

業務報告書

昭和53年度

東京立機械金属工業指導所

東京都千代田区千代田

## ま え が き

昨年度の機械金属業界は、長い間低迷していた我が国の景気上昇と各企業の努力の積み重ねにより生産も回復基調となり業界に明るさを取りもどしてきました。しかし、この過程で取引先の需要関係、あるいは受注単価等の面から業種間ばかりではなく企業間においても格差を生ずる傾向が見受けられます。また昨年末からの卸売物価が上昇し始め、折角の景気回復に不安材料を投げかけているなど今後の経済環境は極めて流動的であり、中小企業をとりまく経済環境はまだまだ厳しい一年であったと思います。

不確実性の時代といわれるように今後の経済を始めとする情勢は何時どういふ変化が生じるとも限りません。これに対処するためには、昭和53年度の中小企業白書の副題に掲げられているように「変りゆく時代への活力ある対応」が大切であると思います。その一つの方策として企業独自の技術の開発と活用による技術力の向上に努めることが必要であります。

当指導所は業界の技術向上の一助として、鑄造、機械加工技術、生産管理技術の指導および新製品開発の基礎研究を行ない、また一方技術指導業務として、技術者研修、巡回技術指導、講習会等を実施し、地場産業であるパルプ業界をはじめ、機械金属工業の技術向上に努めてきました。その概要を本書にまとめ報告します。

なお、技術指導等を通じ業界発展のために所員一同努力しておりますが、今後ともなお一層の御支援と御鞭撻を賜われれば幸甚と存じます。

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53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	A-3
I-5	会計	A-4
I-5-1	予算および決算	A-4
I-5-2	補助金	A-6
I-6	試験研究設備の整備状況	A-7
I-6-1	機械器具	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	機械設備利用状況	A-11
II-2	指導業務	A-12
II-2-1	一般巡回技術指導	A-12
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-13
II-2-4	中期技術者研修	A-13
II-2-5	講習会・研究会	A-15
II-2-6	技術相談	A-15
II-2-7	調査	A-16
II-2-8	業界との協議会	A-16
II-2-9	生産技術研究会	A-17
II-3	研究業務	
II-3-1	中子をようする金型鋳物の実用化に関する研究	B-1
II-3-2	蛍光X線分析法による鋳鉄中のケイ素・マンガ・リン。 イオウ・クロムの定量分析	C-1
II-3-3	鋳造工場における廃棄物の再利用について(その2)	D-1
II-3-4	バルブの設計改良の研究(内圧によるバルブの歪について)	E-1

以上

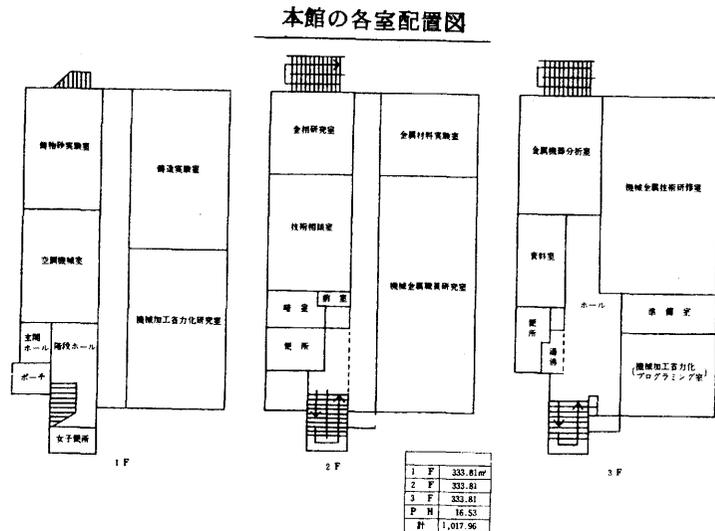
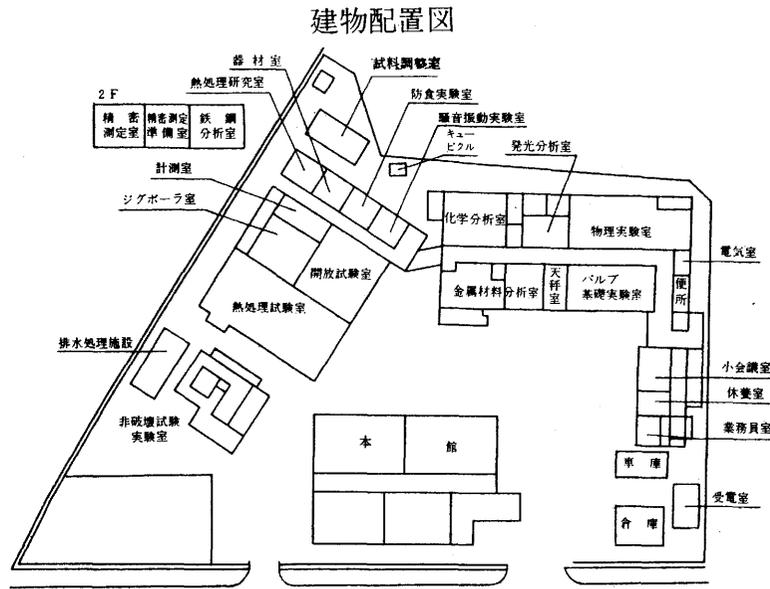
I 概 要

## I-1 沿革

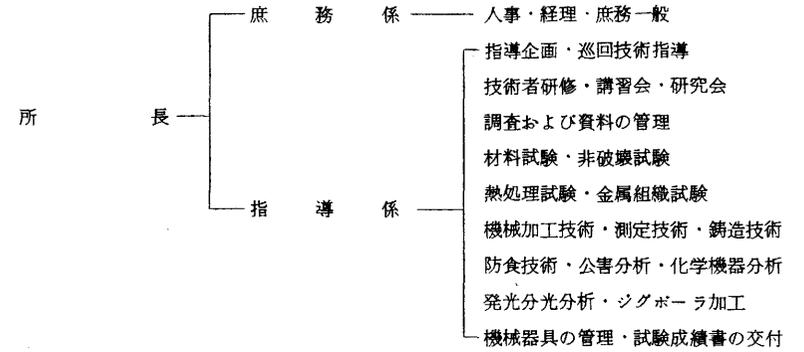
昭和21年 5月	既設機械工業成所施設を引継ぎ、長浜市に県立長浜工業試験場を設置、機械、繊維の2部制にする。
昭和23年 7月	木工部を増設。
昭和27年 4月	繊維部を分離し、滋賀県立機械金属工業指導所と改称。
昭和34年 4月	本指導所の整備計画、ならびに彦根市に移転、庁舎新築を決定。
昭和35年10月	庁舎新築工事、試験分析設備の設置を完了、新庁舎にて業務を開始。
昭和38年 3月	別館（精密機械加工、熱処理中間試験室、ジグボアラ室、その他研究室）を増築。
昭和43年 1月	別館2階実験研究室を増築。
昭和45年12月	R I透過試験棟を増築。
昭和46年 9月	試料調整室を増築。
昭和48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㎡
建物総面積	2,259.92㎡
本館	1,017.96㎡（鉄筋コンクリート三階建）
別館	562.53㎡（鉄筋コンクリート補強ブロック平屋建）
実験研究棟	487.96㎡（鉄筋コンクリート補強ブロック二階建）
非破壊試験棟	78.70㎡（鉄筋コンクリート補強ブロック平屋建）
その他	112.77㎡



### 1-3 組織



### 1-4 職員

#### (1) 職員の配置状況

区分	吏員		業務員	計
	事務	技術		
所長		1		1
庶務係長	1			1
指導係長		1		1
庶務係	1		1	2
指導係(指導)		2		2
“(研究)”		4		4
“(試験)”		4		4
計	2	12	1	15

#### (2) 職員担当業務

職名	氏名	担当業務	職名	氏名	担当業務
所長	上田 敬		技師	中山勝之	試験
庶務係長	饗場 誠司	庶務全般	“	松川 進	研究
指導係長	上田 成男	指導全般	“	樋口 英司	研究
主査	辻 久男	指導	“	佐藤 真知夫	試験
“	斉田 雄介	研究・試験	“	西内 広志	試験
主事	寺村 美智子	庶務	“	宇野 賢一	試験
技師	森 勇	指導	業務員	塚田 修太郎	
“	村口 明義	研究			

## (3) 職員の異動

S 5 4 . 4 . 1

新		旧
機械金属工業指導所専門員兼 指導係長	河 崎 勲	商工労働部 中小企業指導課工業診断係長
商工労働部 中小企業指導課工業診断係長	上 田 成 男	機械金属工業指導所指導係長
機械金属工業指導所主査	三 沢 信 蔵	計量検定所技師
計量検定所技師	佐 藤 真 知 夫	機械金属工業指導所技師

## I - 5 会 計

## I - 5 - 1 予算および決算

## (1) 歳 入

(単位 円)

科 目				予算額	調定額	収入済額	不 納 欠損額	未納額	予算との 増 減 額
款	項	目	節						
使用料 及び 手数料				7,442,000	7,597,800	7,597,800	0	0	155,800
	使用料			170,000	186,500	186,500	0	0	16,500
		商 工 手数料		170,000	186,500	186,500	0	0	16,500
			機械金 属工業 指導所	170,000	186,500	186,500	0	0	16,500
	手数料			7,272,000	7,410,800	7,410,800	0	0	138,800
		商 工 手数料		7,272,000	7,410,800	7,410,800	0	0	138,800
			機械金 属工業 指導所 試 験	7,272,000	7,410,800	7,410,800	0	0	138,800
諸収入				150,000	218,600	218,600	0	0	68,600
	雑 入			150,000	210,000	210,000	0	0	60,000
		雑 入		150,000	210,000	210,000	0	0	60,000
			経営技 術等研 修講習 等受講料	150,000	210,000	210,000	0	0	60,000
		雑 入		0	3,600	3,600	0	0	3,600
合 計				7,592,000	7,810,900	7,810,900	0	0	218,900

## (2) 歳 出

(単位 円)

科 目					予算額	決算額	不用額	備 考
款	項	目	節	細 節				
商工費					19,529,000	19,527,837	1,663	
	中 小 企 業				19,529,000	19,527,837	1,663	
		機 械 金 属 工 業 指 導 所			17,125,000	17,123,837	1,663	
				報 償 費	45,000	44,800	200	
				旅 費	1,428,000	1,427,901	99	
				需 用 費	9,519,000	9,518,982	18	
				食 糧 費	182,000	181,982	18	
				そ の 他 需 用 費	9,337,000	9,337,000	0	
				役 務 費	1,782,000	1,781,964	36	
				そ の 他 役 務 費	1,782,000	1,781,964	36	
				委 託 料	372,000	371,500	500	
				保 安 業 務 委 託 料	214,000	213,500	500	
				恒 温 恒 湿 管 理 委 託 料	158,000	158,000	0	
				使用料及 賃 借 料	12,000	11,990	10	
				工 事 請 負 費	1,700,000	1,700,000	0	
				備 品 購 入 費	2,253,000	2,253,000	0	
				公 課 費	14,000	13,200	800	
		中 小 企 業 指 導 費			2,404,000	2,404,000	0	
				報 償 費	727,000	727,000	0	
				旅 費	782,000	782,000	0	
				需 用 費	613,000	613,000	0	
				食 糧 費	106,000	106,000	0	
				そ の 他 需 用 費	507,000	507,000	0	
				役 務 費	82,000	82,000	0	

		その他 役務費	82,000	82,000	0	
		使用料及び 賃借料	198,000	198,000	0	
		負担金補助 及び補助金	2,000	2,000	0	
		技術者研修 協会加入 会費負担金	2,000	2,000	0	

事業費別決算額

指導所運営費	6,712,537円
試験研究指導費	8,146,800円
生産技術開発研究費	2,264,000円
中小企業診断指導費	214,000円
巡回技術指導費	408,000円
技術普及講習会費	127,000円
技術者研修費	1,290,000円
公害防止巡回技術指導	365,000円
合計	19,527,837円

1-5-2 補助金

本年度において、次のとおり補助金の交付を受けて事業を行なった。

補助金の種類	事業名	事業総額	補助金額	備考
技術開発研究費 補助金	鑄鉄鋳物の品質向上 に関する研究	9,464 冊	4,732 冊	中小企業庁

1-6 試験研究設備の整備状況

1-6-1 機械器具

品目	数量	規格または型式	製作所名	備考
可傾式金型鑄造機	1式	PLS-33R型 自動制御盤・油圧ユニット付	新東工業㈱	国庫補助
シャルビー衝撃試験機	1台	30kgm	㈱島津製作所	〃
自動平衡型温度記録計	1台	EK100-06型 目盛 0~600℃ CA	㈱千野製作所	〃
塗型用噴霧機	1式		岩田塗装機工業㈱	〃

昭和53年度 単果備品

購入年月日	備品名	台数	価額	備考
53.7.10	PHメーター 東亜電波製 HM-20B	1	186,800 円	

1-7 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	S 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型	〃	〃
自記ポラログラフ	島津製RP-2型	35.9.21	〃
分光分析装置	島津製QL-170	〃	〃
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

品名	規格	購入年月日	備考
光電分光光度計	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	"
シグ中ぐり盤	三井精機製JBD型№3	38. 6. 17	自転車振興会補助物件
万能投影機	イタリア マイクロテクニカ社製	38. 8. 6	"
平面研削盤	三正製作所製	38. 12. 20	"
万能工具研削盤	C-40 牧野フライス社製	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MLD型1000	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(電動型)	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	島津製吸熱型ENP-50N	41. 10. 14	中小企業庁補助物件
フェルバリ摩耗試験機	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	"
自動クロン滴定装置	柳本製作所CC-12型	43. 3. 28	"
ポテンショスタット	柳本製作所製UE-101型	"	"
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	ブラザー工業製500W型	43. 10. 17	"
表面あらし計	テラーホブソン社製タリサーF4型	43. 11. 30	"
万能フライス盤	日立製機製MS型	43. 12. 28	中小企業庁補助物件
工業用BI透過検査装置	芝浦電気製RRM-110-1型	44. 10. 21	自転車振興会補助物件
プロジェクションオブテメーター	カールツァイスイェナ社製 MOD 0.2/20	"	"
金属顕微鏡	日本光学製ME型	"	"

品名	規格	購入年月日	備考
キヤス試験機	東洋理化学製CASSER-1型	44. 10. 29	自転車振興会補助物件
流速効果腐食試験装置	山崎精機研究所製VF-1型	"	"
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製 AA-1E(S)型	"	"
カットオフ(帯鋸盤)	アマダ製CRH-300S型	45. 8. 30	"
ショアかたさ試験機	三光計器製S44型計量研型	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	柳本製作所製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	オリンパス製顕微鏡STM CCBO-1-A	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	東洋電熱工業製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型	47. 9. 28	"
エレマ電気炉	東海興商製CE-20型	47. 10. 30	"
高温鋳物砂試験機	東洋衝機製力量500kg	47. 10. 31	"
直示式鋳物砂熱膨張計	小沢製作所製EOS-1型	47. 11. 20	"
曝熱試験器	小沢製作所製MO-1型	"	"
定電位電解分析装置	柳本製作所製AFS-4型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パン	日産自動車工業製	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	"
メモーション測定装置	ナショナル製	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	自転車振興会補助物件
微量砒素測定装置	ASD-1A	49. 7. 20	"

品名	規格	購入年月日	備考
蛍光 X 線 分 析 装 置	ガイガーフレックス3063P4 理学電気工業Ⅲ	52. 8. 30	中小企業庁補助物件
オートクレーブ	ナックドライブ式柳本商事Ⅲ	〃	〃
C E メ ー タ ー	TECT1P マークⅢ-H リーズアンドノースロップ社製	〃	〃
耐力測定装置	島津製 青山商事㈱	〃	〃
可傾式金型鑄造機	PLS-83R型 新東工業製	53. 8. 11	〃
シャルピー衝撃試験機	30kgm島津製	54. 1. 17	〃
自動平衡型温度記録計	EK100-06 千野製	53. 8. 25	〃
塗型用噴霧機	岩田塗装製	53. 12. 20	〃
pHメーター	HM-20B 東亜電波製	53. 7. 10	単 果

## Ⅱ 業 務

II-1 依 賴 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〕	1,248件	7,410,800円	
・強度試験	662件	1,836,500円	
(内訳)	引張	1,520試料	
	抗析	502試料	
	硬度	686試料	
	その他	994試料	
・分析試験	395件	4,449,400円	
(内訳)	ねずみ鋳鉄	137試料	
	青銅鋳物	417試料	
	球状黒鉛鋳鉄	31試料	
	特殊鋼・その他	95試料	
・その他の試験	191件	1,124,900円	
(内訳)	金属顕微鏡写真	61件(476試料)	651,000円
	精密測定	16件(112試料)	83,600円
	放射線	7件(102試料)	63,400円
	鋳物砂	36件(41試料)	175,900円
	特殊試験	29件(81試料)	116,300円
	その他	42件	34,700円

### Ⅱ-1-2 機械設備利用状況

〔設備利用〕	76件	186,500円
(内訳)	電子管式万能試験機	363回
	鋳物砂試験機	10回
	ブリネル硬度計	34回
	万能投影機	4時間
	光学式治具中ぐり盤	36時間
	平面研削盤	40時間
	電気マッフル炉	23時間
	抵抗炉	10時間
	塩浴炉	13時間

II-2 指導業務

## Ⅱ-2 指導業務

### Ⅱ-2-1 一般巡回技術指導

業 種	実施期間	企業数	外 部 指 導 員	主 な 指 導 事 項
一般作業用 機械器具製造業	53. 6. 29	1	技術士 新庄秀光 " 坂垣敏夫 " 檀上邦夫	ラインの連結等のマテリアルハンド・リングの改善法
金属加工機械 製造業	53. 11. 14 ～ 11. 15	2	大阪府立工技研 技術士 浅岡武之 石松康男	油圧技術および生産管理
一般作業用 機械器具製造業	53. 12. 4 ～ 12. 7	3	技術士 石松康男	品質管理および納期管理
鍛圧品製造業	53. 12. 11 ～ 12. 12	3	指 導 所 職 員	溶接技術および安全管理
一般作業用 機械器具製造業	53. 12. 14 ～ 12. 16	3	"	切削工具金型の寸法精度
鋳物製造業	53. 12. 18 ～ 12. 20	3	"	鋳造技術全般について
鍛圧品製造業	54. 1. 12	1	技術士 池田寿紀	プレス加工技術安全管理
工具製造業	54. 1. 22 ～ 1. 24	3	指 導 所 職 員	生産管理について
一般作業用 機械器具製造業	54. 2. 20 ～ 2. 21	2	村城塗料㈱ 技術士 村城孝志 石松康男	塗装工場のレイアウト省力化技術
"	54. 2. 8	1	中国塗料㈱ 辻 隆道	塗装技術
"	54. 1. 29 ～ 1. 30	2	大阪府立工技研 技術士 安富茂 石松康男	在庫管理および検査管理
"	54. 3. 24	1	大阪府立工技研 安富 茂	ステンレス切削技術
計		25		

Ⅰ-2-2 公害巡回技術指導

業 種	実施期間	企業数	主な指導事項
鋳物製造業	53. 5. 2 53. 5. 11	2	ばいじん測定 振動・騒音測定
一般作業用機械器具製造業	53. 6. 26 53. 7. 20	2	振動・騒音測定
鋳物製造業	54. 1. 22 54. 1. 26	2	ばいじん測定 振動・騒音測定
〃	54. 2. 1 54. 2. 2	2	ばいじん測定 振動・騒音測定
〃	54. 3. 19 54. 3. 22	2	ばいじん測定 振動・騒音測定
計		10	

Ⅰ-2-3 簡易巡回技術指導

地 域	業 種	企業数	主な指導事項
全 県 下	一般作業用機械器具製造業	30	切削, 研削および油剤 治具加工, 溶接, 精密測定 プレス加工, 金型設計, 安全管 理, 鋳造技術, その他
	鋳物製造業		
	鍛圧品製造業		
	計	30	

Ⅰ-2-4 中期技術者研修

コース名	修了者数	研修期間	研修時間			研修場所	
			講義	実習	計	講義	実習
金 属	39	53. 7. 3 ~ 8.30	54	20	74	彦根 勤労福祉会館	朽木村 信和精工㈱

研 修 日 程 表

番号	月 日 (曜日)	科 目	講 義 題 目	講 師 名
1	7. 3 月	自動化技術	油圧基礎と油圧油	大阪府立工業技術研究所 技 師 浅 岡 武 之
2	4 火	〃	油圧機器の選び方と使い方	〃
3	7 金	〃	油圧回路と保守管理	〃
4	10 月	〃	空気圧機器の選び方	兵庫県立工業試験場 主任研究員 脇 坂 彰 一
5	12 水	〃	空気圧回路の設計	〃
6	14 金	〃	リレー回路によるシーケンス制御の設計法	ダイハツ工業株式会社 副参事 森 田 栄 一
7	17 月	〃	〃	〃
8	19 水	〃	〃	〃
9	21 金	生産工学	マシニングセンター及トランス ファーマシン	日立精機株式会社 顧 問 村 木 晋 二
10	24 月	運搬管理	搬送の省力化	株式会社 椿本チェーン 課 長 島 岡 巖
11	26 水	製品開発	創造能力の開発における諸問題	株式会社 山崎精機研究所 所 長 山 崎 正 八 郎
12	28 金	〃	製品開発と市場開拓	技術士 禮 上 邦 夫
13	31 月	生産工学	作業用治具工具の活用と開発	技術士 板 垣 敏
14	8. 2 水	〃	省力化の考え方と進め方	技術士 禮 上 邦 夫
15	4 金	〃	省力化と採算性	技術士 新 庄 秀 光
16	7 月	〃	省力化のための推進者の役割	技術士 板 垣 敏
17	9 水	〃	創造能力開発の技法	技術士 新 庄 秀 光
18	11 金	〃	創造能力の育つ仕組み	技術士 禮 上 邦 夫
19	21 月	実 習	民間企業	
20	28 水	〃	〃	
21	25 金	〃	当 所	

Ⅰ - 2 - 5 講習会・研究会

期 日	場 所	題 目	講 師	参加者 (名)	備 考
53. 4. 14	当 指 導 所	バルブの選択について	平田バルブ工業 加藤 久 男	25	生産技術研究会 共 催
9. 19	〃	鋳物技術	総合鋳物センター 大森 正義 外	34	
9. 28	〃	品質管理の基礎知識	技術士 石松 康 男	20	生産技術研究会 共 催
54. 2. 16	彦 根 勤 労 福 祉 会 館	新製品の開発について	京都試作研究所 中川 悟 孝	30	設備貸与協会 共 催
〃		産業デザインについて	製品デザイン研究所 知 久 篤		県 商 工 課 催
54. 3. 1 ～ 3. 2	滋賀県産業 振興協同組合	省力化の考え方と進め 方 外2題	㈱日本LCA 小 林 忠 敬 外2名	32	
58. 11. 8	当 指 導 所	所内研究発表会	当 所 職 員	25	
計		7 回			

Ⅰ - 2 - 6 技術相談

(1) 鋳造技術	25件	
材 料	23件	
熱処理技術	13件	
材 料 組 織	10件	
切削技術	10件	
耐食・耐摩耗	9件	
材 料 分 析	7件	
設 計 技 術	6件	
公 害	6件	
測 定 技 術	3件	
表 面 処 理	2件	
非破壊検査	2件	計 116件

Ⅰ - 2 - 7 調 査

- (1) 地場産業景気動向調査 24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。  
なお当所は彦根地区(バルブ産地)企業の内、代表的な20社の内6社を調査した。
- (2) 操業度調査 86回  
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 15企業
- (4) 設備貸与貸付企業の事後指導 80企業

Ⅰ - 2 - 8 バルブ関係組合代表者との協議会

- (1) 日 時 昭和54年3月26日 午前10時より
- (2) 場 所 技術研修室
- (3) 出席者 滋賀県バルブ事業協同組合連合会  
滋賀県バルブ事業協同組合  
彦根バルブ工業協同組合  
滋賀県銅合金鋳造協同組合  
滋賀県銑鉄鋳物工業組合  
彦根金属加工協同組合  
彦根弁栓工業協同組合  
彦根工業協同組合  
彦根工業団地協同組合
- (4) 協議内容  
昭和54年度当所事業計画  
各組合の現況報告  
当所に対する要望について

Ⅰ-2-9 生産技術研究会

昭和53年度事業経過報告

昭和53年度役員

会 長	浜 川 勲		
幹 事	松 井 繁 徳	古 河 政 男	
	葛 蒲 池 功	円 藤 昌 二	
	上 田 成 男	佐 藤 真 知 夫	
会計監事	金 田 久 幸	木 村 一 夫	

事業経過

53. 4. 14	昭和53年度通常総会	出席者 25名
	講演会	バルブの選択について
		講 師
		平田バルブ工業㈱ 川崎工場
		技術課長 加 藤 久 男氏
5. 31	幹事会	昭和53年度事業計画及び予算
6. 27	工場見学会	㈱西島製作所(高槻市)
		参加者 12名
9. 28	講習会	企業において余り理解されていない品質管理の 基礎知識
		講 師
		技 術 士 石 松 康 男氏
		出席者 20名
12. 13	工場見学会	川崎重工業㈱西神戸工場
		参加者 10名
12. 20	会報第15号発行	
54. 1. 25	講演会	中小企業の経済環境について
		講 師
		滋賀大学教授 小 倉 栄 一 郎 氏
		出席者 32名

## Ⅱ-3 研究業務

- Ⅰ-8-1 中子をようする金型鋳物の実用化に関する研究 ..... B-1
- Ⅰ-3-2 蛍光X線分析法による鋳鉄中のケイ素・マンガ・リン・  
イオウ・クロムの定量分析 ..... C-1
- Ⅰ-3-3 鋳造工場における廃棄物の再利用について(その2) ..... D-1
- Ⅰ-3-4 バルブの設計改良の研究(内圧によるバルブの歪について) ..... E-1

# 中子をようする金型鋳物の 実用化に関する研究

松 川 進  
樋 口 英 司

## 1 まえがき

鋳物製品の形状は種々雑多であって、その鋳造に際しては、主型のみで鋳造されるもの他に中子を用いた鋳型による場合も多く、中子によって複雑な形状の鋳造品の製作が可能となっている。

バルブ等中子をようする鋳物は生型、CO<sub>2</sub>型および自硬性鋳型等砂型による鋳型で鋳造されている。砂型は複雑な形状の鋳型にも適し、一般に使用されているがバルブの如く肉厚の異なる鋳物については組織が不均一で、かつ粗大化しやすく、収縮巣などが介在して耐圧性が劣るとともに、しばしば割れ、圧漏れ等の事故を惹起している。

砂型は砂の消耗、製品の清浄化等にも多くの経費を要し、さらに近年の環境浄化、公害処理等の非生産部門に占めるコストも以外に高く、砂型全体としてのコストアップの一要素となっている。

これらを改善する一方法として、材質を球状黒鉛鋳鉄にし、鋳型を金型化した場合の金型鋳物の物性の把握および実際製品(50φ水道用仕切弁部品、本体)の作業標準を確立するために主として外観および種々の要因による影響と併せて、金型での球状化剤添加量についても検討を加えた。その結果について報告する。

