

はじめに

最近の中小製造業の現場では、熟練技術の伝承・承継の体制が整っておらず、熟練技術者の高齢化とあいまって製造能力の維持と技術・技能の高度化が困難な状況となっています。

中小企業総合事業団では、そうした中小企業の熟練技能者が有する技術を伝承可能なものとし、一般的に利用可能な形にするために、技術・技能のマニュアル化、ビデオ化等を行っています。このたび、その一環として『平成12年度ものづくり人材支援基盤整備事業－技術・技能の客観化、マニュアル化等－「鑄造方案に係る技術マニュアル」』を作成いたしました。

中小企業の皆様に有効に活用頂き、技術・技能を継承すべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力頂きました社団法人日本強靱鑄鉄協会をはじめ関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成13年2月

中小企業総合事業団
情報・技術部
部長 鈴木 達也

鑄造方案に係る技術マニュアル

目 次

1.	鑄造品の特性	
1.1	肉厚感受性	1
1.2	内部欠陥とその影響	3
1.3	寸法公差および抜け勾配	5
1.4	注意すべき形状	8
1.5	顧客要求による鑄造材の選定	22
2.	造型方案	
2.1	造型方式の決め方	28
2.2	模型方式の決め方	31
2.3	模型材料の決め方	39
3.	凝固条件の設定	
3.1.1	凝固係数（モジュラス）M	42
3.1.2	Cvorinov の法則	43
3.1.3	簡易モジュラス M 計算法（1）	44
3.1.4	簡易モジュラス M 計算法（2）	47
3.1.5	交差部のモジュラス M 計算法（1）	48
3.1.6	交差部のモジュラス M 計算法（2）	51
3.1.7	モジュラス M の計算の実例	53
3.2.1	鑄物の冷却と凝固	58
3.2.2	ねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄の体積変化	59
3.2.3	ねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄の凝固	60
3.2.4	ねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄の凝固形態	61
3.3.1	無押湯方案の検討	62
3.3.2	安全弁押湯	67
3.3.3	押湯の決定（1）	69
3.3.4	押湯の決定（2）	72
4.	健全性の検討	
4.1.1	内部欠陥検査方法	76
4.1.2	内部欠陥検査の手順	78
4.2.1	凝固シミュレーションについて	80
4.2.2	凝固シミュレーションのやり方	83

5	湯口系の設定	
5.1	鑄型各部の名称と役割	87
5.2	湯口方案設計のねらい	89
5.3	湯口方案の設計に必要な基礎知識	90
5.4	湯口方案設計手順	96
5.5	縦型ラインの湯口系設計	106
6.	鑄造方案の事例	
6.1	クロスケース	115
6.2	車輪	119
6.3	ブラケットステアリングギア	123
6.4	シリンダーディスクブレーキの事例	127
6.5	サポートマウンティングの事例	131
6.6	カプラーの事例	135
6.7	フライホイルの事例	139
6.8	旋盤ベット	143
6.9	横型MCコラム	146
6.10	ベアリング素材	149
7.	鑄造欠陥と鑄造方案事例	
7.1	シリンダーディスクブレーキ鑄造方案改善事例	153
7.2	サポートマウンティング鑄造方案改善事例	157
7.3	ディーゼルエンジン用シリンダーヘッドの改善事例	161
7.4	土木用金物の引け巣欠陥の改善事例	166
7.5	クランクシャフト	171
7.6	プラテン	175
7.7	ハウジング（油圧部品）の内部巣不良の改善事例	179
8.	鑄物健全性の検討事例	
8.1	ハウジングの例	182
8.2	シリンダーディスクブレーキの例	186

1. 鑄造品の特性

1. 1 肉厚感受性

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物の製造を目的とする鑄造品の特性について規定する。

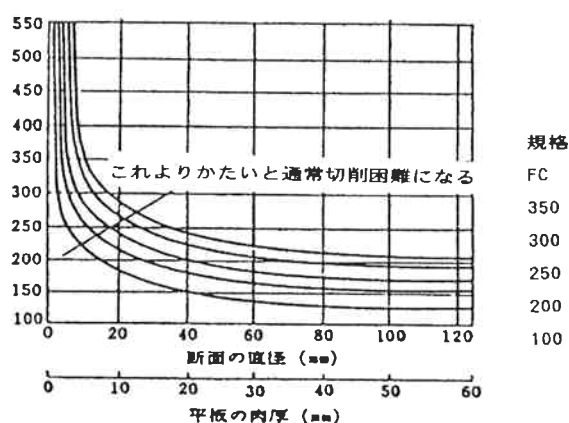
2. 用語の意味

鑄鉄鑄物の組織が冷却速度の影響を受けて、鑄物の肉厚により機械的性質が大きく変わることを肉厚感受性という。

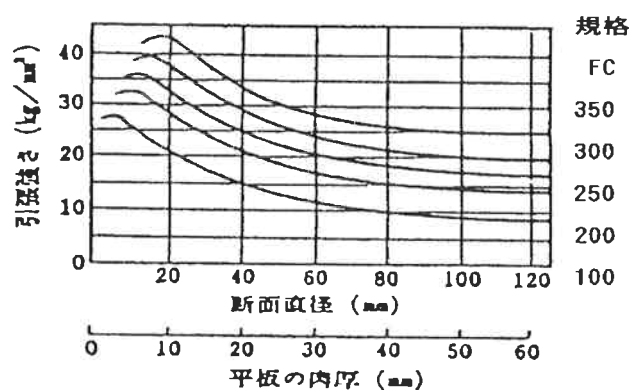
球状黒鉛鑄鉄は普通鑄鉄に比べて肉厚感受性は小さい。

3. 機械的性質

鑄鉄の肉厚と機械的性質の影響について下図に示す。



図—1 肉厚とブリネルかたさ

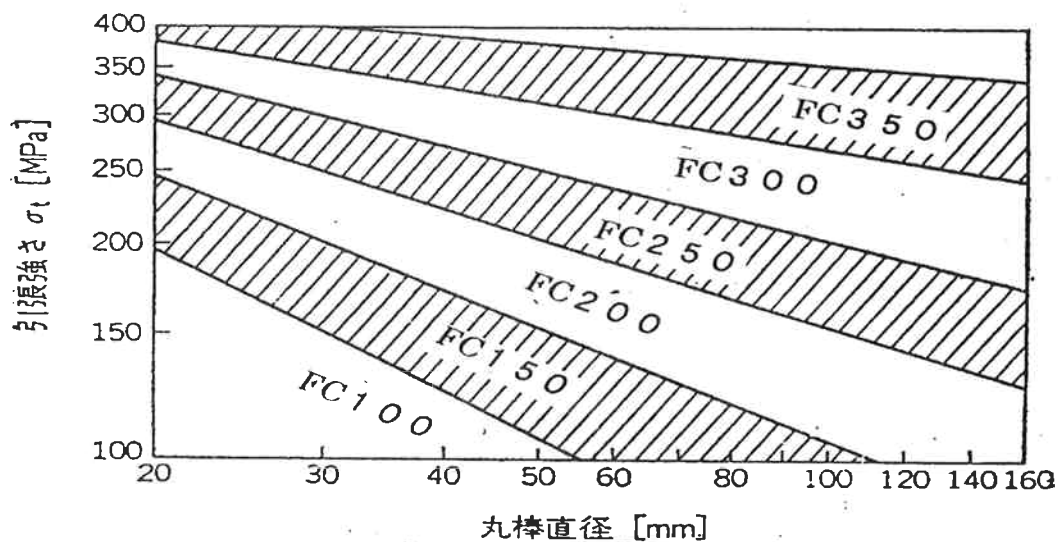


図—2 肉厚変化による引張強さの変化
(強さは断面中心の値)

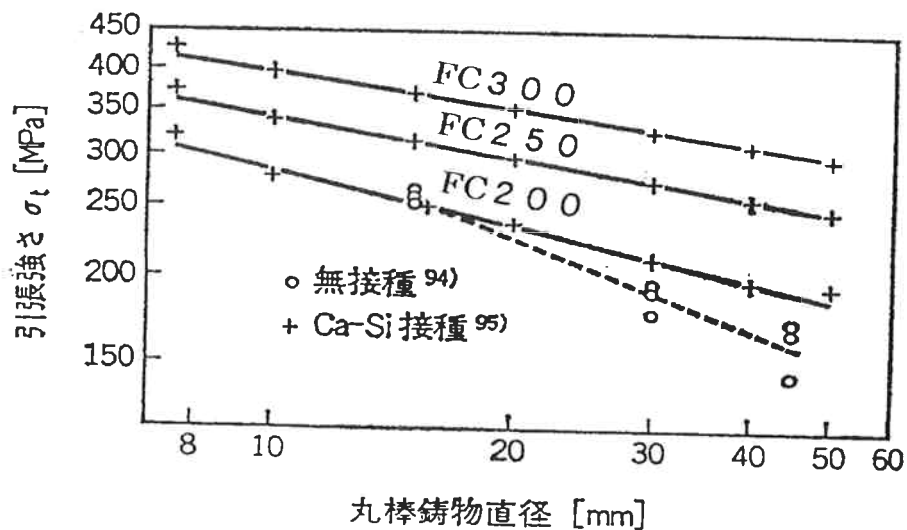
4. 実体強度と肉厚

ねずみ鑄鉄鑄物の実体強度の変化は肉厚感受性の影響を受けやすい。

下図に丸棒での実測結果を示す。



図—3 丸棒鑄物直径と引張強さとの関係
(引用：鑄物便覧 522 頁)



図—4 無接種および Ca-Si 接種鑄鉄の引張強さの
肉厚感受性 (引用：鑄物便覧 522 頁)

1. 2 内部欠陥とその影響

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物の製造を目的とする鑄造品の特性について規定する。

2. 用語の意味

鑄鉄鑄物は注湯後の凝固過程で、収縮し肉厚差で内部に欠陥が発生することがある。

また球状黒鉛鑄鉄では収縮量が多いことと、ドロスの発生による内部欠陥が発生しやすい。

製品により発生部位が機械的性質に大きく影響する。

3. 内部欠陥とその影響

3.1 引け巣の発生

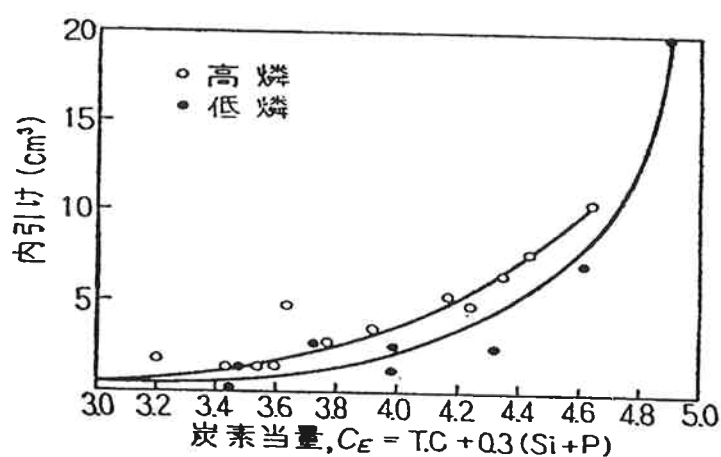
普通鑄鉄の収縮は黒鉛化時の膨脹と相殺される。したがって C, Si などの成分や肉厚の大小により変化する。

普通鑄鉄の鑄造収縮は 0.5%~1.0% であるが、ダクタイルは収縮量が大であり引け巣の発生がしやすい。

また鑄物に肉厚差があるときは、肉厚部に内引けを生じ易いその原因は、黒鉛発生機構やガスに起因すると考えられる。

成分についていえば、C、Si の高いときおよび P の多いときに内引けが大きく出やすい。

その関係を図 1 にしめす。



図・1 炭素当量と内引けの関係 (W. C. Jeffery)

3. 2 ドロス

球状黒鉛鑄鉄の場合ドロスは、添加合金などによって発生したスラグ状物質および析出球状黒鉛または異状黒鉛の偏析などによんでいる。

図2はドロスの発生とC、Siの関係、図3は残留MgとSの関係を示す。

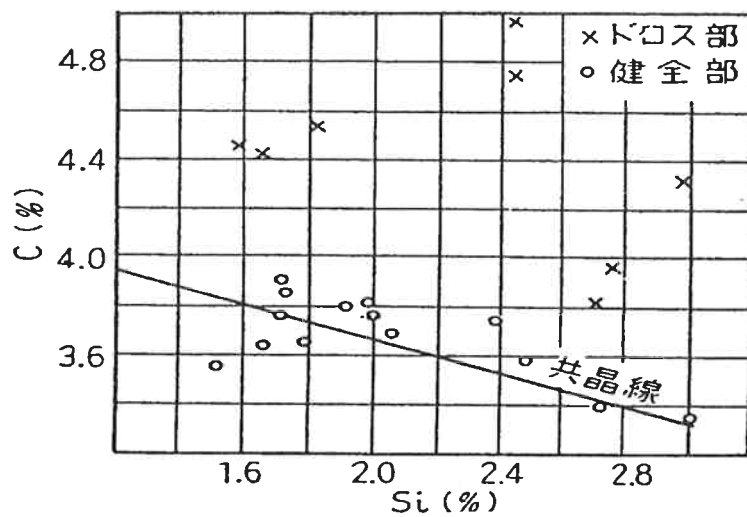


図-2 球状黒鉛鑄鉄の健全部とドロス部のCおよびSiの関係

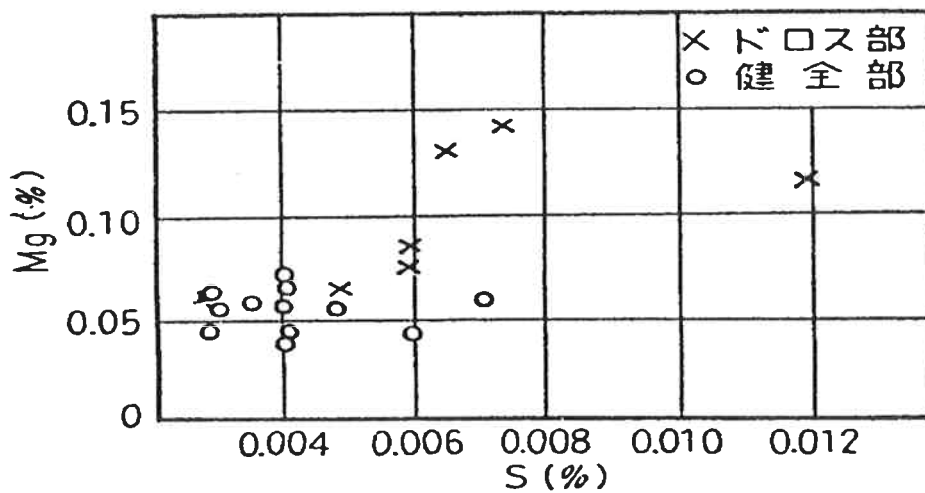


図-3 球状黒鉛鑄鉄の健全部とドロス部のMgおよびSの関係

1. 3 寸法公差および抜け勾配

1. 適用範囲

鋳鉄鋳物の製造を目的とする鋳造品の特性について規定する。

2. 用語の意味

鋳物の寸法は鋳型、鋳込み金属の特性により変化する。

砂型の鋳鉄鋳物の守るべき寸法公差、許容抜け勾配について示す。

3. 寸法公差

3.1 ねずみ鋳鉄および球状黒鉛鋳鉄の普通許容差（砂型） （J I S B 0 4 0 7 - 1 9 7 8）

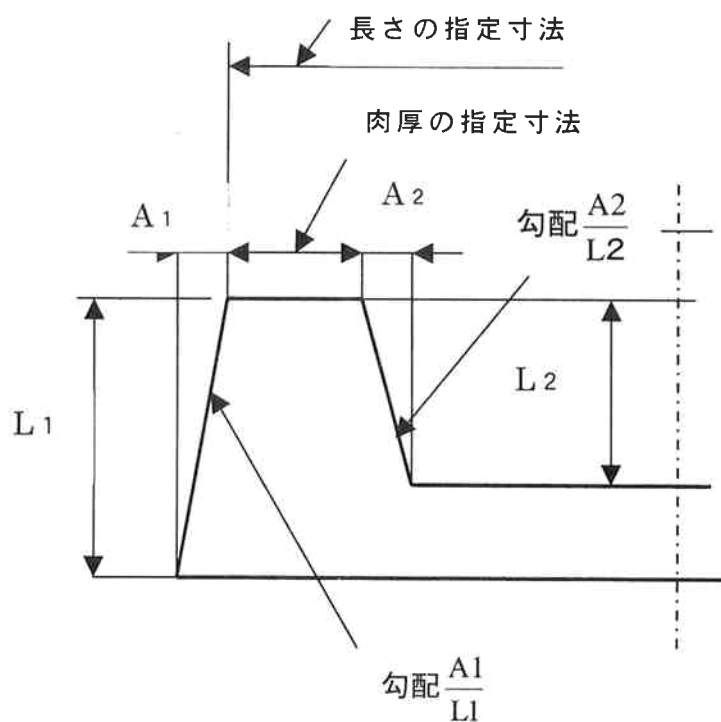
表 1 長さの普通許容差（単位 mm）

材料 等級 寸法の区分	ねずみ鋳鉄品		球状黒鉛鋳鉄品	
	精級	並級	精級	並級
120 以下	± 1	± 1.5	± 1.5	± 2
120 を超え 250 以下	± 1.5	± 2	± 2	± 2.5
250 を超え 400 以下	± 2	± 3	± 2.5	± 3.5
400 を超え 800 以下	± 3	± 4	± 4	± 5
800 を超え 1600 以下	± 4	± 6	± 5	± 7
1600 を超え 3150 以下	—	± 10	—	± 10

表 2 肉厚の普通許容差（単位 mm）

材料 等級 寸法の区分	ねずみ鋳鉄品		球状黒鉛鋳鉄品	
	精級	並級	精級	並級
10 以下	± 1	± 1.5	± 1.2	± 2
10 を超え 18 以下	± 1.5	± 2	± 1.5	± 2.5
18 を超え 30 以下	± 2	± 3	± 2	± 3
30 を超え 50 以下	± 2	± 3.5	± 2.5	± 4

表 3 ねずみ鋳鉄および球状黒鉛鋳鉄の抜け勾配
 (砂型) (JIS B 0407-1978) (単位 mm)
 (抜け勾配を与えるための寸法 A を表に示す)



寸法区分 L		寸法 A (最大)
	18 以下	1
18 を超え	30 以下	1.5
30 を超え	50 以下	2
50 を超え	120 以下	2.5
120 を超え	315 以下	3.5
315 を超え	630 以下	6
630 を超え	1000 以下	9

注) L は図の L₁、L₂ を意味する。
 A は図の A₁、A₂ を意味する。

表 4 ねずみ鑄鉄の最小寸法 (mm)

大きさ 材質	100 以下	100 を超え 200 以下	200 を超え 400 以下	400 を超え 800 以下	800 を超え 1250 以下	1250 を超え 2000 以下
FC100	3	3	4	5	6	8
FC150	3	3	4	5	6	8
FC200	4	4	5	6	8	10
FC250	4	4	5	6	8	10
FC300	5	5	6	8	10	12
FC350	5	5	6	8	10	12

表 5 球状黒鉛鑄鉄の最小肉厚 (mm)

大きさ 材質	100 以下	100 を超え 200 以下	200 を超え 400 以下	400 を超え 800 以下	800 を超え 1250 以下	1250 を超え 2000 以下	2000 を超え 3200 以下
FCD400	5	5	6	8	10	12	16
FCD450	5	5	6	8	10	12	16
FCD500	5	5	6	8	10	12	16
FCD600	6	6	8	10	12	16	20
FCD700	6	6	8	10	12	16	20

1. 4 注意すべき形状

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物の製造を目的とする鑄造品の特性について規定する。

2. 用語の意味

鑄造品の形状は、凝固、収縮の影響での寸法変化や内部欠陥
また溶湯の流れにより品質に大きく影響する。

そのために設計段階から適した形状を選定する必要がある。

下記に各部の注意すべき形状を示す。

3. 注意すべき形状 (JIS B 0703-1962)

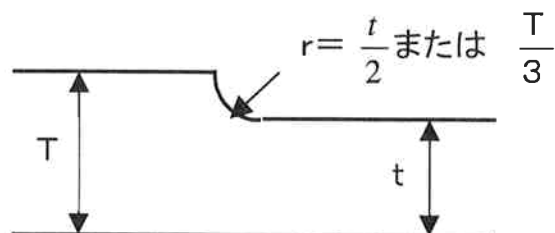
3. 1 肉厚変化部

肉厚の変化はできるだけ徐々に行い、急激な変化をさける。

図1にその基準をしめす。

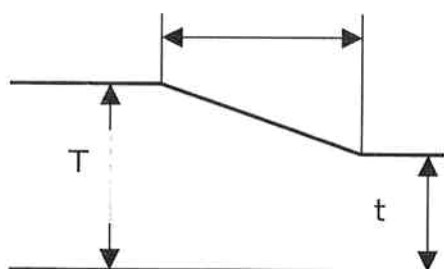
丸みまたはこう配は、図中の計算式で求める。

丸みの値は表1の数値を用いる。

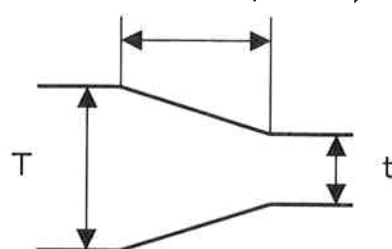


(a) 肉厚比が 1.5 以下の場合

$$L = 4 (T - t)$$

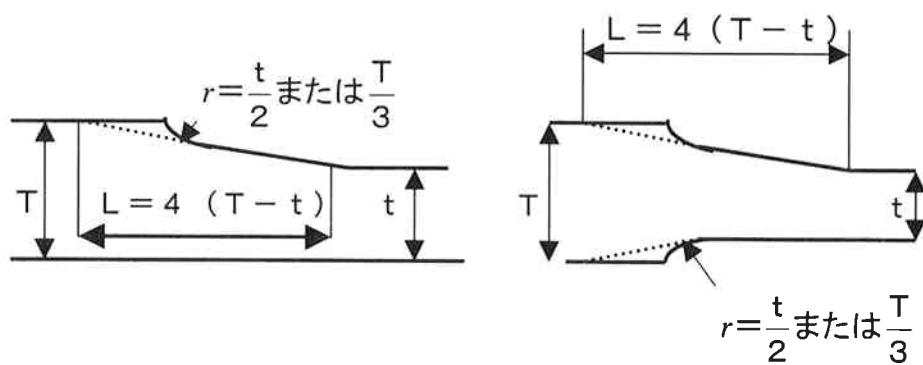


$$L = 4 (T - t)$$



i) こう配が十分とれる場合

(b) 肉厚比が 1.5 を超え 3 以下の場合



- li) こう配が十分とれない場合
 (b) 肉厚比が 1.5 を超え 3 以下の場合

図 1 肉厚変化部の形状

表 1 隅部の丸みの標準値



単位mm

材 質	隅 部 の 丸 み の 値															
ねずみ鑄鉄	(3)	(4)	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
球状黒鉛鑄鉄			(5)	(6)	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100

3. 2 肉の交差部

L字交差部（交差角 90° ）、V字交差部（交差角 90° 未満）の場合
交差部の内側と外側とを丸めるのを原則とする。

ただし外側をとがらせる必要のある場合は、交差部ができるだけ肉厚
にならないよう注意しながら内側に丸みをつける。

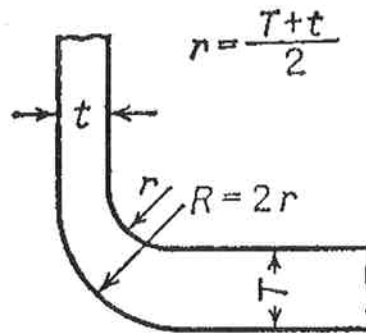
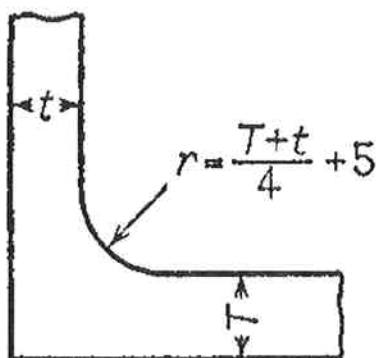
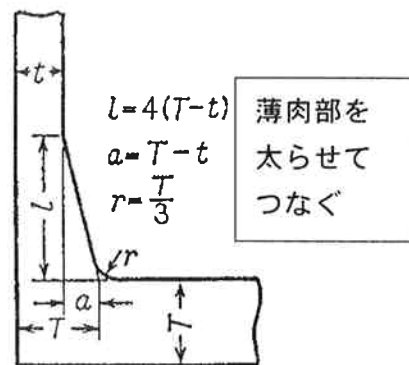


図2 内側および外側に丸みをつける場合



i) 肉厚比が 1.5 以下の場合



ii) 肉厚比が 1.5 を超え 3 以下の
場合

図3 外側をとがらせる場合

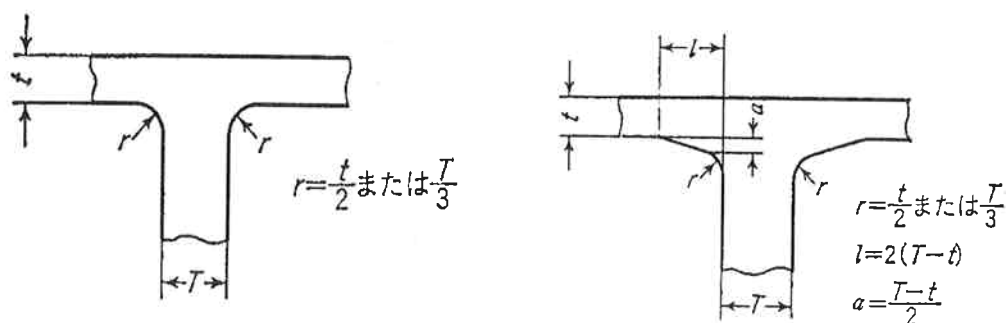
T字交差部についても厚肉部と薄肉部の交差部は丸みをつける

肉厚比が 1.5 以上の場合、図4、図5のように薄肉部に

こう配をつけて太らせることが必要となる。

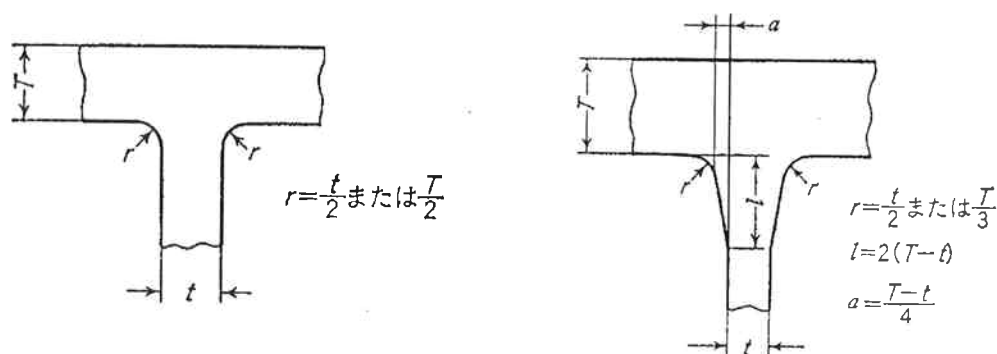
薄肉部に厚肉部が交差する場合と、厚肉部に薄肉部が交差する

場合の形状について、図4、図5に示す。



i) 肉厚比が 1.5 以下の場合 ii) 肉厚比が 1.5 を超え 3 以下の場合

図 4 薄肉部に厚肉部が交差する場合



i) 肉厚比が 1.5 以下の場合 ii) 肉厚比が 1.5 を超え 3 以下の場合

図 5 厚肉部に薄肉部が交差する場合

十字交差部については、できる限り避け T 字形状にする事が望ましい

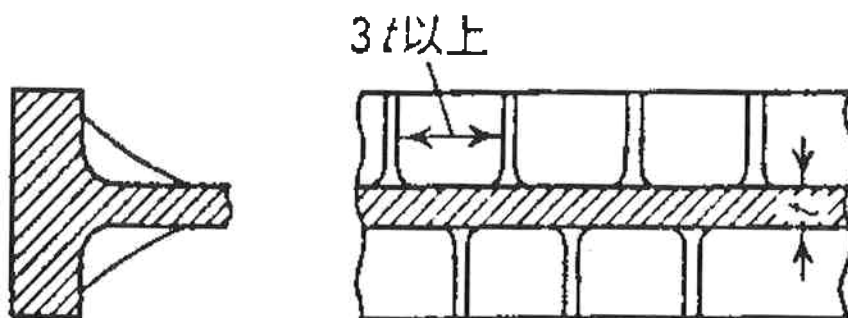


図 6 十字交差を T 字交差に変更

3. 3 座

座は図7のように原則としてその高さを肉厚よりも小さくし側面に30°のこう配をつける。

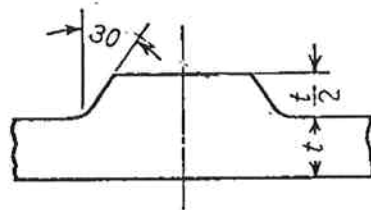


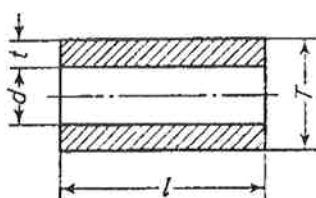
図7 座の形状（鋳物便覧 4版）

3. 4 鋳抜き穴および未貫通穴

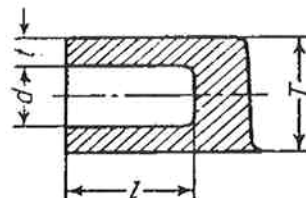
鋳抜き穴、未貫通穴の直径 d および長さ l は表2の値をとる。
穴のまわりの肉厚が厚い場合には特に注意する。

表2 砂型鋳造品の鋳抜き穴、未貫通穴

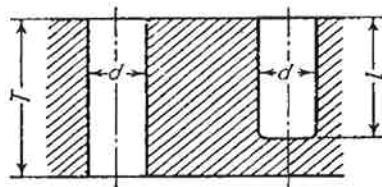
区 分	鋳 鉄 鋳 物	長 さ
(1)	$d \geq t$ (最小10mm) または $d \geq T/3$	$l \leq 3d$
(2)	$d \geq t$ (最小10mm) または $d \geq T/3$	$l \leq 2d$
(3)	$d \geq t/2$ (最小10mm)	$l = T$
(4)	$d \geq T/2$ (最小10mm)	$l \leq 2d$



(1)



(2)



4 交差部の凝固について

3項で交差部の考え方を述べたが、これらの交差部の凝固については Wlodawer が図 8 に示すように内接円法をまとめているのでこれを利用するといふ。

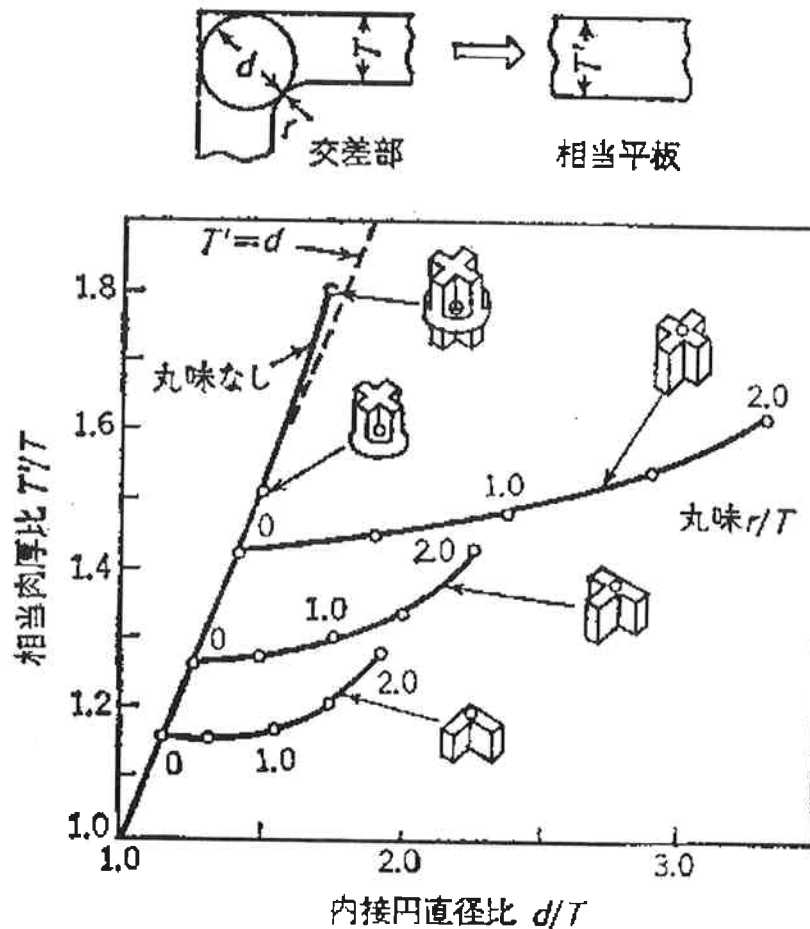
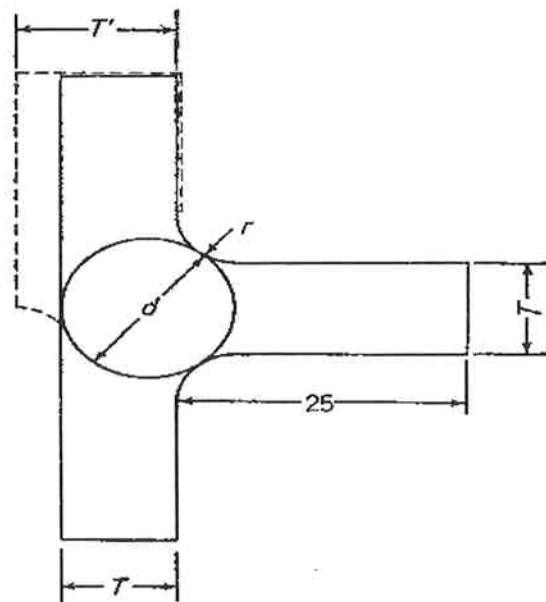


図 8 内接円法における丸み r の影響
(T, d, r から相当肉厚 T' を求める
等肉厚平板の場合)

4. 1 交差部についての計算例

図 9 に示すような交差部をもつ鋳物である場合の例で示す。



鋳物肉厚	$T = 10 \text{ cm}$
交差部の丸み	$r = 5 \text{ cm}$
内接円の直径	$d = 15 \text{ cm}$
交差部の換算肉厚	$T' = 12.75 \text{ cm}$
鋳物の長さ	$L = 100 \text{ cm}$

図9 交差部の評価法

鋳物肉厚 $T = 10 \text{ cm}$ 、交差部の丸み $r = 5 \text{ cm}$ とすると、内接円直径 $d = 15 \text{ cm}$ となる。したがって $d/T = 1.5$ であるから図-8のT字交差に対応する線図上の $r/T = 0.5$ の点から T'/T を読み取ると $T'/T = 1.275$ 、つまりこの交差部の凝固時間は $T' = 12.75$ 、 $T = 12.75 \text{ cm}$ の板状鋳物の凝固時間に等しいことが示される。それゆえこの鋳物の上半の形状は図-9の破線で示した余肉つきの形状にする必要があるし、実際上も交差部の健全性を確保するためにはこのような形状修正を行うのが普通である。

5. 鋳造品の欠陥を防止する形状（日本鋳物協会：鋳造品ハンドブック）

鋳造品の欠陥には①ブローホール、ピンホール等の気泡②引け巣、ざく巣③亀裂、割れ、変形④鋳肌不良⑤砂かみ、ノロかみ⑥湯境湯廻り不良⑦組織不良などがあるが、いずれも形状に関係している場合が多い。形状、寸法を変更することで防止できることから下記にその事例を示す。

5.1 密閉構造をさける

高温の溶湯によって加熱された砂型および中子から、ガスや水分が発生するが、密閉構造であると逃げる事ができず、溶湯の中に入り気泡となる可能性が大きい。

図10 (a) は中子が溶湯にくるまれ、中子から発生したガスが抜けられない形状になっている。これを (b) のように鑄抜穴を設けてガス抜けをよくし、気泡の発生をなくした例である。

また密閉構造では中子の支持が困難であり、かつ鑄造後砂を取出すことも困難である。このような穴をあけることで解消できる。

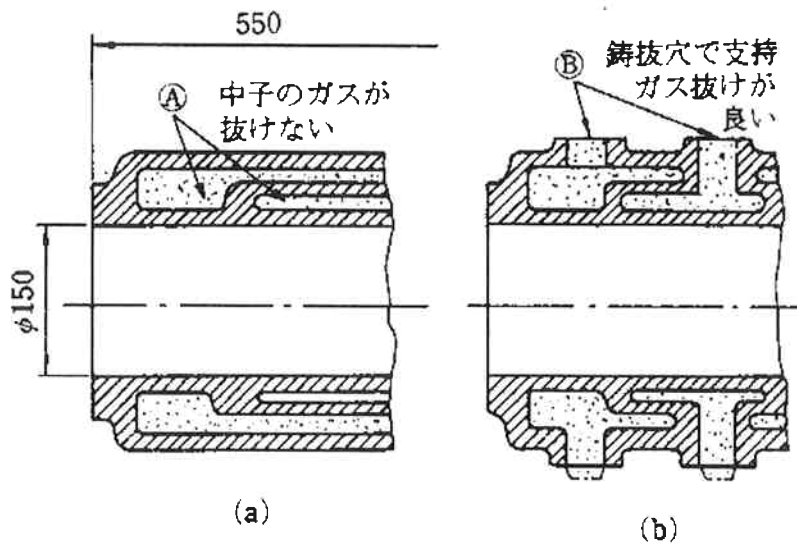


図10 密閉構造をさけ中子形状を改善

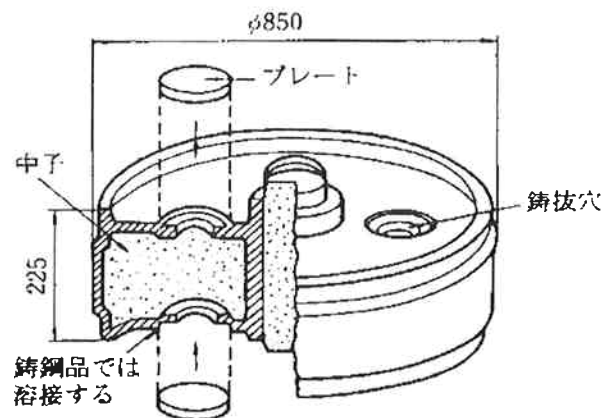


図11 密閉構造をさけ中子のガス抜きをよくする

5. 2 薄肉中子をさける

図1 2 (a) は薄肉中子がまわりの厚い鑄造品に囲まれている為加熱されガスが発生する。また砂の強度が低下し溶湯の浮力によってこわれやすい。このような形状では薄肉中子部を厚くして (b) のような形状にするのが望ましい。

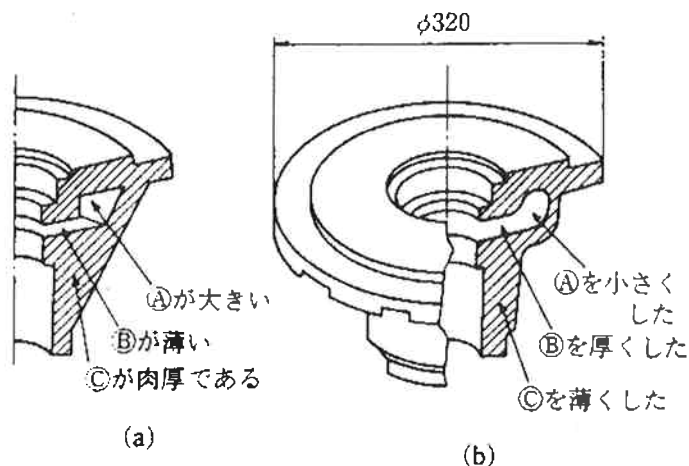


図1 2 薄肉中子をさける

図1 3 (a) は中子に突起部があり、砂が加熱されて変形や焼付きが発生しやすい。これを (b) のように突起部をなくすことで、このような問題をなくした例である。

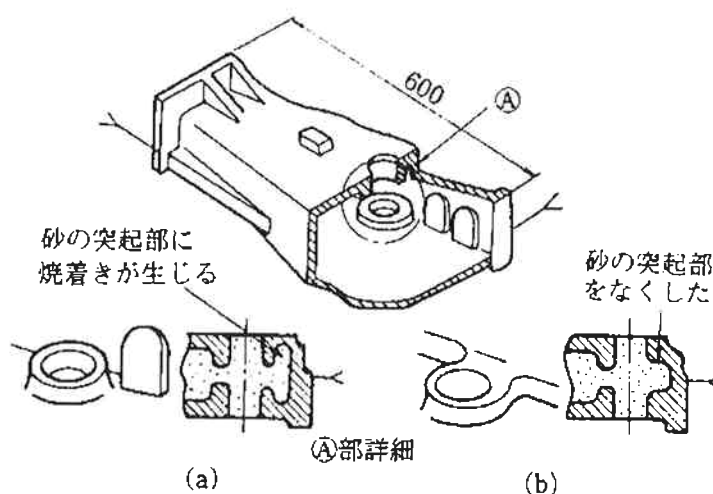


図1 3 中子の突起部をなくする

5. 3 局部肥大をさける

鑄造品の肉厚はできるだけ均一であることが好ましい。

局部肥大部は凝固冷却が遅れ、ひけ巣、ざく巣が発生する。

図1 4 はバルブの例であるが、弁座部分が一部肉厚になっていて、ここにひけ巣を生じるので、点線のように肉厚を均一にするとよい。

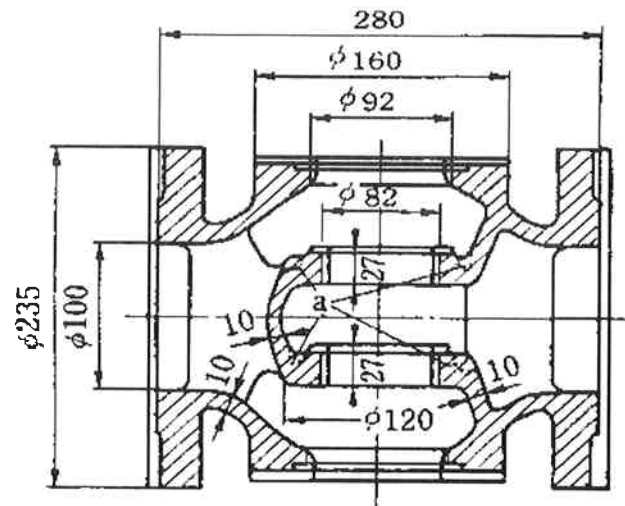


図 1 4 肉厚が均一な形状にする

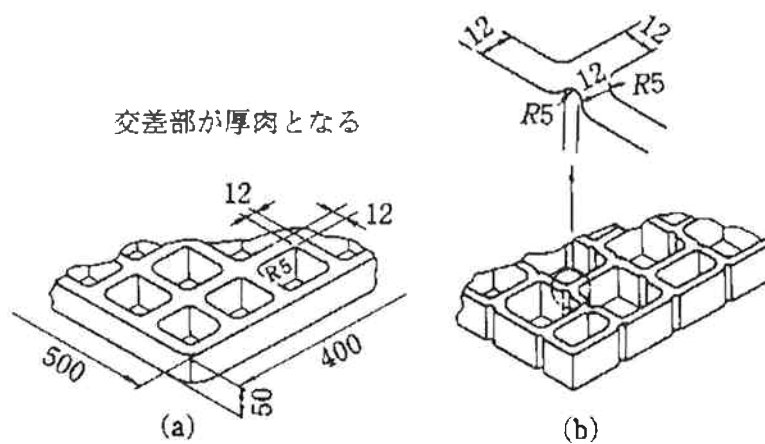


図 1 5 肉厚が均一な形状にする

図15のような形状のもので（a）では交差部が十字になっているために局部的な厚肉となっている。これを（b）のようにY字交差にすると肉厚の均一化をはかることができる。
十字交差部には凝固収縮による引張力が働くため、亀裂が生じやすい。

5. 4 角・隅部の丸みに対する注意

角部および隅部には亀裂が生じやすい。これは凝固収縮によって引張られるためである。

図16（a）では角部がとがっていて、隅部の丸みが小さい。これを（b）のように角部を丸め、隅部の丸みを大きくすると亀裂を防ぐことができる。

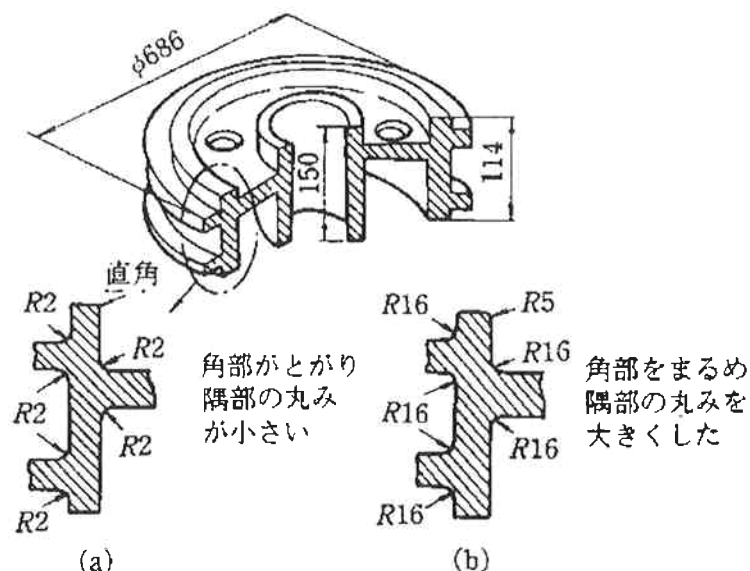


図16 角・隅部に適正な丸みをつける

5. 5 リブに対する注意

リブが不適正のときはいろいろの鑄造欠陥が発生する。

リブが薄すぎると割れや湯廻り不良が生じ、厚すぎると本体との交差部に引け巣が発生する。

図17は外側にリブがある例で（a）はリブが薄くて高いため先に凝固し、隅部に亀裂が入りやすい。（b）のように低く厚くするとよい。ただし、リブの厚さは鑄鉄では本体肉厚の0.8倍くらい長さは肉厚にほぼ等しくとるのがよい。

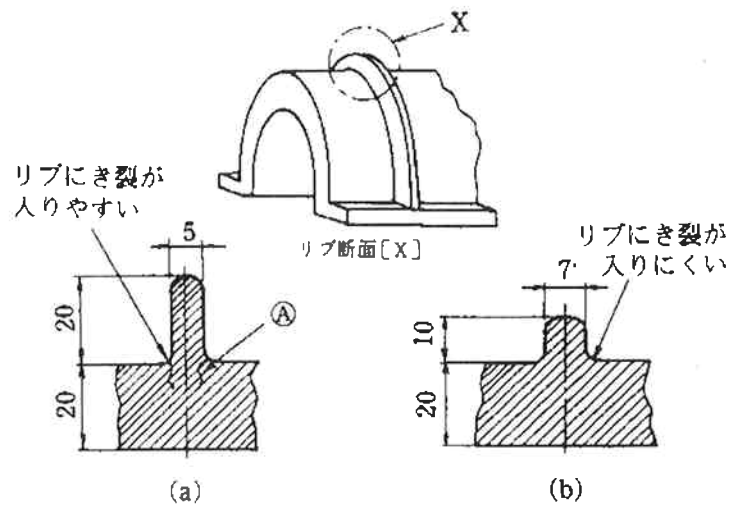


図 1 7 引張り側のリップ形状

図 1 8 はリップを本体の内側と外側につけたものを比較したものである。

外側につけた場合は凝固収縮によりリップに引張り力が働き、亀裂が生じやすい。これに対し内側につけた場合は、圧縮方向の力を受け、亀裂は生じない。

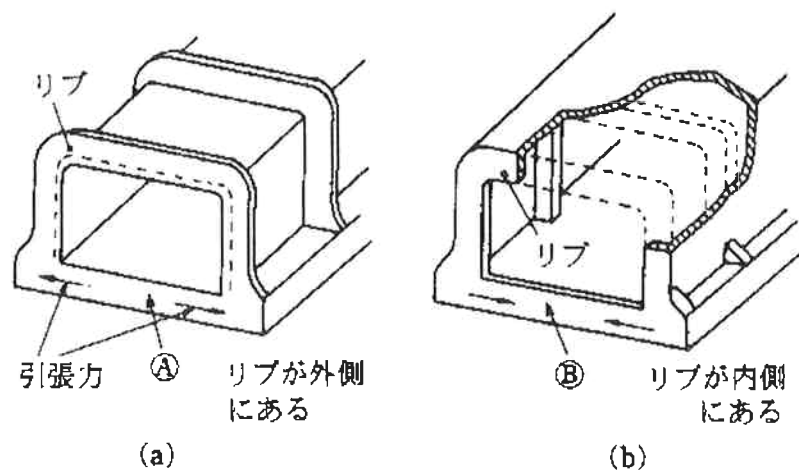


図 1 8 圧縮側のリップ形状

6. 機械加工を考慮した形状（日本鋳物協会 鋳造品ハンドブック）

鋳造品の機械加工に対しては次のような点について考慮する必要がある。

- ・ 加工基準点または面を設ける。
- ・ 機械に取り付けやすい形状にする。
- ・ 加工が容易な形状にする。
- ・ 加工工数を低減できる形状にする。

本項では、形状面での注意として加工が容易な形状について述べる。

6. 1 工具との干渉を防ぐ

図19は（a）では工具と壁との干渉のために仕上げ面の加工ができない。（b）のように十分な逃げの部分を作ることが必要である。この部分が狭いと、肉厚部にかこまれた狭い部分の砂が鋳造時に焼付き、工具を損傷する不具合も発生する。

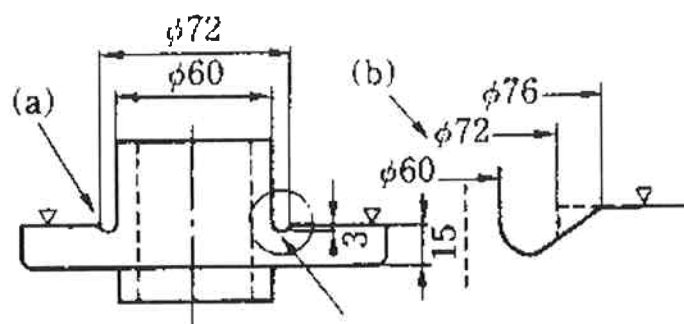


図19 工具と壁の干渉を防ぐ

6. 2 工具の逃げを防ぐ

図20（a）は加工開始時にドリルが曲面にあたって刃先が逃げる。これを（b）のようにこの部分に座を設けて逃げをなくす。

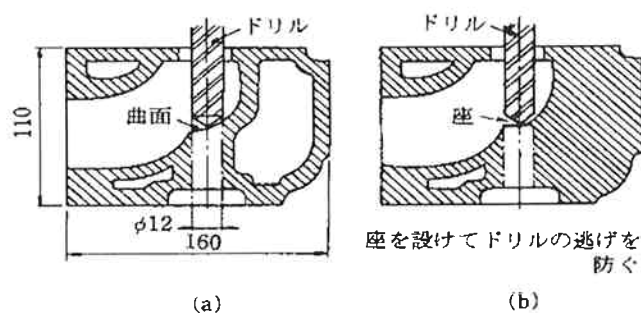


図20 工具の逃げを防ぐ形状

6. 3 断続切削を防ぐ

図 2 1 (a) は花卉形の座面のため、座面加工は断続切削となる。これを (b) のようにすれば加工面は円形となり、連続切削ができるようになる。

断続切削では工具の寿命も短く、精度も悪い。

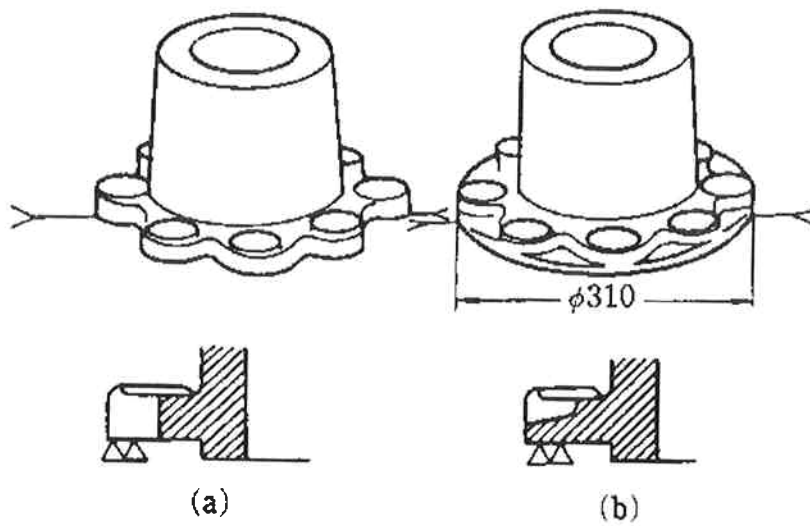


図 2 1 断続切削を防ぐ形状

1. 5 顧客要求による鑄造材の選定

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物の製造を目的とする鑄造品の特性について規定する。

2. 用語の意味

鑄鉄材料は、多くの優れた特徴をもっており広範囲に使用されている。本項では利用する立場から注目する特徴を記述するとともに、要求特性に対する適性を示す。

3. 鑄鉄の諸特性

表 1 鑄造品用途別材料特性

用途	部品名	材質	熱伝導性	減衰特性	摩擦係数	疲れ強さ	熱疲労特性	耐熱衝撃性	耐クリーク・クラック性	耐圧性	耐摩耗性	耐酸化性	耐食性	耐候性	耐シヨウビン性	耐キヤビティ性	実体強度	残留応力	被削性
自動車	エンジン部品	FC250～FC300	○				○	○		○							○	○	○
	シリンダーヘッド					○					○					○	○	○	○
	シリンダブロック	低合金鑄鉄					○	○				○							
	エキゾーストマニホールド	"	○		○						○						○	○	○
	ピストリング																		
	足回り部品	FC250～FC300			○	○					○								
	ブレーキドラム	FC300			○	○					○								
	ブレーキディスク	FC250															○		○
工作機械	フライホイール	FC250																	
	パワーステアリングポンプ	FC250								○					○				
	オイルポンプ																		
製鉄	ベッド	FC250～FC300		○	○						○							○	
	コラム	FC300		○	○						○							○	
	フレーム			○	○						○							○	
	定盤																	○	○
産業機械	インゴットケース	FC250～300					○	○	○			○							
	チルドロール	FC250				○			○		○								
海洋構造物	ポンプ、バルブ部品	FCD450			○					○							○		○
	—			○										○	○		○		
原子力発電	核燃料棒容器	FCD700				○								○			○		
生活関連	ピアノフレーム	FC200															○	○	○

