

## 大物 F C D の本体強度保証技術

(株) 宇部スチール 糸藤春喜, 榎谷 歩,  
田村幹夫, 李 保柱

### 1. 緒言

近年, 球状黒鉛鋳鉄 (FCD) は普通鋳鉄 (FC) 及び鋳鋼 (SC) からの材質の代替化が進む中で, 小物から大物へと適用範囲が広がってきている。しかし, FCD は, その機械的性質に対する肉厚感受性が比較的大きい。このことは, 肉厚感受性の小さい SC からの代替の際, 特に問題となっている。同じ設計図面から材料のみ変更する際には, 肉厚感受性の問題を克服し, SC 並の本体強度を保証しなければならない。また, 本体強度の保証に限界があるなら, 設計変更に反映するため, それを把握する必要がある。

本体強度を大きく左右する要素の一つとして, 接種がある。接種により, チル防止, 黒鉛粒数の増加, 黒鉛粒の小径化, 黒鉛球状化率の向上と共に, 機械的性質の向上が期待出来る。大型厚肉 FCD の場合, これらは, 主として, 接種により導入された Si の濃度斑がもたらす効果である。しかし, その効果も, 時間の経過と共に Si が拡散することで均一化し, 薄れていく。この拡散は, 接種から鋳込みまで, 及び鋳込みから凝固開始までの時間が長いほど, 大きく進む。

次に考えなければならない重要な要素は, 凝固挙動である。凝固においては, その時間が長い大型厚肉鋳物ほど, 黒鉛粒の粗大化, 黒鉛形状の劣化, チャンキー黒鉛の晶出等の問題が一層顕著となる。これらに伴い, 引張特性は劣化する。

そこで, 黒鉛球状化理論「サイト説<sup>1)</sup>」に基づいて問題の整理を行い, 鋳込み直前の接種と冷し金のコンビネーションによる解決を試みた。その結果, 一定の成果が得られたので以下に報告する。

### 2. 実験条件

本研究では, 最終凝固部となる本体肉厚の中心において, FCD400-18A における主要肉厚 60~200mm t の引張特性を満足させることを目標とした。本体供試材は, 最大主要肉厚 200mm 板相当の 600×600×600mm ブロックとした。両者は, モジュラス  $M$  (cm) =  $V/S$  換算で同値のことから, 同等材と仮定した。目標とする供試材の引張特性を表 1 に示す。

$$\text{肉厚 200mm 部の } M = (\text{肉厚}) / 2 = 20 / 2 = 10 \text{ cm}$$

$$600 \text{mm 立方体の } M = (\text{一辺}) / 6 = 60 / 6 = 10 \text{ cm}$$

表 1 600×600×600mm 厚肉供試材の目標機械的性質  
[FCD400-18A (t = 60~200mm) 相当材]

試験位置	引張特性				ブリネル硬度 HBS (10/3000)
	0.2% 耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	絞 り (%)	
中 心	≥ 240	≥ 370	≥ 12	—	120~180

#### (1) 接種処理

元湯は、10 t 低周波誘導炉にて溶解し、9 t を溶湯処理量として出湯した。接種は、2 回に分けて実施した。1 次接種は、球状化処理と共にサンドイッチ法にて行った。2 次接種は、凝固開始に出来るだけ近いポイントということで、掛堰にて行った。比較材として、2 次接種をしないパターンも 1 セット 鑄込んだ。溶解～鑄込みまでの工程に対する温度・時間フローを図 1 に示す。球状化・1 次接種処理した溶湯を、2 次接種有無の掛堰を介して鑄型に鑄込んだ。出湯から鑄込みまでの一連の工程に要する時間が、15 分以内となるようにした。

#### (2) 凝固制御

600mm 立方体供試材（以下、厚肉供試材と称す）の鑄造方案を図 2 に示す。鑄型は、フリーマントル回収砂をフラン自硬性プロセスにて造型した。制御なしでは、凝固に約 9 時間を要する。そこで、凝固シミュレーションによる探索・解析を行い、3 時間以内に凝固が完了するように、冷金の大きさ及び配置を決定した。2 種の異なる接種条件に対して、それぞれ冷金による凝固制御有無の鑄型を用意した。解析結果をフォローすべく、各厚肉供試材の最終凝固部に K 型熱電対をセットし、凝固冷却カーブを測定した。

#### (3) 欠陥制御

以上の 2 項の他に、表 2 に種々のマクロ・マイクロ欠陥に対する対策を合わせて実施した。また、700K 脆化の対策も重要なポイントとして考慮に入れた。

#### (4) 調査要領

##### ① ミクロ組織

全ての厚肉供試材より、図 3 に示す要領で 20mm 立方体のミクロ試験片を採取し、ミクロ組織の調査を行った。調査は、黒鉛粒数、黒鉛粒径、黒鉛球状化率、フェライト率について行った。