## 2 テストピースの機械的性質

### 2-1 T・Pの寸法

JIS4号試験片とその他の試料が充分採取できるように25φ×887mmの丸棒とした。

### 2-2 T・P採取用金型の形状および寸法と各種試験片の採取箇所

図1に示すような割型とし、底も金型肉厚が30mmとなるようにした。鋳込みは円錐型の掛堰を使った。

また、各種試料は図1の位置から採取した。

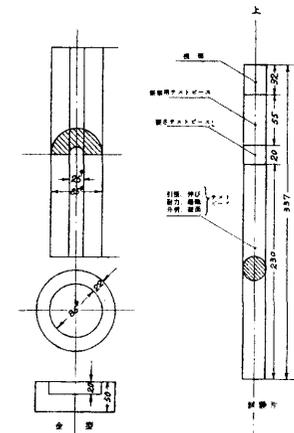


図1 テストピースの採取用金型の形状および寸法と各試験片の採取箇所

2-3 実験に取上げた因子と水準

表1のとおりである。

表1 因子と水準

因子	水準	
	第1水準	第2水準
金型温度 A	150℃	300℃
離型時間 B	60 sec	180 sec
熱処理 C	920℃×0.5hr	920℃×2hr

但し塗型はSi-Ti-Al-Mg主成分の基礎にアセチレン付を塗布する。

2-4 実験条件

表2のようにL<sub>8</sub>(2<sup>7</sup>)直交表に従って実験を行った。

表2 割りつけ表

No	実験の指示内容		
	金型温度	離型時間	熱処理
1	150℃	1min	920℃×0.5hr
2	150	1	920℃×2.0hr
3	150	3	// ×0.5
4	150	3	// ×2.0
5	300	1	// ×0.5
6	300	1	// ×2.0
7	300	3	// ×0.5
8	300	3	// ×2.0

表3 配合時および分析後の化学成分

成分	化学成分 (%)		
	目標	配合時	分析値
C	3.8	4.11	3.84
Si	2.8	2.8	2.83
Mn	0.3	0.29	0.23
P	0.07~0.08	0.06	0.057
S	0.01~0.015	0.014	0.01

地金配合成分および目標値を表3に示す。

表4 球状化剤の添加量

処理剤	kg	%
Fe-Mg-Ca-Re-Si系球状化剤	0.34	1.7
Fe-Si系接種剤	0.06	0.3
カバ-剤	0.06	0.3

また、球状化剤の添加量は表4の如く地金に対して1.7%とした。この時の処理温度は1,550℃とした。

2-5 実験結果

その結果を写真1および表5に示す。

表5 機械的性質

衝撃強さ (kgf m/cm<sup>2</sup>) (1 kgf m/cm<sup>2</sup> = 9.8 J/cm<sup>2</sup>)

引張強さ・耐力 (kgf/mm<sup>2</sup>) (1 kgf/mm<sup>2</sup> = 9.8 N/mm<sup>2</sup>)

No	引張強さ kgf/mm <sup>2</sup>	耐力 kgf/mm <sup>2</sup>	伸び %	硬さ HB	衝撃強さ kgf m/cm <sup>2</sup>
1	43.2	39.4	4.3	175	2.00
2	40.2	34.2	1.9	166	1.88
3	42.8	33.2	5.0	163	1.64
4	42.1	32.4	4.6	158	1.96
5	43.9	35.1	4.7	166	1.57
6	43.8	34.6	4.8	165	1.86
7	40.1	33.9	2.7	159	1.70
8	42.7	33.2	5.1	163	1.97

写真1

鋳造後のテストピース

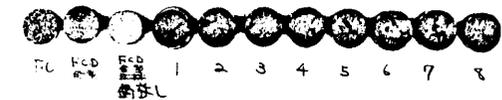


写真2 テストピースの破面

この表から伸びを省いた物性は球状黒鉛鑄鉄 ( FCD 40 ) としての値を示している。伸びが非常に低いのは写真2の破面のごとく鑄造時にノロが混入したり、押湯不足のため分子が荒い事に起因しているものと考えられる。

なお、参考のために表5中のNo.4の組織を写真3に示す。

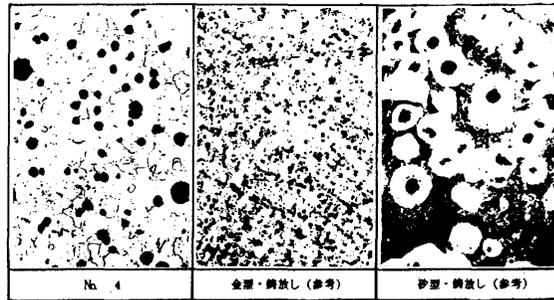


写真3 テストピースの組織 ×200 (腐食後)

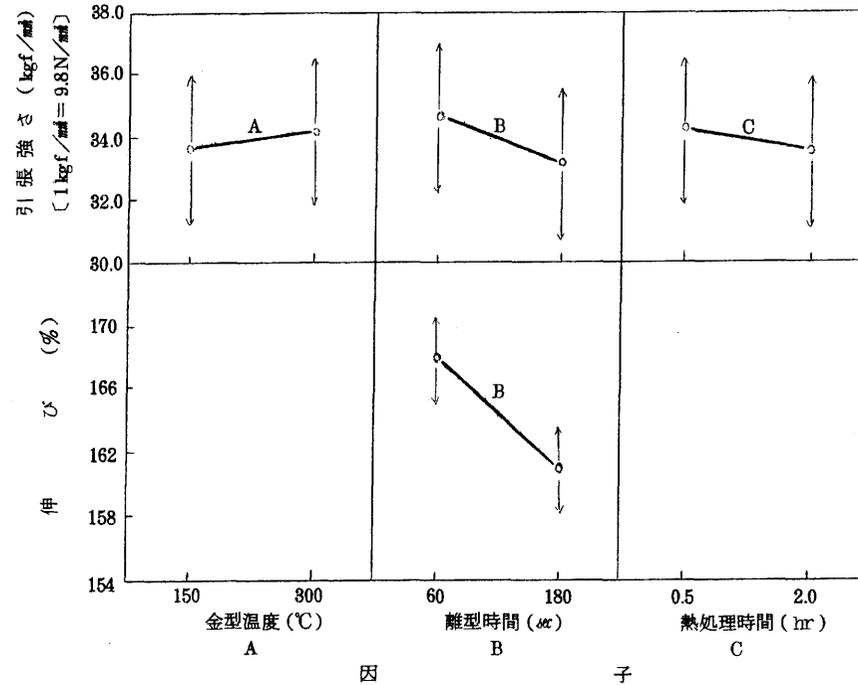


図2 各因子の区間推定 (有意のもののみ)

また、材質に与える各因子の影響は、図2に示すように当初予想したほど明瞭ではないが、耐力に対しては全ての因子が、また、硬さには離型時間が影響する事がわかった。その他の物性には有意差は認められなかった。図3は交互作用を示す。

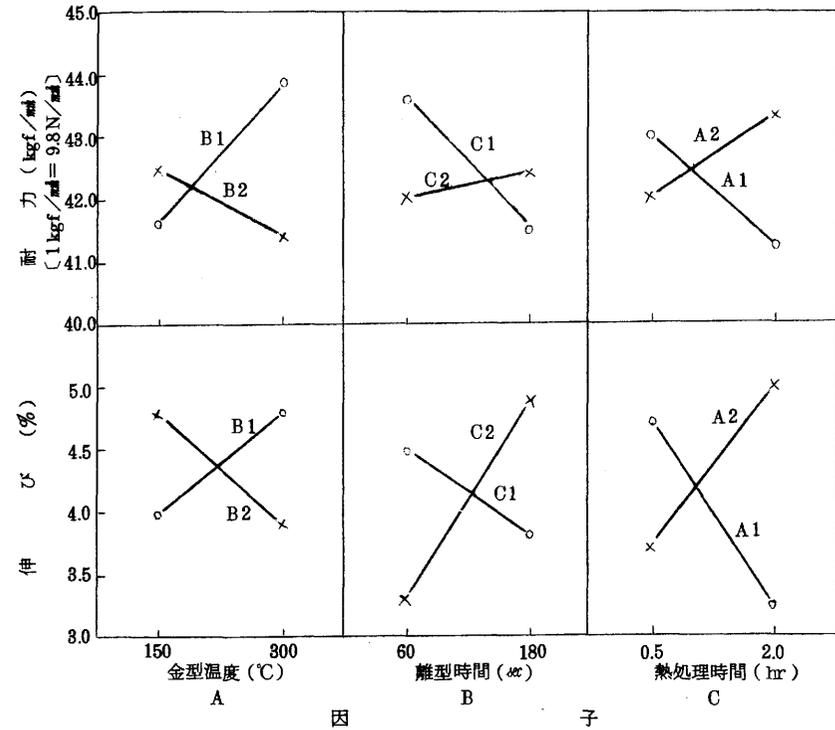


図3 交互作用の推定 (有意のもののみ)

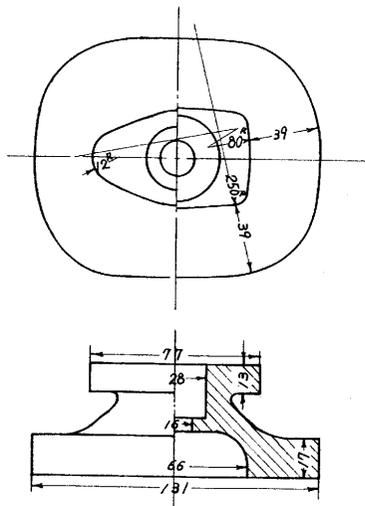
この実験では金型温度および熱処理において、それぞれ水準の取り方に大きな差をつけなかったために、データ間の差が顕著に出なかった。

また、熱処理時間を実験条件に組入れたため、物性に与える他の因子の影響が消されたか弱められたと考えられる。この事は鑄造条件と物性との関係が明確に出なかった大きな原因と考えられる。

### 3 パルプ部品 (フタ) の鑄造条件の検討

#### 3-1 製品の形状および寸法

図4に示すような水道用仕切弁部品 (フタ) について実験を行った。



3-2 金型の鋳造方案および寸法と鋳造機

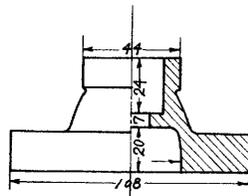


図4 フタの形状および寸法

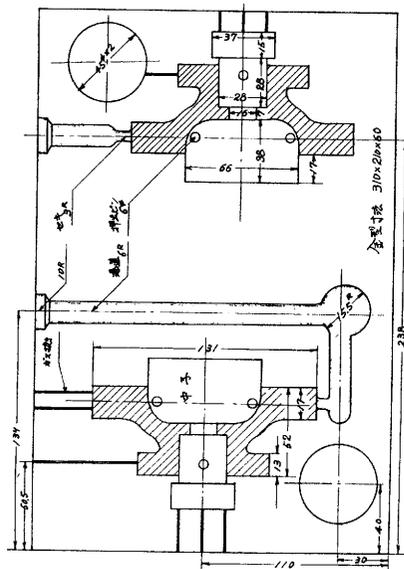


図5 フタの鋳造方案および寸法

1型内に同じ製品を2個同時に鋳込めるように配置し、湯口方案は図5に示すとおり押し上げと落下みの2種類で、中子はCO<sub>2</sub>型で黒鉛を塗型した。なお、金型の材質はFC20(ネズミ鋳鉄品8種)とした。

鋳造機は写真4に示すように空気圧シリンダを駆使したものを使用、その仕様を表6に示す。

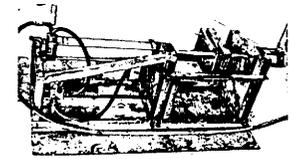


写真4 試作金型鋳造機

表6 鋳造機の仕様

空気圧 (kgf/cm<sup>2</sup>) (1kgf/cm<sup>2</sup>=9.8 Pa)

使用空気圧	7 kgf/cm <sup>2</sup>
シリンダストローク (1)	500 mm
同 (2)	100 mm
シリンダ出力 (1)	押し側 357 kgf 引き側 325 kgf
同 (2)	押し側 228 kgf 引き側 206 kgf
使用機器	方向切換弁
	流量調整弁
鋳造機の大きさ	1,380 <sup>W</sup> × 480 <sup>D</sup> × 500 <sup>H</sup> mm

なお、この鋳造機は昭和52年度研究(金型鋳造機の試作と製品の鋳込み)に自作したのを改造したものである。この時の試作品を写真5に示す。



写真5 パッキン押え

### 3-8 実験条件

表7の4個の因子を物性および作業環境上において許容される範囲内でそれぞれ2水準をとった。これをL<sub>16</sub>(2<sup>15</sup>)直交表に従って表8のように16回の実験を行った。なおSi量は2.5%と一定にし、球状化処理はT・Pの場合と同様とする。

表7 因子と水準

因子	水準	水準	
		第1水準	第2水準
C 量 A		3.4 %	3.9 %
塗 型 B		Si-Al-Ti-Zn系+すす	Si-Ti-Al-Mg系+すす
金型温度 C		150 °C	250 °C
離型時間 D		1 min	1 min

但し：湯口方案は押上げと落込みの二種とする。  
Si = 2.5%一定

表8 割りつけ表

No	実験の指示内容			
	C 量	塗 型	金型温度	離型時間
1	3.4 %	① + すす	150 °C	1 min
2	"	"	"	2
3	"	"	250	1
4	"	"	"	2
5	"	② + すす	150	1
6	"	"	"	2
7	"	"	250	1
8	"	"	"	2
9	3.9	① + すす	150	1
10	"	"	"	2
11	"	"	250	1
12	"	"	"	2
13	"	② + すす	150	1
14	"	"	"	2
15	"	"	250	1
16	"	"	"	2

①: Si-Al-Ti-Zn系      ②: Si-Ti-Al-Mg系

3-4 実験結果

3-4-1 引け率

外引けの量を7号硅砂によって測定した。すなわち、引けのある製品の凹部および空洞部が完全に埋るまで硅砂を充填し、良品(引けが皆無のもの)と同様の状態にする。この硅砂の量から次式によって、その製品の引け率とした。

$$\text{引け率 } x = \frac{A \times 4.5}{W} \times 100$$

A: 硅砂の重量(g)

W: 欠陥のない鋳物の重量(球状黒鉛  
鋳鉄品)(g)

4.5: 比重指数(FCDの比重を硅砂の  
比重で除じたもの)

なお、欠陥のない鋳鉄とは図4から重  
量計算したものを云う。

測定値を上式によって計算したものを表  
9に、これを基に解析したものを表10、  
11に示す。

表9 引け率

湯口方案 No	引け率 (%)	
	押上げ	落込み
1	0	0.32
2	0.65	0.51
3	0.53	0.85
4	0.49	0.79
5	0	0.45
6	0.16	0.66
7	0.38	0.56
8	0.27	0.79
9	0.12	0.16
10	0.17	0.10
11	0.16	0.19
12	0.25	0.27
13	0.11	0.55
14	0.18	0.47
15	0.06	0.16
16	0.08	0.32
平均	0.23	0.45
	0.34	

表10 分散分析表(押上げ)

要因	S	σ	V	F <sub>0</sub>	F(0.05)	F(0.01)
A	1139.1	1	1139.1	※6.28	5.12	10.6
B	798.1	1	798.1	4.40		
C	430.6	1	430.6	2.37		
D	495.1	1	495.1	2.73		
A×C	495.1	1	495.1	2.73		
C×D	588.1	1	588.1	3.08		
e	1632.4	9	181.4			
計	5578.5	15				

※印は5%で有意

表 11 分散分析表（落込み）

要因	S	σ	V	F <sub>o</sub>	F (0.05)	F (0.01)
A	4 5 9 0.1	1	4 5 9 0.1	※※5 8.2	6.6 1	1 6.3
B	3 7 0.6	1	3 7 0.6	4.7		
C	3 1 5.1	1	3 1 5.1	4.0		
D	2 8 0.6	1	2 8 0.6	3.6		
A×C	3 9 0.1	1	3 9 0.1	4.9		
B×C	1 2 0 7.6	1	1 2 0 7.6	※1 5.3		
e	1 0 7 2.6	1	1 0 7 2.6	※1 3.6		
計	6 3 1.3	8	7 8.9			
	8 8 5 8.0	15				

※※ 印は 1% で有意

これらの表から、次の点が確認できた。

- (1) 引けは湯口方案によって大きな差があり、落込みは押上げの約 2 倍の引けを生ずる。
- (2) C 量の影響も湯口方案に関係なく大である。すなわち、C 量が減少すると引けの量は大きくなり、今回の水準間では約 2 倍の違いが見られた。

3-4-2 外観におよぼす各要因の影響

表 12 外観におよぼす各要因の影響

要因	湯 回 り		鋳 は だ		湯 じ わ		引 け (外)		引 け (内)	
	押 上 げ	落 込 み	押 上 げ	落 込 み	押 上 げ	落 込 み	押 上 げ	落 込 み	押 上 げ	落 込 み
C 量 A	○	◎		◎	◎		○	◎		◎
塗 型 剤 B	○									◎
金 型 温 度 C					◎					
離 型 時 間 D			○							
交 互 作 用	A×B		◎							◎
	A×C			○	◎	◎				
	A×D									
	B×C				◎		○	◎		
	B×D		◎							
	C×D					○				
A×B×C	○	○					◎		○	
湯 口 方 案		○					◎			

○ 印は 5% で有意

◎ 印は 1% で有意

無印は影響がなかった事を示す。

外観検査は官能検査の評点法（採点法）を採用した。

各検査項目について、12名が1（劣）～5（優）の範囲内で点数を記入していく方法である。これを統計手法によって解析したものが表 12 である。

表からC量が前述の引け巣率と同様に外観に大きく作用する事が確認された。また、押上げ方案において金型温度が湯じわに、塗型剤が湯回りに、そして離型時間が鋳肌に影響する事が判明した。

さらに湯口方案は前述の引け巣率の違いを証明するように外引けに大きな影響が見られた。

3-4-3 最適鑄造条件

表 12 で有意差が認められた要因について、各項目ごとに水準間の差を求め、これから押上げ、落込み方案のそれぞれについて最適水準を引出したのが表 13、14 である。

表 13 良好な外観を得る水準（押上げ）

要因	湯 回 り	鋳 は だ	湯 じ わ	引 け (外)	引 け (内)	最 適 水 準
C 量 A	A 2		※ A 1	A 2		A 2
塗 型 剤 B	B 2					B 2
金 型 温 度 C			※ C 1			C 1
離 型 時 間 D		D 1		D 1		D 1

※ 印は 1% で有意

表 14 良好な外観を得る水準（落込み）

要因	湯 回 り	鋳 は だ	湯 じ わ	引 け (外)	引 け (内)	最 適 水 準
C 量 A	A 2	※ A 1		※ A 2	※ A 2	A 2
塗 型 剤 B					※ B 2	B 2
金 型 温 度 C						
離 型 時 間 D						

※ 印は 1% で有意

さらに、この 2 つの表の最適水準をまとめたのが表 15 である。すなわち、フタの金型鑄造を行うには表 15 の水準を作業条件とすればよい事になる。

この条件で鑄造した製品を写真 6 に示す。写真中の左側は同条件で落込み方案の製品である。

また、この製品の組織を写真 7 に、X線写

表 15 最適鑄造条件

要因	水 準
C 量	A2 3.9% (Si : 2.5%)
塗 型 剤	B2 Si-Ti-Al-Mg 系 + すす
金 型 温 度	C1 150℃
離 型 時 間	D1 60 秒
湯 口 方 案	押 上 げ

注：湯口方案については引け巣率の結果より判定

真を写真8に示す。

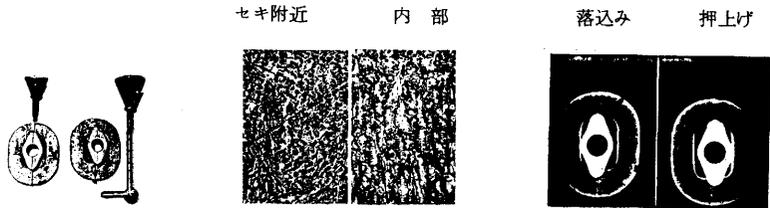


写真6 フタ

写真7 フタの組織  
×200(腐食後)

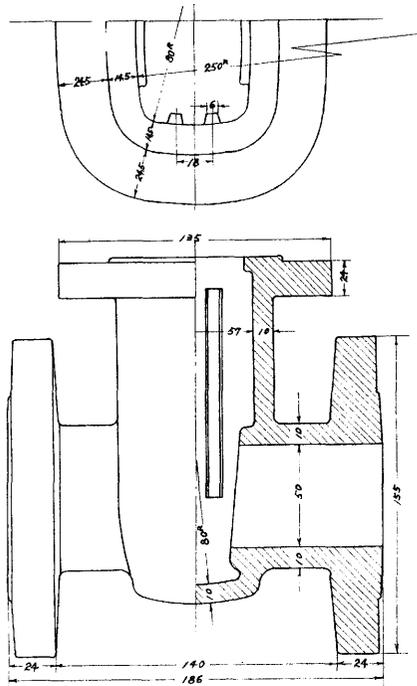
写真8 フタのX線写真

#### 4 水道用仕切弁本体(50φ)の鑄造条件の検討

##### 4-1 製品の形状および寸法

図6に示すような口径50φの仕切弁本体(弁箱)について実験を行った。

図6 バルブ本体の形状および寸法

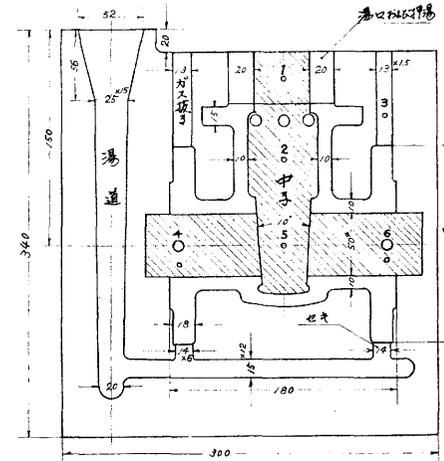


##### 4-2 金型の鑄造方案および寸法と鑄造機

図7のように1面が800L×840H×110Tの寸法で押上げ、落込み方案共用の金型として、製品以外の湯口系などは固定側の金型につけた。また、落込みでの注湯は押上げ考案の場合の押湯部分より鑄込み、押上げの時は堰にセンをした。中子は3-2項の実験と同様とした。なお、押出ピンは各フランジ面に付けた。

鑄造機は写真9および表16のような可傾式を採用した。

図7 バルブ本体金型の形状および寸法



○: 温度測定箇所  
(製品表面より10~15入った所)  
○: 押しピン(10φ)

表16 鑄造機の仕様

力(kgf) [1kgf = 9.8N]

項目	容量および仕様
金型取付面寸法	300×840×(110+110)mm
最小ダイ間隔	500mm
取 締 力	2000~4600 kgf
押 出 力	4600 kgf
押出ストローク	20mm (可動側) 18mm (固定側)
横 傾 斜 角	最大90° (途中停止可能) (押上力減圧弁で調整)
縦 傾 斜 角	最大20° (固定)

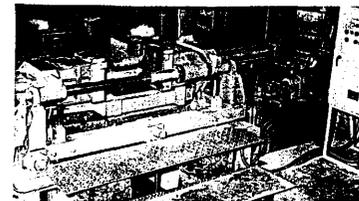


写真9 金型鑄造機

4-3 実験条件

3-2項の実験と同様各種条件を考慮して、許容範囲内で表17のように5因子についてそれぞれ2水準をとった。

表 17 因子と水準

因子	水準	
	第1水準	第2水準
Si 量 A	2.5%	3.5%
湯口方案 B	押上げ	落込み
金型温度 C	100℃	200℃
塗型剤 D	Si-Na-Mg系 +すす	Si-Ti-Al-Mg系 +Si-Al-Fe系+すす
離型時間 E	15 sec	30 sec
備考	C : 3.7%一定	

表 18 割りつけ表

No	因子	実験の指示内容				
		Si 量	湯口方案	金型温度	塗型剤	離型時間
1		2.5%	押上げ	100℃	③+すす	15 sec
2		"	"	"	④ "	30
3		"	"	200	③ "	"
4		"	"	"	④ "	15
5		"	落込み	100	③ "	30
6		"	"	"	④ "	15
7		"	"	200	③ "	"
8		"	"	"	④ "	30
9		3.5	押上げ	100	③ "	"
10		"	"	"	④ "	15
11		"	"	200	③ "	"
12		"	"	"	④ "	30
13		"	落込み	100	③ "	15
14		"	"	"	④ "	30
15		"	"	200	③ "	"
16		"	"	"	④ "	15

それぞれ2回の繰返しを行った。

③ : Si-Na-Mg 系

④ : Si-Ti-Al-Mg+Si-Al+Fe 系

成分はフタの実験でC量が高い方(3.9%)が良い結果を得たので今回はそれに近い値で一定とし、Si量による影響を調べる事にした。これを表18のようにL<sub>16</sub>(2<sup>5</sup>)直交表に従って16回の実験を行った。なお、金型温度は多点温度記録計によって図7のように6点同時に測定し各位置の温度が目標値の±10℃の範囲内に入った時に鋳込んだ。このチャートの一部を写真10に示す。球状化処理はT・Pと同様とする。

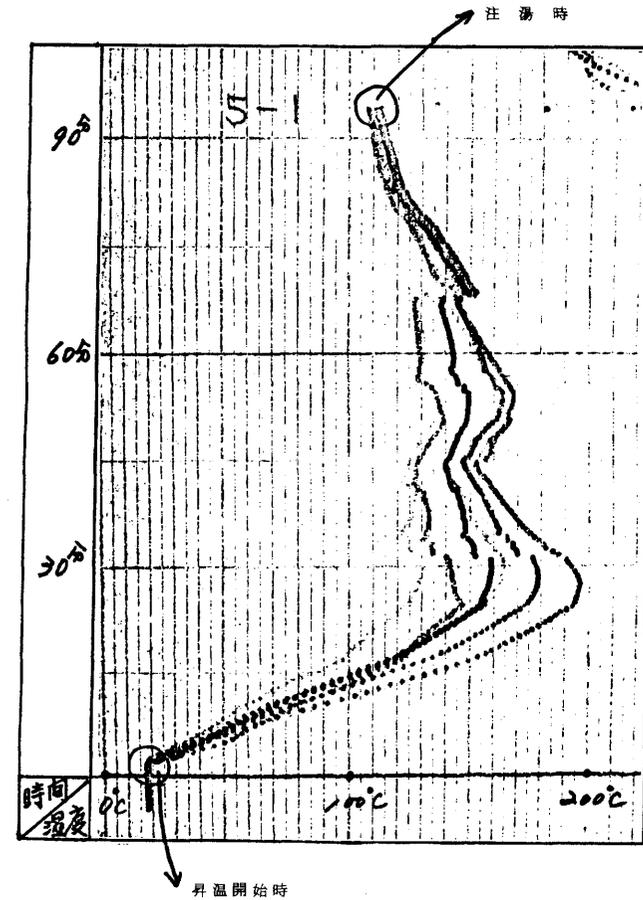


写真10 金型温度のチャート

4-4 実験結果

4-4-1 外観におよぼす各要因の影響

全体には湯じわが多く、特にフランジのつけ根、および胴体のR部分にひどく出ているものがある。それに比べて当初予想していた外分けは——少く、まれに上部フランジ部に見られる程度であった。鑄肌は金型鑄造したネズミ鑄鉄に比べると荒いが砂型よりはきめ細かく良好な結果を得た。湯回りはCO<sub>2</sub> 中子との併用のためか金型温度が低くても影響がない事が確認できた。