表 2 要求性質と鑄造品材質の関係

材 質 要求性質	強 度	耐 衝 撃 性	鑄 造 性	振 動 吸 収 力	電 氣 伝 導 ・ 熱 伝 導	耐 摩 耗 性	耐 熱 性				耐 食 性		経 済 性
							700 800	500 600	350	250 300	硫 酸	高 温 酸 化	
ねずみ鑄鉄			○		○					○			○
強靱鑄鉄						○			○				
低合金鑄鉄								○					○
高Cr鑄鉄							○					○	
高Si鑄鉄											○		
Ni-Cr鑄鉄						○	○						
ニレズト鑄鉄											○	○	
球状黒鉛鑄鉄	○	○				○			○				○
可鍛鑄鉄	○								○				

4. 鑄造品の軽量化

4.1 鑄造品の軽量化設計

鑄造品の軽量化を進める為には、構造解析、材料技術の両面から取組むことが肝要である。

一般に軽量化の手段として、小型化、薄肉化、中空化、細径化、新構造の採用などがあげられるが、構造技術のみで部品の重量を大幅に減少することは困難である。

したがって既存の材料を見直し、材料特性を生かした軽量材料への転換を基本設計の段階で十分検討しておく必要がある。

また、詳細設計、鑄造設計では各部の詳細形状や、寸法を決め、材料に合った鑄造プロセス、形状に応じた鑄造方案を決める。

この段階では、鑄造しやすく軽くて強い最適形状を求めるために構造解析や鑄造性解析などの手法が活用できる。

製作段階では、寸法精度や鑄造条件のばらつきがあるためこれらの影響を考慮した形状とする必要がある。

また、鑄造品の強度は表面の状態や、寸法効果、鑄造欠陥の影響を受けやすいので、最終的には実物での評価を行ったのちに製品とする。

下図に軽量化に関連する設計項目をあげる。

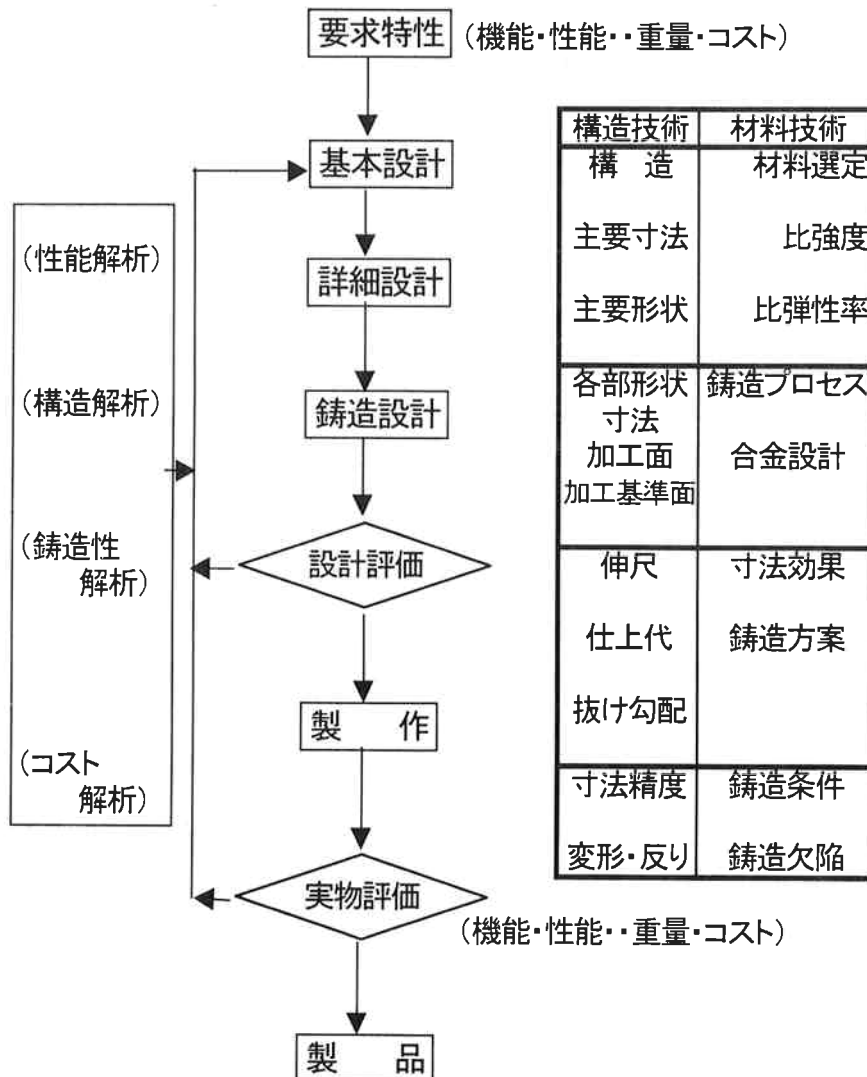


図1 鑄造品の軽量化設計手順

(日本鑄物協会：鑄造品ハンドブック)

4.2 鑄造材の選定

軽量化のためには、単に強度が高いだけではなく軽くて強い高比強度材料が有利である。

また、部品によっては強度よりも剛性がより重要な材料選定の基準となる場合がある。

この指標としては材料の比弾性率が参考となる。

図2には各種鑄造材料の比強度（引張強さ／比重）と、比弾性率（ヤング率／比重）の代表的な範囲を示した。

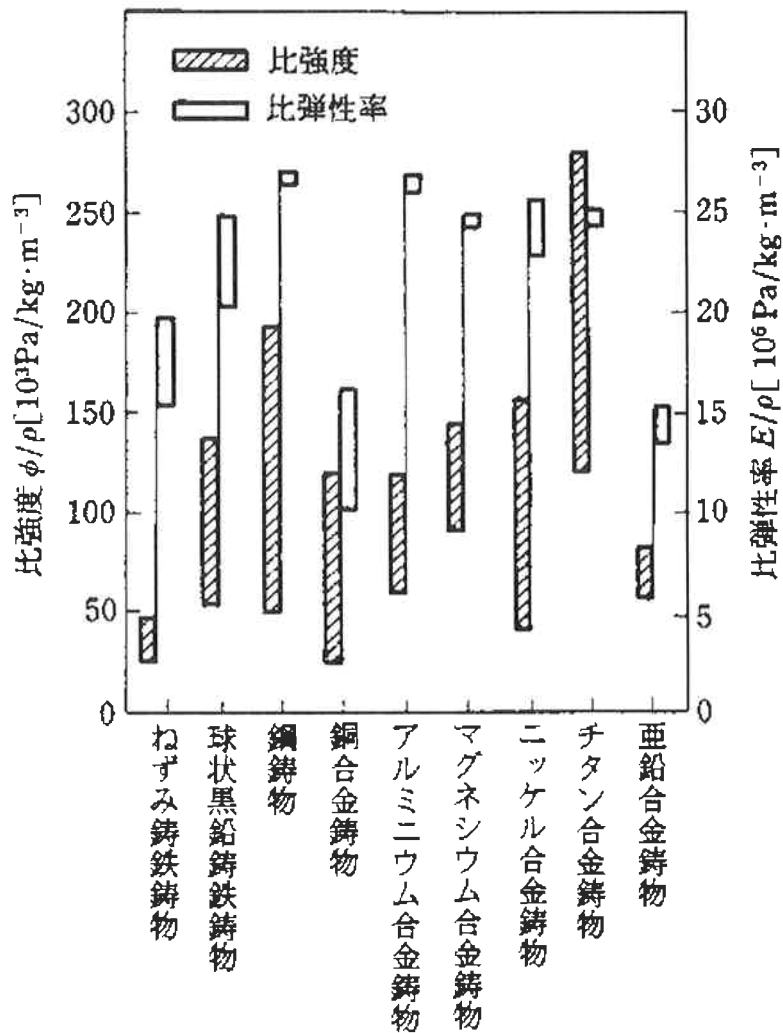


図2 各種鑄造材料の比強度と比弾性率
(日本鑄物協会：鑄造品ハンドブック)

5. 構造解析と最適設計（日本鋳物協会：鋳造品ハンドブック）

構造解析の手法としては、有限要素法、境界要素法が良く使われる。

有限要素法は、対象とする構造物を有限要素と呼ばれる微小領域に分割し、各要素についての変位または応力を求める方法である。

現在では NASTRAN、MARC、ABAQUS、など信頼性の高い汎用解析プログラムの利用が可能である。

境界要素法は、対象とする領域の境界要素について同様の計算を行うものである。

中実部品ではその表面の要素分割のみで良い為解析データ作成が容易になるなどの利点がある。

鋳造品の軽量化を効率よく短期間に達成するうえで構造解析の果たす役割は大きい、最適な設計案をより短い期間で得るために最適化手法が使われる。

設計の最適化は、数理計画法の手法を用いて種々の制約条件 $g(x)$ のもとで設計変数 x を選択し、目標関数 $f(x)$ を最小化（または最大化）することである。

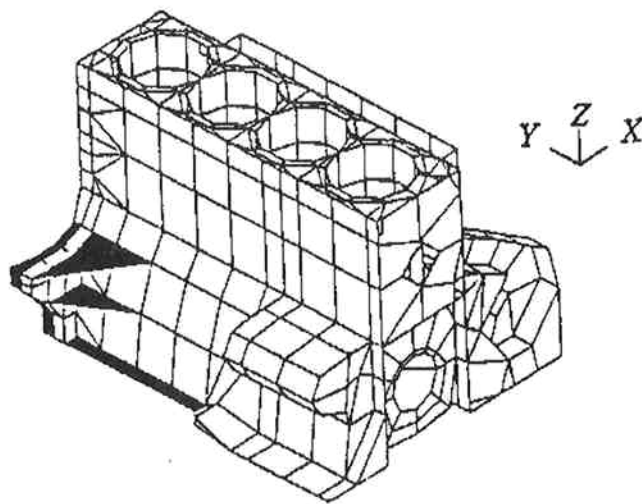


図3 シリンダーブロックに追加する補強リブ

図 3 は、シリンダーブロックに補強リブを追加する場合、最適化によりリブの形状、肉厚を求めた例である。目的関数は 2 節曲げにおける固有値、制約条件は鋳造可能な最小肉厚とした。この例では、3 回の反復計算により重量を 3.8% 増にとどめて固有値は 36% 増加できるという結果が得られた。

鋳造品は形状的に設計の自由度が大きい特長がある。図 2 の例のように最適設計の要求に答え、機能を高めながらより軽く合理的な形状を追求する場合には、鋳造品は柔軟な対応が可能である。

2. 造型方案

2.1 造型方式の決め方

1. 適用範囲

鋳鉄鋳物の模型制作について、規定する。

2. 模型設計前準備

2.1 模型制作対象品の仕様確認

最終製品の満足度を上げるために、安定供給・完成品での安定品質を客先に提供するために、仕様の取り決めは、重要である。

2.1.1 製品の要求機能

機能が分る事で、製品の重要部位を知り型の割面・中子の使用範囲の決めに反映させるため、重要である。

次のような事を明確にしておく

- 何に使う部品か
- どの様に力が掛かるか（引張り・押し・ねじり 他）
- どのくらいの力が掛かるのか
- 完成品で部品間のクリアランスが少なくて干渉する恐れのない部位はないか
- 製品組み立て時、治工具の干渉の恐れのある箇所はどこか
- 要求される鋳肌粗さは、どの程度か

2.1.2 機械加工手順

加工順は、客先と話し合い明確にさせておく、
鋳物が完成品になった時、機能が十分に満足され、黒皮残り等の不良が発生しない満足度の高い製品にするため大変重要な事である。
次のことを明確にしておく。

- 加工基準面はどこか
- 第一・第二・第三基準位置とクランプ位置はどこか
- 治具のつかみ方向は・当り面積はどのくらいか
(鋳物がしっかり固定され、抜けにくい・ずれないように、割面・抜け勾配に反映させる)

2.1.3 要求機能維持のための客先へ技術面での申告・申請

要求機能を満足させるため、模型設計時点で 形状変更の必要性があれば、申請を客先に行なう。

安定供給を行ない、最終製品の品質面での満足度を上げるためにも必要である。

技術面での申告・申請を行なうことは、製造メーカーとしてコスト・品質をよりベターなものとして提供することが目的である。

その為の技術サービスとして大事で、客先との信頼関係を結ぶためにも積極的に行なう事が望ましい。

3. 造型方式

3.1 縦型・横型

製造メーカーが持っている設備より、決まってしまう事が大半である。

受注量より要求生産能力が決まり、その工場の最少コスト及び最良品質にすべく、ラインを決める事が望ましい。

3.2 型割面

摸型設計上 型割面の決め方で品質・コストに大きく影響があり、後からの改善・改造が出来にくい事より、十分に考慮する事が必要である。型割面は、下記事項を考慮して決める。

表 1

区分	考慮事項	効果・狙い
鋳バリを小さく又 薄く	○割面は出来るだけ単純に水平がベスト	○プレート精度を上げバリなしが狙える
	○割面の傾斜はゆるやかにする（傾斜角度を小さく） ○機能上 鋳バリがあっても良い個所に割り面を選ぶ	○摸型制作精度が出易い ○砂型当り面を強く出来る
	○中子の上型面 巾木勾配はゆるやか	同上
内部巣は最少	○最終凝固部位(肉厚部)へ押湯・堰からの溶湯補給が出来る様に割面を設ける ○若干の堰周辺の形状変更も考慮	○溶湯補給が出来ないと冷金の使用となり、コスト高となる ○堰前の砂型の強度を出し・ホットスポットを作らない様にし、堰前の巣発生を防止する

又 なし	○型が抜けない突起物がない 割りを探す (若干の形状変更も考慮)	○コスト面だけでなく、安定供給が はかれ、品質の安定にもつながる
加 工 後 の 品 質 安 定	○機械加工基準面には型割 面を避ける ○第一・第二基準は、型割面 を挟んで上下型に分けない がベター	○製造上のばらつきを拾い易く加工 後の黒皮残り・マイス肉厚等の不良品 の発生につながりやすい要因をなく す。

2.2 模型方式の決め方

1.適用範囲

模型の設計を目的とする必要な事柄について規定する。

2.分割面

型割面は、造型方式の 2.1-3.2 型割面の記述事項に模型設計として次のことを考慮しなければならない。 表 1

区分	設計事項	効果・狙い
砂付き 生型 (自動造型)	○マッチプレートでは上下型の砂量が出来ただけ等しくなるようにプレート面に対し割面をづらしたほうがベター ○パターンプレートは上下型の砂量は考慮しなくて良い ○側面の砂付き生産する製品が異なるために決められないが、造型機毎に標準を決める必要がある	○砂プロ-又はスクイズ時上下型の砂量が異なると上下型の砂型強度に差が出来寸法ばらつきの原因になる
自硬性 〔手込め〕	○砂コストが高価であることより必要以上に砂量を使わないように金枠の設計を行う必要がある	自硬性の場合製品の肉厚によって考慮しなければならないが砂付きは $\leq 1.5 \times$ 肉厚を目安としたい又金枠棧の設計は大事

参考

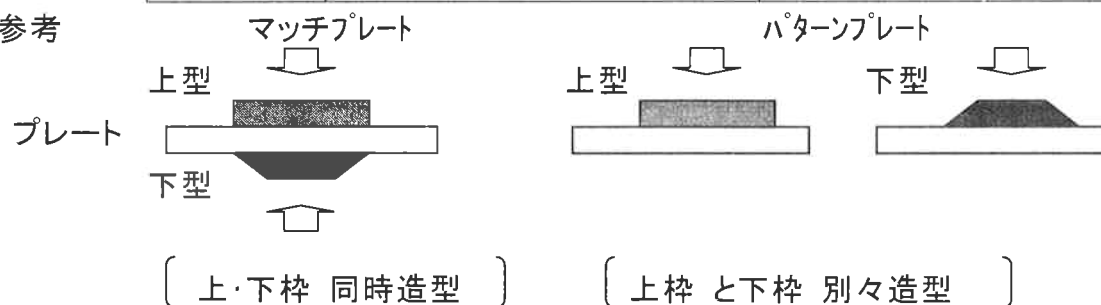


図 1 プレートの種類

参考 生型ラインの砂付き

表 2

パタン種類	上下面	側面
マッチプレート〔無枠〕	下面 ≥ 50 mm	≥ 40 mm
パターンプレート〔有枠〕	下面 ≥ 50 mm	≥ 30 mm

4.上下型の決め方

要求品質と作業性を考慮して、決めなければならない。

表 3

区分	設計事項	効果・狙い
〔品質〕 内部欠陥 吹かれ 加工不良	○最終凝固部位に溶湯補給がされ易いように、堰と周囲の形状より上下を決める 〔一般的には下型に成るように設計〕 ○最終凝固部位の砂型強度が安定して出易い事	内部欠陥の発生を抑制
	○中子のガスを抜き易いように、幅木と鋳物形状から上下を決める	吹かれ欠陥発生防止
	○機械加工基準面は下型に出来るだけ集める 〔縦壁の砂型の不安定個所には加工基準面を設けない〕 ○重要加工面は 下型にする	鋳物製造上のばらつきを最少にし、機械加工後の黒皮残り等の不良発生を抑制する 加工後の異物カミ等の不良発生を抑制する 〔上面はスカム・ノロ等の腐れ層があり精度が要求される面として不利〕
〔作業性〕	○中子 大きい幅木が下型になるようにする	中子のセット作業を容易にする 中子倒れ不良防止

5. 幅木の設計

幅木を付ける目的として、

○中子の位置をリードし規定する

○中子の固定、溶湯の浮力にたて完全に固定する

○中子のガス抜き、注湯時 中子からの発生ガスは幅木を通して抜く

横両幅木の場合

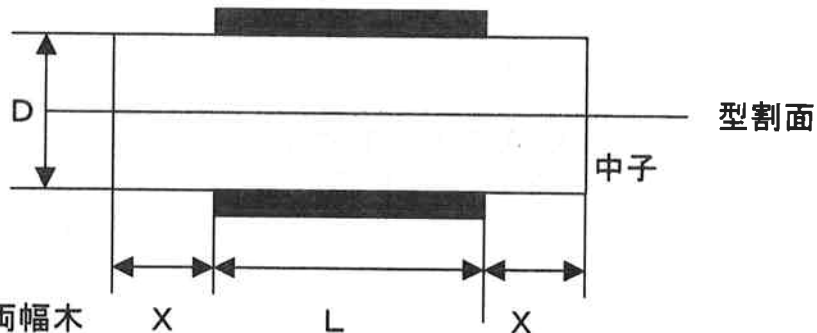


図 2 横両幅木

表 4 横両幅木の寸法表

D \ L	20	40	60	80	100	125	150	175	200	250	300	400
20												
40		20									40	40
60								35	40	40	40	60
80			25						40	40	60	60
100				30		35		40	40	60	60	80
125								60	60	60	80	80
150						40		60	60	80	80	100
175			35	40		40	60	60	80	80	100	100
200					60	60	60	80	80	100	100	120
300				60	60	60	80	80	100	100	120	120
400				60	80	80	100	100	100	120	120	120

横片側幅木の場合

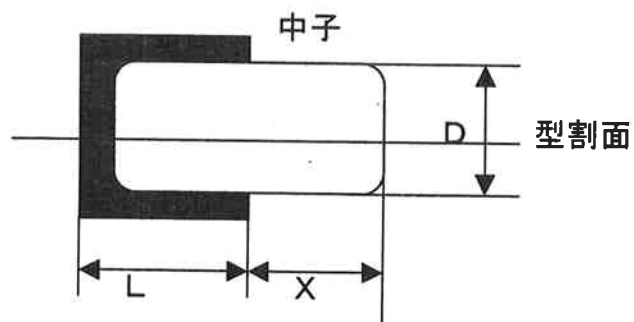


図 3 横片側幅木

表 5 横片側幅木の寸法表 (空欄は該当形状のものがない)

D \ L	≤ 20	21 ~40	41 ~60	61 ~80	81 ~ 100	101 ~ 125	126 ~ 150	151 ~ 175	176 ~ 200	201 ~ 250	251 ~ 300	301 ~ 400
≤20	30	50	70									
21~30	30	50	70	90								
31~40	30	50	70	90	110							
41~60	30	50	70	90	110	130	130					
61~80	50	50	70	90	110	130	130					
81~100	50	50	70	90	110	130	130	130	130			
101~125		50	70	90	110	130	130	130	150	150	150	
126~150		50	90	90	110	130	130	130	150	150	150	
151~175			90	110	110	130	130	150	150	150	150	150
176~200			110	110	110	130	130	150	150	150	150	150
201~300				110	130	130	150	150	150	150	150	150
301~400				130	130	130	150	150	150	150	150	150

縦幅木の場合

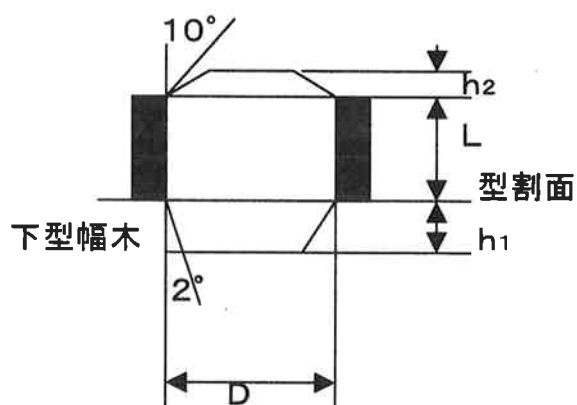


図 4 縦型幅木

表 6 縦型幅木の寸法表 [h₁・h₂] (空欄は該当の形状のものがない)

D/L	20	40	60	80	100	150	200	250	300	400	500
10	15	20	25	25							
15	15	20	25	25	25						
25	20	25	30	30	35	35					
30	20	25	30	30	35	35	40				
40		25	30	30	40	45	45	45	55	60	
50			30	30	40	45	45	50	55	60	70
70				30	30	40	45	50	55	60	65
100					30	35	40	45	50	55	60
150						30	35	45	45	50	55
200							30	35	40	45	50
300								30	35	40	45
450										35	40

5.1 縦幅木の形状

上型・下型に幅木を出し、中子を固定するのが望ましいが、
上型に幅木を必要とする範囲は、つぎの条件の時

$$L+25/D \geq 1 \text{ (生型)} \cdot L/D \geq 1 \text{ (自硬性)}$$

下型の幅木を大きくして、上型の幅木を省略する事もある

その時の下型幅木の直径 D' は 次の条件を満足するように設計することが望ましい。

$$L+25/D' \leq 1 \text{ (生型)} \cdot L/D' \leq 1$$

図 5 に示す。

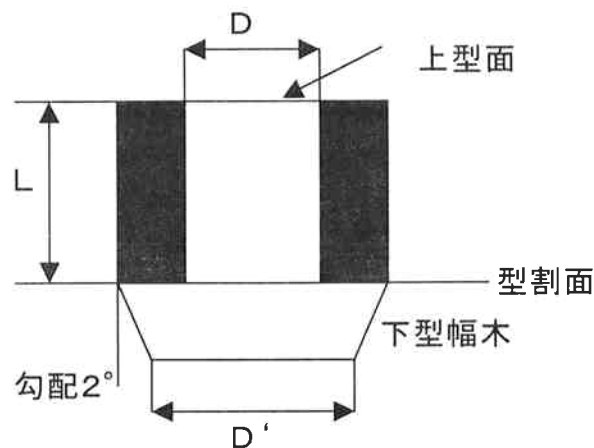


図 5 下型安定幅木の形状

6. 伸尺

鋳鉄では、軟質 FC150からFC300 伸び尺は 0/1000～10/1000 の範囲で使われている。

FCD450[フェライト組織多い]前後のものは、0/1000～7/1000

FCD600[パーライト組織]以上のものは、10/1000～15/1000

の範囲で使用されている。

摸型制作に使用される伸び尺を材質別に一括表を次に示す。

表 7 伸び尺の使用基準

伸び尺	対象材質
+4/1000	軟質鋳鉄
+5～7/1000	鋳鉄[生型]、薄肉鋳鋼の一部
+8～10/1000	鋳鉄[自硬性]、薄肉鋳鋼の一部
+10/1000	アルミニウム
+12/1000	アルミニウム合金、青銅、鋳鋼[肉厚 5～7 mm]

+14/1000	高力黄銅、鋳鋼
+16/1000	鋳鋼〔肉厚 10 mm以上〕
+20/1000	鋳鋼大物
+25/1000	鋳鋼肉厚大物

適正な伸尺で制作された模型を使い鋳造された鋳造品の寸法精度は、より少ないばらつきのものにする必要がある。

一般的に許容されている 肉厚の寸法許容差と 長さの寸法歩羽許容差を次の表に示す。

現在では、これ以上の寸法精度の要求が多くなっている。

表 8 肉厚の許容差

寸法区分	ねずみ鋳鉄品		ダクタイル鋳鉄品	
	精級	並級	精級	精級
10 以下	± 1	± 1.5	± 1.2	± 2
10 を超えて 18 以下	± 1.5	± 2	± 1.5	± 2.5
18 を超えて 30 以下	± 2	± 3	± 2	± 3
30 を超えて 50 以下	± 2	± 3.5	± 2.5	± 4

表 9 長さの許容差

寸法区分	ねずみ鋳鉄品		ダクタイル鋳鉄品	
	精級	並級	精級	並級
120 以下	± 1	± 1.5	± 1.5	± 2
120 を超えて 250 以下	± 1.5	± 2	± 2	± 2.5
250 を超えて 400 以下	± 2	± 3	± 2.5	± 3.5
400 を超えて 800 以下	± 3	± 4	± 4	± 5
800 を超えて 1600 以下	± 4	± 6	± 5	± 7
1600 を超えて 3150 以下	—	±10	—	± 10

7. 抜け勾配

模型を砂型から容易に抜き易いように、模型の垂直面に付ける勾配である。

下記の表に示す許容抜け勾配が一般的に使われている。

しかし、大きくつけても不都合のない部分は、十分大きく付けるほうが鋳物も造り易くなる 抜け勾配は設計上許される範囲でつけるが、客先と十分話し合い

了解を得る事が必要である。

製品によっては、重量が厳密に要求されているものがある。

表 10 鋳鉄品及び鋳鋼品の許容抜け勾配値 単位 ; mm

寸法区分 L		寸法 A (最大)
以上	以下	
	16	1
16	40	1.5
40	100	2
100	160	2.5
160	250	3.5
250	400	4.5
400	630	6
630	1000	9

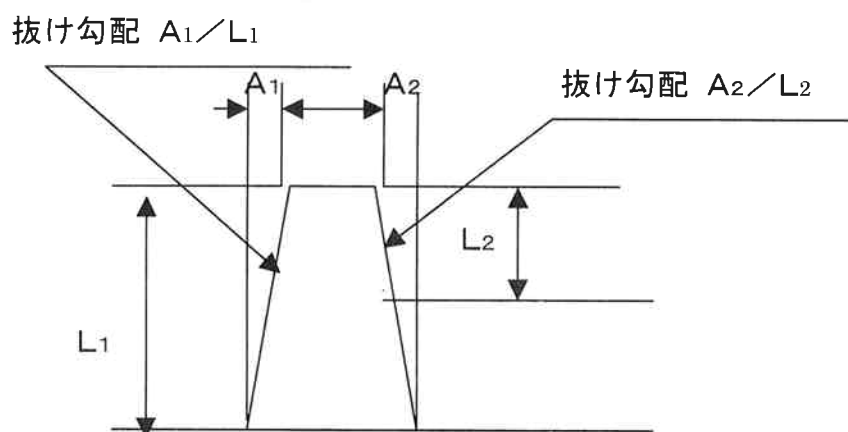


図 6 抜け勾配模型図

8. 仕上げ代

機械加工代は、出来るだけ少なくする事が望ましい。

鋳物の表面は、鋳造時に表面が急冷される事より、黒皮面が非常に硬く、機械加工の場合、その硬い表面を逃げて削る事より、仕上げ代をある程度付ける必要がある。

又上面は、スカム・ノロ等の欠陥が生じる事があり、その欠陥を削りとるために余分に仕上代を付ける。

縦または横の仕上面によって、異なる仕上げ代を付ける場合もある。

一般的には、表 11 が使用されている。

表 11 仕上げ代

単位 mm

最大寸法※1		要求する削り代									
を超え	以下	削り代の等級									
		A※	B※	C	D	E	F	G	H	J	K
	40	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	1	1.4
40	63	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	1	1.4	2
63	100	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8	4
100	160	0.3	0.4	0.5	0.8	1.1	1.5	2.2	3	4	6
160	250	0.3	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8
250	400	0.4	0.7	0.9	1.3	1.8	2.5	3.5	5	7	10
400	630	0.5	0.8	1.1	1.5	2.2	3	4	6	9	12
630	1000	0.6	0.9	1.2	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14
1000	1600	0.7	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16
1600	2500	0.8	1.1	1.6	2.2	3.2	4.5	6	9	13	18
2500	4000	0.9	1.3	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14	20
4000	6300	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16	22
6300	10000	1.1	1.5	2.2	3	4.5	6	9	12	17	24

注 ※1 削り加工後の鑄造品の最大寸法

※ 表の等級A及びBは、特別な場合にだけ適用する。例えば、固定表面及びデータム面又はデータムターゲットに関して、大量生産方式で模型・鑄造方法及び削り加工方法を含め、受渡し当事者間の協議による場合。

2. 3 模型材料の決め方

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物用の模型制作に使用する材料について規定する。

2. 模型材料

主型模型の制作は、製品の製造個数と製品の大きさなどで木型、樹脂型及び金型のいずれかを選択する。

2.1 木型

木型の材料として各々性質を使って材料選びをする必要がある。

一般には 表 1 のものが使用されている。

表 1 銘柄と 性質

銘 柄	性 質
ひめこ松	加工性が良い 硬軟の差がない 粘りがある 安価
桧	緻密な肌 強靱 保存性が良い 変形が少ない 高価
朴	細工がし易い
マホガニー	体摩耗性に強い 強度が高い 部分的に使用されている

2.2 樹脂型

特徴〔主にエポキシ樹脂が使用されている〕

- 木型に比べ長期保存がきく
- 耐久性に優れている
- 金型に比べ制作費用が安い
- 制作期間は木型と金型の中間

2.3 金型

生産量の多い製品は、耐摩耗性の高い・耐久性高い金型にて、制作する必要がある。

金型用材質と特徴から適用模型の関係を表に示す。

表 2 鑄造用金型の材質

金 型 材 質	特 徴	適 用
鑄鉄 ねずみ鑄鉄 [FC 200~300] ダクタイル鑄鉄[FCD500~600]	○鑄造性・加工性が良い ○耐摩耗性が高い	砂型用 シェルモールド用 高圧造型用
銅合金 黄銅 [HBsC3・HBsC4]	○硬さが硬い ○耐摩耗性に良い	砂型用 シェルモールド用 金型付属部品用
銅合金 青銅 [BC2・BC3]	○仕上げ面がきれい ○長期保存に適している	
アルミニウム合金 アルミニウム・銅・ケイ素・系合金 AC2A・AC2 が多く使用されている	○軽く取り扱いが容易 [鑄鉄・銅合金より比重が軽い] ○鑄造性が良い	砂型用 一般砂型用 高圧造型用 (中量生産向き)
鋼 機械構造用炭素鋼 炭素工具鋼 特殊鋼	○靱性に優れている ○強度が高い ○高価	金型付属部品用 ろう型 [ロストワックス法] 合成樹脂模型の 成型用

3. 中子取り〔中子型〕

中子取りは、主型同様、製造個数などにより、木型か金型に決める。

表 3 中子造型法と使用材質

中子造型法	要求特性	適用材質
コアシューター 〔砂吹き込み〕 コールドボックス等	耐摩耗性	アルミニウム [が多く使用されている] 鑄鉄
シェルモールド 〔熱硬化式〕	耐熱性	鑄鉄
手込め	取り扱い性	木型 アルミニウム 〔生産数が少ないがほぼ毎日造型〕

4. 模型材料と型寿命

模型の材料により、寸法精度が確保される、造型使用時間又は使用回数は、下表のように一般的に言われている。

表 4 模型材料と型寿命

模型の材質	ショット回数	使用時間・他
木型	100 回～500 回	使用開始から3ヶ月以上で一度模型のチェックを推奨する。 ● 模型の乾燥等で変形し易いある時期を過ぎると変形はしない ● 受注の少ない製品で6ヶ月以上模型が使用されてない時は、十分に模型のチェックを行なわなければならない。 (模型の保管は湿気の少ない・温度差の少ない場所で行なう)
樹脂型	3000～5000 回	ある程度使用したら、メンテナンスを推奨したい 又摩耗し易い場所は、部分的に金具を埋める等の工夫を行なえば、より寿命は延び安心して使用出来る。
金型	Al 型 50000 回	表面に硬質メッキを施せば、この限りではない。 又寿命回数が近くなったら定期的に模型のチェックは進めたがよい 模型の保管は、鉄型の場合は、錆びないよう、油でコウテングすることが必要です。

3. 凝固条件の設定

3. 1. 1 凝固係数（モジュラス）M

1. 適用範囲

鑄造品の鑄造方案の設計に適用する。

2. 用語の意味

鑄造品の冷却速度を支配するファクターである。

鑄鉄の冷却は、その表面からの熱の移動によるため、体積 V に対する表面積 S の割合が大きなものほど冷却は速くなり、少ないものほど冷却は遅くなる。

体積 V と表面積 S の比を凝固係数または、形状係数（モジュラス）と云う。記号を M で表す。

モジュラスが同一の鑄物は凝固時間が同一である。

押し湯を決めるとき、鑄物のモジュラスよりも大きいモジュラスのものを使用しないと、製品に引け巣がのこる。

3. 計算式

$$\text{モジュラス } M = V / S \quad (1)$$

ここで V は体積 cm^3 、 S は表面積 cm^2
従って M の単位は cm となる。

4. モジュラス M の求め方

鑄物のモジュラスは、図面より計算する。

その方法については、3. 1. 3 モジュラスの求め方で詳述する。

3.1.2 C v o r i n o vの法則

1. 適用範囲

鋳物の凝固時間 T とモジュラス M の関係を示す。

2. 法則の意味

凝固時間 T はモジュラス M の二乗に比例する。これが有名な C v o r i n o v の法則⁽¹⁾ で次式のように表される。

$$T = C (V/S)^2 = CM^2 \quad (2)$$

ここで、 C は鋳込まれる金属と鋳型による常数である。

図1に C v o r i n o v の測定した鋳鋼（鋳鉄の場合もほぼ同様である）の凝固時間 T とモジュラス M との関係（1）を示す。座標を両対数軸にとると直線関係になる

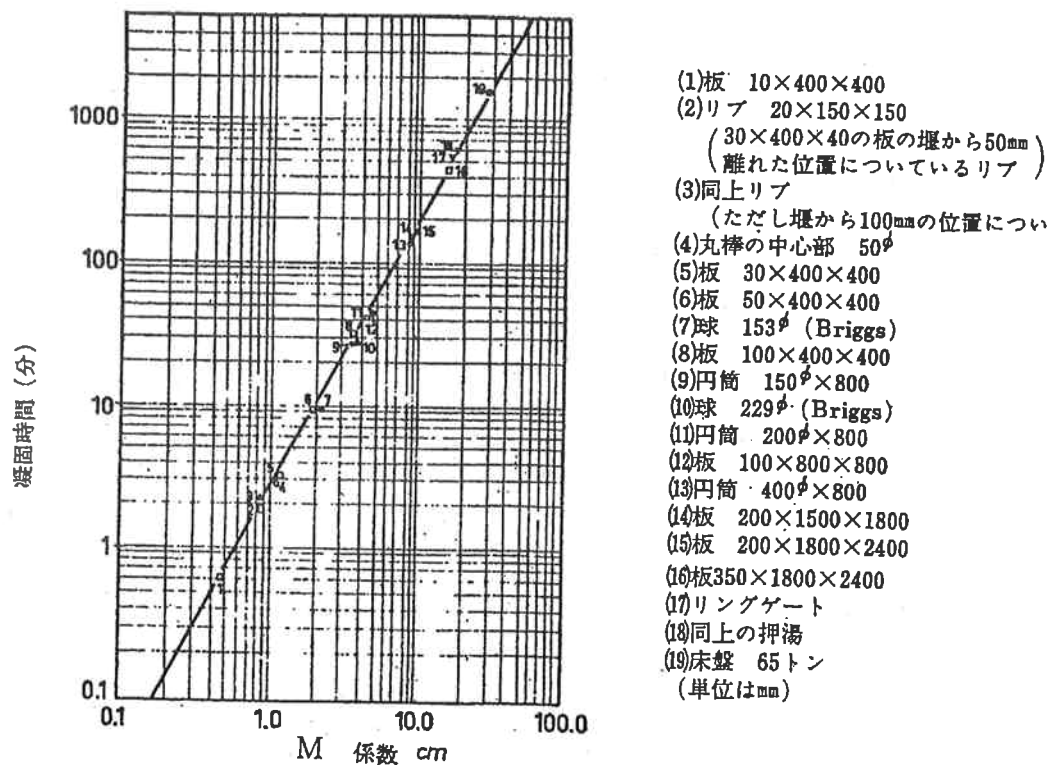


図1 鋳鋼の凝固時間 T とモジュラス M の関係

(1) Chvorinov, N Gieserei 27 (1940)

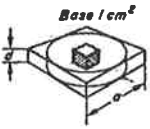
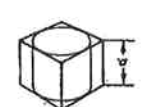
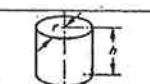
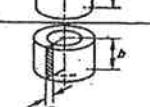
3. 1. 3 簡易モジュラスM計算法 (1)

1. 適用範囲.

モジュラスMの計算について多くの報告がある。ここでは、現場的なR. Wlondawerの方法⁽²⁾について紹介する。

2. 単純形状の立体のモジュラスMを計算する。

表1 簡単な形状のモジュラスMの計算式

①円盤・板		円盤 $a \geq 5d$ 板 $a \geq 5d$ 図のように底面積1cm²の単位体と考えると $V = 1\text{cm}^2 \times d$: $A = 2\text{cm}^2$: $M = \frac{V}{A} = \frac{d}{2}$ (cm) 板は単位体の集合体であり、板及び円盤の係数は $M = \frac{d}{2}$	$M = \frac{d}{2}$																
②棒		棒 図の如く単位体と考えると $V = a \times b \times 1\text{cm}$: $A = 2(a+b) \times 1\text{cm}$ $M = \frac{V}{A} = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$ 棒全体についても同様となる。	$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$																
③立法体		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>立方体</th><th>内接円筒</th><th>内接球</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V</td><td>a^3</td><td>$\frac{\pi a^3}{4}$</td><td>$\frac{\pi a^3}{6}$</td></tr> <tr> <td>A</td><td>$6a^2$</td><td>$\frac{\pi}{2}a^2 + \pi a^2$</td><td>$\pi a^2$</td></tr> <tr> <td>M</td><td>$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$</td><td>$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$</td><td>$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$</td></tr> </tbody> </table> これら三体とも係数は同じで $M = \frac{a}{6}$ となる。		立方体	内接円筒	内接球	V	a^3	$\frac{\pi a^3}{4}$	$\frac{\pi a^3}{6}$	A	$6a^2$	$\frac{\pi}{2}a^2 + \pi a^2$	πa^2	M	$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$	$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$	$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$	$M = \frac{a}{6}$
	立方体	内接円筒	内接球																
V	a^3	$\frac{\pi a^3}{4}$	$\frac{\pi a^3}{6}$																
A	$6a^2$	$\frac{\pi}{2}a^2 + \pi a^2$	πa^2																
M	$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$	$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$	$\frac{V}{A} = \frac{a}{6}$																
④円柱		$M = \frac{r \cdot h}{2(r+h)}$																	
⑤円筒		$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$																	

(1) 円盤・板で $a > 5d$ の場合、端面の影響が無視できるから、どちらも $M = d/2$ となる。

(2) 棒の場合、端面の影響が無視できるとき

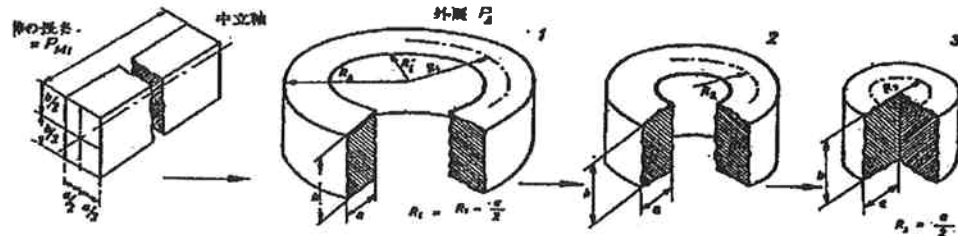
$$M = ab / 2(a+b) \quad \text{つまり} \quad M = \text{断面積} / \text{断面の周囲長} \quad (3)$$

この方法は、棒の断面形状のいかにかわらず有効である。

(2) Wlondawer, R. 鋼鋳物の指向性凝固 [1966]

3.1.3-2

- (3) 立方体とそれに内接する円筒、球のいずれもモジュラスMは等しく $M = a / 6$ である。
- (4) 円柱・(5) 円筒は棒の形状が変化したもと考えると、図2に示すようにそのモジュラスMは元の棒と同じ $M = a b / 2 (a + b)$ となり、棒の計算式が使用できる。



上の4つのモジュラスMは等しく、 $M = a b / 2 (a + b)$

図2 真直ぐな棒を曲げてリングとしても、V, Sに変化はないのでMは元の棒と同じである

立方体、直方体がその内接円筒と同一のモジュラスMをもつように、角張った多面体においてもその内接円筒と同一のモジュラスMを持つ。図3、に示すように断面が正方形でない場合、辺aとcの平均値を内接円直径としてよい

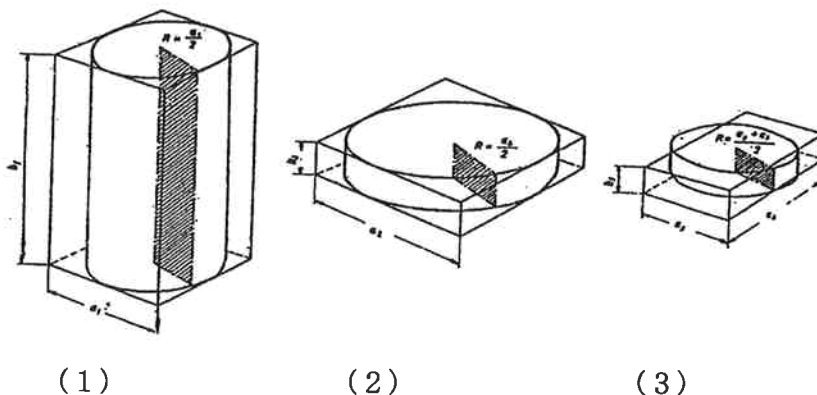


図3 断面が角張った棒、または板状のもののモジュラスMは、その内接円筒で求めればよい。

$$M_1 = a_1 b_1 / 2 (a_1 + 2b_1) \quad (4)$$

$$M_2 = a_2 b_2 / 2 (a_2 + 2b_2) \quad (5)$$

$$M_3 = (a_3 + c_3) \times b_3 / 4 (a_3 + c_3 + 2b_3) \quad (6)$$

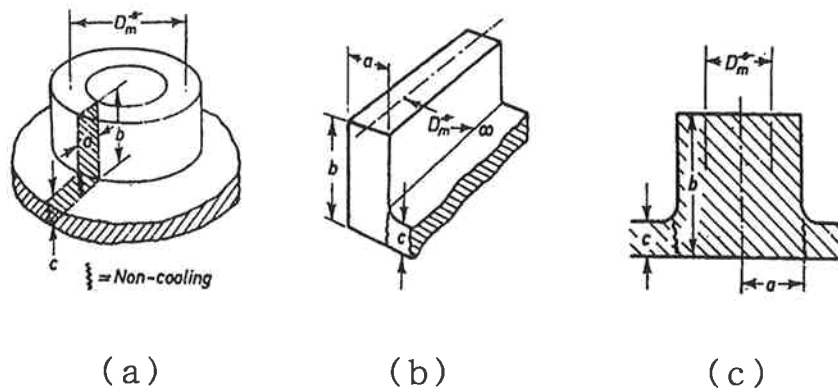


図4 ホイールディスク、ハウジング等に結合しているボス部モジュールMの計算法

図4に示すホイールディスクに付いているボスは、棒状のものを曲げたものであり、かつ放熱表面がcだけ少ないものと考えられる。

リング状のものが、肉厚cの板と接しているとき図4-(b)において、平均直径 ϕD_m がリングの肉厚aのn倍 すなわち $D_m = a \cdot n$ とすると。

$$V = \pi D_m \times a b = \pi n a^2 b$$

$$S = 2 \pi a n \times a + (D_m + a) \pi (b - c) + (D_m - a) \pi b \\ = \pi a (2 a n + 2 b n - c n - c)$$

$$M = V / S = a b / \{ 2 (a + b) - c \times (n + 1) / n \} \quad (7)$$

(7) 式の特例として ϕD_m が無限のときと、aの場合がある。

特例(1) ϕD_m が無限のときリングは棒となる。(図4-b)

$(n + 1) / n = 1$ となるため

$$M = a b / \{ 2 (a + b) - c \} \quad (8)$$

特例(2) ϕD_m がaの場合リングは中実円筒となる。(図4-c)

n = 1 より $(n + 1) / n = 2$

$$M = a b / 2 (a + b - c) \quad (9)$$

3. 1. 4 簡易モジュラスMの計算法 (2) (シミュレーションによる)

1. 適用範囲

複雑な形状は簡単な形状の立体にシミュレーション化する。

2. シミュレーション化の方法

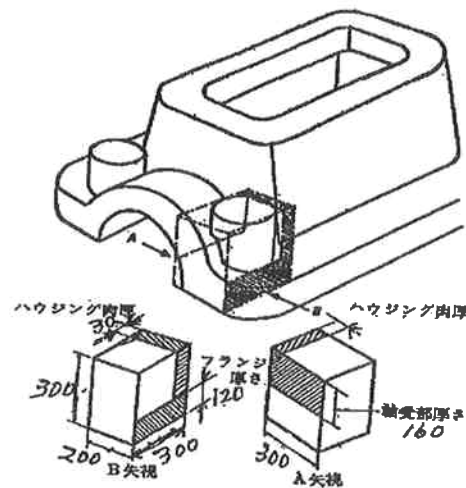


図5 簡単な多面体を外接六面体と想定してモジュラス M を求める方法

図5の複雑なベアリングハウジングには、それに外接する簡単な六面体をシミュレーションとして考えることができる。その形状は図面から決められるが、木型をみて決めればもっと容易である。

図5のボス部のモジュラス M_B は以下のように求められる。

六面体の M は (5) 式より

$$M = 30 \times 20 / 2 \times (30 + 2 \times 20) = 4.3 \text{ cm}$$

非放熱面積

$$S_a = (3 \times 20 + 3 \times 18 + 30 \times 12 + 30 \times 16) = 954$$

全表面積

$$S = 2 \times (2 \times 20 \times 30 + 30 \times 30) = 4200 \text{ cm}^2$$

$$\text{非放熱面の割合 } P_a = S_a / S = 0.227$$

ボス部のモジュラス M_a

$$M_a = M / (1 - P_a) = 4.3 / 0.77 = 5.6 \text{ cm} \quad (10)$$

3. 1. 5 交差部のモジュラス M の計算法 (1)

1. 適用範囲

図表を使用して、交差部のモジュラス M を求める方法に適用する。

2. 用語の意味

交差部とは、鋳物断面において肉が交叉しつながつた部分を言う。

交差部のモジュラス M は、元の板のそれより増加する。

ここでは、交差部のモジュラス M の増加率の求め方を、実測による図表からの方法について説明する。

3. 実測図表による交叉部のモジュラス M の増加率の求め方.

