

マレブルの機械的性質に及ぼす鑄造条件の効果

The Relationship between Malleable's Mechanical Properties and Casting Conditions

榊 原 広*
Hiroshi Sakakibara

内 容 梗 概

従来、材質とその機械的性質との間の関係は、種々の規格などで定められているが、これは主として材質の面についてのものである。とくに鑄造される材料については、その鑄造条件について影響があることがわかっていても、それがあまり明確にされていないので、ここではマレブルについて検討を加える。したがって、試験片の形状、鑄造条件、試験条件を変えた場合にどのようなになるかを調べた。

1. 緒 言

工業用の各種の材料にはそれぞれ種々の工業規格があって、これを満たすことが要求されている。鑄造される材料についても上記の範囲からはずれものではない。材料はすべて機械部品として、主として、その機械的性質に重きをおいて利用されるもので、工業規格でも、材質とその機械的性質との対応関係を主体としている。しかし、材料の機械的性質は、その材質によって規定されるとともに、その材料の製造条件によって支配されることも従来明らかにされている。

ここでは、工業規格との対応をも加味して、マレブルについての試験片を対象とし、その形状、製造条件、試験条件を変えて、その機械的性質がどのようなになるかを調べ、実際の機械設計、いいかえれば材料の十分な利用に対して考慮すべき点を明らかにする。

2. 実験にとりあげる因子

この実験では、大別して、因子としては、試験片の形状、製造条件、試験条件の三つをとり上げた。

2.1 試験片の形状

本来は1に記した考えからすればマレブル鑄物からとった実体試験片をとるべきであろうが、従来用いられてきた JIS を始めとする諸規格との対応関係をもとにするために、ここでは試験片を取り上げることにし、とくに引張試験片を対象とする。また引張試験片の形状のうち、引張強度に影響すると考えられるのは、ゲージ長さとする平行部の寸法であるから、これを直径と長さにとり分けて考える。その際これらの両寸法は、適宜決定してよいものであるが、上記のように、現在存在する諸規格の中の寸法を取り入れるようにする。これは近來、マレブル鑄物においても、その材料としての仕様に JIS 以外のものが要求されることが多い(とくに輸出品)ことにもよっている。すなわち、同一材質、同一製造法によっても、試験片の形状、いいかえるとよるべき規格によってはどのように機械的特性値が変るかを、ここにおいて明らかにしたい。

ここではマレブルに関する JIS, ASTM, DIN, BS の4種の規格を検討した。

JIS については JIS G5702(1960) による。

ASTM については ASTM A-197(1947) による。

DIN については DIN 50149 (1951) による。

BS については BS 310(1958)による。

以上の4規格を考慮して、つぎのように水準を定める。

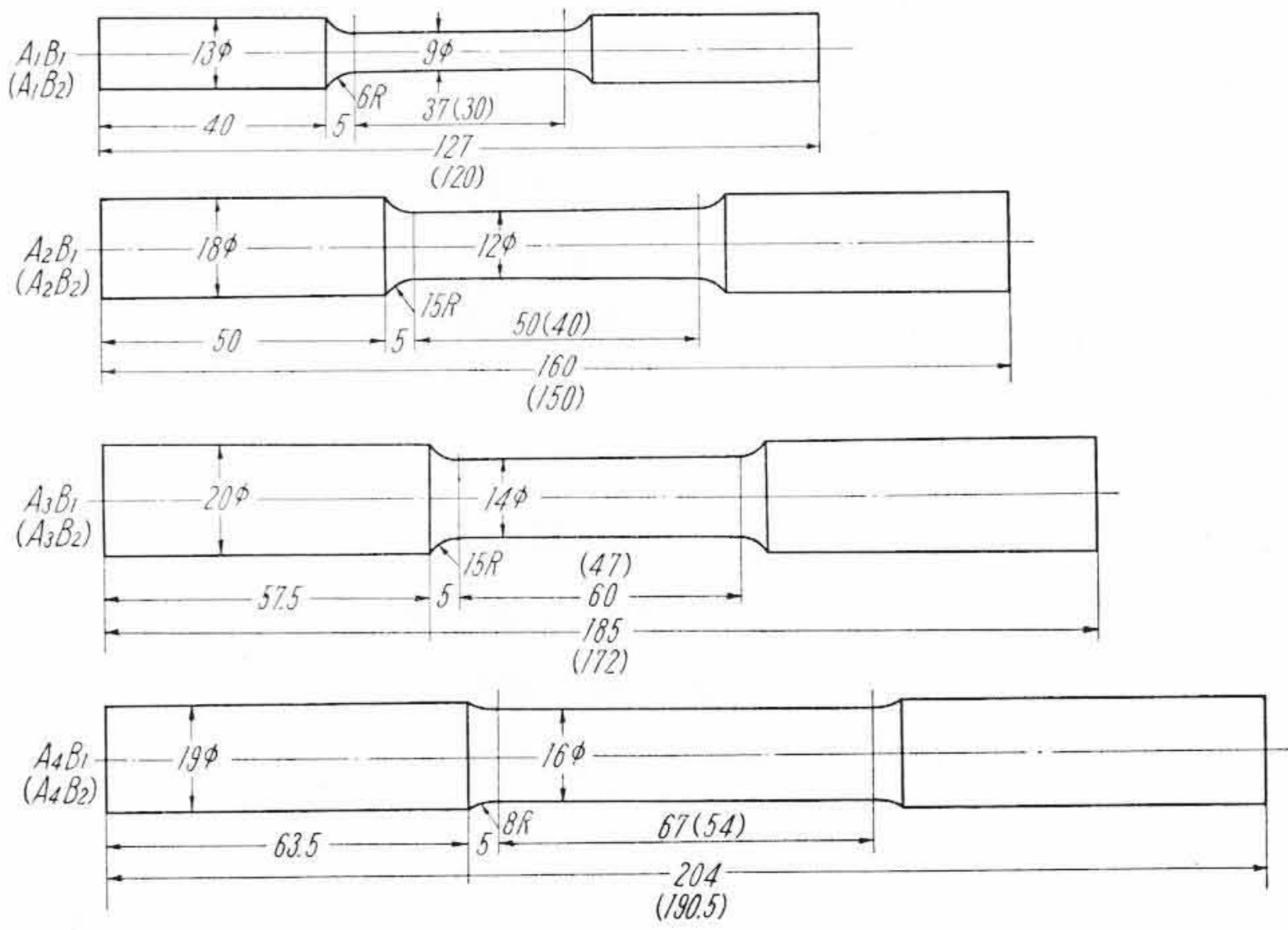
2.1.1 平行部の直径 (因子記号 A)

A₁(9mmφ), A₂(12mmφ), A₃(14mmφ), A₄(16mmφ) の4水準をとる。これらの4水準の中に、4規格が含まれている。

* 日立金属工業株式会社桑名工場

第1表 各国規格の比較表

A (平行部の直径)		A ₁ (9mmφ)	A ₂ (12mmφ)	A ₃ (14mmφ)	A ₄ (16mmφ)
B 平行部の長さ	B ₁ (大)	37mm $\left[\frac{37}{9}=4.11\right]$	50mm((JISB号)) $\left[\frac{50}{12}=4.17\right]$	60mm((JISA号)) $\left[\frac{60}{14}=4.29\right]$	67mm $\left[\frac{67}{16}=4.19\right]$
	B ₂ (小)	30mm((DIN)) $\left[\frac{30}{9}=3.34\right]$	40mm ((DIN)) $\left[\frac{40}{12}=3.34\right]$	47mm $\left[\frac{47}{14}=3.36\right]$	54mm ((ASTM)) $\left[\frac{54}{16}=3.38\right]$
つかみ部の寸法	直径	13mm	18mm	20mm	19mm
	長さ	40mm	50mm	57.5mm	63.5mm
引張り試験規格		引 張 り 強 度		伸 び (%)	
JIS	第 1 種 (管継手用)	>28 kg/mm ²		> 5	
	第 2 種	>32 kg/mm ²		> 8	
	第 3 種	>35 kg/mm ²		>10	
	第 4 種	>37 kg/mm ²		>12	
ASTM	Cupola Malleable Iron (管継手用)	>40,000 lb/□" = 28.2 kg/mm ²		> 5	
DIN	GTS-35	>35 kg/mm ²		>10	
	GTS-38	>38 kg/mm ²		>12	
BS	B ^{18/8} (管継手用)	>28.4 kg/mm ²		> 6	
	20/10	>31.5 kg/mm ²		>10	
	22/14	>34.6 kg/mm ²		>14	



第1図 各国試験棒の規格

2.1.2 平行部の長さ (因子記号 B)

B₁(大), B₂(小)の2水準をとる。ただしAの各水準ごとにB₁, B₂の寸法を変えるようにして、AとBとの水準を交絡させ、その代りにA×Bの2因子交互作用を求められるようにしておく。大体の目安としては、B₁では直径の約4.1~4.2倍、B₂では約3.3~3.4倍をとって、寸法を丸める。

2.1.3 平行部の直径と長さとの組合せ

AとBとの各水準での組合せの場合の寸法は、2.1.1, 2.1.2をもとにして第1表のように定める。したがって、この組合せの中に、JIS, ASTM, DIN, SBの試験片の寸法が含まれている。第1表の中で()は該当する規格、[]は長さとの比を表わしている。ここでBSはほぼJISと合致するので、とくに作らないこととする。図示すると第1図のようになる。つかみ部の寸法は該当する規格に準拠することとする。また、マレブルについてはJISはとくに鑄放しの試験片であることを要求しているが、そのほかの規格は、鑄放し、機械加工の何れとも規定していない。したがって、第1表の寸法はすべて鑄放しとし、機械加工については、別の因子としてとり上げることとする。さらに、模型寸法としては当工場ではマレブル用として10/1,000の伸び尺を用いているが、試験片の場合は、この伸び尺が過大となり、従来当工場では現尺で作っているため、この場合も現尺を使用することとする。

2.2 製造条件

主として、鑄造方案を対象とし、鑄造、焼鈍条件を考慮に入れる。すなわち盲押湯の大きさ、せきの大きさ、せきの位置、溶湯の化学成分、鑄物砂(とくに肌砂)、砂締め、注湯温度、焼鈍方法を取りあげることとする。これらは鑄物としての試験片の品質に直接影響すると考えられるものである。

2.2.1 盲押湯の大きさ(因子記号E)

マレブルは一種の低炭素鑄鉄であるために鑄物としての内ひけ(Internal Shrinkage)を防ぐために、一種の押湯、すなわち盲押湯(Blind Riser)を必要とする。一般に、鑄物の押湯の大きさの決定は、実際に方案を決定する場合に歩留り上、重大な点であって、とくに鑄鋼を中心として、理論と実際とが研究されてきている。ここではChvorinov, Caine (Bishop)の方法によって押湯の大きさを決定し、これよりも大きいものも安全側のほかの水準としてとることとする。

Chvorinov, Caine (Bishop)の考え方というのは、押湯はせきを含めて鑄物のいずれの部分よりも凝固するのが遅くなるようにしなければならないことを第1としている。

(a) 理論的根拠

Chvorinov は鑄物の中での凝固に際しての熱伝達を数式によって解き、溶融金属の凝固時間をつぎのようにまとめている。

$$T = K \left(\frac{V}{S} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに T : 鑄物の凝固時間

V : 鑄物の体積

S : 鑄物の表面積

K : 定数

押湯の凝固時間が鑄物のそれより長くなければならぬことから

$$T_r > T_n \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに T_r : 押湯の凝固時間

T_n : 鑄物の凝固時間

(1), (2)式より

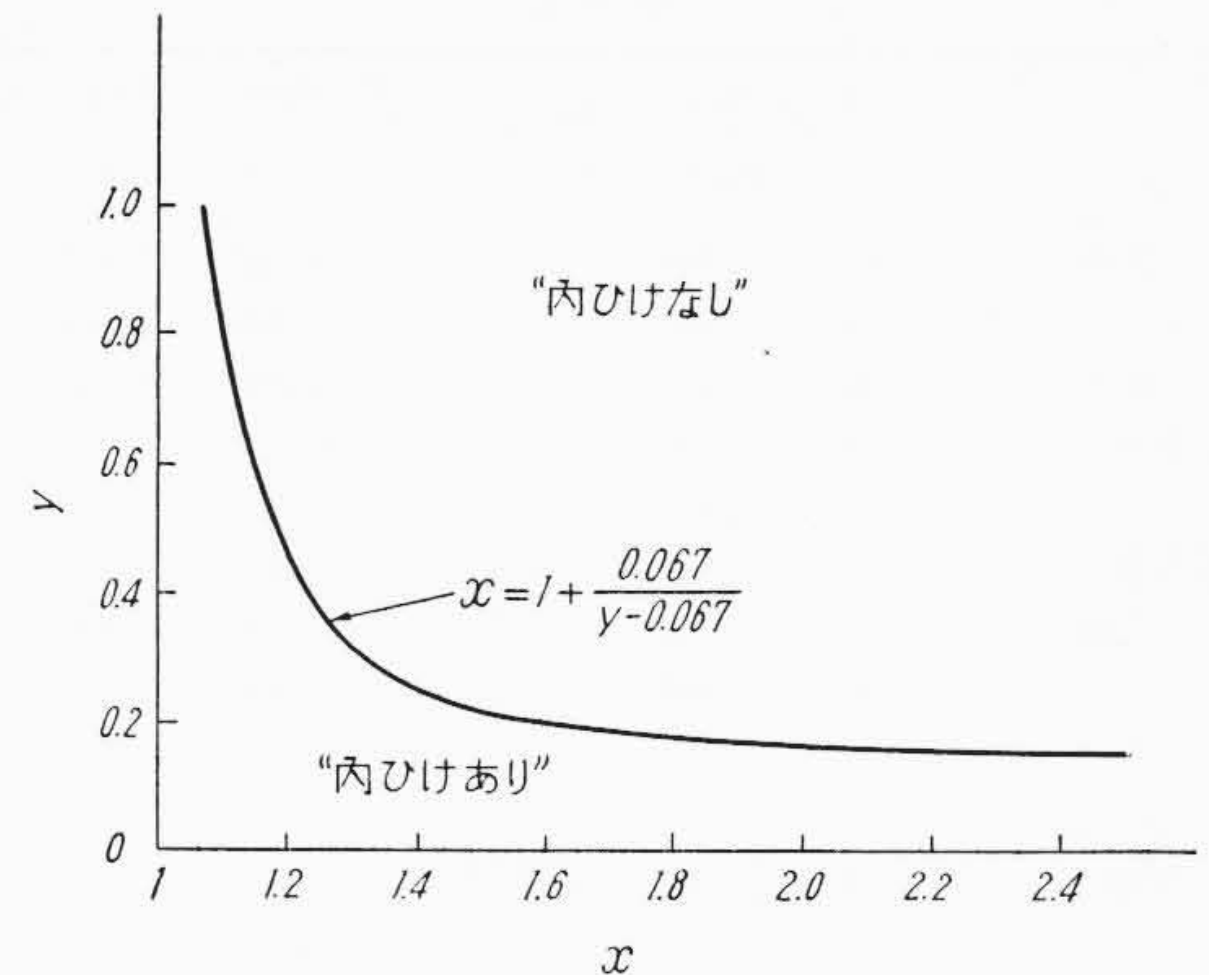
$$\frac{V_r}{S_r} > \frac{V_n}{S_n} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに V_n, V_r : 鑄物、押湯のそれぞれの体積

S_n, S_r : 鑄物、押湯のそれぞれの表面積

(3)式はCaineの式と呼ばれるものである。

またCaineは(3)式をもとにして、実験と研究とを重ね、鑄物の内部に内ひけ(ひけ巣)が発生しない限界を表わす式をつぎの



第2図 凝固速度

ように作った。

$$x = \frac{a}{y - b} + c \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで

$$x: \text{凝固速度比} = \frac{\left(\frac{S_n}{V_n} \right)}{\left(\frac{S_r}{V_r} \right)}$$

$$y: \text{体積比} = \left(\frac{V_r}{V_n} \right)$$

a : 凝固特性定数

b : 凝固収縮率

c : 押湯と鑄物との凝固比

上記の中、 a, b, c は各種の鉄系材質によって定まるもので、ここでは、白鉄を低炭素鑄鉄と考えてよいから、Caineの与えた表から

$$a = 0.067 \quad b = 0.067 \quad c = 1.000$$

となり(4)式は

$$x = 1 + \frac{0.067}{y - 0.067} \quad \dots\dots\dots (5)$$

これを図示すると第2図のようになる。

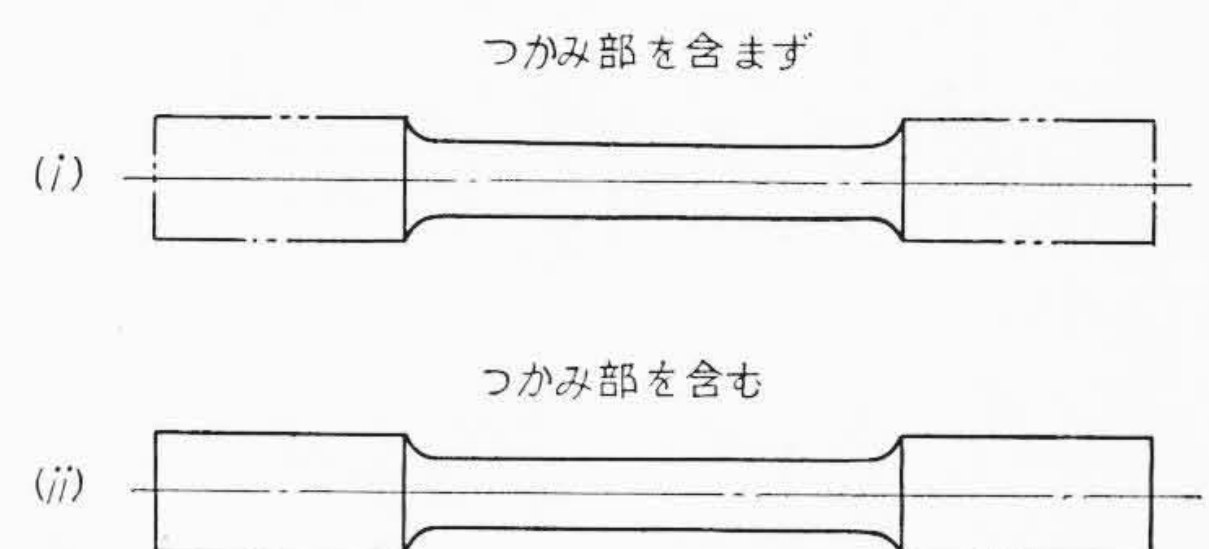
Bishop はこれをさらに簡略化していわゆる形状係数(Shape Factor)という考えを導入しているが、ここではCaineの方法で計算することとする。

(b) 試験片の体積(V_n)、表面積(S_n)の計算

(a)により、まず鑄物としての試験片の体積、表面積を求める。盲押湯は1本の試験片の両端のつかみ部に各1個、合計2個つけることとする。これはいわゆる押湯の有効距離がBishop流の考えでは、鑄物の代表的な肉厚の2~3倍であるという点から考えて、直径の2~3倍の長さまでしか(1)の押湯ではきかないことを懸念したためである。しかし、これを理論どおりに考えると、鑄放しの試験片で、ゲージ長さ部を健全にすることはできないので、上記のように両端のつかみ部に各1個ずつつけることとする。

さらに試験片のどこまでを鑄物と考えるかは、つぎの第3図の2通りが考えられる。

ここで(i)はつかみ部を含まず、(ii)はつかみ部を含むことになる。(i)は破断部となるべきゲージ長さをとった平行部だけを



第3図 引張試験棒の図

第 2 表

試験片 の大きさ 記号は第 1 表による	項目	V_{n1} (mm ³)	S_{n1} (mm ²)	$\frac{S_{n1}}{V_{n1}} \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$	V_{n2} (mm ³)	S_{n2} (mm ²)	$\frac{S_{n2}}{V_{n2}} \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$
A ₁ B ₂ (DIN)		1,440	806	0.56	6,760	2,470	0.37
A ₁ B ₁		1,660	902	0.54	6,980	2,560	0.38
A ₂ B ₂ (DIN)		3,160	1,400	0.43	15,860	4,230	0.27
A ₂ B ₁ (JIS B 号)		3,730	1,580	0.42	16,430	4,410	0.27
A ₃ B ₂		4,750	1,820	0.38	22,850	5,750	0.25
A ₃ B ₁ (JIS A 号)		5,770	2,100	0.37	23,870	6,030	0.25
A ₄ B ₂ (ASTM)		6,550	2,120	0.32	24,650	5,930	0.24
A ₄ B ₁		7,900	2,450	0.31	26,000	6,260	0.24

健全にすれば、つかみ部は内ひけがあってもよいという考えである。

(i) の場合の体積を V_{n1} 、表面積を S_{n1}

(ii) の場合の体積を V_{n2} 、表面積を S_{n2} として、それぞれ第 1 表にもとづいて計算すると第 2 表のようになる。

(c) 盲押湯の大きさの計算

盲押湯の形状は円柱状とし、その直径を D 、高さを H とする。

$$V_r = \frac{1}{4} \pi D^2 H$$

$$S_r = \pi D \left(H + \frac{D}{2} \right)$$

$$\frac{S_r}{V_r} = \frac{4}{D} + \frac{2}{H}$$

(a), (b) と合わせて盲押湯の大きさを求めるのであるが、計算の順序としてはまず D をある適当な値に固定し、さらに H に 2, 3 の値を仮定して S_r/V_r を求め、(b) で求めている S_n/V_n より $x = (S_n/V_n)/(S_r/V_r)$ を求める。これによって、第 1 図から限界となる y を求め、 $V_r = V_n \times y$ によって V_r を計算する。これを用いて、さきに固定した D によって H を計算し、仮定した H に近い値が得られれば、これを H と定める。大体 $D = H$ をねらう。

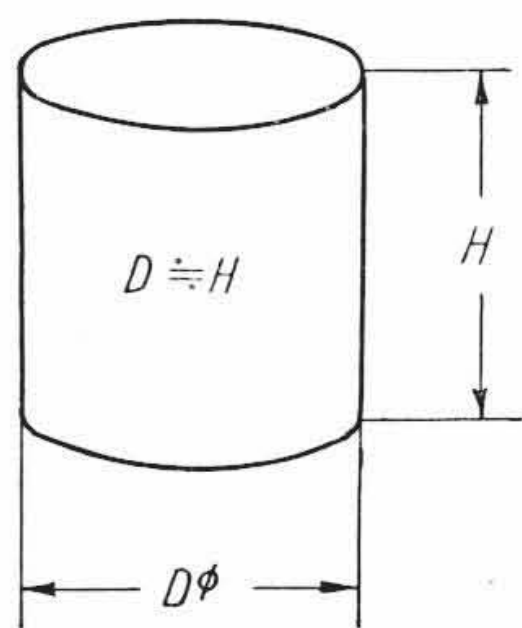
計算は A と B との組合わせの 8 とおりについて行わなければならないが、そのようにして盲押湯の大きさを定めると、実験上因子とその水準との選定が著しく複雑になり、またこの計算方法は単に盲押湯の大きさについての一つの目安にしかすぎないので簡単化するために試験片の各直径 (A) 寸法について、長さ (B) の大きいものについてだけ、上記の計算をすることにする。

(i) つかみ部を含まない計算 ((b) の (i) を参照)

第 3 表では仮定した H と最終的に計算で求めた H とが、ほぼ一致した場合だけを記して、一致しなかった場合は省略する。

(ii) つかみ部を含む計算 ((b) の (ii) を参照)

第 4 表も第 3 表と同じように、仮定した H と最終的に計算で求めた H とがほぼ一致した場合だけを記してある。



第 4 図 盲押湯の図

第 3 表

項目	V_{n1}	$\frac{S_{n1}}{V_{n1}}$	固定 D	仮定 H	$\frac{S_r}{V_r}$	x	y	V_r	$\frac{\pi}{4} D^2$	H
試験片の大きさ										
A ₁ B ₁	1,660	0.54	12	12	0.50	1.09	0.90	1,494	113	13
A ₂ B ₁	3,730	0.42	15	17	0.38	1.10	0.85	3,170	177	18
A ₃ B ₁	5,770	0.37	18	18	0.33	1.10	0.80	4,500	254	18
A ₄ B ₁	7,900	0.31	21	21	0.29	1.08	0.90	7,100	346	21

第 4 表

項目	V_{n2}	$\frac{S_{n2}}{V_{n2}}$	(固定) D	(仮定) H	$\frac{S_r}{V_r}$	x	y	V_r	$\frac{\pi}{4} D^2$	H
試験片の大きさ										
A ₁ B ₁	6,980	0.38	18	18	0.33	1.13	0.70	4,900	254	19
A ₂ B ₁	16,430	0.42	25	25	0.24	1.12	0.70	11,500	490	24
A ₃ B ₁	23,870	0.25	27	27	0.22	1.14	0.65	15,400	555	28
A ₄ B ₁	26,000	0.24	29	29	0.21	1.16	0.60	16,200	670	24

第 5 表

項目	E ₁ (50% 増し) 大		E ₂ (計算) 小	
試験片の大きさ	D	H	D	H
A ₁ B ₂ A ₁ B ₁	20 ← (I) → 30		20 ← (I) → 20	
A ₂ B ₂ A ₂ B ₁	25 ← (IV) → 38		25 ← (III) → 25	
A ₃ B ₂ A ₃ B ₁	27 ← (VI) → 41		27 ← (V) → 27	
A ₄ B ₂ A ₄ B ₁	30 ← (VII) → 45		30 ← (VI) → 30	

両表を合わせて、当工場で現在用いている盲押湯の大きさの基準と比べると、(i) は小さすぎ、(ii) が大体よく似ているためにここではつかみ部を含めた試験片全体を鋳物と考えて、盲押湯の大きさを定めることとする。