##### ② 機械的性質

機械試験は、引張試験及び HB 硬度試験について実施した。引張試験片は、JIS Z 2201 4 号とし、図 4 に示す要領で採取した。又、HB 硬度試験 (10/3000) は、各引張試験片のホルダー余長部で実施した。

試験は、厚肉供試材縦断面方向を基準に実施し、冷金使用の厚肉供試材については、横断面方向についても実施した。又、参考として HB 硬度試験 (10/3000) を、引張試験片ホルダー部へ予め取付けておいた余長部 ( $\phi 25 \times H 20\text{mm}$ ) を用いて実施した。

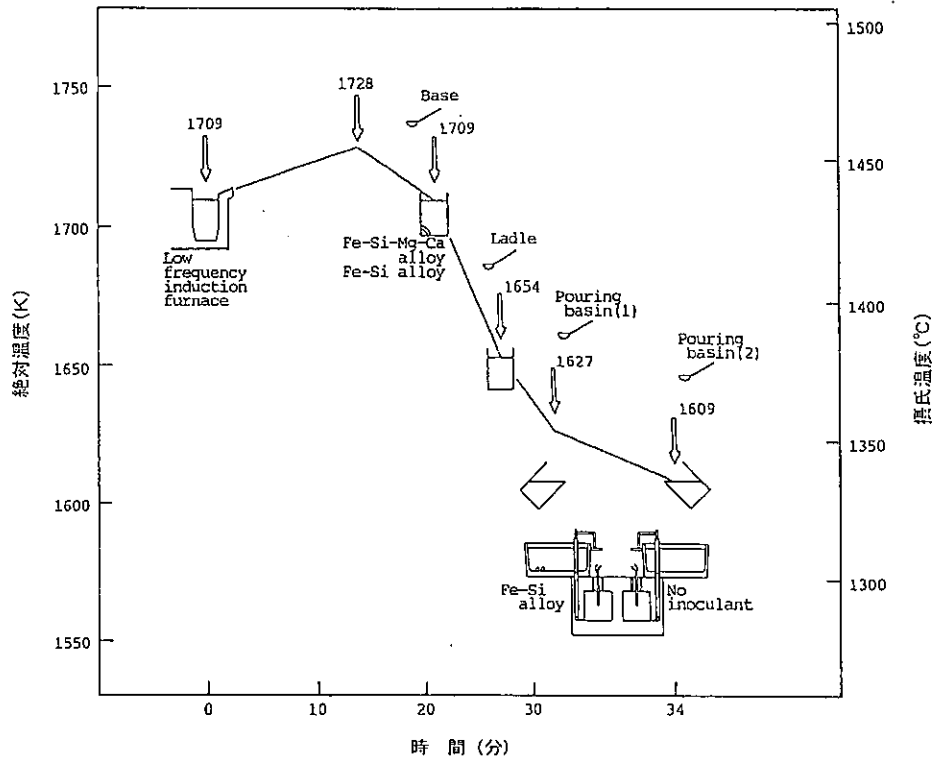


図 1 溶解～鋳込み工程における温度及び時間フロー

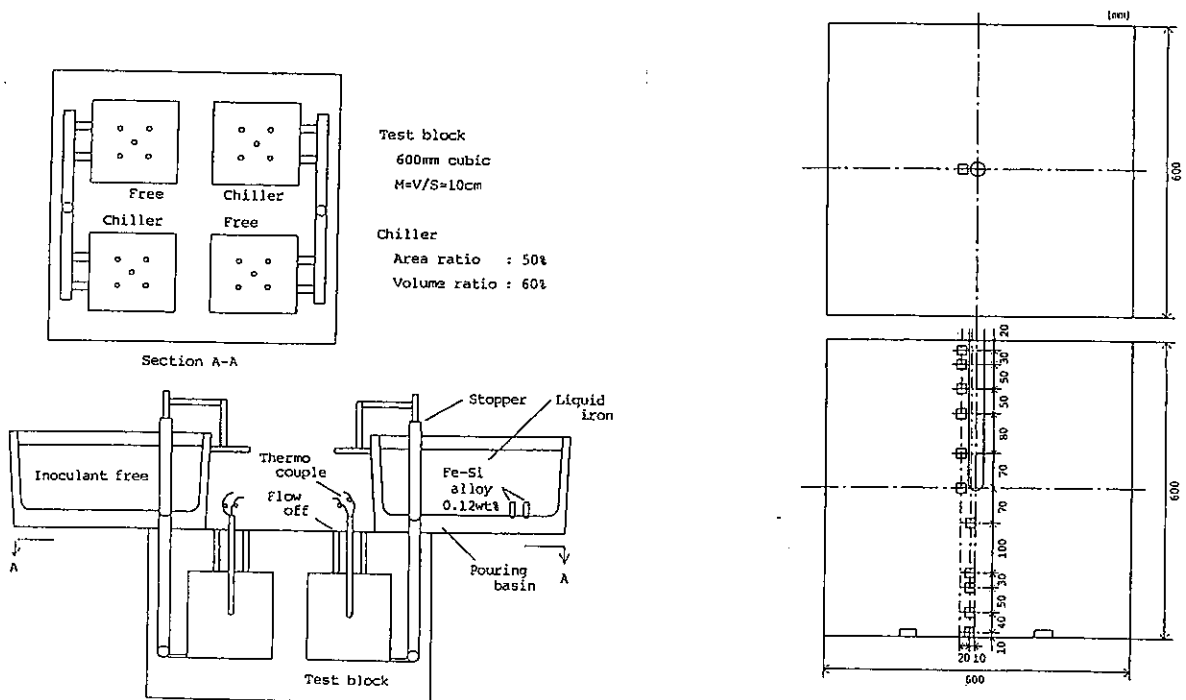


図 2 厚肉供試材の鋳造方案

図 3 厚肉供試材における  
マイクロ試料採取位置

表 2 大物 FCD 鋳物の欠陥及び不具合の種類とその発生因子

欠陥・不具合の種類		発生因子
マクロ状	引巣 (内, 外), ふくれ	化学成分 (C, Si, CE), 押湯方案, 鋳型プロセス, 鋳物の形状・寸法, 締付け, 鋳込み条件, 鋳型壁の移動, 中子の浮上, 湯流れ
	Mgドロソ (塊状, 線状)	化学成分 (Mg, Al, Ca), 鋳込み条件, 取鍋の性状, 掛堰の構造, 二次酸化 (キャビティ内雰囲気, 型内湯流れ)
	黒鉛ドロソ	化学成分 (CE), 肉厚 (凝固時間)
	ガス欠陥 (ブロー状, 引巣状)	鋳型プロセス (I.g. Loss), 塗型, 型内湯流れ, 鋳物の形状・寸法, 乾燥
	カン玉, 湯じわ	型内湯流れ (堰, 鋳込み姿勢)
