

業 務 報 告 書

昭和 54 年度

滋賀県立機械金属工業指導所

彦根市岡町 52 番地

ま え が き

昭和54年度は円安問題、原材料等の卸売物価の上昇、更には原油価格の異常な高騰からくる物価上昇の抑制を図るために、数次にわたり公定歩合が引上げられたにもかかわらず、内外需要の活発な動きに支えられて、我が国の経済は拡大基調に終始しました。この経済拡大の中であって本県の機械金属業界も順調に推進した一年であったと思います。しかしながら、前述の経済要因に加え我が国の経済をめぐる内外環境の厳しさを反映して今後景況の見透しは判然としない情勢であります。

経済をとりまく環境は目まぐるしい状況下であって、今後の見透しに不確定要因の多い環境に対処するには、企業としての特徴、企業独自の技術力の向上に努め、活力ある企業活動を総合的に展開することが大切であると思います。業界の自主努力に応えるために、業界各位との場を更に深めながら、業界の技術上の問題点を把握し、互に協力しその探求に努め、技術の向上に寄与して参りたいと考えております。また技術指導、そのための研究等を通じて業界発展のために所員一同努力しておりますので、業界各位からの御高見を期待していると共に、なお一層の御支援と御鞭達を賜われれば幸いと思っております。

業界の技術向上の一助として当指導所が昭和54年度実施しました鑄造、機械加工、自動化、省力化等の技術指導および製品改良等の研究を行い、また一方巡回技術指導による問題点の解決、あるいは技術者研修、講習会による人材の育成、技術の普及を通じて地場産業であるパルプ業界をはじめ県下全域の機械金属工業の技術向上に努めてきました。その概要を本報告にまとめました。本報告書を契期として、技術上の問題解決に当指導所を十二分に活用されんことを期待している次第であります。

所 長 上 田 敬

滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書

昭和54年度

目 次

I 概 要	
I-1 沿 革	A-1
I-2 規 模	A-1
I-3 組 織	A-3
I-4 職員構成	A-3
I-4-1 職員の異動	A-3
I-5 予算および決算	A-4
I-6 試験研究設備の整備状況	A-7
I-7 主要設備	A-7
II 業 務	
II-1 依頼業務	A-11
II-1-1 依頼試験受付件数及調定金額	A-11
II-1-2 機械設備使用状況	A-11
II-2 指導業務	A-13
II-2-1 一般巡回技術指導	A-13
II-2-2 公害巡回技術指導	A-13
II-2-3 簡易巡回技術指導	A-14
II-2-4 中小企業中期技術者研修の実施	A-14
II-2-5 講習会・研究会	A-16
II-2-6 技術相談	A-16
II-2-7 出版刊行物の配布	A-17
II-2-8 調 査	A-17
II-2-9 生産技術研究会	A-17
II-3 研究業務	
中子をようする金型鑄物の実用化に関する研究(II)	1
ステンレス鋼における、かじり摩耗について	14
鑄鉄製バルブの防食技術の開発	25
バルブ部品加工における LCA 化の研究	35
バルブの設計改良の研究	54
(内圧によるバルブの歪と凍結によるバルブの割れ現象について)	

I 概 要

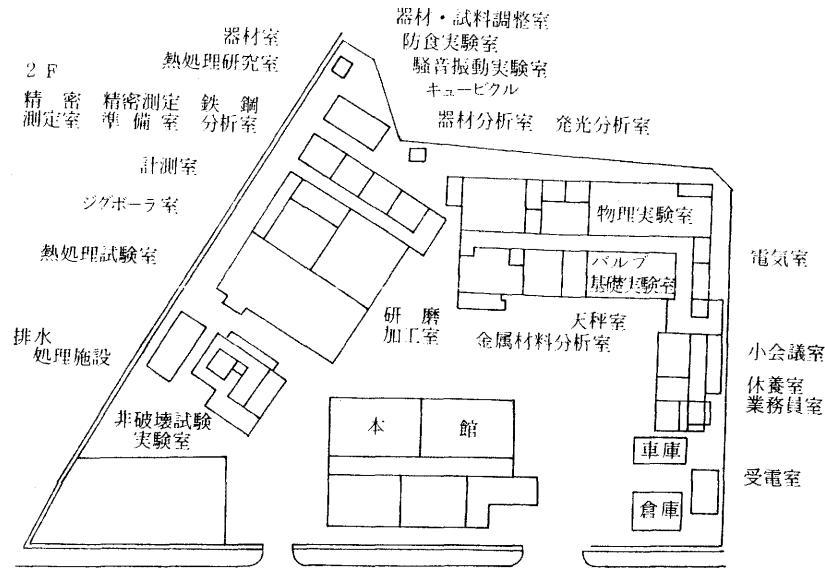
I-1 沿革

昭和21年5月	既設機械工養成所施設を引継ぎ、長浜市に県立長浜工業試験場を設置、機械、繊維の2部制にする。
昭和23年7月	木工部を増設
昭和27年4月	繊維部を分離し、滋賀県立機械金属工業指導所と改称
昭和34年4月	本指導所の整備計画、ならびに彦根市に移転、庁舎新築を決定
昭和35年10月	庁舎新築工事、試験分析設備の設置を完了、新庁舎にて業務を開始
昭和38年3月	別館（精密機械加工、熱処理中間試験室、シグボラ室、その他研究室）を増築
昭和43年1月	別館2階実験研究室を増築
昭和45年12月	R I 透過試験棟を増築
昭和46年9月	試料調整室を増築
昭和48年11月	新館増築工事に着工
昭和49年10月	新築竣工

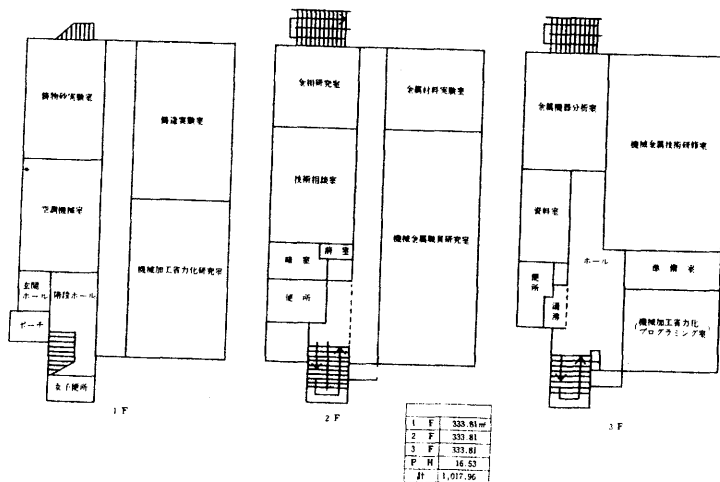
I-2 規模

敷地面積	3,400.68 m ²
建物総面積	2,273.42 m ²
本館	1,017.96 m ² （鉄筋コンクリート三階建）
別館	562.53 m ² （鉄筋コンクリート補強ブロック平屋建）
実験研究棟	487.96 m ² （鉄筋コンクリート補強ブロック一部二階建）
非破壊試験棟	78.70 m ² （鉄筋コンクリート補強ブロック平屋建）
その他	126.27 m ²

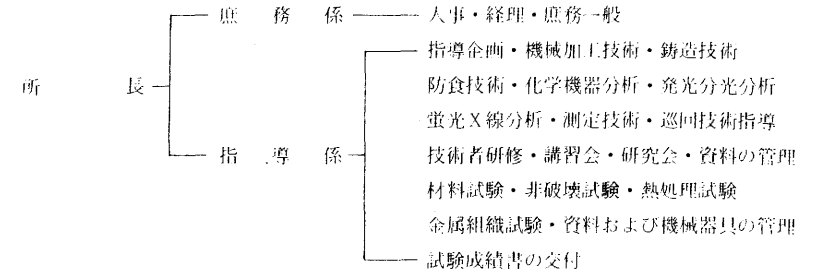
建物配置図



本館の各室配置図



1-3 組織



1-4 職員構成

所長	技術吏員	土田 敬
専門員	"	河崎 勲
庶務係長	事務吏員	饗場 誠司
係長	"	饗場 美智子
業務員	業務員	塚田 修太郎
指導係		
係長兼主査	技術吏員	河崎 勲
主査	"	河崎 久男
"	"	齊田 雄介
"	"	三澤 信藏
"	"	森村 明義
"	"	村山 勝之
"	"	中山 進司
"	"	樋口 英志
"	"	西内 広賢
"	"	宇野 一

1-4-1 職員の異動 昭和55年4月1日

新		旧
当所専門員	河崎 勲	当所専門員兼指導係長
県立長浜農業高等学校事務長	饗場 誠治	当所庶務係長
当所庶務係長	居原 浩一	草津土地改良事務所主査
当所指導係長	齊田 雄介	当所主査
商工労働部商工課主査	三澤 信藏	当所主査

当所主査
新 採

村 口 明 義
月 瀬 寛 二

当所技師

主 査 辻 久 男 昭和54年6月1日 死 亡

1-5 予算および決算

昭和54年度 歳入予算収入状況報告書

科 目				予 算 額	調 定 額	収 入 済 額	不 納 欠 額	未 納 額	予 算 と の 増 減 額	理 由
款	項	目	節							
使 用 料 及 手 数 料				6,724,000	8,342,900	8,342,900	0	0	1,618,900	
	使 用 料	商工使用料	機 械 金 属 工 業 指 導 所	132,000	221,300	221,300	0	0	89,300	
	手 数 料	商工手数料	機 械 金 属 工 業 指 導 所	6,592,000	8,121,600	8,121,600	0	0	1,529,600	
諸 収 入				150,000	115,250	115,250	0	0	△ 34,750	
	雑 入	雑 入	経 営 技 術 等 研 修 講 習 等 受 講 料	150,000	110,000	110,000	0	0	△ 40,000	
		雑 入		0	5,250	5,250	0	0	5,250	
合 計				6,874,000	8,458,150	8,458,150	0	0	1,584,150	

昭和54年度 令達予算執行状況報告書

科 目					令 達 予 算 額 (円)	執 行 済 額 (円)	不 用 額 (円)	備 考
款	項	目	節	細 節				
総 務 費					899,300	898,962	338	
	総務管理費				899,300	898,962	338	
		一般管理費			699,300	698,962	338	
			賃 金		699,300	698,962	338	
		財産管理費			200,000	200,000	0	
			需 用 費		200,000	200,000	0	
				そ の 他 需 用 費	200,000	200,000	0	
商 工 費					21,612,000	21,610,746	1,254	

科 目					令 達 予 算 額 (円)	執 行 済 額 (円)	不 用 額 (円)	備 考
款	項	目	節	細 節				
	商 工 業 費				740,000	740,000	0	
		商 工 業 費 総 務 費			740,000	740,000	0	
			旅 費		500,000	500,000	0	
			役 務 費		200,000	200,000	0	
				そ の 他 役 務 費	200,000	200,000	0	
			使用料及び 賃 借 料		40,000	40,000	0	
	中 小 企 業 費				20,872,000	20,870,746	1,254	
		中 小 企 業 指 導 費			2,704,000	2,704,000	0	
			報 償 費		721,000	721,000	0	
			旅 費		848,000	848,000	0	
			需 用 費		535,000	535,000	0	
				食 糧 費	106,000	106,000	0	
				そ の 他 需 用 費	429,000	429,000	0	
			役 務 費		77,000	77,000	0	
				そ の 他 役 務 費	77,000	77,000	0	
			使用料及び 賃 借 料		71,000	71,000	0	
			備品購入費		450,000	450,000	0	
			負担金補助 及び交付金		2,000	2,000	0	
		機 械 金 属 工 業 指 導 所 費			18,168,000	18,166,746	1,254	
			報 償 費		46,000	45,550	450	
			旅 費		1,626,000	1,625,997	3	
			需 用 費		10,311,000	10,310,999	.1	

科 目					令達予算額 (円)	執行済額 (円)	不 用 額 (円)	備 考
款	項	目	節	細 節				
				食 糧 費	287,000	286,999	1	
				そ の 他 費	10,024,000	10,024,000	0	
			役 務 費		1,929,000	1,929,000	0	
				そ の 他 費	1,929,000	1,929,000	0	
			委 託 料		769,000	769,000	0	
				電 気 保 安 業務委託料	262,000	262,000	0	
				恒 温 恒 湿 点検委託料	171,000	171,000	0	
				警 備 業 務 委 託 料	336,000	336,000	0	
			使用料及び 賃 借 料		22,000	22,000	0	
			備品購入費		3,451,000	3,451,000	0	
			公 課 費		14,000	13,200	800	

事業費別決算額

指導所運営事業	6,650,199 円
試験研究指導事業	8,351,547 円
生産技術開発研究事業	211,000 円
バルブの設計改良の研究事業	2,590,000 円
焼入れによる材質の品質研究事業	364,000 円
合 計	18,166,746 円

I-6 試験研究設備の整備状況

品 目	数量	規格または型式	製 作 所 名	備 考
普 通 騒 音 計	1 式	PS-101C 型 型式承認 S-6 号	㈱ノード	中小企業庁
高周波誘導焼入装置	1 式	FRT-40H、FQB-800	富士電波工業㈱	自転車等機 械工業補助
精密低温恒温槽	1 式	特 注	㈱田葉井製作所	"
デジタル多点ひずみ測定装置	1 式	DPU-100	新興通信工業㈱	"
光電分光々度計	1 式	UV-150-02	㈱島津製作所	"
残留ひずみ測定装置	1 式	標 準 形	福井技研	"
水 圧 ポ ン プ	1 台	PH-60	㈱山本水圧工業所	県 単

I-7 主 要 設 備

品 名	規 格	購入年月日	備 考
島 津 万 能 試 験 機	電子管式 REH-30型	昭和 35. 9. 17	中小企業庁補助物件
"	電子管式 REH-100 型	46. 9. 29	"
荷 重 ひ ず み 記 録 計	島津製万能試験機用	35. 9. 17	"
工 業 用 X 線 装 置	島津製 WELTES-200	35. 9. 17	"
自 記 ボ ー ラ ロ グ ラ フ	島津製 RP-2	35. 9. 21	"
分 光 分 析 装 置	島津製 QL-170	35. 9. 17	"
試 験 用 浸 炭 窒 化 炉	島津製 200-35A	37. 2. 25	"
万 能 研 削 盤	三井精機製 MUG25×50	37. 6. 29	自転車振興会補助物件
光 電 分 光 々 度 計	島津製 QR-50	37. 6. 30	県 単
ソ ル ト バ ス 電 気 炉	友信工業㈱製 LSB-30	37. 7. 9	"
ジ グ 中 ぐ り 盤	三井精機製 JBD 型 No 3	38. 6. 17	自転車振興会補助物件

品 名	規 格	購入年月日	備 考
万 能 投 影 機	イタリアマイクロ、テクニカ社製	38. 8. 6	自転車振興会補助物件
平 面 研 削 盤	三正製作所製	38. 12. 20	"
万 能 工 具 研 削 盤	牧野フライス社製C-40	38. 12. 23	"
自 動 温 度 調 整 装 置	友信工業製FM-12	39. 9. 10	中小企業庁補助物件
万 能 顕 微 測 定 器	三井精機製MLD1000	40. 1. 10	自転車振興会補助物件
ロックウェル硬度計	明石製作所ORK型(電動)	40. 8. 20	"
二連オートメット研磨テーブル	米国ビューラー製64-1912	41. 9. 30	"
吸熱型炉気制御装置	島津製ENP-50N	41. 10. 14	中小企業庁補助物件
ファビルバリ摩耗試験機	イタリアプロリン社製	42. 2. 28	"
スーパースコープ	日本電子製JEM-30B型	43. 2. 19	自転車振興会補助物件
旋 盤	大阪工作所製BC型	43. 3. 19	"
自動クーロン滴定装置	柳本製作所CC-12型	43. 3. 28	"
ポテンシヨ、スタット	柳本製作所製UE-101	43. 3. 28	"
ストレイン、メーター	新興通信工業製DS61RX型	43. 10. 4	"
超 硬 工 具 研 磨 盤	アサヒダイヤモンド工業製SDG型	43. 9. 10	"
超 音 波 洗 浄 装 置	ブラザ工業製500W型	43. 10. 17	"
表 面 あ ら さ 計	テラーホ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	43. 12. 28	中小企業庁補助物件
工業用RI透過検査装置	芝浦電気製RRM-110-1	44. 10. 21	自転車振興会補助物件
プロジェクションオブチメーター	カルツアイスイエナ社製MOD02/20	"	"
金 属 顕 微 鏡	日本光学製ME型	"	"
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	"	"

品 名	規 格	購入年月日	備 考
原子吸光 炎光共用分光分析装置	日本ジャーレル、アッシュ AA-1E(S)型	44. 10. 29	自転車振興会補助物件
カット・オフ(帯鋸盤)	アマダ製CRH-300S	45. 8. 30	"
ショアーかたさ試験機	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	"
迅速イオウ定量分析装置	柳本製作所CC-22S	45. 9. 30	自転車振興会補助物件
工業用赤外線温度計	旭産業製TA-1	45. 10. 20	"
デジ・マイクロ 顕微鏡STMCCBO-1-A	オリンパス製	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	自転車振興会補助物件
オームバス・電気炉	東洋電熱工社製NC-25PLS	46. 11. 8	"
周波数自動分析記録装置	国際振動研究所製SM-2200	47. 9. 28	"
エ レ マ 電 気 炉	東海興商製CE-20	47. 10. 30	"
高温鑄物砂試験機	東京衝機製力量500kg	47. 10. 31	"
直立式鑄物砂熱膨張計	小沢製作所製EOS-1	47. 11. 20	"
曝 熱 試 験 器	小沢製作所製MO-1	47. 11. 20	"
定電位電解分析装置	柳本製作所AFS-4 4連式	47. 9. 8	"
イ オ ン メ ー タ ー	オリオン社製801型 デジタルPH/mVメーター	47. 11. 8	"
ニッサン、セドリックバン	日産自動車工業製排気量2000cc	48. 7. 31	中小企業庁補助物件
ばいじん量測定装置	D-20SC	49. 8. 12	"
メモ、モーション測定装置	松下電器製	49. 7. 31	"
万能基準かたさ試験機	計量研型SHT-3型計算装置付	49. 12. 28	"
高周波誘導電気炉	FTH-30M型サイリスタ式	49. 10. 31	"
微量砒素測定装置	ASD-1A	49. 7. 20	"
蛍光X線分析装置	理学電機工業製 ガイガーフレックス3063P	52. 3. 30	"

品 名	規 格	購入年月日	備 考
オート・クレーブ	柳本商事ナック・ドライブ式	52. 3. 30	中小企業庁補助物件
C E メ ー タ ー	リース・アンド・ノースロップ社 TECTIPマークⅢ-H	52. 3. 30	"
耐 力 測 定 装 置	島津製	52. 3. 30	"
可 傾 式 金 型 鑄 造 機	新東工業製PLS-33R	53. 8. 11	"
シャルヒー 衝撃試験機	島津製30kgm	54. 1. 17	"
自動平衡型温度記録計	千野製作所EK100-06	53. 9. 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
普 通 騒 音 計	(株)ノーFDS-101C	54. 8. 20	中小企業庁補助物件
高周波誘導焼入装置	富士電波工業製 FRT-40H、FQB-600	54. 11. 10	自転車振興会補助物件
精 密 低 温 恒 温 槽	田葉井製作所製K-3473-D1	54. 10. 31	"
ストレインメーター	新興通信工業DPU-100	54. 9. 3	"
光 電 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

Ⅱ 業

務

Ⅱ－1 依 頼 業 務

Ⅱ-1 依頼業務

Ⅱ-1-1 依頼試験受付件数及調定金額

依頼試験	1,476 件	8,121,600 円
◦強度試験	918 件	2,694,000 円
(内 訳)	引 張	2,026 試料
	抗 折	801 試料
	硬 度	1,151 試料
	そ の 他	1,557 試料
◦分析試験	414 件	4,826,200 円
(成分数	2,833 成分)	
(内 訳)	ねずみ鋳鉄	145 試料
	青銅鋳物	377 試料
	球状黒鉛鋳鉄	22 試料
	特殊鋼等	121 試料
◦金属顕微鏡写真	52 件 (237 試料)	374,000 円
◦精密測定	14 件 (107 試料)	74,900 円
◦鋳物砂試験	11 件 (12 試料)	30,200 円
◦特殊試験	17 件 (91 試料)	76,000 円
◦その他(副本)	50 件 (171 枚)	46,300 円

Ⅱ-1-2 機械設備使用状況

設備使用	89 件	221,300 円
(内 訳)		
電子管式万能試験機	30 t	204 回
	100 t	106 回
ブリネル硬度計		6 回
鋳物砂試験一式		6 回
平面研削盤		54 時間
ソルトバス電気炉		4 時間
通気性試験器		2 回
ロータップ定時篩器		2 回

万 能 投 影 機	11 時間
光学式治具中ぐり盤	99 時間
電 気 マ ッ フ ル 炉	6 時間
鑄物砂強弱試験器	2 回
そ の 他	

Ⅱ－2 指 導 業 務

Ⅱ-2 指導業務

Ⅱ-2-1 一般巡回技術指導

期 間	対 象 企 業	指 導 講 師	内 容
54 8.20	神港精機(株)守山工場	㈱経営企画研究所 副社長 西山 輝	生産管理について
12.13	近江製缶(株)	技術士 池田 寿紀	プレス加工の安全管理について
12.14	関工(株)あいばの工場	〃	工場レイアウトについて
12.15	佐藤製作所	〃	プレス金型材の熱処理について
55 1.18	湖北精工(株)	川崎重工業㈱西神戸工場 機器工作課長 大堀 正行	生産ラインの合理的なレイアウト 外注単価の決め方等
2.13	トキワ精機(株)	〃	外注・資材・工程管理について
3.12	東洋精器(株)	〃	単品加工における複数機械使用の 合理的レイアウト方法等
2.26	協和工業(株)	大阪府立工業技術研究所 技師 浅岡 武之	自動検査・自動組立方策について
2.27	松井鉄工所	〃	油圧知識について
3. 3	㈱中主製作所	〃	機料供給について油圧機構

Ⅱ-2-2 公害巡回技術指導

期 日	対 象 企 業 名	指 導 内 容
54 5.28	清水工業(株)	ばいじん測定及指導
5.29	〃	騒音、振動測定及対策

期 日	対 象 企 業 名	指 導 内 容
10. 3	戸倉商事(株)際川工場	振動測定及防振対策
11.13	清 水 工 業 (株)	騒音、振動測定
11.21	〃	ばいじん測定及指導
11.27	第二吉清鋳造(株)	〃
11.29	〃	振動測定及対策
12.13	戸倉商事(株)際川工場	防振処置後の振動測定
12.17	彦根鋳工(株)外町工場	騒音測定
	〃 松原工場	騒音、振動測定及防振指導
55 3.24	清 水 工 業 (株)	ばいじん測定
	〃	騒音、振動測定指導

Ⅱ-2-3 簡易巡回技術指導

期 間	対 象 企 業	指 導 内 容	指 導 員
54.9.1～ 55.3.18	県下の金属製品製造業及一般機械器具 製造業 30企業	生産管理および加工技術	当所職員

Ⅱ-2-4 中小企業中期技術者研修の実施

- (1) コース名 金 属
- (2) 研修期間 昭和54年7月3日より同年8月10日まで
- (3) 研修会場 大津市打出浜3-7
滋賀県産業振興協同組合研修室
- (4) 研修科目と時間および講師

月日(曜)	時 間	講 義 題 目	講 師 名
7・3(火)	9 10 30 10 00	開 講 式	
	10 12 00 12 00	中小企業施策の概要	
	13 16 00 16 00	塑性加工	技 術 士 池 田 寿 紀
7・5(木)	9 12 00 12 00	電気の安全と基礎知識	関西電力(株)大津支店 サービス担当 米 川 秀 夫
	13 16 00 16 00	電力の省資源・省エネルギー	関西電力(株)大津支店 省エネルギー担当副長 坪 田 次 郎
	16 19 30 19 30	計測器機構	(株)津上 計測器課長 風 間 正 也
7・10(火)	9 12 00 12 00	製品開発(今あなたはなにをやるべきか)	(株)京都試作研究所 所 長 中 川 悟 孝
	13 16 00 16 00	プラスチック加工と部品設計	大阪府立工業技術研究所 主任研究員 里 見 英 一
7・12(木)	9 12 00 12 00	職場の人間関係	関西言論科学研究所 所 長 金 井 金子郎
	13 16 00 16 00	溶 接 技 術	東亜精機(株) 製造課長 野 田 卓 継
7・17(火)	9 12 00 12 00	塗料と塗装について	中国塗料(株) 主 任 佐 伯 顯
	13 16 00 16 00	塗装の廃液処理	ユニチカ(株)エンジニア事業部 課 長 山 下 宣 詔
7・20(金)	9 16 00 16 00	生産性向上のための作業改善	中小企業振興事業団 登録指導員 西 川 禎 二
	16 19 30 19 30	職場の交通整理	大阪中小企業投資育成(株) 調 査 役 藤 山 鉦一郎
7・24(火)	9 12 00 12 00	品質と経済性	大阪府立産業能率研究所 白 畑 勝 年
	13 16 00 16 00	搬送の省力化	〃
7・26(木)	9 12 00 12 00	金属材料の特性と用途	滋賀県立短期大学 教 授 山 田 始
	13 16 00 16 00	JISにもとづく作図法	滋賀県立短期大学 教 授 中 江 栄 一
8・1(水)		工場実習 草津電機(株)	
8・2(木)		工場実習 滋賀産業(株)	
8・3(金)		工場実習 当 所	
8・10(金)		修 了 式	

(5) 受講者および修了者

受 講 者 22名

修 了 者 16名(修了証書を授与)

Ⅱ-2-5 講習会・研究会

期 日	題 目	講 師	場 所	受講人員
54 5. 11	油圧装備機械のトラブル対策と回路設計	大阪府立工業技術研究所 浅 岡 武 之	彦根勤労福祉会館	40
11. 13	所内研究発表会	当 所 職 員	〃	35
11. 29	粉体塗料と塗装方法について	東亜合成化学工業㈱ 成 瀬 尚 彦	当 所	33
〃	粉体静電塗装機について	小野田セメント㈱ 齊 藤 弘	〃	
55 2. 21	表面硬化処理法	三菱金属㈱ 小 川 博 之	彦根勤労福祉会館	35
〃	耐熱・耐食材料の選定	三菱金属㈱ 田 村 玄	〃	
3.4~3.5	『アイデア・エンジニア』 の育成と新製品開発 外2題	シンボ工業㈱ 柏 原 学 外2名	滋賀県産業振興協 同組合	57
3. 11	80年代の中小企業と製品開発のあり方	柴 田 献 一	当 所	27

Ⅱ-2-6 技 術 相 談

加 工 技 術	24 件
鋳 造 技 術	17 件
材 料	13 件
熱 処 理 技 術	17 件
材 料 組 織	7 件
治 具 工 具	4 件
耐 食・耐 摩 耗	12 件
材 料 分 析	2 件
設 計 技 術	9 件
公 害	3 件
測 定 技 術	13 件
表 面 処 理	5 件
溶 接 技 術	5 件
運 搬 管 理	1 件
計	133 件

Ⅱ-2-7 出版刊行物の配布

業 務 報 告	200 部
研 究 報 告	50 部
機 工 指 だ よ り	No.10、No.11、No.12 各 600 部

Ⅱ-2-8 調 査

- (1) 地場産業景気動向調査 20回
昨年度につづいて1-4半期ごとに企業訪問して実施した。
- (2) 操業度調査
バルブの内、船用、陸用、水道用の専門加工企業3社を選定して、1ヶ月毎に累計した。
- (3) 設備近代化資金および設備貸与貸付申込企業の事前調査
設備近代化関係 5 企業
設備貸与関係 22 企業

Ⅱ-2-9 生産技術研究会

昭和54年度事業経過報告

昭和54年度役員

会 長	古 河 政 男 (H之本弁工業KK)
幹 事	葛 蒲 池 功 (KK鈴木機械製作所)
	浜 川 勲 (松尾バルブ工業KK)
	松 井 繁 徳 (大日本スクリーン製造KK)
	木 村 一 夫 (KKイズミ製作所)
	河 崎 勲 (機金工指)
会計監事	丸 本 芳 男 (KK清水合金製作所)
	村 岸 恒 彦 (大洋工業KK)
事 務 局	齊 田 雄 介 (機金工指)

昭和54年度事業経過

年 月 日	事 業 内 容	出席者
54. 5. 11	昭和54年度生産技術研究会総会 昭和53年度事業経過報告・会計報告・役員選挙 講習会 油圧装備機械のトラブル対策と回路設計について 大阪府立工業研究所 技師 浅岡武之氏	18名 35名
54. 6. 10	会報第16号発行	
54. 7. 10	工場見学 ㈱松原鉄工所滋賀工場(八日市市上之町)	参加者 16名

54. 9. 26 講習会 塗料と塗装について 参加者 19名
 東亜ペイント㈱ (大阪市北区堂島浜)
 主事 植田 新一氏・松村 豊弘氏
 工場見学 粉体塗装 ㈱大東塗装工業所 (大阪府枚方市)
54. 10. 10 会報第17号発行
54. 11. 29 講習会 (1) 粉体塗料と塗装方法について
 東亜合成化学工業㈱ 成瀬 尚彦氏
 (2) 静電粉体塗装機について 小野田セメント㈱ 斉藤 弘氏
 (3) 静電粉体塗装実演 参加者 33名
55. 2. 12 会報第18号発行
55. 2. 21 講習会 (1) 耐熱・耐食材料の選定 三菱金属㈱ 小川 博之氏
 (2) 表面硬化処理法 (ステライト等) 三菱金属㈱ 田村 玄氏
 参加者 33名
55. 3. 11 講習会 80年代の中小企業と製品開発のあり方
 京都デザインセンター 所長 柴田 献一氏 参加者 35名

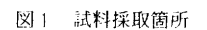
II-3 研究業務

技師 松 川 進

昭和53年度において地場産業であるバルブを例にとり、中子を伴う球状黒鉛鋳鉄鋳物の金型製造を
実用化すべく種々検討した結果、鋳物の形状、大きさにより異なるが標準的には高炭素・低硅素で金
型温度は150℃以下、離型時間も短かく、また塗型は薄く均一に3層にすれば引け、鋳肌も良好で金
型寿命も長くすることが可能である。また中子の併用により鋳放しのままでも160～190HBの硬さの
鋳物が得られ、使用条件によっては焼鈍工程の省略も可能である事が確認できた。

- (1) 肉厚あるいは冷却速度の違いによる物性、特に硬さの差
- (2) 肉厚変動部の湯じわ
- (3) 色むらの問題
- (4) 塗型の厚み、および施し方
- (5) 接種による材質の改良とその方法

2. 試料採取



口径50mmの水道用仕切弁本体から図1に示す箇所より組織試料を採取した。また、硬さも組織との関連性を調べるため組織と近傍箇所にて測定した。

3. 条 件

試料の鑄造および熱処理条件は表1に示すが、表中のAおよびDは合成砂でのライン鑄造したものである。

表1 試 料 内 容

試 料	材 質	鑄 型	処 理
A	球状黒鉛鑄鉄	砂 型	鑄 放
B	"	金 型	"
C	"	"	焼 鈍
D	片状黒鉛鑄鉄	砂 型	鑄 放
E	"	金 型	"
F	"	"	焼 鈍

但し、材質は球状黒鉛鑄鉄：FCD45
片状 " ：FC20
焼鈍は920℃×1 hr

また、B・CおよびE・Fは表2に示す条件によって鑄造したものである。

表2 金型鑄造条件

項 目	条 件
C ・ Si 量	C : 3.4~3.7% Si : 2.3~2.6%
湯 口 方 案	落 込 み
金 型 温 度	100 ℃
塗 型 剤	3 層 (Si-Ti-Al-Mg系 Si-Al-Fe系 アセチレンすす)
離 型 時 間	15 sec

但し、C・Siは目標成分である。

各試料の化学成分を表3に示す。

4. 実験方法

4-1 組 織

図1に示した箇所より採取した試料を鏡面仕上げし、西独Leitz社製の金属組織解析装置TAS

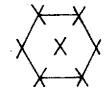
表3 採取試料の化学成分

成分 種別	(%)				
	C	Si	Mn	P	S
A	3.74	2.74	0.20	0.032	0.008
B	3.52	2.48	0.21	0.064	0.016
C	3.36	2.01	0.19	0.064	0.022
D	3.46	1.94	0.43	0.071	0.057
E	3.06	2.13	0.36	0.054	0.041
F	3.62	2.59	0.26	0.065	0.018

(Texture Analysing System)によって黒鉛組織の変化を追求した。

この装置は点集合論の観点から表4に示す構成要素を用いて、像を集団化または個別化させて諸パラメーターを数理形態学の理論的根拠をもとに測定するものである。

表4 構成要素の種類

構 成 要 素	図	測 定 項 目
点	×	面積・周辺長
線 分	—×—×—×—×—	弦長分布など
1 対 の 点	×—×	自己相関など
正 六 角 形		2次元の像変換・粒度分布 3方向でのインターセプト数

×印は画素点を示す。

方法は画素点(電子ビーム)が正六方格子をなすように配列された方式であり、これを白と黒の世界、すなわち画素点が像の中に入れば1、像の外であれば0と云うように、すべてを1か0の信号に分け、また測定しようとする像(組織)を選択するには像のもつ濃淡の差をグレイ・レベル・(灰色値)で検出している。つまりTVの撮像管が人間の眼に相当し、その眼に所定の灰色値を与え、全体の組織から同じ灰色値をもつ組織だけがモニター上に白くマーキングされてあらわれる。表5はTASの全構成を流れ図に示したものであるが、研磨した試料は顕微鏡に設置され、観察組織はTV撮像管を通してTVモニター上にあらわれる。そして、観察される組織の中から目的とする組織の灰色値を設定し、マーキングした後、像処理および測定を行なった。

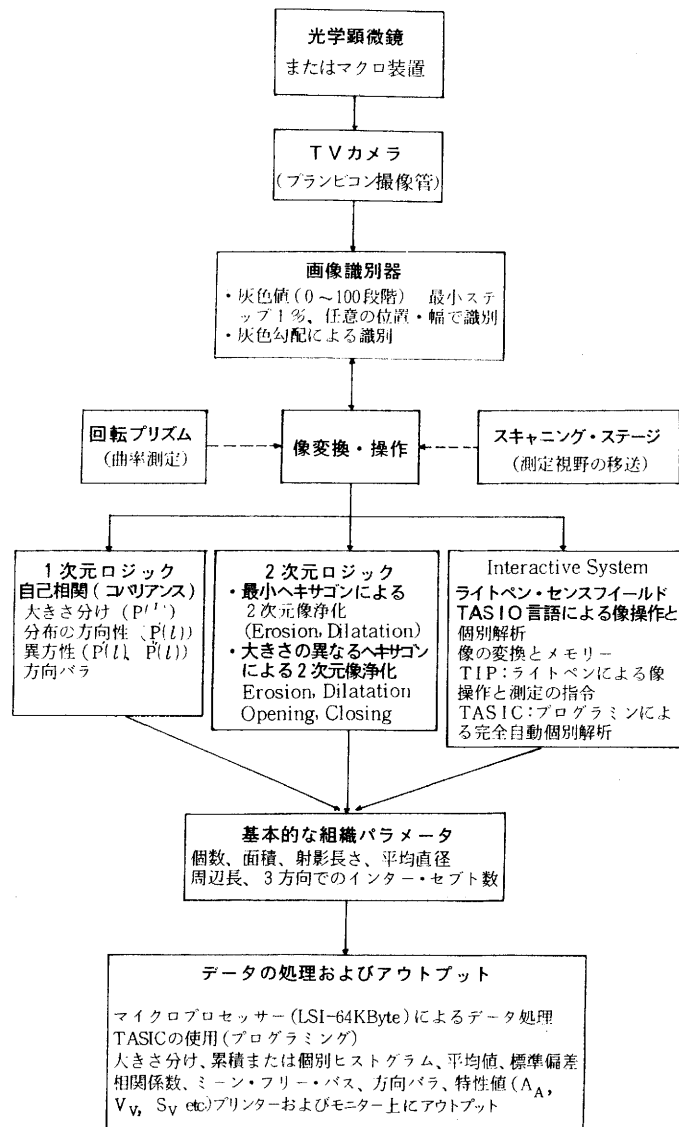


表5 TASの構成流れ図

F

4-2 硬 さ

図1に示す箇所についてショアー硬さを測定し、これをブリネル硬さに換算した。

5. 実験結果および考察

5-1 組織写真

5-1-1 砂型と金型の違い

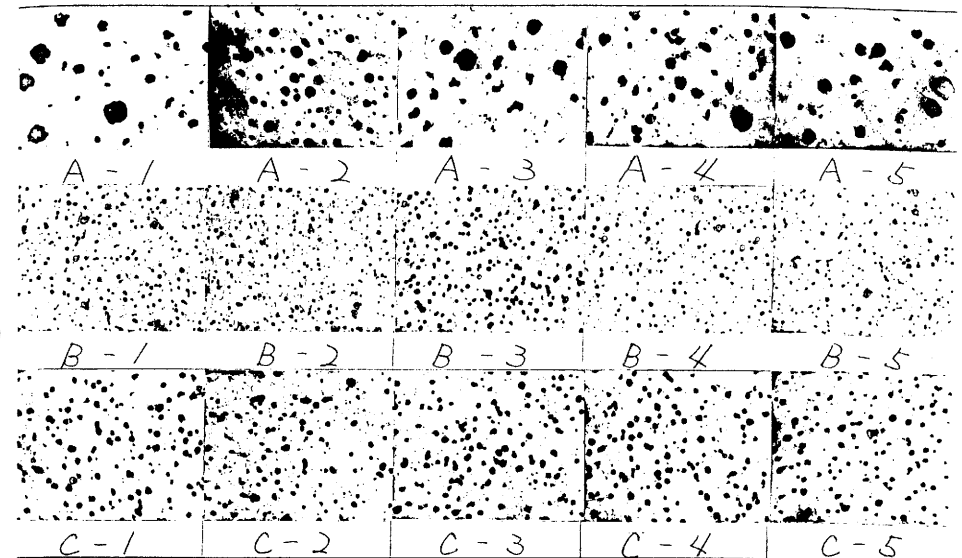


写真1 球状黒鉛鑄鉄 (腐食前)

