

## 鑄物彈に發生するカブサリ防止に就いての一考察

百合壽馬\*

SOME WAYS TO PREVENT THE "KABUSARI" COMING  
OUT THE CAST IRON SHEEL

By Kazuma Yuri.

**SYNOPSIS:**—Sometimes the cast iron shell is produced covering its surface thin integument, which we call the "Kabusari". Cast iron shells, which are used for some special purpose and that as cast, are not accepted as unserviceable if they have any such integuments, however small. Thus manufacturers have been very anxious to find some way to prevent the growth of such protuberance—a cancer in a cast iron shell, so to speak.

After various experiments, the writer could form some judgment of the mechanism of the formation and discover preventives against it. In the writer's opinion, when the thickness of casting is great, segregation appears during solidification; and when the surface solidifies and begins contraction, the internal melt which has a comparatively low melting point is compressed and squeezed out on to the surface like perspiration, the conglomeration of which makes the so called "Kabusari".

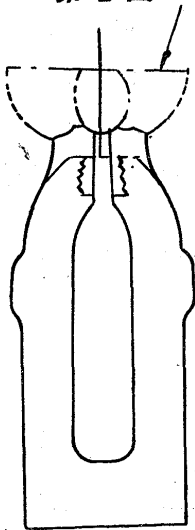
Taking this for granted, with a view to prevent segregation taking place on cooling. I melt certain mixture of cast iron first in a cupola and then superheat it in the electric furnace, and cast various kinds of shell with it. The result was that no "Kabusari" come out.

But it may again be presumed that some gap is made between the surface of the casting and that of the mould as the result of solidification and contraction of the surface of the casting on cooling, and the melts squeezed out from the inside, fill this gap and thus form the "Kabusari". If this is the case, if we could make the mould expand in accordance as the surface of the casting contracts so as to leave no gap between them, no covering would appear. On the grounds of this supposition, I have made experiments and researches about volume changes of various core sands on heating and got special mixture of moulding sand, by means of which I could prevent "Kabusari".

## I. 緒 言

鑄物彈は形狀は第1圖に示す如く簡單であるが、その使用目的に適應した極めて嚴密な検査を経なければならない

第1圖



ので鑄造技術は容易なものでない。

然らば如何なる點が難かしいかと言へば、それは彈丸の種類に依つて自ら異なるので一概には言へないが、掲題のカブサリの如きは殆んど各種彈を通じて起る問題の一つである。

カブサリとは鑄物の鑄肌に薄い皮の様なものが喰付き出来るのを謂ふので、これには鑄肌から完全に剥ぎ取れるときと取れない場合とがある

何れにしてもこれが鑄物彈の内面に出来るときは、彈丸が砲身内で火薬の爆發に依つて發射せらるる瞬間に受ける急激な衝擊に依つてこのカブサリが剝離し、その

際彈丸炸薬がこれと摩擦して發火する様なことがあると腔發を起して火砲を破壊せしめ、又時には人命に危害を與へる惧れがあるから、カブサリの無い平滑な鑄肌の鑄物を造らねばならない。そこで筆者はこのカブサリの發生原因並機構を探究し、地金と鑄物砂の二方面から二、三實驗を試み漸くその目的を達成し、最近ではその問題に就ての憂慮を解消するに至つたので、茲にその研究經過を並結果に就き概略を述べ、諸賢の御叱正を乞ひ、併せて御指導を仰ぎ度いと思ふ。

## II. カブサリの發生機構に就いての考察

鑄肌から剝離せられたカブサリを見ると表裏共に滑かな鑄肌地を現はし、これを剥ぎ取つた彈體の鑄肌も他と區別のつかない程綺麗である。これによつてカブサリは鑄物體の表面が凝固して後に出来たものと解せらる。又カブサリの出来た鑄物に就てカブサリと鑄物體から試料を採り、分析試験をしてこれ等の成分を一括し對照して見ると第1表の如き範圍となる。

即ちカブサリは鑄物體よりも C, P, 分が高く Si, S 分

\* 大阪工廠鐵材製造所

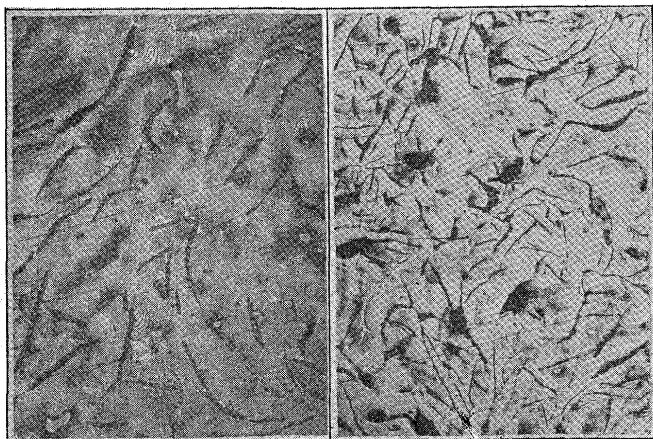
第 1 表

成分 区分	t.C. (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Mn (%)
鑄物體	3.1~3.2	1.2~1.4	0.12~0.14	0.06~0.08	1.0~1.1
カブサリ	3.5~4.1	0.8~0.9	0.2~0.4	0.01~0.02	0.8~1.0

が低くて、全く別箇の地金の感がある、そして又これ等の顕微鏡組織の比較をして見ても寫眞 A, B に示す如く、鑄物體はグラファイトが少く且細く、ホスファイドは極く稀に認められる程度であるが、カブサリはグラファイト片