外観については3-4-2と同様に評点法によって検査した結果を表19に示す。これから湯口方案の影響が特に大きく、フタの時以上である。また金型温度も湯じわ、引け(外)に関係が深く、塗型剤・離型時間も見捨てる事の出来ない要因である事が判明した。Si量についてはC量に比べ影響力は小さく、当初予想したほどの差は見られなかった。

表 19 外観におよぼす各要因の影響

要因	湯回り	鑄はだ	湯じわ	引け(外)	引け(内)	
Si 量 A	○			○		
湯口方案 B	◎	○	◎	◎	◎	
金型温度 C		○	◎	◎		
塗型剤 D	○	◎				
離型時間 E			○	○	○	
交互作用	A × D	◎	○			
	B × C			◎		
	B × D	◎	○	◎	◎	
	B × E				○	○
	C × D	○			◎	
	C × E	○	○	◎	◎	
D × E						

○印：5%で有意 ◎印：1%で有意

4-4-2 最適鑄造条件

表 20 良好な外観を得る水準

要因	湯回り	鑄はだ	湯じわ	引け(外)	引け(内)	最適水準
Si 量 A	A 1			A 1		A 1
湯口方案 B	B 2	B 1	※B 2	※B 2	※B 2	B 2
金型温度 C		C 1	※C 1	※C 1		C 1
塗型剤 D	D 2	※D 2				D 2
離型時間 E			E 1	E 1	E 2	E 1

※印：1%で有意

最適水準を前述と同じ方法で求めたのが表20であり、これをまとめたのが表21である。

この条件で鑄造したものを写真11に示すが、これを見てもわかるように最も問題である湯じわもなく、鑄肌も美麗であった。(写真12は写真11と同条件で押上げ方案で鑄込んだものである。)写真13、14は写真11、12のX線写真である。落込み方案の製品はほとんど内部欠陥が見られなかった。

表 21 最適鑄造条件

要因	水 準	
Si 量	A1	2.5% (C: 3.7%)
湯口方案	B2	落 込 み
金型温度	C1	100℃
塗 型 剤	D2 3層 (Si-Ti-Al Mg + Si-Al) Fe系+すす	
離型時間	E1	15 sec

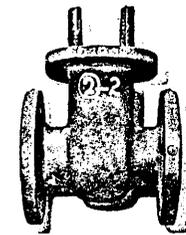


写真 11 本体の鑄造品 (落込み)

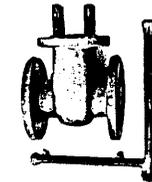


写真 12 本体の鑄造品 (押上げ)

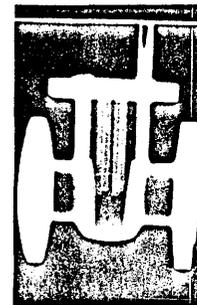


写真 13 本体のX線写真 (落込み)

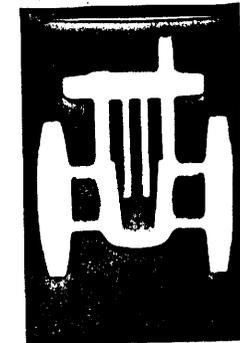


写真 14 本体のX線写真 (押上げ)

4-4-3 硬 さ

実体製品の硬さを知るため、図8に示すように鑄造した全製品の外部(フランジ部分)と内部(胴体部分)を測定した。

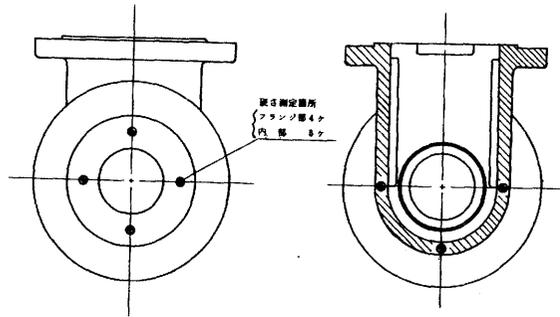


図8 硬さ測定箇所

その結果は図9～14に示すように、Si量と熱処理(有・無)が硬さに作用しており、他の要因は大きな影響がなかった。特に興味深いのは、FC(ネズミ鑄鉄)の金型鑄造の場合、鑄放し状態ではチル化がはげしく硬くて使いものにならないが、今回のFCD(球状黒鉛鑄鉄)では鑄放しでも以外と柔らかい。

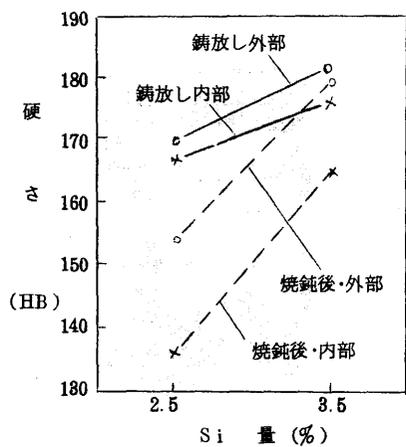


図9 Si量と硬さ

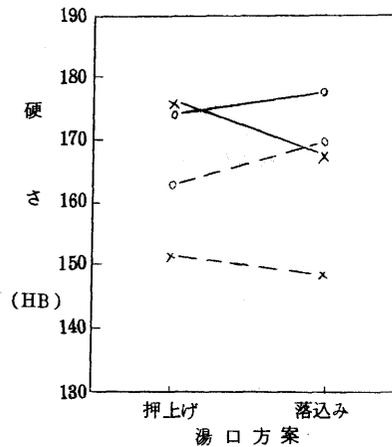


図10 湯口方案と硬さ

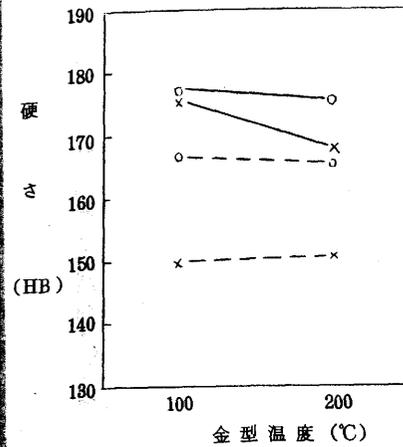


図11 金型温度と硬さ

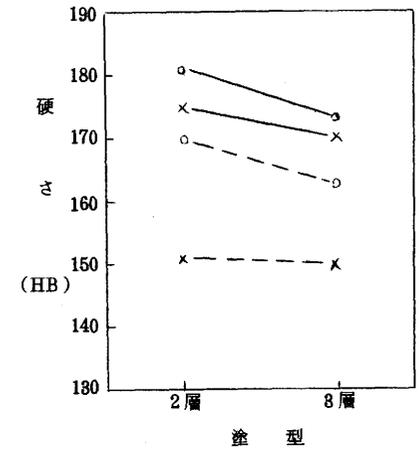


図12 塗型と硬さ

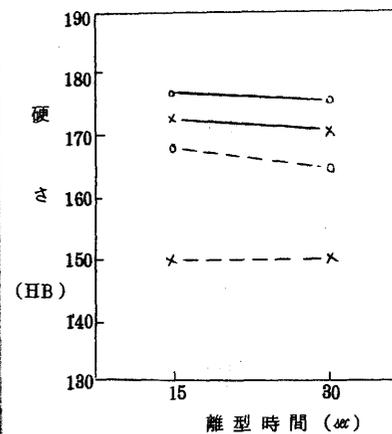


図13 離型時間と硬さ

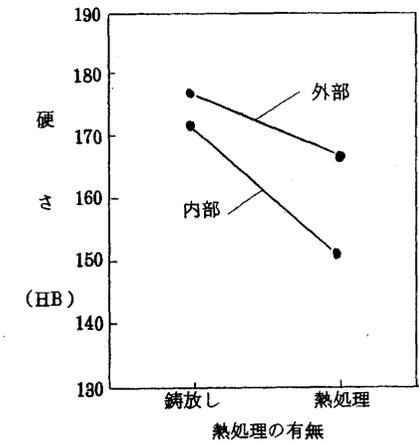


図14 熱処理と硬さ

#### 4-4-4 組織および機械的性質

4-4-2の項で得られた最適鑄造条件で鑄込んだ製品から図15の箇所について内部組織を調べた。それを写真15に示す。

図 15 引張り試験用 T・P および組織の採取箇所

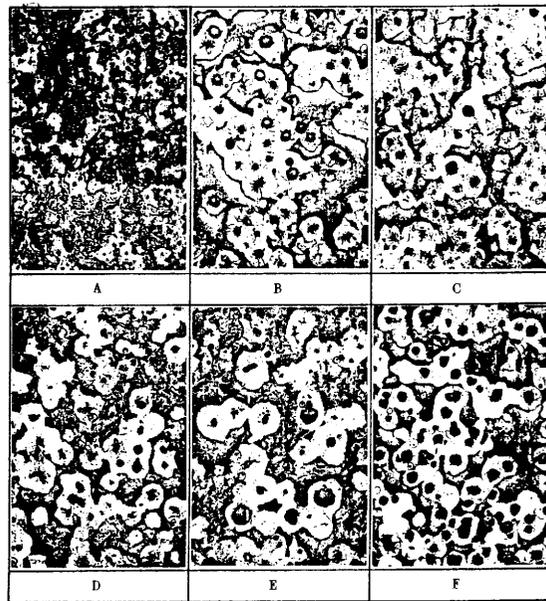
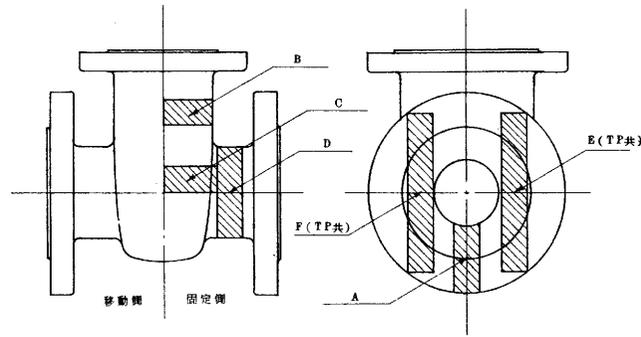


写真 15 本体の組織（採取箇所による比較） × 200（腐食後）

これを見ると A 部分の他はブルースアイの組織で黒鉛も割合大きく砂型と相違なかった。この事は → 中子を使用したため凝固速度が純金型に比べ遅くなったためと考えられ、硬さの結果（柔らかい）からもいえる。

次に E・F 部分の機械的性質を調べた結果、平均して引張強さが  $5.7 \text{ kgf/mm}^2$  ( $558.6 \text{ N/mm}^2$ )、伸び  $1.1\%$ 、硬さ  $\text{HB} = 190$  で球状黒鉛鑄鉄の特性を充分生かした非常に加工性の良い製品である。また、写真 16 および 17 は熱処理の有無による組織的な違いを示している。

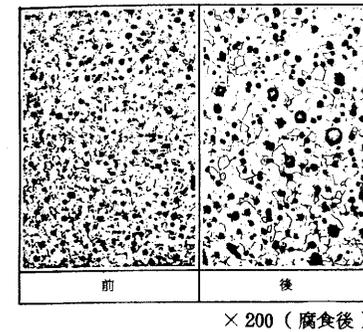


写真 16 本体の組織（熱処理の有無による比較）

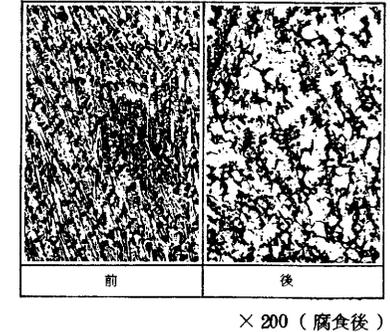


写真 17 本体の組織（FCの熱処理の有無による比較）

4-4-5 球状化剤添加量（残留Mg量）と球状化率

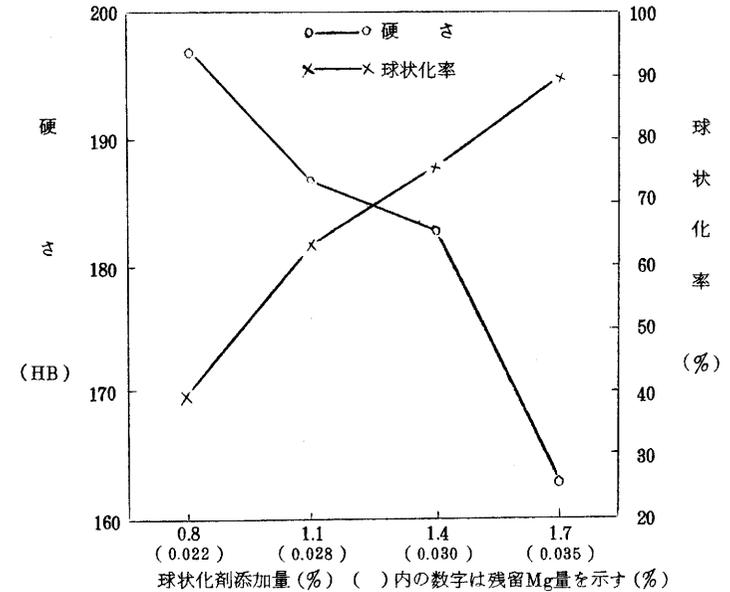


図 16 球状化剤添加量と硬さおよび球状化率

組織と同様4-4-2の項で得られた最適鑄造条件によって球状化剤を変化させた時に球状化率および硬さの動向を検討したのが図16である。

これからもわかる事は残留Mg量が減少するに従って球状化率が下り、硬さは上る事で、即ち、球状化率でいうならば砂型鑄造の場合、球状化剤添加量が1.7%以下になると黒鉛球状化率が極端に低下するのに比べ、今回は1.4%の添加で充分黒鉛は球状化した。1.1%では塊状で不安定な組織となり、それ以下では完全に黒鉛は片状化した。これを写真18に示す。

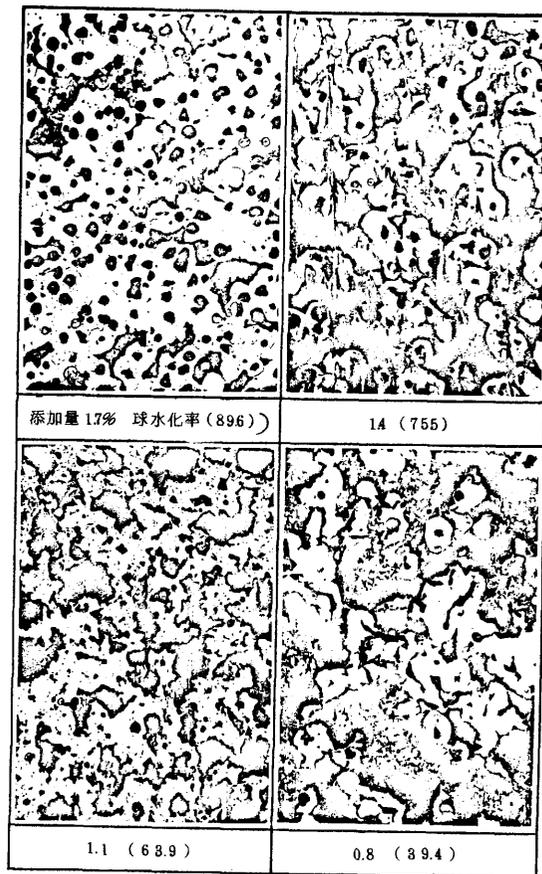


写真18 本体の組織(球状化剤添加量による比較)

## 5 まとめ

中子を伴う球状黒鉛鑄鉄の金型鑄造を普及させるために今回はバルブを例にとり実験を行った。その結果、以下に列挙するような成果を得た。

- 1) テストピースでの物性は伸びを省くと鑄造条件が多少異なっても大きな差はなく安定した値が得られた。  
伸びが低い原因は鑄造方案および鑄込み作業に問題があったためと考えられ、今後の検討を要する。
- 2) 当初、バルブなど中子を伴う鑄物の金型鑄造は形状・方案的にも難かしく、疑問視された。しかし今回の実験の結果、充分実用に供する事が確認できた。
- 3) 最適鑄造条件は表15・21に示すように製品の形状・大きさによって多少異なるが、共通的な点は成分的にC:3.7~3.9%, Si:2.5%と高C, 低Siが良く、また金型温度は150℃以下、離型時間も短い方が好結果を生む。塗型は薄く均一に3層にすることが望ましい。
- 4) 中子を併用した金型鑄物は鑄放しのままでもブリネル硬さ160~190であり、焼鈍処理しなくても充分使用できる。
- 5) 金型鑄造では砂型に比較して約80%の球状化剤で黒鉛が球状化する事が確認できた。即ち、球状化剤の成分にもよるが約20%の節減が可能になる。
- 6) 引けよりも湯じわが多く、特に肉厚の変動部分に集中する傾向があるので、この点の解決が急務である。更に塗型の施し方、浴湯温度などの検討も要する。

おわりに本研究の遂行にあたり、懇切にご指導下された工業技術院名古屋工業技術試験所、工博、磯谷三男氏に深く謝意を表します。

## 参考文献

- |             |              |
|-------------|--------------|
| 鑄鉄の金型鑄造     | 日本鑄物協会編      |
| 特殊鑄鉄鑄物      | 鑄造技術講座編集委員会  |
| 金型工作技術      | 大田信之編        |
| 金型便覧        | 金型便覧編集委員会    |
| ダイキャスト技術入門  | 菅野友信・植原寅蔵 共著 |
| 自動化はなぜ失敗するか | 杉田 稔 著       |

# 蛍光 X線分析法による鋳鉄中のケイ素、マンガン、リン、イオウ、クロムの定量分析

技師 村 口 明 義

## 1. ま え が き

蛍光 X線分析法は、非破壊分析であり、再現性もよく、迅速に分析できる利点を有していることから、現場の管理分析には欠かせない分析機器となっている。

本研究は、依頼分析の迅速化をはかる目的で、蛍光 X線分析装置による鋳鉄の分析方法について研究した。その結果、従来の化学分析法と比較して、分析値、精度、再現性ともに遜色なく、分析時間については大巾に短縮できたので報告する。

## 2. 実験方法

### 2. 1 装 置

理学電機製蛍光 X線分析装置 (ガイガーフレックス 3063 P4 型、Cr、W 管球) データ処理装置付を使用した。

### 2. 2 実験用試料

市販の鋳鉄の標準試料は白鈍化されたものであり、一方、依頼試験に持ち込まれる試料は、ねずみ鋳鉄、ダクタイル鋳鉄およびクロム鋳鉄がほとんどである。検量線作成用の標準試料は、実試料と同一の基地組織のものを使用しなければならないことから、標準試料のかわりに依頼試験に持ち込まれた試料から適当なものを選び、これを検量線用の標準試料 (以下「標準化試料」と云う。) として使用することにした。

標準化試料の標準値の決定は、JIS の分析法に準じ独立 3 回 (1 回に 2 個ずつ) 分析を行ない、その平均値によった。

### 2. 3 分析条件の検討および測定方法

分析条件の検討としては、(1) 試料ホルダーおよびマスクの検討、(2) 管電圧 - 管電流の検討、(3) 測定時間の検討、(4) 試料の表面状態の検討を行なった。

試料を適当な大きさ (20 ~ 30 φ、高さ約 30 mm) に切断後、測定面をエンドレス研磨機 (A62 O<sub>3</sub> 系研磨紙) で研磨し、アルコールで洗浄後、一定時間 X 線を照射し、蛍光 X 線強度を測定することにより検討した。X 線強度は 2 回測定し、その平均値で求めた。

## 3. 実験結果と考察

### 3. 1 標準化試料の標準値の決定

標準化試料の標準値を表1. 表2.に示す。

表 1 標準化試料の標準値 (%)

No.	試料名	C	Si	Mn	P	S
1	C 1	3.55	1.766	0.343	0.1401	0.110
2	C 2	3.63	1.330	0.401	0.0597	0.127
3	C 3	3.35	2.29	0.797	0.021	0.013
4	C 4	3.45	2.000	0.32	0.1403	0.100
5	C 5	3.48	1.231	0.294	0.1319	0.1355
6	C 6	3.16	2.23	1.005	0.021	0.013
7	C 7	3.59	1.746	0.649	0.2286	0.112
8	C 8	3.36	1.92	0.98	0.018	0.014
9	C 9	3.15	2.402	0.63	0.0251	0.0166
10	C 10	3.52	1.465	0.46	0.1638	0.082
11	C 11	3.51	1.533	0.35	0.1179	0.110
12	C 12	3.35	2.241	0.590	0.0439	0.0702
13	C 13	3.10	1.67	0.73	0.054	0.0898
14	C 14	3.46	2.657	0.66	0.1144	0.0339
15	C 15	3.42	1.771	0.951	0.0672	0.0727
16	C 16	3.44	2.182	0.46	0.0845	0.0969
17	C 17	3.59	1.589	0.48	0.1042	0.1049
18	C 18	3.64	1.94	0.483	0.110	0.102
19	C 19	3.31	1.88	0.63	0.049	0.0394
20	C 20	3.29	1.94	0.65	0.047	0.0386
21	D 2	3.69	2.253	0.518	0.0163	0.014
22	D 4	3.63	2.683	0.681	0.0180	0.006
23	D 6	3.49	3.087	0.34	0.0275	0.011
24	D 7	3.59	2.459	0.299	0.0154	0.0096
25	D 8	3.65	2.32	0.642	0.020	0.006
26	D 10	3.59	2.858	0.36	0.0372	0.0251
27	D 11	3.58	2.82	0.437	0.020	0.0100
28	D 12	3.62	3.045	0.33	0.0253	0.0148
29	D 13	3.50	3.265	0.39	0.0285	0.0164

試料名のCはネズミ鉄、Dはダクティル鉄である。

表 2 標準化試料の標準値 (%)

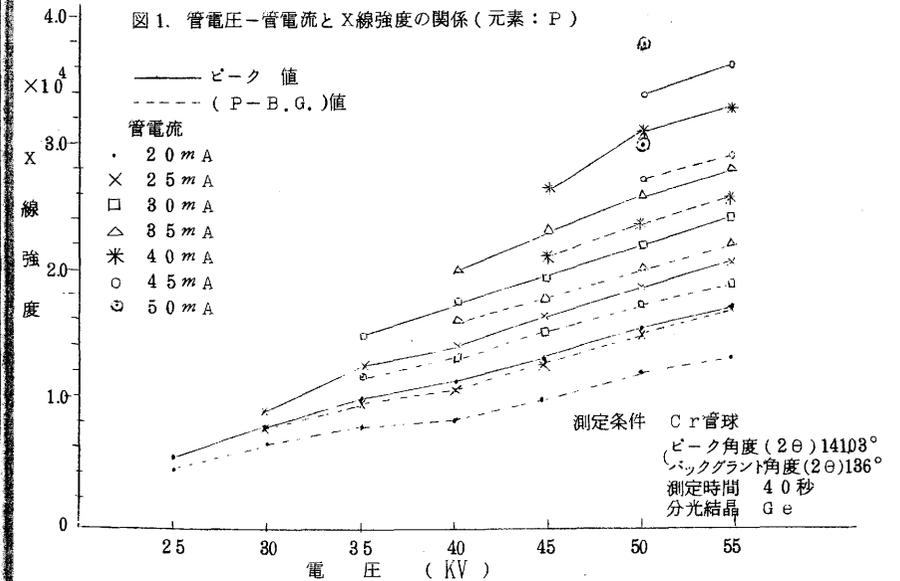
No.	試料名	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	CR 1	3.57	2.08	0.39	0.078	0.095	0.261
2	CR 2	3.39	2.24	0.43	0.065	0.094	0.517
3	CR 3	3.41	2.08	0.43	0.059	0.087	0.707
4	CR 4	3.39	2.08	0.43	0.065	0.091	0.757
5	CR 5	3.40	2.51	0.64	0.063	0.047	1.040
6	CR 6	3.40	2.03	0.44	0.062	0.090	0.754

3. 2 試料ホルダーおよびマスクの検討

試料ホルダーは、X線強度の最も近い値の6個を選び使用することにした。マスクについては試験片の都合により20μのものを使用し、マスクの材質は、Si、P、SについてはTiマスクでは均一のX線強度が得られなかったため、Alマスクを、Mn、Cr、についてはTiマスクを使用することにした。そしてそれぞれの元素についてX線強度の最も近い値のマスクを6個選び使用することにした。元素によってはマスク中に微量含まれているものがあるのであらかじめチェックする必要がある。

3. 3 管電圧-管電流の検討

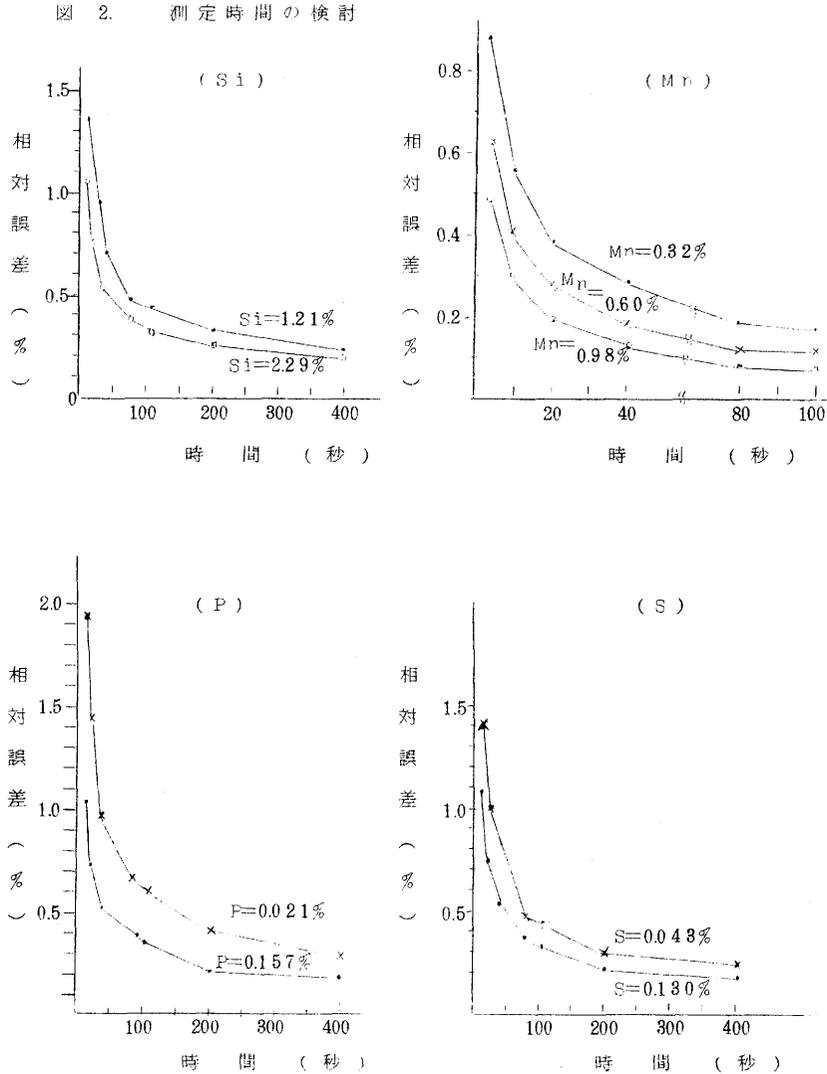
X線管球の印加電圧、印加電流は、管球の寿命、分析感度、分析精度にも影響するので十分な検討が必要である。検討した結果図1に示すように印加電圧より印加電流の方が、X線強度におよぼす影響が大きいことがわかる。このためX線管球の電流を多く流した方がよいが、