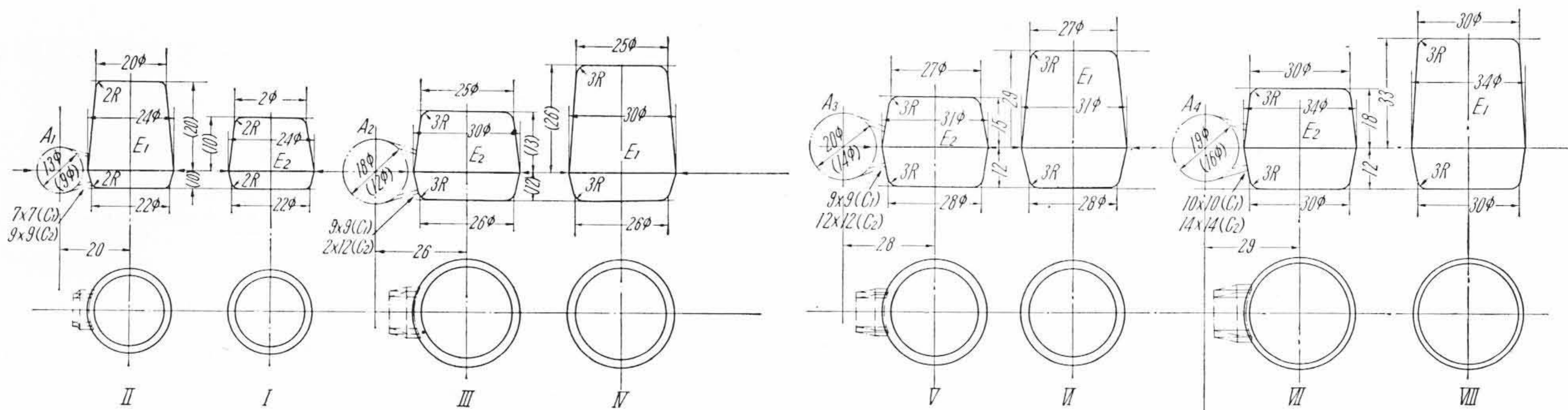
以上が Caine の方法で求めた最小の盲押湯の大きさに関する計算であるが、一般にはこれで求めた大きさの 50% 増しとしたほうが安全であるといわれている。この 50% 増しの意味は明らかではないが、実際の鋳物の大きさ、形状の変化、鋳型材、注湯温度、溶湯の流入状態の違いなどを経験的に見込んだものと考えられる。

したがって、この実験では上記の計算どおりの大きさのものと、これを 50% 増しとした大きさのものの 2 水準を用いることにする。後者は実験の便宜上もあって、前者と同じ直径とし、高さだけを前者の 50% 増しとすることにする。以上をまとめると第 5 表のようになる。以上の計算からわかるように、試験片の大きさ (とくに A) と盲押湯の大きさとは水準を交絡させている。

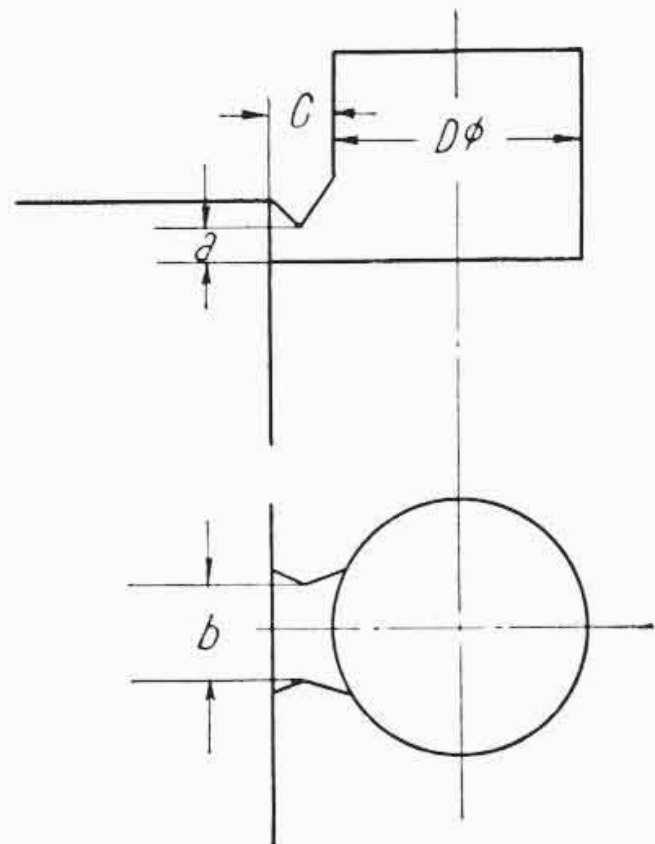
第 5 表で * 印のものは第 4 表の数字を切り上げてある。また E₂ の水準では $D = H$ になるように修正した。

第 5 表にもとづいて盲押湯は第 5 図のようにする。

第 5 表、第 5 図の中のローマ数字は互に対応しているものを示す。



第 5 図 試験棒の堰 (せき) の サイズ



第6図 押湯の直径と堰(せき)のサイズの関係

第6表 試験片の大きさと「せき」の大きさ

試験片の大きさ	せきの大きさ	C ₁ (計算) 小			C ₂ (計算の約2倍) 大		
		a	b	c	a	b	c
A ₁ B ₂ A ₁ B ₁	}	7	7	3	9	9	3
A ₂ B ₂ A ₂ B ₁	}	9	9	4	12	12	4
A ₃ B ₂ A ₃ B ₁	}	9	9	4	12	12	4
A ₄ B ₂ A ₄ B ₁	}	10	10	5	14	14	5

2.2.2 せきの大きさ (因子記号 C)

一般に押湯の大きさの決定が良好であっても、押湯と鑄物との間の給湯路としてのせきの大きさの選定が不適切であると、押湯の効果は減殺される。

(a) 理論的根拠

Namur はせきの条件として、つぎの二つをあげている。

- (i) せきの凝固時間は押湯のそれより長いこと
- (ii) 凝固時間を通じて、せきを通る溶湯の補給がおこなわれること

この2条件を満たすせきの大きさは次式で表わされる。

$c \geq nZ$ のとき

$$\frac{ab}{a+b} = Z \left(2 - \frac{nZ}{c} \right)$$

ここで a, b, c : せきの高さ, 幅, 長さ (mm 単位)

n : 溶湯と鑄物砂との熱的性質および注湯温度に関する定数

鑄鉄のときは $n=1$

Z : (押湯の体積)/(押湯の表面積) = V_r/S_r

実際に使用されているのは、押湯の直径を D (mm) とすると (第6図参照)

$$c = \frac{D}{9} \sim \frac{D}{6}, \quad a = \frac{D}{\alpha}, \quad b = \frac{D}{\beta}$$

ここで $\alpha + \beta \leq 6$

ここでは、 $\alpha = \beta = 3$, $c = \frac{D}{6}$ として設計する。

すなわち

$$a = \frac{D}{3}, \quad b = \frac{D}{3}, \quad c = \frac{D}{6}$$

(b) せきの大きさの計算

この実験では、(a)に記す計算で求めた大きさと、さらに安全側をとり、これに比べ断面積で約2倍の大きさを用いることにする。ただし断面はいずれも正方形とする。まとめると第6表のようになる。

第6表において、せきの大きさは盲押湯の直径により定まるので、盲押湯の大きさの水準には関係がないことがわかる。これは

第7表 鑄物砂の配合表

項目		砂の種類	F ₁ (普通砂)	F ₂ (特別砂)
用 途		小, 中型品の普通の肌砂	特殊な小型品の肌砂	
配 合	戻 り 砂	(70メッシュピーク) 430 kg (94.1%)	(70メッシュピーク) 400 kg (87.4%)	
	新 砂	奥田砂(知多)20 kg(4.4%)	瀬戸7号珪砂50 kg(11.0%)	
	木 節 粘 土	1 kg (0.2%)	—	
	ベ ン ナ イ ト	2 kg (0.4%)	4 kg (0.9%)	
	石 炭 粉	4 kg (0.9%)	3 kg (0.7%)	
性 質	水 分	6.0~7.0%	5.5~6.5%	
	通 気 度	40~60	30~50	
抗圧力 (kg/cm ²)		0.60~0.80	0.65~0.85	

盲押湯の大小をその高さによって分け、直径が各試験片の直径について同一であるためによる。

実際の形状は第5図に2重鎖線で示してある。ただし型抜きのため、 b 寸法は見切面上で2 mm だけ上表の値より大きくしてある(第7図参照)。

またせきの大きさも、試験片の大きさと水準同志が交絡することになる。

2.2.3 鑄物砂 (因子記号 F)

一般に鑄物砂が鑄物の品質に及ぼす影響はかなり大きいとされているが、主として、それは鑄物の表面の近くの欠陥に集約される。もちろん、鑄物砂中に含まれる水分、可燃分の材質全体に及ぼす影響も考えられるが、生砂型を用いる当工場の現状では、この後者についての検討は別の段階にゆずるほかない。

この実験では、試験片の表面、いわゆる黒皮層に及ぼす鑄物砂の影響を調べることとし、鑄物砂としては粒度に差のある現用の2種を用いることとする。

(a) 理論的根拠

粒度が鑄物に及ぼす影響としては、さしこみ、すくわれ、荒され、型こわれ、絞られ、焼付き、照らされなどのいわゆる鑄造欠陥に表われるとされている。これらの現象については研究がなされているものもあるが、それらをとおして、機械的性質に及ぼす影響となると不明の点が多い。しかし、いわゆる鑄物の黒皮層は機械的性質に関係することは従来論じられているところであり、かつ2.1.3で記したように、JISでは、マレブルの試験片に限って鑄放しと規定していることにも上記の点が考慮されているのではないかと考えられる。もちろんマレブルでは黒皮層は鑄造だけでなく、焼鈍の影響も受けるので、一般の鑄鉄の黒皮層と同じように論じることとはできない点はあるが、ここでは鑄物砂が黒皮層に及ぼす影響をみることにする。

(b) 鑄物砂の選定

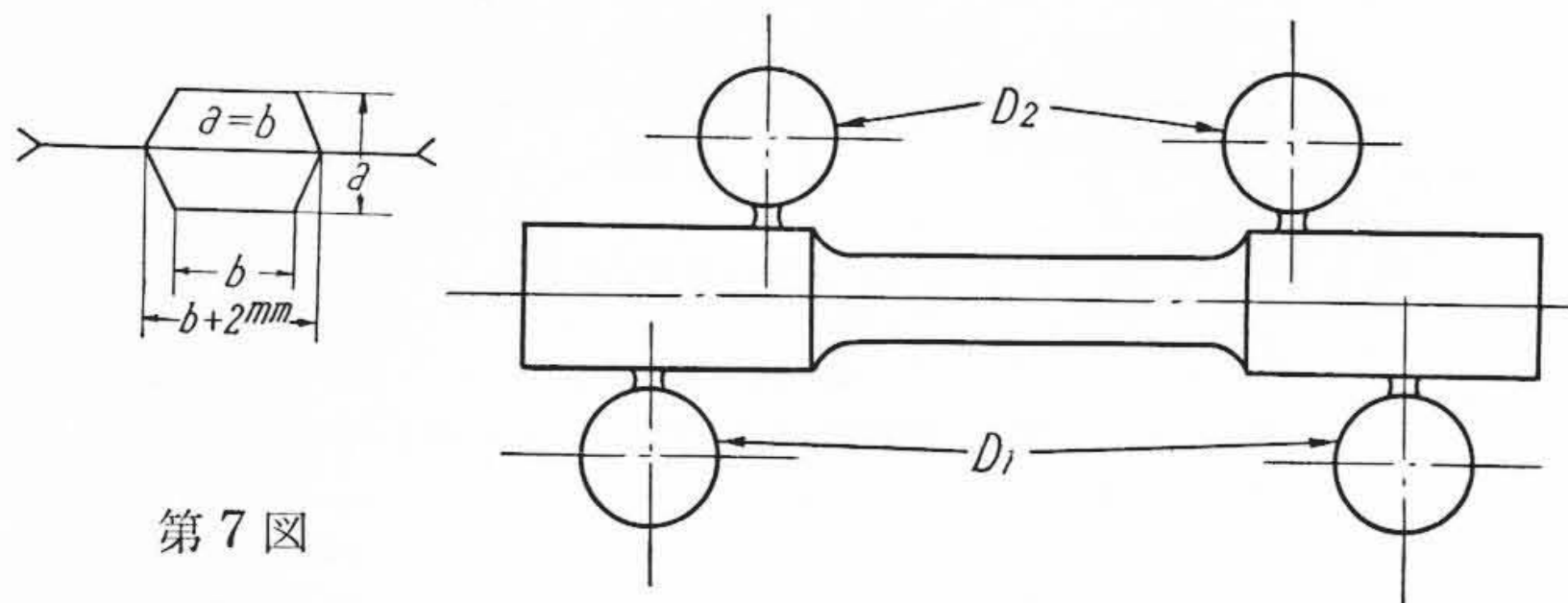
現用の粒度の異なる配合の肌砂を2種とる(第7表参照)。表中の配合は混練用ミキサーの1バッチの配合重量を示す。調砂方法はいずれも同じで、シンプソン式ミキサーを用い、各粉体原料を10秒混合の上給水し、4~5分混練してブレンダーでほぐしながら排出し、約20~24時間ねかせてから使用する。

普通砂(F₁)のほうが、特別砂(F₂)よりも現場での使用量は大きい。

2.2.4 砂締め (因子記号 G)

砂締めが鑄物品質に及ぼす影響は、2.2.3に記した鑄物砂とも関連して研究されているが、機械的性質に及ぼす影響としては明白ではない。むしろ試験片が鑄放しであるときは、注湯時の鑄型の壁の移動の多少により、試験片の寸法が変動することが考えられる。したがって、規定の試験片の直径から求めた断面積をもとにした強度値では十分ではないことになる。

実際には、砂締めを普通にしたもの(G₁)と、それよりも強くし



第 7 図

第 8 図 試片の大きさと盲押湯の中心間の距離の関係

第 8 表 ジョルトスキーズ式造型機の仕様

製 作	当 工 場
ジョルト・シリンダ径	76mm
スキーズ・シリンダ径	258mm
プレート・サイズ	10"×16"
型 硬 度 の ね ら い (下型見切面上)	{ G ₁ 45~65 G ₂ 60~75

第 9 表 試片の大きさと盲押湯の中心間の距離の関係

試験片の大きさ	L 盲押湯の中心間の距離 (mm)	
	D ₁ (遠いもの)	D ₂ (近いもの)
A ₁ B ₂	70	50
A ₁ B ₁	77	57
A ₂ B ₂	93	63
A ₂ B ₁	103	73
A ₃ B ₂	110	70
A ₃ B ₁	123	83
A ₄ B ₂	118.6	78.6
A ₄ B ₁	131.6	91.6

たもの (G₂) との 2 水準をとる。造型機としてはマッチ・プレートを用いるジョルト・スキーズ式の造型機を用いる。その要目は第 8 表のようである。

砂締めのコントロールは、ジョルト回数、スキーズ回数の加減による。第 8 表中で、型硬度の測定には、従来の生型硬度計の欠点を改善した新型のものでおこなった。

2.2.5 せきの位置 (因子記号 D)

せきの大きさについては 2.2.2 で決定したが、2.2.1 (b) に記したように、押湯としての給湯距離を考慮に入れて、せき、すなわち盲押湯をつける位置を変えてみることにする。すなわち、ゲージ長さをとる平行部になるべく近づけたもの (D₂)、やや遠ざけたもの (D₁) の 2 とおりをとる (第 9 表、第 8 図参照)。

2.2.6 溶湯の化学成分 (因子記号 H)

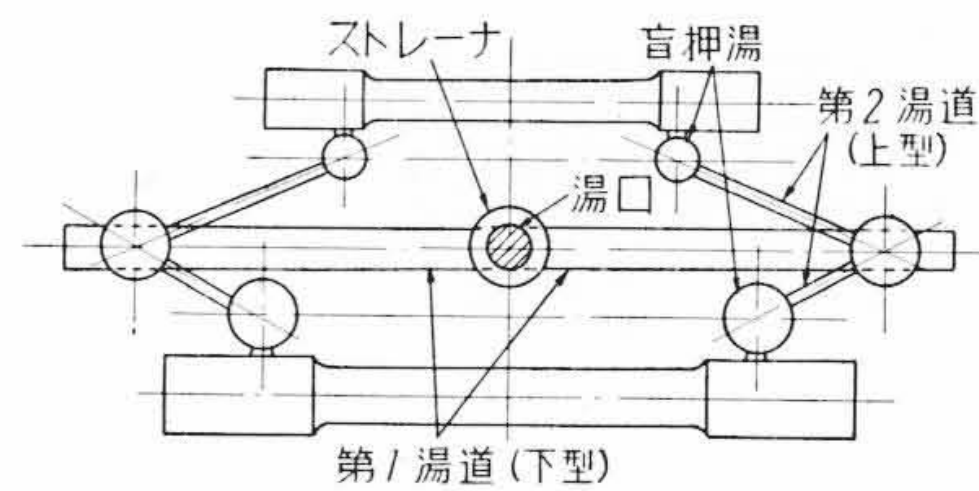
一般に鋳物の機械的性質を論じるときは、第 1 に材質をとりあげることが多く、各種の工業規格もまたこの主旨に沿って作られている。当工場では管継手を製造している。この材料としては黒心可鍛鋳鉄品第 1 種を用いることが JIS に定められている。したがってこの規定によって、さらに管継手のサイズの大小に応じた溶湯の化学成分を大体 3 種類にわけている。この中で溶湯の量が多いのは、小型品、中型品の二つである。前者を後者と比べると炭素当量が多い。

(a) 理論的根拠

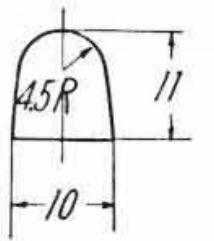
一般に、炭素当量が大になると、マレブルでは機械的性質は悪くなる。この点については多くの研究があるので省略する。

(b) 溶湯の種類の選定

小型品用 (H₂)、中型品用 (H₁) の二つをとる。その内容は第 10 表による。いずれも二重溶解法によって作られ、キュポラの配合は同一で、エルー式電気炉において二つに分け、小型品用はここで Si % を上げる。溶解作業条件は省略する。したがって両者の差は主として Si % にある。



第 9 図 試験棒の方案図

第 10 図
湯道の図

第 10 表 溶 湯 の 種 類

種 類	H ₂ (小型品用)	H ₁ (中型品用)
	2 重 溶 解 (電気炉で Si % を上げ加熱する)	2 重 溶 解 (電気炉で加熱するだけ)
溶 解 法	←同じ→	
化成	C %	同
学分	Si %	低

第 11 表 注湯温度とそのコントロールのしかた

	I ₁ (低 温)	I ₂ (高 温)
注湯温度のねらい (光高温計の読み)	1,300°C	1,350°C
コントロールのしかた	注湯取鍋にとって放置してから注湯する	予熱してある注湯取鍋にとって、すぐ注湯する

第 12 表 せきの大きさと湯道の断面積

せきの大きさ $a \times b$ (mm)	せきの断面積 (mm ²)	湯道断面積 (mm ²)
7×7	49	40 (20)
9×9	81	66 (33)
12×12	144	116 (58)
14×14	196	158 (79)

2.2.7 注湯温度 (因子記号 I)

注湯温度が材質、盲押湯の効果、黒皮層に及ぼす影響はこれまでも一般に論じられてきているが、マレブルについて上記の諸点を通じて機械的性質に及ぼす影響は明らかにはなっていない。

また実際上では、注湯温度は上を出湯温度、下を不廻りにならない注湯温度で制限されているので、出湯後の時間経過と考え合わせると、コントロールは困難である。ここでは上記の制限範囲内で約 50°C の差をとることにする (第 11 表参照)。

2.2.8 湯口、湯道の大きさ

湯口、湯道が試験片の機械的性質に及ぼす影響は 2.2.1~2.2.7 に記した鋳造条件に比べ、少ないと考えるので、因子としてはとりあげず、この実験を通じて固定する。

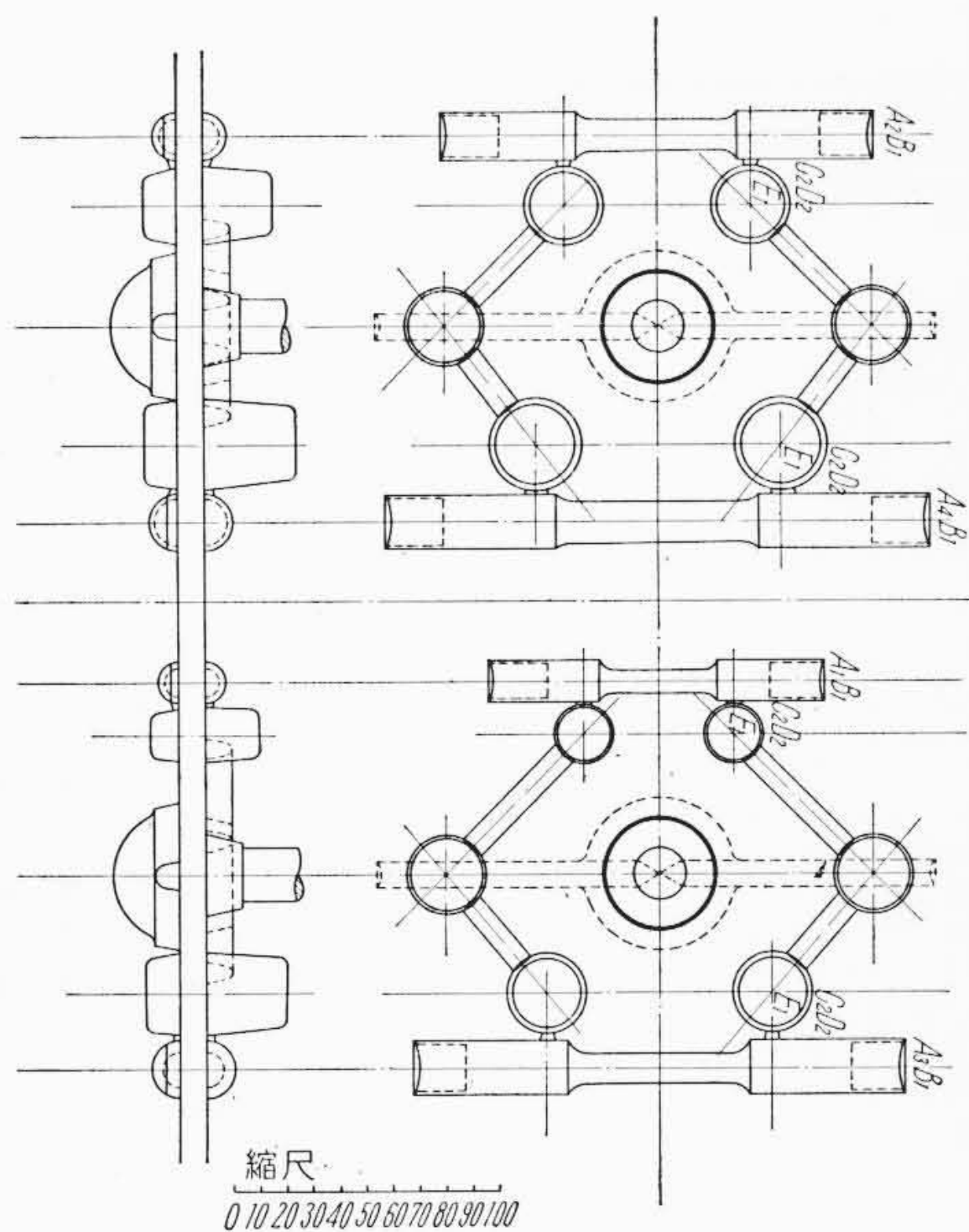
湯口、湯道、せきの断面積の大きさの比率は湯流れ、鋳込時間に関係するので、大切なものであるが、薄肉のマレブルでは、つぎの値が適当とされている。

湯口 : 湯道 : 堰 = 1 : 0.67 : 1.67

第 6 表のせきの大きさごとに湯道の大きさを計算するとつぎの第 12 表のようになる。

ここで湯口に直接つながる第 1 湯道は 2 本で、この第 1 湯道 1 本に対し、第 2 湯道を通して、せきを 2 個ずつつけるので、上記の比率のままで求めた湯道の断面積を () 内に記し、これを 2 倍したものをその横に記す。また第 1 湯道につながる第 2 湯道は 2 本で、これにせきが 1 個ずつつく (第 9 図参照)。

第 12 表の計算結果と当工場のマッチプレート用の湯道の規格とを比べ、中間の大きさをとることとし、つぎの湯道 (第 10 図) を第 1 湯道として用い、第 2 湯道はこれと等しくした。これはマッチプレートの大きさと試験片の配置上から、大きい湯道が使用できなかったことにもよっている。



第11図 鋳造方案

湯口は絞り部(最下部)で20mm径とし、ストレーナを底部に挿入する。これも従来の方案の基準によっている。以上をまとめると、湯口:湯道:堰の比率の最大, 最小はつぎのようになる。

(i) せきの大きさが4個とも

14×14mmの場合(実際にはこの組合わせはない)

314:90×2:196×4

1:0.57:2.50

(ii) せきの大きさが4個とも

7×7mmの場合(実際にはこの組合わせはない)

314:90×2:49×4

1:0.57:0.62

となる。

2.1, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.5と上記とを組み合わせると試験片の鋳造方案図が作られることになる。その一例を第11図に示す。

2.2.9 焼鈍方法(因子記号J)

マレブルは鋳造時は白鉄で、これを焼鈍してマレブルとするので、この焼鈍方法の材質に及ぼす影響は大きい。

一般に焼鈍は第1段焼鈍でセメントサイトを分解し、第2段焼鈍でパーライトを分解して、いずれもグラファイトとフェライトに変える。

当工場では、小, 中型品用には第2段焼鈍時間を短縮した炉を用い、大型品用には、この時間を十分とった炉を用いている。これは前者の溶湯が炭素当量が高く、後者が低くしていることと対応している。

ここではこの2種の炉を用いて、主として第2段焼鈍時間の長短の影響を見ることにする。一般には短いと、パーライトの分解が不十分になり、機械的性質にかなり影響が表われるとされている。ただし溶湯は小型品用と中型品用しか用いていないので、この点は明確に表われるかはわからない。

小, 中型用品の焼鈍炉を用いる方をJ₁、大型品用の焼鈍炉を用いるほうをJ₂とする。これをまとめると第13表のようになる。

パーライトの分解が不十分であると、引張強度は上り、伸びは下る。また分解が十分であれば、上記とは逆になる。

2.3 試験条件

この実験では、試験片の加工と引張試験の荷重速度とをとり上げる。

第13表 被焼鈍品のサイズと焼鈍時間

炉 別	J ₁ (小, 中型品用)	J ₂ (大型品用)
焼 鈍 時 間	短	長
炉 番 号	No. 3	No. 4

第14表 鋳放し品と機械加工品とのゲージ長さ部の直径

試験の大きさ	ゲージ長さ部の直径 (mm)	
	K ₁ (鋳放し)	K ₂ (機械加工)
A ₁ B ₂ A ₁ B ₁	9	8
A ₂ B ₂ A ₂ B ₁	12	10
A ₃ B ₂ A ₃ B ₁	14	12
A ₄ B ₂ A ₄ B ₁	16	14