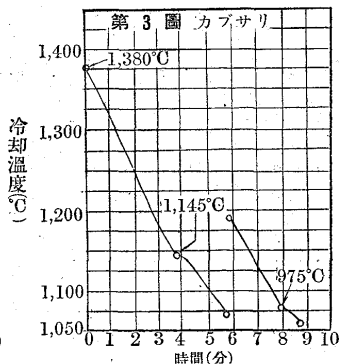
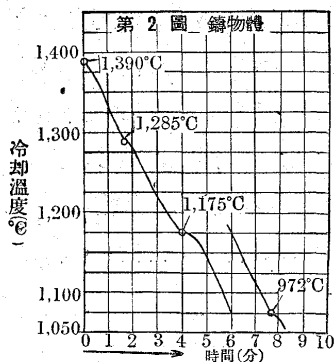
寫眞 A. 鑄物體

B. カブサリ



の数が多く形も大きい。且ホスファイドの量の多い特徴を表し、これ等兩者が同じものであるとは思はれない。

然しこれ等試料を 20g 宛探りタンマン爐に依り熱分析をして見ると、その結果は第 2 及第 3 圖に示す様に、鑄物



體の方は初期結晶開始温度が 1,285°C 附近にあつて、凝固終了温度は 1,175°C となり、972°C にホスファイドの晶出に依る静止點が僅かに認められるが、カブサリの方は 1,140°C 迄は變化なく、その温度で凝固を終了し 975°C に於て比較的顯著な静止點が現はれる。これ等の結果に依るとカブサリの方が熔融點低く、鑄物體の中で最後に凝固したものである如くに推定せられる。

又カブサリの發生現象が顯著であつた時代の彈丸と、この發生を見ない現在の彈丸とに就て分析成分を比較對照す

るに第 2 表の如く兩者の間に殆んど大差はない。

第 2 表

成分 区分	t.C. (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Mn (%)
カブサリ 發生彈丸	3.0~3.4	0.94~1.61	0.13~0.21	0.02~0.06	0.78~1.10
カブサリの 無い彈丸	2.9~3.4	1.2~1.7	0.14~0.21	0.03~0.08	0.84~1.12

然し大體に於て肉厚 20mm 以下の彈體にはカブサリは認められない 20mm 以上でも生型鑄物或は鑄込温度を極度に低下した場合もカブサリは出來ない。即ちカブサリの發生に就ては鑄鐵の成分の影響は少いが、肉厚の大小、鑄込温度の影響を鋭敏に受けることが解る。これ等の事實から筆者は鑄物彈にカブサリの出來る機構を次の如く考へた。

鑄型に熔湯を鑄入すると、鑄型に接した所謂鑄肌から凝固を開始し、この作用は漸次肉厚の中心に向つて進行する肉厚 20mm 以上で肉の厚い場合は肉厚の側部と中心とが同時に凝固することは稀である。故に鑄込後或る時間を経過すると側部は既に凝固して收縮に移るが、中心部は熔融状態に有る様な時期がある。そして時間の経過と共にこの現象は進み、中心部に於て最後迄残つた熔融點の低い部分が側面から收縮のために壓迫せられて結晶の境界を通り鑄肌面に汗の如く滲出し、これが鑄肌と鑄型表面との間に出來る僅かな隙間に集つて附着し、所謂カブサリを形成するのであらうと。

これは青銅鑄物を造る場合に起る Tin Sweat に似た現象であると解して居る。

### III. カブサリ防止に就いての 試験經過並結果

カブサリの發生機構を前節の如く考へ、これが防止計畫を次の二方面から樹て、試験を実施した。

1. 熔湯の取扱に依る防止法
2. 鑄型の構造に依る防止法

次にこれ等に就ての試験の概要を述ぶることとする。

1. 熔湯の取扱に依る防止法 カブサリの發生は熔湯の凝固時に於ける收縮作用に支配せらるる事が大であるから熔湯の取扱に就ては更に次の二つの場合が考へられる。

その一は收縮量の極めて少い鑄鐵を以て鑄造する。

その二は肉厚の大なるときも、側部と中心部との凝固時間に大なる差の無い様な熔湯を用ひて鑄造する。

第 3 表

t.C (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Mn (%)
34~36	20~25	0.3~0.5	0.08 以下	0.11~0.5

その一に就ては、黒鉛化に都合の  
 好い第3表の如き成分の鑄鐵を熔銑  
 爐で熔製し、最も多くカブサリの發  
 生する彈體の鑄造を試みたが、カブ  
 サリの附着したものは皆無であつた  
 しかしこれ等の断面組織は極めて  
 粗く、その彈體抗力は抗張力8~10  
 kg/mm<sup>2</sup>、抗壓力 30~40 kg/mm<sup>2</sup> であ  
 つて、折角カブサリ防止には成功し  
 たが、彈丸地金として抗力が規格に  
 達しない爲に、この方法は採用出來  
 ない。

その二に就ては鑄込溫度を極度に低下し、鑄込直後に凝  
 固せしむる方法があるが、これは肉厚の内部に多數の氣泡  
 を包藏する危険があるので採用出來ない。

獨逸の E. Pivowarsky 氏 (Stahl und Eisen, 1925  
 S. 1455) が實驗の結果鑄鐵を高溫度に過熱すると、凝固  
 時に過冷現象を起すため、肉厚の内外に於ける凝固時間の  
 差が僅少となり、均等なる組織の鑄物が出來るとの説を發  
 表して居る。この理論がカブサリ防止に役立つ如く考へら  
 れたので、熔銑爐で熔製した鑄物彈用の熔湯約 1,000 kg  
 を 3 瓩電氣爐に移し約 1 時間を要して 1,600°C 附近に過  
 熱し、これを以て彈丸鑄造を試みた、その結果は第 4 表に  
 示す如く過熱精煉の完全に行つたものにはカブサリは認め  
 られなかつたが、鑄物に鑄引が甚しく殆んど全部に互り龜  
 裂を生じ、廢品が續出する狀況であつた。