× 100

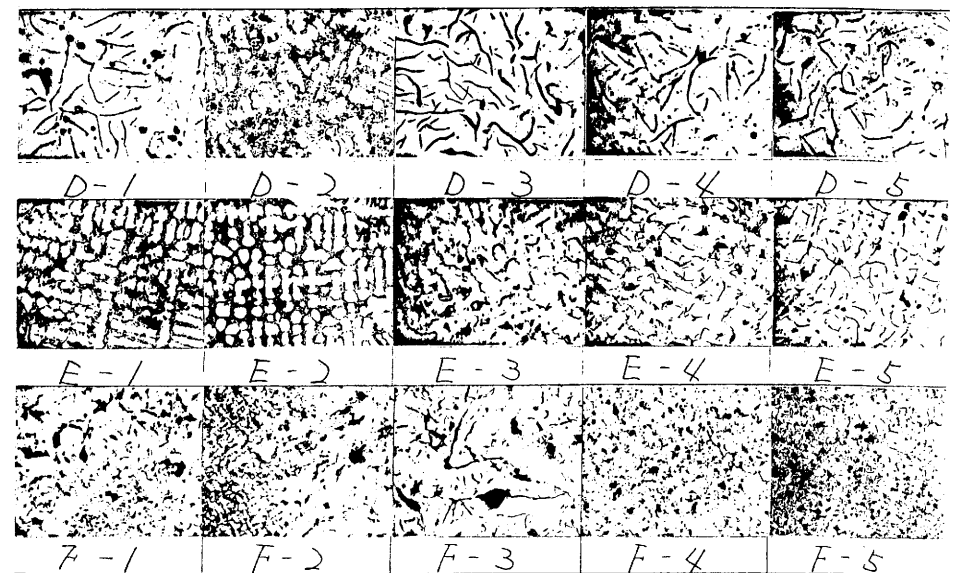


写真2 片状黒鉛鑄鉄 (腐食前)

× 100

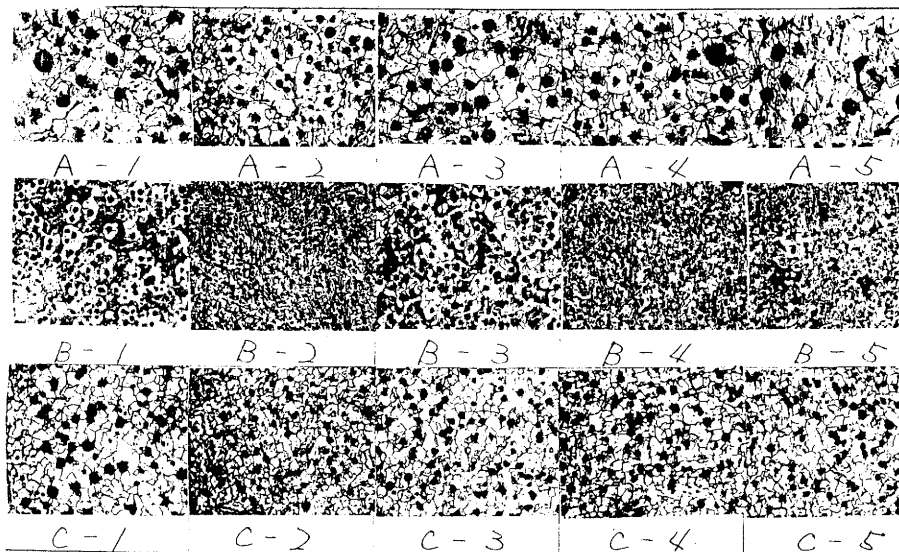


写真3 球状黒鉛鑄鉄（腐食後）

× 100

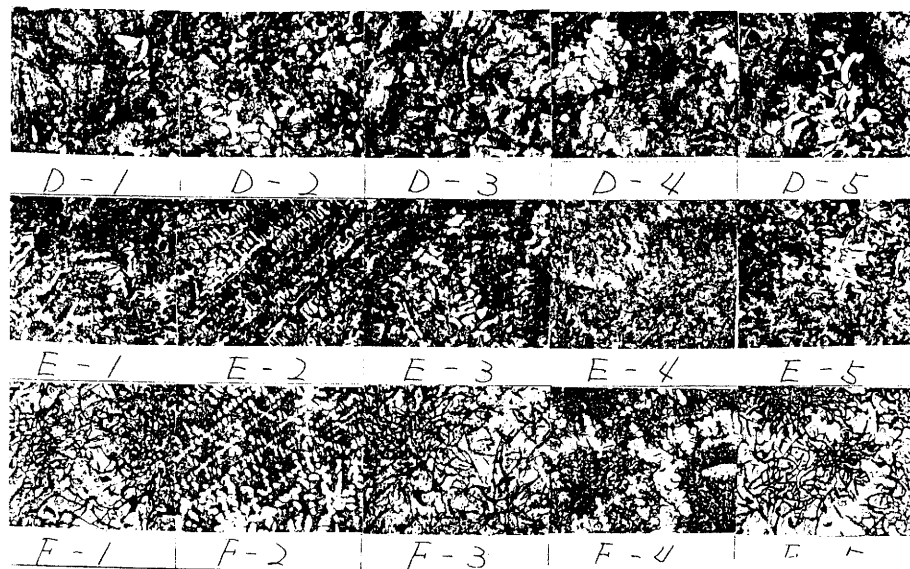


写真4 片状黒鉛鑄鉄（腐食後）

× 100

写真1～4から砂型と金型では黒鉛状態および基地組織に大きな差が生じる事が確認できた。すなわち、近似的組成の溶湯でも、それぞれ冷却速度の異なる鑄型に鑄込めば外引けなどの外観状態以上に組織面に大きな差となって表われ、金型鑄物がより緻密で均一化した組織となる事が

わかる。

球状黒鉛鑄鉄の場合、黒鉛自身も砂型に比べ金型のそれは小さいため、より丸く見える。この事は黒鉛に応力が集中した時、塊状の黒鉛が多い砂型に比し耐えうる力が強いと云える。

基地組織はフェライト中心からセメンタイトが析出するので金型鑄物はより硬くなり靱性も低下する。しかし焼鈍すれば黒鉛は若干生長し、基地も微細なフェライト地となる。

5-1-2 採取箇所による違い

球状黒鉛鑄鉄、片状黒鉛鑄鉄ともに採取位置「2」が他の位置と著しく異なる。すなわち、この部分はフランジの最外周部のため鑄型に接している面積が最も大である。このため、冷却速度が速くなり、黒鉛は細かく、基地もセメンタイト化しやすくチル傾向となる。

片状黒鉛鑄鉄は、球状黒鉛鑄鉄以上にその傾向が強い。

「1」の箇所も肉厚は「2」と同じであるが、フランジ中心部より採取した事と湯口、兼押湯部に近いこと、（片状黒鉛鑄鉄は違う）凝固は最後になり、冷却速度は非常に緩やかである。このため黒鉛は充分生長する時間があり、大きくなっている。

また、「3～5」はそれぞれ肉厚10mmと「1」「2」に比べ薄い、胴体の中心部であり連続した部分であること、およびCO₂中に接していることなどにより、やや徐冷され比較的大きな黒鉛組織になっている。

以上の点から、球状黒鉛鑄鉄は片状黒鉛鑄鉄と比較すると採取位置による差、すなわち、冷却速度による差が小さい事が確認できる。また、砂型と金型の差も基地組織を含め、総合的には採取位置同様に小さいといえる。

5-2 TASから見た黒鉛組織の変化

5-2-1 黒鉛粒徑

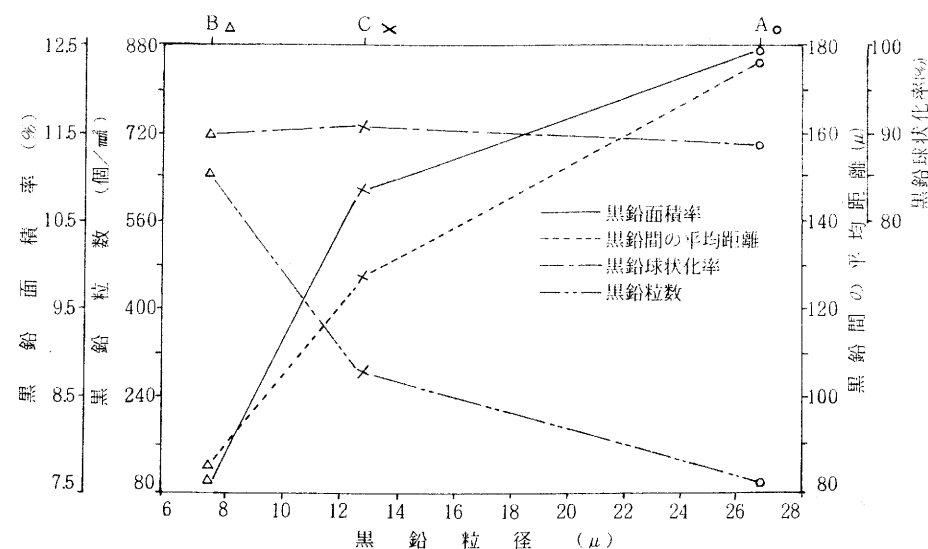


図2 球状黒鉛鑄鉄の黒鉛変化

図2は前項での結果をより明確に現わしている。

砂型鑄物の黒鉛粒径は平均 $26.8\mu\text{m}$ である。これに対して金型鑄物のそれは $7.6\mu\text{m}$ と小さく、約 $1/3$ であり、焼鈍すれば黒鉛の成長により $12.5\mu\text{m}$ と若干大きくなるが、砂型に比べればまだ相当小さい事がわかる。このことは金型などの極端に急冷される鑄型に鑄込まれた溶湯はセメンタイト凝固相を生じやすく、黒鉛化を阻害されることを意味している。

5-2-2 黒鉛面積率・黒鉛間の平均距離・黒鉛粒数

粒径ほど冷却速度に敏感ではないが、鑄型間の差は明らかである。

面積率および平均距離は粒径と比例、粒数とは反比例の関係にある。すなわち、粒径の減少は面積率と平均距離が減少し、逆に粒数は増加する。この現象をうまく利用しようとするのが金型鑄造であり、目標とする物性の高水準安定化の重要なポイントである。

5-2-3 黒鉛球状化率

図2からも明らかのように、球状化率は冷却速度にあまり関係なく、いずれも90%前後である。また、黒鉛面積率などとも関連性がなく、独立したものといえる。

球状化率と物性との相関が明確に認められない事実の裏付けの一つとしてこの点が考えられる。

5-2-4 CE値と黒鉛面積率

図3に示すように鑄型AとBに限ればCE値（炭素当量： $\text{CE} = \text{C}\% + 1/3 \text{ Si}\%$ ）が低下すれば黒鉛面積率も急激に低下する。しかし、焼鈍すればCE値が低下しても黒鉛の生長で面積率は上昇する。

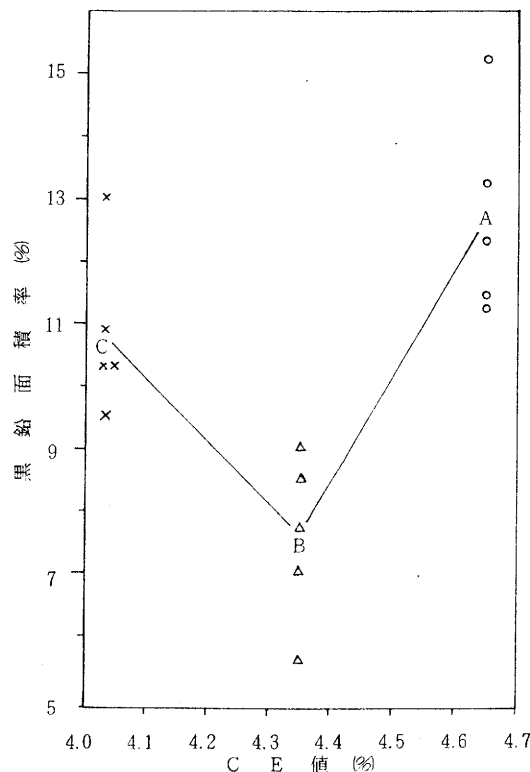


図3 CE値と黒鉛面積率

5-2-5 黒鉛分布曲線

金型は小さく、砂型は大きいという黒鉛粒径のパターンをもう少し細かく見たのが図4である。

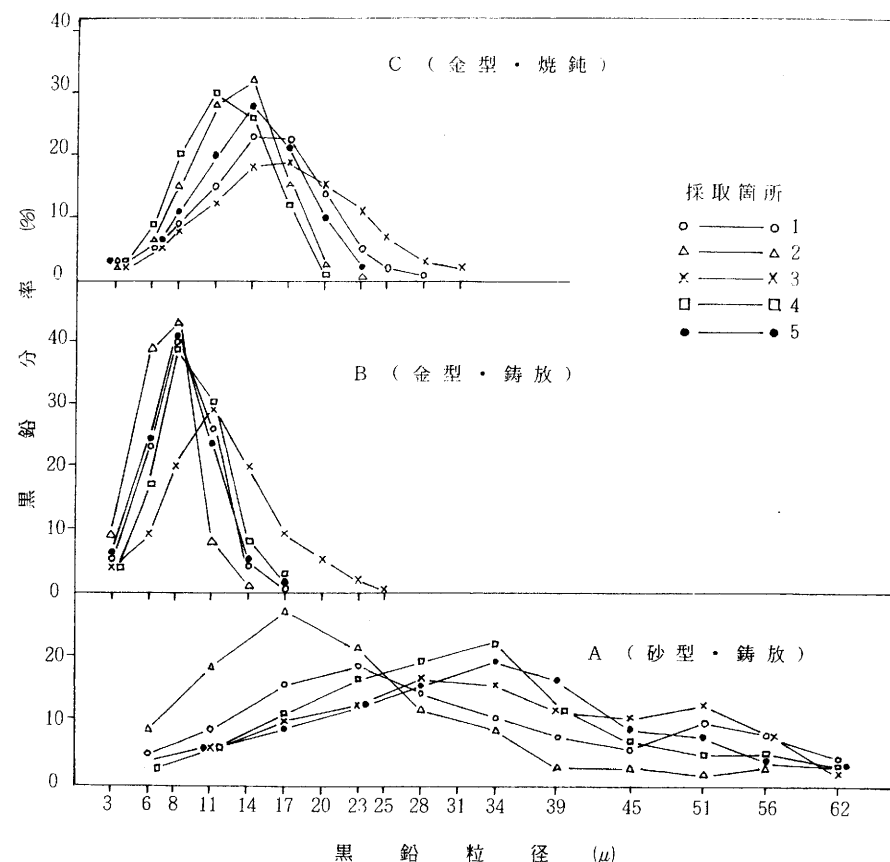


図4 球状黒鉛鑄鉄の黒鉛分布曲線

この図からそれぞれの粒径のピークが明らかになる。すなわち、金型鑄放しでは $8\mu\text{m}$ 、焼鈍後では $11\sim 14\mu\text{m}$ と比較的一定しているが、砂型のそれは広範囲に分布しており、一定したピークが得にくい。

金型は細粒で、しかも狭い範囲に黒鉛が集中している。この事からも金型鑄物が砂型に比べ肉厚感度が小さく、安定した材質が得られる事がわかる。

5-2-6 黒鉛平均周辺長

参考のために片状黒鉛の大きさを確認すべく、黒鉛の外周部の長さを測定した。これを図5に示す。

砂型と金型では大きな差が生じる。
すなわち、砂型では粗大な芋虫状のA型黒鉛であるのに対し、金型鑄物は微細なD・E型黒鉛となる。また、焼鈍すると数箇所に生長した黒鉛を析出するが、全体には更に微細化する。写真2からもこの事が明らかになる。

5-3 硬さについて

昭和53年度の研究報告と同様、今回の測定結果でも、金型鑄造による球状黒鉛鑄鉄の実体硬さは低く、平均150HBである。全金型の場合、急冷により基地組織が微細なセメンタイトになりチル化しやすいが、中子との併用では写真1に示すように砂型との中間的冷却速度（金型は砂型の8～13倍の冷却速度を示すと云われている）であるため、完全セメンタイトにはならずフェライトとの混合地となる。金型鑄放しでの硬さが200～250HBと云われているのが150HBと比較的柔らかいのはこのためである。この事は組織の項でも述べたように中子併用金型の大きな利点の一つである。

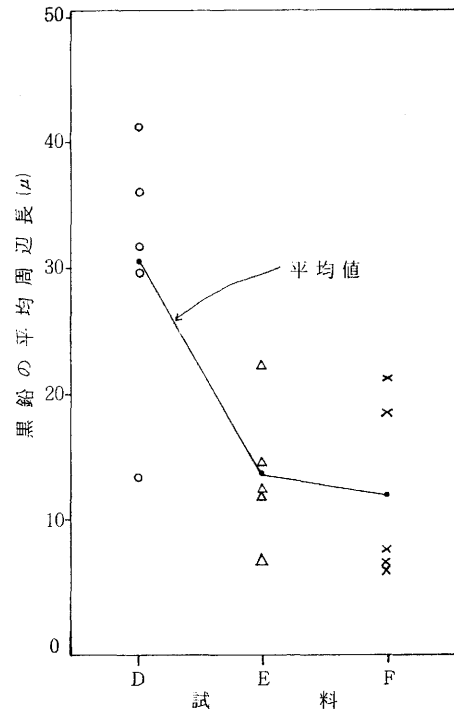


図5 片状黒鉛鑄鉄の黒鉛平均周辺長

5-3-1 冷却速度と硬さ

金型は砂型に比べ球状黒鉛鑄鉄で20HB、片状黒鉛鑄鉄では30HB高くなる。焼鈍するといずれも逆に砂型より柔らかくなるが、球状黒鉛鑄鉄はその幅が狭い。

また、採取位置による違いは組織写真と幾分異なり、肉厚および凝固順位に大きな影響を受ける。すなわち、`1' は最終凝固のため最も柔らかい。`2' は比較的急冷される位置であるにもかかわらず、肉厚が大きいため予想したほど硬くはならない。そして`3～5' は凝固順位がそのまま硬さに現われている。これを図6、7に示す。

5-3-2 CE値と硬さ

CE値が低くなれば残留セメンタイトが多くなり、硬さを増すという一般的傾向を示している。しかし、CE値の差が低い場合は冷却速度に左右されることが大である。

これを図8に示す。

5-3-3 黒鉛面積率と硬さ

図9に示すように、組織中に占める黒鉛量の割合が少なくなれば硬さは増し、焼鈍した場合は黒鉛以上に基地の変化（セメンタイト→フェライト化）に影響を受ける。

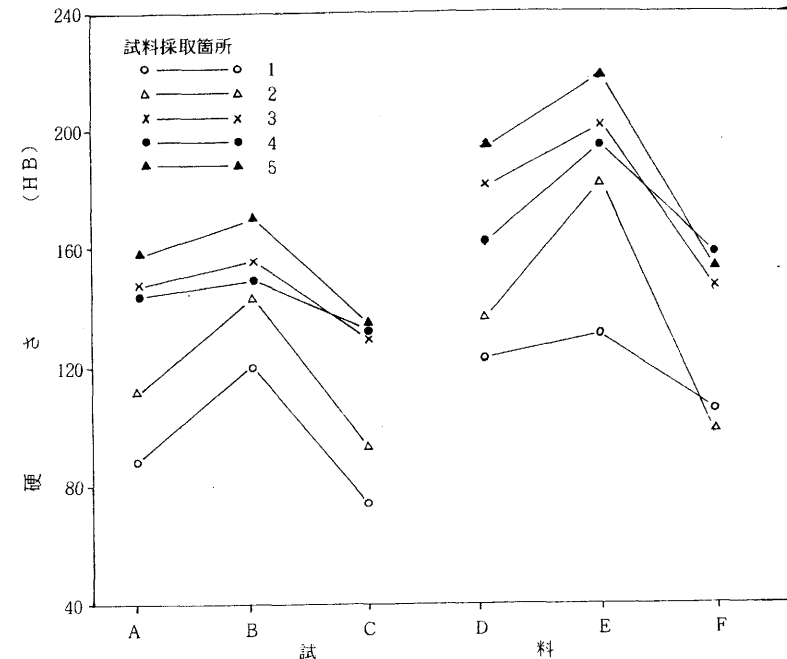


図6 試料採取条件と硬さ

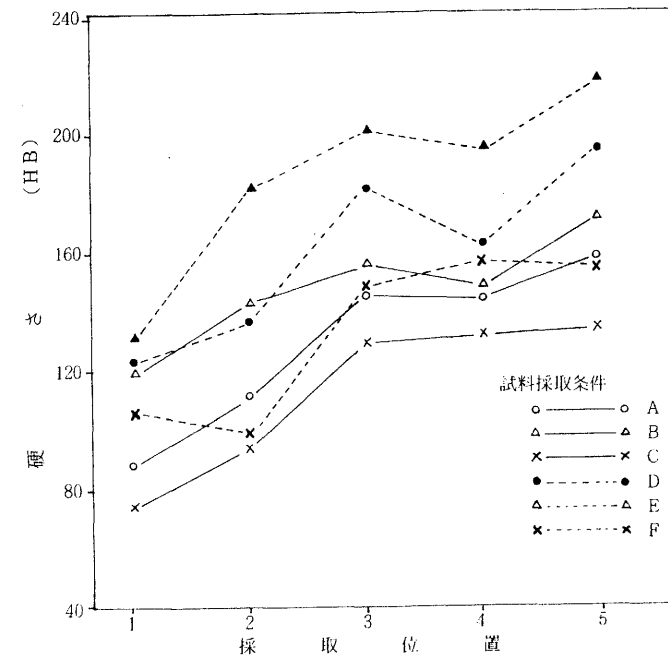


図7 採取位置と硬さ

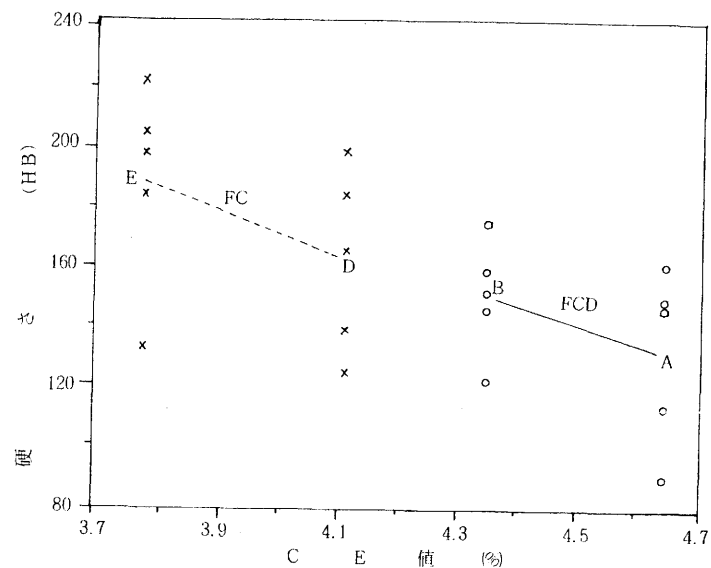


図8 C E 値と硬さ

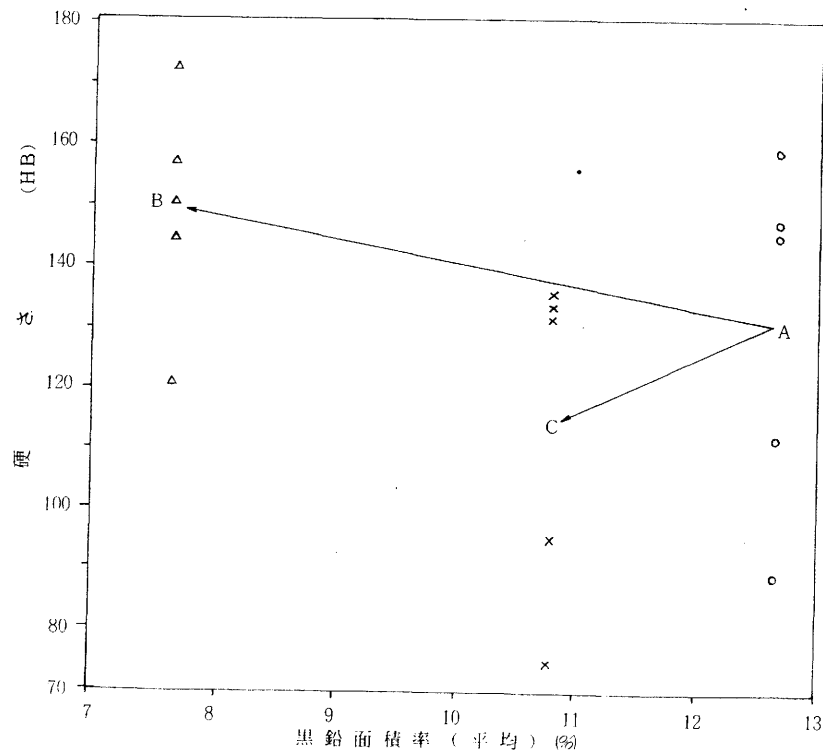


図9 黒鉛面積率と硬さ

5-4 マグネシウムの歩留り

金型は砂型に比べMgの歩留りが良い事を再確認できた。砂型の52%に比べ金型鑄造の場合65%と良好。

6. ま と め

以上の結果をまとめると次の通りである。

- (1) 黒鉛組織は冷却速度に大きな影響を受け、金型と砂型を比較した場合、例えば、黒鉛粒径の比は1:3と金型鑄物の黒鉛は遥かに小さくなる。
- (2) 球状黒鉛鑄鉄は片状黒鉛鑄鉄に比べ、金型鑄造によるほうが、肉厚感度は小さくなる。
- (3) 黒鉛粒径と黒鉛面積率および黒鉛間の平均距離は比例し、黒鉛粒数とは反比例の関係にある。
- (4) 黒鉛球状化率と冷却速度との相関は認められない。むしろ黒鉛球状化の処理条件に影響される事が大きい。
- (5) 金型での黒鉛は細粒であると同時に、その粒度分布はごく狭い範囲に集中する。これに対し砂型のそれは広範囲に分布する。このため、材質の高均質化には金型鑄造は最適と考えられる。
- (6) 球状黒鉛鑄鉄の金型鑄物（肉厚10~25mmで砂中子の伴うもの）は140~170HBと柔らかく、肉厚による冷却速度よりも凝固順位がその硬さに大いに影響する。

7. あ と が き

黒鉛組織および硬さの面から球状黒鉛鑄鉄の金型鑄物の実用化に向け検討した結果、肉厚あるいは冷却速度によって黒鉛状態と硬さに差の出るのは当然であるが、球状黒鉛鑄鉄は比較的その割合が小さく、安定した鑄物が得られる事が確認できた事は大きな収穫であった。

おわりに、本研究遂行にあたり懇切な御指導を賜った名古屋工業技術試験所の近藤靖彦氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

金属：49（1978）、8

昭和53年度技術開発研究費補助事業

成果普及講習会用テキスト

鑄物：47（1975）、1

鑄鉄の金型鑄造

球状黒鉛鑄鉄の理論と実際

ステンレス鋼におけるかじり摩耗について (バルブ摺動部改良のための予備的実験)

技師 中 山 勝 之

1 はじめに

滋賀県の地場産業の重要な分野に彦根地区を中心としたバルブ製造業があり、低圧用の鑄鉄弁を主体に陸用弁、上下水道用弁、船用弁の生産が行われている。昭和54年には大手企業、下請企業を含む200社余、従業員3,500人余によって206億円を越える生産実績があり、全国鑄鉄バルブのおよそ30%を占めるという一大産地を形成している。

バルブは、使用目的が多岐にわたることから、それぞれの条件に適したものが、多品種生産されており、中でも薬品溶剤、ガス、蒸気等の苛酷な状態で使われている陸用弁の仕様は複雑で、それだけに困難な問題点を数多くかかえている。

バルブに生ずる問題点の一つに、かじり摩耗と呼ばれている現象がある。いわゆる凝着摩耗の系統に入る現象であるが、初期摩耗状態がかじり付きへと進行し、固着するとバルブの開閉が不可能になるという最悪な事故へと波及する恐れがある。かじり摩耗の発生は、接触する二面の微小突起どうしが、互いに金属凝着を起こしそれが相対運動によって引離されたとき、相手側に溶着しながら摩耗が進行すると考えられている。凝着摩耗は押付荷重に比例し、材料の硬さに反比例するというホルム(R. HOLM)の法則は一般的には成立するといわれているが、一方では押付圧力を次第に増加していくと、ある限界をもって急激に摩耗が増大して焼付き状態となることがある。この現象を一般にかじりと呼称している。

かじりを防止する方策としては、いくつか考えられているが、基本的には摺動する部品間の金属材料が合金を作りにくい組合せとなること、金属の再結晶温度(鉄=350~450℃、ニッケル=530~660℃)以下で使用する、さらには摺動部の潤滑を良くしたり、押付圧力を小さくすることが望ましいとされている。

バルブの要部(弁体、弁座、弁棒等)は、弁が開閉するための重要な摺動部であるため、かじり現象の防止対策についても十分な配慮が必要となる。腐食等の関係からバルブの要部にはステンレス鋼が多く使われているがその場合、JISにおいても、弁体・弁座と弁箱・弁座間等に適当な硬さの差をつけることを規定している。しかし、現実においては、メーカー毎に独自の方法がとられていることから、硬さの規定だけでは万全ではなく、そのためかじりを原因とした事故も発生している。そこでかじりが生じる種々の要因関係を解明する一助として、バルブ要部に使われているステンレス鋼 SUS 420 J 2 を用いてかじり摩耗の実験を行ったので報告する。

2 かじり摩耗の定義と硬さの規定

凝着摩耗そのものは、一般的にいわれているかじり摩耗の極く初期の現象と考えられるため、その摩耗率は微少であり、わずかの傷や表面状態の影響を大きく受ける。したがって、定量的な関係を明確にすることは困難であるが、今回の実験においては、凝着摩耗がある程度進行し、材料そのものが凝着し損耗する瞬間をとらえてかじりの開始と考えることにした。材料自体が凝着開始後、急激な摩

耗へと移行するため、かじり摩耗の時点をとらえても実験上はさしつかえないと判断した。

JISにおいてもバルブ要部にステンレス鋼を用いる場合、その多くにかじり防止上、摺動部の硬さを規定している。弁体・弁座、弁箱・弁座を中心に概略次のように定められている。

- ① 鑄鉄バルブ 摺動部にはHB 50以上の硬さの差をつけること。
- ② 可鍛鑄鉄バルブ 摺動部には適当な硬さの差が表面処理を施すこと。
- ③ 鑄鋼バルブ 摺動部はHB 250以上の硬さとし、かつ両者の間にはHB 50以上の硬さの差をつけること(逆止め弁はHB 250以上のものと規定)。

このように、バルブ弁座等の摺動部の多数にいずれかの処理が義務付けられている。しかし、実際の問題として、これらの規定による処置では完璧とはいえない面があって、各社ともその対策に苦慮しているのが実状である。

3 硬さを最大要因とした場合のかじり現象

まず、本装置におけるかじりに関する試験を最適な条件において実施する必要があるため、マルチサイト系ステンレス鋼 SUS 420 J 2 を使用していくつかの実験を行った。試験装置を図1に示す。

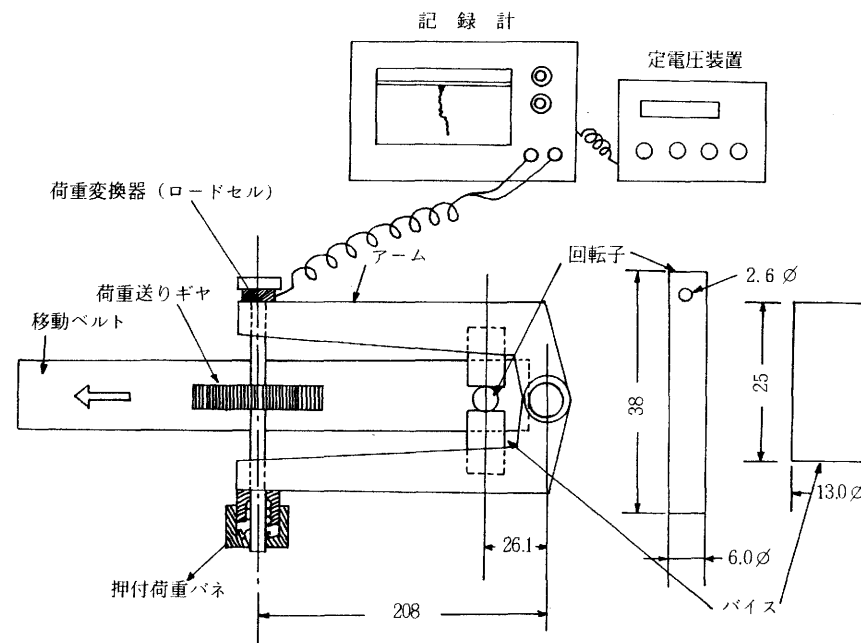


図1 試験機と試験片

試験片は直径6mmの回転試験片（以下、回転子という）と両側からはさみつける固定試験片（以下、バイスという）とからなり、図に示すようにアーム部に取付ける。アームは押付荷重バネを介して荷重送りギヤによって支持されている。したがって、試験がスタートすると、荷重送りギヤが回転し、徐々に押付荷重バネが圧縮をはじめ、試験片に荷重が比例的に負荷される仕組みになっている。その結果、回転子とバイス間にある限度以上の荷重が加わると急激にかじり現象を起こし摩耗粉が落下をはじめ。回転子の周速度は110mm/sec一定とした。

3-1 最適試験法の選択

押付荷重用バネは、バネ定数が2、4、6、8kgf/cmを目標として4種類を作成した。各々の特性は次のとおりである。

- A₁ バネ—— 1.818 kgf/cm
- A₂ バネ—— 4.364 kgf/cm
- A₃ バネ—— 6.522 kgf/cm
- A₄ バネ—— 7.547 kgf/cm

回転子B、バイスCは適当な熱処理条件により焼入等を行い、各々3水準の硬さ値をとった。試験料の硬さはロックウェルCスケールで測定したが、その値を表1に示しておく。

まず、かじりという現象を全体的に把握するため、バネ定数の違う4種類の押付荷重バネA₁～A₄を用い考えられる数種の特性値毎の実験を行った。どの押付荷重バネを使用したときに最適試験法となり得るかを108回の実験を通じて検討した。

試験法、測定法等の優劣を比較する尺度として、最近ではSN比の手法が使われるが、この場合、比較する制御因子はバネAとし、信号因子は硬さの要素がかじりに多大の影響を与えると考えられることから、回転子の硬さBとバイスの硬さCの組合せとした。また誤差因子は実験のくりかえし数とした。

3-1-1 かじり時の荷重を特性値とした場合の最適試験法

回転子とバイス間に押付力を加えていくと、ある荷重値において突然両者の間にかじり現象が生じるが、その時点の荷重バネの圧縮量から荷重値を求めた。SN比を計算する場合、それぞれの因子は、

- 制御因子 —— A₁、A₂、A₃、A₄
- 信号因子 —— M₁(B₁C₁)、M₂(B₁C₂) …… M₉(B₃C₃)
- 誤差因子 —— r (3回)

のようになり、A毎の一元配置となる。たとえばA₂バネの分散分析表を表2に示すが、この数値からSN比が求められる。硬さの組合せ水準Mのくりかえしをr、組合せ間の分散をV_M、誤

差分散をV_eとするとSN比は、

$$\eta = \frac{\frac{1}{r} (V_M - V_e)}{V_e} = \frac{\frac{1}{3} (8.998 - 0.579)}{0.579} = 4.85 \text{ (6.86 db)}$$

と求めることができる。以下同様にして、他の荷重バネについてもSN比を求めたが、その数値が大きい程、その制御因子は優れていると判断できる。

表2 A₂の分散分析表 (kgf)