第15表 オルゼン式引張試験機による試験荷重速度

速 (L ₁)	遅 (L ₂)
40mm/min	6mm/min

2.3.1 機械加工(因子記号K)

2.1.3, 2.2.3に記したように、試験片には鋳放しのままでは、いわゆる黒皮層があって、これは機械的性質への影響が大きいことが考えられるので、これを削除した場合に、どのようになるかをみる。したがって、機械加工しない鋳放しのもの(K₁)と、ゲージ長さをとる平行部の全長にわたり表面だけ削除したもの(K₂)とに分ける。機械加工した場合にゲージ長さ部の直径はつぎのようにする(第14表)。

黒皮層は鋳放し面から1mm下まで削除すれば大体なくなると考えられるので、直径で2mmだけ小さくする。ただし最小直径のものは1mmだけ小さくするにとどめ、直径が小さくなりすぎないようにする。また鋳放しのものの直径は第14表のK₁のものより多少大きくなる可能性がある。これは2.2.4にも記したように砂締め程度によって注湯時に鋳型壁が移動して、寸法が大きくなることがありうるからである。この因子も試験片の大きさと水準が交絡し、さらに平行部の直径の寸法精度も交絡することになる。

2.3.2 引張り荷重速度(因子記号L)

一般に破壊現象には、その現象の過程において、外力の加わる速度が関係するとされている。そこで引張試験において、引張りを加える速度を変えてみる。マレブルでは、塑性変形の領域が明らかに認められるので、この速度の影響は考慮に入れることとした。

速度の速いほう(L₁)は通常の当工場での試験で用いるもので、遅いほう(L₂)はそれよりもおそくする。引張試験機としては荷重速度を変える都合上、オルゼン式のものをを用いた。荷重速度をまとめると第15表のようになる。ただしこれは試験機のつかみ部の移動速度を示している。

3. 実験にとりあげる特性値

(a) 1. および 2. で記したように、ここでは引張試験片を用いるために、引張強度をとることにする。この場合各試験片ごとに平行部の長さ方向の中央で直径を2回測定し、これより求めた断面積で最大荷重を割った値をとる。したがってこれは計量特性値である。

(b) 伸びについては、平行部の直径の3倍をゲージ長さにとり(第16表参照)、もとのゲージ長さに対する伸び寸法の%であらわす。

第 16 表

試験片の大きさ	(試験片の加工) K	D (直 径) (mm)	ゲージ長さ (mm)
A ₁ B ₂ A ₁ B ₁	K ₁ K ₂	9 8	27 24
A ₂ B ₂ A ₂ B ₁	K ₁ K ₂	12 10	36 30
A ₃ B ₂ A ₃ B ₁	K ₁ K ₂	14 12	42 36
A ₄ B ₂ A ₄ B ₁	K ₁ K ₂	16 14	48 42

第 17 表

変 動	鋳 型 間 変 動														
群	I							II							
列 番	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
因子内容		溶湯の 化学成分		せきの 大きさ	せきの 位置	盲押湯の 大きさ			鋳 物 砂	平行部 の長さ	砂 締 め		注 湯 温 度		
要因記号	C × D	H	e ₁	C	D	E	e ₁	e ₂	F	B	G	e ₂	I	e ₂	B × D
自 由 度	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

第 18 表

変 動	鋳 型 内 変 動										
群	V										
列 番											
因子内容	平行部 の直径										
要因記号	A	A×B	A×C	A×D	A×E	A×H	A×J	A×K	A×L	H×J	e ₅
自 由 度	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	77

通常 JIS ではゲージ長さは

$$4\sqrt{A} = 4\sqrt{\frac{\pi}{4}D^2} = 3.54D$$

ととるが、これでは平行部の長さの短い水準(B₂)では、ゲージ長さがとれないものがあるので、これを 3D に切り下げることとする。

4. 実 験 計 画

2. において、とり上げるべき因子を一応論じたので、これを実験にどのように組合わせるかを検討する。その際に、いわゆる直交配列を利用した実験計画法によることにする。

4.1 因子のわりつけ

2ⁿ形の直交配列を利用することにする。2.1 に記したように試験片の形状、製造条件、試験条件の三つに分けてわりつける。また製造条件の中で、焼鈍以後は、鋳造した試験片をまとめて処理するために、鋳造前後で、別々の 2ⁿ 形の直交配列を用いて、この二つを、いわゆる直積 (2 方交絡法) の形で用い、また各直交配列は、実験をしやすくするために 1 方分割法によることにする。各因子の水準の対応関係は 2. にすでに記したので略する。因子 A を除いてほかは対応をランダム化した。

4.1.1 鋳造までの因子のわりつけ (L₁₆(2¹⁵))

直交配列 L₁₆(2¹⁵) を用い、2 群に分割する。ここで平行部の直径という因子は鋳型内変動に対応させ、それ以外は鋳型間変動に対応させる (第 17, 18 表)。

第 19 表

列番	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
実験No.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
群 別	1	2	3				4								

第 17 表において、要因記号として記したアルファベットは 2. における実験にとり上げる因子の記号と同一である。第 18 表において、要因記号として記したアルファベットも 2. における実験にとり上げる因子の記号と同一であるが、ここには焼鈍以後の試験条件の因子も含まれている。また両表において、e の記号は各群列の誤差項をそれぞれ表わしている。また 2 因子交互作用は各因子の積の形で表わしてある。

第 17 表に対応する L₁₆(2¹⁵) の直交配列は第 19 表に示す。

第 17 表の I 群は第 19 表の 1, 2, 3 群に対応し、II 群は 4 群にそれぞれ対応する。I 群に模型関係の因子をすべて入れたのは、各実験日内では、模型を一定させて盲押湯、せきなどをとりかえたりするはん雑さを避け、実験をやりやすくするためである。ただし平行部の直径の因子(A)だけは、1 枚のマッチプレートに 4 種の直径の試験片をランダムに配置して入れ、これを平行部の長さの因子(B)によって、2 枚のプレートに分けるようにした。したがって、この実験では 2 枚のマッチプレートを同時に用い、各実験日ごとに試験片の寸法以外の模型の方案と鋳造条件とを変えていく方法をとる。したがって、プレート間の差は平行部の長さ(B)に交絡する。

第 17, 18 表中の 2 因子交互作用の選定の理由については、

4.1.3 に記す。また、上記のわりつけによる模型方案の一例を第 11 図に示す。これに明らかなように、1 枚のマッチプレートには湯口を 2 個設け、一つの湯口には左右対称に 2 種の直径の試験片をつけ、この配置をランダム化して、試験片のプレート内の位置の効果が直径の因子効果と交絡しないようにした。

4.1.2 焼鈍以後の因子のわりつけ (L₈(2⁷))

直交配列 L₈(2⁷) を用い、これも 2 段に分割する (第 20 表参照)。第 20 表において要因記号として記したアルファベットは 2. における実験にとり上げる因子の記号と同一である。また e の記号は各群別の誤差項をそれぞれ表わしている。群別は 4.1.1 の配

第 20 表

変 動	(鋳 型 内 変 動)						
群	III			IV			
列 番	1	2	3	4	5	6	7
因 子 内 容	焼鈍方法			機械加工	荷重速度		
要 因 記 号	J	e ₃	e ₃	K	L	e ₄	e ₄
自 由 度	1	1	1	1	1	1	1

第 21 表

実験No.	列番	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2	2
6	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	2	1	1	2	2	1	1
8	2	2	1	2	1	1	2	2
群 別		1	2	3				

列と一貫した番号による。また2因子交互作用は考えない。第20表に対応する $L_8(2^7)$ の直交配列は第21表に示す。第20表のⅢ群は第21表の1, 2群に対応し、Ⅳ群は3群にそれぞれ対応する。Ⅲ群に焼鈍の因子(J)を入れたのは焼鈍炉での処理を全試験片について同時にまとめておこなうため、Ⅲ, Ⅳ群は一方分割法によっていることになる。または考え方によっては1方交絡法ともなる。

4.1.3 2因子交互作用の選定とわりつけ

第17, 18表においてわりつけた2因子交互作用について、つぎに説明する。

(i) せきの位置と大きさ ($C \times D$)

せきの位置とせきの大きさとは、いずれも、せきを規定するもので、試験片の健全性に同時に影響すると考えられる。

(ii) 平行部の直径と平行部の長さ ($A \times B$)

2.1.1, 2.1.2にも記したように、各種の規格による試験片の寸法を、直径と長さとの組み合わせの中へとり入れたために、両方の因子は直交するような水準の選び方になっていない。すなわち各直径寸法ごとに長さを2水準に選んでいるので、当然これらの両因子の2因子交互作用が予期される。

(iii) 平行部の直径とせきの大きさ ($A \times C$)

2.2.2に記したように、せきの大きさは、それに接続する盲押湯の大きさ(直径)によって定めた。盲押湯の大きさは2.2.1に記したように平行部の直径によって変えてあるので、結局、平行部の直径とせきの大きさとはその水準の選び方が直交するようにしてないので、当然これらの両因子の2因子交互作用が予期される。

(iv) 平行部の直径とせきの位置 ($A \times D$)

2.1.3, 2.2.5に記したように、せきの位置は試験片の平行部の直径に関連して水準の選び方を変えてあるので、これも2因子交互作用が予期される。

(v) 平行部の長さとせきの位置 ($B \times D$)

2.1.3, 2.2.5に記したように、せきの位置は試験片の平行部の長さにも関連して、水準の選び方を変えてあるので、これも(iv)と合わせて2因子交互作用が予期される。さらに $A \times B \times D$ の3因子交互作用も予期されるはずであるが、3因子以上の交互作用は省略する。

(vi) 平行部の直径と盲押湯の大きさ ($A \times E$)

これは2.2.2および(iii)にも記したように、盲押湯の大きさの因子の水準は平行部の直径によって選び方を変えてあるので、両因子の2因子交互作用が予期される。

(vii) 平行部の直径と溶湯の化学成分 ($A \times H$)

2.2.6に記したように、当工場では、肉厚によって化学成分を変えているので、平行部の直径が肉厚に対応すると考えて、とくにこれらの2因子交互作用を求める。

(viii) 平行部の直径と焼鈍方法 ($A \times J$)

これも、2.2.6, 2.2.9および(vii)に記したように、肉厚によ

って溶湯の化学成分を変え、それによってさらに焼鈍方法を変えているので、平行部の直径が肉厚に対応すると考えて、とくにこれらの2因子交互作用を求める。

(ix) 平行部の直径と機械加工 ($A \times K$)

2.3.1に記したように、機械加工するのは、鋳放しの時の黒皮の影響を見るためであるが、この加工による取代は平行部の直径によって異なり、かつ、直径の大小により黒皮層の影響は異なるものがあると考えられるので、これらの2因子交互作用を求める。

(x) 平行部の直径と加重速度 ($A \times L$)

2.3.2に記したように、荷重速度は現用の試験機の関係から、2水準を選んだが、移動速度で規定してあるので、いわゆる荷重速度 kg/min は直径が異なると変ってくるので、それを考慮してこれらの2因子交互作用を求める。

(xi) 溶湯の化学成分と焼鈍方法 ($H \times J$)

これについては、2.2.6, 2.2.9および(vii), (viii)で記したように、二つの因子には関連が深いので、2因子交互作用を求める。

4.1.4 $L_{16}(2^{15})$ と $L_8(2^7)$ との直積

さきに記したように鋳造までの因子は $L_{16}(2^{15})$ に入れ、焼鈍以後の因子は $L_8(2^7)$ に入れ、両者を直積の形で結ぶ。これは試験片を4.1.1(第17表)のわりつけに従って鋳造しておき、これを全部まとめて4.1.2(第19表)のわりつけに従って焼鈍に入れ試験へ流すようにし、実験のやりやすさをはかる。一般にこのような直積をとるのは、多方分割法ないしは多方交絡法といった手法を用いるためであって、因子にとり上げた各工程の製造能力のアンバランスの調整、および実験の因子の数とその水準の変更の難易から、この必要性が生じてくる。ただしこの場合には製品は工程の途中でも一時貯蔵が可能でなければならない。

4.2 実験の順序

4.1によりわりつけをしてから、実験順序のランダムイズをする。

4.2.1 鋳造までの実験

4.1.1のわりつけに従って、つぎのように順序を定める。

(i) Ⅰ群(第17表)により実験を8日間に分ける。その分け方はⅠ群に属する1~7列の水準の組み合わせが同じ実験番号ごとに分ける。そうすると実験番号1と2, 3と4, ..., 7と8の8組に分れるから、1組を1日で実験するようにする。この8組を8日間のどの日にあてるかは、乱数表によってランダムに配置する。

(ii) 各日の1組の実験は(i)により二つの実験番号のものからできているから、Ⅰ, Ⅱ群を通じて各日ごとに、乱数表によってランダム配置し、どの実験番号から始めるかを定める。

(iii) 各実験番号ごとに2枠ずつくりかえし鋳造する。1日当り

第 22 表

実験日	1日の中での順序	実験 No.
第1日	第1回 第2回	7 (2枠) 8 (2枠)
第2日	第1回 第2回	11 (2枠) 12 (2枠)
第3日	第1回 第2回	10 (2枠) 9 (2枠)
第4日	第1回 第2回	3 (2枠) 4 (2枠)
第5日	第1回 第2回	6 (2枠) 5 (2枠)
第6日	第1回 第2回	16 (2枠) 15 (2枠)
第7日	第1回 第2回	13 (2枠) 14 (2枠)
第8日	第1回 第2回	1 (2枠) 2 (2枠)

第 23 表

焼鈍後の実験 $L_8(2^7)$ 鋳造までの 実験 $L_{16}(2^{15})$		実 験 番 号							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本	$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本	$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本	$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本	$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本	$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本	$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本	$A_1A_2A_3A_4$ 各 4 本
実 験 番 号	1	$A_1A_2A_3A_4$ 各 2 本							
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	15								
	16								

にすると合計して 4 枠鋳造することになる。1 枠には平行部の直径の異なる 4 種の試験片が入っている。1 日当りの枠数合計を 4 枠にしたのは、造形、注湯を各実験番号ごとに行うことができるようにするために、この枠数を増すと、造型と注湯とを切り離さなければならなくなり、その場合には造型と注湯について、さらに 2 方分割法によらなければならなくなる。

以上によって定めた順序はつぎのとおりである（第 22 表）。

第 22 表の実験番号は第 19 表と同じである。またある実験日で二つの実験番号のいずれも失敗した場合は、その実験日を 8 日のあとに加えて追加し、ある実験日内のいずれか一つの実験番号を失敗した場合は、その日の中に、その実験番号を追加する。

4.2.2 焼鈍以後の実験

4.2.1 で鋳造した試験片を全部合わせると 128 本になるので、これを第 20 表の実験に組入れる。すなわち第 21 表を参照すると、実験番号は 8 までであるので $128/8=16$ 本ずつに分けて、各実験番号に入れる。その分け方はつぎのようである。4.2.1 に記したように、鋳造までの実験で、各実験番号ごとに 2 枠、すなわち平行部の直径の異なるもの (A_1, A_2, A_3, A_4) がそれぞれ 2 本ずつ、合計 8 本得られる。これらの 8 本は鋳造条件に対しては同一の処理を受けているので、単にくりかえしをおこなったと考える。ただし、このくりかえしには鋳型間と鋳型内の変動分が含まれている。しかし、この場合は同一の実験番号の枠数が少ないので鋳型間と鋳型内との変動は前者が後者に比べて有意となるほど大きいとは考えられないから分離しないことにし、一応鋳型内の変動にまとめて入れておく（第 18 表参照）。

(ii) 鋳造までの各実験番号ごとの上記の 8 本を 8 組に分けて、合計 16 本ずつの 8 組にまとめて、焼鈍以後の実験に入れるのであるが、焼鈍以後の実験において、各実験番号ごとの 16 本には、平行部の直径の異なるものが 4 種類、各 4 本ずつ入っていないと、8 組の実験について直径の組合わせがバランスをとれないことになる。

(iii) (i), (ii) の組合わせをわかりやすく表示すると、第 23 表になる。この表の 16 行 $\times$ 8 列の空欄へ $A_1A_2A_3A_4$ の直径の異なる試験片を 1 本ずつあてることになり、その場合に列側の条件、行側の条件を満たすようにランダム化することが必要である。このランダム化には適切な方法がないので、便法として 4×4 のラテン方格をラテン方格表から乱数表を用いてランダムに 8 個選出、これを第 23 表の 16 行 8 列にあてはめて並べる。その並べ方は第 24 表のようである。並べ方は乱数表を用いてランダム配置とし、表中に記した○中の数字は、ラテン方格を選び出す回数を示している。()内はそれによって選出されたラテン方格

第 24 表

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2		④				②		
3		(65)				(187)		
4								
5								
6		①				⑦		
7		(105)				(495)		
8								
9								
10		③				⑥		
11		(560)				(350)		
12								
13								
14		⑤				⑧		
15		(169)				(505)		
16								

第 25 表

$L_{16}(2^{15})$	$L_8(2^7)$	1	2	3	4	5	6	7	8
1		3	4	1	2	4	1	2	3
2		2	1	3	4	1	2	3	4
3		4	3	2	1	3	4	1	2
4		1	2	4	3	2	3	4	1
5		2	3	1	4	3	2	1	4
6		3	1	4	3	1	4	3	2
7		1	4	2	3	4	1	2	3
8		4	2	3	1	2	3	4	1
9		2	1	4	3	3	1	4	2
10		3	4	1	2	4	3	2	1
11		4	3	2	1	1	2	3	4
12		1	2	3	4	2	4	1	3
13		1	2	3	4	1	2	3	4
14		2	3	4	1	3	4	1	2
15		4	1	2	3	4	3	2	1
16		3	4	1	2	2	1	4	3

の番号である。その結果は第 25 表に示す。表中の数字の 1, 2, 3, 4 は $A_1 A_2 A_3 A_4$ をそれぞれ表わす。さらにこれらの行および列について乱数表を用いランダム配置をして入れかえる。その結果は第 26 表に示す。表中の数字の意味は第 25 表に同じである。また表中に○印をつけたものは、鋳造までの実験で 16 回の各実験番号ごとにくりかえし鋳造した 2 枠の最初の枠に入っていた試験片であることを示す。これも乱数表を用い同一行中の二つの同一数字からランダムに選出した。

(iv) 以上のわりつけをした上で、焼鈍以後の実験の順序を定める。8 回の実験を乱数表を用いてランダム化すると第 27 表の

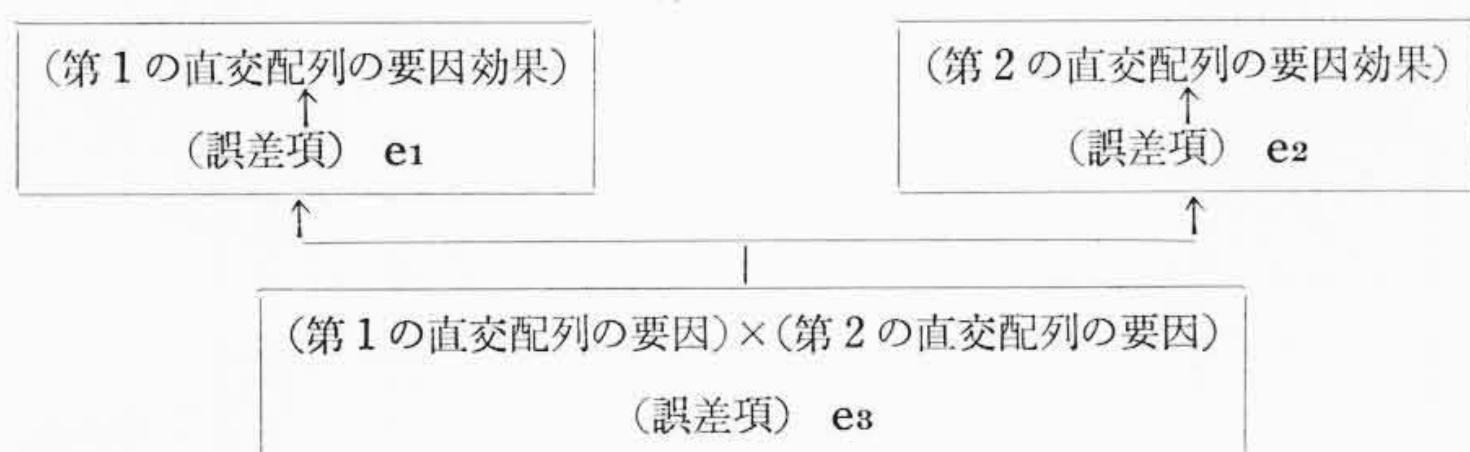
第26表

$L_{16}(2^{15})$	$L_8(2^7)$	1	2	3	4	5	6	7	8
1		3	④	③	4	1	②	2	①
2		①	3	③	②	1	④	4	2
3		3	2	①	④	③	②	1	4
4		4	3	②	①	④	③	1	2
5		3	②	①	2	③	④	4	1
6		2	1	①	③	②	④	3	4
7		3	④	①	②	③	4	2	1
8		2	④	4	①	②	3	③	1
9		2	①	4	1	②	3	④	③
10		②	1	3	④	①	2	③	4
11		①	②	③	④	1	2	3	4
12		1	④	②	①	4	③	2	③
13		4	①	2	3	④	1	②	③
14		4	③	④	3	2	1	①	②
15		4	3	②	③	④	①	1	2
16		①	②	4	2	3	1	④	③

第27表

実験順序	実験 No.
1 { 1 2	5 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本) 6 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本)
2 { 3 4	2 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本) 1 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本)
3 { 5 6	3 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本) 4 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本)
4 { 7 8	8 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本) 7 (A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ 各4本)

第28表



ようになる。第27表の実験番号は第21、26表と同じである。ここで焼鈍方法については4.1.2にも記したようにⅢ群の因子に対応させて、各実験番号単位にまとめ、これを焼鈍方法の因子水準に従って二つの実験番号ごとにまとめて、異なる焼鈍炉へ入れる。焼鈍炉から出たものは、Ⅳ群の因子によって、もとの各実験番号ごとに分けて第27表により加工の上引張試験にかける。したがって4.1.2に記したようにⅢ、Ⅳ群は2方交絡ないしは1方分割と考えられる。各実験番号内での16本(A₁A₂A₃A₄各4本)の試験順序は乱数表によってランダム化する。ランダム化した結果については省く。

4.3 検 定

4.3.1 検定の考え方

(i) 検定の考え方としては4.1に記したわりつけの方法に従わなければならない。一般に二つの直交配列の直積のわりつけにおいては第28表のような検定の方法によるのが正しい。

第28表で第1の直交配列は第17表(Ⅰ、Ⅱ群)であり、第2の直交配列は第20表(Ⅲ、Ⅳ群)である。これらはそれぞれ鑄造までおよび焼鈍以後の実験である。また(第1の直交配列の要因)×(第2の直交配列の要因)は第18表(Ⅴ群)に含まれている。

(ii) 特性値としては、引張強度は計量値であるので、通常の分散分析にかけ、伸びの方は%で示される計量値で、かつその数値は20%以下であると予想されるので、これも通常の分散分析にかけ。ただし、正確には

%で表わされる計量値については、上、下限がある点について多少の考慮が必要である。

(iii) 分散分析を行ってから必要があれば、有意となる各要因効果の寄与率、およびグラフと信頼限界を求める。

4.3.2 検定の順序

(i) Ⅴ群について検定する。有意でない要因効果はすべて誤差項にプールする。

(ii) Ⅴ群の誤差項でⅣ群の誤差項を検定する。有意であればⅣ群の誤差項でⅣ群を検定する。その上で有意でない要因効果はすべて誤差項にプールする。

(iii) Ⅳ群の誤差項でⅢ群の誤差項を検定する。

(a) 有意でなければ両誤差項をプールしてⅢ群を検定する。

(b) 有意であればⅢ群の誤差項でⅢ群を検定する。

そのうえで有意でないものはすべて誤差項へプールする。

(iv) Ⅴ群の誤差項で、Ⅱ群の誤差項を検定する。

有意であれば、Ⅱ群の誤差項でⅡ群を検定する。その上で有意でない要因効果はすべて誤差項にプールする。

(v) Ⅱ群の誤差項でⅠ群の誤差項を検定する。

(a) 有意でなければ両誤差項をプールしてⅠ群を検定する。

(b) 有意であればⅠ群の誤差項でⅠ群を検定する。

(vi) (ii)および(iv)においてつぎの場合がある。

(a) (ii), (iv)のいずれか一方しか有意でないときは、有意でないほうの群の誤差項にⅤ群の誤差項をプールし、それ以後は(iii)または(v)による。

(b) (iii), (iv)のいずれも有意でないときは、理論上では検定順序が明らかでないので、実際上から考えて鑄造条件のほうを主体とした情報なるべく得られるようにする。すなわち

