

業 務 報 告 書

平成元年度

滋賀県立機械金属工業指導所

彦根市岡町5番地

ま え が き

わが国経済は、内需の高まりを反映して、長期にわたり好況が続いており、中小企業においても、概して順調に推移しております。

しかしながら中小企業を取り巻く経営環境は依然として非常に厳しく、新製品の開発、技術の高度化、マーケティング力の強化、人材育成、労働条件の整備等を進めることが重要な課題となっています。

このような中で、住宅建設や造船関係の好況は、バルブ需用の伸びをもたらしましたが、一方、原材料の価格上昇や入手難、人材不足など経営を悪化させる要因も徐々に顕著になってきました。

また、産業の各種施設がハイテク化するにともない、バルブについてもハイテク化、多様化しつつあり、エレクトロニクス、システム技術を用いて急速に変化する業界ニーズに対応する事が重要な課題となってきました。

平成元年度はそのような視点から、新たに高機能バルブ開発実験棟を建築するなど、研究業務の充実を積極的に進めてまいりました。

ここにその実績をとりまとめましたので、御高覧賜り御意見いただければ幸いです。

平成2年8月

滋賀県立機械金属工業指導所

所長 上 田 成 男

正 誤 表

頁	(誤)	(正)
P.25	図11 (°) (°)	→ (°)
P.36	図1 (1) 同心円	→ (1) 同心型
	(3) 同心型 (非対称型)	→ (3) 同心型 (非対称型)
P.41	図4 (3) 非対称型	→ (3) 非対称型
P.44	図8 h ² ノライ弁の発生圧力係数	→ h ² ノライ弁の初生圧力係数
	非対称型(100mm)	→ 非対称型(100mm)
	整流型(100mm)	→ 変形型(100mm)
	初生圧力係数 (a)	→ 初生圧力係数 (a)
	図9 h ² ノライ弁の発生圧力係数	→ h ² ノライ弁の初生圧力係数
	初生圧力係数 (a)	→ 初生圧力係数 (a)
P.45	(図)	→ 図10 h ² ノライ弁の初生圧力係数
	初生圧力係数 (a)	→ 初生圧力係数 (a)
P.46	図11 h ² ノライ弁の発生圧力係数時の差圧	→ 図11 h ² ノライ弁の初生圧力係数時の差圧
	差圧 (m g / cm ²)	→ 差圧 (k g / cm ²)
	図12 h ² ノライ弁の発生圧力係数時の差圧	→ 図12 h ² ノライ弁の初生圧力係数時の差圧
	差圧 (m g / cm ²)	→ 差圧 (k g / cm ²)
P.47	図13 h ² ノライ弁の発生圧力係数時の流速・流量	→ 図13 h ² ノライ弁の初生圧力係数時の流速・流量
	図14 h ² ノライ弁の発生圧力係数時の流速・流量	→ 図14 h ² ノライ弁の初生圧力係数時の流速・流量
P.48	図16中	→ グラフと共に削除
	整流型(150mm)	→ 表7 望小特性のANOVA
P.64	表7 望小特性のANOVA (1 振動時の摩)	→ 表7 望小特性のANOVA (1 振動時の摩)

目 次

I 概 要

1 沿 革	1
2 規 模	1
3 組 織	3
4 職 員	3
5 予算および決算	4
6 試験研究設備の整備状況	7
7 主要設備	8

II 依頼業務

1 依頼試験数および手数料	13
2 設備使用件数および使用料	13

III 指導業務

1 技術アドバイザー指導事業	15
2 一般巡回技術指導	15
3 簡易巡回技術指導	15
4 技術相談	16
5 調 査	16
6 技術普及講習会	17
7 新技術技術者研修	17
8 出版刊行物	18
9 生産技術研究会	18

IV 研究業務

1 バルブ製品の性能に関する研究	19
2 既存バタフライ弁の流量特性に関する研究	35
3 溶射処理材料のかじり摩耗特性の評価研究	

I 概 要

1. 沿 革
2. 規 模
3. 組 織
4. 職 員
5. 予算および決算
6. 試験研究設備の整備状況
7. 主要設備

1. 沿革

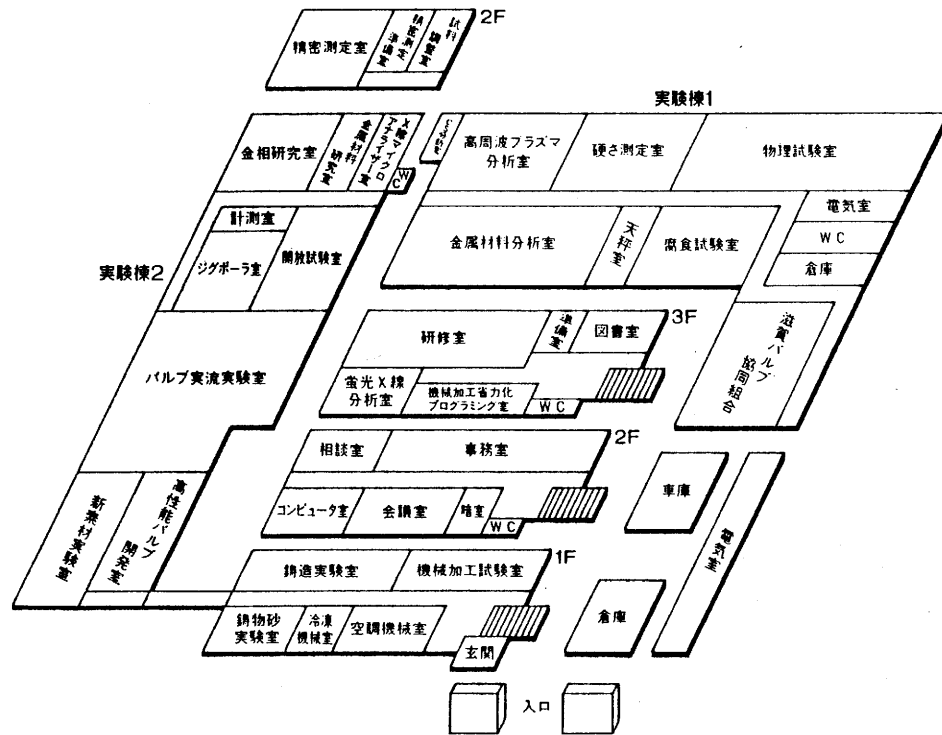
昭和21年4月	長浜市に県立長浜工業試験場を設置、機械、繊維の2部制とする。
昭和27年4月	工業試験場を機械部門と繊維部門に分割し、機械部は滋賀県立機械金属工業指導所と称す。
昭和34年4月	本指導所の整備計画ならびに彦根市に移築を決定
昭和35年10月	庁舎竣工新庁舎にて業務を開始（現別館）
昭和38年3月	実験研究棟（精密機械加工室、熱処理中間試験室、ジグボアラ室、その他）を増築
昭和43年1月	同上2階実験研究室を増築
昭和49年10月	本館 竣工
昭和62年12月	バルブ性能試験装置を設置
昭和63年4月	滋賀バルブ協同組合が庁舎に移転
平成2年3月	高機能バルブ開発実験棟を増築

2. 規模

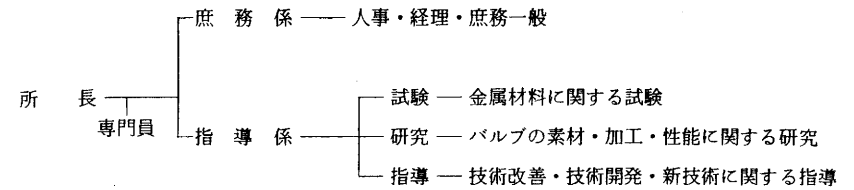
敷地面積	3,400.69 m ²
建物総面積	2,447.98 m ²
本館	1,017.96 m ² （鉄筋コンクリート三階建）
実験棟1	562.53 m ² （鉄筋コンクリート補強ブロック平屋建）
実験棟2	681.56 m ² （鉄筋コンクリート補強ブロック一部二階建）
その他	185.93 m ²

（平成2年4月1日現在）

建 物 配 置 図



3. 組 織 (平成元年4月1日現在)



4. 職 員

4.1 職員構成 (平成元年4月1日現在)

所 長	上 田 成 男
専 門 員	河 崎 勲
"	村 口 明 義
庶 務 係 主 査	佐 藤 清 実
指 導 係 係 長	松 川 進
主 査	樋 口 英 司
"	佐 藤 眞 知 夫
主任技師	宮 川 栄 一
"	酒 井 一 昭
嘱 託	井 上 道 子

4.2 職員の異動 (平成2年4月1日)

新	旧
樋 口 英 司	指 導 係 長 主 査
松 川 進	試験研究係長 指導係長
(転入)	
藤 田 芳 彦	主 査 (木之本土木)
西 川 哲 郎	主任技師 (振興協会)
(転出)	
佐 藤 清 実	(福祉高年課) 主 査
佐 藤 眞 知 夫	(振興協会) 主 査

5. 予算および決算

(1) 平成元年度 歳入予算執行状況

(単位：円)

科 目				予算通知額	調 定 額	収入済額	不 納 欠損額	収 入 未済額
款	項	目	節					
06	使用料 及び手数料			4,008,000	3,892,230	3,892,230	0	0
	01 使用料	07 商工使用料	04 機械金属 工業指導所	561,000	589,150	589,150	0	0
	02 手 数 料	04 商工手数料	05 機械金属 工業指導所 試 験	3,447,000	3,303,080	3,303,080	0	0
08	財産収入			500,000	500,000	500,000	0	0
	02 財 産 売 払 収 入	02 財 産 売 払 収 入	21 機械金属 工業指導所	500,000	500,000	500,000	0	0
12	雑 入			120,000	96,000	96,000	0	0
	07 雑 入	05 雑 入	38 経営技術等 研修講習 受 講 料	120,000	96,000	96,000	0	0
合 計				4,628,000	4,488,230	4,488,230	0	0

(2) 平成元年度 歳出予算執行状況

(単位：円)

科 目					予算令達額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節	細 節				
07	商 工 費				30,434,387	30,434,387	0	
	01 商工業費				1,946,140	1,946,140	0	
		03 工業振興費			1,946,140	1,946,140	0	
			01 報 酬		780,000	780,000	0	
			08 報 償 費		125,000	125,000	0	
			09 旅 費		954,140	954,140	0	
			11 需 用 費		69,000	69,000	0	
				01 食 糧 費	10,000	10,000	0	
				02 そ の 他 需 用 費	59,000	59,000	0	

科 目					予算令達額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節	細 節				
			12 役 務 費	02 そ の 他 役 務 費	18,000	18,000	0	
	02 中小企業費				28,488,247	28,488,247	0	
		02 中 小 企 業 指 導 費			513,010	513,010	0	
			08 報 償 費		101,750	101,750	0	
			09 旅 費		161,260	161,260	0	
			11 需 用 費		199,000	199,000	0	
				01 食 糧 費	4,000	4,000	0	
				02 そ の 他 需 用 費	195,000	195,000	0	
			12 役 務 費	02 そ の 他 役 務 費	5,000	5,000	0	
			14 使用料及び 賃 借 料		46,000	46,000	0	
		03 中 小 企 業 振 興 費			350,000	350,000	0	
			11 需 用 費	02 そ の 他 需 用 費	350,000	350,000	0	
		07 機械金属工 業指導所費			27,625,237	27,625,237	0	
			01 報 酬		972,000	972,000	0	
			04 共 済 費		122,083	122,083	0	
			08 報 償 費		353,550	353,550	0	
			09 旅 費		1,628,424	1,628,424	0	
			11 需 用 費		12,693,304	12,693,304	0	
				01 食 糧 費	245,189	245,189	0	
				02 そ の 他 需 用 費	12,448,115	2,448,115	0	
			12 役 務 費	02 そ の 他 役 務 費	2,091,774	2,091,774	0	

科 目					予算令達額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節	細 節				
			13	委託料	1,394,022	1,394,022	0	
				01 電気保安 業務委託料	222,348	222,348	0	
				02 恒温恒湿 点検委託料	184,370	184,370	0	
				03 警備業務 委託料	484,512	484,512	0	
				04 浄化槽等 維持管理 業務委託料	112,270	112,270	0	
				05 ボイラー 整備点検 委託料	84,040	84,040	0	
				06 火災報知 設備保安 点検委託料	35,844	35,844	0	
				07 排水水の 分析委託料	110,988	110,988	0	
				08 冷凍機保安 点検委託料	159,650	159,650	0	
			14	使用料及び 賃借料	67,480	67,480	0	
			18	備品購入費	8,107,200	8,107,200	0	
			19	負担金補助 及交付金	195,400	195,400	0	
				01 冷凍設備 保安協会 負担金	7,000	7,000	0	
				02 各種会議 負担金	188,400	188,400	0	
合 計					30,434,387	30,434,387	0	

6. 試験研究設備の整備状況（平成元年度）

1) 高性能バルブ開発実験棟の建設

（平成元年度日本自転車振興会補助）

概要

構 造：鉄骨造り 平屋建て

建築庁面積：実験棟 180 m²、渡り廊下 14 m²

実 験 室：高性能バルブ開発室、新素材試験室

実流性能試験室（改造、拡張）

2) 試験研究設備の整備

設 備 名	数量	型 式	製 造 者	備 考
摩 耗 テ ス タ ー	1台	OP-300	日本コントラクター㈱	日本自転車振興会補助物件
振動騒音解析装置	1式	CF-360	㈱小野測器	〃
ビデオモニター	1台	TH-33AV1	松下電器産業㈱	県 単
パーソナルコンピュータ	1台	PC9801-RX21	㈱日本電気	〃

7. 主 要 設 備

品 名	規 格	購入年月日	備 考
万 能 研 削 盤	三井精機製MUG25×50	37. 6. 29	日本自転車振興会 補助物件
治 具 中 ぐ り 盤	三井精機製JBD型№3	38. 6. 17	"
平 面 研 削 盤	三正製作所製G-D64型	38. 12. 20	"
万 能 工 具 研 削 盤	牧野フライス社製C-40	38. 12. 23	"
ブ ロ ッ ク ゲ ー ジ	津上製PTW A級	39. 8. 18	"
万 能 顕 微 測 定 器	三井精機製MLD 1000	40. 1. 14	"
万 能 工 具 顕 微 測 定 器	津上製T-MCL 2 型	38.	"
旋 盤	大阪工作所製360 HB-X型	43. 3. 19	"
超 硬 工 具 研 磨 盤	アサヒダイヤモンド工業製 SDG型	43. 9. 10	"
表 面 粗 さ 計	テーラーボブソン社製 タリサーフ4型	43. 11. 30	"
万 能 フ ラ イ ス 盤	日立精機製MS型U	43. 12. 28	中小企業庁補助物件
プロジェクション オプティメーター	カールツァイスイエナ社製 MOD20/20	44. 10. 21	日本自転車振興会 補助物件
キ ャ ス 試 験 機	東洋理化製CASSER-1	44. 10. 29	"
流速効果腐食試験装置	山崎精機研究所VF-1	"	"
カット・オフ（帯鋸盤）	アマダ製CRH-300 S	45. 8. 30	"
ショア硬さ試験機	三光計器製S44計量研型	45. 9. 25	中小企業庁補助物件
ブリネル硬度計	三精工業製SDLB計量研型	45. 9. 29	"
工業用赤外線温度計	旭産業製TA-1	45. 10. 20	日本自転車振興会 補助物件
デジマイクログ 顕微鏡STM	オリンパス製 DM 253	45. 10. 30	中小企業庁補助物件
液化炭酸超低温装置	柳本製作所製OTS-60	45. 10. 31	日本自転車振興会 補助物件
オートコリメータ	ニコン6 D型	46. 8. 16	"
島津万能試験機	電子管式REH-100型	46. 9. 29	中小企業庁補助物件
周波数自動分析記録装置	国際振動研究所製SM-2200	47. 9. 28	日本自転車振興会 補助物件

品 名	規 格	購入年月日	備 考
エ レ マ 電 気 炉	東海興商製CE-20	47. 10. 30	日本自転車振興会 補助物件
高 温 鑄 物 砂 試 験 機	東京衝機製力量500 kg	47. 10. 31	"
直 示 式 鑄 物 砂 熱 膨 張 計	小沢製作所製EOS-1	47. 11. 20	"
曝 熱 試 験 器	小沢製作所製MO-1	"	"
定 電 位 電 解 分 析 装 置	柳本製作所AFS-4 4 連式	47. 9. 8	"
ばいじん量測定装置	D-20SC	49. 8. 12	中小企業庁補助物件
メモーション測定装置	松下電器製	49. 7. 31	"
万 能 基 準 硬 さ 試 験 機	明石製作所製 計量研型 SHT-3 型計算装置付	49. 10. 28	"
高 周 波 誘 導 電 気 炉	FTH-30Mサイリスタ式	49. 10. 31	"
蛍 光 X 線 分 析 装 置	理学電機工業製 ガイガーフレックス3063 P4	52. 3. 30	"
C E メ ー タ ー	リーズ・アンド・ノースロップ社 TECTIPマークIII-H	52. 3. 23	"
可 傾 式 金 型 鑄 造 機	新東工業PLS-33R	53. 8. 11	"
自動平衡型温度記録計	千野製作所EK100-06	53. 8. 25	"
塗 型 用 噴 霧 機	岩田塗装製	53. 12. 20	"
P H メ ー タ ー	東亜電波製HM-20B	53. 7. 10	県 単
シャルピー衝撃試験機	島津製30kg f-m	54. 1. 17	"
普 通 騒 音 計	㈱ノードDS-101 C	54. 8. 20	中小企業庁補助物件
精 密 低 温 恒 温 槽	田葉井製作所製 K-3473-D1	54. 10. 31	日本自動車振興会 補助物件
ス ト レ ン メ ー タ ー	新興通信工業DPU-100 PS-7513-50	54. 9. 5	"
分 光 光 度 計	島津製作所UV-150-02	54. 8. 10	"
STメーター （残留ひずみ測定器）	福井技研標準型	54. 10. 5	"
水 圧 ポ ン プ	山本水圧工業製PH-60	54. 7. 14	県 単
ジェットエロージョン 試 験 機	㈱山崎精機製JVE-12	55. 8. 10	中小企業庁補助物件
ピンホール探知器	㈱サンコウ電子製TRC-20A	55. 7. 17	"

品 名	規 格	購入年月日	備 考
静電粉体塗装装置	小野田セメント㈱製 GX101、TYPE6132-1	55. 7. 25	中小企業庁補助物件
C S 同時定量装置	米国LECO社製 LECO-CS-144型	55. 8. 9	日本自転車振興会 補助物件
かじり摩耗試験機	㈱京都試作研究所製	55. 10. 31	"
空気圧実習装置	太陽鉄工㈱製 当所仕様	56. 7. 30	中小企業庁補助物件
ブリネル硬さ試験機	㈱島津製作所製 最大荷重 3,000 kg	56. 9. 16	日本自転車振興会 補助物件
万 能 試 験 機	㈱島津製作所製 オートグラフDCS-25T型	56. 9. 19	"
電動ビッカース硬度計	㈱明石製作所製 AVK-A型	56. 10. 31	"
高周波プラズマ分析装置	㈱島津製作所製 ICPV-1000型	57. 12. 10	"
マイクロコンピュータ システム	シャープ㈱MZ-2000	58. 1. 14	"
X線マイクロアナライザ	㈱島津製作所製EPM-8101	58. 11. 21	"
小型超低温恒温器	タバイエスベック㈱製 MC-71型	58. 11. 22	"
微 小 硬 度 計	㈱明石製作所製 MVK-Eシステム	58. 11. 25	"
オシロスコープ	菊水電子工業㈱COS-5060	58. 7. 29	県 単
マイクロロボットムーブ マ ス タ ー	三菱電機製RM-101	59. 9. 21	"
顕微鏡試料作成装置一式	ビューラー社	59. 12. 26	中小企業庁補助物件
倒立型金属顕微鏡	ニコンEPIPHOT-TME	59. 12. 26	"
冷熱衝撃試験機	タバイエスベックTSR-63型	59. 12. 17	"
検力器負荷式 応力腐食試験機	東京衡機製ブルーフリング型	60. 12. 10	"
全自動分極測定装置	北斗電工製 HZ-1A	60. 12. 10	"
浸漬乾湿 複合サイクル試験機	スガ試験機製 DW-uD-3	60. 12. 18	"
パーソナルコンピュータ ネットワークシステム一式	—	61. 3. 31	県 単
ル ー プ 検 力 計	0.05LD、0.15LD	61. 3. 7	"
電気マッフル炉	ヤマト科学 FM-36	60. 7. 16	"
光学式変位測定器	リード電機製 PA-1800 PA-1810	61. 1. 11	"