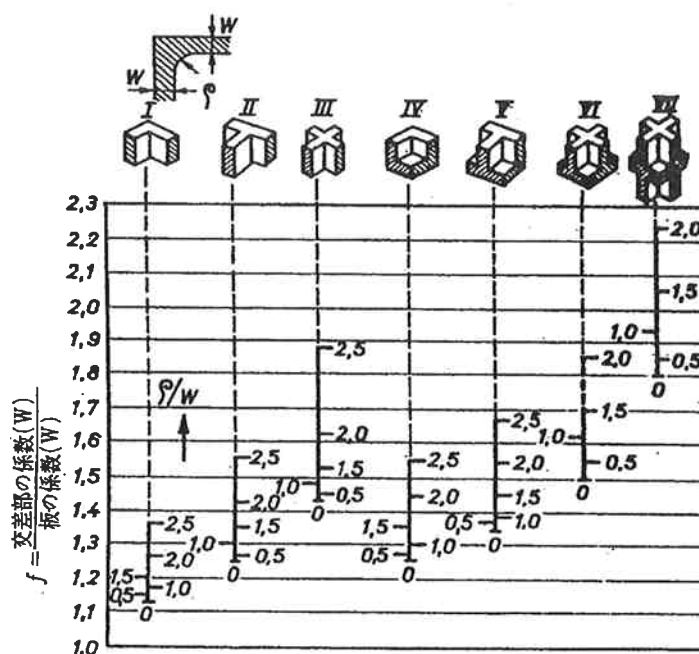


図6 種々の交叉部（板厚同じ）におけ面Rの大きさ（ ρ ）と、モジュラス M の増加率

3.1.5-2

実際の鋳物の交叉部は、大なり小なり丸み（R）を持っている。

3-1. 同じ板厚の交叉の場合（図6）、 $W=30\text{ mm}$ 、R値 $\rho=20\text{ mm}$ とすると

L交叉の場合のモジュラス M_L

$$W=30\text{ の板のモジュラス } M=3/2=1.5\text{ cm}$$

$$\rho/W=2/3=0.67\text{ より 図6のL交叉から}$$

$$f=M_L/M=1.15$$

したがって

$$M_L=1.15\times M=1.73\text{ cm}$$

T交叉の場合のモジュラス M_T

$$\rho/W=2/3=0.67\text{ より 図6のT交叉から}$$

$$f=M_T/M=1.27$$

したがって

$$M_T=1.27\times M=1.91\text{ cm}$$

X交叉の場合のモジュラス M_X

$$\rho/W=2/3=0.67\text{ より 図6のT交叉から}$$

$$f=M_X/M=1.46$$

したがって

$$M_X=1.46\times M=2.19\text{ cm}$$

3-2. 異なる板厚の交叉の場合（図7） $W_1=30\text{ mm}$ 、 $W_2=20\text{ mm}$ 、R値 $\rho=20\text{ mm}$ とすると

L交叉の場合のモジュラス M_L

$$W_1=30\text{ の板のモジュラス } M=3/2=1.5$$

$$W_2/W_1=0.67, \quad \rho/W_1=0.67$$

図7のL交叉から

$$f=M_L/M=1.07$$

したがって

$$M_L=1.07\times M=1.61\text{ cm}$$

3-3. T交叉の場合のモジュラス M_T

$$\rho / W = 2 / 3 = 0.67$$

$$W_2 / W_1 = 2 / 3 = 0.67, \quad \rho / W_1 = 0.67 \text{ より}$$

図7のT交叉から

$$f = M_T / M = 1.14$$

したがって

$$M_T = 1.14 \times M = 1.71 \text{ cm}$$

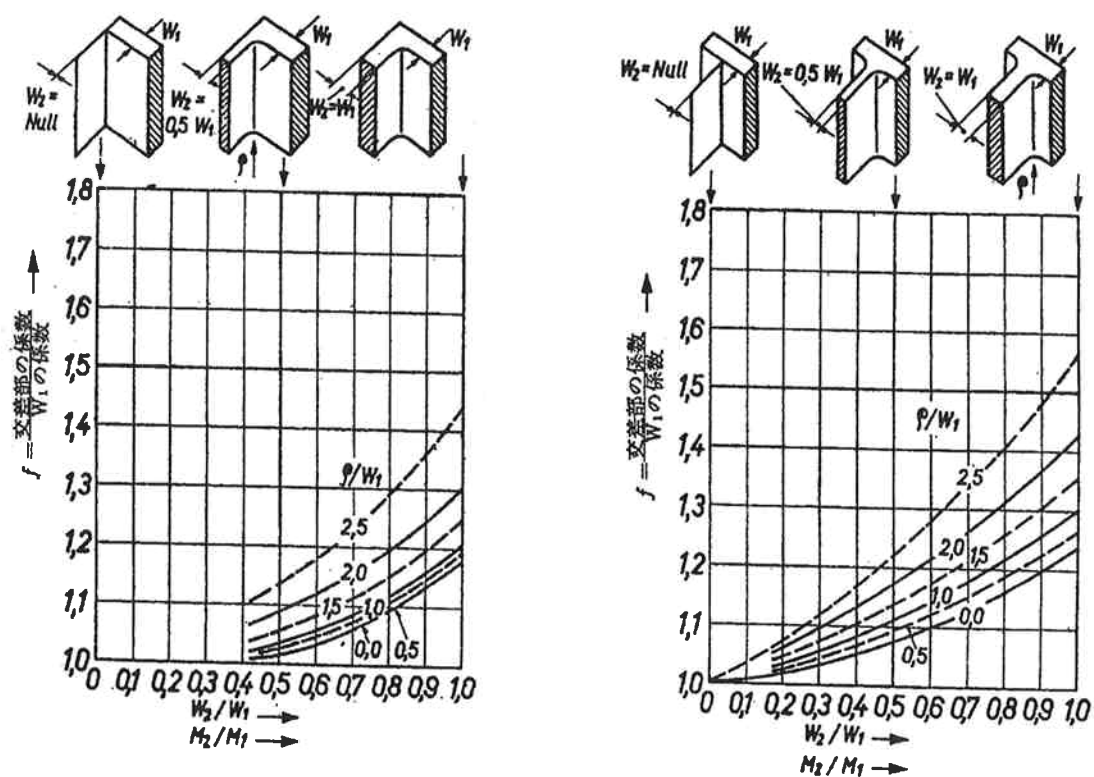


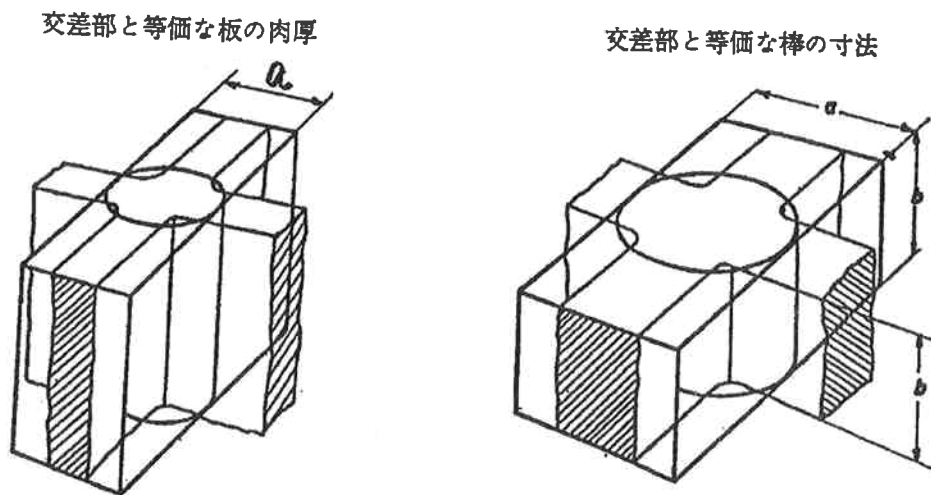
図7 板厚が異なる場合の、L交叉・T交叉部の、面Rの大きさ(ρ)と、モジュラス M の増加率

3. 1. 6 交差部のモジュラス M の計算法 (2)

1. 適用範囲

交差部のモジュラス M の図面上の近似計算法に適用する。

2. 交差部の図面に円をシミュレーションして計算する。



(1) 板が交叉する場合

(2) 棒が交叉する場合

図8 内接円による交叉部の近似的なモジュラス M の求め方

図8において、

(1) 板が交叉する場合、まず、交叉部に面(R)を考慮した内接円を描く。内接円の直径 a が交叉部と凝固時間の等しい板厚となる。

それゆえ、交叉部のモジュラス M は $M = a/2$ となる

(2) 棒が交叉するときも、交叉部に面(R)を考慮した内接円を描く。内接円の直径 a と、高さ b 、とすると、交叉部と凝固時間の等しい棒は、縦 a 、横 b となり棒の公式より $M = ab/2(a+b)$

交叉部の近似的なモジュラス M 決定の手順としては、

- (1) 交叉部の図面を現寸で描く
- (2) 隅部砂の熱蓄積と鑄込み温度も考慮し内接円を描く。
- (3) 普通、肉厚の 1 / 3 の半径で交叉部の各隅部に面(R)をとり、これに内接する円を描けばよい。

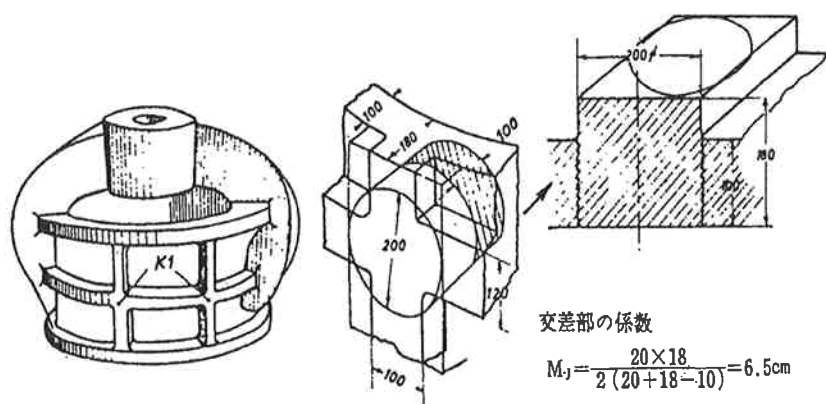


図 9 カバーの交叉部のモジュラス M

図 9 において、内接円の直径は、8.5 となり、
 $M = 8.5 / 2 = 4.25 \text{ cm}$

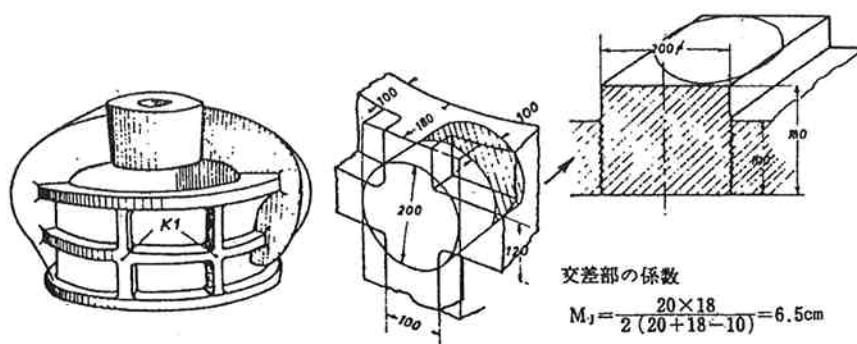


図 10 クラッシャー胴体リブのモジュラス M

図 10 において、非放熱面を持つ円柱となるから
 $M = 20 \times 18 / 2(20 + 18 - 10) = 6.5 \text{ cm}$

3. 1. 7 モジュラス M 計算の実例

1. 適用範囲

実際の鋳物図面でのモジュラス M の計算例を示す。

2. モジュラス M 計算の実例

押湯方案の決定には、モジュラス M を求めることが基礎となる。実際の複雑な形状は簡単な単位体に分解し、それぞれに等価な立体に置きかえて計算する。

実例 1. フランジのモジュラス M

図 1 1 において、内接円 $\phi 72$ より交叉部は、 72×115 の棒（非放熱面は 50）と見なされる。

したがって、

$$M = 7.2 \times 11.5 / \{2 \times (7.2 + 11.5) - 5\} \\ = 2.55 \text{ cm}$$

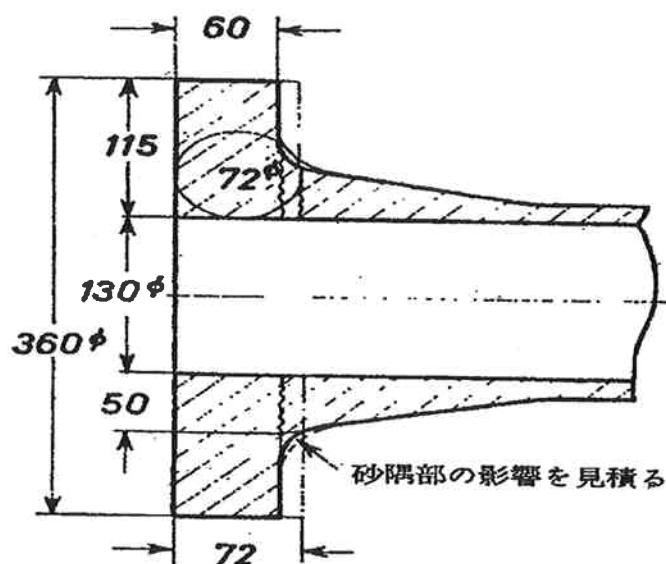


図 1 1 フランジの交叉部のモジュラス M

実例 2. ダブルフランジの L 交叉のモジュラス M

図 1 2 において、

L 交叉部の現寸図を描き内接円を描くと、その直径は約 24 cm となる。
フランジは、24 × 55 の棒（非放熱面 22 cm）と見なされる。

$$M_f = 55 \times 24 / \{2 \times (55 + 24) - 22\} = 9.71 \text{ cm}$$

中央台形部（上下対象）のモジュラスは、上下が非放熱面であるから

$$\text{断面積} = (22 + 13) \times 29 / 2 = 508 \text{ cm}^2$$

$$\text{周囲長} = 29 + 30 = 59 \text{ cm}$$

$$M_d = 508 / 59 = 8.62 \text{ cm}$$

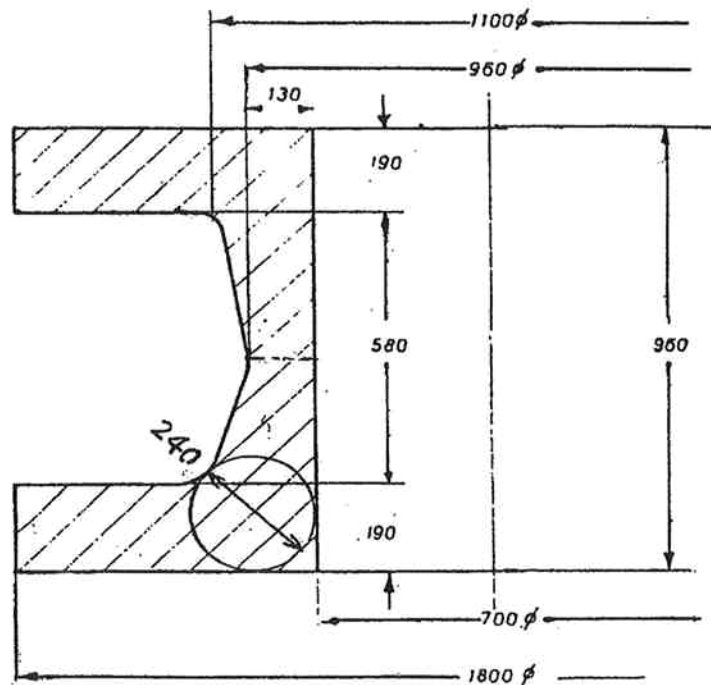


図 1 2 ダブルフランジのモジュラス M

実例 3. ホイールのモジュラス M

図 1 3 において、

ディスク、リムの交叉部を現寸で描き内接円を描くと、直径 10 cm の内接円となる。

リム部は 10×30 の棒（非放熱面 40 cm）と見なされる。

$$M_L = 10 \times 30 / \{2 \times (10 + 30) - 4\} = 3.95 \text{ cm}$$

中央ボス部は台形の回転体となり、台形の棒と見なされる。

$$\text{断面積} = (19 + 9) \times 56 / 2 = 784 \text{ cm}^2$$

$$\text{周囲長} = 56 + 19 + 56 + 9 = 140 \text{ cm}$$

$$M_B = 784 / 140 = 5.6 \text{ cm}$$

ディスク部は板であり、 $M_D = 4 / 2 = 2 \text{ cm}$

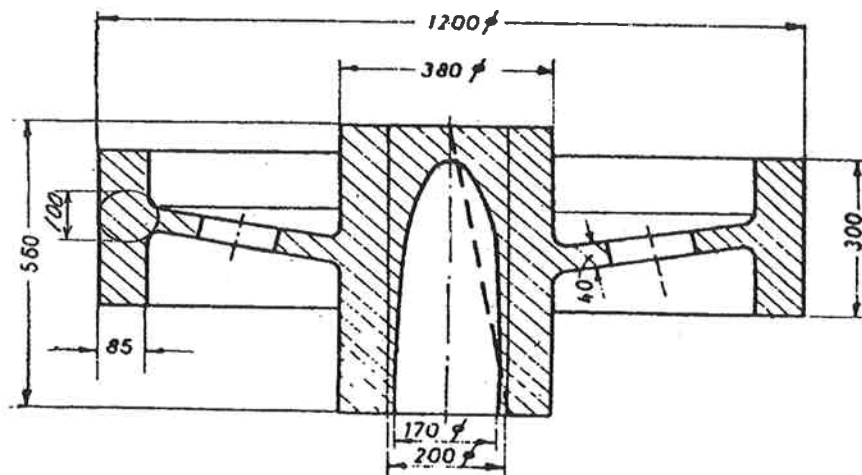


図 1 3 ホイールのモジュラス M

実例4. ベアリングブロック

図14において、

肉厚部に内接円を描くとφ120の内接円となる。この部分はφ120×150の円柱と見なされる。表1の円柱の計算式より、

$$M_c = 6 \times 15 / 2 (6 + 15) = 2.4 \text{ cm}$$

外側の出っ張り部分は、 $7 \times 4.5 \times 15$ の直方体（非放熱面 15×4 ）と見なされる。

$$V_d = 7 \times 4.5 \times 15 = 472 \text{ cm}^3$$

$$S_d = 2 \times (7 \times 4.5 + 4.5 \times 15 + 7 \times 15) - 60 \\ = 348 \text{ cm}^2$$

したがって

$$M_d = 472 / 348 = 1.36 \text{ cm}$$

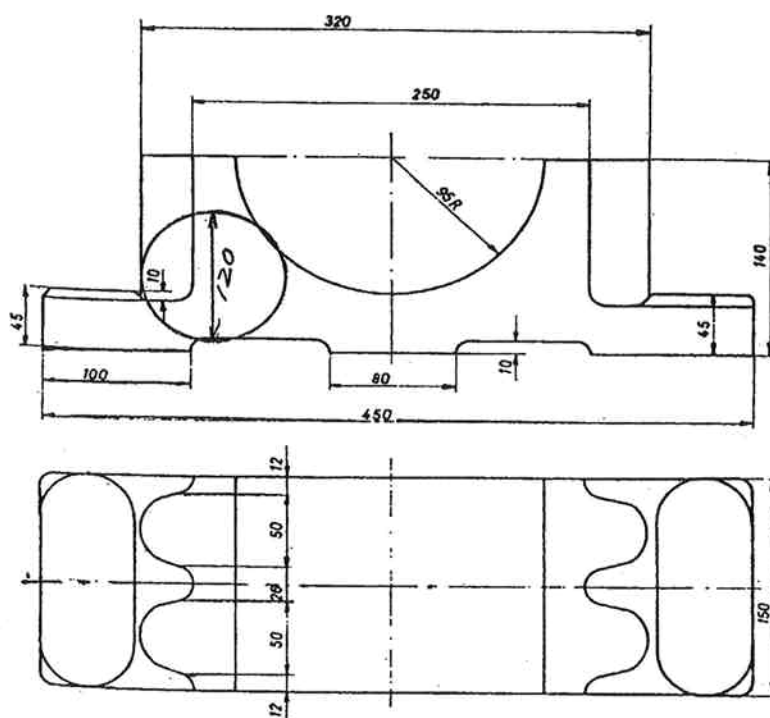


図14 ベアリングブロックのモジュラス M

実例 5. プレスシリンダーのモジュラス M

図 15 において

シリンダーベース部は $\phi 40 \text{ cm}$ で、周囲は非放熱面であるから、板の公式より、

$$M_B = 14 / 2 = 7 \text{ cm}$$

キャップ部も厚さ 10 cm の板と見なされる。

$$M_P = 10 / 2 = 5 \text{ cm}$$

シリンダー一部も厚さ 12 cm の板と見なされる。

$$M_C = 12 / 2 = 6 \text{ cm}$$

上部板部も厚さ 8 cm の板と見なされる。

$$M_P = 8 / 2 = 4 \text{ cm}$$

シリンダーと斜めの測壁との交叉部は、内接円 $\phi 18 \text{ cm}$ 。

$$M_K = 18 / 2 = 9 \text{ cm}$$

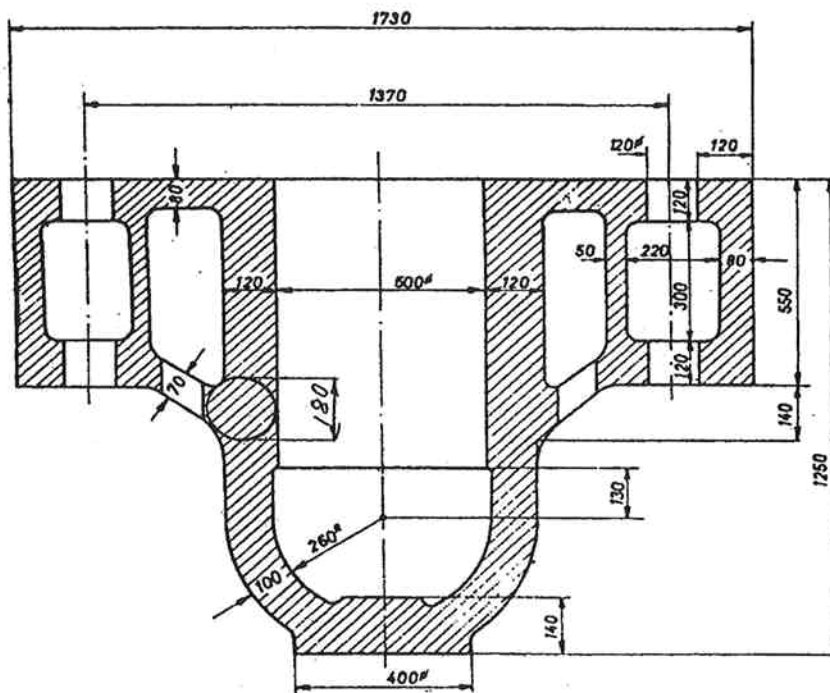


図15 プレスシリンダーのモジュラス

3. 2. 1 鋳物の冷却と凝固

1. 適用範囲

ねずみ鋳鉄及び球状黒鉛鋳鉄（ダクタイル）の冷却と凝固に適用する。

2. 凝固の形態

ねずみ鋳鉄及びダクタイル鋳鉄鋳物を、健全に製造するための基本的な冷却・凝固の形態の知識について記述する。

3. 一般鋳物の凝固形態

図1は一般鋳物の鋳込み完了後の体積変化を示す。

始めに一次収縮（液体収縮）があり、次に凝固収縮が続く、最後に個体の収縮が室温まで続く。

凝固収縮までの収縮量は補給が必要で、不足すると鋳物製品に引き巣が発生する。

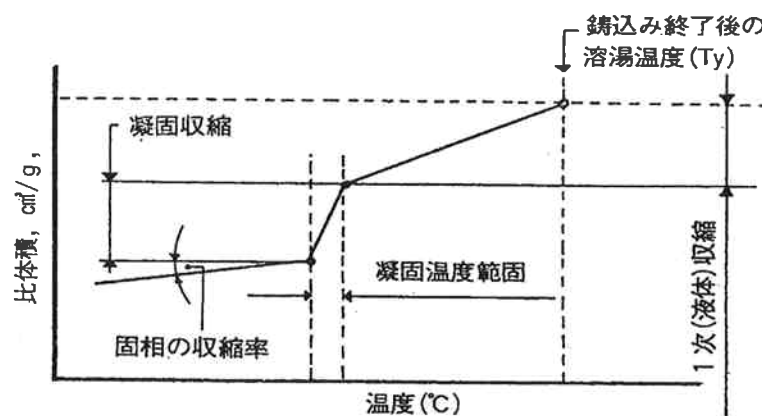


図1 一般鋳物の、鋳込み冷却後の体積変化

4. ねずみ鋳鉄及びダクタイル鋳鉄の凝固形態

ねずみ鋳鉄及びダクタイル鋳鉄は、黒鉛の析出による膨張があるため、凝固形態は違ってくる。ちなみに、鋳鉄融液と黒鉛の密度は、それぞれ 7 kg/cm^3 、 2.27 kg/cm^3 である。

3. 2. 2 ねずみ鉄及びダクタイル鉄の体積変化

1. 適用範囲

ねずみ鉄及びダクタイル鉄鑄物の体積変化に適用する。

2. 体積変化の形態

図2は、ねずみ鉄及びダクタイル鉄の凝固の形態を示す⁽³⁾。溶湯がある温度から冷却すると収縮が起こり、その量は a_1 から a_2 あるいはこの中間の値となる。同様に膨張量は b_1 と b_2 の間、二次収縮量は c_1 と c_2 の間かそれ以上の値となる。

ダクタイル鉄の凝固膨張量は、3.0～6.0%という値が報告されている。実用上、正味の凝固膨張量は4.5%、二次収縮量は0.5%としてよい。

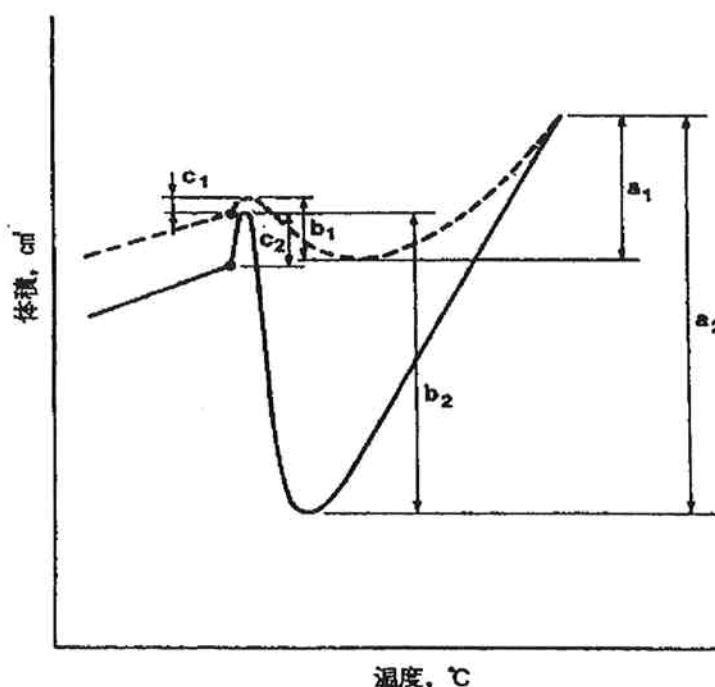


図2 ダクタイル鉄（そしてねずみ鉄）の体積変化の形態

a) 液体収縮、b) 膨張、c) 二次収縮

(3) S. Karsay、ダクタイル鉄Ⅲ P67 (1981)

3. 2. 3 ねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄の凝固

1. 適用範囲

鑄鉄、主にダクタイル鑄鉄の凝固時間算出式に適用する。

2. 鑄鉄の凝固時間

Cv o r i n o v の法則より

$$T=CM^2 \quad \text{ここに } T: \text{凝固時間} \quad M: \text{モジュラス} \quad C: \text{定数}$$

3. 鑄鉄の凝固時間の近似式

$$\text{ダクタイル鑄鉄の近似式}^{(4)} \quad T=8M^2 \text{ min} \quad (11)$$

4. 鑄込温度を考慮した近似式

生型砂に鑄込まれたダクタイル鑄鉄の場合⁽⁵⁾

$$T_1=M^2 \{2.4+0.0028(t_p-1300)\}^2 \quad (12)$$

T_1 : 鑄込み終了時から凝固終了までの時間 min

M : モジュラス cm

t_p : 鑄込み温度℃

5. 計算例

肉厚 40 mm のダクタイル鑄鉄板 ($M=4/2=2$ cm) が、
 $t_p=1300^\circ\text{C}$ 、及び 1450°C で鑄込まれた場合

$$(11) \text{ 式より } M=8 \times 2^2=32 \text{ min} \quad (13)$$

(12) 式より

$$\begin{aligned} T_{1:1300} &= 2^2 \{2.4+0.0028(1300-1300)\}^2 \\ &= 23.0 \text{ min} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} T_{1:1450} &= 2^2 \{2.4+0.0028(1450-1300)\}^2 \\ &= 31.8 \text{ min} \end{aligned} \quad (15)$$

(13) は、鑄込温度を考慮していない。(14)、(15) と比較すると、
鑄込温度の影響は無視できない

(4) Wlodawer, R. Gieserei-Verlag (1977)

(5) S. Karsay、ダクタイル鑄鉄Ⅲ P59 (1981)

3. 2. 4 ねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄の凝固形態

1. 適用範囲

ねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄鑄物の凝固形態に適用する。

2. ねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄の凝固曲線からその違いを考察する。

図3はねずみ鑄鉄及びダクタイル鑄鉄の凝固経過のグラフである。⁽⁶⁾

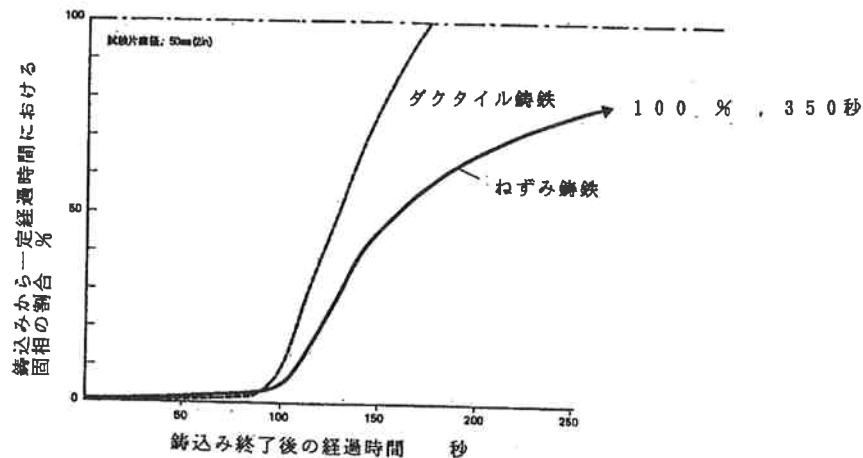


図3 φ50の試験片の、ねずみ鑄鉄（実線）及びダクタイル鑄鉄（破線）の凝固経過

図3で、鑄込み後1分以内に形成される凝固表皮の厚さは、1.4mm以下で大きな差異はない。その後ダクタイル鑄鉄は、急速に固体相が増加して凝固を完了する。ねずみ鑄鉄は、徐々に表皮層を増やし内部の融液がなくなり凝固を完了する。

ダクタイル鑄鉄の凝固は、最初に形成された薄い表皮はあまり厚くならず、内部の至る所で凝固が始まる、いわゆるマッシー（粥状）凝固である。熱の放散は薄い表皮のため速くなる。

また、その圧力が薄い表皮を通し鑄壁に長く作用するため、型張りが大きくなる。

(6)Engler, S, Dette, M, Giesserei, 61 (1974)

3. 3. 1 無押湯方案の検討

1. 適用範囲

ダクタイル鋳鉄鋳物の、無押湯を含む押湯方案に適用する。

2. 押湯の意味

ねずみ鋳鉄は、黒鉛を晶出しながら凝固してゆく。融液の収縮とオーステナイトの凝固収縮分を、黒鉛晶出の膨張分が相殺するため、ねずみ鋳鉄は押湯を付けなくても引け巣は発生しない。

一方ダクタイル鋳鉄も黒鉛を晶出するため、理論上は押湯なしで引け巣のない鋳物を製造できる。しかしながら、ダクタイル鋳鉄はねずみ鋳鉄と凝固形態が異なるため、押湯なしで引け巣のない鋳物を製造するには条件が必要で、一般的には押湯が必要となる。

3. ダクタイル鋳鉄の無押湯方案の条件 (1) ⁽⁷⁾

- (1) 溶湯性状を良くすること。
- (2) 強い鋳型を用いること。上型と下型はボルト締めやクランプなどの機械的方法でしっかり締めつける。
- (3) 平均最小モジュラス M の値が 2.5 cm 以上の鋳物に適用すること。
溶湯性状がとくに良い場合は幾分小さくても良い。
- (4) 鋳込み温度を $1300 \sim 1350^\circ\text{C}$ の範囲に押さえること。
- (5) 鋳込み速度を速くする。 $t = W^{0.65}$ が目標値 (1000 kg 以下)。
 t : 鋳込速度秒 W : 単重 kg
- (6) 鋳込みが速いことと、開放押湯がないため、随所にガス抜きをつける ($\phi 20 \text{ mm}$)。
- (7) 鋳込み温度を低くするので、堰の断面積を大きくする ($15 \times 60 \text{ mm}$ 以上)。

良い溶湯とは、引けの傾向の少ない黒鉛粒数を多くする成分のもの。すなわち、酸化傾向のない、接種をよくしたもの。また、黒鉛粒数の増加には、 C 、 Si は効果あり、 Ni 、 Cu は中性、 Mn 、 Cr 、 Mg は有害。

(7) S. Karsay、ダクタイル鋳鉄Ⅲ P93 (1981)

4. ダクタイル鋳鉄の無押湯方案の条件 (2)

前頁の無押湯方案の条件で、モジュラス M の値が 2.5 cm 以上の条件に対して、無押湯安全指標 I という考え方がある。⁽⁸⁾

$$I = M/F \text{ cm} \quad (16)$$

ここで M はモジュラス、 F は形状因子

形状因子 F は、(幅 W + 長さ L) を (厚さ T) で割った値である。

$$F = (W + L) / T \text{ (無次元)} \quad (17)$$

形状からみた無押湯方案の条件は、無押湯安全指標 I が下記の場合。

$$I > 0.5 \text{ cm} \quad (18)$$

5. 無押湯方案の健全性と無押湯安全指標 I 値の実施調査。(1)⁽⁹⁾

図 1 に実施調査の試験片の形状を、また表 1 に試験片の寸法を示す。

表 1 無押湯方案の実施調査の試験片寸法

試験片 No	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6
W cm	10	15	18	20	30	40
L cm	20	30	36	40	60	80
T cm	10	10	10	10	10	10

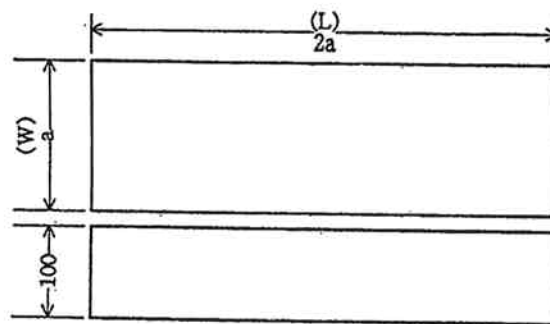


図 1 無押湯方案の実施調査の試験片形状

(8) 鋳鉄鋳物の鋳造方案 (中・大物編) P68 日本鋳物工業会 (1998)

(9) 押湯削減鋳造技術の研究開発報告書 東京都地場産業振興事業 (1935)

3.3.1-3

図2は、無押湯方案の実施調査の結果を示す。表2は、試験片のM、F、Iの値を示す。

無押湯安全指標Iと健全性を比較すると、0.5よりはっきり大きい、試験片No1, とNo2は健全である。I値が(0.51), (0.48)と0.5に近い試験片No3, 4は、中央に小さい引け巣ある。0.5よりはっきり小さいNo5, 6は中央に大きい引け巣がある。

表2 無押湯方案試験片のM、F、I、の値

試験片No	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6
W cm	10	15	18	20	30	40
L cm	20	30	36	40	60	80
T cm	10	10	10	10	10	10
M cm	2.00	2.50	2.73	2.86	3.33	3.64
F	3.0	4.5	5.4	6.0	9.0	12.0
I cm	0.67	0.56	0.51	0.48	0.37	0.30

$$M = W \cdot L \cdot T / 2 (WL + LT + WT), F = (W + L) / T, I = M / F$$

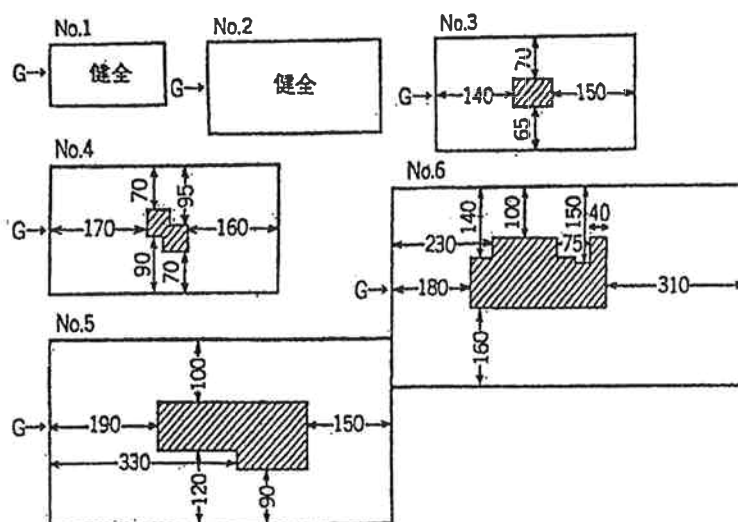


図2 無押湯方案試験片の超音波探傷による引け巣発生状況

6. 無押湯方案の健全性と無押湯安全指標 I 値の実施調査。(2)⁽¹⁰⁾

図 3 は、別の実施調査試験の結果である。

ここでも、モジュラス M 値が 2.5 cm より小さくても、無押湯安全指標 I 値が 0.5 cm 以上なら無押湯方案が採用できることを示している。

表 3 無押湯方案ブロックの M、F、I、の値

試験片 No	No 1	No 2	No 3	No 4
W, L, T cm	6	9	12	18
M cm	1.0	1.5	2.0	3.0
F	2	2	2	2
I cm	0.5	0.75	1.0	1.5

$$I = M / F$$

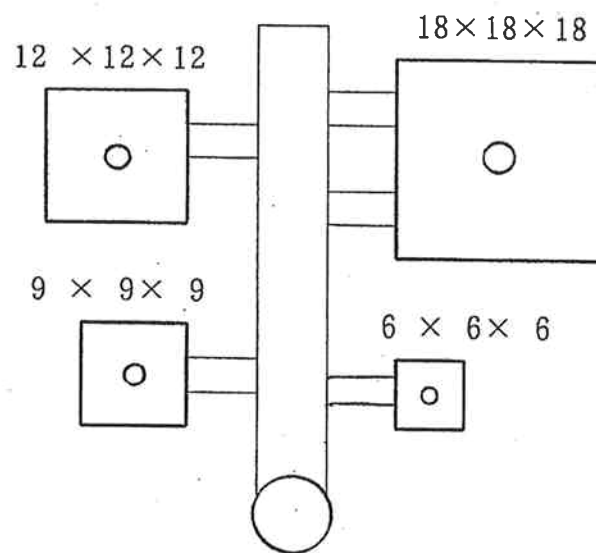


図 3 無押湯方案で鋳造したダクタイル鋳鉄のブロックの方案

(10) 鋳鉄鋳物の鋳造方案 (中・大物編) P69 日本鋳物工業会 (1998)

7. 無押湯方案を採用できる形状的な条件

- (1) 無押湯安全指標 I の値が 0.5 cm 以上なら、無押湯方案を検討すべきであろう。
- (2) しかしながら、 $0.55 > I \text{ 値} > 0.45$ の場合は、内部巢が許容されるときに限るべきであろう。

図4 に無押湯安全指標 I の値を求めるために、種々の形状に対する W 、 L 、 T の決め方の例を示す。⁽¹¹⁾

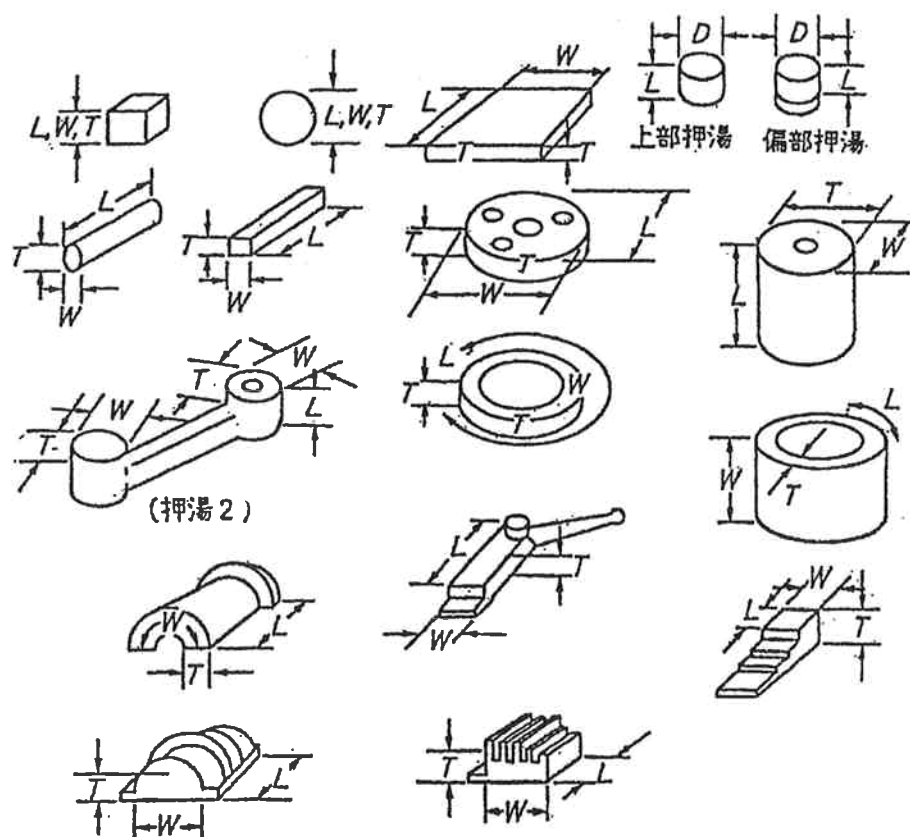


図4 種々の形状に対する W 、 L 、 T の決め方の例⁽⁷⁾

(11) 鋳鉄鋳物の鋳造方案 (中・大物編) P70 日本鋳物工業会 (1998)

3. 3. 2 安全弁押湯

1. 適用範囲

この方案は、前節の無押湯方案の改良型で高温鑄込み（1350℃以上）の場合や、比較的モジュラス M の小さいものに適用する。

2. 用語の意味

この押し湯は、鑄物本体の液体収縮分だけの溶湯の補給を目的とする。従って、本体が凝固開始すなわち、黒鉛晶出による膨張が始まる時点では、速やかに押し湯を凝固完了するように、設計することが肝要である。

3. 安全弁押湯の設計

本体重要部（モジュラス M_S ）の凝固開始時に、安全弁押湯（モジュラス M_R ）が凝固完了するための条件は⁽¹²⁾、(19)式となる。

$$M_R = M_S \times (T_P - 1150) / \{(250 \times T_P / 1150) + (T_P - 1150)\} \quad (19)$$

T_P は鑄込み温度で、例えば $T_P = 1360^\circ\text{C}$ の場合 (19) は

$$M_R = 0.415 \times M_S \quad (20)$$

安全弁押湯のネックに、直径 ϕd ・長さ L の丸棒を考える。これのモジュラス M_d は、上下非熱放散のため

$$M_d = d/4$$

ここで、 $M_d = M_R$ とおくと

$T_P = 1360^\circ\text{C}$ の場合

$$d = 4 \times M_R = 4 \times 0.415 \times M_S \quad (21)$$

$L = (1.2 \sim 1.6) \times d$ としてよい、

この上に液体収縮分の2%の湯溜りをのせる。

図5 は安全弁押湯方案の例である。

$T_P = 1360^\circ\text{C}$

$$d = 4 \times (0.415) \times (2.72) = 4.5 \text{ cm}$$

$$L = (1.55) \times (4.5) = 7.0 \text{ cm}$$

$$2\% \text{ の湯溜り} = 95 \times (0.02) = 1.9 \text{ kg}$$

(12) 張 博、他 球状黒鉛鑄鉄 P215～218 (1983)

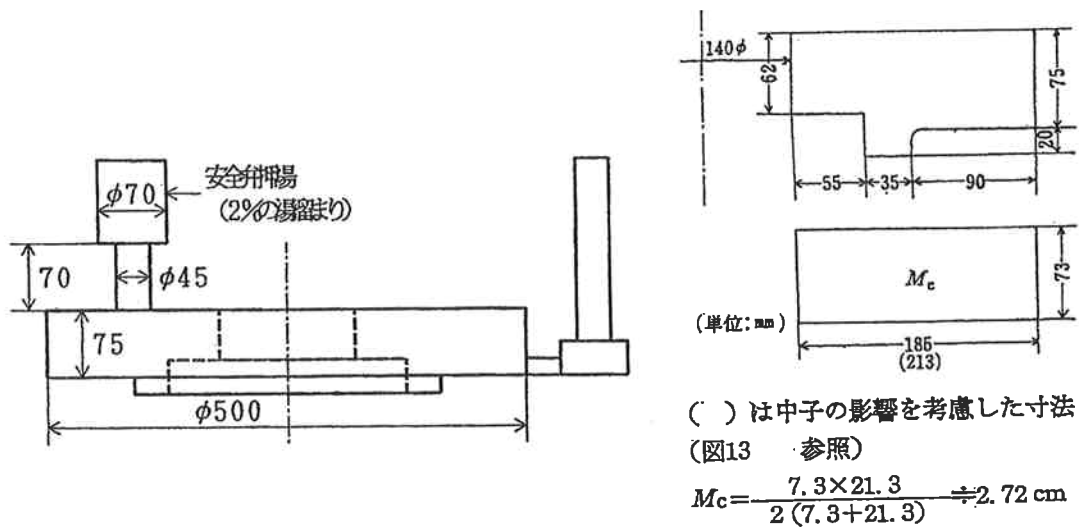


図5 安全弁押湯方案の例 (φ45×70 mmの丸棒の上に2%の湯溜まり)

図6 は円筒鑄物の、中子の影響による肉厚 T の補正值を示す。図5 の計算でも使用した。モジュラス M の計算に必要なため掲載する。

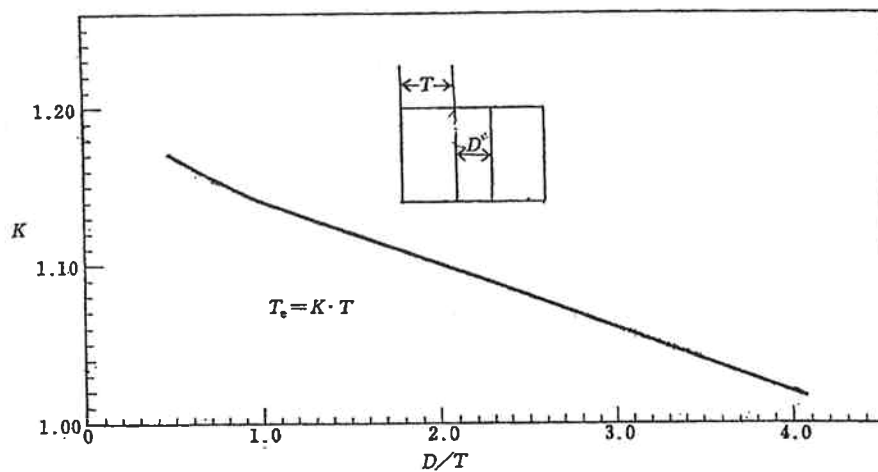


図6 円筒鑄物の、中子の影響による肉厚 T の補正值 K ⁽¹³⁾

(13) Bishop, H, Pellini, W; AFS Trans, 61 (1953)

3. 3. 3 押湯の決定 (1)

1. 適用範囲

鋳鉄，主としてダクタイル鋳鉄鋳物の生型の押湯決定に適用する。

2. 用語の意味

生型の押湯方案の場合には鋳型壁の移動があり、図7に示す溶湯の補給が要するため押し湯を必要とする。

3. 生型における溶湯の補給必要量

図7は生型における溶湯の補給必要量を、モジュラス M と溶湯性状を加味して示したものである。

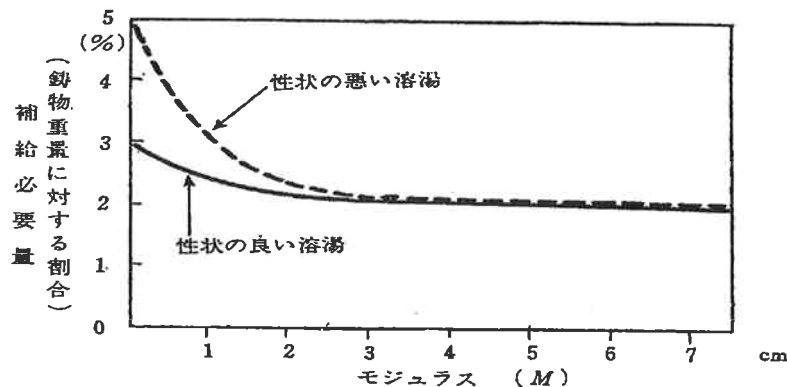


図7 モジュラス M と溶湯補給量 (溶湯の性状を加味する) ⁽¹⁴⁾

4. 鋳物 M_S と押湯ネック M_N と押湯 M_R の各モジュラスの比率

鋼鋳物の押湯設計の条件が、指向性凝固させるために (22) 式となる。

$$M_S : M_N : M_R = 1 : 1.1 : 1.2 \quad (22)$$

一方、ダクタイル鋳鉄の場合は、(23) 式が最適とされている。

$$M_S : M_N : M_R = 1 : (0.5 \sim 0.6) : 1.2 \quad (23)$$

M_N が $(0.5 \sim 0.6) \times M_S$ との意味は、押湯は鋳物本体の凝固開始までの収縮量を補給すればよく、凝固完了までは必要としないことである。

(14) Carsay, S, ダクタイル鋳鉄Ⅲ P107 (1981)

5. 生型の押湯の決定⁽¹⁵⁾

- (1) 鋳物のモジュラス M を計算して、最大モジュラス M_S 決める。
- (2) $M_R = (1.2) \times M_S$ より押湯のモジュラス M_R を求める。
- (3) 図 8 より、標準押湯形状を決め、表より押湯寸法 D を決定する。
- (4) $M_N = (0.5 \sim 0.6) \times M_S$ より押湯ネックのモジュラス M_N を求める。

押湯ネックの断面 ($a \times b$) は、棒の公式 $M_N = a b^2 / 2(a + b)$ より、 a を決めて b を計算する。また、図 10 の棒の (辺—モジュラス) 関係図を使って、 a , b を容易に決めることもできる。

- (5) 最後に、図 9 の斜線部の体積が、必要溶湯補給量を満足しているかを確認する。

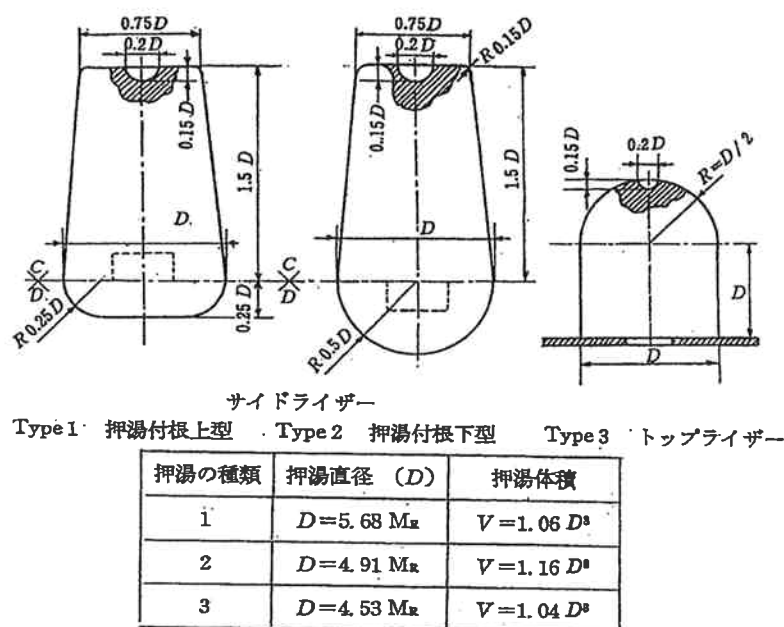


図 8 標準押湯の形状と直径 D の計算式

(15) Carsay, S, ダクタイル鋳鉄Ⅲ P61 (1981)

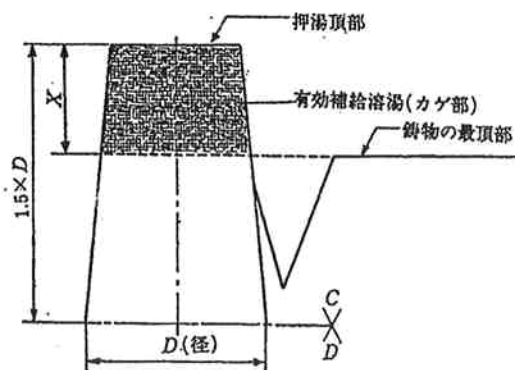
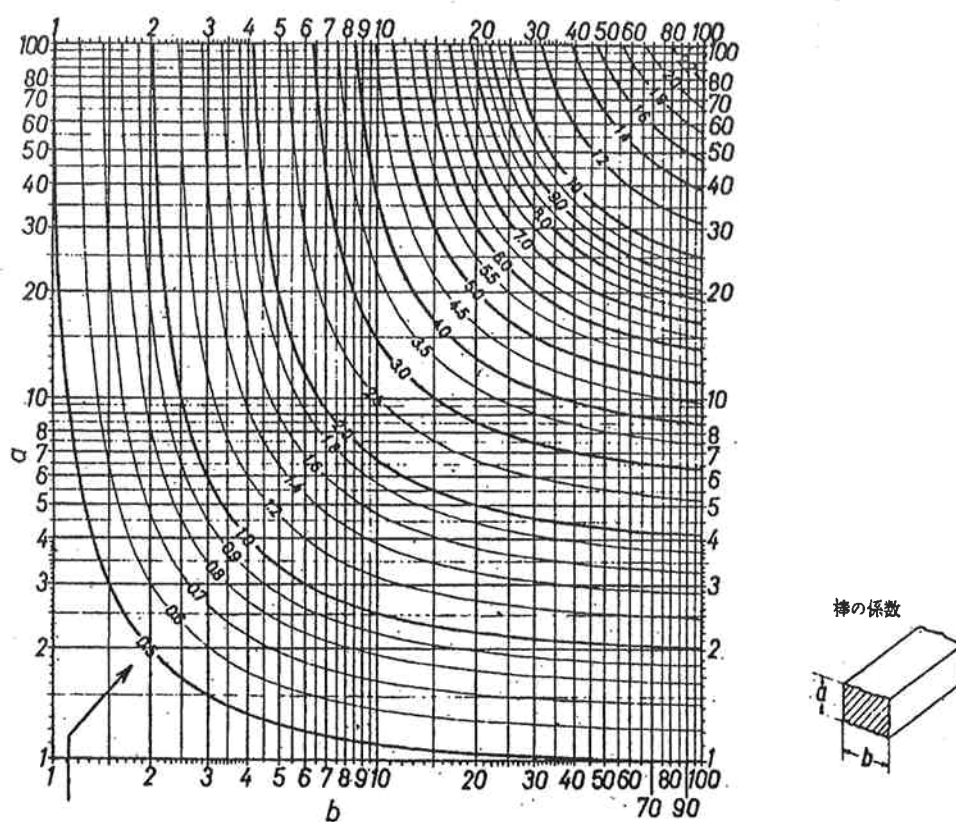


図9 押湯における有効補給溶湯

図10 棒のモジュラス M と辺 (a 、 b) の関係⁽¹⁶⁾

(16) Wlodawer, R 鋼鋳物の指向性凝固 (1966)

3. 3. 4 押湯の決定 (2)

1. 適用範囲

主としてダクタイル鋳鉄鋳物の強い鋳型の押湯決定に適用する。

2. 用語の意味

前節 3. 3. 1 で、ダクタイル鋳鉄鋳物の無押湯・安全弁押湯方案を検討したが、これに当てはまらないものや内部に引け巣の許されないものは、押し湯を必要とする。

3. 強い鋳型の鋳物 M_S と押湯ネック M_N と押湯 M_R の各モジュラスの比率

$$M_S : M_N : M_R = 1 : (0.5 \sim 0.6) : (1.2) \quad (23)$$

(23) 式は、生型の場合であり、フラン鋳型のように強い鋳型の場合は、経験上 (24) 式が適切と考えられる。

$$M_S : M_N : M_R = 1 : (0.7) : 1 \quad (24)$$

(24) 式は (23) 式の改良と考えられる。すなわち、ネックの M_N を大きくし給湯を良くして、押湯の M_R を小さくしたものと。

4. 強い鋳型の押湯の決定

- (1) 鋳物のモジュラス M を計算して、最大モジュラス M_S を求める。
- (2) $M_R \geq M_S$ より押湯のモジュラス M_R を求める。
- (3) 鋳物の体積 V を計算する。鋳物の収缩量 S を (4~6) % の間で決め押湯体積 V_R を求める。 $V_R = S \times V \quad (25)$
- (4) 押湯のモジュラス M_R と体積 V_R は上のように求まる。
- (5) 円筒押湯とすると、表 4 の円筒押湯 (高さ $H = \phi D$) または、表 5 の円筒押湯 (高さ $H = 1.5 \times \phi D$) の表の値から、 M_R と V_R を満たす円筒押湯を求める。
- (6) 押湯ネックは、モジュラス $M_N = 0.7 \times M_S$ を求め、図 10 より辺長を決める。
- (7) 市販の発熱スリーブを使用すると、押湯の直径を小さくできる。その場合、表 6 を使用して M_R と V_R を満たす円筒押湯を求める。発熱スリーブのモジュラス M_H はメーカーによりいろいろである。

表4 円筒押し湯のモジュラス M_R と直径 ϕD ・高さ H の一覧表
(高さ $H = \phi D$)

モジュラス M_R c m	直径 ϕD c m	体積 V $\times 10^3$ c m ³	モジュラス M_R c m	直径 ϕD c m	体積 V $\times 10^3$ c m ³
0.5	3.0	0.022	3.00	18.0	4.5
0.6	3.6	0.037	3.20	19.2	5.5
0.7	4.2	0.057	3.40	20.4	6.6
0.8	4.8	0.086	3.60	21.6	7.8
0.9	5.4	0.12	3.80	22.8	9.3
1.0	6.0	0.16	4.00	24.0	11
1.1	6.6	0.22	4.25	25.6	13
1.2	7.2	0.29	4.50	27.0	15
1.3	7.8	0.37	4.75	28.5	18
1.4	8.4	0.46	5.00	30.0	21
1.5	9.0	0.57	5.25	31.5	25
1.6	9.6	0.69	5.50	33.0	28
1.7	10.2	0.82	5.75	34.5	32
1.8	10.8	0.98	6.00	36.0	37
1.9	11.4	1.2	6.25	37.5	41
2.0	12.0	1.4	6.50	39.0	46
2.2	13.2	1.9	6.75	40.5	52
2.4	14.4	2.3	7.00	42.0	58
2.6	15.6	3.1	7.25	43.5	64
2.8	16.8	3.7	7.50	45.0	71

表5 円筒押し湯のモジュラス M_R と直径 ϕD ・高さ H の一覧表
(高さ $H=1.5 \times \phi D$)

モジュラス M_R c m	直 径 ϕD c m	高 さ H c m	体積 V $\times 10^3$ c m ³	モジュラス M_R c m	直 径 ϕD c m	高 さ H c m	体積 V $\times 10^3$ c m ³
0.5	2.7	4.0	0.024	3.00	16.0	24.0	4.9
0.6	3.2	4.8	0.040	3.20	17.2	25.8	5.8
0.7	3.8	5.7	0.062	3.40	18.2	27.4	7.2
0.8	4.3	6.5	0.093	3.60	19.2	28.8	8.5
0.9	4.8	7.2	0.13	3.80	20.4	30.6	10
1.0	5.4	8.1	0.18	4.00	21.4	32.0	12
1.1	5.9	8.9	0.24	4.25	22.8	34.4	14
1.2	6.4	9.6	0.31	4.50	24.0	36.0	16
1.3	7.0	10.5	0.40	4.75	25.5	38.4	19
1.4	7.5	11.3	0.50	5.00	26.6	40.0	22
1.5	8.0	12.0	0.61	5.25	28.0	42.0	26
1.6	8.6	13.0	0.74	5.50	29.4	44.0	30
1.7	9.1	13.7	0.89	5.75	30.8	46.0	35
1.8	9.6	14.4	1.0	6.00	32.0	48.0	39
1.9	10.2	15.3	1.2	6.25	33.5	50.0	44
2.0	10.7	16.0	1.5	6.50	34.7	52.0	50
2.2	11.8	17.7	1.9	6.75	36.1	54.2	56
2.4	12.8	19.2	2.5	7.00	37.5	56.2	62
2.6	14.0	21.0	3.4	7.25	38.8	58.2	69
2.8	15.0	22.5	4.0	7.50	40.0	60.0	77

表6 円筒押し湯の直径 ϕD ・砂押湯及び発熱スリーブのモジュラス M_R 、 $M_H^{(17)}$ と各収縮量比率に対応する鋳物体積の一覧表
(高さ $H = \phi D$)

