次主冷却系 蒸気発生器入口配管	O→C	-	60 ≤ t ≤ (90)	22	M	FS	525	8	Na
4	12BY型グローブ弁	A/B	32.8	補助冷却設備 空気冷却器出口配管	C→O	流量 制御	t ≤ 120	12	M	BS	345	6	Na
5	5 B アングル弁	A/B	36.0	EVST 冷却系配管	-	O→C	t ≤ (30)	5	RM	BS	330	5	Na

(注1) 所定の締り差圧下で所定の締切り性能(漏洩率)を確保する。

(注2) 特別の条件として指定はないが地震と他の特別な事象が重なった場合に所定の締切り性能を確保する。

(注3) 開閉時間で( )付の数値は目標値を示す。

## 第2章 試験要領の検討

## 第2章 試験要領の検討

昭和57年度の研究(Ⅱ)において、試験要領の基本的な事項を検討した。本年度の研究(Ⅲ)は、さらに試験要領の具体化を進め、全体加振試験、全体静荷重試験及び要素試験の負荷荷重条件及び計測点位置等について検討を実施したので、以下にその結果を示す。

### 2.1 全体加振試験

#### 2.1.1 試験概要

全体加振試験は、地震時に機能維持の要求される代表的な弁を振動台上で加振し、各部の構造強度、開閉動作機能及び弁座などのシール機能等が維持されることを確認するものである。試験要領の基本的な内容は、研究(Ⅱ)で設定しており、その概要は次の通りである。

全体加振試験は、供試体弁を振動台に両端固定で取付け、常温、大気圧下で弁内に水を満たして実施する。試験は、前試験、本試験及び後試験の3段階に大別され、各々の段階は、開閉、作動試験、弁座漏洩試験及び各部の点検などで構成されており、表2.1-1にその基本的な要領を示すものである。

今回の研究(Ⅲ)では、上述の基本要領に基づき、加振条件及び計測点等の検討を実施したので、以下にその内容を示す。

表2.1-1 試験項目，測定項目，試験方法

	試験項目	測定項目	試験方法	備考
前 試 験	開閉試験	1. 作動電圧，電流	弁の開閉動作を行い，開，閉動作各々の電圧，電流を時系列的に記録する。	地震時の負荷荷重を受けていない，初期の基礎データを得る。
		2. 開閉時間	上記1.と同時に開閉時間を時系列的に記録し，測定する。	同上
		3. 作動中の不具合の有無	電圧，電流，開閉時間が設計許容値内であることを確認する他，動作中異音，振動等，異常がないことを確認記録する。	不具合部はこの段階で手直しする。
	弁座漏洩試験	1. 弁座漏洩量	駆動モータにより弁を全閉にし，水圧又は気圧により漏洩量が許容値以下であることを確認記録する。試験圧力は供試弁ごとに定める。	地震時の負荷を受けていない初期の基礎データを得る。
本 試 験	固有振動数の測定	1. 加振入力	振動台入力サイン波を時系列的に記録する。	
		2. 固有振動数減衰定数	振動台にサイン波を入力し，周波数を変化させ，弁の固有振動数を測定する。 弁に取付けた加速度計の応答値を時系列的に記録する。このデータより減衰定数を算定する。	入力サイン波の大きさは，供試弁毎に別に定める。
	作動確認試験	1. 加振入力	振動台加振入力を時系列的に記録する。	
2. 応答加速度		弁に取付けた加速度計の応答値を時系列的に記録する。		

	試験項目	測定項目	試験方法	備考
本 試 験	作動確認試験  (続 き)	3. 作動電圧, 電流	振動中に弁開閉動作を行い, 開, 閉動作時各々の電圧, 電流を時系列的に記録する。	
		4. 開 閉 時 間	上記3.の試験と同時に開閉時間を時系列的に記録する。	
		5. 弁各部たわみ, 応力	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 弁各部のたわみは弁に取付けた加速度計の時系列的記録より算出する。</li> <li>○ 応力は弁に取付けた歪ゲージの時系列的記録より算出する。</li> </ul>	
		6. 作動中の不具合の有無	加振中の開閉動作時, 部品のゆるみ, 破損の有無, 異常な振動等を確認記録する。	同時に測定する電圧, 電流, 開閉時間記録にも着目し, 駆動力変動状況を確認記録する。
後 試 験	開 閉 試 験	1. 作動電圧, 電流	前試験と同様。	地震荷重負荷後のデータを得る。
		2. 開 閉 時 間	前試験と同様。	同 上
		3. 作動中の不具合の有無	前試験と同様。	同 上
後 試 験	弁座漏洩試験	1. 弁座漏洩量	前試験と同様。	同 上
	分解点検	1. 各部の異常の有無	弁を分解し, 取付各部のゆるみ, 部品の破損, 摺動部のカジリキズ, 弁座部のキズ等の有無を確認記録する。	

## 2.1.2 試験方法の検討

試験方法を検討するうえで重要と考えられるのは、実機の応答を模擬し計測するとの観点から、試験体のモデル化、加振条件の設定及び計測点の設定である。以下に、これらについて検討した結果を示す。尚、本検討では、まず一般的な検討を行い、それに基づいて各供試弁の条件を定めたので、その順で示す。

### (1) 加振条件の検討

#### (イ) 加振条件の設定方法

地震時の機能維持を実験的に確認する場合、以下の2つの点に着目して試験条件を設定することが重要と考えられる。

##### (i) 実系と試験系の振動特性の差

実系は弁と配管とが結合されており、弁はむしろ配管の一部と考えられている。従って弁単独の振動性状が問題となるよりはむしろ、配管系の応答が問題となる。これに対して、試験系は接続配管系及びそのサポート系を削除し、どちらかといえば両端で剛に近い状態でサポートし、弁単独の振動特性を得るような状態となっている。従って、この差を考慮し機能維持の観点から、どのような応答に着目して実系と試験系との対応をとるかを明確にして条件設定を行う必要がある。特に駆動部にスナッチャーを取付ける場合のモデル化を後述の(イ)項に検討して示す。

##### (ii) 実系と試験系における入力の違い

実系は現実には発生することはまずあり得ない大きな地震を入力としている。そして、このような入力に対し配管系の応答解析から得られる加速度及び配管反力を受けるとして設計している。これに対し試験系は、振動台や加振機的能力に従った荷重で実施しなければならない条件にあるので、上記(i)に示した様に、振動台に弁単体の剛に近い条件で据付けた弁を、3 Gとか5 Gとかの実系で受けるような大きな加速度で全体的に加振するのはかなり難しい。従って、機能維持の観点からどのような応答に着目して、実系と試験系との対応をとるかを明確にし、かつ弁単体に近い振動性状から、どのように適切に必要な応答を模擬するかを考え、加振条件を設定することが必要である。

#### (ロ) 加振の原則の検討

全体加振試験において各種の加振を行い、それらのいずれについても、試験の目的に適合したものである事は言うまでもないが、特に本研究は限られた数の代表弁について試験するので、ある特定の弁について直接的に機能維持確認の実証データを得るのみならず、その他の多数の弁の機能維持を確認評価するのに必要な一般性のあるデータを得るよう配慮しなければならない。このような観点から加振条件の設定の原則を検討し、各弁の加振条件を一般性のあるものに揃えるように工夫する。

全体加振試験において適用する加振方法は、次の2種類を基本とする。

- ① 正弦波スウィープ加振
- ② 正弦波連続加振

尚、これらは加振における制御量を加速度、速度、変位などのいずれにするかによっても異なってくるが、ここでは主に加速度とする。また、上記の加振方法は試験目的によっても内容が変わるので、以下に試験目的と関連づけて標準的な条件の設定を行う。各弁毎の実際の加振条件は後の項で示す。

(i) 振動特性試験の場合

系の固有振動数、振動モード、減衰定数などの基本特性を確認する「振動特性試験」を実施する場合は、一般に低レベルの正弦波スイープ加振を実施する。妥当な応答倍率を得るためには、ある程度振動を立ち上げるようスイープ速度を小さくする必要があるが、一律には定め得ないので、対象弁の振動特性を見極めて決めるものとし、ここでは一応の目安値を示した。また、加振のスイープ方向による応答の差の有無を確認するものとした。更に、弁の開閉の状態や加振方向による差異もあるので、それらをパラメータに含めて加振条件を設定した。

表2.1-2 に加振の主要な仕様をまとめて示す。尚、本表は振動台を用いる場合の条件であるので、特に局部加振を行う場合は加振の制御量、加振の位置などが目的に適合しているかを個々の条件において検討するものとする。

表2.1-2 正弦波スイープ加振仕様<sup>(注1)</sup>

試験目的	項目	内容	備考
振動特性試験	入力波	正弦波	
	レベル	約50 gal	
	振動数	5 ~ 30Hz	スイープアップ、ダウンの両方に行い、できる限り範囲を広くする。
	スイープ速度	1 decade / ( 20 ~ 30 ) min	妥当な応答倍率が得られるように十分な応答の立ち上げを行うこと。
	加振方向	水平方向	弁の流れ方向又はその直交方向などを適宜選定し、一方向に加振する。
	弁の開閉状態	開及び閉	弁棒の影響が大きければ中間的な位置もある。

(注1) 本仕様は標準値であるので、各弁毎に使用振動台の特性、供試弁の振動特性等を考え適切な値を設定するものとする。

(ii) 実証試験の場合

弁の地震時の応答を模擬し、所定の機能が確保されているかを確認する「実証試験」を行う場合は、各種の方法が考えられるが、ここでは一定振動数の正弦波で連続的に加振する方法を採用する。この場合、配管系に取付けられた弁の地震時の応答のうち、応答のモードは試験系の特定の固有振動モード又はそれに近いモードで模擬できると考え、一定振動数で連続加振するものとし、また応答のレベルと地震の継続時間は、それぞれ加振入力レベルを調整し、加振の継続時間を地震の継続時間に合わせるにより模擬できると判断した。但し、試験系の固有振動数が30Hzよりも高い場合は、できる



限りそれに近い加振振動数で応答のレベルが一致するまで加振のレベルアップを行い、一定値に保持することとする。

正弦波連続加振の主要な仕様を表 2.1-3 にまとめて示す。

表 2.1-3 正弦波連続加振仕様<sup>(注1)</sup>

試験目的	項目	内容	備考
実証試験	入力波	正弦波	
	レベル	所定の値	弁の応答が目標値になるよう、入力のレベルを調整する。
	振動数	所定の値	弁の卓越振動数又はそれに近い振動数とする。
	加振負荷時間	(注2) 一定値に到達後60秒保持	
	加振方向	水平方向	弁の流れ方向又はその直角方向などを適宜選定し、一方向に加振する
	弁の開閉操作	必要な操作を行う。	

(注1) 本仕様は標準値であるので、各弁毎に使用振動台の特性、供試弁の振動特性等を考え、適切な値を設定するものとする。

(注2) 継続時間60秒は実機に想定される  $S_1$  及び  $S_2$  地震の継続時間から、安全側に定めたものである。

### (iii) 裕度試験の場合

弁の有する強度、機能維持性に関する裕度を確認するために「裕度試験」を行う場合は、前項(ii)に示した実証試験の入力を  $r$  倍して実施する。

尚、別途実施の弁の応力解析の結果から判断すると、弁箱、ボンネット取付部の強度は十分高いと推定され、構造上クリティカルとなる弁箱、ボンネット取付部の応力が材料の降伏点  $S_y$  を越えない範囲で、5 G 程度まで加速度を加えられると判断されるので、裕度試験としては特別なものを除いて約 5 G まで加振する計画とする。本件の検討の詳細は第 3 章に示す。

各試験目的毎に標準的な試験条件を示した。各弁毎に以上に示した試験を適宜実施するが、試験途中での供試弁の疲労破損の発生などの不測の事態に対処するため、供試弁の加振履歴を全部記録するものとする。但し、低レベルでの正弦波スイープ加振は含めなくてもよいとする。

### (iv) スナッパー付弁の加振方法

Na 弁は一般に剛性が小さく、配管系に設置された際に、弁の駆動部等にスナッパーを設ける設計例が多い。本項では、スナッパーを設けて設置される実系の弁を弁単体で振動台上に固定して全体加振試験を行うことの妥当性とその加振条件について検討を行う。

実系の弁の荷重条件を試験系の弁の荷重条件に置き換える方法としては、研究(Ⅱ)で設定した弁駆動部と弁箱中心の応答加速度差をあわせる方法が一般的であるが、スナッパ付弁の場合はその妥当性を確認しておく必要がある。そこで、スナッパ付弁の場合でも荷重条件として対応が理解し易い弁駆動部と弁箱中心の応答変位差をあわせる方法も含めて検討する。

検討は、実系の一例に対応する弁-配管連成モデルと全体加振試験に対応する弁単体モデルについて、固有振動数解析と応答解析を行う事によって実施した。まず弁-配管連成モデルにつき、地震荷重を把握する目的から、実系の条件での応答解析を行ない、弁箱中心部と駆動部との応答加速度差及び応答変位差を得る。次に弁単体モデルで、その応答加速度差及び応答変位差が、弁箱中心部と駆動部との間に生じるような弁単体の各固有振動数による周波数応答解析を行なう。以上の応答解析の結果を比較する事により、上述の全体加振試験の妥当性を検討する。

尚、全体加振試験を行う弁のうち、実系でスナッパを設置する予定の弁は22 Bバタフライ弁、12 B Y型グローブ弁、並びに4 B Y型グローブ弁であり、以下の検討ではこれらの弁を対象として行う。

#### (i) 固有振動数の検討

試験系、すなわち弁単体モデルでの固有振動数は表2.1-4 に示す通りである。一般的に、流路直角方向或いは流路方向の1次曲げ振動モードが1次或いは2次の振動次数を示し、1次の固有振動数でも20 Hz程度とかなり剛なのが普通である。

これに対し実系の弁-配管連成モデルでは、配管系の振動性状が支配的であり、弁にスナッパを設置しても弁の振動の卓越する振動モードは10数 Hz と弁単体の固有振動数より低くなるのが一般的である。但し、22 Bバタフライ弁の場合は、弁の軸封シール構造にフリーズシールを採用しており、そのためフィン冷却の流路パスを確保する観点から、ヨークの構造として、弁の流路、直角方向の剛性が比較的小さく、弁単体の1次固有振動数が実系の弁の卓越固有振動数と同等かそれ以下となっている。

表2.1-4 弁単体モデルの固有振動数

弁名称 振動次数	22 Bバタフライ弁	12 B Y型グローブ弁	4 B Y型グローブ弁
1次固有振動数	13.4Hz (流路直角方向)	21.5Hz (流路直角方向)	28.6Hz (流路直角方向)
2次固有振動数	25.5Hz (流路方向)	28.7Hz (流路方向)	54.4Hz (流路方向)

#### (ii) 応答解析の比較

図2.1-1～図2.1-6に各検討対象弁の実系の応答加速度と応答変位に対し、試験系で応答加速度差を合わせた場合と応答変位差を合わせた場合の解析結果を示す。これより、以下のことが判る。

- ① 一般的に試験系では、実系と応答変位差を合わせて加振した場合の方が安全側の応答を与える。

② 弁単体の固有振動数が実系の卓越固有振動数に比較して小さい22Bバタフライ弁の流路直角方向加振の場合は、実系と応答加速度差をあわせた方が安全側の結果を与える。

尚、ここで注意すべき事項として、22Bバタフライ弁の流路直角方向加振時及び12BY型グローブ弁の流路直角方向加振時の場合に見られるように、加速度、変位分布に極大値を持つ場合がある。これらの場合については、全体加振試験時には流路方向、流路直角方向それぞれの1次固有振動数で加振する事を考え、変位差、加速度差を定義する点を変箱中心と駆動部ではなく、弁全体で、変位及び加速度の最大値を生じる点と最小値を生じる点の間でとる方が安全側の評価となる。

次に、以上のようにして求めた加振力の妥当性を評価するために、22Bバタフライ弁弁棒につき、そのモーメント分布を検討した。その結果を図2.1-7及び図2.1-8に示す。

この結果より以下のことが判る。

- ① 弁の機能維持を議論する上で着目すべき弁棒上部のモーメントは、実系と試験系で分布の傾向は非常に良く一致している。
- ② 応答変位差を合わせた場合、試験系のモーメント分布は流路方向加振時でも流路直角方向加振時でも、実系の70~80%程度の値となり良好な対応を示している。
- ③ 応答加速度差を合わせた場合、弁の剛性が小さい流路直角方向加振では実系より大きなモーメント分布を示すが、流路方向加振では実系をかなり下廻り、実系との対応は一般的には良好とは云えない。

以上の検討より、弁単体の試験系により弁-配管連成系の実系を模擬することは適切であり、また、一般的に弁単体の固有振動数が弁-配管連成系の実系の固有振動数より高いことを考慮すると、応答変位差を合わせて加振条件を設定するのが適切と考えられる。

但し、弁単体の試験系で応答変位差を合わせた加振をする場合には、剛性の高い弁ではかなり大きな応答加速度が弁駆動部に生じ、弁駆動部の許容加速度5Gを越える可能性がある。その場合には、全体加振試験の本来の目的から考えて、全体加振試験では応答加速度差に基づき加振条件を設定し、全体静荷重試験で変位差を合わせる試験を行ってもよい。

尚、上記のモーメント分布が実系の70~80%程度の値となることに対しては、各方向の応答変位差のSRSSを取ることと、裕度試験時の荷重で充分カバー出来ると考えられる。

#### (二) 5Bアングル弁全体加振試験時のエクステンションロッド形状のモデル化方法

本項では、5Bアングル弁のエクステンションロッド形状のモデル化方法に関して、ロッド短縮化についての考え方、及びロッド形状の設定について述べる。

##### (i) エクステンションロッド短縮化についての考え方

実系のエクステンションロッド付きの弁に関して駆動装置と弁箱は、設置床高さレベルが異っており、この間はエクステンションロッドを介して連結する構造となっている。

エクステンションロッドの配管系耐震解析上のモデル化法に関して、研究(II)の記載内容によると

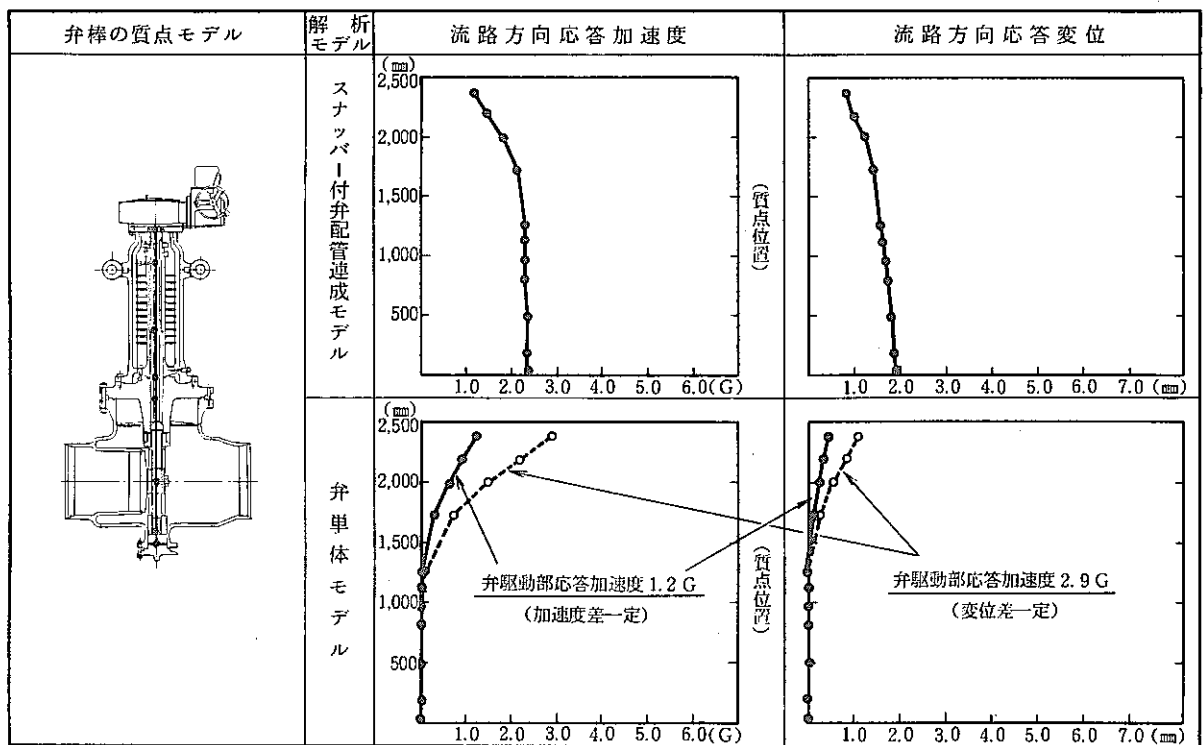


図2.1-1 22Bバタフライ弁・弁棒の応答加速度，応答変位分布（流路方向加振時）

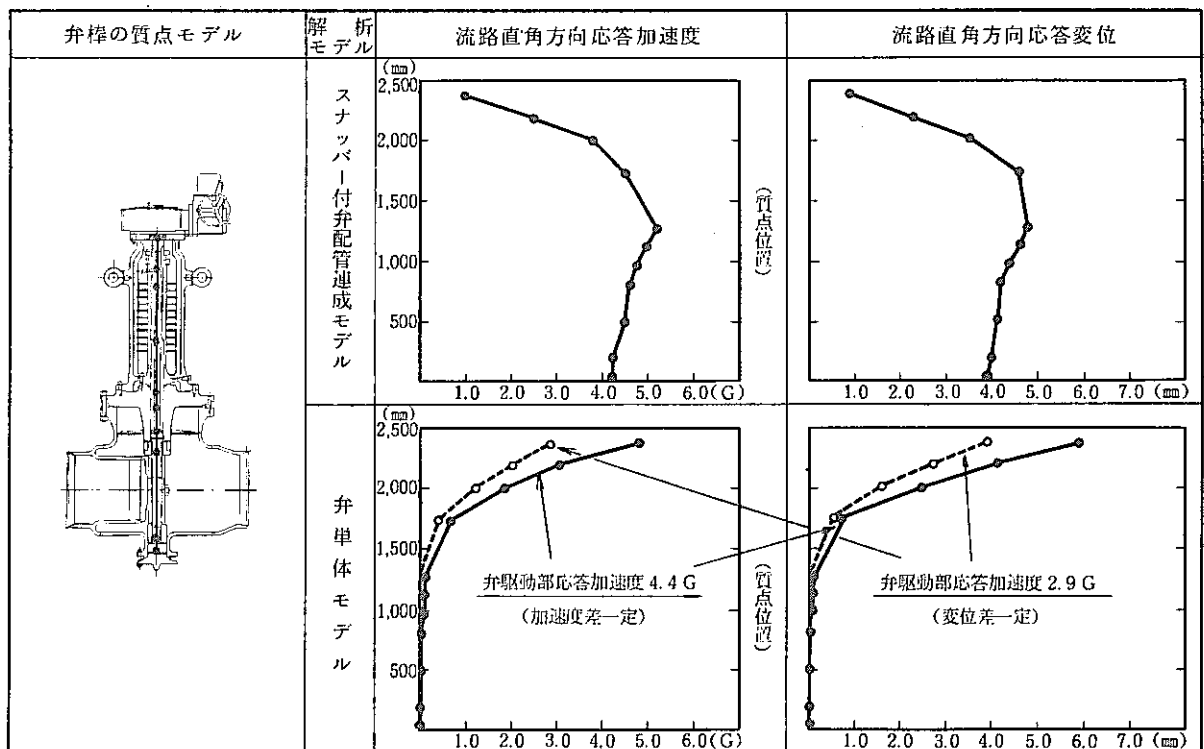


図2.1-2 22Bバタフライ弁・弁棒の応答加速度，応答変位分布（流路直角方向加振時）

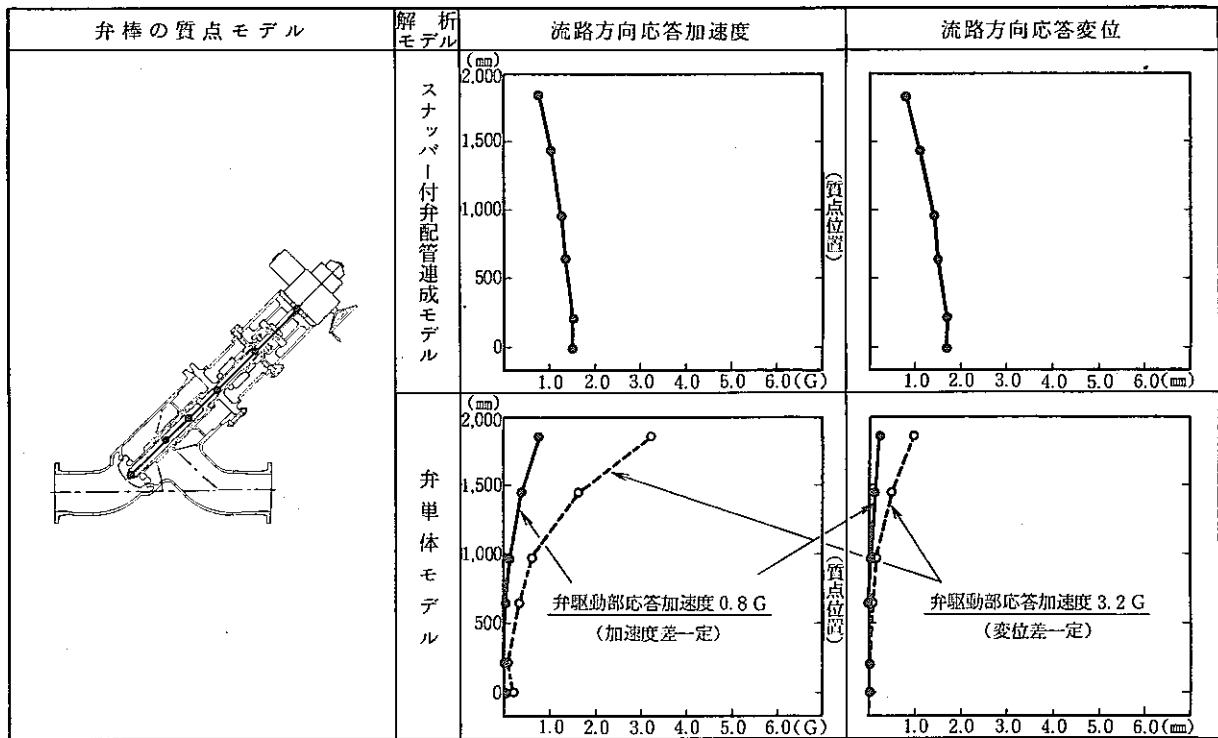


図2.1-3 12B Y型グローブ弁・弁棒の応答加速度，応答変位分布（流路方向加振時）

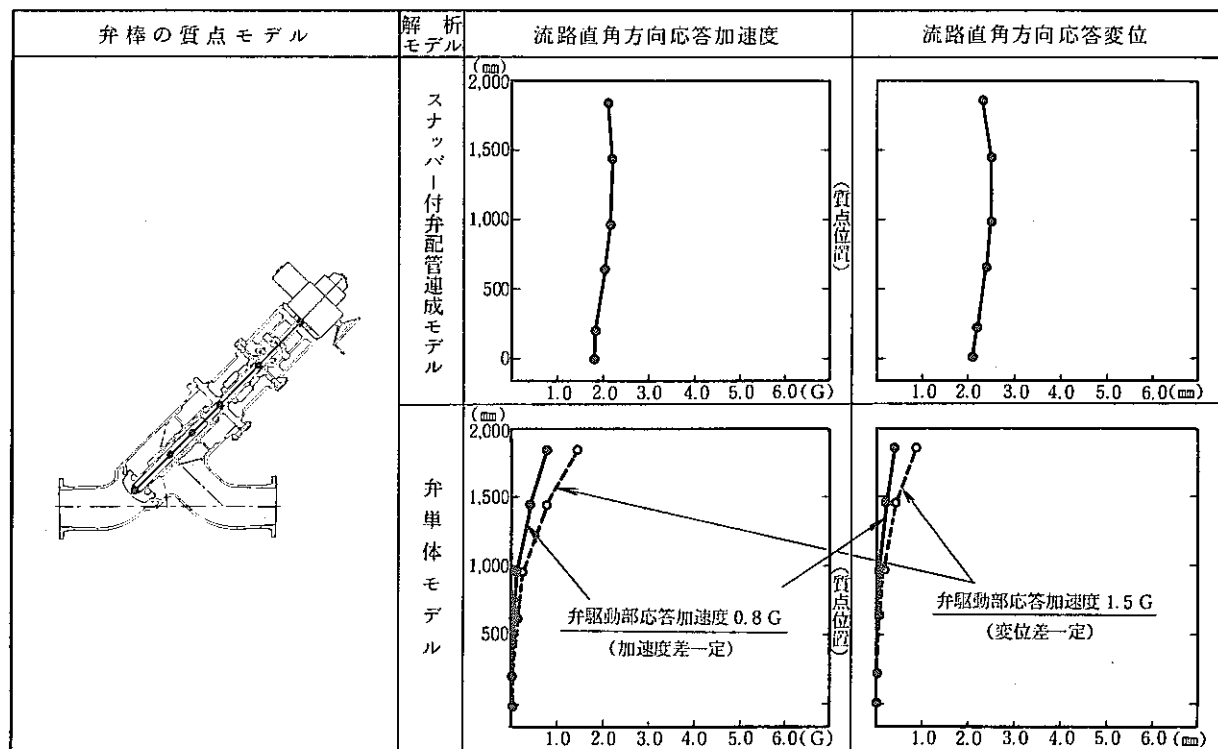


図2.1-4 12B Y型グローブ弁・弁棒の応答加速度，応答変位分布（流路直角方向加振時）

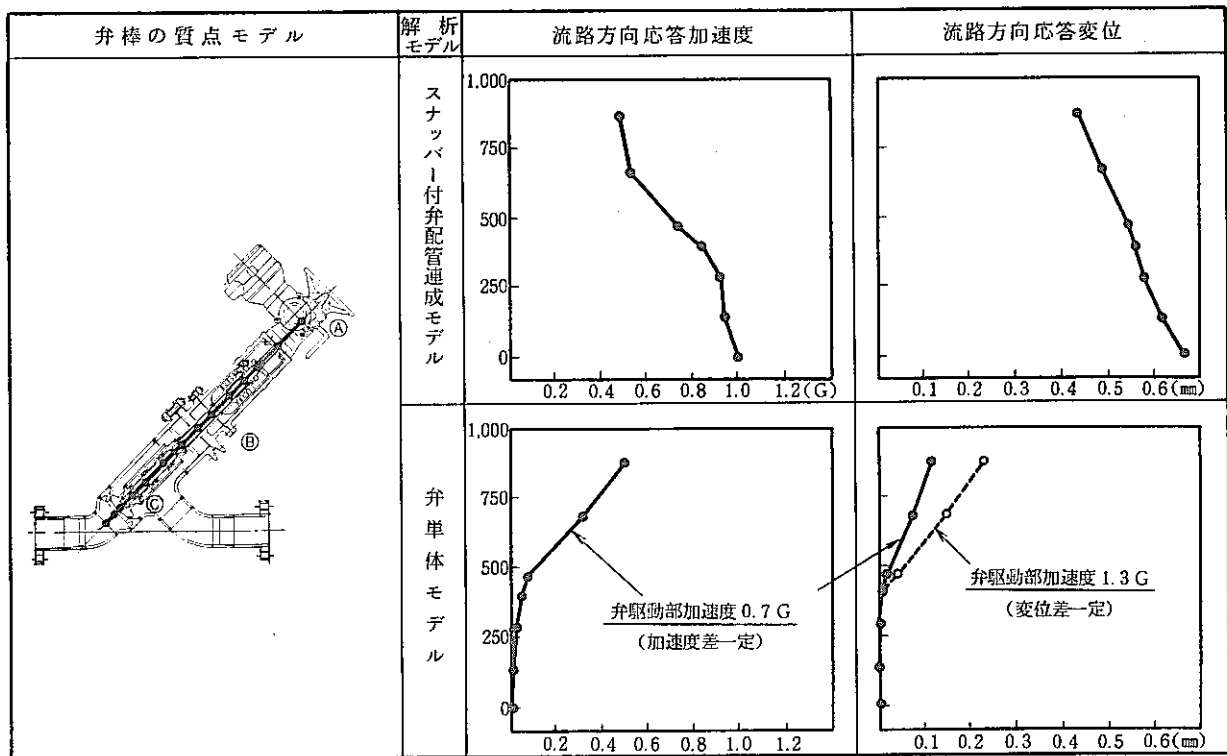


図2.1-5 4BY型グローブ弁・弁棒の応答加速度，応答変位分布（流路方向加振時）

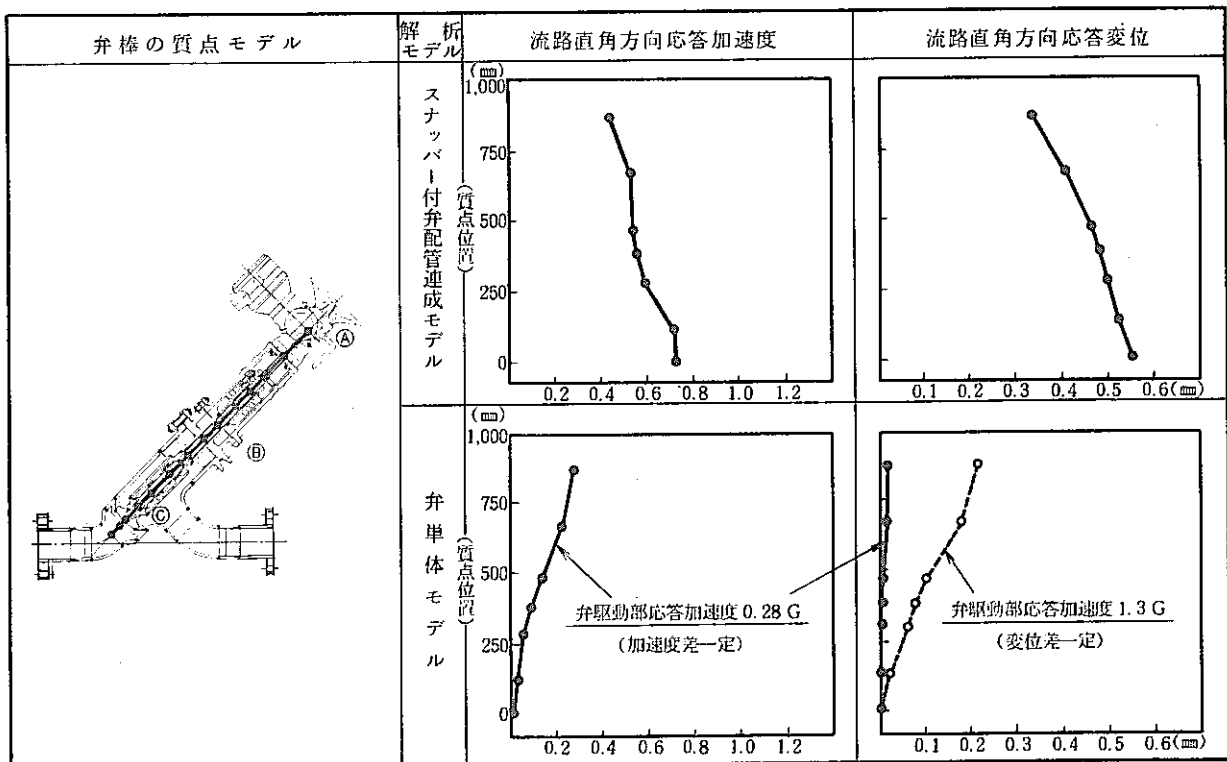


図2.1-6 4BY型グローブ弁・弁棒の応答加速度，応答変位分布（流路直角方向応答加速度）

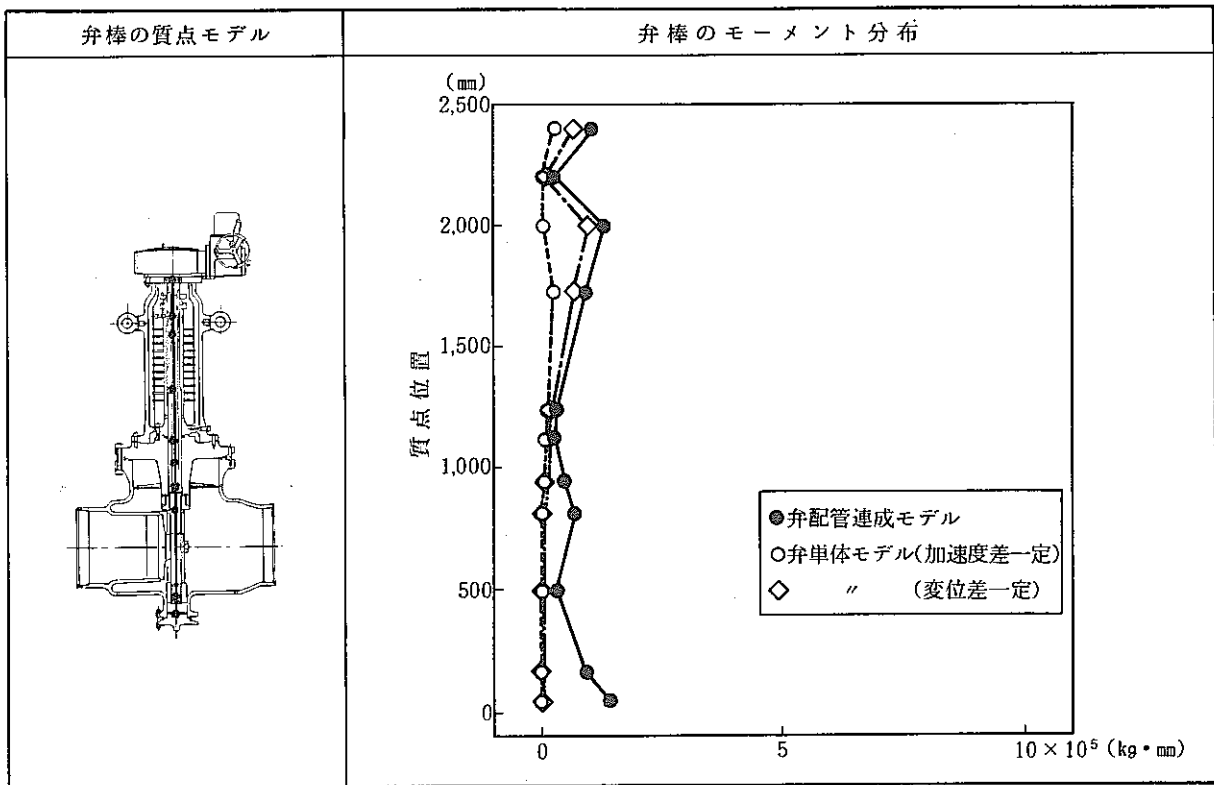


図2.1-7 22Bバタフライ弁・弁棒のモーメント分布（流路方向加振時）

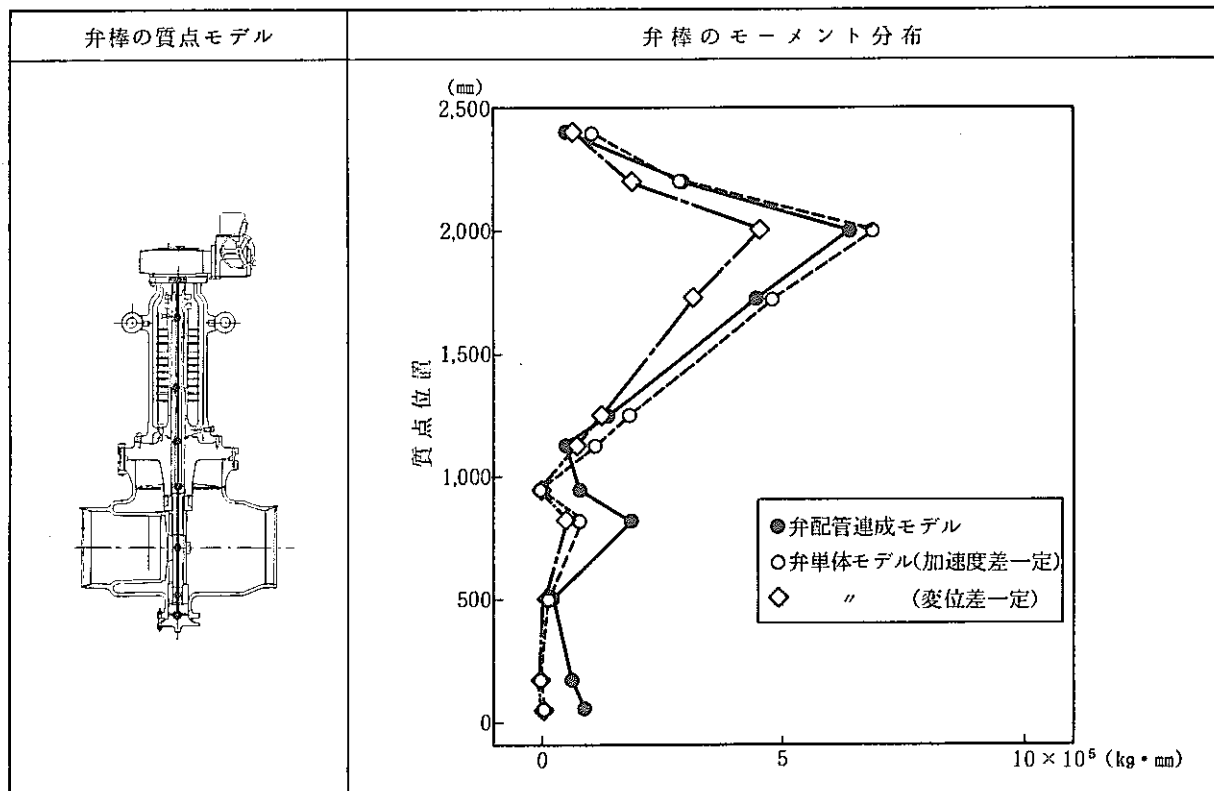


図2.1-8 22Bバタフライ弁・弁棒のモーメント分布（流路直角方向加振時）

ロッド部分を適切な重量に見積り、弁箱上端部への付加質量形式とする事により、実系の配管振動特性を良好に近似する事が可能である事、及びエクステンションロッド部の振動については、両端支持梁を用いて十分に把握する事が可能であるとの知見が得られている。

この事は、実系のエクステンションロッドを試験系にモデル化する場合には、弁の動的機能維持に関わるロッド部の応答特性を適切に模擬する事さえ出来れば、配管構造とは切り離して、独立的にロッド短縮化モデルとしての取扱いが可能である事を示している。

よって、5 Bアングル弁の供試体に於ては、弁の動的機能維持に影響を与えられられる実系のエクステンションロッド応答特性を検討した上で、ロッドを短縮化したモデル形状として取扱う事とする。

### (ii) エクステンションロッド短縮モデル化形状の設定

#### ① ロッド短縮形状

実系のエクステンションロッド長さを短縮するにあたっては、実系のロッドの振動特性を充分把握し、目標となる応答値を設定した上で試験系に於けるエクステンションロッド形状を定める。その場合、実系のロッド形状に対して出来るだけ似通った形とするために、本試験では、ロッド断面形状を実系のものと等しく採り、またロッド重量を実系のものと差が出ないようにするために、ロッド中央部に錘りを付加する構造とした。ロッド長さについては、実系の数分の一程度として約1800mm長さとした。

#### ② ロッド中央部の付加質量

次に、ロッド中央部の付加質量設定にあたって実系と試験系の振動特性を把握するために、両系に対する下記の応答項目について検討を行った。

- a) 弁箱上部の応答合加速度
- b) エクステンションロッド下端部の合負荷荷重
- c) エクステンションロッドの卓越固有振動数
- d) エクステンションロッド下端部の応答変位角
- e) エクステンションロッド中央部の応答合加速度
- f) エクステンションロッド中央部の応答変位置

これら6項目の中で、e)エクステンションロッド中央部の応答合加速度は、弁箱及び弁棒に対する影響を考えた場合に、項目b)エクステンションロッド下端部の合負荷荷重で代表する事ができる。また、f)エクステンションロッド中央部の応答変位置は、d)エクステンションロッド下端部の応答変位角で代表され得ると考えられる。従って、残りのa)~d)項について、実系ロッド重量とほぼ等しいロッド付加質量をもった試験系の応答特性と実系の値とを、同一の床応答スペクトルを用いた上で比較した。それを表2.1-5に示す。



表2.1-5 同一床応答スペクトル使用時の実系と試験系との応答特性比較

要因		モデル系	実系	試験系 (付加質量38kg)
a)	弁箱上部の 応答合加速度		1.9 G	1.1 G
b)	エクステンションロッド 下端部の合負荷荷重		77 kg	49 kg
c)	エクステンションロッド の1次固有振動数		11.3Hz	18.0Hz
d)	エクステンションロッド 下端部の応答変位角		0.6度	0.1度

表2.1-5に示されるように実系と試験系における各応答特性はオーダ的には一致しているが、各特性を一貫して定量的に合致させる事は困難である。従って本試験では、a)弁箱上部の応答合加速度を合わせる事を基本原則として、b)エクステンションロッド下端部の合負荷荷重についても合わせていく方針で試験を実施する。

