

フェライト系球状黒鉛鋳鉄の肉厚感受性

服部 俊*, 村川 悟*, 河合 真*

The Section Thickness Sensitivity of Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron

Suguru HATTORI, Satoru MURAKAWA and Makoto KAWAI

Key words: Spheroidal Graphite Cast Iron, Ferrite, Strength, Hardness, Metal Structure

1. はじめに

球状黒鉛鋳鉄において、強度や伸びなどの機械的性質を決定する主たる要因は、製品ないし供試材の金属組織（基地組織あるいは球状黒鉛の形状など）であるが、その金属組織は凝固速度により大きく異なる。このことから、高品質な球状黒鉛鋳鉄品の製造のためには、製品や供試材の肉厚などの、凝固速度に直接的な影響を与える要因に配慮することが必要不可欠である¹⁾。

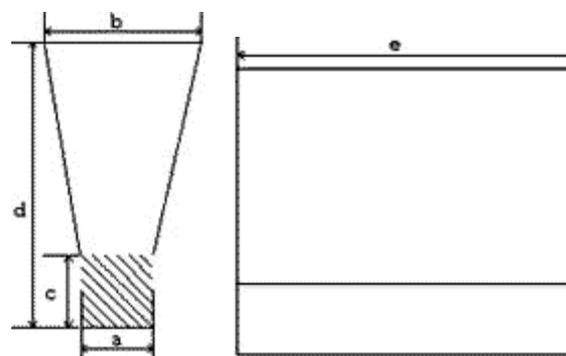
これに関連し、供試材の引張強度約 500MPa 以上の球状黒鉛鋳鉄では、供試材の肉厚の増加に伴う強度の低下傾向が認められる一方、同約 450MPa 以下のフェライト系球状黒鉛鋳鉄では強度の肉厚感受性が殆ど認められないとの報告²⁾がある。

そこで本研究では、球状黒鉛鋳鉄品を日常的に生産している現場による工業的手法だけでなく、実験室的手法でもこの事実を確認することを目的に種々の球状黒鉛鋳鉄の Y 型供試材を作製し、供試材に対する材料試験を実施した。本報告では、文献¹⁾で報告された肉厚感受性が殆ど無いとされているフェライト系球状黒鉛鋳鉄に着目し、供試材の機械的性質が、供試材肉厚により受ける影響の有無を調べた結果について述べる。

2. 実験方法

2.1 使用供試材

本実験に用いた供試材は、Y 型供試材 (JIS G 5502 球状黒鉛鋳鉄²⁾) である。使用鋳型はフラン自硬性



	Size [mm]				
	a	b	c	d	e
A	12	40	25	135	220
B	25	55	40	140	220
C	50	90	50	160	220
D	75	125	65	175	220

図 1 Y 型供試材の図面および寸法

表 1 出湯温度および注湯温度

Charge	Temp. [°C]	
	Tapping	Pouring
H-1	1516	1325
H-2	1516	1360

鋳型である。JIS では、A 号から D 号までのサイズの異なる 4 種類の Y 型供試材が定められている。図 1 に各々の図面と寸法を示す。ここで、a の値 (12mm ~ 75mm) が肉厚に該当する。

* 金属研究室

表 2 各チャージの化学組成

Charge	Composition [mass %]							
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Cu
H-1	3.71	2.19	0.07	0.009	0.002	0.056	0.014	0.021
H-2	3.69	2.35	0.07	0.010	0.003	0.055	0.015	0.020
S-1	3.63	2.41	0.37	0.034	0.009	0.043	0.019	0.026
S-2	3.62	2.43	0.37	0.037	0.008	0.038	0.019	0.015
S-3	3.66	2.43	0.40	0.038	0.009	0.043	0.018	0.012

2. 2 溶解条件

研究室での少量溶解と、鋳物の製造現場での工業的溶解のそれぞれで球状黒鉛鋳鉄の肉厚感受性を調査するため、試験に供する球状黒鉛鋳鉄の溶解は、金属研究室および桑名地域の鋳物工場（S社）の2か所で実施した。実施回数は、金属研究室では2チャージ分（H-1およびH-2）、S社では3チャージ分（S-1、S-2およびS-3）の合計5回である。

溶解材料は各自が所有するものを使用し、また、溶解もそれぞれの所有する高周波誘導炉で実施した。

金属研究室では、フェライトの生成に配慮するため、その生成を阻害するMnの組成を低減する方策をとり³⁾、高純度鋳鉄（化学組成：4.37%C, 0.05%Siおよび0.04%Mn）、鋼くず（同：0.063%C, 0.004%Siおよび0.33%Mn）および金属シリコンを合計45kg/チャージ配合し溶解した。これを表1の温度で出湯し、Fe-Si-Mg-RE合金系低RE球状化材（RE：レアース）とFe-Si系接種剤を含む取鍋でサンドイッチ法による溶湯同時処理を行い、同じく表1に示す温度で鋳型に注湯した。