直 径 ϕD mm	体 積 V $\times 10^3$ cm^3	モジュラス cm		押湯 V / 鋳物 V の比率が各値のとき の鋳物体積 $\times 10^3$ cm^3		
		砂押湯	発熱スリーブ	2 %	4 %	6 %
50	0.09	0.83	1.16	4.9	2.4	1.6
60	0.16	1.00	1.40	8.4	4.2	2.7
70	0.26	1.16	1.62	13	6.7	4.4
80	0.40	1.33	1.86	20	10	6.6
90	0.57	1.50	2.10	28	14	9.5
100	0.78	1.66	2.32	39	19	13
110	1.0	1.83	2.56	52	26	17
120	1.3	2.00	2.80	67	33	22
130	1.7	2.16	3.02	86	43	28
140	2.1	2.33	3.26	107	53	35
150	2.6	2.50	3.50	132	66	44
160	3.2	2.66	3.72	160	80	53
180	4.5	3.00	4.20	228	114	76
200	6.2	3.33	4.66	314	157	104
220	8.3	3.66	5.12	417	208	139
240	10.8	4.00	5.60	542	271	180
260	13.7	4.33	6.06	689	344	229
280	17.2	4.66	6.52	861	430	287
300	21.1	5.00	7.00	1059	529	353
325	26.9	5.41	7.57	1347	673	449

17) (株)ハツネン カタログ (2000)

4. 健全性の検討

4. 1. 1 内部欠陥検査方法

1. 適用範囲

鋳鉄鋳物製品の内部欠陥を検査する方法について規定する。

2. 用語の意味

鋳物製品において、凝固収縮によるヒケ巣や割れ、ガス成分によるピンホール、ブローホール、介在物の巻き込み等により発生した表面からは検出不可能あるいは困難な内部欠陥を検査する。

3. 内部欠陥検査方法

製品の内部欠陥を検出し評価する一般的な方法としては、下記のような検査方法がある。

①放射線探傷法

X線または、 γ 線を試験体内に照射して透過写真を撮影し、内部欠陥を評価する方法。

図1にCTスキャナー（X線）による製品の断層写真の一例を示す。

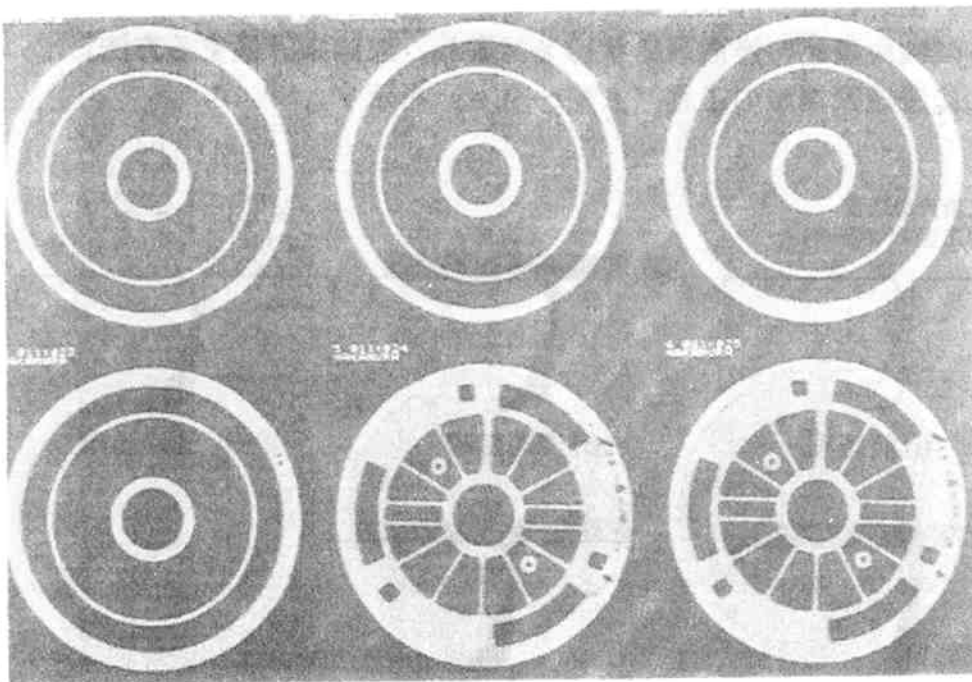


図1 CTスキャナー(X線)による製品の断層写真の例

超音波パルスを試験体内に入射し、図2に示すような原理で欠陥からの反射波や透過波を探傷図形（Aスコープ）として受信し、レーダーと同様の原理で内部欠陥を評価する方法。

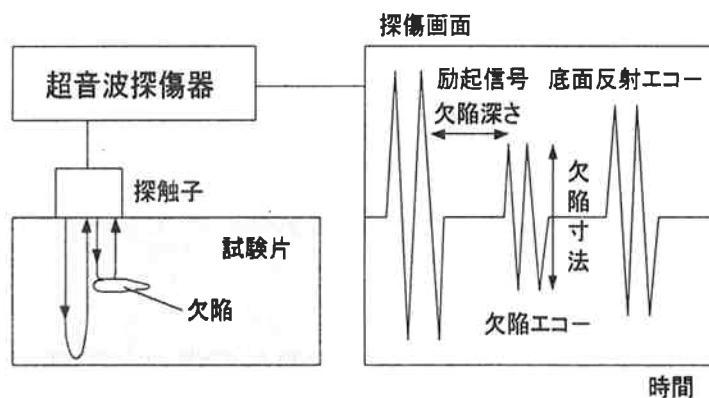


図2 超音波探傷法原理図

〔(社) 日本金属学会 改訂6版金属便覧 6. 材料検査法 P416〕

③浸透探傷法

試験片の表面を浸透液（真紅色または蛍光色）で濡らし欠陥中に浸透液をしみ込ませた後、試験片の表面に付着している浸透液を取り除き、次いで現像液（一般的には白色）を塗布すると、欠陥内に残留し浸透している液が吸い出され試験片の表面に広がる。

この試験片表面の浸透液の状態を観察し、欠陥を評価する方法。

図3に浸透探傷法の工程（a）～（e）を示す。

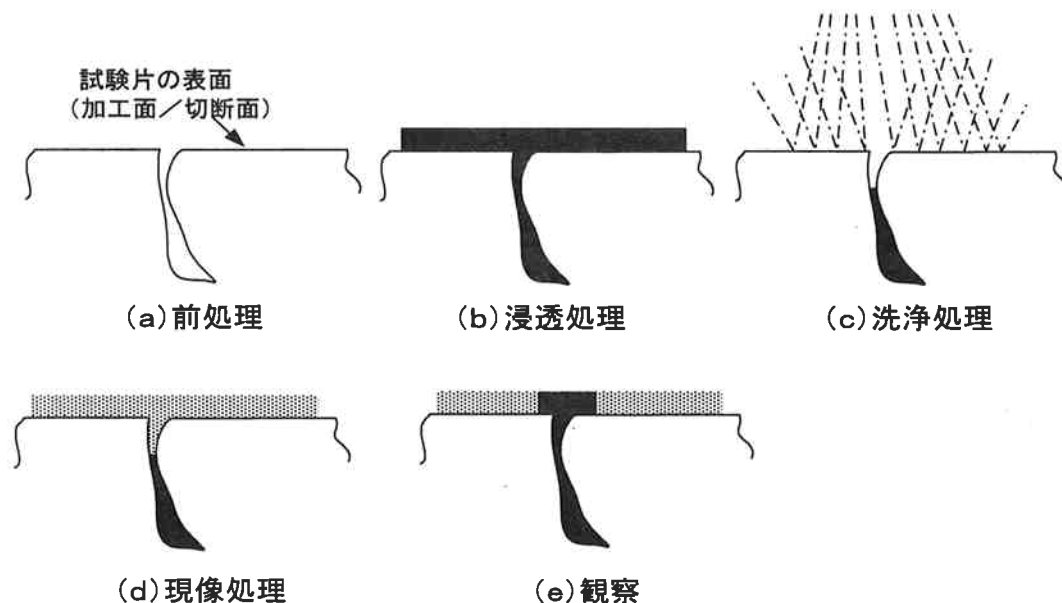


図3 浸透探傷法の工程

〔(社) 日本金属学会 改訂6版金属便覧 6. 材料検査法 P421〕

4. 1. 2 内部欠陥検査の手順

1. 適用範囲

鋳鉄鋳物製品の内部欠陥を検査する方法の手順について規定する。

2. 内部欠陥検査の手順

①放射線探傷検査

X線探傷検査の一例として図4に示すように、検査する製品を約20 mmの厚さ（X線の出力による）の試験片に切断する。

図5に示すようなX線検査装置内に、切断した試験片を高感度フィルムの入ったフィルムケースの上にならべ、220KV程度の感電圧で約3分程度X線を照射する。照射完了後、画像出力して現像し、そのフィルムを観察する。

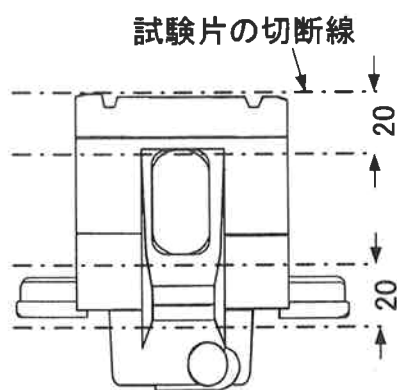


図4 試験片の切断例

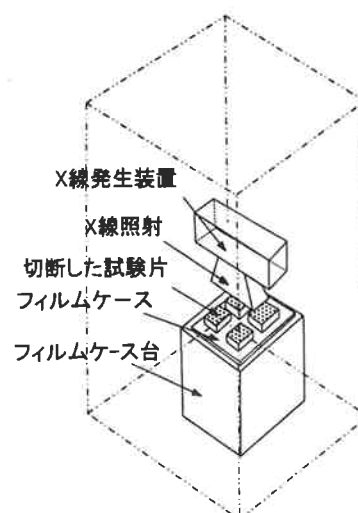


図5 X線検査装置の例

②超音波探傷検査

一例として図6に示すような超音波探傷器を使い、試験片表面に探触子を接触させパルス状の超音波信号を試験片内に送り込み、内部欠陥または底面から反射して戻ってくる状況により、内部欠陥を評価する。

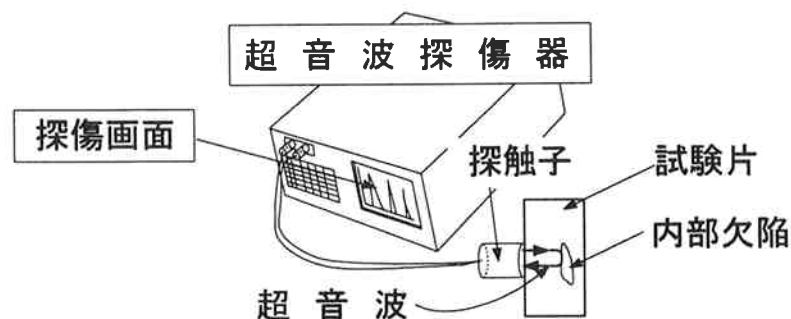


図6 超音波探傷器の例

③浸透探傷検査

浸透探傷検査の手順の一例について説明する。

図 7 に示すように、内部欠陥発生恐れのある部位を狙い、製品を切断する。

X線探傷検査を利用し、あらかじめ発生部位を把握しておくことで検査精度が向上する。

切断面の汚れや異物を取り除いた後、真紅色の浸透液を表面に塗布し透透させる。

試験片の大きさにもよるが、この場合は、5分以上放置し、浸透液を浸透させる。

次に洗浄液で、表面の浸透液を洗浄後、白色の現像液を切断面に塗布し7分以上自然乾燥させる。内部欠陥があれば内部欠陥中に浸透していた浸透液が切断面に広がり、真紅色に染まる。内部欠陥がなければ白色の現像液の色がそのまま残る。

この切断面の状態を観察し、内部欠陥を評価する。

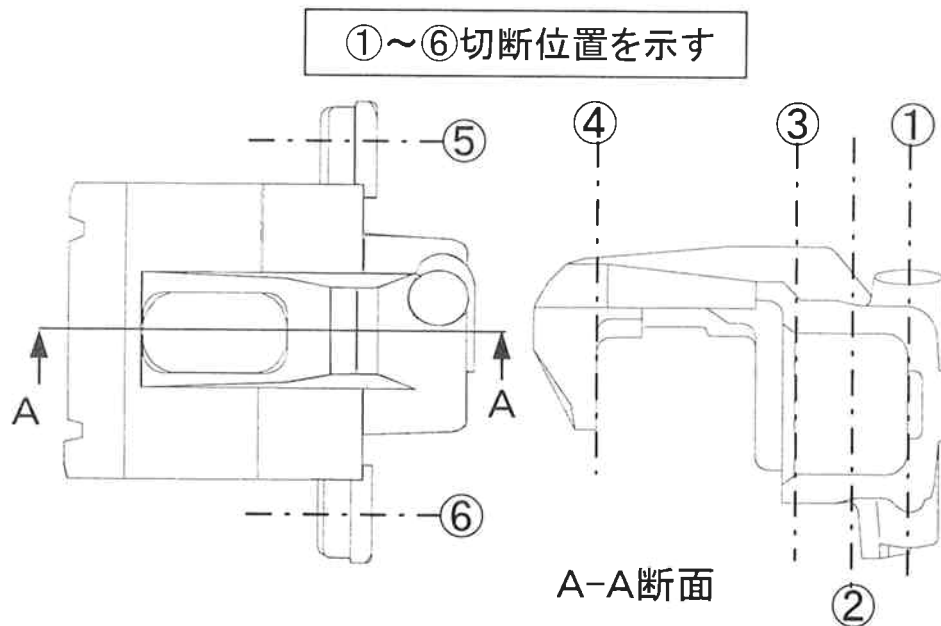


図 7 製品の切断例

4. 2. 1 凝固シミュレーションについて

1.適用範囲

鋳鉄鋳物製造時の凝固過程を、コンピュータ上でシミュレートするシステムについて論じる。

2.用語の意味

鋳鉄鋳物の凝固過程において、潜熱を放出しながら冷却していく過程を数値解析によりコンピュータ上で再現していくシステムを凝固シミュレーションという。

3.凝固シミュレーションについて

凝固現象は複雑なため、その全ての現象をシミュレーションで解析することは困難である。しかし、目的に合った凝固現象を解析することは可能である。現在市販されている凝固シミュレーションの多くは、溶湯金属中の熱移動を熱伝導のみと考え、液相から固相への相変化の凝固潜熱を考慮したものが主流であるが、一部溶湯の移動も考慮しているシミュレーションもある。

現在数多くのシミュレーションが市販されており、表1にその一例を示す。

表1 市販の凝固シミュレーションシステム

システム名	開発元	要素タイプ
JS-CAST	(株)コマツ	直交
AD-STEFAN	東北大学	直交
TOP-CAST	トヨタ自動車(株)	直交
METAL-TEMP	日本ユニシス(株)	非直交
MAGMA	MAGMA GmbH (独)	直交
PRO-CAST	UAE Software Inc.(米)	非直交
PAM-CAST	ESI グループ (仏)	非直交
CAP	EKK Inc.(米)	非直交

各システムは、鑄造メーカーが開発しその後市販されたものと大学などの研究機関で開発され市販化されたものが多い。JS-CASTは中小企業事業団の技術開発事業の一環として、AD-STEFANは、産学共同プロジェクトで開発されたものである。最近では産官学の共同プロジェクトとして、ICASTが開発されつつある。

また、要素タイプは直交タイプと非直交タイプに二分される。前者は、X軸・Y軸・Z軸の各軸に直交する直方体の要素で形成されメッシュ分割は容易であるが、精度の良い形状近似には要素数が膨大になる。それに対し後者は、各軸に無関係な6面体や5面体、あるいは4面体の要素で構成され、少ない要素数で形状近似が可能であるが、メッシュ分割が困難である。

凝固シミュレーションは主に引け巣の推定に利用されているが、引け巣の推定方法には、表2に示す様な方法がある。

表2 引け巣推定方法

引用：コンピュータ伝熱・凝固解析入門 213頁より抜粋

No.	方法	引け巣発生条件
1	等温度・等固相率法	$gs=1, gs=g_{sc}$ の閉ループ内に発生
2	温度勾配法	$gs=1$ の最大限度勾配 $G \leq$ 臨界値
3	流動コンダクタンス法	流動コンダクタンス $\leq$ 臨界値
4	固相率勾配法	最大固相率 $\leq$ 臨界値
5	$G/\sqrt{tf}$ 、 $G/\sqrt{R}$ 法	$G/\sqrt{tf}$ 、 $G/\sqrt{R} \leq$ 臨界値
6	圧力勾配法	圧力勾配 $\leq$ 臨界値
7	給湯距離法	給湯可能距離 $\leq$ 給湯必要距離
8	限界固相率、収縮量法	自由表面および流動可能上部要素
9	直接シミュレーション法	計算圧力 $\leq$ 気泡発生臨界圧

gs ：固相率， g_{sc} ：流動限界固相率， G ：温度勾配

tf ：要素の凝固時間， R ：冷却速度

引け巣推定方法の中で最も一般的なものが限界固相率法である。その一例を図1に示す。図は、ダクタイル鑄鉄の限界固相率を0.7とした時の凝固時間の分布を示す。図中同一凝固時間で囲まれた（閉ループが発生）部分は、廻りからの溶湯の補給が遮断された状態で収縮するため、引け巣が発生しやすくなると考えられる。

しかし、実際には閉ループが発生すれば必ず引け巣が発生するものではなく、表2に示すような様々な引け巣推定方法がある。

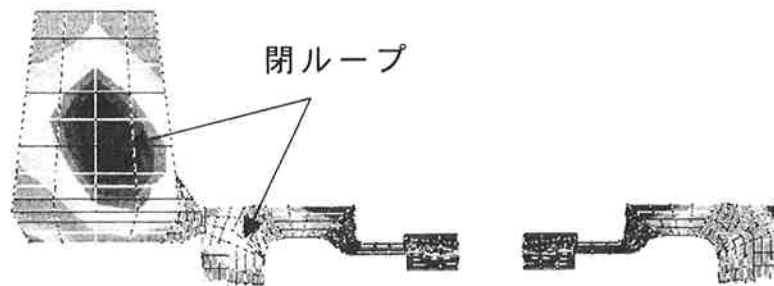


図1 等凝固時間分布

先にも記したが、現在の凝固シミュレーションは凝固現象のすべてを再現しているわけではない為、実際の現象とシミュレーションで考慮されていない点を踏まえて結果を考察し引け巣予測をすることが重要である。

4. 2. 2 凝固シミュレーションのやり方

1.適用範囲

鋳鉄の凝固シミュレーションを実際に行う時の手順を示す。

2.凝固シミュレーションのやり方

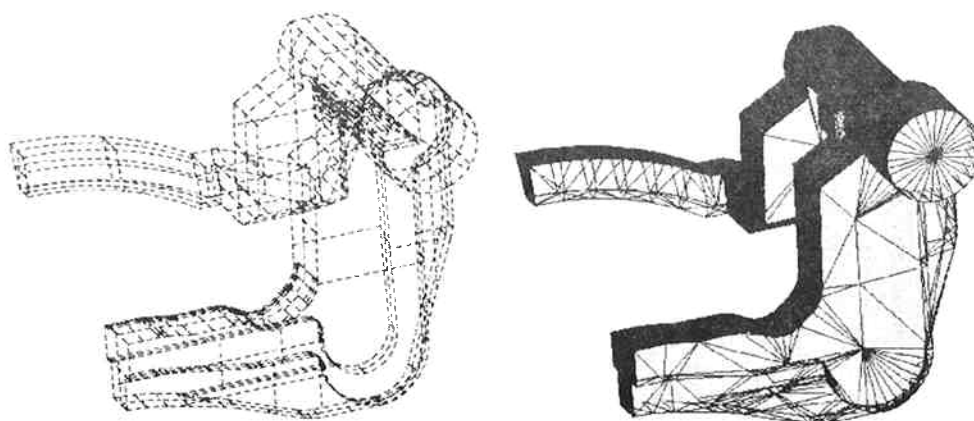
最近の凝固シミュレーションは、3次元CADの普及に伴いCADデータを利用してモデルを作成する方法が主流である。以下に凝固シミュレーションの手順を示す。

- ① CADデータの取り込み
- ② 解析モデル（メッシュ）作成
- ③ 解析条件設定
- ④ 計算の実施
- ⑤ 計算結果の表示および引け巣評価

① CADデータの取り込み

CADシステムからの幾何形状の取り込みは、IGESデータ（Initial Graphics Exchange Specification）か、STLデータ（Stereo Lithography）のいずれかの方法で行う。

前者は、幾何形状の面データをそのまま取り込むが、取り込み後の面データを修正しなければならない場合がある。後者は、面データを三角形のパッチに変換する為、データ量が多いが面の修正がなくなるが、システムにより三角形と三角形の間に隙間が出るケースがある。図2にCAD・STLデータを示す。



A.CAD データ

B.STL データ

図2 CADデータと STL データ

②解析モデル（メッシュ）作成

取り込んだデータを基に解析用のメッシュデータを作成する。メッシュデータは、システムにより直交要素または、非直交要素あるいは直交要素+ α を用いる。メッシュ分割方法は、最近の傾向として自動分割が主流である。図3にメッシュデータを示す。

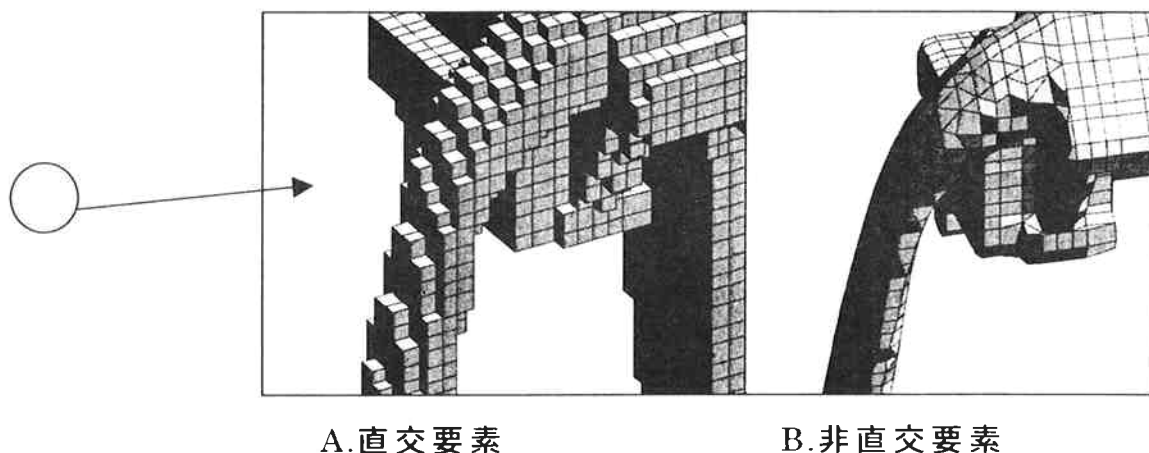


図3 メッシュデータ

直交要素の場合、直交3軸の分割数または分割サイズを指定することで、分割が可能であるが、斜面に関しては階段状の形状に成る為、形状近似が悪くなるが、分割を細かくすることで近似をよくすることができる。特に最近ではコンピュータの性能が目覚しく、1千万要素を10時間程度で解析するシステムも出てきた。

非直交要素は、斜面などの形状近似が良く複雑な幾何形状に利用できるが、要素分割に時間が掛かるのと、計算の収束性が良くない点に問題である。最近では、4面体を用いた自動分割が多くなったが、精度を重視すれば6面体のメッシュ分割が必要である。また、非直交要素の場合、鋳型と製品とのメッシュの整合性に問題があるが、仮想鋳型を用いて対応するシステムもある。

最近では、直交要素の階段部分に補助要素を用いた、直交+ α 要素を用いて、形状近似と計算時間のバランスを保つシステムもある。

③解析条件設定

まず、解析に必要な物理的特性値であるが、溶湯金属と鑄型・冷し金・中子の密度・熱伝導度・比熱の他に、溶湯金属の潜熱・液相線温度・固相線温度が必要である。凝固シミュレーションにおける解析条件は、凝固開始の初期温度の指定、溶湯と鑄型・溶湯と大気・鑄型と大気間の熱伝達係数の設定である。図4に各熱伝達率の概要図を示す。本来熱伝達率は、形状などに影響されるが、凝固シミュレーションの場合は溶湯金属と鑄型との間に空気層が出来ると考えることで、各部分一定の値を用いるのが通例である。

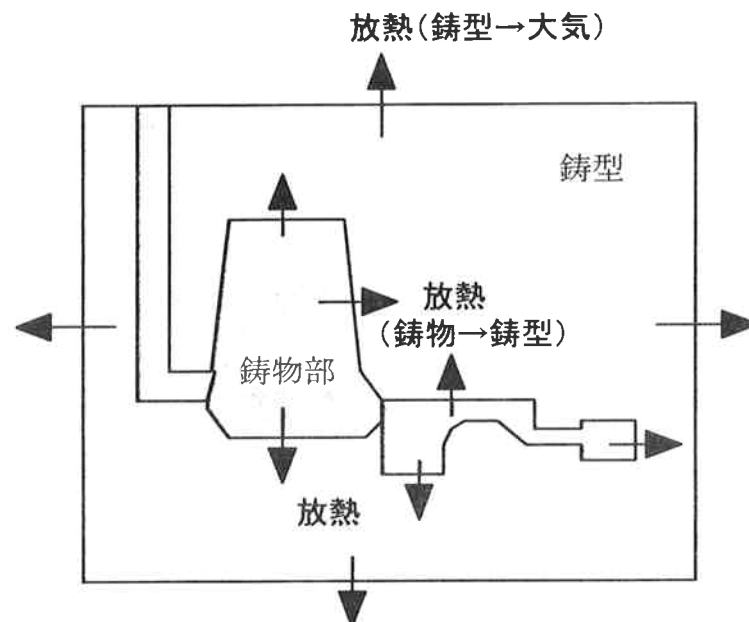


図4 解析条件

また、実際の凝固は、溶湯が充填した時にはすでに温度分布がついている。このため、充填後の温度分布が一定ではないのが普通である。これを受け、最近の凝固シミュレーションは、湯流れ解析後の温度分布を初期温度として解析するシステムが多い。その場合、充填完了後の温度分布の確からしさに注意が必要である。

④解析の実行

解析の実行は、凝固シミュレーションシステムのプリプロセッサにより違いますが、プリプロセッサ上で実行するものと、実行コマンドが別に有るものとがあるが、プリプロセッサ上で実行する方が初心者には易しい。

⑤解析結果の表示

解析結果の表示は、各システム独自のポストプロセッサを準備しており、システムにより表示方法が異なる。主な表示項目は、各時間の温度分布と固相率であるが、欠陥推定方法として、等凝固時間分布・温度勾配分布・ $G/\sqrt{R}$ 分布などが表示可能である。また、実機熱分析との比較が出来る様に、各ポイント（システムにより制限有り）の冷却曲線が表示可能に成っている。凝固完了後の温度分布を図5に、実測とシミュレーションの冷却曲線の一例を図6に示す。

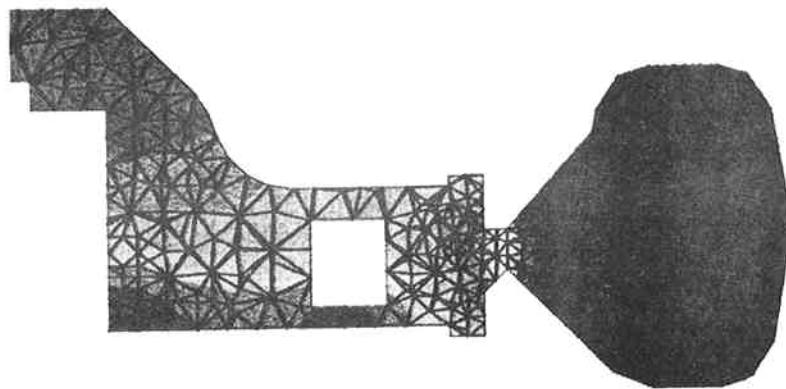


図5 温度分布図

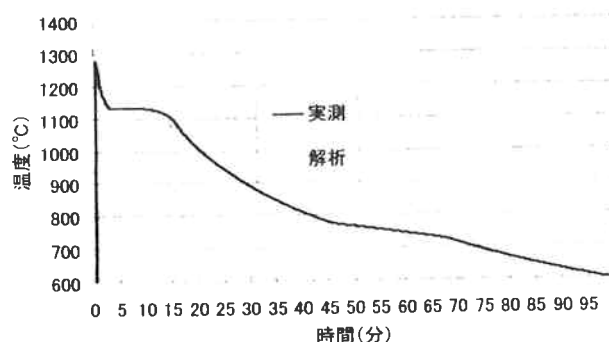


図6 冷却曲線

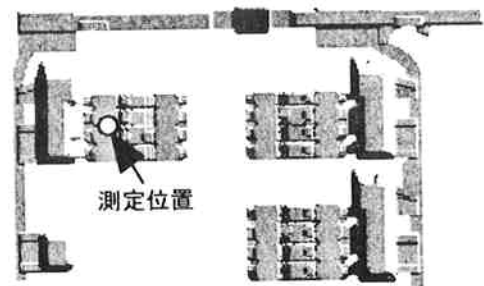


図7 冷却曲線測定位置

5. 湯口系の設定

5. 1 鑄型各部の名称と役割

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物製造に於ける湯口方案（鑄造方案）設計にするに当たり、鑄物各部の名称と役割を例示する。

2. 鑄型各部の名称と役割

湯口方案（鑄造方案）とは鑄物を製造しようとするときに、製品をいかに健全に、精度良く、しかも経済的に造るかを、模型の種類や、鑄型の種類、造型方法、（水平込め、縦込め）、注湯方法、鑄込み温度・速度・時間、凝固順序等各部の機能と役割をよく認識し設計しなければならない。一般的な例として、図1に基づいて説明をする

① 受口（掛堰）

この受口は、溶湯を鑄型に注入しやすく、且つノロや介在物の混入を防ぐ役目をする。注湯が完了するまで受口に溶湯が満たされていることがポイントである。

② 湯口

溶湯を注入するときの管で、湯口の断面は通常円形で溶湯を鑄型に流入する役目をする。

③ 湯口底

一般的に深い半球状の形状で、溶湯の落下による流れの向きをスムーズに方向転換させ、層流・整流にする役目を持つ。

④ 湯道

溶湯を湯口から堰へ導く水平の（垂直）通り道で、途中に絞り（チョーク）を設けノロや介在物の混入を防ぐ。

⑤ 湯道先

混入してきたノロや介在物を押し込める役目をする。

⑥ 堰

湯道より製品に流入される通路で、多くの場合、堰は1ヶ所だけではなく数ヶ所に分けられる。ここでもノロや介在物の流入を防ぐ役目を持つ。

⑦ 揚げり及びガス抜き

鑄型空洞内のガスや、溶湯中のガス、溶湯の熱で、鑄型内に発生する高圧の水蒸気やガスを鑄型外部に排除させるもので、揚げりはガスと同時に、ノロや介在物を浮上排除する役目もある。

⑧ 押湯

鑄鉄の溶湯は、材質により凝固過程がそれぞれ異なるが、凝固収縮により発生する引け巣を防止するため取り付け。製品形状、大物、小物等でサイド押し湯、トップ押し湯に使い分けられる。

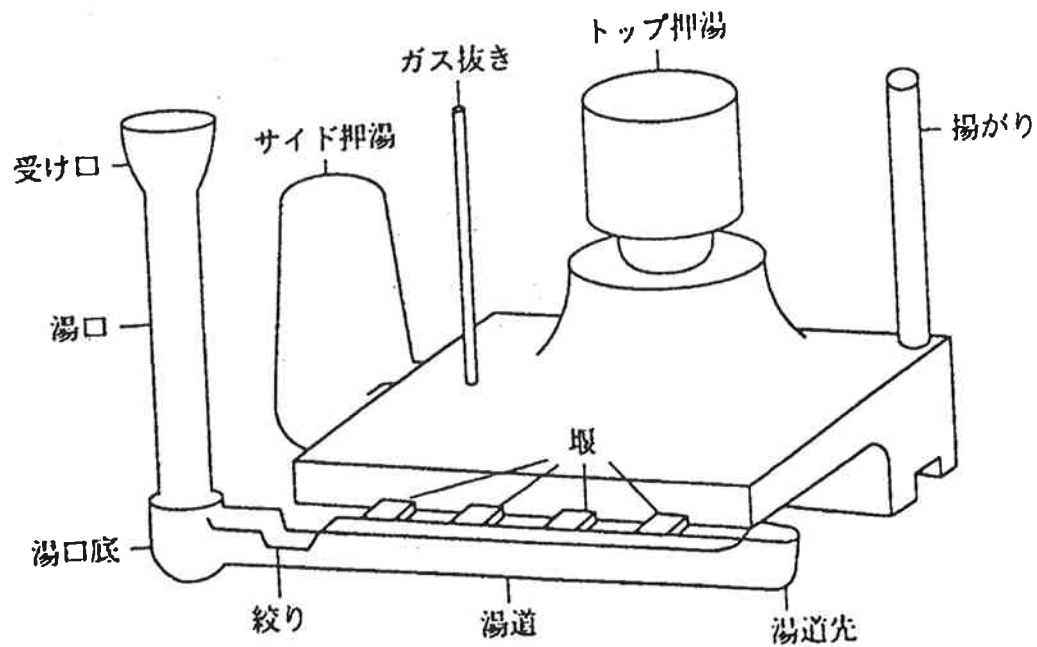


図 1 鑄型各部の名称

5. 2 湯口方案設計のねらい

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物品の湯口方案設計に適用する。

2. 湯口方案設計のねらい

湯口方案（鑄造方案）とは鑄物を健全に、精度良く、且つ安価に造るために必要な鑄造条件（注湯条件、湯口、湯道、堰、押湯、揚がり、ガス抜き等）を設計することである。

湯口方案を設計するについて考慮すべきポイントは次のような事柄である。

- 1) できるだけ溶湯の乱れを少なくして、溶湯の直撃による砂型の損傷が無いように、鑄型内に充満させる。
- 2) 溶湯のノロや介在物あるいは砂粒等の異物を鑄型に流入することを防止する。
- 3) 鑄型内に溶湯が充満する速度（鑄込み時間）を適正にする。
- 4) 鑄物各部に溶湯が均一に流入し、鑄物の冷却に対し形状に応じて温度勾配を均衡化するようにする。
- 5) 湯口、押湯等の不用部分をできるだけ小さくしてしかもその効力を最大限にするための寸法・位置・数を考え歩留まりの向上を図る。

5. 3 湯口方案の設計に必要な基礎知識

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物品の湯口方案の設計に必要な基礎知識を例示する。

2. 静かに速く

鑄造条件の鉄則として、「静かに速く」と言われるが、湯口方案設計のねらいでふれたポイントを含め、原理・原則に基づいた基礎知識や公知の数値等をうまく活用してよりよい方案設計ができる。

鑄鉄の溶湯は“湯”と呼ばれているように、非常に流れやすい性質を持っている。「静かに速く」という言葉は、湯の流れに乱れが生じないようにして速く鑄型に湯を充満させることにあ
る。湯の流れの中で乱流・渦流が発生すると、鑄型内の各所で圧力の低い空隙部ができて、鑄型からのガスの吸引や、鑄型の一部を吸い込むことによる鑄造欠陥の一因となる。特にダクタイル鑄鉄の場合はドロスと呼ばれる特有のスラグ生成があり特別な配慮が要る。乱流の発生する主な機構は一般的に次のような項目が知られている。

- ① 流れの方向が急激に変化する場合（図 1）
- ② 流れる道の大きさが急激に変化する場合（図 2）
- ③ 流れの途中に流れを阻害する傷害が有る場合（図 3）

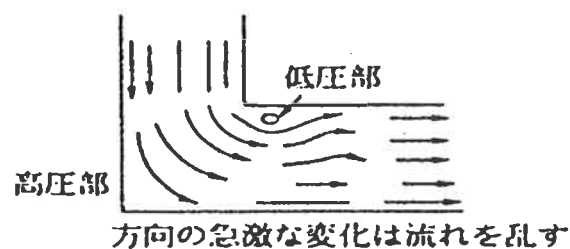


図 1 流れの方向が急激に変化する場合

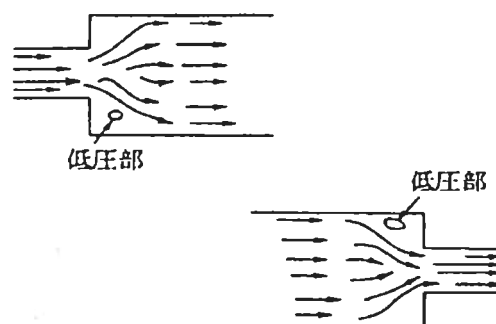


図 2 湯道の断面積が急激に変化する場合

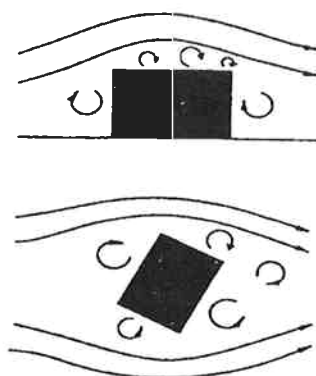


図 3 流れの途中に障害物がある場合

3. トリチェリーの定理

この定理は湯口の高さと湯口底から出る溶湯の流れる速さとの関係を求めるために必要な定理である。

この定理は、ある容器の中の液体（流体）の上表面から流出口までの高さが一定のとき、流出口での液体の流速は一定であるという。

液面高さと流出口での流速の関係は液体の高さが“H”で一定のとき、流出口での液体の流速は次の式であらわされる。

（図 4 参照）

$$\text{出口での流速 } V = \sqrt{2 g H}$$

ここで

V：出口での流速（m／s e c）

g：重力の加速度（981 cm／s e c²）

H：垂直方向の液面高さ（m）

この式から湯口底部での溶湯の流速が求められる。

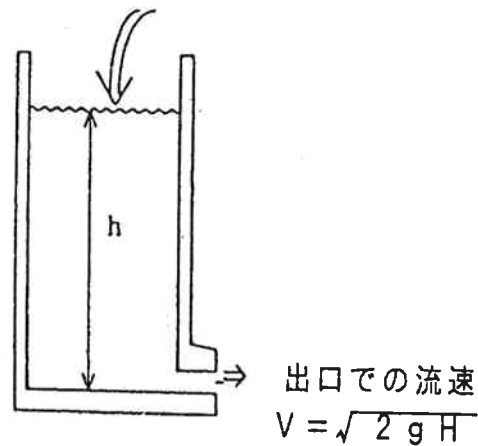


図4 液面高さと流出口での流速の関係

4. 連続の法則

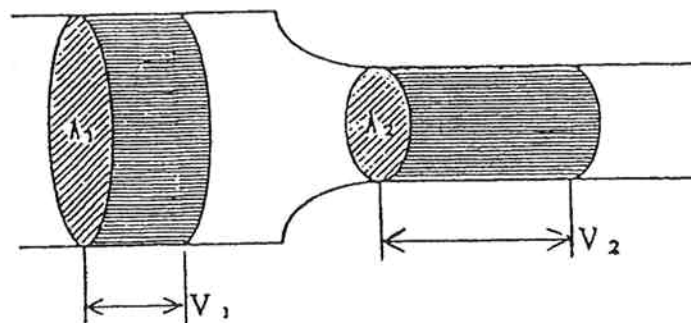
この法則は“単位時間に流れる液体の量は、その系の中のいかなる断面積の部分を通っても一定である”という法則である。このことは、管路の断面積が小さくなると流速は速くなり、断面積が大きくなると流速は遅くなり、通過する液体の量は常に一定であるという法則で、公式で表すと次のようになる。

(図5)

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

ここで A_1 、 A_2 は液体が通る管路の断面積

V_1 、 V_2 は液体が A_1 、 A_2 を通るときの流速



$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

図5 連続の法則説明図

連続の法則と、トリチェリーの定理の式から湯口の中の溶湯の流れは、湯口上部では流速は小さく、湯口下部では流れが速くなるから流れの断面積は細くなっているはずである。理想的な湯口の形状は図6に示すような下部になるほど径が小さくなるテーパー湯口である。

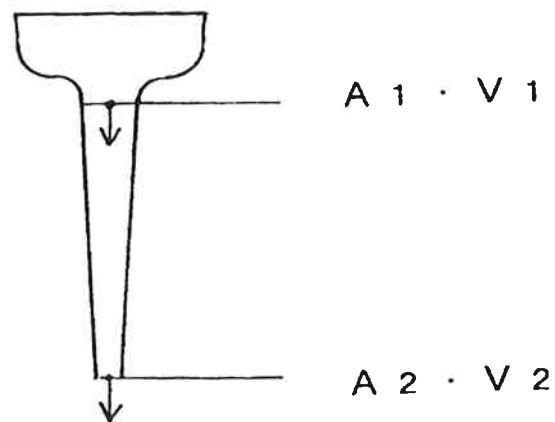


図6 理想的な湯口形状

実際には湯口がストレートの場合が多いので、理論的に湯口下部は溶湯の流れと鑄型壁との間に隙間ができる。その対策として湯口底、湯道を絞る方法がとられる。

5. パスカルの法則

この法則は、鑄型内の溶湯の圧力に関係し湯口の有効高さ上型の必要高さなどに関係する法則である。

“容器内で静止状態にある液体の圧力の大きさは、任意の水平面をとれば、どこでも同じである”という法則である。この任意の水平面での圧力は次式で与えられる。

$$P = P_a + \gamma H$$

ここで P : 任意の水平面上での圧力 (N/m^2)

P_a : 雰囲気圧力 (N/m^2)

γ : 比重 (kgf/m^3)

H : 垂直方向の高さ (m)

鑄造の場合には、雰囲気圧力 P_a は雰囲気全体に等しく掛かっている圧力であるから、無視して上式は次式のように簡略できる。

$$P = \gamma H$$

例えば図7の場合鑄型内のある任意の表面における高さが受口の湯面上から“ H_1 ”の位置にあるとき、溶湯表面の圧力は $P = \gamma \cdot H_1$ (N/m^2)

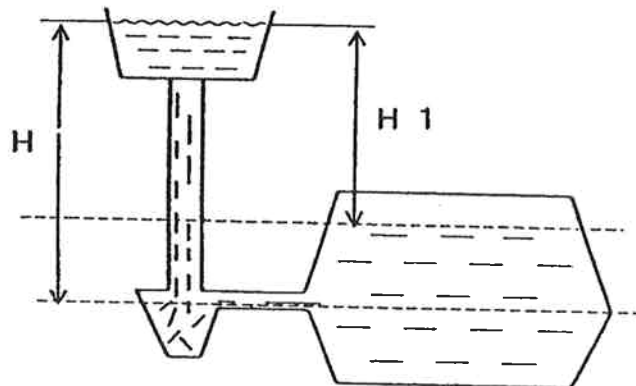


図7 溶湯表面にかかる圧力

見切り面における圧力は次のようになる。

$$P = \gamma \cdot H \text{ (N/m}^2\text{)}$$

6. 層流と乱流

液体の流れはすべて層流か乱流のいずれかである。層流は液

体の管路の表面（管路の壁）から中心に向かって液体の流速が大きくなり管路の中心で最大となる流れを言う。液層が逐次表層面にスライドしている流れである。故にスライドする速さは管路表面では、“ゼロ”に等しく管路中心では最大となる。

このスライドする液体の流速が大きくなると、液体の層が崩れ始めるようになる。液体の各分子が勝手な方向に動きながら全体として流れの方向に進んでいく。この乱れはじめが乱流のはじめであり、層流から乱流に変化する条件を見いだしたレイノルズ氏の名を取った“レイノルズ数”を求めることにより乱流の発生ポイントを予測できる事が知られている。

実際には、乱流の発生要因は先述したように流れの方向、流れの道が急変したり、途中に流れを阻害する傷害があったりすることにより乱流が起き、空気・砂・ノロ・ドロス・の巻き込みによる欠陥が発生する。

5. 4 湯口方案設計手順

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物品の湯口方案設計に必要な設計手順を例示する。

2. 湯口方案設計手順

湯口系（受口・湯口・湯道・堰）は鑄型の空間部に対し、溶湯を静かに速く導き、鑄型壁から砂粒や剥離した塗型材、あるいは溶湯に巻き込まれて入ってくるノロや介在物の分離、さらに鑄型内空間の空気や発生するガスを鑄型の外にスムーズに追い出すなど役目は多い。湯口方案の設計の一例を以下に示す。

- ① 鑄込み重量の計算
- ② 鑄込み時間の決定
- ③ 堰寸法、形状の決定
- ④ 湯口寸法の決定
- ⑤ 湯道寸法、形状の決定
- ⑥ 受口（掛堰）寸法の決定

3. 鑄込み重量の計算

製品重量と押し湯の重量を加えたものが鑄込み重量となる。製品重量は図面から計算によって得られるが、機械加工代を加えた寸法で体積を求め、この体積に鑄鉄鑄物の比重を乗じて求められる。鑄鉄の比重は材質によって変化するがC量やSi量の多いものから、少ない材質のものの中で幅があり、6.8～7.3 g/cm³までの範囲にある。

また、現型模型を使用する場合は、模型の材質が分かれば、現型模型の重量とその材質の比重から鑄込み重量を計算で求められる。

4. 鑄込み時間の決定

湯口の大きさを決める基準は鑄込み時間である。鑄込み時間は鑄物の形状や大きさ、肉厚によっても左右されるが、鑄型の種類や、材質、鑄込み温度等にも影響されるものである。一般的に知られていて、使用されるのがH. W. Dietertの計算式で、製品重量が500 kg位までに適用される。

$$T = S \sqrt{W}$$

ここで T : 鑄込み時間 (sec)

W : 鑄込み重量 (kg)

S : 鑄物の肉厚による係数 (表 1 参照)

ただし、係数 S は諸条件によって変わるものであるから、実経験的に自工場の係数を求めておく为好都合である。

表 1 鑄物の肉厚による係数

普通鑄鉄		ダクタイル鑄鉄	
肉 厚	S	大 き さ	S
3 ~ 4 mm	1 . 6	小 物	1 . 5
4 ~ 8	1 . 9	中 物	1 . 0
8 ~ 15	2 . 2	(3 0 0 kg 位)	1 . 0
15 <	2 . 5	大 物	0 . 6 5

5. 堰、湯道絞り寸法の決定

鑄込み時間 (T) を使って次の式から堰の総断面積を求めることができる。

鑄込み重量 W

$$\text{堰の断面積 } A \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{\text{溶湯の比重 } \gamma \times T \times \text{流速 } V}{W}$$

ここで 溶湯の比重 γ (g/cm^3)

$$\text{流速 } V = C \sqrt{2 g H}$$

C : 速度係数

g : 重力の加速度

H : 有効高さ

有効高さ H を求める参考図を図 1 に示す

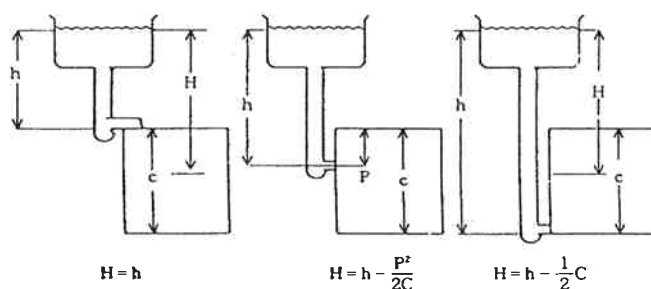


図 1 湯口の有効高さの求め方

積の総断面積が求められ、この総断面積を単独か、分割するか、高さとは幅はどうするかは製品の形状・寸法・介在物の巻き込みの可能性・鋳仕上の容易さ等を考慮に入れて決定することになる。

堰は鋳物製品となる鋳型内に湯が流れ込む入口であり、堰までに湯を運び導入する役目を、湯口、湯道が行っており、堰を通過して初めて鋳物になるので、型内に均一に湯が充満するように考え、その数と位置は大変重要である。そのため鋳物の形状や大きさによって各部の凝固が均一に行われ、且つ鋳造欠陥発生に対して十分な配慮が必要である。

この堰は、溶湯に混入したノロや介在物等を鋳型内へ流入させない役目も持っているので、堰の寸法形状にはいろいろな工夫がされている。いろいろな堰の例を図2・3に示す。

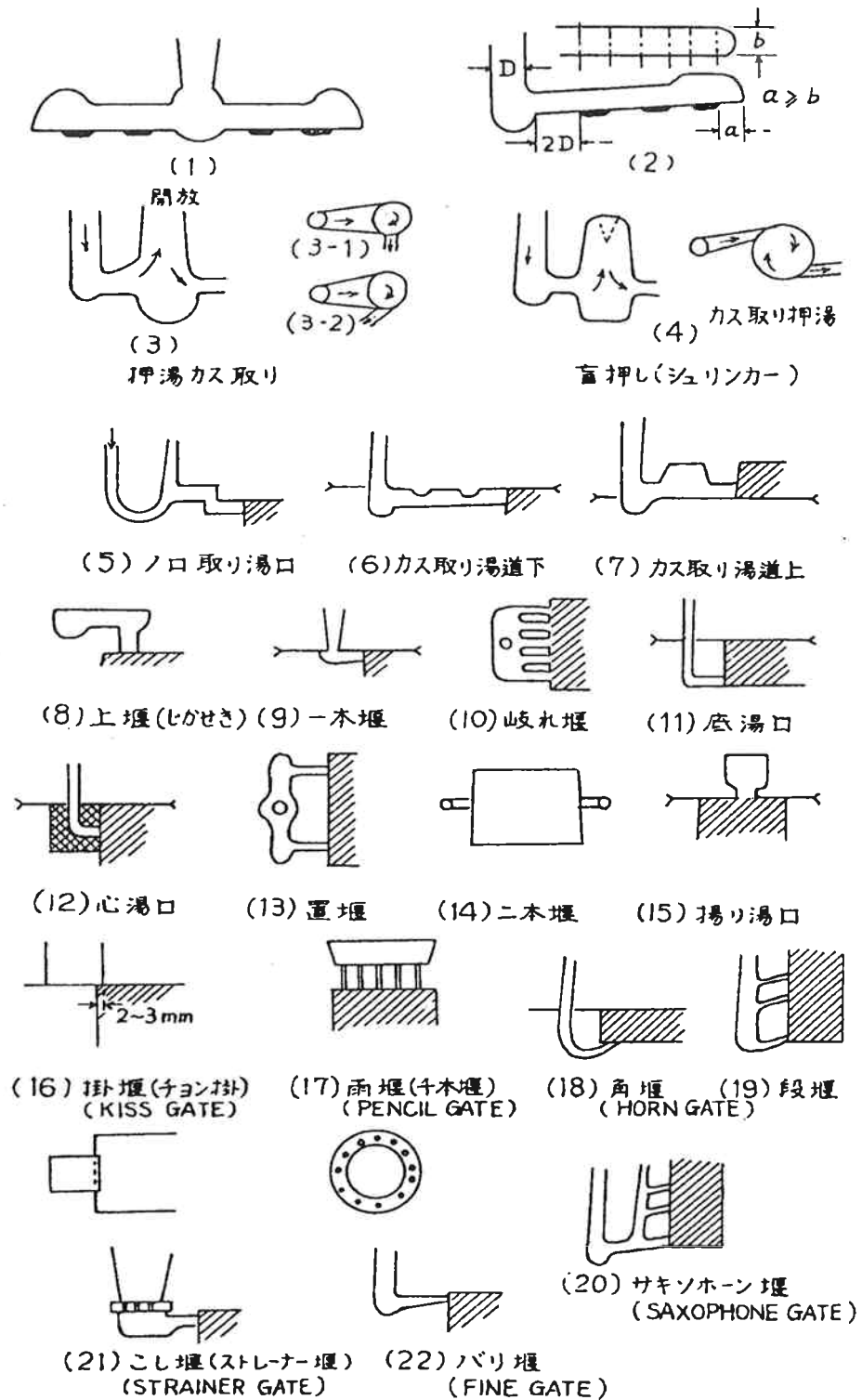


図2 湯口、湯道、堰の例 (1)

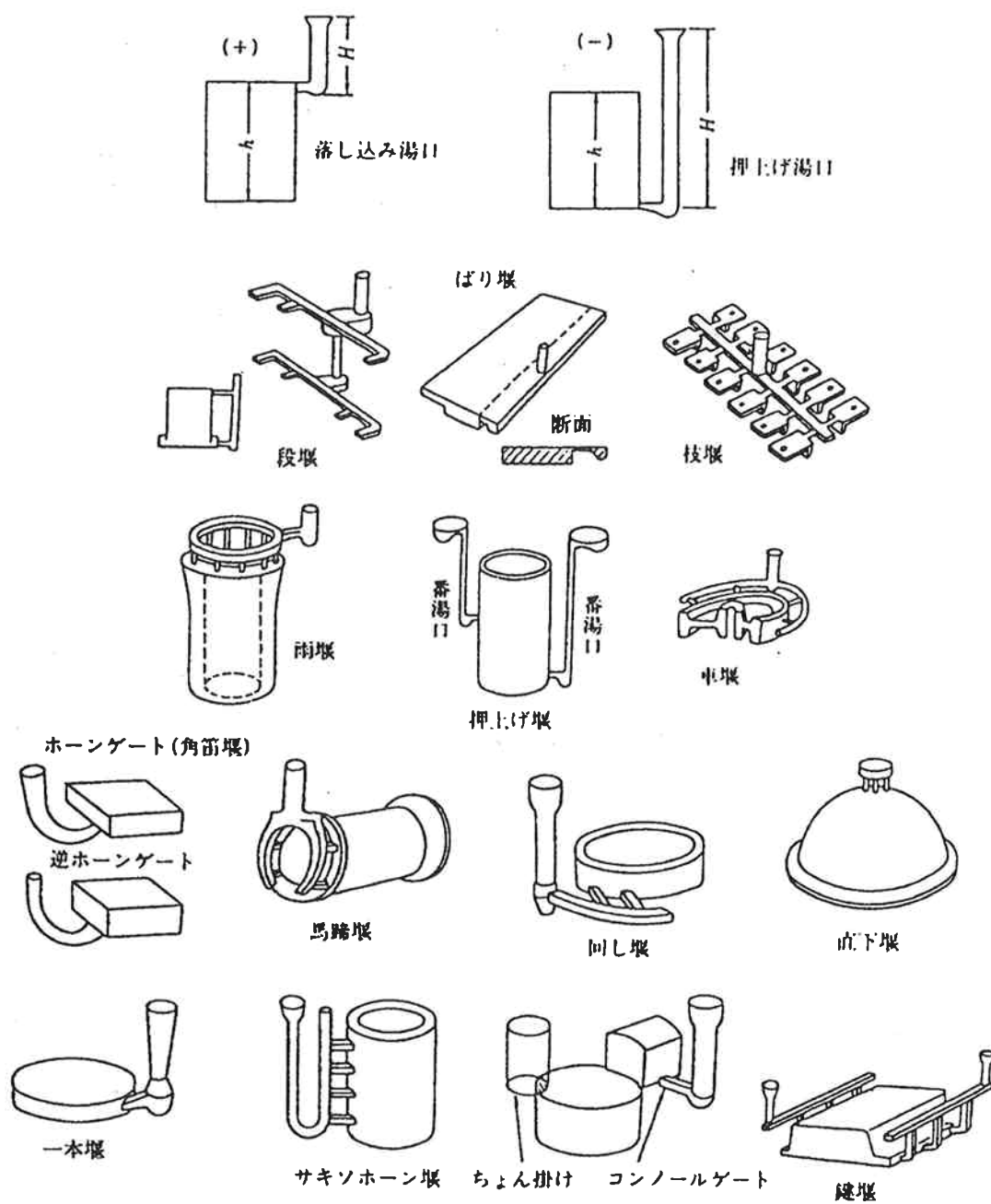


図 3 湯口、湯道、堰の例 (2)