図2.1-9、図2.1-10に上記の両応答特性について、ロッド中央部の付加質量を変化させた場合の比較を示す。実証試験に際しては加振入力レベルを上げる事により、実系の値にほぼ等しく模擬する方針とする。

以上より試験系の付加質量は、基本的に実系相当のロッド重量に等しくなる付加質量(38kg)とする。

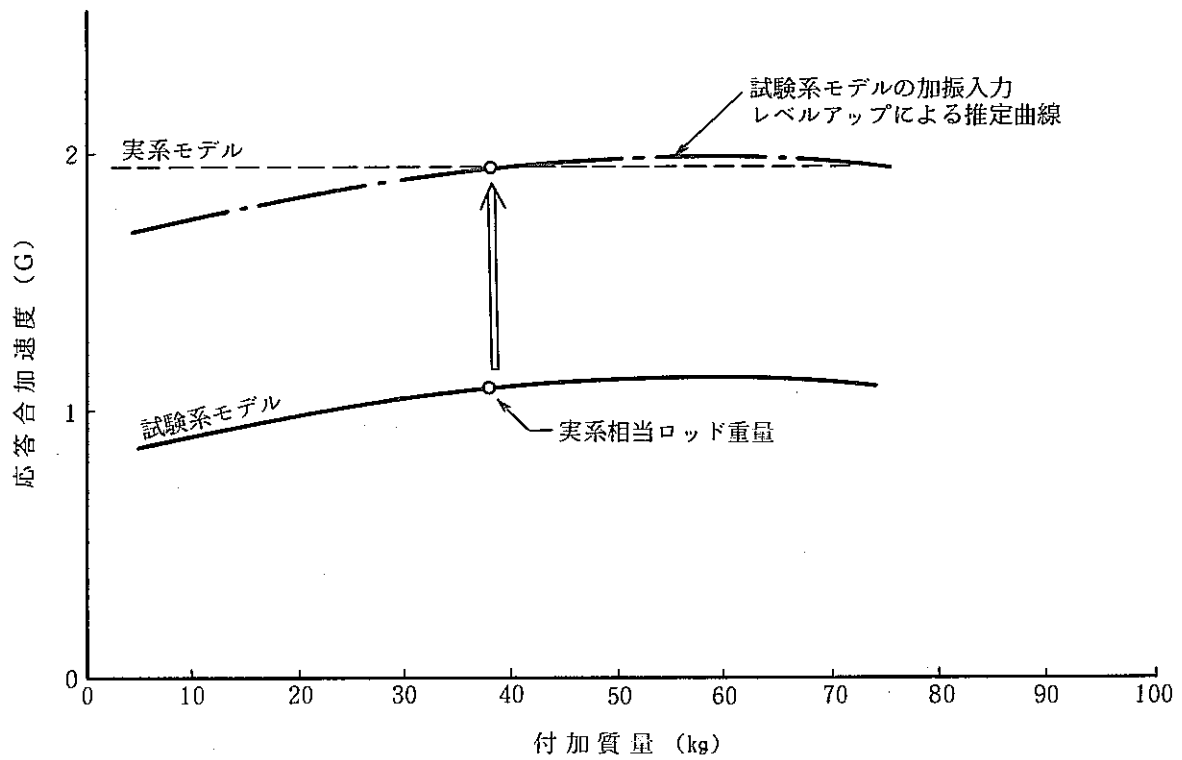


図2.1-9 弁箱上部の応答合加速度

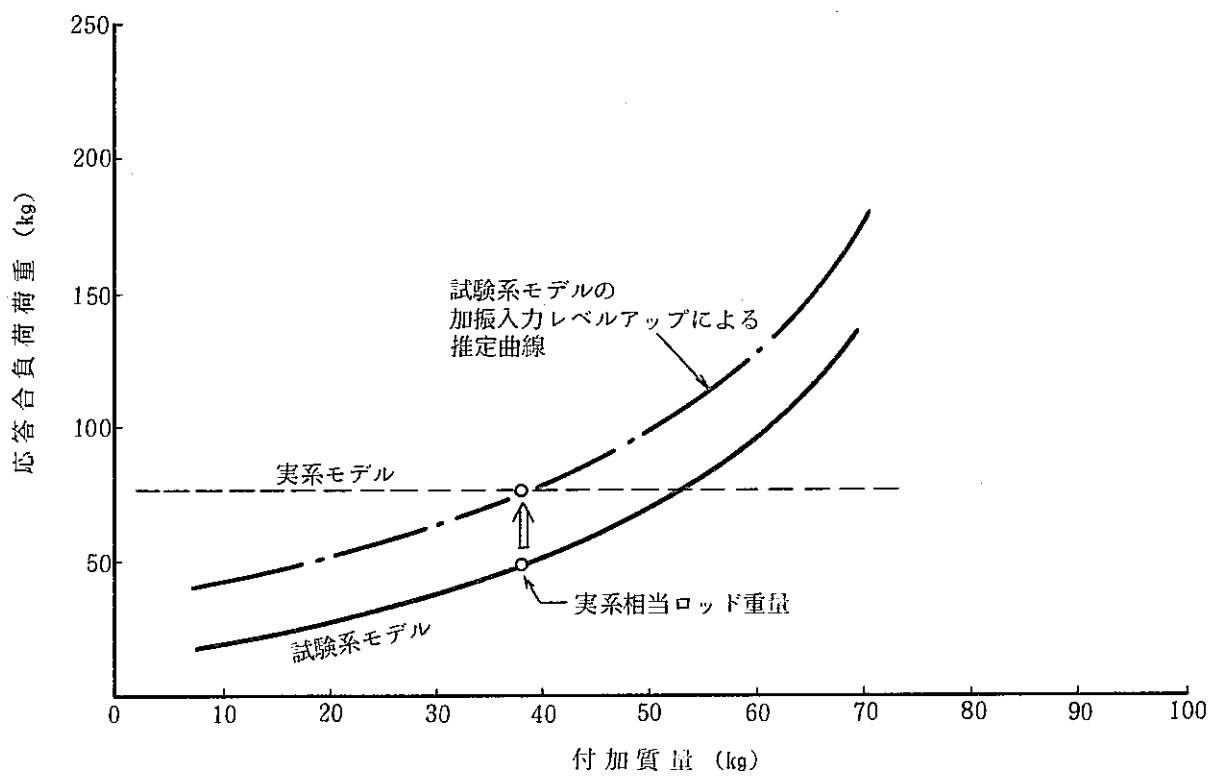


図2.1-10 エクステンションロッド下端部の合負荷荷重

## (2) 24 B 逆止弁の加振条件

24 B 逆止弁の加振条件は以下の通りである。

### (イ) 逆止弁の機能維持と試験の考え方

本弁は地震後においても、正常な逆止機能を有する必要がある、特に地震中に弁体と弁座が干渉したり、弁体が内部構造物、弁箱と干渉して、損傷したりしないことが必要である。

弁の構造から、弁体と弁座の干渉による損傷が最も起りやすいと云える。しかし、今までの検討では、弁体の振り子振動の周期は約1秒であり、その他の構造物の固有振動数は100Hz以上であることが判っている。従って、配管系に取付けられた弁として全体が10Hz~20Hzで振動しても、内部構造物の多くは剛性が高いので、弁全体の振動と共振することはなく、また固有振動数が1Hzと低い弁体も共振することはないので、唯一考えられるのは、弁体と弁座の相対変位応答に基づく干渉のみである。このように考えると、本弁の振動試験の基本的な考え方は次の通りとなる。

(i) 弁体の弁座との干渉が機能維持上重要であるので、その点に着目して試験する。この場合、弁の構造から弁の流れ方向に加振される方が重要と云え、その方向の加振加速度に着目して試験する。

(ii) 弁体及び弁の内部構造物の構造健全性は、弁のシール性と並ぶ重要な機能であるので、この点についても確認を要する。但し、構造健全性は現状の考え方で行けば、適切な応力解析で保証できるので、そのような解析を行えばよいと云える。そのためには、内部構造物の適切なモデル化ができるように、低いレベルでの振動試験を行い、内部構造物の振動特性を把握するものとする。

### (ロ) 試験条件

逆止弁の受ける加速度は、表2.1-6に示す値である。このうち弁体と弁座の干渉に大きな影響のある加速度は、弁の流れ方向に当たるZ方向の応答加速度であり、その値は弁のフランジ部に当たるⒶ点で1.4G、弁箱の中心のⒷ点で1.2Gである。従って、実証試験はZ方向にⒷ点で1.4Gに加振して行うものとする。図2.1-11に逆止弁の加振架構の概略図を示す。

内部構造物及び弁全体の振動解析用のモデル化の妥当性を検証したり、振動特性を把握したりすることに対しては、50 gal前後の低いレベルでX、Z方向の2通りに加振する。

表2.1-7に24 B 逆止弁の加振条件をまとめて示す。尚、本弁は一般弁と異なる特殊な24 B 逆止弁を対象としているので、裕度試験は試験可能な範囲で考え、設計加速度の約1.5倍で実施する。

表2.1-6 24B逆止弁の応答解析結果

(注1) 節点名称	地震応答加速度 (G)(注2)(注3)			
	X方向	Y方向	Z方向	合加速度
	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$	$\alpha_v$
Ⓐ	2.79	0.86	1.37	3.22
Ⓑ	1.34	0.86	1.17	1.98

(注1) 節点名称は、下図による。

(注2) 合加速度は、 $\alpha_v = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$  で定める。

(注3) 座標系は下図による。

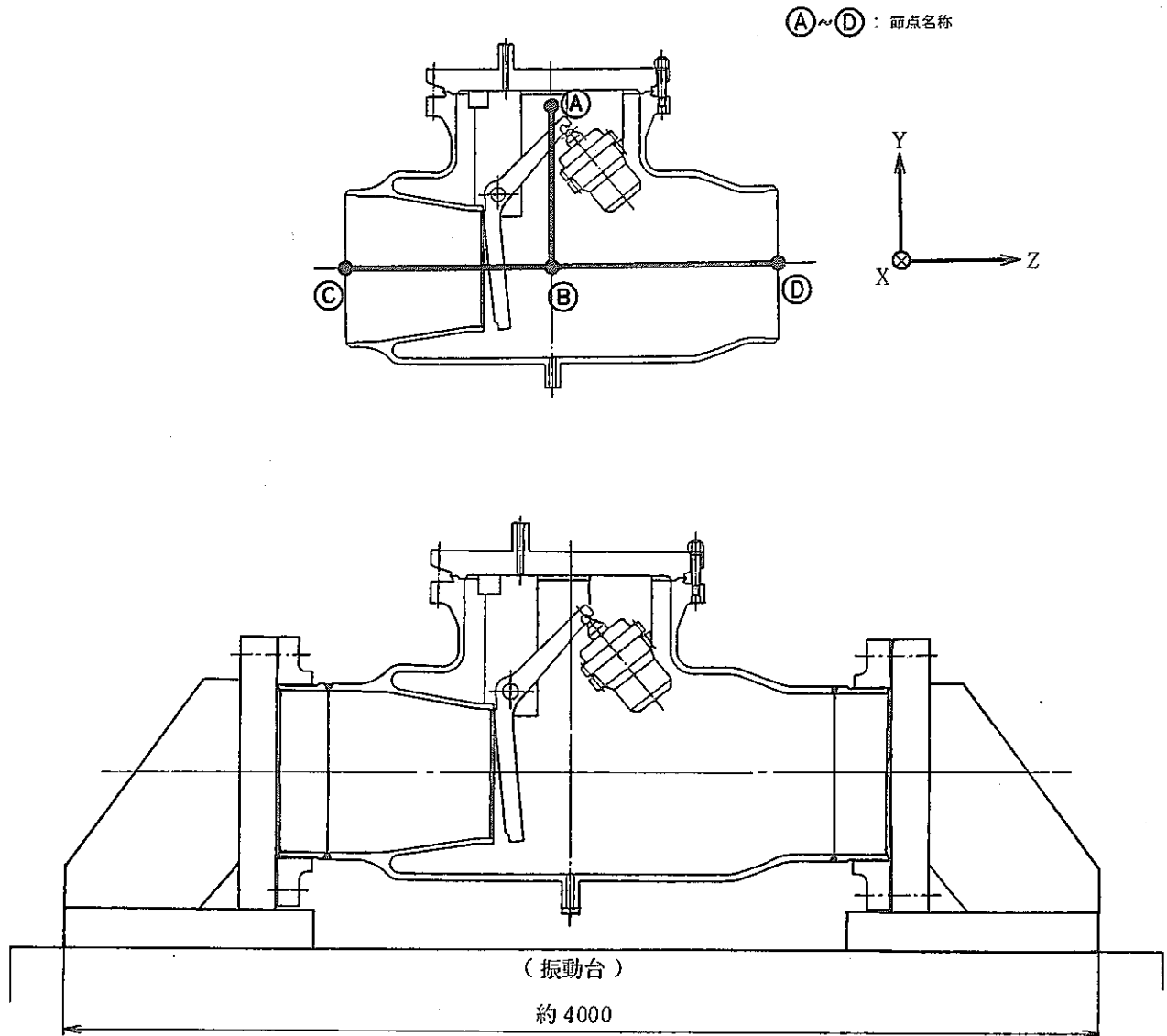


図2.1-11 24B逆止弁振動試験装置

表2.1-7 24B 逆止弁加振条件

No	試験目的	項目	内容	備考
1	振動特性試験	入力波	正弦波	
		レベル	約50 gal	
		振動数	5~30Hz	スイープアップ、ダウンの両方に実施する。
		スイープ速度	1decade/(20~30) min	
		加振方向	水平2方向(注)	注) 同時加振ではなく、2つの方向に独立に加振する。
		弁の開閉状態	—	逆止弁であるため、自然状態とする。(原則として部分開とする。)
2	実証試験	入力波	正弦波	
		レベル	1.4 G (注)	注) 逆止弁頂部の応答とする。
		振動数	1次固有振動数(注)	注) 1次の固有振動数が30Hzをより高い場合は30Hzとする。
		加振負荷時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平3方向(注)	注) 45方向も計画する。同時加振ではなく、3つの方向に独立に加振する。
		弁の開閉操作	—	
3	裕度試験	入力波	正弦波	
		レベル	約3 G (注)	注) 逆止弁頂点の応答とする。
		振動数	1次固有振動数	注) 1次の固有振動数が30Hzより高い場合は30Hzとする。
		加振負荷時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平2方向(注)	注) 同時加振ではなく、2つの方向に独立に加振する。
		弁の開閉操作	—	

### (3) 4BY型グローブ弁の加振条件

本弁はC/V隔離弁であるので、地震時の作動及び閉鎖後の耐漏洩性などが問題となっている。

#### (イ) 4BY型グローブ弁の機能維持と試験の考え方

本弁の機能は地震時において作動閉鎖し、C/Vバウンダリを閉塞することである。従って、地震時に所定の時間内で閉鎖することと、閉鎖後において弁座のシール性が要求される。

本弁の構造から地震時における作動不良としては、ボンネット又はヨーク部の地震時における変形などが過大となり、摺動摩擦が大きくなって所定の時間内に閉鎖できなくなるのが最も起り易いと考えられる。勿論、モータや電気品の不作動、破損により駆動できない事も起ってはならないので、これも確認が必要である。但し、これも電気品の固有振動数が20Hz以下と低く配管系と共振しない限り問題はないと考えられる。一般に駆動部及びそれに関連した電気品には原子力級品を用いるため、20Hz以上の固有振動数となっており、それ自体は問題はないが、それらを弁に取り付けたりする部分については、必ずしもそのようになっていない場合もあるので、試験によりチェックしておく必要がある。取付け部分を入れて20Hz以上になっていなければ、改良を施すのが適切である。

弁座のシール性が損われる場合は、1つには、弁座が配管反力で変形することである。しかし、これは静荷重試験で確認する事柄であるので、その結果から判断する。他には、弁体が弁箱と干渉して損傷する場合であり、これには2つの原因が考えられる。弁体と弁棒の成す振動系の固有振動数が低く配管系の振動と共振し、過大な応答変位を生じる場合である。しかし本弁の場合、後述の固有振動数の計算結果によると、この部分の固有振動数は約90Hzであり、共振は考えられずこのような事は生じないと云える。他は、駆動部の振動に基づいてボンネットが変形し、弁棒が相対的に振れて弁箱と干渉するものである。これは振動中の強制変位として現われるので、振動試験中に弁の開閉操作を行い、弁座のシール性が確保されるかどうか漏洩試験を行い確認するものとする。

以上のように検討して来ると、本弁の試験は以下のように実施すればよいと考えられる。

- (i) 弁の動作性能及びシール性能を確認するためには、ボンネット部の変形などがクリティカルであるので、そのような変形が模擬できる状態で閉鎖試験を行い、最後に弁座漏洩試験を実施する。
- (ii) 上記機能確保のための補足として、各部の振動性状を把握し、特に、電気品等の20Hz未満の振動が発生しないようにする。
- (iii) 本弁を配管系に設置する場合は駆動部にサポートを取付けているが、試験としては、上記(i)の考えに基づきサポートを取付けずに実施し、相対的な変位を又は加速度を模擬する方式で実施する。

#### (ロ) 試験条件

全体加振試験は、サポートを取付けずに実施する。図2.1-12に架構を示す。本弁の応答加速度は、表2.1-8に示す通りである。配管系の振動性状からX方向に地震入力を受ける場合のX方向の加速度が、相対差で最も大きく約0.3Gである。これは、表2.1-8の中の $\alpha_X$ の④点(モータ部)と③点(弁箱中央)

の差にはほぼ一致することが判かる。各方向の加速度の相対差は0.3Gを越えないので、相対差の最大合加速度値は大きくみても $\sqrt{3 \times 0.3} \approx 1G$ である。従って、④点と③点との間で1Gの相対差を生じるように弁の固有振動数近傍（1次は28.6Hz、2次は、54.4Hzで一部振動台の能力を越えているが、境界条件の差でもう少し低い値となるとみられる。）でX、Zの2方向にそれぞれ加振する実証試験を行う。

尚、裕度試験としては第3章に示す検討より、約5Gまで加振するものとする。但し、この場合でも、クリティカル点の応力が、材料の降伏点 $S_v$ を越えることはないと推定される。また、各部の振動特性を把握する試験には、24B逆止弁の場合と同様に約50galで正弦波スイープ加振を行う。

表2.1-9に4BY型グローブ弁の加振条件を示す。

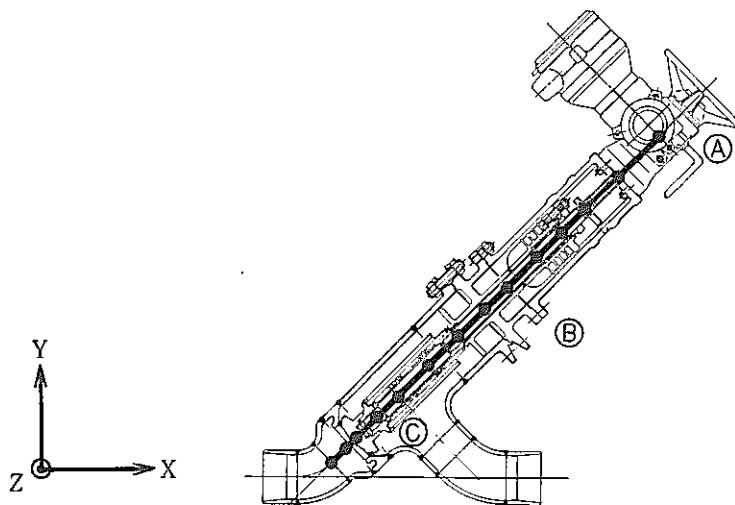
表2.1-8 4BY型グローブ弁応答解析結果

(注1) 節点名称	地震応答加速度 (G)(注2)(注3)			
	X方向	Y方向	Z方向	合加速度
	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$	$\alpha_v$
④	0.77	0.23	0.34	0.87
③	0.90	0.19	0.43	1.02
②	1.03	0.24	0.44	1.14

(注1) 節点名称は、下図による。

(注2) 合加速度は、 $\alpha_v = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$  で定める。

(注3) 座標系は下図による。



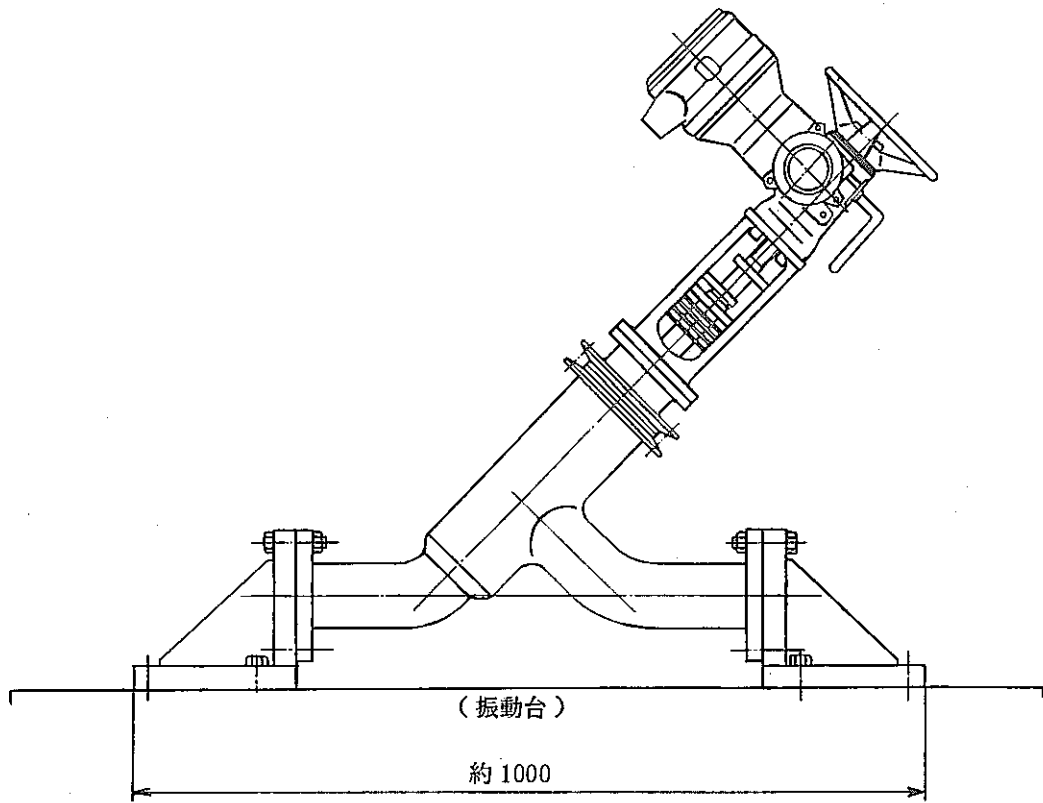


図2.1-12 4BYグローブ弁振動試験装置



表2.1-9 4BY型グローブ弁加振条件

No	試験目的	項目	内容	備考
1	振動特性試験	入力波	正弦波	
		レベル	約50gal	
		振動数	5~30Hz	スイープアップ、ダウンの両方に実施する。
		スイープ速度	1decade/(20~30)min	
		加振方向	水平2方向(注)	(注) 同時加振ではなく、2つの方向に独立に加振する。
		弁の開閉状態	開及び閉	
2	実証試験	入力波	正弦波	
		レベル	1G(注)	(注) 弁頂部の応答とする。
		振動数	1次固有振動数(注)	(注) 1次の固有振動数が30Hzより高い場合は30Hzとする。
		加振負荷時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平2方向(注)	(注) 同時加振ではなく、2つの方向に独立に加振する。
		弁の開閉操作	開→閉へ操作	
3	裕度試験	入力波	正弦波	
		レベル	5G(注)	(注) 弁頂部の応答とする。
		振動数	1次固有振動数(注)	(注) 1次の固有振動数が30Hzより高い場合は30Hzとする。
		加振負荷時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平2方向(注)	(注) 同時加振ではなく、2つの方向に独立に加振する。
		弁の開閉操作	開→閉へ操作	

#### (4) 22Bバタフライ弁の加振条件

本弁は、蒸器発生器の入口の2次主冷却系配管に設置され、地震時の作動及び閉止後の締切り性能などが問題となる。同一の型式の弁は蒸気発生器の出口の2次主冷却系配管にも設置されている。

##### (イ) 22Bバタフライ弁の機能維持と試験の考え方

本弁の機能は、地震時に閉止動作を行い、2次主冷却系の流路を切り換えることである。閉止後は、本弁のバイパス弁により少量の流量を維持する運転を行うこともあり、閉止後の締切り性能は余り高いものが要求されない。従って、地震中に所定の時間内で閉止することと、閉止後における所定の締切り性能を確認する必要がある。

本弁は、弁棒を回転させて作動するため多少の変形に対しても作動不良は起りにくいと考えられるが、地震中における作動不良としては、ボンネット又はヨーク部の地震中における変形などが過大となり、摺動摩擦が大きくなって所定の時間内に閉止できなくなるのが最も起り易いと考えられる。一方、モータや電気品の不作動や破損による作動不良が起らないことの確認の必要性は、4BY型グローブ弁の場合と同じである。

閉止後における締切り性能の確認のうち、配管反力による弁座の変形に関しては静荷重試験で確認する。一方、弁体と弁箱の干渉については、弁棒が上下で支持され高い固有振動数を有しており、配管系との共振による過大な応答変形は考えられないが、駆動部の振動に基づきボンネットが変形し、弁棒が相対的に振れ、弁箱と干渉する可能性は考えられる。しかしながら、本弁は地震発生後に閉止動作を始め、全閉までには60秒以上かかるため、一般的な地震の想定継続時間との関係で、全閉時には地震は終了していると考えられ、弁体と弁座の衝突による損傷は考慮する必要はなく、前述の変形が弾性範囲内であることを実測して確認すればよい。

以上の検討のように本弁の機能維持の考え方は、その機能及び構造の相異から4BY型グローブ弁とは異なる点もあるが、試験の実施方法については、4BY型グローブ弁の場合の(i)~(iii)項の考え方と基本的には同一でよい。

##### (ロ) 試験条件

全体加振試験は、サポートを外して実施する。図2.1-13に本弁の振動試験装置の概念図を示す。本弁の実系での応答解析結果は、表2.1-10に示す通りである。実系では弁頂部④点にX、Z両方向に、またヨーク下部⑤点にX方向にスナッパが設置されている。表2.1-10に示すZ方向の地震時には⑤点の応答加速度が幾分大きくなっているが、X方向の地震時には⑤点の応答加速度はスナッパのため抑えられている。全体の応答加速度のレベルは、X方向の地震でも、Z方向の地震でも同等である。

応答加速度差を安全側に考えて各方向成分の和(SRSS)で見ると、④~⑥間では約2.6G、④~⑤間では約2.9Gとなり、いずれもZ方向の地震時の方が大きい値を示している。一方、スナッパ付弁の加振方法の項で述べたように実系と変位差の最大値をあわせる条件で加振する場合、X方向の④~⑥間の変

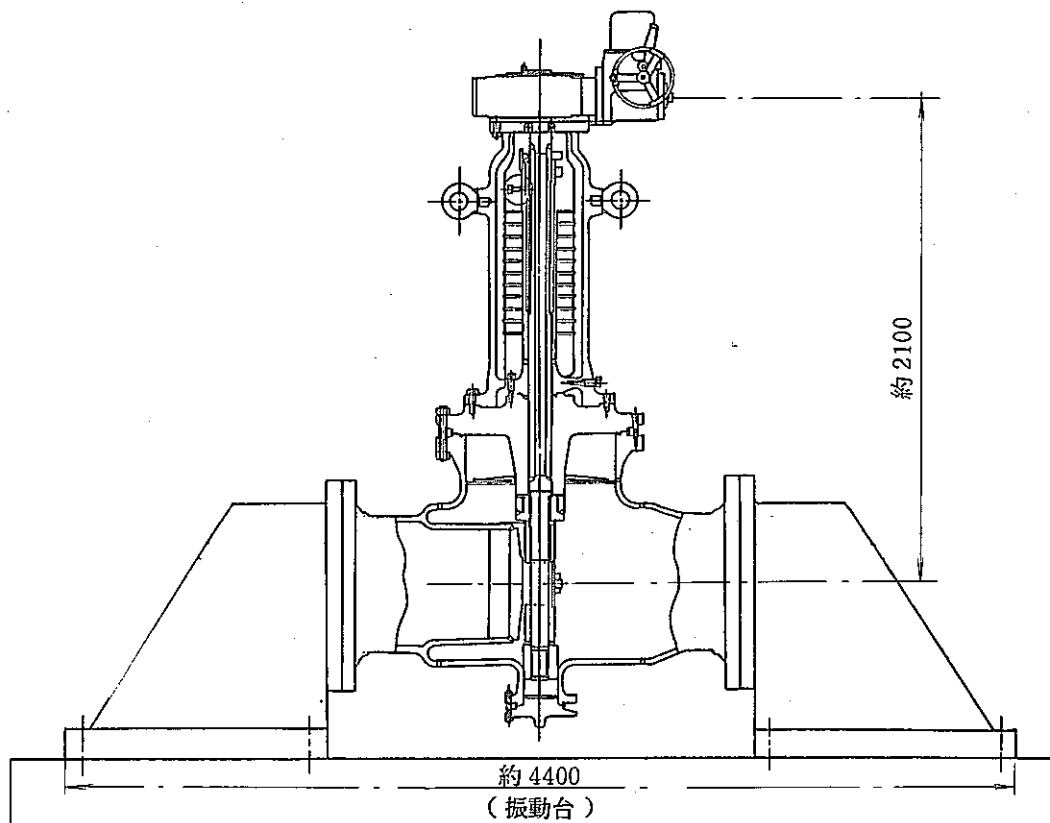


図2.1-13 22B バタフライ弁振動試験装置

位差約 2.9 mm に対応する X 方向加振の必要応答加速度約 7.6G が最大となり、これは弁駆動装置の許容加速度を上回るものである。このため、実系と X 方向の変位差を合わせた試験は全体加振試験では行わず、全体静荷重試験で確認するものとする。尚、Z 方向の変位差は④～⑥間で最大となり約 3.5 mm である。これに対応する Z 方向加振の必要応答加速度は約 2.5G であり、前述の応答加速度差の各方向成分の和の最大値よりは小さい。一方、表2.1-10に示すように駆動部の応答加速度の最大値は約 0.7G と小さい。

以上より、全体加振試験の実証試験では、応答加速度差の各方向成分の和の最大値約 2.9G より応答加速度を設定し、約 3 G まで加振する。

尚、裕度試験としては、約 5 G まで加振する。また、各部の振動特性を把握する試験では 20～50 gal 程度の入力加速度でステップ状に加振振動数を変化させる正弦波スイープ加振を行う。

表2.1-11に22B バタフライ弁の加振条件を示す。

表2.1-10 22Bバタフライ弁の応答解析結果

(注1) 節点名称	地震応答加速度 (G)(注2)			
	X方向	Y方向	Z方向	合加速度
	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$	$\alpha_v$
Ⓐ	0.12	0.71	0.40	0.82
Ⓑ	0.38	0.71	3.28	3.38
Ⓒ	0.44	0.71	2.93	3.05

(注1) 節点名称は下図による。

(注2) 合加速度は、 $\alpha_v = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$  で定める。

(注3) 座標系は下図による。

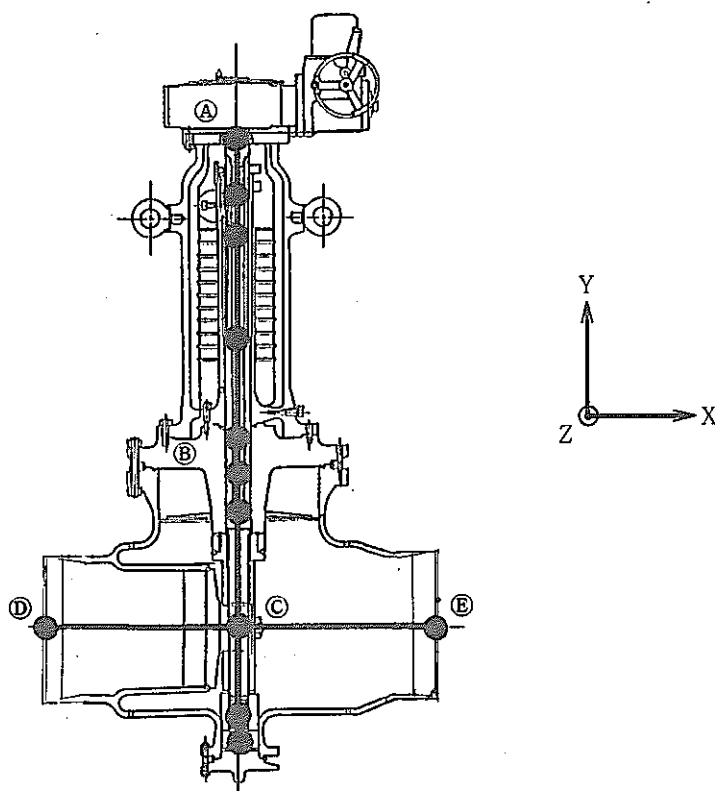


表2.1-11 22B バタフライ弁加振条件

No.	試験目的	項目	内容	備考
1	振動特性試験	入力波	正弦波	
		レベル	20~50 gal	
		振動数	5~30Hz	振動数はステップ状にあげてゆく。
		スイープ速度	1 decade/(20~30) min	
		加振方向	水平2方向	2方向に対し独立に加振する。
		弁の開閉状態	開及び閉	
2	実証試験	入力波	正弦波	
		レベル	3 G	弁項部の応答とする。
		振動数	加振方向の卓越固有振動数	卓越固有振動数が30Hzより高い場合は30Hzとする。
		加振付加時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平2方向	2方向に対し独立に加振する。
		弁の開閉操作	開→閉へ操作	
3	裕度試験	入力波	正弦波	
		レベル	5 G	弁項部の応答とする。
		振動数	加振方向の卓越固有振動数	卓越固有振動数が30Hzより高い場合は30Hzとする。
		加振付加時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平2方向	2方向に対し独立に加振する。
		弁の開閉操作	開→閉へ操作	

#### (5) 12B Y型グローブ弁の加振条件

本弁は、補助冷却設備の空気冷却器出口配管に設置され、地震時の作動及び地震後の作動が問題となる。

##### (イ) 12B Y型グローブ弁の機能維持と試験の考え方

本弁の機能は、地震時に開動作を行い、補助冷却設備の流路を確保し、地震後には補助冷却設備のナトリウム流量を一定に制御することである。従って、地震中に所定の時間内で全開となることと、地震後の円滑な開閉動作を確認する必要がある。

本弁の大きさは異なるが、4B Y型グローブ弁と同様な型式のものであり、地震中における作動不良の要因は4B Y型グローブ弁の場合と同一と考えられる。

地震後の弁座のシール性に対する要求は本弁の場合はないが、一般弁のデータを得るという観点から弁座漏洩試験も行うことにしている。

以上の検討から、本弁の試験の実施方法は、4B Y型グローブ弁の場合の(i)~(iii)項の考え方と基本的には同一とし、地震後の試験として、弁の開閉動作時間の確認を追加するものとする。

##### (ロ) 試験条件

全体加振試験は、サポートを外して実施する。図2.1-14に本弁の振動試験装置の概念図を示す。本弁

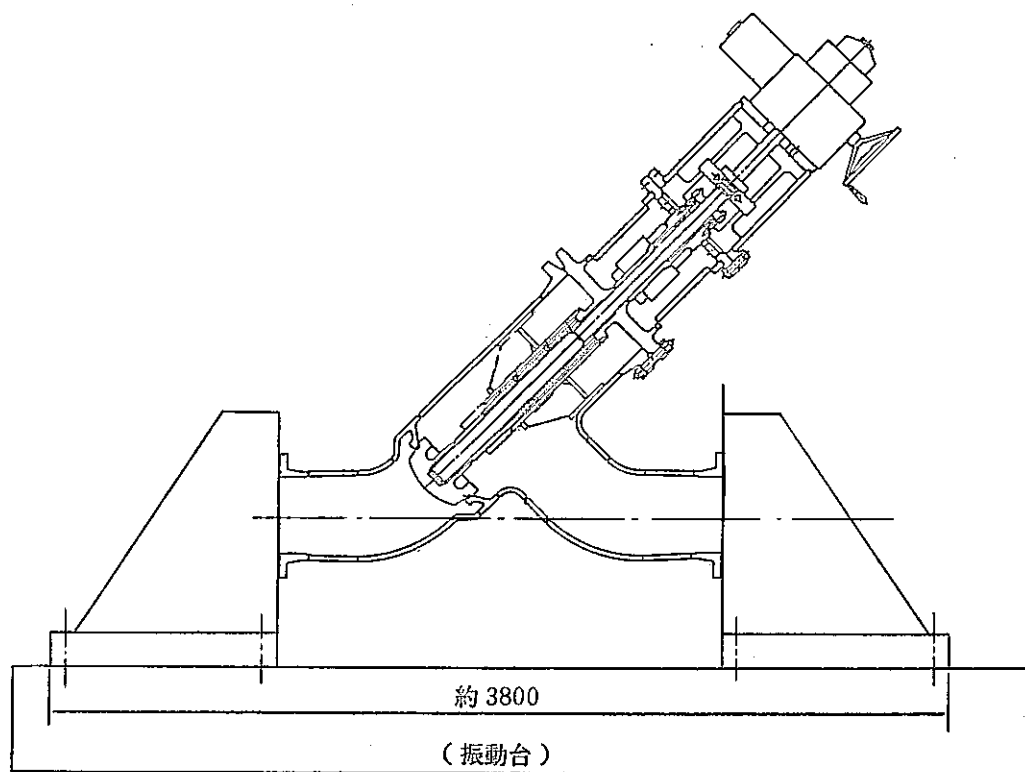


図2.1-14 12B Y型グローブ弁振動試験装置

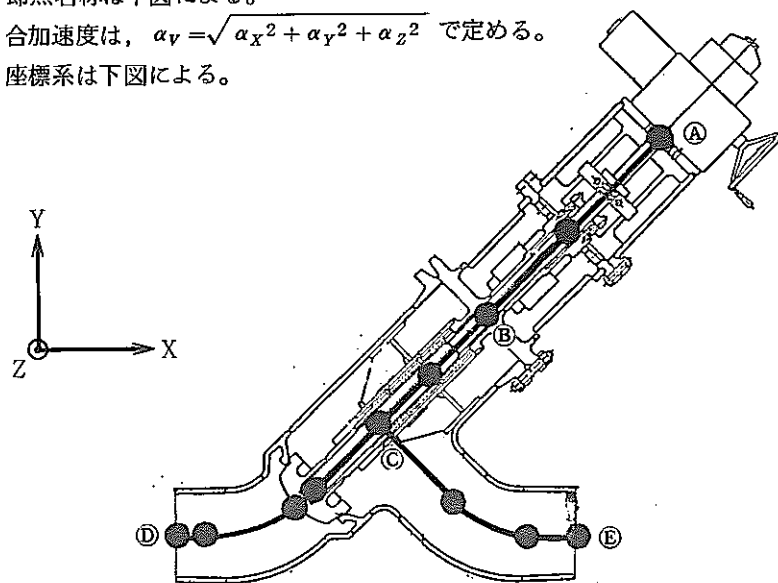
表2.1-12 12BY型グローブ弁の応答解析結果

(注1) 節点名称	地震応答加速度 (G)(注2)			
	X方向	Y方向	Z方向	合加速度
	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$	$\alpha_v$
Ⓐ	0.98	2.05	3.58	4.24
Ⓑ	1.64	1.67	3.55	4.25
Ⓒ	1.96	1.53	3.05	3.94
Ⓓ	2.20	1.33	2.41	3.52
Ⓔ	2.19	1.53	2.18	3.45

(注1) 節点名称は下図による。

(注2) 合加速度は、 $\alpha_v = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$  で定める。

(注3) 座標系は下図による。



の実系での応答解析結果は表2.1-12に示す通りである。実系では弁頂部Ⓐ点にX, Y, Zの3方向にスナッチャーが設置されている。表2.1-12に示すX方向の地震時には、配管系の振動特性との関係でZ方向に大きい応答を生じている。

弁頂部Ⓐ点と配管接続部Ⓓ, Ⓔ点の応答加速度差も、このX方向の地震時がZ方向の地震時の応答を上廻り、応答加速度差の各方向成分の和(SRSS)はⒶ~Ⓔ間で最大となり、約1.9Gである。

一方、実系と変位差の最大値をあわせる条件で加振する場合、Z方向加振の必要応答加速度は約3.5Gであり、X方向加振の必要応答加速度は約6.7Gである。従って、22Bバタフライ弁と同様に実系とX方向の変位差を合せた試験は全体静荷重試験で行うものとする。

以上より、全体加振試験の実証試験では、実系とZ方向の応答変位差を合わせるのに必要な応答加速度並びに表2.1-12に示す弁駆動部の応答加速度の最大値も考慮し約3.6Gまで加振する。

尚、裕度試験としては、約5Gまで加振する。また、各部の振動性状を把握する試験では20~50gal程度の入力加速度でステップ状に加振振動数を変化させる正弦波スイープ加振を行う。

表2.1-13に12BY型グローブ弁の加振条件を示す。

表2.1-13 12B Y型グローブ弁加振条件

No.	試験目的	項目	内容	備考
1	振動特性試験	入力波	正弦波	
		レベル	20~50 gal	
		振動数	5~30Hz	振動数はステップ状にあげてゆく
		スイープ速度	1 decade/(20~30) min	
		加振方向	水平2方向	2方向に対し独立に加振する。
		弁の開閉状態	開及び閉	開は全開と微開の2状態とする。
2	実証試験	入力波	正弦波	
		レベル	3.6 G	弁頂部の応答とする。
		振動数	加振方向の卓越固有振動数	卓越固有振動数が30Hzより高い場合は30Hzとする。
		加振付加時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平2方向	2方向に対し独立に加振する。
		弁の開閉操作	閉→開へ操作	
3	裕度試験	入力波	正弦波	
		レベル	5 G	弁頂部の応答とする。
		振動数	加振方向の卓越固有振動数	卓越固有振動数が30Hzより高い場合は30Hzとする。
		加振付加時間	一定値に到達後60秒保持	
		加振方向	水平2方向	2方向に対し独立に加振する。
		弁の開閉操作	閉→開へ操作	



#### (6) 5 B アングル弁の加振条件

本弁は、エクステンションロッド付きの弁であり、地震後の動的機能維持の確認を主目的とする。

##### (イ) 5 B アングル弁の機能維持と試験の考え方

本弁の動的機能要求は、地震後の弁開閉作動及び弁座のシール性にある。しかし、本試験に際しては地震時を含めた形で範囲を拡大し、より広範な弁機能維持特性を調べることとする。

本弁の構造からみて、地震時、地震後の作動不良としては、エクステンションロッド下端部から、弁箱上部(ステム)への荷重伝達が重要な因子になると考えられる。従って、実系ではエクステンションロッドの挙動と共にボンネット、ヨーク部の変形などが過大にならぬように、試験にあたってはこれらの部分をより以上に注目しておく必要がある。

当然乍ら、モータや電気品の故障、破損は弁機能喪失につながるが、当構造弁の場合、電気製品は弁箱とは設置床高さの異なったところに据付けられることから、弁箱及び配管系の応答とは切り離して考える事ができる。

弁座のシール性が損なわれる場合に想定できる原因の一つとして弁座が配管反力で変形することがあげられる。しかし、これは静荷重試験で確認され得る。

他には、弁体の振動により弁座部へ摩耗疵が生じたり、もっと過大な損傷を被る場合が挙げられる。本弁の場合、弁体の固有値は解析結果から50 Hz以上である事から、柔な配管系と共振する事は殆んど考えられない。しかし、弁箱と弁体との相対変形により両者が接触するパターンは有り得ると想定される。

従って、本加振試験では、弁箱を共振させて変形率を高めた試験を行なう。しかし、振動台性能の関係から弁箱の固有値を50 Hz以下に下げる必要があるので、弁箱頂部へ錘りを付加する事によってそれを満足させた上で加振試験を行う方針とする。

以上の事から、本加振試験では下記3点に留意して試験を行う事とする。

(i) 弁の動的機能及びシール性能を確認するためには、ボンネット部の変形及びエクステンションロッドからの荷重伝達が、良好に模擬され得る装置形状で試験を行う必要がある。

また、弁座漏洩試験は加振試験後に行い、シール性を確認する。

(ii) 電動機設置は、弁箱と干渉しないような特性をもつ架構の上に設置して、試験を行うこととする。

(iii) 加振時には、弁箱の応答加速度、エクステンションロッド下端部の剪断負荷荷重に注目する。

##### (ロ) 試験条件

図2.1-15に5 B アングル弁の振動試験装置の概略を示す。

本弁の配管系応答解析結果を表2.1-14に示す。

同表からわかる様に弁箱上端部(㊸点)で合加速度1.86G、エクステンションロッド下端部(㊸点)で合剪断負荷荷重約77kg発生しており、これらの値を基準にして弁機能維持確認のための実証試験を行う。尚、裕度試験としては、弁箱の応答加速度レベルを約5 Gに設定することにより加振を行う方針とす