(イ) Ⅴ群の誤差項をまずⅣの誤差項にプールしてⅣ群を検定する。

(ロ) 有意でない要因効果はすべて誤差項にプールする。

(ハ) Ⅳ群の誤差項でⅢ群の誤差項を検定する。以下(iii)と同じ。

(ニ) Ⅲ群の誤差項でⅡ群の誤差項を検定する。

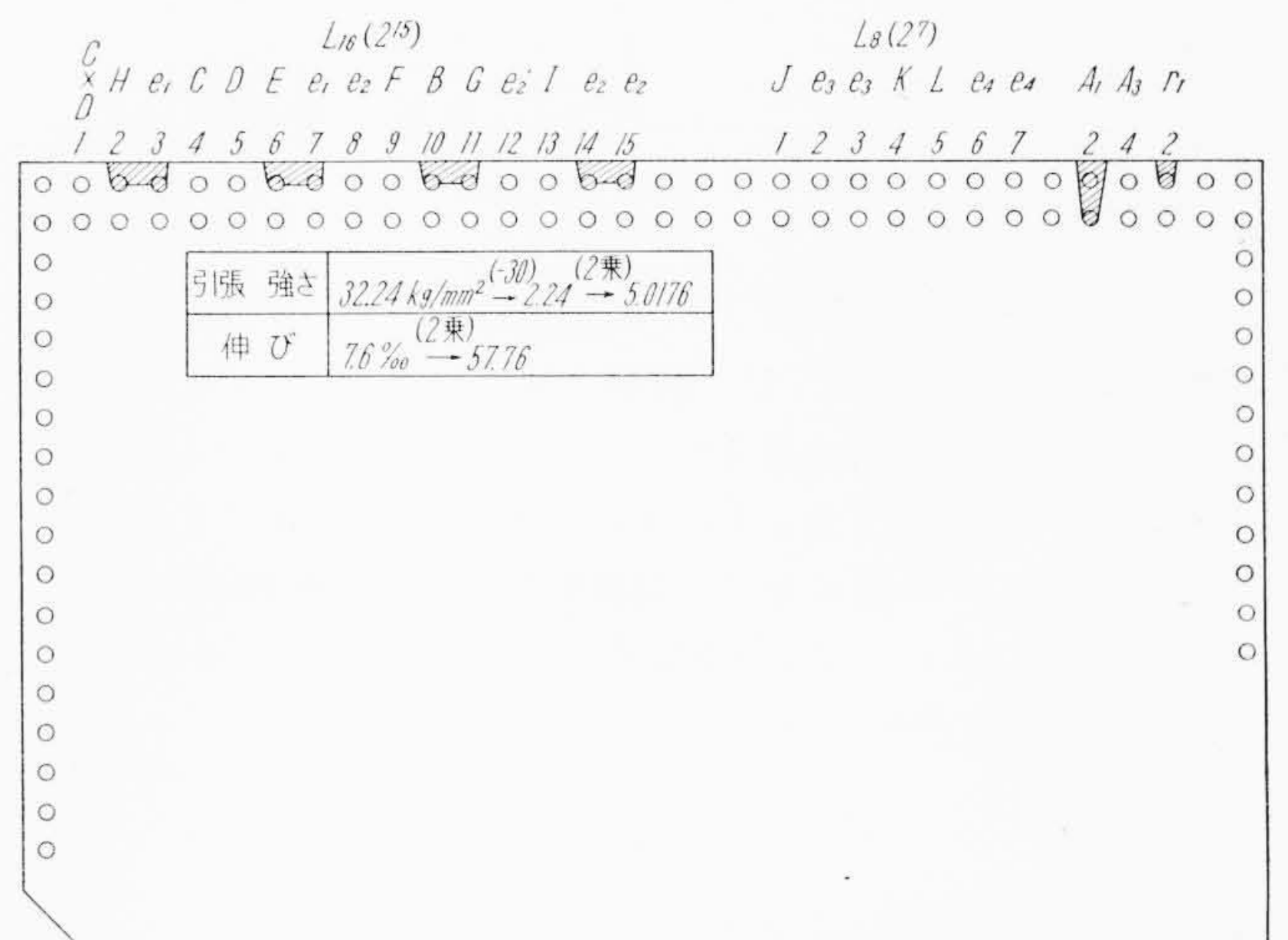
有意でなければ、両誤差項をプールしてⅡ群を検定する。

有意であればⅡ群の誤差項でⅡ群を検定する。

以下(v)に同じ。

またこの場合、結果によっては逆にⅤ群の誤差項をまず、Ⅱ群の誤差項にプールして、Ⅱ、Ⅰ、Ⅳ、Ⅲ群の順序に検定をしてみることとする。

水準
1 2
○ ○
○ ○
A₁ ○ ○
○ ○
A₂ ○ ○
○ ○
A₃ ○ ○
○ ○
A₄ ○ ○
○ ○



$L_{16}(2^{15})$ で実験番号5, $L_8(2^7)$ で実験番号1, 試験片の大きさA₃, くりかえし番号2(第2枠目)

付 図

第 29 表 (その 1)

L ₁₆ (2 ¹⁵)で の実験 No.	L ₁₆ (2 ¹⁵) でのくりか えし No.	L ₈ (2 ⁷)で の実験 No.	平行部の直径 A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ →1, 2, 3, 4	引張強度 (kg/mm ²)	伸び (%)	備 考
1	2	1	3	39.87	8.5	*表面くされ
2	1	1	1	38.85	9.2	
3	2	1	3	35.08	6.0	
4	2	1	4	36.34	5.3	
5	2	1	3	32.24	7.6	
6	2	1	2	34.32	8.3	
7	2	1	3	33.54	6.6	
8	2	1	2	35.31	8.8	
9	2	1	2	36.88	9.7	*
10	1	1	2	36.54	8.5	
11	1	1	1	44.58	8.3	
12	2	1	1	39.40	10.0	
13	2	1	4	29.29	8.4	
14	2	1	4	28.98	7.9	
15	2	1	4	29.03	6.3	
16	1	1	1	39.47	5.5	
1	1	2	4	35.09	10.5	*
2	2	2	3	35.38	11.2	
3	2	2	2	34.77	17.0	
4	2	2	3	35.56	15.0	
5	1	2	2	32.22	11.6	
6	2	2	1	35.62	15.0	
7	1	2	4	33.99	10.7	
8	1	2	4	31.26	6.5	
9	1	2	1	36.82	19.3	*
10	2	2	1	37.02	19.3	
11	1	2	2	40.38	9.6	
12	1	2	4	34.57	13.6	
13	1	2	1	34.83	14.3	
14	1	2	3	31.31	12.3	
15	2	2	3	32.11	11.1	
16	1	2	2	36.43	13.0	

第 29 表 (その 2)

L ₁₆ (2 ¹⁵)で の実験 No.	L ₁₆ (2 ¹⁵) でのくりか えし No.	L ₈ (2 ⁷)で の実験 No.	平行部の直径 A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ →1, 2, 3, 4	引張強度 (kg/mm ²)	伸び (%)	備 考
1	1	3	3	36.84	7.1	*モットル
2	1	3	3	36.61	6.0	
3	1	3	1	37.85	10.9	
4	1	3	2	38.08	9.1	
5	1	3	1	34.61	7.9	
6	1	3	1	37.77	11.8	
7	1	3	1	37.17	8.5	
8	2	3	4	26.99	3.4	
9	2	3	4	34.34	6.8	*吹れ
10	2	3	3	35.38	8.6	
11	1	3	3	38.99	3.5	
12	1	3	2	36.95	8.8	
13	2	3	2	31.97	7.7	
14	1	3	4	39.34	8.6	
15	1	3	2	32.83	9.4	
16	2	3	4	36.94	6.3	
1	2	4	4	36.20	11.3	
2	1	4	2	36.94	15.6	
3	1	4	4	35.09	12.3	
4	1	4	1	36.02	12.5	
5	2	4	2	31.97	14.8	
6	1	4	3	34.41	12.7	
7	1	4	2	36.43	15.5	
8	1	4	1	37.22	14.1	
9	2	4	1	39.60	15.4	
10	1	4	4	34.38	12.7	
11	1	4	4	40.16	10.2	
12	1	4	1	39.21	17.7	
13	2	4	3	31.84	11.1	
14	2	4	3	30.25	10.0	
15	1	4	3	31.67	11.5	
16	2	4	2	37.07	11.6	

第 29 表 (その 3)

L ₁₆ (2 ¹⁵)で の実験 No.	L ₁₆ (2 ¹⁵) でのくりか えし No.	L ₈ (2 ⁷)で の実験 No.	平行部の直径 A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ →1, 2, 3, 4	引張強度 (kg/mm ²)	伸び (%)	備 考
1	2	5	1	35.84	11.1	* 曲り
2	2	5	1	35.34	13.0	
3	1	5	3	33.43	8.4	
4	1	5	4	32.63	10.2	
5	1	5	3	29.38	9.7	
6	1	5	2	32.75	12.5	
7	1	5	3	32.37	9.4	
8	1	5	2	34.66	13.1	
9	1	5	2	34.66	13.1	
10	1	5	1	36.57	15.3	
11	2	5	1	38.67	12.0	
12	2	5	4	32.84	10.2	
13	1	5	4	28.23	7.1	
14	2	5	2	32.48	12.9	
15	1	5	4	26.31	5.9	
16	2	5	3	32.62	7.9	
1	1	6	2	34.52	18.1	
2	1	6	4	33.08	15.0	
3	1	6	2	34.39	20.1	
4	1	6	3	33.08	17.7	
5	1	6	4	28.46	7.6	
6	1	6	4	29.96	10.5	
7	2	6	4	33.73	12.6	
8	2	6	3	31.22	7.0	
9	2	6	3	35.07	15.4	
10	2	6	2	35.79	19.8	
11	2	6	2	36.68	16.6	
12	1	6	3	33.52	16.2	
13	2	6	1	36.62	14.3	
14	2	6	1	36.62	14.1	
15	1	6	1	35.31	14.3	
16	2	6	1	35.62	17.5	

第 29 表 (その 4)

L ₁₆ (2 ¹⁵)で の実験 No.	L ₁₆ (2 ¹⁵) でのくりか えし No.	L ₈ (2 ⁷)で の実験 No.	平行部の直径 A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ →1, 2, 3, 4	引張強度 (kg/mm ²)	伸び (%)	備 考
1	2	7	2	35.95	12.6	
2	2	7	4	32.08	8.7	
3	2	7	1	34.97	15.5	
4	2	7	1	36.91	16.1	
5	2	7	4	28.84	9.1	
6	2	7	3	31.74	10.2	
7	2	7	2	32.77	11.5	
8	1	7	3	31.36	8.3	
9	1	7	4	33.68	13.5	吹かれ
10	1	7	3	32.51	11.4	
11	2	7	3	30.53	9.0	
12	2	7	2	35.51	11.3	
13	1	7	2	31.23	9.8	
14	1	7	1	34.31	16.2	
15	2	7	1	34.61	14.0	
16	1	7	4	32.03	9.1	
1	1	8	1	36.62	19.7	
2	2	8	2	34.77	17.8	
3	2	8	4	33.34	16.7	
4	2	8	2	34.77	20.6	
5	2	8	1	33.83	15.0	
6	2	8	4	31.78	13.9	
7	2	8	1	36.42	17.5	
8	2	8	1	36.62	18.1	
9	1	8	3	34.76	15.1	
10	2	8	4	34.51	11.9	
11	2	8	4	35.87	12.5	
12	2	8	3	33.43	21.6	
13	1	8	3	32.46	8.8	
14	1	8	2	34.26	14.1	
15	2	8	2	34.39	15.4	
16	1	8	3	33.88	13.6	

注：* はゲージ長さの範囲で破断しなかったものを示す

5. 特性値についての測定データ

解析の便のために第 17～21, 26 表をもとにして, ホール, ソート, カードに各直交配列の組合わせごとに, 因子水準をパンチし測定データもこれに記入することにする。合計 128 枚のカードができる。その一例は第 12 図に示す。全部をまとめると第 29 表のようになる。ただし 6. における分散分析の計算においては, 引張強度の各値から 30(kg/mm²)を引いた値を用いる。

6. 要因効果の検定

4.3 の方針にしたがって分散分析を行う。

6.1 補助表の作成

引張強度, 伸びの両特性値につき各要因効果の計算に便利な補

助表を第 29 表から作る(第 30～32 表)。各欄の上段は引張強度(kg/mm²), 下段は伸び(%)を示す。また引張強度は第 29 表の各値から 30(kg/mm²)を引いた値を用いる。

6.2 引張強度についての計算

6.2.1 変動の計算

詳細な計算は省略して結果だけを記す。

6.2.2 分散分析表の作成と検定

6.2.1 の計算をもとにして分散分析表にまとめると第 33 表のようになる。なお検定の結果 1%危険率で有意の要因効果には**印, 5%危険率では*印をつける。

(1) V 群の検定

(i) e₅で V 群の要因効果を検定する。F 表より

第 30 表 (その 1)

因子 A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	計
B ₁	118.20 224.5	85.01 211.1	61.36 155.0	51.01 160.0	315.58 750.6
B ₂	102.72 218.9	73.16 207.2	51.08 183.5	28.81 155.3	255.77 764.9
C ₁	100.87 230.9	66.75 206.9	60.05 165.7	28.20 163.5	255.87 767.0
C ₂	120.05 212.5	91.42 211.4	52.39 172.8	51.62 151.8	315.48 748.5
D ₁	115.35 202.0	83.18 207.0	63.22 167.4	43.74 160.7	305.49 737.1
D ₂	105.57 241.4	74.99 211.3	49.22 171.1	36.08 154.6	265.86 778.4
E ₁	109.10 231.8	85.44 213.5	65.19 158.7	44.10 151.2	303.83 755.2
E ₂	111.82 211.6	72.73 204.8	47.25 179.8	35.72 164.1	267.52 760.3
F ₁	105.53 221.7	77.55 221.2	55.65 164.9	48.33 171.1	287.06 778.9
F ₂	115.39 221.7	80.62 197.1	56.79 173.6	31.49 144.2	284.29 736.6
G ₁	106.08 235.4	71.38 201.2	56.87 168.5	29.37 161.2	263.70 766.3
G ₂	114.84 208.0	86.79 217.1	55.57 170.0	50.45 154.1	307.65 749.2

第 30 表 (その 2)

因子 A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	計
H ₁	124.27 225.3	97.08 228.3	80.04 180.7	74.16 181.4	375.55 815.7
H ₂	96.65 218.1	61.09 190.0	32.40 157.8	5.66 133.9	195.80 699.8
I ₁	105.36 228.0	80.33 215.0	52.30 158.3	34.89 139.9	272.88 741.2
I ₂	115.56 215.4	77.84 203.3	60.14 180.2	44.93 175.4	298.47 774.3
J ₁	126.04 199.7	89.09 179.0	71.08 148.8	51.95 140.8	338.16 668.3
J ₂	94.88 243.7	69.08 239.3	41.36 189.7	27.87 174.5	233.19 847.2
K ₁	116.92 185.3	72.39 167.1	62.49 128.2	18.35 126.8	270.15 607.4
K ₂	104.00 258.1	85.78 251.2	49.95 210.3	61.47 188.5	301.20 908.1
L ₁	117.36 202.5	82.45 212.8	75.97 169.3	31.94 153.7	307.72 738.4
L ₂	103.56 240.8	75.72 205.5	36.47 169.2	47.88 161.6	263.63 777.1
e ₁ (3) ₁	99.79 218.2	74.35 224.8	61.99 166.2	34.50 149.6	270.63 758.8
e ₁ (3) ₂	121.13 225.2	83.82 193.5	50.45 172.3	45.32 165.7	300.72 756.7
e ₁ (7) ₁	118.32 218.1	80.31 203.8	59.52 156.6	41.70 157.2	299.85 735.7
e ₁ (7) ₂	102.60 225.3	77.86 214.5	52.92 181.9	38.12 158.1	271.50 779.8
e ₂ (8) ₁	108.35 218.0	71.54 212.5	60.18 148.8	42.11 161.5	282.18 740.8
e ₂ (8) ₂	112.57 225.4	86.63 205.8	52.26 189.7	37.71 153.8	289.17 774.7
e ₂ (12) ₁	109.24 228.5	77.68 193.7	57.13 190.6	37.69 138.9	281.74 751.7
e ₂ (12) ₂	111.68 214.9	80.49 224.6	55.31 147.9	42.13 176.4	289.61 763.8

$F_{77}^1(0.01)=6.97$

$F_{77}^1(0.05)=3.96$

$F_{77}^3(0.01)=4.05$

$F_{77}^3(0.05)=2.72$

が求められ、これを用いると

1%危険率でA, A×B, A×C, A×E, A×H, A×J, A×K, A×L, H×Jが有意である。

(ii) 有意でない要因効果をe₅にプールしてe₅'とする。

第 30 表 (その 3)

因子 A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	計
e ₂ (14) ₁	108.25 233.2	77.05 202.9	59.53 200.4	39.27 157.8	284.1 794.3
e ₂ (14) ₂	112.67 210.2	81.12 215.4	52.91 138.1	40.55 157.5	287.25 721.2
e ₂ (15) ₁	115.75 218.7	85.18 204.8	65.62 161.1	61.13 163.2	327.68 747.8
e ₂ (15) ₂	105.17 224.7	72.99 213.5	46.82 177.4	18.69 152.1	243.67 767.7
e ₃ (2) ₁	117.18 212.5	82.78 212.7	55.78 170.0	24.29 148.3	280.03 743.5
e ₃ (2) ₂	103.74 230.9	75.39 205.6	56.66 168.5	55.53 167.0	291.32 772.0
e ₃ (3) ₁	110.88 233.0	80.00 199.6	55.76 176.3	40.68 164.6	287.32 773.5
e ₃ (3) ₂	110.04 210.4	78.17 218.7	56.68 162.2	39.14 150.7	284.03 742.0
e ₄ (6) ₁	124.26 214.4	78.20 212.3	51.23 168.5	45.48 162.8	299.17 758.0
e ₄ (6) ₂	96.66 229.0	79.97 206.0	61.21 170.0	34.34 152.5	272.18 757.5
計	220.92 443.4	158.17 418.3	112.44 338.5	79.82 315.3	571.35 1,515.5

第 31 表

	H ₁	H ₂	計
J ₁	229.73 349.5	108.43 318.8	338.16 668.3
J ₂	145.82 466.2	87.37 381.0	233.19 847.2
計	375.55 815.7	195.80 699.8	1,515.5 571.35

第 32 表

	D ₁	D ₂	計
B ₁	188.70 360.0	126.88 390.6	315.58 750.6
B ₂	116.79 377.1	138.98 387.8	255.77 764.9
C ₁	133.38 373.6	122.49 393.4	255.87 767.0
C ₂	172.11 363.5	143.37 385.0	315.48 748.5
計	305.49 737.1	265.86 778.4	1,515.5 571.35

	ss	df	ms
e ₅ '	11.4255	80	0.1428

(iii) e₅'でⅣ群のe₄を検定する。F表より

$F_{80}^2(0.01)=488$ $F_{80}^2(0.05)=311$

が求められ、これを用いると、1%危険率でe₄は有意である。

(iv) e₅'のⅡ群のe₂を検定する。F表より

$F_{80}^3(0.01)=4.04$ $F_{80}^3(0.05)=2.72$

が求められ、これを用いると有意でない。

(2) Ⅳ群の検定

(i) (1)(iii)の結果により、e₄でⅣ群要因効果を検定する。

F表より

$F_2^1(0.01)=98.49$ $F_2^1(0.05)=18.51$

が求められ、これを用いるとすべて有意でない。

(ii) 有意でない要因効果をe₄にプールして、e₄'とする。

	ss	df	ms
e ₄ '	31.1218	4	7.7805

(iii) e₄'でⅢ群のe₃を検定する。F表より

$F_4^2(0.01)=18.0$ $F_4^2(0.05)=6.94$

が求められ、これを用いると有意でない。

第 33 表

群	要因記号	ss	df	ms
I	C×D	2.4892	1	2.4892
	H	252.4224	1	252.4224*
	C	27.7602	1	27.7602
	D	12.2698	1	12.2698
	E	10.3002	1	10.3002
	e ₁	13.3526	2	6.6763**
II	F	0.0600	1	0.0600
	B	27.9472	1	27.9472**
	G	15.0907	1	15.0907**
	I	5.1160	1	5.1160**
	B×D	55.1381	1	55.1381**
	e ₂	1.0212	3	0.3404
III	J	86.0836	1	86.0836**
	e ₃	1.0804	2	0.5402
IV	K	7.5321	1	7.5321
	L	15.1870	1	15.1870
	e ₄	8.4027	2	4.2014**
V	A	350.8493	3	116.9498**
	A×B	2.6331	3	0.8777**
	A×C	21.7285	3	7.2428**
	A×D	0.7739	3	0.2579
	A×E	7.2313	3	12.8271**
	A×H	29.4514	3	9.8171**
	A×J	2.4936	3	0.8312**
	A×K	66.3055	3	22.1018**
	A×L	48.8775	3	16.2925**
	H×J	30.8603	1	30.8603**
	e ₅	10.6516	77	0.1383
計	T	1,113.1098	127	

第 34 表

群	要因記号	ss	df	ms
I	C×D	0.02	1	0.02
	H	104.95	1	104.95**
	C	2.68	1	2.68
	D	13.33	1	13.33
	E	0.21	1	0.21
	e ₁	15.24	2	7.62
II	F	13.98	1	13.98
	B	1.60	1	1.60
	G	2.29	1	2.29
	I	8.56	1	8.56
	B×D	3.09	1	3.09
	e ₂	51.88	3	17.29**
III	J	250.04	1	250.04**
	e ₃	14.11	2	7.06
IV	K	706.41	1	706.41**
	L	9.40	1	9.40*
	e ₄	1.61	2	0.81
V	A	355.93	3	118.64**
	A×B	25.93	3	8.64*
	A×C	14.39	3	4.79
	A×D	37.35	3	12.45**
	A×E	34.02	3	11.34**
	A×H	29.41	3	9.80**
	A×J	11.86	3	3.95
	A×K	9.84	3	3.28
	A×L	37.52	3	12.51**
	H×J	23.20	1	23.20**
	e ₅	172.50	77	2.24
計	T	1,951.35	127	

(3) III 群の検定

(i) (2)(iii)の結果により e₄' を e₃ にプールして e₃' とする。

	ss	df	ms
e ₃ '	32.2022	6	5.3670

(ii) e₃' で II 群の要因効果を検定する。F 表より

$$F_6^1(0.01) = 13.74 \quad F_6^1(0.05) = 5.99$$

が求められ、これを用いると、1%危険率で J が有意である。

(4) II 群の検定

(i) (1)(iv)の結果により e₅' を e₂ にプールして e₂' とする。

	ss	df	ms
e ₂ '	12.4467	83	0.1500

(ii) e₂' で II 群の要因効果を検定する。F 表より

$$F_{83}^1(0.01) = 6.95 \quad F_{83}^1(0.05) = 3.96$$

が求められ、これを用いると 1%の危険率で B, G, I, B×D が有意である。

(iii) 有意でない要因効果を e₂' にプールして e₂'' とする。

	ss	df	ms
e ₂ ''	12.5067	84	0.1489

(iv) e₂'' で I 群の e₁ を検定する。F 表より

$$F_{84}^2(0.01) = 4.87 \quad F_{84}^2(0.05) = 3.11$$

が求められ、これを用いると、1%の危険率で e₁ は有意である。

(5) I 群の検定

(i) (4)(iv)の結果により、e₁ で I 群の要因効果を検定する。F 表より

$$F_2^1(0.01) = 98.49 \quad F_2^1(0.05) = 18.51$$

が求められ、これを用いると 5%の危険率で、H が有意である。

(ii) 有意でない要因効果を e₁ にプールして e₁' とする。

	ss	df	ms
e ₁ '	66.1720	6	11.0287

(6) 以上のほか、各群において、今後考慮したほうがよいと考えられる要因効果としては、つぎのとおりである。いずれも 5%の

危険率でも有意でない。

I 群	C
II 群	ない
III 群	ない
IV 群	L
V 群	ない

これらは、群によっては、誤差の自由度が少ないために考慮するものと考えられ、またほかの因子との 2 因子交互作用が有意であるためでもある。

6.3 伸びについての計算

6.3.1 変動の計算

詳細な計算は省略して結果だけを記す。

6.3.2 分散分析表の作成と検定

6.3.1 の計算結果をもとにして分析表にまとめると第 34 表のようになる。

なお、検定の結果、1%危険率で有意の要因効果には**印、5%の危険率では*印をつける。

(1) V 群の選定

(i) e₅ で V 群の要因効果を検定する。F 表より

$$F_{77}^1(0.01) = 6.97 \quad F_{77}^1(0.05) = 3.96$$

$$F_{77}^3(0.01) = 4.05 \quad F_{77}^3(0.05) = 2.72$$

が求められ、これを用いると 1%危険率で A, A×D, A×E, A×H, A×L, 5%危険率で A×B が有意である。

(ii) 有意でない要因効果を e₅ にプールして e₅' とする。

	ss	df	ms
e ₅ '	208.59	8.6	2.43

(iii) e₅' で IV 群の e₄ を検定する。F 表より

$$F_{86}^2(0.01) = 4.86 \quad F_{86}^2(0.05) = 3.11$$

が求められ、これを用いると有意でない。

(iv) e₅' で II 群の e₂ を検定する。F 表より

$$F_{86}^3(0.01) = 4.02 \quad F_{86}^3(0.05) = 2.72$$

第 35 表

群	要 因	引張り強度	伸 び
I	H (溶湯の化学成分)	* [H ₁]	** [H ₁]
	C (せきの大きさ)	? [C ₁]	—
	B (平行部の長さ)	** [B ₁]	—
	e ₁	**	—
II	G (砂締め)	** [G ₂]	—
	I (注湯温度)	** [I ₂]	—
	B×D (平行部の長さ×せきの位置)	** [B ₁ D ₁]	—
	e ₂	—	**
III	J (焼鈍方法)	** [J ₁]	** [J ₂]
IV	K (機械加工)	—	** [K ₂]
	L (荷重速度)	? [L ₂]	* [L ₂]
V	e ₄	**	—
	A (平行部の直径)	** [A ₁]	** [A ₁]
	A×B (平行部の直径×平行部の長さ)	** [A ₁ B ₁]	* [A ₁ B ₁]
	A×C (平行部の直径×せきの大きさ)	** [A ₁ C ₂]	—
	A×D (平行部の直径×せきの位置)	—	** [A ₁ D ₂]
	A×E (平行部の直径×盲押湯の大きさ)	** [A ₁ E ₂]	** [A ₁ E ₁]
	A×H (平行部の直径×溶湯の化学成分)	** [A ₁ H ₁]	** [A ₁ H ₁]
	A×J (平行部の直径×焼鈍方法)	** [A ₁ J ₁]	—
	A×K (平行部の直径×機械加工)	** [A ₁ K ₁]	—
	A×L (平行部の直径×荷重速度)	** [A ₁ L ₁]	** [A ₁ L ₂]
	H×J (溶湯の化学成分×焼鈍方法)	** [H ₁ J ₁]	** [H ₁ J ₂]