要 因	平 方 和	自 由 度	分 散
硬 さ M	71.980	8	8.998
誤 差 e	10.420	18	0.579
T	82.400	26	

- A₁ —— $\eta = 2.69$ (4.30 db)
- A₂ —— $\eta = 4.85$ (6.86 db)
- A₃ —— $\eta = 3.47$ (5.40 db)
- A₄ —— $\eta = 1.19$ (0.76 db)

それぞれの押付荷重バネのSN比は以上のように計算したが、この結果によるとA₂バネが最も感度良くかじり時の荷重を検出していることになる。すなわち、この装置において感度はA₂が最も優れ、以下A₃、A₁、A₄の順となる。

3-1-2 摩耗量を特性値とした場合の最適試験法

前項の実験で、A₁～A₄のバネに対しかじりが生じた瞬間から下記の荷重を加えて、さらに30秒間保持したときの摩耗量を測定し、摩耗量を特性値とした場合の荷重バネによる最適条件の選定を行った。

- A₁ —— 17.68kgf
- A₂ —— 42.43kgf
- A₃ —— 63.42kgf
- A₄ —— 73.38kgf

バネ毎のSN比を調べたが、その結果は次のとおりであった。

- A₁ —— $\eta = 3.42$ (5.34 db)
- A₂ —— $\eta = 8.17$ (9.12 db)
- A₃ —— $\eta = 18.73$ (12.72 db)
- A₄ —— $\eta = 16.54$ (12.18 db)

特性値を摩耗量としてSN比を比較すると、A₃→A₄→A₂→A₁の順であった。すなわち、荷重バネの強い方が摩耗量をデータとした場合、良い結果となる傾向を示している。

以上のことから、かじり摩耗に関して最適な条件を選ぶとすれば、荷重を特性値とした場合はA₂バネを使用した試験法が良く、摩耗量を特性値とした場合はA₃バネを使用した試験法が優

れていると判断できる。

3-2 硬さの差がかじりに及ぼす影響

これまでの実験から明らかになったことを記すと、特性値として荷重値をとったときはA₂ バネが、特性値として摩耗量をとったときはA₃ バネが共に良い結果となった。したがって、S/N比の良好なA₂、A₃の荷重バネを使った試験法において、硬さの差の違いにより、かじり摩耗現象がどのように変化するかを調べた。各々、硬さの異なる回転子とバイスを用い、かじり発生と硬さの差の関係を追求した。

3-2-1 実験方法と試料

実験方法としては最適試験法を求める時とほぼ同様であるが、特性値を荷重としたときの読取値をさらに詳しくするため、直接、荷重バネの圧縮量から換算していたものを今度は、荷重送りギヤの回転角度から読取った関係上、後で示すように誤差が軽減できた。また摩耗量としては、大きな一定荷重を当初から与え、摩耗粉落下筒所に移動ベルトを取付けて連続採取し、単位時間毎の摩耗量がわかるよう改良した。その際、かじりが生じるまでの時間も合わせて測定した。

試料の硬さの水準を適当な熱処理によって回転子4水準、バイス3水準とし、全数ロックウエルAスケールにて測定したが、その数値を表3に示す。

表3 試験片の硬さ値(HRA)

		HRA平均値	標準偏差
回 転 子	B ₁	47.12	0.35
	B ₂	59.45	0.83
	B ₃	65.30	0.86
	B ₄	72.64	0.90
バ イ ス	C ₁	54.97	0.59
	C ₂	66.30	0.77
	C ₃	73.07	0.64

回転子BとバイスCとの組合せを考える場合、硬さの差の絶対値が同じであっても、どちらが硬いかににより、かじりの現象が異なることも考えられることから、硬さの差に方向付を行った。すなわち(回転子硬さB) - (バイス硬さC)の値を順に並べて比較しやすいようにした。(B-C)が負の方向に最も大きいもの(回転子硬さ^低、バイス硬さ^高)をM₁とし、(B-C)が正の方向に最も大きいもの(回転子硬さ^高、バイス硬さ^低)をM₁₂として、その間を硬さの差によって順番に方向付けた。試料は全数研削仕上げを行い表面状態を一定とした。

3-2-2 硬さの差がかじり荷重に与える影響

2種類の荷重バネA₁、A₂を用い回転子の硬さB₁、B₂、B₃、B₄、バイスの硬さC₁、C₂、C₃、くりかえし5回として120回の実験を行ったが、その分散分析表を表4に示す。

これによると回転子BとバイスC、それらの交互作用B×Cのみに高度な有意差がみられる。ここで分散比の右上の星印2個は、統計的に100のうち99回は起り得るであろう確率を示し、非常に関係が深いことを表わしている。

また、3つの要因の寄与率の合計は76%にも及んでいるが、そのことはかじり時の荷重に対して、硬さが非常に大きく影響していることを表わしている。

表4 荷重を特性値とした場合の分散分析表

(kgf)

要 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	分 散 比	寄 与 率 %
バ ネ A	14.076	1	14.076	—	—
回 転 子 硬 さ B	3358.46	3	1119.485	54.458 **	33.4
バ イ ス 硬 さ C	3249.07	2	1624.538	79.027 **	32.5
A × B	26.767	3	8.922	—	—
A × C	9.734	2	4.867	—	—
B × C	1120.649	6	186.775	9.085 **	10.1
A × B × C	106.407	6	17.735	—	—
E	1973.428	96	20.556	—	残 24.0
T	9858.597	119			100.0

また、計算経過は省略するが、硬さの差をM₁～M₁₂に分類して2次回帰式を求めると次式のようにになった。また計算結果から図示した回帰曲線を図2に示す。なお、回帰曲線の幅はデータにおける95%信頼限界を示している。

$$y = 16.546 + 0.5459x - 0.00746x^2$$

y : かじり時の荷重値 (kgf)
x : 硬さの差 (B-C)

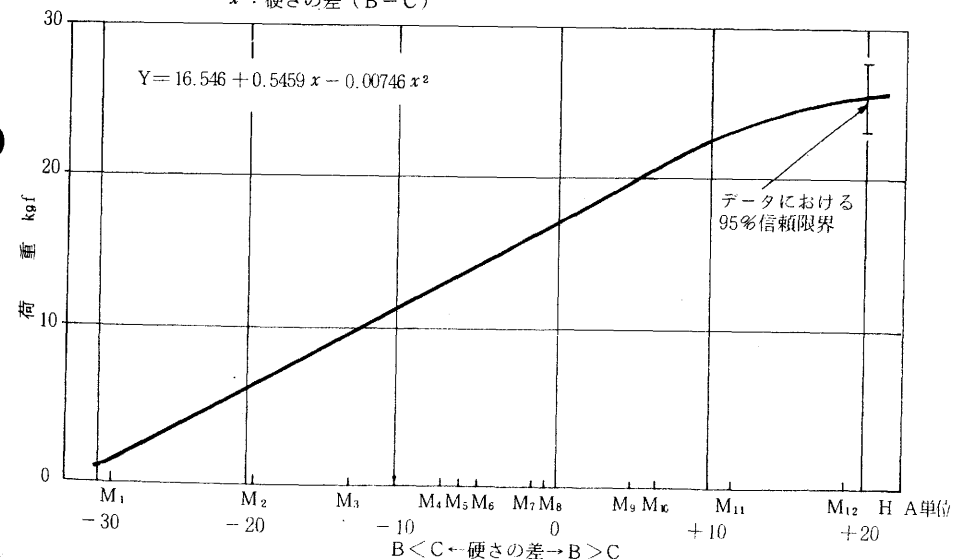


図2 荷重と硬さの差における回帰曲線

硬さの差をかじり現象に与える最大の要因と考えて検討した場合、かじり時の荷重においては硬さの差が負から正の方向に移行するほど、かじりが生じ難いという現象がある。硬さの差の数値が大きいものでも、負の方向に大きいもの（回転子の硬さが低く、バイスの硬さが高いもの）は逆にかじりが生じ易くなっている。同じ硬さの差であっても動いている試験片（回転子）と静止している試験片（バイス）との選び方次第では逆の結果となるからである。このような現象は高速度で回転するシャフト類においてはすでに実証されていることであるが、110 mm/secという速度についてもその常識が当てはまる結果となった。また、このような傾向は次項における摩耗量やかじりが生じるまでの時間を特性値とした実験からもある程度推察することができる。

3-2-3 硬さの差が摩耗量とかじりが生じるまでの時間に与える影響

各試料の組合せによる摩耗量を知るため、当初から27.23 kgf という一定荷重を与えながら実験をして総数252のデータを得た。かじりが生じるにしたがって摩耗粉が落下するが、それを単位時間毎に積算していった。

また、試験開始からかじりが生じるまでの時間も特性値に加えて検討資料とした。

単位時間毎の摩耗量についても硬さの差による傾向的な現象がみられる。概略、硬さの差が負の方向に大きなものは当初から激しく摩耗をはじめ、硬さの差が少ないものははじめのうちは徐々に摩耗し、ある時間経過すると急激に摩耗量が増大する。また硬さの差が正の方向に大きなものは全体として耐摩耗性に優れた結果を示している。その傾向は図3に示すとおりである。

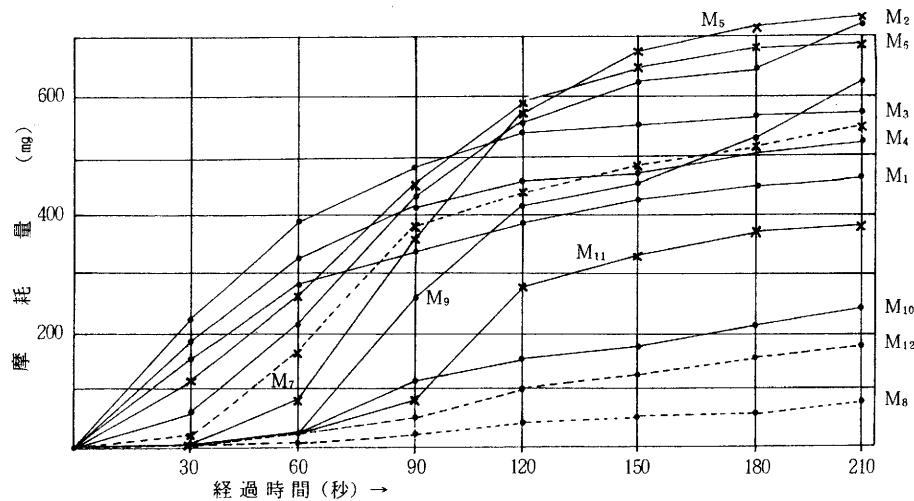


図3 時間毎の摩耗量の積算

試験開始から30秒毎に摩耗粉を積算し、それぞれ単位時間毎の硬さの差と摩耗量との2次回帰式を計算したが、それを表5に、回帰曲線を図4に示す。

このように回帰式やグラフ上からも硬さの差が摩耗に大きく影響を与えていることがわかる。

さらに、かじりが生じるまでの時間を特性値とした場合の2次回帰式を求めると下記のとおりであり、そのときの回帰曲線は図5に示すとおりである。

$$y = 53.94 + 1.859x - 0.0192x^2$$

y : かじりが生じるまでの時間 (秒)

x : 硬さの差 (B-C)

表5 摩耗量の2次回帰式

(mg)

経過時間	回帰式
30 sec	$y = 44.697 - 4.736x + 0.0108x^2$
60	$y = 125.681 - 9.520x - 0.0671x^2$
90	$y = 284.597 - 11.908x - 0.2564x^2$
120	$y = 390.070 - 12.317x - 0.3387x^2$
150	$y = 437.179 - 12.762x - 0.3616x^2$
180	$y = 461.940 - 12.329x - 0.3520x^2$
210	$y = 462.539 - 12.406x - 0.3209x^2$

(y : 摩耗量 (mg) x : 硬さの差 (B-C))

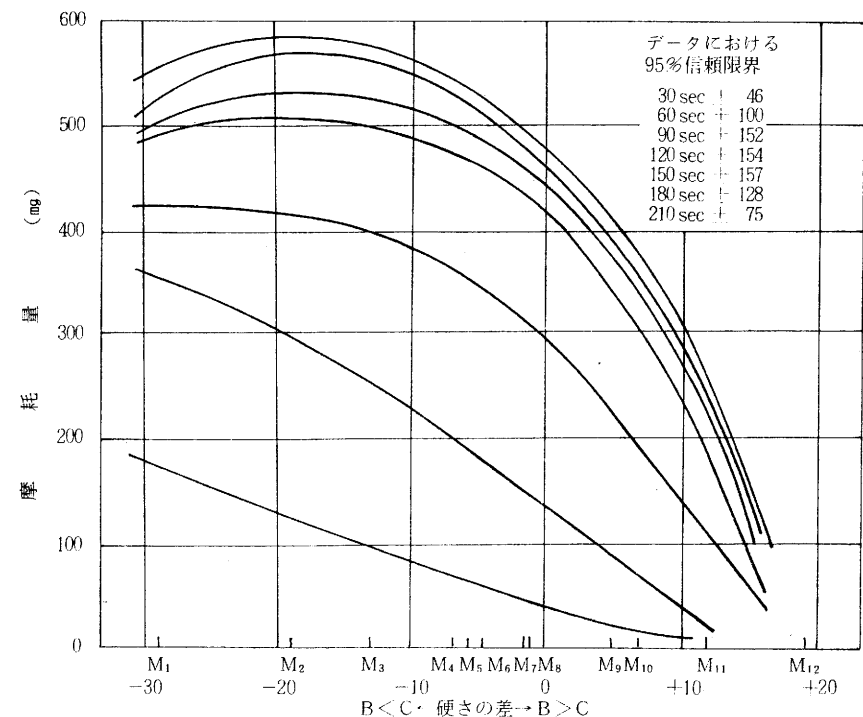


図4 摩耗量と硬さの差における時間毎の回帰曲線

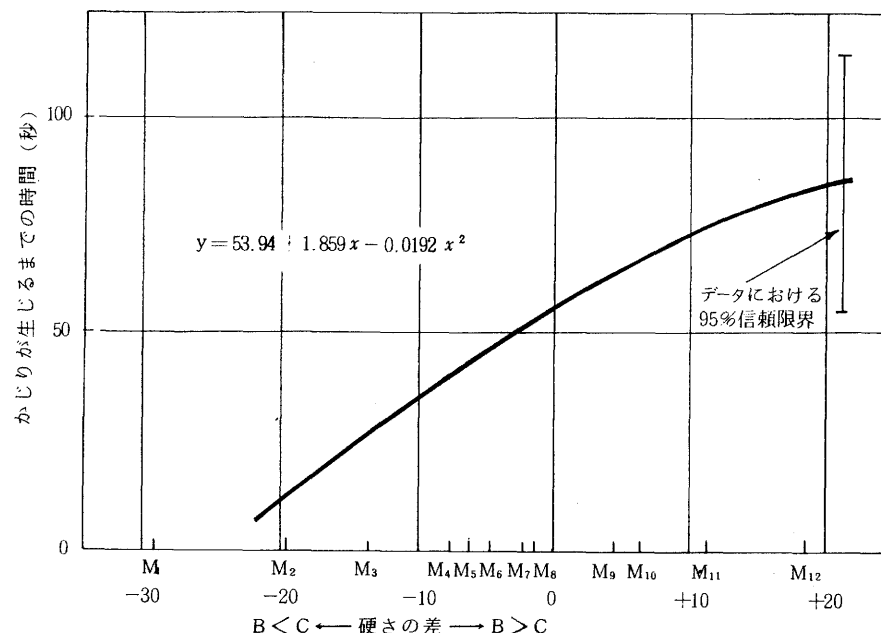


図5 時間と硬さの差における回帰曲線

データにおける信頼限界幅は大きい、傾向的には他の特性値と同じく硬さの差の影響を受けている。

この実験でのデータは、同一条件下で摩耗量とかじりが生じるまでの時間を得ているため、両方の特性値を同時に考慮すればより精度良く検出できるかも知れない。そこで硬さの差を x とし、かじりが生じるまでの時間を t としたとき、摩耗量 y がどのように変化するかを調べるため重回帰分析を行った。

特性値 x と t の相互の関係と、特性値 y との関係推定するためであるが、各々、経過時間毎に算出した重回帰式を表6に示す。

これらの式から、硬さの差、かじりが生じるまでの時間とも、大きくなるにしたがって摩耗量は減少する傾向にあるが、常識的にもうなずけるところである。

一方、摩耗時間の経過によっても、 x 、 t の係数が変化していくことがわかる。硬さの差 x の係数は摩耗時間が経過するにつれて大きな値となっていく。すなわち、硬さの差の影響が時間とともに強くあらわれてくることを意味している。かじりが生じるまでの時間 t の場合は、この逆のことがいえる。

表6 摩耗量の重回帰式

(mg)

経過時間	重回帰式
30 sec	$y = 110.99 - 1.923x - 1.262t$
60	$y = 255.63 - 3.156x - 2.614t$
90	$y = 382.03 - 4.716x - 2.546t$
120	$y = 428.45 - 6.374x - 1.597t$
150	$y = 450.04 - 7.493x - 1.161t$
180	$y = 457.80 - 8.090x - 0.762t$
210	$y = 460.50 - 8.309x - 0.342t$

(y : 摩耗量 (mg)、 x : 硬さの差 (B-C)、 t : かじりまでの時間 t (sec))

4. まとめ

硬さの違う試料を組合せて行った実験から次のような点が明らかになった。

- (1) 最適な試験法を求める実験については、4種類のバネのうち中間の2種類が適当と認められた。
- (2) 硬さの差を方向付けた実験については、回転子硬さが高く、バース硬さが低い、いわゆる正の方向に大きいものほどかじりに対する抵抗性が強い結果となった。すなわち、荷重を特性値とした場合はその現象が顕著にあらわれている。また、摩耗量やかじりを生じるまでの時間を特性値とした場合からも、そのような傾向があることがわかる。
- (3) 単位時間毎の摩耗量の変化は、硬さの組合せの影響を大きく受けることがわかった。さらに、硬さの差とかじりが生じるまでの時間を指定変数とし、摩耗量を従属変数としたときの多重回帰を求めると推定精度が向上することも認められた。
- (4) かじりが生じる時間のみから摩耗量を推定するには、誤差が大きいため少々無理があるように思われる。

硬さの差がかじりに大きな影響を与え、しかも方向性があるということは重要な意味がある。動的な試験片と静止した試験片の摩耗状態において、その硬さの選び方如何で耐かじり性に差異が認められるからである。この結果が直ちに実際のバルブに適用できるかどうかは検討を要するが、弁体弁座や弁棒を動的試験片、対する部品を静止している試験片と考えたと研究の価値はある。

今回の実験はバルブ摺動部を改良するための予備的研究として実施したものであるが、幾多の示唆を得ることができた。しかし、一方ではまだまだ多くの不確定要素が残されており、検討すべき内容については今後の課題としたい。

終わりに、本研究を実施するにあたり、終始ご懇切な指導と助言をいただいた工業技術院計量研究所計測機構課長、矢野宏博士ならびに同課の皆様へ深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤 健児編：金属の摩耗とその対策
- 2) 広根徳太郎編：金属便覧
- 3) 中山 勝之：滋賀県立機械金属工業指導所研究報告（S49）
- 4) 中山勝之・矢野 宏：SUS420 J2におけるかじり摩耗について（材料試験技術、vol. 24 No. 4 1979年10月号）
- 5) 小川喜代一：金属の潤滑摩耗とその対策
- 6) 矢野宏、他：統計手法と計測
- 7) 田口 玄一：統計解析
- 8) 石川 馨・米山高範：分散分析法入門

鑄鉄製バルブの防食技術の開発

（昭和55年度鑄鉄製バルブの粉体塗装による防食技術の開発の予備実験）

技 師 西 内 廣 志

1. はじめに

水道の赤水対策として、鉄管は昭和30年代からモルタルライニング、異形管は昭和45年頃からエポキシ樹脂の粉体塗装が普及して来た。

一方、鑄鉄製バルブにおいては機構上、塗膜と塗膜が摺れ合う部分があることなどから重防食塗装という手だてでは塗膜のはく離などの心配から黒ワニス塗装が使用されている状況である。

しかし、黒ワニスによる塗装では施工後数年、早くても1年ほどで発錆するといわれ、東京都、大阪市、広島市では鑄鉄製バルブの内面防食強化が強調されて来た。

そこで、鑄鉄製バルブ内面の防食強化対策としてエポキシ樹脂を主とした粉体塗装による防食技術の開発を早急に実施する必要がある。

以上の理由により基礎実験として、粉体塗装工程の予熱におけるねずみ鑄鉄の熱影響による変形の有無と、ねずみ鑄鉄に施した黒ワニス塗装、タールエポキシ樹脂塗装、エポキシ樹脂粉体塗装の防食効果および流速によるねずみ鑄鉄の腐食について実験を行ったところ、その結果は以下のとおりである。

2. 実験装置および実験方法

2-1 実験装置

実験に使用した主要な装置は次のとおりである。

装 置 名	仕 様
引 張 試 験 機	電子管式 30 t
マ ッ プ ル 炉	発熱体（シリコニット）、容積 150 × 200 × 400 mm 最高温度 1350 °C
塩 水 噴 霧 試 験 装 置	ノズル2組、噴霧圧力 0.8 ~ 1.3 kgf/cm ²
流速効果腐食試験装置	最高流速 4.5 m/s

2-2 実験方法

2-2-1 粉体塗装工程（予熱）におけるねずみ鑄鉄の熱影響について

鑄鉄品の粉体塗装工程は、前処理 → 予熱（200°C前後）→ 静電粉体塗装 → 焼付け（200°C前後）→ 冷却 → 検査なので素地金属の熱による物性の検討を行なう必要があり、次の項目の実験を行なっ

た。

- (1) ねずみ鉄 (FC) 試験片の寸法変化について
- (2) 水道用仕切弁 (JIS B 2062) の弁体、弁座の変形について
- (3) ねずみ鉄 (FC) の熱影響による引張強度の変化について

(1)についての供試材はFC20相当の抗折試験片を直径5mm、長さ100~125mmに加工したものを使用した。

(2)についての供試材として、呼び径75mm用弁体 (FC)、弁座 (BC6) を使用した。

(3)についての供試材として、FC25相当の抗折試験片を抗折後JIS Z 2201の8号試験片に加工したものを使用した。硬さチェック用として8号試験片の両端15mmを切断して、ブリネル硬度用供試材とした。

2-2-2 ねずみ鉄に施した黒ワニス塗装、タールエポキシ樹脂塗装

エポキシ樹脂粉体塗装の防食効果について

供試材はねずみ鉄 (FC) で形状および寸法は70×40×10mmの板状鑄放し試験片13枚を作成し、黒ワニス塗装、タールエポキシ樹脂塗装、エポキシ樹脂粉体塗装を施した後、塗装膜厚を電磁膜厚計で測定し、JIS Z 2371による塩水噴霧試験を行なった。

試験に使用した供試材の化学分析値を表1、塗装条件を表2、塩水噴霧試験条件を表3に示す。

表1 塗装用試験片の化学分析値

種 類	化 学 成 分 %				
	C	Si	Mn	P	S
FC 20	3.24	1.74	0.61	0.058	0.105

表2 塗 装 条 件

塗 装 の 種 類	塗 装 方 法	乾 燥 時 間 (hr)
黒 ワ ニ ス 塗 装	ハケ塗り	24
タールエポキシ樹脂塗装	ハケ塗り、主剤：硬化剤=8：2	48
エポキシ樹脂粉体塗装	静電粉体塗装。240℃、1hr加熱(表面温度180℃)→静電粉体塗装→200℃、15分間焼付け	

表3 塩水噴霧試験条件

噴霧液の組成	5% NaCl
噴霧液の比重	1.04 (35℃)
噴霧液のPH	6.80 (35℃)
室の暴露帯における温度	35℃

2-2-3 流速によるねずみ鉄の腐食について

ねずみ鉄が流速によって腐食がどの程度進行するかを調べるため、水道水、および人工海水 (NaCl 3.5%、MgCl₂ 6H₂O 0.5%) 中で25℃、5日間における静止状態および流速1.3m/sでの腐食量を山崎式流速効果腐食試験装置を使用して測定した。

腐食試験片はFC20相当の抗折試験片を図1に示す形状に加工した。化学分析値については表4に示す。

腐食量は単位面積あたりの腐食前重量と腐食後試料に付着した錆を10%クエン酸アンモニウムで洗浄除去後の重量差とした。

表4 腐食試験片の化学分析値

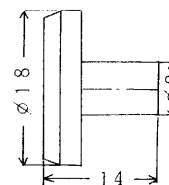


図1 流速効果腐食試験片の形状

種 類	化 学 成 分 %				
	C	Si	Mn	P	S
FC 20	3.65	2.41	0.60	0.072	0.094

3. 実験結果および考察

3-1 粉体塗装工程 (予熱) におけるねずみ鉄の熱影響について

3-1-1 ねずみ鉄 (FC) 試験片の寸法変化について

一般に、ねずみ鉄の線膨張係数は20℃~285℃で、 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と言われ、膨張の原因として次のことがあげられる。

- (1) パーライト中のセメントイトが分解して黒鉛を生ずるための膨張
- (2) 膨張収縮の繰り返しによる亀裂の発生
- (3) 亀裂空隙内の鉄、珪素の酸化による膨張

鑄鉄品を粉体塗装する場合、塗膜の発泡およびピンホール防止のため、鑄鉄品を200℃前後で1時間程度予熱加熱しなければならない。

その結果、鑄鉄の成長による寸法変化が心配されるため、100℃、240℃、300℃、400℃の各温度でそれぞれ1時間マツフル炉で加熱し、冷却後、長さ方向について100~125mm (0.01mm)用マイクロメーターを使用して寸法変化を調べた。その結果図2に示すとおり変化は見られなかった。

鑄鉄の成長はA₁点付近の温度で、加熱冷却を繰り返す時、生ずるが、粉体塗装の場合200℃前後の低温度域で予熱および焼付けを行なうので、寸法変化の影響は少ないと考えられる。なお常温に復した場合、おおむね元の寸法に戻る。

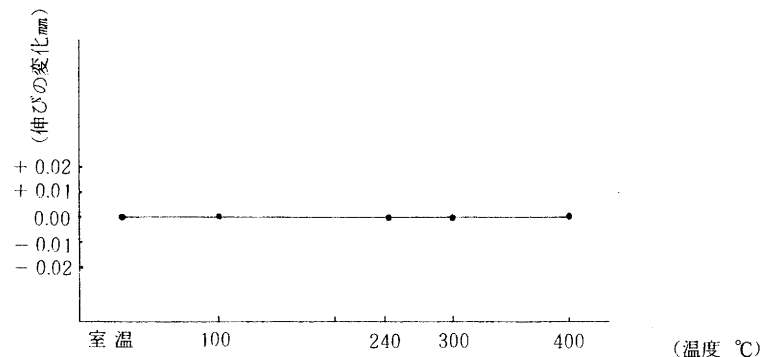


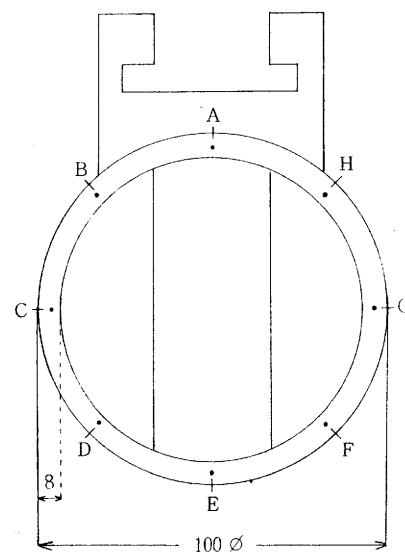
図2 ねずみ鑄鉄の熱加熱冷却後の寸法変化

3-1-2 水道用仕切弁 (JIS B2062) の弁体および弁座の変形について

弁体 (FC)、弁座 (BC6) を圧着接合後、粉体塗装した場合、熱加熱による影響すなわち FC の線膨張係数 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、BC の線膨張係数 $18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の違いから熱変形による歪のため、水圧試験を行なった時、シート裏 (弁座) の漏れが予想される。

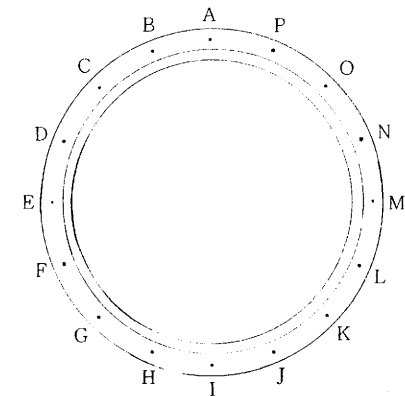
そこで、図3に示す呼び径75mm用弁体 (FC) の円周方向8箇所と図4に示す呼び径75mm用弁座裏 (BC6) の円周方向16箇所についてダイヤルゲージ (0.01mm×10) を使用して熱加熱前 (常温) の変形度と240°C、90分間加熱 (表面温度180°C) 冷却後の変形度について測定してみた結果、図5、図6、図7に示すとおり低温度域 (240°C) では熱影響による変形は少ないと考えられる。

なお、シート裏の漏れについては、弁体と弁座を圧着接合する場合、使用する接着剤 (シール剤) の熱変化による影響もあるものと考えられる。



水道用仕切弁 (JIS B2062) 呼び径75mm用FC弁体

図3 ダイヤルゲージによる弁体の測定位置 (A~H)



水道用仕切弁 (JIS B2062) 呼び径75mm用BC弁座

図4 ダイヤルゲージによる弁座裏の測定位置 (A~P)

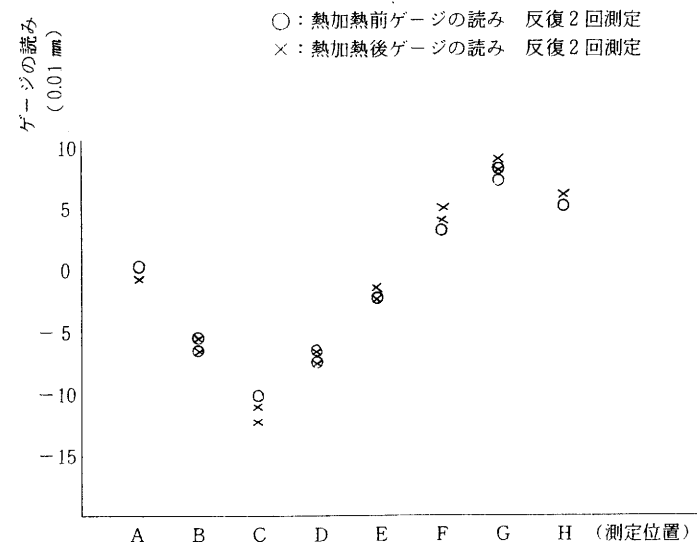
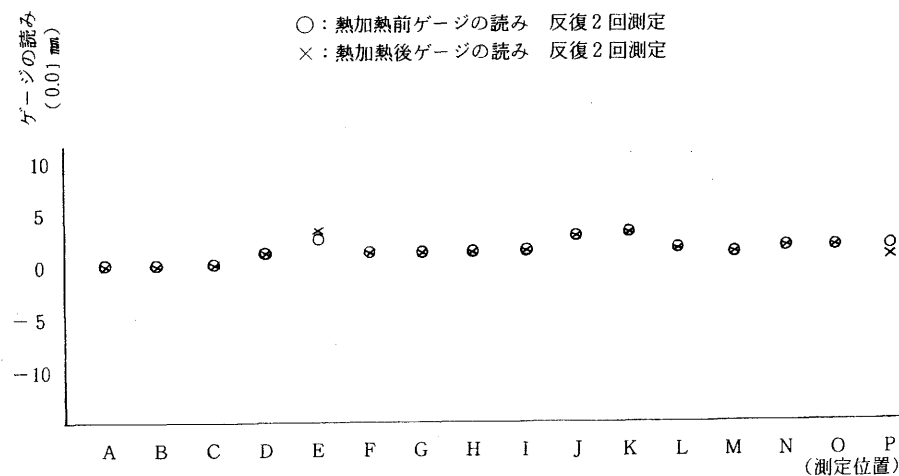
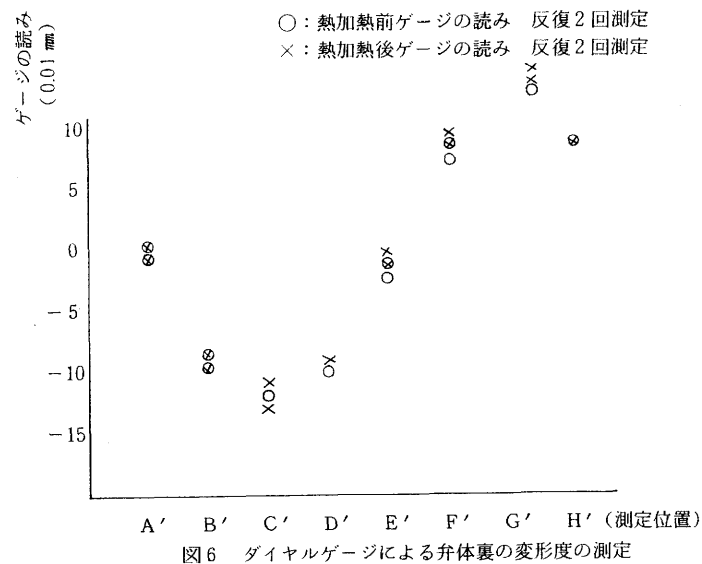


図5 ダイヤルゲージによる弁体表の変形度の測定



3-1-3⁽³⁾ ねずみ鑄鉄の熱影響による引張強度の変化

昭和45年度の当所の材料強度とたかさの関連に関する研究で、抗折試験片から2本の引張試験片を採取した結果、先端部と湯口部との間に引張強度の差があることが裏づけられた。(最大1.0 kgf/mm²の差)、そこで供試材の均一化(先端部と湯口部)を図るため、硬さチェック後、常温および、240℃で、1時間加熱冷却後、各々8本ずつ引張試験を行なった。

その結果は表5に示すとおりで強度の低下は見られなかった。

また、鑄鉄の高温強度が低下し始まる温度は、H.T. Augus⁽⁴⁾の報告(図8)によると、400℃からで、粉体塗装の場合、200℃前後の低温域での予熱加熱のため、強度低下の影響は少ないと考えられる。

表5. 熱加熱によるFCの引張強度の影響

n (標本)	1	2	3	4	5	6	7	8	$\bar{X}$ (平均値)	σ (標準偏差)
常温の引張強さ kgf/mm ²	26.1	27.3	27.3	26.8	27.0	26.8	26.4	26.3	26.7	0.45
240℃、1時間加熱冷却後の引張強さ	27.7	27.3	27.2	26.9	27.4	25.3	27.5	27.6	27.1	0.77

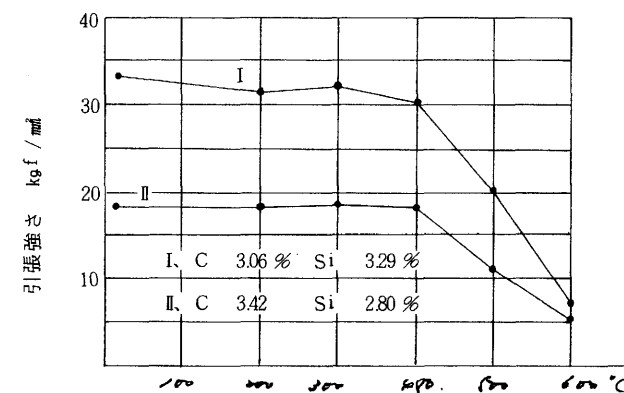


図8 鑄鉄の高温強度の低下について

H.T Augus Physical and Engineering Properties of Cast Iron (1960)

3-2 ねずみ鑄鉄に施した黒ワニス塗装、タールエポキシ樹脂塗装、エポキシ樹脂粉体塗装の防食効果について

一般に水道用バルブの内面塗装は黒ワニス(ビチューメンを主原料とする瀝青質塗料)を使用してきたが、この塗膜は表6に示すとおり、1回塗りで塗装膜厚が30μm程度で、塩水噴霧試験48時間噴霧すると全面に赤錆が発生した。

タールエポキシ樹脂塗装についてはJWWAK115-1974の塩水噴霧試験に準じて300時間以上塩

水噴霧試験を行なったが、塗膜のハク離、赤錆の発生等はなかった。しかし、この塗装法は作業性は良好ではなく、室内温度が10℃前後だと乾燥日数が2日以上要し、300 μm 以上の厚膜にするのに4日間要した。(1回塗りで100~200 μm 、2回塗りで300 μm 前後)

エポキシ樹脂粉体塗装については塗装膜厚100 μm 以下の薄膜だと2日~4日間で糸状の赤錆が発生した。塗装膜厚が250~450 μm だと1,000時間塩水噴霧試験を行なっても異状はなかった。

以上の結果から、作業性、耐食性についてはエポキシ樹脂粉体塗装が一番良好であったが、塗装条件の適正化(予熱、焼付け温度管理等による塗膜の発泡およびピンホール発生防止、吐出量および吹き付け時間等による塗装膜厚のコントロール)を図らなければ他の塗装法に劣る結果になるであろう。