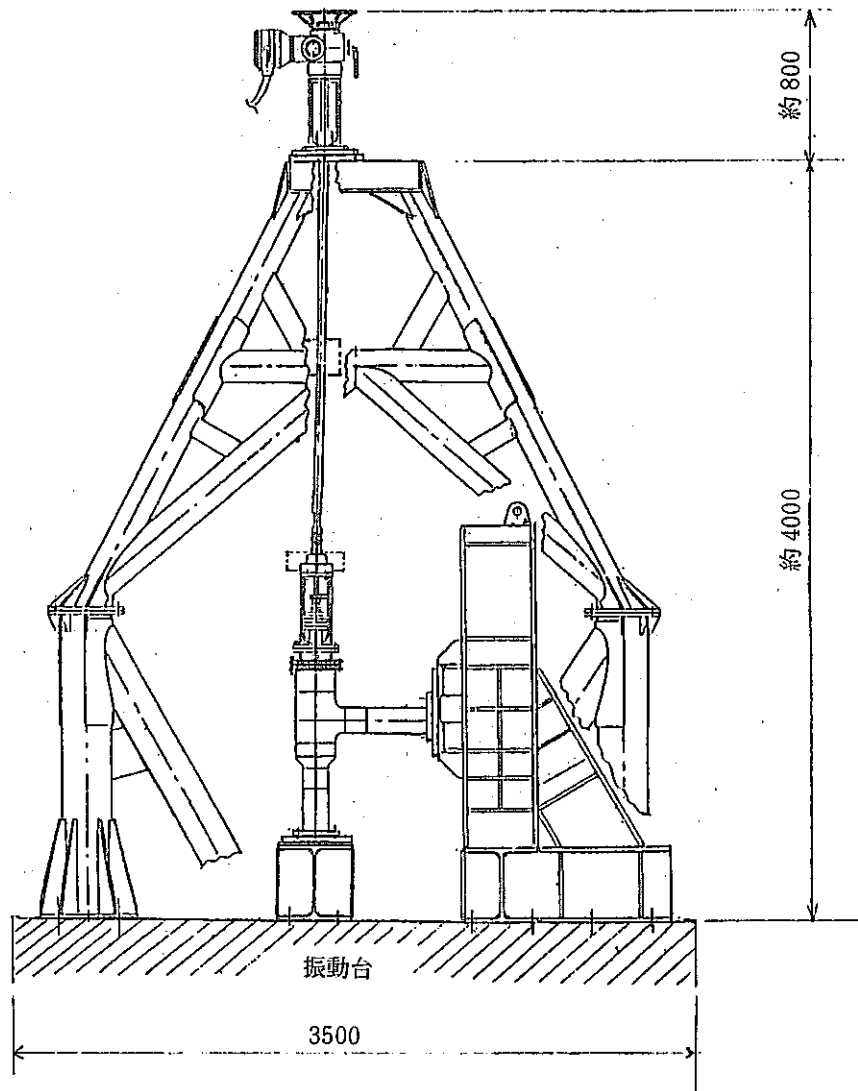


図2.1-15 5 Bアングル弁振動試験装置

る。尚、エクステンションロッド下端部(Ⓐ点)の合剪断負荷荷重は、実系の値に対して裕度率約 1.5 倍を目標とした試験を実施する。

表2.1-15に 5 Bアングル弁の加振条件の一覧を示す。

表2.1-14 5 B アンゲル弁応答解析結果

節点名称	地震応答加速度 (G) <sup>(注1), (注3)</sup>			
	X 方向	Y 方向	Z 方向	合加速度
	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$	$\alpha_v$
Ⓐ	0.61	1.74	0.31	1.86
Ⓑ	0.21	1.05	0.31	1.11
Ⓒ	0.01	0.72	0.31	0.79
節点名称	地震応答荷重 (kg) <sup>(注2), (注3)</sup>			
	X 方向	Y 方向	Z 方向	合負荷荷重
	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$F_v$
Ⓐ	23.59	73.54	0.13	77.23

(注1) 合加速度は  $\alpha_v = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$  で定める。

(注2) 合負荷荷重は  $F_v = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$  で定める。

(注3) 座標系, 節点名称は下図による。

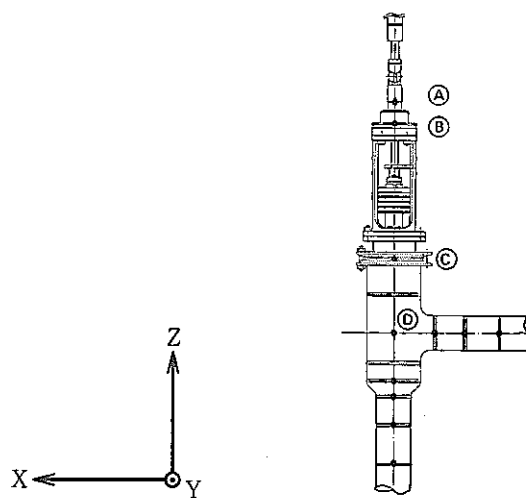


表2.1-15 5 B アンクル弁加振条件

No.	試験目的	項目	内容	備考
1	振動特性試験	入力波	正弦波	—
		レベル	50 gal	—
		振動数	1~50Hz	往復掃引を行なう。
		スイープ速度	1decade/(20~30)min	—
		加振方向	水平2方向	2方向に対して独立に加振する。
		弁の開閉状態	開及び閉	—
2	実証試験	入力波	正弦波	—
		レベル	約1.9G	弁箱上部の応答とする。
		振動数	注1) 弁箱の卓越固有振動数	卓越固有振動数が50Hzより高い場合は50Hzとする。
		加振負荷時間	一定値に到着後60秒保持	—
		加振方向	水平2方向	2方向に対して独立に加振する。
		弁の開閉操作	開 ⇄ 閉	—
3	裕度試験	入力波	正弦波	—
		レベル	5G	弁箱上部の応答とする。
		振動数	注1) 弁箱の卓越固有振動数	卓越固有振動数が50Hzより高い場合は50Hzとする。
		加振負荷時間	一定値に到着後60秒保持	—
		加振方向	水平2方向	2方向に対して独立に加振する。
		弁の開閉操作	開 ⇄ 閉	—

注1) 弁箱の応答加速度が所定値に達した時点でロッド下端部の合剪断荷重が所定値未満の時には、両特性を切り離して考え、エクステンションロッドの卓越固有振動数も考慮する。

### 2.1.3 計測点の検討

今回の研究(Ⅲ)の検討では、特に弁の機能維持と密接な関係のある各部の加速度及びひずみの計測を主体に計測点位置及びその仕様の検討を行った。尚、表2.1-1に示した計測項目を基本とし、これに各弁の試験条件、機能維持の内容を考慮し、更に地震時の応答を模擬した応力解析結果を参考にして計測点及びその仕様を定めた。また、分解点検の内容についても併せて検討した。以下に各弁毎の検討結果を示す。

#### (1) 24B逆止弁

24B逆止弁は、他の弁と異なり駆動部がないため、試験要領も表2.1-1に示したものと異なる。そこで、まず第一に24B逆止弁の試験要領の基本を表2.1-1に準じて表2.1-16に示すように定めた。計測点及びその仕様等は、本表に基づいて定めたので、以下にそれを示す。

表2.1-16 24B逆止弁の全体加振試験要領

	試験項目	測定項目	試験方法	備考
前 試 験	固有振動数の測定	固有振動数	打振法により、固有振動数を測定する。	弁の固有振動数を確認記録する。
	弁座漏洩試験	弁座漏洩量	弁の逆流方向より、水圧を加え、弁を閉じ、漏洩量が許容値以下であることを確認記録する。	試験前における初期の基礎データを得る。
本 試 験	作動確認試験	1.加振入力	振動台の加振入力を時系列的に記録する。	
		2.応答加速度	弁に取付けた加速度計の応答値を時系列的に記録する。	
		3.弁各部たわみ、応力	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦弁各部のたわみは弁に取付けた加速度計の時系列的記録より算出する。</li> <li>◦応力は弁に取付けた歪ゲージの時系列的記録より算出する。</li> </ul>	
		4.加振中の不具合の有無	加振中のボルト、部品のゆるみ、破損の有無、異常な振動等を確認記録する。	
後 試 験	弁座漏洩試験	弁座漏洩量	前試験と同様	
	分解点検	各部の異常の有無	弁を分解し、取付各部のゆるみ、部品の破損、摺動部のカジリ、弁体、弁座部のキズ等の有無を確認記録する。	

### (イ) 計測点

本弁は弁の構造上比較的剛であるので、弁全体として配管系と共振するような振動は生じない。しかし、配管系として耐震解析に使用している弁の偏心質量のモデル化が妥当かどうかを、偏心質量点の応答を測定して検討する事も必要である。このような事から、弁箱の主管に沿った中心軸上の加速度と、偏心質量の中心とみられる弁上蓋フランジ部の応答加速度を主体に測定する。また、弁体の振り子振動を除き弁の内部構造物の固有振動数は比較的に高く、問題のない事を確認するとの考えから、内部構造物の要所3点に加速度計を取付けるよう計画する。

ひずみは、弁箱のティー管構造部がクリティカルとなるので、そこを主体に測定する。図2.1-16に本弁の計測点を、表 2.1-16 に計測点仕様を示す。

### (ロ) 分解点検

試験の最終段階において実施する分解点検の内容について表2.1-18に示す。

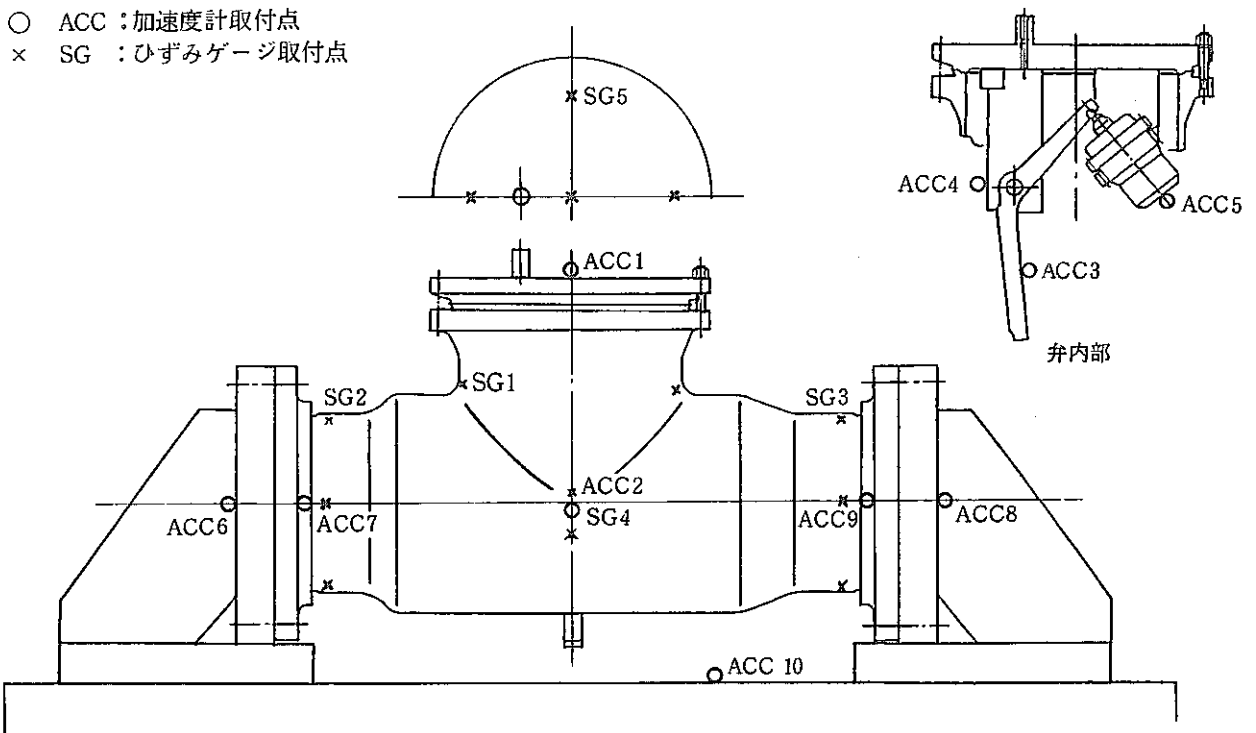


図2.1-16 24 B 逆止弁の計測点

表2.1-17 24B 逆止弁の計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け場所	主な計測目的	計測軸
加 速 度	ACC 1	弁 蓋 部	最大応答加速度発生部	2
	ACC 2	弁 中 央 部	相対加速度評価点	2
	ACC 3	弁 体	} 弁内部の振動確認(注1)	2
	ACC 4	ディスクハンガー		2
	ACC 5	ダッシュポット		2
	ACC 6	} 架 台		試験条件の確認
	ACC 7		2	
	ACC 8		2	
	ACC 9		2	
	ACC 10	加 振 台	試験条件の確認	2
動ひずみ	SG 1	ネ ッ ク 部	最大応力発生部	2
	SG 2	} 配 管 接 続 部	配管反力の確認	3
	SG 3		3	
	SG 4	弁 中 央 部	弁の変形量	2
	SG 5	弁 蓋	弁内部部品の影響	2

(注1) 可能な限り取付ける。

表2.1-18 24B 逆止弁の分解点検項目

点検項目	点 検 方 法
弁 体 弁 座	1. 目視により弁体, 弁座面の損傷の有無を確認記録し, 写真撮影する。 2. ディスクハンガーから弁体を取外し摺動部のキズを目視により確認記録する。
ボルトナット	1. 組立て時に合印をつけておき, ゆるみが無いことを確認記録する。 2. ボルトの傷, 曲り等を目視により, 確認記録後, 写真撮影する。
弁 箱 弁 フ タ	1. 予め, 弁フタフランジ部に合印を入れておき, フランジ間の間隔の変化をノギスで測定することにより, 変形の有無を確認記録する。

(2) 4BY型グローブ弁

本弁の試験要領の基本は、表2.1-1に示したものと同一である。以下表2.1-1に基づいて検討した計測点及びその仕様及び分解点検項目について示す。

(イ) 計測点

計測点は、振動解析及び弁箱の応力解析の結果を考慮して以下の様に定める。

① 固有振動数

弁の固有値解析の結果を表2.1-19に、そのモード図を図2.1-17に示す。1次及び2次の固有振動モードは弁全体が振れる振動であり、3次及び4次の固有振動モードは弁内部の弁棒が振れる振動である。弁棒が振れる振動は90Hz以上であり、耐震設計上剛であるとの判断から無視してよいものである。これに対し、1次、2次モードも20Hzを越えているが、弁の地震時応答を模擬するため、弁の駆動部が流れ直交方向に振れる1次固有振動数及び流れ方向に振れる2次の固有振動数近傍の30Hzでそれぞれ正弦波連続加振する。計測点は以上のことを考慮して、図2.1-18の様な位置に加速度計を取付ける。また、計測点仕様を表2.1-20に示す。

② 各部のたわみ、応力

加振時には、駆動部に発生するせん断力が、弁の変形を支配すると考えられる。そのため歪ゲージの取付け位置は、弁上部にせん断力が作用した応力解析結果により決定する。応力解析結果を図2.1-19に示す。これによると弁座下部近傍及び弁箱のティー管構造部に高応力が発生しているため、この点を応力検討の注目点として歪ゲージを取付ける。

図2.1-18に計測点を、表2.1-20に各点の主な計測点仕様を示す。

③ 弁座漏洩量

弁座漏洩量の測定は設計圧力にて実施し、正逆両方向で加圧して漏洩量を計測する。加圧系を図2.1-18に示す。

試験は常温の水を使用して実施するので、その許容漏洩量は実機の窒素ガスに対して定められている許容漏洩量から換算することが必要である。物性値及び試験条件に関する換算を行うと、許容漏洩量は4 ml/min(8 atg, 常温の水)となる。

(ロ) 分解点検

本弁の分解点検項目を表2.1-21に示す。

表2.1-19 4BY型グローブ弁の固有振動数、刺激係数

(弁開の状態)

項目	モード	1次	2次	3次	4次
	固有振動数 (Hz)		28.6	54.4	94.4
刺激係数	X	0.0	0.057	0.0	-0.018
	Y	0.0	-0.053	0.0	0.019
	Z	0.076	0.0	0.028	0.0



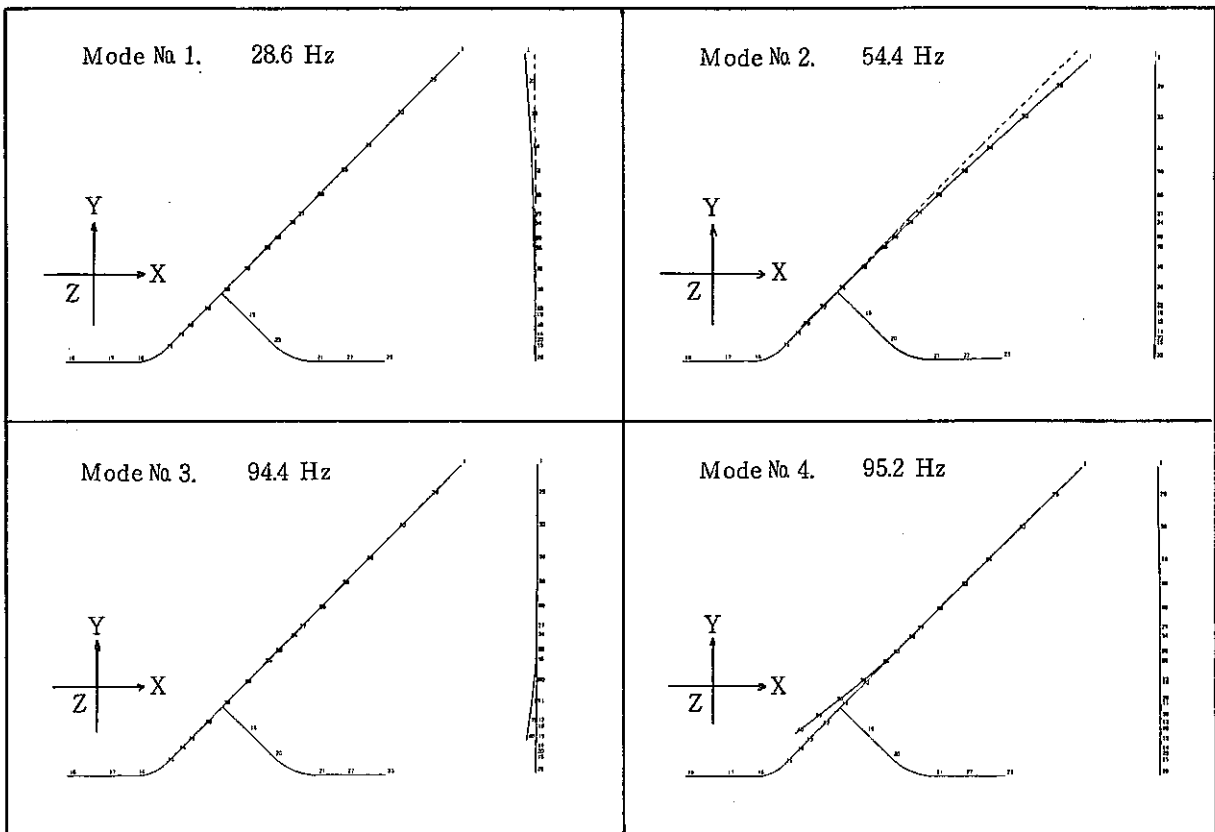


図2.1-17 4BY型グローブ弁振動モード図

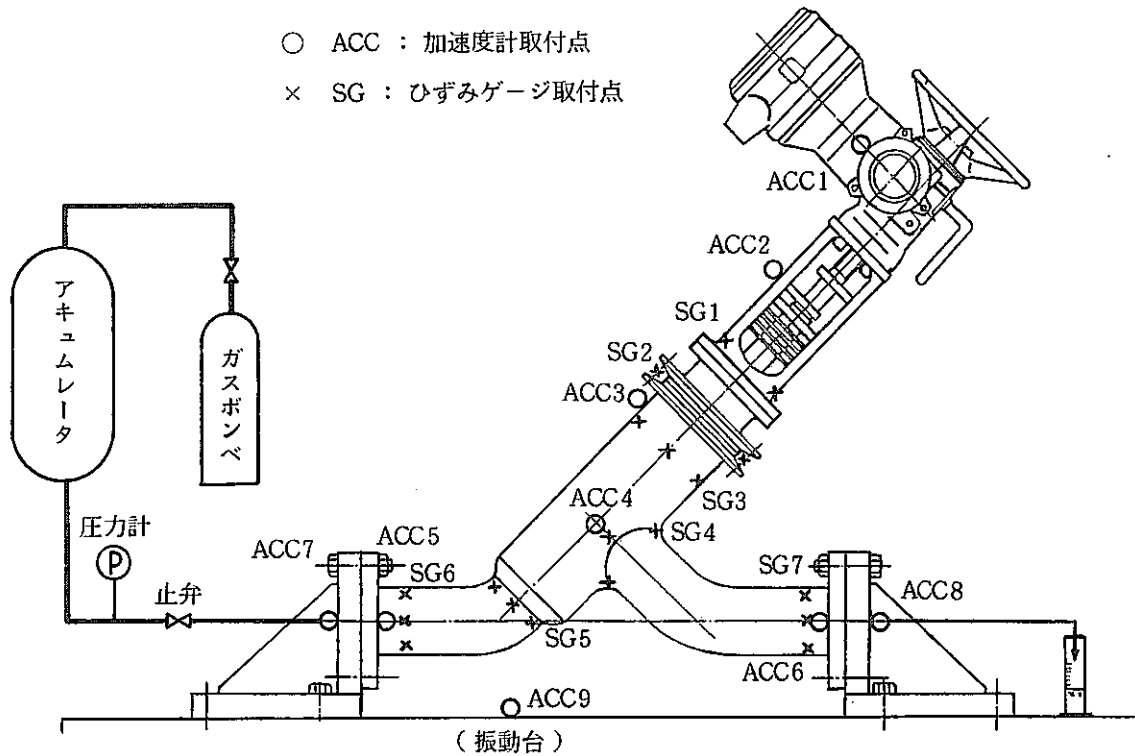


図2.1-18 4BY型グローブ弁の計測点

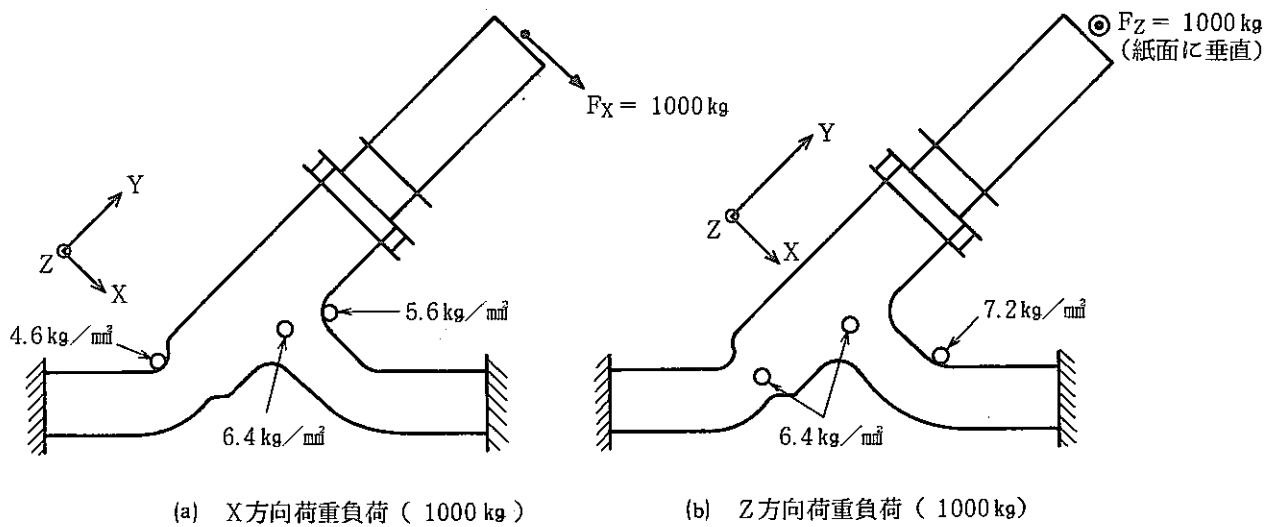


図2.1-19 4BY型グローブ弁の応力解析結果

表2.1-20 4BY型グローブ弁の計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け位置	主な計測目的	計測軸
加速度	ACC 1	駆動用モータ	最大変位箇所	2
	ACC 2	ヨーク中央部	1次, 2次モードの確認用 (ボンネット部の剛性検討用)	2
	ACC 3	弁箱上部	"	2
	ACC 4	弁座付近	弁体と弁座の干渉状態	2
	ACC 5	架台	加振条件の確認	2
	ACC 6			2
	ACC 7			2
	ACC 8			2
	ACC 9	加振台	"	2
動ひずみ	SG 1	ヨーク付け根部	高圧力発生部	3
	SG 2	ボンネット締付けボルト	ボルト変形量の測定(注1)	1
	SG 3	弁箱上部	弾性解析上の評価点	3
	SG 4	弁座下部近傍	高応力発生部(注2)	3
	SG 5	弁箱構造部	" (注2)	3
	SG 6	配管接続部	配管反力の確認	3
	SG 7			3

(注1) ボルトの伸びはゲージが貼れる場合にのみ実施する。

(注2) この歪ゲージには、塑性歪ゲージを取付ける。

表2.1-21 4BY型グローブ弁の分解点検項目

点検項目	点検方法(注1)
弁体 弁座	B: 弁体は、目視により弁体の損傷の有無を確認記録後に写真撮影をする。 弁座は、写真撮影するのは不可能であるので、目視による観察記録のみとする。
ステム	A: 目視できる範囲で、曲り、ねじりの有無を確認記録する。 B: 摺動傷、曲り、ねじりの有無を目視により確認記録し、ノギスにより数ヶ所の寸法を計測後写真撮影をする。
ボルトナット	A, B: 組立て時に合印をつけておき、ゆるみがないことを確認記録する。 B: ボルトの傷、曲りの有無を目視により確認記録後写真撮影する。
グランドパッキン部	B: パッキン摺動面のステム側の焼付の有無を確認記録する。
弁箱, 弁フタ	A, B: 予め弁フタフランジ部に合印を入れておき、フランジ間の間隔の変化をノギスで測定し変形の有無を確認記録する。
ヨーク	A: 数ヶ所の寸法を測定し、変形の有無を確認記録する。 B: 径の測定とフランジ面の損傷の有無を確認記録する。
駆動装置	A, B: 正常に動くことを確認記録し、特に分解しないこととする。

(注1) 記号A, Bの意味は次の通りである。

A: 必要に応じて、試験途中に実施する検査である。

B: 試験終了時に実施する検査である。

(3) 22Bバタフライ弁

本弁の試験要領の基本は、表2.1-1に示したとおりである。

以下、表2.1-1に基づいて検討した計測点とその仕様及び分解点検項目について記す。

(4) 計測点

計測点は、振動解析及び弁箱の応力解析の結果を考慮して以下のように定める。

① 固有振動数

弁の固有値解析の結果を表2.1-22に、そのモード図を図2.1-20に示す。

表2.1-22 22Bバタフライ弁の固有振動数・刺激係数

項目	モード	1次	2次	3次	4次
	固有振動数 (Hz)		13.4	25.5	80.3
刺激係数	X	0.000	0.256	-0.002	0.054
	Y	-0.000	-0.000	0.001	0.000
	Z	0.244	0.000	0.152	0.071

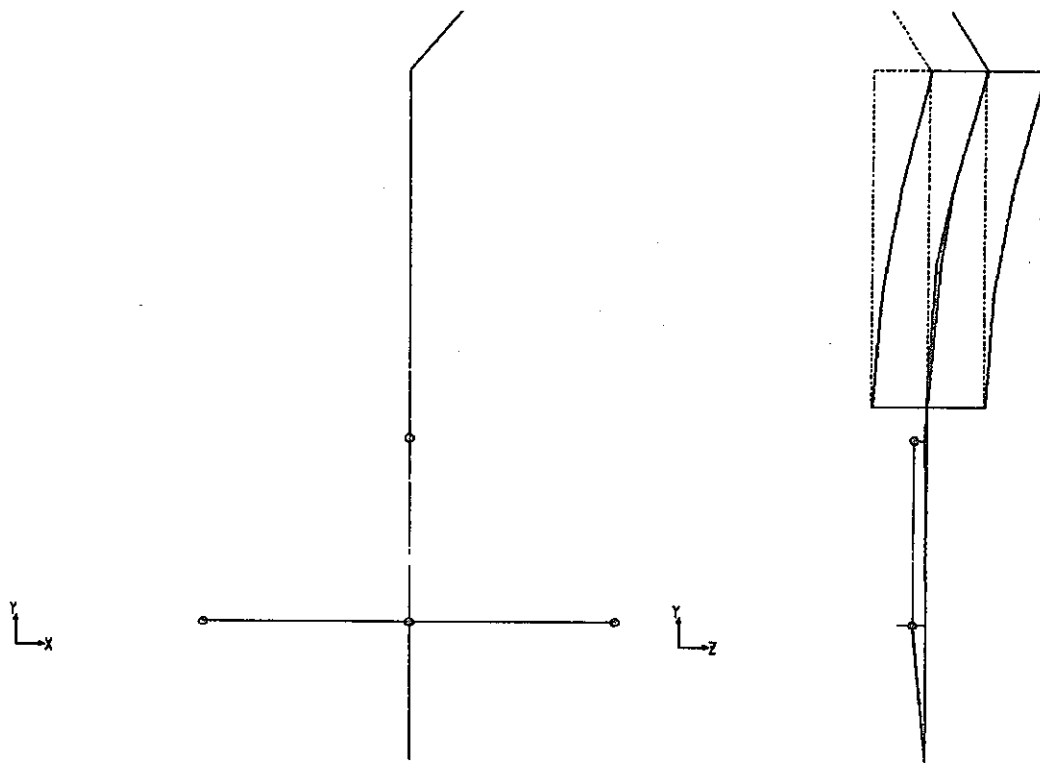


図2.1-20(1/4) 22 Bバタフライ弁の1次振動モード図

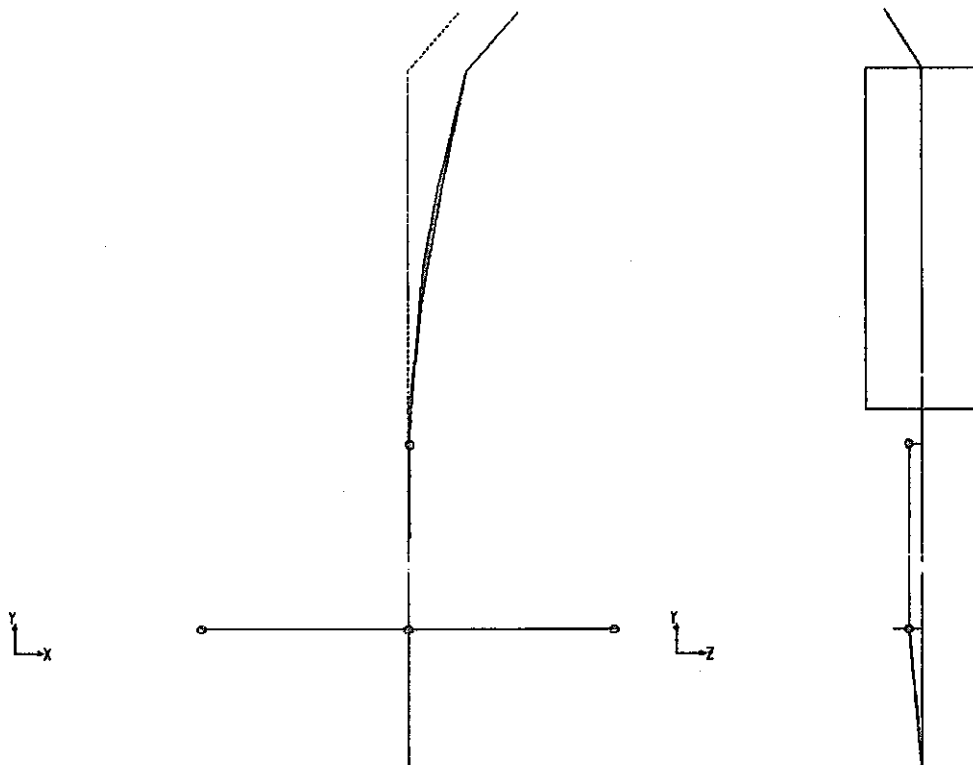


図2.1-20(2/4) 22 Bバタフライ弁の2次振動モード図

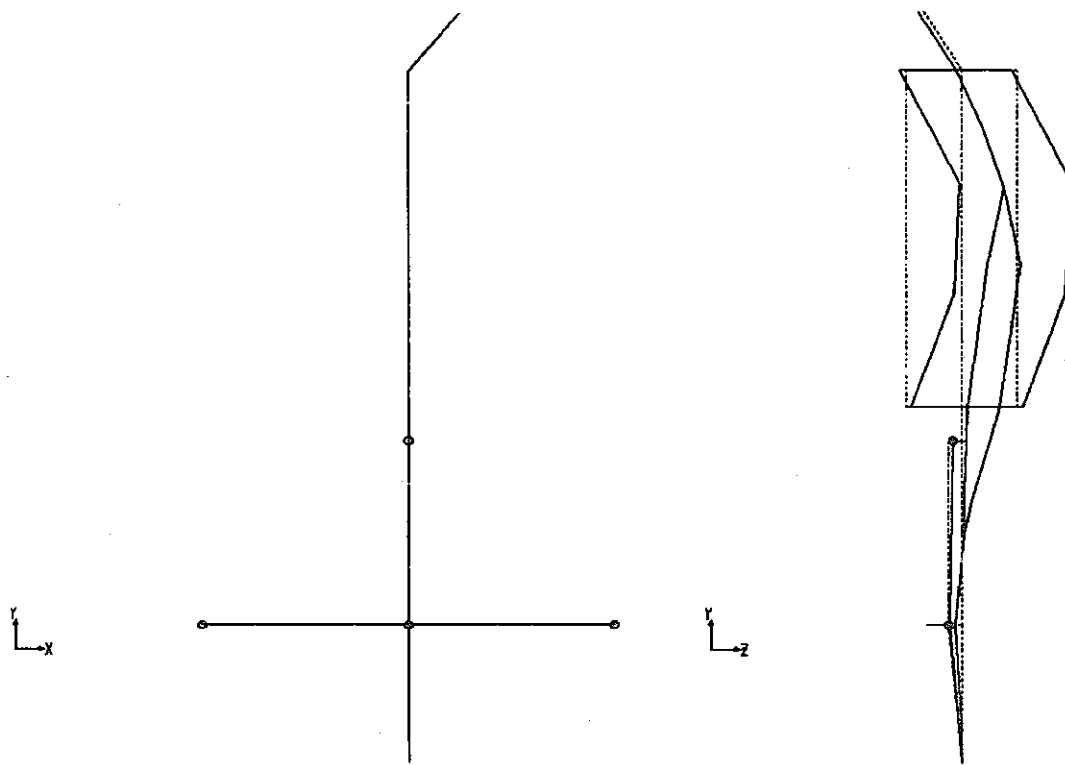


図2.1-20(3/4) 22 B バタフライ弁の3次振動モード図

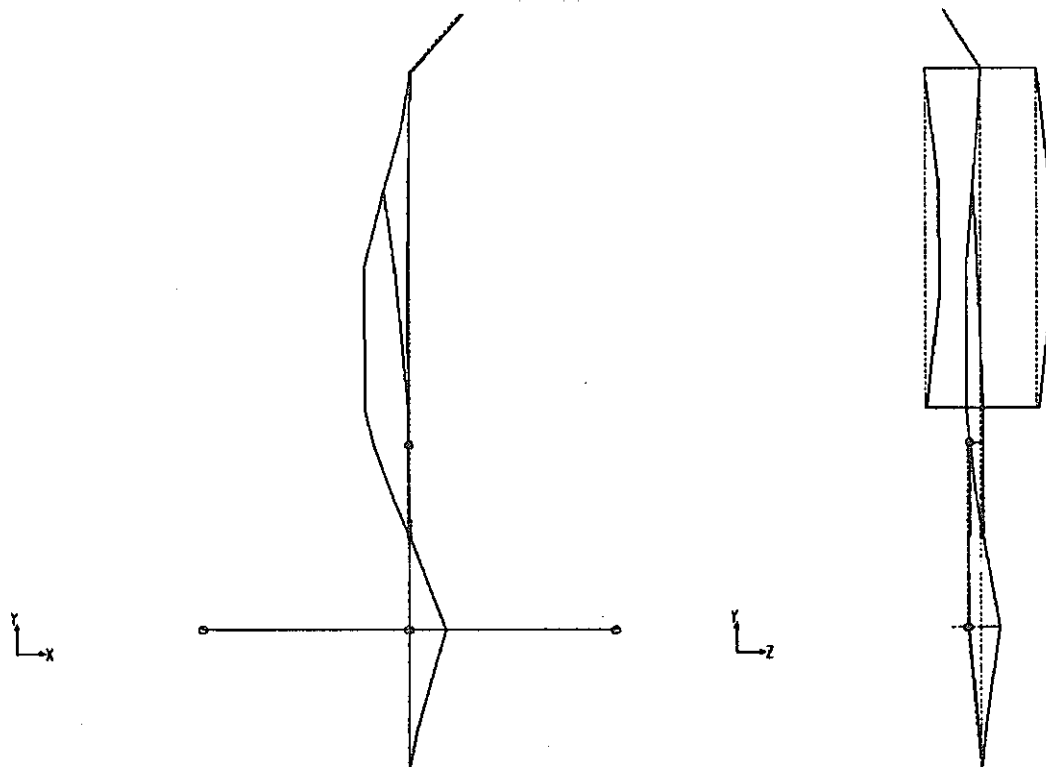


図2.1-20(4/4) 22 B バタフライ弁の4次振動モード図

1次及び2次のモードは弁全体が振れるモードであり、1次は流路直角方向の振れ、2次は流路方向の振れである。

3次及び4次モードは、弁頂部を節とする振れであるが、80 Hz以上である。

2次モードは20 Hzを超えているが、弁の地震時応答の模擬として、流路直角方向に1次の固有振動数で、また流路方向に2次の固有振動数でそれぞれ正弦波加振する。

計測点は以上のことを考慮して図2.1-21に示す位置に加速度計を取付ける。

また主な計測仕様及び目的を表2.1-23に示す。

### ② 各部たわみ、応力

加振時には、弁頂部の振れが弁箱の変形を支配していると考えられる。このため、ひずみゲージの取り付け位置は、弁駆動部に荷重が作用した場合の応力解析結果を参照して決定する。応力解析結果を図2.1-22に示す。

図2.1-21に計測点を表2.1-23に主な計測点仕様を示す。

### ③ 弁座漏洩量

弁座漏洩量の測定は、弁閉状態で一定時間加圧し漏洩量を測定する。

試験は、常温の水を用いて実施し、許容弁座漏洩量はNaに対し規定されている1,000 ml/minよりNaと水の粘性係数の差を考慮して設定する。

### (ロ) 分解点検

本弁の分解点検項目を表2.1-24に示す。

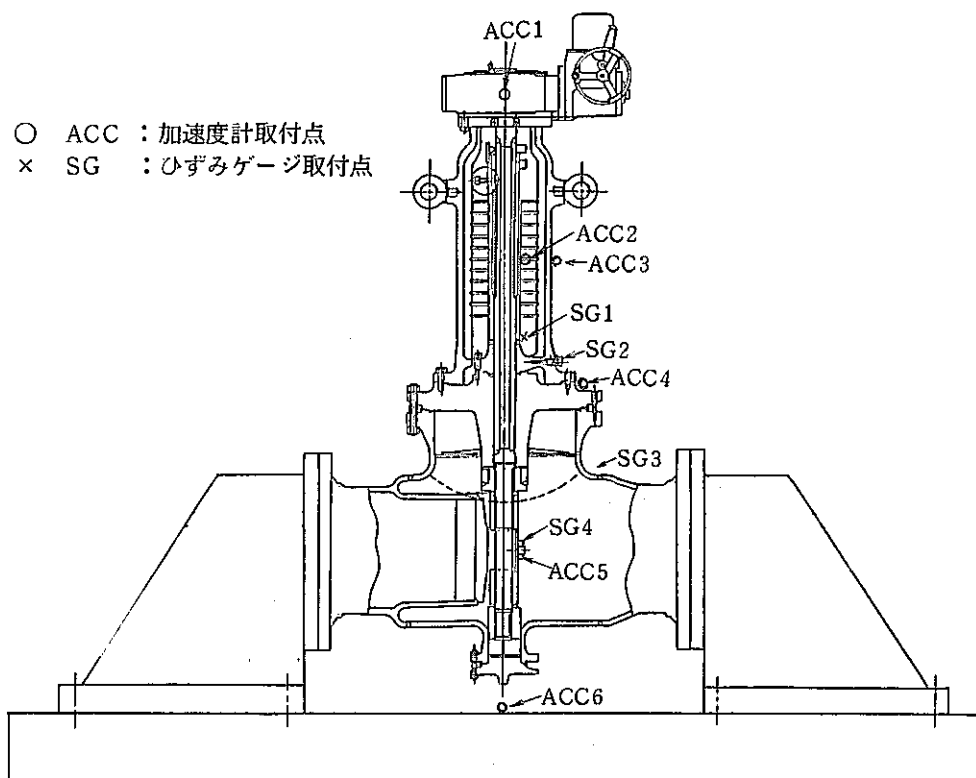
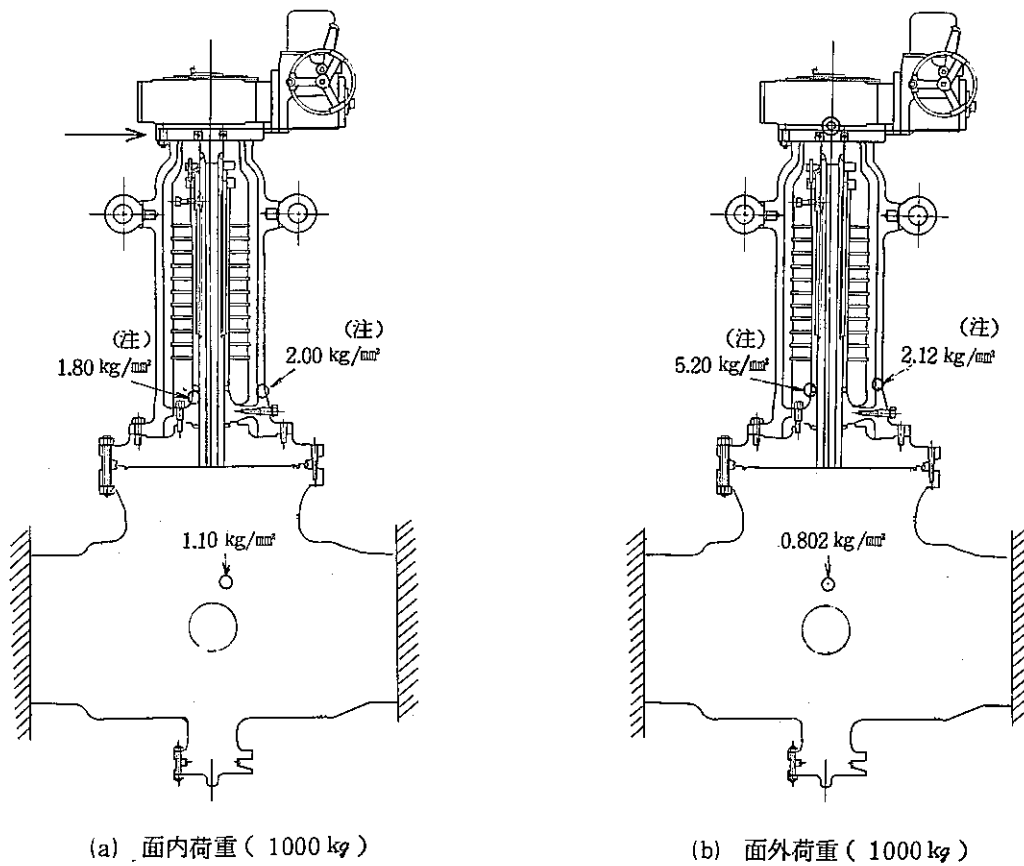


図2.1-21 22Bバタフライ弁の計測点



(注) ヨーク部の応力は、梁モデルにより  $\sigma = M/Z$  で算出したものであり、応力集中係数は考慮していない。

図2.1-22 22B バタフライ弁の応力解析結果

表2.1-23 22B バタフライ弁の計測点仕様

計測項目	計測点番号	取り付け位置	主な計測目的	計測軸
加 速 度	ACC 1	駆 動 装 置	最大変位箇所	2
	ACC 2	スタフィンボックス	1次, 2次モードの確認	1
	ACC 3	ヨーク中間部	"	1
	ACC 4	ボンネットフランジ	"	1
	ACC 5	弁箱中央部	"	1
	ACC 6	加 振 台	加振条件の確認	1
(注1) ひ ず み	SG 1	スタフィンボックス下部	高応力発生部	3
	SG 2	ヨーク下部	"	3
	SG 3	弁箱フランジ下部コーナ部	"	3
	SG 4	弁箱中央部	"	3