S社では、1t/チャージを工業的に溶解し、出湯後の最初の溶湯を用いて鋳型に注湯した。表2に各々の化学組成を示す。

本実験では、Y型供試材のA号からD号の4種類を1セットとし、1チャージにつき1セットを鋳込んだ。

2. 3 試験片

Y型供試材の作製後、各チャージのA号の供試材からはJIS Z 2241 金属材料引張試験方法⁴⁾に定める4号試験片（平行部径：8mmの比例試験片）を、B・C・D号からは4号試験片（同：14mmの定型試験片）を1本ずつ採取した。採取位置は図1に示

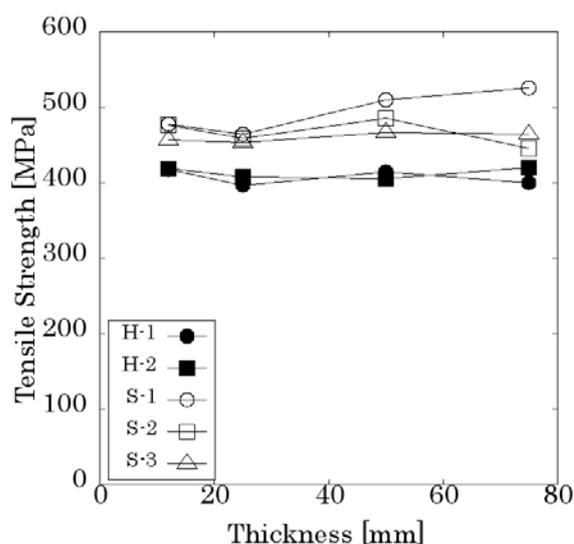


図 2 引張強度

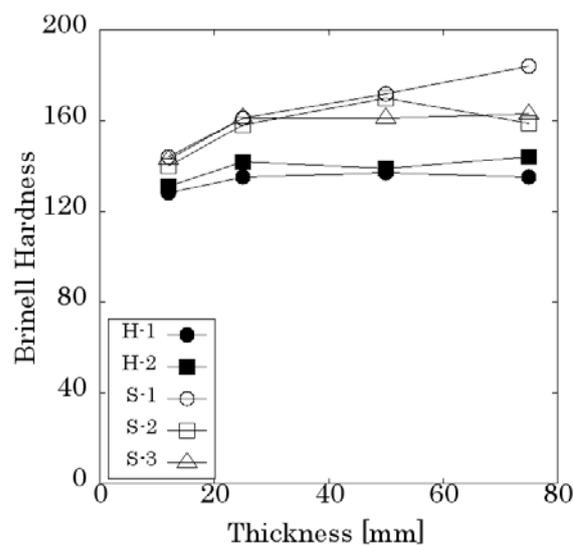


図 3 ブリネル硬さ

した図面の斜線部の中央である。

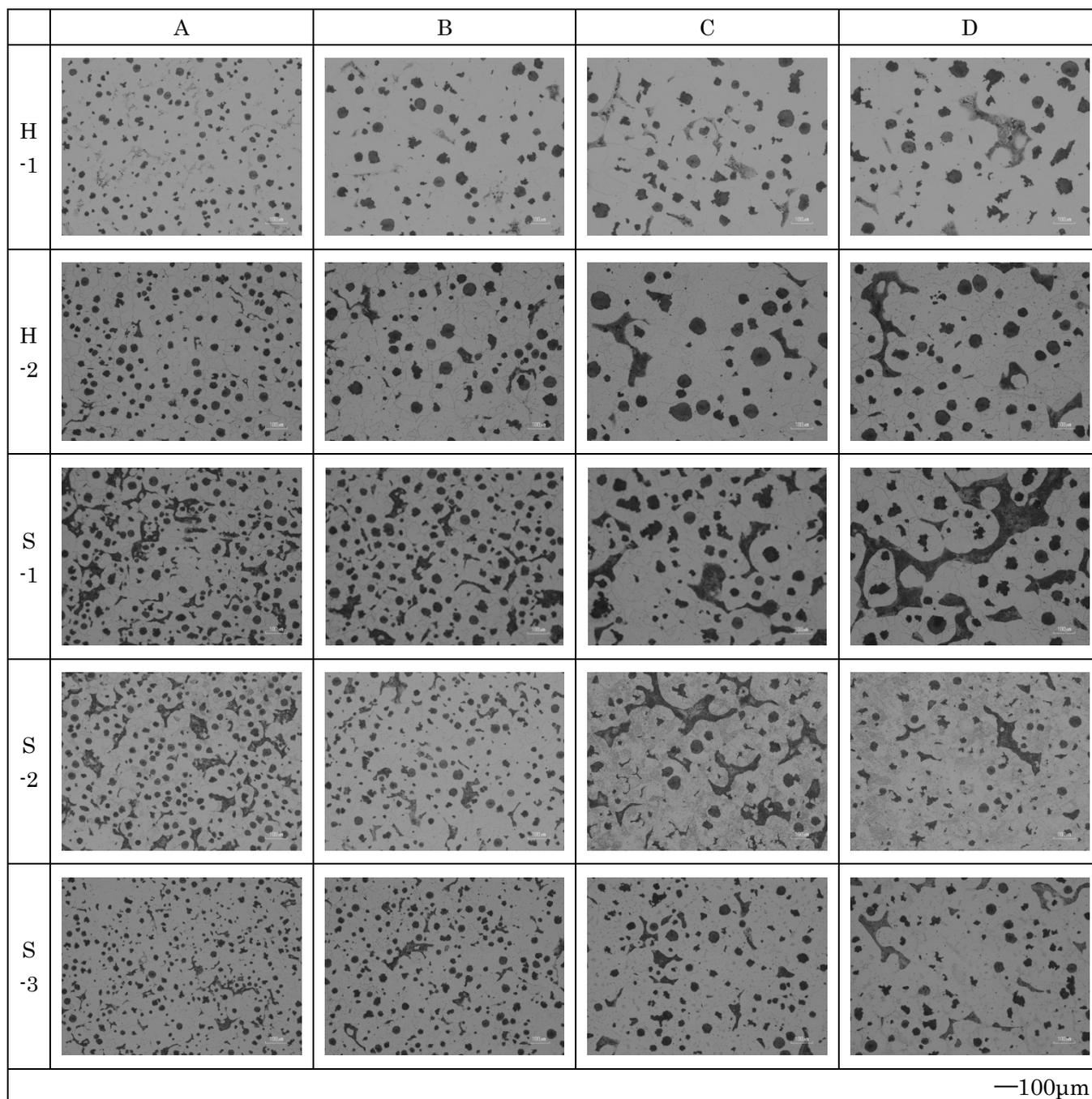


図4 各供試材の金属組織 (3%ナイトールによる腐食)

2. 4 材料試験

作製した試験片において、引張試験を実施し、引張強度を測定した。また、試験片のつかみ部から採取した試料により硬さ試験を実施し、ブリネル硬さ (A号: HBW10/500, B・C・D号: HBW10/3000) を測定した。さらに組織試験を実施し、金属顕微鏡による金属組織の観察、および画像処理ソフトウェアの解析により黒鉛粒数と黒鉛粒径、黒鉛球状化率

および基地組織のパライト面積率を測定した。

3. 試験結果

3. 1 強度試験

図2に、各試験片の供試材肉厚と引張強度の関係を示す。引張強度は、実験室的溶解 (チャージ H-1 および H-2) では 400MPa 程度、工業的溶解 (チャージ S-1, S-2 および S-3) では 450~500MPa 程度