品 名	規 格	購入年月日	備 考
電 子 天 秤	チョウバランス㈱JP-160	61. 6. 4	県 単
横形マシニングセンタ	HC400-40	62. 1. 10	中小企業庁補助物件
NC自動プログラミング 装 置	SYSTEM PMODELG	"	"
写 真 複 写 機	㈱宮崎 MC-1P	62. 7. 14	県 単
金属顕微鏡用照明装置	㈱モリテックス NRG-48-1000S	62. 7. 14	"
バルブ性能試験装置 本 体 実流量変位測定器	日本科学工業㈱ ジェック㈱ DSA-605C型	62. 12. 11	日本自転車振興会 補助物件
リ フ ト 運 搬 車	杉国工業㈱ SPR20-LL	62. 12. 5	"
ロックウェル硬度計	明石製作所 AHT-AT	63. 10. 14	県 単
重金属廃水処理装置	同和鉱業㈱ LIP-20AH1	63. 8. 11	"
スポットエアコン	ダイキン工業 SUAS2MAU	63. 7. 1	"
ゴ ム 硬 度 計	㈱島津製作所 200型	63. 7. 28	"
X Y プ ロ ッ タ ー	㈱ファナック A3	63. 9. 14	"
摩 耗 テ ス タ ー	日本コントラクター㈱製 OP-300	元. 7. 31	日本自転車振興会 補助物件
振動騒音解析装置	㈱小野測器製 CF-360	元. 8. 30	"
ビ デ オ モ ニ タ ー	松下電器産業製 NV-DS1	元. 5. 16	県 単
パーソナルコンピュータ	日本電気㈱製 PC-9801-RX21	2. 1. 19	"

Ⅱ 依 頼 業 務

1. 依頼試験数および手数料
2. 設備使用件数および使用料

1. 依頼試験数および手数料

手数料 3,303,080円

(1) 材料試験	411 試料 (878 試験)	
(内 訳)	抗 折	84 試験
	引 張	282 "
	耐力・降伏点	59 "
	伸 び	182 "
	硬さ(H B)	217 "
	硬さ(その他)	4 "
	そ の 他	50 "
(2) 分析試験	196 試料 (811 成分)	
(内 訳)	ねずみ 鑄鉄	23 試料
	球状黒鉛鑄鉄	10 "
	青 銅 鑄 物	106 "
	そ の 他	57 "
(3) その他の試験	131 試料 (230 試験)	
(内 訳)	組 織	212 試験
	そ の 他	18 "
(4) 成績書複本	156 通	
(内 訳)	和 文	132 通
	英 文	24 "

2. 設備使用件数および使用料

使用料 589,150円

(内 訳)	25 t オートグラフ	98 回
	100 t 万能試験機	82 "
	ブリネル硬さ試験機	81 "
	高周波プラズマ分析装置	99 "
	C S 同時定量装置	19 "
	電子天秤	53 "
	その他	10 "

Ⅲ 指 導 業 務

1. 技術アドバイザー指導事業
2. 一般巡回技術指導
3. 簡易巡回技術指導
4. 技術相談
5. 調 査
6. 技術普及講習会
7. 新技術技術者研修
8. 出版刊行物
9. 生産技術研究会

1. 技術アドバイザー指導事業

実施企業	指導内容	担当アドバイザー
㈱昭和バルブ製作所	バルブ部品の応力解析について	神 沢 一 吉
エスビーバルブ工業㈱	Vオリフィスバルブの改良について	中 石 実
㈱昭和バルブ製作所	逆止弁の開閉速度について	神 沢 一 吉
㈱清水鉄工所	実流テストにおけるキャビテーション現象の検知方法について	柳井田 勝 哉
エスビーバルブ工業㈱	真空弁、調節弁の製品製作について	丸 尾 和 好
高 橋 金 属 ㈱	プレス機導入における騒音対策について	神 沢 一 吉
協 和 工 業 ㈱	FC、FCD素材の肉厚測定の自動化について	武 田 和 忠
㈱長浜コルク工業所	キャップシールへの植毛及び植毛後の印刷について	中 川 悟 孝
エスビーバルブ工業㈱	出展用温度調節弁の開発について	中 川 悟 孝
高 橋 金 属 ㈱	新工場生産増に伴う騒音対策について	神 沢 一 吉
澤 村 バ ル ブ 工 業 ㈱	スイング逆止弁への逆流の力の計算について	神 沢 一 吉
エスビーバルブ工業㈱	バルブの強度計算について	神 沢 一 吉
エスビーバルブ工業㈱	工場内の在庫管理体制について	森 岡 忠 美

合計 13企業 (65日)

2. 一般巡回技術指導

銅合金鋳物の鋳造技術の改善による品質および生産性の向上について

期 間 平成2年2月5日～8日、14日

指 導 員 奥田金属株式会社 顧問 磯 田 義 三

機械金属工業指導所

指導係長 松 川 進 主任技師 宮 川 栄 一

主 査 樋 口 英 司 主任技師 酒 井 一 昭

主 査 佐 藤 眞知夫

指導企業 ㈱金寿堂

松林合金㈱

㈱馬場合金鋳造所

みさか工業㈱

㈱相川バルブ製作所

3. 簡易巡回技術指導

金属材料の切削・加工・研磨および精度向上に関する技術とチップ、工具、冷却剤の選定等について

期 間 平成元年7月17日～27日

指 導 員 滋賀県技術アドバイザー 安倍 駿一郎

機械金属工業指導所職員

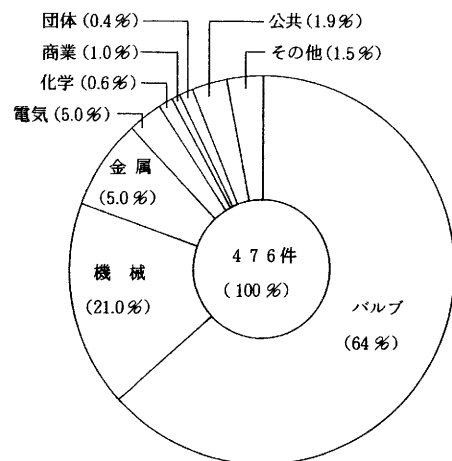
指導企業 15社（宮部鉄工(株)ほか14社）

4. 技術相談・指導

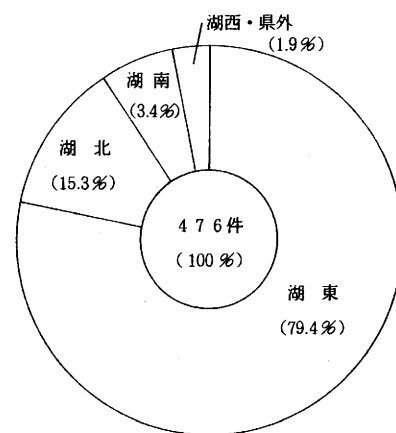
(1) 専門分野別件数

項 目	件 数	比 率	項 目	件 数	比 率
金 属 材 料	32	6.7	分 析 技 術	17	3.6
熱 処 理 技 術	16	3.4	防 食 技 術	43	9.0
機 械 加 工	30	6.3	制 度 金 融	49	10.3
試 験 法	88	18.6	実 施 指 導	5	1.1
鑄 造 技 術	59	12.4	そ の 他	67	10.0
金 属 組 織	79	14.7	計	476	100.0

(2) 業種別



(3) 地域別



5. 調 査

(1) 彦根バルブ動向調査 22企業（4回／年）

(2) 制度融資等にかかる事前調査

- 中小企業設備近代化資金貸付診断調査 4 企業
- 中小企業設備貸付調査 7 企業
- 技術改善費補助金・技術開発資金等に係る調査 2 企業

6. 技術普及講習会

年月日	内 容	講 師	場 所	受講人員
元. 6. 6	「小ロットにおける短納期・低コスト化への対応」	東京都立工業技術センター 機械加工部主任研究員 横山 哲男	指導所 研修室	45 名
元. 9. 7	金属材料における各種の疲労事例について	龍谷大学理工学部 教授 中村 宏	〃	52 名
元. 10. 25	昭和63年度 当所の研究発表会（4題）	機械金属工業指導所職員	〃	25 名
元. 12. 6	ねじの正しい使い方 —トルク法に基づくねじの 適正締付け方法—	東京都立工業技術センター 機械加工部主任研究員 佐々木武三	〃	51 名
2. 2. 2	平成の時代は王道の経営に徹すべし	㈱マンテン 取締役会長 横田 辰三	〃	43 名
2. 3. 13	接着剤の効果的な使い方	セメダイン㈱ 接着相談センター センター長 永田 宏二	〃	33 名

7. 新技術技術者研修

(1) コース名 F F Tアナライザによる信号波形解析技術コース

(2) 研修期間および時間数 平成元年11月14日（火）、15日（水） 9時間

(3) 場 所 滋賀県立機械金属工業指導所

(4) 受講者および修了者 受講者 16名

修了者 14名

(5) 講 師 ㈱小野測器 商品企画部

今井 幸男 他1名

(6) 科目と時間配分

月日	時間数	時 間	科 目	講 師	内 容
11・14 (火)	2	10:00 ↓ 12:00	F F Tアナライザの基礎知識	㈱小野測器 商品企画部 販売促進課 今井 幸男 小澤 一 速	F F Tアナライザの原理・特長・機能 (講義)
		13:00 ↓ 16:00	F F Tアナライザの基本的使用方法		振動・騒音の測定方法 (実習)
	3		回転機械の診断技術		回転機の異常診断 (実習)

月 日	時間数	時 間	科 目	講 師	内 容
11・15 (水)	2	10:00 ↓ 12:00	トラッキング分 析について	㈱小野測器 商品企画部 販売促進課 今 井 幸 男 小 澤 一 速	回転機のトラッキング分析 (講義・実習)
	1	13:00 ↓ 14:00	音響インテンシ ティ解析につい て		音響インテンシティの解析方法 (講義・実習)
	1	14:00 ↓ 15:00	モーダル解析に ついて		モーダル解析の手法(講義・実 演)、質疑応答

8. 出版刊行物

昭和63年度業務報告書

機工指だより No.37、No.38

9. 生産技術研究会

(1) 平成元年度役員

会 長 澤 田 満 (新和工業)
幹 事 北 川 一 男 (相川バルブ製作所)
加 藤 光 雄 (安治川鉄工建設)
清 水 重 一 (協和工業)
松 井 繁 徳 (大日本スクリーン製造)
山 口 昌 求 (中嶋バルブエ業)
樋 口 英 司 (機械金属工業指導所)
会計監事 島 村 満 生 (大洋産業)
山 崎 春 美 (昭和バルブ製作所)
事 務 局 松 川 進 (機械金属工業指導所)

(2) 事業概要

ア 技術講習会 6回
イ 工場見学 2回
ウ 幹事会(総会を含む) 5回
エ 会報発行 2回
オ アンケート調査 1回

IV 研 究 業 務

1. バルブ製品の性能に関する研究
(既存バルブの性能試験-その2)
2. 既存バタフライ弁の流量特性に関する研究
3. 溶射処理材料のかじり摩耗特性の評価研究

バルブ製品の性能に関する研究 (既存バルブの性能試験—その2—)

村 口 明 義

1. はじめに

昭和63年度から既存バルブの性能値を把握するために各種バルブの性能試験を実施し、同年度においては仕切弁、玉形弁、逆止め弁の性能試験の結果を報告した。

今年度は、水道用補修弁（バタフライ式、ボール式）、地下式単口消火栓、セミニードル弁の性能試験を実施したのでその結果を報告する。

2. 試験設備および試験方法

2・1 試験設備

昭和63年度に試験した設備と同じである。

2・2 試験方法

2・2・1 容量係数試験

昭和63年度に行った試験方法と同じで J I S B 2005「バルブの容量係数試験方法」に準じて実験した。ただし、地下式単口消火栓の容量係数の算出にあたっては弁下流圧力の測定ができないので 0 kPa として計算した。

2・2・2 損失係数試験

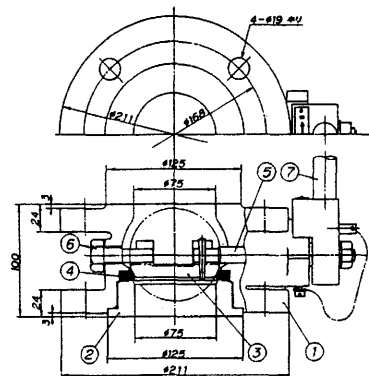
昭和63年度に行った試験方法と同じ方法で行った。ただし、地下式単口消火栓の損失係数の算出にあたっては、容量係数の場合と同じく弁下流圧力は 0 kPa として計算した。

3. 供試弁および弁開度

3・1 水道用補修弁

3・1・1 バタフライ式

試験に供した弁の口径は 75mm で、その構造および主要寸法を図 1 に示す。弁の開度は全閉を 0°、全開を 90° とした。

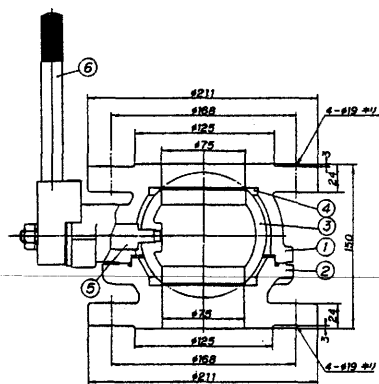


No.	名称
1	弁箱
2	フランジ座
3	弁体
4	弁座
5	弁棒
6	リングケース
7	レバーハンドル

図1 バタフライ式水道用補修弁の構造と主要寸法

3・1・2 ボール式

試験に供した弁の口径は75mmで、その構造および主要寸法を図2に示す。弁の開度は全閉を0°、全開を90°とした。



No.	名称
1	弁箱(上)
2	弁箱(下)
3	球
4	弁座
5	弁棒
6	レバーハンドル

図2 ボール式水道用補修弁の構造と主要寸法

3・2 地下式単口消火栓

試験に供した弁の口径は75mmで、その構造および主要寸法を図3に示す。弁の開度は全閉から全開までの回転数(A)に対する試験時の回転数(a)の比(a/A)を百分率で表わした。

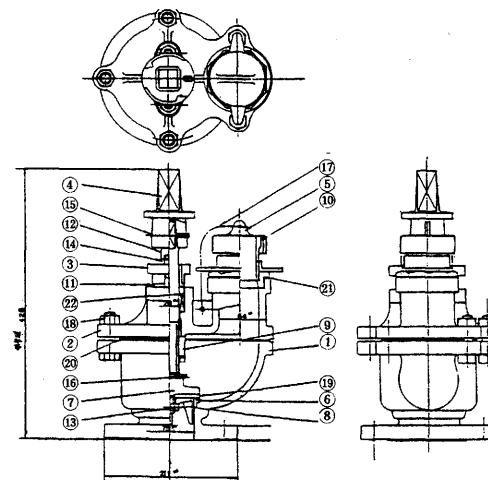


図3 地下式単口消火栓の構造と主要寸法

3・3 セミニードル弁

試験に供した弁の口径は100mmで、その構造および主要寸法を図4に示す。弁の開度は全閉から全開までの距離(リフトD)に対する弁の開き(ℓ)の比(ℓ/D)を百分率で表わした。

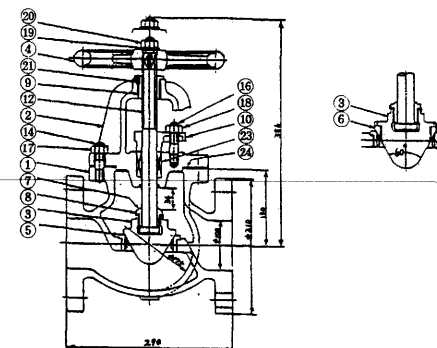


図4 セミニードル弁の構造および主要寸法

No.	名称
22	パッキン
21	ガスケット
20	ガスケット
19	弁
18	六角ボルト・ナット
17	鎖
16	ピン
15	ピン
14	植込ボルト・ナット
13	六角ナット
12	弁棒
11	ブッシュ
10	口金
9	めねじこま
8	弁押え
7	弁体
6	弁箱弁座
5	ふた
4	キャップ
3	パッキン押え
2	パッキン箱
1	弁箱

No.	名称
24	ガスケット
23	パッキン
21	止めねじ
20	六角ナット
19	座金
18	六角ナット
17	六角ナット
16	植込ボルト
14	植込ボルト
12	弁棒
10	パッキン押え
9	ねじ止め輪
8	回り止め
7	弁押え
6	弁体付弁座
5	弁箱付弁座
4	ハンドル車
3	弁体
3	弁体
2	ふた
1	弁箱

4. 試験結果と考察

4・1 バタフライ式水道用補修弁

4・1・1 容量係数(Cv)

図1に示すように弁体が偏心しているため、弁軸が上流側(軸上流という)と、下流側(軸下流という)の両方について試験を行った。その結果を図5に示す。いずれの開度においてもCv値は

軸上流の場合が大きく、開度 60° 以上では両者の C_v 値の差は20以上で、全開時における C_v 値は軸上流で304、軸下流で280であった。この理由は、ノズル側とオリフィス側の開口面積の違いからくるものである。すなわち、図6から弁体が同軸の場合のようにノズル側とオリフィス側の開口面積が同じである時は流体の通過流量はノズル側が多くなることから、軸上流の場合はノズル側の開口面積がオリフィス側の開口面積より大きくなるので C_v 値も軸下流にくらべ大きくなるのである。

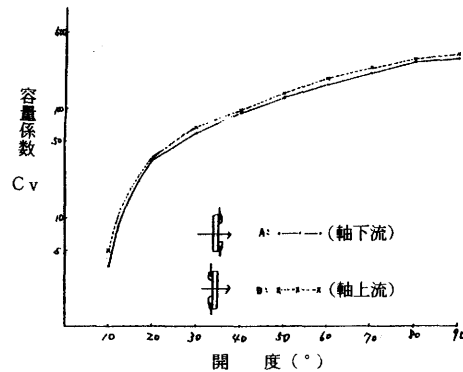


図5 水道用補修弁（バタフライ式）の容量係数（口径75mm）

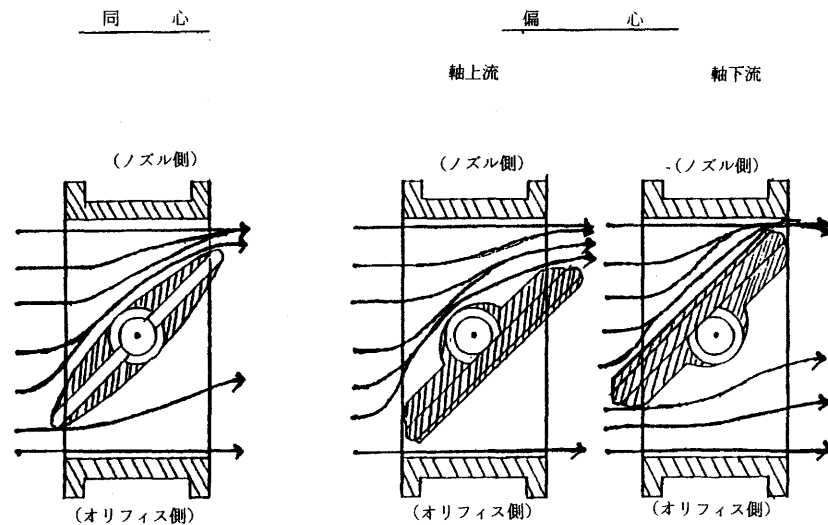


図6 バタフライ弁の弁体形状と流体の流れ（開度 45° ）

次に、流量特性を図7に示す。リニアに近いコールドパーセント特性となっており、開度10%～80%の間は流量制御性は良いといえる。

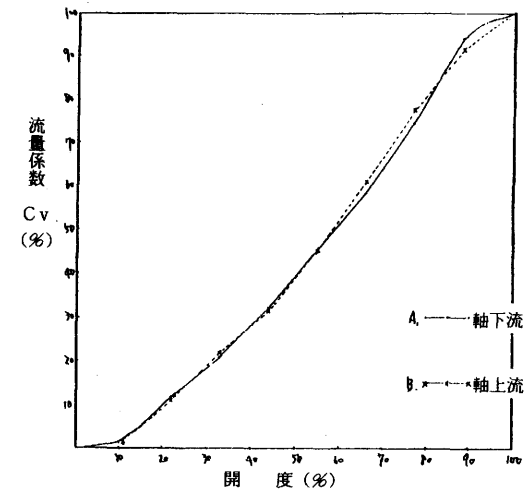


図7 水道用補修弁（バタフライ式）の流量特性

4・1・2 損失係数 (ζ)