第 4 表

記 號 試驗 月日	成 分					抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗壓力 (kg/mm <sup>2</sup> )	彈體の外観
	t.C (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Mn (%)			
11.30	C	3.427	1.317	0.121	0.075	0.786	19.2	長大なカブサリあり 鑄引著しく龜裂あり
	E	3.259	1.341	0.117	0.010	1.268	20.6	
12.9	C	3.309	1.194	0.140	0.083	1.213	18.9	長大なカブサリあり 底割れ
	E	3.207	1.406	0.141	0.010	1.392	20.2	
12.17	C	3.473	1.576	0.132	0.077	0.831	18.4	カブサリあり 口部鑄引著し
	E	3.105	1.483	0.135	0.013	0.888	22.7	
12.22	C	3.330	1.535	0.132	0.080	0.888	17.5	長大なるカブサリあり 底面に龜裂あり
	E	3.210	1.495	0.133	0.009	0.979	21.6	

備考 1. 記號 C はキヌボラ湯 (過熱前) E は電氣爐過熱湯なり  
 2. 抗張力、抗壓力は何れも 2 箇の平均値を示す

斯様にしてカブサリの防止に成功しても、鑄物として良  
 品が出來なければ効果は無い理であるから鑄引を少くして  
 鑄造上起る故障を無くする爲、更に過熱前の地金の成分を

第 5 表

記 號 試驗 月日	分析成分					抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗壓力 (kg/mm <sup>2</sup> )	彈體の外観
	t.C (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Mn (%)			
1.27	C	3.259	1.535	0.144	0.068	0.749	16.5	カブサリ少量あり 良
	E	3.455	1.506	0.140	0.018	0.757	16.2	
2.2	C	3.548	1.573	0.135	0.077	0.865	14.1	良 良
	E	3.387	1.466	0.134	0.009	0.944	19.7	
2.7	C	3.390	1.658	0.138	0.076	0.894	14.0	良 良
	E	3.287	1.535	0.127	0.009	0.894	21.4	
2.4	C	3.421	1.703	0.118	0.067	0.749	7.5	良 良
	E	3.431	1.456	0.116	0.006	0.821	18.0	

備考 1. 記號 C はキヌボラ湯 (過熱前) E は電氣爐過熱湯なり  
 2. 抗張力、抗壓力は何れも 2 箇の平均値を示す

種々變更して試験を実施した。その結果は第 5 表に示す如  
 く鑄引を少くするために C 及 Si を増加せしめ、これが  
 爲に起る抗力の低下を過熱精煉に依り向上せしむることに  
 して目的合に致するカブサリの無い彈丸の鑄造を爲す一  
 法を得た。

2. 鑄型に構造に依る防止法 肉厚 20mm 以下の鑄物  
 にカブサリが出來ないのは、肉厚の内外に於ける凝固時間  
 の差が僅少であるが爲に熔湯の滲出が不可能なるに依ると  
 考へられる。肉厚大なる場合に於ても側面を急冷せしむれ  
 ば冷却速度が大となり、該部は硬化せられ緻密な組織とな  
 るため、中心部から熔湯の滲出は不可能となり、カブサリ  
 は出來ない理である。この意味に於て鑄型面に冷し金を用  
 ふることに依りカブサリの防止する方法が考へられる。

然し彈丸は前述の様な形状 (第 1 圖参照) をして居るか  
 ら、どうして心型に冷し金を使用するかが難しい問題で  
 ある。この他水冷式の急冷法もある  
 が、毎日數百箇の鑄造をなす多量出  
 産の作業に適する様な設備は實作業  
 上至難な事であつて、これ等の點か  
 ら見ると彈丸鑄造に當つて表面急冷  
 により、カブサリを防止する方法は  
 採用出來ない様である。

筆者は豫て次の様な考へを持つて  
 居た。

カブサリ發生機構から考へて見る  
 と、肉厚の中心部から滲出した熔湯

が鑄肌面に附着するのは鑄物の收縮に依り、鑄肌と鑄型の  
 兩面間に間隙が出来るからであつて、若し鑄物の收縮時に  
 鑄型砂が膨脹して常に鑄肌面を押し、兩面が密着して間隙  
 を生ぜしめなかつたならばカブサリは出来ない理である。

この見地に基き筆者はカブサリの出来る時期に於て起る  
 心型砂の熱的變化を探究し、本目的に適應する心型砂の選  
 定を爲さんとして次の二、三の實驗を行つた。

(1) カブサリの發生する溫度及時期の測定 鑄物砂の熱  
 的變化に於て研究するに當り、鑄物彈に就てカブサリの發  
 生する溫度及時期（鑄込後何分）を見出さなければならな  
 い爲次の様な實驗を行つた。