が求められ、これを用いると1%危険率で有意である。

(2) IV群の検定

(i) (1)(iii)の結果により、e₅'をe₄にプールしてe₄'とする。

	ss	df	ms
e ₄ '	210.20	8.8	2.39

(ii) e₄'でIV群の要因効果を検定する。F表より

$$F_{88}^1(0.01) = 6.94 \quad F_{88}^1(0.05) = 3.95$$

が求められ、これを用いると1%危険率でK5%危険率でLが有意である。

(iii) e₄'でIII群のe₃を検定する。F表より

$$F_{88}^2(0.01) = 4.86 \quad F_{88}^2(0.05) = 3.10$$

が求められ、これを用いると有意でない。

(3) III群の検定

(i) (2)(iii)の結果によりe₄をe₃にプールしてe₃'とする。

	ss	df	ms
e ₃ '	224.31	90	2.49

(ii) e₃'でIII群の要因効果を検定する。F表より

$$F_{90}^1(0.01) = 6.93 \quad F_{90}^1(0.05) = 3.95$$

が求められ、1%の危険率でJが有意である。

(4) II群の検定

(i) (1)(iv)の結果により、e₂でII群の要因効果を検定する。F表より

$$F_3^1(0.01) = 34.12 \quad F_3^1(0.05) = 10.13$$

が求められ、これを用いるとすべて有意でない。

(ii) 有意でない要因効果をe₂にプールしてe₂'とする。

	ss	df	ms
e ₂ '	81.40	8	10.8

(iii) e₂'でI群のe₁を検定する。F表より

$$F_8^2(0.01) = 8.65 \quad F_8^2(0.05) = 4.46$$

が求められ、これを用いるとe₁に有意でない。

(5) I群の検定

(i) (4)(iii)の結果よりe₂'をe₁にプールしてe₁'とする。

	ss	df	ms
e ₁ '	96.64	10	9.66

(ii) e₁'でI群の要因効果を検定する。F表より

$$F_{10}^1(0.01) = 10.04$$

$$F_{10}^1(0.05) = 4.96$$

が求められ、これを用いると1%危険率でHが有意である。

(iii) 有意でない要因効果をe₁'にプールしてe₁'とする。

	ss	df	ms
e ₁ '	112.88	14	8.06

6.4 有意となった要因効果のまとめ

6.2, 6.3で明らかになった要因効果の有意なものをまとめると第35表のようになる。ここで**印は1%, *印は5%危険率であることを示し、?印は有意ではないが今後、さらに検討を要することを示す。

引張強度に影響を与える要因の数は15で伸びに影響を与えるものは11であって、前者のほうが多い。この場合誤差は要因の数に含めていない。第35表中に[]で示した水準が引張強度、伸びをもっとも大きくするものである。これらを引張強度と伸びとについて比べると、二つのいずれにも同時によい影響を与える要因の水準ばかりではないことがわかる。

7. 要因効果の推定

6.の結果により、有意となった要因効果をグラフにまとめ、かつ工程平均の信頼限界を求める。

信頼限界の計算は、ここでは多段分割法として行う。本来は2方分割法または交絡法になっているので、このようなやり方は多少問題があるが、一応の目安として求めることにする。

7.1 引張強度について

7.1.1 信 頼 限 界

群間でプールされなかった誤差変動をもとにして計算する。

第 36 表

単 位 kg/mm ²	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	計
B ₁	37.38	35.31	33.84	33.19	34.93
B ₂	36.42	34.57	33.19	31.80	34.00
C ₁	36.31	34.17	33.75	31.76	34.00
C ₂	37.50	35.71	33.27	33.22	34.93
E ₁	36.81	35.33	34.07	32.76	34.75
E ₂	37.00	34.54	32.96	32.23	34.18
H ₁	37.76	36.07	35.00	34.63	35.87
H ₂	36.03	33.82	32.03	30.35	33.06
J ₁	37.88	35.57	34.44	33.25	35.28
J ₂	35.93	34.32	32.59	31.74	33.64
K ₁	37.31	34.52	33.91	31.15	34.22
K ₂	36.50	35.36	33.12	33.84	34.70
L ₁	37.34	35.15	34.74	32.00	34.81
L ₂	36.46	34.73	32.28	33.00	34.12
計	36.91	34.94	33.52	32.49	34.46

第 37 表

単位 kg/mm ²	D ₁	D ₂	計
B ₁	35.90	33.97	34.93
B ₂	33.65	34.34	34.00
計	34.78	34.15	34.46

第 38 表

単位 kg/mm ²	H ₁	H ₂	計
J ₁	37.18	33.39	35.28
J ₂	34.56	32.73	33.64
計	35.87	33.06	34.46

第 39 表 単位 kg/mm²

G ₁	G ₂
34.12	34.81

第 40 表 単位 kg/mm²

I ₁	I ₂
34.26	34.66

	ss	df	ms
e_3'	32.2022	6	5.3670
e_2''	12.5067	84	0.1489
e_1'	66.1720	6	11.0287

以上の三つの誤差変動が残ることになる。

つぎに各誤差に対する有効反復数 n_e を求める。

e_1' に対するものには一般平均の自由度 1 を加える。*

$$* (n_e)_{e_3'} = \frac{128}{1}$$

$$(n_e)_{e_2''} = \frac{128}{29}$$

$$(n_e)_{e_1'} = \frac{128}{1+1}$$

さらに各誤差変動に対する F の値を求める。

$$F_6^1(0.01) = 13.74$$

$$F_{84}^1(0.01) = 6.95$$

以上の数値をもとにして 99% 信頼限界はつぎのように求められる。

$$\sqrt{F_6^1(0.01) \times \frac{1}{(n_e)_{e_1'}} (ms)_{e_1'} + F_{84}^1(0.01) \times \frac{1}{(n_e)_{e_2''}} (ms)_{e_2''} + F_6^1(0.01) \times \frac{1}{(n_e)_{e_3'}} (ms)_{e_3'}}$$

$$= \sqrt{13.74 \times \frac{2}{128} \times 11.0287 + 6.95 \times \frac{29}{128} \times 0.1489 + 13.74 \times \frac{1}{128} \times 5.3670} = \sqrt{\frac{407}{128}} = 1.79 \text{ (単位は kg/mm}^2\text{)}$$

7.1.2 効果の推定

有意となった要因効果をもとに、推定値を求める。すなわち第 30, 35 表から次表を作る (第 41, 42 表)。

さらにグラフにして示すと、第 12~25, 36' 図のようになる。図中の上下の矢印は 99% 信頼限界を示す。

第 41 表

単位%	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	計
B ₁	14.0	13.2	9.7	10.0	11.7
B ₂	13.7	12.9	11.5	9.7	12.0
D ₁	12.6	12.9	10.5	10.0	11.5
D ₂	15.1	13.2	10.7	9.7	12.2
E ₁	14.5	13.3	9.9	9.5	11.8
E ₂	13.2	12.8	11.2	10.2	11.9
H ₁	14.1	14.3	11.3	11.3	12.7
H ₂	13.6	11.9	9.9	8.4	10.9
J ₁	12.5	11.2	9.3	8.8	10.4
J ₂	15.2	15.0	11.9	10.9	13.2
K ₁	11.6	10.4	8.0	7.9	9.5
K ₂	16.1	15.7	13.1	11.8	14.2
L ₁	12.6	13.3	10.6	9.6	11.5
L ₂	15.0	12.8	10.6	10.1	12.1
計	13.9	13.1	10.6	9.9	11.8

第 42 表

単位 %	H ₁	H ₂	計
J ₁	10.9	10.0	10.4
J ₂	14.6	11.9	13.2
計	12.7	10.9	11.8

7.2 伸びについて

7.2.1 信 頼 限 界

群間でプールされなかった誤差変動をもとにして計算する。

	ss	df	ms
e_3'	224.31	90	2.49
e_1''	112.88	14	8.06

以上の二つの誤差変動が残ることになる。

つぎに各誤差に対する有効反復数 n_e を求める。

$$(n_e)_{e_3'} = \frac{128}{22} = \frac{64}{11}$$

$$(n_e)_{e_1''} = \frac{128}{1+1} = \frac{64}{1}$$

さらに各誤差変動に対する F の値を求める。

$$F_{90}^1(0.01) = 6.98$$

$$F_{14}^1(0.01) = 8.86$$

以上の数値をもとにして 99% 信頼限界はつぎのようにして求められる。

$$\sqrt{F_{90}^1(0.01) \times \frac{1}{(n_e)_{e_3'}} (ms)_{e_3'} + F_{14}^1(0.01) \times \frac{1}{(n_e)_{e_1''}} (ms)_{e_1''}}$$

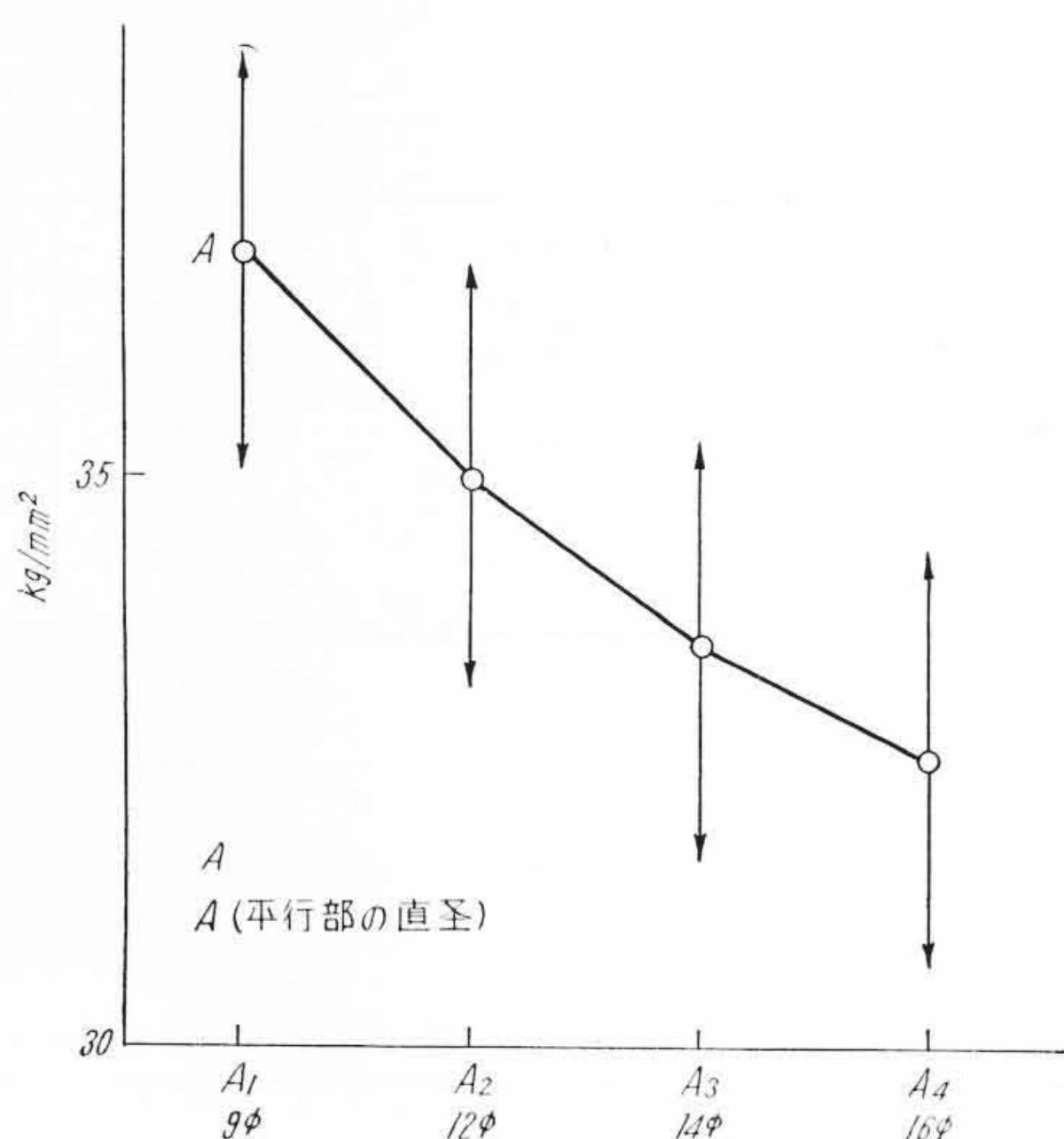
$$= \sqrt{6.98 \times \frac{11}{64} \times 2.49 + 8.86 \times \frac{1}{64} \times 8.06} = \sqrt{\frac{262.5}{8}} = \frac{162}{8}$$