6. 湯口比の決め方

堰の総断面積が求められ、その断面積に対応した、湯口・湯道の断面積と形状を決める必要がある。多くの研究者によって“湯口比”という湯口：湯道：堰の各断面積比の推奨値が提案されている。湯口比を“加圧系”と称して、各断面積が湯口 $\geq$ 湯道 $\geq$ 堰の場合堰から鑄型に流入する溶湯に溶湯より比重の軽いノロや介在物を混入させない考慮がされ、大物製品の湯口方案は加圧系が主体となる。また、湯口 $\leq$ 湯道 $\leq$ 堰の場合押し上げ方式や流速をコントロールし介在物や巻き込みガスを、湯が堰に至るまでに浮上させることを目的にした“非加圧系”方案がある。

(1) 加圧系方案での湯口比

大物製品の多くで加圧系方案が採用され、堰を通る溶湯の速度が全静的溶湯の高さに支配される方案である。鑄型内にガスや介在物など混入させないように、湯口から湯道へ、更に堰へと断面積を絞る方案である。一般的な加圧系方案例と湯口比を図4と表2に示す。

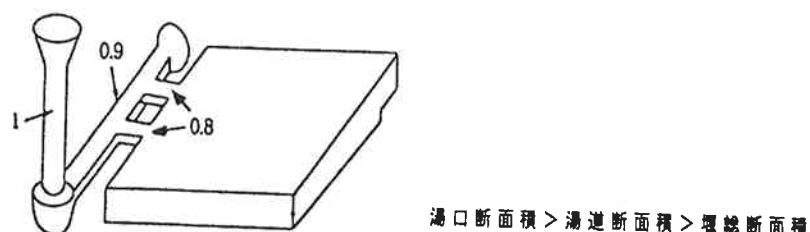


図4 加圧系湯口方案例

表2 加圧系湯口方案の湯口比例

	湯口断面積：湯道断面積：堰断面積	備考（提唱者など）
推奨値①	1 : 0.9 : 0.8	最も一般的な値
②	1 : 0.95 : 0.9	薄肉製品に適用
③	1 : 0.9 : 0.9	Baren
④	1 : 0.75 : 0.5	Doriwa Frede Lehman 他

(2) 非加圧系方案での湯口比

押し上げ方式や流速をコントロールことによって介在物や巻き込みガスを、湯が堰に至るまでに浮上させることを目的とした非加圧系方案は湯口から先へ行くほど断面積を拡大する。一般的な非加圧系方案例と湯口比を図5と表3に示す。

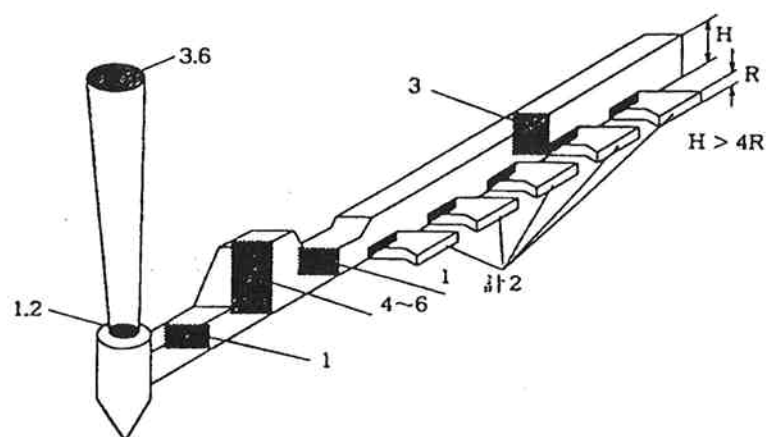


図5 非加圧系湯口方案例

表3 非加圧系湯口方案の湯口比例

湯口断面積 : 湯道断面積 : 堰断面積		
1	:	4 : 4
1	:	2 : 2

7. 湯口の設計

(1) 湯口の大きさと高さ

堰断面積より製品の鑄造条件（加圧系方案・非加圧系方案）が決定され、湯口の大きさが計算で求められるが、湯口の高さも重要な役割を持っている。湯の流速は $\sqrt{2gH}$ の式で求められることは先述したが、このトリチェリーの定理から、湯口の高さは高いほど流速は速くなり、湯口底での流速に大きく影響する。また、パスカルの法則によると、鑄型内の溶湯にかかる圧力もこの高さに関係する。湯の凝固が完了するまで圧力がかかっていないと、内部欠陥の発生につながり健全な鑄物を得るためには、ある程度の高さが湯口に要求されることになる。

おさらいをすると湯口の有効高さは、鑄型中の製品の位置によって求め方が変わり、次のように求められる。

(図6)

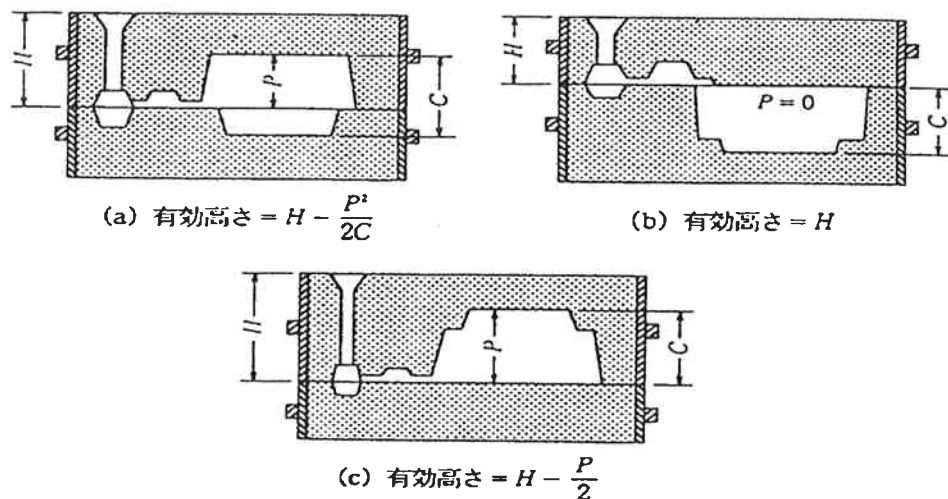


図6 湯口の有効高さを求める参考図

(2) 湯口のテーパー

湯口高さ方向の流速はトリチェリーの定理から、湯口の上部と下部では湯の流速が変わり、下部ほど流速が速くなり、連続の法則から流れは細くなる。このため同一径では湯口下部で湯の流れと湯口の壁の間に空隙ができガスや砂を巻き込む恐れがある。このため湯口棒に勾配を付けることが必要であり、 $2 \sim 7^\circ$ の範囲で勾配を付けることが推奨されている。

また、多くの例では生産過程での制約で逆テーパーの場合が

多く、この場合溶湯の乱れを最小にするため湯道系での絞りがノウハウになる。(図7)

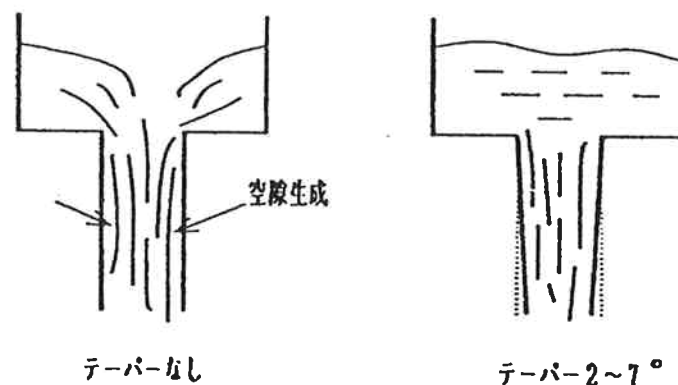


図7 湯口のテーパ

(3) 湯口底の形状

湯口設計に際して、“湯口底”の形状を設計することも重要なポイントである。湯口高さが高くなると湯口底部に達するときの流速は著しく速くなり、湯口底は大きな衝撃を受け、湯口底から方向転換する流れは乱れを生ずることになる。これらを抑えるために湯口底の形状を吟味する必要がある。

図8はアメリカ(GIRI)で推奨している湯口底の形状である。これは湯口底で発生する乱れを早くなくす形状で、湯の落下エネルギーを次の湯道や製品に持ち込ませないことをねらっている。

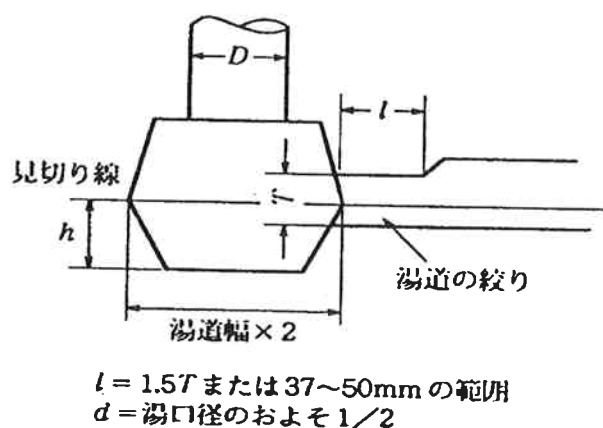


図8 GIRIで推奨している湯口底の例

8. 湯道の設計

湯道は湯口と堰をつなぐ役目をするが、流量、流速に大きく関与する。湯道はできるだけ短く設計することがポイントである。長かったり、曲がり、分岐が多いとそれだけ抵抗が大きく溶湯の温度低下、湯道の途中で生ずるカスや異物を製品内に拾ったり、鑄型中のガスを吸収したりして鑄造欠陥につながる。

湯道の断面形状は溶湯の温度低下や抵抗を最小限に抑えるため表面積ができるだけ小さくなるような形状を選ぶ必要がある。

図9に湯道の断面形状例を示したがそれぞれの生産現場に適合した形状で設計する必要がある。

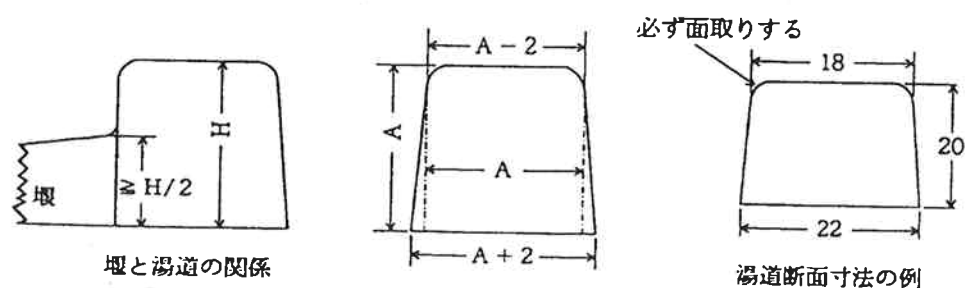


図9 湯道の断面形状例

その他、湯道と堰の配置、湯道と製品との間隔、湯道に付ける堰の位置と方向など鑄型の種類によって調整する必要がある。

5. 5 縦型ラインの湯口系設計（特殊湯口方案）

1. 適用範囲

鑄鉄鑄物品の縦型ラインの湯口系設計について例示する。

2. 縦型ラインの湯口設計

縦見切り無枠生型造型方式はディサマチック社を始め、同種の造型機は他にも数社の設備が稼働しているが、湯口方案は共通する部分が多いのでディサマチック社で推奨している方案を記述する。

鑄造される製品は、1ヶ込めから小物品では数十ヶ込めの場合もある。湯口系の基本的考え方は、均加圧型湯口方案である。多数個込めの場合には、特に湯口カップから各製品の堰迄の高さの相違による溶湯流速の相違が大きな要因となるので、湯口系の設計にはこの点が考慮されている。

均加圧式の長所は次の通りです。

- ☆ 良品鑄物が生産される
- ☆ 最高の鑄造歩留まり
- ☆ 造型サイクルより短い注湯時間
- ☆ 組織が均一な鑄物
- ☆ 鑄仕上げが最小限
- ☆ 寸法公差極小

均加圧式湯口方案の特徴は、注湯速度が大変速く、そのため鑄型上部の製品にも下部の製品にも殆ど同時に同速の鑄込み速度で鑄込まれる。

3. 湯口設計

縦型造形ラインの方案設計例を図1に示す。1ヶ込めから図示したように多数個込めの場合もある。設計の基本的考え方は、均加圧式湯口方案（堰と湯道の接合部で鑄型製品部への溶湯の充満速度をコントロールする方案）である。

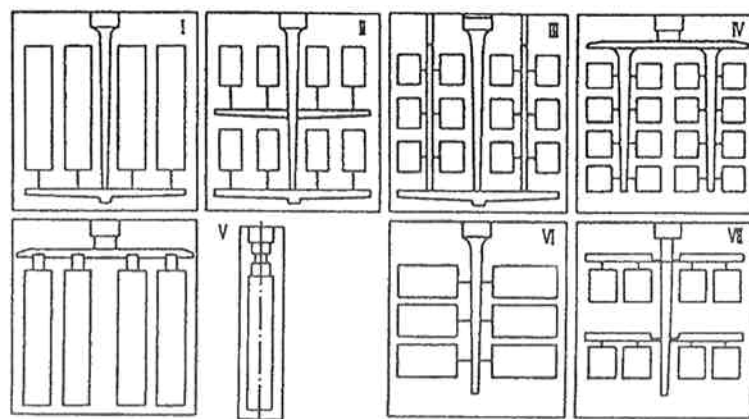


図 1 方案設計例

ディサマチックでは、湯道系に鑄込まれる時間は鑄物材質により異なるが通常 1 ～ 3 秒後溶湯で満たされ、その後各鑄物キャビティに同じ速度で充満されるように、トリチェリーの定理で求められる流速 ($V = m \cdot \sqrt{2 g H}$) に基づいて各堰の断面積を決定するという基本的考え方がある。堰の断面積を決定するためには次の数値の把握が必要である。

- ① 製品重量 (kg)
- ② 鑄物キャビティ 1 ケ当たりの鑄込み時間 (T)
- ③ 損失係数 (m)
- ④ ヘッド圧高さ (H)

鑄込み時間は湯道系が満たされるのに要する時間と鑄物キャビティの充満時間を加えたものであり、表 5 - 5 に標準的な推奨されている鑄込み標準時間を示す。

表 1 鑄込み標準時間

1 枠当たりの鑄込み重量 (kg)	鑄込み速度 (kg / S)	鑄込み時間 (S)
< 1 2	1 . 5 ~ 2 . 0	
1 5	2 . 0	
2 0	2 . 5	8
2 5	3 . 0	8
3 0	3 . 7	8
3 5	4 . 0	8
4 0	4 . 0	1 0
5 0	4 . 2	1 2

損失係数（ m ）は 0 ～ 1 の間の数値で湯流れ損失によって異なる。鑄込み温度、湯の種類、化学成分、溶湯の充満過程での冷却状況、湯道・堰の形状、鑄物キャビティや湯道系のガス圧等によって影響されるが、鑄鉄系の場合はおよそ 0.5 を採用することが多い。各工場によって違うので自工場の実数値をつかんでおくが良い。

ヘッド圧高さは湯口カップが一杯の状態における、湯表面と堰の中心線との距離で決定される。

5.5.4 ネズミ鑄鉄鑄物の湯口系の計算例

図 2 に示すネズミ鑄鉄製品 3 段配列、12ヶ込めの湯口系設計をディサマティックのマニュアルにしたがって計算する。堰計算に必要なデータを表—6 に示す。又複雑な計算をすることなく各条件下での堰の断面積を求められる鉄系の算出表（表—7）を利用して求められる。（AL系、Cu系も用意されている）

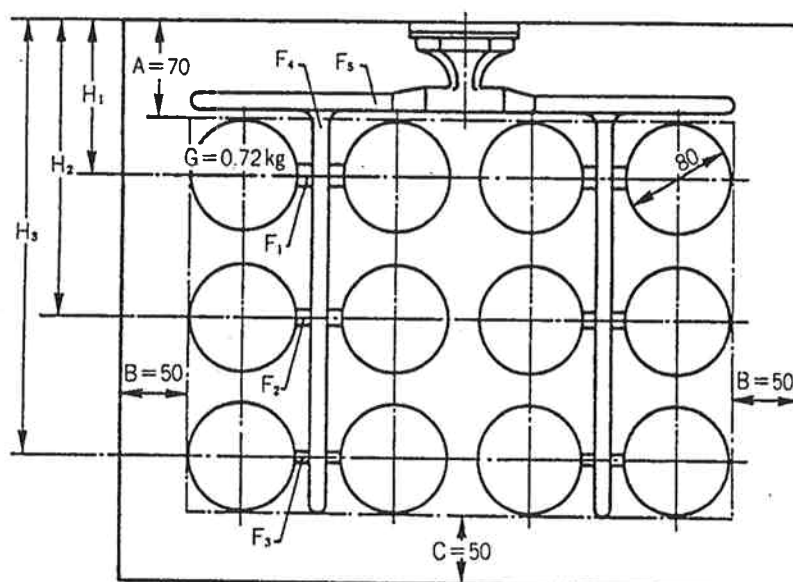


図 2 湯口系設計事例

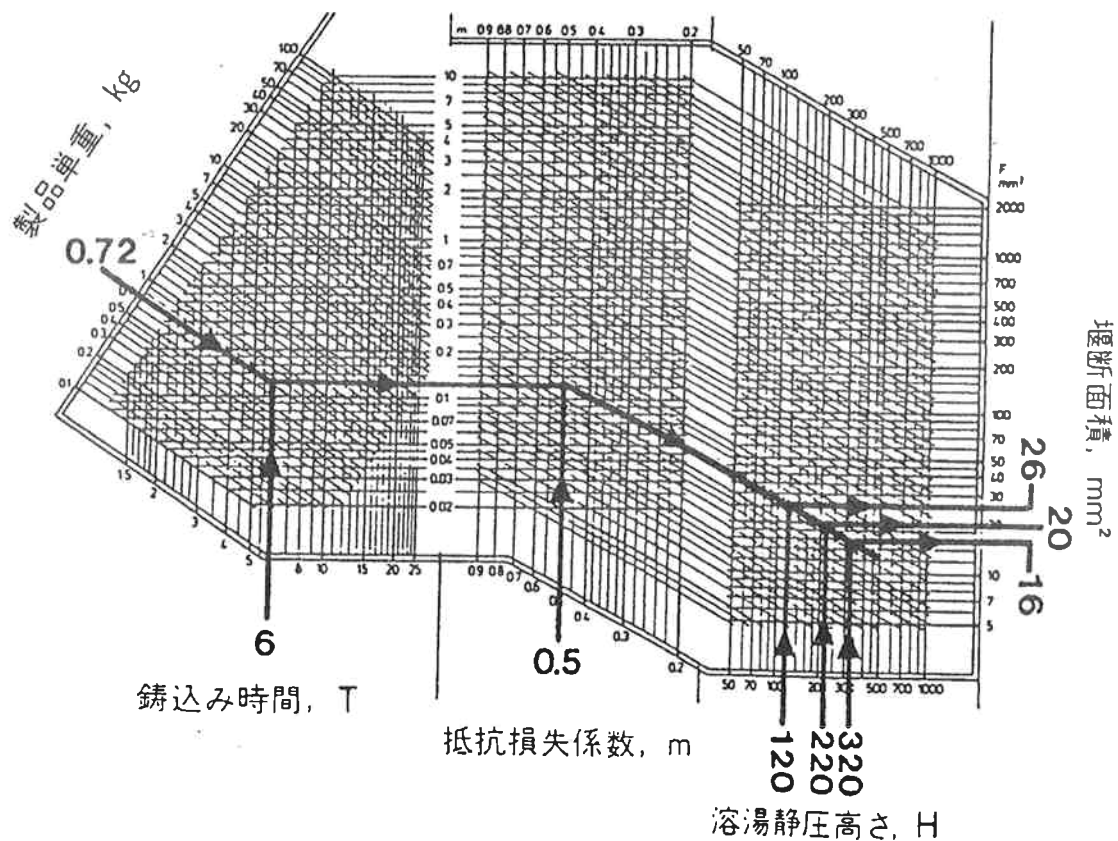
表 2 堰計算に必要な入力データ

	入力データ				出力データ
	製品重量 (kg)	鋳物キャビティ 1ヶ当たりの 鋳込み時間 (T)	損失係数 (m)	ヘッド圧 高さ (H)	堰断面積 (mm ²)
堰位置: F 1	0.72	6	0.5	120	26
堰位置: F 2	0.72	6	0.5	220	20
堰位置: F 3	0.72	6	0.5	320	16

入力データは次の通りです。

- －製品重量 (G) = 0.72 kg
- －鋳込み時間 (T) = 6.0 秒
- －損失係数 (m) = 0.5
- －ヘッド圧高さ (H)
 - H 1 = 120 mm
 - H 2 = 220 mm
 - H 3 = 320 mm

表3 堰断面積算出表



算出表から各溶湯ヘッド圧高さでの堰断面積（F）は次のように求められる。

$$F1 = 26 \text{ mm}^2 \quad F2 = 20 \text{ mm}^2 \quad F3 = 16 \text{ mm}^2$$

このように、溶湯ヘッド高さの差によって下部の流速が大きくなるため、同一の充滿速度を保つためには、下部の堰断面積は上部に比べ小さくなる。しかし実際には下部の堰断面積を絞りすぎた状態では、大きな流速で鑄型の荒らされが発生する場合もあり各工場の条件下で微調整が必要である。ディサマティック社では不等辺四角形の断面を持つ湯道を推奨しており、この湯道の基本寸法は $a \times 2a \times 2a$ で、断面積の寸法はこの a を変数として変わり、 a の最小値は 5 mm としている。

（図3）

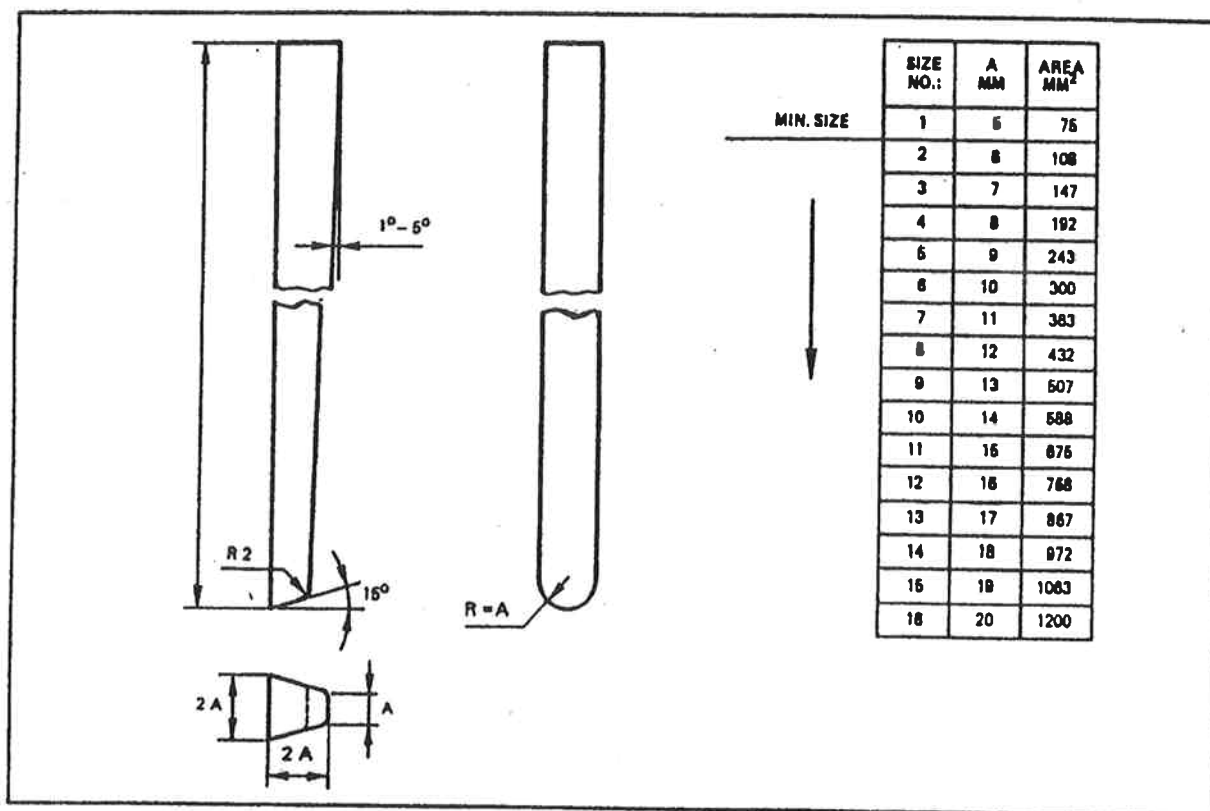


図3 不等辺四角形の標準湯道

縦方向湯道の断面積（F 4）はこれに続く堰に対して湯が流れるのに十分なものでなくてはならないので、次のようになる。

$$F 4 > (F 1 + F 2 + F 3) \times 2$$

（1本の縦湯道に2列の製品がついている）

$$F 4 > (26 + 20 + 16) \times 2$$

$$F 4 > 124 \text{ mm}^2$$

実際には湯の流れる方向の変化に伴う圧力損失に対応するため、縦方向湯道（F 4）の断面積はそれに続く堰の合計より10～20%大きくすることが奨められている。

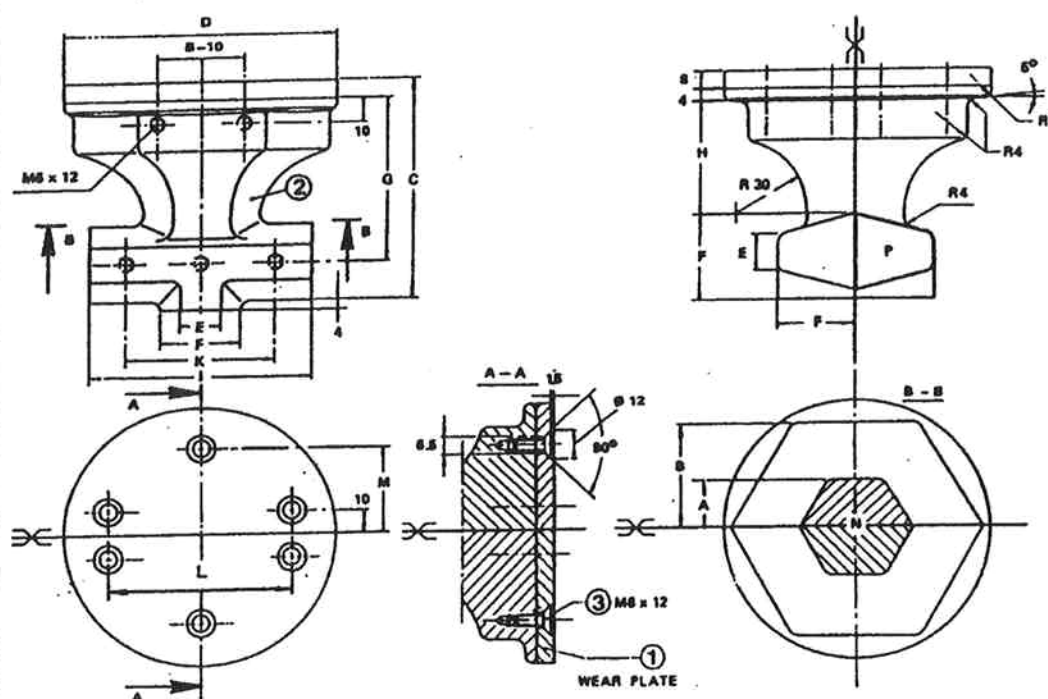
演算例では10%で $F 4 = 136 \text{ mm}^2$ 湯道サイズは計算値から一番近似値は表から湯道番号3（ $a = 7 \text{ mm}$ ）の断面積値が分かる。

又水平方向の湯道寸法は、それに続く縦方向の湯道より1～2サイズ大きいものを選ぶのでこの場合、湯道番号4（ $a = 8 \text{ mm}$ ）の選択となる。

5. 標準湯口カップ

異なった鑄込み速度に適応するよう7種のサイズが揃えられており、六角形の内面するじょうご型形状タイプが溶湯の乱れや飛散防止に効果が有るといわれている。湯口カップの標準サイズを表4に示す。

表 4 標準湯口カップ



- 1 ウェアプレート：ナイロン製
 2 受口：アルミ鋳物製
 3 止めネジ：M 6 × 1 2

カップ No.	各 部 位 寸 法 (mm)												N 面積 (mm ²)	P 面積 (mm ²)	締込速度 (kg/秒)	重量 (kg)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M				
1	6	33	66	φ66	8	16	50	38	58	30	46	25	221	192	1	1.0
2	11	36	72	φ92	10	20	54	40	66	32	53	28	419	300	2	1.6
3	14	39	78	φ98	12	24	58	42	74	40	60	31	678	432	3	2.0
4	17	42	84	φ104	14	28	62	44	82	44	67	34	1000	588	4	2.7
5	20	45	92	φ110	16	32	66	48	90	48	74	37	1364	768	5	3.3
6	23	48	100	φ116	18	36	74	52	96	52	81	40	1830	972	6	4.2
7	25	50	108	φ122	20	40	80	56	104	56	86	42	2163	1200	7	4.8

例題 鑄物の場合の湯口カップ選択例を以下に示す。方案歩留まりを70%と想定した場合、鑄物総重量は

$$G = 12 \times 0.72 = 8.64 \text{ kg}$$

鑄込み総重量

$$G_2 = G / 0.7 = 8.64 / 0.7 = 12.3 \text{ kg}$$

全鑄込み時間

キャビティ鑄込み時間（6秒）

湯口系鑄込み時間（3秒）

全鑄込み時間（ T_2 ）= 6 + 3 = 9 秒

湯口カップに対し要求される1秒当たりの流量

$$G_2 / T_2 = 12.3 / 9 = 1.4 \text{ kg / 秒}$$

以上により、表からNo.2の湯口カップが選択される。

6. 鑄造方案の事例

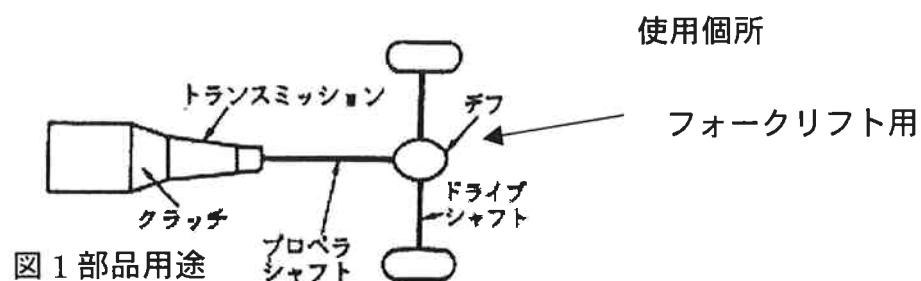
6. 1 クロスカース

1. 鑄造部品の特性

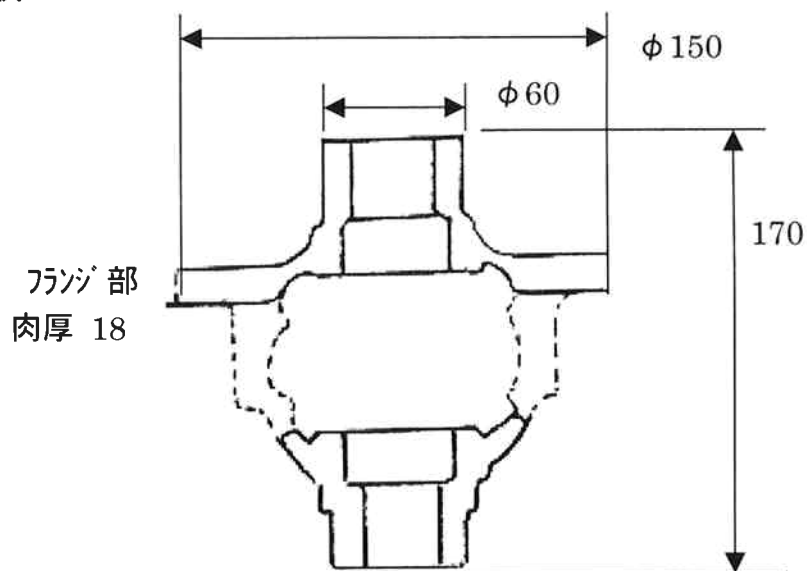
表 1 部品の特性

製品内容	部品名	クロスカース	用途	建設機械部品
	材質	F C D 4 5 0	単重(kg)	4.5
	数量〔個/月〕	1 0 0 個		
	鑄造品とした理由	複雑形状部品		
生産内容	造型法	生型造型	中子の有無	有り
	枠寸法	800×600×250/200	込め数	3 個/枠
	造型数	150 枠/時間		

2. 部品の用途



3. 部品の形状



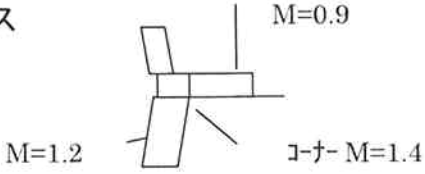
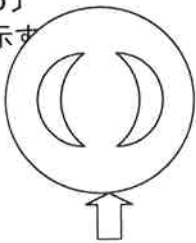
4. 鑄造条件のフォーマット

表 2 鑄造条件フォーマット

品	クロスケース									
材質	FCD 450									
溶解	配合 %	銑鉄	ｽﾃｰﾙ	戻り材						
		17	30	53						
	添加剤	銘柄	可炭	Fe-Si	球化剤	接種剤				
		%	12	5.2	8	3				
	目標成分	元素	C	Si	Mn	P	S	Mg		
		炉中	3.8	1.8	0.35	0.008	0.010			
製品		3.75	2.6				0.030			
注湯	単 重		個／枠	鑄込み重量		鑄込み温度		鑄込み時間	鑄造歩留り	
	4.5 Kg		3 個／枠	13.5 Kg		1420~1340 ℃		11 秒 ／枠	5 0 %	
	その他									
中子	中子の種類		1	2		3				
	機 械 名									
	材 料 名		ｼｰﾙ中子							
	造 型 条 件	金型温度	180~260							
		焼成時間	80							
		ﾌﾞﾛｰ圧	3							
		ﾌﾞﾛｰ時間	2							
	塗 型		無							
	乾燥時間									
取り数/型		1								
システム サント・ 鑄型	配 合	配 合	古砂	水		粘結剤		ｼｰｺｰﾙ	ﾀﾞｽﾄ	
		投入量	1.8 t	適量		0.4 %		0.04 %		
		狙い値	99%						≤ 2%	
	特 性 値	特 性	CB 値	水分		抗圧力		通気度		
		管理値	38±4	2~4 %		≥1.2		≥140		
		測定周期	2 時間毎							
	組 成 値	組 成	T.C	A.C		IG-LOS		OC	AFS	
		管理基準	9.5 ~12	6.8~9		2.2~4		14~22	58~62	
		測定周期	2 回/週						1 回/月	2 回/週
	その他									
	造型条件		湯口位置	上型厚み	下型厚み		ﾌﾞﾛｰ圧		ｽｸｲｽﾞ 圧	
			中央	250mm	200mm		ﾊﾞｰﾙ		—	

5. 方案設計

表 3 方案設計の手順

1. 製品の鑄込み姿勢・ 断面〔見切り面〕 決め	砂型がスムーズに抜ける 中子を作り易い 中子が収まり易く、鑄バリが最少 以上より、丸フランジ部両面加工面である事より、 フランジ端面を断面とした。
2. 堰の位置決め	本製品の断面より、凝固時の溶湯供給ルートが確保されるか検証 断面付近のモジュラス 右略図より、 コーナ部の凝固が遅れ 内部欠陥が残る。  〔加工面に出る事が想定される〕 右図は断面直下位置の輪切り断面を示す コーナ部のない部位である 矢印に堰を設ける。 コーナ部の欠陥は内部に 移動して安定する、 又当該部の欠陥は中子に 冷し金を抱かせて凝固を早め 欠陥を無くすか極力小さくする。 
3. 堰と押湯の サイズを決める	堰前の製品モジュラス M_c より、堰モジュラス M_n と 押湯モジュラス M_r を決め、堰と押湯サイズを決める。 凝固順 $M_r > M_c > M_n$ 参考 当方の標準 $M_r > 1.2M_c$ $M_n < 0.5 M_c$ 決定結果を表に示す 押湯のサイズとモジュラスの表を表に示す
4. 型配置. 決め	製品と堰・押湯をワンセットとして、配置を決める 外枠からの砂付き 30mm 確保〔当方標準 $\geq 30\text{mm}$〕 中子セットのやり易さ、スムーズな湯流れを確保
5. 湯道決め	湯流れ時、空気の巻き込み防止のため、湯がいつも湯道に満たされる様に 第 2 湯道は湯口面積より大きくしない。 凝固時、押湯から製品に供給される溶湯が湯道へいかないように $M_n \geq$ 湯道モジュラス 以上の条件を満たすように決めた。

6.モジュラス比の設定例

表 4 モジュラス比設定例 単位：mm (モジュラス：cm)

	形状	体積 (堰・湯道は単位 長さ当り)	モジュラス [Cm]
製品 堰前形状	厚み 18		0.9
堰	27/32 × 14	413	0.47
押し湯	48/75 × 90	381000	1.34
第 1 湯道	15/25 × 30	600	0.61
	15/20 × 20	350	0.4
第 2 湯道	8/17 × 17	212	0.35

表 5 湯口比設定例

湯口	第 1 湯道	第 2 湯道	堰
1	1.5	1.0	2.0
610	600 + 350	212 × 3 本	413 × 3 ヶ

7. 鑄造方案事例

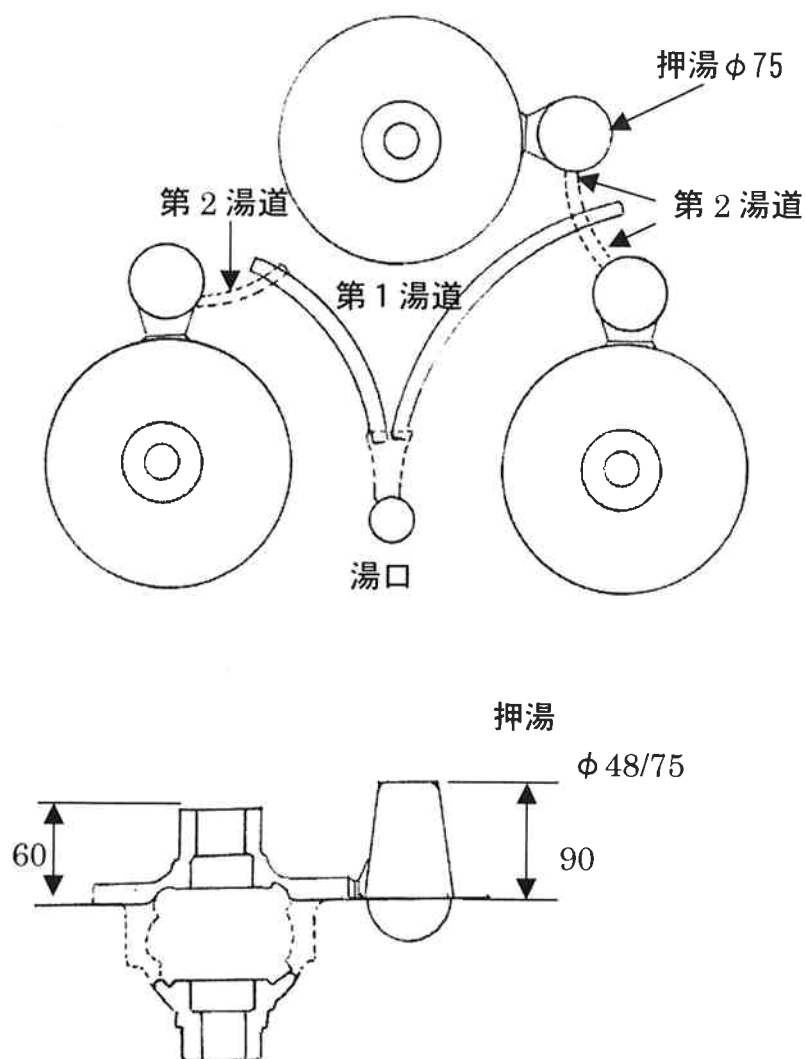


図 3 製品の鑄造方案事例

6. 2 車 輪

1. 鋳物部品の特性

表 1 部品の特性

製品内容	部品名	車輪	用途	建設荷役部品
	材質	F C D 4 5 0	単重(kg)	8.8
	数量〔個/月〕	50ヶ		
	鋳造品とした理由	複雑形状部品		
生産内容	造型法	生型造型	中子の有無	有り
	枠寸法	800×600×250/200	込め数	2 個/枠
	造型数	150 枠/時間		

2. 部品の用途

クレーン用車輪

巻き上げモーター
を載せレール上を
移動する

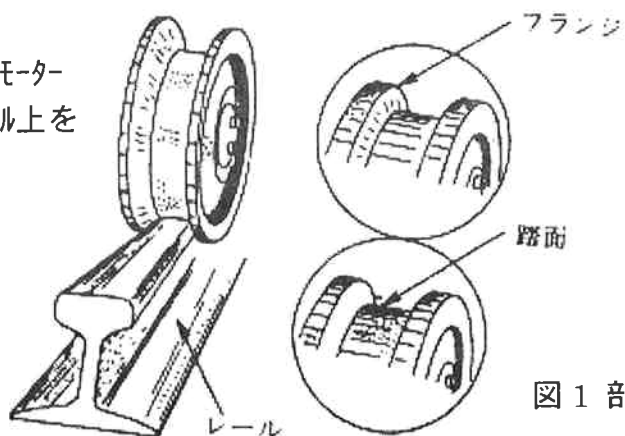
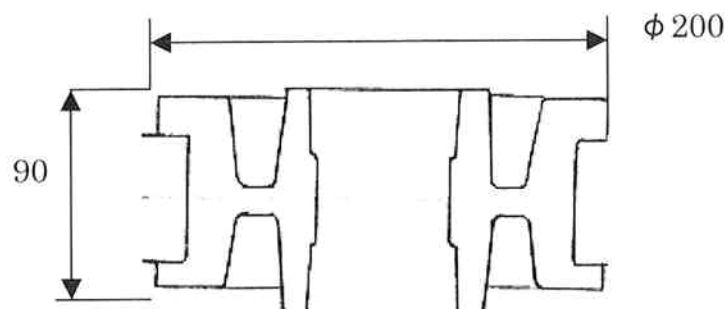


図 1 部品用途

3. 部品の形状



断面図を示す

図 2 車輪形状

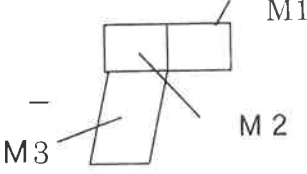
4 鑄造条件のフォーマット

表 2 鑄造条件のフォーマット

品名	車輪								
材質	FCD 450								
溶解	配合	銑鉄	スチール	戻り材					
	%	17	30	53					
添加剤	銘柄	可炭	Fe-Si	球化剤	接種剤				
	%	12	5.2	8	3				
目標成分	元素	C	Si	Mn	P	S	Mg		
	炉中	3.8	1.8	0.35	0.008	0.010			
	製品	3.75	2.6				0.030		
注	単 重	個／枠	鑄込み重量	鑄込み温度	鑄込み時間	鑄造歩留り			
湯	8.8 Kg	2 個 ／枠	17.6 Kg	1420~1340 ℃	12 秒 ／枠	56 %			
	その他								
中子	中子の種類	1	2	3	4				
	機 械 名								
	材 料 名	コールドボックス中子							
	造リン添加	1.4%							
	型ガassing 時間	50 秒							
	条件ブロー圧	3							
	ブロー時間	2							
	塗 型	無							
	乾燥時間								
	取り数/型	1							
システムサント・鑄型	配 合	古砂	水	粘結剤	シコール	ダスト			
	投入量	1.8 t	適量	0.4 %	0.04 %				
	狙い値	99%				≤ 2%			
	特 性	CB 値	水分	抗圧力	通気度				
	管理値	37~43%	2~4 %	≥1.2	≥140				
	測定周期	2 時間毎							
	組 成	T.C	A.C	IG-LOS	OC	AFS			
	管理基準	9.5 ~12	6.8~9	2.2~4	14~22	58~62			
	測定周期	2 回/週				1 回/月	2 回/週		
	その他								
	造型条件	湯口位置	上型厚み	下型厚み	ブロー圧	スライブ 圧			
		中央	250mm	200mm	パ ー ル	—			

5 方案設計

表 3 方案設計の手順

1 製品の鑄込み 姿勢・割面〔見切り面〕 決め	砂型がスムーズに抜ける 中子を作り易い 中子が収まり易く、鑄バリが最少 以上より、丸フランジ部両面加工面である事より、フランジ端面を割面とした。
2. 堰の位置決め	本製品の断面より、凝固時の溶湯供給ルートが確保されるか検証 (M1.2.3 を右図に示す) $M1 \geq M2 \geq M3$ の関係になっている $M1=0.85$ $M2=0.75$ $M3=0.65$ 最終凝固が堰まえとなり 順次凝固が中央から堰まえへと移り、 堰まえの溶湯収縮分の供給を押湯から出来れば良いことになる。 
3. 堰と押湯の サイズを決める	堰前の製品モジュラス M_c より、堰モジュラス M_n と押湯モジュラス M_r を決め、堰と押湯サイズを決める。 凝固順 $M_r > M_c > M_n$ 参考 当方の標準 $M_r > 1.2 M_c \quad M_n < 0.5 M_c$ 上記の関係より [単位:mm] 押湯 $M_r \geq 1.3$ より 75 径の押湯とした 堰 $M_n \leq 0.43$ より 20 巾×14 厚みとした
4. 型配置. 決め	模型と堰・押湯をワンセットとして、配置を決める 模型と巾木の外周は十分に砂付きがとれる事より シマ部の造型性を考慮しプレート中央よりに配置した。 中子セットのやり易さ、スムーズな湯流れ確保
5. 湯道決め	湯流れ時、空気の巻込み防止のため、湯がいつも湯道に満たされる様に 第二湯道は湯口面積より大きくしない。 凝固時、押湯から製品に供給される溶湯が湯道へいかないように $M_n \geq$ 湯道モジュラス 以上の条件を満たすように決めた。

6 モジュラス比の設定例

表 4 モジュラス比の設定例 単位：mm(モジュラス:cm)

	形状	体積・断面積 (堰・湯道)	モジュラス [Cm]
模型 堰前形状	厚み 17		0.85
堰	20 × 14	280	0.41
押し湯	48/75 × 90	381000	1.34
第 1 湯道	14/22 × 26	468	0.53
第 2 湯道	12/18 × 22	330	0.45

表 5 湯口比設定例

湯口	第一湯道	第二湯道	堰
1	1.5	1.1	0.9
610	468 × 2 本	330 × 本	280 × 2 本

7. 鑄造方案事例

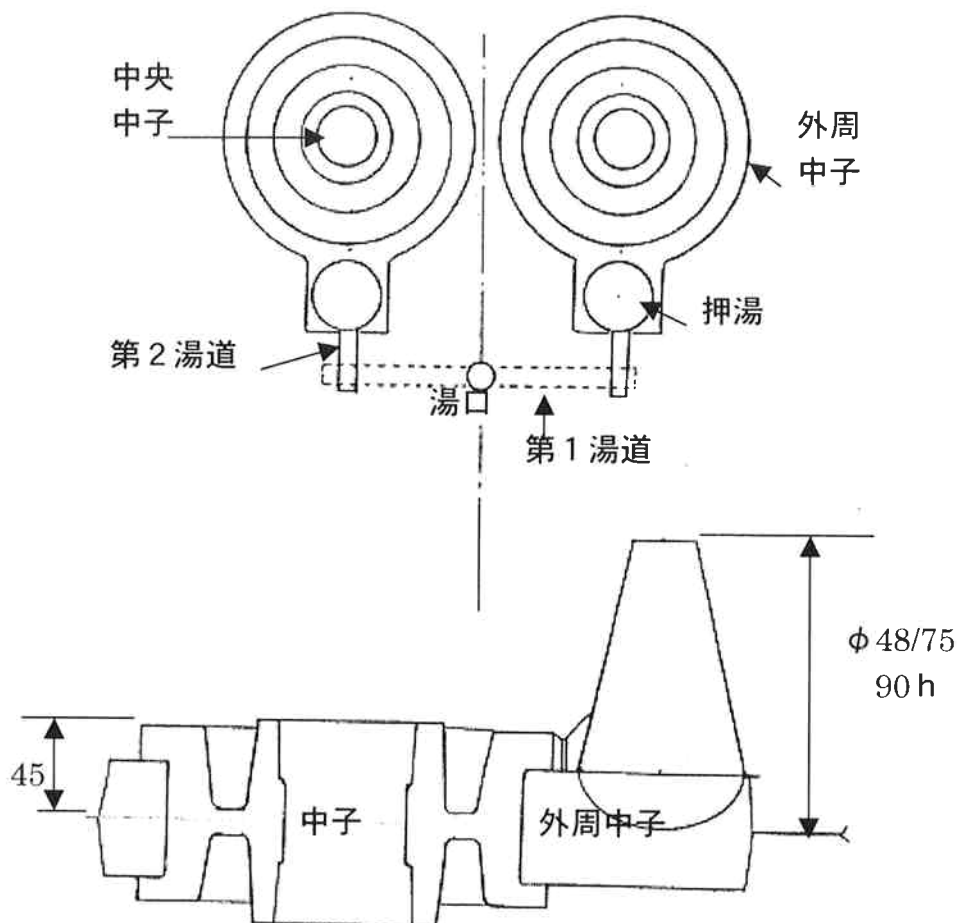


図 3 車輪の鑄造方案例

6.3 ブラケットスプリングギア

1. 鑄造部品の特性

表 1 製品の特性

製品内容	部品名	ブラケットスプリングギア	用途	自動車部品
	材質	F C D 4 5 0	単重(kg)	6.2
	数量〔個/月〕	100ヶ		
	鑄造品とした理由	複雑形状部品		
生産内容	造型法	生型造型	中子の有無	有り
	枠寸法	800×600×250/200	込め数	4 個/枠
	造型数	150 枠/時間		

2. 部品の用途

トラックのシャーシと荷台間のスプリングの留め
ブラケット

3. 部品の形状

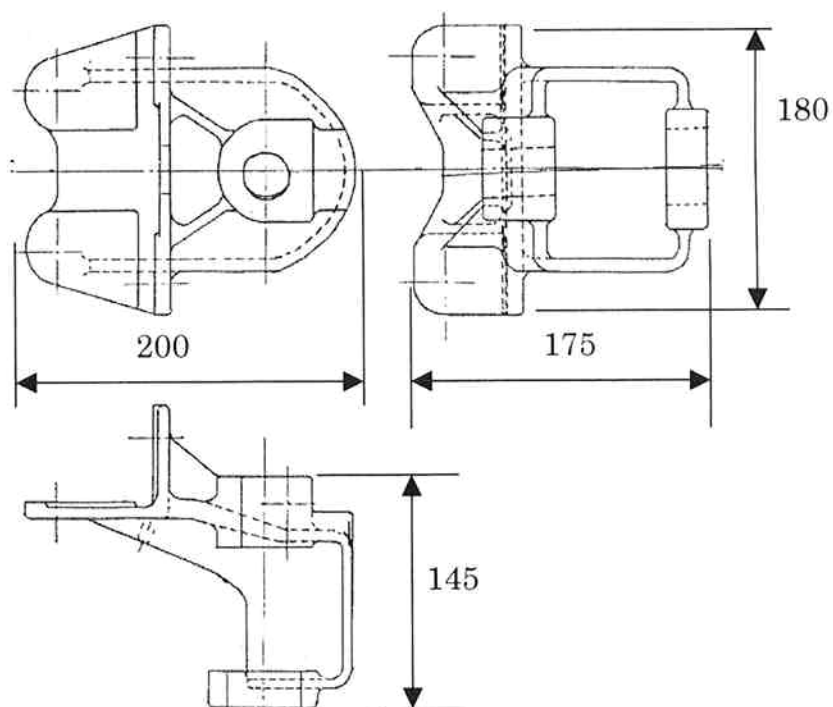


図 1 製品形状

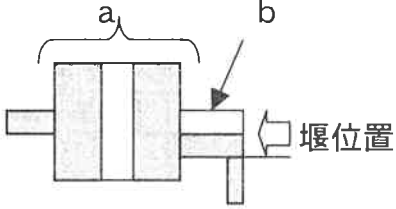
4. 鑄造条件のフォーマット

表 2 鑄造条件フォーマット

品名	ブ ラケットステアリングギア								
材質	FCD 450								
溶解	配合	銑鉄	スチール	戻り材					
	%	17	30	53					
添加剤	銘柄	可炭	Fe-Si	球化剤	接種剤				
	%	12	5.2	8	3				
目標成分	元素	C	Si	Mn	P	S	Mg		
	炉中	3.8	1.8	0.35	0.008	0.010			
	製品	3.75	2.6				0.030		
注	単 重	個／枠	鑄込み重量	鑄込み温度	鑄込み時間	鑄造歩留り			
湯	6.2 Kg	4 個／枠	24.8 Kg	1420~1340 ℃	12 秒 ／枠	5 8 %			
	その他								
中子	中子の種類	1	2	3	4				
	機 械 名								
	材 料 名	コールドボックス中子							
造	レジン添加	1.4%							
型	ガッシング時間	50 秒							
条件	ブロー圧	3							
	ブロー時間	2							
	塗 型	無							
	乾燥時間								
	取り数/型	1							
システム サンド・ 鑄型	配 合	古砂	水	粘結剤	シーコール	ダスト			
	投入量	1.8 t	適量	0.4 %	0.04 %				
	狙い値	99%				≤ 2%			
特性値	特 性	CB 値	水分	抗圧力	通気度				
	管理値	37~43%	2~4 %	≥1.2	≥140				
	測定周期	2 時間毎							
組成値	組 成	T.C	A.C	IG-LOS	OC	AFS			
	管理基準	9.5 ~12	6.8~9	2.2~4	14~22	58~62			
	測定周期	2 回/週			1 回/月	2 回/週			
	その他								
造型条件	湯口位置	上型厚み	下型厚み	ブロー圧	スライブ圧				
	中央	250mm	200mm	バール	—				

