

球状黒鉛鑄鉄溶湯を用いたチル試験片の作製*

池 浩之**、高川貫仁**、岩清水康二**

鑄鉄内のチル判別装置の開発を目的に、鑄鉄中にチルを発生させ、その他の欠陥が無い試験片の作製について検討した。試験片の材種は、球状黒鉛鑄鉄の FCD400 を用いた。試験片の形状は、直径が $\phi 50$ mm で、厚みが 6mm と 3mm の 2 種類とした。そして試験片鑄型の湯口寸法も変化させた。

その結果、厚みが 6mm の試験片では、欠陥の無いチル試験片が出来た。しかし試験片の表面で一部パーライトが生じた。また 3mm の試験片では、多量のチルが発生した。そして湯口体積を 10 倍にすると引け巣は無くなった。

キーワード：チル、引け巣、球状黒鉛鑄鉄、湯口、非破壊試験

The chill specimen made by using molten metal of spheroidal graphite cast iron

IKE Hiroyuki、TAKAGAWA Takahito and IWASHIMIZU Kouji

For developing the detection device of chill in the cast iron, making the cast iron specimens with only chill but without other defect was examined. JIS FCD400 of spheroidal graphite cast iron was used. The thickness of the specimens were changed to 6mm and 3mm with diameter of $\phi 50$ mm.

As a result, in case of the test pieces of 6mm in the thickness, the chill specimen not defective was able to be made. However, a part of pearlite was generated on the surface of the test piece. Moreover, a lot of chill was generated in each material at the test piece of 3mm. And, when the volume of the down sprue was increase by a factor of 10, it has been understood that shrinkage cavity in the material disappears.

key words : chill、shrinkage cavity、spheroidal graphite cast iron、down sprue、nondestructive examination

1 結 言

著者らは、鑄鉄中に生じるチルの渦電流法や交流磁化法による非破壊判別装置の共同研究を行っている。ここで著者らの担当は、装置開発のために必要な引け巣等の欠陥を含まないチル試験片の作成である。前報¹⁾では、片状黒鉛鑄鉄溶湯を用いチル試験片を作成した。そこでは、CとSi量および冷却速度を変化させて、チル試験片を作成した。その結果、亜共晶組成の片状黒鉛鑄鉄を生成する溶湯では、 $\phi 50$ 、6mm厚の円盤状試験片で、冷やし金を用いないでチルが発生することが分かった。しかし、試験片の最終凝固部であるほぼ中央部に引け巣が生じた。そして、溶湯の保持時間を長くして、C量を減少させ、Si量を増加させると試験片表面部のパーライト相が生じにくくなるが、試験片内部（中心部）の引け巣は大きくなることなどを報告した。また、冷やし金を用い

た 3mm厚み試験片では、さらに多くのセメンタイト相が晶出した。しかし微細共晶黒鉛とマイクロポアも試験片内に多く発生した。そして鑄型側と冷やし金側でセメンタイトの大きさが変化することが分かった。また試験片上部で巣が発生し易いことから、湯口体積を大きくする必要があると考えられた。

そこで、本研究では球状黒鉛鑄鉄溶湯を用いて、湯口体積の変化が及ぼす、試験片中のセメンタイト相および引け巣などへの影響について調べた。

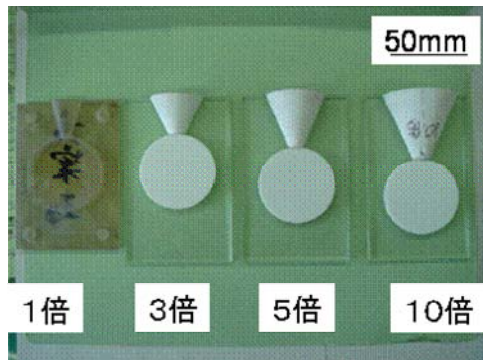
2 実験方法

鑄型形状は、前報¹⁾で用いた原型を基本として、湯口体積を基本の 1 倍、3 倍、5 倍、10 倍と相似形で大きく変化した。この時の湯口体積は基本原型が 3570mm³、3 倍が 10710mm³、5 倍が 18322mm³そして 10 倍が