表6 各種塗装法における塩水噴霧試験結果

試験片No	塗 装 法	塗装膜厚平均(μm)	噴霧時間(hr)	暴 露 状 況	備 考
1	黒 ワ ニ ス	26	48	全面赤錆発生	
2	"	33	48	"	
3	"	26	48	"	
4	タールエポキシ樹脂	180	336	異 状 な し	
5	"	350	"	"	
6	"	350	"	"	
7	エポキシ粉体塗装	44	48	素地露出糸状錆発生	焼付け不良 泡あり
8	"	76	96	"	"
9	"	123	96	"	"
10	"	136	360	"	
11	"	250	1000	異 状 な し	
12	"	283	1000	"	
13	"	400	1000	"	

3-3 流速によるねずみ鉄の腐食について

流速によるねずみ鉄の腐食量は表7に示すとおりで、水道水と人工海水とを比較すると腐食量は約2倍程度人工海水の方が多かった。

次に流速1.3 m/sの人工海水におけるPHの経時変化を調べた結果、日数がたつにつれPHがアルカリ側に变化した。

これは、鉄が水中で腐食される場合、水および酸素が作用して水酸化第1鉄($\text{Fe}(\text{OH})_2$)、さらに酸化されて水酸化第2鉄 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ になるためであろう。

表7 流速によるねずみ鉄の腐食量

腐 食 液	流 速(m/s)	試験日数(間)	P H (初期)	腐食量(mg/cm ²)
水 道 水	0	5	7.67	15
"	1.3	"	"	17
人 工 海 水 (NaCl3.5% MgCl ₂ 6H ₂ O 0.5%)	0	"	5.93	30
"	1.3	"	"	37

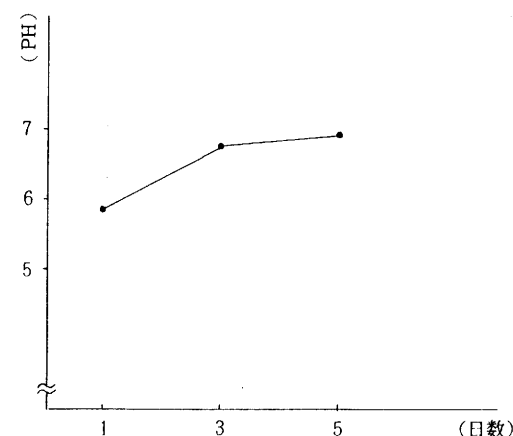


図9 流速1.3 m/sで人工海水中におけるPHの経時変化

4 ま と め

(1) ねずみ鉄品の粉体塗装工程(予熱)における熱影響(寸法、変形度、強度の低下)を調べたが変化は見られなかった。

今後、実際のバルブを粉体塗装してシート部(弁座)の漏れの有無を確認する必要がある。

(2) 鉄に施した黒ワニス塗装、タールエポキシ樹脂塗装、エポキシ樹脂粉体塗装の防食性能を比較検討した結果、エポキシ樹脂粉体塗装が一番良好であった。但し、塗膜のピンホール、焼付け不良等の塗装欠陥があれば他の塗装法に劣る結果になる可能性がある。

(3) 流速によるねずみ鉄の腐食については水道水と人工海水を比較したところ、人工海水の方が約

2 倍程度、腐食量は多かった。流速効果については静止水および 1.3 m/s の低流速の検討しか行なえなかった。今後、高流速での実験を行なう必要がある。

5. おわりに

本研究の遂行にあたり、資料の提供および助言をいただいた日本水道協会東部検査事業所々長 和田 繁氏、小野田セメント株式会社 斉藤 弘氏、東亜合成化学株式会社 成瀬尚彦氏に深謝の意を表します。

6. 参考文献

- (1) 日本水道新聞 昭和55年3月20日付け第2095号
- (2) J D P A Z 2006 - 1979 ダクタイル鋳鉄管用内面エポキシ樹脂粉体塗装解説
- (3) 辻 久男 昭和45年度滋賀県立機械金属工業指導所業務報告、材料強度とかたさの関連に関する研究（ネズミ鋳鉄の引張強さとかたさの関係）
- (4) H. T. Augus Physical and Engineering Properties of Cast Iron (1960)
- (5) JWWAK115-1974 水道用タールエポキシ樹脂塗料塗装方法

バルブ部品加工における L C A 化の研究報告書

技師 樋 口 英 司

ま え が き

経済情勢が低成長期に入った今日、高価な設備投資を行なうことよりも、先ず現有設備の高度な活用による生産性の向上、即ち、賃金高騰の中で、製品のコストダウンを図ることが重要な課題である。この方策の一つとして、現有設備に省力化、自動化技術の導入が考えられる。

そこで、今年度は L C A 手法での現有機械の一部改造による省力化に的を絞り、油圧、電気を使った簡易自動化の研究を実施した。汎用機の簡易自動化によって、機械の純稼動時間を長くしたり、自動停止装置等を付加し、作業方法に工夫を行い、作業者の持ち台数を増加させるとともに技術力に頼らない加工方式に改造を行ったのでその研究結果を以下に報告する。

2. 設 計 構 想

昭和53年度に L C A 化の技術指導の要請があった中小企業の現況を知る為に各工程を観察するとともに、作業時間を測定して、ネック工程の分析を行った。ネック工程を V T R に撮り、標準動作をつかんで、作業時間の分析を実施して設計構想をまとめた。作業時間の分析結果を表 1 に示す。表 1 から判断出来るように、切削加工時間が 90 秒 / 個である。これを短縮するために、使用中の旋盤を表 2 のサイクルタイムに改造を行い、送り部分を全て油圧駆動とした。改造サイクルタイムの切削加工時間は 62% 減少して 34 秒 / 個となり、日産個数は 270 個程度となって、現在の約 60% の増産が可能となる。

なお、省力、自動化の切削箇所および加工品を図 1 に示した。図 1 の中で太線の部分が現在、汎用旋盤で 1 人つききりで加工しており、前後の工程と比較して大きなネックとなっていることから、今回の研究にて 1 人 2 台持ちを目標にテーマを設定した。

内 容		時 間
取付け・芯出し		40 sec
面加工		12 sec
穴グリ・深面加工		28 sec
面取り		5 sec
深穴グリ		45 sec
取外し		19 sec
小計	段 取 時 間	59 sec
	加 工 時 間	90 sec
計		149 sec / 個
7 時間 × 3600 秒 / 149 秒 = 169 個		

表 1 現在の作業時間
(全て 5 回の測定平均値)

表2 サイクルタイム

No.	動 作	行 程 (mm)	時 間 (sec)	速 度 mm/min
a	シリンダ1 早送り	150	3	3,000
b	“ 切削送り	50	5	600
c	シリンダ2 切削送り	100	10	600
d	“ 停 止		5	
e	シリンダ3 早送り	90	2	2,700
f	“ 切削送り	35	4	525
g	シリンダ2・3 早戻り	125	2	3,750
h	シリンダ1 早戻り	200	3	4,000
計		34 sec		

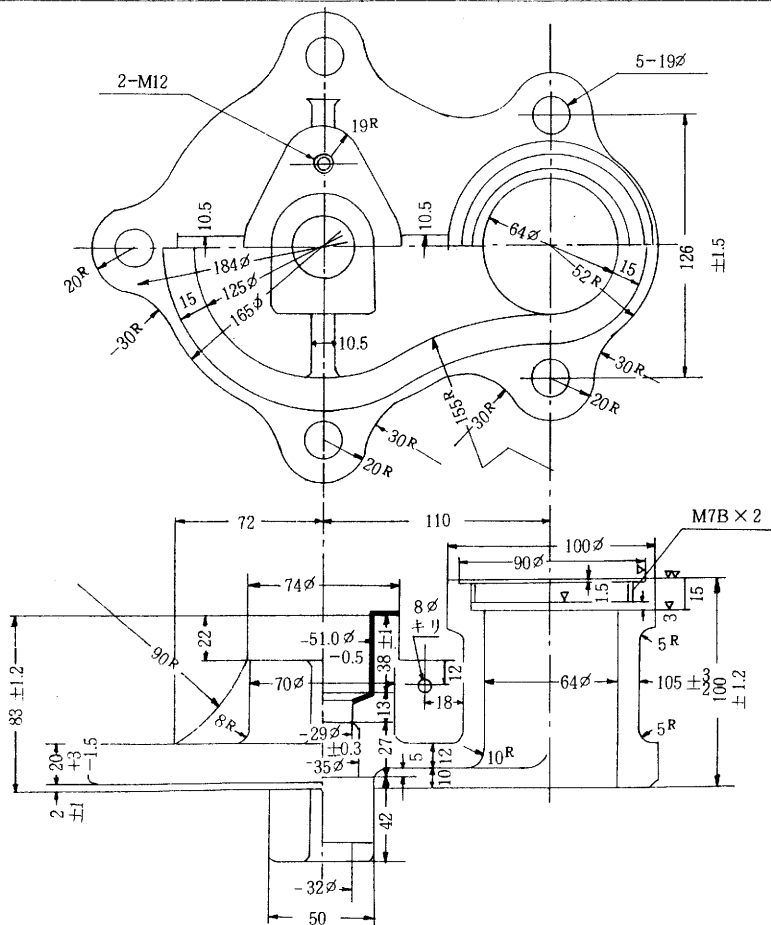


图 1 地下式单口消火栓 75 mm

3. 設計仕様

ベッド上の振り	700 mm
回転速度	50 ~ 1,030 r. p. m
往復台移動距離	200 mm
横送り台移動距離	100 mm
刃物送り台移動距離	125 mm
最大送り速度	4 m/min
切削送り速度	50 ~ 600 mm/min
主軸モータ	2.2 KW
工 条 件	
工作物材質	FC20
加工穴径	51φ
回転速度	675 r. p. m
切削速度	約 110 m/min
送 り	0.2 ~ 1 mm/rev

4. サイクル線図

表2に示したサイクルタイムを図に示したものが図2である。なお、図中の斜線部分は負荷状態を示している。

シリンダの動きを制御するソレノイドバルブあるいは、リミットスイッチ等には、当然のことながら、多少の時間遅れを生じる為に、これを修正したサイクルタイムを表3に示す。

また、参考のために、自動化に使用される制御機器の一般的な時間遅れの基準を下記に示す。

表3 修正サイクルタイム (時間遅れ)

No.	動 作	行 程 (mm)	時 間 (sec)	速 度 (mm/min)
a	シリンダ 1 早送り	150	2.8	3,214
b	切削送り	50	5	600
c	シリンダ 2 切削送り	100	10	600
d	停 止		5	
e	シリンダ 3 早送り	90	1.8	3,000
f	切削送り	35	4	525
g	シリンダ 2・3 早戻り	125	1.8	4,167
h	シリンダ 1 早戻り	200	2.8	4,286
計		33.2 sec		

時間遅れ発生箇所 (一般的な基準)

		遅れ時間
パイロットチェック弁の閉止遅れ		0.05 ~ 0.2
電磁切換弁の切換時間遅れ	1 段	0.03 ~ 0.08
	2 段	0.1 ~ 0.3
減圧弁の弁棒の開き遅れ		0.1 ~ 0.5
シーケンス弁の開き遅れ		0.1 ~ 0.5
単ソレノイド弁の切換時間遅れ		0.03 ~ 0.08
無負荷弁の時間遅れ	アンロード	0.05 ~ 0.1
	オンロード	0.1 ~ 0.5
圧力補償付可変容量形ポンプ		0.03 ~ 0.05

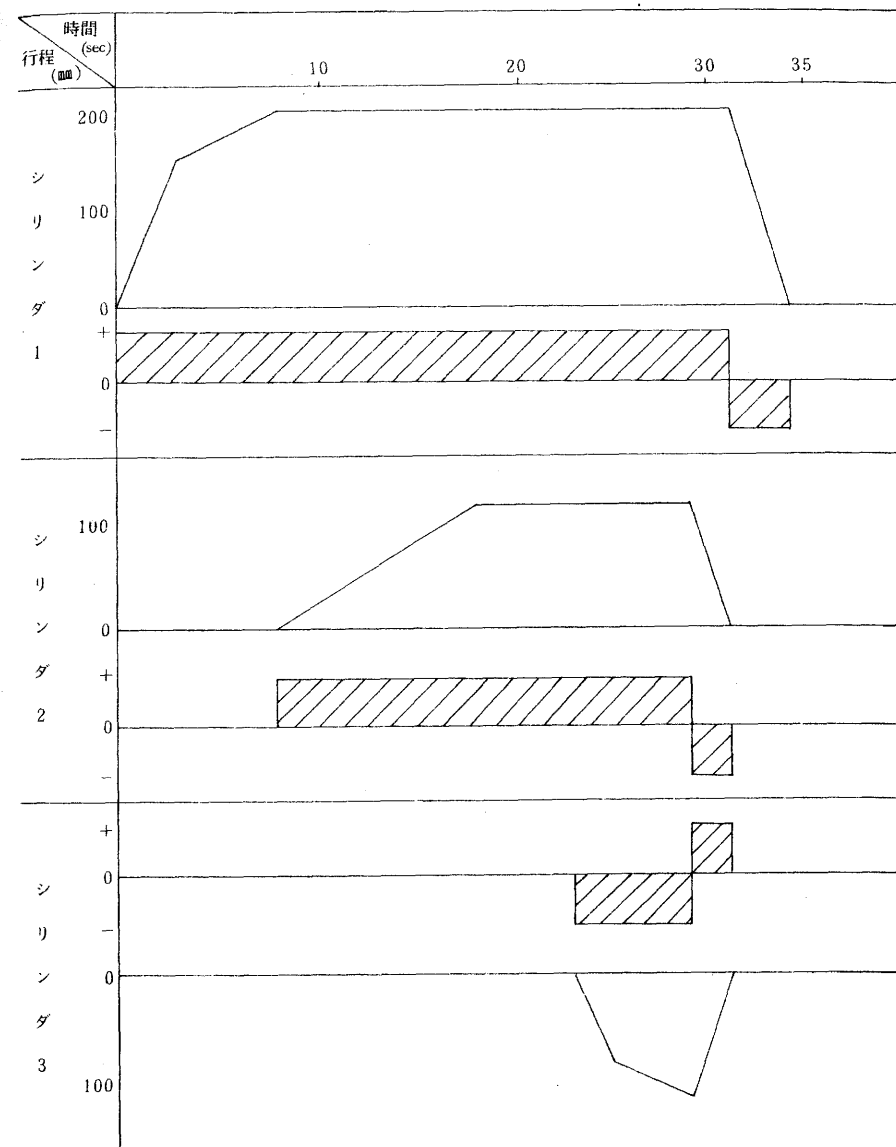


図 2 サイクル線図

5. 制御機器に掛る負荷の解析

5-1 シリンダ1の総負荷

a) 全重量～シリンダ1が制御する総重量

$$W = 231 \text{ kg}$$

b) 切くず面積～切込量×送り量

$$q = 11 \times 0.5 = 5.5 \text{ mm}$$

c) 切削抵抗 (クローネンベルグの式より)

$$P = Ks q$$

$$Ks = CKs / \epsilon Ks \sqrt{q}$$

P: 切削抵抗 kg

Ks: 比切削抵抗 kg/mm

CKs: 材質およびすくい角により定まる定数

ϵKs : 材質による定数

$$Ks = 148 / 7.4 \times \sqrt{5.5} \approx 46 \text{ kg/mm}$$

$$P = 46 \times 5.5 \approx 253 \text{ kg}$$

d) 動摩擦抵抗 (Fd)

Fd = 重量 × 動摩擦係数 (0.1 ~ 0.3)

$$231 \text{ kg} \times 0.3 \approx 69 \text{ kg}$$

e) 最大負荷 (Fmax)

$$F_{\max} = Fd + P$$

$$253 + 69 = 322 \text{ kg}$$

5-2 シリンダ2の総負荷

a) $W = 27 \text{ kg}$

b) $q = 4 \times 0.5 = 2 \text{ mm}$

c) $Ks = 20 \times 1.4 \approx 28$ $P = 28 \times 2 = 56 \text{ kg}$

d) $Fd = 27 \times 0.3 \approx 8 \text{ kg}$

e) $F_{\max} = 8 + 56 = 64 \text{ kg}$

5-3 シリンダ3の総負荷

a) $W = 86 \text{ kg}$

b) $q = 3 \times 0.5 = 1.5 \text{ mm}$

c) $Ks = 20 \times 1.2 = 24$ $P = 24 \times 1.5 = 36 \text{ kg}$

d) $Fd = 86 \times 0.3 \approx 26 \text{ kg}$

e) $F_{\max} = 26 + 36 = 62 \text{ kg}$

6. 油圧装置

設計構想による油圧回路図を図3に示す。

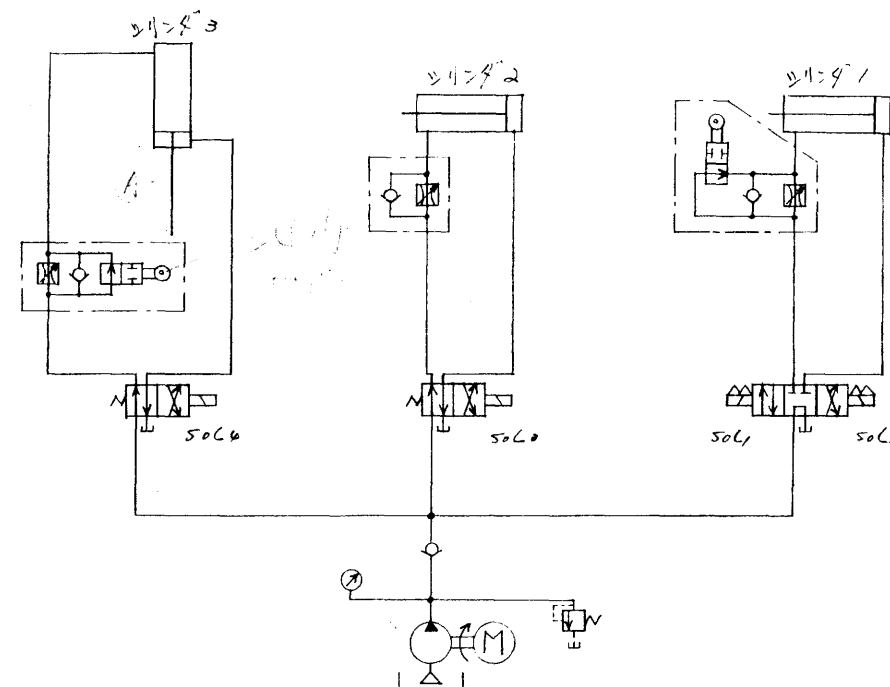


図3 油圧回路図

7. 機器の仕様

7-1 シリンダ

a) シリンダのロッド径の決定

設計仕様によって決定したシリンダ行程においてシリンダは所要の負荷に耐えねばならない。シリンダ行程がロッド径の10倍以上になると、ロッドには単純圧縮応力ではなく、座屈応力がかかる。よって、長柱として計算するため、オイラーの理論式を使用した。

次式は鋼材に対し、安全率6として、オイラーの式を変形したものである。

$$d = 0.156 \ell^{1/2} (W/n)^{1/4}$$

d: ロッド径 mm

ℓ : ロッドの長さ (行程) mm

W: 最大負荷 kg

n: 端末条件による定数

$$d = 0.156 \times (200^{\frac{1}{2}}) \times (322^{\frac{1}{4}}) \\ = 0.156 \times 14.14 \times 4.24 \approx 9.4 \text{ mm}$$

JIS B8354によるシリンダの大きさから、市販品の最少径の40φのシリンダでロッド径は18φ。
よって、40φのシリンダで可能となる。

b) 最低送り速度からのシリンダ径の検討

減速弁付流量調整弁の最少調整流量（カタログより）30cc/min
最低送り速度（仕様より）50mm/min

ロッド側有効断面積（ A_2 ）＝最少流量／最低送り速度

$$A_2 = 30 / 5 = 6 \text{ cm}^2$$

シリンダ40φでは A_1 （ヘッド側有効断面積）＝12.6 cm²

$$A_2 = 10.0 \text{ cm}^2$$

c) シリンダ作動圧力

$$(P_1 - P_2) A_1 = F_{\max} / \eta F$$

P_1 : ヘッド側圧力 kg/cm²

P_2 : ロッド側圧力

ηF : シリンダ荷重係数（一般に0.9）

$$P_1 - P_2 = F_{\max} / \eta F \times A_1 = 322 / 0.9 \times 12.6 \approx 28 \text{ kg/cm}^2$$

圧力差の約30%増がポンプ吐出圧力となる。 36 kg/cm²

d) 所要流量

$$Q = AV / 1000$$

A : シリンダ有効断面積 cm²

V : シリンダの最大速度 cm/min

$$Q = 428.6 \times 10 / 1000 \approx 4.3 \text{ l/min}$$

7-2 配管径

一般的には、管内平均流速がつぎの数値になるような管内径をもつ管を規格品の中から選定する。

圧力管路 2～4.5 m/sec

戻り管 2.5 m/sec

吸入管路 0.6～1.2 m/sec

管内平均流速は次式によって計算する。

$$V = Q / 6 A = 21.2 Q / d^2$$

A : 管断面積 cm²

d : 管内径 cm

管内平均流速を求めるノモグラフを使用して求めた管内径

圧力配管	5 mm
戻り管	6 mm
吸入管	10 mm

7-3 油圧ポンプの所要動力

$$L = P \times Q / 612 \times \eta$$

P : 作動圧力 kg/cm²

η : ポンプ効率（一般に0.8）

$$L = 36 \times 4.3 / 612 \times 0.8 \approx 0.3 \text{ KW} \text{ (二乗平均動力} \sim 0.2 \text{ KW)}$$

負荷変動が規則正しく、周期的に繰り返される場合には、二乗平均容量決定法が使用される。

一例をあげると、8 KWの負荷4分、6 KWの負荷50秒、9 KWの負荷3分、停止時間合計6分で繰り返されると、次式のようになる。

$$\text{二乗平均動力} = \sqrt{\frac{(8^2 \times 240) + (6^2 \times 50) + (9^2 \times 180)}{240 + 50 + 180 + 360 \times 3}} = \sqrt{53.8} = 7.35 \text{ KW}$$

モータの停止中の時間は、開放型では1/3、閉鎖型では1/2、全閉型では1の冷却効果を考慮する。

7-4 油タンクの容量

一般的にポンプ吐出量の3～4倍のものを見込む。

所要流量 約4 l/min × 5 = 20 l

容量的には、これでよいが、正確には、油温の上昇、シリンダ出入による油面の上下によって、ストレーナが油面上にでることを考慮して決定する。

8. 電気回路設計仕様

- 作業命令はPB1。PB1・ONでシリンダ1前進（SoL₁・ON）。但し、サイクル中PB1を押しても誤動作しないようにする（LS₁・LS₃・LS₅・ONの時のみPB1有効）
- シリンダ1前進途中カムにより切削送りとなり、前進完了はLS₂で検出。シリンダ1前進完了後シリンダ2前進（SoL₃・ON）
- シリンダ2前進完了はLS₄で検出。シリンダ2前進完了後5秒してシリンダ3前進（SoL₄・ON）
- シリンダ3前進途中カムにより切削送りとなり前進完了はLS₅で検出。前進完了後、シリンダ2後退（SoL₃・OFF）後退完了はLS₃で検出。
- シリンダ2後退完了後シリンダ3後退（SoL₄・OFF）後退完了はLS₆で検出。後退完了後、シリンダ1後退（SoL₂・ON）後退完了はLS₁で検出して1サイクルが終了休止。
- SoL₄・OFFの保証インターロック
シリンダ2が前進中にシリンダ3が後退してはいけない。
- 非常操作
シリンダ1・2が前進中に非常操作があればシリンダ1・2は後退（SoL₂・ON、SoL₃・OFF）するが、シリンダ3が前進中、前進完了時に非常操作があってもシリンダ1・2は後退しない。
シリンダ3が前進中、前進完了時に非常操作があればシリンダ3は後退（SoL₄・OFF）する。

9. シーケンスチャート

設計シーケンスチャートを図4に示す。図中の縦線の太い部分は作動中のスイッチがベアーになっているラインを、斜線部は制御機器の通電状態を表わす。

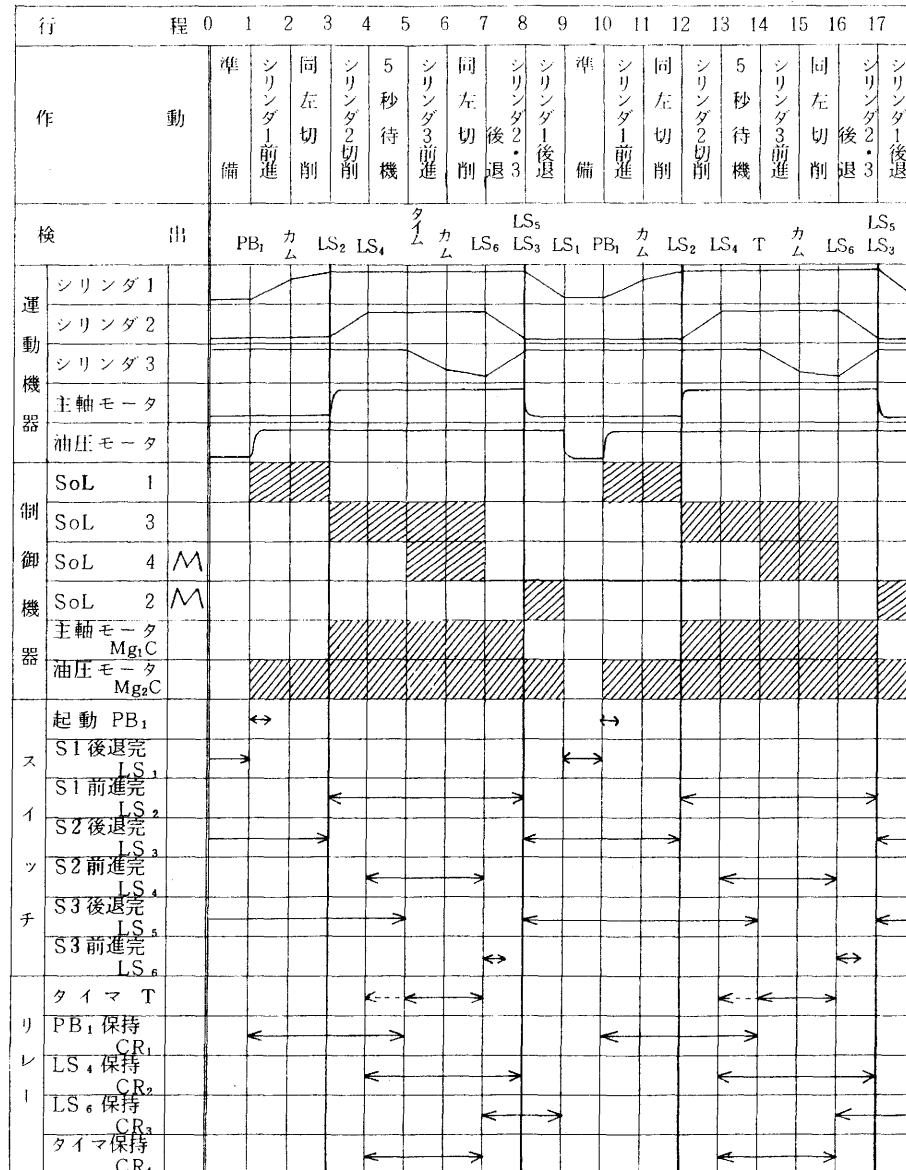


図4 シーケンスチャート

10. 自動シーケンスの論理式

制御機器がONになるための条件をスイッチ・リレー接点で構成する。

シーケンスの制御機器のON、OFFを検出するスイッチをみつめて、それらの論理式を作る。スイッチによる操作機器の論理式を図5に示す。

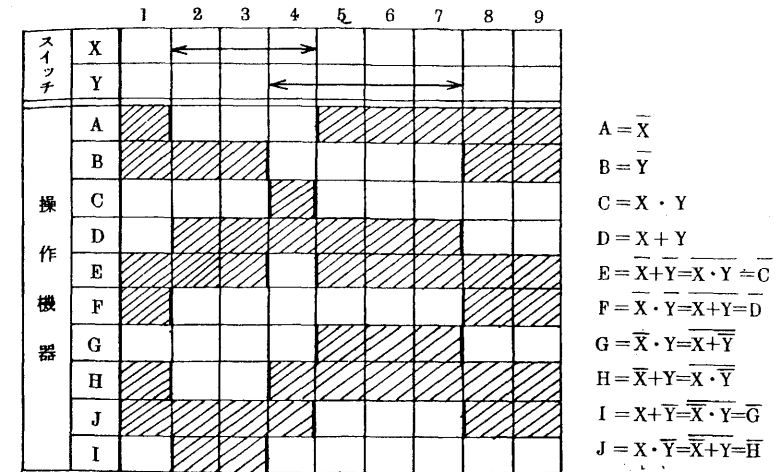


図5 スイッチによる操作機器の論理式

図6は、シーケンス制御の構成を図7はリレー接点論理回路を示す。

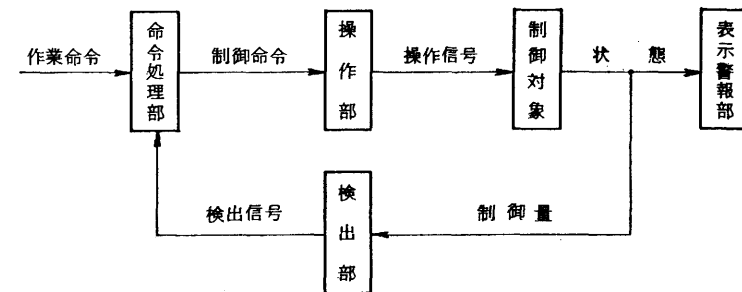


図6 シーケンス制御の構成

機能	真理値表	論理式	接点回路															
NOT 否定	<table> <tr><td>A</td><td>X</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	X	0	1	1	0	$X = \bar{A}$										
A	X																	
0	1																	
1	0																	
AND 論理積	<table> <tr><td>A</td><td>B</td><td>X</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	X	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$X = A \cdot B$	
A	B	X																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
OR 論理和	<table> <tr><td>A</td><td>B</td><td>X</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$X = A + B$	
A	B	X																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
NAND 論理積否定	<table> <tr><td>A</td><td>B</td><td>X</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	X	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$X = \overline{A \cdot B}$ $= \bar{A} + \bar{B}$	
A	B	X																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
NOR 論理和否定	<table> <tr><td>A</td><td>B</td><td>X</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	X	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$X = \overline{A + B}$ $= \bar{A} \cdot \bar{B}$	
A	B	X																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																

図7 リレー接点論理回路

論理式

$$\left. \begin{aligned}
 \text{SoL}_1 &: \text{LS}_3 \cdot \text{CR}_1 \\
 \text{SoL}_3 \text{ } \text{Mg}_1 &: \text{LS}_2 \cdot \overline{\text{CR}_3} \\
 \text{SoL}_4 &: \text{T} \\
 \text{SoL}_2 &: \text{LS}_3 \cdot \text{CR}_3 \\
 \text{CR}_1\text{C} &: (\text{PB}_1 \cdot \text{LS}_1 \cdot \text{LS}_3 \cdot \text{LS}_5 + \text{CR}_1) \cdot \bar{\text{T}} \\
 \text{CR}_2\text{C} &: (\text{LS}_4 + \text{CR}_2) \cdot \text{LS}_2
 \end{aligned} \right\} \text{A式}$$

$$\text{CR}_3\text{C} : (\text{LS}_6 + \text{CR}_3) \cdot \overline{\text{LS}_1}$$

$$\text{CR}_4\text{C} : (\text{LS}_4 + \text{CR}_4) \cdot \overline{\text{LS}_6}$$

11. インターロック

a) 確認のインターロック

次の行程に移るさいに正常な状態にある事を確認する。

b) 保証のインターロック

誤動作を起さないようにシーケンスの進行を保証する。

c) 保護のインターロック

誤動作が起ったさいに装置の保護を自動的に行なわせる。

d) インターロックを含んだ論理式

$$\left. \begin{aligned}
 \text{ONを保証} \\
 \text{ONして保護}
 \end{aligned} \right\} (\text{A} \cdot \text{B} + \text{C}) \cdot \text{SoL}$$

$$\left. \begin{aligned}
 \text{OFFを保証} \\
 \text{OFFして保護}
 \end{aligned} \right\} \overline{\text{A} \cdot \text{B} \cdot \text{C}} \cdot \text{SoL} = (\overline{\text{A} + \text{B}}) \cdot \text{C} \cdot \text{SoL}$$

但し、(A): 保証する動作を検出するスイッチ、保護動作を発動する誤動作検出スイッチ

(B): インターロックを必要とする部分を含み、インターロックがあってはならない部分を含まない範囲の論理式

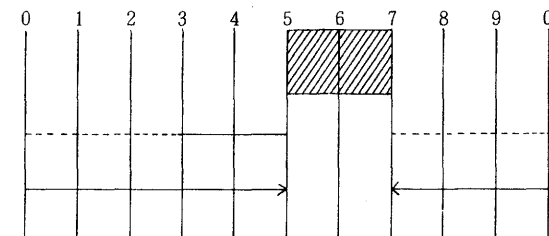
(C): 自動シーケンスの論理式

(A): シリンダ3が前進しない保証→TがOFF (SoL₄・OFF)

$$\therefore \text{(A)}: \bar{\text{T}}$$

(B): SoL₄のOFFを保証する行程→シリンダ2・切削、5秒待機

SoL₄がOFFになってはいけない行程→シリンダ3前進、切削



SoL₄

インターロック範囲

Tの範囲

$$\therefore \text{(B)}: \bar{\text{T}}$$

(C): (A)式よりSoL₄の自動シーケンスの論理式 = T・SoL₄

インターロックを含んだ論理式は、

$$\begin{aligned}
 \text{SoL}_4 \text{のOFFを保証: } & (\overline{\text{A} + \text{B}}) \cdot \text{(C)} \cdot \text{SoL}_4 \\
 & (\bar{\text{T}} + \bar{\text{T}}) \cdot \text{T} \cdot \text{SoL}_4
 \end{aligned}$$

$$= (T + T) \cdot T \cdot \text{SoL}_4$$

$$= T \cdot \text{SoL}_4 \quad (\text{自動シーケンスの論理式と同じ})$$

12. 非常回路

非常操作を行なった際、定められた非常サイクルを行なう回路。

非常回路を含んだ論理式

非常操作により ON する場合 $\rightarrow (CRx \cdot \textcircled{B}) + \textcircled{C} \cdot \text{SoL}$

非常操作により OFF する場合 $\rightarrow (\overline{CRx} + \textcircled{B}) \cdot \textcircled{C} \cdot \text{SoL}$

但し、CRx : リレー-CRxC の接点

$$(\text{PBx} + \text{CRx}) \cdot \overline{\text{PB}} \cdot \text{CRxC}$$

PBx : 非常操作ボタン

PBY : 非常解除ボタン

②: 非常操作の仕様を満足する範囲の論理式。但し、非常操作が行なわれても行程に関係がなければ不要

③: 自動シーケンス (含インターロック) の論理式

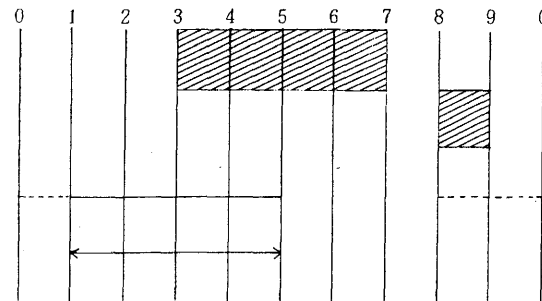
12-1 回路設計仕様 (g) の SoL₂・ON、SoL₃・OFF の非常回路