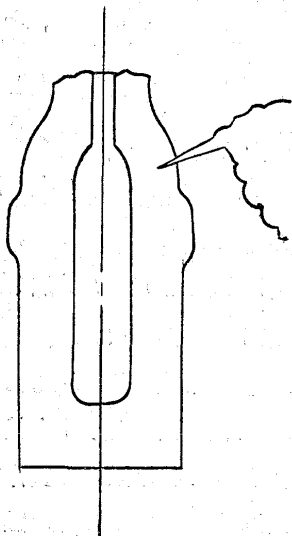
a. 實驗の方法 第4圖に示す如く彈丸の鑄型に白金、  
 白金ロヂウムの熱電高溫計を挿入し、鑄込後 900 1,000  
 1,100 1,120 1,130 1,140 1,150°C の各溫度から水中  
 に投入し、これを破碎してカブサリ發生の狀況を調査し  
 た。

この實驗に供した熔湯の成分は第5表に示す範圍のもの  
 であつた。

第 5 表

t.C. (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Mn (%)
3.2~3.4	12~1.35	0.10~0.15	0.06~0.09	0.8~0.95

第 4 圖



尙この鑄込溫度は、多年  
 實作業に於て最も適當と認  
 めた程度の溫度で Pyropo  
 Optical Pyrometer に依  
 ると 1,250~1,300°C の  
 間であつた。

b. 實驗の結果 この實  
 驗に於ては 1,250°C 附近  
 で鑄込み 1,150~1,140°C  
 で水中に投じたものは一、  
 二の例外を除いては總てカ  
 ブサリがあつた。そしてそ  
 の量は急冷溫度 1,150°C よ

り低下するに伴つて稍増加する傾向のあるのを認めたが、  
 1,200°C 以下で急冷したものには變化が認められなかつ  
 た。

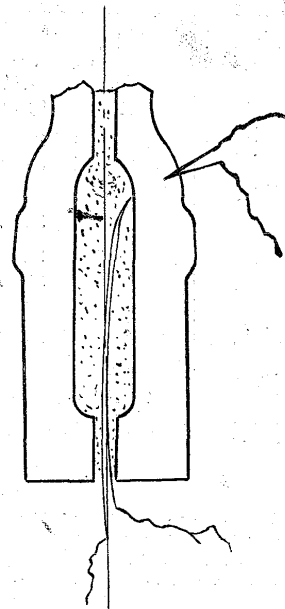
これに依つて見ればカブサリの發生する溫度は 1,150°  
 ~1,130°C で、時期は鑄込後 2~4 分なることが解る。

(2) カブサリの發生時期に於ける心型砂の加熱狀況 カ  
 ブサリの發生溫度が 1,150~1,130°C なるとき、この際

に心型砂の加熱せらるる狀況を知る爲次の實驗を行つた。

a. 實驗の方法 第5圖に示す如く2對の白金、白金ロ  
 ジウム熱電高溫計を準備し、1對を彈丸の鑄型内に挿入し

第 5 圖

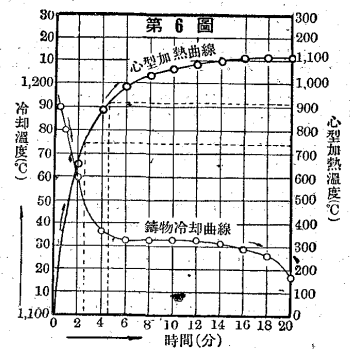


他を心型内に埋め鑄込後  
 10 秒毎に溫度の讀を記録  
 し、これを紙上に移して鑄  
 物の冷却及心型の加熱曲線  
 を作成した。

供試彈丸の分析成分は  
 t.C. 3.313%, Si 1.339  
 %, P 0.143%, S 0.091%,  
 Mn 0.879% で、これが鑄  
 込溫度は 1,280°C で、一  
 般の場合の代表的狀況であ  
 つた。

b. 實驗の結果 實驗の  
 結果は第6圖に示す如く、  
 心型砂は比較的急激に加熱

せられてカブサリの發生  
 時期、即ち鑄物が 1,150  
 ~1,130°C に冷却する  
 間 750~900°C に加熱  
 せらるる事が解る依つて  
 各種鑄物砂に就て 750~  
 900°C に於ける熱的變  
 化の狀況を調べ、心型砂  
 としての諸條件を害せずして膨脹の大なる配合砂を求める  
 ことにした。



### 3. 高溫度に於ける鑄物砂の熱的變化

#### a. 各種鑄物砂の熱膨脹測定實驗

(イ) 實驗裝置 本多式高溫度熱膨脹測定裝置を使用し  
 た。

(ロ) 供試材料 使用した原料砂は珪砂、銀砂、川砂及  
 粘土にして、その分析成分を示せば第7表の通である。

第 7 表

砂種	成分							i.L. %
	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	
銀砂	94.58	3.12	0.41	0.10	0.67	0.13	0.05	0.58
珪砂	95.53	2.93	0.21	0.05	0.34	0.10	0.04	1.17
川砂	79.83	11.60	1.48	0.36	1.97	1.40	2.02	1.67
粘土	56.80	28.36	1.61	0.08	1.75	0.51	0.40	11.72

これ等の砂のみにては可塑性悪しく、鑄肌を粗くし、且

砂落しも困難となるを以て鑄物彈の心型砂として適合せしむる爲にはコークス粉、木炭粉、黒鉛等を配合して使用するを通常として居る。

これ等の配合量が鑄物砂の熱的變化に及ぼす影響を明にする爲第8表の様な配合砂を試験に供した。

第 8 表

配合	砂 種						
	銀砂 %	珪砂 %	川砂 %	コークス粉 %	木炭粉 %	黒鉛 %	粘土 %
A	85	—	—	—	—	—	15
B	—	85	—	—	—	—	15
C	—	—	85	—	—	—	15
D	—	65	—	10	—	10	15
E	—	55	—	20	—	10	15
F	—	45	—	30	—	10	15
G	—	35	—	40	—	10	15
H	—	65	—	—	10	10	15
K	—	55	—	—	20	10	15
L	—	45	—	—	30	10	15
M	45	—	—	30	—	10	15
N	—	—	45	30	—	10	15
R	—	35	15	—	25	10	15

