



大型建設機械バルブボディ用強度化厚肉鋳物の研究 開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学地域共同研究開発センター 公開日: 2019-03-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 清水, 一道, 木口, 昭二, 楠本, 賢太 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009781

大型建設機械バルブボディ用強度化厚肉鋳物の研究開発

清水 一道^{*1}, 木口 昭二^{*2}, 楠本 賢太^{*1}

1 はじめに

球状黒鉛鋳鉄は、黒鉛の先端に応力集中が生じる片状黒鉛鋳鉄に比べて球状の黒鉛によって応力集中を緩和するため優れた機械的性質を有しており、薄肉鋳物では自動車部品などに使用され、厚肉鋳物においてはキャスクやガスタービン用コンプレッサケーシングなどに幅広く利用されている。

球状黒鉛鋳鉄の基地組織は機械的性質に大きく影響することが知られている^{1),2)}。また、球状黒鉛鋳鉄は薄肉鋳物、厚肉鋳物を製造時、それぞれいくつかの問題が挙げられる。まず、薄肉鋳物では鋳造の際、レアアース(RE)の含有量によって肉厚変動部にて鋳造欠陥が生じ、強度部材に必要な疲労強度に影響を及ぼす可能性がある³⁾。次に、厚肉鋳物では、鋳物の大型化、厚肉化により冷却速度が不安定となり、黒鉛の球状化作用を持つ Mg のフェーディング現象や各種元素の偏析などが生じ、黒鉛形状が崩れてしまうなどの問題が生じる。このような問題には鋳造時に冷し金を導入し、冷却速度を調整することが行われている。

本研究では、大型鋳物の組織制御方法の確立を目的とし、冷し金を導入した FCD500 相当の大型厚肉鋳物を溶製し、冷却速度が異なる箇所から試験片を切り出し、冷却速度の変化による黒鉛性状等の組織及び疲労強度への影響を調査した。また、その鋳込み条件を鋳造シミュレーションソフト(JSCAST)に代入し合わせこみを行い、より実測に近い冷却速度の解析を行った。解析値と実測値を比較することで整合性を確認し、冷却速度の変化による疲労強度への影響を調査した。

2 実験方法

2. 1 供試材の製作

供試材の材質は FCD500 相当、冷し金(FCD500)を 4 本配置し鋳造した。供試材寸法、冷し金導入位置、熱電対配置を Fig. 1 に示す。使用した球状化剤、接種剤の化学組成はこれまでの研究と同様とした。接種は一次接種に取鍋接種、二次接種に注湯流接種を行った。本実験で使用した球状化剤の RE 含有量は 1% に統一した。各供試材の温度変化を調査するため、注湯口からの距離において表面部(A)、中央部(B)および底面部(C)の 3 か所で熱電対を使用し冷却過程の温度を測定した。この厚肉供試材より A, B, C の箇所では厚さ 3mm 最小幅部 20mm の薄肉試験片を製作した。

本実験における鋳込み条件はこれまでの研究と同条件とし、鋳型には有機自硬性鋳型であるフラン型を使用した。注湯温度は 1606K であり、注湯時間は約 87 秒であった。

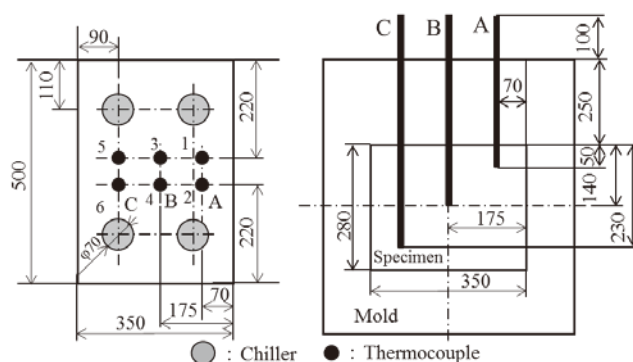


Fig. 1 Casting design

2. 2 試験片性状および実験方法

鋳込み試験終了後、各測定箇所において試験片を切出した。切出した各試験片を樹脂埋め後、黒鉛性状の測定および組織観察を行った。各試験片の組織写真を Fig. 2 に示す。本実験で用いた供試材は FCD500 相当であるため、パーライトとフェライトの混合組織および