(注1) ひずみ計測点については、試験装置との関係で調整する可能性がある。

表2.1-24 22B バタフライ弁の分解点検項目

点検箇所	点検方法 (注1)
弁体 弁座	B : 弁体は、目視により弁体の損傷の有無を確認記録する。 弁座については、目視による観察を行ない記録する。
ステム	A : 目視できる範囲で、曲り、ねじりの有無を確認記録する。 B : 摺動傷、曲り、ねじりの有無を目視により確認し、ノギスにより数ヶ所の寸法を計測後写真撮影をする。
ボルトナット	A, B : 組立て時に合印をつけておき、ゆるみがないことを確認記録する。 B : ボルトの傷、曲りの有無を目視により確認記録後写真撮影する。
グランドパッキン 部及びブッシュ類	B : パッキン摺動面のステム側焼付の有無を確認記録する。
弁箱 弁フタ	A, B : 弁箱、弁フタの相対的な変形の有無を確認記録する。
ヨーク	A : 数ヶ所の寸法を測定し、変形の有無を確認記録する。 B : 径の測定とフランジ面の損傷の有無を確認記録する。
駆動装置	A, B : 正常に動くことを確認記録し、特に分解しないこととする。

(注1) 記号A, Bの意味は次の通りである。

A : 必要に応じて、試験途中に実施する検査である。

B : 試験終了時に実施する検査である。

#### (4) 12B Y型グローブ弁

本弁の試験要領の基本は表2.1-1に示したとおりである。以下、表2.1に基づいて検討した計測点とその仕様及び分解点検項目について示す。

##### (1) 計測点

計測点は、振動解析及び弁箱の応力解析の結果を考慮して以下のように定める。

本弁は、大きさは異なるが、4B Y型グローブ弁と同様な形式のものであり、振動特性も類似と考えられる。このため計測点の選定は4B弁と同様の観点から検討した。

##### ① 固有振動数

弁の固有値解析の結果を表2.1-25に、そのモード図を図2.1-23に示す。

1次及び2次のモードは弁全体が振れるモードであり、1次は流路直角方向の振れ、2次は流路方向の振れである。

3次のモードは弁全体と弁棒が流路直角方向に振れるモードであり、4次のモードは弁棒が単独に流路方向に振れるモードである。弁棒が振れる振動は80 Hz以上であり、耐震設計上剛であると考えられる。



1次、2次モードも20Hzを超えているが、弁の地震時応答の模擬として、流路直角方向に1次の固有振動数で、また流路方向に2次の固有振動数でそれぞれ正弦波加振する。

計測点は以上のことを考慮して図2.1-24に示す位置に加速度計を取付ける。

また主な計測仕様及び目的を表2.1-26に示す。

② 各部たわみ、応力

加振時には、弁頂部の振れが弁箱の変形を支配していると考えられる。このため、ひずみゲージの取り付け位置は、弁駆動部に荷重が作用した場合の応力解析結果を参照して決定する。応力解析結果を図2.1-25に示す。

図2.1-24に計測点を表2.1-26に主な計測点仕様を示す。

表2.1-25 12B Y型グローブ弁の固有振動数・刺激係数

モード		1 次	2 次	3 次	4 次
項目					
固有振動数	(Hz)	21.5	28.7	81.9	86.2
刺激係数	X	0.000	0.175	0.000	-0.055
	Y	0.000	-0.152	-0.000	0.067
	Z	0.247	0.001	0.218	-0.000

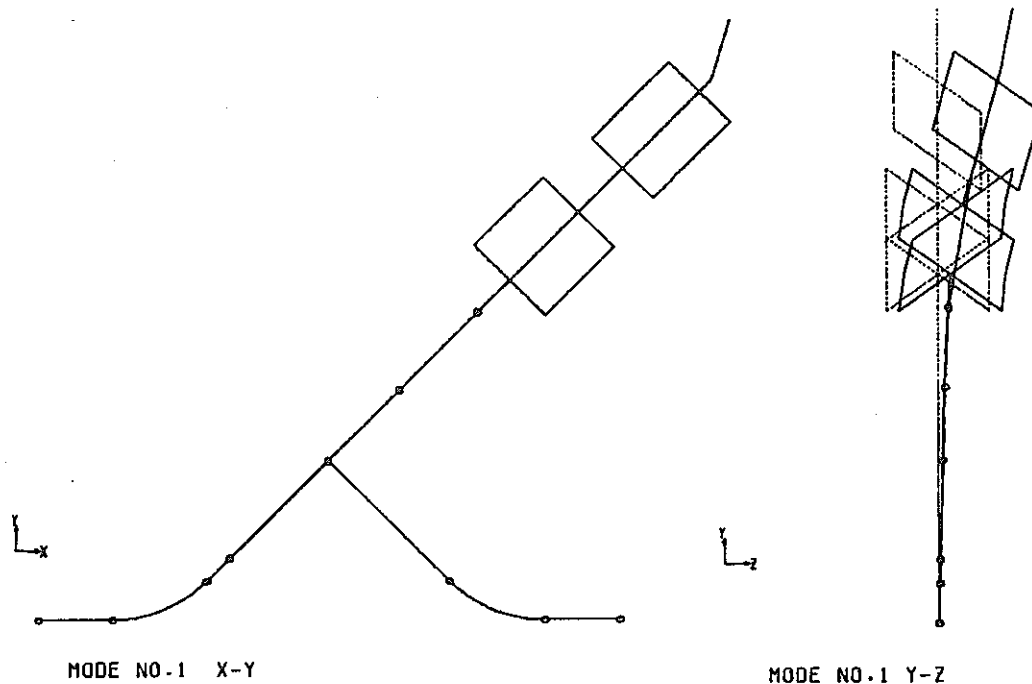


図2.1-23(1/4) 12B Y型グローブ弁の1次振動モード図

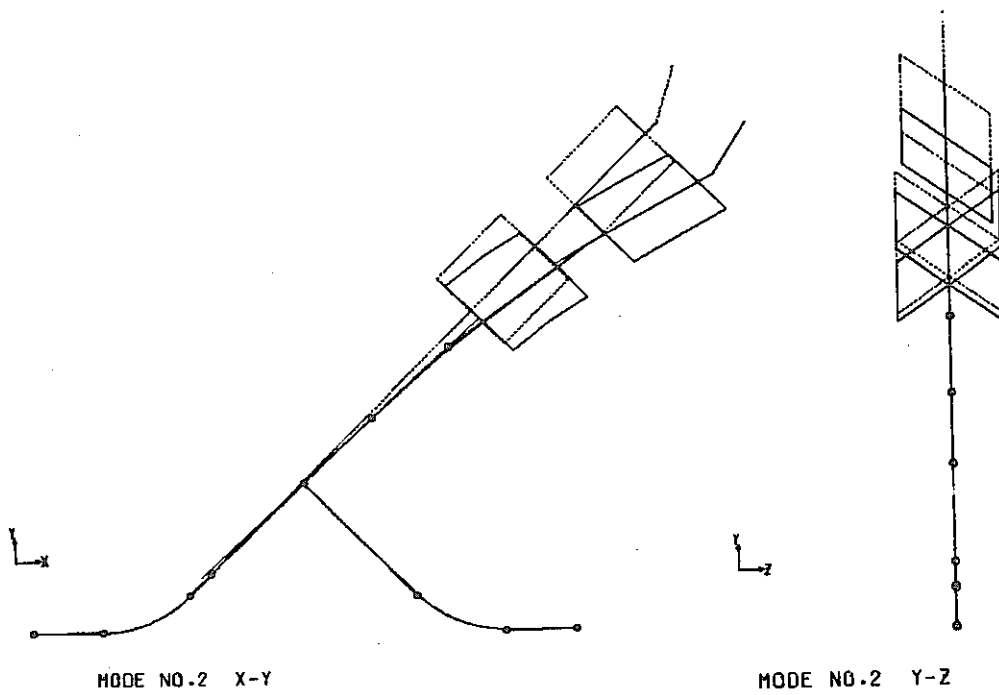


図2.1-23(2/4) 12B Y型グローブ弁の2次振動モード図

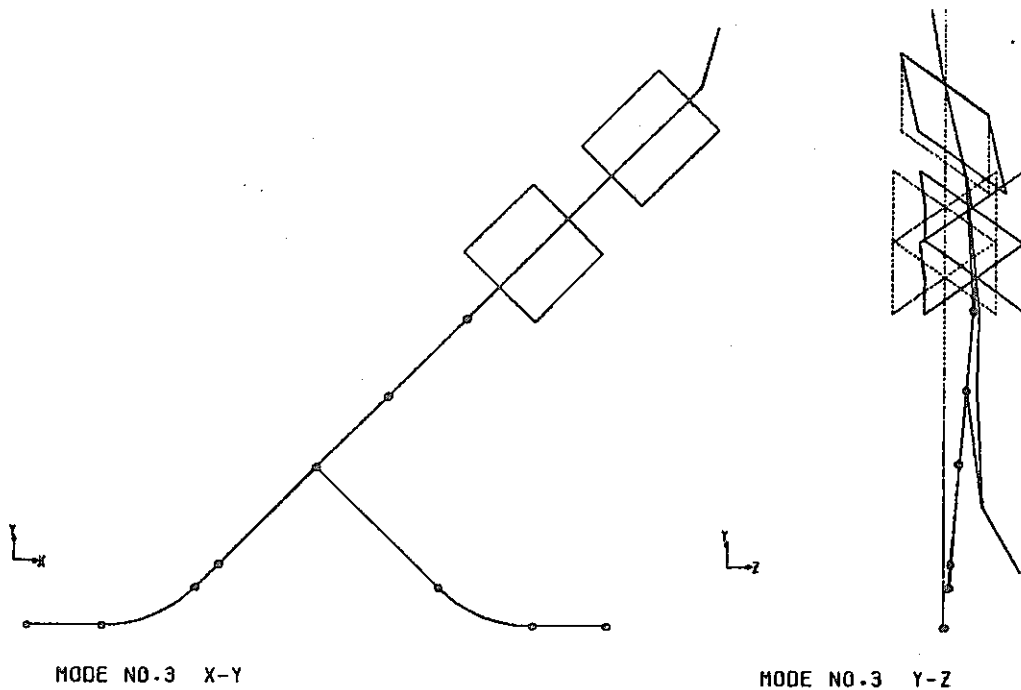


図2.1-23(3/4) 12B Y型グローブ弁の3次振動モード図

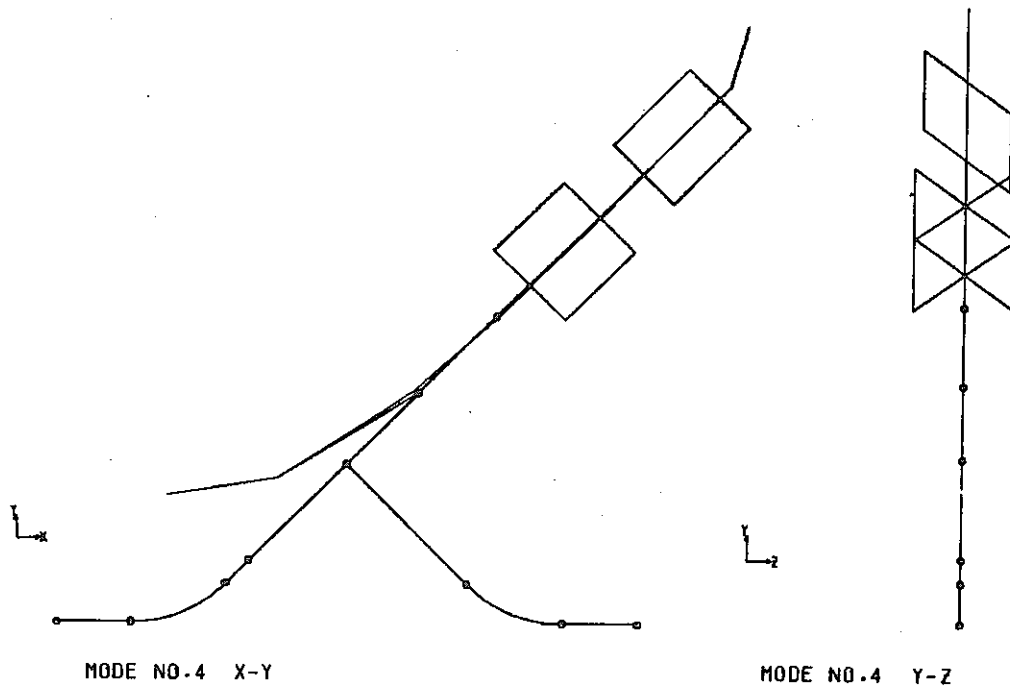


図2.1-23(4/4) 12B Y型グローブ弁の4次振動モード図

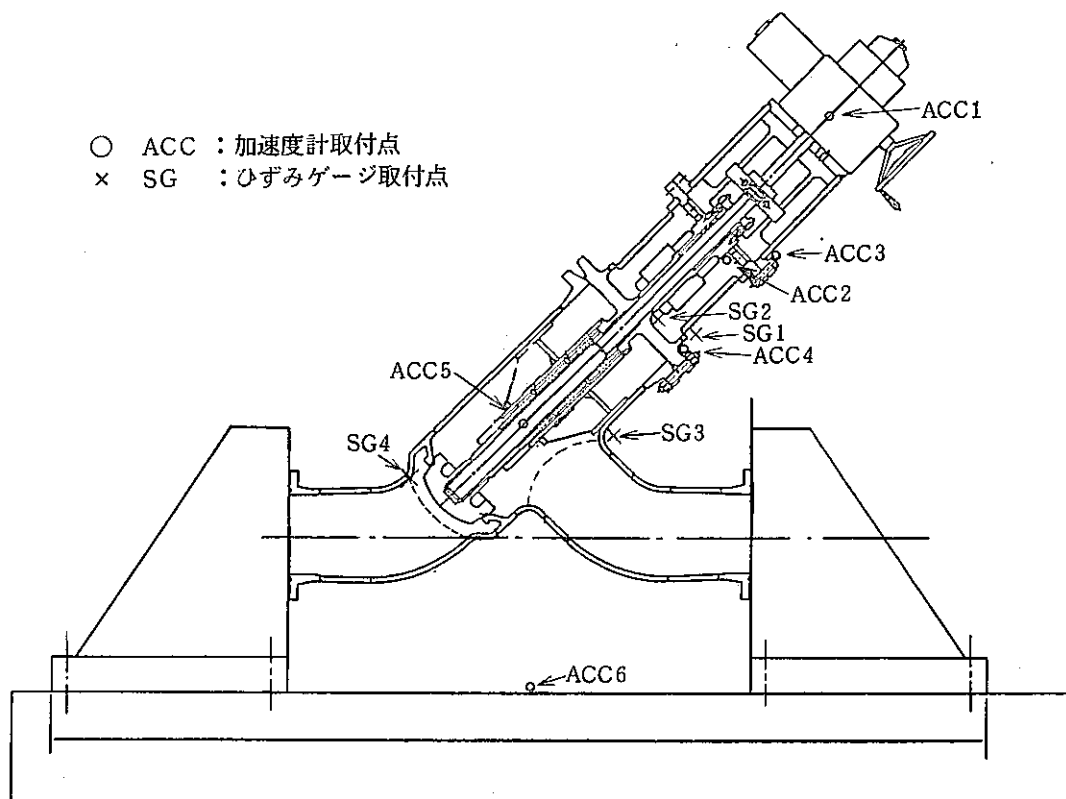


図2.1-24 12B Y型グローブ弁の計測点

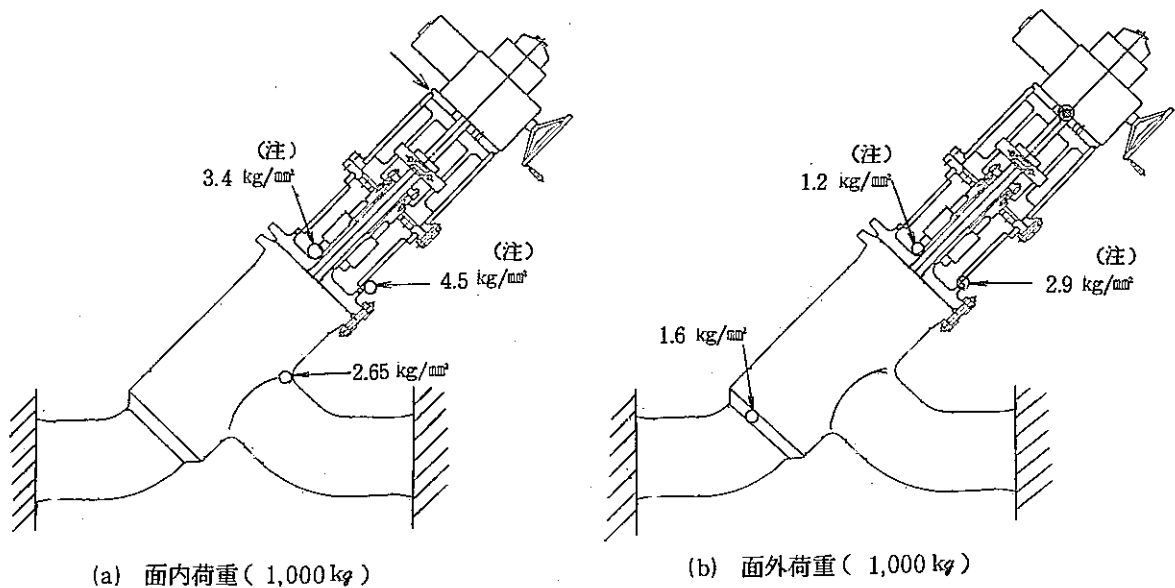


図2.1-25 12B Y型グローブ弁の応力解析結果

表2.1-26 12B Y型グローブ弁の計測点仕様

計測番号	計測点番号	取り付け位置	主な計測目的	計測軸
加速度	ACC 1	駆動装置	最大変位箇所	2
	2	スタフィンボックス	1次, 2次モードの確認	1
	3	ヨーク中間部	"	1
	4	ボンネットフランジ	"	1
	5	弁箱中央部	"	1
	6	加振台	加振条件の確認	1
(注1) 動ひずみ	SG 1	ヨーク下部	高応力発生部	3
	2	スタフィンボックス下部	"	3
	3	弁箱交差部	"	3
	4	弁箱構造不連続部	"	3

(注1) ひずみ計測点については、試験装置との関係で調整する可能性がある。

### ③ 弁座漏洩量

弁座漏洩量の測定は、弁閉状態で一定時間加圧し漏洩量を測定する。

試験は、常温の水を用いて実施する。本弁に対し、設計上要求される許容弁座漏洩量はNaで約1ℓ

/minであり、これより、Naと水の粘性係数の差を考慮して試験時の許容弁座漏洩量を設定する。

ロ) 分解点検

本弁の分解点検項目を表2.1-27に示す。

表2.1-27 12BY型グローブ弁の分解点検項目

点検箇所	点検方法 (注1)
弁体 弁座	B : 弁体は、目視により弁体の損傷の有無を確認記録する。 弁座については、目視による観察を行ない記録する。
ステム	A : 目視できる範囲で、曲り、ねじりの有無を確認記録する。 B : 摺動傷、曲り、ねじりの有無を目視により確認し、ノギスにより数ヶ所の寸法を計測後写真撮影をする。
ボルトナット	A, B : 組立て時に合印をつけておき、ゆるみが無いことを確認記録する。 B : ボルトの傷、曲りの有無を目視により確認記録後写真撮影する。
グラウンド パッキン部	B : パッキン摺動面のステム側焼付の有無を確認記録する。
弁箱 弁フタ	A, B : 弁箱、弁フタの相対的な変形の有無を確認記録する。
ヨーク	A : 数ヶ所の寸法を測定し、変形の有無を確認記録する。 B : 径の測定とフランジ面の損傷の有無を確認記録する。
駆動装置	A, B : 正常に動くことを確認記録し、特に分解しないこととする。

(注1) 記号A, Bの意味は次の通りである。

A : 必要に応じて、試験途中に実施する検査である。

B : 試験終了時に実施する検査である。

(5) 5Bアングル弁

本弁の試験要領及び計測方法を表2.1-28に示す。以下、同表に基づいて検討した計測点を示す。

イ) 計測点

計測点は振動解析及び弾性応力解析の結果を考慮して以下のように定めた。

(i) 固有振動数, 減衰定数

5Bアングル弁の固有値解析結果を表2.1-29に示しそのモード図を図2.1-26に示す。

1次, 2次のモードはエクステンションロッドが振れるモードであり, 3次モードは弁箱が振れるモードである。4次モードは架構が振れるモードであるが, 解析結果からその固有値は50 Hz以上となっており, 試験振動域内から外れることになる。

計測点は以上のことを考慮して図2.1-27で示したように, 応答量がクリティカルな位置に加速度計を取り付

表21-28 5Bアングル弁の全体加振試験時の計測方法

	試験項目	計測項目	計測方法	備考
前 試 験	1) 弁開閉試験	作動電流 作動電圧 作動出力 弁開閉時間	静止状態で弁の開閉動作を行ない、その時の電流、電圧、出力、開閉時間を時系列的に記録する。	初期の基礎データを得る。
		作動中の不具合の有無	作動中の異常音、動き等を視聴覚でチェックする。	
	2) 弁座漏洩試験	水 圧	弁全閉状態で、加圧水の漏洩の有無を圧力計により確認し、漏洩量を測定する。	
本 試 験	3) 振動特性試験	加振入力波	入力正弦波形（制御系、振動台上）を時系列的に記録する。	弁の振動特性データを得る。
		応答加速度	正弦波形を往復掃引させた時の加速度を時系列的に記録し固有値を求める。	
		減衰定数	打振力による応答を時系列的に記録し減衰定数を算定する。	
	4) 振動本試験	加振入力波	入力加振波形（制御系、振動台上）を時系列的に記録する。	弁加振時の各応答データを得る。
		応答加速度	ピックアップからの応答値を時系列的に記録する。	
作動中の不具合の有無		作動中の異常音、動き等を視聴覚でチェックする。		
動ひずみ		ひずみゲージによる振動中の応答を時系列的に記録し、動的ひずみ、応力を算定する。		
	応答変位量	振動中の応答変位量を測定し、時系列的に記録する。		
後 試 験	5) 弁開閉試験	作動電流 作動電圧 作動出力 弁開閉時間	静止状態で弁の開閉動作を行ない、その時の電流、電圧、出力、開閉時間を時系列的に記録し、前データと比較する。	試験終了後の比較データを得る。
		作動中の不具合の有無	作動中の異常音、動き等を視聴覚でチェックする。	
	6) 弁座漏洩試験	水 圧	弁全閉状態で、加圧水の漏洩の有無を圧力計により確認し、漏洩量を測定する。	
	7) 分解点検	各部の異常の有無	弁を点検し、取付各部のゆるみ、部品の破損、摺動部などの有無を記録確認する。	

表2.1-29 5 B アンゲル弁の固有振動数・刺激係数

項目 \ モード		モード			
		1 次	2 次	3 次	4 次
固有振動数 (Hz)		18.1	18.3	43.4	51.5
刺激係数	X	-0.006	2.512	0.002	10.40
	Y	2.693	0.006	3.226	0.057
	Z	0.006	0.005	-0.012	0.135

けることとする。

また、主な計測仕様及び目的を表2.1-30に示す。

(ii) 各部たわみ、応力

加振時には、弁箱上部の変形により、ヨーク下部や弁箱の不連続構造部に、剪断荷重や曲げが負荷される事が考えられる。また、エクステンションロッド下端部の負荷荷重を把握するために図2.1-27で示した位置にひずみゲージを取付け、またロッドの応答変位量も測定することとする。表2.1-30に各点の主な計測仕様及び目的を示す。

(iii) 弁座漏洩量

弁座漏洩試験は、完全に空気抜きしたあと、弁閉状態で一次側に水圧を一定時間負荷し、一次側排水後に弁開として、二次側の排水量を測定する。

尚、試験は常温の水を用いて実施し、許容弁座漏洩量はナトリウムに対して規定されている 1.92ml/minを、ナトリウムと水との粘性係数を考慮して定めた 1.01ml/minとする。

(iv) 分解点検

分解点検作業項目を表2.1-31に示す。

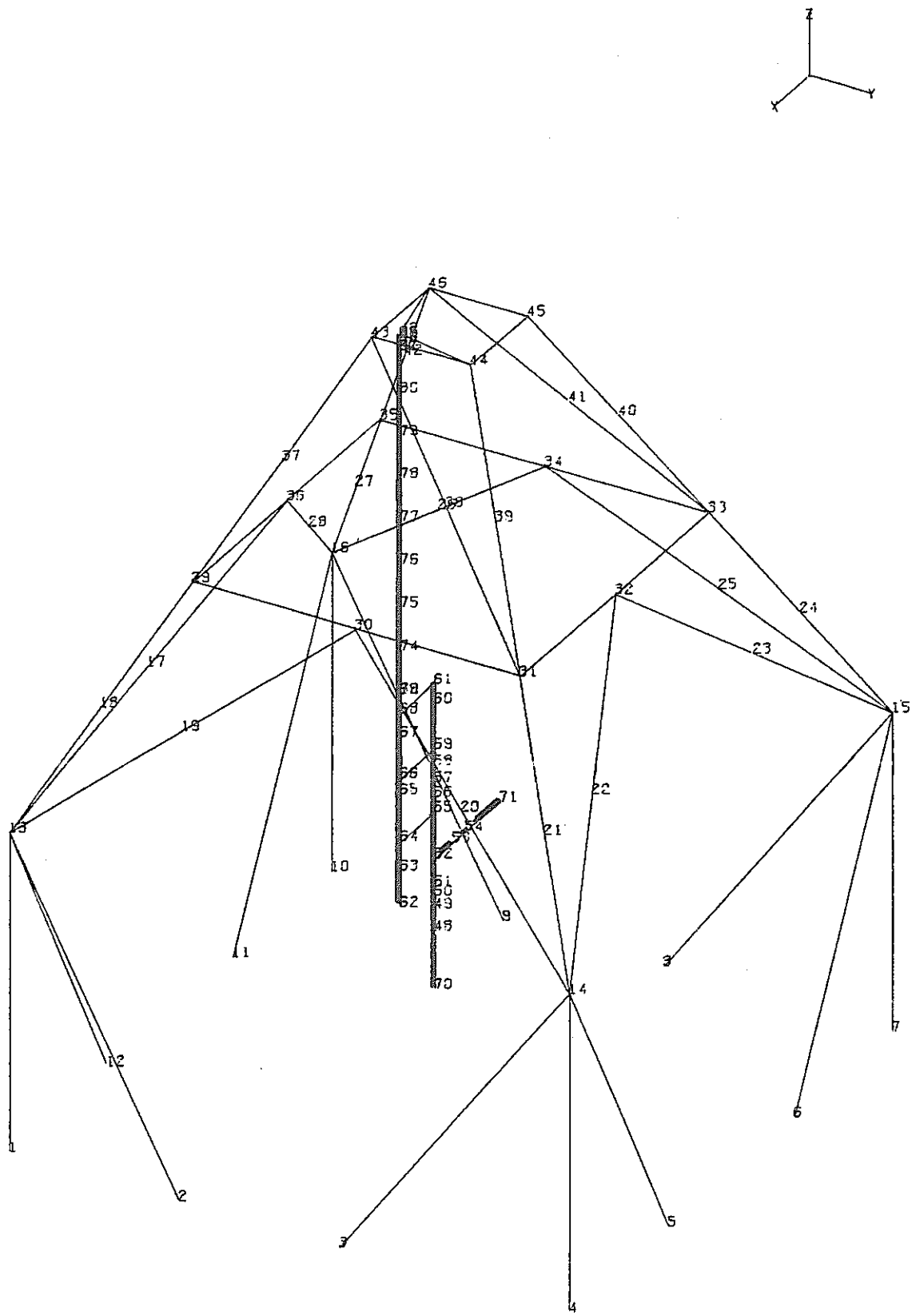
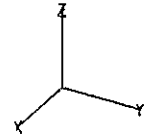


図2.1-26(1/5) 5 Bアングル弁解析モデル図





モードNo.1. 18.1 Hz  
 (エクステンションロッドY方向振動)

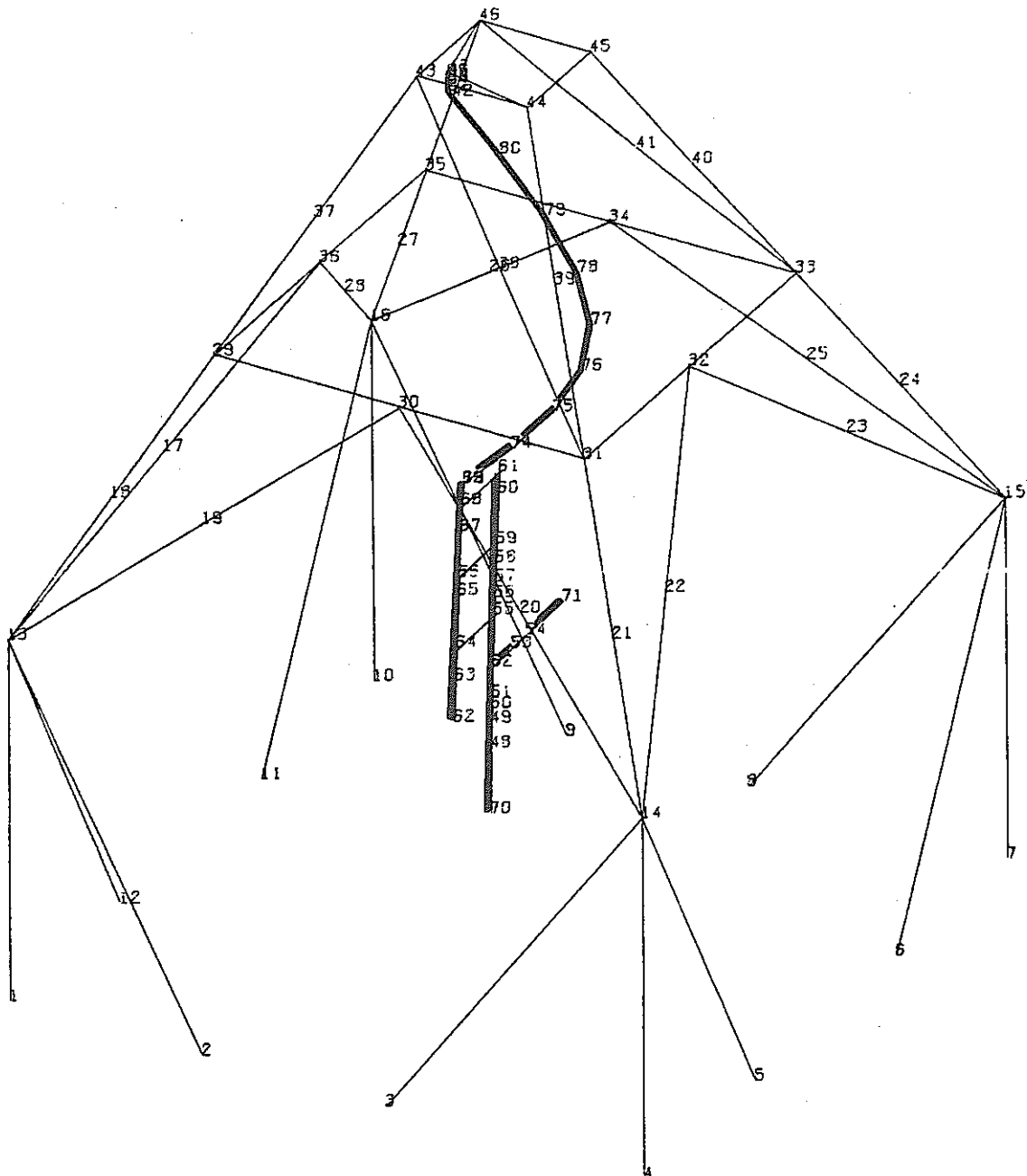
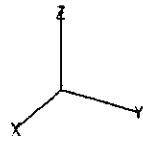


図2.1-26(2/5) 5 B アンゲル弁の1次振動モード図



モードNo.2. 18.3 Hz  
 (エクステンションロッドX方向振動)

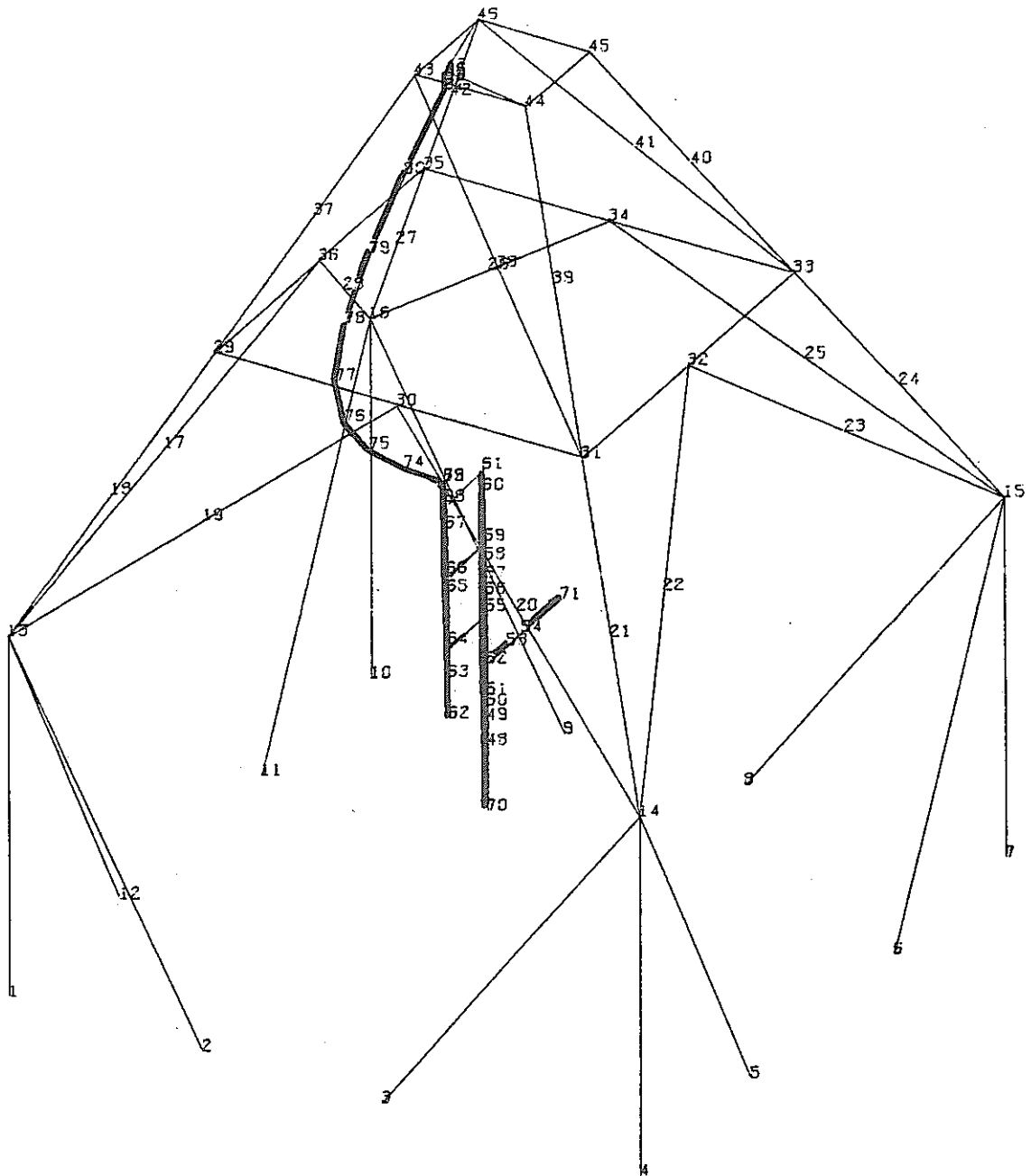
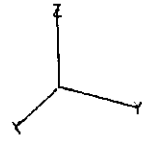


図2.1-26(3/5) 5 B アンゲル弁の2次振動モード



モードNo.3. 43.4 Hz  
 (弁箱Y方向振動)

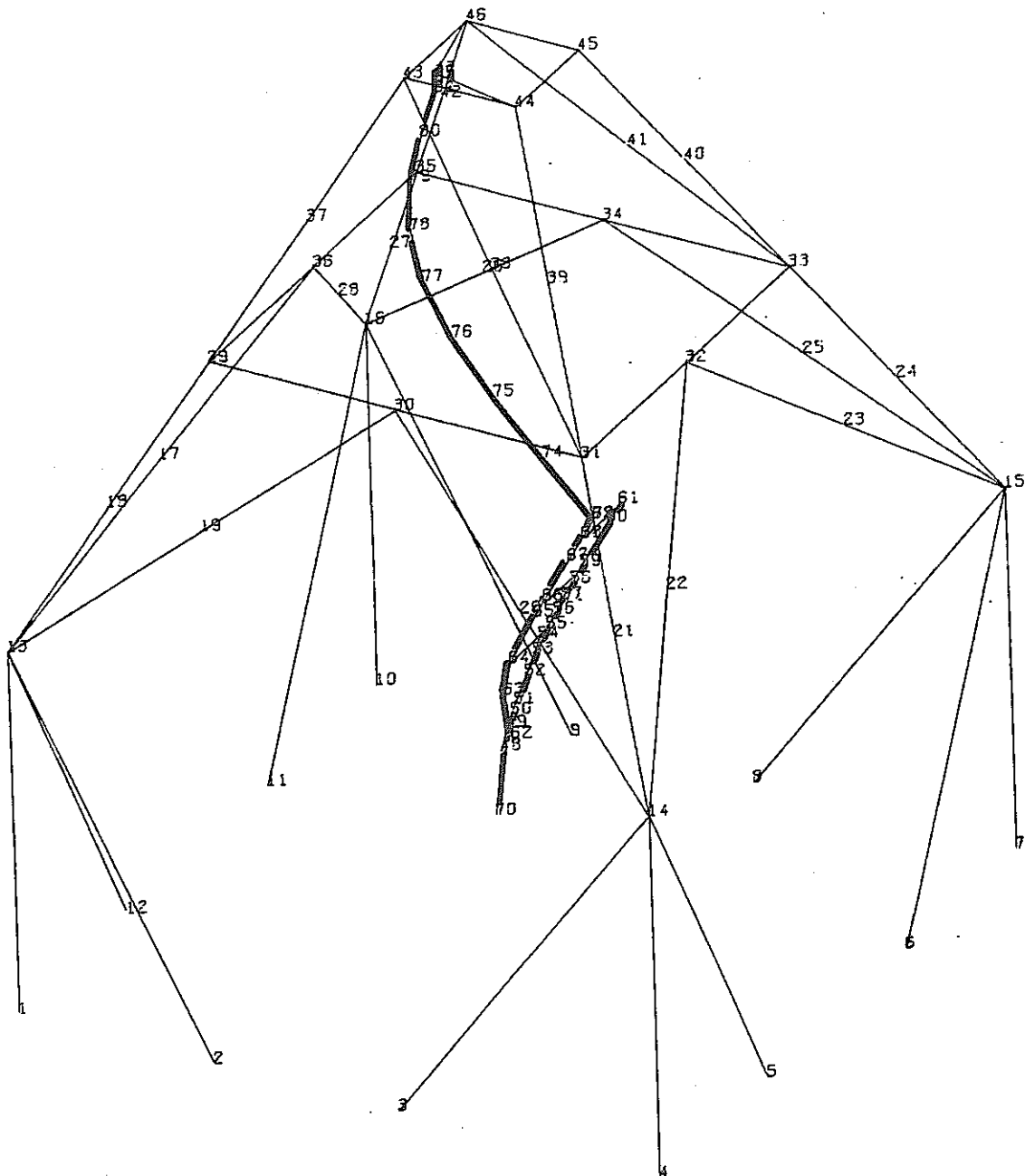


図2.1-26(4/5) 5Bアンゲル弁の3次振動モード図



モードNo. 4. 51.5 Hz  
 ( 架構 X 方向振動 )

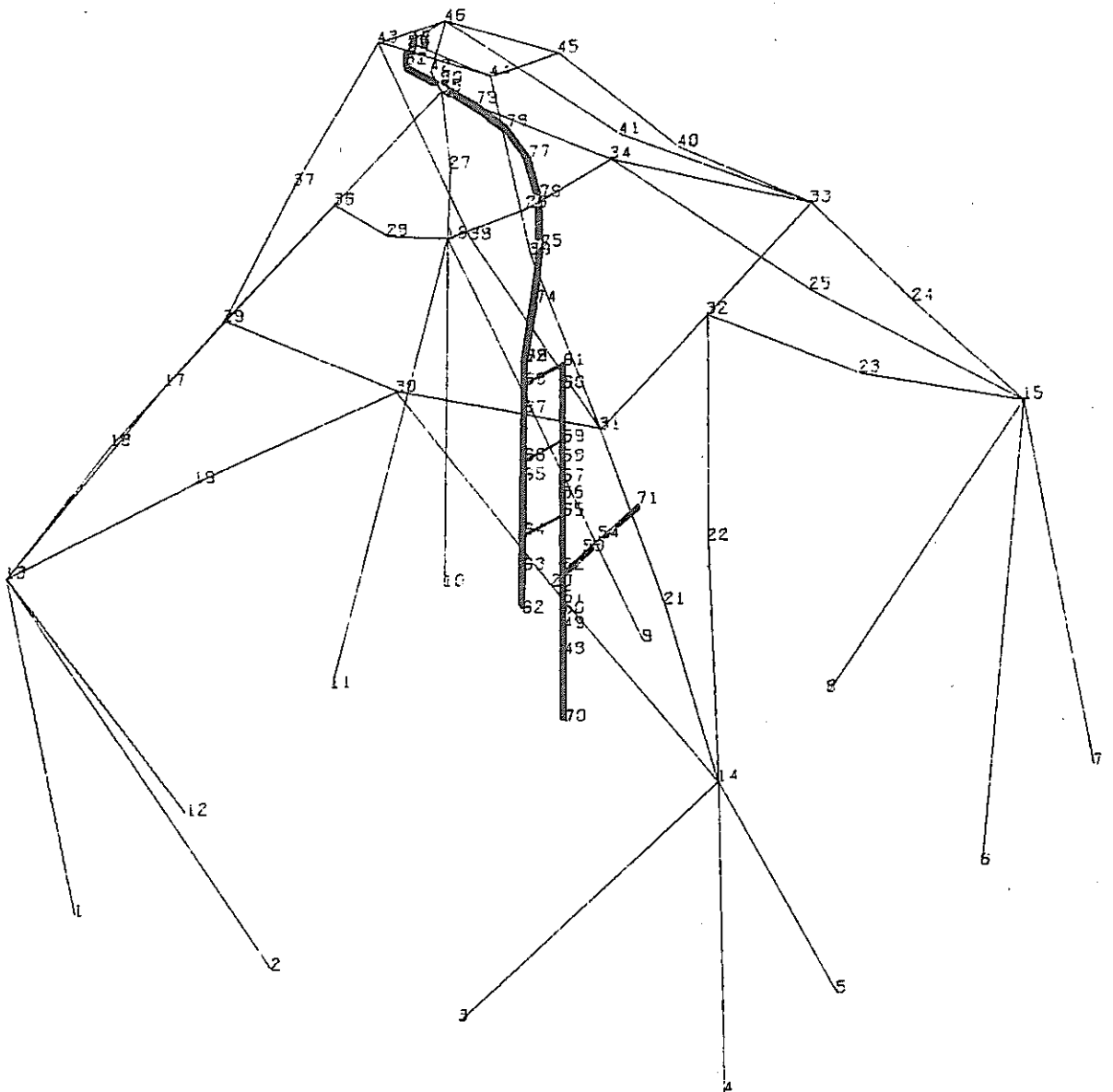


図2.1-26(5/5) 5 B アングル弁の4次振動モード図

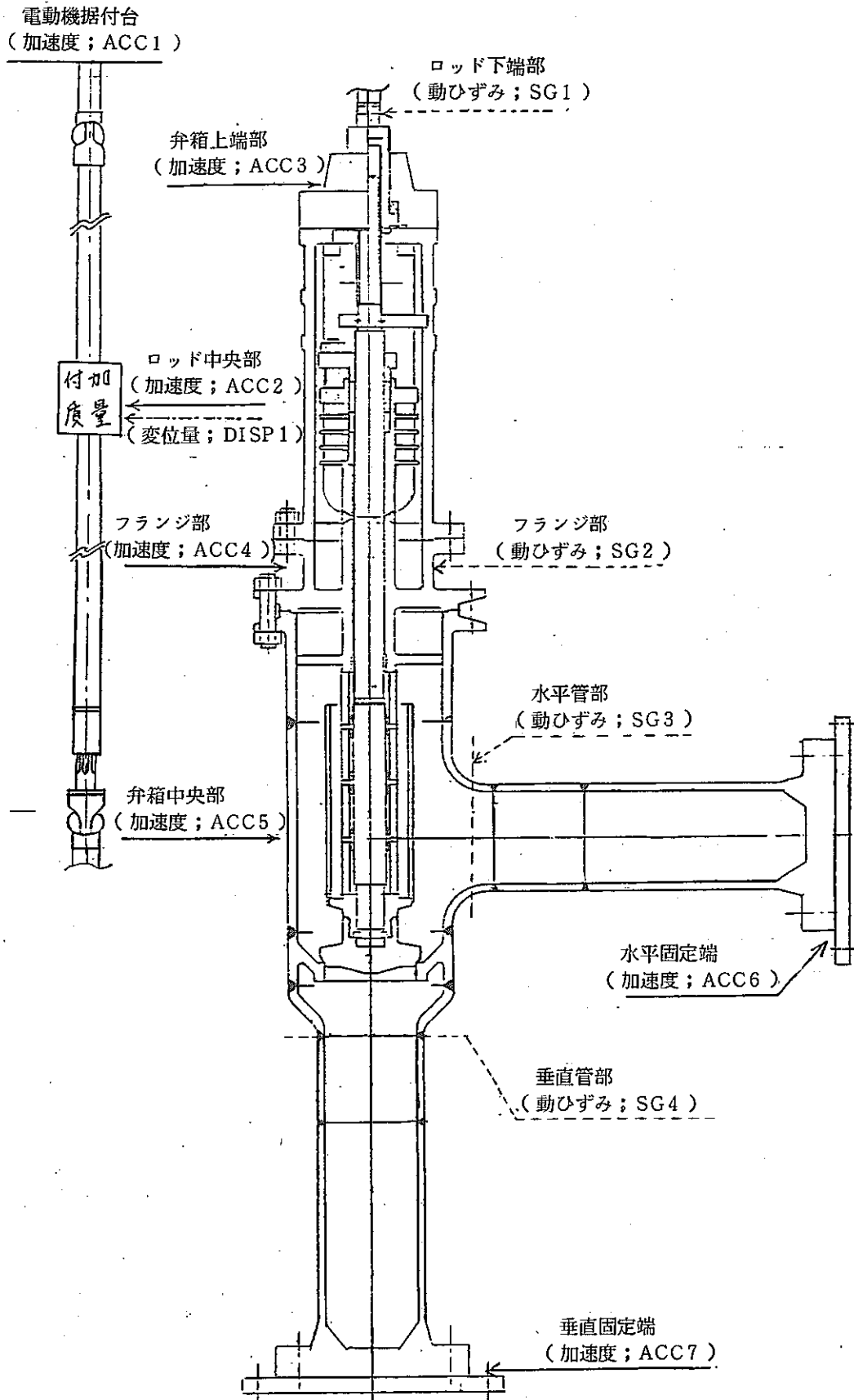


図2.1-27 全体加振試験時の計測点位置

表2.1-30 計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け場所	主な計測目的	計測軸
加 速 度	ACC 1	電動機据付台	駆動部の試験条件確認	2
	ACC 2	ロッド中央部	試験体の最大加速度発生部	2
	ACC 3	弁箱上端部	弁箱の最大加速度発生部	2
	ACC 4	フランジ部	弁箱の平均的挙動確認	2
	ACC 5	弁箱中央部	弁箱の平均的挙動確認	2
	ACC 6	水平固定端	試験条件の確認	2
	ACC 7	垂直固定端	試験条件の確認	2
動ひずみ	SG 1	ロッド下端部	ステムへの影響が大きな部分	1
	SG 2	フランジ部	剪断力が負荷される部分	2
	SG 3	水平管部	弁箱で構造的にクリティカルな部分	3
	SG 4	垂直管部	弁箱で構造的にクリティカルな部分	3
変位量	DISP 1	ロッド中央部	最大変位量発生部	2