容量係数の時と同じく軸上流、軸下流の両方について試験を行った。その結果を図8に示す。 ζ もいずれの開度ともに軸上流の場合が小さい傾向にあり、全開時の ζ 値は軸上流が0.7、軸下流が0.9であった。

次に、圧力損失特性を図9に示す。例えば、圧力損失 1.0 kg/cm^2 の場合、軸上流では開度 10° の時、流量は $4.2 \text{ m}^3/\text{h}$ であるが、開度 90° の時は $250 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。一方、 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ の流量を流したい時の圧力損失は開度 60° で 0.1 kg/cm^2 であるが開度 30° では 0.8 kg/cm^2 となり、流量と圧力損失の関係が推定できる。

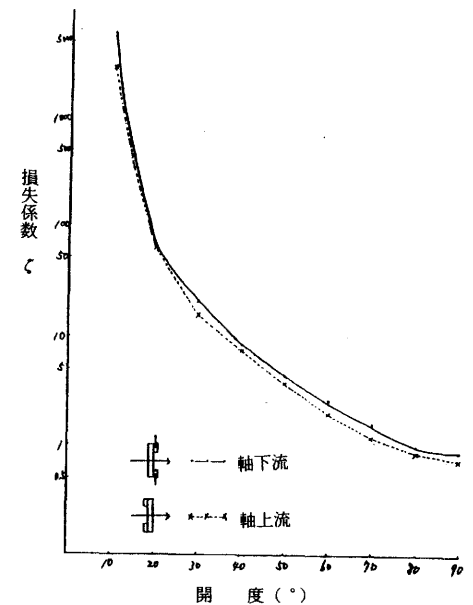


図8 水道用補修弁（バタフライ式）の損失係数

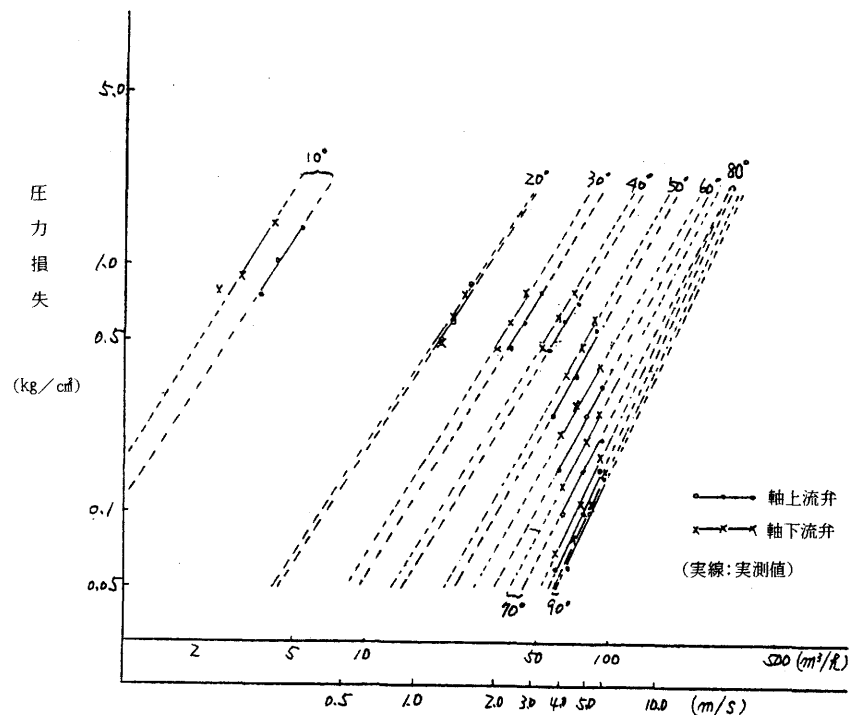


図9 水道用補修弁（バタフライ式）の圧力損失特性（口径75mm）

4・2 ボール式水道用補修弁

4・2・1 容量係数（Cv）

弁開度0°～90°の開度毎の容量係数を図10に示す。全開時のCv値は555であった。全開時には弁内部に弁体が残らないので、同じく弁体の残らないソフトシール弁（昨年度実施）の値と比較すると、ソフトシール弁の値（口径50mmのものを75mmに換算した値：Cv = 570）よりやや小さい値となった。

次に、流量特性を図11に示す。イコールパーセント特性となり開度70°までは流量の増加比率は小さく、流量調節用として適してい

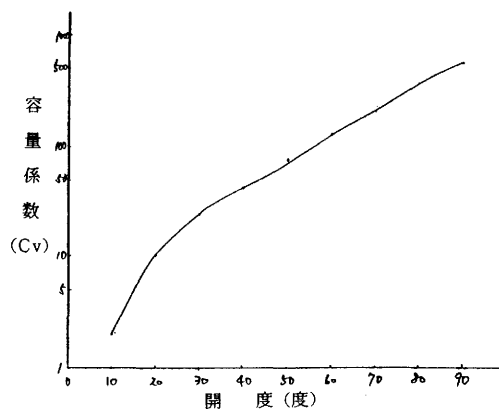


図10 水道用補修弁（ボール式）の容量係数（口径75mm）

ることがわかる。

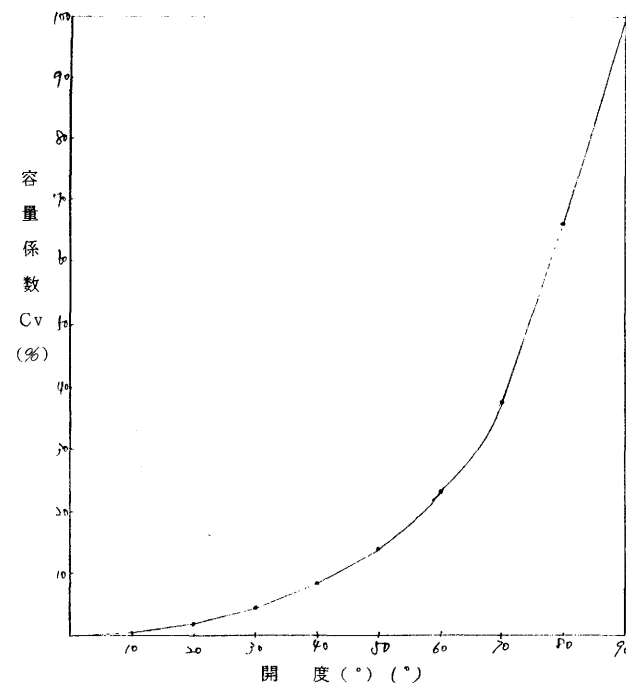


図11 水道用補修弁（ボール式）の流量特性（口径75mm）

4・2・2 損失係数（ζ）

弁開度0°～90°の開度毎の損失係数を図12に示す。全開時のζ値は0.2となり、仕切弁のζ値（昨年度実施：ζ = 0.2～0.3）に比べはほぼ同じ値となった。

次に圧力損失特性を図13に示す。例えば、圧力損失1.0 kg/cm²の場合、弁開度10°では、流量は1.7 m³/hであるが、弁開度が90°になると510 m³/hとなる。一方、流量100 m³/hの時、弁開度90°では、圧力損失は0.05 kg/cm²とわずかであるが、弁開度が50°になると2.5 kg/cm²の圧力損失が生

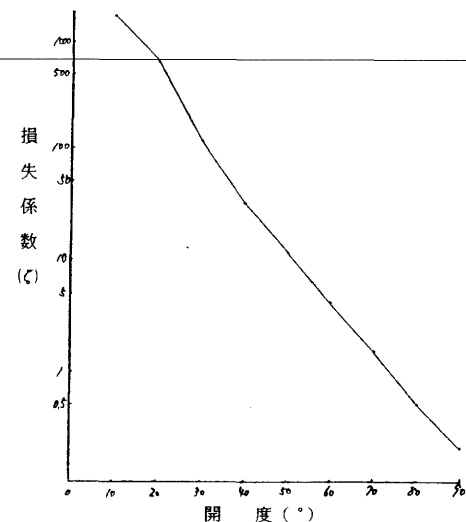


図12 水道用補修弁（ボール式）の損失係数（口径75mm）

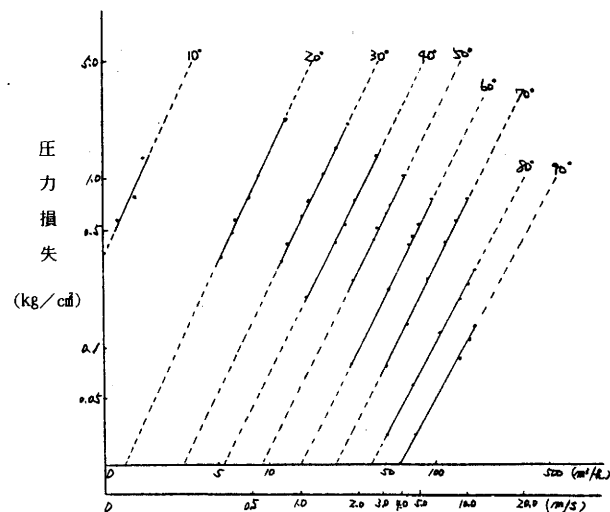


図13 水道用補修弁（ボール式）の圧力損失特性（口径75mm）

じることがわかる。

また、バタフライ式と比べると全開時の場合、圧力損失 0.5 kg/cm^2 の時の流量はボール式約 $380 \text{ m}^3/\text{h}$ 、バタフライ式約 $180 \text{ m}^3/\text{h}$ となりボール式の方が約2倍多く流れる。しかし、開度50°の場合の流量は、ボール式約 $45 \text{ m}^3/\text{h}$ 、バタフライ式約 $85 \text{ m}^3/\text{h}$ となりバタフライ式の方が逆に約2倍多く流れることになる。

ボール式とバタフライ式の容量係数、損失係数について検討すると図14、図15に示すように容量係数、損失係数ともに弁開度約75°で交差している。すなわち、開度75°より低開度ではバタフライ式の方が容量係数は大きく、損失係数は小さくなっている。これは開口面積の影響と思

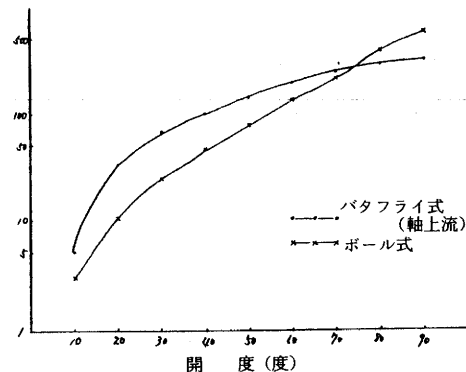


図14 水道用補修弁の容量係数
(ボール式とバタフライ式の比較)

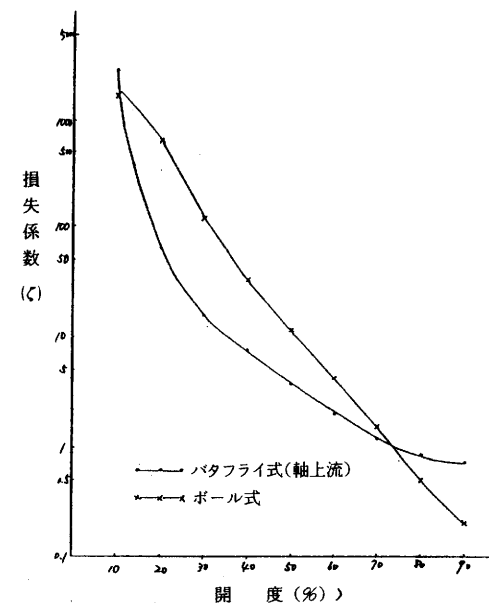


図15 水道用補修弁の流量特性（ボール式とバタフライ式の比較）

われる。全開において、ボール式は弁内部に弁体が残らないので C_v 値は大きく、 ζ 値は小さくなるのは当然である。また、流量特性図（図16）ではボール式、バタフライ式ともにリニアあるいはイコールパーセント特性となっており、流量制御用としては適しているが、ボール式の方がイコールパーセント特性になっており流量調節用としては優れているといえる。このようなことから、バルブを選定する場合は、その用途はもちろんのことバルブの各種性能特性をよく検討し、把握したうえで決定することが重要なことがわかる。

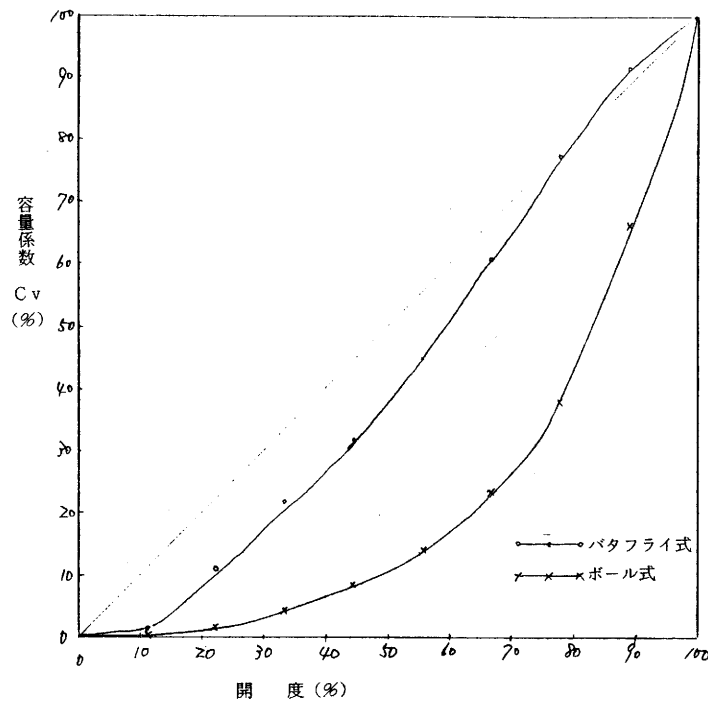


図16 水道用補修弁の流量特性（ボール式とバタフライ式の比較）

4・3 地下単口消火栓

消火栓は、その用途から通常は下流側にはホースが接続される。そこで、下流側にホースを接続した場合と接続しない場合について、上流量圧力と流量の関係を調べた。その結果を図17に示す。全開時の流量は、上流側圧力 3.0 kg/cm^2 の場合、下流側開放時約 $2.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 、下流側ホース接続時約 $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 、となり開放時の方が約 1.8 倍多く流れることがわかる。

容量係数試験は下流側圧力の測定ができないので不可能であるが、開放時には下流側圧力は 0 kPa と考えられるので、下流圧力 0 kPa として計算した。（なお、ホース接続の場合も比較検討のため便宜的に 0 kPa として計算した。）その結果を図18に示す。全開時の C_v 値は下流側開放の場合 103、ホース接続の場合 60 であった。

一方、損失係数の結果を図19に示す。全開時の ζ 値は下流側開放の場合 6.4、ホース接続の場合 19 であった。

次に、流量特性を図20に示す。消火栓の場合、通常全開で使用されるのであるが、その用途から開度が低開度でも一気に流れる方がよい消火栓と考えられる。下流側にホースを接続した場合、開度 27%（1 回転開けた時）では全開時の約 61% の流量が、開度 53%（2 回転開けた時）では約 90% の流量が流れることになる。消火栓の構造は玉形弁に似ているが、弁体の形状、弁出口等で圧力損

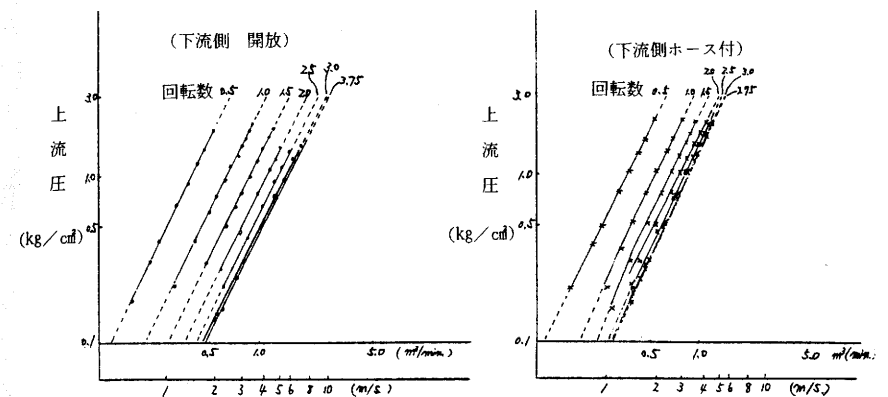


図17 地下式単口消火栓の上流圧と流量の関係

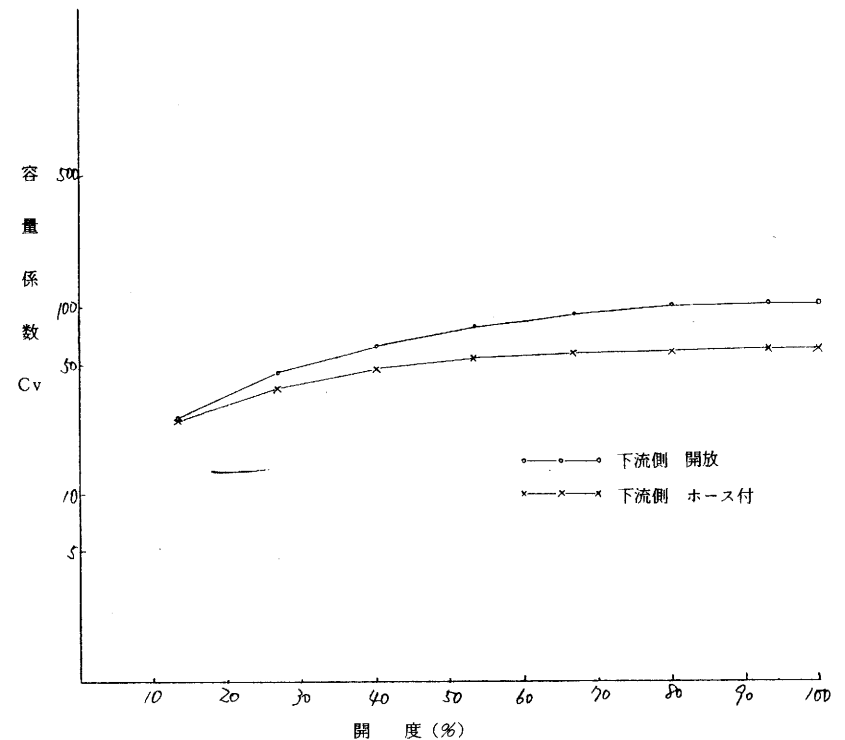


図18 地下式単口消火栓の容量係数

失の小さくなるよう工夫することが賢明と思われる。

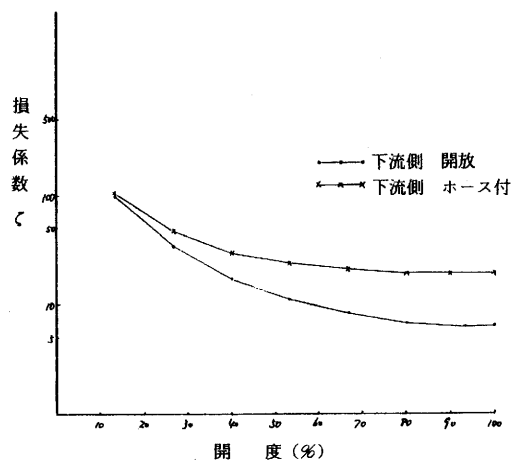


図19 地下式単口消火栓の損失係数

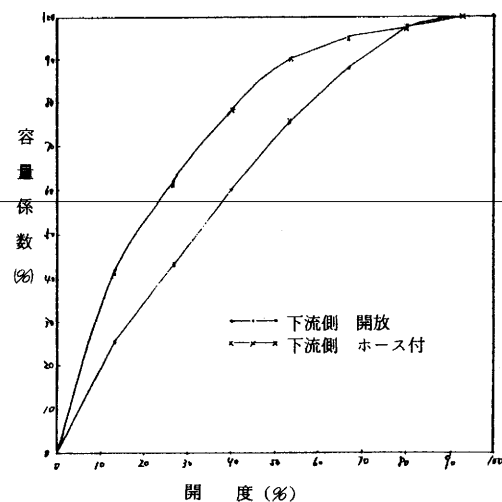


図20 地下式単口消火栓の流量特性

4・4 セミニードル弁

前年度は玉形弁の性能試験を実施したが、流量特性はオンオフ特性で、流量調節用としては適さないことが判明した。そこで今年度は、全開時の C_v 値をあまり変えずに流量調節用として使用できる弁体の形状を検討する目的で、弁体形状の角度 60° （図4参照）のセミニードル弁の性能試験を実施した。