前記配合砂には凡て一定量の水を加へ、一定時間鉢中にて壓擦混練し、金型に依つて径 8mm 長さ 150mm の砂の試験片を作り黒味を塗りて一夜乾燥した上これを使用した砂の配合要領及撞固め程度に依つて生ずる實驗的誤差を出來得る限り少くするため、原料は一定の容器で正確に秤り同一條件の下に壓磨、混練、撞固め、乾燥等を行ふ如く注意した。

(ハ) 實驗の方法 前實驗に於て明かなる如く、心型砂は熔湯鑄入、後 4~5 分の間に 900°C 近く加熱せられるから、本實驗に就ても、努めてこれと同一狀況の下に試料を加熱した場合の熱的變化を検する目的の下に、電氣爐を豫め 1,030°C に加熱し、試料を急激に爐中に挿入し、試料の溫度が 900°C に達したとき、更に 2 分間その溫度を保持し然る後電流を絶つて急冷した。

この實驗に於ては一定の溫度變化に伴ひ生起する試料の膨脹收縮の割合を示す尺度の讀を記録し、次式に依り  $\alpha t$  を算出して各溫度に於ける  $\alpha t$  の變化狀況を曲線圖で表はした。

$$\alpha t = n \cdot d / 2Dl$$

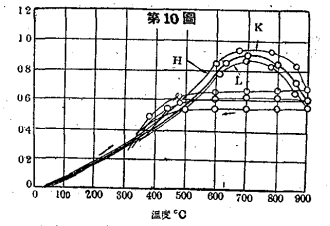
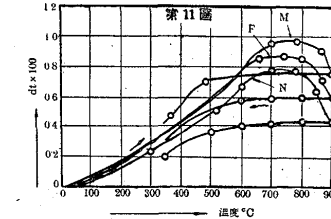
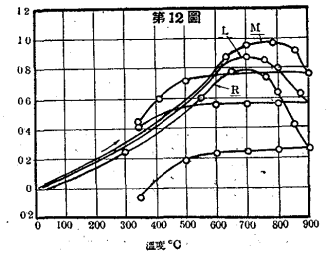
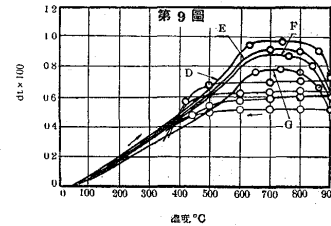
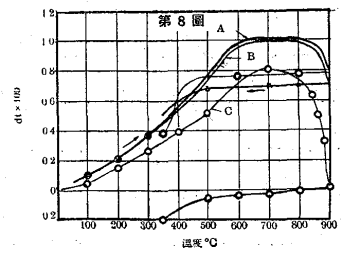
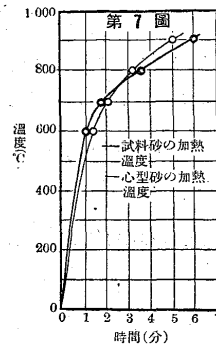
$\alpha$ ・線膨脹係數 t・溫度 °C n・尺度の讀 cm

d・鏡の支點より中心迄の距離 10mm D・鏡と

尺との距離 1,700mm l・試料の長さ 150mm

尙鑄物の心型砂が熔湯のために加熱せらるる狀況と、本實驗に於ける試料の加熱狀況とを比較圖示すれば第7圖に示す通で、略同一狀況と見る事が出来るのである。

(ニ) 實驗の結果 第8表に示す A,B,Cなる原料砂のみの實驗結果は第8圖に示す如く大體 Quartz の變化を一



致して  $\alpha$  より  $\beta$  相に移る膨脹と  $\beta$  より Tridymite に變る收縮の形態を取るが、その割合は銀砂と珪砂は略等しいが、川砂は  $\beta$  に移る膨脹量少なく Tridymite に移る收縮が極めて大である。

この現象は第7表に依つて説明することが出来る。即ち砂の膨脹は珪酸含有量に依つて支配せられ、收縮はアルミナその他灼熱減量分の影響を受ける様である。この結果から本研究の目的に對して用ふべき原料砂は、銀砂が最も適當で、珪砂を以てこれに代ふることは出来るが、川砂は使用出来ないことが解る。

配合砂に就いては黒鉛、粘土量を一定とし、コークス粉の量を 10~40% 變化した場合 (第8表中 D,E,F,G) の成績は第9圖に示す如く、コークス粉量の増加するに従つて膨脹の割合は漸次減少し 37% 以上配合した場合この傾向の著しく増大することは注目を要する所である。又このコークス粉を木炭粉に代へた場合 (第8表中 H,K,L) の成績は第10圖に示す如く、同様木炭の増加に伴つて膨脹の割合が減少する。然し前者に比し早期から稍大なる收縮に移る點が異つて居る。