* NEDO 平成 17 年度産業技術研究助成事業

** 材料技術部

原型



鋳型



図1 湯口体積を変化させた原型とこれを基に作製した炭酸ガス型

36644mm³である。ここで作成した原型および炭酸ガス鋳型を図1に示した。6mm厚み試験片の鋳型は、同じ湯口寸法のガス型2個をシャコ万力で固定して用いた。また3mm厚み試験の場合、本ガス型と冷やし金を用いて冷却速度をより高めた。これらの鋳型にFCD400相当の溶湯を約1400~1450℃の温度範囲で鋳込み、試験片を作製した。球状化処理は、日下レアメタル製M-6球状化材を用いてサンドイッチ法により行った。また、チル化を促進するために、ここでは接種処理は行わなかった。表1には、本溶湯の組成を示した。作製した6mmおよび3mm厚み試験片は、切断後光学顕微鏡、電子顕微鏡による組織観察を行った。

表1 鋳鉄溶湯の成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Mg
(%)	3.883	2.42	0.283	0.027	0.008	0.036	0.011	0.045

3 実験結果

図2に、湯口体積を変化させた6mm厚試験片を示した。試験片の外観を観察した結果では、湯口体積に関係なく、試験片に引け巣等は観察されなかった。次にこれら試験片を図3に示したように切断して、試験片中央部（観察用切断片M）の組織観察を行った。図4には、この時の試験片表面の光学顕微鏡組織（ピクリン酸溶液で腐食）を示した。これより湯口体積に関係なく、いずれの試験片中にもセメンタイト相が晶出し、チル化が確認された。また球状黒鉛の周りにフェライトが析出し、その周囲にはパーライト相も観察された。図5には6mm



図2 鋳込み後の6mm厚試験片の外観



図3 切断した6mm厚試験片

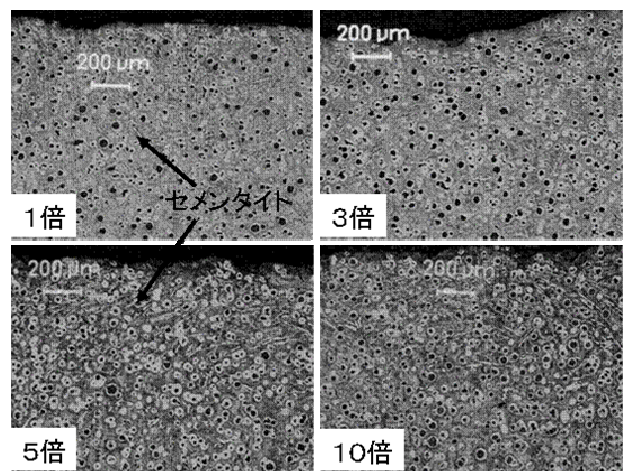


図4 6mm厚試験片の表面部の腐食後の組織

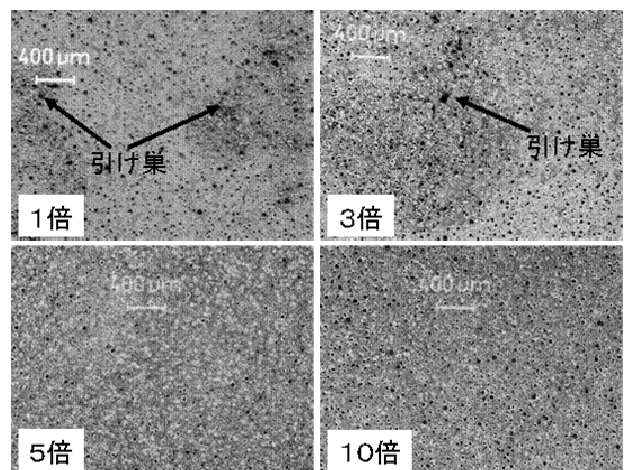


図5 6mm厚試験片の内部の腐食後の組織

試験片の内部の原寸40倍の電子顕微鏡組織を示した。これから分かるように試験片中心部では、湯口1倍の場合、引け巣が数カ所観察された。しかし、湯口体積が3倍になると引け巣は減少した。そして5倍、10倍と湯口体積が大きくなると引け巣は、試験片中心部で観察されなかった。すなわち、球状黒鉛鋳鉄溶湯を用いた6mm