*1: もの創造系領域 機械工学ユニット

*2: 近畿大学 理工学部 機械工学科

ブルズアイ組織が確認された。これまでの研究では、冷し金 0 本と 1 本で切出し箇所の違いにより組織に若干の変化が見られたが、冷し金を 4 本にした場合では組織に大きな差は見られなかった。各試験片における黒鉛性状とブリネル硬さを Table 1 に示す。黒鉛の球状化率は冷し金を導入した試験片では 70%を上回ったのに対し、未導入の試験片では 70%に満たなかった。球状黒鉛鑄鉄の疲労強度は硬さおよび引張強さと相関を示し、疲労強度は引張強さの約 0.5 倍、引張強さはブリネル硬さの約 3 倍の値とほとんど等しいことが報告されている⁴⁾。それを踏まえて本研究では、使用した供試材のブリネル硬さから引張強さを推定した。ブリネル硬さと引張強さの関係から、供試材の引張強さは、570~600 MPa であることが分かる。冷し金の有無によらず、パーライト率は約 80%前後と大きな差は確認されなかった。疲労試験では、平面曲げ疲労試験機を用いた。実験条件は、応力比 -1 の両振りとし、繰返し速度 20 Hz の正弦波荷重として、室温大気中にて試験を行った。試験停止条件は、試験片の負荷応力が試験時における負荷応力の 70 %まで低下、または繰返し数が 10^7 回まで達した場合とし、繰返し数が 10^7 回に達した試験片の最大負荷応力を疲労強度 (σ_w) とした。

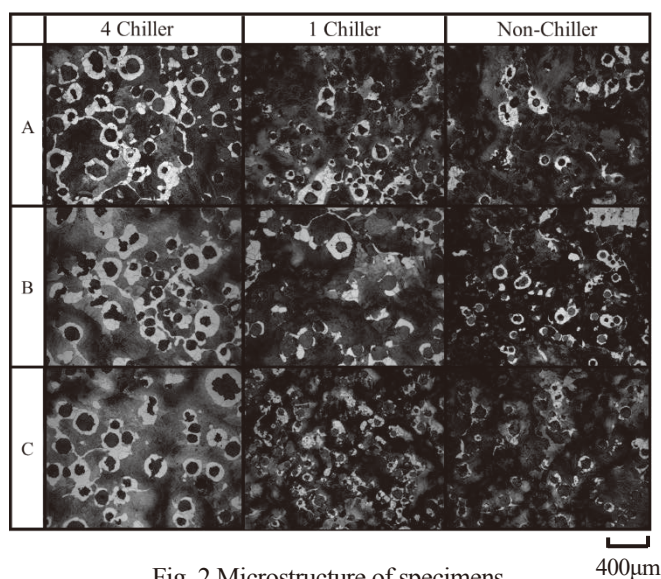


Fig. 2 Microstructure of specimens

Table 1 Graphite properties and hardness of specimens

		Spherical rate (%)	Grain number of graphite (number/mm ²)	Graphite average size (μm)	Graphite area ratio (%)	Brinell hardness (HBW)	Pearlite rate (%)
4 Chiller	A	76	40	61	13	206	73
1 Chiller	A	72	29	68	12	202	77
Non-Chiller	A	69	26	75	13	202	82
4 Chiller	B	83	35	61	10	184	68
1 Chiller	B	72	42	54	11	172	75
Non-Chiller	B	68	48	54	12	176	79
4 Chiller	C	71	40	56	10	203	73
1 Chiller	C	78	34	62	11	208	81
Non-Chiller	C	67	23	81	13	212	84

3 実験結果及び考察

3. 1 凝固過程における冷却速度

冷し金 4 本における厚肉鑄物の冷却曲線を Fig. 3 に示す。本研究での冷却速度は共晶凝固終了時から 1050K となった点までの単位時間当たりの温度低下を冷却速度とした。冷却速度は切出し位置 A では約 51.4K/h, B では約 57.6K/h, C では 50.3K/h となった。冷し金 1 本と比較すると A で 12.0K/h, B で 12.2K/h, C では 11.2K/h と冷却速度が増加した。冷し金 0 本と 1 本の冷却速度の差と比較しても、4 本配置した場合における冷却速度は増加していることが分かった。

3. 2 平面曲げ疲労試験結果

各試験片の疲労強度を Fig. 4 に示す。冷し金を 4 本入れたことにより疲労強度は A で約 222MPa, B で約 223MPa, C では約 240MPa となった。冷し金 1 本導入試験片と比較すると疲労強度は 17~26%向上した。