$$= 2.0 \text{ (単位は \%)}$$

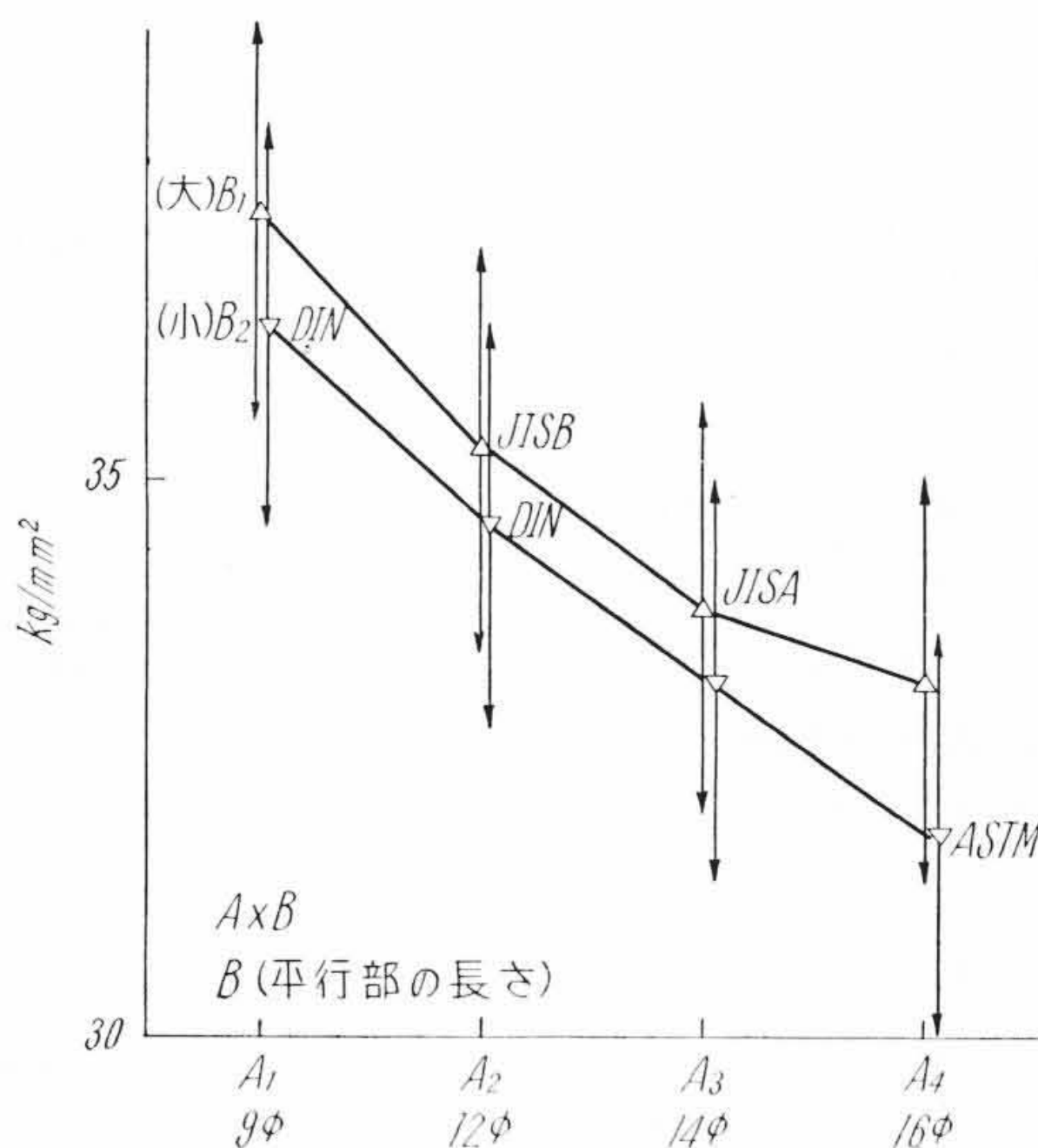
7.2.2 効果の推定

有意となった要因効果をもとに推定値を求める。すなわち第 30, 35 表から次表を作る (第 41, 42 表)。

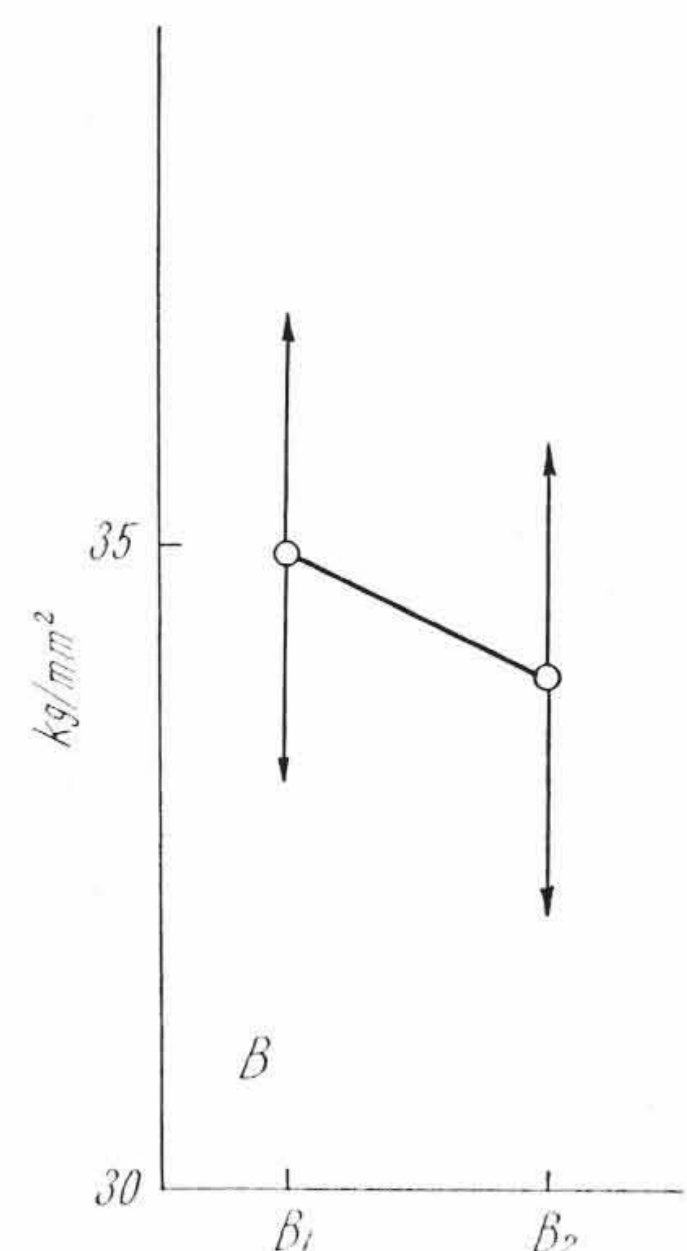
さらにグラフにして示すと第 26~38 図のようになる。図中の



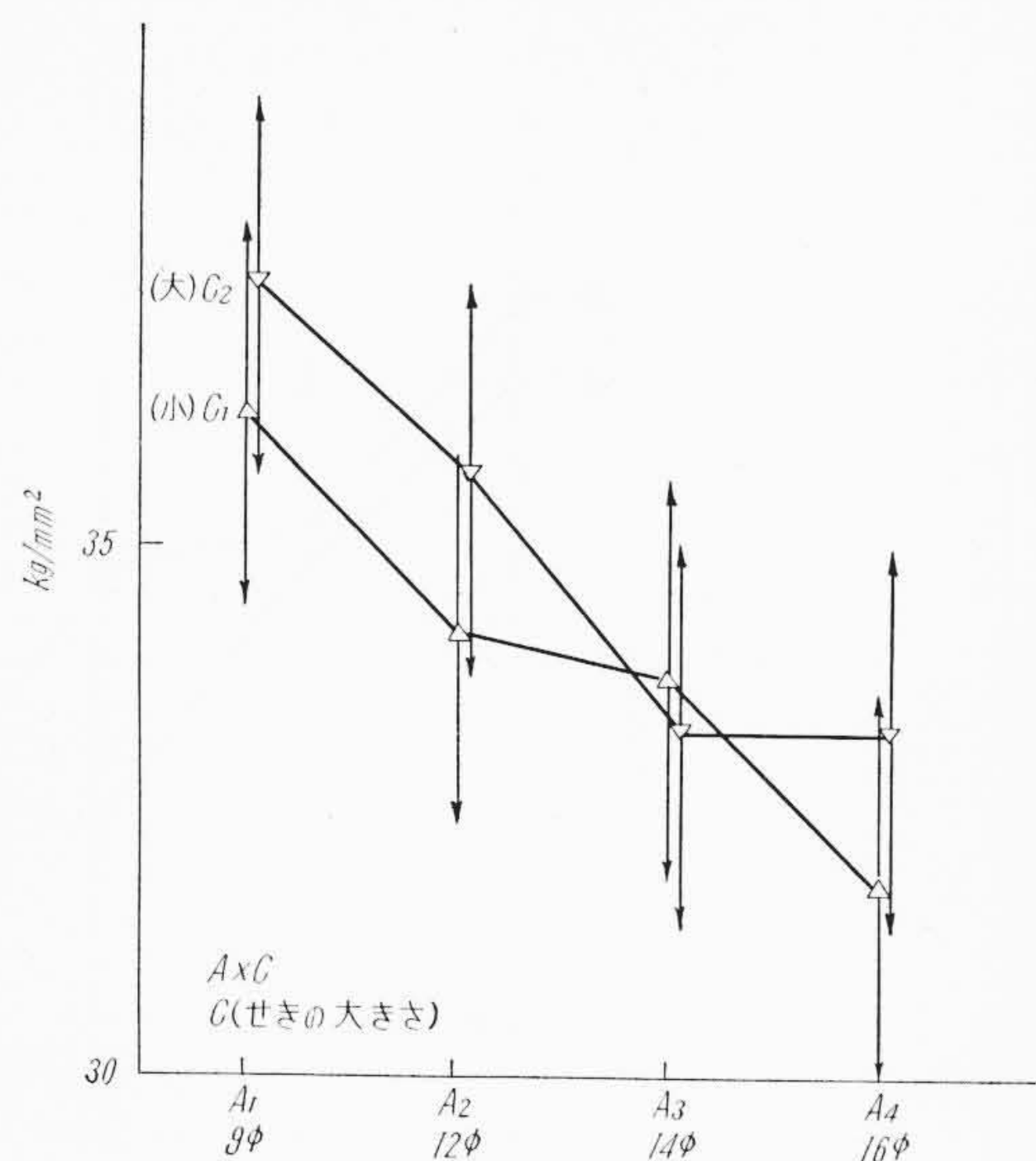
第 12 図



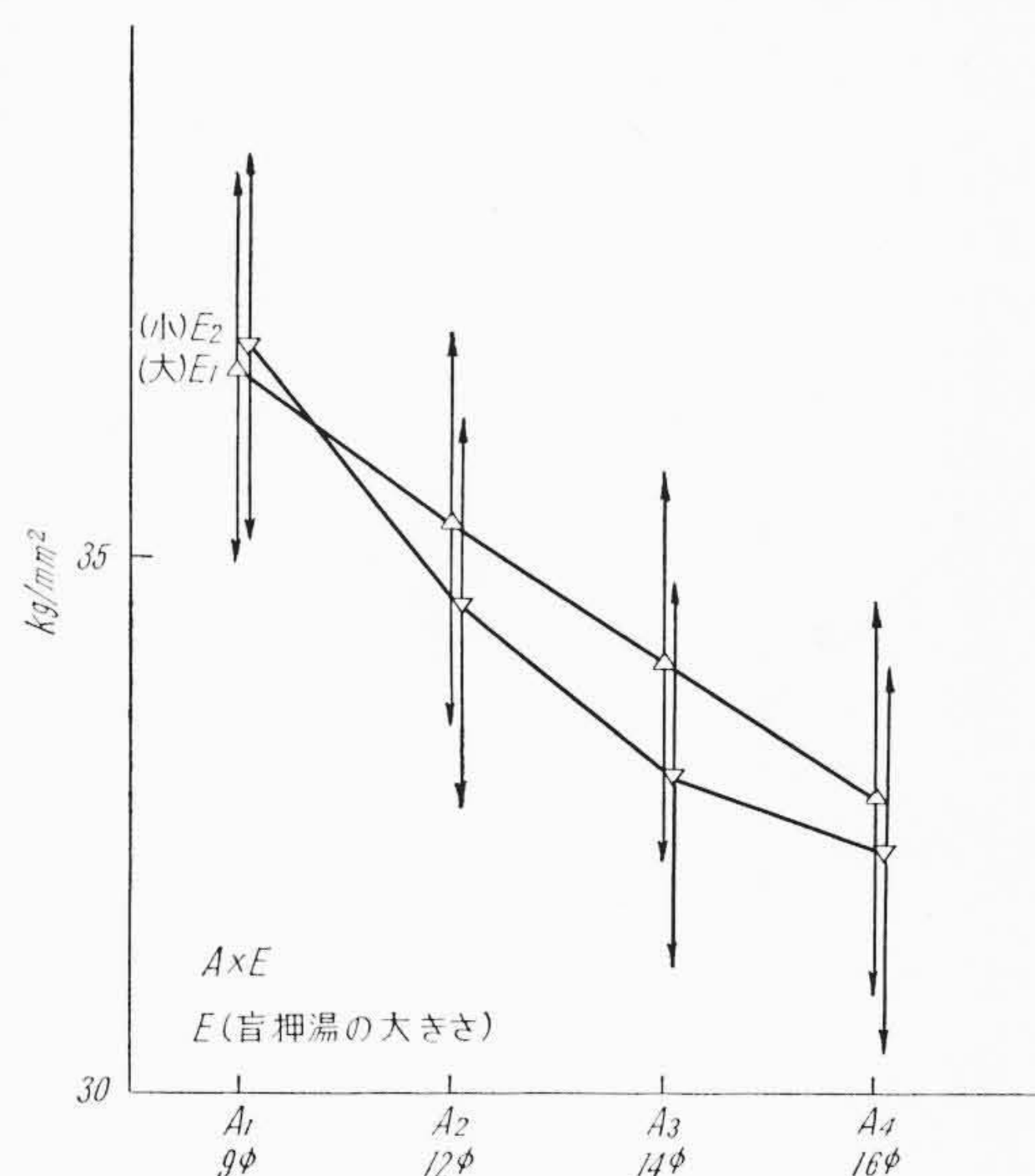
第 13 図



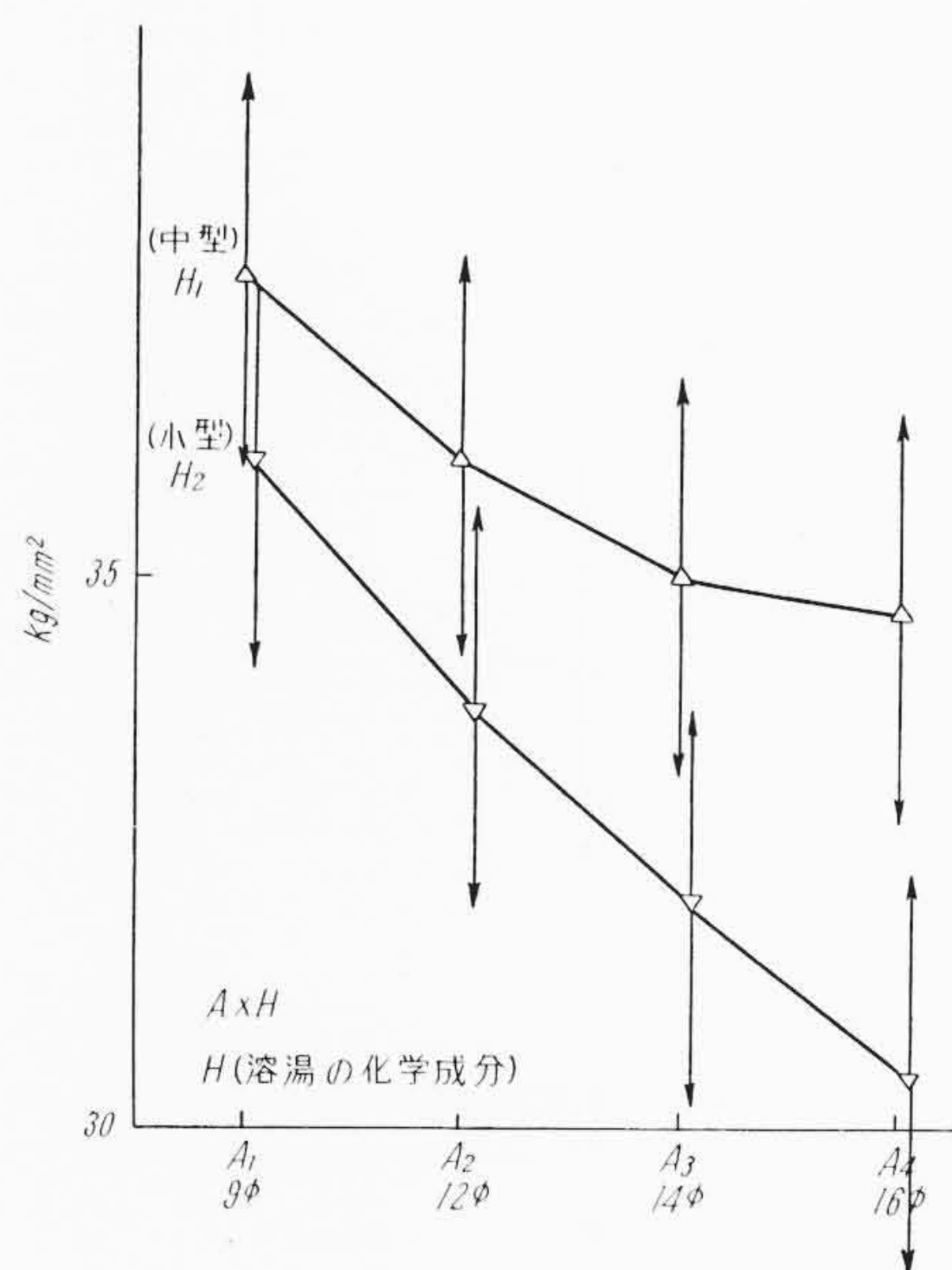
第 14 図



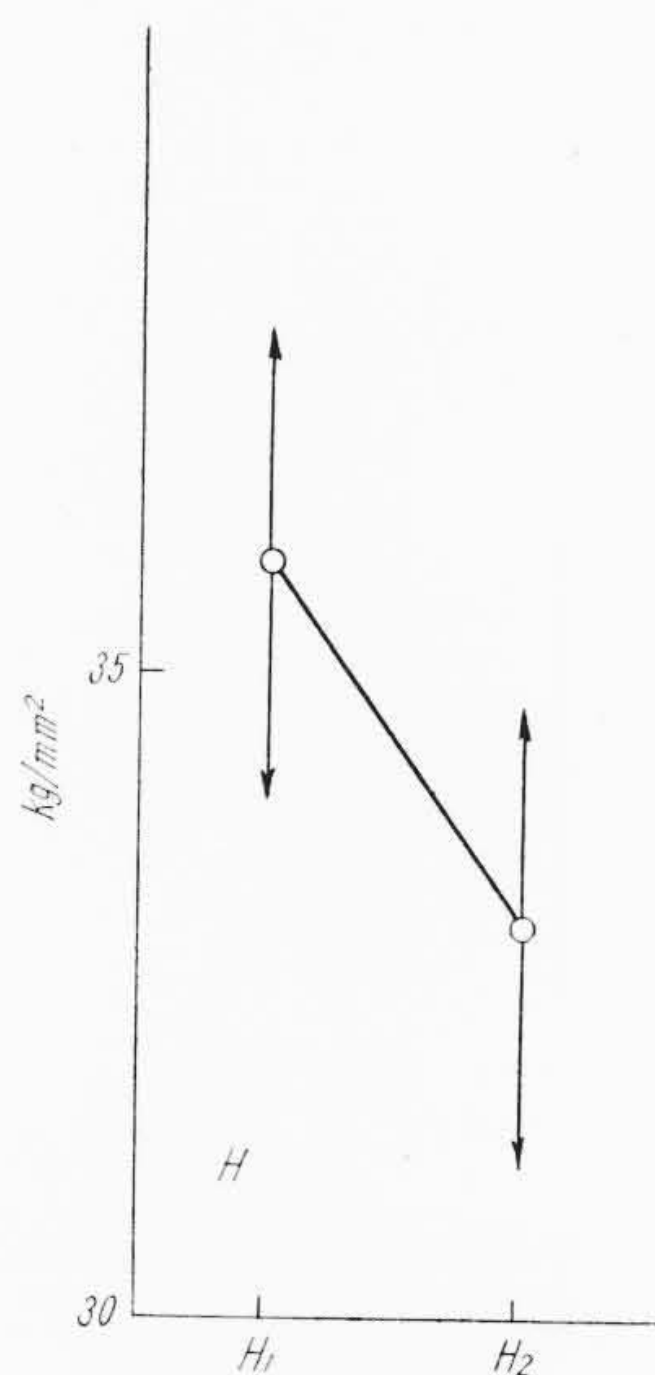
第15図



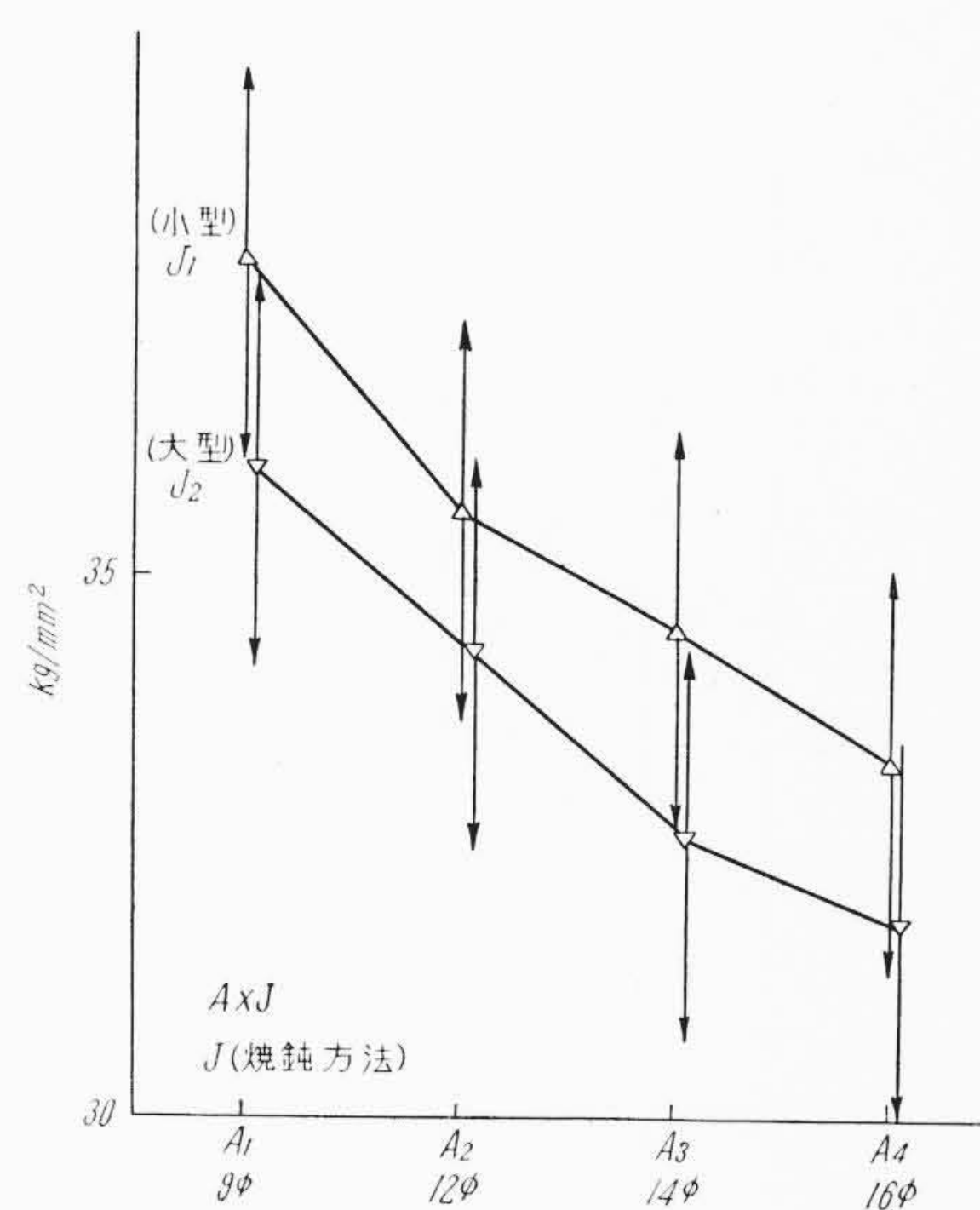
第16図



第17図



第18図



第19図

矢印は99%信頼限界を示す。

8. 考 察

7.の結果により、有意となった要因効果の内容については2.と4.1.3に記した考え方が確認されたことになる。

引張強度、伸びの両特性値を通じて全般的にいえることは、従来、材質の化学成分および熱処理を主として論じられてきたこれらの機械的性質は、そのほかに選定する試験片の形状、およびその試験片の製造、試験条件のいくつかによって明らかに影響を受けることがわかった。

また、両特性値に与えるこれらの要因の効果は必ずしも同時によい方にあるとはいえない。

ここでさらに両特性値を向上させる要因の水準を示せば第43表のようになる。

第43表において、○、□内の数字は同一のものの同志に2因子交互作用があることをあらわしている。また*印は主効果があることを表わしている。したがって、ここで有意となった要因効果ないしは因子の組合わせを制御しさえすれば、両特性値の平均値の管理限界は7.1.1および7.2.1に記した信頼限界と一致することになる

第43表

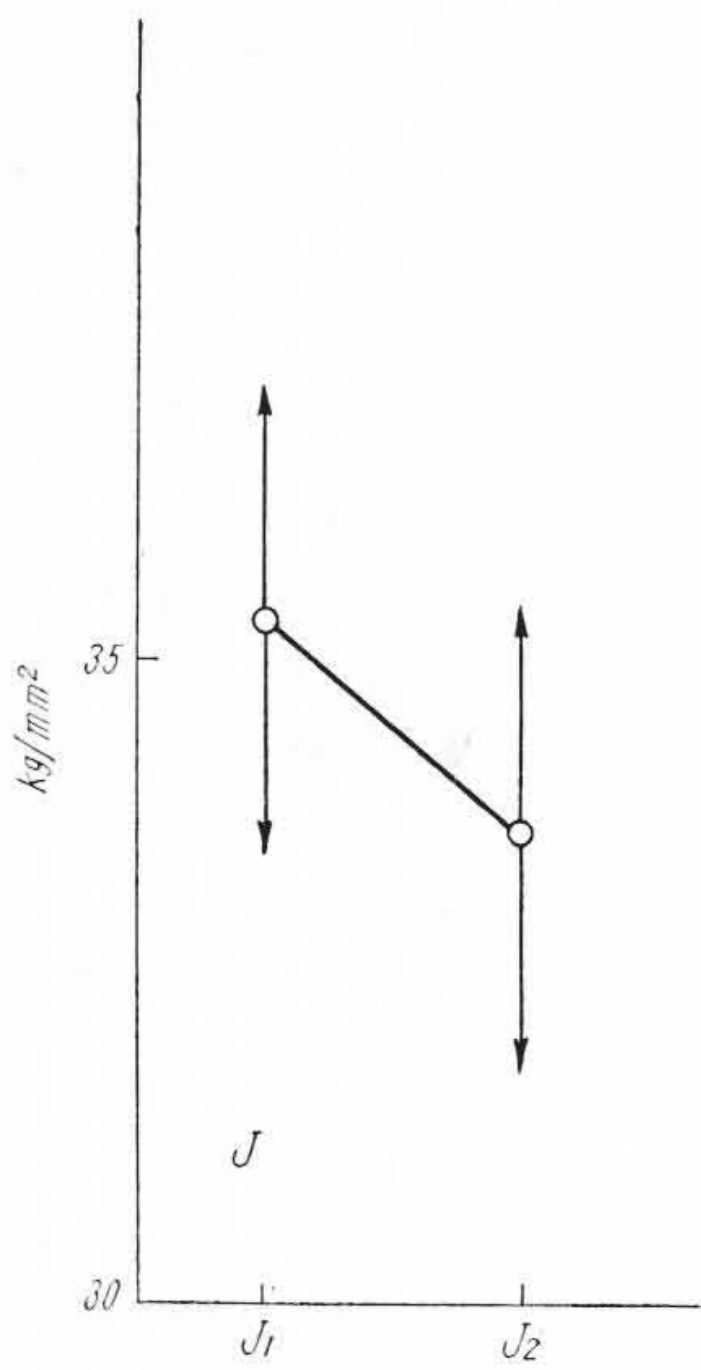
要 因 名		引 張 り 強 度	伸 び
試験片	平行部の直径	* 小さいもの (9mm) ①②③④⑤⑥⑦	* 小さいもの (9mm) ①②③④⑤⑥⑦
	長 さ	* 大きいもの ①	①
鑄造条件	溶湯の化学成分	* 中型用(CEの低いもの) ④⑧	* 中型用 (CEの低いもの) ⑤
	砂 締 め	* 強いもの(生型硬度65~75)	
	注 湯 温 度	* 高いもの (光高温計 1,550°C)	
	せきの大きさ	②	
	せきの位置		③
	盲押湯の大きさ	③	④
	焼 鈍 方 法	* 小型用(焼鈍時間短) ⑤⑧	* 大型用(焼鈍時間長) ⑦
試験条件	機 械 加 工	⑥	* 加 工
	荷 重 速 度	⑦	* 遅い (6mm/min) ⑥⑦

(99%の信頼度)。

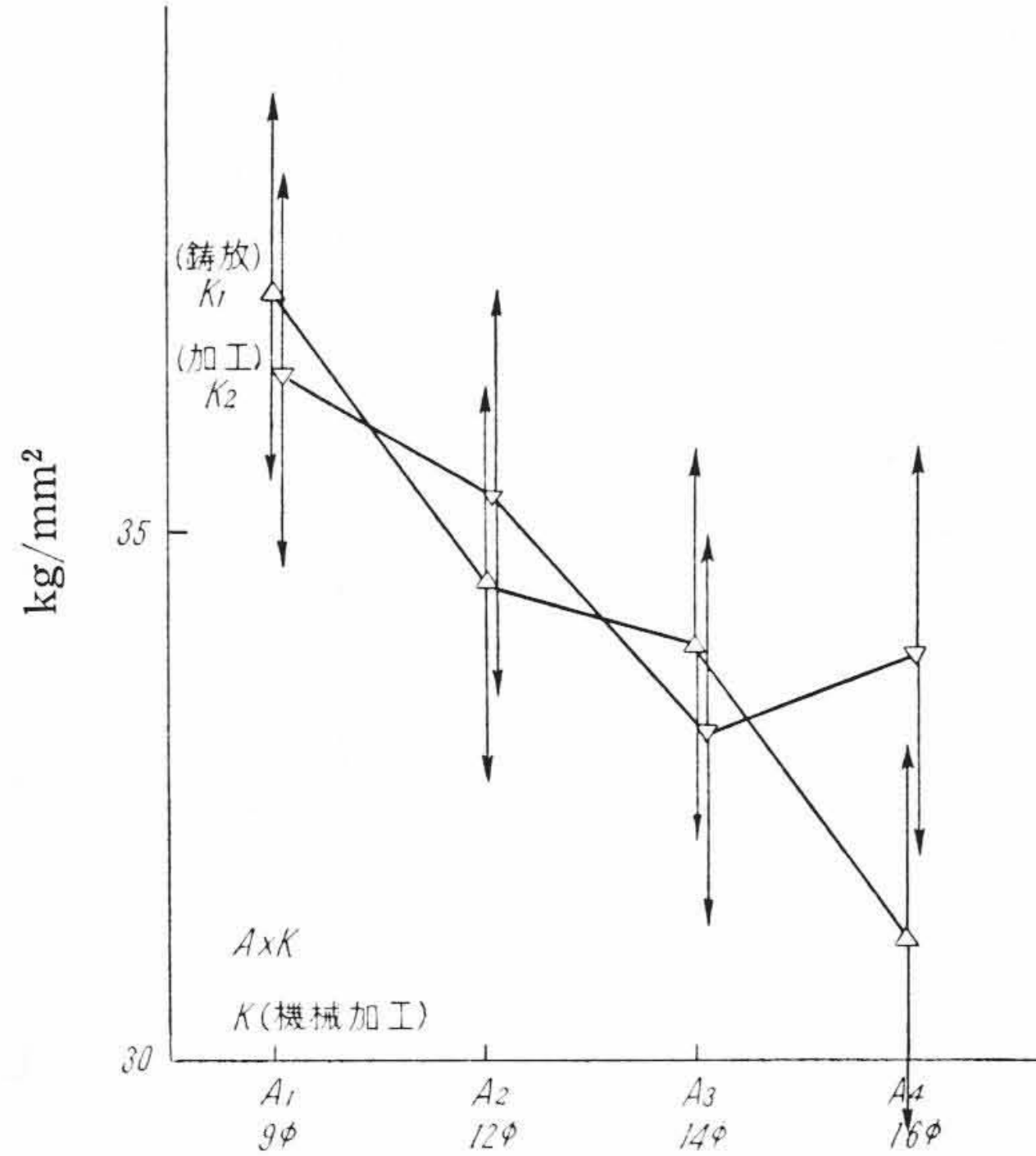
以下各因子ごとに定性的に記す。

(1) 試験片としては

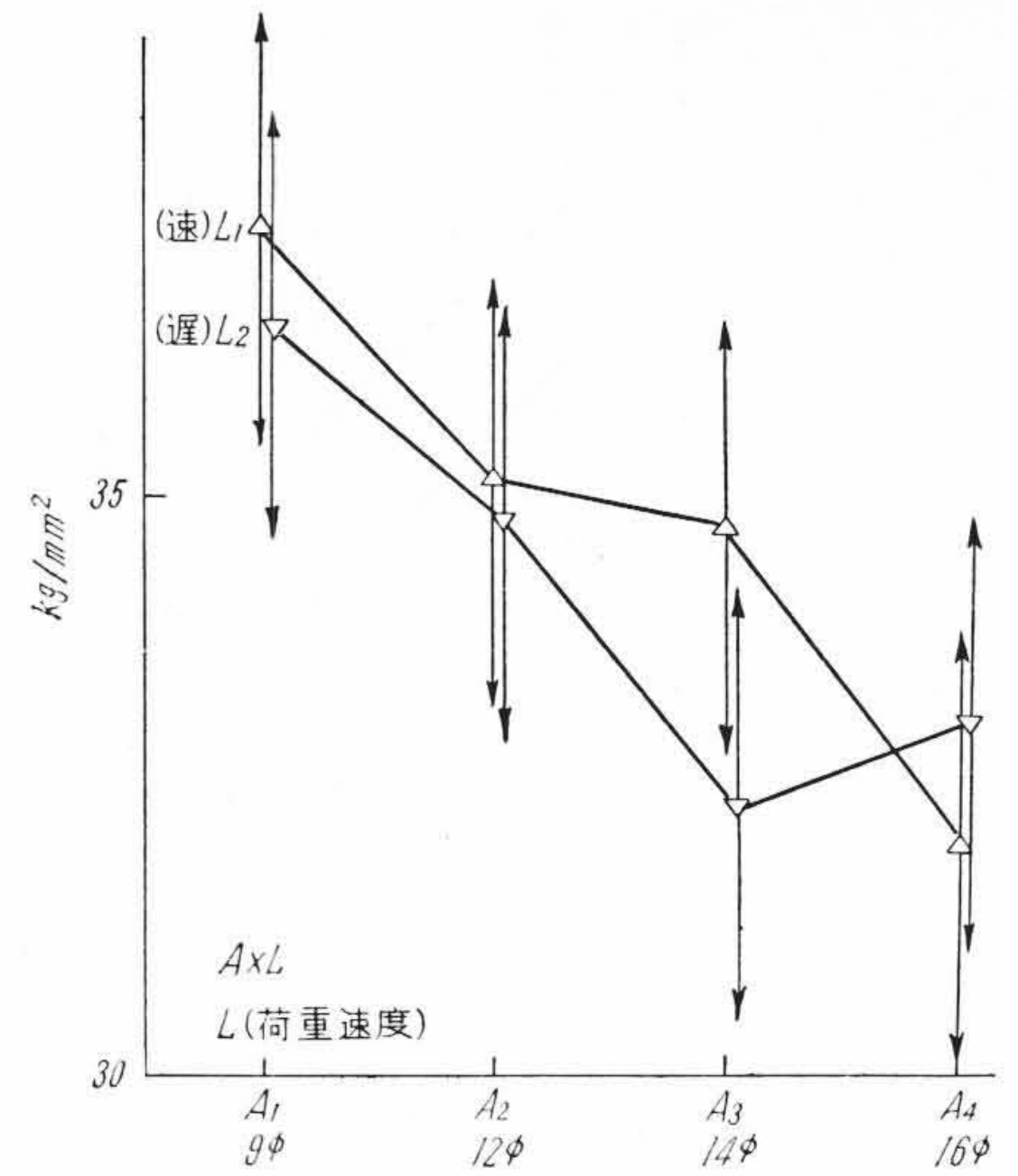
(a) 平行部の直径は小さいほどよい(両特性値)。この効果は、試験片(平行部の長さ)、鑄造条件(溶湯の化学成分、せきの