表2.1-31 5Bアングル弁の分解点検項目

点検項目	点検方法
エクステンション ロッド	摺動疵，曲り，振りの有無を目視確認する。
ボルト・ナット	組立て時に合印を付けておき，ゆるみがない事を確認する。 また，目視によりボルト，ナット部の変形，疵の有無を確認する。
弁箱	弁箱及びその近傍部の表面形状・状態の変化の有無を目視確認する。
ヨーク	数ヶ所の寸法測定を行ない変形の有無を調べる。
駆動装置	正常に動くことを確認し，特に分解は行なわない。
弁体・弁座	弁体，弁座は目視による表面観察を行う。

## 2.2 全体静荷重試験

### 2.2.1 試験概要

全体静荷重試験は、全体加振試験の後に実施し、地震時の弁の载荷状態を静的に模擬し、弁座のシーリング性、弁の開閉時間、駆動力量などを与える各種の荷重の影響を詳細に把握するために行うものである。

全体静荷重試験は、次の3種類の試験により構成されている。

#### (1) 全体確認試験

##### i) 作動試験

弁の駆動部付近に静荷重を弁棒軸に対して直角方向に段階的に負荷した状態で開閉作動させ、負荷荷重と弁各部の強度及び作動特性の関係を調査する。

##### ii) 弁座漏洩試験

作動試験の前後に弁に水を張り、全閉として一次側に内圧をかけて弁座漏洩量を測定し、負荷荷重と弁座漏洩量との関係を調査する。

##### iii) 固有振動数測定試験

駆動装置取付フランジ部を打振して振動させ、弁の振動特性として流路方向および流路と直角方向に対して固有振動数及び減衰定数を計測する。

#### (2) 配管反力試験

##### i) 作動試験

地震時に弁に加わる配管反力を弁端部に負荷した状態で開閉作動させ、負荷荷重と作動特性との関係を調査する。

##### ii) 弁座漏洩試験

作動試験の前後に弁座漏洩量を測定し、配管反力による弁座漏洩の影響を調査する。

##### iii) 応力測定

配管反力によってボデー各部に発生する応力を測定し、負荷荷重との関係を調査する。

#### (3) シール部摺動試験

##### i) 作動試験

弁の駆動部付近に静荷重（地震時相当荷重）を弁棒軸に対して直角方向に段階的に負荷し、弁を半開と全開の間で開閉作動させ、負荷荷重と駆動力量の関係を調査する。

本試験は、全体確認試験の一部に含めて実施するものとし、前試験、後試験等は全体確認試験のそれらと共通のものとする。

表 22-1～表 22-3 に上記の全体確認試験、配管反力試験、並びにシール部摺動試験の試験内容と測定項目を示す。

表22-1 全体確認試験

	試験	測定項目	試験手順
前 試 験	開閉試験	1. 作動電圧, 電流 2. 開閉時間 3. 不具合の有無	(1) 供試弁を試験台に据付ける。 (2) 無負荷状態で弁を開閉作動する。作動電圧, 電流の変化と開閉時間を記録する。 (3) 弁に水を張り, 全閉として一次側に内圧をかけて漏洩量を測定する。
	弁座漏洩試験	1. 弁座漏洩量	(4) 作動中, 内圧負荷時に生じた不具合を記録する。
本 試 験	打振試験	1. 固有振動数 2. 減衰定数	(1) 駆動部付近を打振して振動させる。(弱軸, 強軸の2方向) (2) 振動モードを記録し, 固有振動数と減衰定数を計測する。 (3) 駆動部付近に油圧ラムを用いて, 地震相当荷重の静荷重を与える。
	作動確認試験	1. 負荷荷重 2. 作動電圧, 電流 3. 開閉時間 4. たわみ及び応力 5. 不具合の有無	(4) 弁各部(ステム・ヨーク)のたわみを測定する。 (5) 弁各部(ステム・ヨーク付根部, ボンネットネック部等)の応力をひずみゲージの測定値から算定する。 (6) 負荷状態のままで弁を作動させる。作動電圧, 電流の変化と開閉時間を記録する。 (7) 作動中の弁各部のたわみ, 応力を記録する。 (8) 荷重を除去する。 (9) 作動中に生じた不具合を記録する。
後 試 験	開閉試験	1. 作動電圧, 電流 2. 開閉時間 3. 不具合の有無	(1) 無負荷状態で再び弁を開閉作動する。作動電圧, 電流の変化と開閉時間を記録する。 (2) 弁に水を張り, 全閉として一次側に内圧をかけて漏洩量を測定する。
	弁座漏洩試験	1. 弁座漏洩量	(3) 作動中, 内圧負荷時に生じた不具合を記録する。
	分解点検	1. 異常の有無	(4) 弁を試験台より取りはずし, 分解する。 (5) 弁の各部品の異常の有無を点検する。

(注1) 本表は, 全体確認試験の試験手順と測定項目の標準例であり, 個々の弁の特殊性を考慮して具体的な試験手順及び測定項目を設定してよい。



表22-2 配管反力試験

	試験	測定項目	試験手順
前 試 験	開閉試験	1. 作動電圧, 電流 2. 開閉時間 3. ステム応力	(1) 供試験弁を試験台に据付ける。 (2) 無負荷状態で弁を開閉作動する。作動電圧, 電流の変化と開閉時間を記録する。 (3) ステム表面にひずみゲージをはりつけ, 作動中のステム応力を計測する。 (4) 弁に水を張り, 全閉にして一次側に内圧をかけて弁座漏洩量を測定する。 (5) 作動中に生じた不具合を記録する。
	弁座漏洩試験	1. 弁座漏洩量	
本 試 験	ひずみ 測定試験	1. 負荷荷重 2. ひずみ量	(1) 配管部分に軸力を加える。 (2) 負荷状態で弁を作動させ, 作動電圧・電流の変化と開閉時間を記録する。 (3) ひずみゲージにより, 作動中のボディ内外のひずみを計測する。 (4) ひずみゲージにより, 作動中のステム応力を計測する。 (5) 作動中に生じた不具合を記録する。 (6) 配管部分に曲げ荷重を加える。 (7) (2)~(5)の作業を行う。 (8) 配管部分に振り荷重を加える。 (9) (2)~(6)の作業を行う。 (10) 荷重をすべて除去する。
	作動確認試験	1. 負荷荷重 2. 作動電圧, 電流 3. 開閉時間 4. ステム応力 5. 不具合の有無	
後 試 験	開閉試験	1. 作動電圧, 電流 2. 開閉時間 3. ステム応力	(1) 無負荷状態で弁を開閉作動する。作動電圧・電流の変化と開閉時間を記録する。 (2) ひずみゲージにより, ステム応力を計測する。 (3) 弁に水を張り, 全閉にして一次側に内圧をかけて弁座漏洩量を測定する。 (4) 作動中に生じた不具合を記録する。 (5) 弁を試験台より取りはずし, 分解する。 (6) 弁の各部品の異常の有無を点検する。
	弁座漏洩試験	1. 弁座漏洩量	
	分解点検	1. 異常の有無	

(注1) 本表は, 配管反力試験の試験手順と測定項目の標準例であり, 個々の弁の特殊性を考慮して具体的な試験手順及び測定項目を設定してよい。

表22-3 シール部摺動試験

	試 験	測 定 項 目	試 験 手 順
前 試 験	作 動 試 験	1. 作動電圧, 電流	(1) 供試弁を試験台に据付ける。 (2) 無負荷状態で弁を開閉作動する。作動電圧, 電流の変化と開閉時間を記録する。 (3) 作業中のステム表面にはりつけたひずみゲージの測定値よりステム応力を求める。 (4) 作動中に生じた不具合を記録する。
本 試 験	作 動 試 験	1. ヨークの変形量 及びひずみ 2. 作動電圧, 電流 3. ステム応力 4. 不具合の有無	(1) 弁を半開状態とする。 (2) ヨーク端部に油圧ラムにより静荷重（地震時相当荷量）をかける。 (3) ヨークの変形量・ひずみを測定する。 (4) ステム表面にはりつけたひずみゲージよりステム応力を求める。 (5) 弁を作動させる。但し、全開から半開の状態とし、全閉とはしない。 (6) 作動中の電圧・電流の変化を記録する。 (7) 作動中のステム応力を計測する。 (8) 作動中に生じた不具合を記録する。
後 試 験	作 動 試 験	1. 作動電圧, 電流 2. ステム応力	(1) 無負荷状態で再び弁を開閉作動する。作動電圧, 電流の変化と開閉時間を記録する。 (2) 作動中のステム表面にはりつけたひずみゲージの測定値よりステム応力を求める。 (3) 作動中に生じた不具合を記録する。
	分 解 点 検	1. 異常の有無	(4) 弁を試験台より取りはずし、分解する。 (5) 弁の各部品の異常の有無を点検する。

(注1) 本試験は、全体確認試験の一部に含めて実施するものとし、前試験、後試験等は全体確認試験のそれらと共通のものとする。

(注2) 本表は、シール部摺動試験の試験手順と測定項目の標準例であり、個々の弁の特殊性を考慮して具体的な試験手順及び測定項目を設定してよい。

## 2.2.2 試験方法の検討

4 B Y型グローブ弁, 12 B Y型グローブ弁及び22 B バタフライ弁用の全体静荷重試験装置の概念図を図2.2-1(1/2)に示し, 5 B アンクル弁の全体静荷重試験装置の概念図を図2.2-1(2/2)に示す。

本試験装置を用いて行う全体確認試験と配管反力試験の試験方法は次のとおりであり, 各々の試験は実系の負荷荷重と同等の荷重をかける実証試験とそれを上廻る負荷荷重を加える裕度試験とを行うものとする。

尚, 試験時の負荷荷重は第3章の検討に基づき設定している。

### (1) 全体確認試験

(イ) 固有振動数の測定は, ギアケース取付フランジをハンマーで叩いて, 駆動部に振動を起させ, 加速度計により振動波形をオシログラフに記録させるものとする。打振の方向は, 流れ方向と流れに直角の方向とする。

(ロ) 作動確認試験は, ギアケース取付フランジに弁棒軸に対して直角方向に静荷重を段階的に負荷し, 作動電流および作動抵抗の変化状況, 開閉時間などの作動特性を測定する。

(ハ) シール部摺動試験は, 静荷重を駆動部付近に負荷した状態で全開↔半開の間で作動試験を繰り返し行い, 作動電流および作動抵抗の変化などを測定する。

(ニ) 弁座漏洩試験は図2.2-2に示す方法で行なうものとするが, 完全に空気抜きした状態で電動操作により全閉とし, 入口側より水圧をかけて弁座からの漏洩をメスシリンダーで計測する。

全体確認試験の試験条件を表2.2-3(1/4)~表2.2-3(4/4)に示す。同表において, 実証試験では, 後述の第3章に示す実系の弁での最大の地震時相当荷重を負荷して試験を行う。また, 裕度試験では, この実系の弁での最大の地震時相当荷重に対し適切な裕度を考慮した荷重を負荷する。裕度試験の負荷荷重は, 供試弁の最大応力発生箇所に局部的降伏を発生させる静荷重を目標値として設定する。裕度試験の負荷荷重の設定の考え方については第3章で検討する。

全体確認試験の中の作動確認試験は, 裕度試験の荷重を最大とし, 実証試験の荷重を含み3段階の荷重条件を設定し, 負荷荷重を段階的に上昇させてそれぞれの場合に応力測定と作動確認を実施する。

### (2) 配管反力試験

配管反力試験の装置概要を図2.2-3に示すが, 荷重の調整は油圧ポンプの調整弁操作により行ない, 内圧の調整は圧力計の監視と水圧ユニットの調整弁操作により行なうものとする。

荷重の種類は引張・圧縮, 曲げおよび振りの単独荷重のみとする。

配管反力試験の試験条件を表2.2-4(1/4)~表2.2-4(4/4)に示す。同表において, 実証試験での負荷

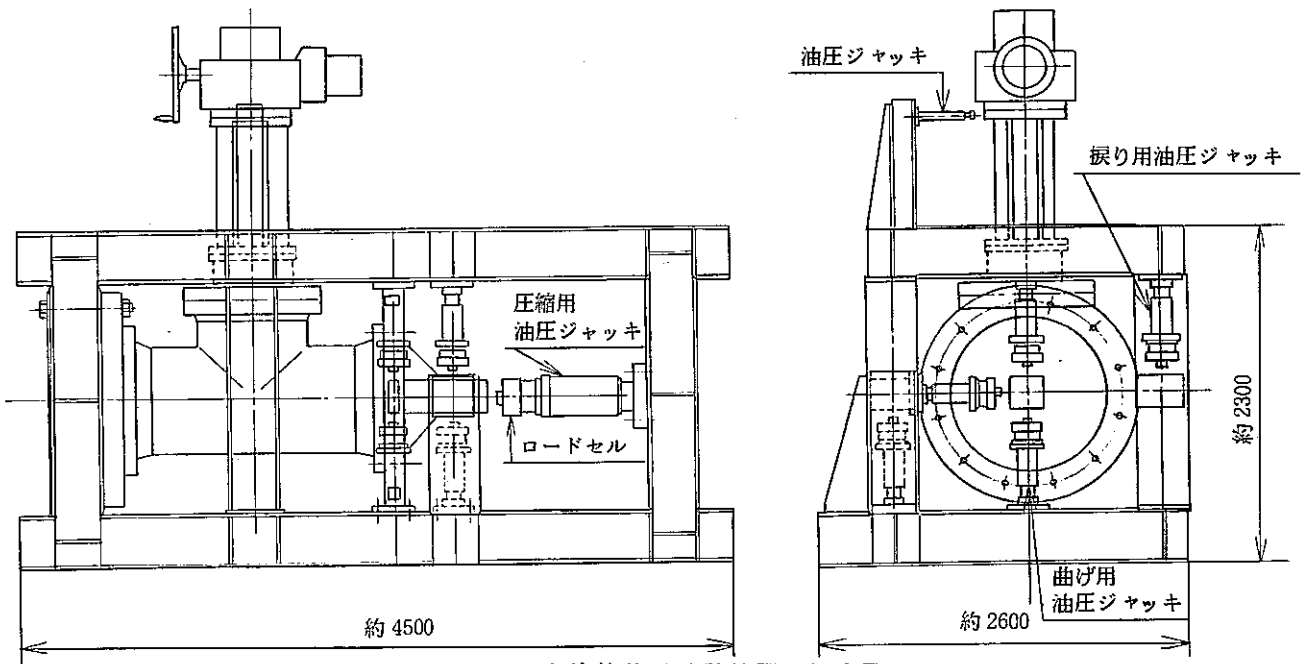


図2.2-1(1) 全体静荷重試験装置の概念図

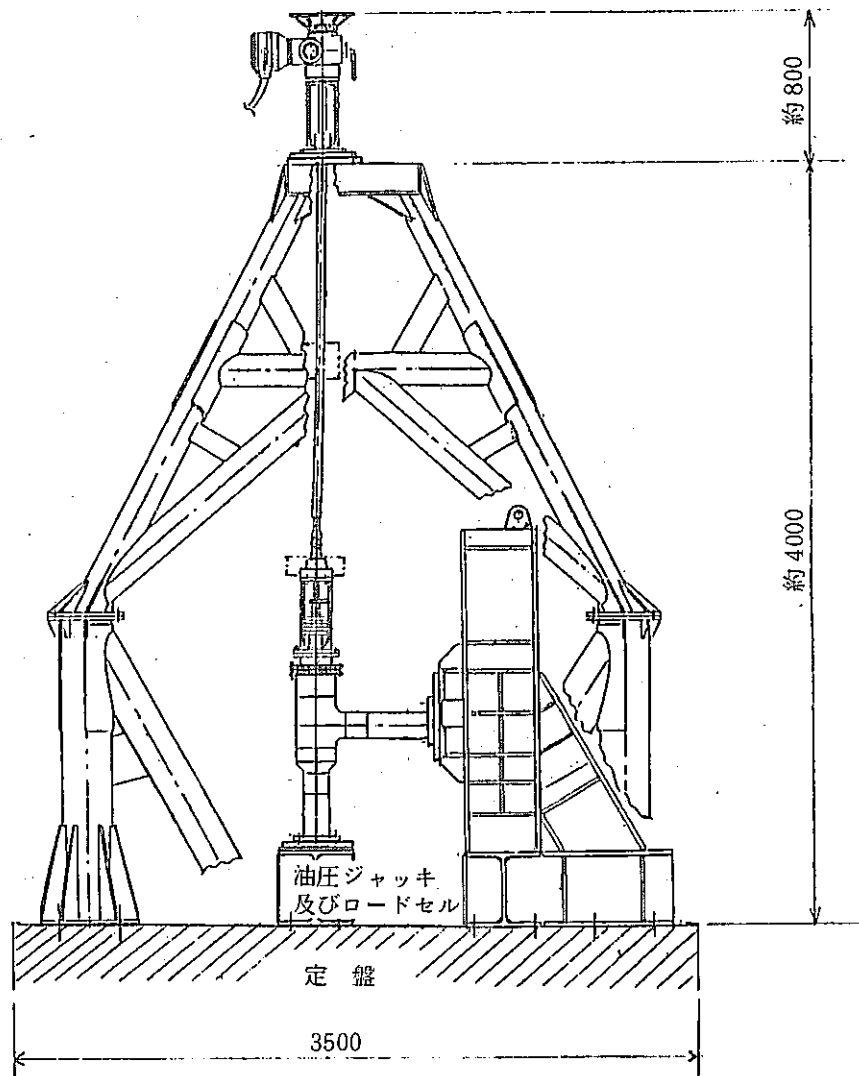


図2.2-1(2) 全体静荷重試験装置の概念図

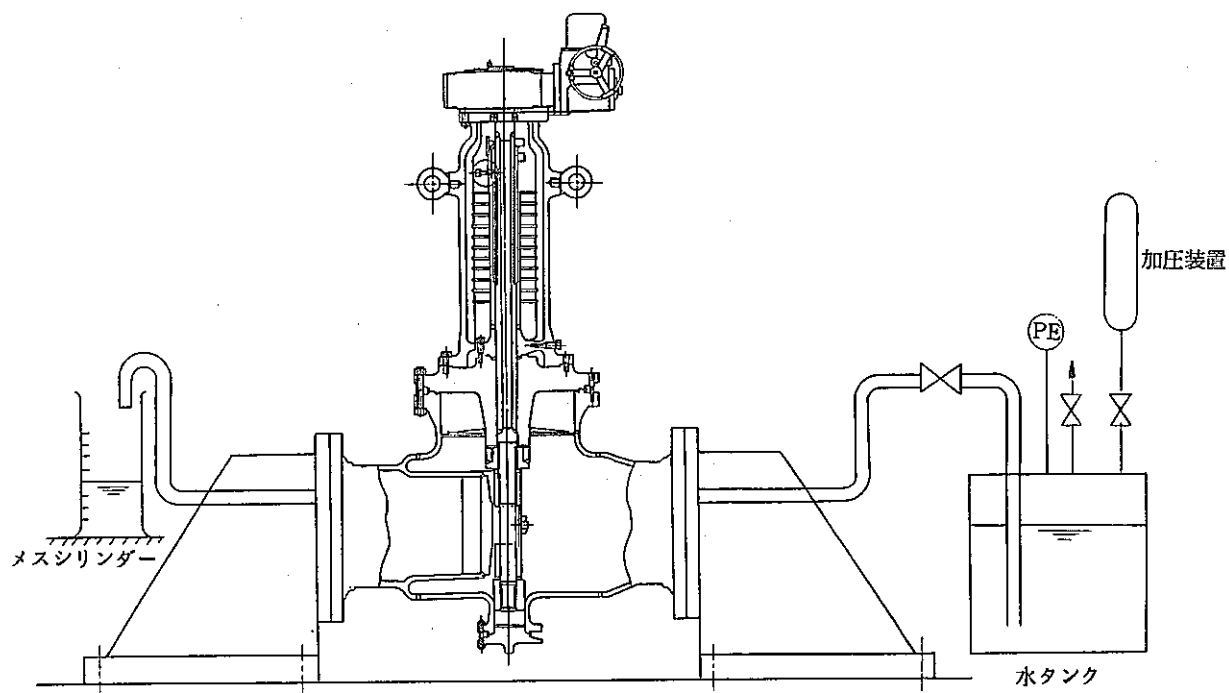


図2.2-2 弁座漏洩試験装置の概念図

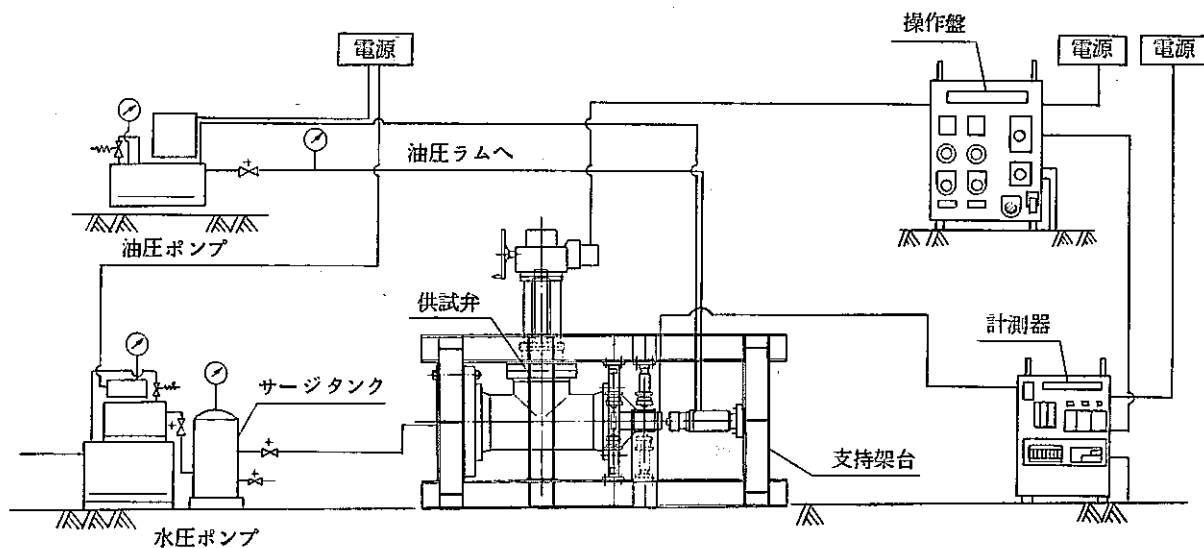


図2.2-3 配管反力試験装置の概念図

表2.2-3(1/4) 4BY型グローブ弁の全体確認試験条件

項 目	内 容	備 考	
据 付 状 態	正 立 状 態		
固有振動数測定 の時の打振方向	弁棒に直角に2方向	{ ・弁流路方向 ・弁流路直角方向	
(注1) 負 荷 荷 重	実証試験	100 kg	
	裕度試験	260 kg	
作動確認試験時 の作動回数	全開↔全閉 } 各3回以上 全開↔半開 }		
弁座漏洩 試 験	試験圧力	8 kg/cm <sup>2</sup>	全閉とし1次側に加圧
	保持時間	10 min	

(注1) 負荷荷重は実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。

(注2) 実証試験の負荷荷重は実系の地震時相当荷重に基づき設定する。

(注3) 裕度試験の負荷荷重は、供試弁に局部的降状応力を生じさせる荷重より設定する。

表2.2-3(2/4) 22Bバタフライ弁の全体確認試験条件

項 目	内 容	備 考	
据 付 状 態	正 立 状 態		
固有振動数測定 の時の打振方向	弁棒に直角に2方向	{ ・弁流路方向 ・弁流路直角方向	
(注1) 負 荷 荷 重	実証試験	流 路 方 向 : 4100kg	
		流路直角方向 : 1300kg	
	裕度試験	流 路 方 向 : 7000kg	
		流路直角方向 : 2700kg	
作動確認試験時 の作動回数	全開↔全閉 } 各3回以上 全開↔半開 }		
弁座漏洩 試 験	試験圧力	0.2 kg/cm <sup>2</sup>	全閉とし1次側に加圧
	保持時間	10 min	

(注1) 負荷荷重は実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。

(注2) 実証試験の負荷荷重は実系の地震時相当荷重に基づき設定する。

(注3) 裕度試験の負荷荷重は、供試弁のヨーク部に局部降伏を生じさせる荷重より設定する。

表2.2-3(3/4) 12B Y型グローブ弁の全体確認試験条件

項 目	内 容	備 考	
据 付 状 態	正 立 状 態		
固有振動数測定 の時の打振方向	弁棒に直角に2方向	{ ・弁流路方向 ・弁流路直角方向	
(注1) 負 荷 荷 重	実証試験	流 路 方 向 : 2400kg	
		流路直角方向 : 2400kg	
	裕度試験	流 路 方 向 : 3200kg	
		流路直角方向 : 4800kg	
作動確認試験時 の作動回数	全開↔全閉 } 各3回以上 全開↔半開 }		
弁座漏洩 試 験	試験圧力	2 kg/cm <sup>2</sup>	全閉とし1次側に加圧
	保持時間	10 min	

(注1) 負荷荷重は実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。

(注2) 実証試験の負荷荷重は実系の地震時相当荷重に基づき設定する。

(注3) 裕度試験の負荷荷重は、供試弁のヨーク部に局部降伏を生じさせる荷重より設定する。

表2.2-3(4/4) 5B アンゲル弁の全体確認試験条件

項 目	内 容	備 考	
据 付 状 態	正 立 状 態		
固有振動数測定 の時の打振方向	弁棒に直角に2方向	{ ・弁流路方向 ・弁流路直角方向	
(注1) 負 荷 荷 重	実証試験	200 kg	
	裕度試験	4700kg	
作動確認試験時 の作動回数	全開↔全閉 } 各3回以上 全開↔半開 }		
弁座漏洩 試 験	試験圧力	1.5 kg/cm <sup>2</sup>	全閉とし1次側に加圧
	保持時間	10 min	

(注1) 負荷荷重は実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。

(注2) 実証試験の負荷荷重は実系の地震時相当荷重に基づき設定する。

(注3) 裕度試験の負荷荷重は、供試弁に局部降伏を生じさせる荷重より設定する。

表2.2-4(1/4) 4BY型グローブ弁の配管反力試験条件

項 目		内 容
据 付 状 態		正 立 状 態
(注2) 実証試験 負荷荷重	引張・圧縮	60 kg
	曲 げ	120 kg・m
	振 り	50 kg・m
(注3) 裕度試験 最大負荷荷重	引張・圧縮	9500 kg
	曲 げ	500 kg・m
	振 り	1000 kg・m
開閉試験時の作動回数		各負荷荷重毎に3回以上
弁座漏洩試験	試験圧力	8 kg/cm <sup>2</sup>
	保持時間	10 min

- (注1) 負荷荷重は実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。  
 (注2) 実証試験の負荷荷重は、実系の配管反力荷重に基づき設定する。  
 (注3) 裕度試験の負荷荷重は、告示501号第一種弁の規格で規定される配管反力を最大とし、弁箱の局部的降伏の起らない範囲の荷重とする。

表2.2-4(2/4) 22Bバタフライ弁の配管反力試験条件

項 目		内 容
据 付 状 態		正 立 状 態
(注2) 実証試験 負荷荷重	引張・圧縮	2600 kg
	曲 げ	6100 kg・m
	振 り	3400 kg・m
(注3) 裕度試験 最大負荷荷重	引張・圧縮	111500 kg・m
	曲 げ	30100 kg・m
	振 り	60200 kg・m
開閉試験時の作動回数		各負荷荷重毎に3回以上
弁座漏洩試験	試験圧力	0.2 kg/cm <sup>2</sup>
	保持時間	10 min

- (注1) 負荷荷重は実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。  
 (注2) 実証試験の負荷荷重は、実系の配管反力荷重に基づき設定する。  
 (注3) 裕度試験の負荷荷重は、告示501号第一種弁の規格で規定される配管反力を最大とし、弁箱の局部的降伏の起らない範囲の荷重とする。



表2.2-4(3/4) 12 B Y型グローブ弁の配管反力試験条件

項 目		内 容	
据 付 状 態		正 立 状 態	
注2) 実証試験 負荷荷重	引張・圧縮	1100 kg	
	曲 げ	1900 kg・m	
	振 り	800 kg・m	
注3) 裕度試験 最大負荷荷重	引張・圧縮	43300 kg	
	曲 げ	6600 kg・m	
	振 り	13200 kg・m	
開閉試験時の作動回数		各負荷荷重毎に3回以上	
		試験圧力	2 kg/cm <sup>2</sup>
		保持時間	10 min

(注1) 負荷荷重は実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。

(注2) 実証試験の負荷荷重は、実系の配管反力荷重に基づき設定する。

(注3) 裕度試験の負荷荷重は、告示501号第一種弁の規格で規定される配管反力を最大とし、弁箱の局部的降伏の起らない範囲の荷重とする。

表2.2-4(4/4) 5 B アンゲル弁の配管反力試験条件

項 目				内 容
据 付 状 態				正 立 状 態
	注1) 荷重	水平配管	垂直配管	
注2) 実証 試験 負荷 荷重	F1	軸 力	-	300 kg
	F2	面外曲げ	振 り	600 kg
	F3	-	軸 力	600 kg
	F4	振 り	面外曲げ	400 kg
	F5	面内曲げ	面内曲げ	500 kg
注3) 裕度 試験 最大 負荷 荷重	F1	軸 力	-	18900 kg
	F2	面外曲げ	振 り	4200 kg
	F3	-	軸 力	18900 kg
	F4	振 り	面外曲げ	3600 kg
	F5	面内曲げ	面内曲げ	3100 kg
開閉試験時の作動回数				各負荷荷重毎に3回以上
弁座漏洩試験			試験圧力	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
			保持時間	10 min

(注1) F1～F5については第3章図3.4-1を参照のこと。また、負荷荷重は、実証試験と裕度試験とその中間の荷重の3段階とする。

(注2) 実証試験の負荷荷重は、実系の配管反力荷重に基づき設定する。

(注3) 裕度試験の負荷荷重は、告示501号第一種弁の規格で規定される配管反力を最大とし、弁箱の局部的降伏の起らない範囲の荷重とする。

表 2.2-5 弁の分解点検・検査項目

部 品 名	点検箇所	点 検 要 領	備 考
弁 側 全 体	外 観	目視による異常の有無の確認，記録	
	分解時の異常	固着，変形がないかの確認，記録	
弁箱・弁フタ	外 観	目視による異常の有無の確認，記録	
	変 形	弁箱・弁フタの変形の有無の確認	
シ ー ト	シ ー ル 面	目視による損傷の有無の確認	
デ ィ ス ク	シ ー ル 面	目視による損傷の有無の確認，記録	
ス テ ム	摺 動 面	目視による焼付きの有無の確認，記録	
	曲 が り	ダイヤルゲージによる測定，記録	
ボルト，ナット	曲 が り	緩みおよび変形の有無の確認，記録	
ヨ ー ク	曲 が り	曲がりおよび変形の有無の確認，記録	
ブッシュ類	ステムとの摺動面	摩耗および損傷の有無の確認，記録	グランドパッキンも含む。
(注3) 駆動部側 全 体	外 観	目視による異常の有無の確認，記録	
	操 作 性	手動操作による異常の有無の確認，記録	
端 子 台	ビスなどの緩み	端子台の変形，ビスなどの緩みの確認，記録	
回 路	配 線 状 態	接点不良の有無をテスターで確認，記録	
リミットスイッチ	動 作 性	手動操作による動作性の確認，記録	
トルクスイッチ	動 作 性	手動操作による動作性の確認，記録	
電 気 品 特 性	絶 縁 抵 抗	計 測 記 録	
	耐 電 圧	計 測 記 録	
潤 滑 油	劣 化	変色などの異常の有無の確認，記録	
手動切換装置	切 換 性	切換性の確認，記録	
ステムナット	ね じ 表 面	摩耗，損傷の有無の確認，記録	

(注1) 異常，変形，摩耗，損傷等については具体的に記録に残すこと。

(注2) 本表は点検・検査項目の標準例であり，個々の弁の特殊性を考慮して具体的な点検・検査項目を設定してよい。

(注3) 駆動部側は分解は行わず上記の点検を行うものとする。

荷重は実系の配管反力値により設定する。また、裕度試験での負荷荷重は、第3章に示すように、告示501号第一種弁の構造の規格で規定される接続配管の降伏応力に基づく配管反力、又は弁箱に局部的降伏を生じさせる配管反力のいずれか小さい方の荷重とする。

荷重の負荷方法は、裕度試験の荷重を最大とし、実証試験の荷重を含み3段階の荷重条件を設定し、負荷荷重を段階的に上昇させ、それぞれの場合について応力測定と作動確認を実施する。

尚、全体静荷重試験の実施後、弁の分解点検検査を行なうが、この場合の検査項目を表2.2-5に示す。

### 2.2.3 計測点の検討

全体確認試験及び配管反力試験の計測点は2.1.3項の検討並びに以下の検討に基づき設定した。

配管反力試験時の歪ゲージ貼付位置を検討する目的で、試験対象弁について、配管反力に対する弁の応力解析を、3次元シェルモデルにより実施した。各弁の応力分布図を図2.2-4～図2.2-7に示す。

これらの解析結果から、いずれの場合も高応力部は、ティー管の管交叉部または、弁座シート部と弁箱の接続部に発生していることがわかる。

配管反力試験においては、これら高応力発生部の応力が降伏点に達する配管反力を上廻らない範囲で、荷重を段階的に増加させて、応力測定並びに作動確認試験を行なうものとする。

各試験対象弁について、全体確認試験時並びに配管反力試験時の計測点を図2.2-8～図2.2-11に、また計測点仕様を表2.2-6～表2.2-9に示す。

これらの計測点のうちひずみ計測点は、前述の3次元シェルモデルによる解析結果等を考慮し、

- i) 機能評価上、変形量の計測が必要な点
- ii) 構造上、弁の最弱部と考えられる点

として選定したものである。

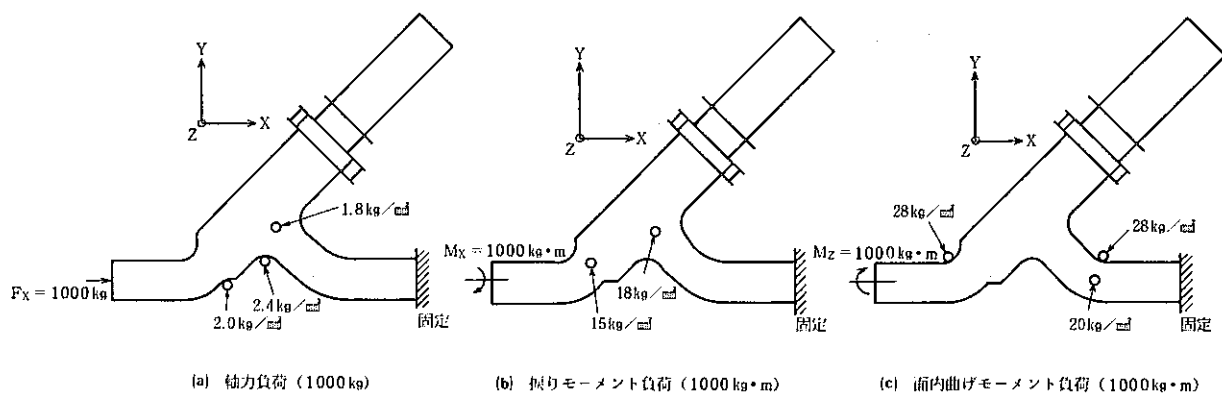
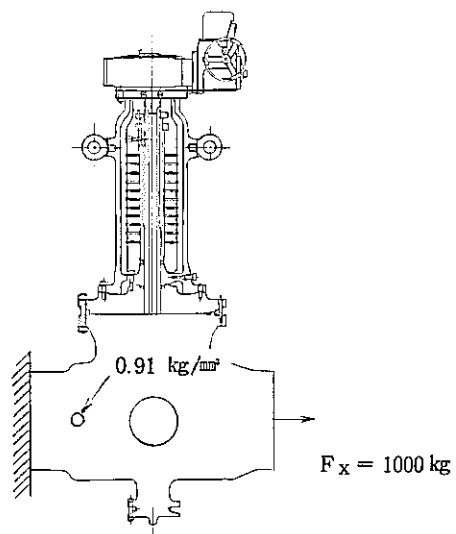
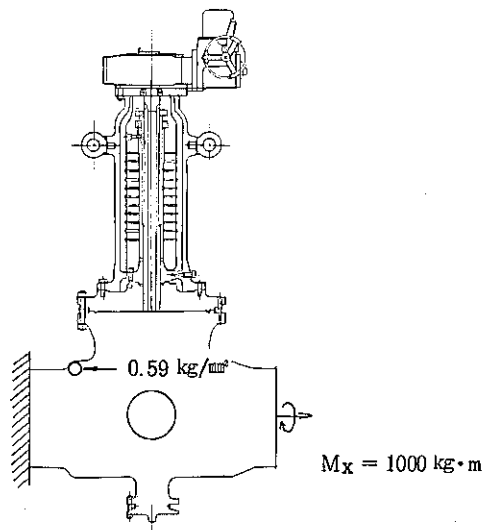


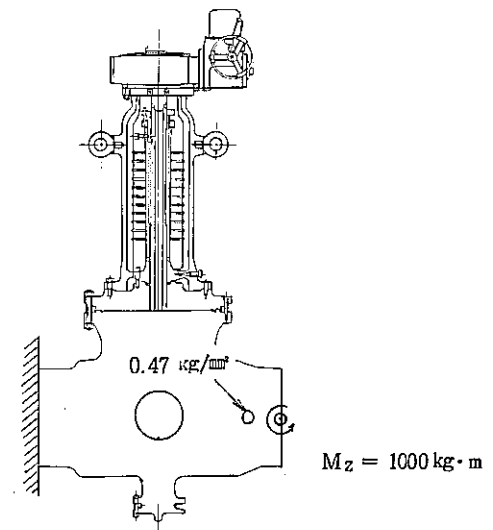
図2.2-4 4B Y型グローブ弁の配管反力負荷時の最大応力発生位置



(a) 軸力負荷 ( 1000 kg )



(b) 振りモーメント負荷 ( 1000 kg · m )



(c) 面内曲げモーメント負荷 ( 1000 kg · m )