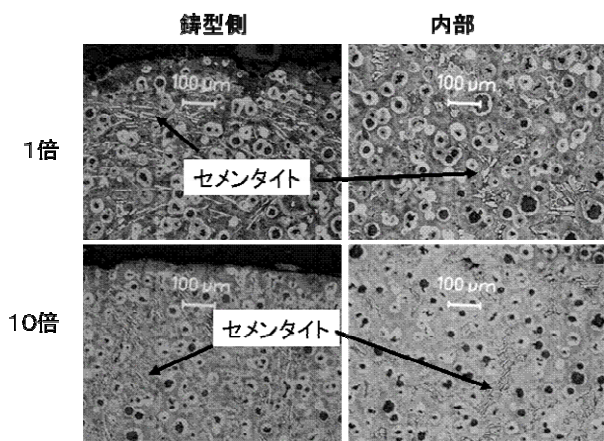


図6 6mm試験片の腐食後組織例

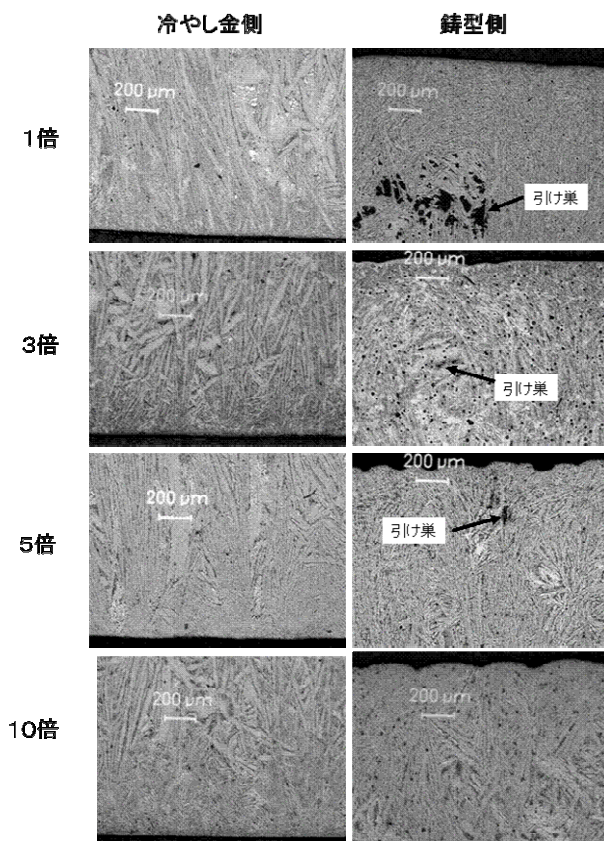


図7 3mm厚試験片の腐食後の組織

厚試験片では、引け巣等の欠陥を含まないチル試験片を得ることが出来た。そして湯口体積を5倍以上にすると引け巣は無くなることが分かった。これは湯口体積を大きくすることにより、湯口絞りも大きくなり(図1参照)、原型を5倍以上にすることにより、押し湯効果の向上のみでなく、湯流れ性の向上、注湯時のガス巻き込みの低減などが図られたためと考えられた。

図6は、図4、図5と同じ試験片で倍率を高く(原寸400倍)した光学顕微鏡組織を示した。図6より試験片表面では、針状または板状のセメンタイト相が観察されるが、試験片中心部では共晶状の炭化物(セメンタイト相)が観察されることが分かった。これは試験片表面部と中心部の冷却速度の違いによるものと考えられた。すなわち、試験片表面部では冷却速度が早いために、過共晶組