4・4・1 容量係数 (C_v)

各開度毎の容量係数と開口面積の関係を図21に示す。その結果、全開時の C_v 値は165で、JIS B 2031の玉形弁（隔壁角度はセミニードル弁と同じ 60° ）の177より少し低い値となった。これは開口面積によるものであるが、全開時の両者の面積の差よりも C_v 値の差は小さくなっており、弁体形状（角度 60° とフラット。図22参照）の違いによる影響のためと思われる。次に流量特性を図23に示す。玉形弁よりは多少改良されているがオンオフ特性に変わりはなく、流量調節用としてはまだ不十分である。開口面積比ではセミニードル弁はほぼニア特性となっているが、損失係数が図24に示すように中間開度で小さくなっているためと思われる。流量特性が流量調節用に必要ニア特性あるいはイコールパーセント特性にするには、開口面積比の特性をイコールパーセント特性、すなわち、中間開度の開口面積を小さくしなければならないことがわかった。

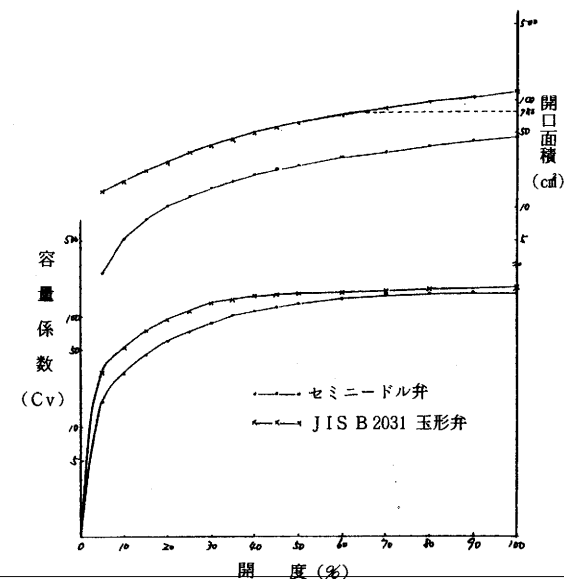


図21 セミニードル弁の容量係数と開口面積

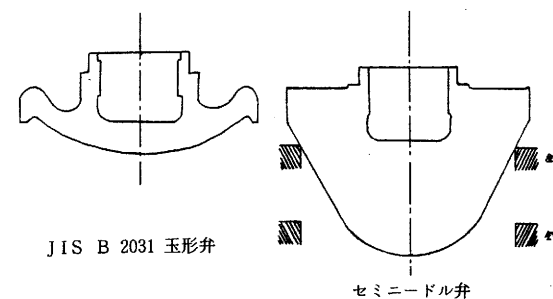


図22 弁体の形状

現在、これに沿った弁体を試作中で、平成2年度に

性能試験を行う予定である。

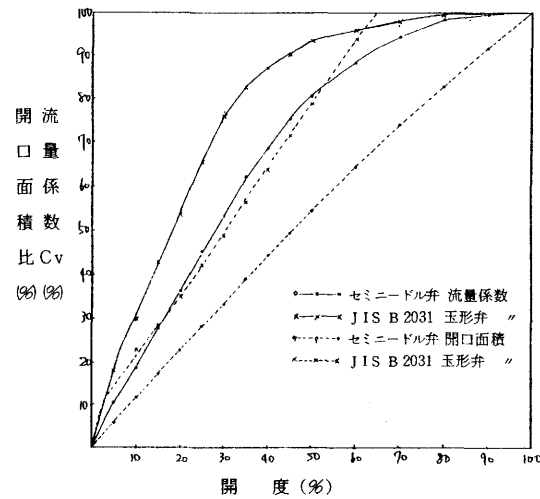


図23 セミニードル弁の流量特性

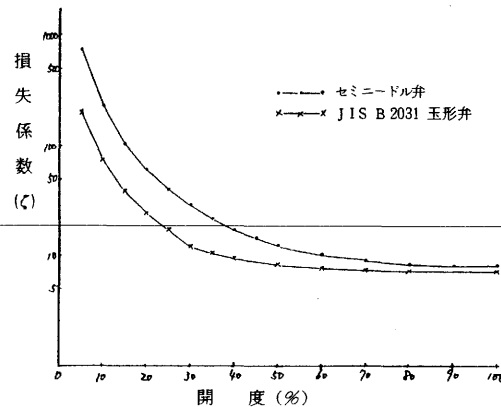


図24 セミニードル弁の損失係数

4・4・2 損失係数

各開度毎の損失係数は図24に示したとおりである。全開時の ζ 値はセミニードル弁7.9、JIS B 2031 玉形弁7.0でセミニードル弁の方が若干高い値となっている。一方、圧力損失特性を図25に示す。全開時において、圧力損失が 1.0 kg/cm^2 の場合の流量は $2.4 \text{ m}^3/\text{min}$ となり、JIS B 2031 玉形弁の $2.7 \text{ m}^3/\text{min}$ に比べやや少ない流量となっている。

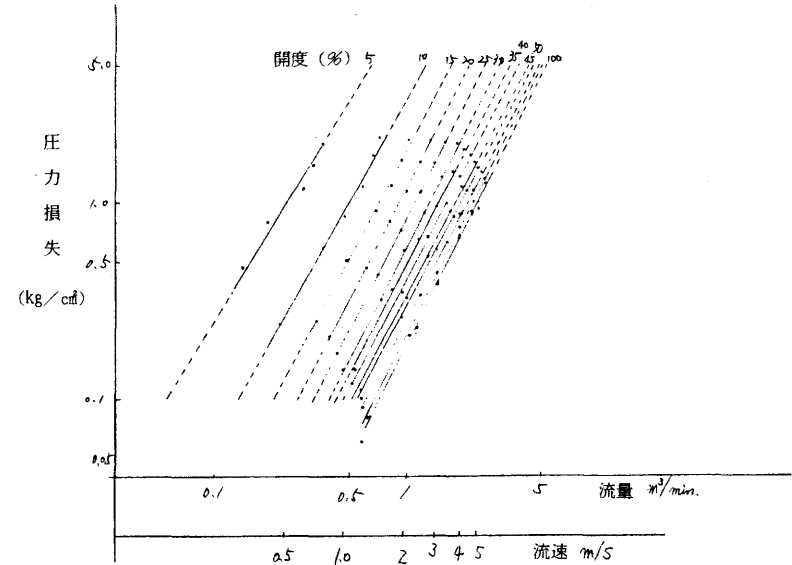


図25 セミニードル弁の圧力損失特性

5. まとめ

水道用補修弁（バタフライ式、ボール式）、地下式単口消火栓、セミニードル弁の性能試験の結果をまとめると

1. バタフライ式水道用補修弁は、弁体が偏心のため軸上流と軸下流の両方の試験を行ったところ軸上流の方が各開度とも容量係数は大きかった。（損失係数は小さかった。）これは、軸上流の場合、ノズル側の開口面積がオリフィス側に比べ大きいためである。
2. ボール式水道用補修弁の流量特性はイコールパーセント特性となり流量調節用として適している。
3. バタフライ式水道用補修弁（軸上流）とボール式水道用補修弁を比較した場合、容量係数、損失係数ともに開度約75°で交差した。即ち、弁開度が75°以下ではバタフライ式が、75°以上ではボール式が容量係数は高い値になることがわかった。このように、バルブを選定する場合はその用途はもちろんであるが各開度ごとの特性等も把握したうえで決める必要がある。
4. 地下式単口消火栓はその用途から全開で使用されるが、中間の開度でも流量が多い程良いといえる。開度27%（1回転開けた時）で全開時の流量の約61%が、開度53%（2回転開けた時）では約90%の流量が流れることがわかった。
5. 玉形弁は昨年の試験結果からオンオフ特性で流量調節用としては適しないことがわかった。そこで、全開時のCv値を変えることなく弁体を改良しリニア特性あるいはイコールパーセント特性とし流量調節用として使用する目的で弁体角度60°のセミニードル弁の性能試験を行った。その

結果、依然としてオンオフ特性で、流量調節用としては適していないことがわかった。中間開度における開口面積を小さくすればニア特性になると思われるので弁体の形状を変更し、平成2年度に性能試験を実施する予定である。

最後にあたり、バルブを提供して頂いた彦根バルブメーカーに対し謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) J I S B 2005—1987 バルブの容量係数試験方法
- (2) J I S B 2031—1986 ねずみ鋳鉄弁
- (3) J W W A B 103 水道用地下式消火栓
- (4) 水道協会編 水道用バルブハンドブック
- (5) 村口明義 バルブ製品の性能に関する研究 滋賀県立機械金属工業指導所業務報告（昭和63年度）
- (6) 平田次二 流量特性から見たバルブの機能 配管技術 '86 6 P95

既存バタフライ弁の流量特性に関する研究

樋口 英司

宮川 栄一

1. はじめに

バタフライ弁は、他の仕切弁・玉形弁に比べて面間寸法が小さく、0～90度の1/4回転でバルブをON-OFFできるなど構造上の特徴のほかに、軽量かつコンパクトで価格が安く、しかも、操作が簡単で取り扱い易いなどの特徴を持つため、水道用、陸用、船用の各分野共に、その本来のON-OFF弁としての使い方のほかに、流体の調節制御用として市場のニーズが高まる傾向にある。さらに、バタフライ弁は規格化されたものが少なく、バルブメーカー各社の設計の自由度が高いため、新製品開発に対する余地が大きい。

当所では、昭和63年度からバタフライ弁について性能試験を実施しているところであるが、使用目的が流量調節用の場合、当然中間開度での使用が多くなることになり、このため特に、比較的高流速で用いた場合の、弁体から弁体下流側に騒音・振動を伴って起こるキャビテーション現象の発生が開発上の問題点となっている。

このため本研究では、流量特性的に既存バタフライ弁の高性能化を図ると共に、低キャビテーション化を実現するため、主として弁体形状の改良による新製品の開発を目指したもので、キャビテーション発生の因果関係を知る上での基礎データとなる弁体形状ごとの性能試験を実施し、その違いを把握するのが目的である。

なお、今年度バルブ性能試験装置の改造の実施に伴って、実験期間がかなり制約されたため、研究に必要な実験の一部のみを実施し、若干の検討を加えたので以下に報告する。

2. 試験装置

試験に使用した設備の概要は、昭和62年度業務報告書（昭和63年度発行）に記載したとおりである。なお、設備の主要部は、JIS B 2005「バルブの容量係数の試験方法¹⁾」に準拠して製作している。

3. 実験方法

3-1 供試弁

本研究では、弁体形状の違いによる性能の比較が目的であるため、現在製造されているバタフライ弁の中で、図1に示すように代表的な7種類の弁体タイプ、すなわち、(1)中心が軸と一致する弁体（同心型）、(2)同心型で中心部に軸が貫通した弁体（貫通型）、(3)同心型で上流側と下流側の形状が非対称の弁体（非対称型）、(4)中心が軸と一致しない弁体（偏心型）、(5)軸に対して傾いた弁体（傾斜型）、(6)表面が曲面でできている弁体（変形型）、(7)表面に櫛歯状の突起物がある弁体（整流型）のバタフライ弁について検討することとした。

これに従い、本研究で性能試験に供したバタフライ弁は表1に示すとおりである。（平成2年度に実験予定中のバタフライ弁を含む。ただし、弁体傾斜型については予算上の都合で除外した）

いずれも入手し易い陸用のバタフライ弁で実施しており、口径100mmを主体に弁体の種類の異な

るバタフライ弁（6種類）を用いた。また、口径による差異をみるため、同心型バタフライ弁について、口径50mm、80mm、100mm、125mm、150mm、200mm（貫通型）のバタフライ弁（6種類）を使用した。

表1 供試用バタフライ弁

種類（用途）	種用	種用	種用	種用	種用	種用	種用	種用	種用	種用	種用
口径（mm）	50	80	100	100	100	100	100	125	150	150	200
弁体の構造	同心型	同心型	同心型	同心型	同心型	同心型	偏心型	同心型	同心型	偏心型	同心型
材質	本体	FC25	FC25	FC25	FC25	FRP	FC25	SCS 13	FC25	FC25	SF50A
	弁体	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	FRP	SCS 13	SCS 13	SUS304	SUS304	FC45
	シートリング	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR
面周寸法（mm）	43	46	50	50	50	52	52	54	59	52	64
※1 重量（Kg）	2.50	3.90	5.35	5.10	2.80	4.65	5.80	8.15	10.55	22.50	15.40
※2 性能試験	キャピテーション係数試験	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×
	容量係数試験	△	△	△	△	○	△	×	×	△	×
	損失係数試験	△	△	△	△	○	△	×	×	△	×

- ※1 図面部分を除いた弁本体のみの重量を示す。
 ※2 ○印は、試験を実施したものを示す。
 △印は、初生キャピテーション係数試験時の測定値から計算で求めたものを示す。
 ×印は、試験未実施のものを示す。

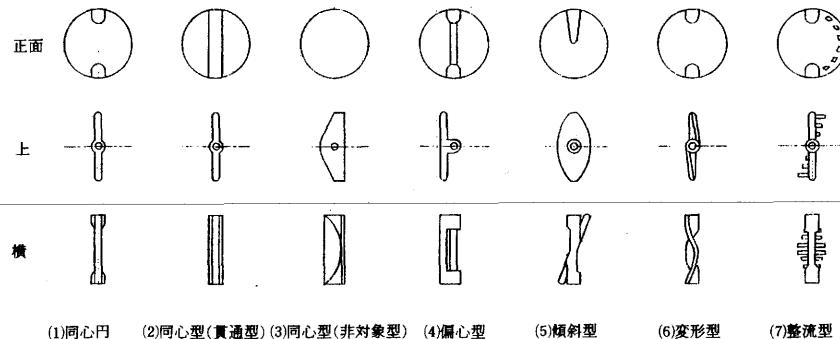


図1 供試弁の基本構造

3-2 初生キャピテーション係数試験

この試験では、キャピテーション現象の発生のし易さの比較に重点を置いて実験を行った。しかし、現段階でキャピテーションを定量的に捉える方法が確立されておらず、その評価に苦労した。これについては、平成元年度に騒音・振動解析装置を購入し、キャピテーション発生時の弁体付近の騒音と振動を測定し、FFTアナライザーにより周波数分析を行い、キャピテーション特有の固有周波数を検知して評価できないか検討中で、今回の実験にはこの手法を導入できていない。

従ってこの実験では、キャピテーションの評価方法としてはかなり定性的な方法に頼らざるを得ず、複数の人間の聴覚によるキャピテーション発生の確認により評価した。具体的には、5～10秒

間にキャピテーション気泡が壊れる時に発生する「ピチピチ」という音が1回確認された時点を初生（初めてキャピテーションが発生した時を言う）とした。

次に、キャピテーションを数的に表わす尺度として、一般的に用いられているキャピテーション係数（ σ ）を次式により算出して求めた。実際は、キャピテーション発生に影響を及ぼす要素は、計算式のファクター以外にも流体の物理的性質（温度、密度、蒸気圧、表面張力、粘性、圧縮性）、化学的活性、流体に溶存または浮遊している物質など様々考えられるが、これら全てを計算式に取り込むことは不可能であり、基本的な条件のみを考慮した。

$$\sigma = \frac{H_a + (H_a - H_v)}{(H_1 - H_2) + (V^2 / 2g)}$$

σ : キャピテーション係数
 H_a : 760mmHg, 20℃の大気圧 (10.332mH₂O)
 H_v : その温度における飽和蒸気圧 (mH₂O)
 H_1 : 弁上流圧力 (mH₂O)
 H_2 : 弁下流圧力 (mH₂O)
 V : 流速 (m/sec)
 g : 重力加速度 (9.80665m/sec²)

3-3 C_v値試験（JISでいう容量係数試験¹⁾）

JIS B 2005「バルブの容量係数の試験方法」では、「レイノルズ数を4×10⁴～1×10⁵、差圧の値は74kPaとして2回20～25%のステップで順次に差圧を減じてそれぞれにおける流量を測定することとなっているが、限られた実験期間の中で、全てのバタフライ弁についてこの条件を満たした測定をすることが不可能であったため、便宜上、口径100mmの非対称型を除いて、C_v値は初生キャピテーション係数試験で、初生時の測定値から次の計算式により求めたものを使用した。（平成2年度に、一部のバタフライ弁についてJISに基づく試験を実施予定）

$$C_v = 1.167Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}}$$

C_v : C_v値（容量係数）
 (USgal/min) / (lbf/in²)^{1/2}
 Q : 流量 (m³/hr)
 ΔP : 弁上流と弁下流の差圧 (kgf/cm²)
 G : 流体の比重 (1)

3-4 損失係数試験

C_v値試験と同じ理由により、口径100mmの非対称型を除いて、損失係数（ ζ ）は初生キャピテーション係数試験で、初生時の測定値から次の計算式により求めたものを使用した。

$$\zeta = \frac{2g \cdot \Delta H}{V^2}$$

ζ : 損失係数
 g : 重力加速度 (9.80665m/sec²)
 ΔH : 弁上流と弁下流の差圧 (mH₂O)
 V : 流速 (m/sec)

4. 結果および考察

4-1 キャビテーションの発生機構

工学では一般に、常温での沸騰現象と区別して、主に流体の運動によって起こる圧力低下が原因で、圧力がその時の蒸気圧以下に低下した時に起こる沸騰現象をキャビテーション (Cavitation) と呼んでいる。

この圧力の低下は、流体の流動あるいはその時生じた渦によって発生し、高速で流体が物体を通過した際、流体の剪断応力が一定以上になると、その境界面に真空の空隙を生じ、そこに流体が蒸発する、いわゆるキャビテーションを起こすことになる。従って、この現象は隣接した流体の分子間に働いている分子間引力に打ち勝つだけの張力を作用させて分子を引き放し、この空隙を満たすために流体分子自身が蒸気状態に変わると考えられる。

ところが、この張力を理論的に分子程度の大きさの気泡についての表面張力から求めた水の抗張力は $7400\text{kg}/\text{cm}^2$ であり、また、P. Cormaut²⁾ の論文に従って求めた水蒸気泡を発生させるための張力は $635\text{kg}/\text{cm}^2 (100^\circ\text{C}) \sim 1135\text{kg}/\text{cm}^2 (0^\circ\text{C})$ と、共に極めて大きな力があるという結果が得られる。しかし、現実には低圧状態での発生が通常で、これは流体の激しい運動による張力の低下があることはもちろん、水中にあらかじめ気泡が存在していれば合理的な説明をすることができる。