図22-5 22Bバタフライ弁の配管反力負荷時の最大応力発生位置

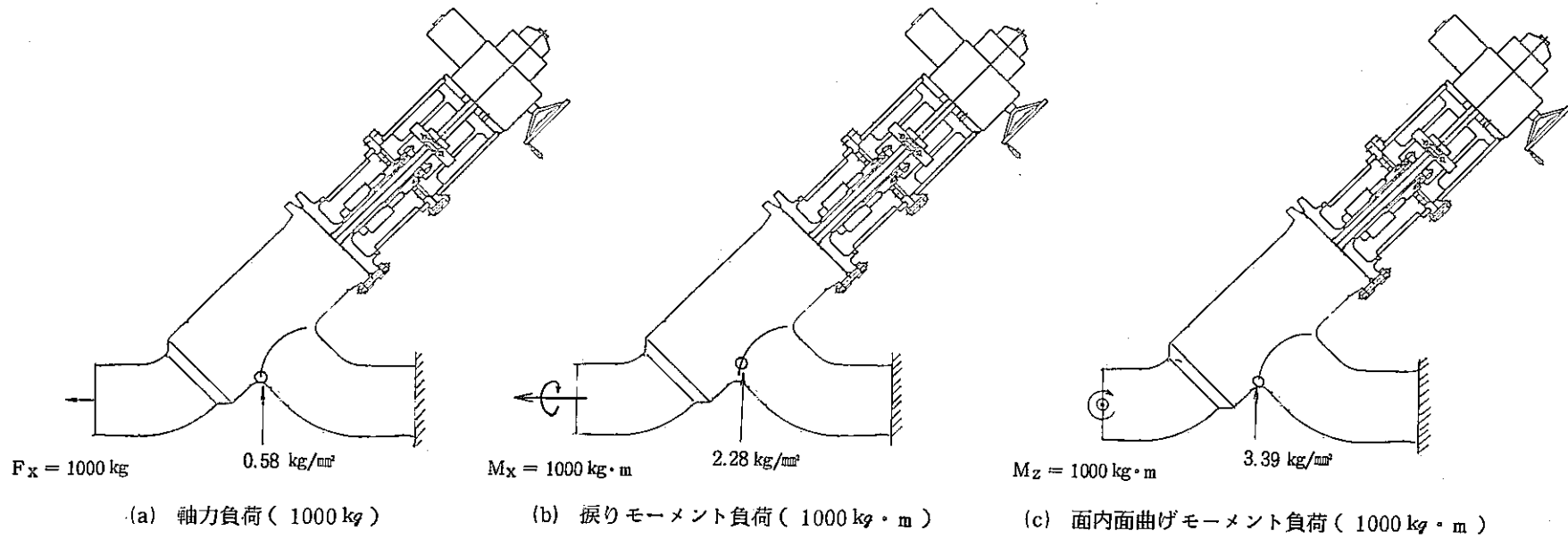


図2.2-6 12B Y型グローブ弁の配管反力負荷時の最大応力発生位置

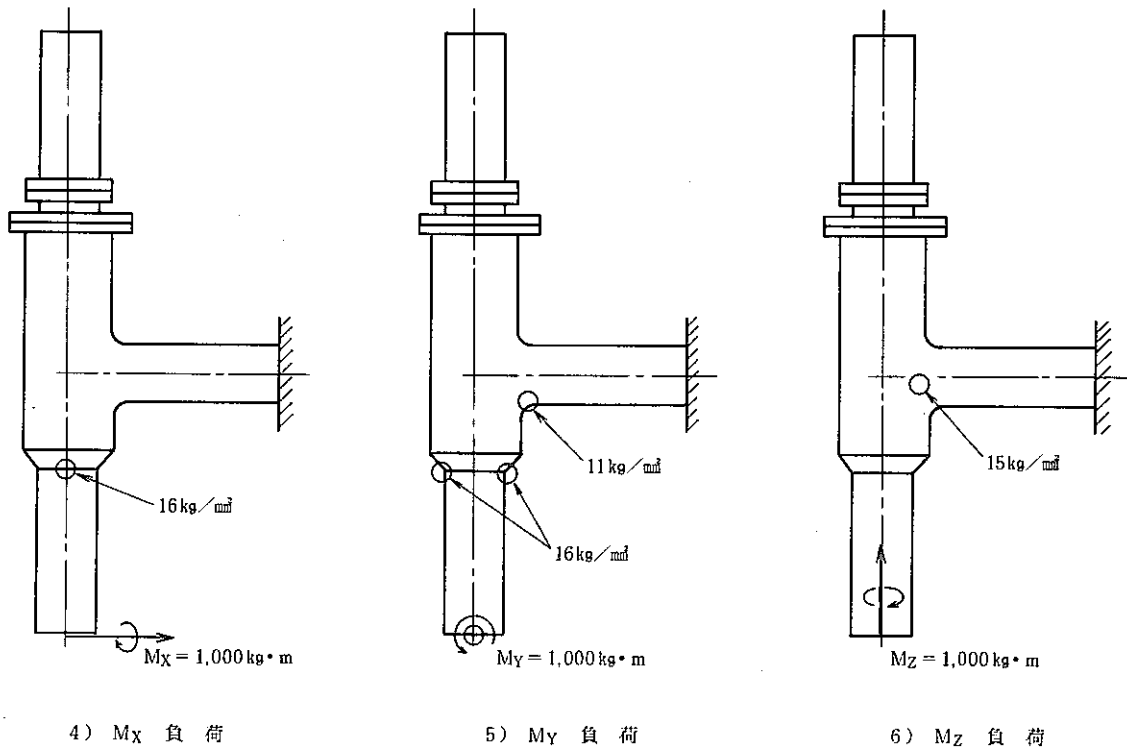


図2.2-7(1/2) 5 Bアングル弁の配管反力負荷時の最大応力発生位置

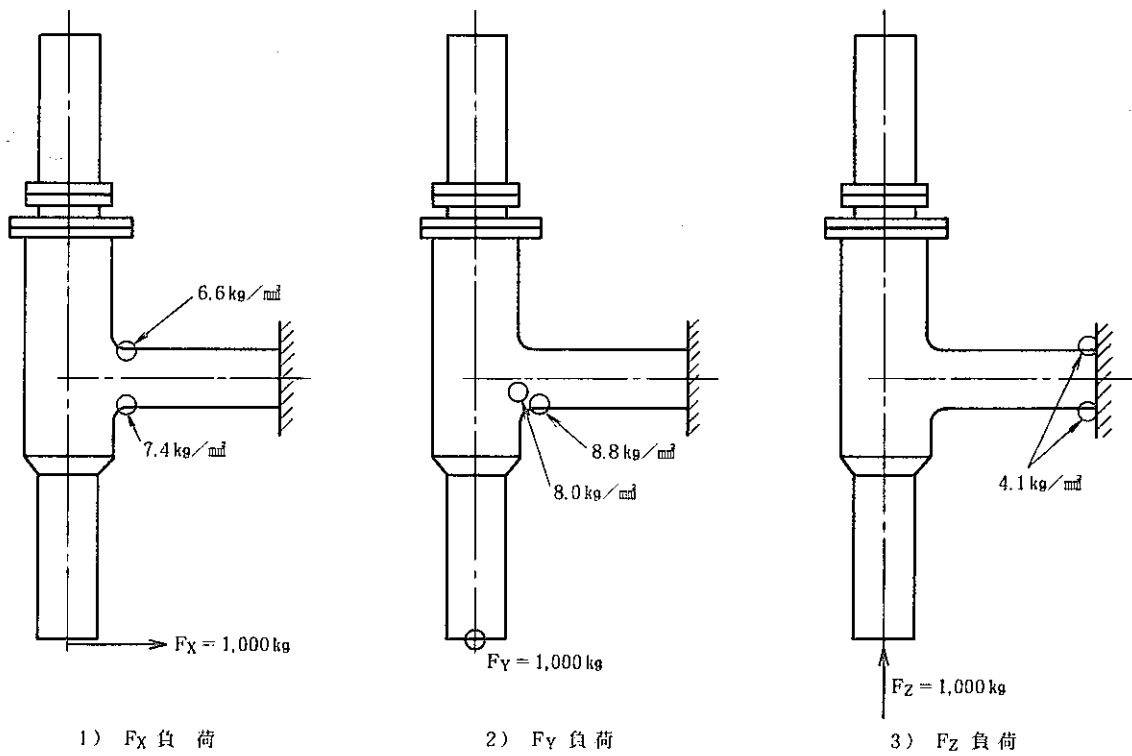


図2.2-7(2/2) 5 Bアングル弁の配管反力負荷時の最大応力発生位置

○ ACC : 加速度計取付点  
 × SG : ひずみゲージ取付点

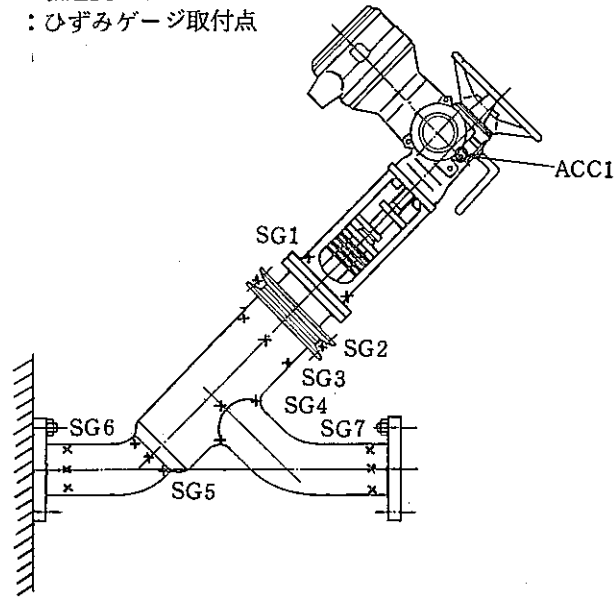


図2.2-8 4BY型グローブ弁の静荷重試験時計測点

表2.2-6 4BY型グローブ弁の計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け位置	主な計測目的	計測軸
加速度	ACC 1	駆動用モータ	打振時の振動 (注1)	1
静ひずみ	SG 1	ヨーク付け根部	高応力発生部	3
	SG 2	ボンネット締付けボルト	ボルト変形量の測定 (注2)	1
	SG 3	弁箱上部	弾性解析上の評価点	3
	SG 4	弁座下部近傍	高応力発生部 (注3)	3
	SG 5	弁箱テ-構造部	高応力発生部 (注3)	3
	SG 6	} 配管接続部	配管反力の確認	3
	SG 7			3

(注1) 打振時に適宜移動して各部の振動を計測する。

(注2) ボルトの伸びはゲージが貼れる場合에만実施する。

(注3) この歪ゲージには、塑性歪ゲージを取付ける。

○ ACC : 加速度計取付点  
 × SG : ひずみゲージ取付点

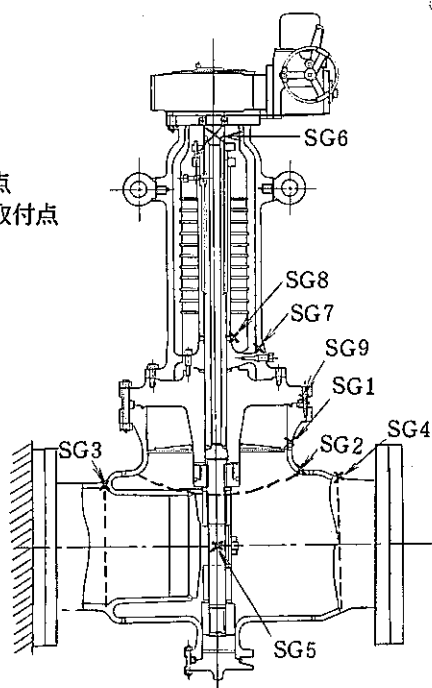


図2.2-9 22Bバタフライ弁の静荷重試験時計測点

表2.2-7 22Bバタフライ弁の計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け位置	主な計測目的	計測軸
加速度	ACC 1	駆動用モータ	打振時の振動(注1)	1
静ひずみ	SG 1	ボンネットフランジ下部	高応力発生部	3
	SG 2	T管交差部	"	3
	SG 3	} 弁箱構造不連続部	"	3
	SG 4		"	3
	SG 5		弁箱中央部	"
	SG 6	ステム上部	ステム応力の確認	3
	SG 7	ヨーク下部	高応力発生部	3
	SG 8	スタフィンボックス下部	"	3
	SG 9	ジョイントボルト部	ボルト変形量の測定(注2)	1

(注1) 打振時に適宜移動して各部の振動を計測する。

(注2) ボルトの伸びはゲージが貼れる場合にのみ実施する。



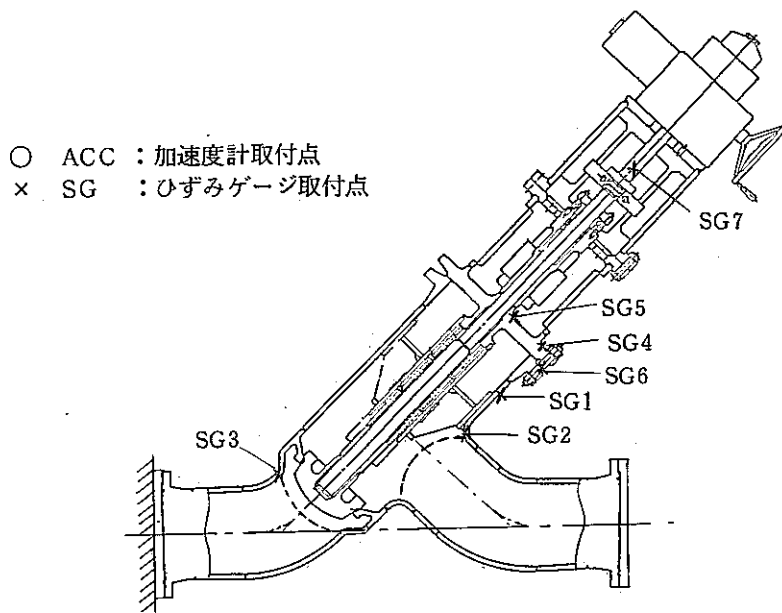


図2.2-10 12B Y型グローブ弁の静荷重試験時計測点

表2.2-8 12B Y型グローブ弁の計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け位置	主な計測目的	計測軸
加速度	ACC 1	駆動用モータ	打振時の振動(注1)	1
静ひずみ	SG 1	弁箱フランジ下部	高応力発生部	3
	SG 2	弁箱交差部	"	3
	SG 3	弁箱構造不連続部	"	3
	SG 4	ヨーク下部	"	3
	SG 5	スタフィンボックス下部	"	3
	SG 6	ジョイントボルト部	ボルト変形量の測定(注2)	1
	SG 7	ステム頂部	ステム応力の確認	3

(注1) 打振時に適宜移動して各部の振動を計測する。

(注2) ボルトの伸びはゲージが貼れる場合에만実施する。

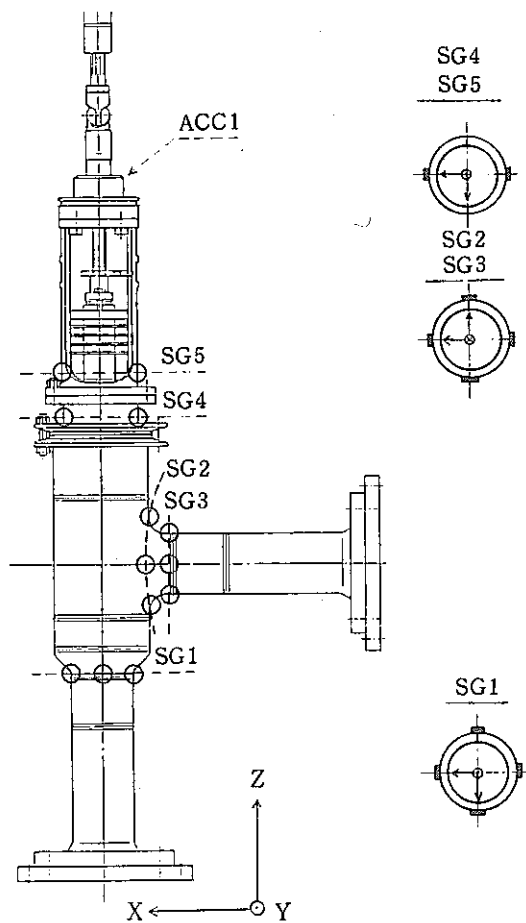


図2.2-11 5 B アンゲル弁の静荷重試験時計測点

表2.2-9 5 B アンゲル弁の計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け位置	主な計測目的	計測軸
加速度	ACC 1	弁箱上端部	最大変位場所 <sup>注1)</sup> であり振動性状を把握する。	1
	SG 1	垂直管付け根部	高応力発生部 <sup>注2)</sup>	3
静ひずみ	SG 2	水平管コーナ部	高応力発生部 <sup>注2)</sup>	3
	SG 3	水平管付け根部	高応力発生部 <sup>注2)</sup>	3
	SG 4	ボンネット部	不連続構造形状で応力集中が起き易い部分	2
	SG 5	ヨーク下端部	切欠きを含む不連続構造形状で応力集中が起き易い部分	2

注1) 打振時に適宜移動して各部の振動を計測する。

注2) 塑性ひずみゲージを取付ける。

## 2.3 要素試験

### 2.3.1 フリーズシール部剪断 / 摺動試験

昭和57年度の研究(Ⅱ)において、本試験の試験要領を定めたが、研究(Ⅲ)ではさらに検討を進め、試験条件の検討を行った。

#### (1) 試験目的

高速炉用 Na 弁には軸封方式としてナトリウムが低温で凝固する性質を利用し、凝固ナトリウム自身をシール部とするフリーズシールを用いている弁がある。フリーズシール部の地震時の動的機能維持の確認は、その機構上全体静荷重試験の中で水を用いて実施することはできない。

そこで、本試験では高速炉用 Na 弁のフリーズシール部の動的機能維持をナトリウムを用いた静荷重試験により確認することを目的とする。

#### (2) 試験概要

##### (イ) フリーズシール部の地震時機能維持

地震中または地震後におけるフリーズシール部の機能は、作動機能および軸封機能に分類される。

##### (i) 作動機能維持

地震時の開閉作動が支障なく行えることが必要である。

すなわち、地震時に負荷される荷重および部品のたわみによる摺動抵抗の増加が生じた場合においても各部分の強度が保証され、駆動装置が正常に作動し、必要な駆動力量が確保されることが必要である。

##### (ii) 軸封機能維持

地震時に負荷される荷重および弁棒のたわみに対して、フリーズシール部から熔融ナトリウムが外部流出することなく、軸封機能が保持されることが必要である。

##### (ロ) フリーズシール部の地震時機能維持の確認方法

フリーズシール部の地震時機能維持は、後述する試験結果より次のことを実証または、解析を行うことによって確認する。

##### (i) 作動機能維持

- ① 弁棒とガイドとの間の凝固したナトリウムの剪断力および摩擦抵抗を測定することによって、駆動装置が必要力量をもつことを確認する。
- ② 作動状態に異常がないことを確認する。

##### (ii) 軸封機能維持

- ① ナトリウムの外部流出が生じないこと。
- ② フリーズポイントの上昇位置を求める。

- ・ 定常時のフリーズポイント
- ・ 荷重負荷時に生じるフリーズポイントの変化

### (3) 供試体

#### (イ) 供試体の選定

供試体は、2次主冷却系設備に設置される蒸気発生器止弁のフリーズシール部を対象としたものとする。

#### (ロ) フリーズシール部の構造

蒸気発生器止弁に予定しているフリーズシール部の構造(案)は図2.3-1に示すとおりである。

### (4) 試験方法

#### (イ) 試験の構成と測定項目

試験の構成と測定項目については表2.3-1に示す。

#### (ロ) 試験装置

図2.3-2に試験装置の概要を示す。図に示すように、ボデー、ボンネット、弁棒、ヨーク、駆動装置から成るフリーズシール部の部分要素試験体を製作する。

試験体は架台に設置し、弁棒にたわみを与えるための静荷重はヨーク上部の油圧ラムによって負荷する。

#### (イ) 試験条件

試験条件は次によるものとする。

##### (i) 静荷重(静的変位)の大きさ

最大負荷荷重の大きさは、弁棒のたわみ量により規定し、実系弁が受ける地震時最大変位に基づき決定する。

実系弁の受ける地震時相対変位をヨーク頂部とヨーク下部間及びヨーク頂部と弁箱中心間について表2.3-2に示す。これより、フリーズシール部剪断摺動試験の変位は、相対変位 $\delta_v$ の最大値3.6mmより設定し、 $\delta_v = 4\text{mm}$ とする。更に裕度確認のため、 $\delta_v \times 1.5 = 6\text{mm}$ の変位荷重についても試験を行うものとする。

本試験は弁棒に実系弁と同等のたわみを与えればよく、荷重をかける方向は一方向でよいのでヨークの曲げ剛性の小さい方向に荷重をかけるものとする。

##### (ii) ナトリウム温度

最高試験温度は、少なくとも実系弁の運転温度までとし、試験温度は以下の通りとする。

室温（ナトリウム充填前），200℃，325℃<sup>※1</sup>，505℃<sup>※2</sup>

※1 SG出口止弁 運転温度

※2 SG入口止弁 運転温度

試験装置の雰囲気温度は，ほぼ一定になるよう配慮する。

### (iii) ナトリウム圧力

最高試験圧力は少なくとも実系弁の運転圧力2.7 atg以上とする。

従って，試験圧力は以下の通り設定する。

0 atg， 2 atg， 4 atg

試験手順および試験方法

#### (i) 試験手順

図2.3-3に試験手順を示す。

#### (ii) 測定計器および方法

表2.3-3に測定計器および方法を示す。

記録の方法はナトリウム圧力，雰囲気温度等を除き自動記録を原則とする。

#### (iii) 試験方法（前試験および本試験）

- ① 試験は，図2.3-3に示す各試験条件ごとに各項目の測定を行う。
- ② 静荷重はヨーク上部付近に油圧ラムにて負荷し，荷重の大きさはロードセルにて，また弁棒のたわみはダイヤルゲージにて測定する。
- ③ フリーズシール部の温度は熱電対により，またフリーズシール部のナトリウム位置の変化は熱電対およびナトリウム漏洩検知器により行う。熱電対およびナトリウム漏洩検知器の取付位置を図2.3-4に示す。
- ④ 作動時の弁棒トルクは，弁棒の上部に取付けたひずみゲージにより測定する。
- ⑤ 作動時間および作動電圧，電流は駆動装置の電気部品端子よりの信号により測定する。

#### (iv) 試験方法（本試験2）

上記(iii)の終了後，試験体フリーズシール部の解体，パッキンの詰替えを行う。その際，上記試験結果よりフリーズポイント相当位置に，バックアップ用に使用しているグラフオイルパッキンを充填し，再試験を行ってバックアップ効果の確認試験を行う。

試験条件は，上記(iii)に同じとする。

#### (v) 試験方法（後試験，分解点検）

本試験終了後，供試体を分解し次の点に着目し，分解点検調査を行う。

- ① フリーズシールの内部へのナトリウムの浸透状況を点検し，実験による計測値との比較を行う。
- ② フリーズシール上部に充填したランドパッキン（グラフオイル）のバックアップ効果の有無を調査する。
- ③ 各部品の異常の有無を点検する。

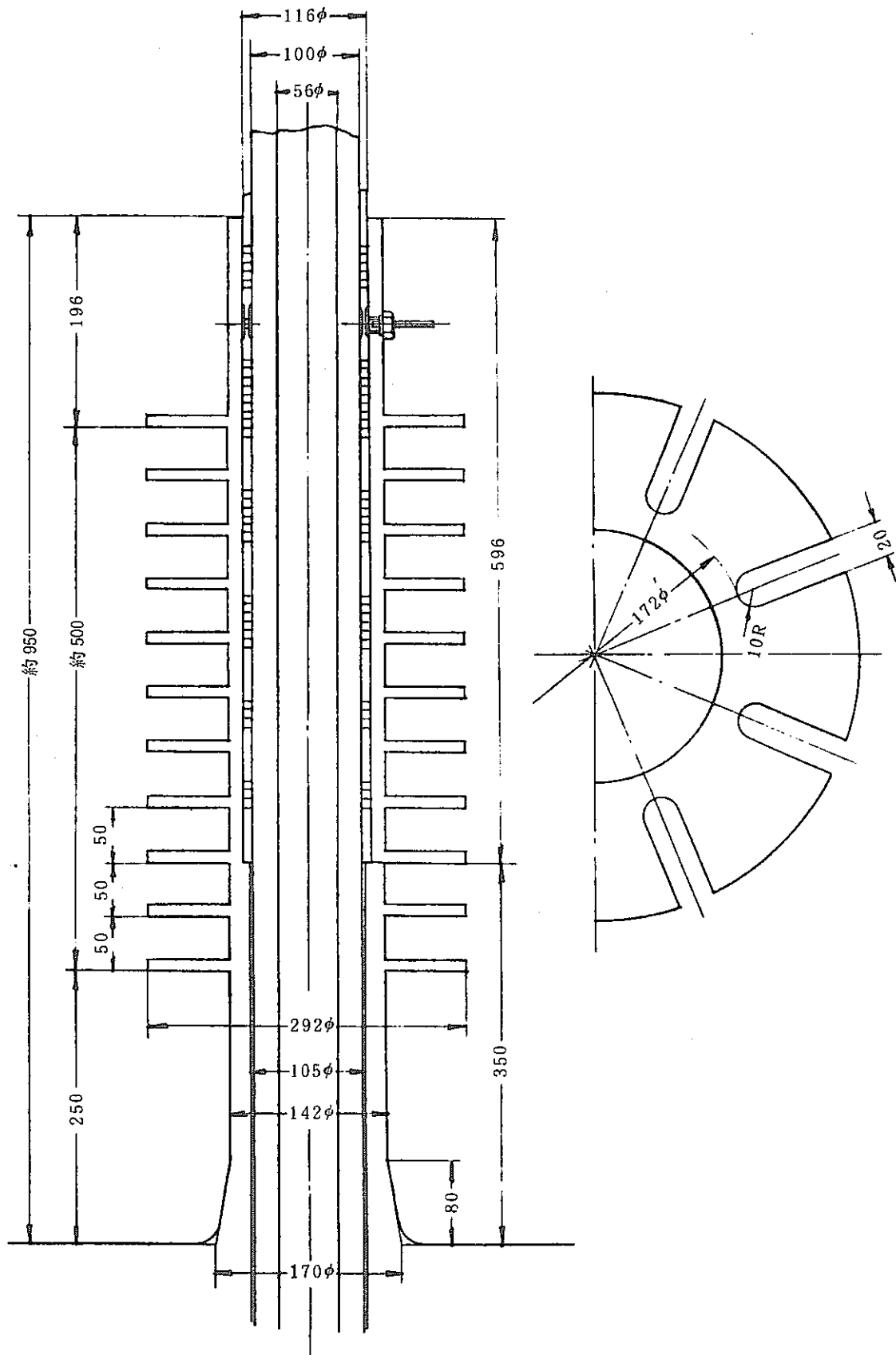
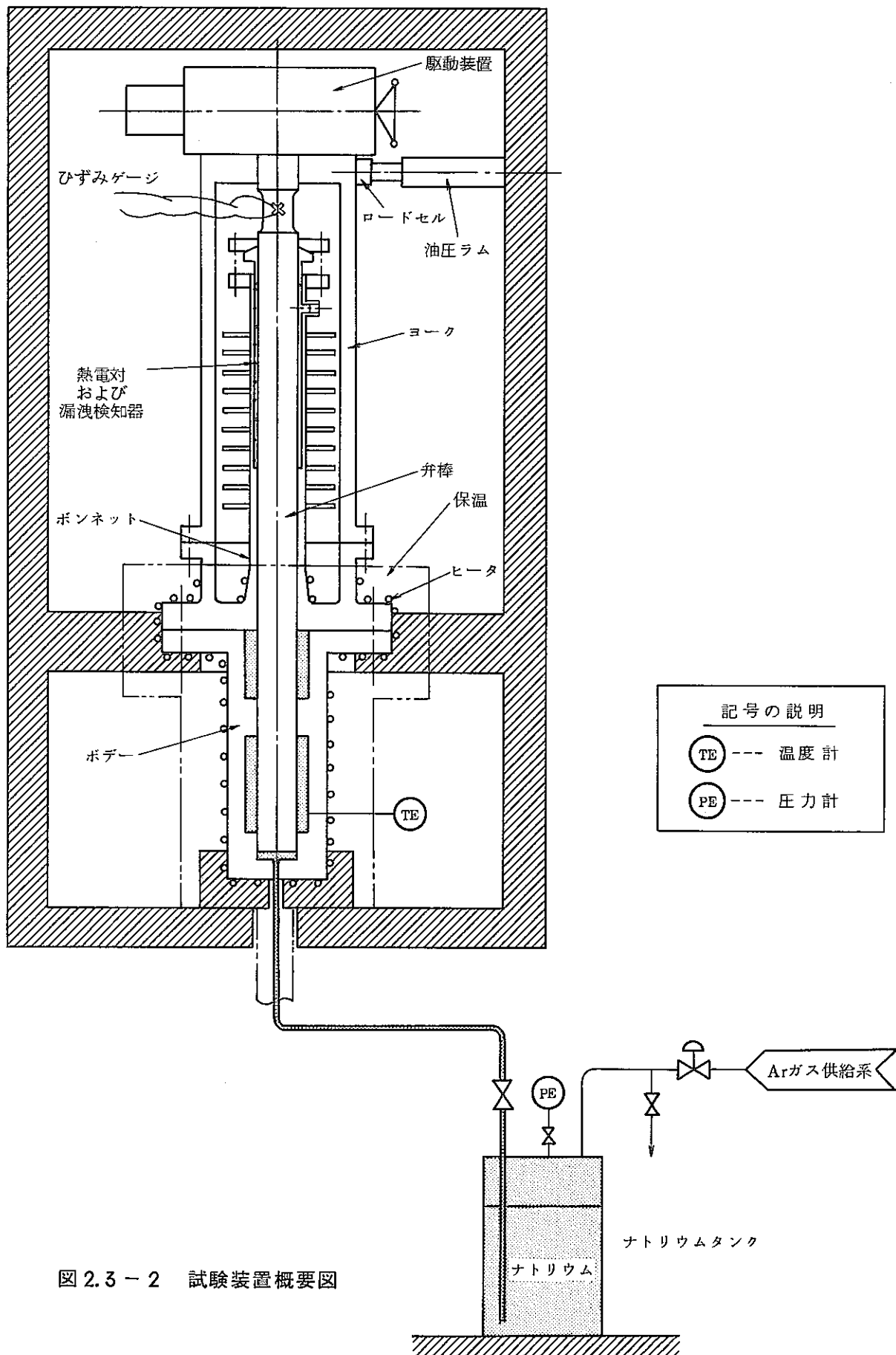


図 2.3 - 1 フリーズシール部構造 (案)



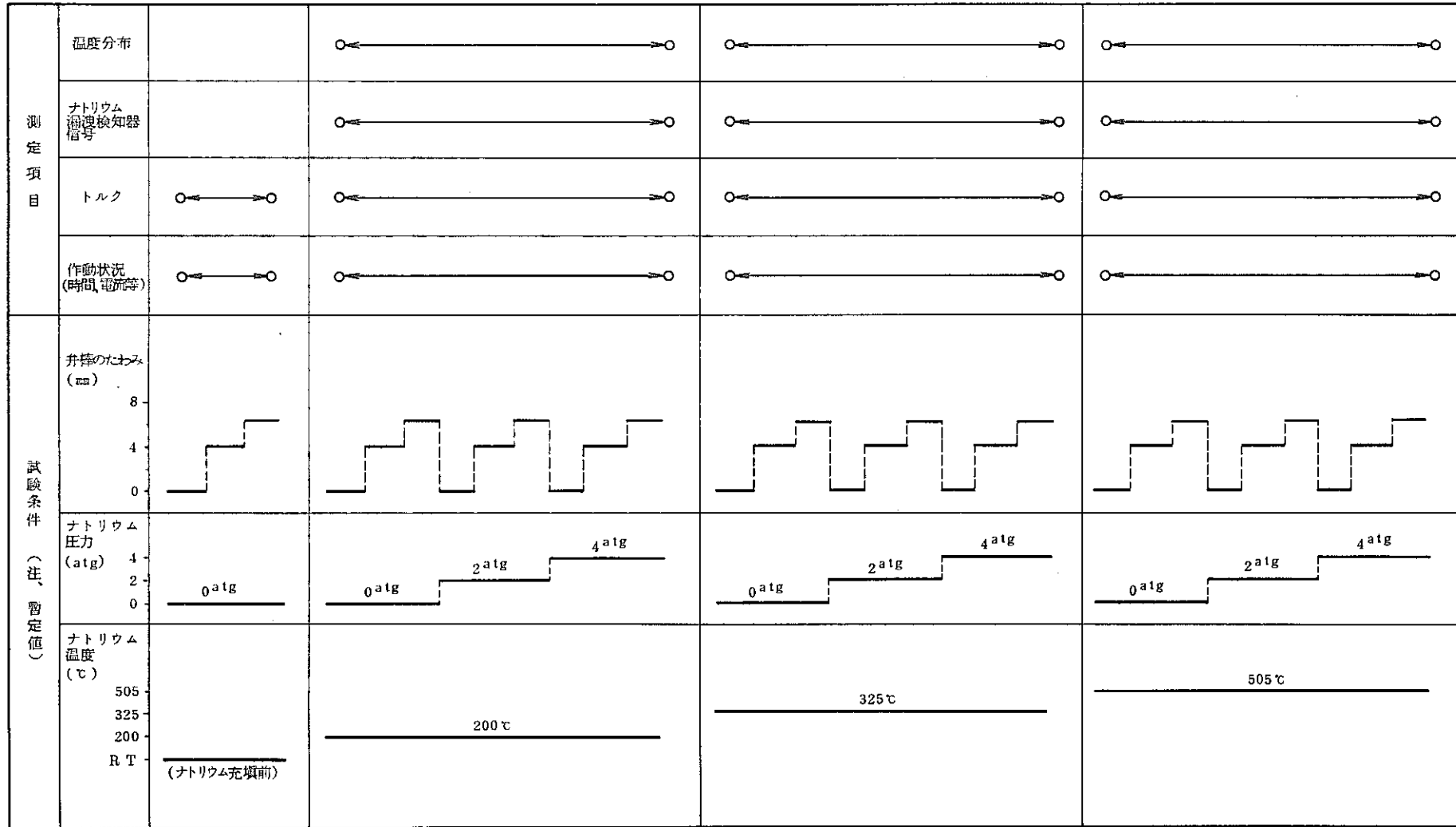


図 2.3 - 3 試験手順図



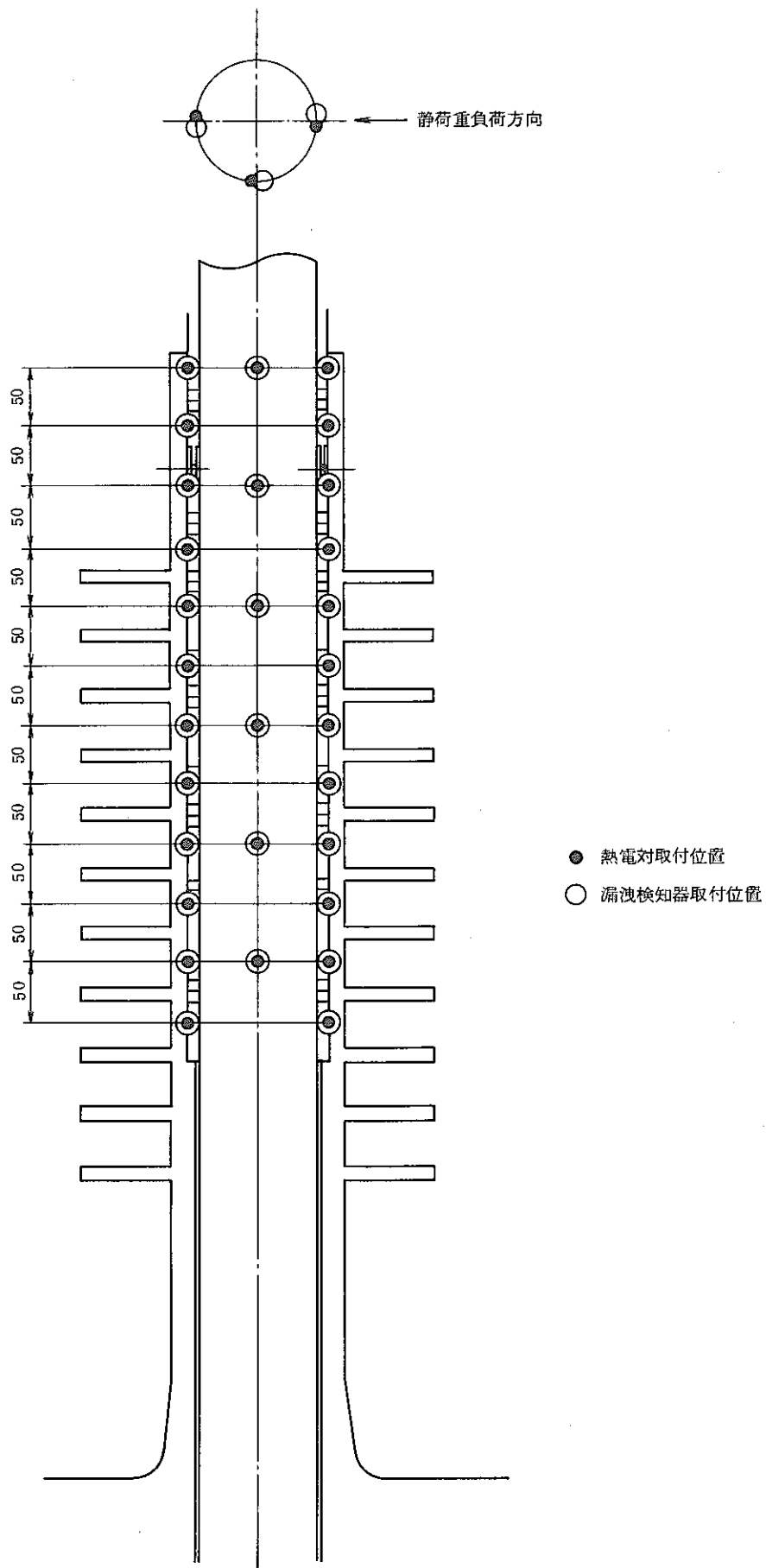


图 2.3 - 4 検出器取付位置 (案)

表 2.3 - 1 試験の構成と測定項目

試 験		試 験 内 容	測 定 項 目
前 試 験	作 動 試 験	1. ナトリウムチャージ前に開閉作動させ、 作動特性を確認する。 パラメータ ○ 静荷重 (静的変位)	1. 弁棒トルク 2. 作動電圧, 電流 3. 作動時間 4. 作動中の不具合の有無
本 試 験	作 動 確 認 試 験	1. ナトリウムチャージを行なった後, 開閉 作動させ, 作動特性を確認する。 パラメータ ○ ナトリウム温度 ○ ナトリウム圧力 ○ 静荷重 (静的変位)	1. 試験温度, 圧力 2. 静荷重 3. 弁棒トルク 4. 作動電圧, 電流 5. 作動時間 6. 作動中の不具合の有無
	軸 封 確 認 試 験	1. 各条件下で軸封機能を確認する。  パラメータ ○ ナトリウム温度 ○ ナトリウム圧力 ○ 静荷重 (静的変位) ○ 開閉作動	1. 試験温度, 圧力 2. 静荷重 3. フリーズシール部の温度 分布 4. 溶融ナトリウム上昇位置 5. ナトリウム外部漏洩の有無
後 試 験	分 解 点 検	1. 試験体を分解し点検する。	1. 各部分の異常の有無

表 2.3 - 2 22Bバタフライ弁の地震時相対変位

節 点 名 称	地 震 時 相 対 変 位 (mm)			
	X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	合 相 対 変 位
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\delta_v$
① ~ ②	0.4	0	3.6	3.6
① ~ ③	0.5	0	3.5	3.5

(注1) 節点名称は表 2.1 - 10に示す弁のモデルに対応する。

(注2) 合相対変位は  $\delta_v = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$

表 2.3 - 3 測定計器および測定方法

	項 目	測 定 器	記 録
測 定 項 目	フリーズシール部 温 度	熱 電 対	} (自動記録)
	ナトリウム位置 の変化	熱 電 対 ナトリウム漏洩 検知器	
	ト ル ク	ひずみゲージ	
	作 動 状 況 作 動 時 間 電 圧 電 流	駆 動 部 端 子	
試 験 条 件	静 荷 重 (弁棒たわみ)	ロードセル ダイヤルゲージ	(自動記録)
	ナトリウム圧力	圧 力 計	(指示計による読み)
	ナトリウム温度	熱 電 対	(自動記録)

尚, 試験装置の雰囲気温度についても常時監視し, 定期的に記録する。

### 2.3.2 エクステンションロッド部分試験

前年度の研究(Ⅱ)において、本試験の概要を定めたが、本研究(Ⅲ)ではさらに検討を進め、負荷条件の検討及び計測点等の設定を実施したので、それらを示す。

#### (1) 試験概要

エクステンションロッドの部分試験は、1次系のNa弁等の代表的な形状、寸法から供試体を選定し、次の3種類の試験を実施する。

- ① 振動特性試験
- ② 開閉試験
- ③ 動的機能維持確認試験

これらの試験の実施に当っては、ロッド部の長さ、取付時の傾角などをパラメータとして考慮する。また、振動挙動を把握し、解析結果と比較することにより、弁エクステンション部の設計手法の確立を図り、1次系のエクステンション弁全体の地震時機能維持を解析的に確認できるようにするのが目的である。各々の試験の概要は以下に示す通りである。

#### (イ) 振動特性試験

弁エクステンション構造部の振動特性を把握するため、正弦波掃引加振を行い、固有振動数、振動モード、減衰定数を測定する。弁エクステンション部の振動解析を実施し、測定値と比較し、解析値の妥当性を確かめ、モデル化手法及び解析手法の確立を図る。

#### (ロ) 開閉試験

弁エクステンション部の地震時の応答を模擬し、その状態での繰返し開閉操作を行い、弁エクステンション部の強度及び機能維持を確認する。

地震時に想定される駆動部及びエクステンションロッド部の応答変位量 $\delta_1$ 、 $\delta_2$ を、強制変位として(必要により相当する荷重に換算して)静的にエクステンションロッド中央及び駆動部の両者に加えて模擬する。また、開閉操作を繰返し実施し、開閉時間の変化及び駆動力量の変化を測定し、地震時応答との関係を把握する。

#### (ハ) 動的機能維持確認試験

正弦波によりエクステンションロッドの卓越固有振動数にて加振し、地震時の応答加速度又は変位に相当する応答を加える。また駆動部には上記(ロ)と同じ強制変位を加える。この状態において、弁を開閉操作し、開閉時間、駆動力量を測定し、所要設計仕様に合致するかどうか判定し、地震時機能維持の確認を行う。

各試験の概要及び測定項目等をまとめて表2.3-4に示す。

表 2.3 - 4 試験概要及び測定項目一覧表

No.	試験名称及び目的	測定項目	パラメータ	試験概要
1	<p>振動特性試験</p> <p>正弦波により弁本体部を加振し、固有値モード等を計測し、解析値と比較検討する。</p>	<p>(1) 固有振動数</p> <p>(2) 振動モード</p> <p>(3) 減衰定数</p> <p>(4) 応答倍率 (注3)</p> <p>(5) ひずみ (注3)</p>	<p>(1) エクステンション長さ: <math>L</math> (注1)</p> <p>(2) 取付角度: <math>\theta</math> (注2)</p>	
2	<p>開閉試験</p> <p>エクステンション棒及び/又は、駆動部に強制変位を加えて繰返し開閉試験を行い駆動力、開閉時間等の変化を測定する。</p>	<p>(1) 加力点反力</p> <p>(2) 駆動力</p> <p>(3) 開閉時間</p>	<p>(1) 加力変位: <math>\delta_1, \delta_2</math> (順, 逆の2ケース)</p> <p>(2) 開閉回数 (max 100回)</p> <p>(3) エクステンション長さ: <math>L</math> (注1)</p> <p>(4) 取付角度: <math>\theta</math> (注2)</p>	
3	<p>動的機能維持確認試験</p> <p>正弦波にて弁本体部を加振して弁の開閉操作を行い所要の性能を得ることを確認する。</p>	<p>(1) 駆動力</p> <p>(2) 開閉時間</p> <p>(3) 応答倍率 (注3)</p> <p>(4) ひずみ (含, ロッドスラスト力) (注3)</p>	<p>(1) エクステンション長さ: <math>L</math> (注1)</p> <p>(2) 取付角度: <math>\theta</math> (注2)</p>	

(注1) ロッド長さは5m, 10mの2種類とする。

(注2) 取付角度は、5mで約3°, 10mで約2°とするが、いずれかの試験で影響がない事を確認した場合は、適宜パラメータを省略する。

(注3) エクステンションロッド及び駆動軸などの回転部の加速度及びひずみは、駆動操作しない状態でのみ測定する。

尚、エクステンションロッドの長さは、実機に想定される最大長さを考慮し、それに近い10mとその半分の5mの2種類とした。また、取付位置のずれ量は、配管の熱変形による弁の移動50mm程度を考慮しても300mm程度であるので、これに対する据付角度のパラメータ $\theta$ は、ロッド長さ10m及び5mに対し、それぞれ $\theta = \tan^{-1}(300/10000) \approx 2^\circ$ 及び $\theta = \tan^{-1}(300/5000) \approx 3^\circ$ となり、これを試験において考慮するものとした。

## (2) 負荷条件の検討

エクステンションロッド部分試験の負荷条件は、次の通りである。

### (イ) 振動特性試験

エクステンションロッド部の振動特性をみるために実施するので、他の弁の試験の場合とほぼ同様に試験する。エクステンションロッドの固有振動数が低い点を考え、低振動数側を中心に加振する。表2.3-5に試験条件の一覧表を示す。

表2.3-5 エクステンションロッド負荷条件

No.	試験目的	項目	内容	備考	
1	振動特性試験	入力波	正弦波		
		レベル	5 ~ 20 gal		
		振動数	0.5 ~ 30 Hz	スウィープアップ・ダウンの両方に実施する	
		スウィープ速度	1 decade / (20 ~ 30) min		
		加振方向	水平方向		
		弁の開閉状態	開及び閉		
2	機能維持確認試験	入力波	正弦波		
		レベル	10 m	約 110 gal (注)	(注) エクステンションロッド中点が $S_y$ に達する加速度入力とする。
			5 m	約 410 gal (注)	
		振動数	1次固有振動数		
		加振負荷時間	一定値に到達後60秒保持		
		加振方向	水平方向		
		弁の開閉操作	開 → 閉へ操作		

### (ロ) 開閉試験

駆動部に加わる加速度は、この部分の固有振動数が20 Hz以上あるため20 Hz以上の固有値に対する床応答曲線から定めることができる。すなわち、格納容器内の弁の設置床の床応答曲線から、その最大加速度を求めると、 $S_1$ 地震で1.5 G、 $S_2$ 地震で2.2 Gとなる。従って、駆動部へ加わる地震荷重 $F$ は、

床応答加速度値  $\alpha$  (但し, 20%割増す。) 及び駆動部の重量  $W$  から, 次式により定まる。

$$F = \frac{W}{g} \cdot \alpha$$

$W$ : 駆動部重量

$g$ : 重力加速度

$\alpha$ : 床応答加速度値 (但し, 20%割増ししたもの。)

供試体のエクステンション付 5 B 弁の駆動部の重量  $W$  は, スタンドの一部の重量を安全側に考慮しても約 100 kg であるので, 地震荷重  $F$  は上式よりそれぞれ,  $F = 180 \text{ kg}$  ( $S_1$  地震),  $270 \text{ kg}$  ( $S_2$  地震) と定まる。試験においては, この荷重を駆動部に静的に加える。

エクステンションロッド中央への負荷変位は, 次項々に詳細を示す考え方から, ロッドで最も応力の厳しいロッド中点の応力を  $S_y$  値で制限する事から求めるものとする。すなわち, 両端支持の梁の中点の応力  $\sigma$  から,

$$\sigma = \frac{D_o M}{2 I} = \frac{D_o}{2 I} \left( \frac{w}{8} l^2 \right) = S_y \quad (1)$$

となる。ここに  $\sigma$ : 梁の中点の曲げモーメントによる応力

$D_o$ : 梁 (ロッド) の外径

$I$ : 梁の断面 2 次モーメント

$M$ : 梁の中点に発生するモーメント

$w$ : 相当分布荷重

$l$ : 梁 (ロッド) の長さ

$S_y$ : 材料の降伏応力

応力  $\sigma$  に対して, 梁の中点の撓み変位  $\delta$  は,

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{w l^4}{E I} \quad (2)$$

$\delta$ : 梁の中点の撓み変位

$E$ : 材料の縦弾性係数

となるので, (1)式から, 相当分布荷重  $w$  を,

$$w = \frac{2 I}{D_o} S_y \cdot \frac{8}{l^2} \quad (3)$$

として求め, これを(2)式に入れて  $w$  を消去すると,

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \frac{l^4}{EI} \cdot \frac{2I}{D_o} S_y \cdot \frac{8}{l^2} \\ &= \frac{5}{24} \cdot \frac{l^2}{D_o E} \cdot S_y\end{aligned}\tag{4}$$