管球の寿命を考慮し、軽元素(Si, P, S)はCr管球で55KV-45mA、MnはW管球で55KV-45mA、そしてCrはW管球で50KV-40mAで使用することにした。

### 3.4 測定時間の検討

X線測定値の統計変動は、相対誤差 $q = 100 / \sqrt{N}$  (N:計数値)で示されるため測定精度を良くするには、 $N = X$ 線強度 (CPS)  $\times$  時間、を大きくする必要がある。即ち測定時間を長くすればよい。各元素について検討した結果を図2に示す。

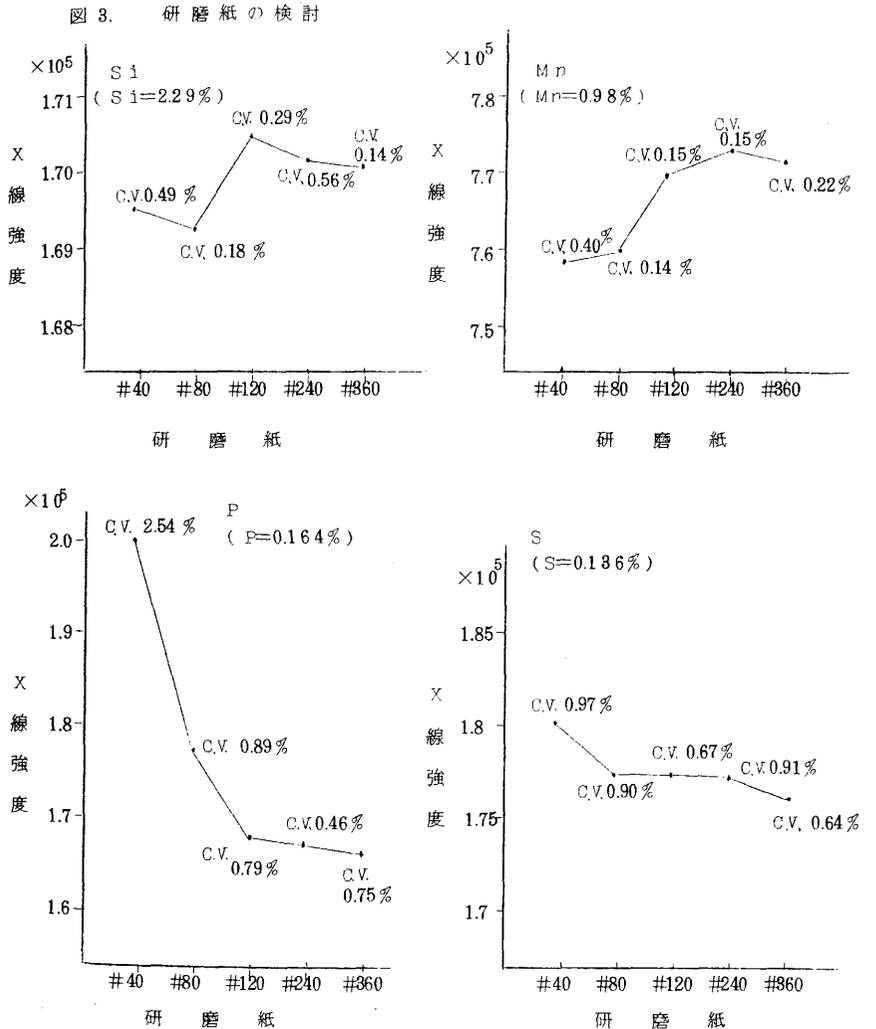


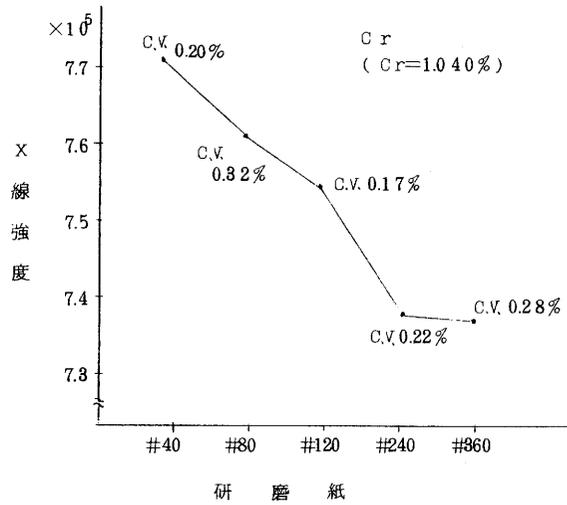
軽元素はX線強度 (CPS) が弱い (感度が悪い) ため測定時間を長くしなければならないが、分析の迅速化を考慮して軽元素は200秒、Mnは80秒、Crは40秒にすることにした。

### 3.5 試料の表面状態の検討

蛍光X線分析法は表面分析であるので試料表面の粗さの影響を受ける。また、研磨剤による汚染も受け易い。特に研磨剤の接着剤とか微量元素の混入 (P, S) に注意を要する。

今回はエンドレス研磨機によるベルト研磨紙 (A $\phi_2$  O $_3$ 系) を使用したので、研磨紙の番手とX線強度の関係を検討した。その結果を図3に示す。





一般に研磨紙の番手が増加(表面が滑らかになる)するほどX線強度は大きくなる傾向にあるが、P、S、Crは反対の傾向を示した。他の文献を見ても元素によっては反対の傾向を示すものもあり、この原因については、はっきりと究明されていない。一方、各番手による変動係数は、元素間ではMn、Crが小さく、P、Sは1%近い値を示した。番手間では#40の変動係数が大きかった。

X線強度と変動係数および他の元素との関連も考慮してSi、Mnは#80、P、S、Crは#120の研磨紙で研磨することにした。

以上の結果から最終的な測定条件を表3のとおり定めた。

表3. 各元素の測定条件

元素名	Si	Mn	P	S	Cr
分析線	Si-K $\alpha$	Mn-K $\alpha$	P-K $\alpha$	S-K $\alpha$	Cr-K $\alpha$
分光結晶	EDDT	LiF	Ge	Ge	LiF
管球	Cr	W	Cr	Cr	W
電圧-電流	55KV-45mA	55KV-45mA	55KV-45mA	55KV-45mA	50KV-40mA
検出器	F-PC	SC	F-PC	F-PC	SC
径路	真空	真空	真空	真空	真空
P、H、A	DIFF	DIFF	DIFF	DIFF	DIFF
スリット	3S	1S	3S	3S	3S
マスク	Al 20 $\phi$	Ti 20 $\phi$	Al 20 $\phi$	Al 20 $\phi$	Ti 20 $\phi$
研磨方法	Al 203系#80	Al 203系#80	Al 203系#120	Al 203系#120	Al 203系#120
計数方法	F.T.	F.T.	F.T.	F.T.	F.T.
時間	200秒	80秒	200秒	200秒	40秒

なお、これからの定量分析については、RATIO法(X線強度比法)で行なうことにした。

### 3.6 検量線の作成

単独5回X線強度比を測定し、その平均値をX線強度比として検量線を作成した。その結果を図4~図8に示す。その時の検量線式と正確度を表4に示す。

図4. ケイ素の検量線

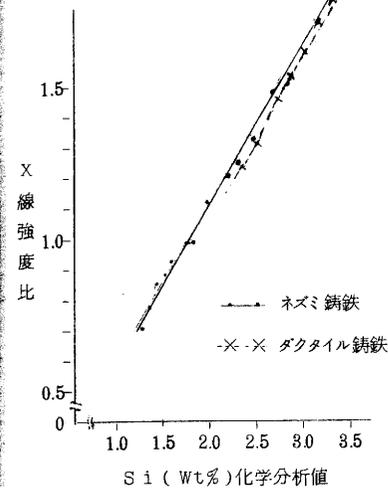


図5. マンガンの検量線

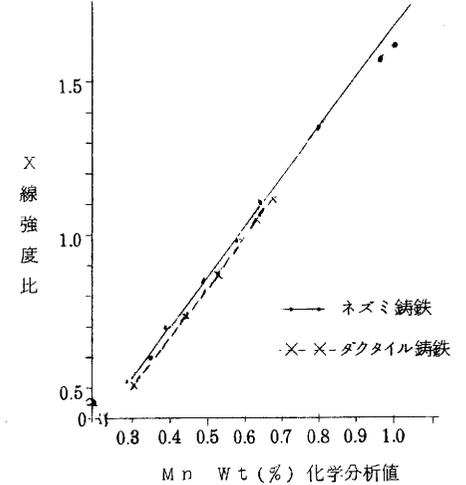


図6. リンの検量線

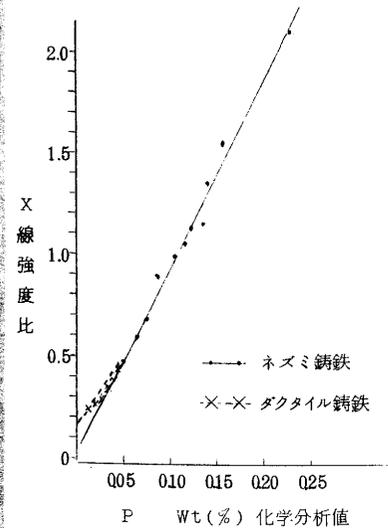


図7. イオウの検量線

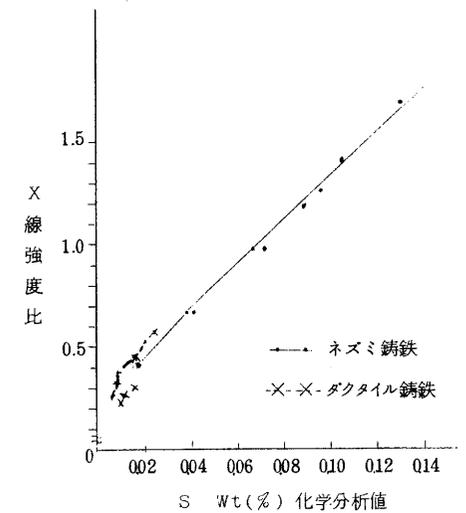


図8. クロムの検量線

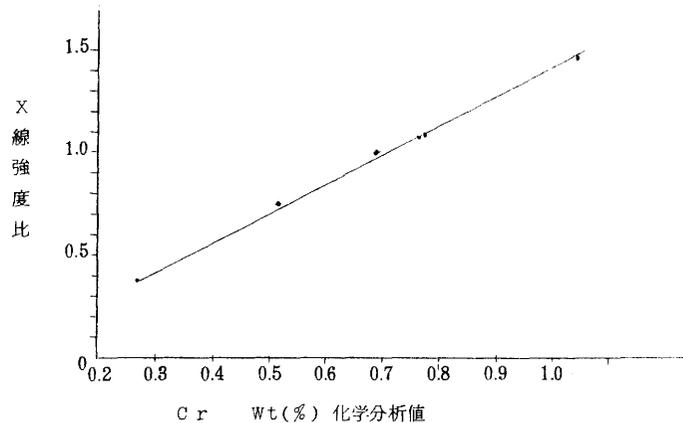


表4. 検量線式と正確度

元素	材質	含有量範囲(%)	検量線式	正確度
Si	FC	1.23 ~ 2.66	$W = 1.8990 X - 0.1315$	0.018
	FC D	2.25 ~ 3.27	$W = 1.8328 X - 0.0076$	0.024
Mn	FC	0.29 ~ 1.01	$W = 0.6198 X - 0.0323$	0.006
	FC D	0.30 ~ 0.68	$W = 0.6298 X - 0.0279$	0.007
P	FC	0.025 ~ 0.229	$W = 0.11289 X - 0.01021$	0.0019
	FC D	0.015 ~ 0.037	$W = 0.12185 X - 0.01059$	0.0006
S	FC	0.017 ~ 0.136	$W = 0.09041 X - 0.02195$	0.0027
	FC D	0.010 ~ 0.025	$W = 0.07688 X - 0.01956$	0.0010
Cr	FC	0.26 ~ 1.04	$W = 0.7399 X - 0.0218$	0.010

$$\text{正確度} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - C_i)^2}{n-1}} \quad (X_i: X線分析値, C_i: 化学分析値)$$

$$W: Wt(\%) \quad X: X線強度比$$

ねずみ鋳鉄とダクタイル鋳鉄とは基底組織がちがうため検量線も別々に作成しなければならない。Si、Mn、Pの検量線は両者ともほとんど平行で、Si、Mn、はダクタイル鋳鉄の方が、Pはねずみ鋳鉄の方が下にずれている。これはX線散乱強度、即ちバックグラウンドに起因するもので、Si、Mnはねずみ鋳鉄の方が、Pはダクタイル鋳鉄の方が、バックグラウンドが大きいためである。Sの場合は、両者は平行にならずに、含有量が多くなるほど両者間の差は大きくなっている。これはねずみ鋳鉄とダクタイル鋳鉄の組織による影響が大きいことを意味しており、イオウ含有量が多くなればダクタイル鋳鉄の方がX線強度がより強くなることが判明した。

3. 7 蛍光X線分析値とその正確度および精度

蛍光X線分析値を表5~表9に、化学分析値との差(d)の平均値(| $\bar{d}$ |)とその最大値(|d|<sub>max</sub>)を表10に示す。

表5. ケイ素の分析結果

試料名	化学分析値%	X線分析値%	d
C 1	1.766	1.769	-0.003
C 2	1.330	1.330	0
C 4	2.000	1.977	0.003
C 5	1.231	1.200	0.031
C 7	1.746	1.774	-0.028
C 9	2.402	2.381	0.021
C10	1.465	1.460	0.005
C11	1.533	1.539	-0.006
C12	2.241	2.247	-0.006
C14	2.657	2.660	-0.003
C15	1.771	1.768	0.003
C16	2.182	2.176	0.006
C17	1.589	1.617	-0.028
D 2	2.253	2.269	-0.016
D 4	2.683	2.644	0.019
D 6	3.087	3.108	-0.021
D 7	2.459	2.471	-0.012
D10	2.858	2.830	0.028
D12	3.045	3.022	0.023
D13	3.265	3.285	0.020

表6. マンガンの分析結果

試料名	化学分析値%	X線分析値%	d
C 1	0.343	0.335	0.008
C 2	0.401	0.401	0
C 3	0.797	0.795	0.002
C 5	0.294	0.296	-0.002
C 6	1.005	0.997	0.008
C 7	0.649	0.656	-0.007
C12	0.590	0.587	0.003
C15	0.951	0.957	-0.006
C18	0.483	0.488	-0.005
D 2	0.518	0.526	-0.008
D 4	0.681	0.674	0.007
D 7	0.299	0.298	0.001
D 8	0.642	0.647	-0.005
D11	0.437	0.433	0.004

表 7. リンの分析結果

試料名	化学分析値%	X線分析値%	d
C 1	0.1401	0.1437	-0.0036
C 2	0.0597	0.0587	0.0010
C 4	0.1403	0.1423	-0.0020
C 5	0.1319	0.1196	0.0123
C 7	0.2286	0.2266	0.0020
C 9	0.0251	0.0255	-0.0004
C10	0.1638	0.1642	-0.0004
C11	0.1179	0.1180	-0.0001
C12	0.0439	0.0441	-0.0002
C14	0.1144	0.1118	0.0026
C15	0.0672	0.0673	-0.0001
C16	0.0842	0.0923	-0.0081
C17	0.1042	0.1027	0.0015
D 2	0.0163	0.0167	-0.0004
D 4	0.0180	0.0180	0
D 6	0.0275	0.0270	0.0005
D 7	0.0154	0.0156	-0.0002
D10	0.0372	0.0375	-0.0003
D12	0.0253	0.0244	0.0009
D13	0.0285	0.0290	-0.0005

表 9. クロムの分析結果

試料名	化学分析値%	X線分析値%	d
CR1	0.261	0.252	0.009
CR2	0.517	0.523	-0.006
CR3	0.707	0.718	-0.011
CR4	0.757	0.760	-0.003
CR5	1.040	1.029	0.011
CR6	0.754	0.755	0.001

表 8. イオウの分析結果

試料名	化学分析値%	X線分析値%	d
C 5	0.1355	0.1362	-0.0007
C 9	0.0166	0.0196	-0.0030
C12	0.0702	0.0688	0.0014
C13	0.0898	0.0868	0.0030
C14	0.0339	0.0404	-0.0065
C15	0.0727	0.0685	0.0042
C16	0.0969	0.0978	-0.0009
C17	0.1049	0.1085	-0.0036
C19	0.0394	0.0400	-0.0006
C20	0.0386	0.0384	0.0002
D 7	0.0096	0.0099	-0.0003
D10	0.0251	0.0254	-0.0003
D11	0.0100	0.0109	-0.0008
D12	0.0148	0.0134	0.0014
D13	0.0164	0.0162	0.0002

表 10. 蛍光 X 線分析の正確度

元素	材質	d	d  max	試料数
Si	FC	0.011	0.031	13
	FCD	0.020	0.028	7
Mn	FC	0.005	0.008	9
	FCD	0.005	0.008	5
P	FC	0.0013	0.0123	13
	FCD	0.0020	0.0042	7
S	FC	0.0020	0.0065	10
	FCD	0.0006	0.0014	5
Cr	FC	0.007	0.011	6

|d| = 化学分析値 - 蛍光 X 線分析値

$$|\bar{d}| = \frac{|d|}{n}$$

Si, Mn, CrはすべてJISの化学分析許容差(対標準試料)の範囲内に入っているが、PのC-5 (d=0.0123%), C-16 (d=-0.0081%), SのC-14 (d=-0.0065%), C-15 (d=0.0042%), C-17 (d=-0.0036%)はJISの化学分析許容差の範囲をこえている。これらの試料につき検討したところ、SのC-14の試料は組織が樹枝状晶(デントライト)組織になっており、組織の影響によるものと判明した。他の試料は、組織はほぼ同じであるが、分析精度を調べたところ、いずれもバラツキが大きく、試料の均一性に問題があると思われる。前述のとおり標準化試料が依頼試験の試験片のためと思われる。

つきに、化学分析法との分析精度の比較を表11に示す。

表 11. 蛍光 X 線分析と化学分析の精度比較

R			Si	Mn	P	S	Cr
	蛍光 X 線分析		0.029	0.005	0.0056	0.0031	0.011
化学分析		0.027	0.012	0.0031	0.0016	0.029	
σ	蛍光 X 線	FC	0.0107	0.021	0.0026	0.0014	0.0047
	分析	FCD	0.0150	0.0017	0.0019	0.0012	-
	化学分析		0.0159	0.0073	0.0022	0.0009	0.019

蛍光 X 線分析は 5 回 ) の分析値より求めた。  
化学分析は 3 回

σは蛍光 X 線分析については 1 試料につき 5 回、化学分析については 3 回分析し、その時の範囲 (R) の平均値である。また、σは R より推定した値である。

この結果から、重元素の Mn, Cr は化学分析法よりも良好であるが、Si は同じ程度、含有量の少ない P, S は少し悪くなっている。この原因は軽元素は蛍光 X 線分析の感度が悪いため、図 2、図 3 の検討の結果からも推察できる。

### 3. 8 くり返し再現精度

単純、研磨、日間のくり返し再現精度を調べるため、それぞれ 10 回くり返し測定した結果を表 12 に示す。

表 12. 蛍光 X 線分析のくり返し再現精度

くり返し回数	Si (2.402%)			Mn (0.483%)			P (0.1638%)			S (0.0386%)			Cr (0.517%)		
	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間
1	2.359	2.407	2.385	0.488	0.487	0.489	0.1620	0.1640	0.1696	0.0381	0.0377	0.0377	0.516	0.515	0.516
2	2.356	2.376	2.361	0.486	0.489	0.487	0.1616	0.1638	0.1601	0.0387	0.0369	0.0369	0.515	0.519	0.515
3	2.357	2.385	2.354	0.488	0.487	0.488	0.1624	0.1650	0.1668	0.0388	0.0384	0.0415	0.515	0.525	0.518
4	2.365	2.373	2.398	0.487	0.490	0.486	0.1611	0.1645	0.1600	0.0383	0.0377	0.0398	0.514	0.524	0.514

くり返し回数	Si (2.402%)			Mn (0.488%)			P (0.1638%)			S (0.0886%)			Cr (0.517%)		
	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間	単純	研磨	日間
5	2.358	2.361	2.425	0.490	0.491	0.489	0.1621	0.1678	0.1625	0.0884	0.0415	0.0410	0.515	0.521	0.515
6	2.355	2.357	2.398	0.488	0.491	0.486	0.1622	0.1649	0.1648	0.0885	0.0406	0.0410	0.515	0.523	0.515
7	2.348	2.358	2.400	0.488	0.489	0.486	0.1616	0.1686	0.1640	0.0882	0.0357	0.0372	0.516	0.525	0.515
8	2.345	2.352	2.399	0.487	0.489	0.486	0.1617	0.1684	0.1691	0.0887	0.0417	0.0406	0.514	0.524	0.515
9	2.344	2.379	2.407	0.489	0.485	0.487	0.1610	0.1688	0.1628	0.0887	0.0406	0.0364	0.515	0.524	0.515
10	2.354	2.359	2.357	0.488	0.488	0.482	0.1604	0.1690	0.1650	0.0880	0.0411	0.0362	0.515	0.522	0.515
平均	2.351	2.371	2.388	0.488	0.489	0.487	0.1616	0.1664	0.1644	0.0884	0.0392	0.0388	0.515	0.522	0.515
R	0.021	0.055	0.071	0.004	0.006	0.007	0.0020	0.0052	0.0096	0.0008	0.0060	0.0052	0.002	0.010	0.002
$\sigma$	0.011	0.017	0.024	0.001	0.002	0.002	0.0006	0.0022	0.0033	0.0003	0.0022	0.0021	0.001	0.003	0.001
CV	0.45	0.71	0.99	0.22	0.39	0.41	0.39	1.32	2.00	0.73	5.61	5.41	0.13	0.61	0.84

R = 最大値 - 最小値

$$\sigma = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}$$

$$CV = \sigma / \bar{X} \times 100 (\%)$$

単純くり返し精度は同一面を短時間で測定するので装置の安定性とみなせるが、いずれの元素も変動係数は小さく良好であった。研磨くり返し精度は、測定面を研磨するので平面の誤差と研磨紙の消耗による粒度の変化などが誤差の要因となる。P、Sの再現性が悪くなっている。これも前述の図2、図3のためと思われる。またSは含有量が特に少ないため変動係数も大きくなった。つぎに日間くり返し精度は、研磨くり返しの誤差にさらに日間による誤差が入るのであるが、Si、Mn、Cr、Sは日間による再現性は良好であったが、Pは良くないことがわかった。

このことから、くり返し再現精度は、Pは研磨、日間の再現精度が悪く、Sは研磨の再現精度が悪いので、分析精度をあげるには、P、Sを測定する場合は分析毎に検量線をチェックする必要があると考えられる。

### 3.9 分析時間

蛍光X線分析法の分析手順は、試料切断→研磨→アルコールで研磨面の洗浄→ホルダーへ装てん→分析装置へセッティング→分析条件の設定→測定(2回くり返し)→含有量算出となり、その他に分析装置のエイジングおよび調整、X線管球の交換の時間が必要である。後者の時間を除外すれば1試料4成分(Si、Mn、P、S)の分析時間は約90分である。

## まとめ

実験の結果をまとめてみると、

- (1) 検量線はねずみ鑄鉄とダクタイル鑄鉄とは別々に作成しなければならない。特にSは組織による影響が大きい。
- (2) Pは研磨および日間の変動が大きいので、測定のために標準化試料で検量線をチェックすれば精度は向上する。
- (3) 化学分析法にくらべ、分析精度は、Mn、Crは蛍光X線分析法が良好で、Siは同じ程度、P、Sは蛍光X線分析法がより劣る。
- (4) 標準化試料に依頼試験片を使用したために一部の試料のP、Sの分析結果にバラッキがみられたが、これは偏析や組織の差によるためと思われる。となり、以上の点に留意して分析すれば蛍光X線分析法による鑄鉄中のSi、Mn、P、S、Crの分析は可能であり、分析時間も大巾に短縮できる。

## 参考文献

- (1) 日本工業規格 JIS G 1212 (Si)、JIS G 1213 (Mn)、JIS G 1214 (P)、JIS G 1215 (S)、JIS G 1217 (Cr)、JIS G 1204、JIS G 1255、JIS Z 8402
- (2) 日本鉄鋼協会 鉄鋼の工業ケイ光X線分析方法
- (3) 築山、岩本：分析化学 16 (1967) 12 P-1291
- (4) 松村、小谷ら：鉄と鋼 58 (1972) 14 P-2049

## 鑄造工場における廃棄物の再利用 について(その2)

主査 辻 久 男  
技師 村 口 明 義

### 1. まえがき

昨年度、鑄造工場の廃砂、特に水ガラス系鑄物廃砂を使用してケイ酸カルシウム水和物(以下、「C、S、H」と云う。)を製造し、このC、S、H、が重金属捕集剤として利用できるかどうかの実験を行なった。その結果、C、S、H、の製造が可能であり、重金属の吸着剤としても使用できることがわかった。しかし、C、S、H、製造の再現性、吸着効果(特に鉛について)、吸着条件などの未解決な点が残された。

そこで、今年度は、これらの問題点についてさらに検討を加えたのでその結果を報告する。

### 2. C、S、H、の製造

水ガラス系廃砂(主成分は $SiO_2$ )と生石灰とを、水を用いて混練し、オートクレーブで数時間高温高圧反応(温度により調節する)させると $XCaO \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O$ (C、S、H、)が生成される。その時の条件としては、 $CaO/SiO_2$ 比(モル比)、反応温度、反応時間があげられ、特にモル比の寄与率が大きいことは昨年報告した。昨年の実験からモル比は0.5前後、反応温度は $200^\circ C$ 前後、反応時間は5hr、以上という最適条件を見出しているが、問題のC、S、H、製造の再現性、重金属(特に鉛)の吸着についてさらにいろいろ検討した。その結果、廃砂と生石灰を水で混練する時の水の量に影響があるのではないかと、即ち、水の量が多いと廃砂と生石灰の比重の相違から2層に分離してしまい、実際のモル比とは違ったモル比の反応が起って、そのために再現性が困難ではないかと、また、C、S、H、の中に生石灰が未反応のまま、消石灰となって存在しており、それを溶液に浸漬した場合、高アルカリ性の溶液となって、鉛などの両性金属は、再溶解するため吸着不十分となったのではないかと。この2点が浮かびあがった。そこでこの2点を考慮してC、S、H、の製造を行ない、重金属(鉛)の吸着実験を行なうことにした。