成である球状黒鉛鉄は、初晶のセメンタイトが晶出する。しかし、鋳型に接触した極表面部では、鋳型などからの熱供給によりセメンタイト相がパーライト層に変態したと考えられた。これは、片状黒鉛鉄の結果¹⁾と同じであった。一方、試験片の中心部では、冷却速度が比較的遅いため、初晶のセメンタイトは晶出せず、共晶セメンタイトが晶出したと考えられた。

次に、図7には3mm試験片の腐食後の組織写真を示した。左側が冷やし金に面したところで、右側が鋳型に面した部分の組織である。この場合、冷やし金側は非常に細かいセメンタイト相と微細な黒鉛が晶出した。そしていずれの試験片も冷やし金側には、引けや湯周り不良と思われる巣は観察されなかった。しかし、鋳型側に大きな引け巣が発生した。特に湯口体積1倍の場合は、粗大な引け巣が鋳型側に生じた。そしてその大きさや数は、湯口体積が大きくなるほど徐々に小さくなる傾向にあった。さらに、10倍の湯口体積になると、引け巣は全く観察されなかった。3mm試験片の場合、6mm試験片に比較して冷却速度が早いことや、湯口寸法も小さいために10倍以上の湯口体積が必要になると考えられた。

4 考察

以上の結果より、球状黒鉛鉄溶湯を用いた場合、6mm厚試験片および3mm厚試験片で、引け巣などの欠陥を含まないチル試験片を作成することが出来た。ただし、6mm厚試験片の場合、湯口体積を5倍以上にする必要があり、3mm厚試験片の場合は10倍以上にする必要がある。さらに6mm厚試験片では、鋳型と接触していた極表面部は、約0.1mmのパーライト相が生じるため、切削や研削加工などにより取り除く必要があることも分かった。

ところで前報において、片状黒鉛鉄の場合、湯口体積が1倍では引け巣等の欠陥を含まないチル試験片を作成することが出来なかった。そして、球状黒鉛鉄と同じ過共晶($Sc > 1$)組成の場合、ほとんどチル化組織が得られず、高温保持時間を長くすると試験片内部の引け巣が大きくなることも分かった。そこで、過共晶の片状黒鉛鉄溶湯を用いて、湯口体積を変化させた6mm厚試験片を作成した。なお、ここで用いた溶湯は、前報の溶湯IIと同じ組成に調整(炭素飽和度 $Sc=1.13$)した。そして、鉄を約1500℃で溶解したのち、約1400℃で注湯した。この場合も接種処理は行なわなかった。図8は、こうして得られた試験片を前回同様に切断した後、試験片中央部(切断片M)を観察した結果である。いずれの試験片の組織にも共晶セルがはっきりと観察された。そして共晶セル内ではフェライトと微細黒鉛が観察され、セルとセルの間隙には、成長した黒鉛やパーライト相が観察された。そして共晶セルの寸法は湯口体積にほとんど関係なくほぼ一定であった。しかしここで、いずれの試験片にもセメンタイト相は全く観察されなかった。なお前報に