すなわち厳密に言えば、先にも述べたとおり、流体中に何らかの気体が溶存する場合が多く、蒸気圧以上でも気泡の発生が観測されてキャビテーションの発生を促進するため、本来のキャビテーションとの視覚的な区別は難しく、必要ならば気体の飽和圧を考慮する必要がある。従って、水と空気の場合を考えれば、飽和状態での容積比で水中に約2%の空気が含有されているため、キャビテーション発生初期は、やはり溶存気体の影響を考えなければならない。

このことは、溶存気体の量は液体の圧力に比例するというHenryの法則によっても説明でき、図2に基づき平衡圧を P_E とするならば、

$$(P - P_E) = (P - P_V) - (P_E - P_V)$$

で表わせ、圧力差 $(P - P_E)$ は蒸気圧との差 $(P_E - P_V)$ だけ小さい圧力差でキャビテーションが発生することを示すことから裏付けられる。これは、実験的にも沼知、椎名ら³⁾ によって研究報告されている。

次に、キャビテーションが発生した後、外観上観察できるまでに成長した場合、系の違いにより種々の形態を示す。一般的なキャビテーションに対する分類法として、Knappら⁴⁾ の方法を一部紹介する。

Knappらは物理的な性質により、キャビテーションを次の4種類に分類している。

(1) 移動型キャビテーション

流れと一緒に動きながら、液体の中で発生し、膨張、収縮、壊滅するような、個々の遷移状態にあるようなキャビテーションの形態。

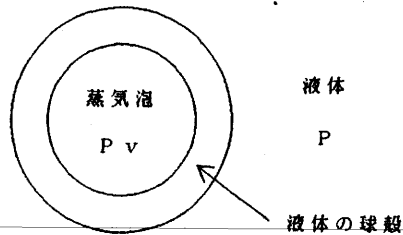


図2 液中の球状気泡の模型

(2) 固着型キャビテーション

発生の後、流体が物体の境界に固着したポケットすなわちキャビティのために、物体から離れるような場合のキャビテーションの形態。

(3) 渦キャビテーション

流れの中の渦の中心は非常に低圧になるから、ここにキャビテーションを生じた場合の形態。

(4) 振動性キャビテーション

上の3種類のキャビテーションは、全て液体が1回だけキャビテーションを起こす場を通過するが、これは、液体内の高振幅、高周波の圧力の連続パルスによるキャビテーションの形態。

最後に、キャビテーションが発生、成長した後、流下して後流のやや高圧の場において、キャビテーション気泡は速い速度で壊滅する。この壊滅現象については、Rayleigh⁵⁾、Föttinger⁶⁾ らによって理論的説明が試みられている。この壊滅現象が物体表面または表面近くで起これば壊食などの損傷を与えることになる。(Cavitation Damage、またはCavitation Erosion)

つまり、極めて短時間に壊滅するため強い衝撃力が発生し、このエネルギーが壁面に直接加わった場合、その部分が損傷を受けることになる。また、壊滅直前に再び成長した場合には、強い衝撃波を発生することが報告⁷⁾ されており、これも壊食にとっては見逃すことができない現象である。

ここで、キャビテーションによる壊食現象を3つの要因に分析してみると次のようになる。

(1) 機械的作用 (主原因)

発生したキャビテーション気泡は、圧力回復によって急激に壊滅する時に振動・騒音を伴った衝撃力を発生する。この状態が長時間続いた時、このエネルギーにより表面が物理的に剥ぎ取られる。

(2) 電気化学的作用

気泡の圧縮壊滅時に局部的に発生する高温と、金属表面の瞬間的な高い応力による高温発生で温度勾配が生じて微小電流が流れる局部電池を生成し、腐食を引き起こす。

(3) 化学的作用

(2) の高温発生により、液体の化学的活性が高まり、 H_2O_2 の生成や液体のイオン化によって化学的腐食が引き起こされる。

ところで現実には、キャビテーションが発生する条件下での使用が求められた場合については、壊食等のキャビテーション破壊に何らかの防御を施す必要がある。以上述べてきたことを考慮して現段階で考えられる方法としては、(1) 根本的な原因を取り除くこと、(2) 抵抗材料を使用すること、(3) 空気の強制吹き込みにより壊食のクッション効果を期待すること、(4) 電極により水素ガスを発生させてクッション効果を期待すること、(5) 腐食抑制剤を添加すること、(6) 上記の方法を併用することなどが上げられるが、最も重要な解決策は明らかに(1)の方法である。

4-2 バタフライ弁のキャビテーション

バタフライ弁は一般的には、全開および全閉の2つの状態で使用されるいわゆるON-OFF弁であるが、始めに述べたとおり、調節制御弁として構造上や操作上に有利な面があり、他の弁に代

わって使われるようになってきた。

しかしながら、バタフライ弁は他の弁と違って全開または中間開度においては、その構造上、弁体自体が配管内に位置するため、流れに対しては障害となって系内に大きな乱れを生じる状態にある。すなわち、流体の流れの条件によってはキャビテーションの発生は避けて通れないものとなっている。

しかも、バタフライ弁は調節効果を高めるため、バルブ上流部と下流部に比較的大きな差圧が得られるように、バルブ部分の口径を人為的に小さくした、いわゆる絞り状態（運転）で使用するのが通常であるため、ますますキャビテーション発生条件がシビアとなり、キャビテーションによる騒音、振動およびバルブ後流配管系での破損や壊食等の悪影響を増進する使用形態をとる結果となっている。

ところで、バタフライ弁のキャビテーションについては、大島ら⁸⁾によってある程度研究されており、中間開度の場合、管との間の絞り部には低圧を生じるが、それとともに弁後流には強い渦が形成される。このため、渦の中心部は極めて低圧部になると予想され、キャビテーションの発生には渦中心の低圧を考えるのが合理的としている。この要素を加味して、キャビテーション係数として次の式を導いている。

図3から、弁より十分上流の管内圧力を P_0 、渦中心の圧力を P_v 、平均流速を V_0 、 $d/L = \sin \alpha$ 、 $D/L = \sin \beta$ とすると次の式に表わされる。

$$k = \frac{P_0 + (\rho/2)V_0^2 - P_v}{(\rho/2)V_0^2} \cdot \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}\right) - 1$$

なお、従来のキャビテーション係数との関係は次のとおりである。

$$k = \{k_{(1,2)} (1 + \zeta) + \zeta\} \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}\right) - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \left(2 - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}\right)$$

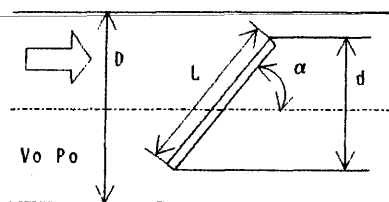


図3 バタフライ弁の模型

4-3 バタフライ弁の弁体形状ごとのキャビテーション発生形態

バタフライ弁の弁体形状は、今回検討しただけでも7種類あるが、使用される配管内でそのバルブに要求される限定された性能や特性があるため、弁開度もその使用範囲を指定したものがほとんどである。

このことは弁体形状について、例えば偏心型については、性能として止水性を重視した構造であるため、ボールバルブの優れたシール機能を有機的に結び付けた形状として構造上偏心型を取る必要性がでてくるのである。また、使用圧力によっては弁棒強度が要求された場合、ネジ部を小さく

することが不可能な場合があるのである。

従って、場合によっては他の機能を犠牲にしてもよい使われかたをしていることがあるので、本実験によって得られたデータから作成したキャビテーション特性曲線によって、弁体の優劣を決めるのは甚だ問題が大きいことを念頭に置いておかなければならない。

図4に、今回性能試験を実施したバタフライ弁について、弁体の形状によって特徴的なキャビテーションを発生している状態を模式的に示す。いずれも弁開度50%で、キャビテーション発生後徐々に流速を増し、発生状況が視覚的に十分確認できるところで安定させた後観察したもので、従って、それぞれの弁体での発生条件は必ずしも一致するものではなく、また、発生のし易さを判断したものではない。

なお説明上、弁体が上流側にある開口部をオリフィス様の流れ（以下「オリフィス側」と称する）、弁体が下流側にある開口部をノズル様の流れ（以下「ノズル側」と称する）とする。

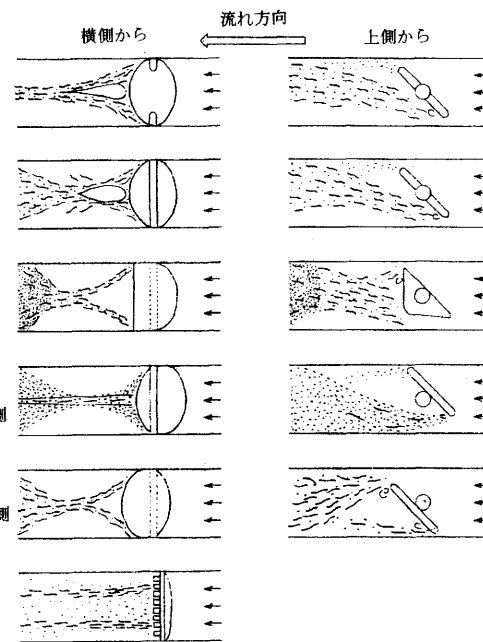


図4 キャビテーションが成長した時の発生状態

同心型、貫通型ではいずれも弁体通過流量の多いノズル側で微粒子状、流量の少ないオリフィス側で亀裂状中心のキャビテーションの発生がみられ、しかも、弁体の上部部、下部部からの発生が激しかった。また、弁体後部の中央には透明部分が存在し、これがキャビテーションかどうかは不明である。

非対称型では、オリフィス側を中心に亀裂状のキャビテーションが発生し、ほとんどが上部部、下部部からのものであり、しかも、数十cm後部では、亀裂状が無数の微粒子状に変化するという特徴がみられた。

偏心型では、弁体が上流側にある場合と下流側にある場合とでははっきりとした発生形態の違いが認められた。弁体上流側の場合では、ノズル側がほとんど閉じ、オリフィス側の開口部が大きく開くため、オリフィス側を中心にキャビテーションの発生がみられ、しかも弁全体から微粒子状のものがほとんどで、流速を上げても中心部のみに亀裂状の発生がみられるほかは始終変化がみられなかった。

これに対し弁体下流側の場合では、弁体上流側の場合とは反対にオリフィス側がほとんど閉じノ

ズル側が開くため、ノズル側の発生が中心で、しかも弁体上流側の場合の微粒子状とは対称的に亀裂状の発生が中心をなし、発生部も上端部、下端部がほとんどであり、これも流速の変化による形態の変化は小さかった。

最後に、整流型では、上記の弁体とは全く異なり、歯状の突起物によって流れが整流されている効果が顕著に表れているため、ほぼ弁体全体から微粒子状の発生がみられたが、弁体上下から1/4の所の歯状部の所だけ亀裂状が発生するという特異なものであった。

いずれの弁体についてもキャピテーション発生条件が異なり、一概には判断できないが、特にキャピテーションで問題となるのは、弁体エッジ部付近から直接亀裂状のキャピテーションが発生した場合と、この亀裂状のキャピテーションが後流の管壁付近で壊滅する場合である。

しかし、初生キャピテーション特性にはそれぞれの弁体のエッジ部のシート構造の微妙な違いが大きく影響してくるため、安易な判断は慎まなければならない。

4-4 バタフライ弁の写真でみるキャピテーション発生形態

流れ模様の可視化やキャピテーション発生の目視観測は、現象の理解を助ける極めて有効な手段である。文献等では可視化水槽を用いた目視観測や写真撮影が報告されているが、本実験では供試弁の上、下流にそれぞれ1mの亚克力管を取り付け、キャピテーション現象を写真撮影した。

(1) 撮影方法

写真撮影用の簡易な遮へいフレームを作製して、図5、図6のような位置関係でキャピテーション現象を撮影した。

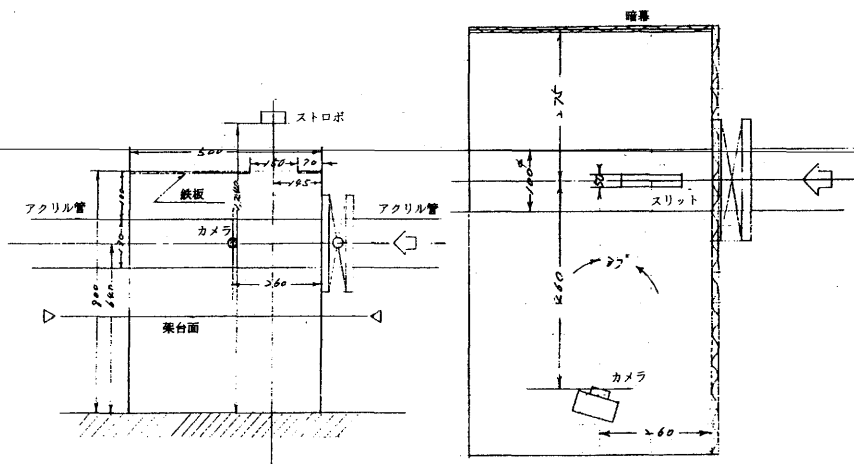


図5 立面図

図6 平面図

これらに使用した機器は、下記のとおりである。

- カメラ 電子制御式35mm一眼レフレックスフォーカルプレーンシャッターカメラ（日本光学工業株式会社）

○レンズ 50mm F.1.4 レンズ

○ストロボ オートパナ3650（松下電器産業株式会社）

ガイドナンバ36（ワイドパネル使用時25）ASA 100/m

光質 昼光用

(2) 撮影条件

キャピテーション現象の撮影条件について、種々検討したところであるが、写真の状態から判断すれば現状での最適な条件は下記のとおりである。

絞り (f) 16

シャッタースピード (秒) 1/250

ストロボ高さ 配管中心より600mm

ストロボガイドナンバ 4（ワイドパネル使用）

スリット幅 50mm

(3) キャピテーションの可視化

写真1に同心型弁体で上流側と下流側の形状が非対称の弁体（非対称型）にて発生したキャピテーションを示す。

キャピテーションの発生する位置は、弁体のエッジ付近（ノズル側）に発生するものと、弁体の上流（オリフィス）に少し離れて発生するものがある。非対称型の同心型弁体では、キャピテーション現象を可視化で観測してみると、弁体の下流側1~1.5Dくらいまで透明域が生じており、その下流からキャピテーションが生じ始めることが理解できる。

図7にその模式図を示す。

この透明域については、弁体の厚さによる影響とも考えられる。同心型では、この様な現象は観測できなかった。同心型のキャピテーション現象を写真2に示す。



写真1



写真2

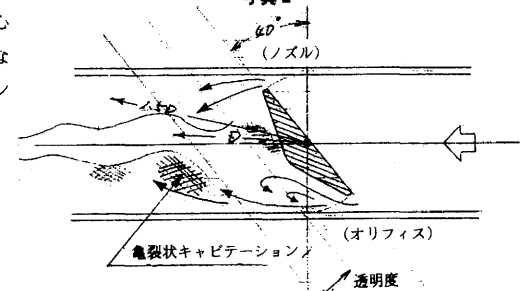


図7 キャピテーション発生図

4-5 初生キャピテーション係数試験

図8および図9にバタフライ弁の初生キャピテーション係数を表したグラフを示す。

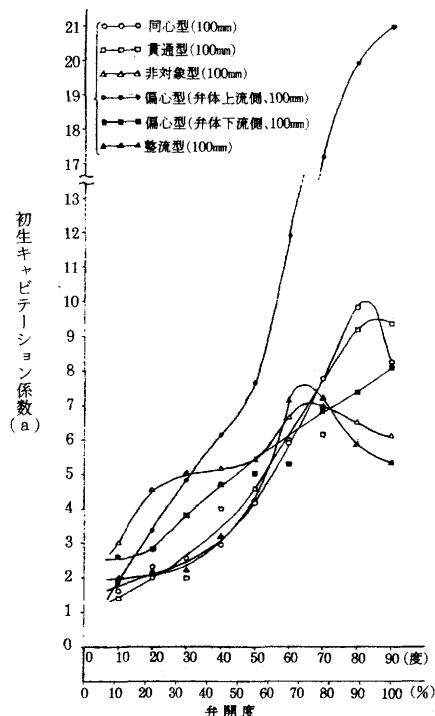


図8 バタフライ弁の発生キャピテーション係数

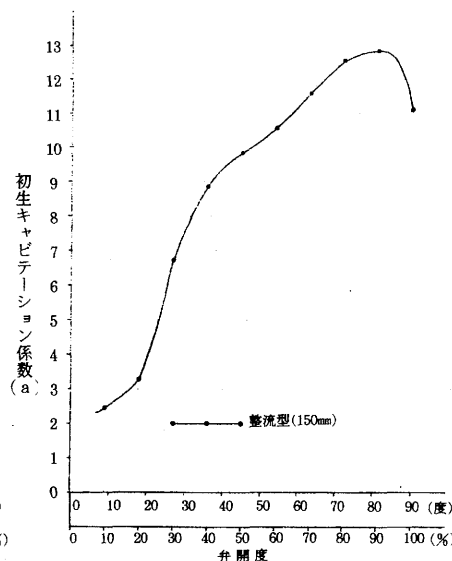


図9 バタフライ弁の発生キャピテーション係数

3-2で述べたとおり、測定は人間の聴覚によるもので定量化されていないため、異なる弁体間のキャピテーション特性を、これによって比較し断言することは危険性を伴うが、弁開度ごとの発生状況の変化や傾向は推し測ることができる。

図8の中で偏心型の弁体上流側のみ異常に高い σ を示すが、これは実験中に配管系の不具合から空気の気泡が多量に混入した時の測定値であるため再試験の必要があり、今回の考察からは除外することにする。(参考までに記載した)

同心型と貫通型は、軸部形状が違うものの弁体形状そのものが酷似しており、ほとんど一致した傾向を示している。 σ の値もほぼ同じ値で、しかも弁開度が大きくなるに従い σ も比例して高くなり、弁開度90%付近で最大値を示す。

非対称型では、今回実施した6種類の弁体の中で開度全体での変化率が最も小さい。弁開度20~50%の間は徐々に σ が高くなって大きな変化はみられないが、弁開度がそれ以上になると σ は急に

高くなり、弁開度70%付近で最大値を示す。以降、弁開度100%までの間は逆に σ の低下がみられる。これは、弁体下流側が特徴的な曲面でできているため、弁開度70%を境にして流動形態が形状の影響で急変するためと考えられる。 σ の値は同心型に比べ弁開度70%までは高く、それ以上は低い値となっている。

偏心型(弁体下流側)では、弁開度が大きくなるに従い σ はほぼ比例して高くなり、弁開度100%で最大値を示す。他の弁では弁開度90~100%で弁開度とは逆の傾向がみられるのに対し、この弁体では σ に対する影響がでない。

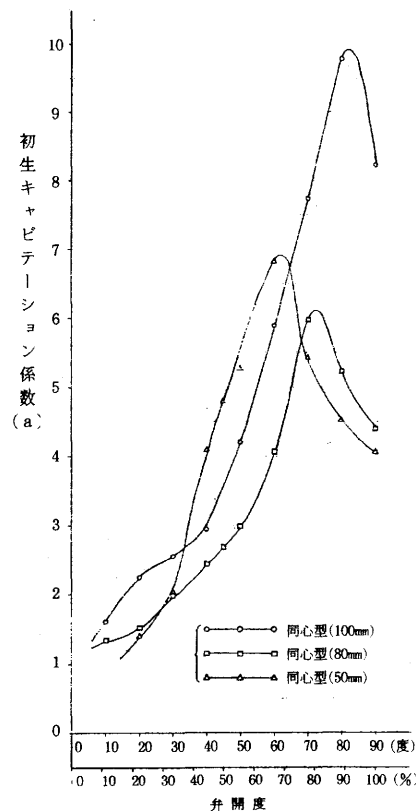
変形型では、弁開度70%までは同心型と σ が一致し、 σ が高まる程度も同じ傾向を示すが、弁開度70%付近のピークを境にして急激に σ が低下する傾向を示す。

図9の整流型では、口径が150mmで他の弁体(口径100mm)と異なることもあって、単純には σ の高低は比較できないが、他の弁体と異なった傾向の曲線を描く。他の弁では弁開度40%くらいまでは徐々に σ が高まり、それ以降ピークまで急激に高まるのに比べ、弁開度40%まで σ は急激に上昇して、その後弁開度90%のピークまでは σ の高まる傾向は若干小さくなっている。