5. 方案設計

表 3 方案設計手順

1. 製品の鑄込み姿勢・ 型割面の決め	砂型がスムーズに抜ける 中子が最少に出来る 〔中子は1ヶに成るよう形状変更の申請をした〕 中子が収まり易い、 以上より、型割面を決めた。
2. 堰の位置決め	本製品の断面より、凝固時の溶湯供給ルートが確保されるか検証 割面付近のモジュラス 右略図(断面)より、 a 部位 $M=0.95$ b 部位 $M=0.35$  a 部位は 孤立した肉厚部で、凝固時の溶湯の補給が押湯から出来ない 又 型割面は、形状からこの位置に決めた。 a 部位への溶湯供給路を確保するため b 部位に  肉盛し対応をはかった $M=0.35 \Rightarrow 0.64$ となり、供給路を確保した。
3. 堰と押湯の サイズを決める	堰前の製品モジュラス M_c より、堰モジュラス M_n と押湯モジュラス M_r を決め、堰と押湯サイズを決める。 凝固順 $M_r > M_c > M_n$ 参考 当方の標準 $M_r > 1.2M_c$ $M_n < 0.5 M_c$ 堰 ; $M_n=0.47$ (0.95×0.5) $\rightarrow$ 1.5/2.5 $\times$ 1.8 cm 押湯 ; $M_r=1.25$ (0.95×1.3) $\rightarrow$ 70 押湯
4. 型配置決め	製品と堰・押湯をワンセットとして、配置を決める 外枠からの砂付き 30mm 確保〔当方標準 $\geq 30\text{mm}$〕 中子セットのやり易さ、スムーズな湯流れ確保
5. 湯道決め	湯流れ時、空気の巻込み防止のため、湯がいつも湯道に満たされる様に 第二湯道は湯口面積より大きくしない。 凝固時、押湯から製品に供給される溶湯が湯道へいかないように $M_n \geq$ 湯道モジュラス 以上の条件を満たすように決めた。

6.モジュラス比の設定例

表 4 モジュラス比設定例 単位：mm (モジュラス：cm)

	形状	体積・断面堰 (堰・湯道)	モジュラス 〔Cm〕
製品 堰前形状	厚み 16		0.63
堰	15/25 × 18	360	0.47
押し湯	30/70 × 130	340000	1.25
第1湯道	10/20 × 30	450	0.5
第2湯道	7/12 × 20	190	0.3
	7/17 × 18	216	0.37

表 5 湯口比設定例

湯口	第一湯道	第二湯道	堰
1	0.74	1.0	2.4
610	450	190+216×2 本	360×4ヶ

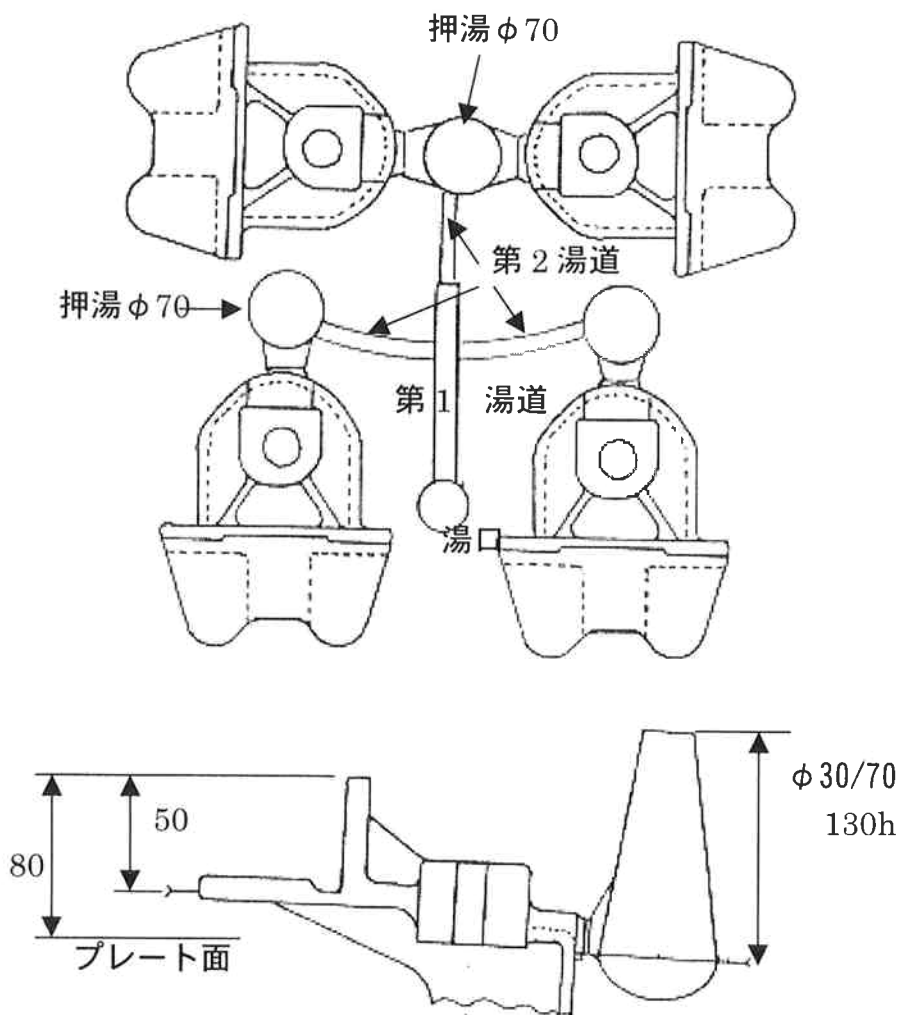


図 2 製品の鋳造方案事例

6. 4 シリンダーディスクブレーキの事例

1. 鋳物部品の特性

表 1 部品の特性

製品内容	部 品 名	シリンダー ディスクブレーキ	用途	自動車用 ブレーキ部品
	材 質	F C D 4 5 0	単重	3.5 k g
	数量 (個/月)	9 0 0 0		
	鋳造品とした理由	・ 油圧部品 ・ 複雑形状部品		
生産内容	造型法	縦見切り無枠砂型鋳造	中子有無	有り
	モールド 寸 法	525 × 650 × 210~310 (縦) × (横) × (厚) mm	込 数	4 個
	造型能力	3 2 0 枠/時間		

2. 部品の用途

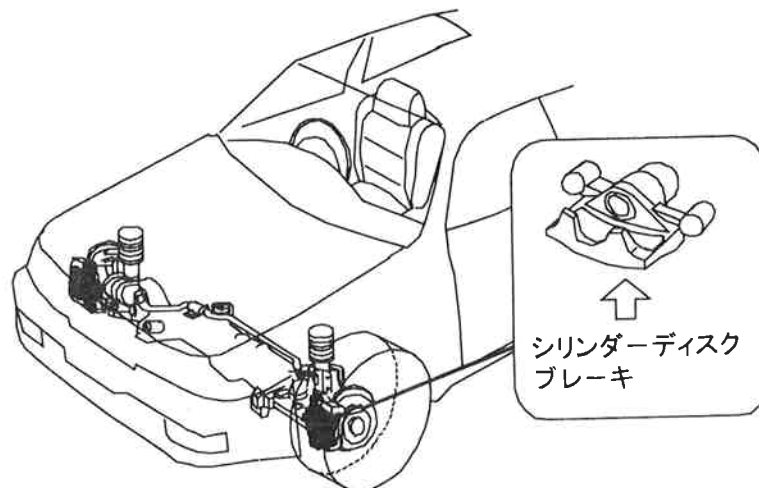


図 1 部品の用途

3. 部品の形状

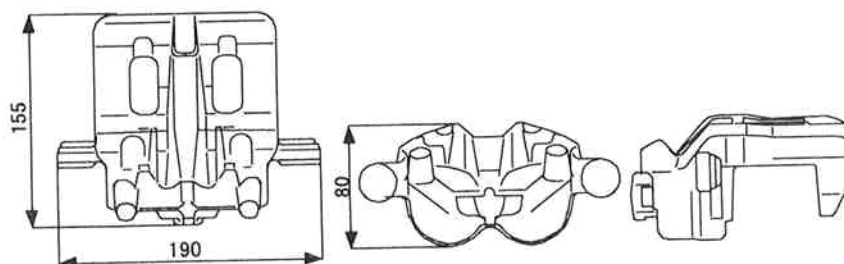


図 2 シリンダーディスクブレーキ部品形状

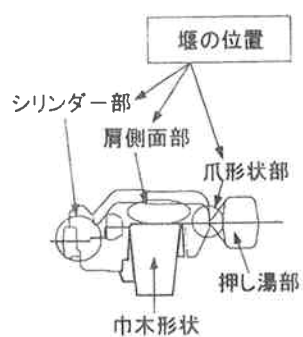
4. 鑄造条件のフォーマット

表2 鑄造条件のフォーマット

品 名		シリンダーディスクブレーキ										
材 質		F C D 4 5 0										
溶 解	配合 (%)	鋼屑			戻し材							
		4 0			6 0							
	接種材 添加剤	銘柄	フェロシリコン			フェロマンガン			加炭剤			
		%	0. 5			0. 0 5			0. 1			
	目 標 成分	元素	C	S i	M n	P	S	M g				
		炉中	3.75	1.60	0.20	0.1	0.01	0.01				
			~	~	~	以下	~	以下				
製品		3.90	1.80	0.30		0.03						
	3.50	2.50	0.8	0.1	0.02	0.03						
	~	~	以下	以下	以下	~						
	3.95	3.30				0.06						
注 湯	単 重 (k g)	込め数 (個/枠)		鑄込重量 (k g)		鑄込温度 (℃)		鑄込時間 (秒)		方案歩留 (%)		
	3. 5	4		2 6		1370~ 1450		6.5~ 7.5		5 3. 8		
中子造型	中子の種類			1			2					
	機械名			垂直割反転式マシン								
	材料名			シエル中子								
	造 型 条件	レジン添加			3 %							
		焼成時間			5 5 秒							
		ブロー圧			3 kg/c m ²							
		ブロー時間			2 秒							
	塗 型			なし								
	乾燥時間			なし								
	取り数/型			6 個								
システム サンド 鑄型	配 合	配合		古砂	水	粘結剤	石炭粉	微粉	でん粉			
		投入量		2.4t	適量	24kg	9.6kg	12kg	0.72kg			
		狙い値		99%	—	1%	0.4%	0.5%	0.03%			
	特性値	特性		C B 値			通気度		抗圧力			
		管理値		35~45%			36~56mmAq		1.5~1.9kg/c m ²			
		測定周期		抜き取り			抜き取り		抜き取り			
	組成値	組 成		T. C		A. C		全炭素量		A F S		
		管理基準		9.0~13%		7.0~10%		3.05~4.75%		58~62		
		測定周期		2 回/日		1 回/日		4 回/日		1 回/週		
	造 型 条 件	湯口位置		モールド厚			ブロー圧		スクイズ圧			
		中 央		210~310mm			2.5~3.5bar		50~65kg/c m ²			

5. 方案設計の手順

表 3 方案設計の手順

1. 製品の鑄込み姿勢 断面（見切り面）決め  図 3 見切りと巾木設定図	・位置が決まりやすい中子巾木形状を確保する。 ・砂型の抜型性と方案設定を考慮する。 ・ダ肉欠肉の少ない見切り設定とする。 ・製品品質を優先した鑄込み姿勢とする。 ・見切りの単純化を図る。 ・シリンダー中央部を見切り面とする。 （図 3 に見切りと巾木設定例を示す）
2. 堰（湯口）の位置決め  図 4 堰位置の設定	・堰は、図 4 に示す位置で検討する。 ・品質的に問題が発生し易い厚肉部に堰を設定する。 ・凝固収縮によるヒケ巣の発生防止として溶湯補給に有効な押し湯と堰を設定する ・堰折り性を考慮して堰位置を決める。 ・堰の設定数は、製品の大きさにもよるが基本的に 1 箇所とする。
3. 堰（湯口）と押し湯の サイズを決める	・堰前の製品モジュラス M_c と押し湯モジュラス M_r により、モジュラス比 1.0～2.0 の範囲で押し湯のサイズを設定する。 ・堰の大きさは、堰折り性と押し湯効果を考慮して決定する。
4. 型配置決め	・外枠から砂付き 30～40mm 以上確保して製品部／巾木部／方案部の配置を設定する。 ・製品／堰／押し湯を 1 セットとし、他に湯道設定スペースを確保して検討する。
5. 湯道決め	・溶湯の流速を制御し、製品部へのスラグの流入を防止する目的で湯道と湯道の間に板湯道を設定する。 ・湯口比は下記の様に断面積を設定する。 主湯道 > 板湯道 > 副湯道 > 堰 断面積 > 断面積 > 断面積 > 断面積合計

6. モジュラス比の設定例

表4 モジュラス比の設定例

設定例	押し湯モジュラス	製品モジュラス	モジュラス比
	(Mr) 7.7	(Mc) 7.7	1.0
	押し湯形状 40×40×70 (縦×横×高) mm	堰前製品形状 30×58×32 (縦×横×高) mm	

7. 湯口比の設定例

表5 断面積設定基本計算式

$$F = \frac{K \times G}{T \times m \times \sqrt{H}}$$

F: 湯道断面積(mm²)
 K: 係数(当社1036)
 G: 重量(kg)
 T: 鑄込み時間(秒)
 m: ロス係数(0~1)
 H: 湯口上面からの高さ(mm)

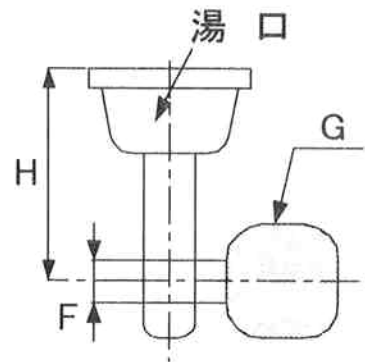


図5 湯道断面積設定方法

表6 湯口比設定例

湯口比	方案名称	主湯道	板湯道	副湯道	堰
	形状寸法 (mm)	20×20・20×30 W×H・W×H	190×3 L×t	15×20×2 W×H×ヶ所	20×7×4 L×t×ヶ所
	断面積	770	576	530	507
	湯口比	1	0.8	0.7	0.7

(断面積単位: mm²)

8. 鑄造方案例

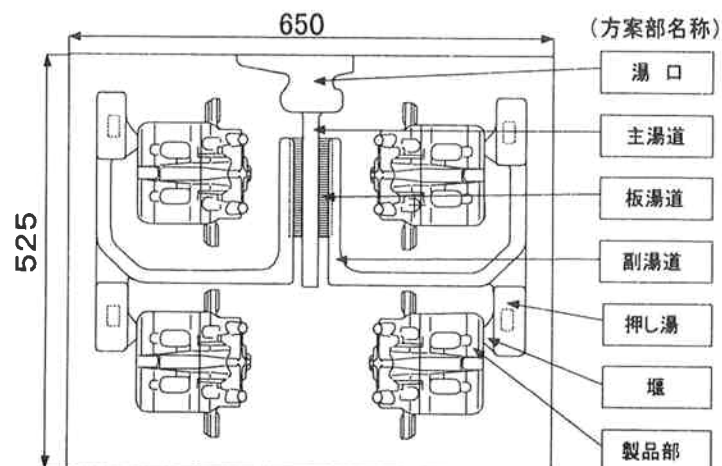


図6 シリンダーディスクブレーキの鑄造方案例

6. 5 サポートマウンティングの事例

1. 鋳物部品の特性

表1 部品の特性

製品内容	部 品 名	サポート マウンティング	用途	自動車用 ブレーキ部品
	材 質	F C D 4 5 0	単重	2. 5 k g
	数量 (個/月)	7 0 0 0		
	鋳造品とした理由	・ 高剛性部品 ・ 複雑形状部品		
生産内容	造型法	縦見切り無枠砂型鋳造	中子有無	無し
	モールド 寸 法	525 × 650 × 210~310 (縦) × (横) × (厚) mm	込 数	4 個
	造型能力	3 2 0 枠/時間		

2. 部品の用途

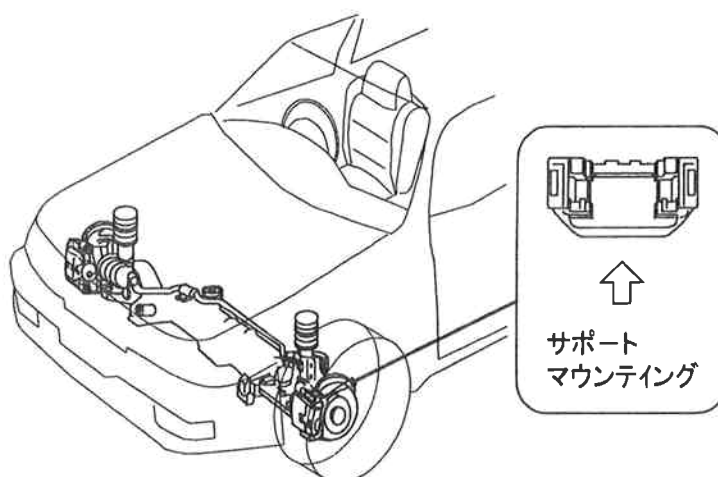


図1 部品の用途

3. 部品の形状

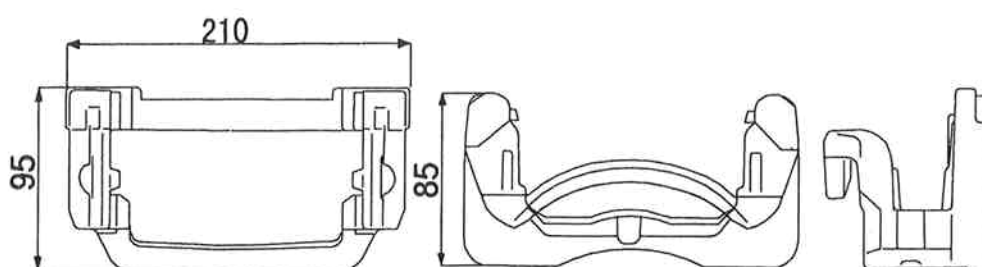


図2 サポートマウンティング部品形状

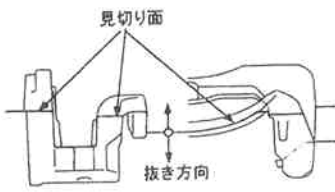
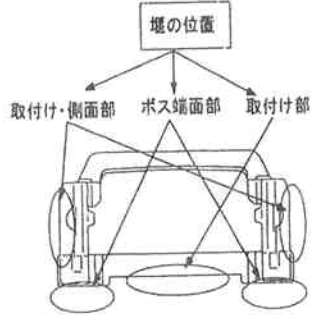
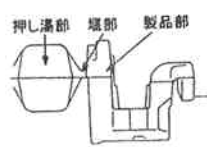
4. 鑄造条件のフォーマット

表2 鑄造条件のフォーマット

品 名		サポートマウンティング										
材 質		F C D 4 5 0										
溶	配合 (%)	鋼屑			戻し材							
		4 0			6 0							
	接種材 添加剤	銘柄	フェロシリコン			フェロマンガ			加炭剤			
		%	0. 5			0. 0 5			0. 1			
	解	目 標 成分	元素	C	S i	M n	P	S	M g			
炉中			3.75	1.60	0.20	0.1 以下	0.01	0.01 以下				
			~	~	~		~		~			
製品			3.90	1.80	0.30	0.1 以下	0.03	0.03 ~ 0.06				
			3.50 ~ 3.95	2.50 ~ 3.30	0.8 以下		0.02 以下					
注 湯	単 重 (k g)	込め数 (個/枠)	鑄込重量 (k g)		鑄込温度 (℃)		鑄込時間 (秒)		方案歩留 (%)			
	2. 5	4	2 5		1370~ 1450		6.5~ 7.5		4 0			
中 子 造 型	中子の種類		1				2					
	機械名											
	材料名											
	造 型 条 件	レジン添加										
		焼成時間										
		ブロー圧										
		ブロー時間										
	塗 型											
	乾燥時間											
取り数／型												
シ ス テ ム サ ン ド 鑄 型	配合	配合	古砂	水	粘結剤	石炭粉	微粉	でん粉				
		投入量	2.4t	適量	24kg	9.6kg	12kg	0.72kg				
		狙い値	99%	—	1%	0.4%	0.5%	0.03%				
	特性値	特性	C B 値			通気度		抗圧力				
		管理値	35~45%			36~56mmAq		1.5~1.9kg/c m ²				
		測定周期	抜き取り			抜き取り		抜き取り				
	組成値	組 成	T. C		A. C		全炭素量		A F S			
		管理基準	9.0~13%		7.0~10%		3.05~4.75%		58~62			
		測定周期	2 回／日		1 回／日		4 回／日		1 回/週			
	造 型 条 件	湯口位置	モールド厚			ブロー圧		スクイズ圧				
		中 央	210~310mm			2.5~3.5bar		50~65kg/c m ²				

5. 方案設計の手順

表 3 方案設計の手順

1. 製品の鋳込み姿勢 断面（見切り面）決め  図 9 見切り設定例	・ 中子の廃止ができる鋳込み姿勢及び見切り設定で検討する。 ・ できるだけ見切りの単純化を図る。 ・ 砂型の抜型性と方案設定を考慮する。 ・ 製品品質を優先した鋳込み姿勢とする。 ・ 図 9 に見切り設定例を示す。
2. 堰（湯口）の位置決め  図 10 堰位置の設定	・ 堰は、図 10 に示す位置で検討する。 ・ 品質的に問題が発生し易い厚肉部に堰を設定する。 ・ 凝固収縮によるヒケ巣の発生防止として溶湯補給に有効な押湯と堰を設定する。 ・ 後処理性を考慮して堰位置を決める。 ・ 堰の設定数は、製品の大きさにもよるが、基本的に 2 ヶ所とする。 ・ 方案例は、加工基準座位置及び、バリスリ性とヒケ巣防止を考慮しボス端面に堰を設定とする。
3. 堰（湯口）と押し湯の サイズを決める  図 11 堰前押し湯略図	・ 堰前の製品モジュラス M_c と押し湯モジュラス M_r により、モジュラス比 $1.0 \sim 1.8$ の範囲で押し湯の大きさを設定する。 ・ 堰の大きさは、堰折り性と押し湯効果を考慮して決定する。 ・ 図 11 に堰前押し湯の略図を示す。
4. 型配置決め	・ 外枠から砂付き 30~40mm 以上確保して製品部／巾木部／方案部を設定する。 ・ 製品／堰／押し湯を 1 セットとし、他に湯道設定スペースを確保して検討する。
5. 湯道決め	・ 溶湯の流速を制御し、製品部へのスラグの流入を防止する目的で湯道と湯道の間に板湯道を設定する。 ・ 湯口比は下記のように断面積を設定する。 主湯道 > 副湯道 > 板湯道 > 堰 断面積 > 断面積 > 断面積 > 断面積合計 ・ 落とし込み方案を基本とする。

6. モジュラス比の設定例

表 4 モジュラス比の設定例

設定例	押し湯モジュラス	製品モジュラス	モジュラス比
	(Mr) 7.0	(Mc) 4.3	1.6
	押し湯形状 40×40×55 (縦×横×高) mm	堰前製品形状 30×26×22 (縦×横×厚) mm	

7. 湯口比の設定例

表 5 断面積設定基本計算式

$$F = \frac{K \times G}{T \times m \times \sqrt{H}}$$

F: 湯道断面積(mm²)
 K: 係数(当社1036)
 G: 重量(kg)
 T: 鑄込み時間(秒)
 m: ロス係数(0~1)
 H: 湯口上面からの高さ(mm)

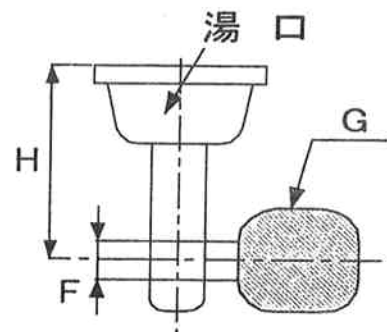


図 3 湯道断面積設定方法

表 6 湯口比設定例

湯口比	方案名称	主湯道	副湯道	板湯道	堰
	形状寸法 (mm)	30×30・30×20 W×H・W×H	25×25×2 W×H×ヶ所	160×3×2 L×t×ヶ所	20×4×12 L×t×ヶ所
	断面積	1270	1030	940	785
	湯口比	1	0.8	0.7	0.6

(断面積単位: mm²)

8. 鑄造方案例

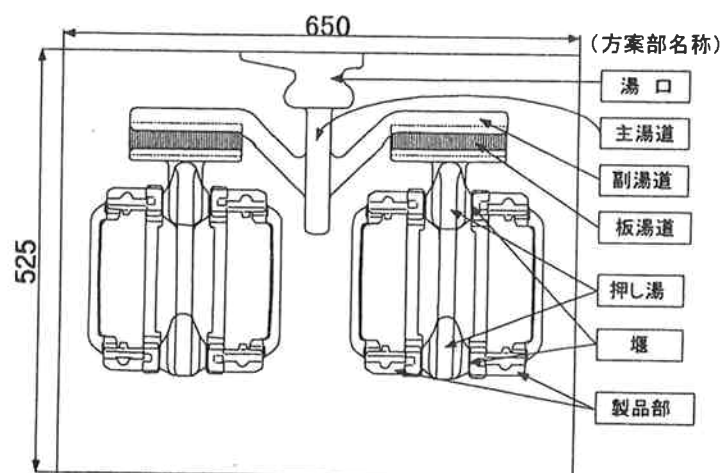


図 4 サポートマウンティングの鑄造方案例

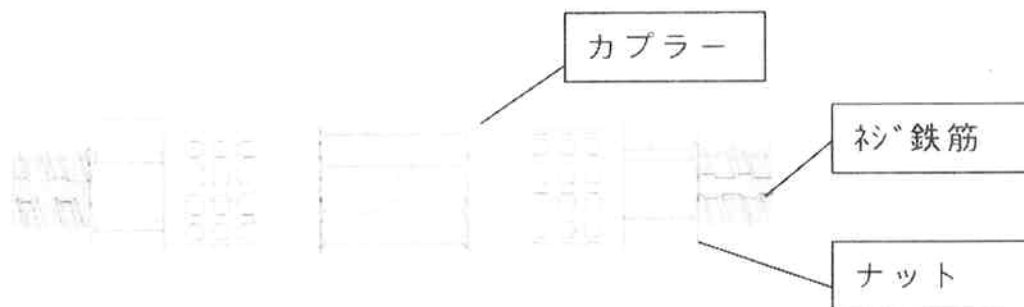
6.6 カプラーの事例

鑄造方案の事例

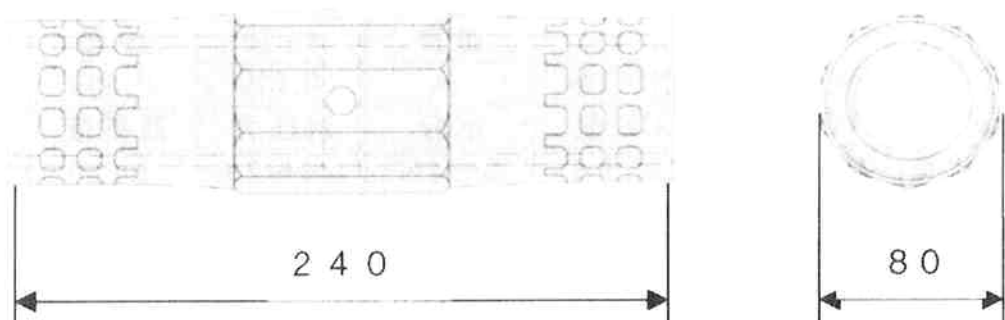
製品内容	部品名	カプラー	用途	継手
	材質	FCD1000A	単重(kg)	4.5kg
	数量(個/月)	500個		
	鑄造品とした理由 高剛性部品			
生産内容	造型法	無枠、生型造型	中子の有無	有り
	枠寸法	600×700×180～250/180～250	込め数	4個/枠
	造型数	90枠/時間		

部品の使用部署

ネジ鉄筋の接続に使用



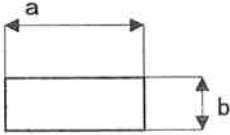
部品の形状



鑄造 方 案 の フォーマット

品名	カプラー							
材質	FCD1000A							
溶解	電気炉 配合%	銑鉄	スチール	戻り材	HOT			
		30	—	50	20			
	添加剤	銘柄	加炭材	Fe-Si	球化剤	Si 系接種剤		
		%			1.9	0.3		
	目標成分	元素	C	Si	Mn	P	S	Mg
		炉中	3.5~ 3.8	1.5~ 1.8	0.3 ~ 0.5	<0.04	<0.02	—
		製品	3.5~ 3.8	2.2~ 2.7	0.3~ 0.5	<0.04	<0.02	0.03~ 0.07
注湯	単重	個／枠	鑄込み重量	鑄込み温度	鑄込み時間	鑄造歩留り		
	4.5 kg	4 個／枠	26 kg	1380~ 1420℃	10 秒／枠	70 %		
	その他							
中子	中子の種類		1:製品芯		2	3		
	機械名							
	材料名							
	造 型 条 件	レジン添加						
		焼成時間	60					
		ブロー圧	3					
		ブロー時間	2					
	塗型		無					
	乾燥時間							
取り数／型		1						
システム サンド・ 鑄型	配 合	配合	古砂	水	粘結剤	シーコール	ダスト	
		投入量	2トン	適宜	45 秒	39 秒	70 秒	
	特 性 値	狙い値	99.1%	—	0.6%	0.2%	—	
		特性	CB 値	水分	抗圧力	通気度		
		管理値	38±4	2~4%	1.4~2.6	≥120		
	組 成 値	測定周期	ハッチ毎	5ハッチ毎				
		組成	T.C	A.C	IG-Loss	OC	AFS	
		管理基準	9.6~12	6.8~9.2	3.2	10.2~14.2	68.8~73.1	
	測 定 周 期	測定周期	1 回／週					
		その他						
		造型条件	湯口位置	上型厚み	下型厚み	ブロー圧	スクイズ圧	
		C	215mm	180mm	2.0	中		

方案設計
手順

1.製品の鑄込み 姿勢・ 断面（見切り面） 決め	①砂型がスムーズに抜ける。 ②中子が安定し、鑄バリがミニマム化。 ③鑄出し文字が設置できる。 ④注入孔が鑄抜きで形成できる。 以上により、鑄出し文字を底においた見切りとする。
2.堰（湯口）の 位置決め	①六角部に押し湯設置し、湯境不良・外ヒケ不良対策とする。 ②六角部に押し湯設置し、湯境不良・外ヒケ不良対策とする。
3.堰（湯口）と 押し湯のサイズを 決める	押し湯サイズはモジュラス法により決定する。 製品モジュラス計算 V_c: 製品体積 $M_c = V_c / S_c$ S_c: 製品冷却表面 押し湯直径 $D = 16 / 3 * 1.2 * M_c$ M_c: 製品モジュラス 押し湯高さ $H_o = 1.5D$ D: 押し湯直径 堰サイズ  $a : b = 3 : 1$ $b = 1.33 M_c$ 以上の計算により、押し湯径をφ45 高さ75とした。但し、垂直ブローによる砂充填性を考慮して 60 * 70 の楕円形状として、堰前の砂詰まりを有利にした。また、堰サイズは 25 * 8 が最適だが、堰折りを考慮して 50 * 4 に変更した。
4.型配置 決め	①配置は砂充填性が有利になる様、砂垂直ブロー方向と平行に設置した。 ②また、この方向に型ズレが生じても六角部の寸法公差に影響が出ない方向である。 ③砂付は50ミリ確保し、中子セットがし易い様、同じ方向にならべた。
5.型配置 決め	①湯流れ時、空気の巻込み防止の為、湯がいつも湯道に満たされる様、第2湯道は湯口面積より大きくしない。

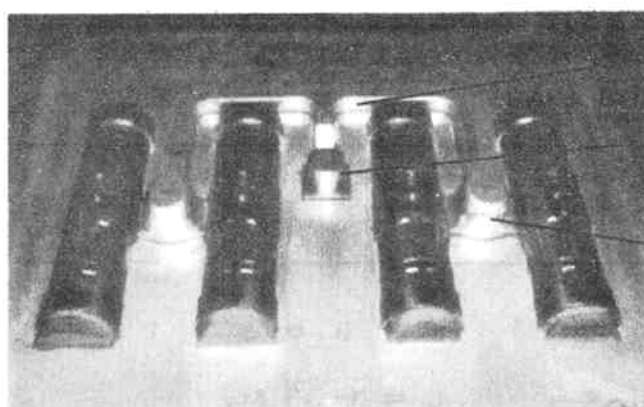
鑄造方案の事例

	形状	体積・断面積	モジュール(cm)
模型 堰前形状	板		0.7
堰	板	200mm ²	—
押し湯	φ50/φ60×60H	—	—
第一湯道	板	440mm ²	
第二湯道	板	400mm ²	

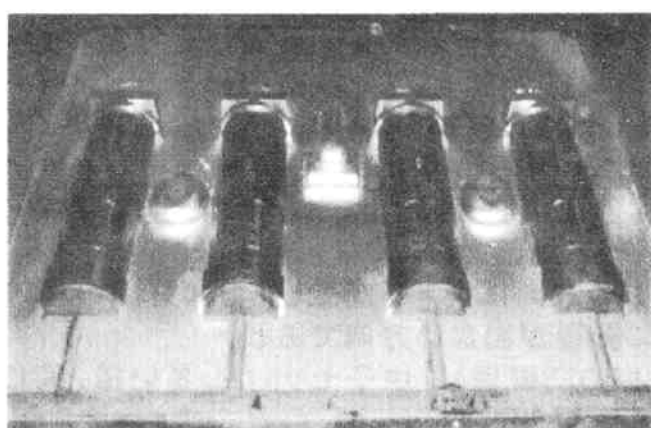
湯口比

湯口	第一湯道	第二湯道	堰
1	0.96	0.87	0.4

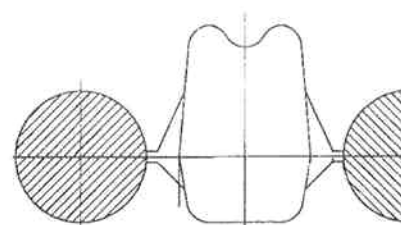
鑄造方案事例



上型面



下型面



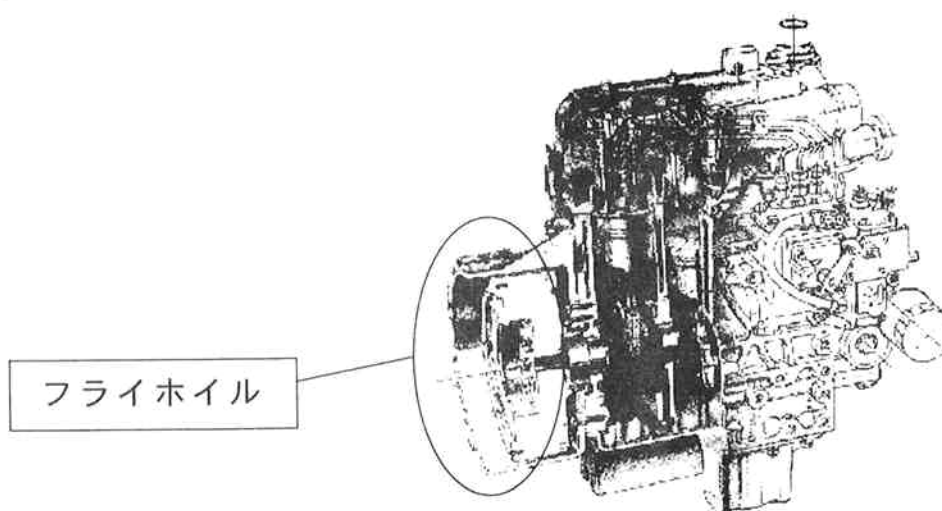
押し湯形状

6.7 フライホイルの事例

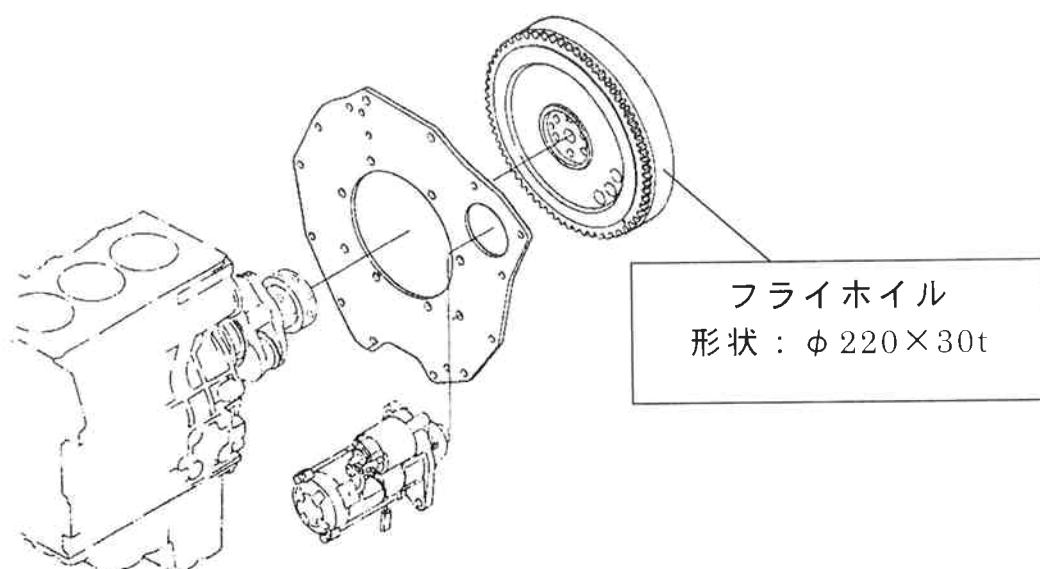
鋳造方案の事例

製品内容	部品名	フライホイール	用途	エンジン用部品	
	材質	FC250	単重(kg)	6kg	
	数量(個/月)	1000個			
	鋳造品とした理由				
生産内容	造型法	無枠、生型造型	中子の有無	無し	
	枠寸法	600×700×180～250/180～250		込め数	4個/枠
	造型数	90枠/時間			

部品の使用部署



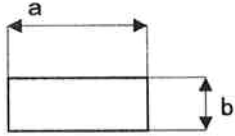
部品の形状



鑄造 方案のフォーマット

品名	フライホイル							
材質	FC250							
溶解	キュボラ配合%	銑鉄	スチール	戻り材				
		30	40	30				
	添加剤	銘柄	加炭材	Fe-Si	球化剤	Si 系接種剤		
		%	—	—	—	0.3		
	目標成分	元素	C	Si	Mn	P	S	Mg
		炉中	3.4~ 3.6	1.5~ 1.8	0.6 ~ 0.9	<0.12	<0.1	—
製品		3.35~ 3.6	1.7~ 2.1	0.6~ 0.9	<0.12	<0.1	—	
注湯	単重	個 / 枠	鑄込み重量	鑄込み温度	鑄込み時間	鑄造歩留り		
	6 kg	4 個 / 枠	35 kg	1380~ 1420℃	10 秒 / 枠	70 %		
	その他							
中子	中子の種類							
	機械名							
	材料名							
	造 型 条 件	レジン添加						
		ガッシング時間						
		ブロー圧						
		ブロー時間						
	塗型							
	乾燥時間							
取り数 / 型								
システム サンド・ 鑄型	配合	配合	古砂	水	粘結剤	シーコール	ダスト	
		投入量	2トン	適宜	45 秒	39 秒	70 秒	
		狙い値	99.1%	—	0.6%	0.2%	—	
	特性	特性	CB 値	水分	抗圧力	通気度		
		管理値	38±4	2~4%	1.4~2.6	≥120		
		測定周期	バッチ毎	5バッチ毎				
	組成	組成	T.C	A.C	IG-Loss	OC	AFS	
		管理基準	9.6~12	6.8~9.2	3.2	10.2~14.2	68.8~73.1	
		測定周期	1 回 / 週					
	その他							
	造型条件		湯口位置	上型厚み	下型厚み	ブロー圧	スクイズ圧	
C			215mm	180mm	2.0	中		

方案設計
手順

1.製品の鑄込み 姿勢・ 断面(見切り面) 決め	①砂型がスムーズに抜ける。 ②鑄バリがミニマム化。 ③解枠時に堰が折れる。 以上により、見切りを決定する。
2.堰(湯口)の 位置決め	①堰が折れやすい様、円弧に対し、垂直とした。
3.堰(湯口)と 押し湯のサイズを 決める	押し湯サイズはモジュラス法により決定する。 製品モジュラス計算 V_c : 製品体積 $M_c = V_c / S_c$ S_c : 製品冷却表面
	押し湯直径 $D = 16 / 3 * 1.2 * M_c$ M_c : 製品モジュラス
	押し湯高さ $H_o = 1.5D$ D : 押し湯直径
	堰サイズ  $a : b = 3 : 1$ $b = 1.33 M_c$ 以上の計算により、押し湯径をφ55 高さ80とした。 また、堰サイズは、堰折りを考慮して 50 * 4 に変更した。
4.型配置 決め	①キャビティ間の砂付き寸法を最小限とし、湯道が最小の長さとなる配置とした。
5.湯道 決め	①歩留りを考慮し、最小限になるよう検討した。

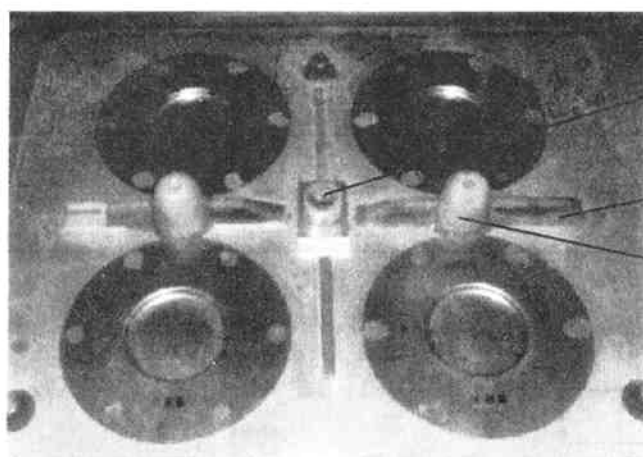
鑄造方案の事例

	形状	体積・断面積	モジュールス(cm)
模型 堰前形状	板		0.85
堰	板	200mm ²	—
押し湯	φ50/φ60×60H	—	—
第一湯道	板	440mm ²	—

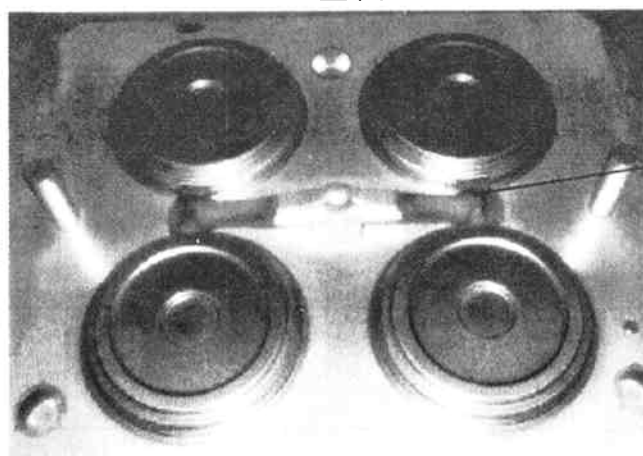
湯口比

湯口	第一湯道	第二湯道	堰
1	0.96	—	0.4

鑄造方案例



上型面



下型面

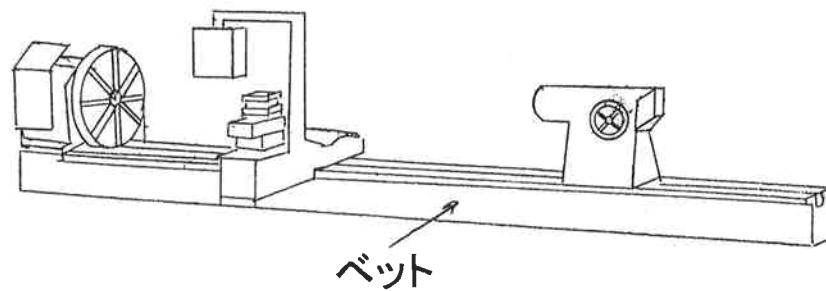
6. 8 旋盤ベット

鑄造方案の事例

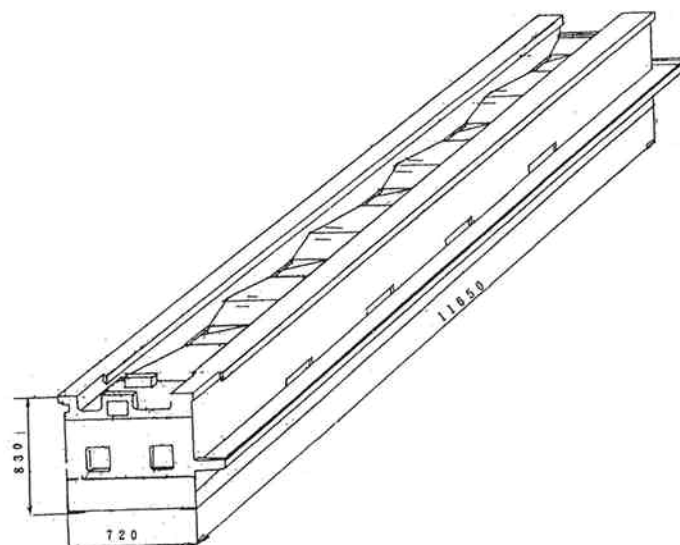
製品内容	部品名	旋盤ベット	用途	工作機械部品		
	材質	FC300焼入材	単重	11600 Kg		
	数量	6台(年産)				
	鑄造品とした理由		複雑形状・減衰能・複数台生産			
生産内容	造型法	フラン自硬性・手込め鑄型	中子	有り		
	枠寸法	900×2000(一部3000)×15000				
	造型時間	延べ4日間・120H				

部品の使用部署

工作機械CNC旋盤のベット



部品の形状



鑄造方案のフォーマット

品名	ベット							
材質	FC350焼入れ材							
溶解	電気炉	銑鉄	スチール	戻り屑				
	配合%	10	70	20				
	添加剤	加炭材	Fe-Si	球化剤	Si系接種剤			
	%				0.4			
	目標成分%	元素	C	Si	Mn	P	S	Cu
		炉中	3.05～ 3.20	1.25～ 1.45	0.80～ 0.90	<0.08	0.04～ 0.10	0.50～ 0.80
		製品	3.05～ 3.20	1.55～ 1.75	0.80～ 0.90		<0.08	0.04～ 0.10
中子	フランレジン		0.75 %					
主型	フランレジン		0.65 %					

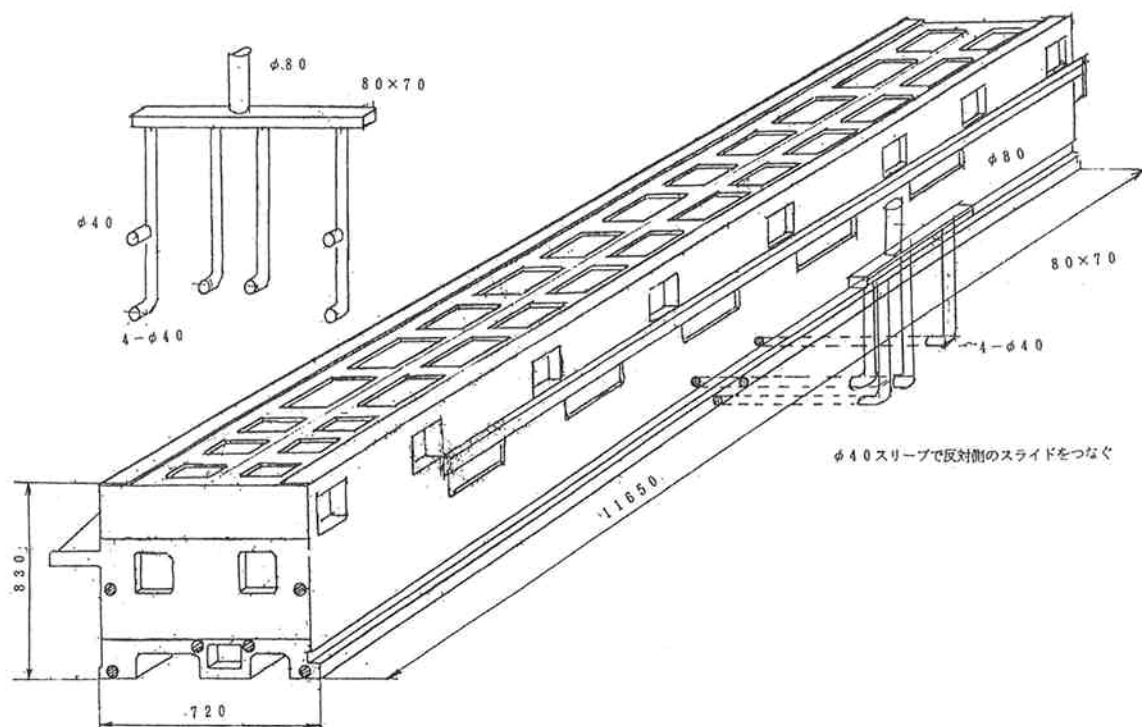
方案設計 手順

1. 金枠の種類	木型の大きさから置き型(反転しない)金枠とする
2. 取鍋の数	L>11000mmなので、3丁入れとする
3. 配湯重量	14000 Kg 各取鍋に均等配湯とする 取鍋・湯口・堰・配湯重量は方案の事例の表の通り
4. 逆反り (鑄型に変形と逆方向の曲りを付けること)	1)、肉厚のスライド部を持つ長いベットは、鑄造後スライド側に曲がる。(長尺ベットの反り)。 2)、反り量hは、ベットの長さLの二乗に比例する。 $h=kL^2$ 単位 h:mm, L:m 3)、Kは断面形状により決まる定数 0.1～0.3 4)、K値はスライド部の冷却速度に依るため、スライド部のモジュラスM_sが大きいと大きくなる。 5)、K値は、断面二次モーメントが大きいと、小さくなる。 6)、本機は実績より、K=0.219 逆反り $h=0.219 \times 11.65^2=30\text{mm}$

鑄造方案の事例

配湯重量	14000 Kg				
取鍋の数	3 丁				
配湯	位置	取鍋	湯口	堰	配湯重量 Kg
	南	7T	φ 80	φ 40 × 4	4700
	中	5T	φ 80	φ 40 × 4	4600
	北	5T	φ 80	φ 40 × 4	4700
湯口比	湯口	5024	1		
	湯道	11200	2.2		
	堰	5024	1		

鑄造方案の事例



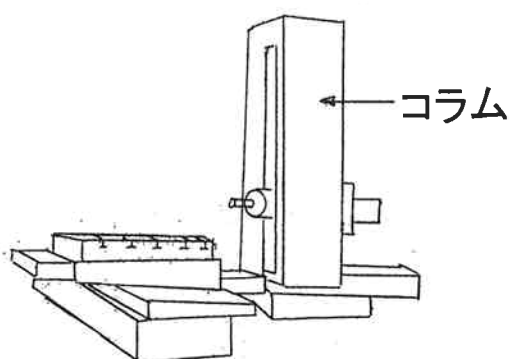
6. 9 横型 MC コラム

鑄造方案の事例

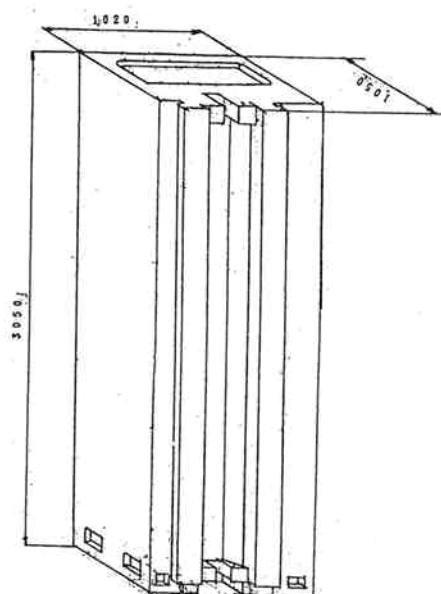
製品内容	部品名	横型MCコラム	用途	工作機械部品		
	材質	FC300	単重(Kg)	4400		
	数量	12台(年産)				
	鑄造品とした理由		切削性・減衰能・複数台生産			
生産内容	造型法	フラン自硬性・手込め		中子	有り	
	枠寸法	1200×1200×3600				
	造型時間	延べ2日間・38H				

部品の使用部署

工作機械横型マシニングセンターのコラム



部品の形状



鑄造方案のフォーマット

品名	コラム						
材質	FC300						
溶解	電気炉	銑鉄	スチール	戻り屑			
	配合%	10	70	20			
	添加剤	加炭材	Fe-Si	球化剤	Si系接種剤		
	%				0.4		
	目標成分	元素	C	Si	Mn	P	S
	%	炉中	3.05～ 3.25	1.35～ 1.55	0.75～ 0.85	<0.08	0.04～ 0.10
		製品	3.05～ 3.25	1.65～ 1.85	0.75～ 0.85	<0.08	0.04～ 0.10
中子	フランレジン		0.7 %				
主型	フランレジン		0.65 %				

方案設計 手順

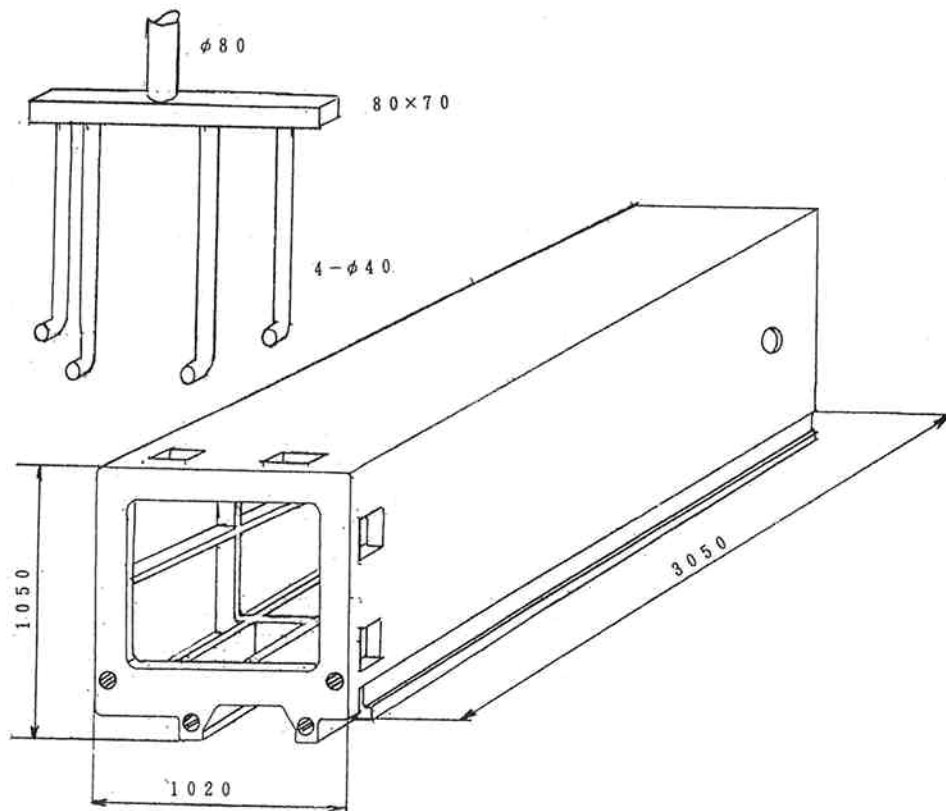
1. 金枠の種類	木型の大きさから反転型金枠とする
2. 取鍋の数	1丁入れとする
3. 配湯重量	5000 Kg 5T取鍋使用 取鍋・湯口・堰・配湯重量は方案の事例の通り