②: 非常操作時に SoL₂・ON、SoL₃・OFF になる行程

$\rightarrow$ シリンダ 2 切削・5 秒待機行程

非常操作時に SoL₂・ON、SoL₃・OFF になってはいけない行程

$\rightarrow$ シリンダ 3 前進・切削行程



$\therefore \textcircled{B} : CR_1$

③: SoL₂ : $LS_3 \cdot CR_3$

SoL₃ : $LS_2 \cdot CR_3$

$\therefore$ SoL₃ を OFF にするから

$$(\overline{CRx} + \overline{CR_1}) \cdot LS_2 \cdot CR_3 \cdot \text{SoL}_3$$

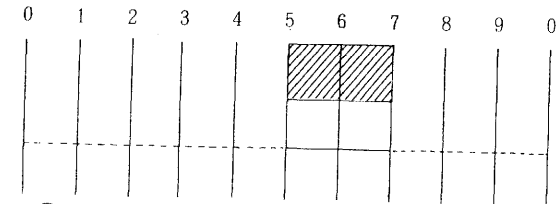
$\therefore$ SoL₂ を ON にするから

$$(CRx \cdot CR_1 + LS_3 \cdot CR_3) \cdot \text{SoL}_2$$

12-2 (g) の SoL₄・OFF の非常回路

②: 非常操作時に SoL₄・OFF になる行程 $\rightarrow$ シリンダ 3 後進・切削行程

非常操作時に SoL₄・OFF になってはいけない行程 $\rightarrow$ なし



$\therefore \textcircled{B} : \text{行程関係なしで不用}$

③: $T \cdot \text{SoL}_4$

$\therefore$ SoL₄ を OFF にするから

$$\overline{CRx} \cdot T \cdot \text{SoL}_4$$

13. 自動シーケンスにインターロック・非常操作を組み込んだ論理式

- 1) $LS_3 \cdot CR_1 \cdot \text{SoL}_1$
- 2) $(\overline{CRx} + \overline{CR_1}) \cdot LS_2 \cdot \overline{CR_3} \cdot \text{SoL}_3$
- 3) $\overline{CRx} \cdot T \cdot \text{SoL}_4$
- 4) $(CRx \cdot CR_1 + LS_3 \cdot CR_3) \cdot \text{SoL}_2$
- 5) $(\text{PB}_1 \cdot LS_1 \cdot LS_3 \cdot LS_5 + CR_1) \cdot \overline{T} \cdot CR_1 C$
- 6) $(LS_4 + CR_2) \cdot LS_2 \cdot CR_2 C$
- 7) $(LS_6 + CR_3) \cdot \overline{LS_1} \cdot CR_3 C$
- 8) $(LS_4 + CR_4) \cdot \overline{LS_6} \cdot (CR_4 C + TC)$
- 9) $(\text{PBx} + \text{CRx}) \cdot \overline{\text{PB}} \cdot \text{CRxC}$

但し、PBx : PB₂

PBY : PB₃

CRx : CR₅

表 4 は論理式の接点数を示す。

スイッチ 接点	LS ₁	LS ₂	LS ₃	LS ₄	LS ₅	LS ₆	PB ₁	PB ₂	PB ₃	PB ₄	T	CR ₁	CR ₂	CR ₃	CR ₄	CR ₅
a 接点	1	2	3	3	1	1	1	1	0		1	3	1	2	1	2
b 接点	1	0	0	1	1	1	0	0	1		1	1	0	1	1	2

表 4 接点表

- $$\begin{aligned}
 1) & \text{SoL}_1 : \text{LS}_3 \cdot \text{CR}_1 \\
 2) & \text{SoL}_3 : (\overline{\text{CR}_5} + \overline{\text{CR}_1}) \cdot \text{LS}_2 \cdot \overline{\text{CR}_3} \\
 3) & \text{SoL}_4 : \overline{\text{CR}_5} \cdot \text{T} \\
 4) & \text{SoL}_2 : (\text{CR}_5 \cdot \text{CR}_1 + \text{LS}_3 \cdot \text{CR}_3) \\
 5) & \text{CR}_1\text{C} : (\text{PB}_1 \cdot \text{LS}_1 \cdot \text{LS}_3 \cdot \text{LS}_5 + \text{CR}_1) \cdot \overline{\text{T}} \\
 6) & \text{CR}_2\text{C} : (\text{LS}_4 + \text{CR}_2) \cdot \text{LS}_2 \\
 7) & \text{CR}_3\text{C} : (\overline{\text{LS}_4} \cdot \text{LS}_6 + \text{CR}_3) \cdot \overline{\text{LS}_1} \\
 8) & \left. \begin{array}{l} \text{CR}_4\text{C} \\ \text{TC} \end{array} \right\} : (\text{LS}_4 + \text{CR}_4) \cdot \overline{\text{LS}_6} \\
 9) & \text{CR}_5\text{C} : (\text{PB}_2 + \text{CR}_5) \cdot \overline{\text{PB}_3}
 \end{aligned}$$
- B 式

14. 論理式の整理

リミットスイッチ・圧力スイッチ・リレー接点等の接点数に限りがあるので、これらの使用数を調べ、論理式の整理、統合を行う。

整理・統合の方法

- 一つの式内に同じ LS・CR 等がある場合、ブール代数の公式、Veitch 図表等を用いて簡略化を試みる。
- 式全体に同じ LS・CR 等がある場合、各式を組み合わせて、統合簡略化を試みる。
- スイッチ接点が限度数以上ある時は、そのスイッチ接点で作動するリレーを設けてその接点を使用する。

リレー接点が限度数以上ある時は、リレーを並列に加えてその接点を使用する。

13項の論理式の接点表から、限度数以上のものを上げると、 $\text{LS}_2 \cdot \text{LS}_3 \cdot \text{LS}_4$ の 4 個であるので、整理・統合すると次式になる。

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{array}{l} \text{SoL}_1 \\ \text{SoL}_2 \\ \text{CR}_1\text{C} \end{array} \right\} : \text{LS}_3 \{ (\text{PB}_1 \cdot \text{LS}_1 \cdot \text{LS}_5 + \text{CR}_1) \cdot \overline{\text{T}} \cdot \text{CR}_1\text{C} + \text{SoL}_1 + \\
 & \quad (\text{CR}_3 + \text{CR}_5 \cdot \text{CR}_1) \text{SoL}_2 \} \\
 & \left. \begin{array}{l} \text{SoL}_3 \\ \text{CR}_2\text{C} \end{array} \right\} : \text{LS}_2 \{ (\overline{\text{CR}_5} + \overline{\text{CR}_1}) \cdot \overline{\text{CR}_3} \cdot \text{SoL}_3 + (\text{LS}_4 + \text{CR}_2 + \text{CR}_4) \cdot \\
 & \quad \text{CR}_2\text{C} + \overline{\text{LS}_6} \cdot (\text{CR}_4\text{C} + \text{TC}) \} \\
 & \left. \begin{array}{l} \text{SoL}_4 \\ \text{CR}_3\text{C} \\ \text{CR}_5\text{C} \end{array} \right\} : \left. \begin{array}{l} \text{T} \cdot \overline{\text{CR}_5} \cdot \text{SoL}_4 \\ (\text{LS}_6 + \text{CR}_3) \cdot \overline{\text{LS}_1} \cdot \text{CR}_3\text{C} \\ (\text{PB}_2 + \text{CR}_5) \cdot \overline{\text{PB}_3} \cdot \text{CR}_5\text{C} \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

C 式

整理・統合した論理式の接点を調べてみると表 5 になる。

表 5 接点表

接点	LS ₁	LS ₂	LS ₃	LS ₄	LS ₅	LS ₆	PB ₁	PB ₂	PB ₃	PB ₄	T	CR ₁	CR ₂	CR ₃	CR ₄	CR ₅
a 接点	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	2	1	2
b 接点	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	2

15. 電気回路図の作成

C 式の電気回路図を図 7 に示すが、実際には、これにサーマルリレー、表示灯、電動機回路図を加える。

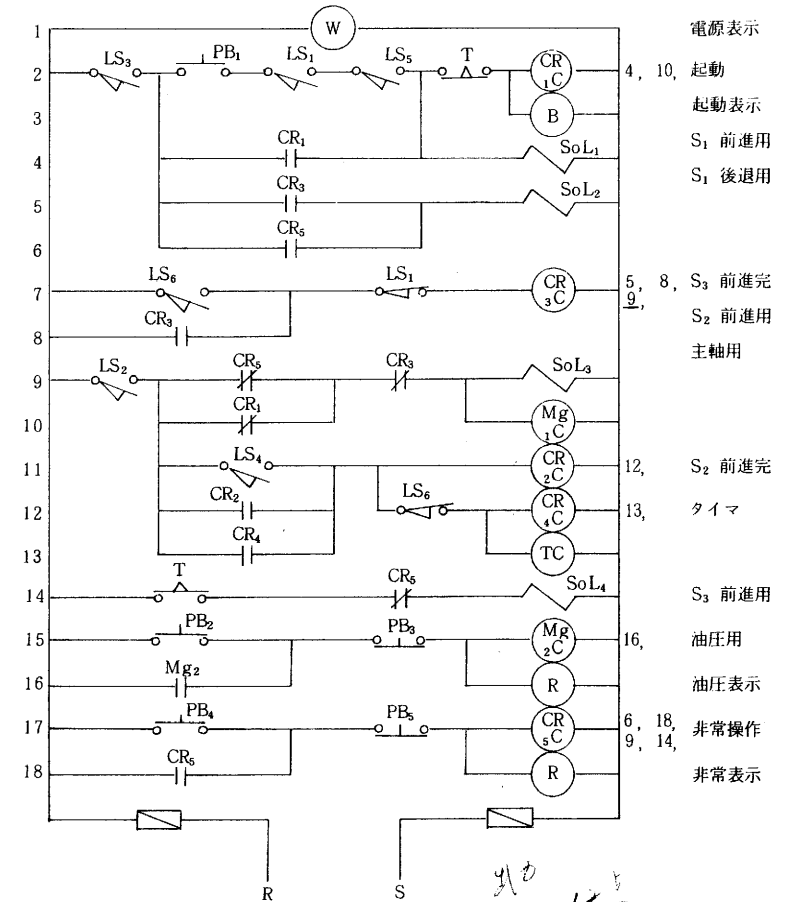


図 8 電 気 回 路 図

なお、電気図記号は MAS 502、日本工作機械工業会規格を使用した。(図9)

機 器	M A S		J I S	
	a 接点	b 接点	a 接点	b 接点
押 ス イ ッ チ				
リ ミ ッ ト ス イ ッ チ				
圧 力 ス イ ッ チ				
リ レ ー				
タ イ マ				
シ レ ン ド				

図9 MAS 記号と JIS 記号

16. 所要経費

油圧関係部品と電気関係部品が必要となるが、本研究では電気関係部品の調達に時間が掛り、日程を延長せざるを得なかった。

自動化、省力化を自社で実施する場合には、必要部品の販売店、カタログのリストアップが重要なポイントとなる。これらの掌握状態によって、完成期間が大巾に短縮されると共に、経費の切下げが可能となる。

本研究に用いた経費を次に示す。

16-1	油圧関係	300,000 円	
	油圧ポンプユニット	1 台	100,000 円
	電磁弁、その他の弁関係		125,000 円
	油圧シリンダ	2 本	53,000 円
	配管関係		16,000 円

油圧作動油 20ℓ 6,000 円

16-2 電気関係 100,000 円

ノーヒューズブレーカ

電磁開閉器

リミットスイッチ

押鉛スイッチ

補助リレー

タイマ

表示灯

端子台

ボックス

電 線

17. 結 び

本研究にあたり、多数の参考文献を引用させていただいた方々に心から感謝と敬意を表わすとともに、対象機械(汎用旋盤)の貸与と工程分析等に多大のご協力をいただいた木原鉄工所の木原道也氏ならびに従業員の方々に深く感謝する。

本研究の目標とする省力・自動化の効果測定について、昭和55年度は製品加工による追跡研究を実施して、その効果の確認を行いたい。

また、電気回路設計法については、大阪府立工業技術研究所、油空圧研究室の杉左近隆氏の回路設計法により実施したので紙面を借りてお礼を申し上げます。

18. 参考文献

「自動化のための油圧技術」70-16 (VoL 364): 中小企業振興事業団

「知りたい油圧、(基礎、実際、応用編)」: 不二越油圧研究グループ著

「電気、油空圧シーケンス回路の設計手法と例題による演習」: 関西油圧懇話会

大阪府立工業技術研究所

油空圧研究室 杉左近 隆 著

「機械技術者のための制御回路設計法」: 森田 栄一 著

「工作機械の電気制御・初歩から実際まで」: 大橋 康二 著

「油圧化設計」VoL12 No.9 SEP, 1974

VoL13 No.8 AUG, 1975 } : 日刊工業新聞社

VoL17 No.10 1979

バルブの設計改良の研究

常温内圧によるバルブの歪と凍結による バルブの割れ現象について

滋賀県立機械金属工業指導所 主査 齊田雄介
株式会社イズミ製作所 技術 木村一夫

1. 研究目的

1-1 常温内圧によるバルブの歪について（常温内圧実験）

地場産業である彦根地区のバルブはJISに基づいて、全品、水圧による耐圧試験を行って、出荷しておりJISによる品質は保証されている。

バルブの性能に影響する内圧時の歪については過去に数社の単発的な実測以外は研究されていなかったが、昭和53年度にバルブ製造業界の協力を得て、JIS B2044の口径250mmバルブを対象に研究を行い、また、理論式を採用した研究成果は業界の好評を得たので、今年度も引き続き、さらに未知の分野の実験を加えて内圧に強い形状の究明に努めた。

1-2 凍結によるバルブの割れ現象について（凍結実験）

昭和51年度の冬季異常低温のときに、全国的にバルブの凍結割れがクレームとして多数発生したことは衆知のことであるが、その後、メーカーが数社単独で凍結実験を行い、バルブの凍結割れはFCの場合は当然で「クレーム」として発生すべきものではなく、原因はむしろユーザー側、メーカー側双方の資料不足にあるということを証明したように思われる。

しかし、これらの実験データも、確かにFCは凍結割れがあり、FCDは割れないということが明確に示したが、実験設備上と知識的および経験的な未熟さのために批判に耐えるような数値的解析、または、バルブ内部の凍結現象と内圧との関係等がほとんど不明のままになっていると思われたので、今回、精密低温槽とデジタル多点歪測定器の導入を機会に上記の不明点が少しでも明確にできるのではないかと考え凍結実験を行った。

昭和54年度に当指導所にてバルブ業界の協力を得て、以下の研究を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験テーマ

2-1 常温内圧実験

地場産業のバルブのうち、JIS B2044（铸铁10kgf/cm²、フランジ型外ねじ仕切弁）は陸用バルブの代表的なバルブで規格はJISにて一部定められているが、形状・寸法ともに参考というものが多く、内圧に影響をおよぼす弁箱の形状・寸法については各事業所によって異なっている。そこで、この形状・寸法の違いによる歪の大きさに的を設定した。したがって、この形状・寸法の違いによる実験データを参考にして、自社の思いつきで速かに改善することが可能であるため内圧による歪の研究にこの機種を選定した。

なお、サイズの選定は次の理由からである。

口径150mm以下のバルブは生産量も多く、研究の対象機種としても手頃であるが、150mm以

下のバルブにおいては大口径のバルブに比較して安全率も高く設計されており、過去のメーカーの実績から内圧による歪のクレームが発生していないようである。

一方、口径200mm、250mm、300mmのバルブは重量が100kg、200kg、300kg程度あって、その取扱いが困難であることと、内圧による歪の実験も少なく、安全率の面から歪について検討を要すると考えられていたので昭和53年度に口径250mmを研究の対象とした経過から昭和54年度は口径200mmとした。

2-2 凍結実験

地場産業のバルブのうち、JIS B2062（水道用仕切弁）は水道用バルブの代表的なバルブで規格はJISにて一部定められていることと、（社）日本水道協会の指導で形状・寸法等各事業所とも全く同じである。

即ち、形状・寸法の違いによる常温内圧実験と異なって、凍結実験は材質（FC、FCD）および凍結条件の違いによる実験を目的としたものである。

実験を始めるにあたって、目標をどこに設定するかが問題となった。バルブが割れるか、割れなかったということは、勿論、結果現象として確認できるが、むしろ常温内圧実験データを基礎にして、バルブ内部での凍結現象の進行が、バルブ内圧力としてどう推移するかということにテーマを設定することにした。

凍結実験における歪の測定上の困難は常温内圧実験に比較して温度というファクターが入ってくることである。温度補償用のダミーゲージを有効に使用することになるが、そのセットの仕方にあたって二つの問題があった。

一つ目は恒温槽内の温度分布が均一かどうかということである。もう一つは、測定用ゲージとダミーゲージの温度条件が同じかどうかである。一つ目については分布は均一ではないが、その位置についてみれば安定しているので、データの処理の仕方でも解決できるものである。

もう一つ目については、バルブの外表面に貼付した測定用ゲージによってバルブ外表面の歪を測定することが目的であるが、そのゲージの温度条件が変化すると、デジタル多点歪測定器に示される値は、歪によるゲージの抵抗値の変化分と温度変化によるゲージの抵抗値変化分が合成されていることになり、歪だけを測定したことにならない。

そこで、ダミーゲージというのは、今回の場合は歪測定用ゲージと同じ温度条件をいつも維持するようにセットされ、温度変化による抵抗値の変化だけを測定するもので、そうすれば、歪と温度変化の合成された測定用ゲージの値から温度変化だけのダミーゲージの値を差し引けば歪だけを測定することができるというものである。

なお、バルブのサイズの選定は凍結時間の最も早い呼び径50mmも考慮したが、昭和54年度は代表的な呼び径100mmのバルブの完成品を研究の対象とした。

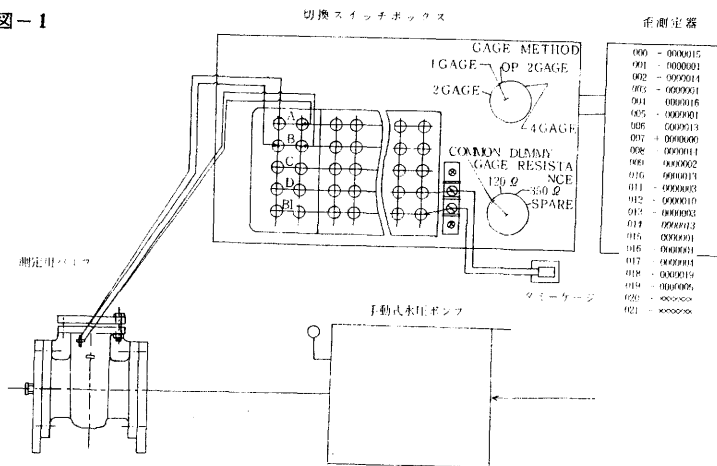
実験方法

3-1 常温内圧実験

3-1-1 実験方法は図-1のとおりで、実験装置等の仕様、型式は次のとおりである。

- ・小型自動デジタル多点ひずみ測定器
新興通信工業（株）製DPU-100型

図-1



○多点切換スイッチボックス (50点)

新興通信工業 (株) 製 RS 7513-50型, 4個

○手動式水圧ポンプ

(株) 山本水圧工業所製 PH-60型

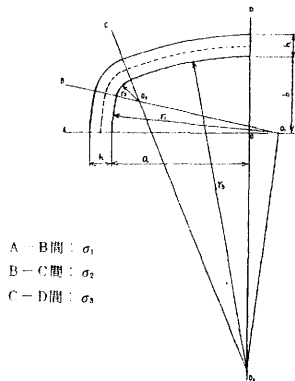
○ストレンゲージ

ビニールコード付箔歪ゲージ (ゲージ率: 1.96) の2軸クロスゲージ (ゲージ長2mm
×グリット幅1.3mm) と防水2軸クロスゲージ (ゲージ長2mm×グリット幅1.4mm)

3-1-2 バルブの弁箱に加える圧力は常用圧力の10kg・f/cm²と耐圧用の20kg・f/cm²を採用し、
歪測定後は内圧を0に戻し、歪の0を確認した。

3-1-3 各試料のバルブの形状・寸法を図-2, 図-4, 表-1に示す。

昭和53年度に実施したJIS B2044の口径250mmバルブの研究を基礎に歪の大きい箇所等を勘案して最低41箇所測定して残りを適宜補足した。



A-B間: σ_1
B-C間: σ_2
C-D間: σ_3

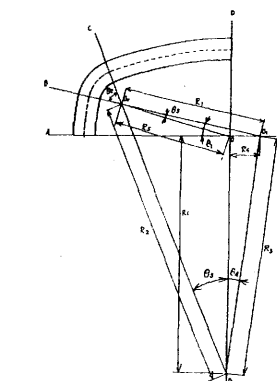


図-3 3個の円弧による小判胴

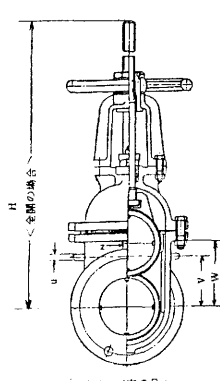


図-4

表-1 各試料におけるバルブの形状寸法等

JIS B2044の口径200mmバルブ

寸法等 試料	a mm	b mm	r ₁ mm	r ₂ mm	r ₃ mm	h (実測値) mm	u mm	v mm	w mm	z mm	H mm	弁箱のみ の重量 kg	完成品 重量 kg
A	123	51	123	20	600	17.5	15	152	197	15	936	60	110
B	124	55	330	14	1,000	19.5	15	0	206	80	1,012	67	125.4
C	125	56	360	11	800	15.0	—	—	216	15	1,004	62	143
D	126	54	550	9	1,100	18.5	15	161	206	15	991	66	135
E	125	55	75	8	900	15.1	—	—	216	28	1,002	63	133.4
F	126	53	126	12	650	15.4	15	170	208	15	970.5	57	112
G	126	54	550	9	1,100	15.5	15	161	206	15	1,000	65	130
H	126	55	550	9	1,100	15.2	—	—	206	15	1,016	62	125
I	129	57	320	12	640	16.5	—	—	216	17	995	63	125
J	133	48.5	133	12	650	—	—	—	216	15	995	—	150
K	125	52.5	190	15	750	—	—	—	206	18	980	—	128
L	125	46	125	14	600	—	—	—	214	—	960	—	110
M	124	55	550	9	1,100	—	—	—	206	15	1,000	—	142.5
N	128	58	128	14	450	—	—	—	208	44	1,000	—	124
差 (最大-最小)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	10	40

3-1-4 バルブは合計9試料で全部外表面の歪測定であるが、1試料のみ内表面の歪測定を併せて行った。

3-2 凍結実験

3-2-1 実験方法は図-5, 図-6, 図-7, 図-8のとおりで、実験装置等の仕様、型式は次のとおりである。

○小型自動デジタル多点ひずみ測定器

新興通信工業 (株) 製 DPU-100型

○多点切換スイッチボックス (50点)

新興通信工業 (株) 製 PS-7513-50型 4個

○手動式水圧ポンプ

(株) 山本水圧工業所製 PH-60型

○精密低温恒温槽

(株) 田葉井製作所製特注槽

○残留ひずみ測定装置

福井技術研究所製標準形

○ストレンゲージ

ビニールコード付箔歪ゲージ (ゲージ率: 1.96) の2軸クロスゲージ (ゲージ長2mm

図-5

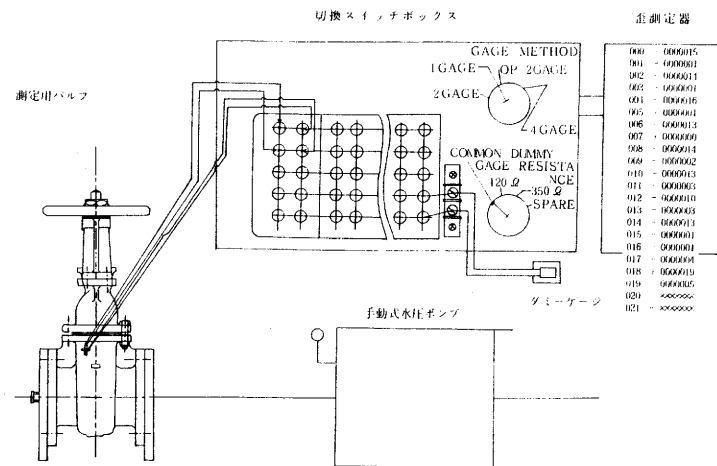


図-6 a 試料

- 測定温度
- ※① 冷蔵庫内吹出温度
 - ※② キャップの外表面
 - ※③ フランジ中央の雰囲気温度
 - ※④⑤ 実験用バルブの弁箱長軸中央外表面
 - ※⑥ 圧力開放80 ㉞ FC バルブの外表面

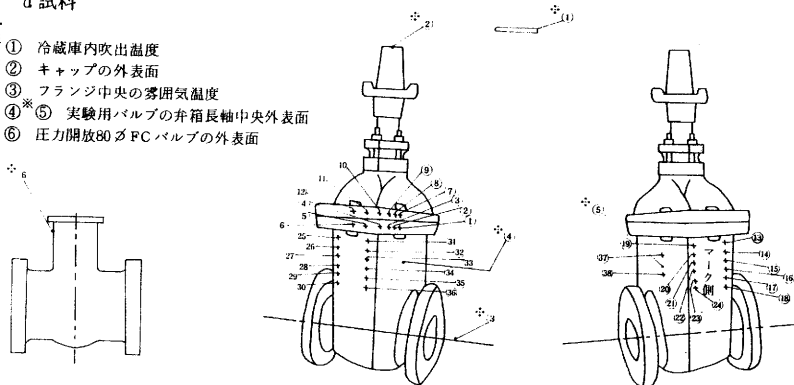


図-7 b 試料

- 測定温度
- ※① 冷蔵庫内吹出温度
 - ※② 実験用バルブのボンネット長軸外表面
 - ※③ フランジ中央の雰囲気温度
 - ※④ 実験用バルブの弁箱長軸中央外表面
 - ※⑤ 実験用バルブのフランジ上部外表面
 - ※⑥ 圧力開放80 ㉞ FC バルブの外表面

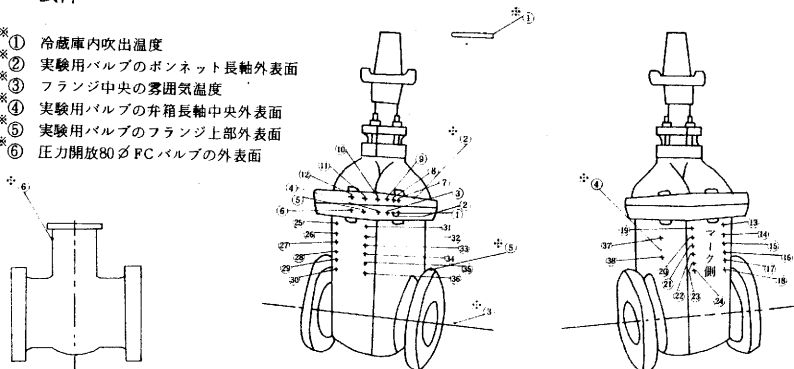
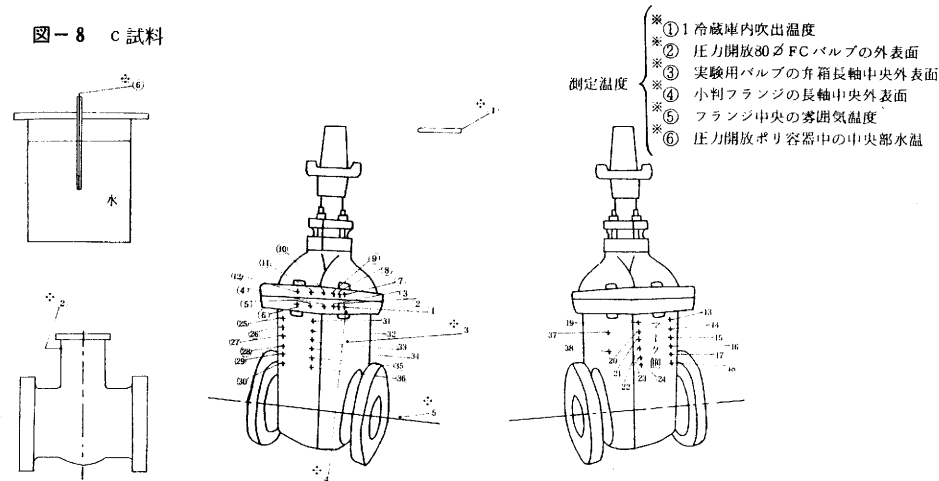


図-8 c 試料



×グリット幅1.3mm)

3-2-2 弁体を全開して、バルブの内部に空気が残らないように常温の水を満したのち両端フランジに盲フタをした。

3-2-3 凍結実験に先立って、バルブの完成品に加える圧力は常用圧力の7.5kg・f/cm²と耐圧用の17.5kg・f/cm²を採用し、常温内圧時の歪を測定しておいた。

なお、歪測定後は内圧を0に戻し、歪の0を確認した。

3-2-4 凍結実験に使用したバルブの形状・寸法を図-2、表-2に示す。

歪の測定箇所は過去のメーカーの事故品による割れ、亀裂を勘案し36箇所を選定した。

表-2 凍結用バルブの形状寸法

JIS B2062の呼び径100mmバルブ

寸法	a	b	r ₁	r ₂	r ₃	h	バルブの材質
試料	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
a	73	45	110	10	330	12	FC20
b	73	45	110	10	330	12	FCD45
c	73	45	110	10	330	12	FC20

3-2-5 バルブは合計3試料で全部外表面の歪の測定であった。

3-2-6 凍結時の精密低温恒温槽内の雰囲気温度はFC20の場合、約-10℃、FCD45の場合は約-20℃に設定した。

4 材料力学

4-1 歪と応力の関係

歪ゲージによる応力の解析は次の関係にしたがった。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{1}{E} \{ \sigma_t - \nu (\sigma_z + \sigma_r) \} \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} \{ \sigma_z - \nu (\sigma_r + \sigma_t) \} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_t &: \text{円周方向の歪測定値} \\ \varepsilon_z &: \text{軸方向の歪測定値} \\ E &: \text{縦弾性係数 ねずみ鉄 (1.0 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{mm}^2) \\ &\quad \text{球状黒鉛鉄 (1.5 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{mm}^2)} \\ \nu &: \text{ポアソン比 (0.3)} \\ \sigma_t &: \text{円周方向の応力 (kg} \cdot \text{f} / \text{mm}^2) \\ \sigma_z &: \text{軸方向の応力 (kg} \cdot \text{f} / \text{mm}^2) \\ \sigma_r &: \text{内圧によって受ける応力} \\ &\quad : \text{内表面の場合は} -1 \times (\text{内圧力}) \\ &\quad : \text{外表面の場合は} 0 \end{aligned} \right\}$$

(1.1) 式から応力計算は次のようになる。

内表面円周方向の応力 (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{1}{1-\nu^2} \{ E(\nu \varepsilon_z + \varepsilon_t) + \nu \sigma_r (\nu + 1) \}$$

内表面軸方向の応力 (σ_z)

$$\sigma_z = \frac{1}{1-\nu^2} \{ E(\nu \varepsilon_t + \varepsilon_z) + \nu \sigma_r (\nu + 1) \}$$

外表面円周方向の応力 (σ_t')

$$\sigma_t' = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \varepsilon_z + \varepsilon_t)$$

外表面軸方向の応力 (σ_z')

$$\sigma_z' = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \varepsilon_t + \varepsilon_z)$$

(1.2)

4-2 弁箱に生ずる応力

地場産業の仕切弁バルブの弁箱の首(図-2)は3個の相異なる円弧にて構成されており、この形状についての応力分布計算式を解明することが長年の悲願であった。昭和53年度にこの計算式の誘導が可能となったので計算式の概要(詳細は昭和53年度研究報告書)を述べる。

これは土岐五郎氏の論文“制水弁胴厚強度計算並に撓みに関する一考察”が2個の相異なる円弧にて構成されている小判胴についてのものを応用発展させることにより考案したものである。

梁の断面形状は長方形、肉厚 h 、長さ l の小判胴パイプを4分割したものとすると、梁の内表面応力を σ_{in} 、外表面応力を σ_{out} で表わすと次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{1 \text{ in}} &= P_0 \left\{ \frac{r_1 + Z_1(M_A' + \alpha_1)}{h} + \frac{(Z_1 \rho_1 - 1)R_4}{h} \cos \theta \right\} \\ \sigma_{2 \text{ in}} &= P_0 \left\{ \frac{r_2 + Z_2(M_A' + \alpha_2)}{h} - \frac{(Z_2 \rho_2 - 1)R_5}{h} \cos(\theta - \theta_5) \right\} \\ \sigma_{3 \text{ in}} &= P_0 \left\{ \frac{r_3 + Z_3(M_A' + \alpha_3)}{h} + \frac{(Z_3 \rho_3 - 1)R_6}{h} \cos(\theta - \theta_3) \right\} \\ \sigma_{1 \text{ out}} &= P_0 \left\{ \frac{r_1 + Z_1'(M_A' + \alpha_1)}{h} + \frac{(Z_1' \rho_1 - 1)R_4}{h} \cos \theta \right\} \\ \sigma_{2 \text{ out}} &= P_0 \left\{ \frac{r_2 + Z_2'(M_A' + \alpha_2)}{h} - \frac{(Z_2' \rho_2 - 1)R_5}{h} \cos(\theta - \theta_5) \right\} \\ \sigma_{3 \text{ out}} &= P_0 \left\{ \frac{r_3 + Z_3'(M_A' + \alpha_3)}{h} + \frac{(Z_3' \rho_3 - 1)R_6}{h} \cos(\theta - \theta_3) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

(以上の数式の文字については図-2、図-3、表-3を参照のこと。)

実際の計算手順を表-3に示す。この計算手順に基づいて応力分布を計算したのが表-4である。

各試料の弁箱の形状・寸法を表-3、表-4の計算手順に基づいて計算したのが表-5、表-6、表-7、表-8である。

表-3 小判鋼表面応力計算表

r_1	r_2	r_3	a	b	h
550 mm	9 mm	1,100 mm	126 mm	55 mm	15 mm

記号	計 算 式	数 値	記号	計 算 式	数 値
ρ_1	$r_1 + h/2$	557.5	θ_1	$\pi/2 - \theta_2 - \theta_3$	0.073758667
ρ_2	$r_2 + h/2$	16.5	θ_2	$\cos^{-1} \frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1R_2}$	1.3909454
ρ_3	$r_3 + h/2$	1107.5	θ_3	$\cos^{-1} \frac{R_2^2 + R_3^2 + R_1^2}{2R_2R_3} - \theta_4$	0.10609226
R_1	$r_1 - r_2$	541	θ_4	$\tan^{-1} \frac{R_4}{R_6}$	0.38544623
R_2	$r_3 - r_2$	1091	θ_5	$\sin^{-1} \frac{R_4 \sin \theta_1}{R_5}$	0.25853024
R_3	$\sqrt{R_1^2 + R_6^2}$	1127.74			
R_4	$r_1 - a$	424			
R_5	$\sqrt{R_1^2 + R_4^2 - 2R_1R_4 \cos \theta_1}$	122.2144128			
R_6	$r_3 - b$	1045			
	$\sin \theta_1$	0.073691807		$\cos \theta_1$	0.99728106
	$\sin \theta_2$	0.98387037		$\cos \theta_2$	0.17888291
	$\sin \theta_3$	0.10589335		$\cos \theta_3$	0.99437749
α_1	$-R_4\rho_1$	-236380	α_3	$R_4^2 + a\rho_1 - r_3\rho_3$ $+ r_2R_2(1 - \cos \theta_2)$ $- r_1R_4 \cos \theta_1$ $+ r_1R_6 \sin \theta_1$	-1150378.029
α_2	$-R_4\rho_1 + R_1\rho_2$ $+ R_4R_1 \cos \theta_1$	1306.8186			
k_1	$\frac{\rho_1}{h} \ell_n \frac{r_1+h}{r_1} - 1$	0.000060333	K_1	$\frac{\theta_1}{\rho_1} \left(1 + \frac{1}{k_1}\right)$	2.193004222
k_2	$\frac{\rho_2}{h} \ell_n \frac{r_2+h}{r_2} - 1$	0.078912178	K_2	$\frac{\theta_2}{\rho_2} \left(1 + \frac{1}{k_2}\right)$	1.152572366
k_3	$\frac{\rho_3}{h} \ell_n \frac{r_3+h}{r_3} - 1$	0.000015286	K_3	$\frac{\theta_3}{\rho_3} \left(1 + \frac{1}{k_3}\right)$	6.266899776
Z_1	$\frac{1}{\rho_1} \left(1 - \frac{h}{2k_1r_1}\right)$	-0.403620314	Z'_1	$\frac{1}{\rho_1} \left\{1 + \frac{h}{2k_1(r_1+h)}\right\}$	0.396444554
Z_2	$\frac{1}{\rho_2} \left(1 - \frac{h}{2k_2r_2}\right)$	-0.579409863	Z'_2	$\frac{1}{\rho_2} \left\{1 + \frac{h}{2k_2(r_2+h)}\right\}$	0.300612032
Z_3	$\frac{1}{\rho_3} \left(1 - \frac{h}{2k_3r_3}\right)$	-0.401842835	Z'_3	$\frac{1}{\rho_3} \left\{1 + \frac{h}{2k_3(r_3+h)}\right\}$	0.39823060

記号	計 算 式	数 値	記号	計 算 式	数 値
T	$K_1 + K_2 + K_3$	9.612476364	V	$(1/k_1 - 1/k_2) R_4 \sin \theta_1$ $+ \left(\frac{1}{k_3} - \frac{1}{k_2}\right)$ $\cdot R_6 \sin \theta_3$	7755292.072
S	$r_1\theta_1 + r_2\theta_2 + r_3\theta_3$	169.7872614			
U	$K_1\alpha_1 + K_2\alpha_2 + K_3\alpha_3$	-7726179.946	M_A'	$\frac{S+U+V}{T}$	-3046.240312
f_1	$\frac{r_1 + Z_1(M_A' + \alpha_1)}{h}$	6479.15	f_1'	$\frac{r_1 + Z_1'(M_A' + \alpha_1)}{h}$	-6291.28
f_2	$\frac{r_2 + Z_2(M_A' + \alpha_2)}{h}$	67.789	f_2'	$\frac{r_2 + Z_2'(M_A' + \alpha_2)}{h}$	-34.259
f_3	$\frac{r_3 + Z_3(M_A' + \alpha_3)}{h}$	30973.02	f_3'	$\frac{r_3 + Z_3'(M_A' + \alpha_3)}{h}$	-30548.59
g_1	$\frac{(Z_1\rho_1 - 1)R_4}{h}$	-6388.78	g_1'	$\frac{(Z_1'\rho_1 - 1)R_4}{h}$	6219.17
g_2	$\frac{(Z_2\rho_2 - 1)R_5}{h}$	86.04	g_2'	$\frac{(Z_2'\rho_2 - 1)R_5}{h}$	-32.27
g_3	$\frac{(Z_3\rho_3 - 1)R_6}{h}$	-31074.19	g_3'	$\frac{(Z_3'\rho_3 - 1)R_6}{h}$	30656.15