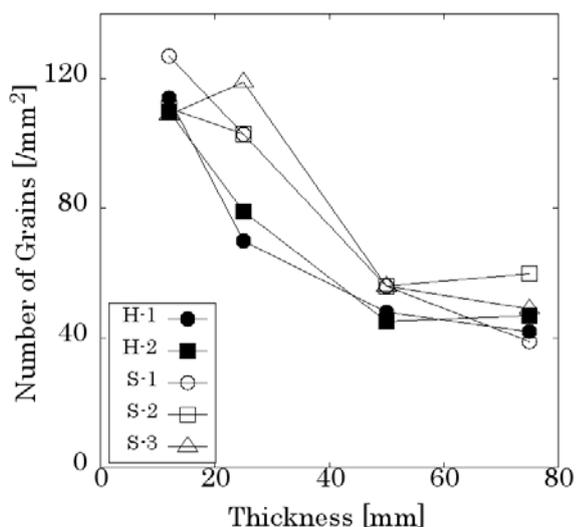


図5 黒鉛粒数

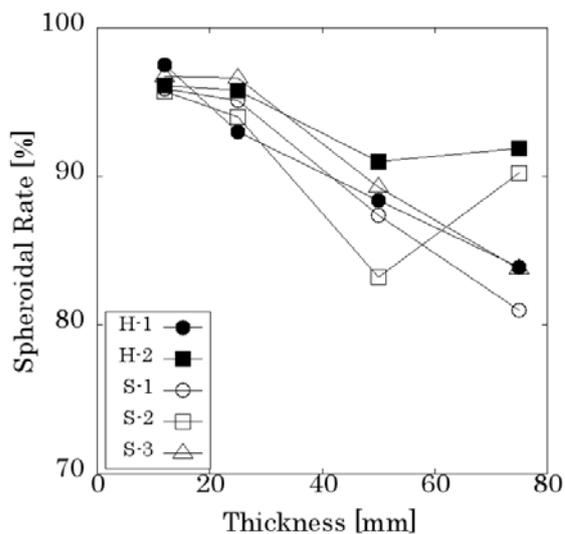


図7 黒鉛球状化率

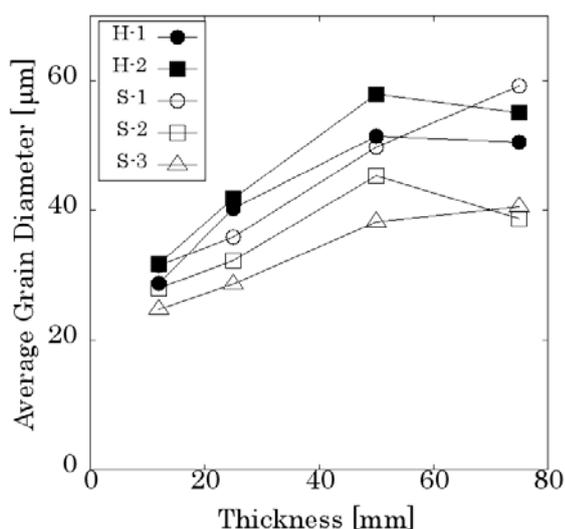


図6 平均黒鉛粒径

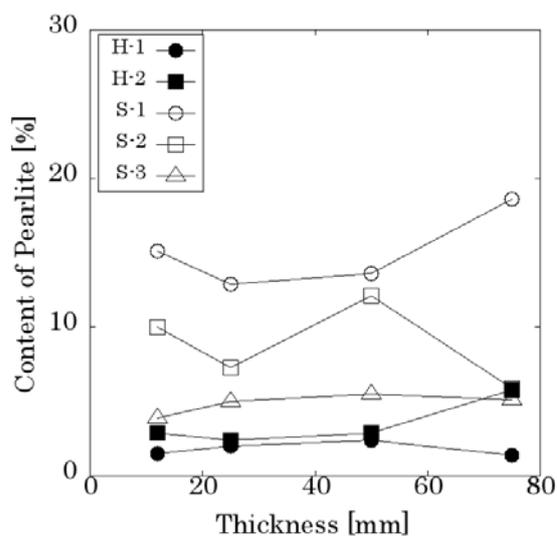


図8 パーライト面積率

であり、多くのチャージで供試材の肉厚の増加による強度低下はみられなかった。しかし、チャージ S-1 については厚肉の C 号と D 号の供試材の引張強度が他の肉厚の試験片よりも 50MPa ほど増加するという傾向があった。

また、図 3 に、肉厚とブリネル硬さの関係を示す。硬さにおいても、試験荷重が他と異なる A 号を除いて、ほとんどのチャージで肉厚による大きな数値の変化がみられなかったが、引張強度の結果と同様、やはりチャージ S-1 の C 号と D 号では硬さが増している。

3. 2 組織試験

図 4 に各試験片で観察された金属組織を示す。供試材の肉厚増加にともない、黒鉛粒数が減少し、黒鉛粒径が大きくなる傾向が観察されたものの、厚肉の供試材では黒鉛の大きさや形状がいびつであった。また、主要な基地組織はいずれの供試材もフェライトではあるものの、厚肉の供試材を中心に、パーライトの析出が多いものもみられた。

この結果に関し、画像解析による黒鉛粒数と平均黒鉛粒径、および黒鉛球状化率の測定結果を図 5、図 6 および図 7 に示す。また、基地組織のパーライ

ト面積率を図 8 に示す。供試材が厚肉であるほど試験片採取位置における冷却速度が低下するため、球状黒鉛の核生成が遅くなる一方、凝固時の拡散時間が長くなり黒鉛がより成長したことを示す結果となっている。チャージ S-1 は他のチャージに比べ基地組織のパーライト率が高く、特に厚肉の供試材（C 号および D 号）でその傾向が強く出ている。