鑄造方案の事例

配湯重量Kg					5000
取鍋の数丁					1
配湯		取鍋	湯口	堰	配湯重量Kg
		5T	$\phi 80$	$\phi 40 \times 4$	5000

湯口比	湯口	5024	1
	湯道	11200	2.2
	堰	5024	1

鑄造方案の事例



6. 10 ベ어링素材

1. 鋳物部品の特性

表 1 部品の特性

製品内容	部品名	ベ어링素材	用途	家庭用電機部品	
	材質	FC250	単重	0.50 kg	
	数量（個／月）	80,000～100,000			
	鋳造品とした理由	最適素材			
生産内容	造型法	縦型生型造型		中子有無	ナシ
	モールド寸法	600×480×230～280		込め数	24ヶ
	造型能力	330 枠／時間			

2. 部品の用途

エアコン用コンプレッサー部品のベ어링素材

3. 部品の形状

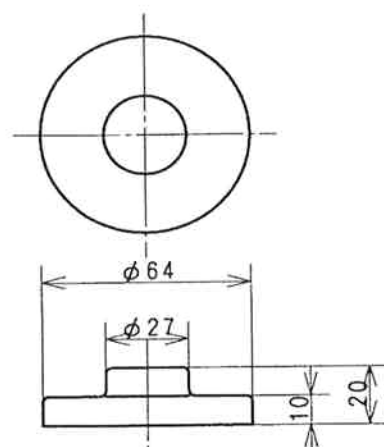


図 1 ベ어링素材

4. 鑄造条件のフォーマット

表2 鑄造条件のフォーマット

品 名		ベアリング素材												
材 質		F C 2 5 0												
溶 解	配 合 (%)	P S		F C ・ R S		加炭剤		加珪剤		F e - M n				
		4 0 ±		6 0 ±		1 + α		1 + α		1 + α				
	接 種 剤 添 加 剤	銘 柄												
		%												
	目 標 成 分	元 素	C		S i		M n		P		S		M g	
		炉 中	3. 4 ± 0. 2		2. 0 ± 0. 2		0. 5 ± 0. 2		0. 1 ± 0. 2		0. 05 以下		—	
製 品		3. 46		2. 36		0. 45		0. 074		0. 015				
注 湯	単 重 (kg)	込 め 数 (個 / 枠)		鑄 込 重 量 (kg)		鑄 込 温 度 (℃)		鑄 込 時 間 (秒)		方 案 歩 留 (%)				
	0. 50	24		20. 0		1420 ~ 1360		6 ~ 8		6 0				
中 子 造 型	中子の種類			ナシ										
	機 械 名													
	材 料 名													
	造 型 条 件	レジン添加												
		焼 成 時 間												
		ブロー圧												
		ブロー時間												
	塗 型													
乾 燥 時 間														
取 り 数 / 型														
シ ス テ ム サ ン ド 鑄 型	配 合	配 合		古 砂	水	粘 結 剤	石 炭 粉	微 粉	で ん 粉					
		投 入 量		1800	適 量	0. 6 %	0. 02 %	—	0. 04 %					
		狙 い 値												
	特 性 値	特 性		C B 値		水 分		圧 縮 強 さ		通 気 度				
		管 理 値		38 ~ 46		3. 2 ~ 3. 6		15 ~ 22 N		100 以上				
		測 定 周 期		1 回 / 2 時 間 毎										
	組 成 値	組 成		T . C		A . C		イ グ ロ ス 値		A F S				
		管 理 基 準		11 ~ 14		8 ~ 10		1. 6 ~ 2. 4		58 ~ 62				
		測 定 周 期		1 回 / 日										
	造 型 条 件	湯 口 位 置		モ ー ル ド 厚			ブ ロ ー 圧			ス ク イ ズ 圧				
中央より 9 0 mm 偏 芯		230 ~ 280 mm			2. 5 ~ 3. 5 bar			1. 0 ~ 2. 0 bar						

5. 方案設計

表 3 方案設計手順

1. 製品の鑄込み姿勢・ 割面（見切り面） 決め	・ 見切り面一面化 フランジ端面を割面とする ・ バリの最小化
2. 堰の位置決め	・ 丸フランジ外周部に付加 ・ 端面にチョン掛け方式を採用 ・ 堰の折れ残りを最小にする
3. 押し湯のサイズを 決める	・ 堰前の製品モジュラス M_C より、 押し湯モジュラス M_R を決め 押し湯のサイズを決める 凝固順 $M_R > M_C$
4. 型配置決め	・ 1 枠の鑄込み重量 15 ～ 25 kg 範囲とする ・ 製品、押し湯、湯道をバランスさせた 込め数を配置する ・ 外枠からの砂付き 30 mm 以上確保
5. 湯道決め	・ 注湯時常に湯口カップに湯を満たすよう 基本的には加圧系湯口方案採用 ・ D 社堰断面算出表より計算 （約 3 倍値採用）

6. モジュラス比の設定例

表 4 モジュラス比の設定例

設定例	押し湯モジュラス	製品モジュラス	モジュラス比
	(M_R) 4.4	(M_C) 0.5	1.0
	押し湯形状 L 40・20×W 25 ×H 25	堰前製品形状 φ 64×T 10	

7. 湯口比設定例

表 5 湯口比設定例

湯口比	主湯道	板湯道計（4段）		堰
	18×18 (972) 14×14 (588) 1560 mm ² 1	一段 30×4 三段 25×3 1035 mm ² 0.7	二段 30×3 四段 20×3	L 25×T 1.5 × 24 900 mm ² 0.6

8. 鑄造方案例

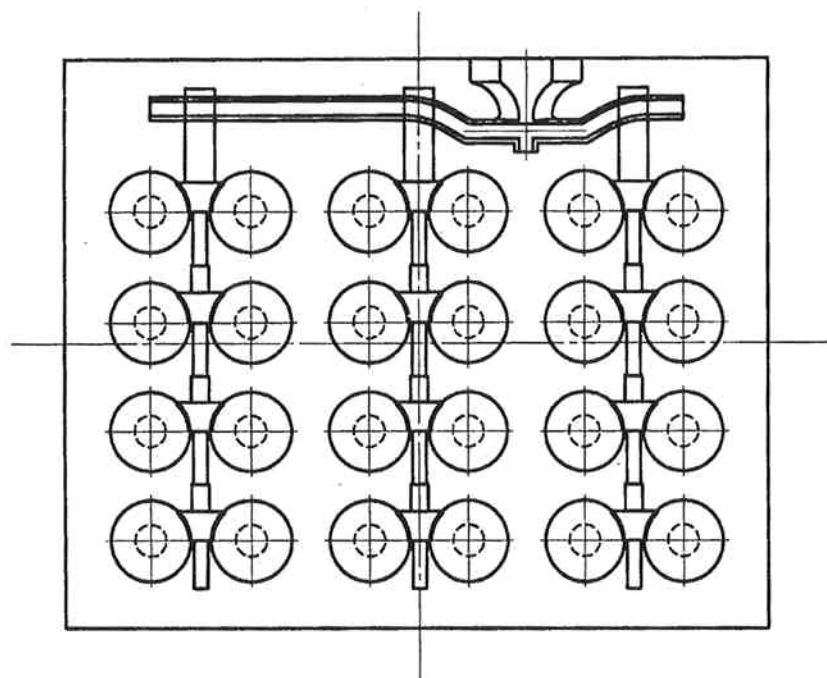


圖 2 鑄造方案例

7. 鑄造欠陥と鑄造方案事例

鑄造欠陥と鑄造方案改善事例

7. 1 シリンダーディスクブレーキ鑄造方案改善事例

この改善例は、圧洩れ不良の要因として考えられるガス巣・巻込み巣・ヒケ巣の内、ヒケ巣対策による圧洩れ不良低減の方案改善例である。

1. 部品の形状

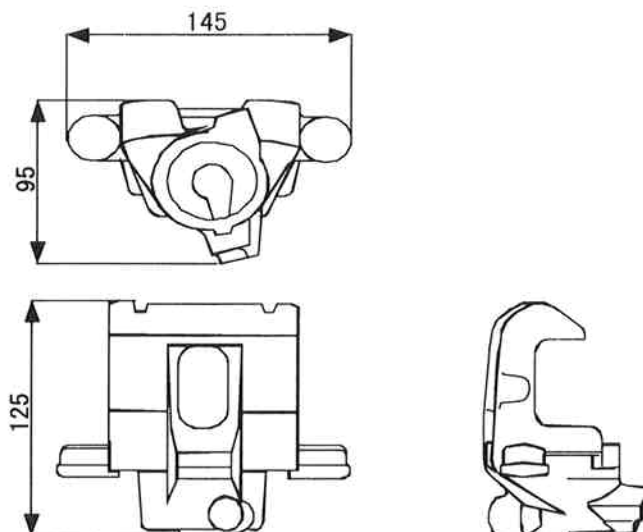


図1 部品形状

2. 鑄造条件

表1 鑄造条件

溶 解	使 用 炉		キューポラ溶解炉／低周波炉									
	接種剤 添加剤等		品 名	フィロシリコン		フィロマンガソ		加炭剤				
			重量 (%)	0. 5		0. 0 5		0. 1				
	その他		・ 球状化処理は置き注ぎ法 ・ 成分調整は低周波炉にて行う									
	目 標 成 分 %	元素	C	S i	M n	P	S	M g				
炉中		3.75～ 3.90	1.60～ 1.80	0.20～ 0.30	0. 1 以下	0.01～ 0.03	0. 01 以下					
製品		3.50～ 3.95	2.50～ 3.30	0.8 以下	0.1 以下	0.02 以下	0.03～ 0.06					
鑄 造	製品単重 (k g)		込め数 (ヶ/枠)		鑄込重量 (k g)		鑄込温度 (℃)		鑄込時間 (秒)		解枠 (分)	
	2. 0		6		2 3. 5		1370～ 1450		6.5～7.5		45 分以上	

3. 改善前の鋳造方案

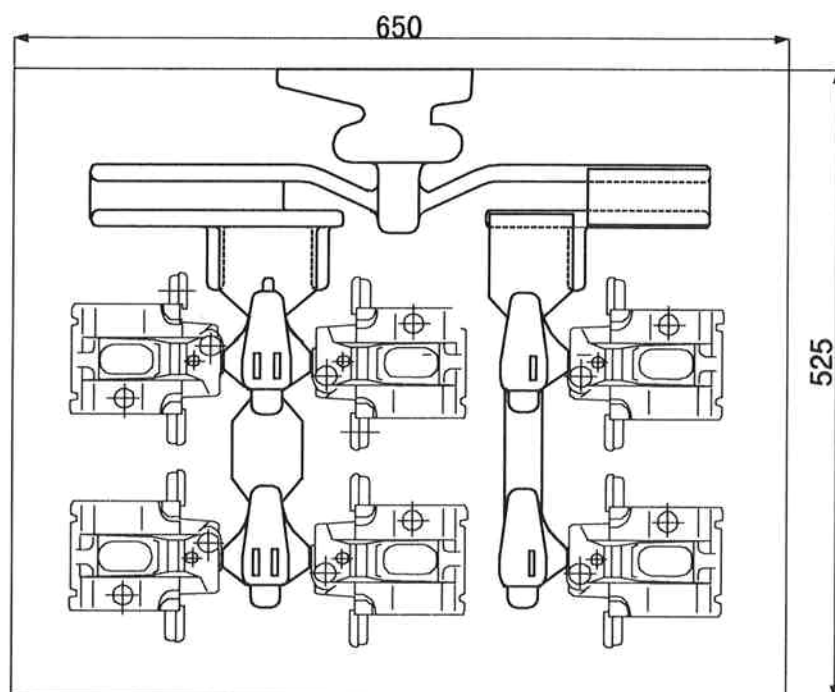
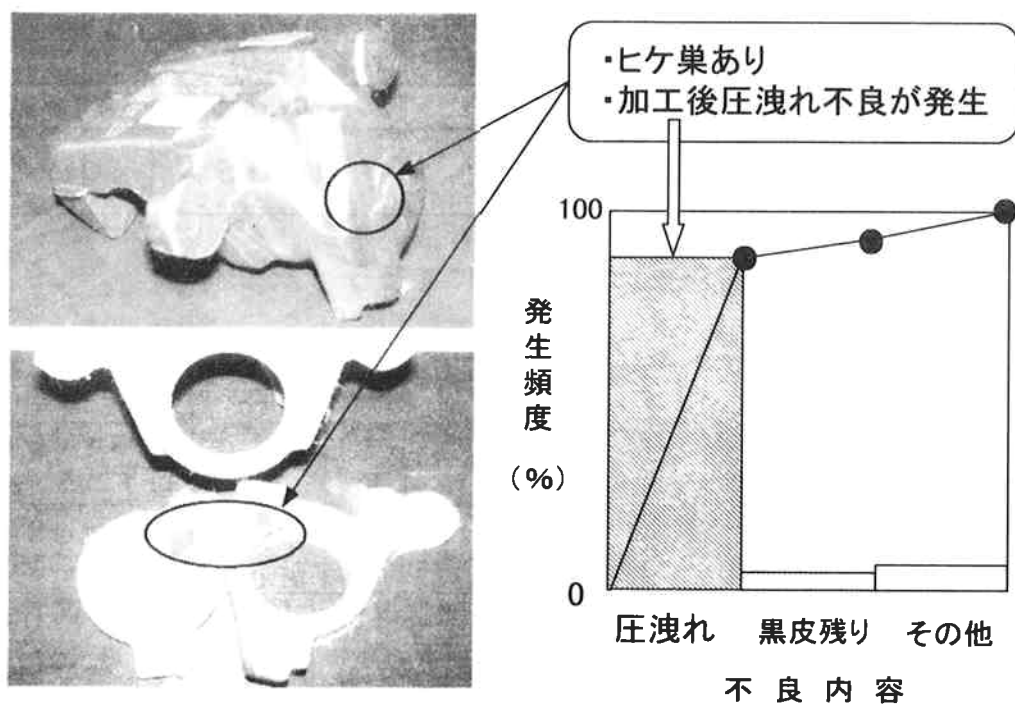


図2 改善前の鋳造方案

4. ヒケ巣による圧漏れ不良発生状況



(浸透探傷法による確認結果)

図3 ヒケ巣発生状況

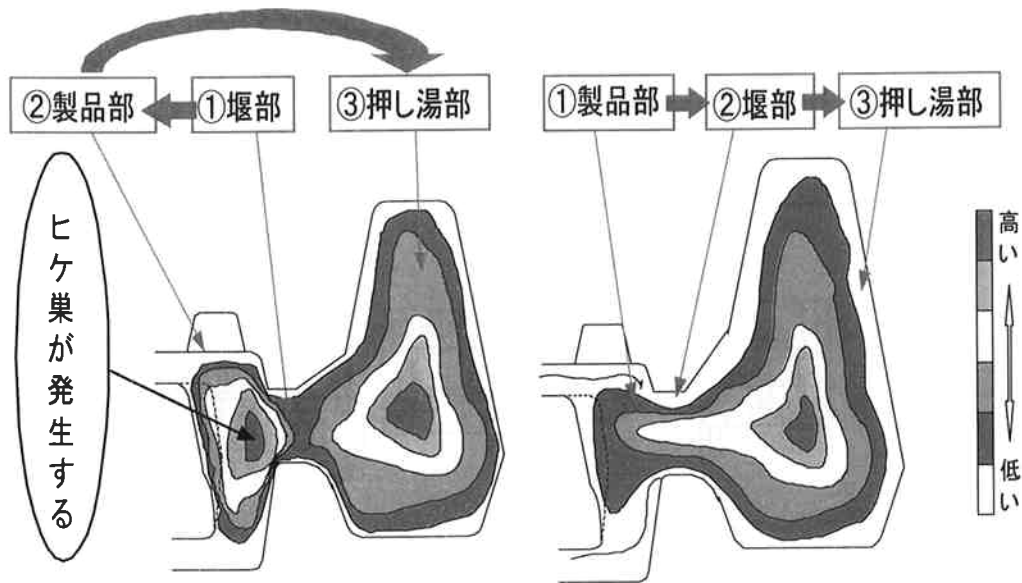
図4 加工後の圧漏れ発生状況

5. 鑄造欠陥の発生原因

圧洩れは、加工後に製品内部にあったヒケ巣から発生している。

ヒケ巣は、製品部→堰部→押し湯部の順に正常な凝固が進まない為、堰部が早く凝固し、製品部へ押し湯からの溶湯補給ができず、製品内部に凝固収縮による空隙が発生すると考えた。(図5)

ここでは、指向性凝固状態の改善をポイントに、押し湯形状拡大と堰形状拡大及び位置の見直しや廃止を含めた対策を行った。



(a) ヒケ巣の発生し易い状態 (b) ヒケ巣の発生し難い状態

図5 凝固中の鑄物の温度分布概念図

6. 改善案

凝固解析を行ったところ、押し湯を拡大すればヒケ巣が発生しない可能性のあることが解ったため、改善案として押し湯を拡大することにした。

図6に拡大前後の押し湯形状とモジュラス比を示す。

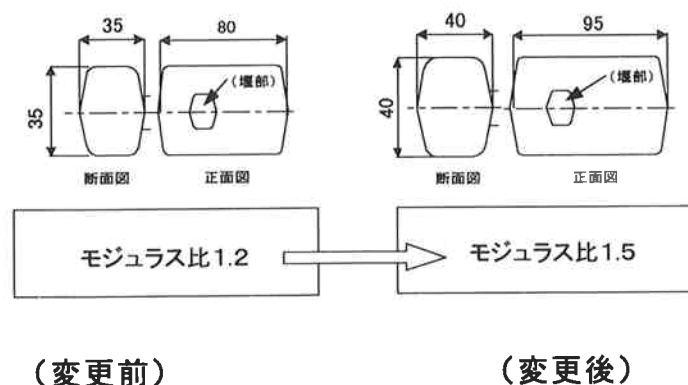


図6 押し湯拡大前後の押し湯形状とモジュラス比

7. 改善後の鑄造方案

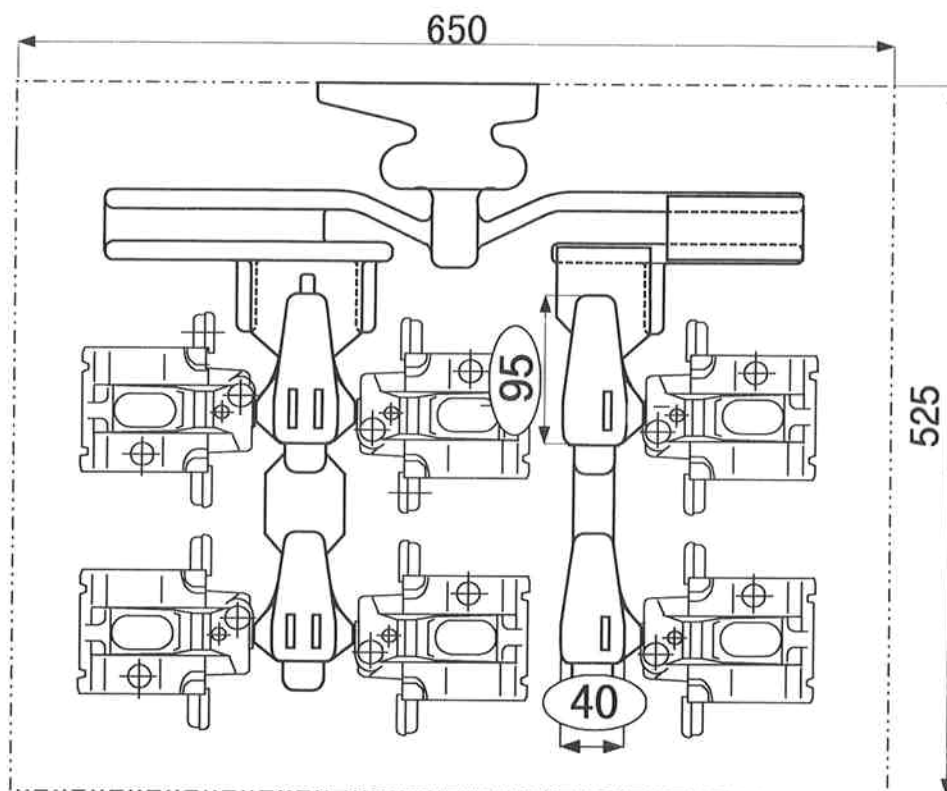
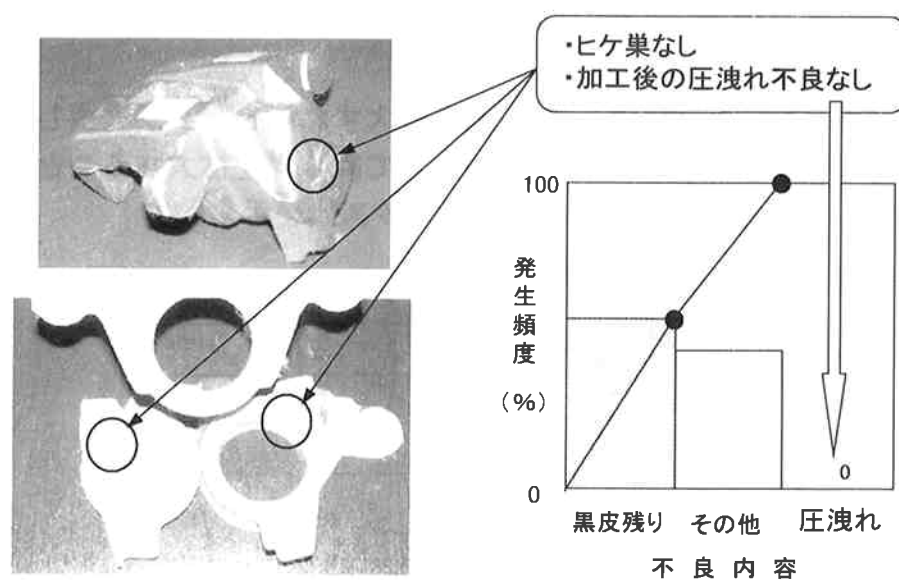


図7 改善後の鑄造方案

8. 改善結果



(浸透探傷法による確認結果)

図8 改善後のヒケ巣発生状況

図9 改善後の不良発生状況

7. 2 サポートマウンティング鑄造方案改善事例

この事例は、板湯道の厚さを変更しスラグの巻き込み不良低減に効果が確認できた事例である。

1. 部品の形状

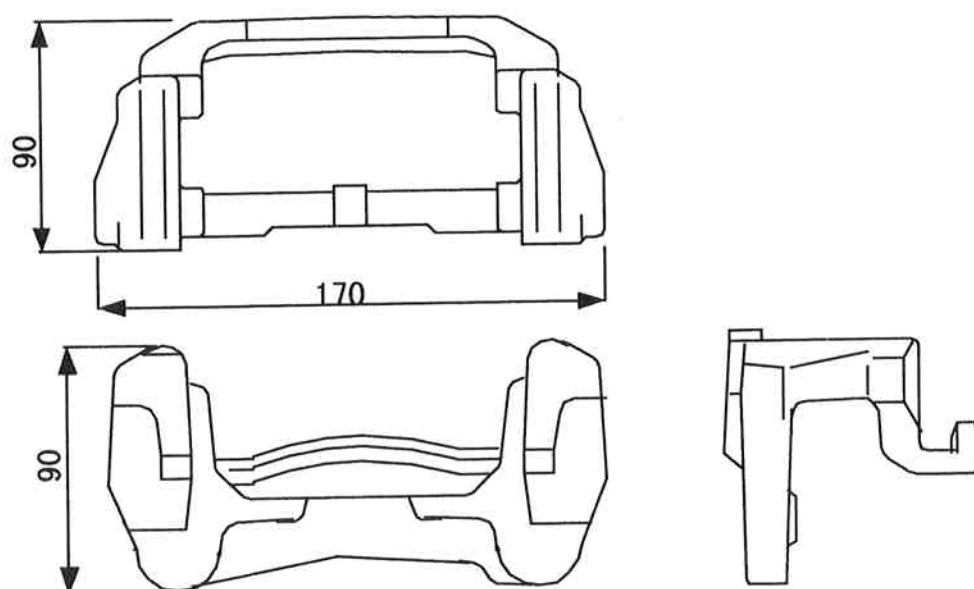


図1 サポートマウンティング部品形状

2. 鑄造条件

表1 鑄造条件

溶 解	使 用 炉		キューボラ溶解炉／低周波炉									
	接種剤 添加剤等		品 名		フィロシリコン		フィロマンガソ		加炭剤			
			重量（％）		0. 5		0. 0 5		0. 1			
	その他		・ 球状化処理は置き注ぎ法 ・ 成分調整は低周波炉にて行う									
解	目 標 成 分 %	元素	C	S i	M n	P	S	M g				
		炉中	3.75～ 3.90	1.60～ 1.80	0.20～ 0.30	0. 1 以下	0.01～ 0.03	0. 01 以下				
			製品	3.50～ 3.95	2.50～ 3.30	0.8 以下	0.1 以下	0.02 以下	0.03～ 0.06			
鑄 造	製品単重 （k g）		込め数 （ヶ/枠）		鑄込重量 （k g）		鑄込温度 （℃）		鑄込時間 （秒）		解枠 （分）	
	1. 3 0		6		2 2. 0		1370～ 1450		6.5～7.5		45 分以上	

3. 改善前の鋳造方案

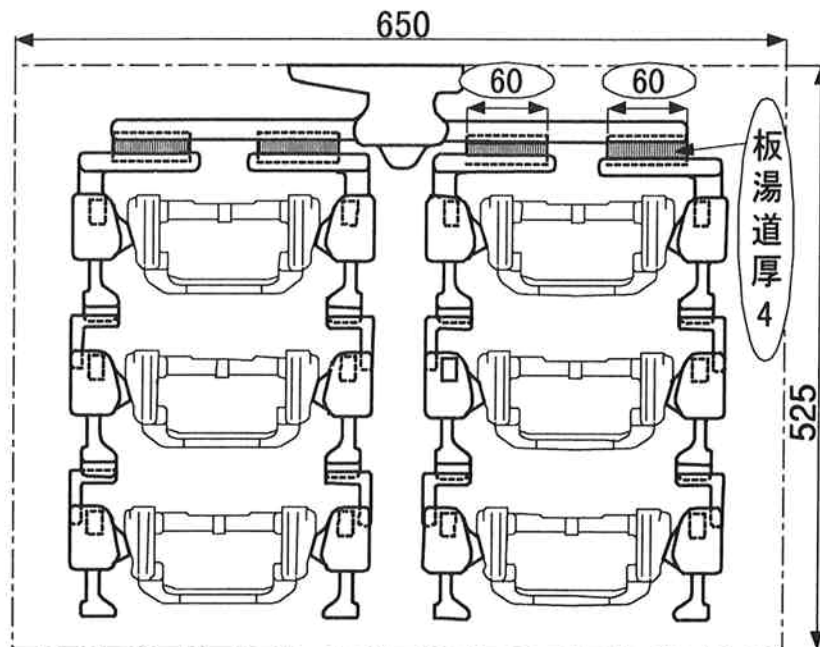


図2 改善前の鋳造方案

4. スラグの巻き込み不良発生状況

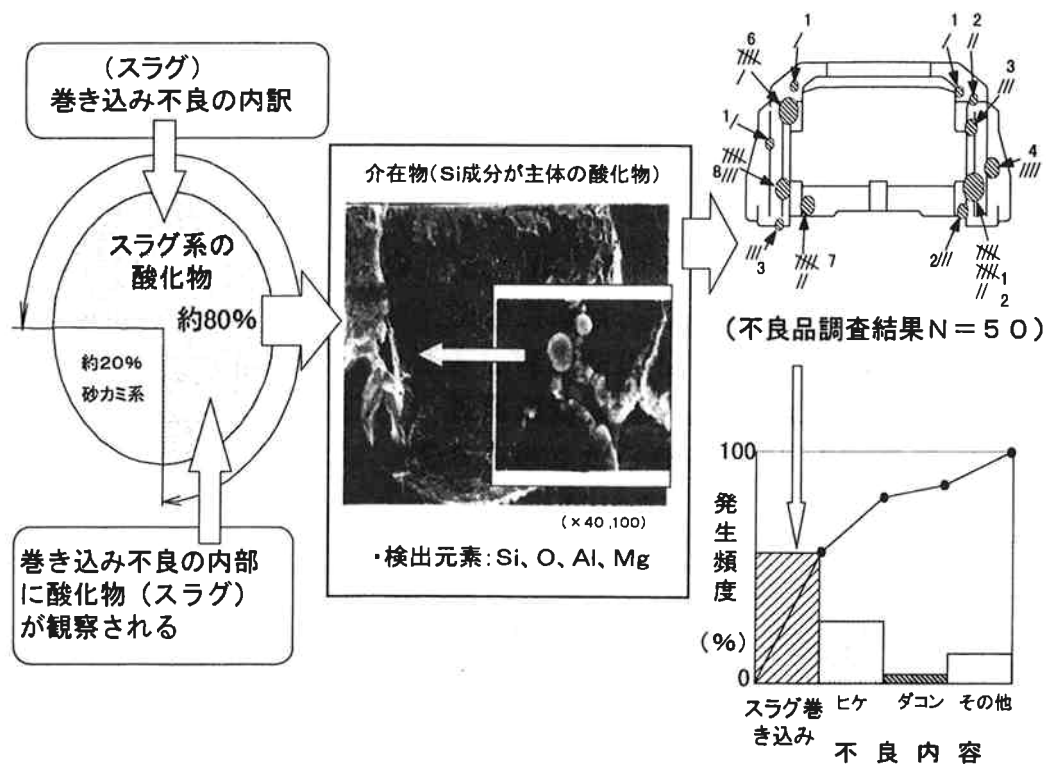


図3 スラグ巻き込み不良調査結果

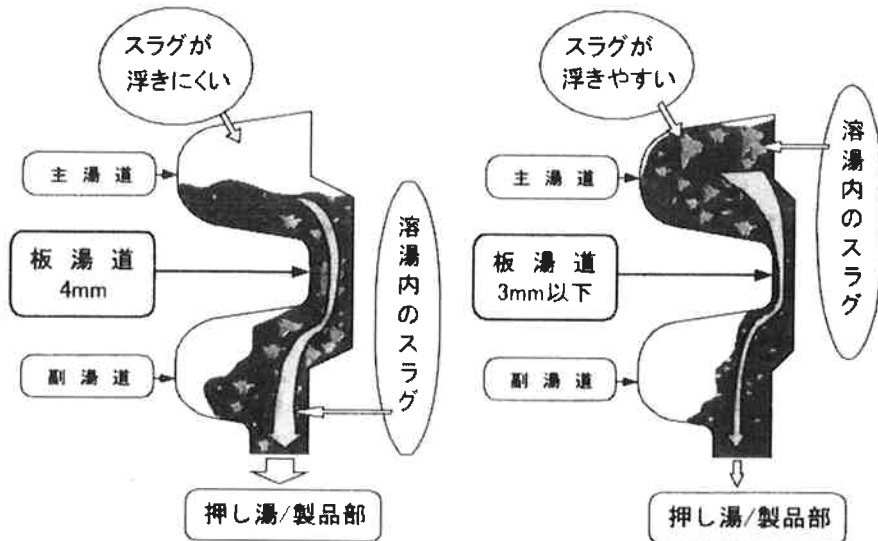
図4 不良発生状況

5. スラグ巻き込み不良発生原因

板湯道は、溶湯の流速を制御し、主湯道及び副湯道より下にある押し湯部と製品部へのスラグの流入を防止する目的で設定している。

この方案の場合、湯廻り不良の発生を抑えることも考慮し、板湯道の厚さを4mm設定とした。しかし実際の注湯状態を観察すると、湯口部に溶湯が溜まらない状況が確認できた。

これは、上段の主湯道内に溶湯が溜まらず、スラグが湯道内で浮くこともなく、板湯道を通り押し湯部と製品部へスラグが流れこんだため巻き込み不良が発生しているものと考えられる。(図14)



(a) スラグの巻き込みが発生し易い (b) スラグの巻き込みが発生し難い

図5 巻き込み不良発生の概念図

6. 改善案

板湯道厚は、主湯道内に溶湯が溜まりやすくするために、又湯廻り不良の発生防止も考慮して、4mmから3mmに縮小した。

板湯道断面積は、 230mm^2 (4箇所)を確保するため板湯の長さを60mmから80mmに変更した。(図15)

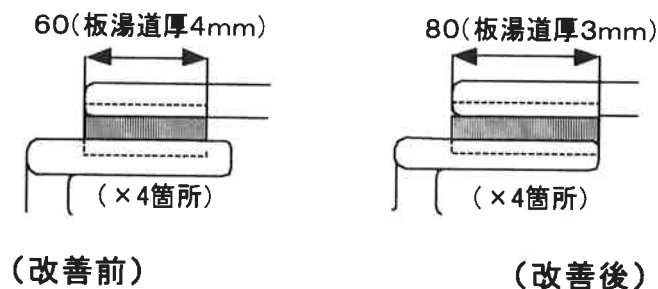


図6 板湯道変更内容

7. 改善後の鑄造方案

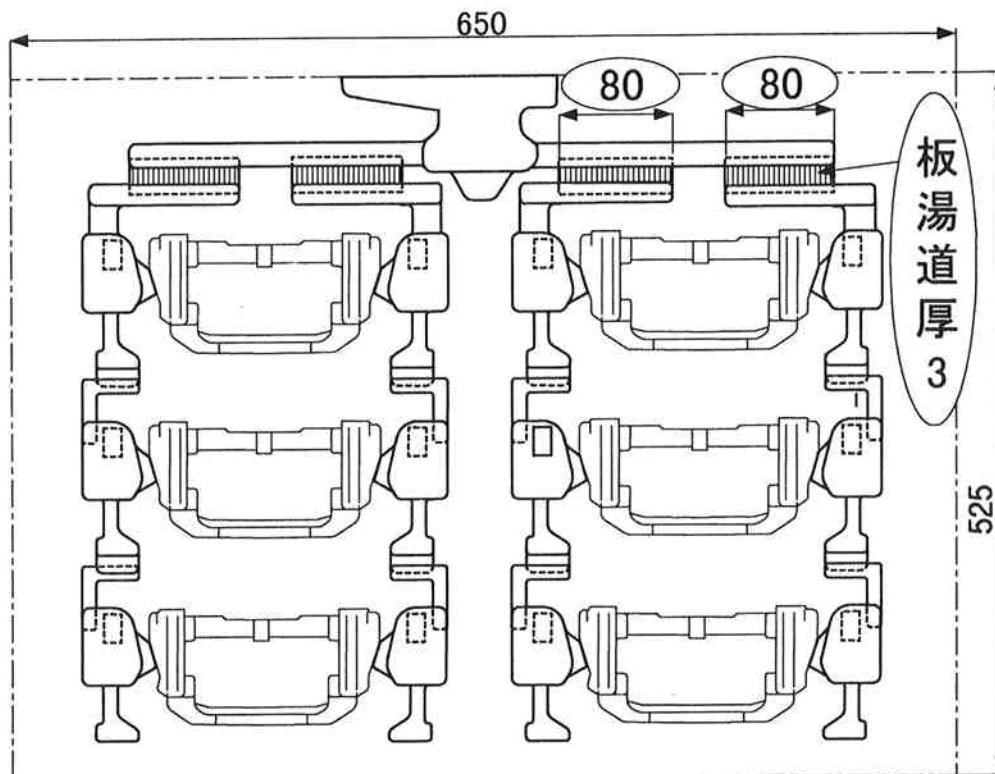


図 7 改善後の鑄造方案

8. 改善結果

図 17 に改善後の不良発生状況を示す。

スラグ巻き込み不良の発生頻度は、改善前とくらべると60%から40%に低減できることが確認できた。(図 18)

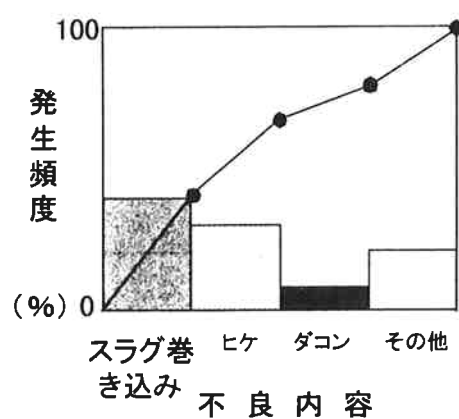


図 8 改善後の不良発生状況

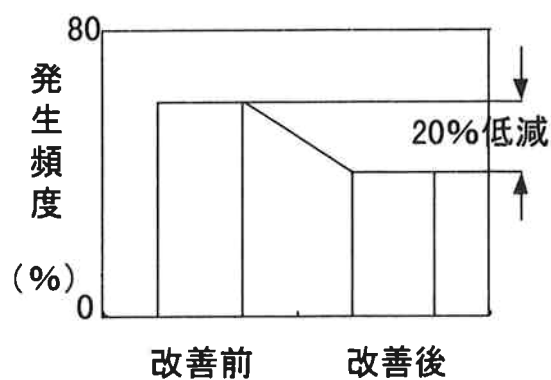


図 9 巻き込み不良低減効果

鑄造欠陥と鑄造方案改善事例

7. 3 ディーゼルエンジン用シリンダヘッドの改善事例

本品は小型薄肉の製品であり、中子（シェルモルト、コールドボックス）を多く使用するため、爆発面側にガス欠陥が発生する。

1. 部品の形状

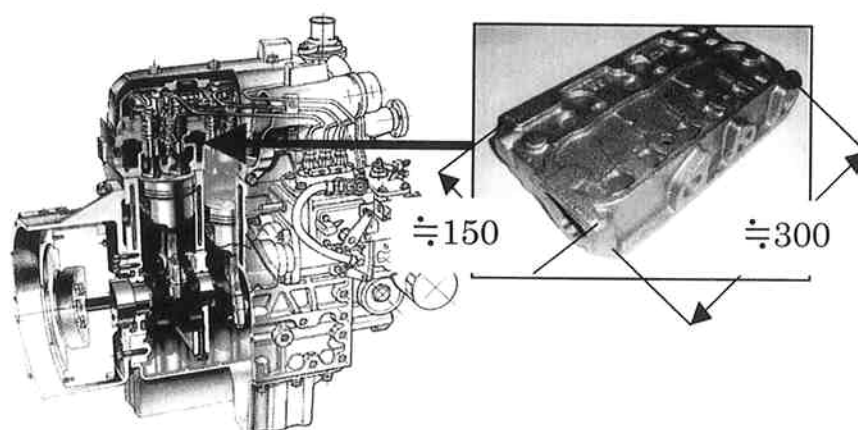


図1 シリンダヘッド製品説明図

2. 鑄造条件

溶解	材 質	F C 2 5 0 (S n 入 り)						
	溶 解	キューポラ (1 2 T / H r)						
	目 標	元 素	T C	S i	M n	P	S	S n
	成 分	炉 中	3.35	1.85	0.75	<0.1	<0.12	<0.02
鑄造		製 品	3.35	2.0	0.75	<0.1	<0.12	<0.08
	造 型	生型流気加圧 (インパクト) 造型						
	製品重量	込め数 個 / 枠	鑄込み 重量	鑄込み 温度	鑄込み 時間	解枠 時間		
		8.3Kg	8 個	88Kg	1410℃	12 秒	50 分	

3. 湯流れシュミレーション採用による品質対策

3-1 現状鑄造方案

図一2に示すように、製品2個／組としたベース中子を用いて8個／枠の多数個取りで、爆発面が上型になるような鑄造方案で鑄造している。

そのため発生している欠陥の大半が爆発面に発生するガス欠陥である。

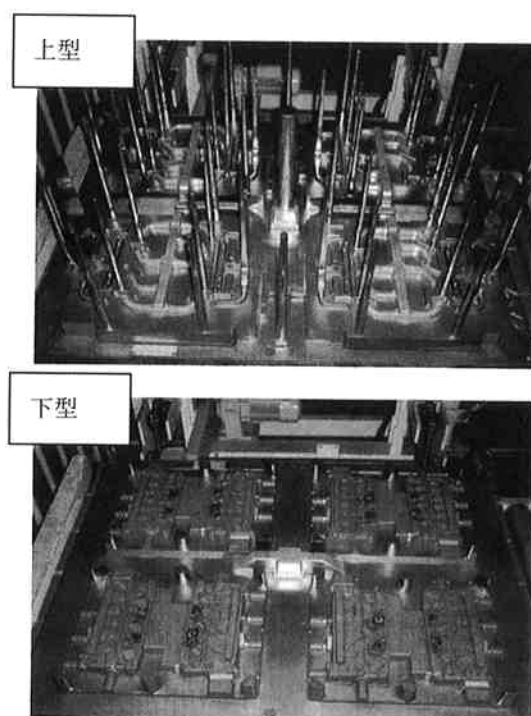


図2 鑄造方案（金型）

シュミレーションは、鑄造方案でのキャビティ配置が、ベース中子単位で回転対称の配置のため、図一3のような実際の方案の1／4のモデルを使用して行なった

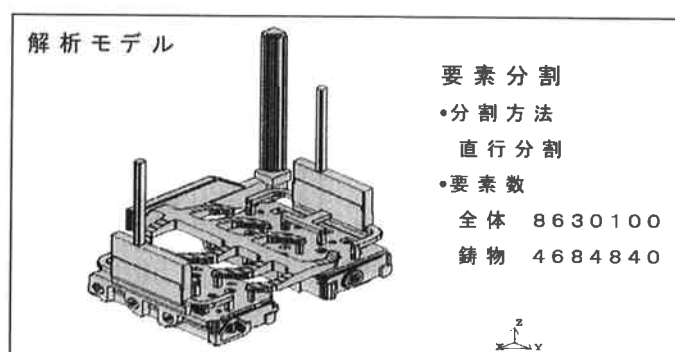


図3 解析モデル

最初に現行の鑄造方案での湯流れ解析を実施し、溶湯充満時の爆発面（上型面）の溶湯温度分布をアウトプットし、その結果に欠陥発生品を調査した欠陥発生分布状況をプロットした。（図—4）

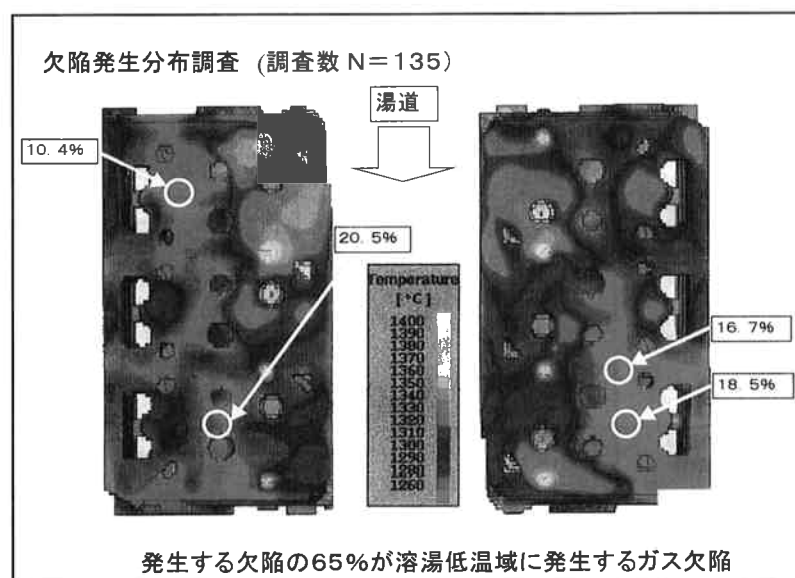


図4 解析結果と欠陥発生分布状況

その結果ガス欠陥の発生は溶湯充満時の溶湯温度の低温域に集中発生していることが解った。

ガス欠陥発生メカニズムを製品部の溶湯温度の低下により、溶湯の流動性が低下し、溶湯内に巻き込んだガスの製品外への排出が行なえずガス欠陥として、製品内に滞留しているものと考え鑄造方案の改善を検討した。

3-2 改善方案の検討

改善方案は、爆発面上に滞留する低温溶湯を方案を見直し、効率的に製品外へ排出できるように揚げりの位置およびボリュームを変更し数種類の鑄造方案を作成し、湯流れ解析を実施した。

その中から注湯完了時の製品の温度分布を比較し、低温溶湯領域の一番少ない方案（図—5 改良方案2）を採用した。

あわせて、湯流れ解析を用いて鑄込み速度の検証を実施。

『鑄込みは静かに速く』がいいとされるが、今回は鑄込み速度による注湯完了時の製品部の溶湯温度の差異をみることにした。

鑄造方案は改良方案2を用いて、鑄込み時間を現状の11秒と、6秒15秒の3水準で解析を行なった。

その結果、鑄込み速度は注湯完了時の溶湯温度に大きく影響される事が判明した。（図—6）

この解析結果により、鑄込み速度を上げる対策もあわせて実施。
下図に解析結果をしめす。

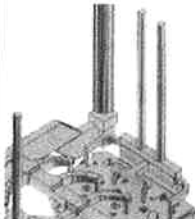
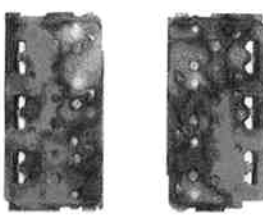
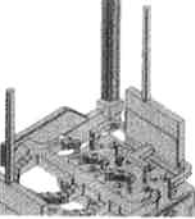
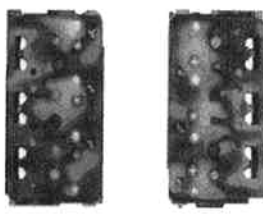
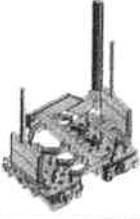
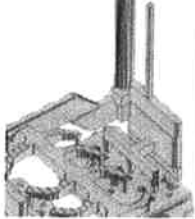
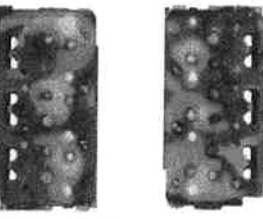
	改善の狙い	鑄造方案概要		鑄湯完了時爆発面溶湯温度分布
		方案全体	揚り方案	
従来方案	現行方案			
改良方案1	①湯道、堰方案の改善 →注湯バランスの改善 ②いかせ揚がりのボリュームUP →低温溶湯の排出性UP			
改良方案2	①湯道、堰方案の改善 →注湯バランスの改善 ②いかせ揚がりのボリュームUP →低温溶湯の排出性UP ③直揚がり位置変更 (厚肉部→薄肉部) 低温溶湯の湯流れ性UP			

図5 鑄造方案の改善検討（解析による評価）

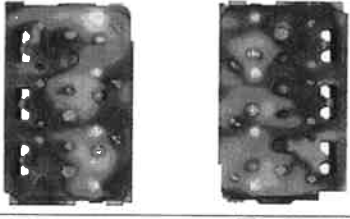
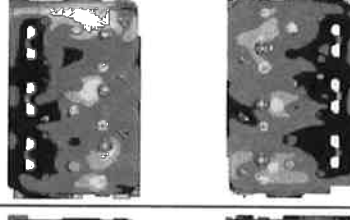
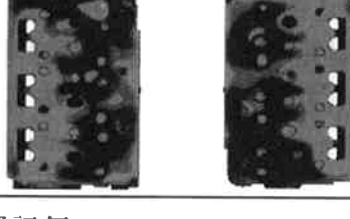
	鑄造方案	爆発面温度分布
11秒 (現状)		
6秒	同上	
15秒	同上	

図6 鑄込み速度の影響評価

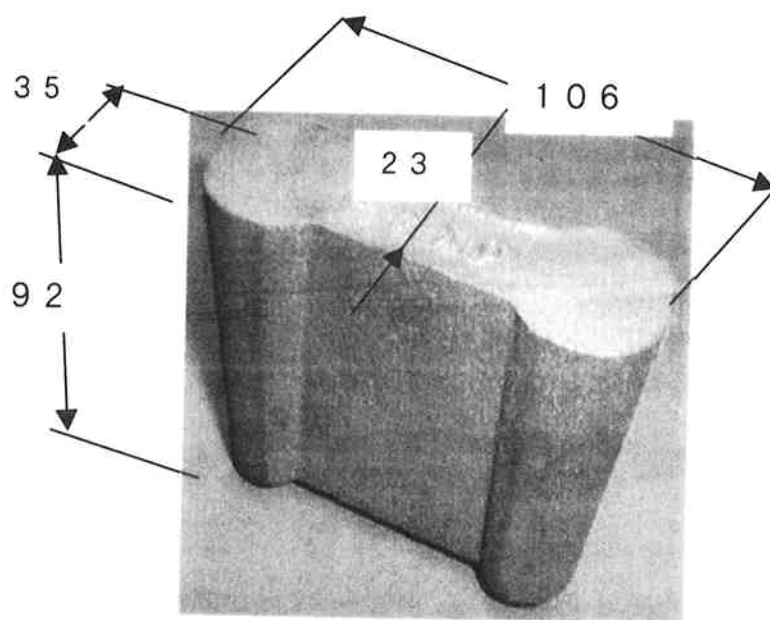
以上の結果により、シリンダーヘッドの不良りつは改善前と比較して約60%削減することができた。

鑄造欠陥と鑄造方案改善事例

7. 4 土木用金物の引け巣欠陥の改善事例

本品は球状黒鉛鑄鉄で肉厚製品であり、引け巣欠陥が発生

1. 部品の形状

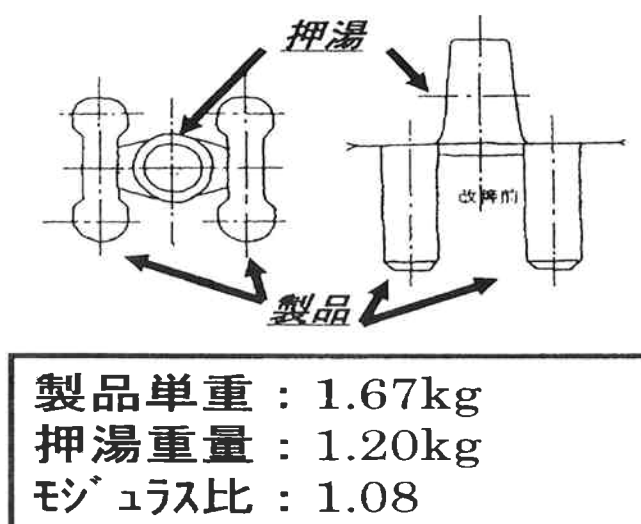


図一1 土木用金物の製品概要

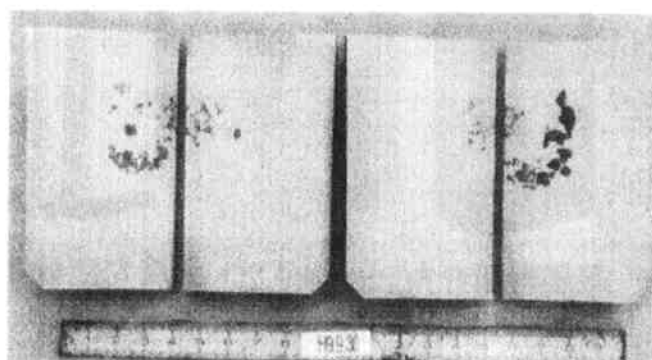
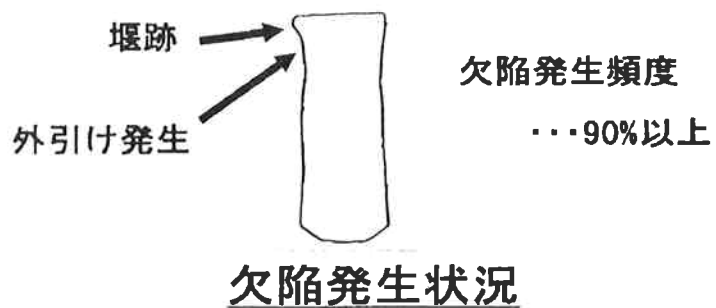
2. 鑄造条件

溶 解	材 質	F C D 5 0 0						
	使用炉	キューボラ（1 2 T／H r）						
	接種剤	品 名	カルバロイ					
	添加剤	(%)	0. 4 %					
	目 標	元 素	T C	S i	M n	P	S	M g
		炉 中	3.75～ 3.85	1. 6～ 1.7	<0.5	<0.1	0.008 ～0.02	0.045
成 分	製 品	3.55～ 3.85	2.20～ 2.70	<0.5	<0.12	<0.02	0.035 ～0.07	
鑄 造	造 型	生型ブロースキズ無枠造型						
	製品 重 量	込め数	鑄込 重量	鑄込み 温度	鑄込み 時間	解枠 時間		
	1.6Kg	12 個	32Kg	1400	15 秒	40 分		