	異物カミ (砂, 塗型, 湯口煉瓦)	型くずれ, 塗型の厚み, 型の清浄, 治具の置忘れ, 煉瓦の破損
	欠肉, 寸法不良	型くずれ, 伸尺 (鋳物形状), 鋳型強度 (変形, 拘束), 鋳型壁の移動, 中子の浮上, 入干
	焼着, 浸透	鋳型の耐火度・充填度・強度・I.g. Loss・乾燥, 湯流れ, 湯温
ミクロ状	脆化割れ	化学成分 (Si, P, S, Mg), 700K付近徐冷
	成長	$\alpha$ 化処理
球状化不良 (全体, 表層)	球状化不良 (全体, 表層)	化学成分 (Mg), 不純物 (S, Ti, Bi, Sb, As, Pb, Sn等), 接種, 肉厚 (凝固時間), 二次酸化, 浸硫, 鋳型ガスの吹込み, スーパーヒート
	チャンキイ黒鉛	化学成分 (Si, Ni, RE, Mg), 肉厚 (凝固時間)
	炭化物 (板状, セル間)	化学成分 (Mn, Cr, Mo, V, Mg等), 接種, 凝固時間 (冷金, 肉厚)
	ステダイト	接種, P量, 凝固時間 (肉厚)
	ポロシティ (セル間巣)	化学成分 (Mg), 炭化物生成, 締付け, 鋳型壁移動

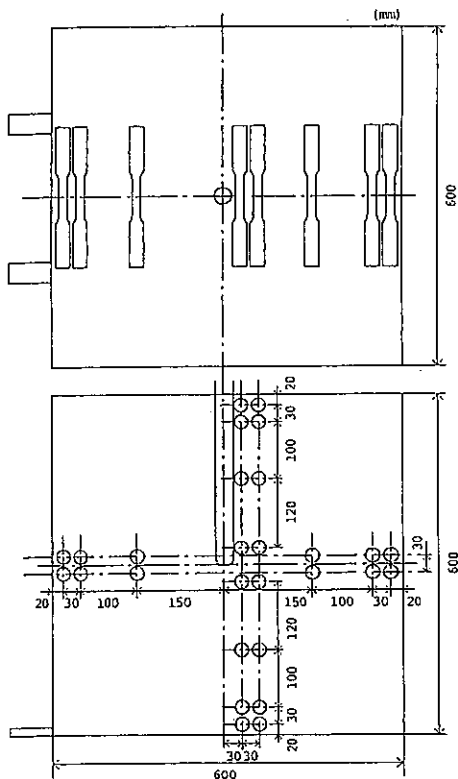


図 4 厚肉供試材における引張試験片採取位置

### ③ 鋳造欠陥

厚肉供試材の外観, 同供試材の切断面, 各採取試験片の試験前の外観, 試験後の破断面等の目視観察により, 鋳造欠陥の有無を調査した。

### 3. 実験結果

#### (1) 接種剤の歩留り

掛堰における2次接種剤 (Fe-75Si) の溶込みは良好で、Si の増量からほぼ100%の歩留りであることを確認した。掛堰より採取した試料の分析結果を表2に示す。