#### 2. 1 実験

C、S、H、の製造方法および使用した装置、試料等はすべて昨年と同一である。

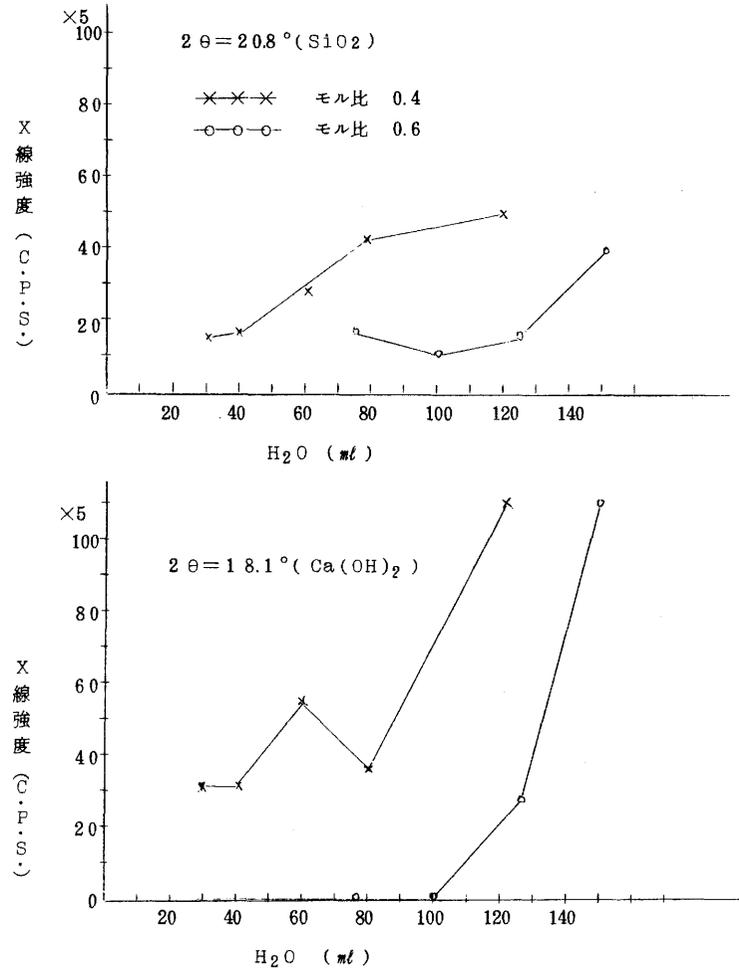
2. 1. 1 廃砂と生石灰とを混練する時の水の量については、混練時の水の量が多いと予想どおり2層に分かれてしまい廃砂と生石灰の反応は、その境界付近でしか起らず底部と上部ではそれぞれ廃砂と消石灰のままで反応していないことがわかった。水の量を変え、表1の条件でC、S、H、を製造し、

生成物をX線回折装置で組成分析し、未反応のケイ砂および消石灰の量を調べた。その結果を図1.に示す。

表 1. 水の量の検討 ( 廃砂 50 g )

No.	モル比	反応温度	反応時間	水の量 ( ml )
1	0.4	200℃	8 hr	30、40、60、80、120、170
2	0.6	240℃	5 hr	75、100、125、150

図1. X線回折結果 ( 水の添加量の影響 )



水を加えて混練していると、モル比0.4の場合は、80 mlから、モル比0.6の場合は、125 mlから廃砂と石灰の分離がはじまった。

一方、図1から、水の量を増すに従ってC、S、H、中のケイ砂と消石灰の量は多くなっており、廃砂と生石灰の分離が進むことが証明された。

そこで水の量は廃砂と生石灰が分離しない程度に加えることに決め各モル比ごとに検討したところ、モル比0.2で50 ml、モル比0.4で75 ml、モル比0.6で100 ml、モル比0.8で130 ml、モル比1.0で160 mlとなり、今後の実験からは、この量を加え混練することにした。

2. 1. 2 C、S、H、製造条件の検討、C、S、H、中に消石灰が残らないようにするため昨年の実験よりモル比を小さくして製造条件を設定した。(表2)

表 2. C、S、Hの製造条件

実験 No.	温度 (℃)	時間 (hr)	モル比 ( 廃砂 50 g )				
			0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	220	5	-	No. 29	No. 30	No. 31	No. 32
2	200	10	No. 36	No. 33	No. 34	No. 35	-
3	180	12	No. 40	No. 37	No. 38	No. 39	-
4	240	5	-	No. 43	No. 44	No. 45	No. 46

(注) 1. 水の添加量   モル比 0.2 → 50 ml  
                           モル比 0.4 → 75 ml  
                           モル比 0.6 → 100 ml  
                           モル比 0.8 → 130 ml  
                           モル比 1.0 → 160 ml

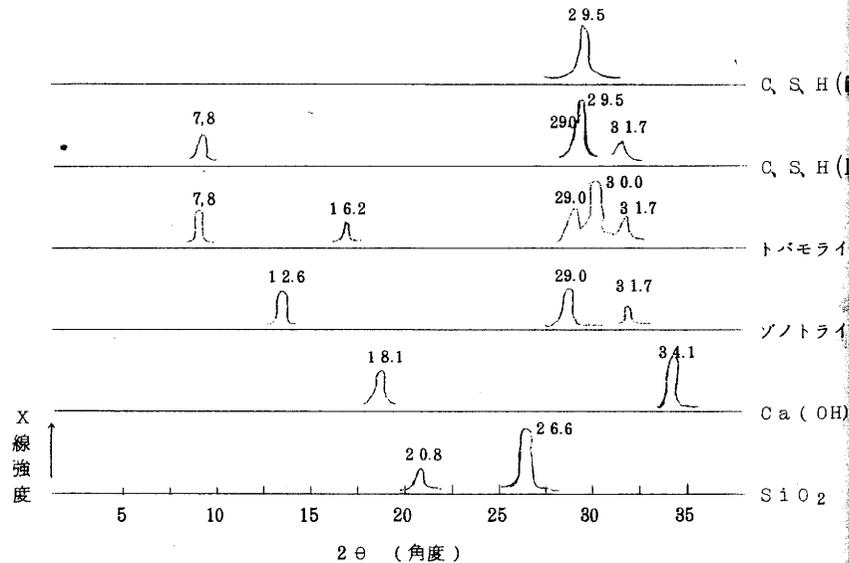
2. No. 29 ~ No. 46は製造番号

製造したC、S、H、をX線回折装置で組成分析した結果を表3に示す。各組成別のX線回折チャート図(模型図)を図2に示す。

表 3. C、S、H の組成解析表 (単位ピーク高さ)

製造番号	温度 (°C)	モル比	X線回折角度 { Cu管球, 40KV-20mA Range 500C, P, S, T, C, 2Sec }						
			7.8	12.7	18.1	20.8	29.0	29.5	30.0
No. 40	180	0.2	17	0	4	57	40	35	16
No. 37	"	0.4	10	0	69	25	24	23	11
No. 38	"	0.6	0	0	57	47	10	12	3
No. 39	"	0.8	0	0	71	3	4	21	4
No. 36	200	0.2	11	0	12	69	29	14	10
No. 33	"	0.4	19	0	3	18	41	9	15
No. 34	"	0.6	11	0	7	30	27	14	14
No. 35	"	0.8	7	0	24	12	20	9	10
No. 29	220	0.4	19	0	0	100<	40	13	16
No. 30	"	0.6	16	0	16	24	37	14	17
No. 31	"	0.8	14	0	11	24	36	18	20
No. 32	"	1.0	9	0	16	17	24	19	11
No. 43	240	0.4	22	0	2	76	43	12	15
No. 44	"	0.6	24	6	0	15	50	10	17
No. 45	"	0.8	21	9	0	10	49	13	16
No. 46	"	1.0	10	0	15	5	22	21	13

図 2. 各組成の X線回折チャート (模型)



C、S、H、は反応温度が高くなるに従いC、S、H、(■)→C、S、H、(I)→トバモライト→ソノトライトと組成変化していく(結晶化が進む)。重金属捕集剤としてはC、S、H、(I)が最もよいといわれている。

表 3 を X線回折の 2θ 角度別に解析すると、図 3~図 8 のようになる。

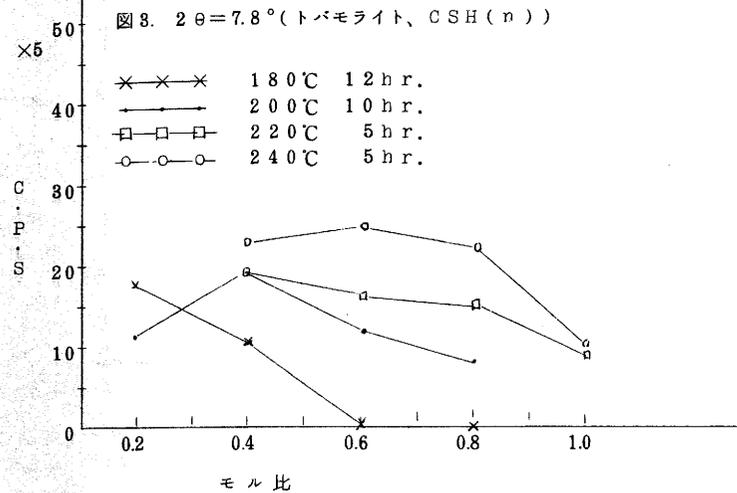
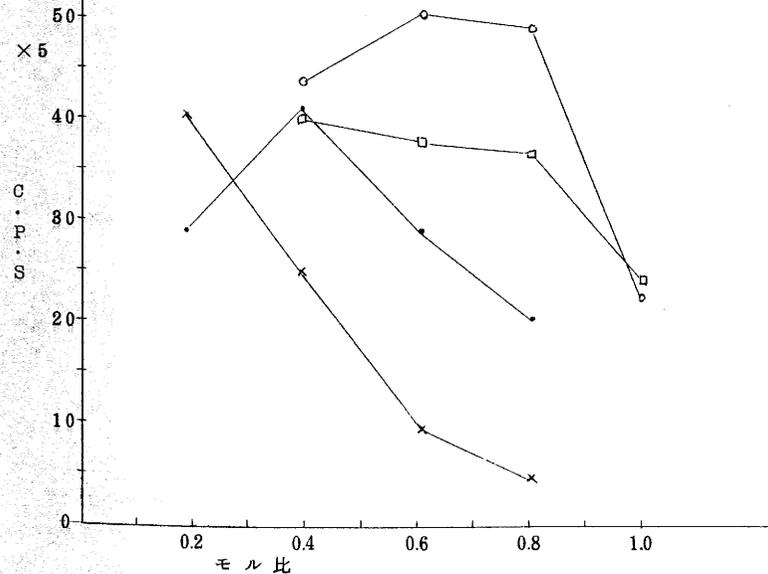
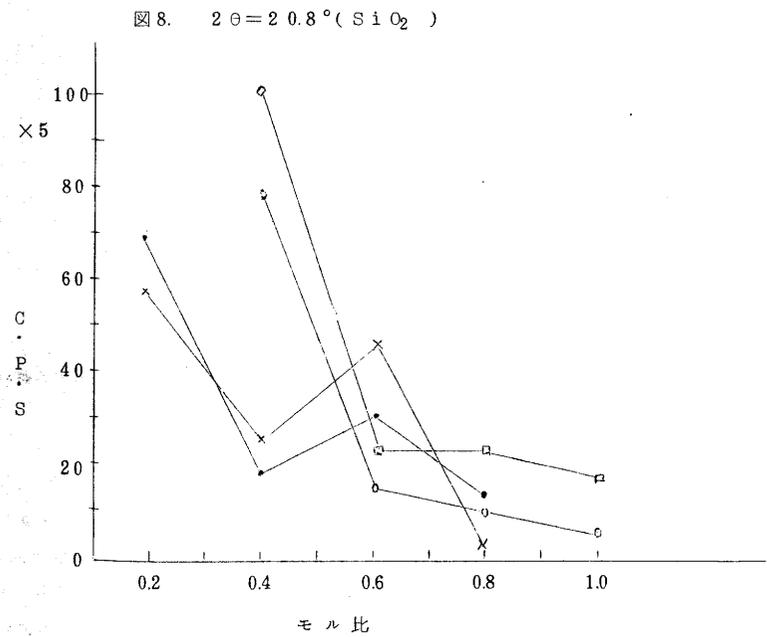
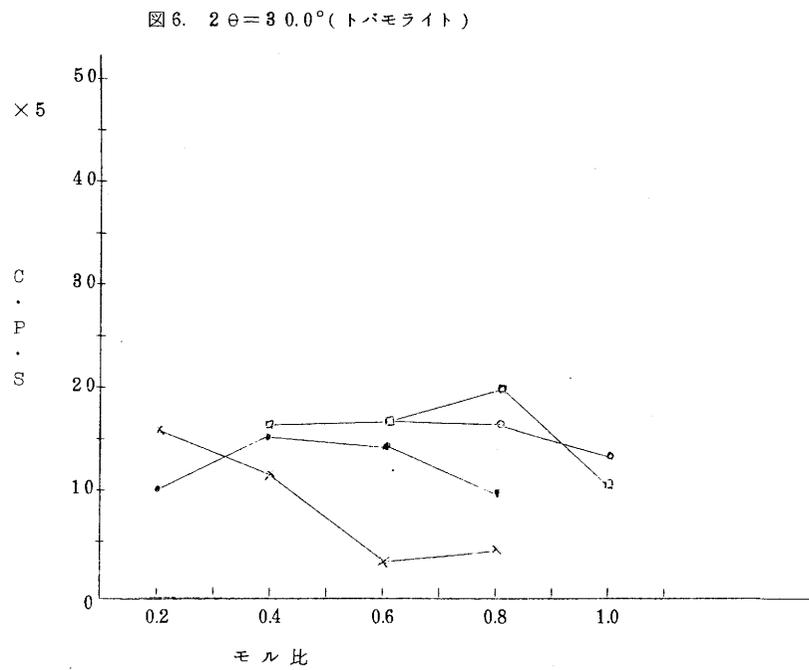
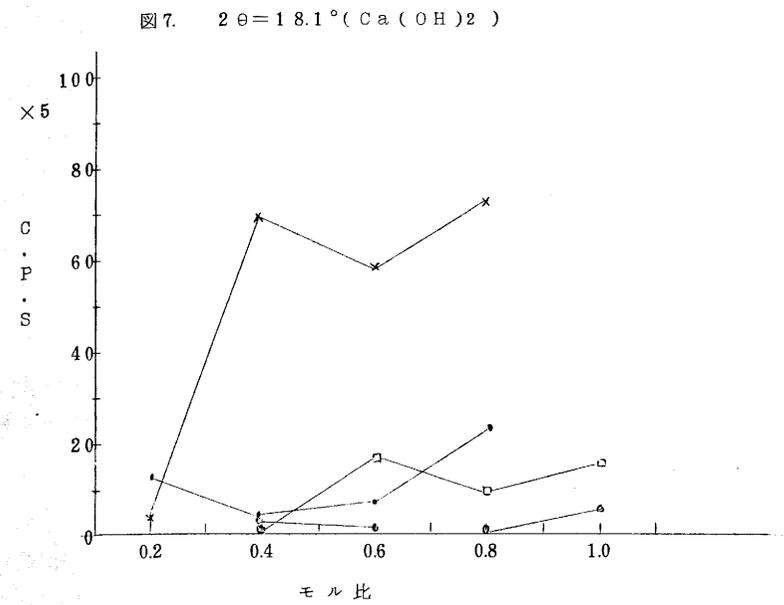
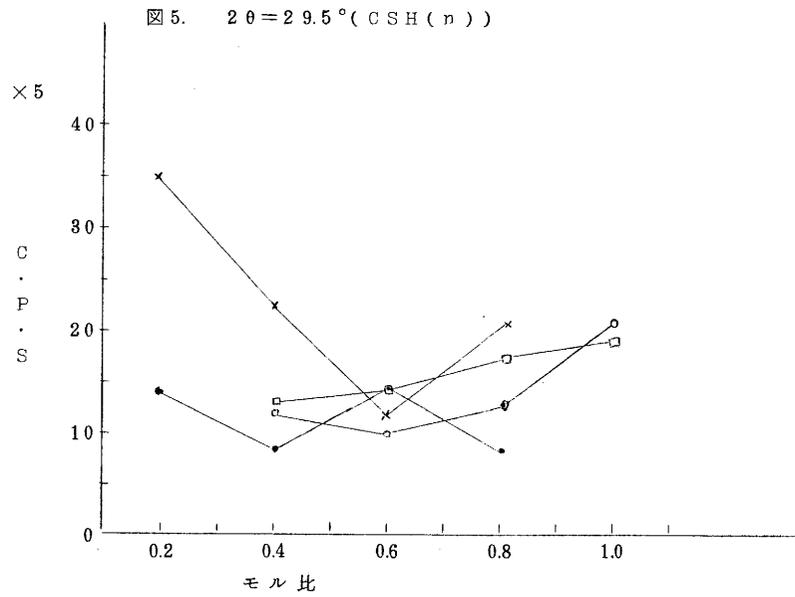


図 4.  $2\theta = 29.0^\circ$  (トバモライト, ソノトライト)





2θ = 29.5°はC、S、H、(n)のピークである。

反応温度180℃のモル比0.2と0.4が高く出ており、他はほとんど同じ高さである。

2θ = 7.8°はトバモライトまたはC、S、H、(n)のピークで重金属集剤としての目安となっているが、このピークがあまり高すぎると結晶化が進んでいることになりよくない。モル比が小さい程、反応温度が高い程、高くなっている。ということは、反応温度の低い180℃ではC、S、H、(n)とトバモライトのピークで、反応温度が高くなるに従ってトバモライト主体のピークにかわっていつているのではないかと考えられる。

2θ = 29.0°は7.8°とはほぼ同一の傾向を示している。

2θ = 18.1°は消石灰のピークで反応温度が低い程、モル比が高い程、高くなる傾向にある。

2θ = 20.8°はケイ砂のピークでモル比が大きい程低くなる傾向にある。

この結果、反応温度が高くなるに従ってC、S、H、(n)→トバモライト→ゾノトライトと結晶性の高い組成のもの製造されていることがわかる。(ゾノトライトは反応温度が240℃の時に少し現われている。)

## 2. 2 考察

以上の結果から、重金属捕集剤として使用できそうなものをあげてみると、残存している消石灰が少なく、C、S、H、(n)とトバモライト組成になっているNo.40(モル比0.2、反応温度180℃)が考えられる。次にトバモライト組成が主体で残存消石灰の少ない、No.36、No.38、No.29、No.30、No.48、No.44、No.45などがあげられる。

これらを反応温度とモル比であらわせば、

反応温度 180℃：モル比 0.2

反応温度 200℃：モル比 0.2、0.4

反応温度 220℃：モル比 0.4、0.6

反応温度 240℃：モル比 0.4、0.6、0.8

となり製造条件の大体の傾向をつかむことができた。

## 3. 重金属の吸着

昨年度は、重金属として銅、鉛、亜鉛、クロム(8価)の吸着実験を行なったが、鉛の吸着が悪かったため、今年度は鉛の吸着について重点的に実験した。

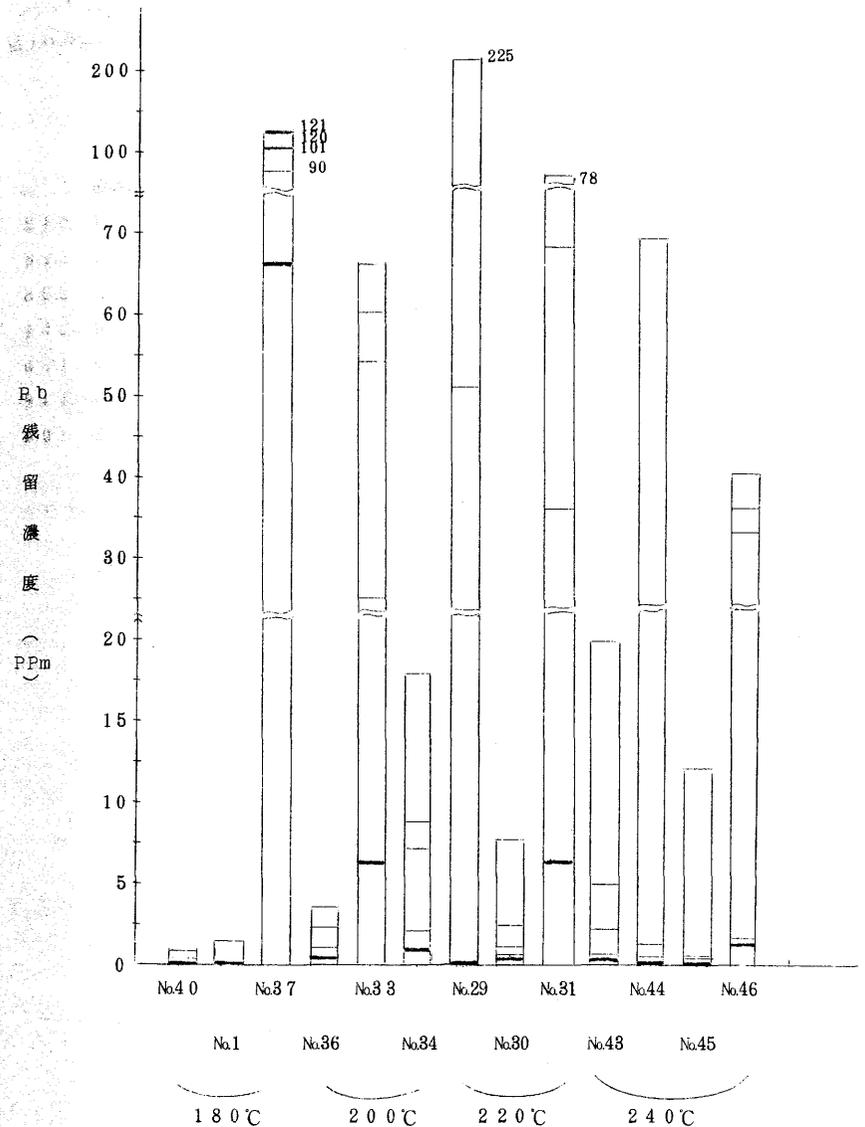
### 3. 1 実験

実験用鉛溶液は硝酸鉛を水に溶解し作成した。

3. 1. 1 各吸着剤による吸着実験 今までに製造した吸着剤5gずつを鉛溶液(2000 PPM)100ml中に浸漬、かく伴する。1昼夜放置後、上澄液をろ過し鉛の残留濃度とPHを測定した。1昼夜放置後での結果があまりよくなかったため比較的吸着のよい吸着剤について、引き続き7日後まで測定することにした。その結果を図9に示す。棒グラフの頂点は、1昼夜放置後の値で、太線で

示した値が7日後の値である。

図9. 各吸着剤の吸着効果



2. 2の考察どおりNo.40が吸着速度、吸着効果ともによかった。また、2.2で予想したものは、7日後にはほとんど痕跡程度になったが、反応温度が高いほど反応速度が遅い傾向にあり、これはトペライトからゾノトライトへと結晶性の高い組成になっているためと思われる。

3. 1. 2. PHの影響 吸着剤の使用条件を検討するためにPHと吸着の関係調べた。

鉛溶液(濃度2000PPm)各100mlに硝酸を添加し、PH1~5の溶液を作成した。そこへ、No.48(モル比0.6、反応温度240℃)を5gずつ浸漬、かく伴する。そして1日後~7日後の上澄液(ろ液)の鉛残留濃度とPHを測定した。その結果を図10、図11に示す。