次にコークス粉、黒鉛、粘土量を一定とし原料砂のみを變更した場合 (第8表中 F,M,N) の成績は第11圖に示

す如く、銀砂が最も良好で、珪砂、川砂の順に膨脹、收縮の割合は何れも低下する。

最後に銀砂コークス粉配合の M 砂と銀砂を珪砂に代へコークス粉を木炭粉に代へた場合の L 及従來の鑄物彈用心型砂配合、R 即ち珪砂、川砂、木炭粉、黒鉛に粘土を配合した砂を比較して見ると第 12 圖の通りで、試みに 800°C 及 900°C に於けるこれ等砂の  $\alpha t$  の値を見ると、第 9 表の如く M 配合砂と従來の心型砂 R との間の膨脹量に著しい差のあることに氣付くのである。

第 9 表

砂の種類	$\alpha t$ の値		
	M 配合砂	L 配合砂	R 配合砂
加熱 800°C	0.0095	0.0080	0.0065
温度 900°C	0.0076	0.0058	0.0025

(2) 高温度の下に心型砂より發するガス分析及揮發量の測定 配合砂中に調合した材料の種類に依つて膨脹收縮の割合が異なる原因を探究する爲、高温度の下に於てこれ等が排出するガスの分析及揮發量の測定を行つた。

a. 實驗の裝置及方法 高温度に於ける排出ガスは前記膨脹測定裝置により 實驗中の排氣ポンプの排氣口より 1,000 cc のフラスコにゴム管を通し、水と置換して採集した。その温度は實驗中 500°C 位から臭氣あるガスの排出するのを感じたので、試料の温度が 500°C に達したとき栓を開いてガスの採集を始め 1,000 cc を採取したときの温度が 740°C 位であつた。ガスの分析はオルザット分析裝置に依つて行つた。

揮發量の測定には試料 2 瓦を白金ルツボに入れ、これを豫め 850°C に昇熱したマツフル爐に入れて 7 分間保持し取出して放冷し常溫で秤量して前後の差を求めて揮發量とした。

b. 實驗の結果 第 10 表はガス分析の結果を示す、これによるとガスの量には大差はないが、木炭粉を配合した

第 10 表  
成 分

配合	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	ガス採集温度
	%	%	%	%	%	%	%	
A	0.4	0.4	0	0	tr	20.3	78.9	500~720°C
B	0.6	0.4	0	0	tr	20.4	78.6	500~720
C	0.7	0.3	0	0	tr	20.7	78.3	500~720
D	0.9	0.3	0.3	0	tr	20.9	77.6	500~740
E	0.6	0.3	0	0	tr	20.8	78.3	500~720
F	0.9	0.3	0	0	tr	20.3	78.5	500~740
G	0.3	0.4	0	0	tr	21.0	77.8	500~740
H	0.9	0.4	0	0	tr	20.1	78.6	500~720
K	1.1	0.5	0	0	tr	20.2	78.2	500~720
L	1.3	0.6	0	0	tr	20.1	78.0	500~710
M	0.7	0.4	0	0	tr	20.1	78.8	500~740
N	0.8	0.4	0	0	tr	20.3	78.5	500~720
R	1.0	0.5	0	0	tr	20.1	78.4	500~720

H, K, L 及 R が他に比して CO<sub>2</sub>+CO の量に富んで居ることが認められる。

第 11 表の揮發分量に於ても同様 H, K, L 及 R が他のものよりも多い。即ち木炭粉とコークス粉は同じ様なものであるが、前者は高温に於て揮發する量が多い。これが砂の熱膨脹曲線に於て木炭粉配合砂の 750~900°C に於ける收縮状況を異にする一原因となる。そして R 砂の膨脹少く、收縮大なることもこの木炭粉と川砂を併せ用ひた結果であると解せらる。

第 11 表

配合	區分		配合	區分		配合	區分	
	揮發分	殘渣分		揮發分	殘渣分		揮發分	殘渣分
A	3.47	96.53	G	4.88	95.12	R	5.71	94.29
B	4.21	95.79	H	5.40	94.60			
C	3.97	96.03	K	6.01	93.99			
D	4.24	95.76	L	6.44	93.56	コーク粉	4.09	95.91
E	4.03	95.97	M	4.34	95.66	木炭粉	13.45	86.55
F	4.69	95.31	N	4.48	95.52	黒鉛	3.97	96.03

以上の實驗結果より鑄物彈の心型砂としては銀砂を主とし、これにコークス粉、黒鉛を配合して粘土で合したものを可とし、その配合比は實作業に於て使用して見た結果第 8 表中の M 配合、即ち銀砂 45%、コークス粉 30%、黒鉛 10%、粘土 15% が最も適當であることを認めためたので、この砂がカブサリ防止に對して實際に効果があるか否かを確めて見た。

4. M 配合砂の實作業に於ける效果 M 配合砂と従來の心型砂 R 配合砂とを以て同一要領にて最もカブサリのよく出来る鑄物彈の心型を作りこれ等を鑄型に収めて並列し、同じ取鍋湯を同じ状況の下に鑄込して出來た鑄物彈を切斷し内面を比較して見た。ところが M 配合砂の方は綺麗な鑄肌であつたが R 配合砂の方は廣くカブサリが附着して居た。

そこで毎日作業して居る彈丸の内に 10~20 箇宛 M 配合砂の心型を使つてその結果を見ると、矢張りカブサリは喰付いて居なかつた。斯くして數日間試作した結果その成績が明瞭になつたので、爾來鑄物彈の心型砂は凡てこの砂を使用することに改めた、それ以來このカブサリに悩まされる事が無くなつた。然しその間には尙若干のカブサリ彈を出して居るが、それは極めて少量且薄く容易に除去し得る程度のものである。