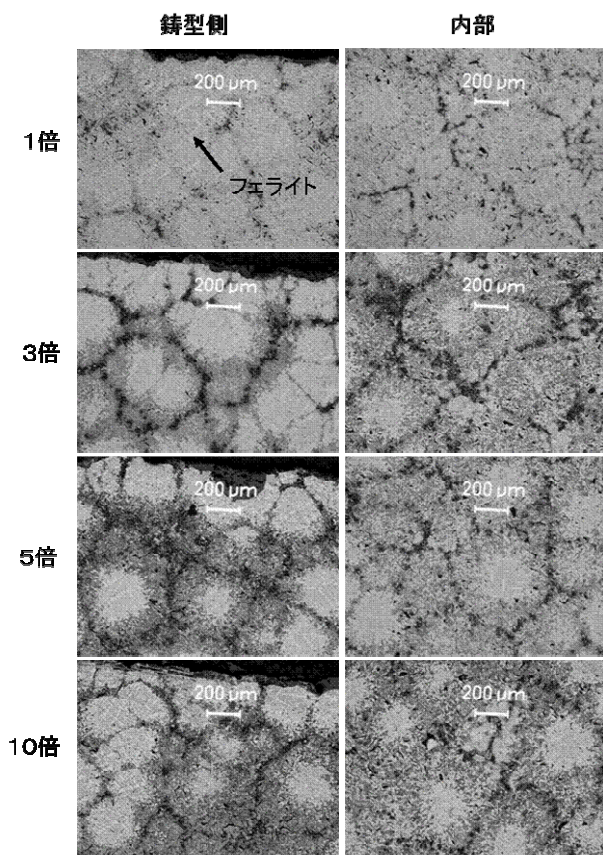


図8 片状黒鉛鑄鉄の6mm厚試験片の腐食後の組織

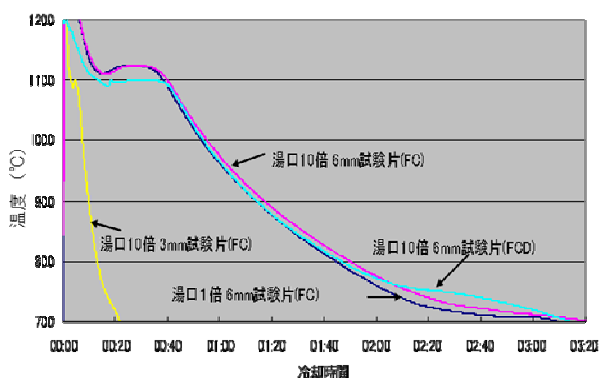


図9 各試験片の冷却曲線

において、図8の1倍の鑄型側に観察されるような、白色の組織を、「初晶セメントライトがデンドライト状に晶出した」と説明したが、これは間違いで、再度分析を行ったところデンドライト状に生じているのはフェライト相であることが分かった。ここで訂正する。図8において、試験片内部でも引け巣等の欠陥もほとんど観察されなかった。

そこで、この過共晶の片状黒鉛鑄鉄で、セメントライト相が観察されなかった原因を調べるために、鑄型内での冷却曲線を測定した結果例を図9に示した。これより片状黒鉛鑄鉄の場合、湯口体積が変化しても、冷却速度および過冷度はほとんど変わらなかった。一方球状黒鉛鑄鉄は、冷却速度はほとんど変わらないが、過冷度が大きくなっていることが分かった。そして過冷度は、片状黒鉛

鑄鉄の3mm試験片とほとんど変わらなかった。したがって球状黒鉛鑄鉄で、チル試験片が得られ、片状黒鉛鑄鉄でチル試験片が得られなかった理由は、球状黒鉛鑄鉄では、過冷度が大きくなるためであった。

なお最後に、ここでは組織観察結果等を省略したが、過共晶の片状黒鉛鑄鉄の場合、3mm試験片では多量のチルが生じた。これは、図9に結果を併示したように冷却速度および過冷度が大きいためである。さらに亜共晶の片状黒鉛鑄鉄の場合は、6mm厚試験片でもチル試験片が得られた。これは前報の結果と同じであった。

5 結論

球状黒鉛鑄鉄溶湯を用いて、鑄型の湯口体積を変化させ、引け巣等の欠陥を含まず、試験片全体にチルを発生させた試験片を鑄造により作製することを試みた。その結果以下の結論が得られた。

(1)厚さ6mmの試験片の場合、試験片表面では針状または板状のセメントライト相が晶出した。そして試験片内部では共晶セメントライト相が晶出した。しかし、試験片のごく表面部はパーライト相が生じた。このとき、湯口体積を5倍以上にすると引け巣などの欠陥の無い試験片が得られた。

(2)厚さ3mm試験片では、全面チルの試験片が得られた。しかし、湯口寸法を10倍以上にしないと、引け巣を含まない健全な試験片は得られなかった。

(3)過共晶の片状黒鉛鑄鉄の場合、チルを含む厚み6mm試験片は作成できなかった。その理由は冷却速度および過冷度が小さいためであった。

5 参考文献

1)非破壊試験用チル試験片の作成：岩手県工業技術センター研究報告，13，107（2006）。