以上個別にみてきたが、全体として弁開度が70%までは同心型、貫通型、変形型の σ が低く、弁開度70~100%では変形型、非対称型の σ が低い値を示す結果となり、弁開度によって弁体形状の特徴が表される結果となった。

次に、口径によるキャピテーション係数の差異をみるため、同心型の弁体に限って実験の終了した口径50mm、80mm、100mmの結果を比較したグラフを図10に示す。

傾向としてはいずれの口径も弁開度が大きくなるに従い σ が高くなり、一度ピークを経た後低下するという同じパターンで推移しているが、口径によって σ がピークを向かえる弁開度が異なっている。すなわち、 σ の高低には差があるものの、口径50mmでは弁開度70%、80mmでは80%、100mmでは90%でピークを向かえており、口径が大きくなる程全開付近に近づいている。これは弁体の構造上明かのように、口径が小さくなる程管内に占める弁体の投影面積の割合が大きくなって、弁体そのもののエッジ部分の形状や種々の出っ張り等細部の影響を直接受け易いことから推察することは容易である。



さらに、初生キャビテーション時の差圧および流速・流量を図11、12および図13、14に示す。

まず、図11、12の差圧については、同心型系の同心型、貫通型、変形型が弁開度10～80%の間では、そろって高く推移しており、初生キャビテーションが発生し難い傾向を示している弁体形状といえる。これに反して、偏心型、整流型では概ね弁開度80%以下で低い差圧を示し、発生し易い傾向を示している。また、非対称型については、初生キャビテーション特性曲線と同じく、他の弁体とは違った独自の曲線を描いており、弁開度100%では最も高い差圧を示している。

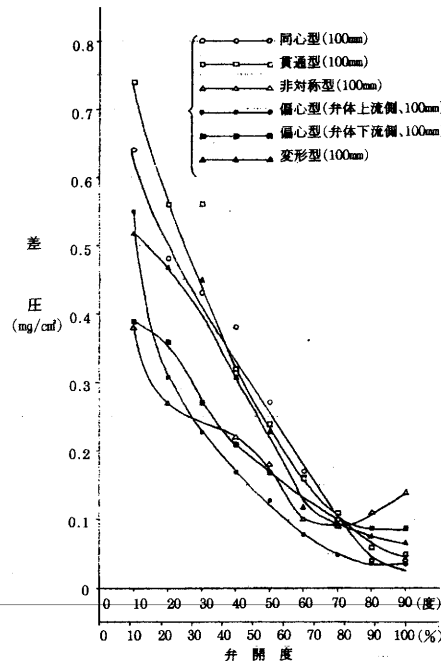


図11 バタフライ弁の発生キャビテーション時の差圧

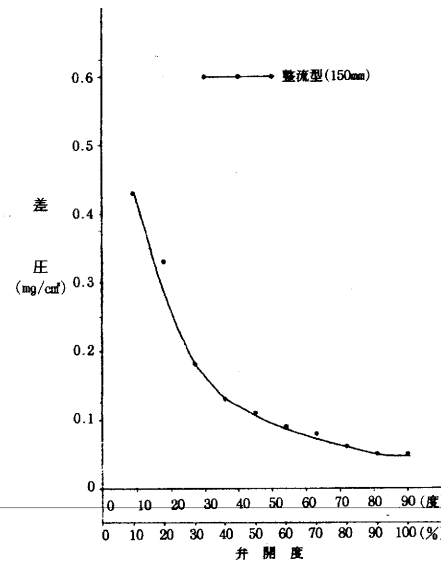


図12 バタフライ弁の発生キャビテーション時の差圧

しかし、図13、14の流速・流量については、次の4～6でも述べるが、中間開度では偏心型、整流型、変形型の弁体が多く流れ易い構造のため、差圧が低くても他の同心型系の弁体に比べ、初生キャビテーション発生時に流量が多いことが分かる。つまり、整流型は弁開度が大きくなるのに比例して流量は大きくなり、弁開度100%で最大値を示す。非対称型は弁開度80%付近まで流量は上昇し、それ以降弁開度100%までは徐々に小さくなる傾向を示すが、同心型に比べてははるかに大きい流量を示す。

偏心型（弁体下流側）では、以上の弁体と同心型系のほぼ中間に位置している。弁体上流側は系内に空気が混入している関係で、初生キャビテーション係数が急激に上昇した弁開度60～100%ではほぼ一定の流速・流量を示している。

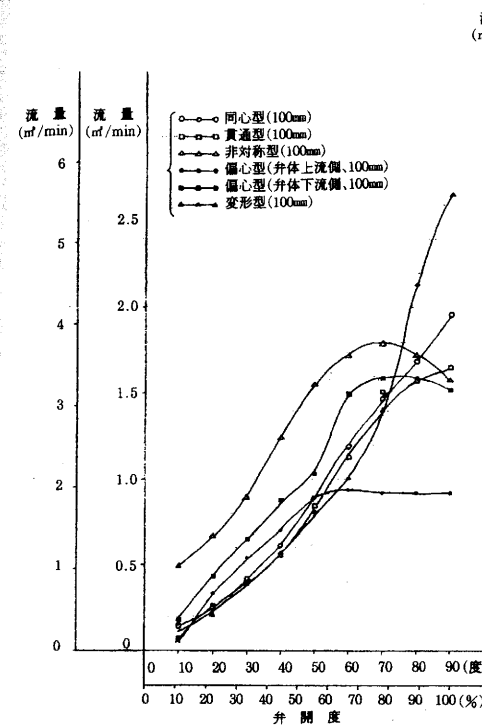


図13 バタフライ弁の発生キャビテーション時の流速・流量

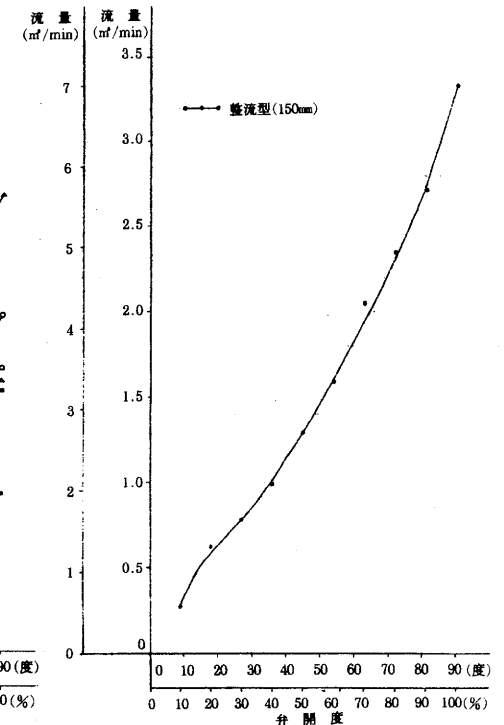


図14 バタフライ弁の発生キャビテーション時の流速・流量

このことから、整流型や非対称型の弁体では、小さい差圧状態で初生キャビテーションが発生し易くても多くの流量が得られる反面、同心型系の弁体では大きな差圧状態でないと初生キャビテーションが発生しないものの流量はそれほど得られないという傾向が分かる。

4-6 Cv値試験（容量係数試験）

図15は、同心型で弁体の厚さを0、弁開度100%の時の投影面積が0の円形理想弁体と考えた時の弁開度と開口面積比の関係を示したものである。開口面積比は、次の式により求めた。

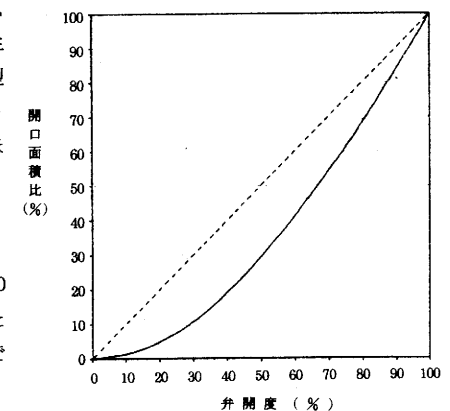


図15 バタフライ弁の開口面積比

$$y = \left\{ 1 - \cos \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{k}{100} \right) \right\} \times 100$$

y : 開口面積比 (%)
 k : 弁開度 (0~100%)

実際のバタフライ弁は、弁開度100%の時の投影面積が0でなく、しかも形状が複雑なため正確な開口面積を計算することは事実上困難で、特に口径の小さいバタフライ弁では細部の形状による開口面積への影響が甚だ大きく、逆に大口径になる程この曲線に近づくことになる。(ただし、同心型の場合)

このことは、図16、17に示す試験の結果にはっきりと表れている。

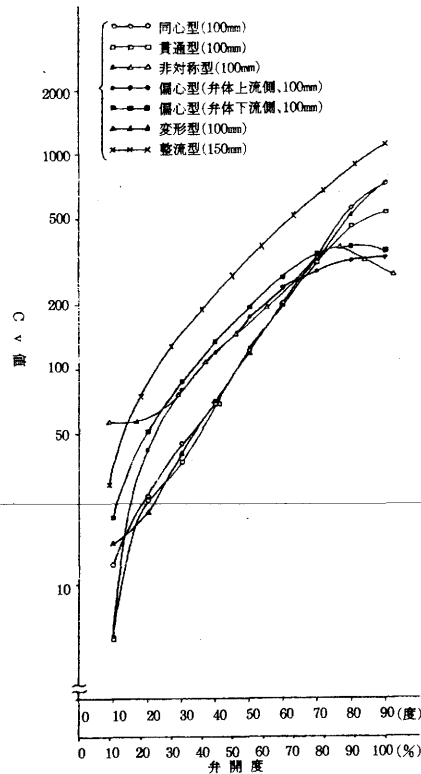


図16 バタフライ弁の C_v 値

他の仕切弁等については、昭和63年度の研究報告書で報告⁹⁾されたとおり、弁開度100%においては口径が同じであれば同じ C_v 値をとるが、図から分かるように弁体形状の種類や弁体ボリュームによって弁開度100%での C_v 値のパラッキが大きい結果となっている。

すなわち図16で、弁開度100%において口径100mmでは弁軸と弁体が一体となった同心型および変形型が最も C_v 値が大きく、系内に弁軸と弁体の両方が存在する偏心型や弁体ボリュームの大きい

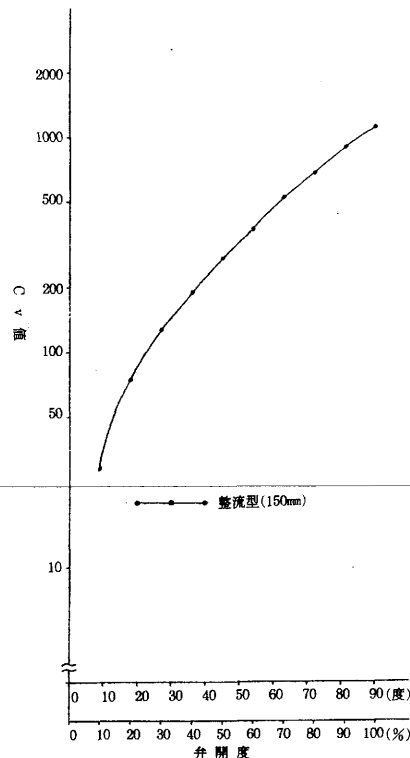


図17 バタフライ弁の C_v 値

非対称型の C_v 値がやや小さい値となっている。これに対し、中間開度においては、弁体形状によって歴然とした差がみられ、逆に中間開度で開口面積が大きくなる偏心型、非対称型の C_v 値が大きくて、同心型、変形型の C_v 値が小さく、弁体形状の特徴を如実に表している。この中で、非対称型の弁体だけが S 字型の曲線を描き、開度全体における C_v 値の変化率が最も小さくなっており、他の弁と異なる性状を示している。

また、図17の口径150mmの整流型については、口径が大きい分高い C_v 値を示している。

次に、同心型のバタフライ弁で C_v 値と口径との関係を図18に示す。

4-5と同様、口径50mm、80mm、100mmについて検討しており、口径が大きくなるに従って弁体の軸部の出張り等の影響が少なくなっているために C_v 値も大きくなり、弁開度100%付近での曲線の曲がり角が小さくなっている。これに対し口径50mmでは、開口部に占める弁体投影面積の比率が最も高く、これが C_v 値に直接影響をもたらしていると考えられる。

以上の結果をもとに、それぞれの弁体形状ごとに最も高い C_v 値を100%として弁開度と C_v 値比の関係を示したのが図19、20である。

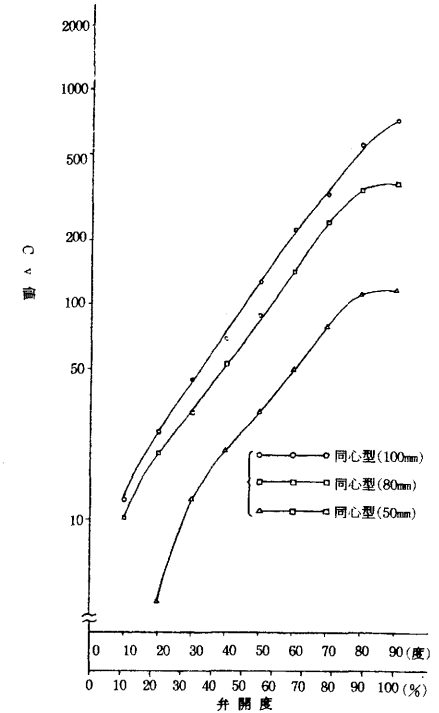


図18 バタフライ弁の C_v 値

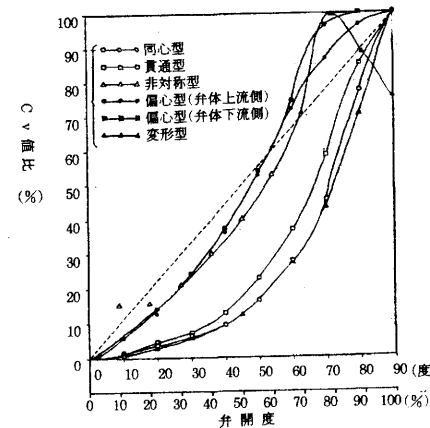


図19 バタフライ弁の弁開度と C_v 値比の関係

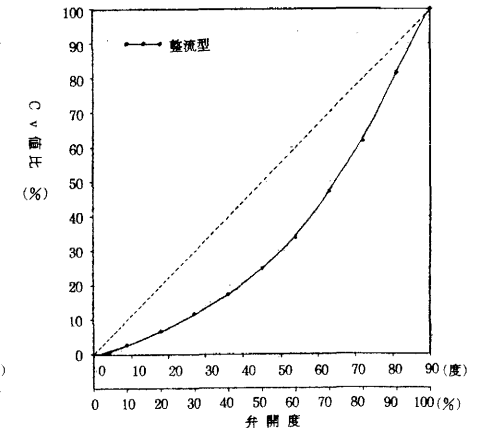


図20 バタフライ弁の弁開度と C_v 値比の関係

このグラフは、全開度での最も高いCv値に対して、他の中間開度ではどのような特性を持っているかを示すものである。これによれば、中間開度では偏心型および非対称型の弁で弁開度とCv値比の関係が他の弁に比べコイルパーセント直線に近づき、他の同心型系の弁は大きくコイルパーセント直線から離れて典型的な2次特性を示し、図15に示した開口面積の計算値を示すグラフの特性とほぼ一致した傾向をそのまま反映したものとなっている。また、全開付近での偏心型と非対称型の弁で変化率が揺るやかになっているか、逆転しているのは、弁体が軸と重なり投影面積が不規則になる影響が大きいためである。

しかし、バタフライ弁を流量調整に用いる場合、その配管系での目的に応じてバタフライ弁の特性を選択する必要があるため、このグラフによって性能を比較することは困難である。

つまり、例えば緊急時に急激にCv値を抑える特性を要求されるような場合は、偏心型や非対称型のリニア特性は不向きであり、また、差圧を制御する場合は流量との関係が2次関係にある同心型や変形型のような弁体が望まれることから当然といえる。加えて、使用される流体の種類によってもその性質が大きく異なり、また、最も使われる開度によってもそれぞれ要求される特性があるため、選択される弁体はおのずと変わってくることになる。

図21は口径ごとにCv値比を表したもので、先ほどのCv値の口径による差異の検討から予想される結果となっており、系内での障害が小さい口径100mm（弁体ボリュームの占める割合が3種の口径の中では最小）が一番リニア特性から離れて2次特性に近づく結果が得られており、全開付近での特性は図19の場合と同じである。

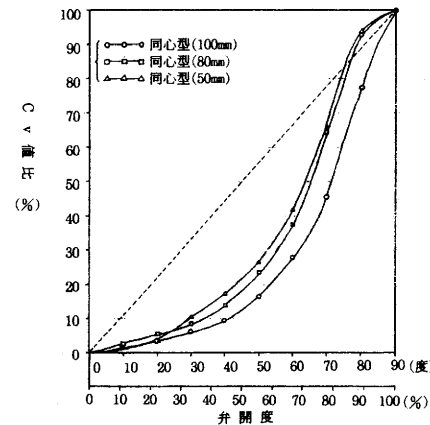


図21 バタフライ弁の弁開度とCv値比の関係

4-7 損失係数試験

図22、23に弁開度と損失係数の関係を示す。

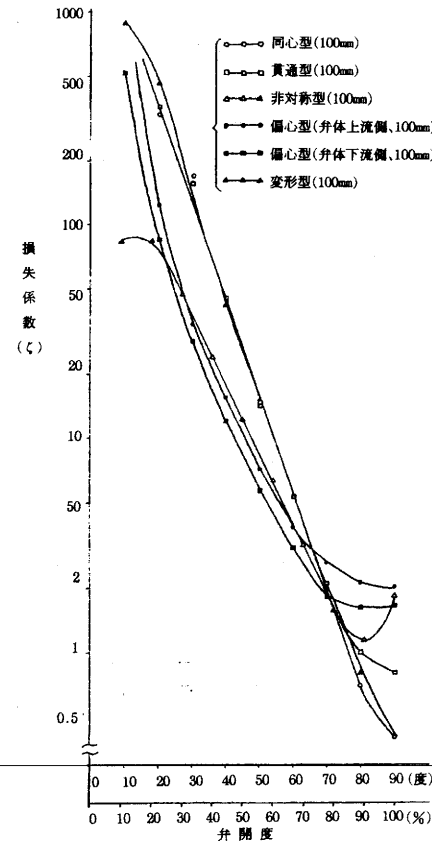


図22 バタフライ弁の損失係数

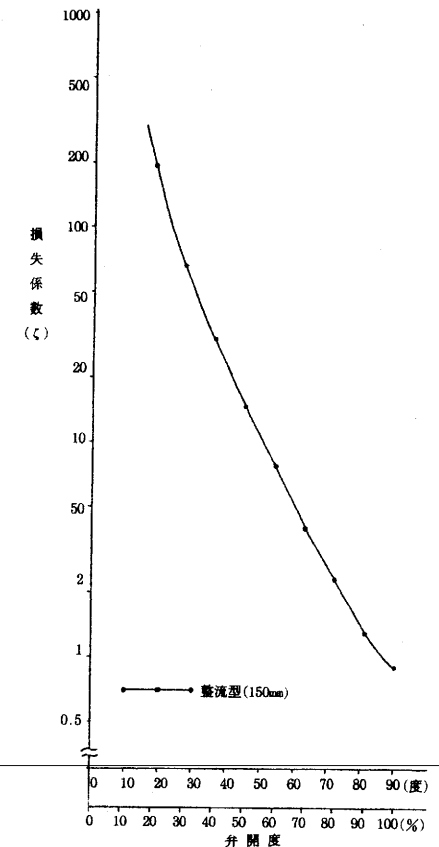


図23 バタフライ弁の損失係数

Cv値と同じ理由により弁体の種類の特徴によって差異が顕著に表れている。弁開度0~20%の低開度では、非対称型が他の弁に比べ低開度で急激に大きな開口面積を得られるため、特異的にζは小さくなっている。中間開度では、偏心型のζが最も小さく、同心型系が最も大きいζを示すという結果となっている。また、弁開度100%付近については、Cv値とは全く逆の順位を示しており、偏心型や非対称型のζは大きく、同心型系のζは小さくなっている。これも4-6と同様、弁体の管内でのボリュームによる障害度によってζが大きく左右されているといえる。