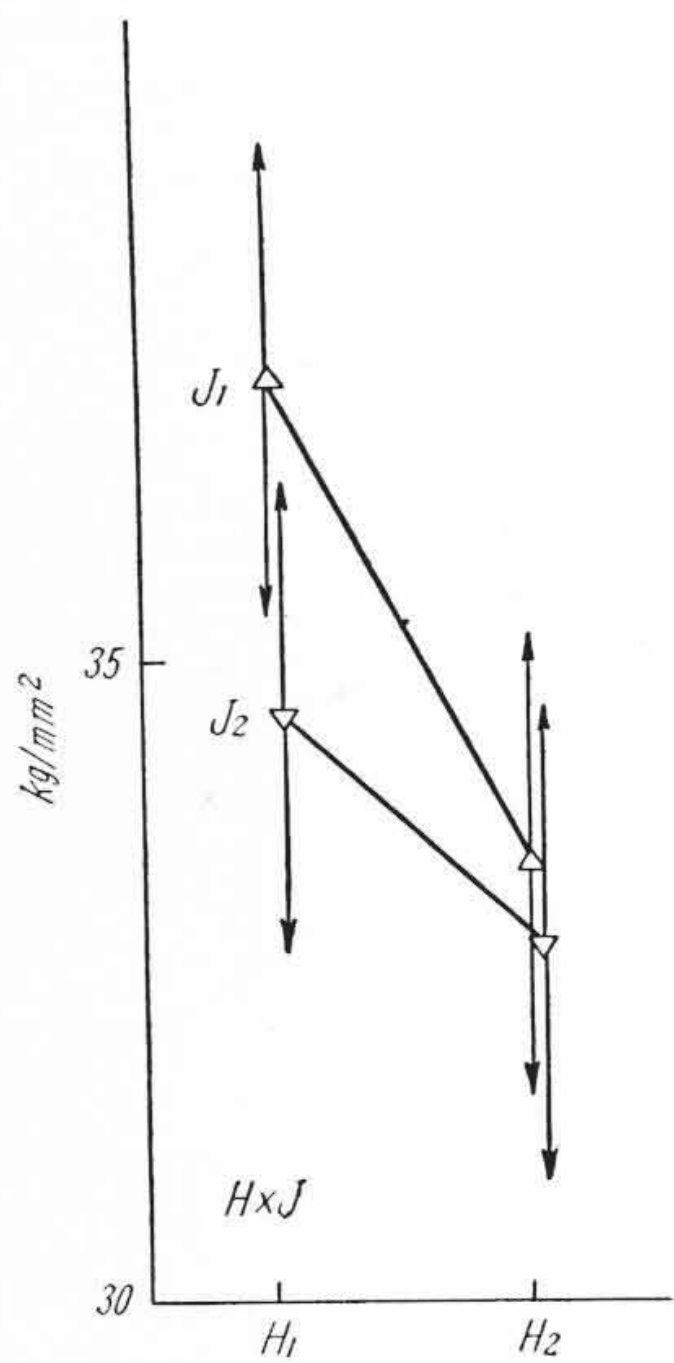
第 20 図



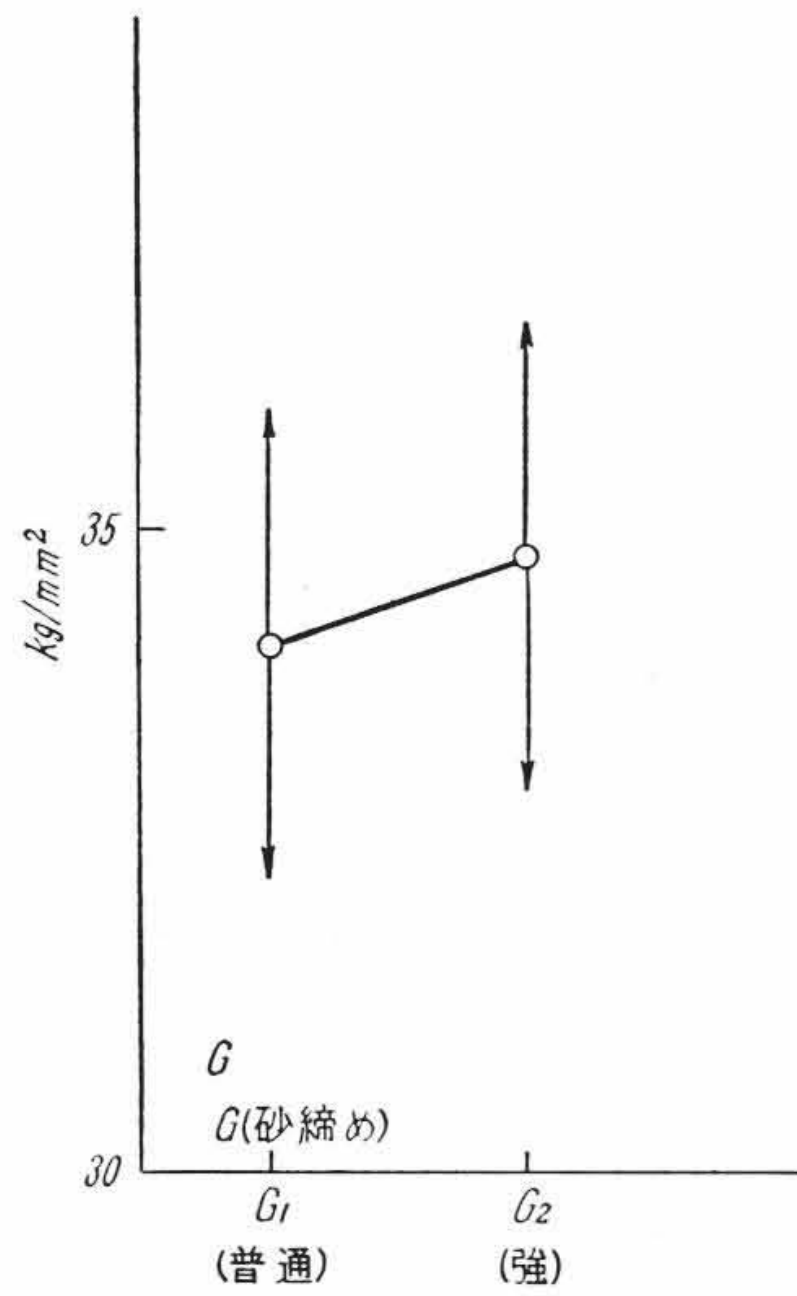
第 21 図



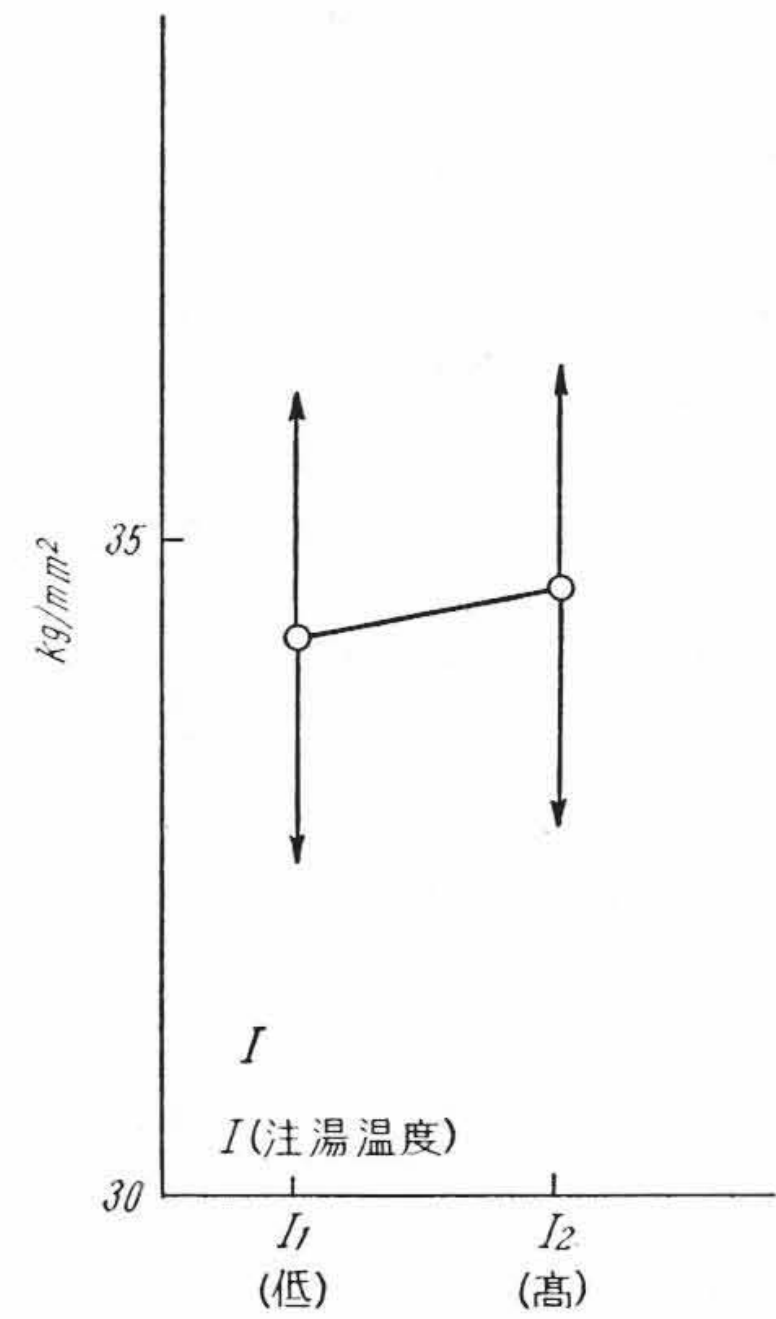
第 22 図



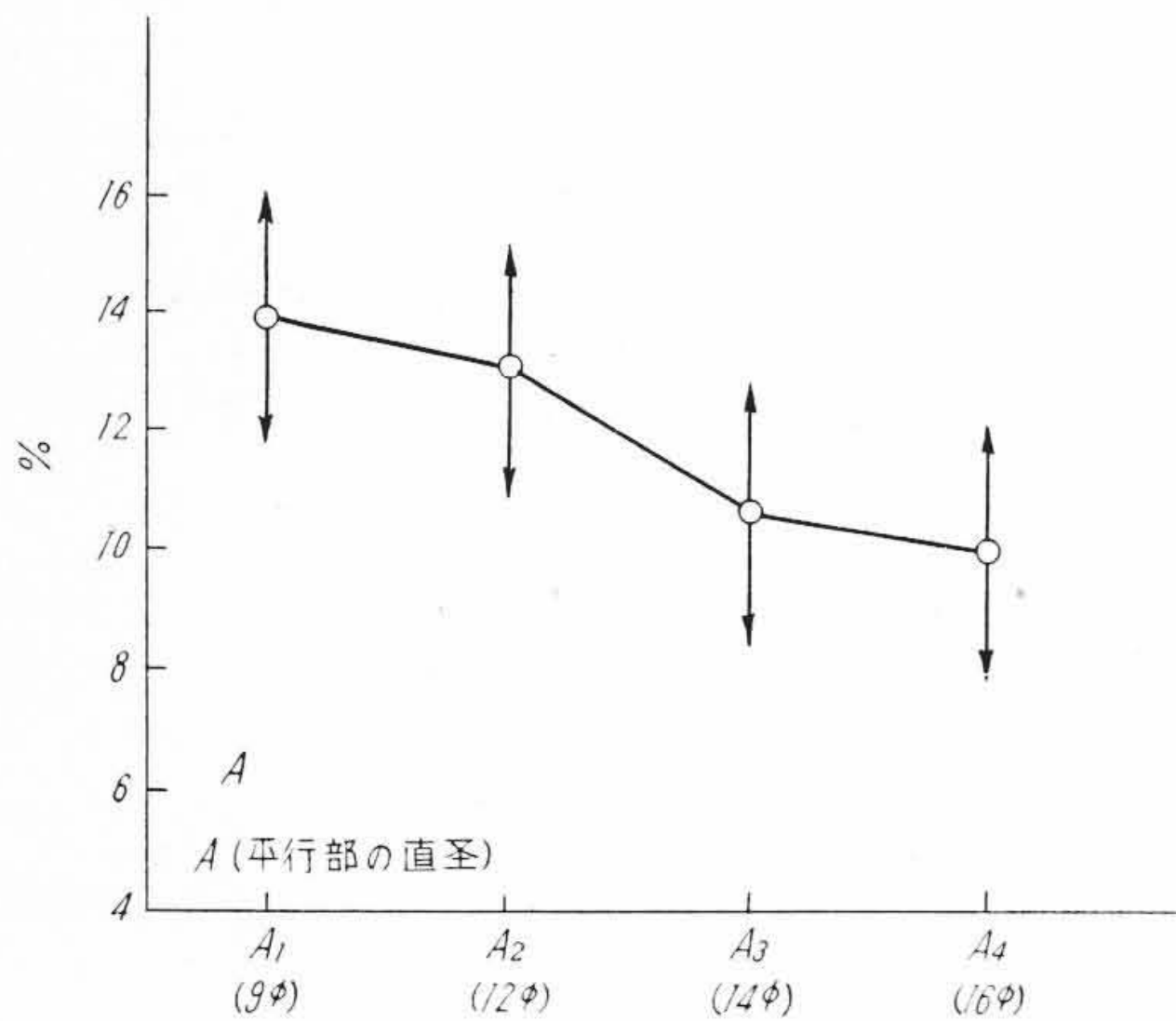
第 23 図



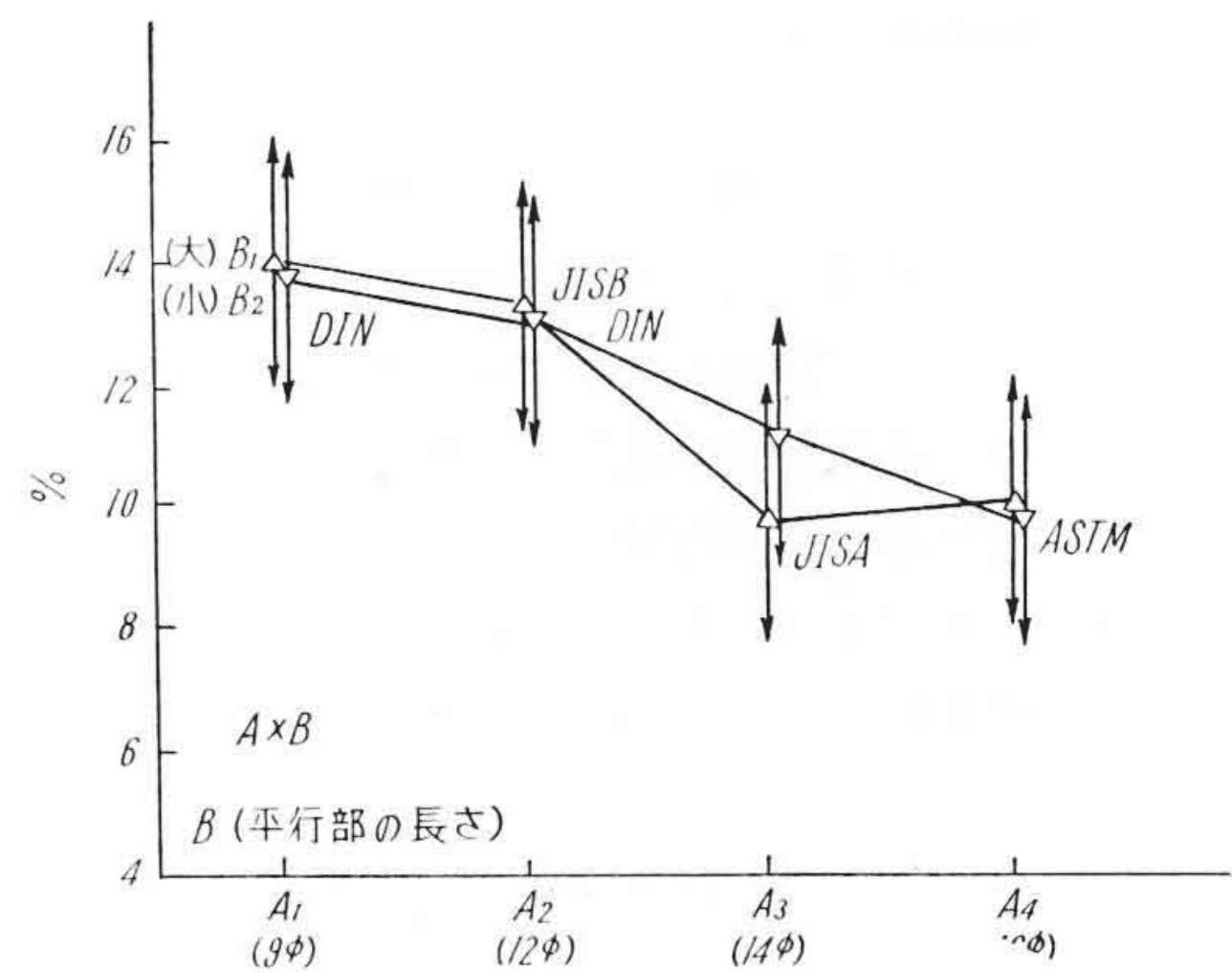
第 24 図



第 25 図



第 26 図



第 27 図

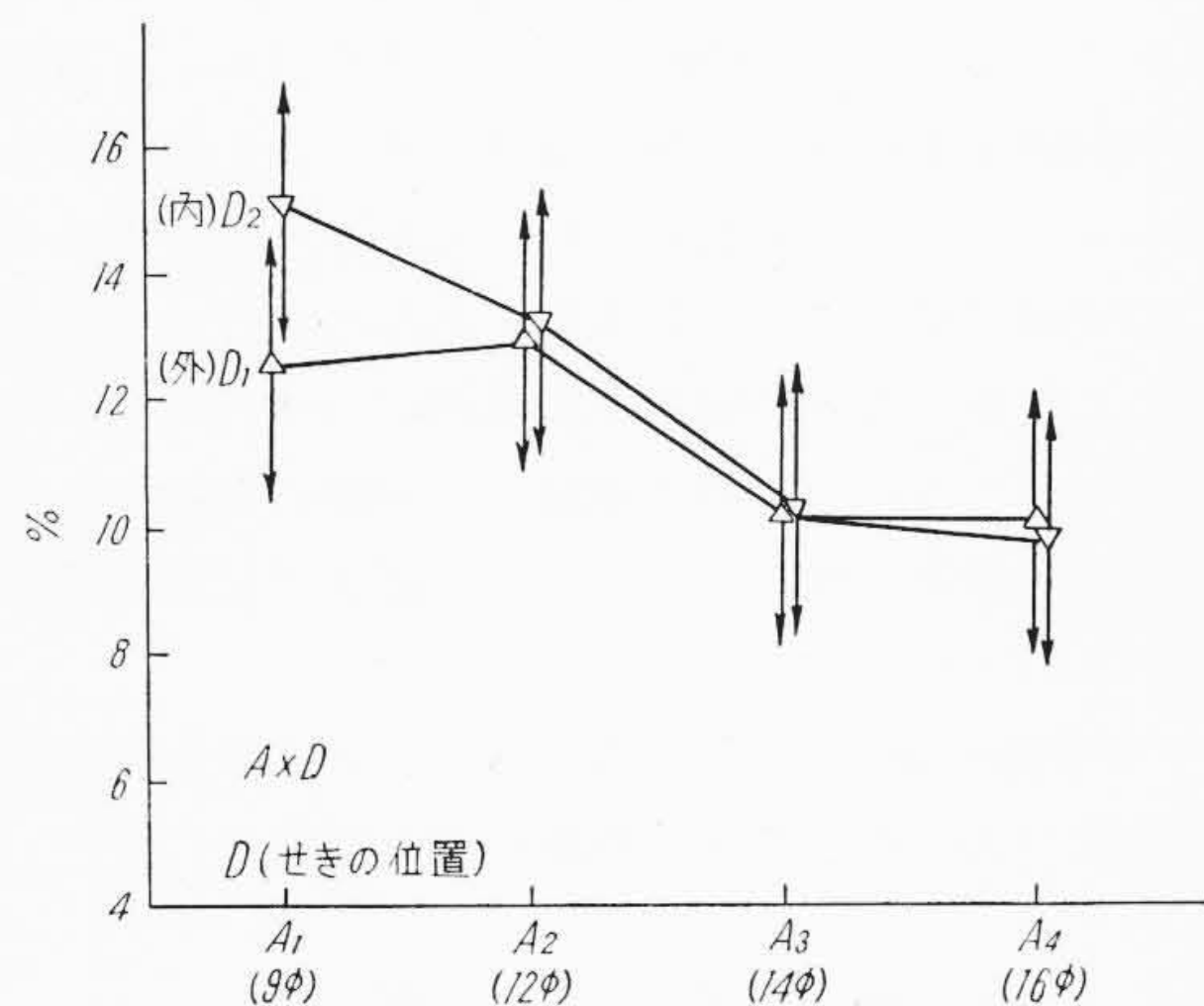
大きさ、せきの位置、盲押湯の大きさ)、焼鈍条件(焼鈍方法)および試験条件(機械加工、荷重速度)の四つによって大きく影響され、これらと組合わせて考える必要がある。

(b) 平行部の長さは大きいほうがよい(引張強度だけ)。この効果は平行部の直径によって大きく影響される。

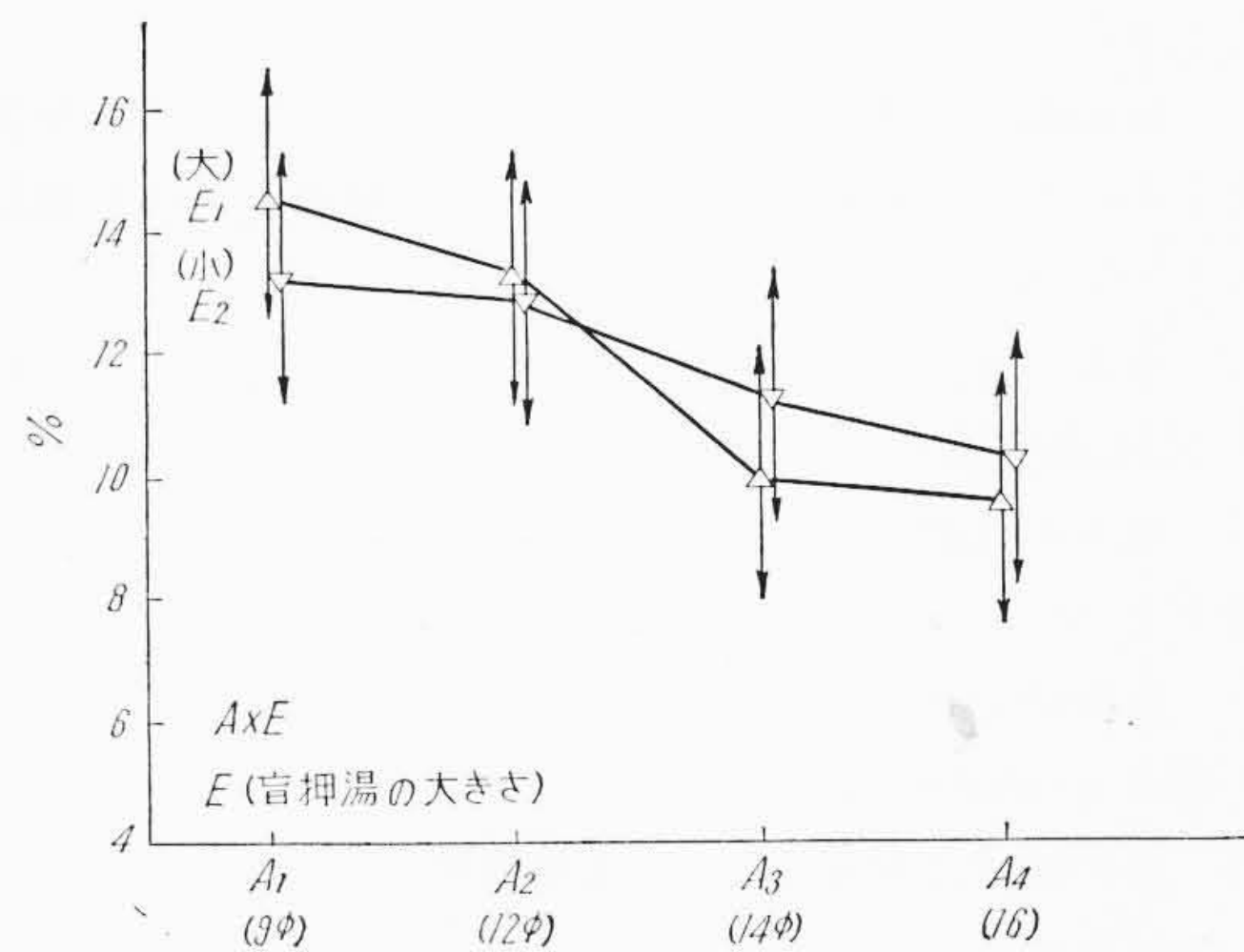
(2) 鑄造条件

(a) 溶湯の化学成分は炭素量が低いほうがよい(両特性値)。この効果は平行部の直径によって大きく影響される。

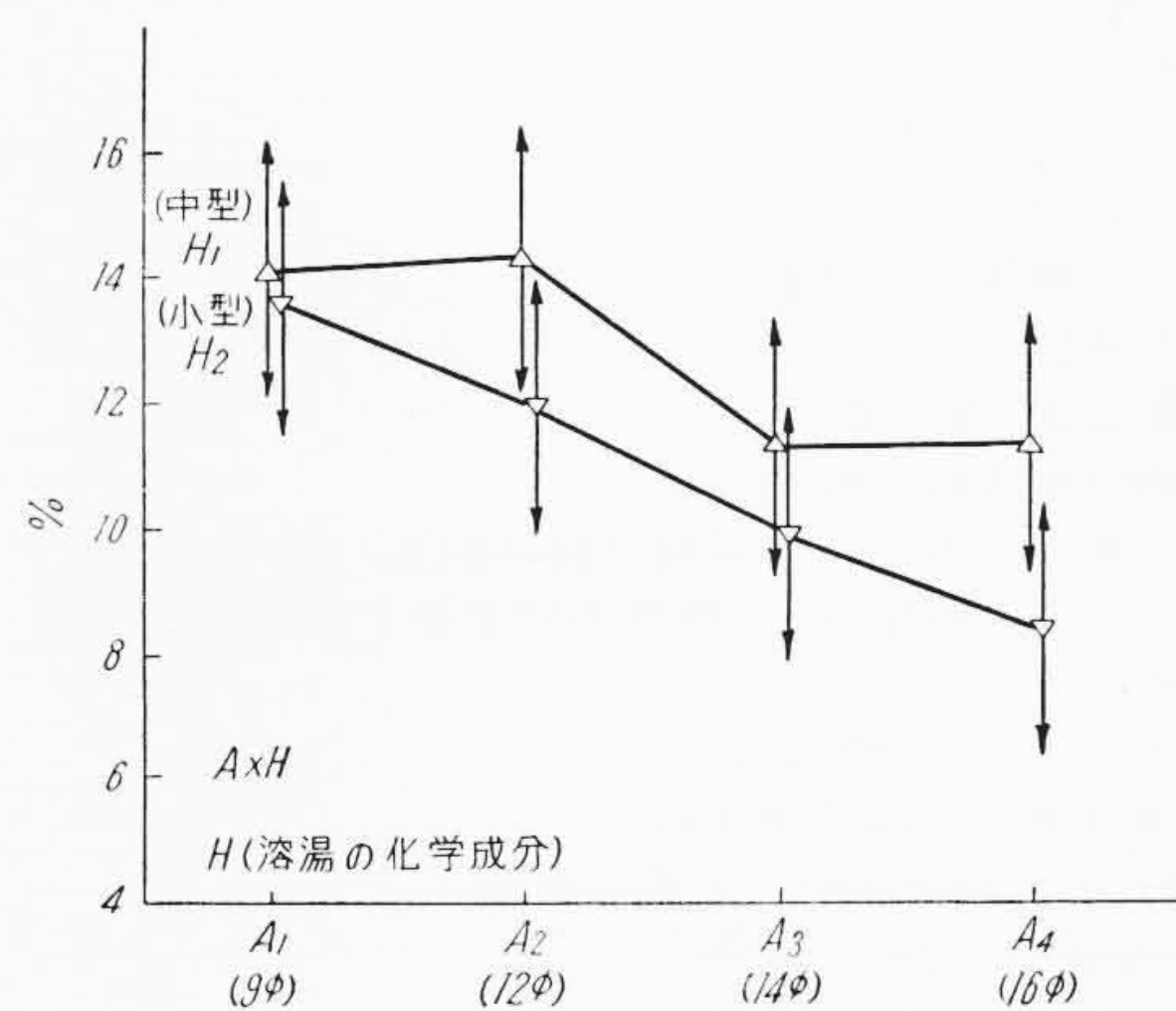
(b) 砂締めは強いほうがよい(引張強度だけ)。鑄込み時に鑄型の冷却能が大になり、黒皮層を主として急冷されるために白