となる。STPG38の2<sup>B</sup>sch80の鋼管をロッドとして用いるとすると、長さ $l=10\text{ m}$ 及び $5\text{ m}$ に対し、ロッド中点の変位は、それぞれ次のようになる( $D_o=60.5\text{ mm}$ ,  $S_y=25\text{ kg/mm}^2$ ,  $E=20000\text{ kg/mm}^2$ )。

$$\begin{aligned}\delta &= 380\text{ mm} & l &= 10\text{ mm} \\ \delta &= 95\text{ mm} & l &= 5\text{ mm}\end{aligned}$$

以上で求めた $\delta$ の値を最大値として、試験において発生させるものとする。尚、実設計において、エクステンションロッドの中点の応力が $S_y$ 値を超えない様に設計すれば、上記の試験条件の妥当性を保証できる。

#### イ) 動的機能維持確認試験

エクステンションロッド部の振動応答は、研究(II)において検討したように、エクステンションロッド部の1次のビーム振動が主体となっているので、そのような振動モードを模擬した条件下での弁の開閉動作機能を確認するものとする。但し、エクステンションロッド部の受ける加速度の程度をすべてのケースについて、詳細に調査して、それらを包絡した条件下で模擬確認する事は、實際上難しいので、ここでは構造設計上の要求条件(一般に、構造設計上の要求条件は、各種の荷重の保守的な重ね合せを考え、長期間における構造物の健全な供用を前提としているため、かなり保守的な制限条件となるが)に基づき、機能維持を確認すべき荷重の範囲を予め限定し、その限定された範囲内での検証を行うものとする。すなわち、構造設計上相対的にクリティカルとなるエクステンションロッド中点の発生応力を $S_y$ 値以内に制限する設計とし、試験においては、これに相当する荷重条件下における動的機能維持を確認し、実際設計との整合を図るものとする。尚、エクステンション弁の場合、相対的にロッド中点が最も応力的に厳しいと考えており、これについても試験的に確認するものとする。

今回用いる供試体は、エクステンションロッド付の5<sup>B</sup>アングル弁として製作したものを 図23-5に示すように改造して使用する。試験系の周波数応答解析からロッド中点の応答を求めると、表23-6に示す通りである。これによると、発生応力を $S_y$ 値に制限するとすれば、10mのロッドの場合は、ロッド部の1次固有振動数1.5 Hzで約110 galの正弦波連続加振をすればよく、また、5mの場合は、約6 Hzで約410 galで加振すればよいことが判る。これらの加振条件をまとめて、表2.3-5に示す。尚、裕度確認試験は、機能維持確認試験の中に含めて実施するものとした。

#### (3) 計測項目の検討

図2.3-5に本試験に用いるエクステンション部供試体及び試験装置概要及び計測点を示す。弁駆動部は固定架台の上に設置する。また、弁本体モデルは、加振台の上に設置し、油圧加振機にて水平方向



に加振するものとする。図中に加速度及びひずみ測定点を示す。エクステンションロッド中点の加速度及びひずみを主体として測定する計画である。各々の計測点の仕様を表2.3-7に示す。

表2.3-6 エクステンションロッド周波数応答解析結果

No	項 目	エクステンションロッドの長さ		備 考
		5 m	10 m	
1	加 振 振 動 数 $f$ ( Hz )	5.92	1.53	1 次の固有振動数に等しい値である。
2	加 振 最 大 加 速 度 ( G )	1.0	1.0	
3	減 衰 定 数 ( % )	1.0	1.0	
4	ロッド中点での応答加速度 $\alpha$ ( G )	37.5	32.2	
5	ロッド中点での応答モーメント $M$ ( kg m )	718	2439	
6	ロッド中点での応答変位 $\delta$ ( mm )	266	3418	$\delta = \alpha / (2\pi f)^2$ で求める。
7	ロッド中点での応力 $\sigma$ ( kg/mm <sup>2</sup> )	40	226	$\sigma = \frac{D_0}{2I} M$ で定める。
8	$\sigma = S_y = 25 \text{ kg/mm}^2$ での加振加速度 ( G )	0.417 (409 gal)	0.111 (109 gal)	
9	$\sigma = S_y = 25 \text{ kg/mm}^2$ での応答変位 $\delta$ ( mm )	111	379	

(注1) ロッドの仕様は、STPG38材、2<sup>B</sup> sch 80の管である。

$$D_0 = 60.5 \text{ mm}, t = 5.5 \text{ mm}, I = 3.629 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

(注2) No 9の応答変位  $\delta$  は、各々前項(6)にて検討した両端支持梁を用いて計算した値とほぼ一致している。

表2.3-7 エクステンションロッド計測点仕様

計測項目	計測点番号	取付け位置	主 な 計 測 目 的	計測軸
加 速 度	ACC 1	ロッド中央	最大変位箇所(1次モード確認) (注1)	2
	ACC 2	加 振 台	加振条件の確認	2
	ACC 3	弁 頂 部	弁の最大応答部	2
	ACC 4	弁 本 体 部	弁の振動性状の把握	2
動ひずみ	SG 1	ロッド中央	高応力発生部 (注1)(注2)	1
	SG 2	ヨーク付け根部	高応力発生部	3
	SG 3	駆 動 軸	スラスト力の測定 (注1)	1

(注1) 弁の開閉操作時は計測しない。

(注2) 塑性ひずみゲージの取付けを計画する。

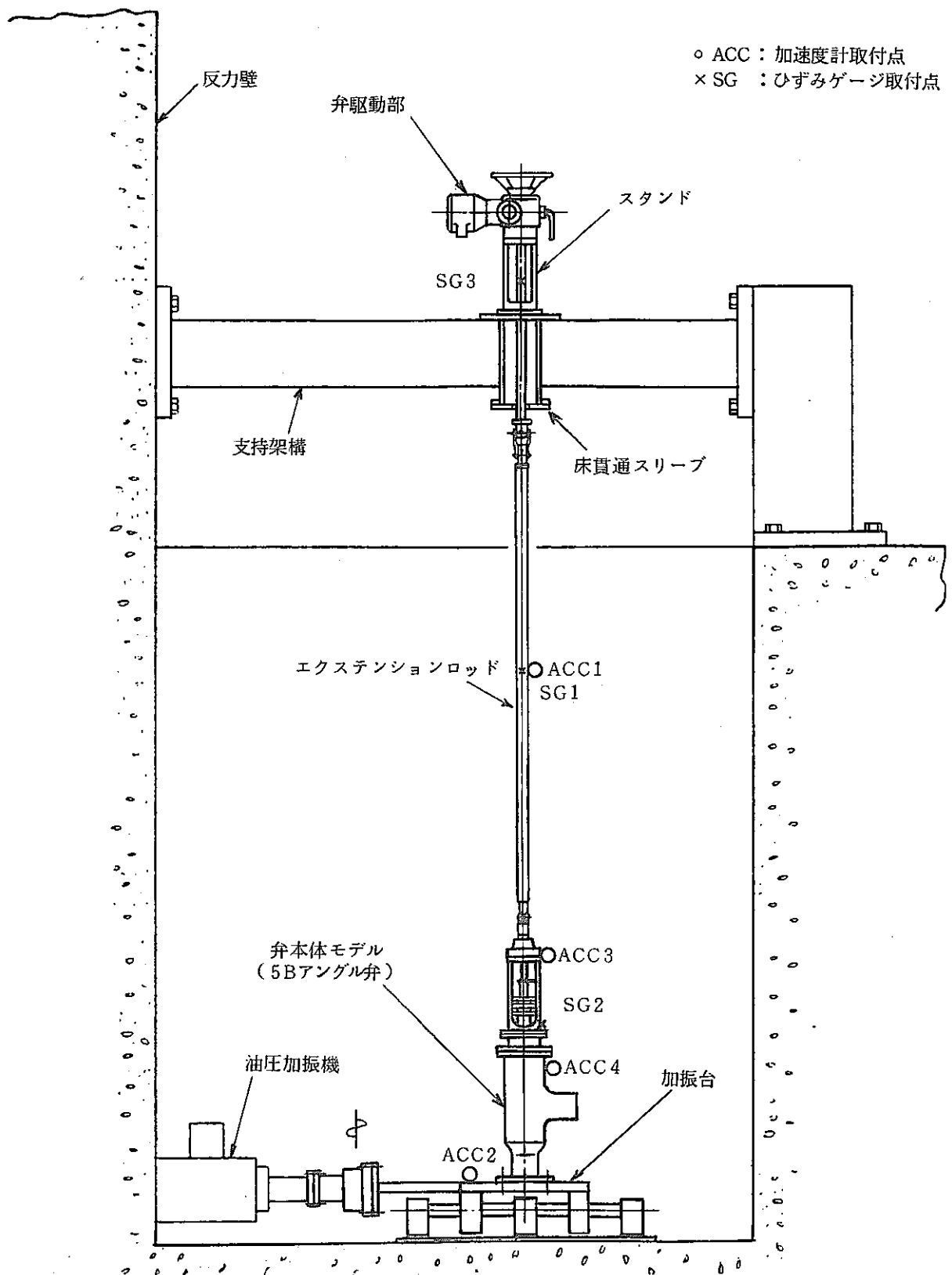


図2.3-5 弁エクステンション部振動試験装置概要及び計測点

### 第3章 試験荷重の検討

## 第3章 試験荷重の検討

昭和57年度の研究(Ⅱ)においては、試験荷重の基本的な事項を検討した。本年度の研究(Ⅲ)では、それを踏まえて試験荷重設定の考え方及び全体加振試験、全体静荷重試験の試験実施順序、或は荷重負荷形式等について更に検討を重ねて、具体的な試験荷重値を定めることとした。以下にその結果を示す。

### 3.1 試験荷重設定の考え方

全体加振試験及び全体静荷重試験の実施にあたっては、同じ供試弁を用いるために、供試弁に与えられる損傷を考慮した場合、試験の実施順序、及び試験目的に関わる荷重負荷レベルについては十分な検討を行っておく必要がある。

両試験に於ては、高速原型炉での使用計画に含まれる代表型式弁を用いるが、それら代表弁の試験結果を用いて、他の同型弁に於ける動的機能維持を評価するためには、実系の負荷レベルに裕度率を見込んだ試験、即ち、裕度試験を実施する必要がある。

しかるに、今回の試験に於ては、両方の試験で同一の供試弁を用いる予定であるので、裕度試験としてどの程度までの裕度率を考慮するかによっては、弁に損傷が残る事が予想される。よって、全体加振試験及び全体静荷重試験で実施される裕度試験の実施順序は十分な検討を行なう必要がある。

以上の事より、試験実施順序の設定に先立ち、最大限どの程度までの裕度率を考慮するかについては以下に述べる考え方にに基づき、降伏値  $S_y$  に着目して最大裕度率を定めた。

① 実系の荷重条件として弁に加わる負荷レベルを応力解析結果から算定すると、降伏値  $S_y$  の数分の一程度であり、 $S_y$  値、或は  $S_y$  値を多少越えたところを最大の裕度試験荷重に定めておけば、他の同型弁の動的機能維持評価に際しても、十分な情報を与えることができる。

② 弁駆動部については、仕様上約5Gまでの加速度に対して駆動部の機能維持が保証されているが、約5G負荷時の発生応力は、概ね  $S_y$  値には達し得ない応力レベルである。従って、弁機能維持を評価するといった観点から考えた場合に於ても、 $S_y$  値の応力レベルは、駆動部の機能維持保証の範囲を十分に包絡し得るレベルであると考えられる。

③  $S_y$  値は、MITI 告示501号第一種弁の配管反力規定に示されるように基本的荷重レベルである。

尚、実系に於ける荷重レベルを基礎とした実証試験時の荷重を算出する考え方、手順については、研究(Ⅱ)の試験荷重の検討の結果に基づく事を原則とする。

### 3.2 試験の実施順序

全体加振試験及び全体静荷重試験の実施順序に関しては、裕度試験の結果、どちらの試験で弁に損傷を与えられるかによって必然的に定められる。そこで、下記の要領で裕度試験をどちらに定めるかを検

討した。

### 3.2.1 弁箱に初期降伏を与える駆動部加速度レベル

今回試験対象とした中で22<sup>B</sup> バタフライ弁, 12<sup>B</sup> Y型グローブ弁, 5<sup>B</sup> アングル弁, 4<sup>B</sup> Y型グローブ弁に対して駆動部, 或は配管端部に単位荷重を与えた条件で応力解析を実施した(第2章2.2項参照)。

その解析データを用いて, 弁箱が局部的に降伏し得る時点の加速度 $\alpha_I$ を(1)式により算出する。

$$\alpha_I = \left( \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \times F \right) / W \quad (1)$$

$\alpha_I$  : 駆動部加速度 ( G )

$S_y$  : 弁材料の常温での降伏応力 ( kg/mm<sup>2</sup> )

$\sigma_{\max}$  : 応力解析結果から得られた最大応力 ( kg/mm<sup>2</sup> )

$F$  :  $\sigma_{\max}$  を計算した単位荷重 ( kg )

$W$  : 駆動部重量 ( kg )

(1)式から得られた弁箱の初期降伏時点の駆動部加速度は, 表3.2-1のようになる。

表3.2-1 弁箱に降伏点が現れる駆動部加速度 $\alpha_I$

項目注1)	弁名	22 <sup>B</sup> バタフライ弁	12 <sup>B</sup> Y型グローブ弁	5 <sup>B</sup> アングル弁	4 <sup>B</sup> Y型グローブ弁
$S_y$	( kg/mm <sup>2</sup> )	21	21	21	21
$\sigma_{\max}$	( kg/mm <sup>2</sup> )	$7.3 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-3}$
$F$	( kg )	1	1	1	1
$W$	( kg )	362	265	50	40
$\alpha_I$	( G )	79	20注2)	105	66

注1) 使用記号名称は(1)式で示したものと同一である。

注2) 12<sup>B</sup>弁の解析モデルは出口ノズル部を直角に近い形状としたために応力集中が発生し, 低い加速度となったが, 試験体ではノズルコーナ部半径を大きくとり応力集中を低下させたために, 当値よりもっと大きくなる事が想定される。

次に, 構造不連続形状を呈するヨーク部に対して, 初期降伏の時点をも弁の永久変形の開始点と考えた場合の上限の加速度の目安値として,  $\alpha_{II}$ を簡易的に(2)式より求めた。

$$\alpha_{II} = \frac{F}{W} = \frac{S_y \times Z}{l \times W} \quad (2)$$

$\alpha_{II}$  : ヨークが降伏する駆動部の加速度 ( G )

$S_y$  : ヨーク部材料の常温での降伏応力 ( kg / mm<sup>2</sup> )

$F$  : ヨーク部が降伏する駆動部の剪断荷重 ( kg )

$W$  : 駆動部重量 ( kg )

$Z$  : ヨーク部断面係数 ( mm<sup>3</sup> )

$l$  : 駆動部重心点からヨーク部降伏点発生箇所までの距離 ( mm )

(2)式から得られたヨーク部の初期降伏時点における駆動部加速度は、表3.2-2のようになる。(2)式の評価法ではヨーク部を単純な1本の梁に置き換えているため、概算的な値を示している事になるが、より詳細な検討を行っても、初期降伏点における駆動部加速度は5Gを上廻ることはない見通しである。

表3.2-2 ヨーク部に降伏点が現れる駆動部加速度  $\alpha_{II}$

項目注1)	弁名	22 <sup>B</sup> バタフライ弁	12 <sup>B</sup> Y型グローブ弁	5 <sup>B</sup> アングル弁	4 <sup>B</sup> Y型グローブ弁
$S_y$	( kg / mm <sup>2</sup> )	21	21	21	21
$Z$	( mm <sup>3</sup> )	$4.94 \times 10^5$	$1.24 \times 10^6$	$1.37 \times 10^5$	$8.37 \times 10^4$
$l$	( mm )	1037	882	572	440
$W$	( kg )	362	265	50	40
$\alpha_{II}$	( G )	28	111	101	100

注1) 使用記号名称は(1)式で示したものと同一である。

表3.2-1, 表3.2-2からわかるように全体加振試験では、弁の変形制限よりも、駆動部内部の許容加速度(約5G)により裕度試験の最大値が決定されることになり、その場合、降伏値には達し得ない事が示される。

### 3.2.2 弁本体に初期降伏を与える配管反力荷重負荷レベル

配管反力試験では、地震時に配管から負荷される反力による弁の機能喪失の有無が主体となる。このため弁箱の永久変形による弁座漏洩の増大が主眼点となる。

一方、軽水炉を対象としたMITI告示501号では第一種弁の規程の中に接続配管が降伏する荷重を弁に与えて弁が弾性範囲内であることを確認することとしている。

そこで、ここでは弁箱に発生する最大応力が降伏応力を越える配管反力を(3)式により計算した。

$$F_P (M_P \text{ 又は } T_P) = \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \times F (M \text{ 又は } T) \quad (3)$$

$F_P (M_P \text{ 又は } T_P)$  : 弁箱の一部に降伏が生ずる配管反力〔軸、曲げ、振り〕(kg)

$S_y$  : MITI 告示 501 号規定による弁箱材の降伏応力 (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{\max}$  : 応力解析結果から得られた最大応力 (kg/mm<sup>2</sup>)

$F (M \text{ 又は } T)$  :  $\sigma_{\max}$  を計算するため用いた単位荷重 (kg)

(3)式から得られた局部降伏を与える荷重  $F_P (M_P \text{ または } T_P)$  及び MITI 告示 501 号による配管反力値を表 3.2-3 に示す。

表 3.2-3 弁に局部降伏を与える配管反力荷重及び MITI 告示 501 号による配管反力荷重

項目	弁名			22B バタフライ弁			12B Y型グローブ弁			5B アングル弁			4B Y型グローブ弁		
	軸力 kg	曲げ kg・m	振り kg・m	軸力 kg	曲げ kg・m	振り kg・m	軸力 kg	曲げ kg・m	振り kg・m	軸力 kg	曲げ kg・m	振り kg・m	軸力 kg	曲げ kg・m	振り kg・m
弁の一部が降伏する荷重 $F_P (M_P \text{ または } T_P)$	75,000	31,400	35,600	42,000	5,300	10,500	5,300	1,100	1,100	5,700	500	800			
告示 501 号第 1 種弁の 配管反力荷重	111,500	30,100	60,200	43,300	6,600	13,200	18,900	1,500	2,400	9,500	500	1,000			

表 3.2-3 より弁の一部が降伏する配管反力は、MITI 告示 501 号ベースの荷重にはほぼ等しいか、それを下回る値となっている。しかし乍ら、配管反力試験でナトリウム弁に降伏点が現われるのは弁箱の局所的な部分であり、マクロ的には配管反力に対して弾性挙動を呈する事が考えられる。よって、静荷重試験時の最大負荷荷重は MITI 告示 501 号の第一種弁ベースの荷重とする。

### 3.2.3 試験の実施順序

3.2.1 項、3.2.2 項で示した弁箱及びその近傍に初期降伏を与える負荷レベルから検討した結果、全体加振試験の裕度試験は、弾性範囲内にて実施される見通しが得られた。

よって、試験の実施順序としては、先に全体加振試験を行い、その後全体静荷重試験を行う事とする。

### 3.3 全体静荷重試験時の荷重負荷方向

全体静荷重試験は、地震時の動的荷重負荷状態を静的荷重に置き換えて模擬し、弁箱の耐圧性、弁座のシール性、弁の開閉時間などを与える地震荷重の影響を詳細に把握するために行うものである。

そこで基本的には、次のような考慮を払った上で荷重を設定する。

① 地震時の弁の動的な応答状態を出来るだけ良好に模擬できるような負荷荷重を設定する必要がある。

② 弁機能に対して相対的に大きな影響を与える荷重成分を選ぶ。

本静荷重試験では、上記内容を考慮した上で基本的には、荷重負荷は単一方向負荷により各々行う事とする。その理由は次の通りである。

① 各単一荷重負荷による弁の発生応力は、構造の一部が塑性変形を生じる程に大きなものであり、実機弁の発生応力と比較した場合に大きな差がある事。

② 大きな単一荷重負荷によって、弁機能と構造の健全性を確認しておけば、実機で想定されるかなり低いレベルでの複合荷重による影響を安全側に包絡し得ると考えられる事。

③ 試験結果を検討する場合に、単一荷重負荷の方が弁機能に及ぼす因果関係を整理する上で容易である事。

### 3.4 試験荷重レベルの設定

3.1節～3.3節で検討した内容、並びに2.1.1項でのスナッパ付弁の加振方法の検討結果を踏まえて、本試験に於ける試験荷重レベルをまとめると次のようになる。

#### 3.4.1 全体加振試験

全体加振試験時に供試弁に与える加速度レベル範囲は、3.1節～3.3節の検討結果から次のように表示される。

$$\left[ \begin{array}{c} \text{地震時相当} \\ \text{加速度レベル} \end{array} \right] \leq \left[ \begin{array}{c} \text{供試弁の} \\ \text{加速度レベル} \end{array} \right] \leq \left[ \begin{array}{c} \text{駆動部内部の許容} \\ \text{加速度(約5G)} \end{array} \right] \quad (\text{注1})(\text{注2})(\text{注3})$$

(注1) エクステンションロッド付きの5<sup>B</sup>アングル弁に対しては、弁箱の最大加速度を約5Gとする。

(注2) 約5Gの加速度レベルで、降伏値を越える場合には降伏相当加速度を最大裕度値とみる。

(注3) スナッパ付き弁については、実系との加速度レベルも考慮する。

#### (1) 全体加振試験時の実証試験としての荷重レベル

研究(II)に記載の手順に従って求めた実系の応答解析結果より、実証試験時の荷重レベルを設定する。以下、各供試弁ごとに実証試験時の荷重レベル設定法等を示す。

##### (イ) 22<sup>B</sup>バタフライ弁

22<sup>B</sup>バタフライ弁の実系における応答解析結果を第2章2.1.2項の表2.1-10に示す。

本弁は、実系ではスナッパを設けているが、スナッパを取付けずに試験を実施するため、実系と



変位差を合わせた際に必要な加速度レベルも検討し、実証試験時の荷重レベルを設定する。

(ロ) 12<sup>B</sup> Y型グローブ弁

12<sup>B</sup> Y型グローブ弁の実系における応答解析結果を第2章2.1.2項の表2.1-12に示す。

本弁は実系ではスナッパを設けているが、スナッパを取付けずに試験を実施するため、実系と変位差を合わせた際に必要な加速度レベルも検討し、実証試験時の荷重レベルを設定する。

(イ) 24<sup>B</sup> 逆止弁

24<sup>B</sup> 逆止弁の実系における応答解析結果を第2章2.1.2項の表2.1-6に示す。

本弁は、同表の応答値を基本にして、実証試験時の荷重レベルを設定する。

(ニ) 4<sup>B</sup> Y型グローブ弁

4<sup>B</sup> Y型グローブ弁の実系における応答解析結果を第2章2.1.2項の表2.1-8に示す。

本弁は、実系ではスナッパを設けているが、スナッパを取付けずに試験を実施するため、実系での相対的な変位又は、加速度を模擬するように実証試験時の荷重レベルを設定する。

(ホ) 5<sup>B</sup> アングル弁

5<sup>B</sup> アングル弁の実系における応答解析結果を第2章2.1.2項の表2.1-14に示す。

本弁は、同表の応答値を基本にして実証試験時の荷重レベルを設定する。

(2) 全体加振試験時の最大荷重レベルの設定

全体加振試験時の最大荷重レベルは、各供試弁共に材料の弾性限度内にある約5Gまでの範囲の加速度レベルを原則とする。

3.4.2 全体静荷重試験

全体静荷重試験時に供試弁に与える静荷重負荷レベル範囲は3.1節～3.3節の検討結果から次のように表示される。

$$\left[ \begin{array}{c} \text{地震時相当} \\ \text{荷重レベル} \end{array} \right] \cong \left[ \begin{array}{c} \text{供試弁の} \\ \text{荷重レベル} \end{array} \right] \cong \text{最小値} \left[ \begin{array}{l} \bullet \text{ MITI 告示 501 号第一種弁の設計荷重} \text{ (注)} \\ \bullet \text{ 局部的降伏を生じる荷重} \end{array} \right]$$

(注) 但し、全体確認試験時の駆動部負荷荷重としては、MITI 告示 501 号による当荷重は除く。

(1) 全体静荷重試験時の荷重レベル

全体静荷重試験は、全体確認試験と配管反力試験に区分され、以下各々の試験時の荷重レベルを供試

弁ごとに示す。

#### (イ) 全体確認試験

全体確認試験時において各供試弁の駆動部（弁上端部）に負荷すべき試験荷重の設定法を以下に示す。

##### (i) 22<sup>B</sup> バタフライ弁

22<sup>B</sup> バタフライ弁の全体確認試験時の実系モデルより求めた地震時相当荷重、及び裕度試験時の負荷荷重目標を表3.4-1に示す。

本弁は、流路方向と流路直角方向で曲げ剛性に約3.7倍の差があるので、試験荷重は各方向毎に設定する。また、本弁は実系ではスナッパーを設けているので、実系と変位差を合わせた変位相当荷重と節点⑧に生ずる合剪断力の大きい方の値を地震時相当荷重として設定する。尚、変位相当荷重は、その方向の変位差が支配的なケースの地震時の最大相対変位差のSRSSより求めている。

裕度試験時の負荷荷重目標は、ヨーク部が局部降伏に至る荷重より設定する。尚、参考として5G相当荷重も示す。

##### (ii) 12<sup>B</sup> Y型グローブ弁

12<sup>B</sup> Y型グローブ弁の全体確認試験時の実系モデルより求めた地震相当荷重、及び裕度試験時の負荷荷重目標を表3.4-2に示す。

本弁は、流路方向と流路直角方向の曲げ剛性に約1.7倍の差があるので、裕度試験時の負荷荷重目標は各方向毎に設定する。また、本弁も実系ではスナッパーを設けているので実系と変位差を合わせた変位相当荷重についても検討しているが、節点⑧に生ずる合剪断力の方が大きいため、これを地震時相当負荷荷重とする。

裕度試験時の負荷荷重目標は、22<sup>B</sup> バタフライ弁と同様にヨーク部が局部降伏に至る荷重より定める。尚、参考として5G相当荷重も表3.4-2に示す。

##### (iii) 4<sup>B</sup> Y型グローブ弁

4<sup>B</sup> Y型グローブ弁の全体確認試験時の実系における地震時相当荷重、及び裕度試験時の負荷荷重目標を表3.4-3に示す。尚、参考として5G相当荷重も同表に示す。

##### (iv) 5<sup>B</sup> アングル弁

5<sup>B</sup> アングル弁の全体確認試験時の実系における地震時相当荷重、及び裕度試験時の負荷荷重目標を表3.4-4に示す。尚、参考として5G相当荷重も同表に示す。

#### (ロ) 配管反力試験

##### (i) 22<sup>B</sup> バタフライ弁

22<sup>B</sup> バタフライ弁の配管反力試験における実証試験時の負荷荷重、及び裕度試験時の負荷荷重目標を表3.4-5に示す。

表 3.4 - 1 22B バタフライ弁全体確認試験時の負荷荷重

項目 荷重	(注1) 節点名称	地震時応答剪断力 (kg) (注2)				(注3) 変位相当荷重 (kg)	
		X 方向	Y 方向	Z 方向	合剪断力	流路方向	流路直角方向
		$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$F_{eq}$		
実系弁の地震時相当荷重	Ⓑ	463	983	339	1,138	3,026	1,286
	Ⓒ	8,003	2,702	1,303	8,547	4,080	1,232
裕度試験時の負荷荷重目標	流路方向荷重	(注4) 局部降伏に至る荷重 (kg)		弁箱	19,100		
				ヨーク部	7,000		
		5 G 相当荷重 (kg)				2,480	
	流路直角方向荷重	(注4) 局部降伏に至る荷重 (kg)		弁箱	26,200		
				ヨーク部	2,690		
		5 G 相当荷重 (kg)				2,440	

(注1) 節点名称Ⓑ及びⒸに対し、駆動部側(Ⓐ点側)から加えられる剪断力を示す。尚、Ⓒ点の値は参考に示す。

(注2) 合剪断力は、 $F_{eq} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2}$  で定める。

(注3) 節点名称Ⓑ及びⒸと駆動部(Ⓐ点)との最大相対変位に相当する荷重を示す。

(注4) 図 2.1-22 に示す応力解析結果より、常温での降伏応力(21.0 kg/mm<sup>2</sup>)を用いて算定する。ヨーク部の場合は応力集中係数 1.5 として梁モデルを用いて算定。

(注5) 実系ではⒶ点に水平 2 方向、Ⓑ点に流路方向にスナッチャーを設置している。

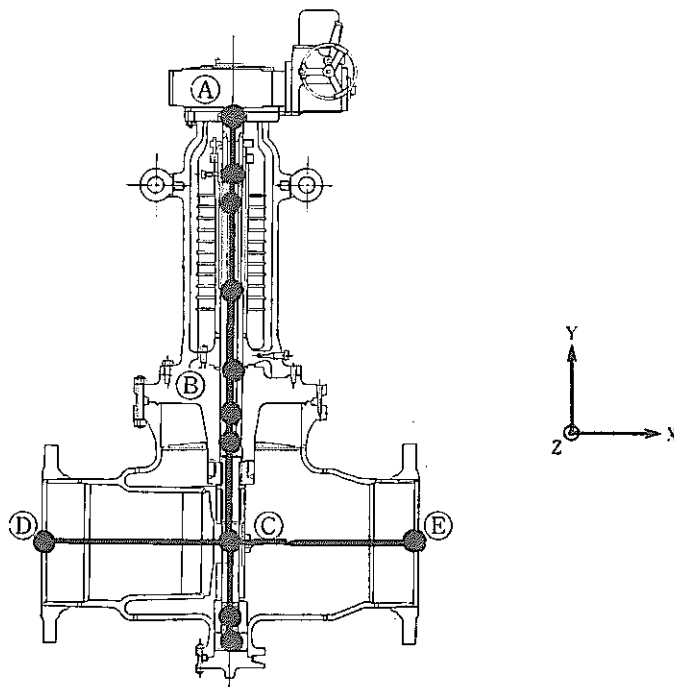


表 3.4-2 12B Y型グローブ弁全体確認試験時の負荷荷重

項目 荷重	(注1) 節点名称	地震時応答剪断力 (kg) (注2)				(注3) 変位相当荷重 (kg)	
		X 方向	Y 方向	Z 方向	合剪断力	流路方向	流路直角方向
		$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$F_{eq}$		
実系弁の地震時相当荷重	Ⓐ	1,897	1,251	463	2,319	1,231	354
	Ⓑ	1,150	987	1,240	1,958	1,754	1,034
裕度試験時の負荷荷重目標	流路方向荷重	(注4) 局部降伏に至る荷重 (kg)		弁箱	7,920		
				ヨーク部	3,110		
		5 G 相当荷重		重 (kg)	1,580		
	流路直角方向荷重	(注4) 局部降伏に至る荷重 (kg)		弁箱	13,000		
				ヨーク部	4,790		
		5 G 相当荷重		重 (kg)	1,610		

(注1) 節点名称Ⓐ及びⒷに対し、駆動部側(Ⓐ点側)から加えられる剪断力を示す。尚、Ⓑ点の値は参考に示す。

(注2) 合剪断力は、 $F_{eq} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2}$  で定める。

(注3) 節点名称Ⓐ及びⒷと駆動部(Ⓐ点)との最大相対変位に相当する荷重を示す。

(注4) 図 2.1-25に示す応力解析結果より、常温での降伏応力(21.0 kg/mm<sup>2</sup>)を用いて算定する。ヨーク部の場合は応力集中係数 1.5 として梁モデルを用いて算定。

(注5) 実系ではⒶ点に水平 2 方向及び上下方向にスナッパを設置している。

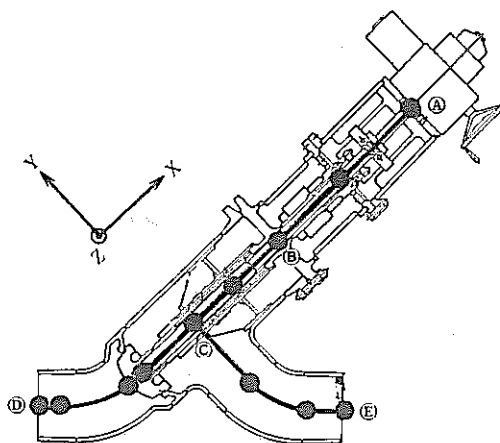


表 3.4-3 4BY型グローブ弁全体確認試験時の負荷荷重

項目 荷重	節点名称	地震時応答剪断力 (kg) (注2)				(注3) 変位相当荷重 (kg)	
		X 方向	Y 方向	Z 方向	合剪断力	流路方向	流路直角方向
		$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$F_{eq}$		
実系弁の地震時相当荷重	Ⓑ	58	68	37	97	—	—
	Ⓒ	50	68	30	90	—	—
裕度試験時の負荷荷重目標	流路方向荷重	(注4) 局部降伏に至る荷重 (kg)		弁箱	3290		
				ヨーク部	3010		
	流路直角方向荷重	(注4) 局部降伏に至る荷重 (kg)		弁箱	2920		
				ヨーク部	260		

(注1) 節点名称Ⓑ及びⒸに対し、駆動部側(Ⓐ点側)から加えられる剪断力を示す。尚、Ⓒ点の値は参考に示す。

(注2) 合剪断力は、 $F_{eq} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2}$  で定める。

(注3) 節点名称Ⓑ及びⒸと駆動部(Ⓐ点)との最大相対変位に相当する荷重を示す。

(注4) 図 2.1-19 に示す応力解析結果より、常温での降伏応力(21.0 kg/mm<sup>2</sup>)を用いて算定する。

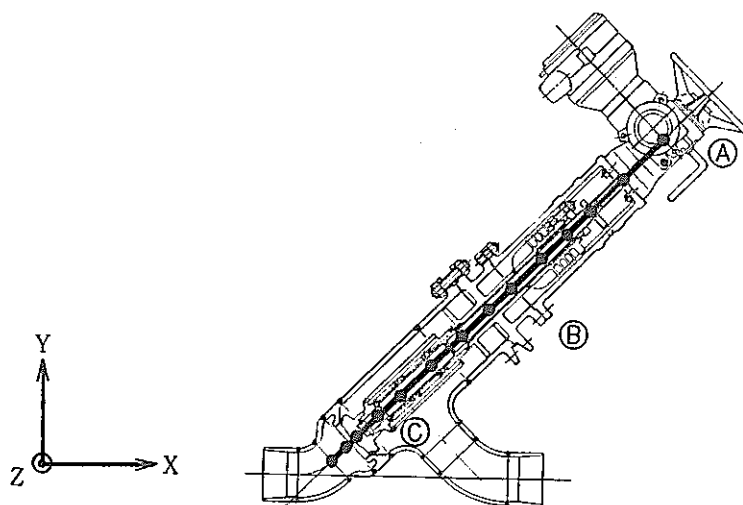


表 3.4-4 5 B アンゲル弁全体確認試験時の負荷荷重

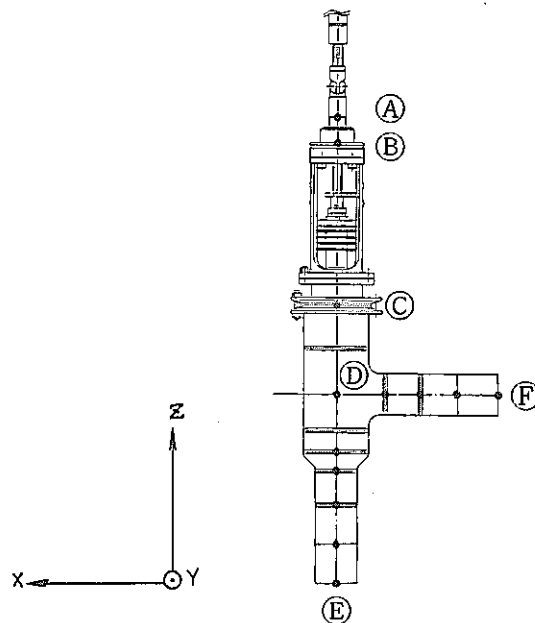
項目 試験	(注1) 節点名称	剪 断 力 (kg)				
		X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	合剪断力 <sup>(注2)</sup>	合剪断力 <sup>(注3)</sup>
実系弁の地震 時相当荷重	◎	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$F_{eq}$	$F_{eq}'$
		44	154	26	163	126
		(注4) 局 部 降 伏 に 至 る 荷 重 (kg)			4,700	
裕度試験時の 負荷荷重目標	◎	5 G 相 当 荷 重 (kg)			400	

(注1) 節点名称◎に対して, ⊕側から加えられる剪断力を示す。

(注2) 合剪断力 $F_{eq}$ は,  $F_{eq} = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2}$  で定める。

(注3) 合剪断力 $F_{eq}'$ は, 節点◎の質量 $M$  (75 kg) と表 2.1-14 で示した◎点の合加速度 $\alpha_V$ より,  
 $F_{eq}' = M \alpha_V$  で定める。

(注4) 常温での降伏応力 (21.0 kg/mm<sup>2</sup>) を使用した。



(ii) 12B Y型グローブ弁

12B Y型グローブ弁の配管反力試験における実証試験時の負荷荷重，及び裕度試験時の負荷荷重目標を表3.4-6に示す。

(iii) 4B Y型グローブ弁

4B Y型グローブ弁の配管反力試験における実証試験時の負荷荷重，及び裕度試験時の負荷荷重目標を表3.4-7に示す。

(iv) 5B アンゲル弁

5B アンゲル弁の配管反力試験の場合には水平配管，垂直配管のいずれを負荷するかによって応力集中部は異なった場所に発生し，また応力分布状況も異なってくる。

よって当試験では，両配管に各々軸力，面内或は面外曲げモーメント，振りモーメントを負荷する方針として，次に示す負荷ケースを考えた。

即ち，両配管端部へ，上記4通りの荷重負荷を行なえば，計8通りの負荷形式が必要となるが，発生モーメント分布を検討した結果，図3.4-1に示した5通りの負荷形式で試験を実施する。

また，図中 $F_1 \sim F_5$ の荷重算出式を(4)~(8)式に示す。

$$F_1 = \max. \left\{ |F_{Xf}|, \frac{|M_{Ye}|}{l_2} \right\} \leq \max. \left\{ |F_{Xf}|, \sqrt{\frac{|M_{Xe}|^2 + |M_{Ye}|^2}{l_2}} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$F_2 = \max. \left\{ |F_{Yf}|, \frac{|M_{Ze}|}{l_1} \right\} \leq \max. \left\{ |F_{Yf}|, \frac{|M_{Ze}|}{l_1}, \frac{|M_{Zf}|}{l_1} \right\}$$

$$\leq \max. \left\{ |F_{Yf}|, \frac{|M_{Ze}|}{l_1}, \sqrt{\frac{|M_{Zf}|^2 + |M_{Yf}|^2}{l_1}} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$F_3 = \max. \left\{ |F_{Ze}|, \frac{|M_{Yf}|}{l_1} \right\} \leq \max. \left\{ |F_{Ze}|, \sqrt{\frac{|M_{Yf}|^2 + |M_{Zf}|^2}{l_1}} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

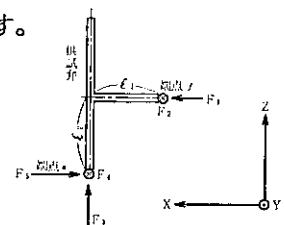
$$F_4 = \max. \left\{ |F_{Ye}|, \frac{|M_{Xf}|}{l_2} \right\} \leq \max. \left\{ |F_{Ye}|, \frac{|M_{Xf}|}{l_2}, \frac{|M_{Xe}|}{l_2} \right\}$$

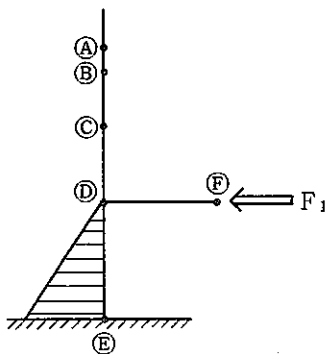
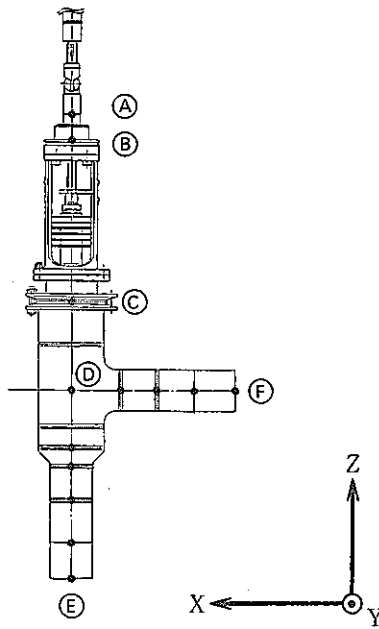
$$\leq \max. \left\{ |F_{Ye}|, \frac{|M_{Xf}|}{l_2}, \sqrt{\frac{|M_{Xe}|^2 + |M_{Ye}|^2}{l_2}} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

$$F_5 = \max. \left\{ |F_{Xe}|, \frac{|M_{Yf}|}{l_2} \right\} \leq \max. \left\{ |F_{Xe}|, \sqrt{\frac{|M_{Yf}|^2 + |M_{Zf}|^2}{l_2}}, \frac{l_1}{l_2} |F_{Zf}| \right\}$$

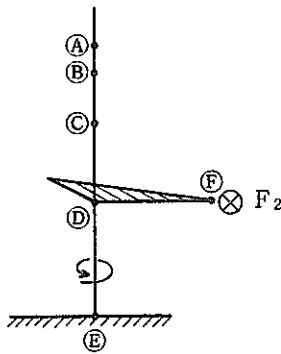
$$\dots\dots\dots (8)$$

注) 添字記号X, Y, Zは方向を表わし，e, fは配管部の端点位置を示す。  
ここで， $l_1 = 580 \text{ mm}$ ， $l_2 = 670 \text{ mm}$ である。

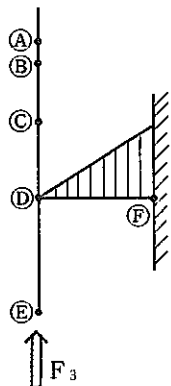




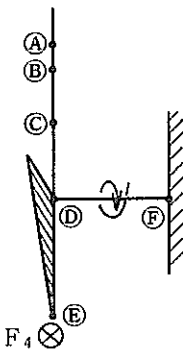
- 1) ①②: 軸力  
 ③④: { 面内曲げモーメントは }  
           { 裕度分とみなす }



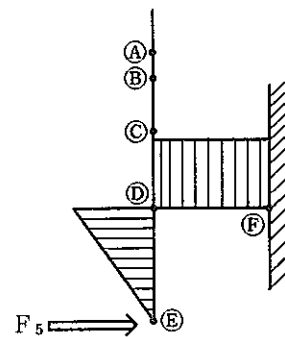
- 2) ①②: 面外曲げモーメント  
 ③④: 振りモーメント



- 3) ①②: 軸力  
 ③④: { 面内曲げモーメントは }  
           { 裕度分とみなす }



- 4) ①②: 振りモーメント  
 ③④: 面外曲げモーメント



- 5) ①②: 面内曲げモーメント  
 ③④: 面内曲げモーメント

図 3.4 - 1 配管反力試験時の発生モーメント模式図



尚, 5 B アンクル弁の場合, 軸力負荷時の最大応力発生部は, 固定端部になる。この事は, 実機配管形状を想定した場合においても, 配管からの軸力影響は剛な弁本体よりも, 柔構造である他配管構造へ影響を及ぼす事が予想される。

しかし, 本静荷重試験では, あくまで弁本体中央部近傍に塑性域を発生させる事を目標に置き, 軸力負荷時には弁箱近傍の固定側の管付け根部を拘束することとする。

5 B アンクル弁の実系における実証試験時の負荷荷重及び裕度試験時の負荷荷重目標を表 3.4 - 8, 表 3.4 - 9 に示す。

表 3.4 - 5 22B バタフライ弁の配管反力試験時の負荷荷重

荷重	節点	項 目		配管反力・モーメント荷重						
				反 力 (kg)			モーメント (kgm)			
				$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$	$\sqrt{M_y^2 + M_z^2}$
実系の配管反力荷重	①	地震	①	2,503	1,894	1,142	823	2,446	623	-
		自重	②	0	-1,282	0	9	-4	-1,149	-
		熱膨脹	③	63	-187	-659	-2,110	-1,381	-7	-
		合計  ① + ②+③	④	2,566	-	-	2,924	3,831	1,779	4,224
	⑤	地震	⑤	1,602	3,978	1,890	1,290	5,053	1,745	-
		自重	⑥	0	-2,380	0	-40	3	423	-
		熱膨脹	⑦	-63	187	659	2,110	459	270	-
		合計  ⑤ + ⑥+⑦	⑧	1,665	-	-	3,360	5,515	2,438	6,030
実証試験負荷荷重		MAX {④, ⑧}	2,600	-	-	3,400	-	-	6,100	
裕度試験負荷荷重目標		(告示 501 号と同じ考え方)	111,500	-	-	60,200	-	-	30,100	