	区 間	記 号	計 算 式	応 力 分 布 式
肉厚内表面	A-B間	σ_{1in}	$P_0[f_1 + g_1 \cos \theta]$	$P_0(6479.15 - 6388.78 \cos \theta)$ $[0 \leq \theta \leq \theta_1]$
	B-C間	σ_{2in}	$P_0[f_2 + g_2 \cos(\theta - \theta_5)]$	$P_0(67.79 + 86.04 \cos(\theta - \theta_5))$ $[0 \leq \theta \leq \theta_2]$
	C-D間	σ_{3in}	$P_0[f_3 + g_3 \cos(\theta - \theta_3)]$	$P_0(30973.02 - 31074.19 \cos(\theta - \theta_3))$ $[0 \leq \theta \leq \theta_3]$
肉厚外面	A-B間	σ_{1out}	$P_0[f_1' + g_1' \cos \theta]$	$P_0(-6291.28 + 6219.17 \cos \theta)$ $[0 \leq \theta \leq \theta_1]$
	B-C間	σ_{2out}	$P_0[f_2' + g_2' \cos(\theta - \theta_5)]$	$P_0(-34.26 - 32.27 \cos(\theta - \theta_5))$ $[0 \leq \theta \leq \theta_2]$
	C-D間	σ_{3out}	$P_0[f_3' + g_3' \cos(\theta - \theta_3)]$	$P_0(-30548.59 + 30656.15 \cos(\theta - \theta_3))$ $[0 \leq \theta \leq \theta_3]$

表-4 小判胸表面応力分布計算手順

区間	記号	計算式	応力分布式	θ	応力分布計算手順
A-B間	σ_1 in	$P_0 (f_1 + g_1 \cos \theta)$	$P_0 (6479.15 - 6388.78 \cos \theta)$	0	$\cos \theta = \cos 0 = 1$ $\sigma_1 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (6479.15 - 6388.78 \times 1) = 1807 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
	σ_1 out	$P_0 (f_1' + g_1' \cos \theta)$	$P_0 (-6291.28 + 6219.17 \cos \theta)$ ($0 \leq \theta \leq \theta_1$)	$\frac{1}{2}\theta_1$	$\cos \theta = \cos \frac{1}{2}\theta_1 = 0.99932004$ $\sigma_1 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (6479.15 - 6388.78 \times 0.99932004) = 1894 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_1 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-6291.28 + 6219.17 \times 0.99932004) = -1527 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
				θ_1	$\cos \theta = \cos \theta_1 = 0.99728106$ $\sigma_1 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (6479.15 - 6388.78 \times 0.99728106) = 2154 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_1 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-6291.28 + 6219.17 \times 0.99728106) = -1780 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
				0	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (0 - \theta_1) = \cos \theta_1 = 0.96676678$ $\sigma_2 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (67.79 + 86.04 \times 0.96676678) = 3019 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_2 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-34.26 - 32.27 \times 0.96676678) = -1309 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
B-C間	σ_2 in	$P_0 (f_2 + g_2 \cos (\theta - \theta_1))$	$P_0 (67.79 + 86.04 \cos (\theta - \theta_1))$	0	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (0 - \theta_1) = \cos \theta_1 = 0.96676678$ $\sigma_2 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (67.79 + 86.04 \times 0.96676678) = 3019 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
	σ_1 out	$P_0 (f_2' + g_2' \cos (\theta - \theta_1))$	$P_0 (-34.26 - 32.27 \cos (\theta - \theta_1))$ $(0 \leq \theta \leq \theta_2)$	$\frac{1}{2}\theta_2$	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\frac{1}{2}\theta_2 - \theta_1) = \cos (0.6954727 - 0.25853024) = 0.90604976$ $\sigma_2 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (67.79 + 86.04 \times 0.90604976) = 2915 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_2 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-34.26 - 32.27 \times 0.90604976) = -1270 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
				θ_2	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\theta_2 - \theta_1) = \cos (1.3909454 - 0.25853024) = 0.42447427$ $\sigma_2 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (67.79 + 86.04 \times 0.42447427) = 2086 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_2 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-34.26 - 32.27 \times 0.42447427) = -959 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
				0	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (0 - \theta_1) = \cos \theta_1 = 0.96676678$ $\sigma_2 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (67.79 + 86.04 \times 0.96676678) = 3019 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_2 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-34.26 - 32.27 \times 0.96676678) = -1309 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$

C-D間				0	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (0 - \theta_1) = \cos \theta_1 = 0.96676678$ $\sigma_3 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (30973.02 - 31074.19 \times 0.99437749) = 1471 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_3 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-30548.59 + 30656.15 \times 0.99437749) = -1296 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
				$\frac{1}{5}\theta_3$	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\frac{1}{5}\theta_3 - \theta_1) = \cos \frac{1}{5}\theta_3 = 0.99640038$ $\sigma_3 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (30973.02 - 31074.19 \times 0.99640038) = 214 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_3 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-30548.59 + 30656.15 \times 0.99640038) = -56 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
	σ_3 in	$P_0 (f_3 + g_3 \cos (\theta - \theta_1))$	$P_0 (30973.02 - 31074.19 \cos (\theta - \theta_1))$	$\frac{2}{5}\theta_3$	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\frac{2}{5}\theta_3 - \theta_1) = \cos \frac{2}{5}\theta_3 = 0.99797468$ $\sigma_3 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (30973.02 - 31074.19 \times 0.99797468) = -765 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_3 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-30548.59 + 30656.15 \times 0.99797468) = 909 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
	σ_3 out	$P_0 (f_3' + g_3' \cos (\theta - \theta_1))$	$P_0 (-30548.59 + 30656.15 \cos (\theta - \theta_1))$ ($0 \leq \theta \leq \theta_3$)	$\frac{3}{5}\theta_3$	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\frac{3}{5}\theta_3 - \theta_1) = \cos \frac{3}{5}\theta_3 = 0.99909969$ $\sigma_3 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (30973.02 - 31074.19 \times 0.99909969) = -1464 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_3 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-30548.59 + 30656.15 \times 0.99909969) = 1599 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
B-C間				$\frac{4}{5}\theta_3$	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\frac{4}{5}\theta_3 - \theta_1) = \cos \frac{4}{5}\theta_3 = 0.99977749$ $\sigma_3 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (30973.02 - 31074.19 \times 0.99977749) = -1884 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_3 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-30548.59 + 30656.15 \times 0.99977749) = 2013 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
				θ_3	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\theta_3 - \theta_1) = \cos 0 = 1$ $\sigma_3 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (30973.02 - 31074.19 \times 1) = -2023 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_3 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-30548.59 + 30656.15 \times 1) = 2151 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
	σ_2 in	$P_0 (f_2 + g_2 \cos (\theta - \theta_1))$	$P_0 (67.79 + 86.04 \cos (\theta - \theta_1))$ ($0 \leq \theta \leq \theta_2$)	θ_2	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\theta_2 - \theta_1) = \cos 0 = 1$ $\sigma_2 \text{ in} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (67.79 + 86.04 \times 1) = 3077 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$ $\sigma_2 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-34.26 - 32.27 \times 1) = -1270 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$
	σ_1 out	$P_0 (f_2' + g_2' \cos (\theta - \theta_1))$	$P_0 (-34.26 - 32.27 \cos (\theta - \theta_1))$ ($0 \leq \theta \leq \theta_2$)	θ_2	$\cos (\theta - \theta_1) = \cos (\theta_2 - \theta_1) = \cos 0 = 1$ $\sigma_1 \text{ out} = 20 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2 \times (-34.26 - 32.27 \times 1) = -1270 \text{ kg} \cdot f/\text{cm}^2$

注: P_0 : 内圧 (kg/cm^2) は 20 である

表-5 小判胸表面応力分布表

項目	試料		A	B	C	D	E	F	G	H
小判	胸形	状	r_1 (mm)	123	330	360	550	150	126	550
"	"	"	r_2 (mm)	20	14	11	9	8	12	9
"	"	"	r_3 (mm)	600	1,000	800	1,100	900	650	1,100
"	"	"	a (mm)	123	124	125	126	125	126	126
"	"	"	b (mm)	51	55	56	54	55	53	54
"	"	"	h (mm)	15	15	15	15	15	15	15
内圧力	$(kg \cdot f / cm^2)$		20	20	20	20	20	20	20	20
小判胸 外表面応力 σ_{out} ($kg \cdot f / cm^2$)	σ_1	0	-15.83	-14.07	-14.33	-14.64	-14.47	-16.16	-14.64	-14.42
		$\frac{1}{2} \theta_1$		-14.65	-15.00	-15.51	-14.68		-15.51	-15.27
		θ_1		-16.32	-16.90	-17.88	-15.28		-17.88	-17.80
	σ_2	0	-13.62	-12.97	-12.88	-13.10	-11.23	-12.85	-13.10	-13.09
		$\frac{1}{2} \theta_2$	-11.70	-12.18	-12.31	-12.68	-10.50	-11.67	-12.68	-12.70
		θ_2	-6.61	-7.89	-8.92	-9.55	-8.16	-8.47	-9.55	-9.59
	σ_3	0	-8.04	-10.47	-12.02	-13.03	-11.42	-11.12	-13.03	-12.96
		$\frac{1}{5} \theta_3$	1.46	0.71	0.15	1.03	0.09	0.06	1.03	0.56
		$\frac{2}{5} \theta_3$	9.03	9.36	8.82	8.56	8.43	8.69	8.56	9.09
		$\frac{3}{5} \theta_3$	14.31	15.47	15.24	15.15	14.79	14.95	15.15	15.99
		$\frac{4}{5} \theta_3$	17.48	19.03	19.09	19.35	18.36	18.70	19.35	20.13
		θ_3	18.71	20.55	20.70	21.15	19.95	19.96	21.15	21.51

I	J	K	L	M	N
320	133	190	125	550	128
12	12	15	14	9	14
640	650	750	600	1,100	450
129	133	125	125	124	128
57	57	52.5	46	55	58
15	15	15	15	15	15
20	20	20	20	20	20
-15.92	-17.83	-15.74	-17.97	-13.53	-16.19
-16.44		-15.99		-14.41	
-17.98		-16.70		-17.03	
-13.97	-14.16	-13.59	-14.69	-12.44	-13.19
-13.25	-12.94	-12.36	-13.20	-12.08	-11.98
-9.64	-9.65	-8.05	-9.23	-9.03	-8.68
-12.42	-12.59	-10.32	-11.61	-12.37	-10.97
-0.40	-0.16	0.68	-0.60	-0.38	-0.05
8.84	9.36	9.14	8.10	8.60	8.52
15.54	16.41	15.07	14.32	15.19	14.54
19.68	20.56	18.74	18.05	18.78	18.22
21.06	22.01	20.15	19.29	20.58	19.54

表-6 小判胴表面応力分布表

項目	試料		A	B	C	D	E	F	G	H
小判胴形状	r_1 (mm)		123	330	360	550	150	126	550	550
"	r_2 (mm)		20	14	11	9	8	12	9	9
"	r_3 (mm)		600	1,000	800	1,100	900	650	1,100	1,100
"	a (mm)		123	124	125	126	125	126	126	126
"	b (mm)		51	55	56	54	55	53	54	55
"	h (mm)		15	15	15	15	15	15	15	15
内圧力	$(kg \cdot f / cm^2)$		20	20	20	20	20	20	20	20
小判胴 内表面応力 σ in ($kg \cdot f / mm^2$)	σ_1	0	20.50	17.85	18.10	18.29	18.86	20.91	18.29	18.07
		$\frac{1}{2} \theta_1$		18.46	18.81	19.19	19.09		19.19	18.94
		θ_1		20.20	20.78	21.62	19.76		21.62	21.54
	σ_2	0	23.81	25.49	27.57	30.22	27.87	26.67	30.22	30.19
		$\frac{1}{2} \theta_2$	20.46	23.84	26.23	29.10	25.75	24.00	29.10	29.15
		θ_2	11.54	14.96	18.20	20.76	19.04	16.81	20.76	20.86
	σ_3	0	9.77	12.20	13.88	14.75	13.20	12.95	14.75	14.71
		$\frac{1}{5} \theta_3$	0.03	0.84	1.79	2.59	1.48	1.64	2.59	2.14
		$\frac{2}{5} \theta_3$	- 7.72	- 7.93	- 7.36	- 7.13	- 6.99	- 7.31	- 7.13	- 7.65
		$\frac{3}{5} \theta_3$	- 13.14	- 14.12	- 13.90	- 13.82	- 13.45	- 13.72	- 13.82	- 14.64
		$\frac{4}{5} \theta_3$	- 16.39	- 17.74	- 17.82	- 18.07	- 17.08	- 17.56	- 18.07	- 18.84
		θ_3	- 17.65	- 19.29	- 19.45	- 19.90	- 18.70	- 18.84	- 19.90	- 20.23
	σ_2	$0 \leq \theta \max$								
		$< \frac{\theta_2}{2}$	23.81	25.87	27.97	30.76	27.90	26.67	30.76	30.77

I	J	K	L	M	N
320	133	190	125	550	128
12	12	15	14	9	14
640	650	750	600	1,100	450
129	133	125	125	124	128
57	57	52.5	46	55	58
15	15	15	15	15	15
20	20	20	20	20	20
19.91	22.82	19.98	22.85	17.11	20.98
20.46		20.24		18.01	
22.06		21.01		20.71	
28.74	29.18	25.93	28.28	28.86	25.94
27.12	26.43	23.47	25.19	27.90	23.44
19.01	19.01	14.87	16.97	19.78	16.60
14.41	14.58	12.07	13.30	14.11	13.12
2.11	1.86	0.84	2.01	1.96	1.83
- 7.35	- 7.88	- 7.78	- 6.90	- 7.14	- 7.02
- 14.21	- 15.09	- 13.83	- 13.28	- 13.83	- 13.25
- 18.44	- 19.33	- 17.57	- 17.10	- 17.47	- 17.04
- 19.85	- 20.81	- 19.01	- 18.37	- 19.29	- 18.40
29.03	29.18	26.03	28.28	29.45	25.94

表-7 小判胴表面応力分布表

試料		100 φ	
項 目			
小 判 胴 形 状	r_1 (mm)	110	
"	r_2 (mm)	10	
"	r_3 (mm)	330	
"	a (mm)	73	
"	b (mm)	45	
"	h (mm)	12	
内 圧 力 (kg · f / cm ²)		17.5	
小 判 胴 外表面応力 σ_{out} (kg · f / mm ²)	σ_1	0	- 3.70
		$\frac{1}{2} \theta_1$	- 4.04
		θ_1	- 5.03
	σ_2	0	- 3.91
		$\frac{1}{2} \theta_2$	- 3.63
		θ_2	- 1.98
	σ_3	0	- 2.69
		$\frac{1}{5} \theta_3$	1.41
		$\frac{2}{5} \theta_3$	4.71
		$\frac{3}{5} \theta_3$	6.97
		$\frac{4}{5} \theta_3$	8.41
		θ_3	8.90

表-8 小判胴表面応力分布表

試料		100 φ	
小判胴形状	r_1 (mm)	110	
"	r_2 (mm)	10	
"	r_3 (mm)	330	
"	a (mm)	73	
"	b (mm)	45	
"	h (mm)	12	
内圧力 (kg・f/cm ²)		17.5	
小判胴 内表面応力 σ_{in} (kg・f/mm ²)	σ_1	0	6.17
		$\frac{1}{2} \theta_1$	6.54
		θ_1	7.65
	σ_2	0	9.56
		$\frac{1}{2} \theta_2$	8.94
		θ_2	5.32
	σ_3	0	4.23
		$\frac{1}{5} \theta_3$	- 0.03
		$\frac{2}{5} \theta_3$	- 3.44
		$\frac{3}{5} \theta_3$	- 5.79
		$\frac{4}{5} \theta_3$	- 7.28
		θ_3	- 7.78
	σ_2	$0 \leq \theta_{max}$	
		$< \frac{\theta_2}{2}$	9.72

5. 実験結果

5-1 常温内圧実験

A~I 試料の外表面における歪の測定結果は共通(統一)の測定箇所(位置)である41箇所分については図-9, 表-9のとおりで, 補足分については図-10, 表-10に示した。
この歪から(1.2)式を使用して応力に換算したのが表-12, 表-13である。

図-9

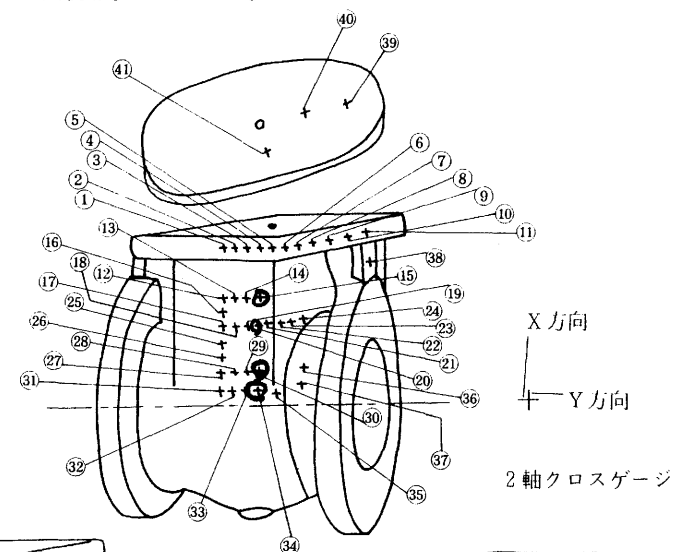
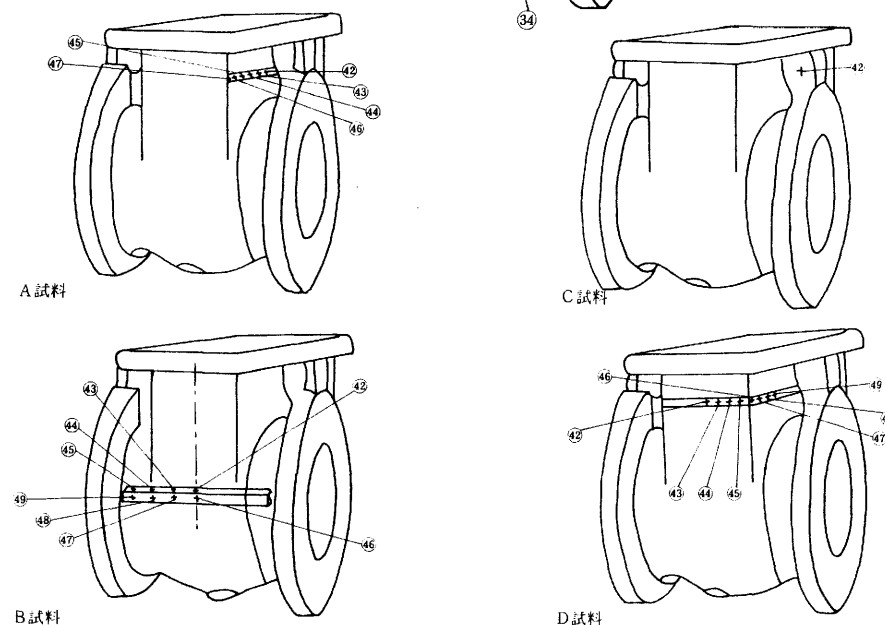


図-10



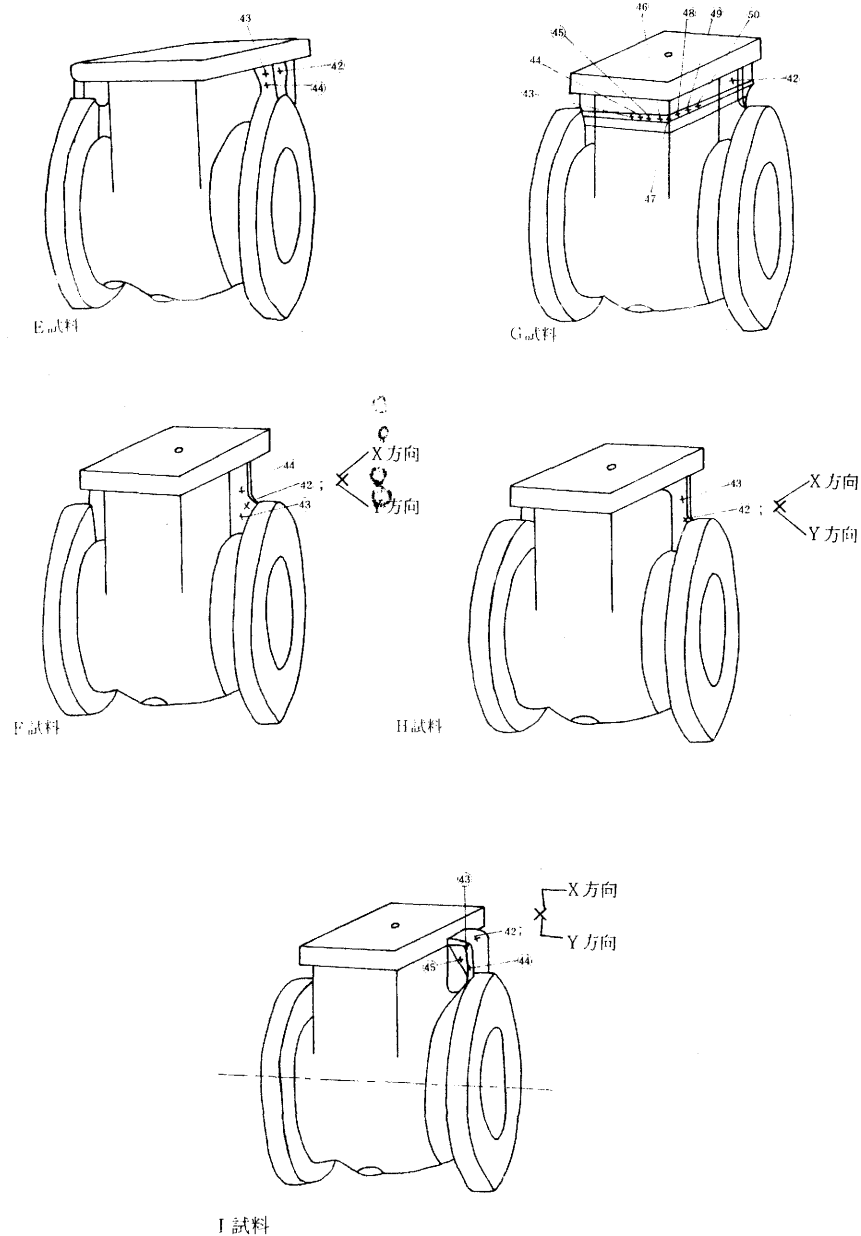


表-9 歪の測定値

試料	測定箇所 圧力	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10 kaf/cm ²	-56	14	-62	17	-60	14	-46	21	-36	15	-32	8	-37	7	-35	9	11	-2	95	-28	126	-34
B	"	-22	11	-32	10	-20	17	-44	14	-33	12	-27	12	-21	9	-34	7	28	-2	116	-28	-	-
C	"	-55	13	-69	14	-61	21	-74	20	-55	11	-45	9	-43	8	-29	11	76	-23	121	-52	176	-41
D	"	-39	12	-48	13	-38	16	-53	16	-38	14	-30	11	-29	10	-29	11	39	-2	52	-5	163	-41
E	"	-34	3	-41	5	-35	8	-47	8	-35	3	-31	2	-25	0	-34	1	16	-4	89	-39	-	-
F	"	-68	23	-89	27	-47	30	-71	25	-46	19	-37	15	-40	16	-4	10	49	-8	136	-45	191	-64
G	"	-44	12	-54	12	-57	12	-58	13	-43	9	-36	8	-30	8	-26	13	43	-10	65	-7	171	-44
H	"	-58	20	-70	17	-62	18	-55	14	-54	14	-59	15	-59	16	-71	21	52	-14	105	-40	173	-55
I	"	-34	5	-34	6	-33	6	-34	8	-33	7	-28	4	-24	4	-36	4	5	0	83	-22	-	-
A	20 kaf/cm ²	-126	40	-143	42	-122	35	-107	40	-95	29	-77	24	-66	21	-66	22	30	-7	218	-69	275	-80
B	"	-66	19	-91	21	-63	28	-115	28	-91	22	-75	18	-60	14	-89	9	59	-13	271	-74	-	-
C	"	-134	33	-160	34	-143	48	-168	45	-123	28	-100	23	-95	20	-62	28	173	-48	279	-111	396	-92
D	"	-93	34	-113	36	-90	40	-120	41	-89	32	-70	26	-67	23	-71	27	93	-6	105	-10	378	-97
E	"	-82	24	-99	25	-83	34	-110	27	-75	19	-63	17	-54	9	-72	10	52	-4	231	-83	-	-
F	"	-163	52	-211	58	-117	65	-168	51	-109	37	-87	29	-96	30	-12	16	106	-24	303	-107	410	-142
G	"	-114	29	-137	29	-138	30	-130	38	-96	28	-83	23	-66	20	-68	37	105	-23	164	-11	405	-99
H	"	-142	53	-175	45	-154	45	-130	36	-126	33	-137	37	-144	44	-163	47	124	-33	259	-95	399	-123
I	"	-78	21	-79	22	-77	22	-77	24	-77	21	-63	14	-57	15	-85	14	16	2	204	-49	-	-

試料	測定個所 圧力	12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22						
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y					
A	10 kgf/cm ²	-	9	- 13	- 32	- 10	- 46	-	8	- 46	-	5	- 16	-	7	- 30	0	- 49	2	- 67	1	- 63	5	- 33	12	-	1	14
B	"	25	11	11	12	- 23	12	- 52	12	30	15	31	14	14	17	- 25	15	- 62	17	- 67	16	- 51	15	15	15	15	15	
C	"	59	8	30	9	- 24	10	- 110	16	49	10	45	11	14	11	- 37	10	- 114	12	- 102	14	- 63	14	14	14	14	14	
D	"	-	-	-	-	-	-	-	-	53	0	31	4	17	3	- 14	8	- 73	17	- 107	17	- 118	25	25	25	25	25	
E	"	-	-	-	-	-	22	3	- 39	21	23	4	21	3	3	5	- 30	5	- 67	9	- 81	9	- 19	13	13	13	13	
F	"	- 33	- 2	- 28	- 1	- 54	2	- 89	7	- 46	2	- 56	2	- 45	2	- 70	5	- 102	7	- 102	12	- 70	17	17	17	17	17	
G	"	-	-	-	-	-	-	-	-	62	- 4	60	- 1	25	- 2	- 16	0	- 84	6	- 78	5	- 63	12	12	12	12	12	
H	"	21	5	3	6	- 34	7	- 89	10	16	6	16	5	8	6	- 46	7	- 103	10	- 99	7	- 94	13	13	13	13	13	
I	"	39	6	18	10	- 16	9	- 58	10	31	4	25	2	9	3	- 22	5	- 66	8	- 80	10	- 87	15	15	15	15	15	
A	20 kgf/cm ²	- 31	- 24	- 78	- 16	- 108	- 12	- 107	- 7	- 49	- 12	- 64	0	- 111	5	- 137	10	- 128	12	- 73	22	- 7	29	29	29	29	29	29
B	"	37	18	8	18	- 62	20	- 117	19	45	24	46	24	9	28	- 66	29	- 138	28	- 148	26	- 114	23	23	23	23	23	
C	"	121	21	59	24	- 53	26	- 230	36	100	24	89	27	23	28	- 81	28	- 237	29	- 210	31	- 129	29	29	29	29	29	
D	"	-	-	-	-	-	-	-	-	106	- 1	60	13	31	10	- 33	20	- 153	36	- 225	38	- 244	53	53	53	53	53	
E	"	-	-	-	-	-	54	14	- 84	49	43	17	38	16	1	- 67	18	- 139	27	- 169	24	- 35	29	29	29	29	29	
F	"	- 85	- 7	- 72	- 5	- 124	- 1	- 200	8	- 113	0	- 131	0	- 106	1	- 158	7	- 222	11	- 219	21	- 151	30	30	30	30	30	
G	"	-	-	-	-	-	-	-	-	124	- 8	122	- 1	48	- 3	- 40	1	- 181	9	- 166	9	- 133	21	21	21	21	21	
H	"	33	15	- 7	16	- 81	17	- 190	22	22	17	23	15	- 26	17	- 106	21	- 216	24	- 207	17	- 194	26	26	26	26	26	
I	"	74	13	31	17	- 38	18	- 124	21	58	10	46	7	12	7	- 53	11	- 144	15	- 172	17	- 182	28	28	28	28	28	

試料	測定個所 圧力	23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10kgf/cm ²	64	25	95	34	- 27	- 4	- 28	- 4	- 30	- 6	- 54	- 4	- 63	- 1	- 58	6	- 24	- 13	- 45	- 9	- 57	- 8
B	"	16	16	92	19	-	-	-	-	-	-	-	-	- 26	12	- 54	13	39	5	22	6	- 11	7
C	"	44	12	157	21	23	10	40	8	38	5	13	6	- 34	7	- 118	10	58	- 8	26	- 5	- 25	- 2
D	"	- 63	35	102	49	36	- 2	-	-	14	- 10	- 12	- 7	- 61	- 2	- 118	5	24	- 22	- 5	- 21	- 47	- 15
E	"	81	20	126	36	16	2	-	-	-	-	-	-	- 36	2	- 77	7	25	- 16	0	- 16	- 21	- 10
F	"	27	26	132	26	- 64	1	- 62	- 2	- 61	- 8	- 42	- 9	- 73	6	- 100	3	-	-	-	-	-	-
G	"	33	39	111	58	49	2	46	3	43	0	9	3	- 39	6	- 114	12	52	- 13	18	- 12	- 29	- 6
H	"	38	24	155	38	19	3	20	- 2	-	-	- 3	- 4	- 39	- 3	- 99	2	25	- 22	- 6	- 20	- 41	- 17
I	"	44	26	144	41	25	4	26	1	27	- 3	8	- 1	- 31	- 1	- 73	2	38	- 15	13	- 15	- 25	- 11
A	20kgf/cm ²	134	43	199	67	- 71	- 3	- 73	- 5	- 75	- 8	- 118	- 5	- 135	0	- 123	14	- 60	- 22	- 104	- 17	- 123	- 11
B	"	21	23	181	27	-	-	-	-	-	-	-	-	- 64	23	- 118	24	71	9	35	11	- 29	13
C	"	95	26	333	40	44	22	79	20	77	15	22	16	- 73	19	- 244	26	118	- 13	52	- 9	- 53	0
D	"	- 130	75	209	99	71	2	-	-	30	- 15	- 34	- 10	- 124	1	- 243	15	51	- 37	- 10	- 36	- 96	- 24
E	"	176	42	288	74	29	13	-	-	-	-	-	-	- 81	9	- 165	14	48	- 31	- 5	- 30	- 47	- 18
F	"	52	47	270	46	- 146	- 1	- 143	- 9	- 141	- 21	- 100	- 23	- 161	5	- 219	2	-	-	-	-	-	-
G	"	72	78	234	116	98	4	86	3	84	- 2	9	3	- 91	10	- 247	20	102	- 29	31	- 27	- 68	- 14
H	"	84	49	322	75	28	10	34	1	-	-	- 15	- 5	- 88	- 2	- 209	8	44	- 44	- 19	- 39	- 91	- 31
I	"	88	48	295	78	39	4	40	- 2	43	- 10	0	- 7	- 74	- 5	- 159	3	67	- 36	15	- 34	- 64	- 26

(歪単位: $\times 10^{-6}$)

試料	測定 箇所 圧力	34		35		36		37		38		39		40		41	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10 kgf/cm ²	-57	0	190	54	118	81	120	73	-26	149	6	14	10	37	-10	-15
B	"	-43	11	115	31	86	77	100	51	60	-36	1	28	9	63	2	4
C	"	-97	7	369	108	166	90	183	136	-77	631	7	56	24	112	12	27
D	"	-103	-6	470	110	156	83	138	133	-37	270	9	8	23	32	32	13
E	"	-42	-2	129	42	73	26	114	78	5	-28	4	22	3	57	0	10
F	"	-104	-6	350	83	122	118	145	112	-65	343	15	12	21	32	-1	-15
G	"	-98	3	278	78	181	115	215	132	-33	335	-	-	-	-	-	-
H	"	-98	-4	257	63	112	82	160	89	-65	319	-	-	-	-	-	-
I	"	-60	-6	191	55	78	67	162	91	20	1	12	27	18	69	-9	1
A	20 kgf/cm ²	-123	5	396	118	262	177	263	166	-43	302	9	36	26	82	-11	-14
B	"	-99	17	228	57	177	157	207	100	128	-81	-5	60	18	130	7	19
C	"	-204	18	792	236	366	201	405	297	-154	1334	17	126	60	240	38	76
D	"	-211	-7	992	237	337	176	429	286	-74	555	20	29	48	76	53	26
E	"	-90	2	273	91	161	60	238	161	11	-54	10	57	15	128	4	33
F	"	-229	-19	729	165	258	247	301	230	-138	708	24	25	43	67	11	-21
G	"	-213	3	592	163	385	243	461	280	-71	715	-	-	-	-	-	-
H	"	-207	-6	531	129	240	171	340	187	-126	643	-	-	-	-	-	-
I	"	-134	-16	384	108	175	137	359	190	30	-2	15	56	29	140	-18	9

(歪単位: $\times 10^{-6}$)

表-10 歪の測定値

試料	測定 箇所 圧力	42		43		44		45		46		47		48		49		50	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10 kgf/cm ²	139	-29	146	-40	114	-31	89	-21	55	-9	-29	-7						
B	"	22	-4	29	-5	63	-20	71	-22	3	1	-4	4	46	-9	99	-20		
C	"	-34	234																
D	"	-111	33	-139	39	-122	34	-94	28	-91	26	-62	6	106	-17	247	-40		
E	"	17	-32	-17	43	-8	29												
F	"	276	84	-29	113	37	282												
G	"	-1	216	-108	32	-129	37	-130	38	-99	30	-94	27	-78	21	-3	5	125	-24
H	"	201	53	-35	195														
I	"	47	-25	-5	59	-5	53	-7	137										
A	20 kgf/cm ²	289	-62	318	-85	239	-64	192	-42	119	-11	-57	-12						
B	"	39	-14	58	-17	132	-47	149	-52	1	-2	-14	2	94	-25	220	-52		
C	"	-55	502																
D	"	-241	77	-301	85	-260	75	-205	62	-198	55	-112	12	217	-36	525	-86		
E	"	44	-65	-36	92	-16	61												
F	"	600	170	-49	234	79	612												
G	"	-6	468	-247	70	-292	80	-291	80	-217	66	-204	60	-166	45	-10	9	268	-49
H	"	397	108	-71	402														
I	"	94	-61	-22	112	-20	99	-24	264										

A 試料の内表面における歪の測定結果は図 -11、表 -11のとおりで、この歪から (1.2) 式を使用して応力に換算したのが表 -14である。

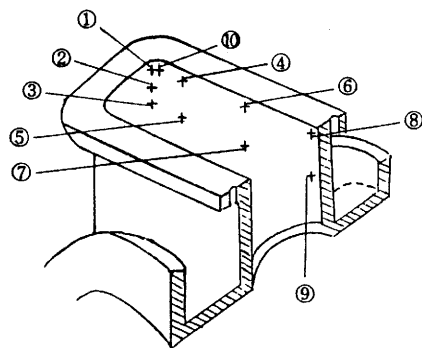


図-11 弁箱の内表面測定箇所

表-11 弁箱の内表面の歪

(歪単位: $\times 10^{-6}$)

測定箇所 圧力	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z	ϵ_t	ϵ_z
10kgf/cm ²	166	-17	171	17	221	13	-87	29	-23	-70	-54	36	-53	-25	-10	15	-31	4	202	-21
20kgf/cm ²	378	-39	369	38	455	31	-190	67	-59	-135	-125	73	-113	-47	-28	25	-69	12	460	-57

表-14 弁箱の内表面の応力

(応力単位: kgf/mm²)

測定箇所 圧力	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z	σ_t	σ_z
10kgf/cm ²	1.7	0.3	1.9	0.7	2.4	0.8	-0.9	-0.01	-0.5	-0.9	-0.5	0.2	-0.7	-0.5	-0.1	0.1	-0.4	-0.1	2.1	0.4
20kgf/cm ²	4.0	0.7	4.1	1.6	5.0	1.8	-2.0	0.02	-1.2	-1.8	-1.2	0.3	-1.5	-1.0	-0.3	0.1	-0.8	-0.2	4.8	0.8