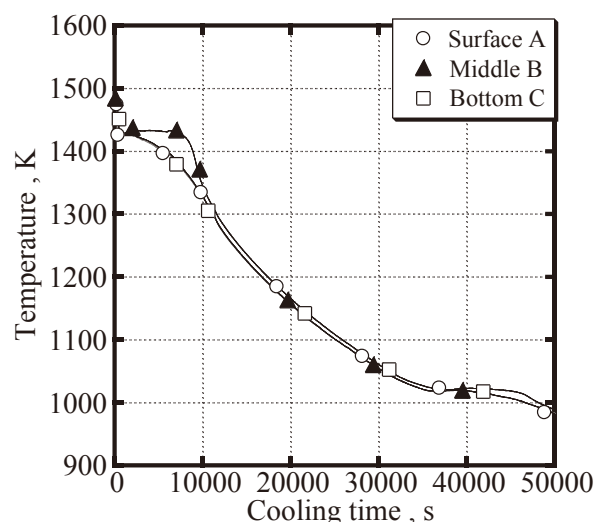


Fig. 3 Cooling curve of specimen with 4 Chiller

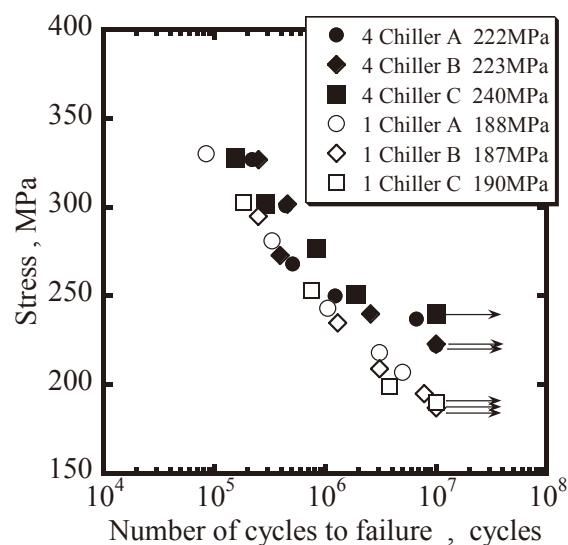


Fig. 4 S-N diagram of specimens with 1 and 4 Chiller

3. 3 考察

冷し金を4本導入した供試材において疲労強度が向上した要因を考察するため、各供試材の破面観察を行った。破断した試験片は走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて破面観察を行った。本実験で製作した供試材では、種々の切出し箇所において鑄造欠陥は確認されなかった。このことより、本実験の供試材寸法では、疲労試験を行った場合、疲労強度を低下させる要因として挙げられ、破壊の起点になりうる鑄造欠陥は発生しない。

次に、機械的性質に影響を及ぼす基地組織に着目した。SEMによる微視観察結果をFig. 5に示す。冷し金本数の増加に伴い、基地のパーライトにおけるラメラ層間隔がち密になっていた。そこで、パーライトの強度と冷却速度の相関関係を調査した。パーライト硬さと冷却速度の関係をFig. 6に示す。冷し金0本、1本の試験片と比較すると冷し金4本の試験片では硬度が約20~30HBW増加していた。冷し金本数の増加に伴い、冷却速度が増加し、パーライトのラメラ層間隔がち密になりパーライトの硬さが増加したことで疲労強度が向上したと推察される。