注) 節点①⑤の位置は表 3.4 - 1 参表のこと。

表 3.4-6 12BY型グローブ弁の配管反力試験時の負荷荷重

荷重	節点	項 目		配管反力・モーメント荷重						
				反 力 (kg)			モーメント (kgm)			
				$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$	$\sqrt{M_y^2 + M_z^2}$
実系の配管反力荷重	①	地震	①	980	927	1,472	531	1,313	643	-
		自重	②	-4	-635	0	9	-17	48	-
		熱膨脹	③	-61	64	-13	-193	-111	224	-
		合計  ① + ②+③	④	1,045	-	-	715	1,441	915	1,707
	⑥	地震	⑤	940	1,067	1,570	496	1,047	906	-
		自重	⑥	23	-966	0	-9	18	-421	-
		熱膨脹	⑦	61	-64	13	192	132	-124	-
		合計  ⑤ + ⑥+⑦	⑧	1,024	-	-	679	1,197	1,451	1,881
実証試験負荷重	MAX {④, ⑧}		1,100	-	-	800	-	-	1,900	
裕度試験負荷荷重目標	(告示 501号と同じ考え方)		43,300	-	-	13,200	-	-	6,600	

注) 節点①⑥の位置は表 3.4-2 参照のこと。

表 3.4-7 4BY型グローブ弁配管反力試験時の負荷荷重

荷重	節点	項 目		配管反力・モーメント荷重						
				反 力 (kg)			モーメント (kgm)			
				$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$	$\sqrt{M_y^2 + M_z^2}$
実系の配管反力荷重	①	地震	①	38	54	32	43	23	6	-
		自重	②	0	59	0	1	0	-32	-
		熱膨脹	③	-6	-2	35	-4	65	2	-
		合計  ① + ②+③	④	44	-	-	46	88	36	95
	⑥	地震	⑤	52	70	30	27	28	23	-
		自重	⑥	0	19	0	1	0	8	-
		熱膨脹	⑦	-6	-2	35	-4	79	3	-
		合計  ⑤ + ⑥+⑦	⑧	58	-	-	30	107	34	112
試験荷重	MAX {④, ⑧}		58	-	-	46	-	-	112	
裕度試験時の負荷荷重目標	(告示 501号と同じ考え方)		9,420	-	-	1,004	-	-	502	

注) 節点①⑥の位置は表 3.4-3 参照のこと

表 3.4 - 8 5 B アンゲル弁配管反力試験時に考慮する荷重

荷重	注1) 節点	項 目		配管反力・モーメント荷重						
				反 力 (kg)			モーメント (kgm)			
				$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$	合 曲 げ モーメント
実系の配管反力荷重	節点 ㊸	地震 ①	24	183	38	44	9	34	-	
		自重 ②	1	1	35	-7	-3	1	-	
		熱膨脹 ③	179	162	13	-9	-1	182	-	
		① + ②+③  ④	204	346	86	60	13	217	注2) 62	
	節点 ㊹	地震 ⑤	53	187	68	70	55	45	-	
		自重 ⑥	-1	-1	110	7	-55	-2	-	
		熱膨脹 ⑦	-179	-162	-13	-74	99	-275	-	
		⑤ + ⑥+⑦  ⑧	233	350	165	137	99	322	注3) 337	
裕の度負試験荷重	節点 ㊸	(告示501号と同じ考え方)	-	-	18,900	-	-	2,400 (ねじり)	1,500	
	節点 ㊹		18,900	-	-	2,400 (ねじり)	-	-	1,500	

注1) 節点㊸, ㊹の位置は表 3.4 - 4 参照のこと。

注2) 合曲げモーメントは、 $\sqrt{M_x^2 + M_y^2}$  で与えられる。

注3) 合曲げモーメントは、 $\sqrt{M_y^2 + M_z^2}$  で与えられる。

表 3.4 - 9 5 B アンゲル弁配管反力試験時の負荷

入力レベル \ 入力荷重方向 注1)	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$
実証試験時の負荷荷重 (kg)	300	600	600	400	500
裕度試験時の負荷荷重目標 (kg)	18,900	4,200	18,900	3,600	3,100

注1) 入力荷重方向は図 3.4 - 1 参照のこと。

## 第4章 評価方法の検討

## 第 4 章 評価方法の検討

昭和57年度の研究(Ⅱ)において実施した検討をベースに、更にここでは実際の試験計画の検討と関連させ、評価方法の検討を実施したのでその結果を示す。

### 4.1 評価項目の検討

供試弁の地震時の機能維持を評価する上で重要な事項は、研究(Ⅱ)において示した次の3点である。

- ① バウンダリを含めた構造強度の確保
- ② 弁座及びグラウンド部のシール性などの確保
- ③ 弁の作動機能の確保

これらについて評価する場合、項目毎に解析的な手法が用いられるように評価方法が設定され、かつ試験の結果から解析的な手法による評価値に対して、一義的な許容値が定められることが必要である。そして、結局、このような評価手法を確立することが本研究の課題と云え、上記評価項目に更に検討を加え、評価を明確化するとともに許容値設定の方向を示した。

#### (1) 構造強度の確保

構造強度の確保は、弁の機能維持の中で最も基本的な事項と云え、バウンダリを含めた相当の部分は、Ⅲ<sub>AS</sub>、Ⅳ<sub>AS</sub>と云う許容値体系で、応力の発生が制限されており、全体としてはほぼ弾性状態に設計される。一般に構造強度の確保は、設計基準に適合している事により満足される。FBR用のNa弁の場合、MITI告示501号の第一種弁の規定にあるような、接続配管の材料の $S_y$ 値に基づく保守的な配管反力荷重を考えて弁を設計しないが、個々の弁の受ける配管反力を解析によって求め、それに対する健全性を保証するので、配管反力の取扱いの差に基づく問題はない。

一般に構造強度とその他の機能維持の間に一対一の対応関係はない。しかし、例えば弁座の耐漏洩性とか、ステムの開閉操作時の駆動性とかの関連部材の過大な変形により、その機能の喪失を生じるものに対しては、構造強度を確保し全体としてはほぼ弾性状態に納める事が、その機能維持の十分条件になると考えられる。次項以降にその様な考え方に基づいた評価手法を検討したので、その内容を示す。

#### (2) 弁座及びグラウンド部のシール性の確保

地震時の弁座や弁体の損傷に基づく弁座のシール性の喪失、及びベローズシールやフリーズシールを形成するグラウンド部の損傷やフリーズ性の喪失に基づくグラウンド部のシール性の喪失が機能維持上問題となる。

これらのうち、研究(Ⅱ)で詳細に検討したように弁座のシール性の確保は、(i)弁座の着座性の確保及び、(ii)弁座、弁体のシール面の損傷、ゆがみの防止、の2つの要件から達成される。これらの2つの要

件のうち、着座性の確保とシール面のゆがみの防止は、構造全体として過大な変形が発生しなければほぼ確保でき、これは結局(1)項に示した構造強度の確保により達成されると云える。

弁座及び弁体のシール面の損傷も、研究(Ⅱ)において述べた通りで、一般に弁体取付部の固有振動数は高く、地震時に過大な応答を示す事はないので、弁座と干渉してシール面の面圧が過大となったり、着座間際にかじりが生じたりして損傷することも考えられない。

グランド部のシール構造として、一般弁に多数採用されているベローズシールは、地震時に損傷することは特に考えられないので、その評価は不要と考える。これに反し、フリーズシール部は、地震時の挙動が不明確であるので、実験によりその機能維持(シール性)を確認する。

以上の検討より、弁座及びグランド部のシール性の確保は、弁の地震時の応答がその構造強度上の限界を越え著しい変形が生じない限り、特に問題とならないとみられ、発生応力を評価パラメータとし、 $S_y$  値などの許容値に納めればよいと云える。

### (3) 作動性の確保

弁は、弁箱から偏心した形で質量の大きい駆動部を有し、地震時に大きな加速度応答が発生する。この加速度により、弁の作動機能の維持の上から2つの事が問題となる。

一つは、駆動部に働く力によるヨーク部の曲げ変形による弁棒の駆動阻害であり、他は、駆動部内のスイッチ類が加速度を受けて、その接点が離れるなどの誤作動が発生することである。

本研究で対象としている弁は、各形式及びサイズ毎にはほぼ同じ質量、剛性割合となっているので、駆動部の加速度による機能維持の喪失に対しては、加速度そのものを評価パラメータとし、各弁毎に許容加速度を定めることで評価できると考えられる。そして、許容加速度は代表弁毎にそれぞれ試験により測定して求めることができる。すなわち、弁の駆動装置は、製作メーカーにおいて、公称5Gの保証加速度(注記：公称5Gについては、今後調査の上確認を行う必要がある。)で製作されているので、この5Gの加速度での機能維持を確認し、許容加速度を設定することが1つの目的である。しかし、試験においてヨーク付根部などの応力が過大となり、5Gの加速度が加えられない場合は、ヨーク付根部の応力を優先して評価パラメータとし、 $S_y$  値などの許容値で制限する。そして、そのときの試験加速度を今回の確認加速度の最大値として設定し、この加速度内なら、常に機能維持は保証されるものとする。

以上の各評価項目と問題点の考え方をまとめて、表4.1-1に示す。

## 4.2 評価手法(案)の設定

4.1節の検討結果を踏まえ、実機のNa弁の機能維持を評価するための評価フローを組み立てると、図4.1-1に示すようになる。

同図中の各記号は、表4.1-2に示す意味を有している。この評価フローでは、実際の設計に用いることを考慮し、配管系解析に組み込む弁の耐震解析モデルを簡易モデルで始め、もし簡易モデルによる

評価で合格しない場合は、詳細モデルで再評価を可能とした。また、各評価で用いる許容値は、代表弁の裕度試験の結果から定まるものを用いるものとした。

本評価手法(案)による評価手順を概略説明すると次のようである。尚、各項の〔 〕内の丸印付の番号は図4.1-1に示すものと各々対応する。

#### Na 弁の地震時機能維持評価手法(案)

- i) まず、評価対象の実機弁の分類を行い、今回の供試弁のどれと類似であるかを判断する〔①〕。
- ii) 実機弁の簡易耐震解析モデルを作成する〔②〕。
- iii) 弁モデルを配管系モデルに組み込む〔③〕。
- iv) 耐震解析を実施する〔④〕。
- v) 解析結果より、駆動部応答加速度 $\alpha$ 、弁箱またはステム部のモーメント $M$ 、配管からの反力 $T$ （軸力、曲げ、捩り）を求める。尚、エクステンションロッド付弁の場合は、エクステンションロッドの midpoint の応力 $\sigma$ を、簡易梁計算等により算定する〔⑤〕。
- vi) 代表弁の試験より定めた上記 $\alpha$ 、 $M$ 、 $T$ 、 $\sigma$ に対する許容値 $A$ 、 $A_I$ 、 $T_A$ 、 $S_A$ 、 $\sigma_A$ を用意する〔⑥〕。
- vii) 配管反力の評価を行う〔⑦〕。
- viii) エクステンションロッド付弁か否かを判断する〔⑧〕。
- ix) エクステンションロッド付弁でない場合は、駆動部のスナッパの有無を判断する〔⑨〕。
- x) 駆動部の加速度を評価する。まず、裕度試験で求めた加速度 $A$ より小さい場合は、これですべて合格とする〔⑩〕。裕度試験の加速度を越えた場合でも、駆動部メーカーが駆動部に対して行った試験の加速度 $A_I$ を下まわり、かつ弁箱またはステム部の応力が裕度試験で求められた $S_A$ 値以下であれば合格とする〔⑪, ⑫, ⑬〕。
- xi) 駆動部にスナッパが取付けられる場合は、駆動部加速度が $A_I$ に納まっていることを確認し、さらに配管により弁が曲げられる際の弁箱またはステム部の応力が $S_A$ に納まっていることを確認できれば合格とする〔⑪, ⑫, ⑬〕。
- xii) エクステンションロッド付弁の場合、エクステンションロッドの midpoint の応力 $\sigma$ が、試験結果の $\sigma_A$ に納まっていることを確認し、かつ弁箱に発生する応力が裕度試験より求めた $S_A$ を下まわることを確認し、合格とする〔⑭, ⑫, ⑬〕。
- xiii) 以上の評価で合格しない部分が生じた場合は、解析モデルを詳細モデルに変え再評価するか、又は設計変更を行う〔⑯, ⑰又は⑱〕。
- xiv) 詳細モデルによる再評価で不合格の場合は、設計変更とする〔⑱〕。

以上で解析による弁の地震時機能維持が評価出来ることとなるが、本評価手法(案)は、これから実施する Na 弁の耐震試験前に暫定的に考えた案であり、今後試験の結果によって見直し、評価手法として確立するものである。

表 4.1 - 1 弁の動的機能維持評価法の検討

No.	検討事項	設計上の取扱い	問題点の考え方及び解決法	試験で確認すべき事項
1.	構造強度	(1) バウンダリ FBRの構造基準 及び告示501号、内 規による。	(1) バウンダリに関しては、ⅢAS、ⅣASで制限されてお り特に問題はない。また、他の機能維持に対しては、 構造全体に過大な変形が発生することなく、全体とし てほぼ弾性的な挙動を示すことが必要であり、これら はⅢAS、ⅣASの状態ではほぼ確保できる。	(1) 解析手法の妥当性を確認し、クリ ティカル点を明確にする。また、全 体として過大な変形が発生せず、ほ ぼ弾性的な挙動を示すことを確認す ること。
		(2) 上記以外 電気協会「弁の許 容応力率」による。	(2) 上記以外は、「弁の許容応力(案)」によるので、 ほぼ上記と同じ趣旨となる。クリティカル点を評価し、 効果的に判定できることが必要である。	(2) 同上
2.	弁座シール	(1) 弁座許容リーク量 を守る設計とする。	(1) シール性確保の上から、上記(1)が保証されると同時 に、(i)弁体が他の構造物と接触して損傷することの防 止、及び(ii)弁座シール面に過大なゆがみが発生するこ との防止が必要である。(ii)は、構造設計から保証され ることも考えられる。	(1) 全体として過大な変形を生じず、 ほぼ弾性的挙動であることを確認す る。補足的に、弁体のゆれ及び弁座 近傍のひずみの測定を実施する。
	グラウンド部 シール性	(1) フリーズシール (2) ベローズシール	(1) フリーズシールは試験により確認する。 (2) ベローズシールは、特に地震時に機能喪失が生じる とは考えられないので、評価不要とする。	(1) 試験にて確認する。 (2) —
3.	作動性能	(1) 開閉時間及び駆動 力量を所定の値に設 計する。	(1) ヨークのゆがみなどにより、ステム部の摺動抵抗が 増加して、ステムの軸圧縮応力が増える。しかし、ス テムの軸圧縮応力が降伏点を基礎とする許容値を超え なければ、特に問題はない。そして、ヨークを含めた 構造設計が上記1.に示した範囲内であれば、特に問題 はない。	(1) ステムの応力を測定する。特に軸 圧縮荷重の大きさを測定する。
		(2) 電気品等の作動特 性の確保を図る。	(2) 電気品等を含めた弁の作動性能は試験により確認す る。	(2) 試験にて確認する。



表 4.2 - 2 許容値の設定方法

	評価パラメータ	機能			許 容 値
		強 度	漏 洩	作 動	
$T_A$	配 管 反 力	○			<p>配管反力値が告示 501 号第 81 条に規定する値以下であること。</p> <p>軸 力 <math>T = A_1 S_y</math></p> <p>曲げモーメント <math>M_1 = Z_1 S_y</math></p> <p>ねじりモーメント <math>M_3 = 2 Z_1 S_y</math></p> <p>* <math>A_1</math> : 接続配管断面積の 1/2</p> <p><math>Z_1</math> : 接続配管断面係数</p>
$A_I$	駆 動 部 の 加 速 度			○	<p>駆動部の加速度が下記の加速度以下であること。</p> <p>max {</p> <p>(i) 今回の研究で確認する加速度</p> <p>(ii) 他の試験で駆動部の正常作動が確認された加速度</p>
$S_A$	ヨーク下部の応力	○			<p>許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub></p> <p>一次応力 <math>S_y</math></p> <p>許容応力状態Ⅳ<sub>AS</sub></p> <p>一次応力 <math>1.5 S_y</math></p> <p>左記発生応力は駆動部の等価 加速度に置き換えて評価して もよい。</p>
	ボンネット上部の応力	○			
	ボンネット下部の応力	○			
	弁箱の応力		○	○	
	グラウンド部の応力		○	○	
$A$	駆 動 部 の 応 答 加 速 度	○	○	○	今回の裕度試験で負荷する加速度
$\sigma_A$	エクステンション ロッド中点の応力	○		○	今回の試験で負荷する応力

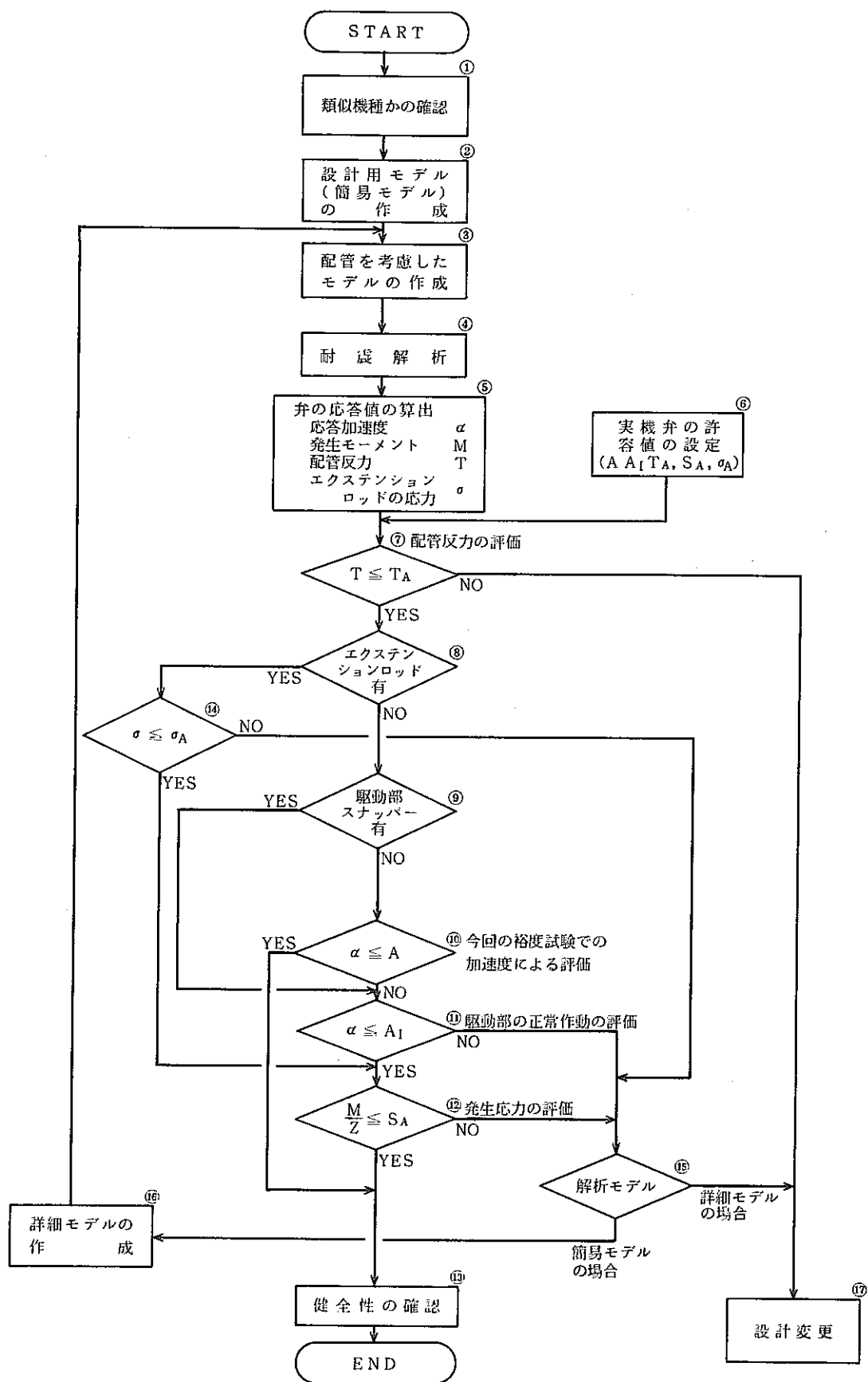


図 4.1 - 1 Na 弁の機能維持評価手法 (案) 評価フロー

## 第5章 弁の機能維持に関連する検討・調査

## 第5章 弁の機能維持に関する検討調査

動的機器の地震時機能維持を検討する場合、構造強度の検討だけでなく対象機器の作動部の耐震性も重要な検討課題となる。

ナトリウム弁の作動部のうち、耐震上注目される部分に、ナトリウムを凝固し、軸シールを行うフリーズシール部と電氣的接点及びバネ支持機構を有する電動弁アクチュエータとが有る。

本章では、この二部分の性能及び耐震性に関し、本年度実施した基礎調査の結果を示す。

### 5.1 Na弁フリーズシール部の地震時機能維持基礎試験

#### 5.1.1 目的

Na弁に用いられているフリーズシール方式の軸封部の地震による振動の加わった時の機能維持を確認するための基礎研究として、実際の軸封部を模擬した軸封部を可視化できる実験装置を製作し、熔融金属の流動、凝固状態を観察することによりNaの凝固軸封の状態を推定する。

#### 5.1.2 試験内容

実験装置の概要を図5.1-1に示す。今回の実験では、軸封部のNaの流動、凝固の様子を観察することを主目的とするために、実験装置のテスト部にはパイレックスガラスを使用して内部の状況を肉眼で観察可能とした。熔融金属としてはNaの代わりに当面、Sn（融点231.9℃）を使用する。

実験は、金属融解タンク、下部タンク、連結フレキシブル管を電気ヒータで加熱し、Snを溶解状態とする。なお、この時には金属融解タンクの位置は下部タンクと同レベルとする。この状態から融解タンクの位置を徐々に上昇させ、テスト部に溶解Snを注入する。この時のSnの流動、凝固状態を観察記録（スチール写真、ビデオテープ）する。Snの流動、凝固については、テスト部の温度とSnの温度とが影響するものと考えられるので、Snの温度、融解タンク位置、テスト部の温度（実際には下部タンクに溶解Snを入れた時からテスト部にSnを注入するまでの時間に影響される。また、ガラスの外表面の冷却状態、中心軸棒上部の冷却状態にも影響される）が、パラメータとなる。

次に、溶解Snが凝固し、フリーズシールが完成した後に、中心軸棒に振動（振幅、振動数がパラメータ）を与え、フリーズシール部の状況がどの様になるかを観察記録する。

以上の実験結果から、Naのフリーズシール部での挙動を推定する方法を見つけ出し、地震時におけるNa弁フリーズシール部の機能維持の推定を行なう。

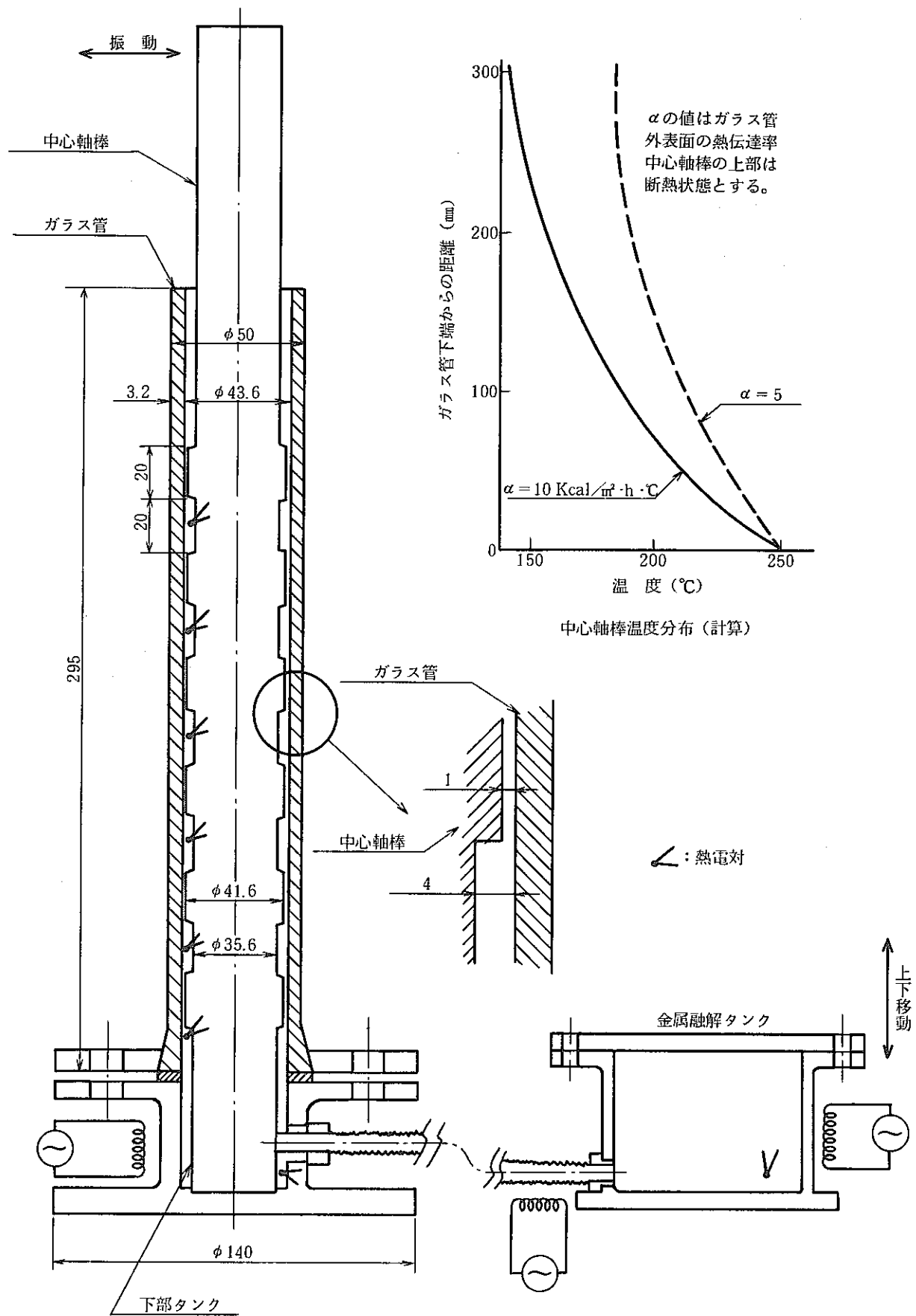


図 5.1 - 1 実験装置概要

## 5.2 電動弁アクチュエータの耐震性調査

高速原型炉用ナトリウム弁の地震時機能維持評価の検討に際し、地震力による弁箱の変形以外に電気的接点を内蔵する電動アクチュエータ部の耐震性も重要な問題の一つである。幸い、同機については、製作メーカーにより地震時機能維持試験が実施されているため、本項ではこれを紹介する。

### (1) 電動弁アクチュエータの構造

現在、日本国内の原子力発電所で地震時に機能要求が課せられている電動弁のアクチュエータは代表的な二種の製品が用いられている。

この両者とも、米国で開発されたもので、高速原型炉用ナトリウム弁もこれらと同等のものが採用される計画である。これらの製品はいずれも同等の構造を有しており、図5.2-1で示すように次の4部分に分けられる。

- ① モーター
- ② 減速機
- ③ リミットスイッチ
- ④ 電動、手動切替クラッチ

これらの内、耐震上注目されるのは③のリミットスイッチである。

リミットスイッチは位置リミットスイッチとトルクリミットスイッチの二種が有る。

これらは弁の用途により各々使い分けられているが、弁の締切を確保するため、原子力発電施設の重要な電動弁ではトルクリミットスイッチが優先的に用いられている。

この原理は図5.2-2に示すように減速機のウォームギアのスラストを支えるバネ(トルクスプリング

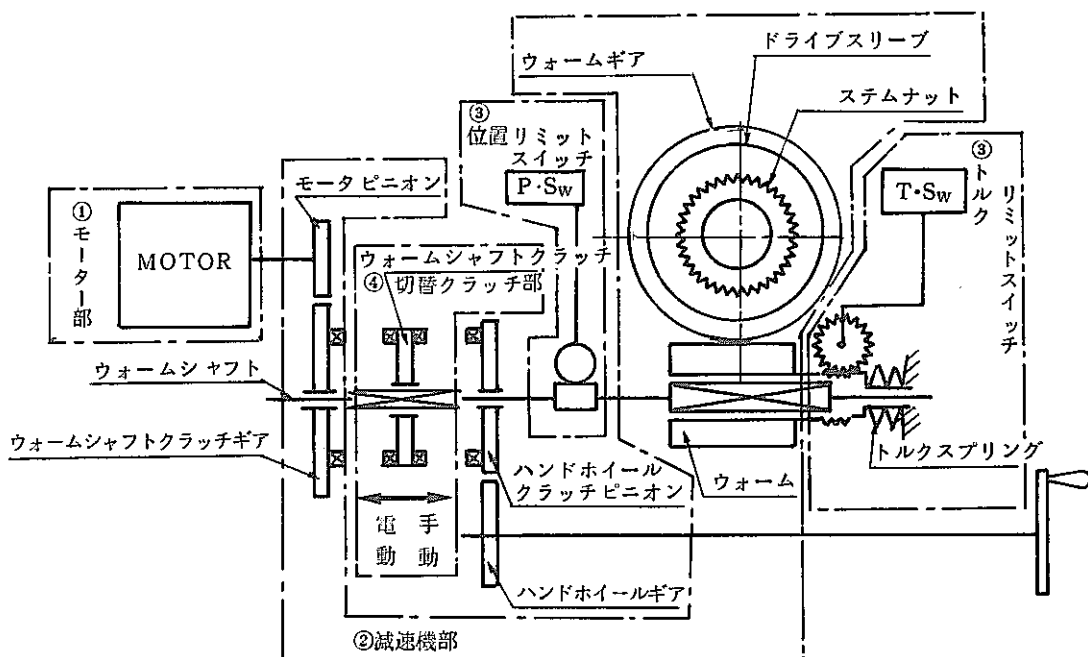


図 5.2-1 電動弁アクチュエータ作動原理図

グ)の変位により弁棒のトルクが検出され、スイッチの on - off が行われる。このように、電動弁アクチュエータは電氣的接点を内蔵しているものの、歯車を主体とした比較的剛構造の機器であり、さらに次項で示す IEEE ( The Institute of Electric and Electronics Engineering , Inc. ) の規格にて、振動による誤作動のないことが確認されている。

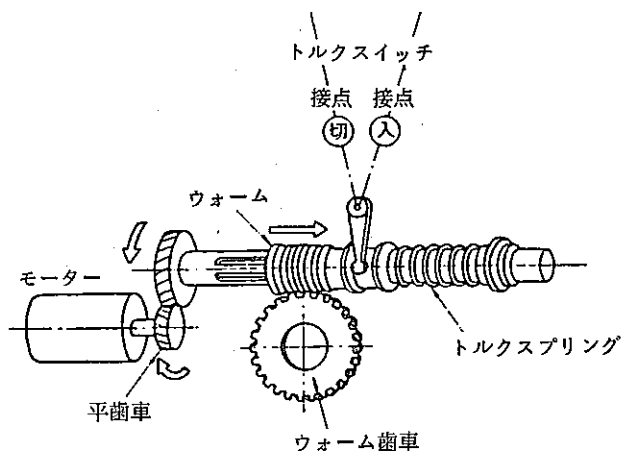


図 5.2 - 2 トルクリミットスイッチ原理図

(2) 電動弁アクチュエータの耐震性に関する IEEE 規格

原子力発電所で用いる電気装置で安全上重要なものは、米国では IEEE の規格に満足すべき要求事項が提案されている。

これらのうち、電動弁アクチュエータの耐震性に関連したものに次の二種が有る。

① IEEE 344-1975

IEEE Recommended Practics for Seismic Qualification for Class 1E (注1) Equipment for Nuclear Power Generating Stations.

地震時における安全な shut down やその操作に関する基本事項の検証法について具体的な方法を記述している。

② IEEE 382-1980

IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Valve Operators for Nuclear Generating Stations.

原子力発電所で使用されるクラス 1E 電動弁アクチュエータの性能評価を行うための要求事項を説明しており、地震時の機能維持評価法が含まれている。

(注1) Class 1E

原子力発電所で使われる機器分類のひとつで、つぎの内容を有している。

異常時における原子炉の停止、格納容器内の隔離、炉心の冷却、格納容器と原子炉の熱の除去に対して不可欠でかつ周囲の環境に対し、多量の放射性物質の放散を防ぐために必要な電気装置やシステムの安全性に関する分類。

特に後者の IEEE 規格では地震時の電動弁アクチュエータの機能維持試験を規定している。

これによると、代表モデルについて次に示す加振試験を実施し、作動特性に異常な変化が現われないことの確認を要求している。

米国の原子力発電施設では、耐震設計のため OBE (Operation Base Earthquake) と SSE (Safety Shut-down Earthquake) を想定している。このため、IEEE 382 では電動弁アクチュエータの地震時機能維持を評価するため、両地震に相当する振動荷重を用い機能に対する損傷の調査が要求されている。

両地震に相当する荷重の与え方には正弦波を用いる方法と模擬人工地震波を用いる方法とがあり、それぞれの方法で荷重レベル、加振時間等が地震荷重と等価となるよう定められている。

加振レベルの設定のため、正弦波用に図 5.2-3 に示す RIM (Required Input Motion) が、また模擬人工地震波用に図 5.2-4 に示す RRS (Required Response Spectrum) が与えられている。

これらは、SSE の荷重を与えるものであり、OBE のためにはそれらを 2/3 倍して用いることとしている。

また、OBE はプラント寿命中に 5 回の発生回数が想定されるため、正弦波加振の場合、与える損傷度を OBE と等価とするよう、スイープアップ、スイープダウンを 2 回繰返すことを要求している。

さらに、機能維持は 5 回の OBE と 1 回の SSE による損傷が加えられた後まで確保される必要があるため、OBE 相当加振の段階では加振中のアクチュエータの作動確認は行う必要がないが、SSE 相当加振では加振中の作動確認が要求されている。

一方、加振時間は OBE、SSE 共に正弦波加振と人工地震波加振とで各々 15 秒と 30 秒とが規定されており、加振回数と同様与える損傷度を考慮し決定されている。

これら IEEE 382-1980 の規定のうち、耐震に関する試験仕様をまとめると表 5.2-1 の通りとなる。

表 5.2-1 IEEE 382-1980 による電動弁アクチュエータ  
地震時機能維持確認試験仕様

試験仕様	相当地震		S S E	
	O B E			
加振波の種類	正弦波	模擬人工地震波	正弦波	模擬人工地震波
加振レベル	RIMの $\frac{2}{3}$ (約3G)	注2) RRSをOBEレベルまで低減	RIM(約4.5G)	RRS
加振振動数範囲(Hz)	2 - 35	—	2 - 32	—
加振時間(S)	15	30	15	30
加振中の作動操作	不 要	不 要	要	要
試験回数	正弦波スイープを2往復	5 回	1 回	1 回

注2) IEEEには具体的な低減量は示されていないが、 $\frac{2}{3}$ 程度が実際に用いられている。



### (3) IEEE規格による電動弁アクチュエータの地震時機能維持試験結果

クラス1E機器相当として製作される二種の電動弁アクチュエータは、いずれもIEEE 382-1980に準じて(一部満足されない部分がある)試験され、地震時機能維持の確認評価が行われている。

それらの結果は次に示す通りである。

#### (イ) A機種

##### (i) 固有値調査

0.4Gにて5Hz↔33Hzの正弦波スイープ試験を実施し、水平二方向及び垂直方向の3軸の固有値調査を行った。しかしながら、共振点及びスイッチ類のチャタリングは観測されなかった。

##### (ii) 耐震性試験

水平二軸、垂直一軸の各々より3G(OBE相当)を6G(SSE相当)で30秒の正弦波連続加振を行い、耐震性を調査した。

その結果、電動弁アクチュエータは機能損傷を生ずることなく、耐震性は十分であることが確認された。

#### (ロ) B機種

##### (i) 固有値調査

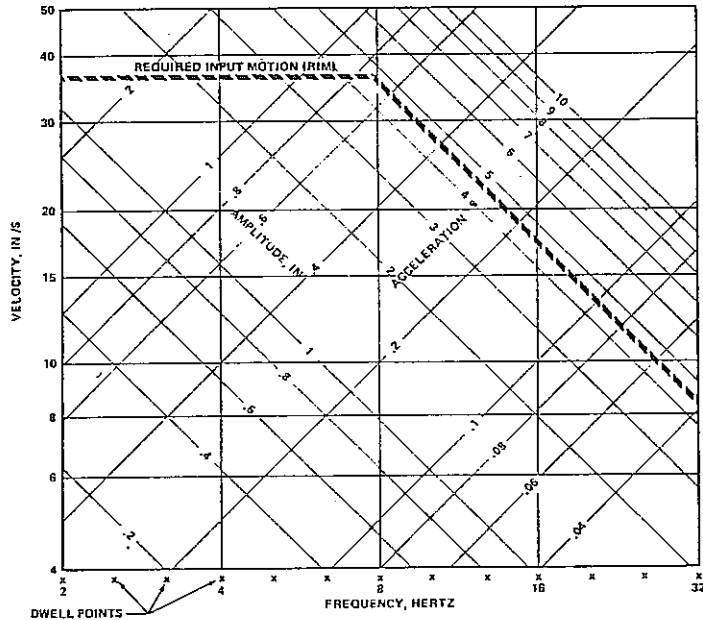
0.2Gにて1Hz↔35Hzの正弦波スイープ試験を実施し、水平二方向及び垂直方向共に固有値調査を実施したが、水平、垂直共に1次固有振動数は20Hz以上であった。

##### (ii) 耐震性試験

正弦波によるSSE相当加振を行い、さらに水平、垂直各々の方向にOBE5回、SSE1回をIEEEのRRSに従い模擬人工地震波を作成し加振を行った。

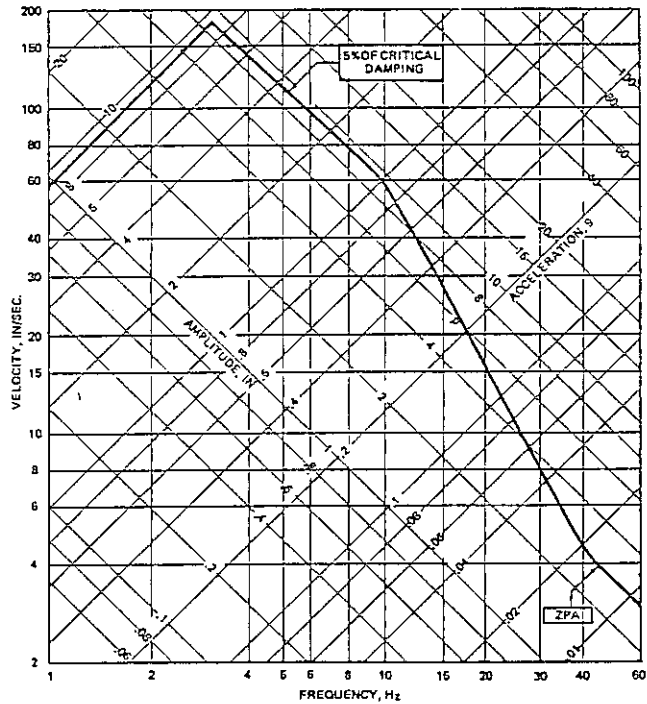
その結果、電動弁アクチュエータには機能損傷が生ぜず、耐震性は十分確認された。

これらの結果より、原子力施設で使われる電動弁アクチュエータは十分な耐震性を有し、地震時の機能維持は6Gまでは確保されているものと考えられる。



VALUES ARE SUBJECT TO CHANGE.  
USER SHOULD VERIFY ADEQUACY.

図 5.2-3 地震時機能維持試験 S S E 正弦波加振入力スペクトル



VALUES ARE SUBJECT TO CHANGE.  
USER SHOULD VERIFY ADEQUACY.

図 5.2-4 地震時機能維持試験 S S E 模擬人工地震波用スペクトル

## 第 6 章 ま と め

## 第 6 章 ま と め

原子力発電設備の安全上重要な系統に属する弁は冷却材バウンダリーの健全性評価だけでなく、安全評価上想定する設計用限界地震時の動的機能維持を評価する必要がある。

このため、本研究にて高速炉用 Na 弁の評価手法を試験と解析の両面から検討を加え確立する。

同様の研究が既に先行炉である軽水炉の弁を対象に実施されているため、本作業では高速炉用 Na 弁の特殊な部分を中心に検討した。

本年度は前年度までの研究 (I)、(II) により得られた結果をもとに代表弁の振動解析、FEM 3 次元シェル要素を用いた弁全体の応力解析を実施し、全体加振試験、全体静荷重試験及び要素試験の試験荷重、評価項目及び計測点の検討を行った。

また、基礎調査として、Na 弁特有のフリーズシール部と電動弁アクチュエーターの耐震性について検討した。

その結果、地震時機能維持評価法の検討を行うため、実証試験荷重に加えて裕度試験荷重まで試験荷重を増大し、Na 弁の振動時の作動特性を測定調査するのが適切であると考えられた。

実証試験荷重は全体加振試験の場合、実機系と試験系の振動条件が等価となるよう、スナッパ付弁では曲げモーメント分布に着目し、また連結棒付弁の場合は弁と連結棒との結合部に生ずる剪断力に着目し、実証試験荷重の設定を行った。

裕度試験荷重は全体加振試験では駆動部を有する弁に対して駆動部加速度を 5 G とし、その他の弁では実証試験荷重の 1.5 倍とした。また、全体静荷重試験では駆動部への剪断力を弁の一部に降伏が生ずるところまでとし、さらに配管反力は原則として MITI 告示 501 号第一種弁で与えられる荷重まで負荷するものとした。

要素試験では実証試験荷重の 1.5 倍を裕度試験荷重として設定した。

地震時機能維持評価法の検討では、研究 (II) で考えられた評価項目をもとに、実機 Na 弁の地震時機能維持を解析的に評価する手順を検討し、評価法案の作成を行った。

フリーズシール部の地震時のシール性能と電動弁アクチュエーターの耐震性の基礎調査では、フリーズシール部のシール効果を調べるため、スズを代用金属としたモデル試験を行うことにし、今年度は試験実施計画をまとめた。

また、電動弁アクチュエーターは製作メーカーにより、アクチュエーター単体で IEEE 規格に準じ、耐震試験が実施されており、6 G までは機能維持が確認されていることが判った。

以上が今年度の成果であるが、今後、これらに基づき実施される試験結果をもとに、地震時機能維持を解析的に評価するため、評価対象となる項目の妥当性及びこれらの制限量の決定を行うことにより、FBR 用 Na 弁の地震時機能維持評価法の作成を行うものとする。

組 合 員

旭化成工業株式会社  
石川島播磨重工業株式会社  
株式会社オクダソカベ  
川崎重工業株式会社  
川崎製鐵株式会社  
久保田鉄工株式会社  
株式会社神戸製鋼所  
新日本製鐵株式会社  
住友金屬工業株式会社  
住友重機械工業株式会社  
株式会社東芝  
株式会社東京螺旋管製作所  
日本ウエルディングロッド株式会社  
日本鋼管株式会社  
株式会社日本製鋼所  
日本弁管工業株式会社  
日本冶金工業株式会社  
株式会社日立製作所  
日立造船株式会社  
富士電機製造株式会社  
三井造船株式会社  
三菱金屬株式会社  
三菱重工業株式会社  
三菱電機株式会社

## 役員

名誉理事長	木原博	(東京大学名誉教授)
名誉理事	橋本宇一	(金属材料技術研究所客員研究員)
理事長	寺沢一雄	(大阪大学名誉教授)
副理事長	飯田庸太郎	(三菱重工業株式会社代表取締役副社長)
	青木宏一	(新日本製鐵株式会社専務取締役)
常務理事	藤村理人	(高温構造安全技術研究組合)
理事	青井舒一	(株式会社東芝専務取締役)
	浅野修一	(日立造船株式会社代表取締役副社長)
	大橋延夫	(川崎製鐵株式会社取締役)
	今西淳郎	(富士電機製造株式会社顧問)
	鷗戸口英善	(東京大学名誉教授)
	大庭浩	(川崎重工業株式会社常務取締役)
	小野寺真作	(株式会社日本製鋼所理事)
	金沢武	(東京大学名誉教授)
	佐伯修	(株式会社神戸製鋼所専務取締役)
	佐伯庄吾	(三井造船株式会社常務取締役)
	佐々木義広	(住友重機械工業株式会社常務取締役)
	竹内久彌	(住友金属工業株式会社取締役)
	永嶺一彦	(旭化成工業株式会社常務理事)
	西政隆	(株式会社日立製作所取締役副社長)
	藤田勇一	(石川島播磨重工業株式会社常務取締役)
	本田順太郎	(久保田鉄工株式会社専務取締役)
	三島良績	(東京大学名誉教授)
	山地健吉	(日本鋼管株式会社専務取締役)
	横田孝三	(日本冶金工業株式会社専務取締役)
監事	小倉忠利	(三菱金属株式会社取締役)
	中谷義也	(三菱電機株式会社専務取締役)

## 事務局

事務局長 藤村理人  
技術部長 栗田敏郎

### 事務所

東京都千代田区神田駿河台 3-1-9 日光ビル  
〒101 電話 (03)295-8051