表-12 応力換算値

試料	測定箇所 圧力	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10kgf/cm ²	-0.57	-0.03	-0.63	-0.02	-0.61	-0.04	-0.44	0.08	-0.35	0.05	-0.33	-0.02	-0.38	-0.05	-0.35	-0.02	0.11	0.01	0.95	0.01	1.27	0.04
B	"	-0.21	0.05	-0.32	0	-0.16	0.12	-0.44	0.01	-0.32	0.02	-0.26	0.04	-0.20	0.03	-0.35	-0.04	0.30	0.07	1.18	0.07	-	-
C	"	-0.56	-0.04	-0.71	-0.07	-0.60	0.03	-0.75	-0.02	-0.57	-0.06	-0.46	-0.05	-0.45	-0.05	-0.28	0.03	0.76	0	1.16	-0.17	1.80	0.13
D	"	-0.39	0	-0.48	-0.02	-0.36	0.05	-0.53	0	-0.37	0.03	-0.29	0.02	-0.29	0.01	-0.28	0.03	0.42	0.11	0.55	0.12	1.66	0.09
E	"	-0.36	-0.08	-0.43	-0.08	-0.36	-0.03	-0.49	-0.07	-0.37	-0.08	-0.33	-0.08	-0.27	-0.08	-0.37	-0.10	0.16	0.01	0.85	-0.14	-	-
F	"	-0.67	0.03	-0.89	0	-0.42	0.17	-0.70	0.04	-0.44	0.06	-0.36	0.04	-0.39	0.04	-0.01	0.10	0.51	0.07	1.35	-0.05	1.89	-0.07
G	"	-0.44	-0.01	-0.55	-0.05	-0.59	-0.06	-0.59	-0.05	-0.44	-0.04	-0.37	-0.03	-0.30	-0.01	-0.24	0.06	0.44	0.03	0.69	0.14	1.73	0.08
H	"	-0.57	0.03	-0.71	-0.04	-0.62	-0.01	-0.56	-0.03	0.64	0.33	-0.60	-0.03	-0.60	-0.02	-0.71	0	0.53	0.02	1.02	-0.09	1.72	-0.03
I	"	-0.36	-0.06	-0.35	-0.05	-0.34	-0.04	-0.35	-0.02	-0.34	-0.03	-0.29	-0.05	0.28	0.12	-0.38	-0.07	0.05	0.02	0.84	0.03	-	-
A	20kgf/cm ²	-1.25	0.02	-1.43	-0.01	-1.23	-0.02	-1.04	0.09	-0.95	0.01	-0.77	0.01	-0.66	0.01	-0.65	0.02	0.31	0.02	2.17	-0.04	2.76	0.03
B	"	-0.66	-0.01	-0.93	-0.07	-0.60	0.10	-1.17	-0.07	-0.93	-0.06	-0.76	-0.05	-0.61	-0.04	-0.95	-0.19	0.61	0.05	2.73	0.08	-	-
C	"	-1.36	-0.08	-1.65	-0.15	-1.41	0.06	-1.70	-0.06	-1.26	-0.10	-1.02	-0.08	-0.98	-0.09	-0.59	0.10	1.74	0.04	2.70	-0.30	4.05	0.29
D	"	-0.91	0.07	-1.12	0.02	-0.86	0.14	-1.18	0.05	-0.87	0.06	-0.68	0.05	-0.66	0.03	-0.69	0.06	1.00	0.24	1.12	0.24	3.83	0.18
E	"	-0.82	-0.01	-1.01	-0.05	-0.80	0.10	-1.12	-0.07	-0.76	-0.04	-0.64	-0.02	-0.56	-0.08	-0.76	-0.13	0.56	0.13	2.26	-0.15	-	-
F	"	-1.62	0.03	-2.13	-0.06	-1.07	0.33	-1.68	0.01	-1.08	0.05	-0.86	0.03	-0.96	0.01	-0.98	0.14	1.09	0.09	2.98	-0.18	4.04	-0.21
G	"	-1.16	-0.06	-1.41	-0.13	-1.42	-0.13	-1.30	-0.01	-0.96	-0.01	-0.84	-0.02	-0.66	0	-0.63	0.18	1.08	0.09	1.77	0.42	4.12	0.25
H	"	-1.39	0.11	-1.77	-0.08	-1.54	-0.01	-1.31	-0.03	-1.28	-0.05	-1.38	-0.05	-1.44	0.01	-1.64	-0.02	1.25	0.05	2.53	-0.19	3.98	-0.04
I	"	-0.79	-0.03	-0.8	-0.02	-0.77	-0.01	-0.77	0.01	-0.78	-0.02	-0.65	-0.05	-0.58	-0.02	-0.89	-0.13	0.18	0.07	2.08	0.13	-	-

試料	測定 箇所 圧力	12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10 kgf/cm ²	-0.14	-0.17	-0.38	-0.22	-0.53	-0.24	-0.52	-0.21	-0.20	-0.13	-0.33	-0.10	-0.53	-0.14	-0.73	-0.21	-0.68	-0.15	-0.32	0.02	0.04	0.15
B	"	0.31	0.20	0.16	0.17	-0.21	0.06	-0.53	-0.04	0.16	0.05	0.39	0.26	0.21	0.23	-0.23	0.08	-0.63	-0.02	-0.68	-0.05	-0.51	0
C	"	0.67	0.28	0.36	0.20	-0.23	0.03	-1.16	-0.19	0.57	0.27	0.53	0.27	0.19	0.17	-0.37	-0.01	-1.21	-0.24	-1.07	-0.18	-0.65	-0.05
D	"	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58	0.17	0.35	0.15	0.20	0.09	-0.13	0.04	-0.75	-0.05	-1.12	-0.17	-1.21	-0.11
E	"	-	-	-	-	-0.23	-0.04	-0.36	0.10	0.27	0.12	0.24	0.10	0.05	0.06	-0.31	-0.04	-0.71	-0.12	-0.86	-0.17	-0.17	0.08
F	"	-0.37	-0.13	-0.31	-0.10	-0.59	-0.16	-0.95	-0.22	-0.50	-0.13	-0.61	-0.16	-0.49	-0.13	-0.75	-0.18	-1.10	-0.26	-1.08	-0.20	-0.71	-0.04
G	"	-	-	-	-	-	-	-	-	0.67	0.16	0.66	0.19	0.27	0.06	-0.18	-0.05	-0.90	-0.21	-0.84	-0.20	-0.65	-0.08
H	"	0.25	0.12	0.05	0.08	-0.35	-0.04	-0.95	-0.18	0.20	0.12	0.19	0.11	-0.07	0.04	-0.48	-0.07	-1.10	-0.23	-1.06	-0.25	-0.99	-0.17
I	"	0.45	0.19	0.23	0.17	-0.15	0.05	-0.6	-0.08	0.35	0.15	0.28	0.1	0.11	0.06	-0.23	-0.02	-0.7	-0.13	-0.85	-0.15	-0.91	-0.12
A	20 kgf/cm ²	-0.42	-0.37	-0.91	-0.43	-1.23	-0.49	-1.20	-0.43	-0.58	-0.29	-0.70	-0.21	-1.20	-0.31	-1.47	-0.34	-1.37	-0.29	-0.73	0	0.02	0.30
B	"	0.47	0.32	0.15	0.22	-0.62	0.02	-1.22	-0.18	0.57	0.41	0.58	0.42	0.19	0.34	-0.63	0.10	-1.42	-0.15	-1.54	-0.20	-1.18	-0.12
C	"	1.40	0.63	0.73	0.46	-0.50	0.11	-2.41	-0.36	1.18	0.59	1.07	0.59	0.35	0.38	-0.80	0.04	-2.51	-0.46	-2.21	-0.35	-1.32	-0.11
D	"	-	-	-	-	-	-	-	-	1.17	0.36	0.70	0.34	0.37	0.21	-0.30	0.11	-1.56	-0.11	-2.35	-0.32	-2.51	-0.22
E	"	-	-	-	-	-0.55	-0.02	-0.76	0.26	0.53	0.33	0.47	0.30	0.07	0.19	-0.68	-0.02	-1.44	-0.16	-1.78	-0.29	-0.29	0.20
F	"	-0.96	-0.36	-0.81	-0.29	-1.37	-0.42	-2.17	-0.57	-1.24	-0.37	-1.44	-0.43	-1.16	-0.34	-1.71	-0.44	-2.40	-0.61	-2.34	-0.49	-1.56	-0.17
G	"	-	-	-	-	-	-	-	-	1.34	0.32	1.34	0.39	0.52	0.13	-0.44	-0.12	-1.96	-0.50	-1.79	-0.45	-1.39	-0.21
H	"	0.41	0.27	-0.02	0.15	-0.83	-0.08	-2.02	-0.38	0.30	0.26	0.30	0.24	-0.23	0.10	-1.10	-0.12	-2.29	-0.45	-2.22	-0.50	-2.05	-0.35
I	"	0.86	0.39	0.4	0.29	-0.36	0.07	-1.29	-0.18	0.67	0.3	0.53	0.23	0.15	0.12	-0.55	-0.05	-1.53	-0.31	-1.83	-0.38	-1.91	-0.29

試料	測定 箇所 圧力	23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10 kgf/cm ²	0.79	0.49	1.16	0.69	-0.31	-0.13	-0.32	-0.14	-0.35	-0.16	-0.61	-0.22	-0.70	-0.22	-0.62	-0.13	-0.31	-0.22	-0.52	-0.25	-0.65	-0.28
B	"	0.23	0.23	1.07	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.25	0.05	-0.55	-0.04	0.45	0.18	0.26	0.14	-0.10	0.04
C	"	0.52	0.28	1.79	0.75	0.29	0.19	0.47	0.22	0.43	0.18	0.16	0.11	-0.35	-0.04	-1.26	-0.28	0.61	0.10	0.27	0.03	-0.28	-0.10
D	"	-0.58	0.18	1.28	0.87	0.39	0.10	-	-	-0.12	-0.06	-0.15	-0.12	-0.68	-0.22	-1.28	-0.33	0.19	-0.16	-0.12	-0.25	-0.57	-0.32
E	"	0.96	0.49	1.50	0.81	0.18	0.07	-	-	-	-	-	-	-0.39	-0.10	-0.82	-0.18	0.22	-0.09	0.05	0.18	-0.26	-0.18
F	"	0.38	0.37	1.54	0.72	-0.70	-0.20	-0.69	-0.23	-0.70	-0.29	-0.49	-0.24	-0.78	-0.17	-1.09	-0.30	-	-	-	-	-	-
G	"	0.49	0.54	1.41	1.00	0.55	0.18	0.52	0.18	0.47	0.14	0.11	0.06	-0.41	-0.06	-1.21	-0.24	0.53	0.03	0.16	-0.07	-0.34	-0.16
H	"	0.50	0.39	1.83	0.93	0.22	0.10	0.21	0.04	-	-	-0.05	-0.05	-0.44	-0.16	-1.08	-0.30	0.20	-0.16	-0.13	-0.24	-0.51	-0.32
I	"	0.57	0.43	1.72	0.93	0.29	0.13	0.29	0.1	0.29	0.06	0.08	0.02	-0.34	-0.11	-0.8	-0.22	0.37	-0.04	0.09	-0.12	-0.31	-0.2
A	20 kgf/cm ²	1.61	0.91	2.41	1.39	-0.79	-0.27	-0.82	-0.30	-0.85	-0.34	-1.31	-0.44	-1.48	-0.45	-1.31	-0.25	-0.73	-0.44	-1.20	-0.53	-1.39	-0.53
B	"	0.31	0.32	2.08	0.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.63	0.04	-1.22	-0.13	0.81	0.33	0.42	0.24	-0.28	0.05
C	"	1.13	0.60	3.79	1.54	0.56	0.39	0.93	0.48	0.90	0.42	0.29	0.25	-0.74	-0.03	-2.60	-0.52	1.25	0.25	0.54	0.07	-0.58	-0.17
D	"	-1.18	0.40	2.62	1.78	0.79	0.26	-	-	0.28	-0.07	-0.41	-0.22	-1.36	-0.40	-2.62	-0.64	0.44	-0.24	-0.23	-0.43	-1.13	-0.58
E	"	2.07	1.04	3.19	1.70	0.36	0.24	-	-	-	0	-	-	-0.86	-0.17	-1.77	-0.39	0.43	-0.18	-0.15	-0.35	-0.58	-0.35
F	"	0.73	0.69	3.12	1.40	-1.61	-0.49	-1.60	-0.57	-1.62	-0.70	-1.17	-0.58	-1.75	-0.48	-2.40	-0.70	-	-	-	-	-	-
G	"	1.05	1.09	2.95	2.05	1.09	0.37	0.95	0.32	0.92	0.25	0.11	0.06	-0.97	-0.19	-2.65	-0.59	1.03	0.02	0.25	-0.19	-0.79	-0.38
H	"	1.08	0.82	3.79	1.89	0.34	0.20	0.38	0.12	-	-	-0.18	-0.10	-0.97	-0.31	-2.27	-0.60	0.34	-0.34	-0.34	-0.49	-1.10	-0.64
I	"	1.13	0.82	3.5	1.83	0.44	0.17	0.43	0.11	0.44	0.03	-0.02	-0.08	-0.83	-0.3	-1.74	-0.49	0.62	-0.17	0.05	-0.32	-0.79	-0.5

(応力単位: kg·f / cm²)

試料	測定 箇所 圧力	34		35		36		37		38		39		40		41	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10kgf/cm ²	-0.63	-0.19	2.27	1.22	1.56	1.28	1.56	1.20	0.21	1.55	0.11	0.17	0.23	0.44	-0.16	-0.20
B	"	-0.44	-0.02	1.37	0.72	1.20	1.13	1.27	0.89	0.54	-0.20	0.10	0.31	0.31	0.72	0.04	0.05
C	"	-1.04	-0.24	4.41	2.40	2.12	1.54	2.46	2.10	1.23	0.68	0.26	0.64	0.63	1.31	0.22	0.34
D	"	-1.15	-0.41	5.53	2.76	1.99	1.43	1.95	1.92	0.48	2.85	0.13	0.12	0.36	0.43	0.39	0.25
E	"	-0.47	-0.16	1.56	0.89	0.89	0.53	1.51	1.23	-0.04	-0.29	0.12	0.25	0.22	0.64	0.03	0.11
F	"	-1.16	-0.41	4.12	2.07	1.73	1.70	1.96	1.71	0.42	3.55	0.20	0.18	0.34	0.42	-0.06	-0.17
G	"	-1.07	-0.29	3.31	1.77	2.37	1.86	2.80	2.16	0.74	3.57	-	-	-	-	-	-
H	"	-1.09	-0.37	3.03	1.54	1.50	1.27	2.05	1.51	0.34	3.29	-	-	-	-	-	-
I	"	-0.68	-0.26	2.28	1.23	1.08	0.99	2.08	1.53	0.22	0.08	0.22	0.34	0.43	0.82	-0.1	-0.02
A	20kgf/cm ²	-1.34	-0.35	4.74	2.6	3.46	2.81	3.44	2.69	0.52	3.18	0.22	0.43	0.56	0.99	-0.17	-0.19
B	"	-1.03	-0.14	2.69	1.38	2.46	2.31	2.60	1.78	1.14	-0.47	0.14	0.64	0.63	1.49	0.14	0.23
C	"	-2.18	-0.47	9.48	5.20	4.68	3.42	5.43	4.60	2.71	14.15	0.60	1.44	1.45	2.84	0.67	0.96
D	"	-2.34	-0.77	11.68	5.87	4.28	3.05	5.66	4.56	1.02	5.85	0.32	0.38	0.78	0.99	0.67	0.46
E	"	-0.98	-0.27	3.3	1.90	1.97	1.19	3.15	2.55	-0.06	-0.56	0.30	0.66	0.59	1.46	0.15	0.38
F	"	-2.58	-0.96	8.55	4.22	3.65	3.56	4.07	3.52	0.82	7.33	0.35	0.35	0.69	0.88	0.05	-0.19
G	"	-2.33	-0.67	7.04	3.74	5.03	3.94	5.99	4.60	1.58	7.62	-	-	-	-	-	-
H	"	-2.29	-0.75	6.26	3.17	3.20	2.67	4.35	3.18	0.74	6.65	-	-	-	-	-	-
I	"	-1.53	-0.62	4.58	2.45	2.37	2.08	4.57	3.27	0.32	0.08	0.35	0.66	0.78	1.63	-0.17	0.04

表-13 応力換算値

(応力単位: kg·f / cm²)

試料	測定 箇所 圧力	42		43		44		45		46		47		48		49		50	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10kg·f / cm ²	-1.43	0.14	1.47	0.04	1.15	0.04	0.91	0.06	0.57	0.08	-0.34	-0.17						
B	"	0.23	0.03	0.30	0.04	0.63	-0.01	0.71	-0.01	0.04	0.02	-0.03	0.03	0.48	0.05	1.02	0.11		
C	"	0.40	2.46																
D	"	-1.11	0	-1.40	-0.03	-1.23	-0.03	-0.94	0	-0.91	-0.01	-0.55	-0.11	1.11	0.16	2.58	0.37		
E	"	0.08	-0.30	-0.05	0.42	0.01	0.29												
F	"	3.31	1.83	0.05	1.15	1.34	3.22												
G	"	0.70	2.37	-1.08	0	-1.30	-0.02	-1.30	-0.01	-0.99	0	-0.94	-0.01	-0.79	-0.03	-0.02	0.05	1.29	0.15
H	"	2.38	1.25	0.26	2.03														
I	"	0.43	-0.12	0.14	0.63	0.12	0.57	0.37	1.48										
A	20kg·f / cm ²	2.97	0.27	3.21	0.11	2.42	0.08	1.97	0.17	1.27	0.27	-0.67	-0.32						
B	"	0.38	-0.03	0.58	0	1.30	-0.08	1.47	-0.08	0	-0.02	-0.15	-0.02	0.95	0.04	2.25	0.15		
C	"	1.05	5.34																
D	"	-2.39	0.05	-3.03	-0.06	-2.61	-0.03	-2.05	0.01	-1.99	-0.05	-1.19	-0.24	2.27	0.32	5.49	0.79		
E	"	0.27	-0.57	-0.09	0.89	0.03	0.62												
F	"	7.15	3.85	0.23	2.41	2.89	6.99												
G	"	1.48	5.12	-2.48	-0.05	-2.95	-0.08	-2.93	-0.08	-2.17	0.01	-2.04	-0.01	-1.68	-0.05	-0.08	0.07	2.78	0.35
H	"	4.72	2.50	0.55	4.18														
I	"	0.83	-0.36	0.13	1.16	0.11	1.02	0.61	2.82										

5-2 凍結実験

凍結実験に先立って、常温内圧実験におけるa～c試料の外表面の歪測定は図-12、表-15、のとおりで、この歪から(1.2)式を使用して応力に換算したのが表-16である。

また、凍結実験時のa～c試料の外表面の歪から応力に換算したのが、表-17、表-18、表-19である。

なお、a～c試料における凍結実験時の温度と時間の関係は図-13、図-14、図-15のとおりで、実験データについては表-20にまとめた。

図-12

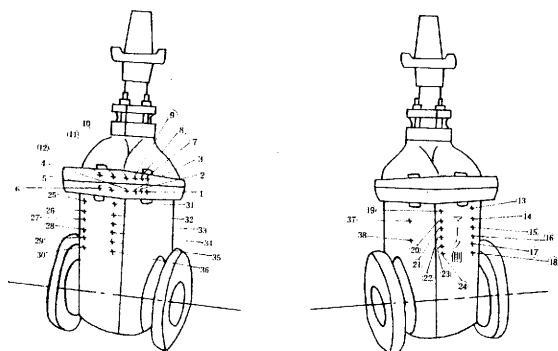


表-15 歪の測定値

試料	測定箇所 圧力	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5kgf/cm ²	56	-17	20	-9	-11	3	-14	5	-20	6	-14	6	9	0	1	0	-2	2	5	1
b	"	35	-12	31	-7	15	-2	-1	1	-9	4	-12	5	12	-3	10	0	3	-1	0	1
c	"	44	-23	47	-15	14	-5	-5	-2	-18	4	-23	5	15	-5	9	-4	-1	-2	-5	1
a	17.5kgf/cm ²	131	-38	47	-20	-26	7	-32	10	-48	13	-31	15	21	-1	2	0	-4	3	-10	3
b	"	79	-31	69	-20	33	-9	-4	1	-22	7	-31	10	24	-9	19	-5	5	-2	-2	1
c	"	107	-48	113	-30	35	-9	-7	-1	-38	10	-51	15	36	-10	23	-6	2	-1	-10	2

試料	測定箇所 圧力	11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5kgf/cm ²	-5	2	-1	3	-36	9	-59	1	-62	-2	-77	-1	-63	1	-55	4	-33	7	-57	0
b	"	-3	2	-5	4	-28	8	-43	3	-49	0	-54	-1	-45	0	-40	2	-21	10	-39	4
c	"	-8	0	-11	0	-40	18	-63	4	-69	-2	-77	-2	-67	1	-55	4	-37	9	-57	1
a	17.5kgf/cm ²	-15	5	-1	6	-87	21	-139	2	-146	-5	-182	-2	-148	2	-127	8	-81	13	-133	-2
b	"	-9	3	-13	5	-67	15	-106	4	-117	-2	-125	-2	-109	-1	-98	4	-49	22	-91	7
c	"	-17	3	-22	5	-95	42	-147	10	-162	-6	-184	-6	-158	-1	-131	8	-86	23	-134	2

試料	測定箇所 圧力	21		22		23		24		25		26		27		28		29		30	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5 kgf/cm ²	-65	-4	-66	-1	-59	2	-51	5	-11	14	-38	3	-47	-3	-54	-2	-47	3	-39	4
b	"	-46	1	-48	0	-43	2	-36	1	-16	10	-35	3	-41	1	-42	0	-39	3	-35	4
c	"	-67	-3	-67	-3	-59	1	-50	5	-28	11	-50	4	-58	-1	-59	-1	-55	6	-46	6
a	17.5 kgf/cm ²	-154	-12	-157	-4	-138	3	-122	9	-26	32	-91	5	-111	-8	-127	-5	-114	4	-94	8
b	"	-112	-1	-115	-2	-103	1	-87	2	-39	22	-86	6	-100	-1	-100	-3	-93	4	-85	7
c	"	-155	-6	-156	-8	-138	0	-120	10	-65	27	-116	9	-138	-5	-136	-5	-130	9	-109	12

(歪単位: $\times 10^{-6}$)

試料	測定箇所 圧力	31		32		33		34		35		36		37		38	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5 kgf/cm ²	-29	11	-54	1	-62	-4	-63	-2	-55	2	-47	5	118	56	125	55
b	"	-28	11	-46	1	-57	-2	-54	-2	-49	1	-43	5	93	36	106	42
c	"	-44	11	-64	-1	-70	-6	-71	-2	-60	2	-53	4	123	66	143	63
a	17.5 kgf/cm ²	-70	26	-128	1	-144	-9	-148	-5	-131	2	-112	11	276	130	292	128
b	"	-70	23	-112	2	-133	-5	-128	-6	-118	2	-104	9	217	81	244	93
c	"	-100	26	-146	-1	-160	-12	-162	-7	-144	2	-122	9	290	151	336	145

表-16 応力換算値

試料	測定箇所 圧力	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5 kgf/cm ²	0.56	0	0.19	-0.03	-0.11	0	-0.14	0.01	-0.20	0	-0.13	0.02	0.10	0.03	0.01	0	-0.02	0.02	-0.05	-0.01
b	"	0.52	-0.02	0.48	0.04	0.24	0.04	-0.01	0.01	-0.13	0.02	-0.17	0.02	0.18	0.01	0.16	0.05	0.04	0	0	0.02
c	"	0.41	-0.11	0.47	-0.01	0.14	-0.01	-0.06	-0.04	-0.18	-0.02	-0.24	0.02	0.15	-0.01	0.09	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.01
a	17.5 kgf/cm ²	1.31	0.01	0.45	-0.06	-0.26	-0.01	-0.32	0	-0.48	-0.02	-0.29	0.06	0.23	0.06	0.02	0.01	-0.03	0.02	-0.10	0
b	"	1.15	-0.12	1.04	0.01	0.50	0.01	-0.06	0	-0.33	0.01	-0.46	0.01	0.35	-0.03	0.29	0.01	0.07	-0.01	-0.03	0.01
c	"	1.02	-0.17	1.14	0.04	0.35	0.02	-0.08	-0.03	-0.38	-0.02	-0.51	0	0.36	0.01	0.23	0.01	0.02	0	-0.10	-0.01

試料	測定箇所 圧力	11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5 kgf/cm ²	-0.05	0.01	0	0.03	-0.37	-0.02	-0.65	-0.18	-0.69	-0.23	-0.85	-0.26	-0.69	-0.20	-0.59	-0.14	-0.34	-0.03	-0.63	-0.19
b	"	-0.04	0.02	-0.06	0.04	-0.42	-0.01	-0.69	-0.16	-0.81	-0.24	-0.90	-0.28	-0.74	-0.22	-0.65	-0.16	-0.30	0.06	-0.62	-0.13
c	"	-0.09	-0.03	-0.12	-0.04	-0.38	0.07	-0.68	-0.16	-0.76	-0.25	-0.85	-0.28	-0.73	-0.21	-0.59	-0.14	-0.38	-0.02	-0.62	-0.18
a	17.5 kgf/cm ²	-0.15	0.01	0.01	0.06	-0.89	-0.06	-1.52	-0.44	-1.62	-0.54	-2.01	-0.62	-1.62	-0.47	-1.37	-0.33	-0.85	-0.12	-1.47	-0.46
b	"	-0.13	0	-0.19	0.02	-1.03	-0.08	-1.73	-0.46	-1.94	-0.61	-2.07	-0.65	-1.80	-0.56	-1.60	-0.42	-0.70	0.12	-1.47	-0.33
c	"	-0.18	-0.02	-0.23	-0.02	-0.91	0.15	-1.58	-0.37	-1.80	-0.60	-2.04	-0.67	-1.74	-0.53	-1.41	-0.34	-0.87	-0.03	-1.47	-0.42

試料	測定箇所 圧力	21		22		23		24		25		26		27		28		29		30	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5kgf/cm ²	-0.73	-0.26	-0.73	-0.23	-0.64	-0.17	-0.54	-0.11	-0.07	0.12	-0.41	-0.09	-0.53	-0.19	-0.60	-0.20	-0.51	-0.12	-0.42	-0.08
b	"	-0.75	-0.21	-0.79	-0.24	-0.70	-0.18	-0.59	-0.16	-0.21	0.09	-0.56	-0.12	-0.67	-0.19	-0.69	-0.21	-0.63	-0.14	-0.56	-0.11
c	"	-0.75	-0.25	-0.75	-0.25	-0.65	-0.18	-0.53	-0.11	-0.27	0.03	-0.54	-0.12	-0.64	-0.20	-0.65	-0.21	-0.58	-0.12	-0.49	-0.09
a	17.5kgf/cm ²	-1.73	-0.64	-1.74	-0.56	-1.51	-0.42	-1.31	-0.30	-0.18	0.27	-0.98	-0.25	-1.25	-0.45	-1.41	-0.47	-1.24	-0.33	-1.01	-0.22
b	"	-1.85	-0.57	-1.91	-0.60	-1.69	-0.49	-1.42	-0.40	-0.53	0.17	-1.39	-0.33	-1.66	-0.51	-1.66	-0.54	-1.51	-0.39	-1.37	-0.30
c	"	-1.72	-0.58	-1.74	-0.60	-1.52	-0.45	-1.29	-0.29	-0.63	0.08	-1.25	-0.28	-1.53	-0.51	-1.51	-0.50	-1.40	-0.33	-1.16	-0.23

(応力単位: kgf/mm²)

試料	測定箇所 圧力	31		32		33		34		35		36		37		38	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	7.5kgf/cm ²	-0.28	0.03	-0.59	-0.17	-0.69	-0.25	-0.70	-0.23	-0.60	-0.16	-0.50	-0.10	1.48	1.00	1.55	1.02
b	"	-0.41	0.04	-0.75	-0.21	-0.95	-0.31	-0.90	-0.30	-0.80	-0.23	-0.68	-0.13	1.71	1.05	1.95	1.22
c	"	-0.45	-0.02	-0.71	-0.22	-0.79	-0.30	-0.79	-0.26	-0.65	-0.18	-0.57	-0.13	1.57	1.13	1.78	1.16
a	17.5kgf/cm ²	-0.68	0.05	-1.40	-0.41	-1.61	-0.57	-1.64	-0.54	-1.43	-0.41	-1.19	-0.25	3.46	2.34	3.63	2.37
b	"	-1.04	0.03	-1.84	-0.52	-2.22	-0.74	-2.14	-0.73	-1.94	-0.55	-1.67	-0.37	3.98	2.41	4.48	2.74
c	"	-1.01	-0.04	-1.61	-0.49	-1.80	-0.66	-1.80	-0.61	-1.58	-0.45	-1.31	-0.30	3.68	2.62	4.17	2.70

表-17 凍結実験時の試料α外表面応力

凍結開始	測定箇所	1		2		3		4		5		6		13		14		15		16		17		23		29		35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
10分後 (平均)		0.29	-0.06	0.08	-0.05	-0.11	-0.03	-0.13	-0.04	-0.18	-0.05	-0.14	-0.04	-0.24	-0.03	-0.41	-0.12	-0.44	-0.15	-0.55	-0.18	-0.43	-0.10	-0.24	-0.03	-0.38	-0.12	-0.50	-0.19	-0.50	-0.17	-0.42	-0.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		-0.24	-0.03	-0.33	-0.12	-0.36	-0.15	-0.43	-0.17	-0.38	-0.12	-0.41	-0.13	-0.24	-0.02	-0.42	-0.15	-0.49	-0.20	-0.50	-0.19	-0.41	-0.13	-0.24	-0.03	-0.39	-0.13	-0.45	-0.17	-0.50	-0.18	-0.41	-0.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
15分後 (平均)		0.87	-0.06	0.31	-0.07	-0.22	-0.04	-0.28	-0.05	-0.39	-0.06	-0.27	0	-0.64	-0.07	1.08	-0.32	1.15	-0.38	1.44	-0.46	1.17	-0.32	-0.63	-0.09	-1.05	-0.32	1.25	-0.48	1.28	-0.42	1.10	-0.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		-0.58	-0.05	-1.07	-0.37	1.25	-0.48	1.27	-0.47	1.10	-0.36	-0.52	-0.07	-0.99	-0.31	1.15	-0.43	1.27	-0.44	1.08	-0.32	-0.63	-0.09	-1.05	-0.32	1.25	-0.48	1.28	-0.42	1.10	-0.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
20分後 (平均)		1.60	-0.07	0.56	-0.14	-0.41	-0.06	-0.48	-0.05	-0.71	-0.09	-0.47	0	-1.17	-0.12	1.97	-0.58	2.13	-0.72	2.64	-0.83	2.13	-0.60	-1.10	-0.16	-1.89	-0.59	2.26	-0.84	2.29	-0.74	1.97	-0.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		-1.33	-0.37	1.65	-0.62	1.90	-0.66	-1.47	-0.95	-0.01	-1.88	-0.60	-2.16	-0.81	-2.21	-0.77	-1.92	-0.58	-1.06	-0.10	1.77	-0.54	-2.05	-0.75	-2.26	-0.75	-1.92	-0.55	-1.38	0.03	-2.86	-0.90	3.28	-1.22	3.34	-1.14	-2.93	-0.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
25分後 (平均)		2.49	-0.05	0.83	-0.22	-0.61	-0.09	-0.71	-0.07	-1.04	-0.12	-0.63	0.04	-1.81	-0.15	3.05	-0.88	3.26	-1.06	4.02	-1.24	3.28	-0.92	-1.60	-0.24	-2.85	-0.89	3.41	-1.25	3.45	-1.11	2.97	-0.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		-1.94	-0.51	-2.46	-0.89	2.84	-0.96	-2.49	-0.69	-1.38	0.03	-2.86	-0.90	3.28	-1.22	3.34	-1.14	-2.93	-0.87	-1.60	-0.12	2.68	-0.80	-3.10	-1.11	-3.41	-1.11	-2.92	-0.82	-2.96	-0.30	-5.04	-1.49	5.48	-1.76	6.72	-2.05	-5.53	-1.57																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
35分後 (平均)		4.10	0.01	1.42	0.27	-0.91	-0.09	-1.09	-0.06	-1.58	-0.15	-0.85	0.12	-2.96	-0.30	-5.04	-1.49	5.48	-1.76	6.72	-2.05	-5.53	-1.57	-2.43	-0.31	-4.50	-1.37	5.54	-2.03	5.68	-1.82	-4.90	-1.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		-2.97	-0.78	3.82	-1.35	4.64	-1.56	-4.11	-1.15	-2.04	0.17	-4.52	-1.37	5.23	-1.92	5.41	-1.79	-4.80	-1.39	-2.48	-0.15	-4.26	-1.25	-5.02	-1.77	-5.61	-1.81	-4.84	-1.36	-4.27	-0.42	7.31	-2.14	-9.15	-2.84	-9.75	-2.92	-8.13	-2.32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
45分後 (平均)		5.85	0.09	1.97	-0.42					-2.20	-0.23		-4.27	-0.42	7.31	-2.14	-9.15	-2.84	-9.75	-2.92	-8.13	-2.32	-3.19	-0.29	-6.20	-1.83	7.83	-2.81	-8.08	-2.52	-6.90	-1.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		-3.92	-0.97	-5.15	-1.75	-6.50	-2.13	-5.77	-1.59	-2.69	0.36	-6.33	-1.87	7.35	-2.71	-7.68	-2.49	-6.90	-2.04	-3.38		-5.94	-1.70	-7.37	-2.53	-8.00	-2.51	-6.93	-1.94	-0.45	-0.02	-0.76	-0.22	-0.86	-0.31	-0.97	-0.31	-0.82	-0.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
常温内圧10kg・f/cm ² 時の応力		0.75		0.26						-0.27			-0.45	-0.02	-0.76	-0.22	-0.86	-0.31	-0.97	-0.31	-0.82	-0.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

(応力単位: $\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$)

測定箇所 凍結開始	18 30		24 36		37		38	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
凍結開始	-0.37	-0.07	0.93	0.62	1.02	0.67		
10 分 後	-0.36	-0.08						
(平均)	-0.36	-0.08						
15 分 後	-0.35	-0.08						
(平均)	-0.98	-0.22	2.45	1.65	2.65	1.75		
20 分 後	-0.97	-0.23						
(平均)	-0.77	-0.18						
25 分 後	-0.93	-0.23						
(平均)	-1.74	-0.41	4.49	3.03	4.80	3.16		
30 分 後	-1.72	-0.38						
(平均)	-1.36	-0.31						
35 分 後	-1.61	-0.35						
(平均)	-1.61	-0.36						
40 分 後	-2.72	-0.64	6.85	4.61	7.25	4.78		
(平均)	-2.59	-0.59						
45 分 後	-2.01	-0.42						
(平均)	-2.43	-0.53						
50 分 後	-2.44	-0.55						
(平均)	-4.58	-1.09	11.24	7.61	12.08	8.06		
55 分 後	-4.38	-1.00						
(平均)	-3.35	-0.75						
60 分 後	-3.97	-0.84						
(平均)	-4.07	-0.92						
65 分 後	-6.62	-1.57	16.47	11.1	17.6	11.71		
(平均)	-6.33	-1.42						
70 分 後	-4.76	-1.08						
(平均)	-5.72	-1.25						
75 分 後	-5.86	-1.33						
(平均)	-0.69	-0.15	1.98	1.36	2.07	1.36		
常温内圧10 $\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 時の応力								

表-18 凍結実験時の試料 b 外表面応力

測定箇所 凍結開始	1		2		3		4		5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
凍結開始	1.59		1.48		0.71		-0.05		-0.41	
7 分 後										
(平均)	5.56		4.97	0.11	2.53	0.08	-0.14	0.05	-1.47	0.05
18 分 後										
(平均)	7.25		6.34	0.13	3.24	0.09	-0.19	0.08	-1.88	0.08
23 分 後										
(平均)	9.15		7.84	0.09	4.03	0.02	-0.33	-0.01	-2.48	0.02
29 分 後										
(平均)	14.47		11.75	0.16	6.22	0.08	-0.54	0.11	-3.70	0.12
44 分 後										
(平均)	25.93		15.05	0.18	8.14	0.09	-0.94	-0.21	-4.93	0.26
59 分 後										
(平均)	0.72		0.66		0.32					
常温内圧10 $\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 時の応力										

(応力単位: $\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$)