次に、図24に同心型のバタフライ弁について、口径別に弁開度ごとの損失係数を示す。

中間域ではいずれの口径も、ほぼ同じ特性を持っているが、弁開度100%では弁体の投影面積比率の差がそのまま表れており、口径が大きくなるほど K_L が小さくなっている。

5. 今後の実験方針について

5-1 騒音・振動解析装置によるキャビテーション現象の評価

始めに述べたとおり、バルブのキャビテーション特性の評価方法については、現在、実用的なものとして確立されたものがなく、正確かつ適切にこの現象をとらえるためには、キャビテーションの検知技術が不可欠である。

しかし、数々の研究論文や実験報告の中でもわかるように、キャビテーション現象に伴って発生する特徴的な振動や可聴域での騒音を計測する方法がやや一般的であるといえる。また、可聴域以外でもキャビテーションが超音波を発生することはよく知られているところで、周波数 $f=91\text{kHz}$ の超音波によって評価されている実験報告もある¹⁰⁾¹¹⁾。逆に、キャビテーションを発生させる技術についても、ある周波数の振動を利用し、チタン酸バリウム (BaTiO_3) の輪型トランスジューサを用いてこれに脈動電圧をかけ、膨張、圧縮を強制的に起こさせる装置もEllis¹²⁾によって開発されている。

このように、キャビテーションにとって振動、騒音は切っても切れない相関関係があるものとされている理由から、当所でも平成元年度に騒音・振動解析装置を導入することとなった。現在、この装置を用いて、加速度センサーを使用してキャビテーションの振動データを収集し、振動レベルを周波数軸上で異なるデータと重ね合わせ、キャビテーション発生と同時に立ち上がる周波数域を見出す方法を検討中である。しかし、現実にはデータ検知用センサー（またはマイクロホン）の位置設定の問題や、周囲の送流ポンプ等の暗騒音がかなり高く、遮音の必要性があるなどの問題が残されており、直ちに実用化できる目度は立っていない。

5-2 キャビテーション発生に及ぼす空気含有量の影響

4-1で溶存する気体（空気）がキャビテーションの発生（初生）を促進する原因の1つであると述べたとおり、たとえば流体が水の場合、系内に空気が溶けているのが通常で、本来のキャビテー

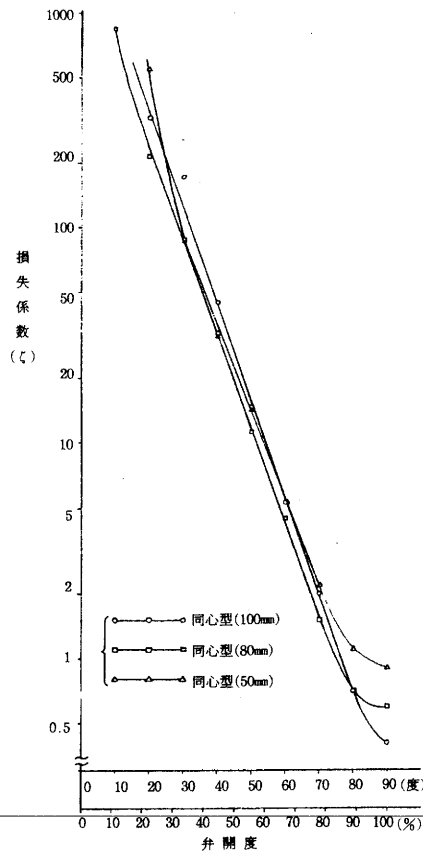


図24 バタフライ弁の損失係数

ション、すなわち流体の蒸気泡の発生にとって無視できない要因である。また、流体が油類の場合¹³⁾は水の場合に比べて溶存空気量が極めて高く、特に配慮が必要となる。

ところで、空気の組成は $\text{O}_2:\text{N}_2=1:4$ であるが、液体に対する溶解度が異なり、しかも溶解量はその気体の分圧のみに比例するため、溶解量としては $\text{O}_2:\text{N}_2=2:1$ と逆転し、酸素の方がより多く溶け込んでいる。ここで、系内の圧力が低下していった場合を考えると、全く空気がない場合は水蒸気圧まで低下しない限り系内に水蒸気泡が起これないのと対象的に、空気が溶存している場合、減圧で膨張し始めた空気による空間に水分子が入り込めば、直ちに水分子は水蒸気化され、爆発的に泡の発生を起こすことになる。従って、キャビテーションにとって溶存空気は初生を促進する影響力を持つことは明らかである。

沼知、椎名¹⁾は、このことを考慮してキャビテーションの初生に関して次のキャビテーション係数を提案している。

$$K_L = \frac{P_1 - P_e}{(\rho V_e^3) / 2}$$

P_1 : 空気飽和圧

P_e : キャビテーション発生圧

ρ : 流体の密度

V_e : 最小断面の流速

このように、キャビテーションに関して、初生を重視するならば空気含有量を直接正確に測定するか、あるいは間接的（酸素量を測定し溶存空気量を推定する）に測定する技術も要求されることになる。

5-3 写真撮影によるキャビテーション発生過程の把握

本実験では、各種弁体でのキャビテーション現象の撮影が一種類のみで、弁体ごとの比較ができていないこと、さらにはフラッシュによる撮影のため、キャビテーションの発生部分が不明瞭な乳白色の領域^{*1)}としか捉えられない等の問題がある。

したがって、今後の方向として、

- ①陰影の少ないキャビテーションを観察するため、短閃光ストロボによる写真撮影条件を設定する。
- ②可視化水槽における弁体形状とキャビテーションの比較をする。

を行って、弁体形状にかかる性能試験データの裏付けを図るとともに、流れの構造を把握して、配管系の振動、騒音の軽減を進めなければならない。

*1 キャビテーション係数1.36以下、差圧 $0.7\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上

5-4 弁体形状とキャビテーション特性の因果関係の検討

今年度の研究では、特に実験期間の制限から既存バタフライ弁の弁体形状ごとの初生キャビテーション係数試験に的を絞って実験を行ってきた。しかし、実用上バタフライ弁で問題となっているのは、キャビテーション成長時の振動・騒音および弁体自体と弁体下流側配管での壊食現象の抑制である。このため、現在の実験段階で弁体形状とキャビテーション特性の因果関係を検討することは実質上困難で、これらの条件に合わせた本格的な性能試験が必要である。（平成2年4月～10月実施予定）

また、キャピテーションの普遍的な評価方法がないことや、初生については先に述べたとおり、溶存空気の影響が無視できないことなどの諸問題による障害を並行して克服することも必要である。

5-5 CAD/CAM/CAEシステムによる低キャピテーションバルブの開発

以上、低キャピテーションバタフライ弁を開発するにあたって、既存バタフライ弁について、用途、弁体形状、口径ごとに基礎データとなる各種流体性能値が測定できれば、平成2年度にCAEシステムを導入し、完成品ができるまで試作することなくキャピテーションに対して高性能化を図る研究へと引き継ぐ予定である。

以下にこのシステムを用いた研究の流れと若干の説明を示す。

(1) 新製品バルブの基本構想企画立案

性能試験測定データに基づいて、流体力学的に検討を加え、弁体形状との因果関係から理想とする性能データを持つ改良されたバタフライ弁の基本構想を企画する。

(2) CAEシステムでのモデリング（セットアップ作業）

企画立案した理想バルブの弁体について、流体解析用の形状データをCAEシステムに入力する。

(3) 流体解析用ソフトによる解析とシミュレーション

流体解析用ソフトを使用し、乱流モデルを設定して弁を流体が通過する際のマーカー軌跡と、特に弁体周辺の速度ベクトルおよび圧力変化のメッシュ表示等を行うことにより、弁体形状によるキャピテーション発生領域の推定と、形状修正によるシミュレーションを繰り返して性能を評価し、キャピテーションを抑えた弁体形状を見出す。

(4) 新製品バルブのモデル出力

解析・シミュレーションによって得られた理想バタフライ弁の形状データを出力する。

(5) 強度解析

改良した基本モデルをFEM（有限要素法）により強度解析して、実流状態を想定した時の応力・歪分布を求め、機械的強度を確認する。

(6) CAD/CAMシステムによる設計および加工

CADシステムにより設計図面を作成し、更にCAMシステムにより弁体をMC加工して新製品を試作する。

6. CAD/CAMアンケート調査結果について

5-5で説明したCAD/CAM/CAEシステムは、現在では電子工業、機械金属工業、デザイン工業を始めとする産業全般に幅広く利用されており、従来製品の改良あるいは新製品の開発、デザイン開発にあたって、大きくその威力を発揮している。また、CAD部門においては、コンピュータの高性能化、低価格化が一段と進む中で、ソフトメーカーも時代の流れに即応して、目的に応じたソフトを開発販売しており、急速に普及しつつあるシステムである。

特に、中小企業においては、操作上、価格上の面で手がとどきやすいパソコンを主体としたシステムが数多く導入利用されている。

当然、地場産業であるバルブ業界においても、製品開発にあたっては、期間短縮、コスト低減、品

質向上を目標として取り組まれているが、今まで以上にこれを実現し、また、ユーザーニーズの多様化によるバルブのバリエーション化に対応するため、生産現場での多品種少量生産に対処するためには、バルブメーカー独自で既存弁の改良や手直しをする上で不可欠なツールといっても過言ではない。

しかし、バルブについて考えてみると、バルブは特に他の分野とは異なり、機械や部品の一部を構成するのではなく、複雑なシステムの中で流体を制御するという重要な役割を担っており、形やデザインよりもむしろ機能や性能が重視される製品と評価されているという特異性を持っている。

こうした中で、バルブ業界でも一部の企業において4~5年前からこうしたシステムが導入され始め、それなりの効果を上げている。当所では、地場産業におけるCAD/CAMシステムの導入、稼働状況を把握する目的で、バルブメーカーを主体に21企業を選定し、調査を実施したので以下に報告する。

調査項目は大きく分けて(1)バルブの設計について、および、(2)バルブの加工について調査を実施した。（平成元年8月現在）

(1) バルブの設計について

(1)-1 設計方法について

調査時点で、CADシステムを導入されている企業は全体で7社あり、水道用バルブ製造メーカーが4社、陸用バルブ製造メーカーが3社であった。また、導入されているシステムは、武蔵工業製のCADシステムが4社と一番多かった。

これは、水道用バルブ製造メーカーは規格弁の製造が中心で、日本工業規格(JIS)および日本水道協会規格(JWWA)により基本的な寸法が定められており、ユーザーニーズによる設計図面の一部手直しが多く、しかも他の種のバルブに比べ、ロットも比較的多いこともあり、設計図面のDB化による効率が良いという長所があって、経営側からみても投資効果が大きいため導入が進んでいると思われる。

一方、陸用バルブ製造メーカーの1社は導入されているが操作される人材がおらず、他の2社では、通常のプラント用以外に、空調用あるいは機械設備の一部を構成する油圧バルブとして、バルブ本体以外にバルブの駆動制御やトータルシステムの一部としての機能を持つという付加価値の高いバルブが製造されており、旧図面の手直しという使われ方のほかに、新規受注や新製品開発にも重点が置かれた導入である。

(1)-2 設計期間について

設計期間については、通常の手直し程度の設計では2~10日と回答している企業がほとんどで、新製品の開発を伴う設計では2~3年と回答しており、設計目的によって期間が大きく分かれている。

(1)-3 設計図面について

調査した全ての企業で、ロッカーに設計図面の保管がされている。また、CADを採用している7企業の内、4社についてはロッカー保管と同時にDB化され効率的に活用されている。

(1)-4 部品、図面、設計手順等の標準化について

部品と図面の標準化については、大半の企業で標準化が進められており、部品については15企業、図面については14企業で実施となっている一方で、設計手順については5企業と標準化が進んでいないのが現状である。この中の図面の標準化では、バルブの品種や呼び径などの種類ごとの標準化や、組立図、加工図、承認図ごとの標準化が主なものである。

(1)-5 将来のCAD採用計画について

現在CADを採用している企業以外に、積極的に計画している企業はほとんどなく(13社)、その理由として、CADを操作をする人員がないことを上げており、人材不足が大きく影響している。

(1)-6 当所導入予定のCAD/CAM/CAEシステムを使用した共同研究について

17企業が当所との共同研究を希望しており、当システムに対する期待の高さがうかがえる結果となっている。この内13企業については、共同研究の中で必要とするならば所有している設計図面の提供も可能であると積極的な回答をしている。

(2) バルブの加工について

(2)-1 NC設備の保有状況について

13企業が何らかのNC設備を保有しており、MCは4企業17台、NC旋盤は13企業51台、その他の設備は5企業8台という結果となっている、NC旋盤の導入が圧倒的に多く、弁座等の銅合金材の部品加工に使用されている。

MCの導入については、近年増加傾向にあるが、各種バルブの弁箱の全加工に使用され、一部企業では弁体の加工も行われている。

今後の導入計画とも関連して、MCの導入計画は一社にとどまっている。このことは、オペレータの不足と同時に取り付け治具等の作製に対応できない技術レベルや、ツーリング・工具類等の付帯設備に資金がかかり過ぎてコスト的に合わない点も一因である。

(2)-2 NC設備を操作する人員について

調査企業全体で42名であるが、1名しかいないという企業が6社もあり、人材不足という厳しい状況におかれていることを示している。

(2)-3 今後のNC設備導入計画について

計画のある企業が7社と、調査企業の1/3しかない。

(2)-4 CAD システムとNC設備をドッキングさせたCAM化について

計画および構想のある企業が、全体で2社と少ない結果であるが、この背景にはバルブおよびバルブ部品においては加工箇所が少なく、加工精度も他の機械部品等に比べてラフで、しかも受注形態が多品種少量生産に移行していることにより、採算ベースが下降している点に起因すると考えられる。

7. まとめ

キャピテーションを抑制した弁体形状を見い出すため、弁体形状の異なる既存バタフライ弁について、キャピテーションに関する試験を中心に実験を行った。結果をまとめると次のようになる。

- (1) キャピテーションの発生形態は大きく分けて、目視で2種類観測され、亀裂状および微粒子状のキャピテーションであった。また、キャピテーションの発生部位は弁開度によって異なるが、中間開度においては、整流型は弁体全体から、その他の弁体はほぼ弁体上端部、下端部からのもので、特に亀裂状のキャピテーションについては、偏心型(弁体下流側)のノズル側からの発生を除いて

はオリフィス側からの発生が中心となっていた。

- (2) キャピテーションの性状で、弁体および配管の壊食に大きく関与すると思われるのは、文献等から破壊エネルギーの大きい亀裂状のキャピテーションが支配的であるが、バタフライ弁のキャピテーションは、その構造上から避けて通れない面があり、使用上においてもその配管系で目的に合わせた特性の選択が行われているため、本実験で得られたデータより弁体の優劣を決めるのは甚だ問題が大きい。

- (3) 初生キャピテーション係数(σ)は、弁開度が70%までは同心型、貫通型、変形型が小さく、弁開度80%以上では変形型、非対称型の σ が小さいという結果が得られ、弁体形状によって特性曲線の傾向の相違がはっきりと表れた。

- (4) 初生キャピテーション時の流量、差圧をみると、整流型や非対称型の弁体では小さい差圧状態で初生キャピテーションが発生し易くても多くの流量が得られる反面、同心型系の弁体では大きな差圧状態でないと初生キャピテーションが発生しないものの流量はそれほど得られないという傾向が分かった。

- (5) 今回の実験では、キャピテーションの評価が、人間の五感による定性的評価であるため、キャピテーション係数等のデータの再現性に劣るという問題がある。

- (6) キャピテーション現象を定量化するためには、FFT アナライザによる固有周波数でのキャピテーション検知評価技術の確立が急がれる。

- (7) 初生キャピテーションに関しては、流体系内の溶存空気の影響が大きいと考えられるため、試験時に溶存空気を測定し、これを考慮する必要がある。

- (8) C ν 値試験の結果からは、弁体(形状および投影面積)によって性能が大きく異なり、中間開度では開口面積が大きくなる偏心型、非対称型のC ν 値が大きく、逆に全開付近では同心型系の弁体のC ν 値が大きかった。

- (9) 口径別にC ν 値をみると、低開度および全開付近の特性から、口径の小さい弁体ほど開口部に占める弁体投影面積の比率が高くなってC ν 値に直接影響を及ぼすとともに、弁体軸部の出っ張り等の影響が大きくなっている。

- (10) 弁開度とC ν 値比の関係からは、中間開度で偏心型、非対称型の弁体がイコールパーセント直線に近づき、他の同心型系の弁体は典型的な2次特性を示した。このことは、偏心型は弁自体のシール性が重視され、同心型系は配管系内の差圧やC ν 値を制御する目的に使われることとよく一致した結果が得られた。

(11)損失係数試験の結果からは、低開度では非対称型の弁体の ζ が特に小さく、中間開度では偏心型、全開付近では同心型系が小さくなっていることが分かり、弁開度によってその特性が大きく異なることが分かった。これは、各開度における弁体ボリュームの障害度が大きく影響し、特性を左右していると考えられる。

8. 参考文献

- (1)JIS B 2005-1987: パルプの容量係数の試験方法
- (2)P.Cormaut: Contribution a l'etude de l'influence des teneurs en gaz de l'eau sur la cavitation dans les turbomachines hydrauliques', Bulletin de Centre de Recherches et D'essais de Chatou, p.9, dec.1962
- (3)沼知福三郎、椎名武: キャピテーション発生機構に関する一寄与、日本機械学会論文集、1937
- (4)Knapp, Daily, Hammit: Cavitation (McGraw Hill Book Co.), p.6, 1970
- (5)Rayleigh: 'On the Pressure Developed in a Liquid during the Collapse of a Spherical Cavity.', Philosophical Magazine, Vol.34, 1917
- (6)Fö ttinger: Hydraulische Probleme (VDI-Verlag), 1926
- (7)赤松映明、藤川重雄: 液体衝撃波管によるキャピテーション気泡の崩壊の観測、日本学会会議第一回キャピテーションシンポジウム、1975
- (8)大島亮一郎: 蝶型弁のキャピテーション発生と寸度効果、日本機械学会講演集、1966
- (9)村口明義: パルプ製品の性能に関する研究、昭和63年度滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書
- (10)沼知福三郎、島 章、小林陵二: 拡大管のキャピテーションが発する超音波、東北大学高速力学研究所報告、1960-1961
- (11)小堀 威、横山重吉: 超音波の検出によるキャピテーションの判定方法について、日本機械学会誌、1955
- (12)Ellis, A.T.: 'Production of Accelerated Cavitation Damage by an Acoustical Field in a Cylindrical Cavity', Jour. Acoust. Soc. Am., 1955
- (13)板谷松樹、河野一夫: 油中に溶解する空気量、日本機械学会誌、1945
- (14)佐藤、丸本、森岡、吉居: 水道用バタフライ弁のキャピテーション特性の改善について、昭和63年度滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書
- (15)山崎 卓爾: キャピテーション工学、日刊工業新聞社、1979
- (16)宮田 弘: バタフライ弁の利用上の要点と課題、配管技術、1987
- (17)米村 豊: 上水道におけるバタフライ弁の選定と使用上の留意点、配管技術、1987
- (18)辰巳、太田、北村、山崎: バタフライ弁における流れの可視化、パルプ技報、1986.5
- (19)(社)日本機械学会: 写真集「流れ」、丸善(株)

溶射処理材料のかじり摩耗特性の評価

滋賀県立機械金属工業指導所

主任技師 酒 井 一 昭

カオス・ハイテック協同組合

技術部長 種 崗 一 男

1. はじめに

各種の表面改質技術の典型的方法として、CVD、PVD、溶射、メッキ、固相接合法等が上げられ、それぞれの方面で盛んに研究が行われている。近年、急速な発展を遂げている溶射技術においても、誌上等で紹介されているように新溶射法が次々と開発され、非常に脚光を浴びている。特に、セラミックスなどの高融点材料を容易かつ高能率に溶射できるプラズマ溶射は、耐摩耗、耐食、耐熱、あるいは断熱性、電気絶縁性などを付与する目的で利用されることが多い。