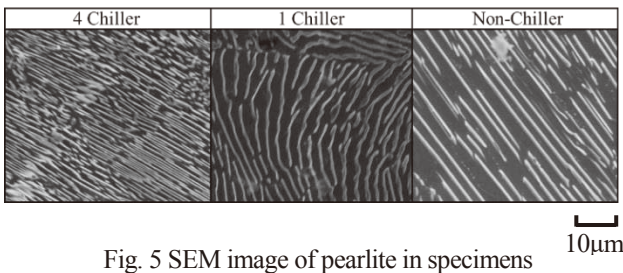


Fig. 5 SEM image of pearlite in specimens

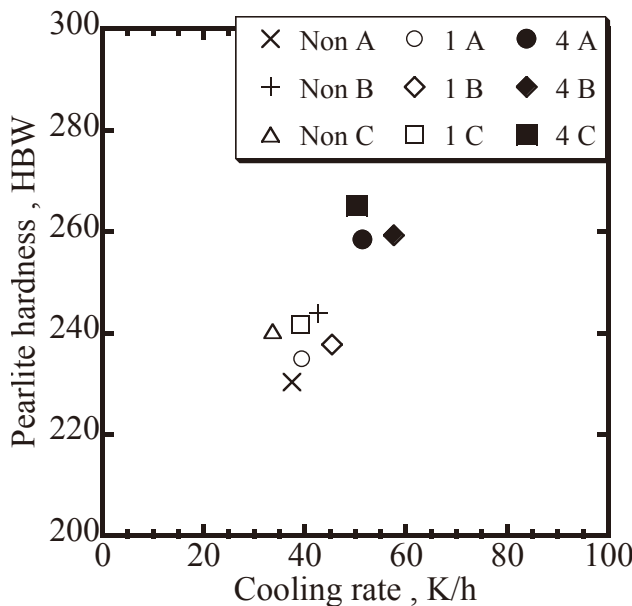


Fig. 6 Relationship between Pearlite hardness and Cooling rate

3. 4 シミュレーションでの検証

本研究では、鑄込み試験と並行しJSCASTを用いた鑄造シミュレーションを行った。実際の鑄込み試験の条件を代入し、整合性を調査した。解析結果をFig. 7に示す。冷却速度はAで約49.1K/h、Bで約57.3K/h、Cでは約49.9K/hとなった。鑄込み試験と比較しても値に大きな差はなく、傾向はおおよそ類似している。これを踏まえ、シミュレーション上で冷し金0、1本導入した場合における冷却速度も調査した。調査の結果、シミュレーション上でも、冷し金0、1本導入した場合は冷却速度に変化は見られなかった。冷し金を4本にしたことで冷却速度が上昇し、組織においてパーライトのラメラ層がち密となったことより、今後、鑄造方案を検討していき、シミュレーション上で基地組織などを制御することが可能となりうるということが分かった。

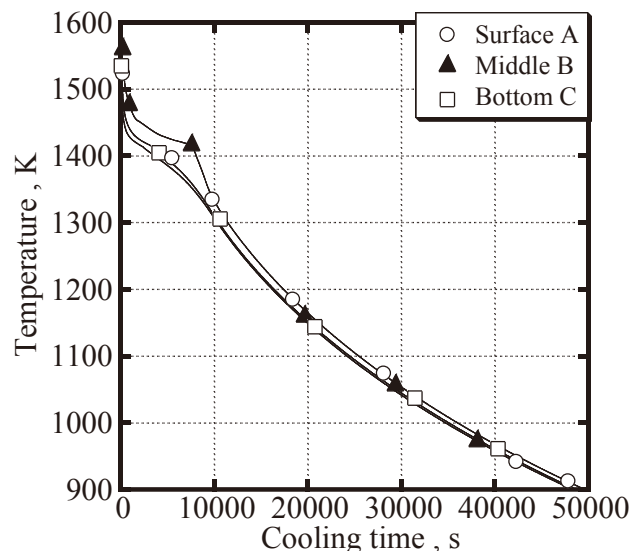


Fig. 7 Cooling curve of simulation with 4 Chiller

4 まとめ

本研究成果を以下に要約する。

- (1) 冷し金を4本導入した場合の冷却速度は、切出し箇所Aで約51.4K/h、Bで約57.6K/h、Cでは50.3K/hとなり、0、1本と比較して4本配置した場合における冷却速度は向上した。
- (2) 冷し金を4本入れたことにより疲労強度はA、Bで約222MPaとなり、Cで約240MPaとなった。冷し金1本と比較すると疲労強度は17~26%向上した。パーライト層間隔が冷却速度の増加に伴い、ち密になることで硬度が増したことが要因と考えられる。
- (3) シミュレーションでは冷し金の本数を0、1、4本と増加していくと、実際の鑄込みにおける冷却過程と同様な傾向を示した。今後シミュレーション上で組織の制御が可能になりうることを示唆された。

参考文献

- 1) 中江秀雄, 清祐等 : 鋳物 52 (1980) 8 481
- 2) 近藤靖彦, 安江和夫, 磯谷三男 : 鋳物 48 (1975) 4 246
- 3) 船曳崇史, 清水一道, 河合秀樹, 山本将大 : 鋳造工学 87 (2015) 3 369
- 4) 西島敏 : 材料 29 (1980) 316 24
- 5) 晴山巧, 堀江皓, 小綿利憲, 鋳造工学 76 (2004) 11 891
- 6) 清水信善, 田村今男 : 鉄と鋼 10 (1975) 237