凍結開始	6		13		19		24		37		38	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
7分後	-0.59		-1.42		-2.35		-2.83		-2.18		-2.18	
(平均)	-1.83	0.31	-4.96		-8.52		-10.04		-7.66		-7.66	
18分後			-3.37		-7.30		-8.99		-6.68		-6.68	
(平均)	-4.91		-9.07		-16.63		-20.49		-15.54		-15.54	
23分後			-4.41		-9.07		-10.55		-7.94		-7.94	
(平均)	-11.85		-22.89		-33.35		-40.33		-30.82		-30.82	
29分後			-5.49		-15.25		-17.84		-13.32		-13.32	
(平均)	-2.58	0.59	-8.54		-12.55		-15.32		-11.55		-11.55	
44分後			-8.29		-16.27		-25.06		-19.41		-19.41	
(平均)	-3.11	1.12	-14.11		-24.49		-31.71		-24.91		-24.91	
59分後			-11.57		-21.84		-33.35		-25.81		-25.81	
(平均)	-3.44	1.44	-20.58		-38.70		-50.40		-37.42		-37.42	
常温内圧10kg・I / cm ² 時の配力	-0.26		-0.55		-0.96		-1.17		-0.90		-0.90	

表-19 凍結実験時試料・外表面応力

測定 箇所 凍結 開始	1		2		3		4		5		6		13		19		14		20		15		21		16		22		17		23		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
36分後	0.46	-0.07	0.52	0.03	0.19	0.03	-0.01	0	-0.14	0.04	-0.20	0.03	-0.40	-0.38	0.02	-0.70	-0.16	-0.78	-0.25	-0.91	-0.29	-0.77	-0.23	-0.77	-0.23	-0.77	-0.23	-0.77	-0.23	-0.77	-0.23	-0.77	-0.23
(平均)	1.17	-0.20	1.37	0.06	0.44	0.02	-0.06	-0.01	-0.39	0.02	-0.57	0.01	-1.07	-0.97	0.07	-1.82	-0.44	-2.09	-0.69	-2.36	-0.77	-2.01	-0.61	-2.01	-0.61	-2.01	-0.61	-2.01	-0.61	-2.01	-0.61	-2.01	-0.61
46分後													-0.97	-0.97	0.02	-1.63	-0.42	-1.96	-0.64	-1.99	-0.67	-1.74	-0.51	-1.74	-0.51	-1.74	-0.51	-1.74	-0.51	-1.74	-0.51	-1.74	-0.51
(平均)	1.74	-0.28	2.00	0.08	0.64	0.03	-0.10	-0.02	-0.60	0.03	-0.81	0.03	-1.56	-1.44	0.12	-2.69	-0.64	-3.08	-0.99	-3.49	-1.14	-3.01	-0.92	-3.01	-0.92	-3.01	-0.92	-3.01	-0.92	-3.01	-0.92	-3.01	-0.92
51分後													-1.04	-1.04	0.13	-2.03	-0.43	-2.55	-0.81	-2.55	-0.84	-2.42	-0.61	-2.42	-0.61	-2.42	-0.61	-2.42	-0.61	-2.42	-0.61	-2.42	-0.61
(平均)	3.01	-0.51	3.46	0.10	1.09	0.04	-0.20	-0.06	-1.06	-0.01	-1.38	0	-2.74	-2.35	0.05	-4.09	-1.01	-5.03	-1.62	-5.12	-1.73	-4.67	-1.39	-4.67	-1.39	-4.67	-1.39	-4.67	-1.39	-4.67	-1.39	-4.67	-1.39
61分後													-1.67	-1.67	0.33	-3.41	-0.63	-4.41	-1.33	-4.45	-1.42	-4.30	-1.07	-4.30	-1.07	-4.30	-1.07	-4.30	-1.07	-4.30	-1.07	-4.30	-1.07
(平均)	3.90	-0.62	4.46	0.13	1.41	0.04	-0.26	-0.09	-1.37	-0.01	-1.75	-0.04	-2.89	-2.41	0.08	-4.68	-1.26	-5.42	-1.38	-5.57	-1.84	-5.57	-1.84	-5.57	-1.84	-5.57	-1.84	-5.57	-1.84	-5.57	-1.84	-5.57	-1.84
66分後													-2.41	-2.41	0.14	-4.24	-0.99	-5.11	-1.65	-5.35	-1.76	-4.80	-1.37	-4.80	-1.37	-4.80	-1.37	-4.80	-1.37	-4.80	-1.37	-4.80	-1.37
(平均)	4.65	-0.68	5.28	0.17	1.70	0.09	-0.27	-0.08	-1.61	0.01	-1.99	-0.01	-3.48	-2.88	0.18	-5.15	-1.22	-6.43	-2.04	-6.55	-2.18	-6.13	-1.83	-6.13	-1.83	-6.13	-1.83	-6.13	-1.83	-6.13	-1.83	-6.13	-1.83
71分後													-3.63	-3.63	0.01	-6.07	-1.57	-7.09	-2.43	-7.36	-2.40	-6.29	-1.78	-6.29	-1.78	-6.29	-1.78	-6.29	-1.78	-6.29	-1.78	-6.29	-1.78
(平均)	5.56												-4.10	-4.10	0.53	-7.38	-1.55	-8.89	-2.68	-9.84	-3.22	-8.71	-2.59	-8.71	-2.59	-8.71	-2.59	-8.71	-2.59	-8.71	-2.59	-8.71	-2.59
常温内圧10kg・f/cm ² 時の応力	0.56		0.64						-0.23		-0.31		-0.49																				

(応力単位: kg・f / cm²)

測定箇所 凍結開始	18		24		30		36		37		38	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
36分後	-0.61	-0.14	-0.57	-0.12	-0.52	-0.10	-0.52	-0.10	-0.52	-0.10	-0.52	-0.10
(平均)	-1.64	-0.40	-1.46	-0.30	-1.34	-0.26	-1.34	-0.26	-1.34	-0.26	-1.34	-0.26
46分後	-1.48	-0.32	-1.44	-0.30	-1.44	-0.30	-1.44	-0.30	-1.44	-0.30	-1.44	-0.30
(平均)	-2.44	-0.60	-2.18	-0.46	-2.00	-0.40	-2.00	-0.40	-2.00	-0.40	-2.00	-0.40
51分後	-2.21	-0.49	-2.21	-0.49	-2.21	-0.49	-2.21	-0.49	-2.21	-0.49	-2.21	-0.49
(平均)	-4.43	-1.10	-4.43	-1.10	-4.43	-1.10	-4.43	-1.10	-4.43	-1.10	-4.43	-1.10
61分後	-3.83	-0.81	-3.83	-0.81	-3.83	-0.81	-3.83	-0.81	-3.83	-0.81	-3.83	-0.81
(平均)	-3.93	-0.88	-3.93	-0.88	-3.93	-0.88	-3.93	-0.88	-3.93	-0.88	-3.93	-0.88
66分後	-5.89	-1.46	-5.89	-1.46	-5.89	-1.46	-5.89	-1.46	-5.89	-1.46	-5.89	-1.46
(平均)	-5.16	-1.14	-5.16	-1.14	-5.16	-1.14	-5.16	-1.14	-5.16	-1.14	-5.16	-1.14
71分後	-7.17	-1.77	-7.17	-1.77	-7.17	-1.77	-7.17	-1.77	-7.17	-1.77	-7.17	-1.77
(平均)	-6.22	-1.37	-6.22	-1.37	-6.22	-1.37	-6.22	-1.37	-6.22	-1.37	-6.22	-1.37
常温内圧10kg・f/cm ² 時の応力	-0.73	-0.16	-0.73	-0.16	-0.73	-0.16	-0.73	-0.16	-0.73	-0.16	-0.73	-0.16

図-13 (a 試料)

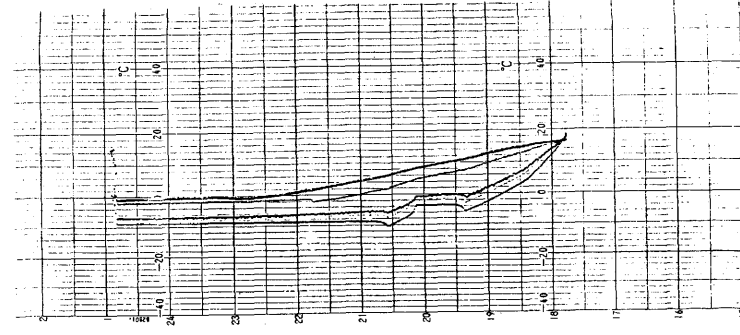


図-14 (b 試料)

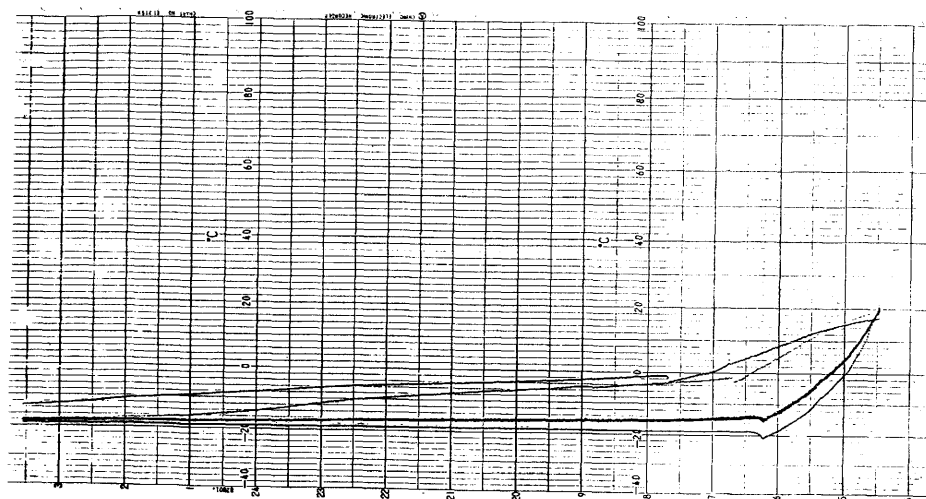


図-15 (c 試料)

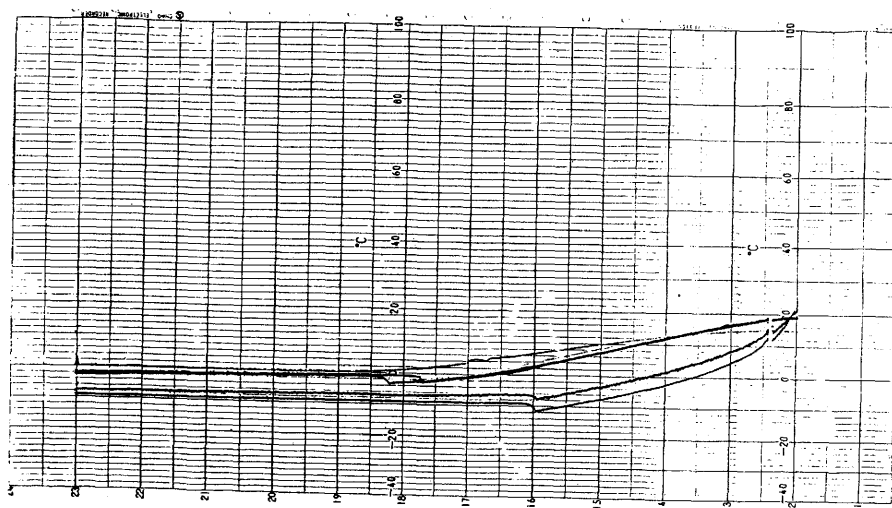
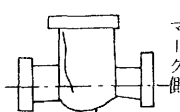


表-20

試料 項目	a 試料 100 ϕ FC20	b 試料 100 ϕ FCD45	c 試料 100 ϕ FC20
冷蔵庫内雰囲気温度 安定後の平均庫内温度	-7 $^{\circ}\text{C}$	-18 $^{\circ}\text{C}$	-8 $^{\circ}\text{C}$
実験終了までの時間	3 時間04分	6 時間20分	5 時間17分
亀裂の長さ	-----	-----	274 mm
亀裂位置	-----	-----	
凍結率	17.5 %	94.9 %	48.5 %
バルブ内容量	3,880 cc	3,900 cc	3,880 cc
パッキン・ガスケット の状態	パッキン異常なし ガスケット異常なし	パッキン1箇所切断 ガスケットわん曲	パッキン異常なし ガスケットわん曲
特記事項	ガスケット部から水噴 出1~2秒で止まる。	ボンネットと弁箱に関 係するボルト4本中、 1本だけ18%の紋りが 生じた。	バーンという音で割れ 発生

6. 実験結果の解析と考察

6-1 常温内圧実験

6-1-1 各試料の実験用バルブの小判の形状と応力の相関関係を調べると理論的には表-5、表-6により把握できるが、実物は補強を目的としたハチマキ、縦リブの構造と肉厚等の違いから単純に得られない。

ここでは、測定したデータをそのまま図-9、図-10、表-9、表-10に示す。

今、理論式と実験による応力分布を比較するために、測定箇所の内から図-16、図-17、表-21のとおり抜粋すると、図の⑩-⑫の箇所に最大応力が存在していることがわかる。この部分の外表面の円周方向の歪はほとんど圧縮歪（内表面は逆に引張歪）であり、この圧縮歪の大きさから内表面の引張歪の大きさに注目しなければならない。

図-16、図-17の箇所のとおり実物に正確にストレンゲージを貼付することは難かしいが、傾向としては間違っていない、理論式が妥当なものであることが裏付けられる。

したがって、内圧による最大応力は⑩~⑫の箇所の内表面側に存在することがA試料の内表面側の歪の測定結果（図-11、表-14）からも判断できる。

表-21-1

(重量单位; $\times 10^{-6}$)

試料	测定箇所 压力	17		18		19		20		21		22		23		24	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10kg·f/cm ²	-30	0	-49	2	-67	1	-63	5	-33	12	-1	14	64	25	95	34
B	"	31	14	14	17	-25	15	-62	17	-67	16	-51	15	16	16	92	19
C	"	45	11	14	11	-37	10	-114	12	-102	14	-63	14	44	12	157	21
D	"	31	4	17	3	-14	8	-73	17	-107	17	-118	25	-63	35	102	49
E	"	21	3	3	5	-30	5	-67	9	-81	9	-19	13	81	20	126	36
F	"	-56	2	-45	2	-70	5	-102	7	-102	12	-70	17	27	26	132	26
G	"	60	-1	25	-2	-16	0	-84	6	-78	5	-63	12	33	39	111	58
H	"	16	5	-8	6	-46	7	-103	10	-99	7	-94	13	38	24	155	38
I	"	25	2	9	3	-22	5	-66	8	-80	10	-87	15	44	26	144	41
A	20kg·f/cm ²	-64	0	-111	5	-137	10	-128	12	-73	22	-7	29	134	43	195	67
B	"	46	24	9	28	-66	29	-138	28	-148	26	-114	23	21	23	181	27
C	"	89	27	23	28	-81	28	-237	29	-210	31	-129	29	95	26	333	40
D	"	60	13	31	10	-33	20	-153	36	-225	38	-244	53	-130	75	209	99
E	"	38	16	1	17	-67	18	-139	27	-169	24	-35	29	176	42	268	74
F	"	-131	0	-106	1	-158	7	-222	11	-219	21	-151	30	52	47	270	46
G	"	122	-1	48	-3	-40	1	-181	9	-166	9	-133	21	72	78	234	116
H	"	23	15	-26	17	-106	21	-216	24	-207	17	-194	26	84	49	322	75
I	"	46	7	12	7	-53	11	-144	15	-172	17	-182	28	88	48	295	78

表-21-2

(応力单位; kg·f/cm²)

試料	测定箇所 压力	17		18		19		20		21		22		23		24	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	10kg·f/cm ²	-0.33	-0.10	-0.53	-0.14	-0.73	-0.21	-0.68	-0.15	-0.32	0.02	0.04	0.15	0.79	0.49	1.16	0.69
B	"	0.39	0.26	0.21	0.23	-0.23	0.08	-0.63	-0.02	-0.68	-0.05	-0.51	0	0.23	0.23	1.07	0.51
C	"	0.53	0.27	0.19	0.17	-0.37	-0.01	-1.21	-0.24	-1.07	-0.18	-0.65	-0.05	0.52	0.28	1.79	0.75
D	"	0.35	0.15	0.20	0.09	-0.13	0.04	-0.75	-0.05	-1.12	-0.17	-1.21	-0.11	-0.58	0.18	1.28	0.87
E	"	0.24	0.10	0.05	0.06	-0.31	-0.04	-0.71	-0.12	-0.86	-0.17	-0.17	0.08	0.96	0.49	1.50	0.81
F	"	-0.61	-0.16	-0.49	-0.13	-0.75	-0.18	-1.10	-0.26	-1.08	-0.20	-0.71	-0.04	0.38	0.37	1.54	0.72
G	"	0.66	0.19	0.27	0.06	-0.18	-0.05	-0.90	-0.21	-0.84	-0.20	-0.65	-0.08	0.49	0.54	1.41	1.00
H	"	0.19	0.11	-0.07	0.04	-0.48	-0.07	-1.10	-0.23	-1.06	-0.25	-0.99	-0.17	0.50	0.39	1.83	0.93
I	"	0.28	0.1	0.11	0.06	-0.23	-0.02	-0.7	-0.13	-0.85	-0.15	-0.91	-0.12	0.57	0.43	1.72	0.93
A	20kg·f/cm ²	-0.70	-0.21	-1.20	-0.31	-1.47	-0.34	-1.37	-0.29	-0.73	0	0.02	0.30	1.61	0.91	2.41	1.39
B	"	0.58	0.42	0.19	0.34	-0.63	0.10	-1.42	-0.15	-1.54	-0.20	-1.18	-0.12	0.31	0.32	2.08	0.89
C	"	1.07	0.59	0.35	0.38	-0.80	0.04	-2.51	-0.46	-2.21	-0.35	-1.32	-0.11	1.13	0.60	3.79	1.54
D	"	0.70	0.34	0.37	0.21	-0.30	0.11	-1.56	-0.11	-2.35	-0.32	-2.51	-0.22	-1.18	0.55	2.62	1.78
E	"	0.47	0.30	0.07	0.19	-0.68	-0.02	-1.44	-0.16	-1.78	-0.29	-0.29	0.20	2.07	1.04	3.19	1.70
F	"	-1.44	-0.43	-1.16	-0.34	-1.71	-0.44	-2.40	-0.61	-2.34	-0.49	-1.56	-0.17	0.73	0.69	3.12	1.40
G	"	1.34	0.39	0.52	0.13	-0.44	-0.12	-1.96	-0.50	-1.79	-0.45	-1.39	-0.21	1.05	1.09	2.95	2.05
H	"	0.30	0.24	-0.23	0.10	-1.10	-0.12	-2.29	-0.45	-2.22	-0.50	-2.05	-0.35	1.08	0.92	3.79	1.89
I	"	0.53	0.23	0.15	0.12	-0.55	-0.05	-1.53	-0.31	-1.83	-0.38	-1.91	-0.29	1.13	0.92	3.5	1.83

図-16

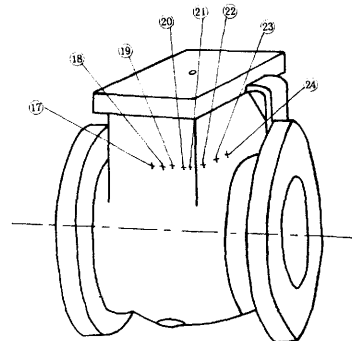
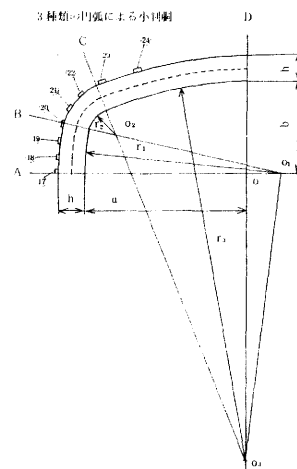


図-17



6-1-2 弁箱の首以外で歪が大きく注意を要するのは図-9の㉔と㉕の近辺と小判フランジおよびハチマキ・縦リブである。

6-1-3 実験に際して、加圧往復時の歪の大きさに多少の相異があったが、これは弁箱に限定して内圧実験を行ったために、フタ（ボンネット側のフランジ）の開きとガスケットの摩擦等が原因したと推定される。

6-2 凍結実験

6-2-1 困難が予想されたダミーゲージの有効性であるが、歪のないときには主ゲージの読みは0付近であって欲しいという願いは全くかなえられなかった。α試料の場合は、ほとんど低温槽内温度と同じ状態にダミーゲージがセットされたので、温度差による差が大きく、セット位置が主ゲージに似せて行われたβ試料でもα試料に比してかなり小さな変化であったが、それでも温度補償されたとは言いがたい。そこで、温度による変化が一定となり、歪による変化が始まるときを改めて0位置として換算しなおすことにした。

6-2-2 応力への換算はFCD20のヤング率を10,000 kg・f / mm²、FCD45は15,000 kg・f / mm²と仮定したが、それが有効なのはFCD20で応力が7 kg・f / mm²、FCD45で応力が30 kg・f / mm²になるときから最大値である図-12の㉔㉕の×方向が約700 μ、約2,000 μになったときまでは全測定点につき、圧力換算をして、それを平均して圧力を推定する。それ以後は比較的歪の小さな点だけを基準にして圧力を推定する。

ここで、逆に歪の小さな点は低圧時には採用しないでおく。高圧時には全測定点が弾性限度内であるときの応力を基準として、小歪点でそれ以後の圧力推定を行う方法を採用した。

この場合、弾性限度内でのバルブの形状が高圧になるにしたがって、基本的応力分布状態の比例性が変わるのではないかという疑問点が残るが、FCD20の場合は破断伸びが小さく、多少の差はあっても、本質的に推定を不可能とするほどには変化しないと考えられる。

しかし、FCD45の場合は破断伸びが大きいため、ある時点で、ストレンゲージによる圧力の推定はできなくなるだろう。

6-2-3 α試料の実験データより我々は以下の事項を推定した。

6-2-3-1 図-13より、実験用バルブが温度低下した後、温度上昇するのはバルブ内の過冷却水が氷に変態して0℃の水となったときであろう。したがって、バルブ内で凍結が始まったのはこの時点付近と考えて大略間違いないであろう。

6-2-3-2 図-6、図-13より、㉔と㉕の差はバルブの大きさの80μ（121分）と100μ（151分）の熱容量の差だろう。

6-2-3-3 ストレンゲージの読みから判断すると、あたかも歪が生じていると思われるが、凍結に至るまでの161分間は歪が生じていないということ、即ち常温内圧実験のデータより、円周方向と軸方向の内圧による歪は全く異なるはずなのに、161分時のデータは円周・軸両方向の値が全体について大略同じであること。更に、貼付した位置が近ければ、それらの値も似ていることから明らかにこの値はダミーゲージとの温度差によって生じたものと推定してよいだろう。

6-2-3-4 101分から161分まではほとんどストレンゲージの読みに変化なく、この間は温度補償状態としてよいということである。

6-2-3-5 161分を基本とし、それ以後の値から161分時の値を差し引くと、常温内圧実験によって得たデータに大略一致している。

したがって、161分以後のストレンゲージの変化は内圧上昇によるバルブ外表面の歪であると推定できる。

6-2-3-6 図-13より、151分頃にバルブ内水の凍結が開始したと推定されるが、この10分の差は、主にバルブ内に空気が残留していたためであると推定すべきであろう。この10分という時間は、バルブ内にどれだけ空気の残留があるかによって変動する値であり、決して固定的なものではない。

また、圧力上昇のスピードにも当然影響するファクターであるが、一たん圧力が上昇すればその後の空気量はほとんど関係なくなるはずである。

6-2-3-7 内圧力の推定方法は以下とするのが適当であろう。

6-2-3-7-1 常温内圧実験での値（7.5 kg・f / cm²、17.5 kg・f / cm²）を10 kg・f / cm²の値に換算して表-22に示す。（測定誤差の大きいと思われる箇所は削除した。）

図-12の㉔～㉕、㉖～㉗、㉘～㉙、㉚～㉛はバルブの4つのコーナーに一応対称に位置しているので（13、19、25、31）、（14、20、26、32）、（15、21、27、33）、（16、22、28、34）、（17、23、29、35）、（18、24、30、36）の要領で平均してコーナー平均応力値とする。

6-2-3-7-2 凍結実験データの処理方法は上記と同じとする。

小さな歪の点では誤差が大きくなるので比較するには採用しないこととした。

6-2-3-7-3 上記のデータより各時間での圧力（各時間の応力 kg・f / mm² / 内圧10 kg・f / cm²時の応力 kg・f / mm²）を推定することとし、その結果を表-23に示す。

表-22 常温内圧10kg・f/cm²時の応力

試料	測定箇所 圧力	1		2		3		4		5		6	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	10kg・f/cm ²	0.75		0.26						-0.27			
b	"	0.72		0.66		0.32				-0.19		-0.26	
c	"	0.56		0.64						-0.23		-0.31	

試料	測定箇所 圧力	7		8		9		10		11		12	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	10kg・f/cm ²												
b	"												
c	"												

試料	測定箇所 圧力	平均13.19,25.31		平均14.20,26.32		平均15.21,27.33		平均16.22,28.34		平均17.23,29.35		平均18.24,30.36	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
a	10kg・f/cm ²	-0.45		-0.76	-0.22	-0.88	-0.31	-0.97	-0.31	-0.82	-0.22	-0.69	-0.15
b	"	-0.55		-0.96	-0.24	-1.15	-0.36	-1.17	-0.37	-1.04	-0.30	-0.90	-0.21
c	"	-0.49		-0.85	-0.22	-0.98	-0.34	-1.01	-0.34	-0.88	-0.24	-0.73	-0.16

(応力単位; kg・f/cm²)

試料	測定箇所 圧力	37		38									
		X	Y	X	Y								
a	10kg・f/cm ²	1.98	1.36	2.07	1.36								
b	"	2.43	1.48	2.76	1.70								
c	"	2.10	1.50	2.38	1.54								

注) 誤差が大きいと思われるものは取り除いた。

表-23 凍結実験時の試料aの内圧力(推定)

内圧 kg・f/cm ²	実験開始後2時間41分にて0合せ(凍結開始)													
	凍結開始													
10分後	3.9		3.1									6.7		平均
	5.3		5.1	5.9	5.1	5.5	5.2	5.8	5.0	5.5	5.1	5.3	5.1	
	4.7	4.6	4.9											
15分後	11.6		11.9									14.4		平均
	13.8		13.0	14.1	13.1	13.9	13.1	14.2	13.2	14.5	13.2	14.7	13.3	
	12.4	12.1	12.8	12.9										
20分後	21.3		21.5									26.3		平均
	23.6		23.3	24.5	23.3	24.2	23.3	24.2	23.4	25.0	23.3	24.0	23.5	
	22.7	22.3	23.2	23.2										
25分後	33.2		31.9									38.5		平均
	35.6		35.3	36.4	35.2	35.8	35.2	35.8	35.6	37.3	35.4	36.7	35.4	
	34.6	33.9	35.0	35.1										
35分後	54.7		54.6									58.5		平均
	55.1		56.1	56.8	57.0	57.1	57.8	58.4	59.0	61.8	59.0	61.3	57.7	
	56.8	56.0	58.4	59.3										
45分後	78.0		75.8									81.5		平均
	75.1		78.2	77.3	83.8	81.6	82.5	81.0	84.5	88.2	84.9	88.7	82.1	
	83.2	81.6	85.0	86.1										

- 6-2-4 b 試料については凍結開始してから約5分後に圧力上昇を開始した。
データの処理方法は a 試料と同様に行った。その結果を表-24に示す。
380分の実験後、割れは発生せず、これ以上は特別の変化はないと判断して実験を終了した。
- 6-2-5 c 試料については凍結開始してから約30分後に圧力上昇を開始した。
データの処理方法は a 試料と同様に行った。その結果を表-25に示す。
圧力上昇後、約1時間50分で破壊（亀裂）した。

7. 結 言

7-1 常温内圧実験

- 7-1-1 バルブの外表面と内表面のいずれの応力も円周（横）方向が軸（縦）方向よりも大きく、内圧により破壊するときは、図-9の⑮⑯⑰⑱の線上（即ち軸方向）に亀裂が生じることが考えられる。

因みに、内圧によるバルブの本体（弁箱）割れのクレーム等は過去のメーカーの資料提供から割れは胴コーナー部に発生していることが大多数であり、実験からも理解できる。

- 7-1-2 実際に測定したバルブ内表面応力は内圧 $20\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ のとき、最大引張応力 $5.0\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$ であった。

JIS G5501による機械的性質でFC20の供試材の鋳造し直径30mmの引張強さは $20\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$ であるから内圧 $80\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 前後で破壊することになる。

- 7-1-3 バルブの弁箱の首の形状・寸法に限定すれば表-6の内表面の最大応力が小さいバルブほど内圧に強いタイプといえる。

- 7-1-4 地場産業のバルブの弁箱の首は3個の相異なる円弧にて構成されているので、3個の円弧の内、中央の円弧（コーナーの半径）はできるだけ大きく描いた方が望ましい。
（1.3）式に、他の形状・寸法を変化せずに、コーナーの半径を変化させてみるとこれが裏付けられ、コーナー部半径は少なくとも肉厚 t に対して t 以上であることが云える。

- 7-1-5 実際のバルブの歪の測定値と理論式からの計算値との間にかかなりの差があるが、その理由はハチマキ、縦リブで補強されていることと胴部の長さが短いので上部フランジ或はバルブの口径部がリブとしての役目を果たす割合が大きいためと推察される。

7-2 凍結実験

- 7-2-1 水の密度は 0°C で $0.99985\text{g}/\text{cm}^3$ 、氷の密度は 0°C で $0.91670\text{g}/\text{cm}^3$ であるから、水から氷へ変態すれば体積は約9%〔 $(1/0.91670 - 1/0.99985) \times 100$ 〕増大する。
凝固は圧力によっても変化するが、クラペイロン-クラシウスの式から100気圧で -0.75°C になる程度であり、一応無視することができる。

体積の増大は、常温内圧実験によるものと大略相似的に考えられ、表-26によって推定されたc試料の破壊内圧力は約 $155\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ であるが、そのときの応力はヤング率を $10,000\text{kg}/\text{mm}^2$ とすれば約 $30\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$ となる。ヤング率を $8,000\text{kg}/\text{mm}^2$ とすれば $24\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$ になり、これは、このバルブの機械強度試験 $22\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$ と比較して納得できる数値であ

表-24 凍結実験時の試料bの内圧力（推定）

内圧 $\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$	実験開始後1時間40分にて0合せ（凍結開始）											
凍結開始	22		22		22				22		23	
7 分後												平均
	21		23	25	23	24	23	26	23	24	23	24
	24	24	23	24								
18 分後	77		75		79				77		70	平均
												80
	80		65	91	81	85	80	84	81	83	81	84
23 分後	79	81	80	80								
	101		96		101				99		83	平均
29 分後	103		108	123	107	112	106	112	106	108	106	109
	103	105	104	104								
44 分後	127		119		126				131		99	平均
	133		141	166	140	149	139	150	139	145	126	149
59 分後	131	136	135	135								
	201		178		194				195		120	平均
74 分後												
	206		228	272	230	245	229	247	232	242	240	267
	222	232	235	235								
89 分後	360		228		254				259		132	平均
	286		314	381	326	352	328	354	338	359	362	420
99 分後	331	345	369	366								

表-25 凍結実験時の試料cの内圧力(推定)

内圧 kg・f/cm ²	実験開始後3時間31分にて0合せ(凍結開始)											
凍結開始												
36分後	8.2		8.1					6.1		6.5		
	7.6		7.4	7.3	7.6	7.1	7.7	7.6	7.7	7.5	7.8	7.5
	7.8	7.8	8.0	8.2								平均
46分後	20.9		21.4					17.0		18.4		
	19.8		19.4	18.6	19.9	19.1	20.2	19.7	20.2	20.4	20.3	20.0
	20.9	21.1	21.1	21.6								平均
51分後	31.1		31.3					26.1		26.1		
	29.4		28.8	27.7	29.5	27.9	30.0	29.7	30.5	32.1	30.3	30.6
	31.5	31.9	30.8	31.6								平均
61分後	53.8		54.1					46.1		44.5		
	49.2		50.0	45.0	52.1	48.5	53.0	51.8	54.5	57.1	53.8	55.0
	57.2	59.2	53.7	56.0								平均
66分後	69.6		69.7					59.6		56.5		
	61.2		63.9	55.0	67.7	61.8	68.8	66.2	71.5	74.2	70.7	71.3
	76.5	78.9	72.3	75.3								平均
71分後	83.0		82.5					70.0		64.2		
	70.6		75.2	62.7	80.3	71.8	82.0	78.2	86.0	88.8	85.2	85.6
	93.1	95.2	89.9	92.3								平均
96分後	破壊											

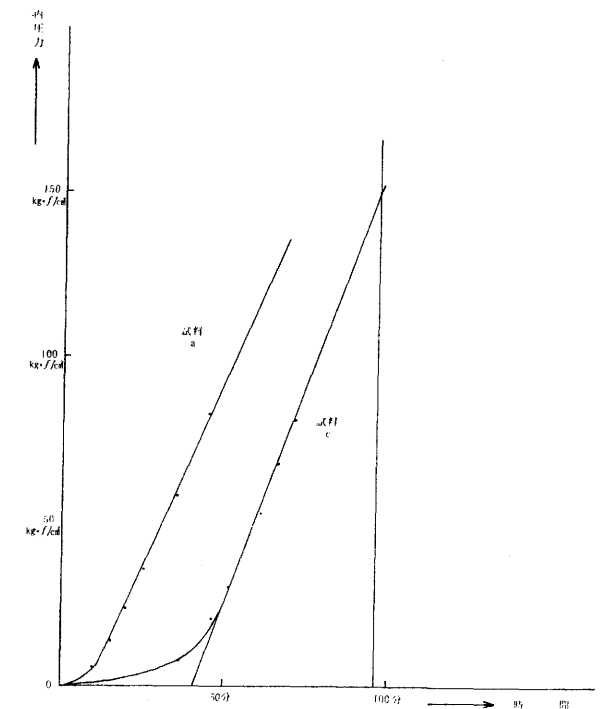
表-26 凍結実験時の試料cの外表面応力と破壊内圧力

	1		2		5		13	19	14	20	15	21	16	22	17	23	18	24
	25	31	26	32	27	33	28	34	29	35	30	36						
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
破壊5分前の外表面応力 (kg・f/cm ²)	9.12		9.90		-3.08		-58.3		-11.77	-2.12	-15.07	-4.38	-16.62	-5.23	-16.30	-4.68	-13.70	-3.11
常温内圧10kg・f/cm ² 時の外表面応力 (kg・f/cm ²)	0.56		0.64		-0.23		-0.49		-0.85	-0.22	-0.98	-0.34	-1.01	-0.34	-0.88	-0.24	-0.73	-0.16
推定内圧 (kg・f/cm ²)	162.8		154.7		133.9		118.9		138.5	96.4	153.8	128.8	164.6	153.8	185.2	195.0	187.7	194.4
																		平均

って、推定した内圧値は大略誤差10~20%程度で妥当なものと考えられる。

7-2-2 FC20のバルブ割れに至るまでの時間は単に外気温だけでなく、残留空気量およびガスケットの締付け状態等によって異なることがわかる。(図-18のa, c試料の圧力-時間関係参照)

図-18



7-2-3 今回のF C 20（呼び径100φ）のバルブは外気温が-7℃で、内水が0℃の水である場合に全く残留空気がなければ図-18から56分で割れると推定できる。また、熱伝導は物体の温度差に比例するから温度時間容量は $7 \times 56 = 392$ 度・分となり、

外気温が-3℃なら131分

-5℃なら78分

-7℃なら56分

-10℃なら39分

-15℃なら26分

で割れることが推定できる。

7-2-4 F C D 45のバルブは割れなかったが、重の大きさから判断して耐力を越えた部分のあ
ることは明らかであり、また、ボルトも伸びきって永久変形をしたものもあり、割れな
いからといって凍結させれば、氷が融解したときガスケットおよびボルトが役目を果さ
ず漏洩することは明確で何回も繰り返して凍結させれば割れることは当然予想される。

7-2-5 以上からバルブの内水を凍結させることは禁物であることが明確に云える。

8. 今後の課題

8-1 常温内圧実験

バルブの弁箱の首の形状・寸法等を一定にしてハチマキ、縦リブ効果を究明することを考
える必要があろう。

8-2 凍結実験

今回の実験ではすべてバルブの外表面の測定による推定であった。今後は圧力変換器を凍結の
遅いバルブの中心部にセットする方法および熱電対を内部にセットする方法等を開発すること
によって、推定ではなく直接測定することを考える必要があろう。

9. おわりに

本論文の作成の原因となり、また、多数の参考文献を引用させていただいた方々に心から感謝と敬
意を表するとともにバルブの積極的な提供と絶えず激励していただいた各事業主と各担当者に敬意を
表します。

〔参考文献〕

1. 滋賀県立機械金属工業指導所研究報告：昭和53年度
2. 土岐五郎著：「制水弁胴厚強度計算並に撓みに関する一考察」
3. 木村一夫著：「小判胴応力分布計算に関する一考察」社報

《バルブ提供協力事業所》 五十音順

(株) 相川バルブ製作所
(株) イズミ製作所
(株) 大島製作所
(株) 川部バルブ製作所
沢村バルブ工業(株)
(株) 昭和バルブ製作所
大洋工業(株)
彦根鑄工(株)
大和バルブ工業(株)