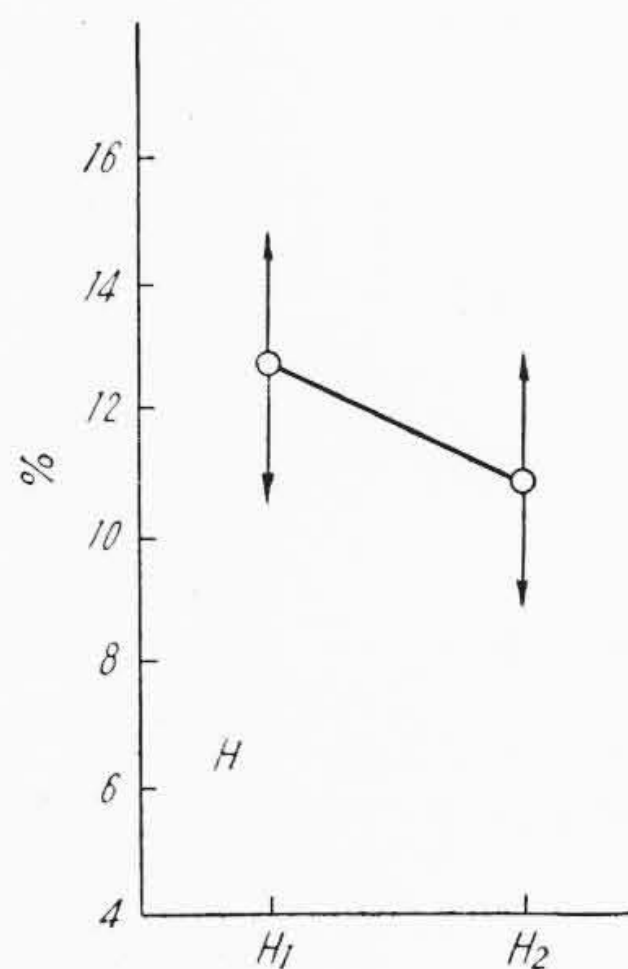
第 28 図



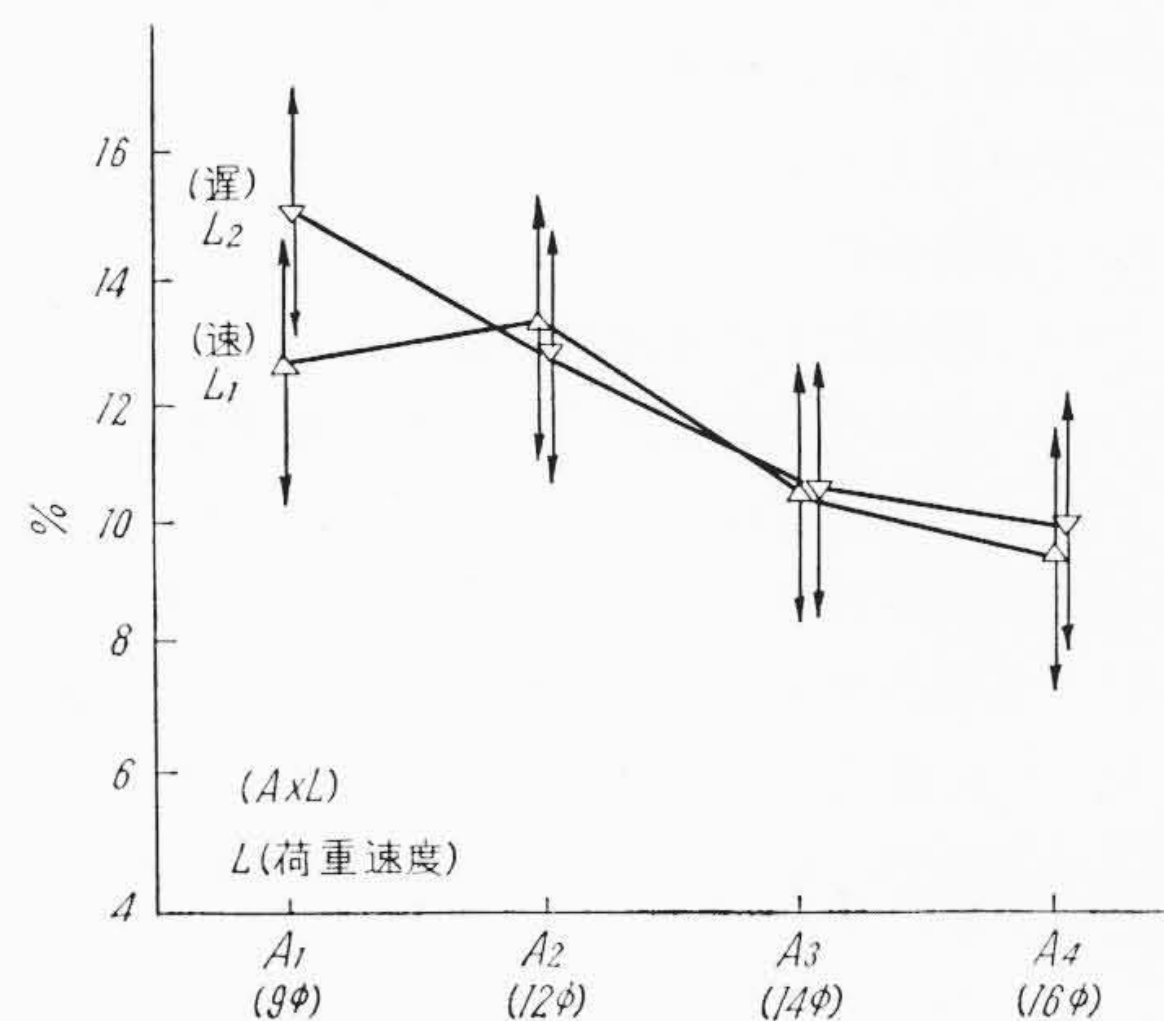
第 29 図



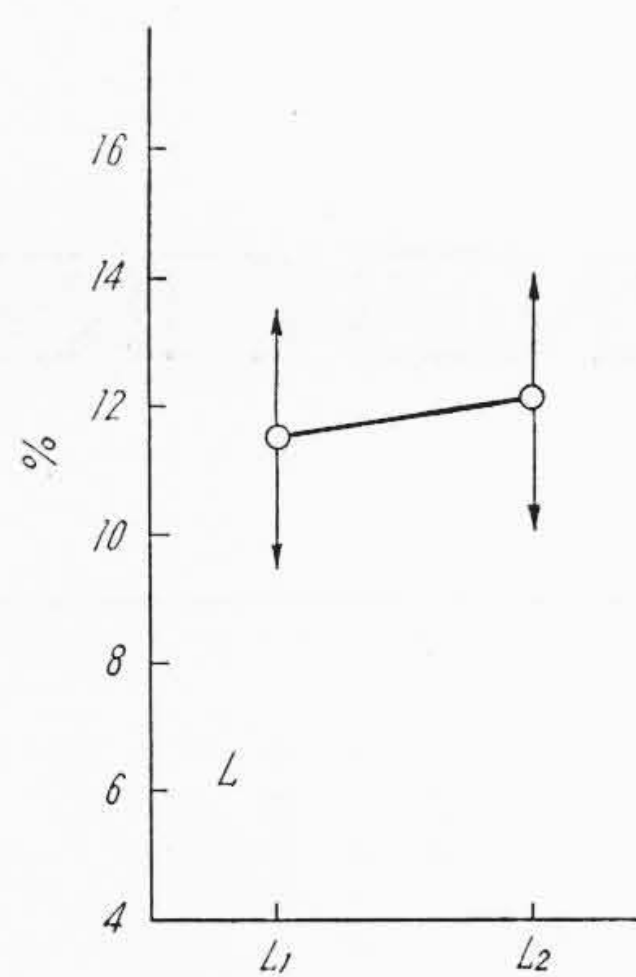
第 30 図



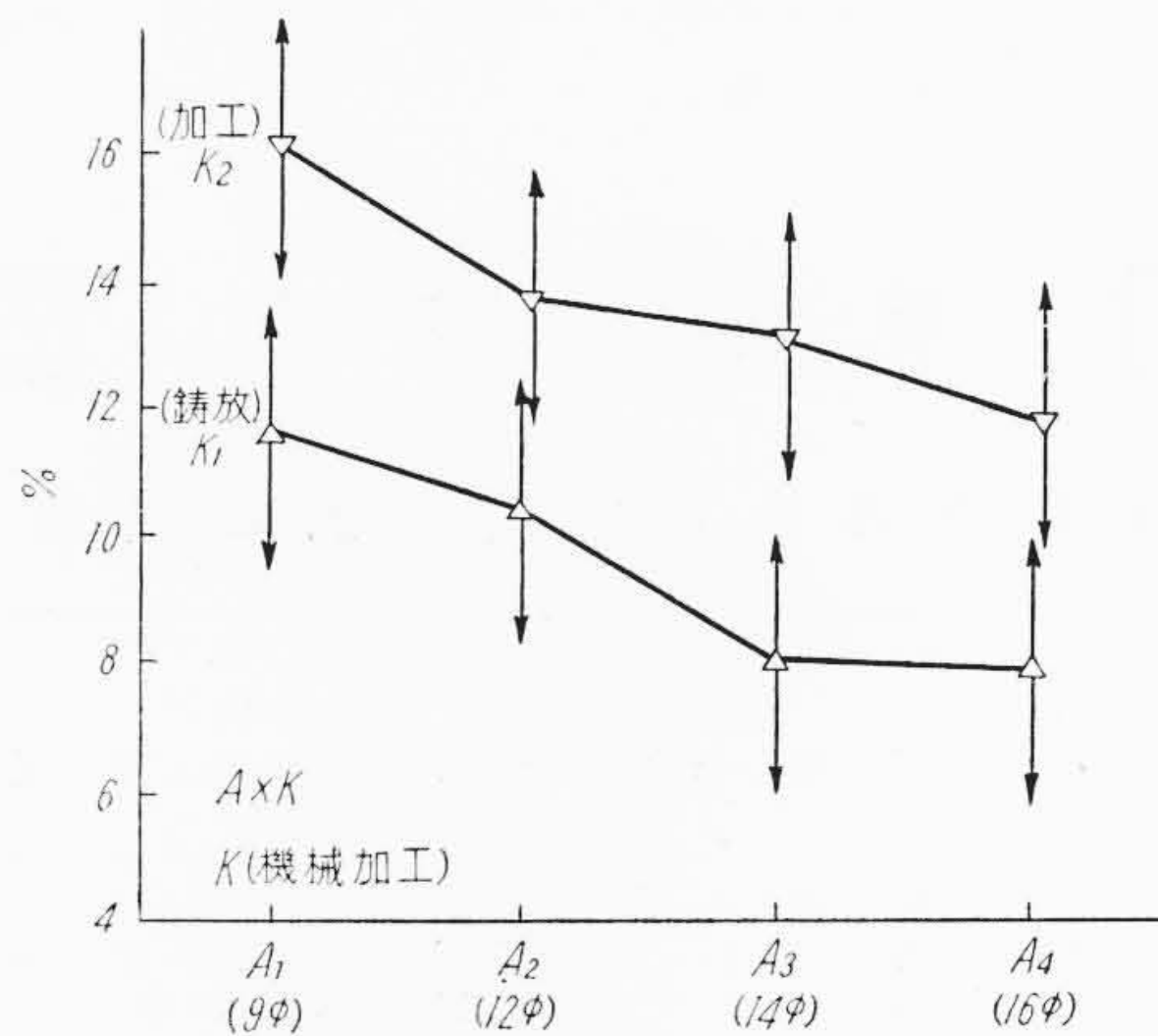
第 31 図



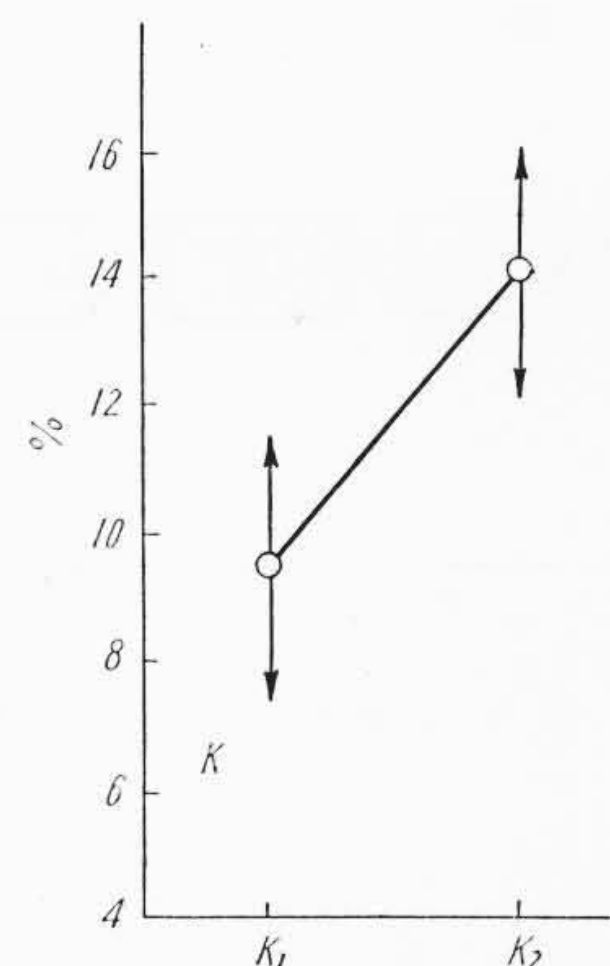
第 32 図



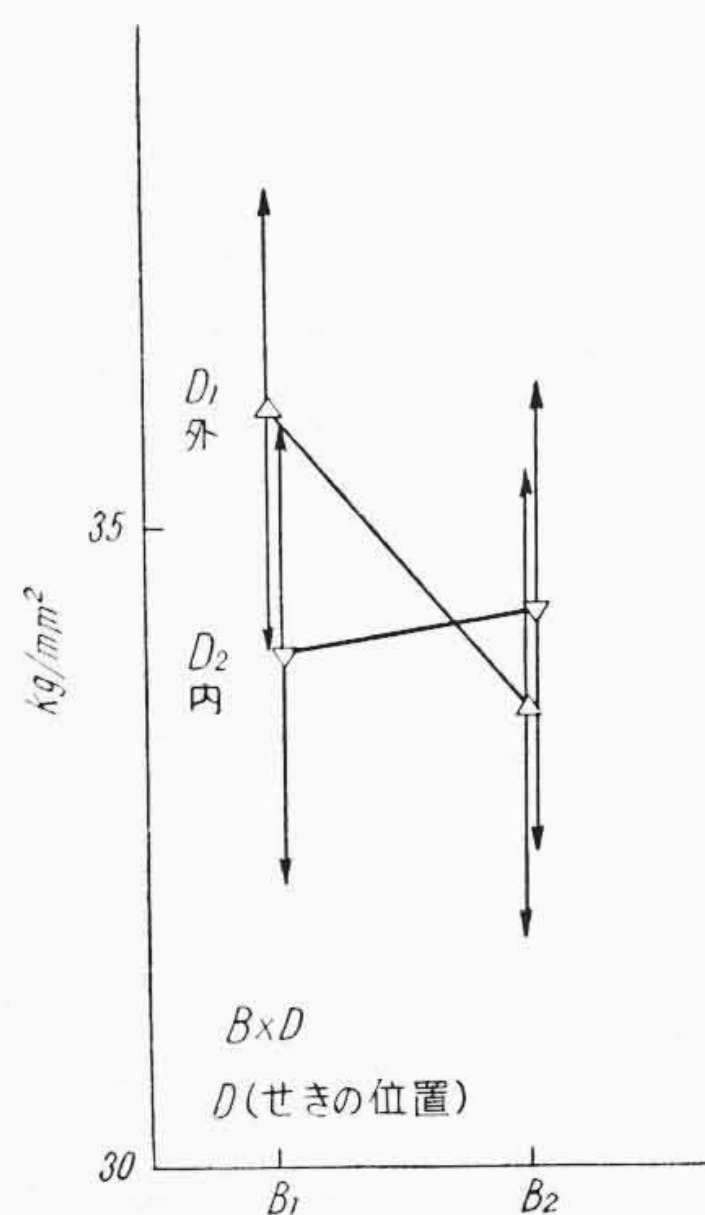
第 33 図



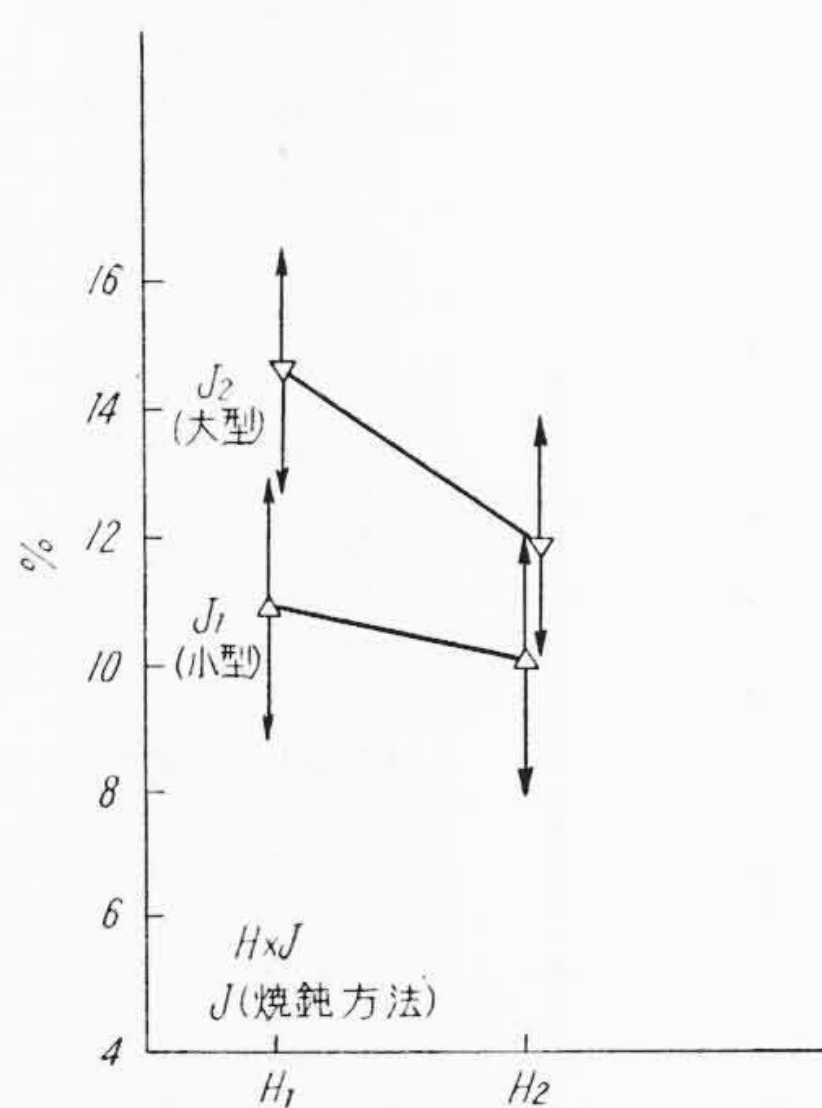
第 34 図



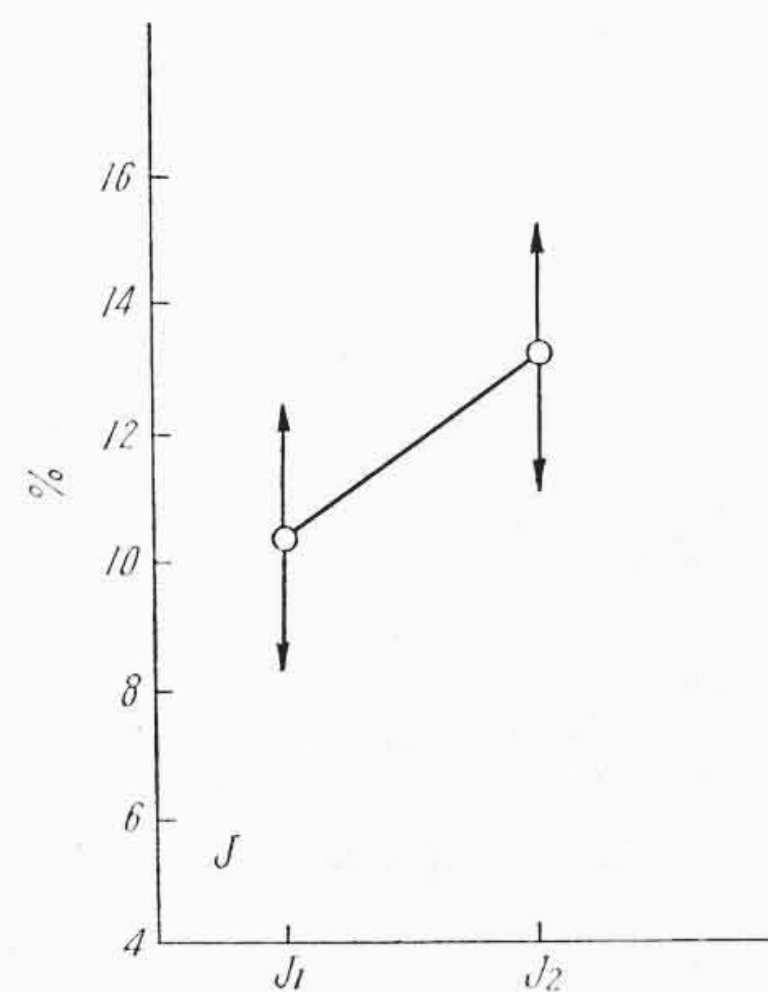
第 35 図



第 36 図



第 37 図



第 38 図

鉄化が十分におこなわれるためと考えられる。

(c) 注湯温度は高いほうがよい(引張強度だけ)。盲押湯の給湯効果が大きくなり、組織が改善され、また凝固速度の影響があらわれるものと考えられる。

(d) せきの大きさは平行部の直径の効果に対して同時に考慮を要する(引張強度だけ)。

(e) せきの位置は平行部の直径と長さとの効果に対して同時に考慮する(伸びだけ)。

(f) 盲押湯の大きさは、平行部の直径の効果に対して同時に考慮を要する(両特性値)。

(g) 砂の粒度は効果がない(両特性値)。

(3) 焼鈍条件

(a) 焼鈍方法は、焼鈍時間の短いほうがよい(引張強度だけ)。また長いほうがよい(伸びだけ)。この効果は溶湯の化学成分の効果と同時に考慮を要する(両特性値)。さらに、平行部の長さも同時に考える必要がある(引張強度だけ)。

(4) 試験条件

(a) 機械加工は黒皮層を除いたほうがよい(伸びだけ)。また平行部の直径の効果と同時に考慮を要する(引張強度だけ)。

(b) 荷重速度はおそいほうがよい(伸びだけ)。また平行部の直径の効果と同時に考慮を要する(両特性値)。

(5) 各要因効果の全体としての寄与率は、第 33, 34 表で明らかのように非常に大きいと考えられるが、計算は省略する。

以上は定性的に記したが、定量的には第 12~35 図を参照すればよい。

9. 結 言

従来、材質の設計資料として規格化されている機械的性質は、試験片によって測定されているが、これは主としてその材質面を対象と

して考えられているが、この実験によって、そのほかに、試験片を製造する条件や試験する条件の影響をも受けることが明白になった。このことはマレプル以外の材質についてもありうると考える。

また、この実験の結果により従来論じられてきた、化学成分、熱処理のほかに、各種の要因の効果を数量的につかむことができた。

今後の問題としては、いわゆる試験片と実際の铸件とにおける機械的性質の対応の研究が残される。とくに後者は材料の設計資料として不可欠のものである。

最後に、この実験の遂行に当り、協力された名古屋大学工学部機械工学科西川章氏の労に対して深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) JIS G 5702 (1960)
- (2) ASTM A 197 (1947)
- (3) DIN 50149 (1951)
- (4) BS 301 (1958)
- (5) 日本金属学会：金属便覧
- (6) 菊田：铸件本質論
- (7) 日本機械学会：機械工学便覧
- (8) 田口：実験計画法 上, 下
- (9) 日科技連：数値表 A, B
- (10) 千々岩：铸件の湯流れと押湯
- (11) 楠瀬：铸件方案よりみた良い铸件の経済的なつくり方(Ⅱ)
- (12) 日本機械学会, 日本铸件協会：铸件設計基準と鑄造方案に関する講習会教材
- (13) American Society for Metals: Liquid Metals and Solidification
- (14) Ruddle: The Solidification of Castings
- (15) Wallace: Foundry (Nov. 1959)
- (16) Wallace: Foundry (Oct. 1958)
- (17) Koppe: Gieserei (Aug. 1958)
- (18) Owyer: Gating & Riser for Castings
- (19) 北川敏男：新編統計数値表



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の実用新案

実用新案	名 称	氏 名	登録年月日	実用新案	名 称	氏 名	登録年月日
517700	原子力発電所用蒸気発生装置	青木直司	35. 8. 18	517991	台車側受支持装置	佐伯慶一	35. 8. 19
517997	油面計	木田直保	35. 8. 19	518001	調節式窓バランス	桑江和夫	"
518010	油軸ベルトン水車	有井英一	"	518007	軌条把握制動装置	大谷剛	"
518011	電動発電装置	井原利信	"	518018	台車揺れ枕吊り装置	大橋信二	"
518025	原子炉実験孔遮断装置	一茂木正清	"	518023	小形開閉器	滝上巖	"
518027	直流機補償線輪	吉後柳藤二	"	517998	通過車両の自動停止装置	田中春雄	"
518033	原子炉遮蔽プラグ	菅野政雄	"	518005	液圧ロータリバルブ操作装置	秋山健三	"
517987	油入電器用フィーディングタンク	米納文彦	"	518015	水中モータポンプの満水確認装置	木暮章	"
518008	エレベータ扉自動開閉装置	逸見徳太郎	"	518031	エンジンの逆転防止装置	富田輝男	"
518017	回転形変圧器の電極板取付装置	宮崎達男	"	518032	巻上機の速度制御装置	小相関喜八郎	"
518019	ユニットサブステーション用変圧器	高橋愛一	"	518035	スクレーパコンベヤチェーン	大島昭二	"
518021	乾式変圧器の冷却装置	渡辺政己	"	518040	油圧操作式ロータリプラグバルブ	亀井茂樹	"
518022	プッフホルツ継電器	前川愛一	"	518043	巻上機用巻胴	飛知和木	"
518028	開閉器操作把手鎖錠装置	浜野正一	"	517986	平盤印刷機における版盤駆動装置	鈴木健三	"
518036	机形配電盤の上開き位置支持装置	栗山卓次	"	517989	工作機械における加工品搬出装置	山暮内章	"
518044	機器の状態遠方指示装置	加藤清博	"	518041	油冷式回転圧縮機における油回収管	神尾昌史	"
518045	直接式遠方制御および表示装置	小川庚午	"	517993	回転翼車の輪止装置	渡辺重憲	"
518046	負荷時電圧調整装置	池田正一郎	"	517994	タイムスイッチダイヤル	阿水原康	"
518054	空気遮断器の操作圧縮空気供給装置	池田正一郎	"	517995	質量分析計における撮影自動停止装置	大宮啓一	"
518055	開閉器の接触子	森山昌和	"	517996	液体導電度測定用電極	林田五郎	"
518056	蓄電器素子締付装置	額田啓三	"	517999	継電器動作表示装置	野口弥	"
517984	ダンパ開き角度調整ストッパ	金井好延	"			川嶋勲	"
517990	台車側受装置	長島孝一	"			藤田照穂	"
		斎藤亮二	"				
		富田博義	"				
		奈古屋憲一	"				
		佐伯慶一	"				