3. 3 考察

再度、強度および組織試験の結果について整理すると、S-1 を除く各チャージで、供試材の肉厚により強度が大きく変化することがなかった一方で、金属組織は、黒鉛形状や基地組織などに肉厚差がみられた。また、チャージ S-1 は厚肉の供試材に対し強度の上昇がみられ、金属組織の他との差も顕著であった。

そこで、まず S-1 を除くチャージについて検討を加える。引張強度には黒鉛の大きさや形状が影響するとされ、図 4 において厚肉の供試材でみられた粗大な形状の黒鉛などは強度を低下する要因である。

一方で、図 8 が示すパーライト面積率は厚肉の供試材でわずかに増加しており、基地組織に関して薄肉の供試材よりも強度が高いものと推定される。すなわち、厚肉の供試材において、粗大な黒鉛がもたらす強度低下とパーライト率の上昇による強度上昇という作用により、強度が供試材の肉厚に対し強度の変化が小さかったものと推測される。

これに関連し、文献 1) では、複数の現場から提供されたフェライト地の球状黒鉛鑄鉄の Y 型供試材を対象に材料試験を実施し、強度の肉厚感受性について多数調査した結果、肉厚感受性は小さいという結論を導いている。今回、チャージ S-1 を除き肉厚増加に対する強度の増加または減少などの機械的性質への影響は小さく、肉厚感受性が小さいことを確認した。

その一方で、チャージ S-1 の供試材については、厚肉である C 号および D 号において、引張強度が 500MPa を超え、薄肉の A 号や B 号、また他のチャージと比べても、あきらかな強度上昇がみられた。

そこで、チャージ S-1 の結果について、つぎに検討する。このようにチャージ S-1 に強度上昇の強い傾向が出たのは、図 8 でも示されるように、チャージ S-1 の C 号や D 号が、ほかの供試材の組織と比べても、基地組織のパーライトの析出がかなり多いため

であると考えられる。このパーライト析出について考える。まず、S 社の工業的溶解は、金属研究室で実施した実験室的溶解に比べ、パーライト化元素である Mn の含有量が多かった。球状黒鉛鑄鉄中に含まれる Mn は冷却速度が小さいほど、成長した共晶セルの周囲に集積しやすいとされ⁵⁾、集積した箇所周囲ではパーライト生成が活発化される。これに加え、チャージ S-1 の化学組成は、Cu の化学組成が 0.026mass% と大きい。Cu は、Mn などのもつパーライト化作用をより促進させ、同時にパーライトを安定化させる作用をもつとされる³⁾。これらのことが、特にチャージ S-1 の厚肉供試材で、基地組織のパーライト率を上昇させた要因の一つとなっているものと考えられる。この Cu の影響についてはさらなる考察を必要とする。今回は実験の対象としなかったが、パーライト率がさらに高い、パーライト系球状黒鉛鑄鉄ではこの傾向が強く出るものと推測される。

4. まとめ

本研究では、フェライト系球状黒鉛鑄鉄において、肉厚が機械的性質に及ぼす影響を調査するため、複数の肉厚の Y 型供試材の溶解実験を行い、材料試験を実施した。

引張試験と硬さ試験では、Cu の化学組成比の大きかった供試材を除き、強度の肉厚感受性は小さいものといえ、文献 1) におけるフェライト系球状黒鉛鑄鉄の結果と同様の結論を得ることができた。

組織試験では、供試材の冷却速度の低下による黒鉛の成長がみられ、厚肉材では黒鉛粒数が小さく、かつ黒鉛粒径が大きくなった。また、基地組織を観察したところ、すべての供試材でフェライトが主要な基地組織として観察された。

Cu の化学組成比の大きかった供試材では、肉厚の増加に応じてパーライトが増えていき、これに起因するとみられる厚肉供試材の強度の増加が観察された。

謝辞

本研究をすすめるにあたり、実験にご協力くださいました企業の皆様に感謝します。

参考文献

1) 日本強靱鑄鉄協会：“球状黒鉛鑄鉄品の機械的性

- 質試験に関する研究”. p24-25 (1980)
- 2) 日本規格協会：“JIS ハンドブック 2013 1 鉄鋼 I”. 日本規格協会, p1880-1893 (2013)
 - 3) 新版鋳鉄の生産技術教本編集委員会：“鋳造技術シリーズ 3 新版鋳鉄の生産技術”. 素形材センター, p302-306 (2012)
 - 4) 日本規格協会：“JIS ハンドブック 2013 1 鉄鋼 I”. 日本規格協会, p347 (2013)
 - 5) 飯島史郎ほか：“鋳鉄, 鋳鋼の肉厚感受性”. 日立評論, 50(5), p77-78 (1968)