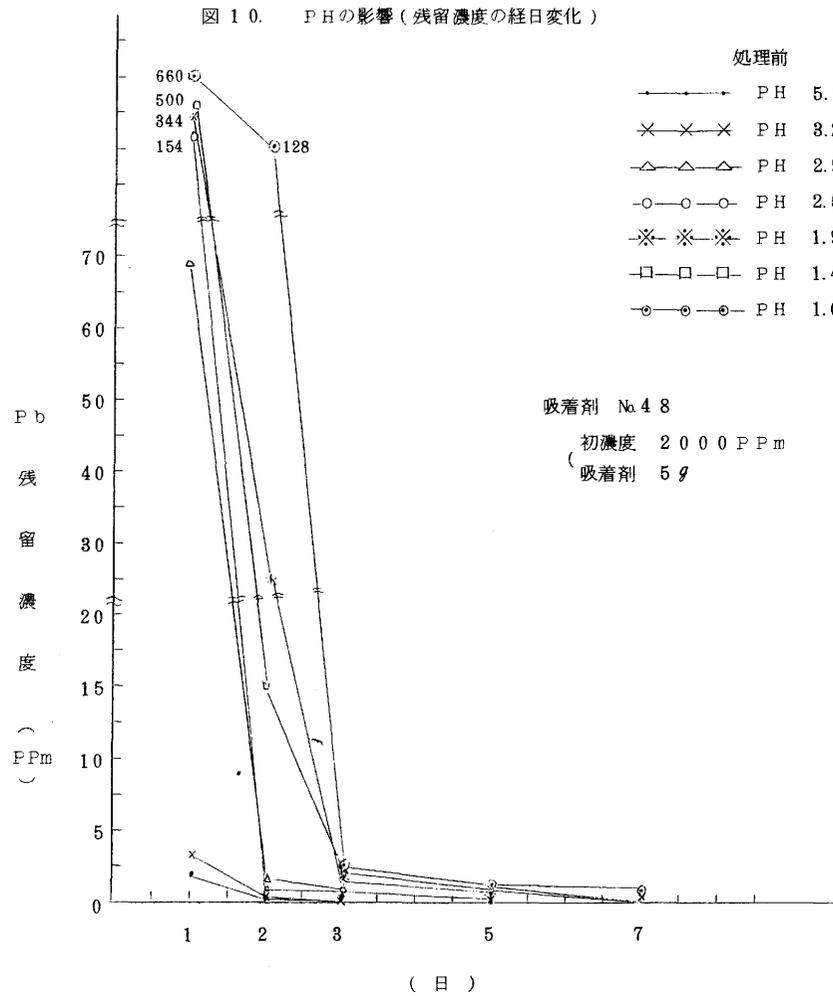
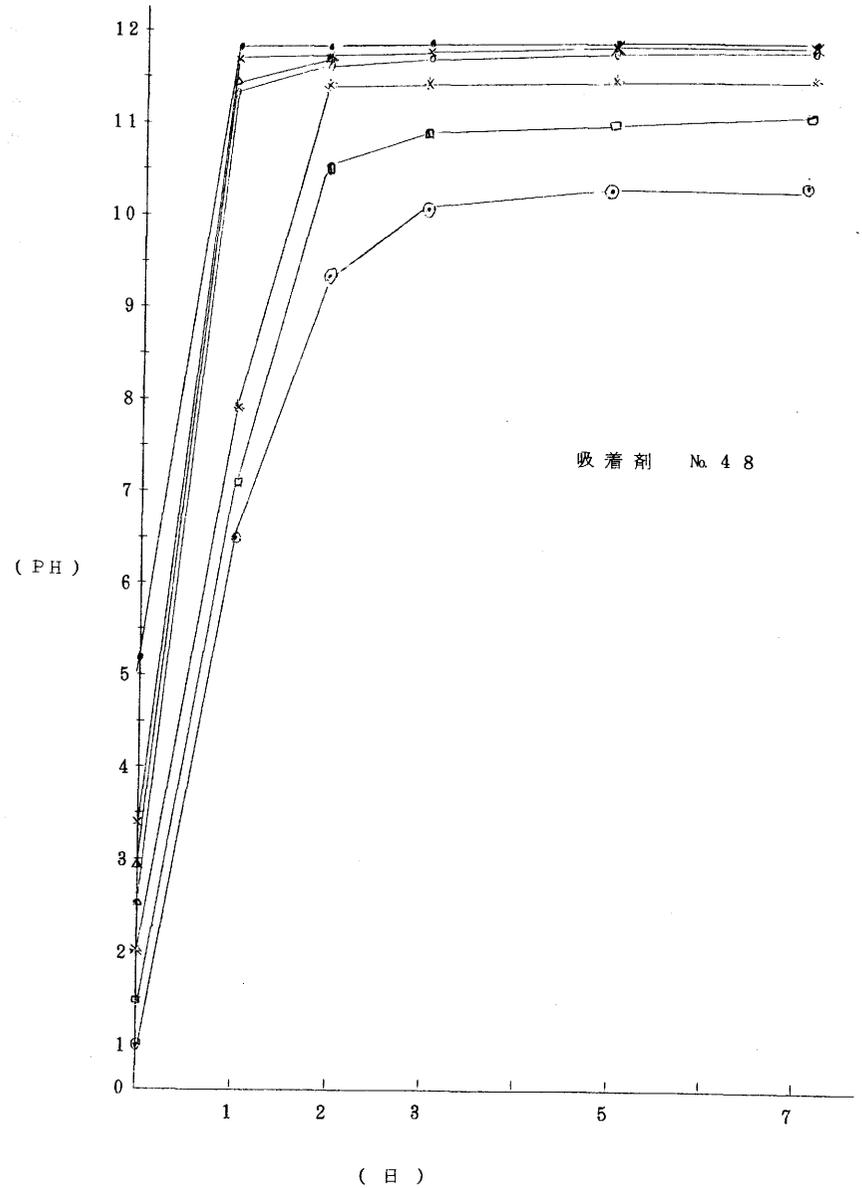
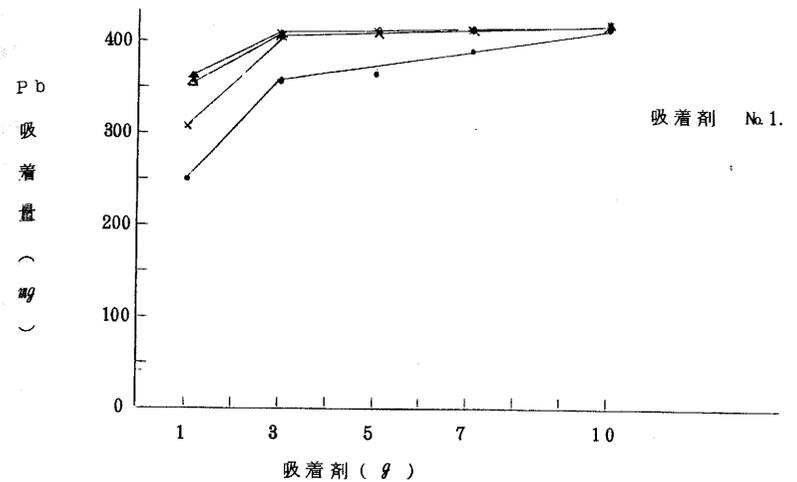
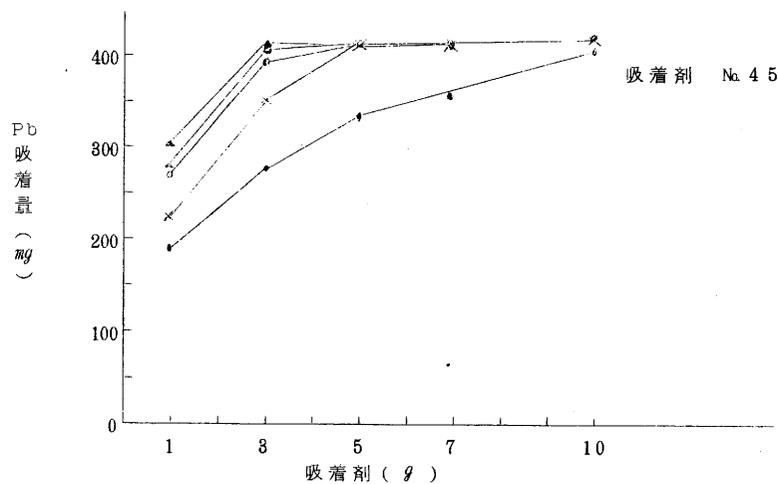
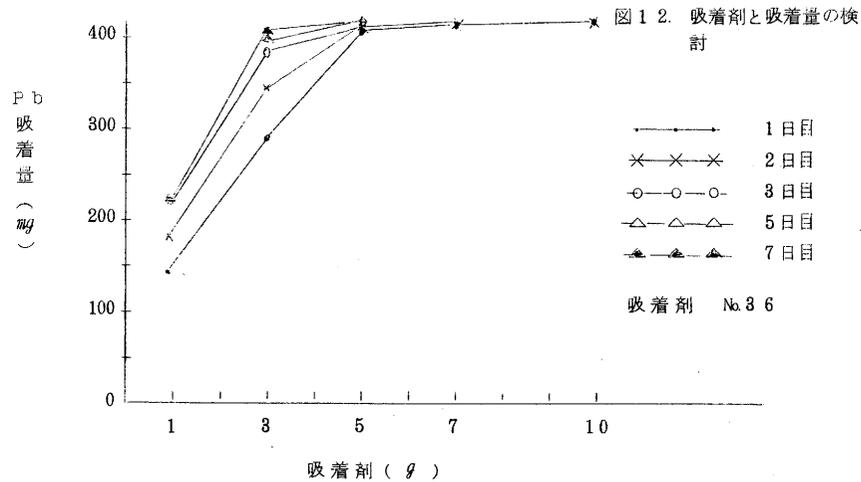


図11. PHの影響(PHの経日変化)



鉛残留濃度は3日後には、どの溶液も2 P P m以下になり、7日後には、処理前のPHが1.04の溶液を除いては痕跡となった。PH、鉛残留濃度ともに処理前のPH 2.5を境に顕著な差が現われている。即ち、鉛残留濃度は2日後にはPH 2.5以上の場合には1 P P m以下になっているが、PH 2.5以下の場合にはまた15 P P m以上である。またPHは処理前のPH 2.5以上の場合には1日後にはほとんど一定のPHに達している。

3. 1. 3 吸着量について Na 3 6、Na 4 5、Na 1 (反応温度180℃、モル比0.3)の各吸着剤をそれぞれ1. 3. 5. 7. 10 gずつばかり、鉛溶液(濃度4080 P P m)100 ml中に浸漬かく伴する。そして1日後～7日後の上澄液(ろ液)の鉛残留濃度とPHを測定しそれぞれの吸着剤の吸着量を調べた。その結果を図12に示す。



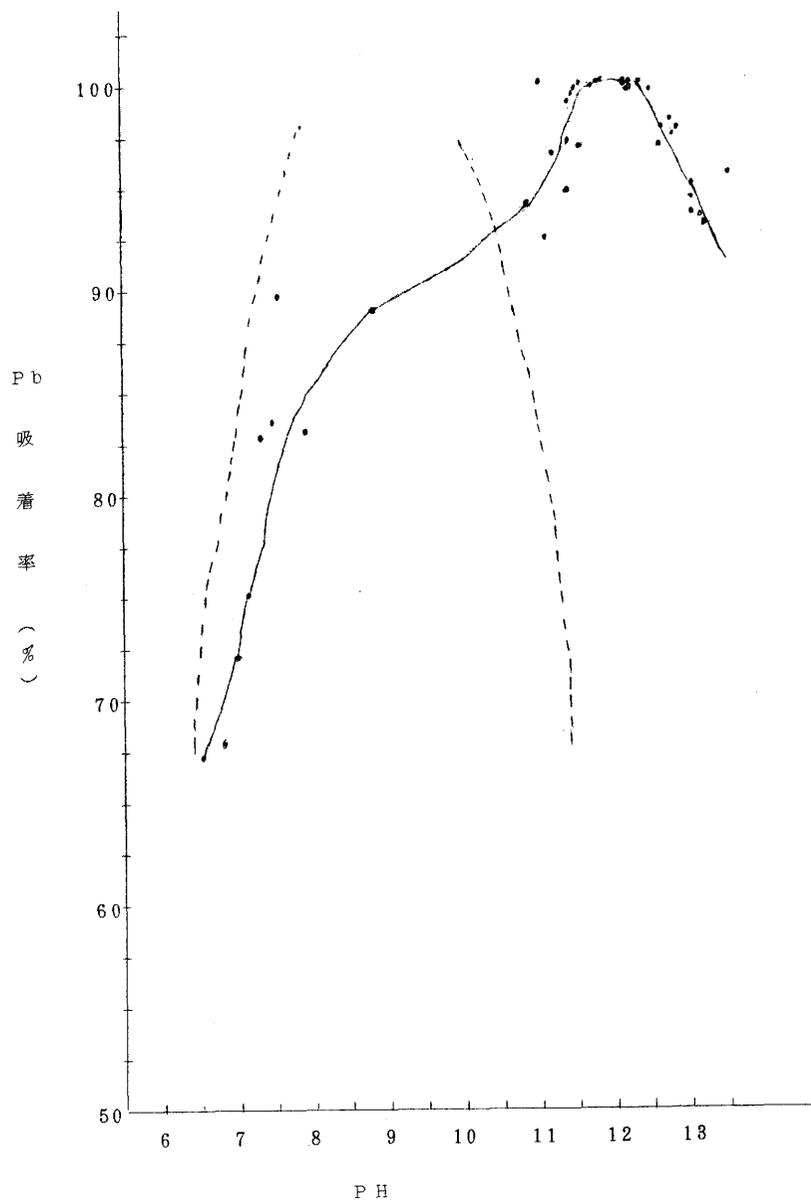
この結果、吸着剤1gで約180mgの鉛を吸着していることがわかった。しかし反応速度が遅いので実際に使用する場合は、バッチ式でなければならない。

### 3. 2 吸着反応について

吸着剤の吸着実験をいろいろ行ってきたが、よく検討してみると吸着効果とPHとの関係が強いため実際に鉛が吸着剤に吸着されているのか、あるいは鉛が水酸化鉛として沈澱し除去されているのか疑問が生じてきた。

図13は今まで吸着実験を行ってきたうち、1日後の鉛の吸着率とPHの関係をプロットして示した結果である。吸着率とPHの関係が深いことがわかる。しかし、鉛の水酸化物沈澱の曲線(図中の点線)とは違うパターンを示していることも確かである。

図 13. PHと吸着効果の関係



そこで鉛を吸着処理した後の吸着剤をX線回折装置で組成分析したところ、処理後の溶液のPHが低い(PH9以下)時の吸着剤は元の吸着剤よりも変化しており(2θ=7.8°、2θ=29.5°のピークがなくなっており、2θ=29.0°、2θ=30.0°のピークは低くなっている。)、しかも水酸化鉛のピークが強くなって現われていた。処理後の溶液のPHがそれよりだんだん高くなるに従って元の吸着剤とほとんど同じ組成になってきており(2θ=7.8°、2θ=29.5°が少し低くなっている程度)水酸化鉛のピークは少ししか現われていなかった。

このことより、処理する溶液のPHが低いと(酸性が強いと)吸着剤は分解してしまい吸着効果がなくなって鉛の除去は水酸化物生成反応のみによるものと云える。

この結果と前述のPHの影響(図10、図11)とから、処理前のPHが2.5以下の場合には、吸着剤が分解されると推察できる。そこで処理前の溶液のPHが2.5以下のときは、それ以上に調整しないといけないことがわかった。

#### 4. ま と め

昭和52年度から53年度にわたり鋳物廃砂と生石灰からC、S、H、を製造し、重金属捕集剤として利用する研究を行ってきた。その結果

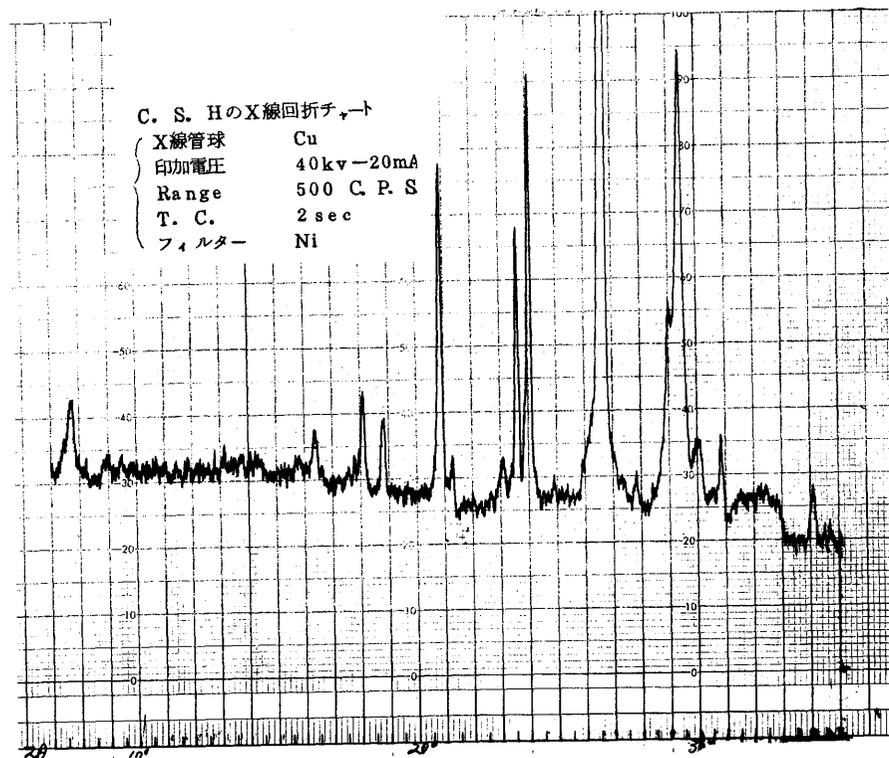
- (1) C、S、H、の再現性は水の量を調節することにより一応解決した。
- (2) また、重金属吸着剤としての効果をあげるためには、C、S、H、中に残存する消石灰の量は少ない方がよい。
- (3) C、S、H、の製造条件としては、モル比が小さく、反応温度は低い方がよい。反応温度が高くなるに従い結晶性の高いトモライト、ゾノライトを生成し吸着反応が遅くなる。
- (4) 処理液のPHは2.5以上に調節すること。
- (5) 製造したC、S、H、の中では反応温度180℃、モル比0.2のものが最も吸着速度は速かったが、それでも痕跡程度の濃度になるまでに2~3日を要する。このため、この吸着剤で重金属を処理しようとする時はバッチ式で処理しないとイケないことが判明した。

このようにピーカ実験ではある程度の成果は得られたが、これを実用化するにはC、S、H、(n)組成のものを作り、反応速度を速くしなければならない。条件を変えて実験を試みたが結局これ以上の成果はえられなかった。これは廃砂の粒度の問題、残留水ガラスの問題、他の添加物質の問題等がからんでいるからと思われる。

#### 参 考 文 献

- (1) 遠山一郎 無機材料による重金属の吸着法 PPM 1976-1 P-33

- (2) 遠山一郎 ケイ酸カルシウムによる重金属含有排水処理 産業公害防止技術、昭和48年度版 P-147
- (3) 総合鋳物センター 水質汚濁と産業廃棄物 その2. 鋳造工場の公害防止対策調査報告書(V) P-40
- (4) 日本工業用水協会 水処理実験法
- (5) 滋賀県立機械金属工業指導所研究報告 昭和49年度、昭和52年度



## バルブの設計改良の研究(内圧によるバルブの歪)について

主査 齊田雄介  
技師 樋口英司

### 1. 研究目的

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。

しかし、バルブの性能に影響する内圧時の歪(変形)については、過去に数社の単発的な測定以外は実測されていない現状である。今回、内圧による歪(変形)の問題を提起した理由は次のとおりである。

- 1-1 ムダなバルブの設計(大きさ、内厚、重量等)が行われていないか。
- 1-2 バルブの形状が内圧に適しているかどうか。
- 1-3 内圧による歪(変形)によりバルブの寿命が短くなっていないか。

このことから、彦根地区で生産されている陸用バルブ、水道用バルブ、船用バルブの内、最も生産量が多く、かつ、メーカーによりバルブの形態が様々なJIS B 2044(鋳鉄 $10 \text{ kgf/cm}^2$ 、フランジ型外ねじ仕切弁)の一部を対象に内圧による歪(変形)を測定し、より適正な設計基準を作成するために以下の研究を行なったのでその結果を報告する。

### 2. 研究機種を選定

JIS B 2044における口径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(変形)の影響によるバルブのクレーム等は発生していないようである。

また、口径200~300mmのバルブは、重量が150~300kg程度あって、その取扱いが困難であるため、過去に内圧による歪(変形)の実験結果がないため、安全率の面から歪(変形)について検討を要すると思われるので、昭和53年度は市内各事業所製の口径250mmのバルブを研究対象に選定した。

### 3. 実験装置

実験装置は図-1のとおりである。ストレンゲージの貼付はすべてバルブの外表面である。10  $\text{kgf/cm}^2$  と 20  $\text{kgf/cm}^2$  の内(水)圧における歪測定後は内圧を0に戻し、歪量の0を確認した。また

実験結果の歪値は全歪量をあらわしている。

なお、実験装置等の仕様、型式は次のとおりである。

- 3-1 抵抗線歪計用10点切換平衡箱  
新興通信工業株式会社 PS 7-ST型
- 3-2 抵抗線歪計  
新興通信工業株式会社 PS 10-AT型
- 3-3 歪計用交流電源  
新興通信工業株式会社 PS 7-ET型
- 3-4 手動式水圧ポンプ  
トレードマークM・T 200K  
圧力計 0~35 $kgf/cm^2$
- 3-5 ストレンゲージ  
ビニールコード付箔歪ゲージ(ゲージ率:公称2.1)の単軸ゲージ(ゲージ長5mm)  
および2軸クロスゲージ(ゲージ長2mm)

## 4. 研究内容

### 4-1 試料別の形状寸法等

研究の対象とした口径250mmのバルブは、JISで主要部の寸法が定められているが、耐圧に影響する要因の一つである弁箱の形状(小判型)については規格化されておらず、各事業所ともマチマチである。

歪の大きさはこの弁箱等の形状の違いにより変化するので各試料のバルブの概略形状を表-1に示す。

これによると、弁体を全開したときの最大は1450mm、最小は1340mmで、その差は110mmである。製品重量も最高220kg、最小182kgで、その差は38kgである。また、表-1によるX、Y、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>の弁箱の首の断面図の形状も、縦リブおよびハチマキによる補強方法も異なっていることがわかる。

なお、弁箱の首の肉厚はJISで最小17mmと規格化されているので肉厚測定は行わなかったが、各事業所のヒアリングから安全を考慮18mm程度にしている。

### 4-2 予備実験

JIS B 2044における口径250mmのバルブの完成品(フリーの状態)の各位置(全部バルブ外表面)にストレンゲージを貼付し、内圧(5、10、15、20 $kgf/cm^2$ )の水圧を加えてそのときのバルブの受ける歪をストレンメーターにより測定した。

ゲージの貼付位置は過去のメーカーの事故品により割れ、亀裂等が発生した箇所を重点的に選定し、その他は任意の位置とした。

ゲージの貼付方向は軸方向よりも円周方向が主応力側と考えられるので単軸ゲージを主応力側になるように多く選んだ。また、主応力が未知の位置については2方向のクロスゲージを使用した。

予備実験では某社のバルブを1個測定した。その結果は表-2、図-2のとおりである。この結果から判断すると、バルブの外表面の引張による歪の大きいところは(52)(53)の位置と(49)(57)(58)(59)等の位置である。逆に、圧縮による歪の大きいところは(34)(36)の位置と(39)(40)(42)(43)(44)(45)(47)(54)の位置であることがわかった。

### 4-3 実験

4-3-1 予備実験から得た資料を基礎にして、歪の大きい箇所(位置)と主応力の方向を選定することを第一に考え、予備実験で測定できなかった箇所と方向についても併せて考え測定の対象とした。

4-3-2 各試料のバルブの形状が表-1のとおり、マチマチで異なっているので測定箇所を同一にすることは難しい。しかし、ある程度、同じ箇所(位置)に決定しておかないと比較検討ができないので、歪の大きいと思われる箇所(位置)等を勘案して最低36箇所に決定し、残りを36箇所の歪を参考にしながら適宜補足測定した。

なお、測定圧力については5 $kgf/cm^2$ 、15 $kgf/cm^2$ は予備実験だけにとどめ、実験では常用圧力である10 $kgf/cm^2$ と耐圧用の圧力である20 $kgf/cm^2$ に限定した。

### 4-4 実験結果

共通(統一)の測定箇所(位置)である36箇所分については図-3、表-3のとおりである。

#### 4-4-1 弁箱の形状と歪の関係

同一の口径の仕切弁では、同じ材質、同じ肉厚の弁箱の場合、丸胴の直径と小判(オーバル)型の長軸が等しい長さとするれば、丸胴型の方が小判型より内圧がかかったとき、変形が少ないし、また、高い圧力に耐えると言われる。

一方、丸胴型の方は面間距離が小判型より長くなる。このために、比較的低下の仕切弁は小判型のものが多く、圧力の高い仕切弁では丸胴型のものが使われているのが実情のようである。

このことから、各試料の小判型の形状と歪との関係を明確に調べる機会であったが、補強を目的としたハチマキ、縦リブの構造の違いから正確な相関関係は得られなかった。ここでは表-4に示したが、あくまで参考値として取扱っていただきたい。

#### 4-4-2 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、

- $\varepsilon_t$  : 円周方向の歪測定値
- $\varepsilon_z$  : 軸方向の歪測定値
- E : 縦弾性係数 (  $1.0 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$  )
- $\nu$  : ポアソン比 ( 0.3 )
- $\sigma_t$  : 円周方向の応力 (  $\text{kg/mm}^2$  )
- $\sigma_z$  : 軸方向の応力 (  $\text{kg/mm}^2$  )
- $\sigma_r$  : 内圧によって受ける応力  
: 内表面の場合は  $-1 \times$  (内圧力)  
: 外表面の場合は 0

(1.1)式から応力計算式は次のごとくなる。

内表面円周方向の応力 (  $\varepsilon_t$  )

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

内表面軸方向の応力 (  $\sigma_z$  )

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

外表面円周方向の応力 (  $\sigma_t'$  )

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

外表面軸方向の応力 (  $\sigma_z'$  )

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

(1.2)

A~Kの試料のバルブの歪測定は主応力の方向と位置の模案に徹し、測定位置をできるだけ多くするため、応力の小さい方向を無視して応力の大きい方向だけの単軸ゲージを採用した。

このため、各試料のバルブは歪の大きさだけの比較だけで応力換算は行わなかった。したがって、バルブにどの程度の応力が発生しているかは某試料の弁箱に限って2軸クロスゲージを採用して求めることとした。

その結果は表-5-1、表-5-2、図-4のとおりで、測定値の歪から応力換算は(1.2)式を使用した。

#### 4-5 弁箱に生ずる応力(理論式)

断面が円形でない円筒について、応力状態を正確に分析する方法は、過去に少数の学者等によって発表されているが、納得のゆく計算式は見当たらない。

ここにいくつかの理論式を紹介するので、今後のバルブの設計に役立てていただきたい。

4-5-1 野原氏によれば、図-5に示すような楕円形容器(楕円筒)に内圧Pが加わった場合、楕円筒に生じる最大応力はB点およびD点において生じ、次のとおりとなる。

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{r \cdot t} \left( 1 + \frac{1}{K} \cdot \frac{t}{2r+t} \right) + \frac{P \cdot a}{100t} \quad (1.8)$$

ここに、

$$R = \frac{\sqrt{a^2 + b^2} \{ \sqrt{a^2 + b^2} + (a-b) \}}{2b}$$

$$r = \frac{\sqrt{a^2 + b^2} \{ \sqrt{a^2 + b^2} - (a-b) \}}{2a}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \theta$$

$$S = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}$$

$$M_{\max} = \frac{P \cdot a^2}{200} - \frac{P}{200S} \left[ R \{ 2R(R-b) + b^2 \} \theta + r \{ 2r(r-a) + a^2 \} \right. \\ \left. \varphi - 2 \{ R^2(R-b) \sin \theta + r^2(r-a) \sin \varphi \} \right]$$

t = 楕円筒の厚さ mm

$$K = -1 + \left( \frac{r}{t} \right) \ln \left\{ \frac{2r+t}{2r-t} \right\}$$

圧力Pの単位は  $\text{kg/cm}^2$ 、r、a、bの単位はmmとする。

各試料の弁箱の形状寸法を(1.3)式に代入して最大応力を算出した。その結果は表-6のとおりである。

4-5-2、H、W、スイフト教授によれば、図-6に示すA点およびB点における最大総応力は、

$$\left. \begin{aligned} f_A &= \pm \frac{3P}{100t^2} (k^2 - a^2) + \frac{P \cdot a}{100t} \\ f_B &= \pm \frac{3P}{100t^2} (k^2 - b^2) + \frac{P \cdot b}{100t} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

で表わされる。

ここに、

$$\left( \begin{aligned} P &= \text{弁箱内の圧力} \quad \text{kg/cm}^2 \\ a &= \text{長軸の半径} \quad \text{mm} \\ b &= \text{短軸の半径} \quad \text{mm} \\ t &= \text{弁箱の肉厚} \quad \text{mm} \\ k &= \text{回転半径} \\ k^2 &= \left\{ \frac{(a+b)}{2} \right\}^2 \quad (\text{完全楕円において } b/a \text{ が大体 } 0.4 \text{ より大きい場合}) \\ k^2 &= \frac{(a+b)^2}{8} \quad (\text{長方形の場合}) \end{aligned} \right)$$