3. 現状の方案

初期方案

4. 欠陥発生状況

内部欠陥発生状況

5. 改善方案の検討

生型鋳鉄鋳物の凝固は、収縮・膨脹をともなう複雑な過程を持っている。

さらに引け巣の生成には型移動等も影響をあたえる。

引け巣予測は、押し湯・ネック・製品最終凝固部の凝固タイミングを押し湯効果の特性値としておこなうのが妥当と考え解析実施した。

また、客観的な判断がしやすいように下記の数値基準を設定した。

①押し湯と製品の凝固時間の比較（押し湯＞製品が基本）

ネック凝固時間

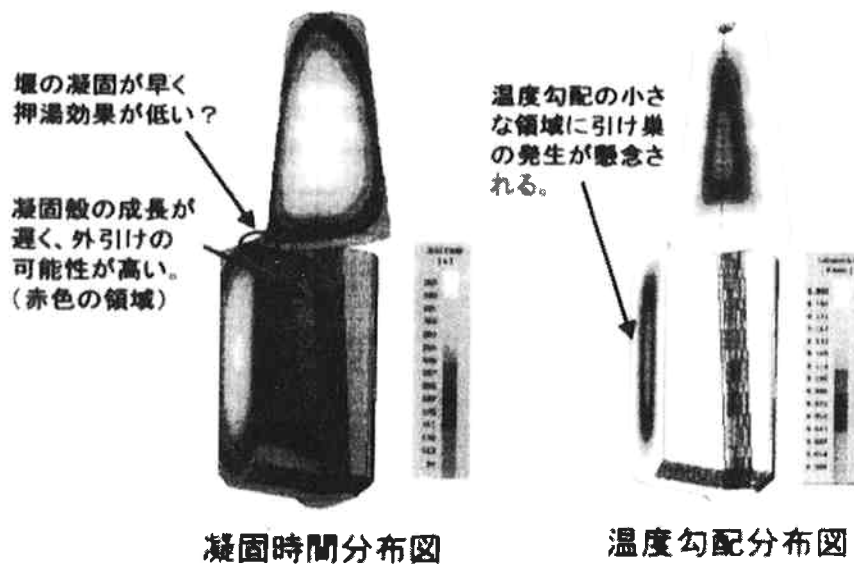
②押し湯効果評価値 = 製品凝固時間 × 100

※押し湯効果評価値に、数値評価基準を設け方案の良否を判断した

押し湯効果評価値： 50以下 …効果なし
 50～70…不安定
 70～80…良好
 90以上 …過剰

5-1 解析結果

1) 現状方案評価



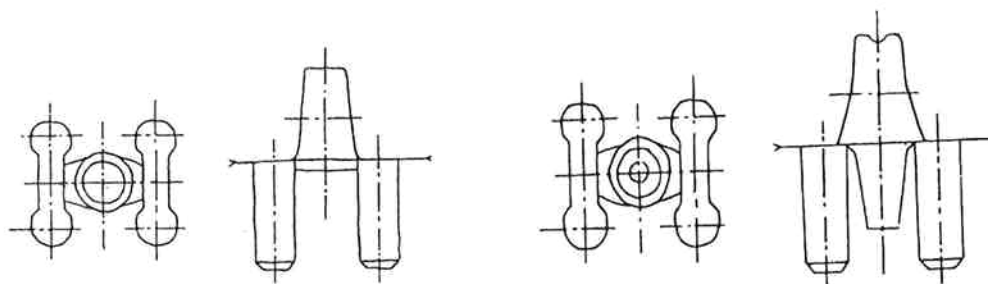
押し湯評価値： 44

2) 改善案経緯

10/22	押通 製品 製品間隔に押通 5mmフィン付け ねらい 砂の加勢を避け、 外引けを防ぐため に押通の位置を移 動させた。	4.46	16	16	39	40	押通が通く効果低? 表面の早期剥離 を免ったが効果小	48 効果無し	20
10/23①	押通 製品 押通 3.5mm フィン付け ねらい 押通の効果を 向上するため、 下部に砂を付 け、押通最終部 面位置を確に 近づけた。 φ45-29 高さ 63mm	4.56	+	+	-	-	電の基面近い 押通効果向上 押通最終部面 が製品に接近 押通効果向上	70 良好	18
10/23②	押通 製品 押通 5mm フィン付け ねらい 押通の効果を 向上するため、 下部に砂を付 け、押通最終部 面位置を確に 近づけた。 φ45-29 高さ 63mm	4.47	2.5	1.0	22	40	電の基面近い 押通効果向上 表面の基面が近く 外引け懸念 しかし 定量評価は困難	66 不安定	20
10/24	押通 製品 押通 3.5mm フィン付け ねらい 押通の効果を 向上するため、 下部に砂を付 け、押通最終部 面位置を確に 近づけた。 φ45-29 高さ 63mm	4.40 Ni-Cu	+	+	-	-	電の基面近い 押通効果向上 押通最終部面 が製品に接近 押通効果向上	70 良好	18
10/27	押通 製品 押通 4.5mm フィン付け ねらい 押通の効果を 向上するため、 押通上部のくぼ み穴を大きくした。 φ45-29 高さ 63mm	4.36 Ni-Cu	0	0	-	-	電の基面近い 押通効果向上 押通最終部面 が製品に接近 押通効果向上	74 良好	20

試作条件			試作結果				解析結果		
試作日	方法	CE値	外引け量(mm)		発生場所		基面時間	判定値①	判定値②
			側面	反対側	側面	反対側			
9/30	押通 製品 押通 5mm フィン付け ねらい 電の基面を 通らせるため 溝まりを追加 深さ30mmの 溝まり追加	4.53	1.3	0.7	18	36	電の基面が早い 押通効果向上 電の基面が近く 外引けの一因	44 効果無し	22
10/6	押通 製品 押通 5mm フィン付け ねらい 電の基面を 通らせるため 溝まりを追加 深さ30mmの 溝まり追加	4.58	3.3	0.7	21	35	電の基面近い 押通効果向上 最終基面部が 表面に露出 外引け危険大	59 不安定	21
10/7	押通 製品 押通 5mm フィン付け ねらい 製品表面の加熱を 防ぐため 製品 押通を製品から 離れた。	4.50 Ni-Cu	1.7	0.6	27	39	電の基面近い 押通効果向上 表面の基面が近く 外引け懸念 しかし 定量評価は困難	63 不安定	21
10/21	押通 製品 押通 5mm フィン付け ねらい 電の基面を通らせ 押通効果を向上さ せるために電線を増した。	4.55 Ni-Cu	1.0	0.5	28	40	電の基面近い 押通効果向上 表面の基面が近く 外引け懸念 しかし 定量評価は困難	68 不安定	20

3) 最適化方案



製品単重 : 1.67kg
 押湯重量 : 1.20kg
 モジュラス比 : 1.08

最適化



押湯重量 : 1.64kg
 モジュラス比 : 1.12

堰を5mmチョンカケ。
 押湯下棒追加。

初期方案最適化方案

7. 5 クランクシャフト

この改善事例は、堰前に発生する鑄肌不良（砂の焼着き）を湯道方案変更、押し湯形状変更を重ねて改善した事例である。

1. 部品の形状

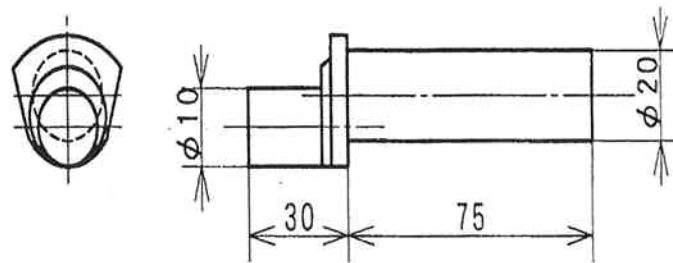


図 1 部品形状

2. 鑄造条件

表 1 鑄造条件

溶 解	使用炉			高周波炉								
	接種剤 添加剤等		品 名	加炭剤		加珪剤		F e - M n				
			(%) 重量	1 % + α		1 % + α		1 % + α				
	その他											
	目 標 成 分	元 素		C	S i	M n	P	S	M g			
		炉 中		3. 4 ± 0. 2	2. 0 ± 0. 2	0. 5 ± 0. 2	0. 1 ± 0. 2	0. 05 以下	—			
製 品		3. 50	2. 35	0. 48	0. 062	0. 014	—					
鑄 造	製 品 単 重 (kg)		込 め 数 (ケ / 枠)		鑄 込 重 量 (kg)		鑄 込 温 度 (℃)		鑄 込 時 間 (秒)		解 枠 (分)	
	0 . 3 5		3 2		2 0 . 4		1430 ~ 1380		8 ~ 1 0		4 0	

3. 改善前の鑄造方案

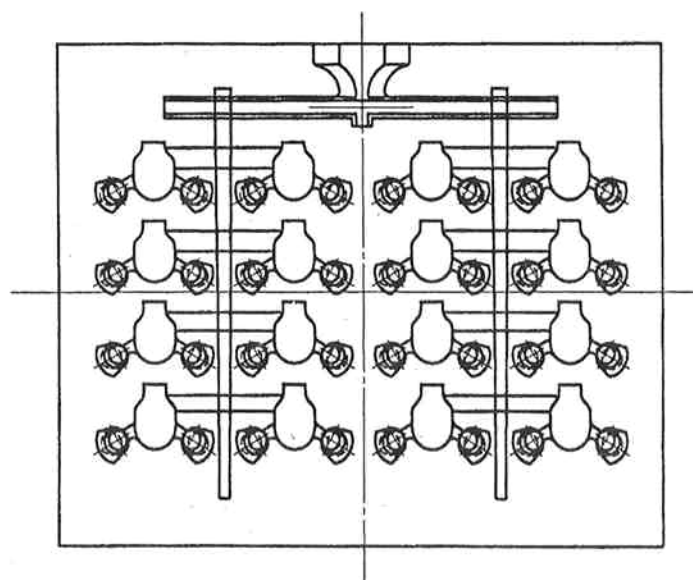


図2 改善前の鑄造方案

4. 堰前の鑄肌（砂焼き着）不良発生状況



図3 鑄肌不良状況

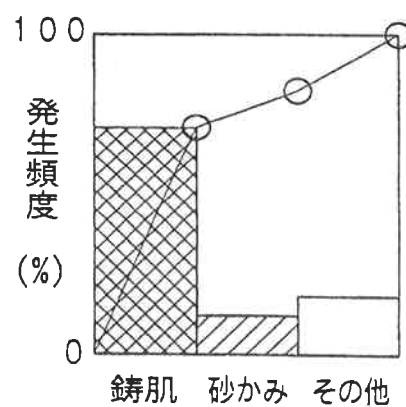


図4 不良内容

5. 鑄造欠陥の発生原因

鑄肌不良発生原因は鑄込み目標時間に対し約 1.4 倍の 14 秒近くかかり、発生状況は型番による傾向もなく製品の堰前部位が過熱されることによるものと推測した。

鑄込み時間の短縮をはかるため縦湯道から横湯道に分岐したバリ湯道の再設定を検討対策した。

6. 対策案

対策（１）

砂かみ不良防止を目的として第一横湯道・縦湯道は通常より充分余裕を持って設定してあるのでバリ湯道の拡大を検討した。

表 1 バリ湯道寸法

バリ湯道	対策前寸法 (mm)	対策後寸法 (mm)
1 段目	18 × T3	20 × T3
2 段目	16 × T3	18 × T3
3 段目	14 × T2.5	16 × T2.5
4 段目	14 × T2.5	14 × T2.5

試作した結果鑄込み時間はほぼ目標値の 10 秒以内になったが、鑄肌不良の発生率は三分の一に減少したが解決に至らなかった。発生状況を見ると下段側に多少発生傾向が多いことが判明したが、顕著な差ではなかった。

対策（２）

堰部位を改めて観察すると、当該製品について従来流動品と同一方案を設定したが、押し湯部と製品部がそれぞれ隅角形状（図 5 参照）になっており、湯流れの方向が急激に変化することによる不具合発生のポテンシャルを持っていると判断し、押し湯側を図 6 に示すように堰のノッチ部まで余肉を付加した。

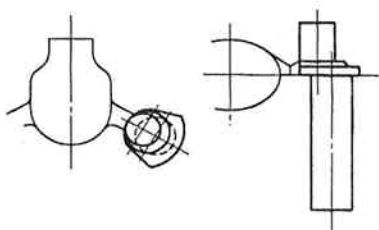


図 5 改善前押し湯方案

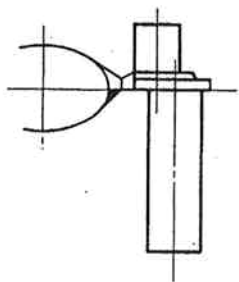


図 6 堰部改善方案

7. 改善結果

図 7 に改善後の不良発生状況を示す。鑄肌不良は完全解決した。図 8 に改善後の製品を示す。

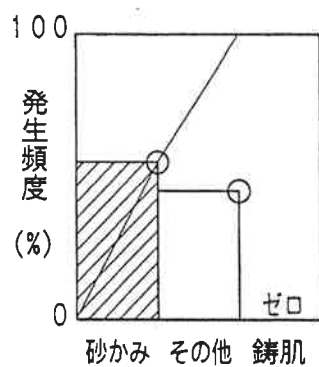


図 7 鑄肌不良改善効果



図 8 改善後の製品

7.6 プラテン

本品は 肉厚製品でドロス状の欠陥が表面に深く広範囲に発生した。

1. 部品の形状、

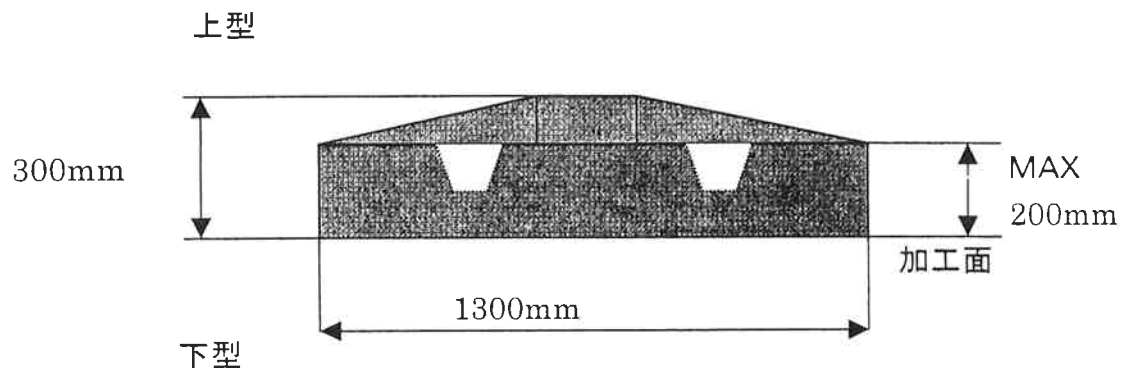


図1 製品概略形状

2. 鑄造条件

表1 鑄造条件

溶 解	使 用 炉		低周波炉or 高周波炉						
	接種剤 添加剤等		品 名		フェロシリコン				
			(%)重量		0.3±0.05				
	その他		● 球状化処理方法は置き注ぎ法 ● 溶湯は、本製品用に溶解する						
	目 標 成 分	元素	C	Si	Mn	P	S	Mg	
炉中		3.65 ~ 3.70	1.40 ~ 1.60	0.20 ~ 0.40	0.04 以下	0.020 以下	0.01 以下		
		製品	3.55 ~ 3.65	2.00 ~ 2.20	0.40 以下	0.04 以下	0.020 以下	0.03~ 0.05	
鑄 造	製品重量 (Kg)		込め数 (ヶ/枠)	鑄込重量 (kg)		鑄込温度 (℃)		鑄込時間 (秒)	解枠 (時間)
	1,800		1	2,000		1340~ 1330		55	55 (2.3 日)
	球状化処理後 15 分以内に鑄込み完了させる								

3. 改善前の鑄造方案

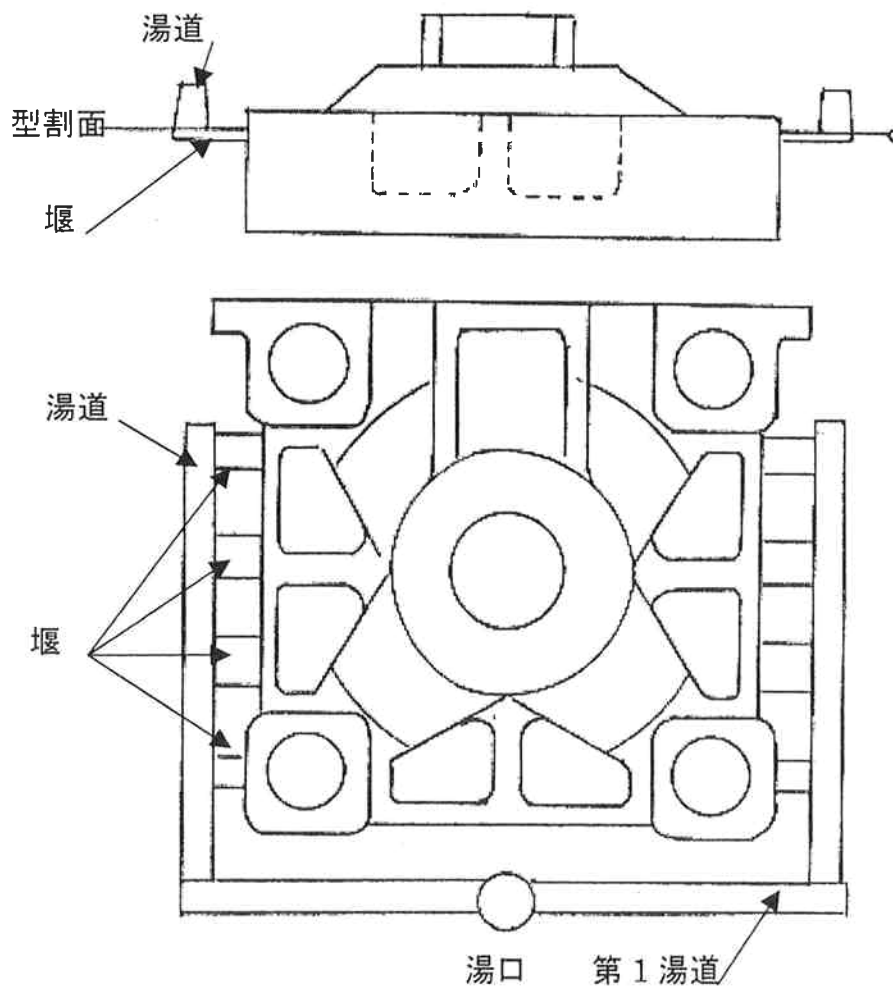


図2 改善前の鑄造方案

4. 欠陥の発生状況

上面にドロス状欠陥が、広範囲に発生した。

発生率 欠陥の多少はあるがほぼ 100%

欠陥状況

○表面に薄い皮を被っている、二次ショットをかけると 表皮の下に現れる。

○欠陥深さは、扁平状で 層としては深い。

○欠陥部からの採取粉は、黒く 黒鉛と思われた。

5. 鑄造欠陥の発生原因

表面に何らかの発生したドロスが浮いて出来たと考えた。

発生の原因を追求し、対策するため、次の試験を行なった。

試験内容と結果

表 2 試験内容と結果

試験事項	試験内容	結果
化学成分を変更した (狙い) 初 晶 黒 鉛 を少なくする	CE値= 4.3 を 4.2 に した C = 3.6% を 3.5% に 下げ Si=2.1% を 2.2% に 上げ た	改善が認め られない ×
球状化工程を変更 (狙い)Mg化合物の 発生を少なくし、 ドロス生成を少 くする事を狙った	溶解炉前で球状化处理し 本溶湯を運搬 している 工程を①から②へ変えた ①炉前 球状化处理 ~ 運搬 ~ 鑄込み ②運搬~ 砂型前 球状化处理~ 鑄込み	改善が認め られない ×
鑄込み温度を変更 (狙い)鑄込み温度を上 げドロス発生を少 くする	鑄込み温度 1340℃ を 1350℃に変更	改善が認め られない ×
鑄込み速度を変更 (狙い)ドロス発生を少な くする	鑄込み速度 65 秒 を 55秒 に変更 湯口径を 変更	より範囲が 広くなった
堰位置変更 (狙い)湯流れを変え両 側からの溶湯の ぶつかりを少な くする	堰は型割面から入っている 堰幅を広くし、両側堰からの溶湯は ぶつからないようにした	かなり軽減 されたが 良品とは言 えない

以上の試験より次の事が言える。

○化学成分からくる黒鉛の浮上ではない。

注)肉厚品は、実証なしに即、化学成分のせいにする傾向があるが
作業性を悪くする事より、要注意である。

○球状化处理による、MgO系のドロス生成が原因とは言えない。

○鑄込み温度では、本製品肉厚のため、1350℃で抑えたがこの範囲では
変化が見られなかった。

○鑄込み速度を早くして、より悪くなった。

又堰を変え、湯流れを変える事で、改善の方向が認められた。

以上の事より、

製品内に入る湯の流れ方の影響が強いと考えられる、堰位置が型割面に
にあり製品の底からの高さがあることより、湯の乱流が起こり、又 鑄込み
時間が長いことより、助長されドロス等の欠陥の発生が起こったと考えられる。

6. 改善案

改善案として、湯の流れを改善する事が、良いと思われるため、湯道方案を、見直す事とした。

基本的な考えとして、静かに溶湯を製品内に乱流を起こさないように入れることとした。

堰位置は、製品の低面から入れ、製品内で湯面が静かに上がるようにする。

7. 改善後の鑄造方案

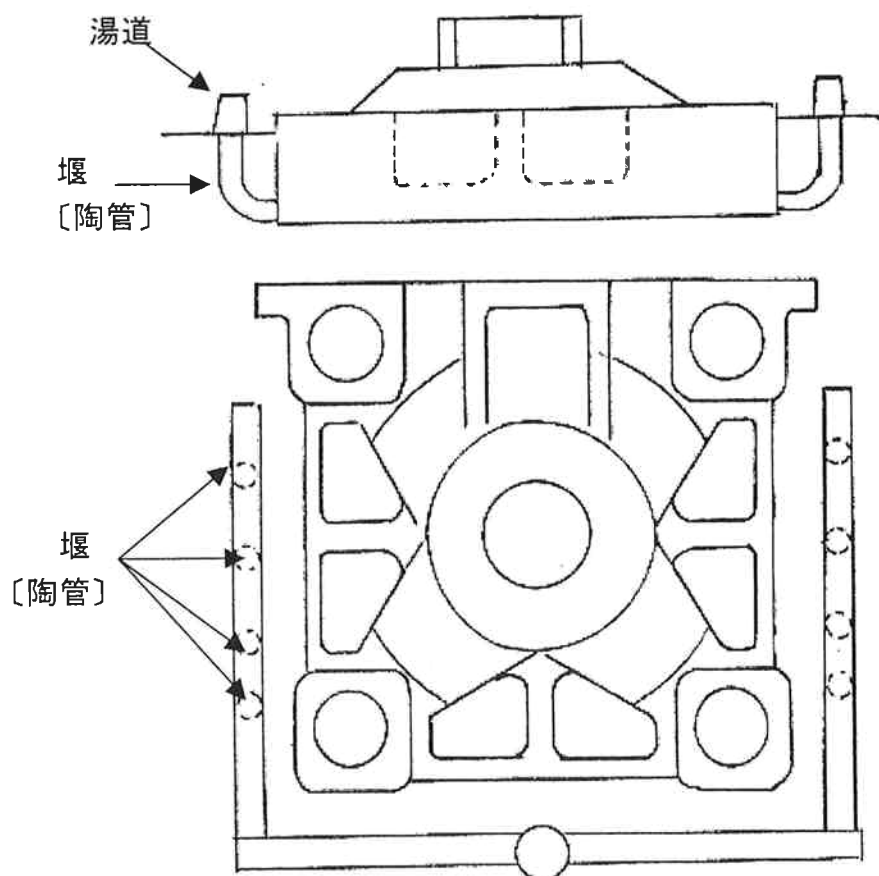


図 3 改善後の鑄造方案

8. 改善結果

表面の欠陥は、良好で、非常に安定している。

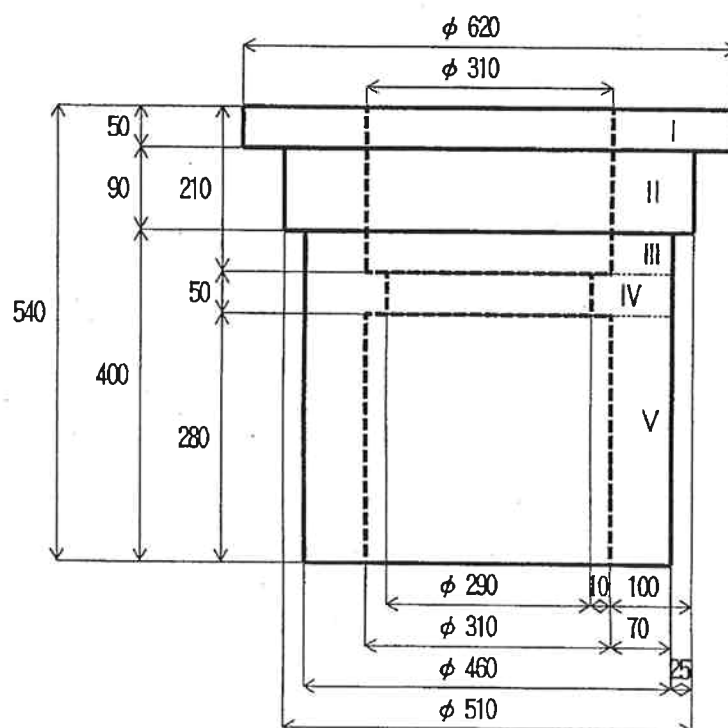
注湯時の乱流による、影響がこんなにあることを、あらためて感じた。

如何に静かに、湯面を乱さずに製品キャピティ内を上げていくか、又多数ヶ込めなら 全型に均等に溶湯を挿入するかが大事である。

7.7 ハウジング(油圧部品)の内部巣不良の改善事例

本品は、試作時及び二回目は合格したが、三回目に内部巣が発生し、それ以降、超音探傷試験(UT)仕様となる。

1. 製品の形状



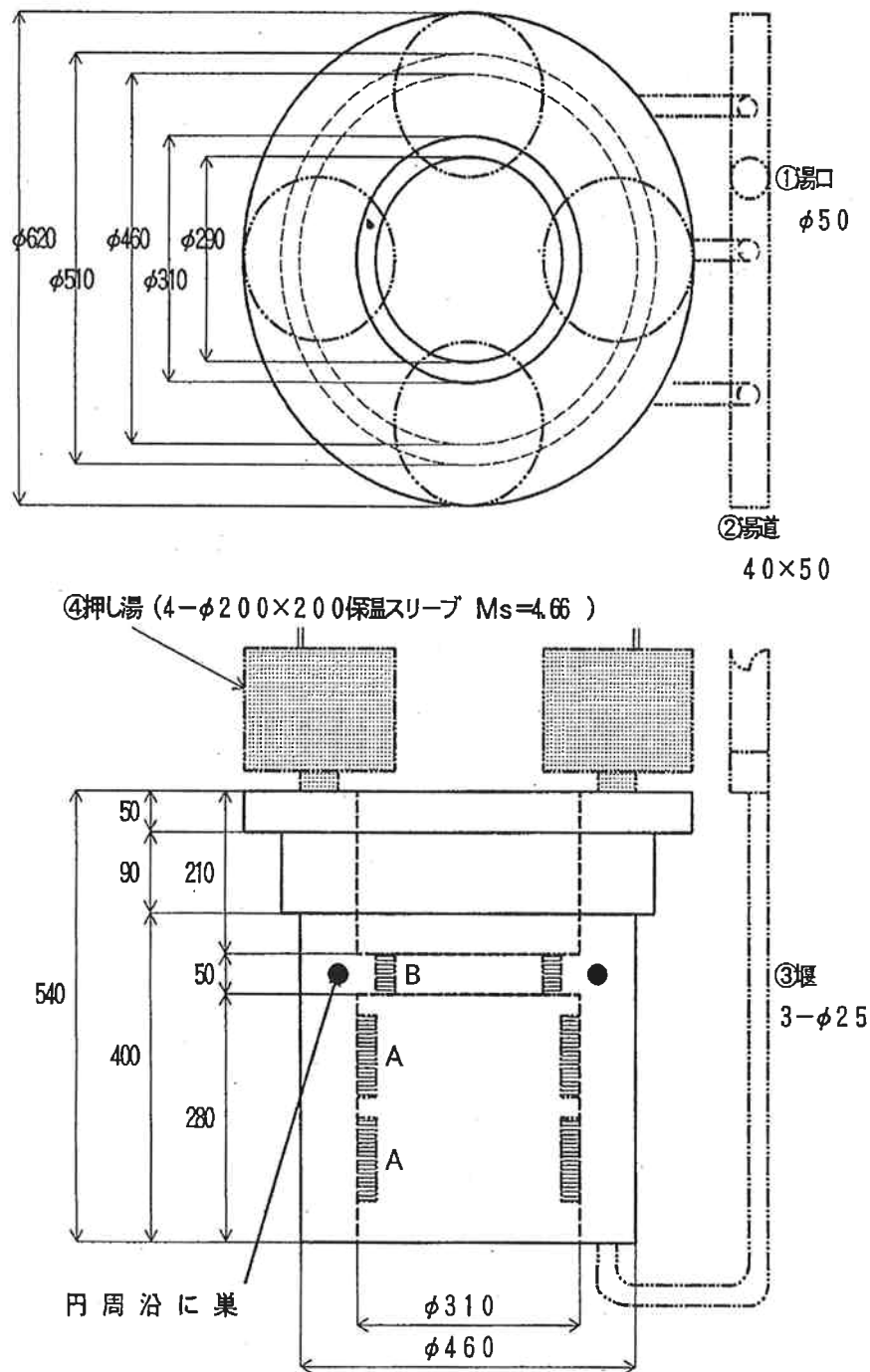
モジュラスM	M _I	M _{II}	M _{III}	M _{IV}	M _V	cm
	2.5	4.54	3.51	4	3.51	

2. 鑄造条件

鑄造条件

品名 ハウジング		材質 FCD450-15						
溶 解	溶解炉	高周波炉(500Hz、6000Kg)						
	接種剤	種類 フェロシリコン						
		添加量 0.4 %						
	目標成分 %	元素	C	Si	Mn	P	S	Mg
鑄 込	製品重量 410 Kg	炉中	3.5~ 3.70	1.35~ 1.55	0.10~ 0.40	≤0.06	≤0.02	≤0.01
		製品	3.5~ 3.65	2.2~ 2.5	0.10~ 0.40	≤0.06	≤0.02	0.03~ 0.05
		鑄込み重量	650 Kg		鑄込温度 1350 °C		鑄込時間 38 秒	

3. 改善前の鋳造方案



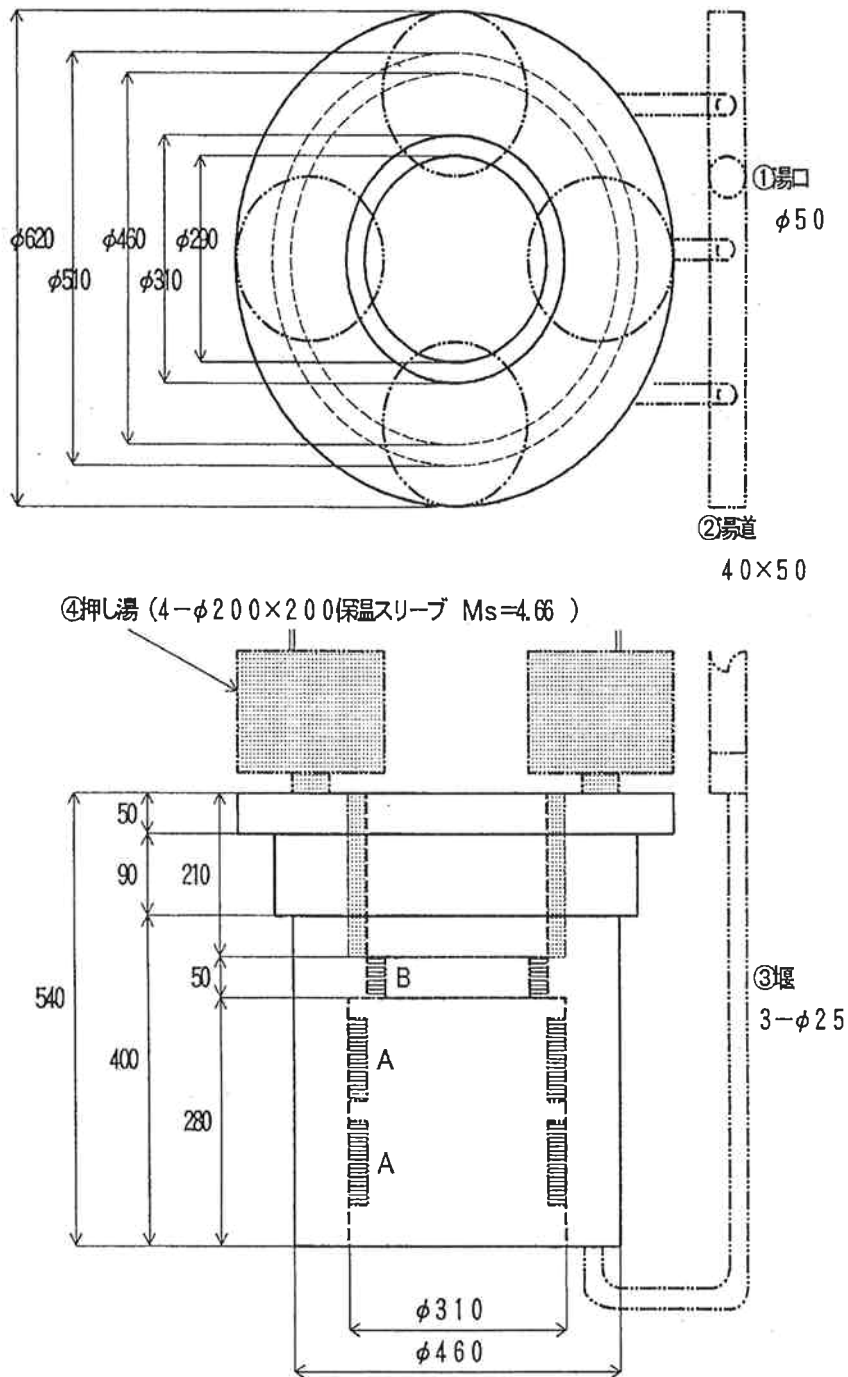
⑤ 冷し金 (FC 材 一周7個) A: 7-110 $\times$ 90 $\times$ 30 $^{\circ}$

冷し金 (FC 材 一周7個) B: 7- 60 $\times$ 90 $\times$ 30 $^{\circ}$

最大モジュール $M_{II}=4.54$ より $M_R=4.66$ の保温スリーブを使用する。

油供給用の縦穴を明けたところ、上記箇所に引け巣があった。今後 UT 仕様となる。

4. 改善後の鋳造方案



⑤冷し金 (FC 材 一周7個) A: 7-110 $\times$ 90 $\times$ 30 $^{\circ}$

冷し金 (FC 材 一周7個) B: 7- 60 $\times$ 90 $\times$ 30 $^{\circ}$

上記の方案でUT試験は合格であり、加工も健全であった。
 駄肉を付け指向性凝固にして、押し湯が利いた。今回はユーザーの了解がえられた
 否の場合でも、旋盤加工で取り除くほうが、有利と考える。

8. 鋳物健全性の検討事例

鑄物健全性の検討事例

8. 1 ハウジングの例

1. 製品の特性

図 1 に製品寸法と方案図を示す。製品重量は 4 1 0 Kg。

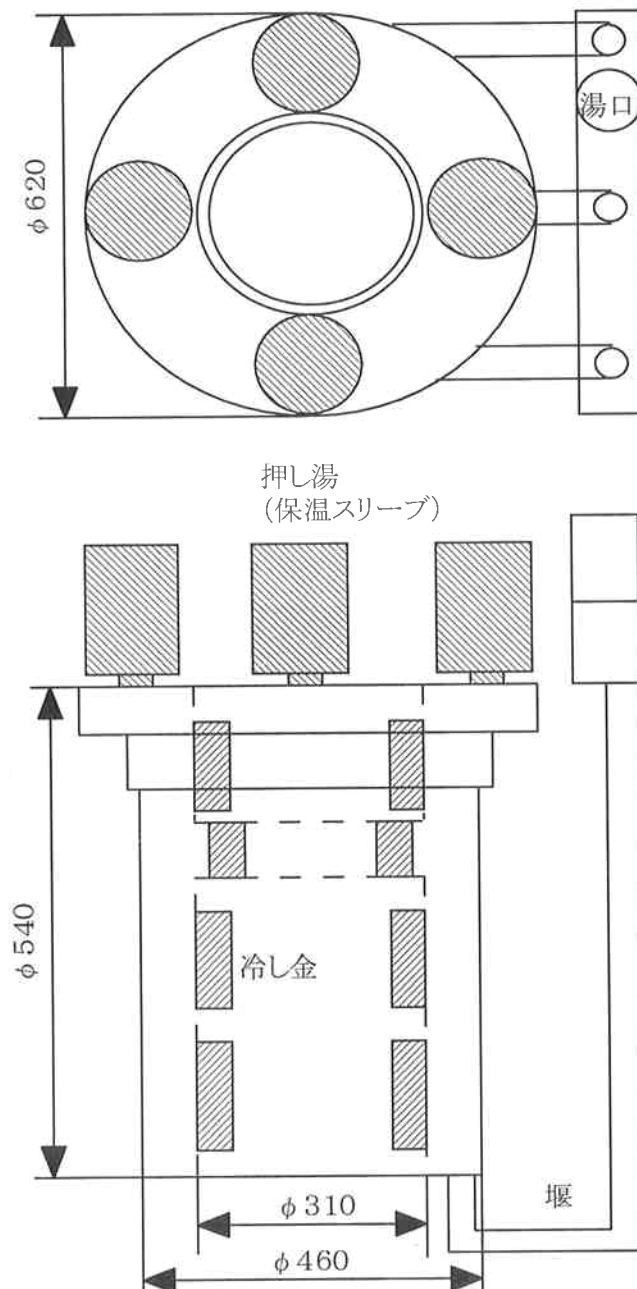


図 1 製品および方案図

2. 鑄造条件

表 1 鑄造条件

溶湯金属	FCD450
鑄込み温度	1 3 5 5 ℃
鑄込み速度	3 8 秒
冷し金材質	FC
鑄型材質	フラン鑄型
保温スリーブ	押し湯に使用

3. 凝固シミュレーションによる欠陥予測と対策

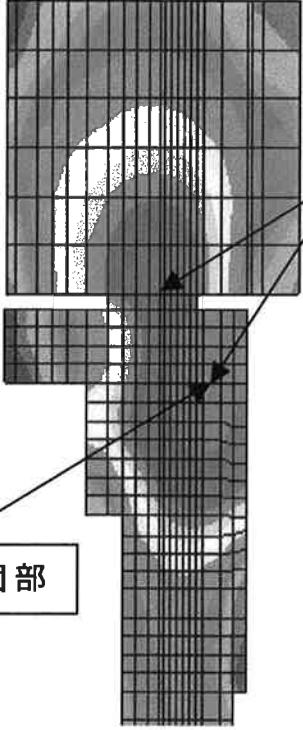
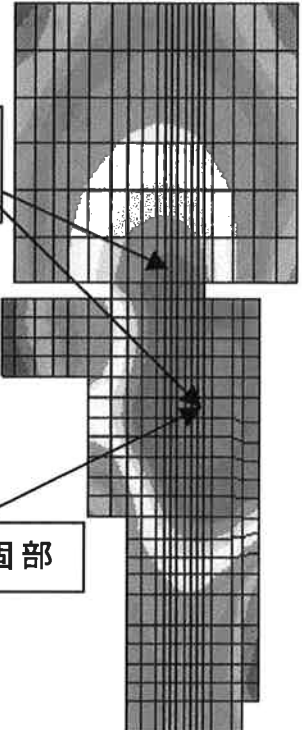
凝固解析による現方案と変更方案の一部の結果を表 2 に示す。解析条件は初期温度一定（1， 2 6 0 ℃）で行い、今回保温スリーブを省略して解析した。

表 2 方案による最終凝固位置 早い ← 凝固時間 → 遅い

ベース方案 (押し湯径 φ 140)	押し湯位置変更	押し湯位置変更・ 最上部冷し金削除 (破線部)

表 2 に示すように、押し湯径 $\phi 140$ で、押し湯位置の変更・冷し金の見直しを行ったが、最終凝固部が製品内部に残るとともに、押し湯付け根の凝固時間も速い事から保温スリーブを用いたとしても、指向性凝固が困難と思われる。従って、押し湯径の拡大・取り代アップ・上部冷し金は慰しなどの対策を検討した。結果を表 3 に示す。押し湯径 $\phi 180$ 以上が必要と思われる。

表 3 対策方案

押し湯径 $\phi 200$ ・ 取り代アップ・ 上部冷し金削除	押し湯径 $\phi 180$ ・ 取り代アップ・ 上部冷し金削除
	

4. 対策後の健全性確認結果

試験吹きの結果、健全性を超音波探傷試験で確認した。当初方案では図2に示すような欠陥が見られたが、押し湯径 $\phi 200$ 、 $\phi 180$ では欠陥が見られなかった。

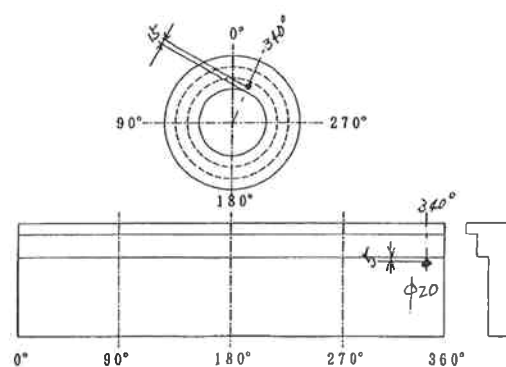


図2 超音波探傷結果

8. 2 シリンダーディスクブレーキの例

1. 製品の特徴

図 1 に製品形状と方案形状を示す。

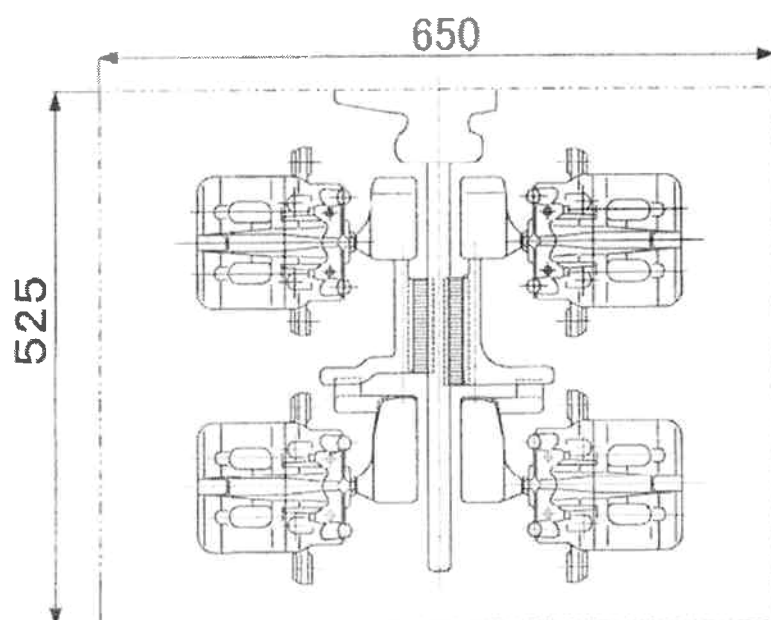


図 1 製品および方案

2. 鑄造条件

表 1 鑄造条件

溶湯金属	FCD450
鑄込み温度	1,370～1,450℃
鑄込み速度	6.5～7.5 秒
冷し金材質	FC
鑄型材質	生砂鑄型

3. 凝固シミュレーションによる欠陥予測と対策

ほぼ対称方案として、凝固シミュレーションは1/2モデルにて実施した。初期温度 1,260℃一定から凝固シミュレーションを実施した。結果の製品中央断面の凝固時間分布を図2に示す。この製品は、図2のE部に発生した引け巣が問題に成っている。

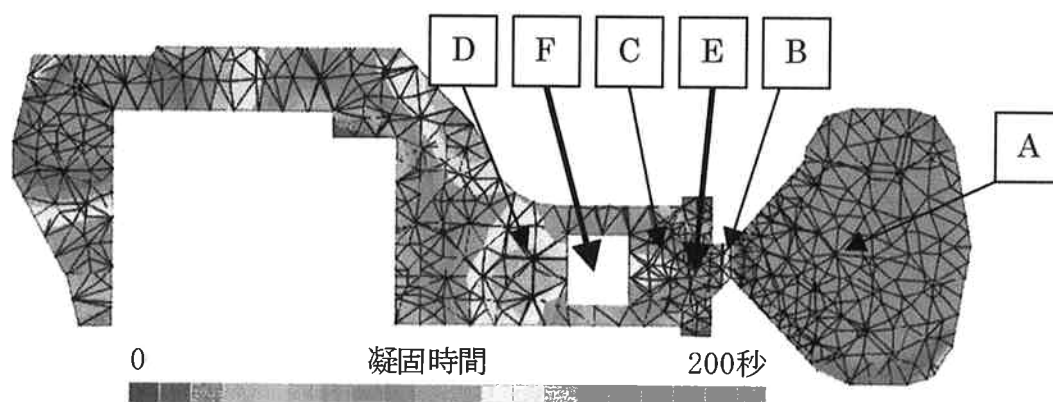


図2 凝固時間分布

図2では、閉ループがB部ではなくF部近傍に発生しているが、堰から押し湯にかけての急激な凝固時間勾配が有ることから、ホットスポットが発生し引け巣に至ったと思われる。このため、通常の引け巣対策である押し湯のサイズアップは逆効果になる。

また、実際にこの近辺の冷却曲線測定による凝固時間は図3のようであった。解析では、押し湯が最終凝固部になるが、それ以外の点は実測と解析とで良く一致している。なお、押し湯の凝固速度の違いは初期温度の差と思われる。

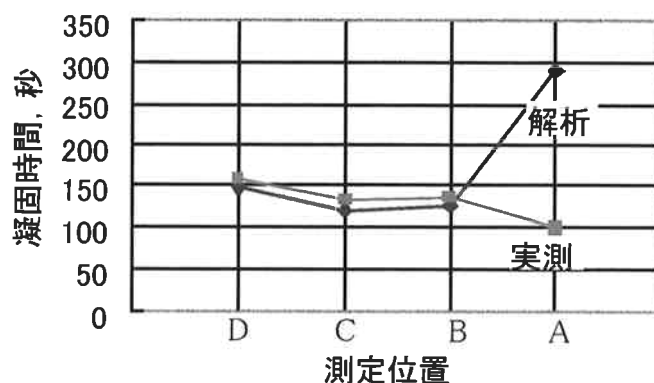
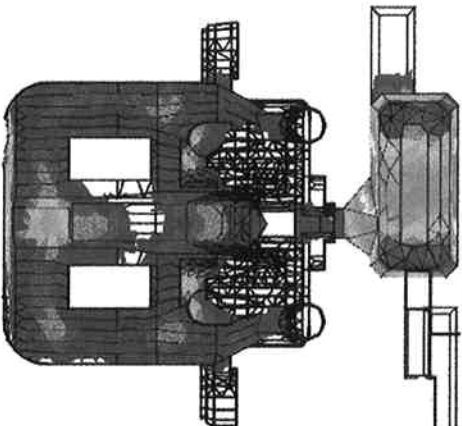
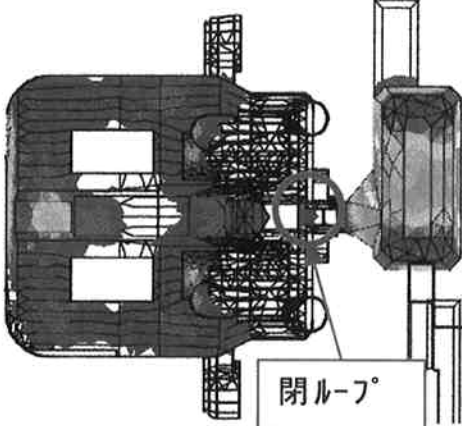
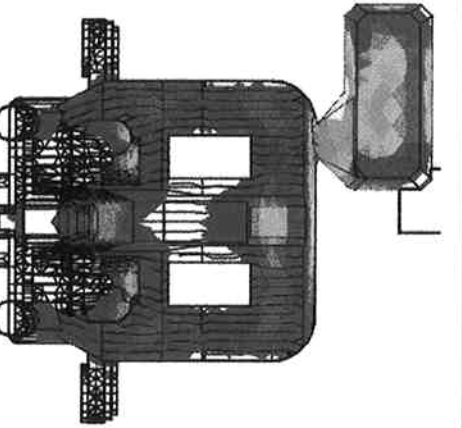
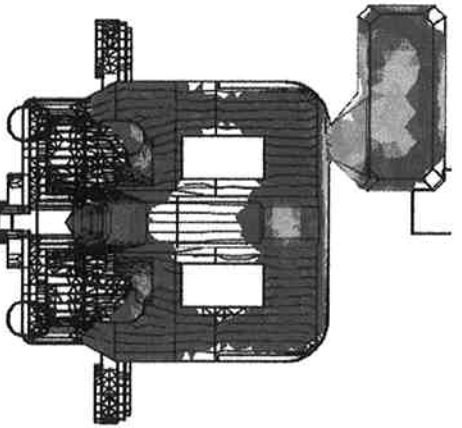


図3 凝固時間比較（測定位置は図1参照）

ヒートスポットを回避し指向性凝固を保つ為、余分な押し湯を削除する必要がある。幸いに、図 2 中の C→D と指向性が保たれていることから、堰を反対側に切ってみた。その解析の結果を表 2 に示す。

表 2 押し湯有無での未凝固部位

	凝固開始 100 秒後	凝固開始 115 秒後
押し湯有り		
押し湯無し		

4. 対策後の方案

解析をベースにした、改善方案を図4に示す。

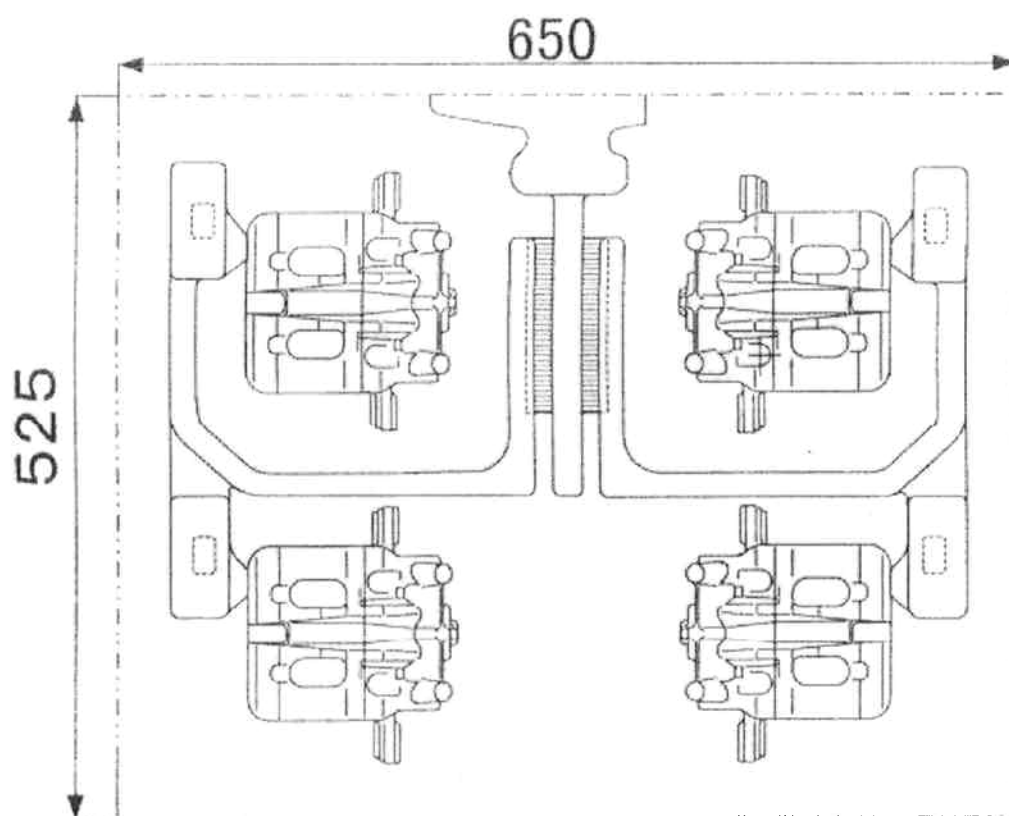


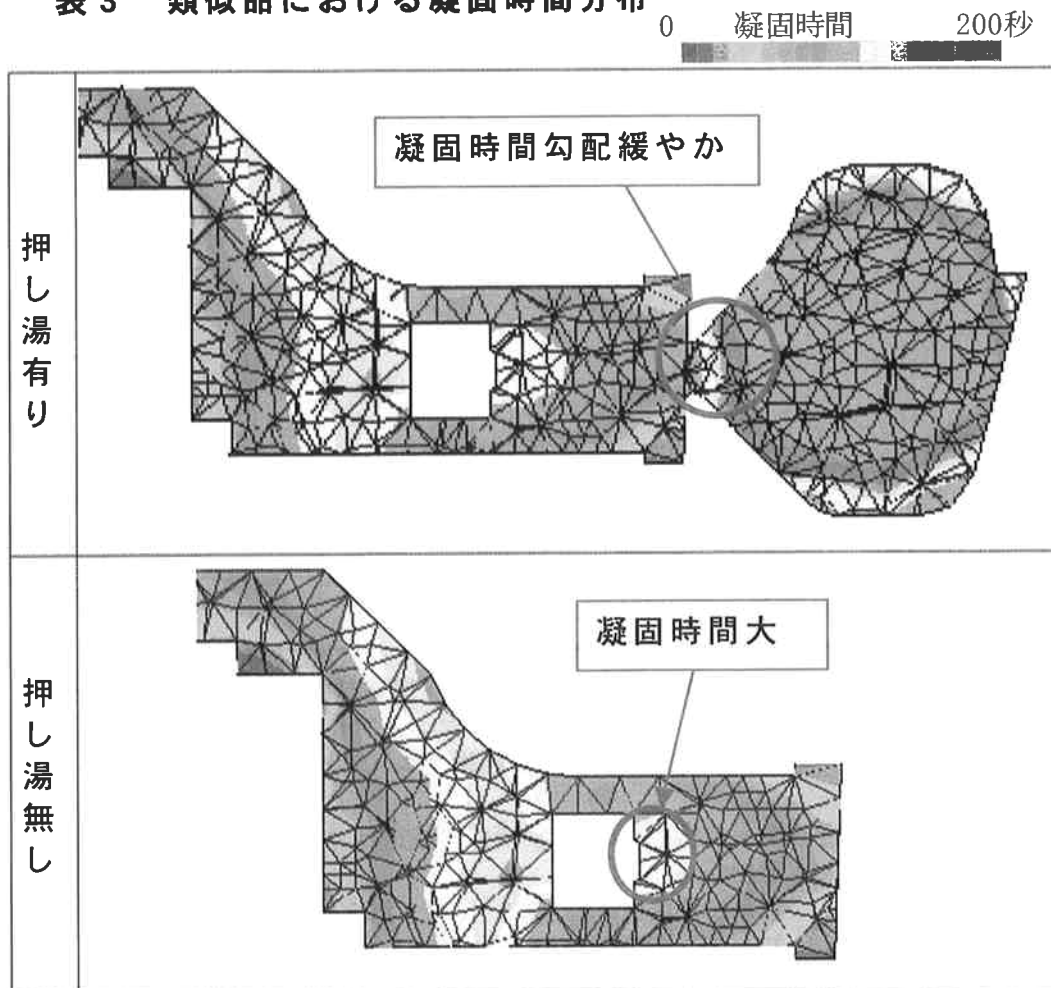
図4 改善方案

5. 類似製品の検討

上記製品と類似品においても同様に押し湯の削除が可能かを検討した。この製品は、先と同様な形状であるが、先の製品で引け巣が発生しているのに対し引け巣発生がない。また、生産ラインの枠サイズにより、2個込め方案である。押し湯有無による断面の凝固時間分布を表3に示す。

この製品は、堰から押し湯にかけての凝固時間勾配が少なく、ほぼ指向性が取られている。押し湯を無くした場合には、若干外引けが懸念される。

表3 類似品における凝固時間分布



平成12年度ものづくり人材支援基盤整備事業
—技術・技能の客観化、マニュアル化等—
「鑄造方案に係る技術マニュアル」

発行 中小企業総合事業団 情報・技術部 技術振興第二課
〒105 - 8453

東京都港区虎ノ門 3 - 5 - 1 虎ノ門 37 森ビル

TEL 03 - 5470 - 1523 FAX 03 - 5470 - 1526

無断転載を禁じる

Copyright © 2001 中小企業総合事業団 All right reserved.

※このマニュアルは、社団法人日本強靱鑄鉄協会の協力を得て中小企業総合事業団が作成いたしました。