この様に M 配合砂を使用した結果は實際にカブサリを防止したが、果して筆者の考へて居る如く心型砂の膨脹が鑄物の收縮に依つて出来る鑄肌と鑄型面の間隙を充し得る

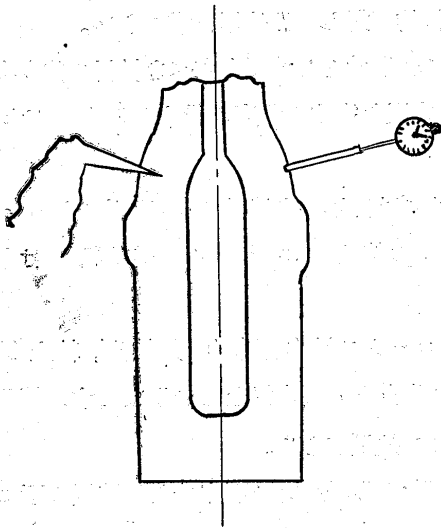
か否かを實驗的に證明する爲鑄物の收縮量を測定し、心型砂の熱膨脹實驗の結果から心型の膨脹量を算出し、兩者を比較して見た。

5. 鑄物弾の凝固時に於ける收縮量の測定 鑄鐵の收縮は大體熔融狀態、凝固期間及凝固終了後の3段に分けて考へられるが、何れの場合に於ても、溫度に依つて收縮量の異なることは周知の事實である。今鑄物弾に就て凝固期間に於ける縮狀況を見る爲次の實驗を試みた。

(1) 實驗の方法 カブサリの最もよく出来る鑄物弾に就き、これが附着する位置に石英管の一端を接觸せしめ。他端に精度 1/100mm のマイクロメータを當て、鑄込直後より5秒毎にメータの讀を記録し、反對側に肉厚の中心部に1對の熱電高溫計を挿入し、同じ時間の経過に於ける溫度を記録して各溫度に於ける收縮量を曲線に表はした。

第13圖は實驗要領を示す。これに用ひた鑄鐵の成分は  $t.C. 3.321\%$ ,  $Si 1.331\%$ ,  $P 0.147\%$ ,  $S 0.088\%$ ,  $Mn 0.763\%$ , 鑄込溫度は  $1,300^{\circ}C$  で、實作業の場合と略同じ狀況と看做さる。

第13圖

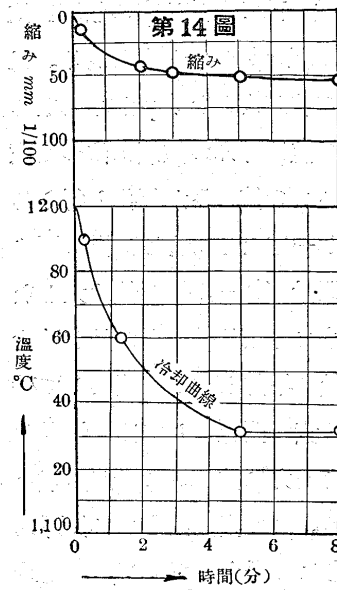


(2) 實驗の結果 本實驗の結果は、第14圖に示す如く、鑄物の表面に於ては、最初比較的急な收縮をする様である。圖に依ればカブサリの發生時期 (1,150~

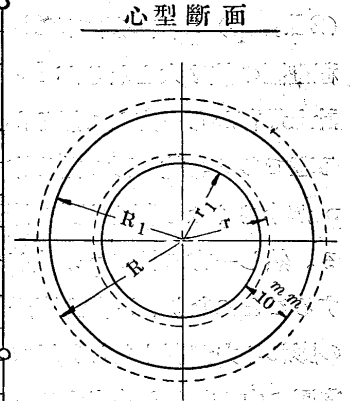
1,130°C) に於ける鑄肌面の收縮量は 40/100~50/100 cm となる。  
この値を見ると、鑄物の肉厚の割合に收縮が大きい感がするが、この場合鑄物の冷却時に於ける收縮作用のみでなく、心型全體が長さに沿ふて伸びる爲、比較的長く熔融狀態にある上位の部分が引張られる結果であると解す。實際出來たカブサリを剝取して厚さを測定して見ると、最大 0.5mm に及ぶものがあるを見る。

6. M 配合砂にて造る心型の膨脹の計算 前述の如く、カブサリは心型砂が  $750^{\circ}C$  に加熱せられたときに出來始

むるが、この時期に於ける心型の膨脹量を表はす關係は次の様な式になる (第15圖参照)



第15圖



$$S = s(1 + 2\alpha t)$$

S...750°C に於ける心型断面積(砂の部分のみ)

mm<sup>2</sup>. s...常溫に於ける心型断面積(砂の部分のみ)mm<sup>2</sup> α...砂の線膨脹率

又 R...750°C に於ける心型断面の半径 mm

R<sub>1</sub>...常溫に於ける心型断面の半径 mm

γ...750°C に於ける心型砂壁の内半径 mm

γ<sub>1</sub>...常溫に於ける心型砂壁の内半径 mm

p...心型砂壁の厚さ mm

とすれば、I式は

$$\pi(R^2 - \gamma^2) = \pi(R_1^2 - \gamma_1^2)(1 + 2\alpha t)$$

$$\text{然るに } \gamma = R - p \quad \gamma_1 = R_1 - p$$

$$\text{故に } R^2 - (R - p)^2 = \{R_1^2 - (R_1 - p)^2\}(1 + 2\alpha t)$$

$$R = R_1 + 2R_1\alpha t \dots \dots \dots \text{II}$$

さて前記實驗に用ひた彈丸に就てII式を吟味して見ると

$$R_1 = 34\text{mm} \quad p = 10\text{mm} \quad \alpha t = 0.0095 \text{であるから}$$

$$R - R_1 = (2 \times 34 - 10) \times 0.0095$$

$$= 0.551\text{mm}$$

然るに實測の結果、この時期に於ける鑄肌の收縮量は 0.4mm (第14圖参照) なるを以て、心型砂の膨脹量はよく鑄物の收縮量を充して餘りあることが解る。即ち心型砂の膨脹のために、鑄肌と心型面との間隙が出來なくなりカブサリを防止し得ることが實證出来る。