各試料の弁箱の形状寸法を(1.4)式に代入して最大応力を算出した。その結果は表-7-1~表-7-2のとおりである。

4-5-3、P. E. フォスター氏によれば、図-7に示すB点およびQ点における最大応力は

$$\left. \begin{aligned} f_{tB} &= \frac{M_B}{z} + \frac{P \cdot W}{2t} \\ f_{tQ} &= \frac{M_Q}{r(A_1 - A)} \cdot \left( \frac{A_1}{A} - \frac{r}{r-t} \right) + \frac{P \cdot D}{2t} \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

で表わされる。

ここに、

$$\left( \begin{aligned} x &= \text{短軸から任意の点Qまでの垂直距離} \\ y &= \text{長軸} \quad \text{''} \end{aligned} \right)$$

P = 弁箱内の圧力

S = 点Aから点Bまでの壁の中心線上の長さ

r = 壁の中心線までの隅肉半径

a = 壁の中心線まで測った長軸の半分の長さ

b = 壁の中心線まで測った短軸の半分の長さ

Z = 考慮している点における壁の断面の厚さ1インチ当りの断面係数

W = 長方形の幅

A = 壁面に直角に計った壁の厚さ

A<sub>1</sub> = 対角線Zが壁と交わる二点C、C<sub>1</sub>の長さ

$$M_Q = \frac{P}{2} (x^2 + y^2) - \frac{P}{2S} \left[ a^2(b-r) + b^2(a-r) + \frac{(b-r)^3}{3} + \left(a - \frac{r}{3}\right)^3 \right. \\ \left. + \frac{\pi r}{2} \{ (a-r)^2 + (b-r)^2 + r^2 \} + 2r^2(a+b-2r) \right]$$

$$M_B = \frac{P}{2} y^2 - \frac{P}{2S} \left[ a^2(b-r) + b^2(a-r) + \frac{(b-r)^3}{3} + \left(a - \frac{r}{3}\right)^3 \right. \\ \left. + \frac{\pi r}{2} \{ (a-r)^2 + (b-r)^2 + r^2 \} + 2r^2(a+b-2r) \right]$$

D = 弁箱の内縁と交わる線分

P. F. フォスター氏は結局この応力が最大になる点は、一般に長い方の辺の中点または長短両辺の合する部分にあると論じている。さらに、この式からも解明されるが隅肉の半径はできるだけ大きなものを採用すべきと助言している。

各試料の設計図面はノウハウであり、提出願っていないので比較検討は行わなかった。各自、設計図を参考にして図解を併せて用いれば解法は時間的に早い。

4-5-4 木村一夫氏の論法は、彦根地区の地場産業のバルブの弁箱の首(図-8-1、図-8-2)は3個の相異なる円弧にて構成されていることが多いので、この形状についての応力分布を求める手法である。

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<sub>in</sub>、外表面応力をσ<sub>out</sub>で表わすと次のとおりである。

$$\sigma_{1 \text{ in}} = p_0 \left\{ \frac{r_1 + Z_1 (M_{A'} + \alpha_1)}{h} + \frac{(Z_1 \rho_1 - 1) R_4}{h} \cos \theta \right\}$$

$$\sigma_{2 \text{ in}} = p_0 \left\{ \frac{r_2 + Z_2 (M_{A'} + \alpha_2)}{h} - \frac{(Z_2 \rho_2 - 1) R_5}{h} \cos (\theta - \theta_5) \right\}$$

$$\sigma_{3 \text{ in}} = p_0 \left\{ \frac{r_3 + Z_3 (M_{A'} + \alpha_3)}{h} + \frac{(Z_3 \rho_3 - 1) R_6}{h} \cos (\theta - \theta_3) \right\}$$

$$\sigma_{1 \text{ out}} = p_0 \left\{ \frac{r_1 + Z_1' (M_{A'} + \alpha_1)}{h} + \frac{(Z_1' \rho_1 - 1) R_4}{h} \cos \theta \right\}$$

$$\sigma_{2 \text{ out}} = p_0 \left\{ \frac{r_2 + Z_2' (M_{A'} + \alpha_2)}{h} - \frac{(Z_2' \rho_2 - 1) R_5}{h} \cos (\theta - \theta_5) \right\}$$

$$\sigma_{3 \text{ out}} = p_0 \left\{ \frac{r_3 + Z_3' (M_{A'} + \alpha_3)}{h} + \frac{(Z_3' \rho_3 - 1) R_6}{h} \cos (\theta - \theta_3) \right\}$$

(以上の数式の文字については図-8-1、図-8-2、表-8を参照のこと。)

実際の計算手順を表-8に示す。各試料の弁箱の形状寸法を表-8の計算手順に基づいて計算したのが表-9-1、表-9-2のとおりである。

## 5. 考 察

### 5-1 実験からの判断

5-1-1 各試料のバルブの歪の測定結果から歪の一番大きい場所はフランジとハチマキである。これは内圧により、この部分の外表面に応力が移動して生ずる歪であって、内圧による割れに直接関係するものとは考えられない。

5-1-2 各試料のバルブの歪の測定結果(図-3、表-3-1、表-3-2参照)において(5)と(6)の近辺の歪が割合に大きいので一考を要する。

5-1-3 各試料のバルブの歪の測定結果(図-3、表-3-1、表-3-2参照)において(23)から(30)の位置に至る外表面の円周(横)方向の歪はほとんど圧縮歪(内表面は逆に引張歪)である。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。今回の実験では内表面の測定は実施しなかったが、歪の大きさから、この部分に内圧による割れの可能性があることが考えられる。

5-1-4 某試料のバルブの首に限って、図-4のとおり軸(縦)方向と円周(横)方向の2軸(方向)クロスゲージを使用して歪の測定を行った。その結果は表-5-1、表-5-2の

とおりで、この歪分布(中央B点近辺は縦リブがあるので測定困難)から判断すると最大応力は(5)と(6)の近辺に存在していることが認められ、かつ、円周方向の方が軸方向よりも歪が大きく、割れるとすれば、この近辺から軸方向に亀裂が生ずることが考えられる。

因みに、内圧によるバルブ本体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、上記の実験からも理解できるようである。

5-1-5 各試料におけるバルブの歪測定は主応力側(円周方向側)に使用した単軸ゲージにより行ったので、表-3-1、表-3-2、表-4のとおり歪の大きさだけの比較にとどめた。

応力換算は正確には4-4-2の項で説明したとおり、材質のポアソン比の影響を受けるので最低2方向を持つクロスゲージを使用することにより歪を測定しないと算出できないが、目安としては  $\sigma = E \times \epsilon$  ( $\sigma$ : 応力、 $E$ : 材料のヤング率、 $\epsilon$ : 歪量) の式から求められる。

5-1-6 今回の実験においては、バルブの外表面の測定であったが、内圧による割れはバルブの内側から発生すると考えられるので内表面の歪の測定が重要視され、内表面測定技術が今後の課題である。

### 5-2 理論式からの判断

5-2-1 野原氏の楕円型容器の形状にあてはめて各試料のバルブの弁箱の首の最大応力を算出すると、表-6のとおりで図-5のBおよびDのところに存在する。

5-2-2 H. W. スイフト教授の論法にあてはめて各試料のバルブの弁箱の首の最大応力を算出すると、容器の形状が完全楕円と仮定すれば表-7-1のとおりで、図-6から長軸方向の中点に存在する。しかし、容器の形状が長方形と仮定すれば表-7-2のとおりで図-6の短軸方向の中点に最大応力が移動する。

5-2-3 P. F. フォスター氏の論法で図-7の形状に仮定すると、最大応力は図-7のB点またはQ点に存在する。

5-2-4 木村氏の論法にあてはめて各試料のバルブの弁箱の首の応力分布を算出すると表-9-1~表-9-2のとおりで各々の表から最大応力が一目で判断できる。

5-2-5 実際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ことが多いので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とP. F. フォスター氏(計算式から判断できる)も述べておられ、また、木村式論法においても、他の形状を変化せずに、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hに対してh以上であることが結論として云える。

5-2-6 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

ルプ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。

## 6. 結 言

各試料のバルブの歪の測定は同じ条件下で行ったつもりであるが、各々のバルブの補強方法の違いにより、ストレングージの貼付間隔がズレたり、また、11個の試料のバルブを同時に測定したのではなく、1個1個入れかわり当所に持込み測定したので、ストレングージの貼付位置は必ずしも同条件ではない。

従って、たまたま貼付した位置についての歪量であるので、この実測数字を単に比較してバルブの良否を決定することはできない。本論文が各事業所のバルブの設計に役立てれば幸いである。

本論文作成の原因となり、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、適切な御助言をいただいた株式会社伊志ミ製作所の木村一夫氏、岡野バルブ製造㈱の笠原敬史氏、吉田精次氏、平野克己氏に深く感謝します。

また、バルブの積極的な提供と絶えず激励していただいたバルブ各事業主と各担当者に敬意を表します。

### < 参 考 文 献 >

1. (財)総合鋳物センター著；“高温耐圧用鋳鋼品の品質に関する試験研究”
2. G. H. ピアソン著；“弁の設計” 日本弁工業会訳
3. 野原石松著；“压力容器” 共立出版
4. 渡辺 理著；“ひずみゲージとその応用” 日刊工業
5. 木村一夫著；“小判応力分布計算に関する一考察” 社報
6. 土岐五郎著；“制水 弁剛厚強度計算並に撓みに関する一考察”
7. 新興通信工業㈱著；“抵抗線ひずみ計原理と使用法” 社報

### <バルブ提供協力事業所>

㈱相川バルブ製作所	㈱伊志ミ製作所	㈱大鳥製作所
門野バルブ製造㈱	沢村バルブ工業㈱	㈱鈴川機械製作所
太洋工業㈱	中嶋バルブ工業㈱	彦根鋳工㈱
㈱牧村製作所	大和バルブ工業㈱	

図 - 1

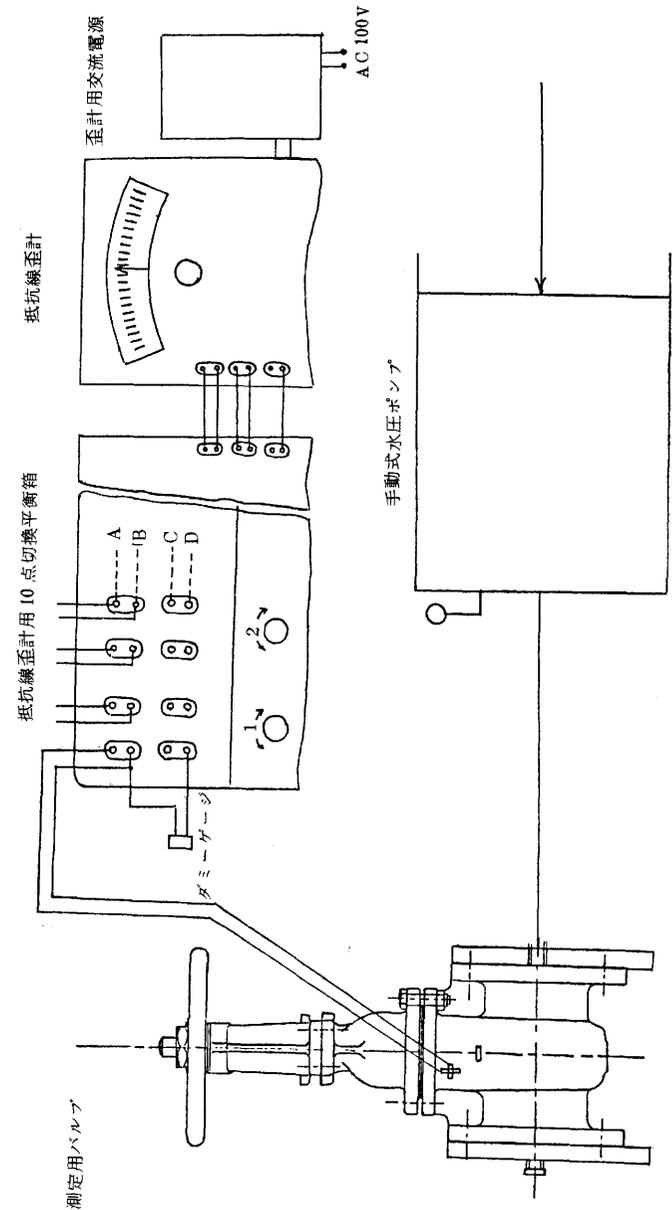
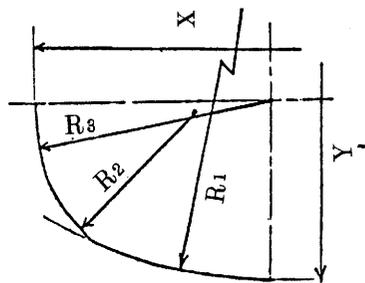


表 - 1

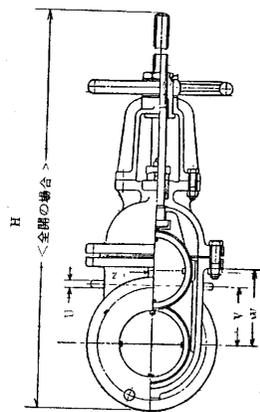
各事業所におけるバルブの形状寸法等

寸法等 試料	X	Y	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	U	V	W	Z	H	完成品 重量
A	318 <sup>標準</sup>	128 <sup>標準</sup>	800 <sup>標準</sup>	12 <sup>標準</sup>	400 <sup>標準</sup>	17 <sup>標準</sup>	215 <sup>標準</sup>	284 <sup>標準</sup>	70 <sup>標準</sup>	1.410 <sup>標準</sup>	196 <sup>kg</sup>
B	310	134	750	20	155	-	-	264	22 80	1.390	195
C	304	124	1500	10	650	テーパー 23.20	205	262	18	1.435	215
D	314	124	1.200	15	360	17	226	287	17 100	1.450	205
E	306	124	1.000	12	400	17	210	274	17	1.410	192
F	328	124	800	12	164	17	210	274	17	1.400	205
G	304	118	700	25	152	19	199	250	17	1.340	185
H	326	128	800	12	163	17	215	284	17	1.405	217
I	312	132	650	18	140	-	-	266	48	1.410	190
J	306	124	1.200	10	153	-	-	274	62	1.405	182
K	305	115	900	18	305	テーパー 15.18	208	300	36	1.385	220
差 (最大値-最小値)										110	38

(注) 弁箱の横断面の形状寸法は内側を記載



<弁箱の横断面の形状>



<バルブ完成品>

図 - 2 ストレンゲージ貼付箇所

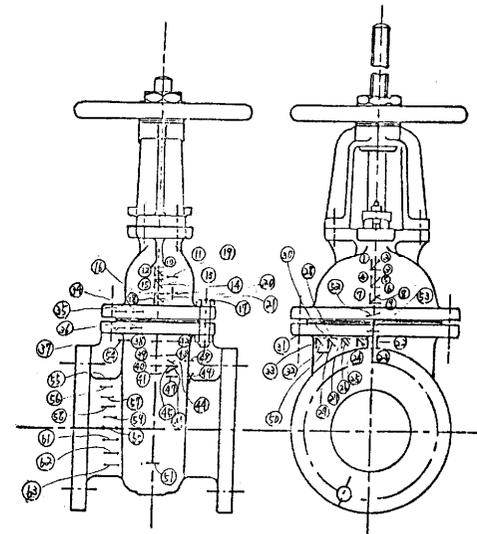


図 - 3 ストレンゲージ貼付箇所

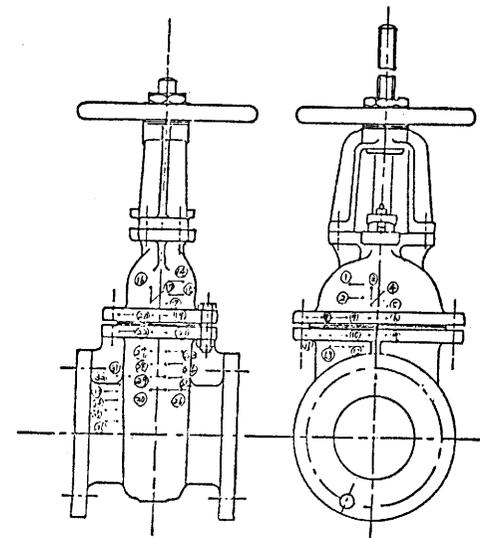


表 - 2 歪 量 測 定 値

測定箇所 圧力	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5 $kg f/cm^2$	0	43	30	32	35	40	48	42	36	-15	-15
10 "	7	170	70	75	80	90	105	98	84	-25	-25
15 "	10	270	114	115	127	148	170	163	148	-37	-36
20 "	10	275	165	158	177	207	229	222	205	-52	-50
測定箇所 圧力	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
5 $kg f/cm^2$	47	24	18	48	31	13	-2	15	1	-66	-15
10 "	95	47	37	93	60	25	-5	25	1	-138	-30
15 "	147	72	55	145	94	40	-3	40	3	-206	-40
20 "	202	97	70	196	127	53	-1	55	5	-262	-55
測定箇所 圧力	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
5 $kg f/cm^2$	73	-7	-4	80	130	-42	-17	19	82	106	66
10 "	150	-11	-15	165	275	-78	-27	47	175	221	134
15 "	190	-26	-32	250	422	-115	-40	70	260	323	201
20 "	260	-33	-48	322	568	-153	-53	96	344	424	263

(単位;  $\times 10^{-6} mm$ )

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
-18	-17	-18	-15	-15	-16	-20	-27	-30	-10	19	16	25
-30	-29	-29	-24	-25	-30	-35	-57	-65	-16	40	33	49
-42	-42	-40	-35	-40	-46	-52	-90	-98	-32	65	46	70
-55	-58	-53	-47	-56	-61	-65	-120	-133	-47	90	60	90
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
-76	-22	-20	-30	-56	-20	-40	-42	-51	-55	-16	-35	-23
-160	-47	-47	-70	-102	-50	-90	-95	-94	-110	-34	-75	-45
-245	-73	-80	-117	-158	-85	-145	-154	-145	-170	-60	-130	-74
-325	-100	-113	-165	-208	-117	-202	-214	-192	-225	-75	-180	-95
60	61	62	63	64	65	66	67					
15	2	-4	5									
32	10	0	20									
52	20	0	35									
67	27	2	47									

表-3-1 歪量測定値

試料	測定箇所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	圧力											
A	10 kg/cm <sup>2</sup>	74	72	184	126	15	224	139	-39	-45	155	-10
	20 "	152	148	360	250	32	447	270	-80	-86	296	-15
B	10 "	65	80	183	122	65	180	130	-14	-40	162	0
	20 "	133	165	355	240	135	355	265	-28	-77	328	5
C	10 "	185	118	125	110	95	275	167	-50	245	185	-35
	20 "	275	245	250	230	200	555	330	-98	495	370	-70
D	10 "	73	40	130	73	35	135	85	-40	185	103	-35
	20 "	153	90	280	180	80	295	177	-75	385	225	-65
E	10 "	64	60	100	80	57	143	103	-16	155	112	-30
	20 "	133	120	215	172	125	300	215	-35	320	237	-65
F	10 "	110	95	160	130	77	250	150	-55	345	135	-70
	20 "	215	190	320	265	155	500	295	-115	690	265	-125
G	10 "	40	70	100	125	80	240	140	-30	220	165	-20
	20 "	95	140	230	250	165	470	265	-50	425	310	-30
H	10 "	80	90	245	180	-15	245	170	-25	-65	150	-15
	20 "	170	180	500	355	-25	508	350	-53	-135	290	-35
I	10 "	100	105	225	168	114	240	160	-25	-25	160	-6
	20 "	220	230	475	355	245	480	320	-50	-53	313	-15
J	10 "	87	85	192	165	85	260	195	-35	-40	220	-50
	20 "	184	183	412	352	198	525	398	-75	-85	440	-95
K	10 "	76	78	125	106	80	224	195	-23	290	228	-27
	20 "	170	172	255	220	170	470	413	-37	577	450	-58



表-4 弁箱の形状と歪の関係

項目 試料	X (mm)	Y (mm)	(X-Y) (mm)	86筒所中の圧縮歪最高値	86筒所中の引張歪最高値	全貼付筒所中の圧縮歪最高値	全貼付筒所中の引張歪最高値	弁箱部分の圧縮歪最高値	弁箱部分の引張歪最高値
A	818	128	190	$-216 \times 10^{-6}$	$447 \times 10^{-6}$	$-260 \times 10^{-6}$	$450 \times 10^{-6}$	$-225 \times 10^{-6}$	$270 \times 10^{-6}$
B	810	134	176	$-245 \times "$	480 × "	-245 × "	480 × "	-145 × "	480 × "
C	804	124	180	$-273 \times "$	555 × "	-295 × "	555 × "	-175 × "	456 × "
D	814	124	190	$-200 \times "$	585 × "	-250 × "	610 × "	-200 × "	610 × "
E	806	124	182	$-220 \times "$	580 × "	-350 × "	580 × "	-245 × "	580 × "
F	828	124	204	$-270 \times "$	712 × "	-380 × "	712 × "	-270 × "	712 × "
G	804	118	186	$-280 \times "$	470 × "	-280 × "	470 × "	-220 × "	415 × "
H	826	128	198	$-240 \times "$	575 × "	-350 × "	575 × "	-210 × "	575 × "
I	812	132	180	$-275 \times "$	480 × "	-275 × "	480 × "	-225 × "	440 × "
J	806	124	182	$-275 \times "$	535 × "	-275 × "	535 × "	-275 × "	535 × "
K	805	115	190	$-278 \times "$	600 × "	-278 × "	682 × "	-255 × "	682 × "

(注) (1) X、Yは表-1の弁箱の首の断面図と同じものである。

(2) この表の歪は内圧20 kgf/cm<sup>2</sup>のものである。

(3) 弁箱部分はフタフランジとの締付部分のフランジおよびハチマキならびに縦リブを除くものである。

(4) (X-Y)の値が小さいほど真円になる。

表 - 5 - 1

(歪単位;  $\times 10^{-6}$  mm)

測定箇所 圧力	1		2		3		4	
	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$
10 kg/cm <sup>2</sup>	75	15	56	20	-20	7	-73	5
20 kg/cm <sup>2</sup>	162	44	117	38	-89	15	-133	10
測定箇所 圧力	5		6		7		8	
	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$	円周方向 $\epsilon_t$	軸方向 $\epsilon_z$
10 kg/cm <sup>2</sup>	-80	5	-90	0	-60	9		
20 kg/cm <sup>2</sup>	-155	10	-182	0	-120	15		

表 - 5 - 2

(応力単位; kg/mm<sup>2</sup>)

測定箇所 圧力	1		2		3		4	
	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$
10 kg/cm <sup>2</sup>	0.87	0.41	0.68	0.40	-0.20	0.01	-0.79	-0.19
20 kg/cm <sup>2</sup>	1.93	1.02	1.41	0.80	-0.38	0.04	-1.43	-0.33
測定箇所 圧力	5		6		7		8	
	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$	円周方向 $\epsilon'_t$	軸方向 $\epsilon'_z$
10 kg/cm <sup>2</sup>	-0.86	-0.21	-0.99	-0.30	-0.63	-0.10		
20 kg/cm <sup>2</sup>	-1.67	-0.40	-2.00	-0.60	-1.27	-0.23		

図 - 4

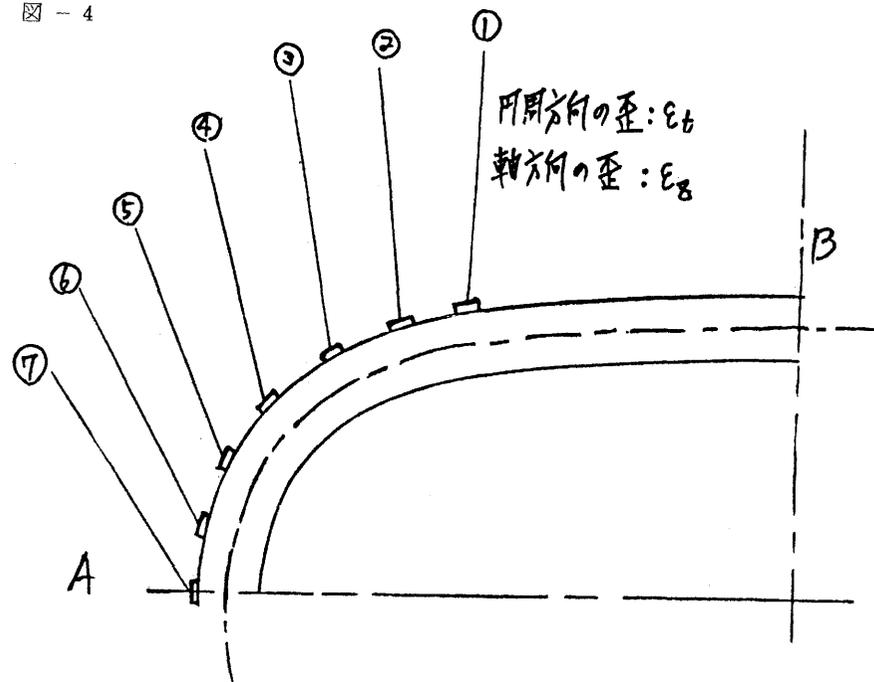


表 - 6 楕円形容器最大応力表

項目	試料	A	B	C	D	E
$a$		168	164	161	166	162
$b$		73	76	71	71	71
$\theta$ rad		0.4103	0.4336	0.4153	0.4044	0.4128
$\varnothing$ rad		1.1605	1.1372	1.1555	1.1664	1.1580
$S$		203.3	200.6	195.5	200.5	196.4
$\mu a^2 / 200$		2,822.40	2,689.60	2,592.10	2,755.60	2,624.40
$\mu / 200s$		0.00049	0.00050	0.00051	0.00050	0.00051
$\sin \theta$		0.3989	0.4202	0.4035	0.3985	0.4012
$\sin \varnothing$		0.9170	0.9075	0.9150	0.9193	0.9160
$R \{ 2R(R-b) + b^2 \} \theta$		28,375,284.6	22,401,025.0	24,047,760.3	28,408,157.2	24,845,799.5
$r \{ 2r(r-a) + a^2 \} \varnothing$		931,636.6	893,457.1	825,760.7	891,774.6	838,984.0
$R \{ 2R(R-b) + b^2 \} \theta + r \{ 2r(r-a) + a^2 \} \varnothing$		29,306,921.2	23,294,482.1	24,873,521.0	29,299,931.8	25,684,783.5
$R^2(R-b) \sin \theta + r(r-a) \sin \varnothing$		13,168,021.4	10,198,047.3	11,164,966.8	13,236,325.7	11,504,453.4
$2 \{ R^2(R-b) \sin \theta + r^2(r-a) \sin \varnothing \}$		26,336,042.8	20,396,094.6	22,329,933.6	26,472,651.4	23,008,906.8
$M_{\max} / r \cdot t$		1.578505	1.345931	1.472189	1.603297	1.492182
$\ln \{ \frac{2r+t}{2r-t} \}$		0.378677	0.355247	0.387760	0.392037	0.388608
$K = -\frac{1}{2} \ln \{ \frac{2r+r}{2r-t} \}$		0.011908546	0.010481458	0.012485677	0.012762466	0.012540384
$\{ 1 + \frac{1}{K} \cdot \frac{t}{2r+t} \}$		14.23570484	15.26347365	13.87186910	13.70616509	13.83868181
$(\sigma_t)_{\max} = \frac{\mu a}{100t}$		1.87	1.82	1.79	1.84	1.80
$(\sigma_b)_{\max}$		22.47	20.54	20.42	21.98	20.65
$\sigma_{\max}$		24.34	22.36	22.21	23.82	22.45