当所においても、産地活性化の一貫として、新材料を応用したパルプ開発を指向するため、プラズマ溶射によるセラミック皮膜のパルプ摺動部への適用性を検討しており、今年度は、現在多用されている酸化物系で、アルミナ、チタニア、クロミアを取り上げて摺合せ試験を実施したので報告する。

2. 実験に際して

2. 1 被溶射試験片の選定

図1で示されるように、溶射試験片を使って摩耗試験をするとき、試験片組合せとしては、固定子(上側試験片)および摺動子(下側試験片)を共に溶射した組合せと、これらのどちらか一方のみを溶射した組合せがある。今回の実験では、どちらか一方のみでも溶射の効果が期待できるという過去のデータと、ゲートパルプの製造において、弁箱付き弁座を溶射するよりも弁体に直接溶射する方が加工が容易で、しかも現実的なことから、固定子は素材のまま研磨(▽▽▽)して、摺動子の方に各種の溶射を施した。

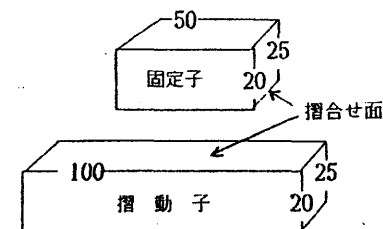


図1 試験片の形状・寸法

制 御 因 子	水 準		
	1	2	3
A 母材の材質	SUS304	FC20	---
B 溶射層(Top coat)	7817	7817・7827	7817・7817
	(8:4)	(8:4)	(1:1)
C 粒 度	小(特注)	中	---
	15~5 μ m	25~8 μ m	
D 封孔処理	無	メタリ	減圧封孔
		(72/-8)	(72/8)
E 研磨の度合	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽

表1 溶射皮膜の選択条件

試 験 因 子	水 準	
	1	2
F 摺動速度 mm/min	100	80

表2 試験時の誤差条件

2. 2 実験計画

表1に溶射処理材料の選択条件としての制御因子と水準を、また、試験時の誤差因子には摺動速度を表2のとおり設定した。

表1の各因子はL₁₆の直交表に1列から順

に割付けて内側因子とし、表2は反復実験で外側因子とした。制御因子の主な検討事項は次の2つである。

1). 粒度

酸化クロムは粒度大が難しいので、小と中を選定。また、粒度小は標準ではないので、15~5 μ mを特注し、さらにクロムのみでは粒子間の結合に問題があるため、酸化アルミの混合粉末を利用することにした。なお、粒度Cは2水準になるので、粒度の小さい方が摺動性に対して良いと考えられるから、これを擬水準とした。

なお、図2は使用した粉末の粒度分布を示した。アルミナ、チタニアは指定粒度に対して分布が顕著であるが、クロミアの分布の山形がなだらかになっている。

2). 膜厚

膜厚は、今回の実験計画では、選択した溶射剤における溶射条件の詳細にはふれていないので、各溶射剤の標準的条件を考え統一し、Top coatとして300 μ m溶射後、研磨して200 μ mにした。

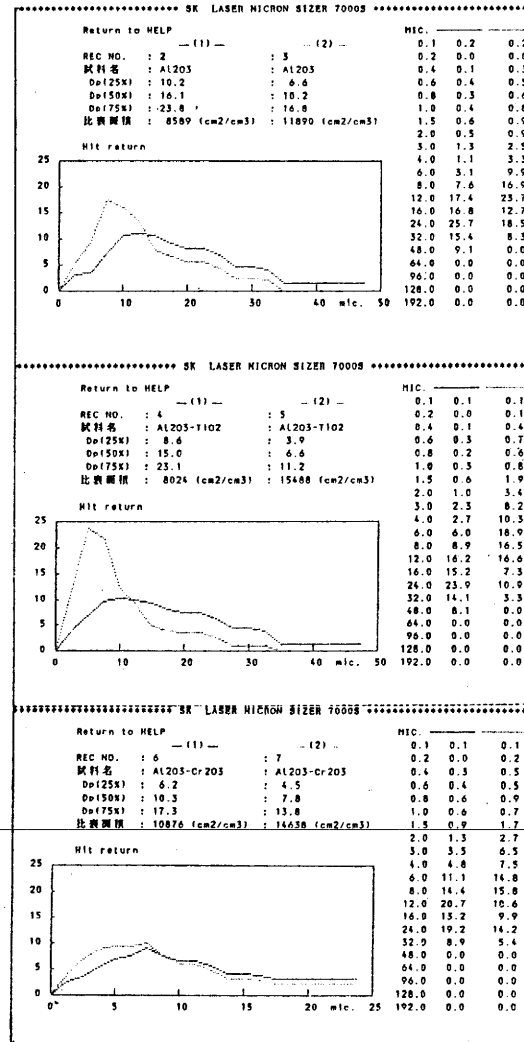


図2 溶射粉末の粒度分布

2. 3 溶射方法

プラズマ溶射機は80KW出力。セラミックスパウダーは、Under coatにNi-Mo-Al系のものを使用。溶射方法については、選定した粉末に適した表3のメーカー推奨条件である。なお、Under coatは、どの溶射剤およびどの粒度の場合でも共通している。

溶射後は、2.2項で示した表1のE（研磨の度合）の表面粗さとなるように加工した。また封孔処理は表面粗さを測定してから実施した。これは、過去のかじり摩耗試験機による実験から、セラ

ミックス内部に浸透していない接触面上の封孔剤が摺動時には潤滑的な役割を果たす接触面間の中間介在物となること、また試験の最終段階を考えれば、封孔処理前に表面粗さを測定する方が意味があると考えられたからである。

以上、摺動子の加工工程をまとめると図3のようになる。

表3 溶射条件(Top coat)

溶射剤	アルミナ		アルミナ・チタニア (6:4)		アルミナ・クロミ (1:1)	
	小 (15~5)	中 (25~8)	小	中	小	中
ガンズ 溶射距離 溶射電圧	9MB GH Ar/H ₂ 85mm 500A 85V	同左 " " " " " " 70V	9MB GH Ar/H ₂ 85mm 500A 85V	同左 " " " " " " 70V	9MB GH Ar/H ₂ 85mm 500A 85V	同左 " " " " " " 70V

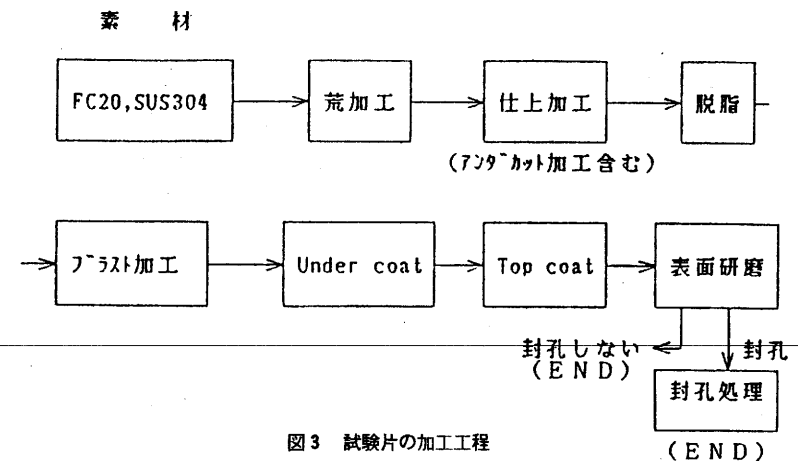


図3 試験品の加工工程

2. 4 表面粗さ

1) 固定子

溶射しない固定子 (SUS304) の表面粗さは、 $Ra=0.24\mu m$ 、 $Rmax=2.84\mu m$ 、 $Rz=2.02\mu m$ である。

2) 摺動子

摺動子の表面粗さは、 $\nabla\nabla$ 、 $\nabla\nabla\nabla$ 、 $\nabla\nabla\nabla$ &ラピグの3種類であるが、研磨は#140 (大) と#600 (小) のダイヤモンド砥石を使い、 $\nabla\nabla\nabla$ &ラピグについては#600で研磨後、ダイヤモンドペーストでラッピングした。図4は、摺動子18種類の表面粗さを測定し、各研磨の度合毎にデータをまとめた結果であり、これにより表面粗さの度合を確認した。

$\nabla \nabla$ X σ_{n-1}			
Ra	0.77	0.25	
Rmax	6.53	2.60	
Rz	6.73	1.63	
$\nabla \nabla \nabla$ X σ_{n-1}			
Ra	0.27	0.15	
Rmax	4.08	1.29	
Rz	3.01	1.06	
$\nabla \nabla \nabla$ & ラピグ X σ_{n-1}			
Ra	0.25	0.15	
Rmax	3.75	1.49	
Rz	2.86	1.20	

図4 摺動子の表面粗さ (単位: μm)

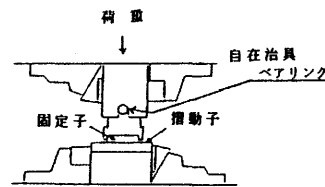


図5 試験片の取付状態

※ 右、左は固定子の摺動子に対する位置

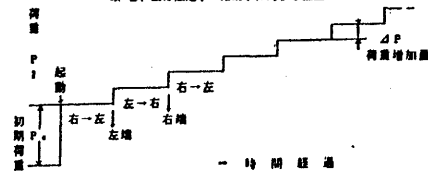


図6 間歇モード方式

固定子	: SUS304, $\nabla\nabla\nabla$
摺動子のメタル	: Ni-Mo-Al系
試験条件	: 乾式, 自在治具
	摺動距離 40mm/1摺動
	停止時間 0 sec

表4 その他の条件

3. 試験方法

溶射面の摺動特性を調べるのに使用した試験機は、図5で示される試験ができる (株) 京都試作研究所製の油圧式微動凝着型のかじり摩耗試験機である。図のように、上部から負荷された固定子と左右に往復運動するテーブル上にバイスにより取り付けられた摺動子によって摺り合せ試験ができるようになっている。固定子に作用する荷重は図6の間欠モード方式にしたがって順次増加させた。2項で記載しなかったその他の試験条件は表4のとおりである。

試験時の負荷方法は、いきなり大きな面圧をかけるのは問題であり、実用化であるから、まず耐えられそうな荷重で実施すべきであろうと考えられるが、面圧を固定した試験では、知りたい特性があまり測定できず効率的と言えない。また、この試験の目的は、摺動に耐えうる荷重の最大値を調べ、セラミック溶射面の摺動性を評価すること、そして適切な溶射材料の選択によって、ステンレス鋼のかじり対策としてセラミックスが有効かどうか検

討することが狙いである。

そこで、初期荷重をこれまでの試験条件より低く設定し、試験時の荷重を漸増方式とした。初期荷重100kgf、荷重増分約30kgf摺動である。

以上の条件で、18種類の試験片組合せについて、かじり摩耗試験を行った。また、反復時には摺動速度を20%ダウンさせた。試験は、摩擦力が250kgfに達したときの荷重値と試験中の摩擦力の変化を記録した。

4. 実験結果

4. 1 試験データ

表5は各試験片組合せにおける摺合せ試験の結果である。表中のSN比は、計測データを評価するためのレベル値で、最終摺動時の最大押付荷重を望大特性、また摩擦力のグラフから読み取った1摺動時の摩擦力 (摺動中の最大値) を望小特性として扱った。

ここで、SN比変換は次式に従った。

○ 望大特性

$$\eta = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum \left(\frac{1}{y_i} \right)^2 \right] \dots\dots 1$$

○ 望小特性

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum y_i^2 \right) \dots\dots 2$$

ただし、 n : 繰返し数
 y_i : 各データ

変換式で、対数をとっているのは平均値とばらつきの効果を含むデータに加法性を持たせるためである。

さて、表の測定データであるが、かなりばらついているデータがある。これは、摩擦力のグラフをパターン化した単純な図7である程度説明できる。つまり、試験方法が荷重を漸増させる方式であるから、荷重がアップすれば当然それとともなって摩擦力も大きくなる。しかし、この程度が顕著であるか、緩慢なのか、また摺動中の状態が安定しているかどうか。さらに、これらが複雑に合わさった形態などに分類

表5 実験データとSN比

No.	摩擦材料の組合せ A B C D E	1 摺動時の 摩擦力			最大 押付荷重		
		kgf		SN比	kgf		SN比
		n1	n2	η (db)	n1	n2	η (db)
1	1 1 1	1 1 1 1 1	250 250	-47.98	150 140	43.21	
2	1 1 2	2 2 2 2 2	85 84	-38.54	435 400	52.39	
3	1 1 2	1' 3 3 3 3 3	160 178	-44.52	275 295	49.08	
4	1 2 1	1 2 2 3 3	80 187	-43.16	225 165	45.49	
5	1 2 2	2 3 3 1 1	115 57	-39.16	1020 855	57.84	
6	1 2 2	1' 3 1 1 2 2	178 184	-44.61	285 300	49.17	
7	1 3 1	2 1 3 2 3	90 72	-36.22	430 440	52.77	
8	1 3 2	3 2 1 3 1	71 180	-41.85	330 280	49.77	
9	1 3 2	1' 1 3 2 1 2	31 31	-29.83	1200 1215	61.64	
10	2 1 1	3 3 2 2 1	183 187	-44.87	845 305	51.82	
11	2 1 2	1 1 3 3 2	250 250	-47.98	135 150	43.04	
12	2 1 2	1' 2 2 1 1 3	124 85	-40.53	385 400	51.63	
13	2 2 1	2 3 1 3 2	78 109	-39.53	1240 515	58.58	
14	2 2 2	3 1 2 1 3	154 177	-44.40	275 295	49.08	
15	2 2 2	1' 1 2 3 2 1	118 250	-45.80	280 145	45.08	
16	2 3 1	3 2 3 1 2	112 140	-42.08	320 270	49.30	
17	2 3 2	1 3 1 2 3	37 40	-31.72	1215 1105	61.28	
18	2 3 2	1' 2 1 2 3 1	112 104	-40.67	365 365	51.47	

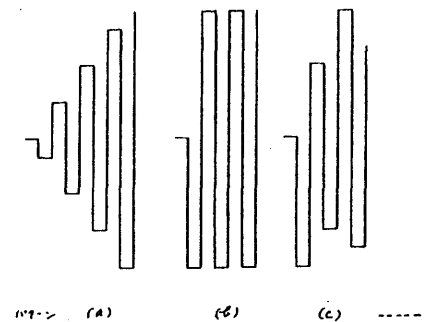


図7 摩擦力のパターン

される。このうち、ばらつきの大きいものは、摺動初期の段階から相当大きな摩擦力を示し、荷重が増加してもこの状態にあまり差がなく、しかも摺動中この特性が複雑に変動していきわめて不安定な形態に属している。従って、ある種の試験片組合せの試験においては、いつ試験が終了しても何ら不思議ではない。データがばらついていることも理解される。

4. 2 データ解析

表5のSN比のデータを各特性値ごとに直交表の解析をする。これは、かじり摩耗特性に関する摺動子の溶射処理条件の違いを知るため、試験データから2項の表1で示した各因子の効果が定量的に把握できるからである。

ただし、制御因子で擬水準となった粒度Cとこれに関連する誤差については修正した。直交表の解析には、工業技術院計量研究所の秦、石田の両氏によるプログラム(菱光技報、63,2.1,第25巻288-9号、P4-6)を使用した。これは、MS-DOS/N88 BASIC上で起動するパソコンによるデータ解析用ソフトである。なお、計算結果は表6、7にまとめた。

表6 望大特性のANOVA (押付荷重)

要 因	f	S	V	ρ (%)
A 母材の材質	1	0.33 ●	0.33	---
B 溶 射 剤	2	105.34	52.87	17.5
C 粒 度	1	10.31 ●	10.31	---
D 封 孔 処 理	2	61.64	30.82	8.8
E 研磨の度合	2	245.61	122.80	45.2
e 誤 差	9	82.36	9.15	---
e' ●印アーク	11	93.02	8.48	28.5
T 合 計	17	505.61		100.0

表7 望小特性のANOVA (1摺動時の摩

要 因	f	S	V	ρ (%)
A 母材の材質	1	5.22 ●	5.22	---
B 溶 射 剤	2	150.24	75.12	32.6
C 粒 度	1	5.86 ●	5.86	---
D 封 孔 処 理	2	55.89	27.94	9.3
E 研磨の度合	2	100.52	50.26	20.3
e 誤 差	9	88.21	9.80	---
e' ●印アーク	11	99.29	9.03	37.8
T 合 計	17	405.94		100.0

4. 3 かじり摩耗特性に影響する要因効果

まず、押付荷重は大きいほど耐荷重性があるとして解析した表6から、最も寄与率の大きいのがE (45.2%)で、研磨度合が良好なほどよい。ラッピングしたものが最も良かった。これについて、溶射剤B (17.5%)である。クロミヤの場合で最もよく、溶射剤の選択に効果がある。また、封孔処理D (8.8%)の仕方にも影響がある。ハケ塗りをしたフェノールでよい結果となっている。このほか、母材の材質には影響せず、また溶射剤粒度にも余り関係していないようである。

次に、1摺動時の摩擦力は小さい程、摺動性に優れると考えて解析した表7についてであるが、この特性値においても押付荷重の場合と同様な結果を得た。ただし、研磨の度合E (20.3%)よりも溶射剤B (32.6%)の選択効果の方でより寄与している。

以上の効果が認められた要因について、その水準間の傾向を図8、9に示した。

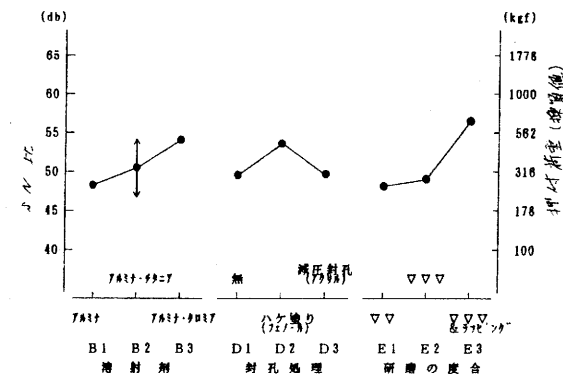


図8 かじり摩擦特性に対する各因子の影響 (押付荷重の場合)

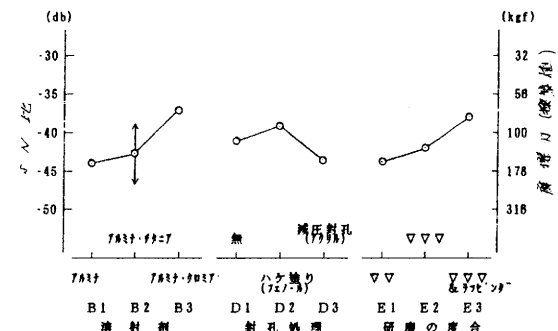


図9 かじり摩擦特性に対する各因子の影響 (摩擦力の場合)

5. まとめ

セラミックス溶射のバルブ摺動部への適用性を検討するため、鋳鉄およびステンレス鋼を基材にアルミナ、チタニア、クロミヤを摺動子に溶射し、かじり摩耗試験機を用いた実験により溶射面の摺動性を評価した。

その結果をまとめると次のようになる。

- 1) SUS304同士では、過去の実験から約500kgf前後でかじりを生じていたのに対して、摺動子を溶射することによって、耐かじり対策となることが明らかになった。
- 2) 良好な摺動条件は、溶射処理材料の適切な選定によって可能である。3種類の溶射材のうちクロミヤが最もよく、研磨加工後、ラッピングすればより摺動性が向上する。
- 3) 母材の影響が小さく、FC材を使用すれば、機能性が付与されることになる。

なお、今後の課題は比較的高価なバルブにおいて、摺動が激しく、よく摩耗すると思われる箇所にセラミックス溶射を適用させ、付加価値を付与させたバルブ開発を行うことである。

[参考文献]

- 1) 矢野 宏：計測管理の実際、工業調査会（1986）
- 2) 中山勝之、矢野 宏：バルブのかじり試験評価法の検討（標準化と品質管理、Vol. 35.1982.8）