尙 II式を一般の場合に就て吟味して見ると、この目的に對しては R - R<sub>1</sub> が大きい程良い譯である。これが爲に

は  $(2R_1-p)$  及  $\alpha t$  は共に正の数であるから、これ等の相乗積が大なるを要する。然るに  $\alpha t$  の値は砂の配合に依つて變化するのみならず、同種の砂でも詰め方の強弱に依つて變化する、即ち固く込める程  $\alpha t$  の値が大となる。又  $(2R_1-p)$  の値に就ては  $R_1$  の値が大となり  $p$  が小となる程全體の値は大となるが  $R_1$  の値は彈丸の種類に依つて設計上最初から一定して居るから  $p$  の値のみが變化し得らるる理である。故に砂の詰め方が一定なる場合は砂壁の厚さ  $p$  が小さくなる程心型砂の膨脹量  $(R-R_1)$  の値は大となる。然し一方に於て  $p$  の値が小さくなる結果砂の量が減少することになり、理論上膨脹量が増加しても全體として砂の膨れる力が弱くなるを以て、實際問題としては、熔湯が肉厚の中心部から滲出するときの力に抗することが出来なくてカブサリが出来る理である。この實例は 1 小口径彈丸に就て見ることが出来る。即ちこの場合カブサリの發生時期に於ける鑄肌の收縮量は實測の結果  $0.15\text{mm}$  で  $R_1=15\text{mm}$  である。

今  $\alpha t=0.0095$  の配合砂を使用したとして II 式から  $p$  の値を求めて見ると、カブサリを防止するためには、次の如き關係が必要である。

$$\begin{aligned} R-R_1 &\geq (2R_1-p)\alpha t \\ 0.15 &\geq (30-p) \times 0.0095 \\ &\geq (0.285-0.0095p) \\ p &\geq 14.21\text{mm} \end{aligned}$$

即ちこの彈丸に對しては  $p$  が  $14.21\text{mm}$  以下であればカブサリは防止出来る理である、しかし實際この彈丸の  $p$  は  $5\sim 6\text{mm}$  より大きく出来ない (設計上) から、理論上  $(R-R_1)$  の値は  $0.15\text{mm}$  より遙かに大となり、鑄肌と心型面との間隙は完全に充される理であるが、實際には極めて薄くカブサリが出来るのである。

又  $p$  の割合に鑄物の肉厚が過大な場合は全體の砂の量が少い爲に急激に加熱せらるる結果鑄肌面が收縮に移る場合に、砂は Tridymite に變化する時の收縮に移るため  $\alpha t$  の値が小さくなり  $(R-R_1)$  が小さくなるといふ結果になることもある理である。故に  $\alpha t$  の最大値の大なる砂が必ずしも良いと言ふことは出来ない。箇々の彈丸に就て、カ

ブサリの發生する時期を實測し、その時期に於ける  $\alpha t$  の値の大なる砂を選定することが必要である。

#### IV. 結 言

鑄物彈に出来るカブサリは鑄物の凝固時に於ける收縮作用の爲内部から熔融點の低い熔湯が滲出して成形したものであるとの考察の下に、これが防止法の一つとして過熱した鑄鐵が過冷現象を起す事實を利用し、電氣爐にて過熱精煉した鑄鐵を以て鑄造して目的を達したことを述べた。

他の一方法として鑄物の凝固時に於て鑄肌と心型面とに生ずる間隙を阻止してカブサリを防止する目的にて膨脹の大なる心型砂を使用することとし、實驗的にこれを選定使用し目的を達成したことを述べた。

この實驗に依て次の様な事項が明かになつた。

1. カブサリは鑄物の冷却時  $1,150\sim 1,130^\circ\text{C}$  の間で發生する。
2. カブサリの發生する時期に心型砂は  $750\sim 900^\circ\text{C}$  に加熱せられる。
3.  $750\sim 900^\circ\text{C}$  に於ける熱膨脹の最大なるものは銀砂で、川砂はこの目的に對しては使用に堪へない。
4. 原料砂以外に心型砂として調査すべき材料の内  $750\sim 900^\circ\text{C}$  に於て熱膨脹を害する程度の最小なるものはコークス粉である。
5. カブサリ防止の目的に使用する心型砂の  $750\sim 900^\circ\text{C}$  に於ける  $\alpha t$  の値は  $0.0095\sim 0.0078$  以下では効果がない。
6. 銀砂 45%, コークス粉 30%, 黒鉛 10%, 粘土 15% の配合砂は單に心型砂として良好なるのみならず、鑄物彈のカブサリ防止にも効果がある。

最後に本問題は筆者が現場に於て不充分なる装置の下に實驗したものであるから、その結果に就ても嚴密に言へば遺憾の點もあるが、實際の結果に於て心型砂を變更して以來今日カブサリに悩まされることが無い状況にあるので敢て上記の様な考察を爲し御教示を仰ぐ次第である。

(終り)