F	G	H	I	J	K
173	161	172	165	162	162
71	68	73	75	71	67
0.3891	0.3993	0.4010	0.4270	0.4128	0.3925
1.1817	1.1715	1.1700	1.1438	1.1580	1.1783
207.6	194.1	207.4	201.3	196.4	194.7
2,992.90	2,592.10	2,958.40	2,722.50	2,624.40	2,624.40
0.00048	0.00052	0.00048	0.00050	0.00051	0.00051
0.3794	0.3888	0.3904	0.4141	0.4012	0.3825
0.9253	0.9213	0.9207	0.9102	0.9160	0.9239
35,646,947.2	26,767,631.3	32,259,900.6	23,938,144.4	24,845,799.5	28,753,126.3
990,477.0	809,711.3	990,449.5	900,366.4	838,984.0	815,654.6
36,637,424.2	27,577,342.6	33,250,350.1	24,838,780.8	25,684,783.5	29,568,780.9
16,767,385.7	12,510,697.6	15,061,582.8	10,963,537.6	11,504,453.4	13,500,285.5
33,534,771.4	25,021,395.2	30,123,165.6	21,927,075.2	23,008,906.8	27,000,571.0
1.819935	1.580343	1.693805	1.404580	1.492182	1.682808
0.397297	0.411094	0.381112	0.363218	0.388608	0.420845
0.013106991	0.014031623	0.012062782	0.010956844	0.012540384	0.014703602
13,507,371.06	13,011,868.89	14,135,527.11	14,898,527.71	13,838,681.81	12,681,219.33
1.92	1.79	1.91	1.83	1.80	1.80
24.58	20.56	23.94	20.98	20.65	21.34
26.50	22.35	25.85	22.76	22.45	23.14

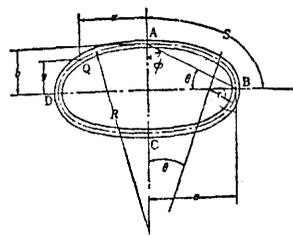


図 - 5 楕円形容器

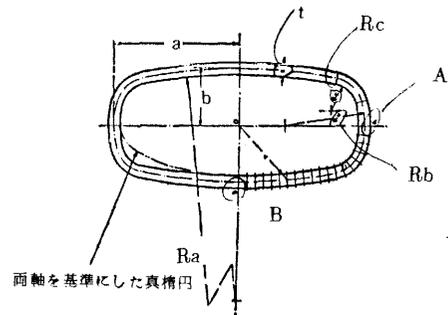


図 - 6 小判型容器

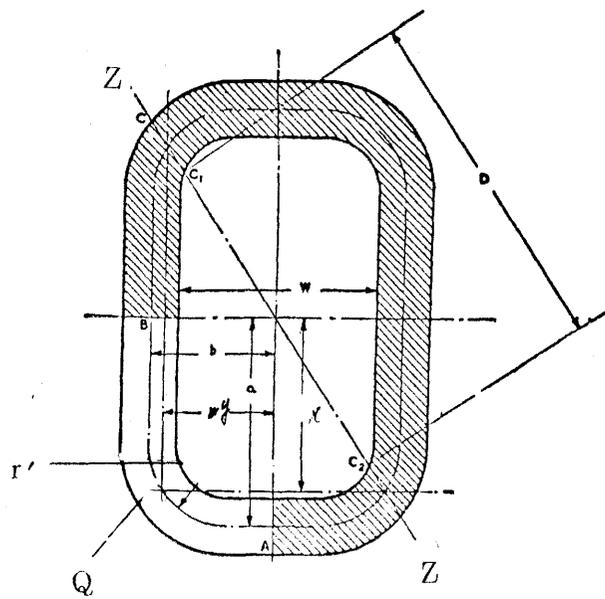


図 - 7 箱型容器

表 - 7 - 1 完全楕円型形状最大応力表

項目 \ 試料	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
$a$	168	164	161	166	162	178	161	172	165	162	162
$b$	73	76	71	71	71	71	68	73	75	71	67
$a'$	28224	26896	25921	27556	26244	29929	25921	29584	27225	26244	26244
$b'$	5329	5776	5041	5041	5041	5041	4624	5329	5625	5041	4489
$b/a$	0.435	0.463	0.441	0.428	0.438	0.410	0.422	0.424	0.455	0.438	0.414
$a + b$	241	240	232	237	233	244	229	245	240	233	229
$k = (a+b)/2$	120.5	120.0	116.0	118.5	116.5	122.0	114.5	122.5	120.0	116.5	114.5
$P \cdot b$	1460	1520	1420	1420	1420	1420	1360	1460	1500	1420	1340
$t$	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
$t^2$	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324
$k^2$	14520.25	14400.00	13456.00	14042.25	13572.25	14884.00	13110.25	15006.25	14400.00	13572.25	13110.25
$k^2 - a'$	-13708.75	-12496.00	-12465.00	-13513.75	-12671.75	-15045.00	-12810.75	-14577.75	-12825.00	-12671.75	-13188.75
$k^2 - b'$	9191.25	8624.00	8415.00	9001.25	7630.75	9843.00	8486.25	9677.25	8775.00	8531.25	8621.25
$f_a = \nu \cdot a / 100t$	1.87	1.82	1.79	1.84	1.80	1.92	1.79	1.91	1.83	1.80	1.80
$\left\{ \frac{3P}{100t^2} \cdot (k^2 - a') \right\}$	-25.38	-23.14	-23.08	-25.03	-23.47	-27.86	-23.72	-27.00	-23.75	-23.47	-24.32
$f_b = \nu \cdot b / 100t$	0.81	0.84	0.79	0.79	0.79	0.79	0.76	0.81	0.83	0.79	0.74
$\left\{ \frac{3P}{100t^2} \cdot (k^2 - b') \right\}$	17.02	15.97	15.58	16.67	14.18	18.23	15.72	17.92	16.25	15.80	15.97
$f_A$ : 圧縮	-23.51	-21.32	-21.29	-23.19	-21.67	-25.94	-21.93	-25.09	-21.92	-21.67	-22.52
$f_A$ : 引張	27.25	24.96	24.87	26.87	25.27	29.78	25.51	28.91	25.58	25.27	26.12
$f_B$ : 圧縮	-16.21	-15.13	-14.79	-15.88	-13.84	-17.44	-14.96	-17.11	-15.42	-15.01	-15.23
$f_B$ : 引張	17.83	16.81	16.37	17.46	14.92	19.02	16.48	18.73	17.08	16.59	16.71

表 - 7 - 2 長方形型形状最大応力表

項目 \ 試料	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
$a$	168	164	161	166	162	173	161	172	165	162	162
$b$	72	76	71	71	71	71	68	73	75	71	67
$a'$	28,224	26,896	25,921	27,556	26,244	29,929	25,921	29,584	27,225	26,244	26,244
$b'$	5,329	5,776	5,041	5,041	5,041	5,041	4,624	5,329	5,625	5,041	4,489
$b/a$	0.435	0.463	0.441	0.428	0.438	0.410	0.422	0.424	0.455	0.438	0.414
$a + b$	241	240	232	237	233	244	229	245	240	233	229
$(a + b)^2$	58,081	57,600	53,824	56,169	54,289	59,536	52,441	60,025	57,600	54,289	52,441
$P \cdot b$	1,460	1,520	1,420	1,420	1,420	1,420	1,360	1,460	1,500	1,420	1,340
$t$	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
$t^2$	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324
$k^2 = \{(a+b)^2/3\}$	19,360.3	19,200.0	17,941.3	18,723.0	18,096.3	19,845.3	17,480.3	20,008.3	19,200.0	18,096.3	17,480.3
$k^2 - a'$	-8,863.7	-7,696.0	-7,979.7	-8,833.0	-8,147.7	-10,083.7	-8,441.0	-9,575.7	-8,025.0	-8,147.7	-8,763.7
$k^2 - b'$	14,081.3	13,424.0	12,900.3	13,682.0	13,055.3	14,804.3	12,856.3	14,679.3	13,575.0	13,055.3	12,991.3
$f_a = P \cdot a / 100t$	1.87	1.82	1.79	1.84	1.80	1.92	1.79	1.91	1.83	1.80	1.80
$f_b = P \cdot b / 100t$	0.81	0.84	0.79	0.79	0.79	0.79	0.76	0.81	0.83	0.79	0.74
$\frac{3P}{100t^2} \cdot (k^2 - a')$	-16.41	-14.25	-14.78	-16.86	-15.09	-18.67	-15.63	-17.73	-14.86	-15.09	-16.23
$\frac{3P}{100t^2} \cdot (k^2 - b')$	25.98	24.86	23.89	25.34	24.18	27.42	23.81	27.18	25.14	24.18	24.06
$f_A$ : 圧縮	-14.54	-12.43	-12.99	-14.52	-13.29	-16.75	-13.84	-15.82	-13.03	-13.29	-14.43
$f_A$ : 引張	18.28	16.07	16.57	18.20	16.89	20.59	17.42	19.64	16.69	16.89	18.03
$f_B$ : 圧縮	-25.17	-24.02	-23.10	-24.55	-23.39	-26.63	-23.05	-26.37	-24.31	-23.39	-23.32
$f_B$ : 引張	26.79	25.70	24.68	26.13	24.97	28.21	24.57	27.99	25.97	24.97	24.80

図 - 8 - 1 3種類の円弧による小判胴基本図

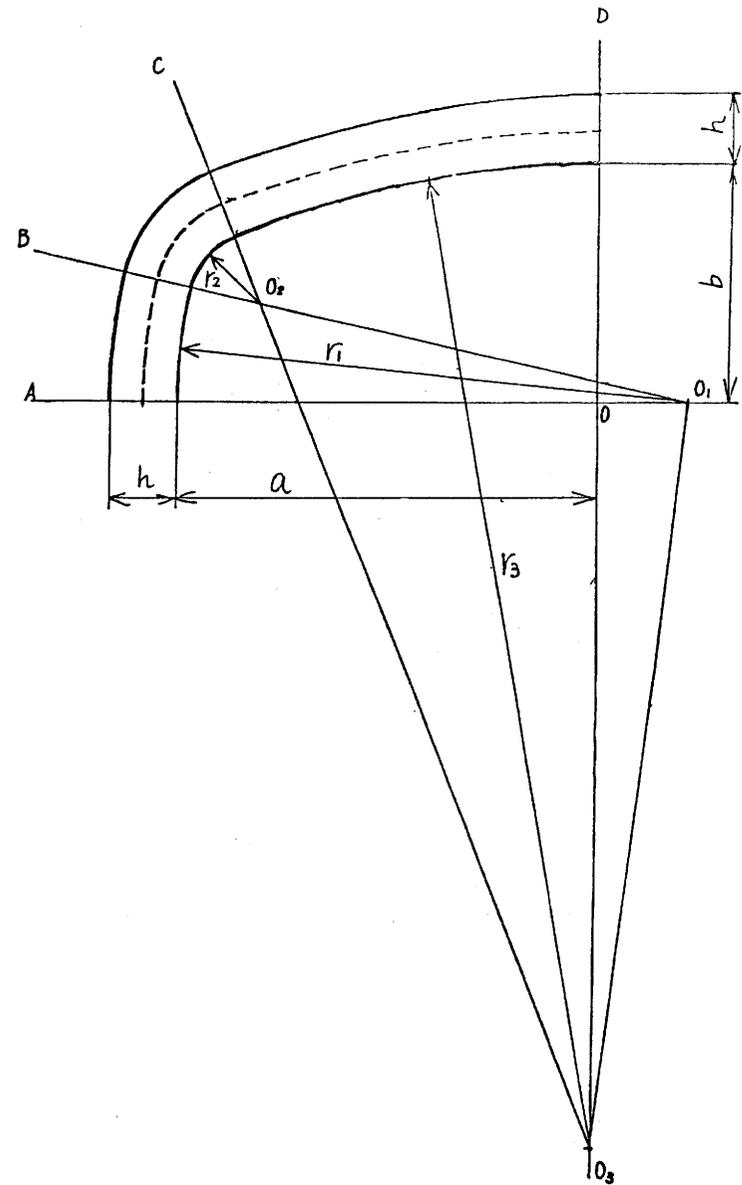


図-8-2 3種類の円弧による小判胴

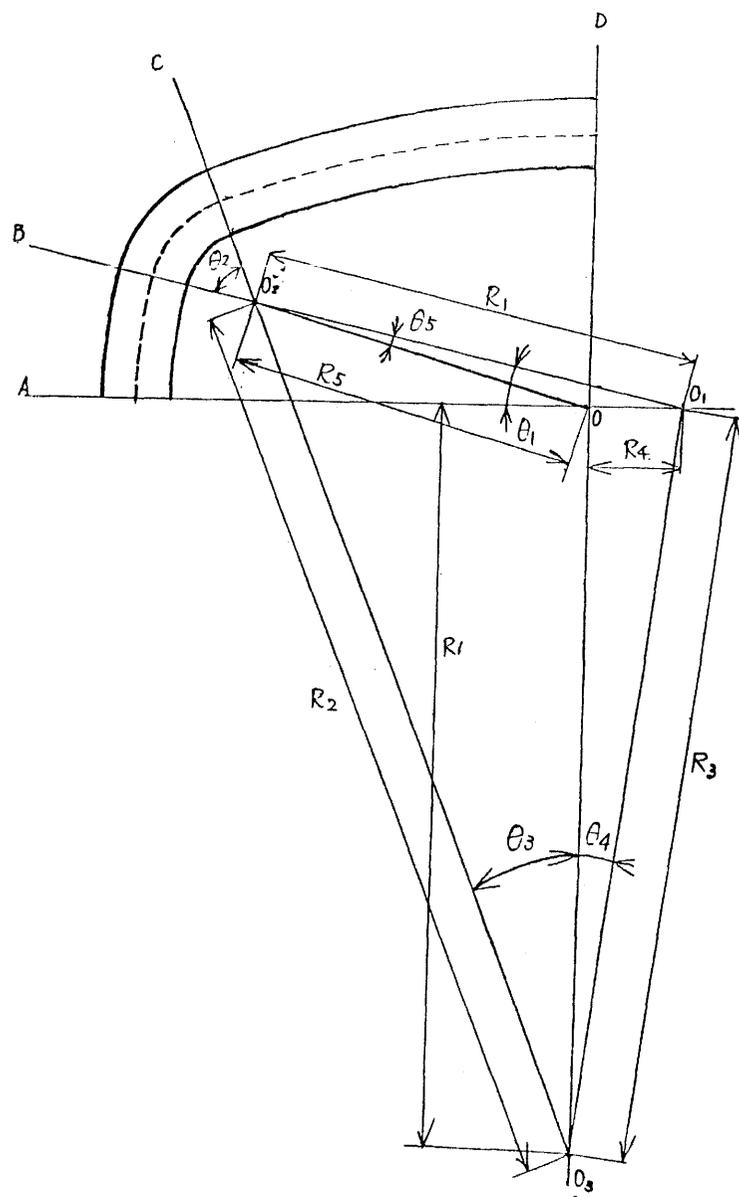


表-8

小判胴表面応力計算表

$r_1$	$r_2$	$r_3$	a	b	h
400mm	12mm	800mm	159mm	64mm	18mm

記号	計算式	数値	記号	計算式	数値
$\rho_1$	$r_1+h/2$	409	$\theta_1$	$\pi/2-\theta_2-\theta_3$	0.09947
$\rho_2$	$r_2+h/2$	21	$\theta_2$	$\cos^{-1} \frac{R_1^2+R_2^2-R_3^2}{2R_1R_2}$	1.28615
$\rho_3$	$r_3+h/2$	809	$\theta_3$	$\cos^{-1} \frac{R_2^2+R_3^2-R_1^2}{2R_2R_3}-\theta_4$	0.18517
$R_1$	$r_1-r_2$	388	$\theta_4$	$\tan^{-1} \frac{R_4}{R_6}$	0.31644
$R_2$	$r_3-r_2$	788	$\theta_5$	$\sin^{-1} \frac{R_4 \sin \theta_1}{R_5}$	0.16012
$R_3$	$\sqrt{R_4^2+R_6^2}$	774.45			
$R_4$	$r_1-a$	241			
$R_5$	$\sqrt{R_1^2+R_4^2-2R_1R_4 \cos \theta_1}$	150.11			
$R_6$	$r_3-b$	736			
	$\sin \theta_1$	0.09930		$\cos \theta_1$	0.99506
	$\sin \theta_2$	0.95976		$\cos \theta_2$	0.28082
	$\sin \theta_3$	0.18411		$\cos \theta_3$	0.98291
$\alpha_1$	$-R_4 \rho_1$	-98569	$\alpha_3$	$R_1^2+a\rho_1-r_3\rho_3$ $+r_2R_2(1-\cos \theta_2)$ $-r_1R_4 \cos \theta_1$ $+r_1R_6 \sin \theta_1$	-583,977
$\alpha_2$	$-R_4 \rho_1+R_1 \rho_2$ $+R_4 R_1 \cos \theta_1$	2,625			
$k_1$	$\frac{\rho_1}{h} \ln \frac{r_1+h}{r_1}-1$	0.00016145	$K_1$	$\frac{\theta_1}{\rho_1} \left(1+\frac{1}{k_1}\right)$	1.50661
$k_2$	$\frac{\rho_2}{h} \ln \frac{r_2+h}{r_2}-1$	0.06900585	$K_2$	$\frac{\theta_2}{\rho_2} \left(1+\frac{1}{k_2}\right)$	0.94878
$k_3$	$\frac{\rho_3}{h} \ln \frac{r_3+h}{r_3}-1$	0.000041257	$K_3$	$\frac{\theta_3}{\rho_3} \left(1+\frac{1}{k_3}\right)$	5.54808
$Z_1$	$\frac{1}{\rho_1} \left(1-\frac{h}{2K_1 r_1}\right)$	-0.33829	$Z_1$	$\frac{1}{\rho_1} \left\{1+\frac{h}{2k_1(r_1+h)}\right\}$	0.32851
$Z_2$	$\frac{1}{\rho_2} \left(1-\frac{h}{2K_2 r_2}\right)$	-0.46994	$Z_2$	$\frac{1}{\rho_2} \left\{1+\frac{h}{2k_2(r_2+h)}\right\}$	0.25464
$Z_3$	$\frac{1}{\rho_3} \left(1-\frac{h}{2K_3 r_3}\right)$	-0.33582	$Z_3$	$\frac{1}{\rho_3} \left\{1+\frac{h}{2k_3(r_3+h)}\right\}$	0.33088

記号	計算式	数値	記号	計算式	数値
T	$K_1+K_2+K_3$	8.00347	V	$(1/k_1-1/k_2) R_4 \sin \theta_1$ $+ \left(\frac{1}{k_3}-\frac{1}{k_2}\right)$ $(R_1 \sin \theta_2-R_4 \cos \theta_3)$	3,430,349.99
S	$r_1 \theta_1+r_2 \theta_2+r_3 \theta_3$	203,358			
U	$K_1 \alpha_1+K_2 \alpha_2+K_3 \alpha_3$	-3,385,960.06	MA'	$-\frac{S+U+V}{T}$	-5,571.74
$f_1$	$\frac{r_1+Z_1(MA'+\alpha_1)}{h}$	1,979.43	$f_1'$	$\frac{r_1+Z_1'(MA'+\alpha_1)}{h}$	-1,878.40
$f_2$	$\frac{r_2+Z_2(MA'+\alpha_2)}{h}$	77.60	$f_2'$	$\frac{r_2+Z_2'(MA'+\alpha_2)}{h}$	-41.02
$f_3$	$\frac{r_3+Z_3(MA'+\alpha_3)}{h}$	11,043.44	$f_3'$	$\frac{r_3+Z_3'(MA'+\alpha_3)}{h}$	-10,792.75
$g_1$	$\frac{(Z_1 \rho_1-1) R_4}{h}$	-1,865.88	$g_1'$	$\frac{(Z_1' \rho_1-1) R_4}{h}$	1,785.55
$g_2$	$-\frac{(Z_2 \rho_2-1) R_5}{h}$	90.64	$g_2'$	$-\frac{(Z_2' \rho_2-1) R_5}{h}$	-36.26
$g_3$	$\frac{(Z_3 \rho_3-1) R_6}{h}$	-11,149.52	$g_3'$	$\frac{(Z_3' \rho_3-1) R_6}{h}$	10,904.32

	区間	記号	計算式	応力分布式
肉厚内表面	A-B間	$\sigma_1$ in	$P_0 [f_1+g_1 \cos \theta]$	$P_0 (1979-1,866 \cos \theta)$ $[0 \leq \theta \leq \theta_1]$
	B-C間	$\sigma_2$ in	$P_0 [f_2+g_2 \cos (\theta-\theta_3)]$	$P_0 \{78+91 \cos (\theta-\theta_3)\}$ $[0 \leq \theta \leq \theta_2]$
	C-D間	$\sigma_3$ in	$P_0 [f_3+g_3 \cos (\theta-\theta_3)]$	$P_0 \{11,043-11,150 \cos (\theta-\theta_3)\}$ $[0 \leq \theta \leq \theta_3]$
肉厚外表面	A-B間	$\sigma_1$ out	$P_0 [f_1'+g_1' \cos \theta]$	$P_0 (-1878+1,786 \cos \theta)$ $[0 \leq \theta \leq \theta_1]$
	B-C間	$\sigma_2$ out	$P_0 [f_2'+g_2' \cos (\theta-\theta_3)]$	$P_0 \{-41-36 \cos (\theta-\theta_3)\}$ $[0 \leq \theta \leq \theta_2]$
	C-D間	$\sigma_3$ out	$P_0 [f_3'+g_3' \cos (\theta-\theta_3)]$	$P_0 \{-10,793+10,904 \cos (\theta-\theta_3)\}$ $[0 \leq \theta \leq \theta_3]$

表 - 9 - 1 小判胴表面应力分布表

項目		試料	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
小判胴形状		$r_1$ (mm)	400	155	650	360	400	164	152	163	140	153	305
		$r_2$	12	20	10	15	12	12	25	12	18	10	18
		$r_3$	800	750	1500	1200	1000	800	700	800	650	1200	900
		a	159	155	152	157	158	164	152	163	156	153	152.5
		b	64	67	62	62	62	62	59	64	66	62	57.5
		h	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
内 圧 力		(kg/cm <sup>2</sup> )	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
小判胴外表面应力 $\sigma_{out}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$	0	-18.60	-16.74	-15.75	-17.86	-16.59	-20.96	-17.96	-20.06	-17.59	-16.54	-18.05
		$\frac{1}{2} \theta_1$	-19.06	-16.74	-16.60	-18.30	-17.10	-20.96	-17.96	-20.06	-17.50	-16.54	-18.29
		$\theta_1$	-20.38	-16.74	-18.89	-19.60	-18.57	-20.96	-17.96	-20.06	-17.26	-16.54	-18.96
	$\sigma_2$	0	-14.68	-14.01	-12.71	-15.01	-13.47	-16.19	-15.54	-15.48	-14.27	-12.35	-15.05
		$\frac{1}{2} \theta_2$	-15.35	-12.40	-13.69	-14.96	-13.90	-15.02	-13.40	-14.35	-12.64	-11.41	-14.78
		$\theta_2$	-13.16	- 8.06	-11.81	-11.42	-11.46	-11.89	- 7.73	-11.31	- 8.75	- 8.91	-10.80
	$\sigma_3$	0	-14.97	-10.05	-14.26	-13.17	-13.40	-15.87	- 9.40	-15.10	-11.26	-12.58	-11.97
		$\frac{1}{5} \theta_3$	- 1.68	1.01	- 1.40	- 0.41	- 0.94	- 1.89	1.09	- 1.60	0.05	- 0.32	- 0.32
		$\frac{2}{5} \theta_3$	8.76	9.60	8.24	9.28	8.74	9.02	9.10	9.07	8.97	8.86	8.77
		$\frac{3}{5} \theta_3$	16.17	15.71	15.48	16.43	15.66	16.67	14.93	16.69	15.33	15.49	15.30
		$\frac{4}{5} \theta_3$	20.75	19.34	20.30	21.02	19.82	21.25	18.43	21.27	19.15	19.58	19.28
		$\theta_3$	22.27	20.68	21.91	22.55	21.20	23.00	19.60	22.79	20.57	21.11	20.70

表 - 9 - 2 小判胴表面応力分布表

項目		試料												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
小判胴形状 $r_1$ (mm)		400	155	650	360	400	164	152	163	140	153	305		
$r_2$		12	20	10	15	12	12	25	12	18	10	18		
$r_3$		800	750	1500	1200	1000	800	700	800	650	1200	900		
a		159	155	152	157	153	164	152	163	156	153	152.5		
b		64	67	62	62	62	62	59	64	66	62	57.5		
h		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		
内 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
小判胴内表面応力 $\sigma_{in}$ (kg/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_1$	0	22.74	21.58	19.45	22.00	20.54	26.25	22.86	25.27	22.68	21.85	22.21
			$\frac{1}{2} \theta$	23.22	21.58	20.32	22.45	21.07	26.25	22.86	25.27	22.58	21.35	22.46
			$\theta_1$	24.60	21.58	22.68	23.82	22.60	26.25	22.86	25.27	22.31	21.35	23.18
		$\sigma_2$	0	31.72	25.87	29.72	29.99	29.41	35.06	26.44	33.73	27.14	29.69	28.19
			$\frac{1}{2} \theta_2$	33.38	22.81	32.48	29.87	30.49	32.14	22.75	30.90	23.88	27.07	27.65
			$\theta_2$	27.92	14.57	27.23	22.08	24.38	24.32	13.00	23.31	16.10	20.06	19.70
		$\sigma_3$	0	16.91	11.96	15.91	14.87	15.16	17.79	11.13	17.05	13.24	14.26	13.63
			$\frac{1}{5} \theta_3$	3.32	0.62	2.89	1.91	2.47	3.50	0.36	3.24	1.61	1.82	1.75
			$\frac{2}{5} \theta_3$	-7.36	-8.17	-6.87	-7.92	-7.38	-7.66	-7.84	-7.67	-7.54	-7.50	-7.52
			$\frac{3}{5} \theta_3$	-14.93	-14.42	-14.19	-15.18	-14.43	-15.48	-13.82	-15.46	-14.09	-14.24	-14.18
			$\frac{4}{5} \theta_3$	-19.61	-18.14	-19.08	-19.84	-18.66	-20.17	-17.42	-20.14	-18.01	-18.38	-18.24
			$\theta_3$	-21.17	-19.51	-20.70	-21.40	-20.07	-21.96	-18.61	-21.70	-19.47	-19.94	-19.69
		$\sigma_2$	$0 \leq \theta_{max} < \frac{\theta_2}{2}$	33.66	25.87	32.59	30.98	30.97	35.06	26.44	33.73	27.14	29.69	28.97