#### (2) 凝固挙動の変化

凝固冷却カーブの測定結果を図5に示す。

冷金による凝固制御をしない場合、2次接種により初晶温度が低く、共晶が高い温度で推移する傾向にあった。鑄込み温度が18K高い2次接種鑄型では、鑄込みから凝固終了までに要する時間が約40分長かった。共析変態も約80分遅れ、尚且つ約5℃高温で推移した。

一方、冷金適用の場合、2次接種の有無に関係なく凝固時間が約1/4に低下した。凝固開始温度も30分以上早い。2次接種した鑄型では、上述のように鑄込み温度が高かったにもかかわらず、逆に約30分早く凝固が終了し、共晶温度の停滞も見られなかった。凝固に対し、明らかに2次接種による差が認められた。共析変態に対する2次接種の差は、殆んど認められなかった。鑄込みから変態終了までの時間は、凝固の場合と同様に、冷金効果により約1/4に短縮された。

#### (3) 外観

全ての厚肉供試材は、揚がり方案のみの無押湯方案としたが、問題となるような疵や欠陥はなく、冷金有無による差も見当たらなかった (図6)。

表3 厚肉供試材の化学成分 (mass%)

サンプル	C	Si	Mn	P	S	Ce	T-Mg	F-Mg
元湯	3.47	1.47	0.16	0.053	0.011	-	-	-
取鍋	3.43	2.41	0.17	0.053	0.006	0.000	0.054	0.048
掛堰1 (2次接種有)	3.48	2.49	0.17	0.054	0.006	0.000	0.050	0.045
掛堰2 (2次接種無)	3.51	2.40	0.17	0.057	0.006	0.000	0.049	0.043

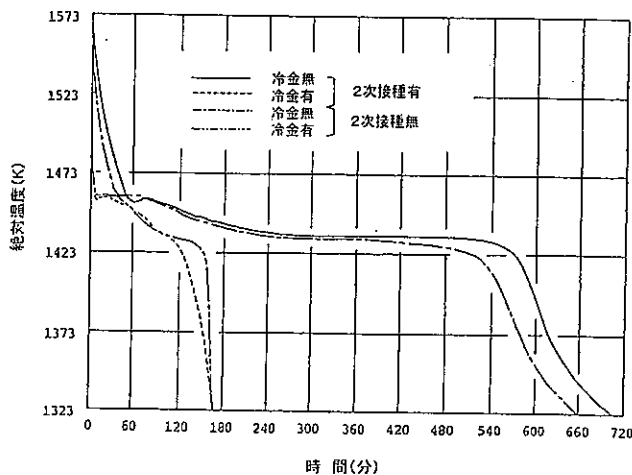


図5 厚肉供試材中心の凝固冷却カーブ

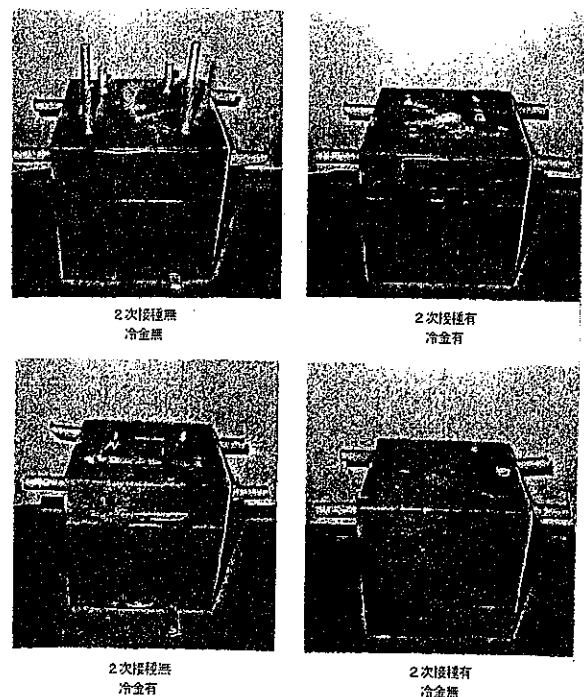


図6 厚肉供試材の鑄放し外観

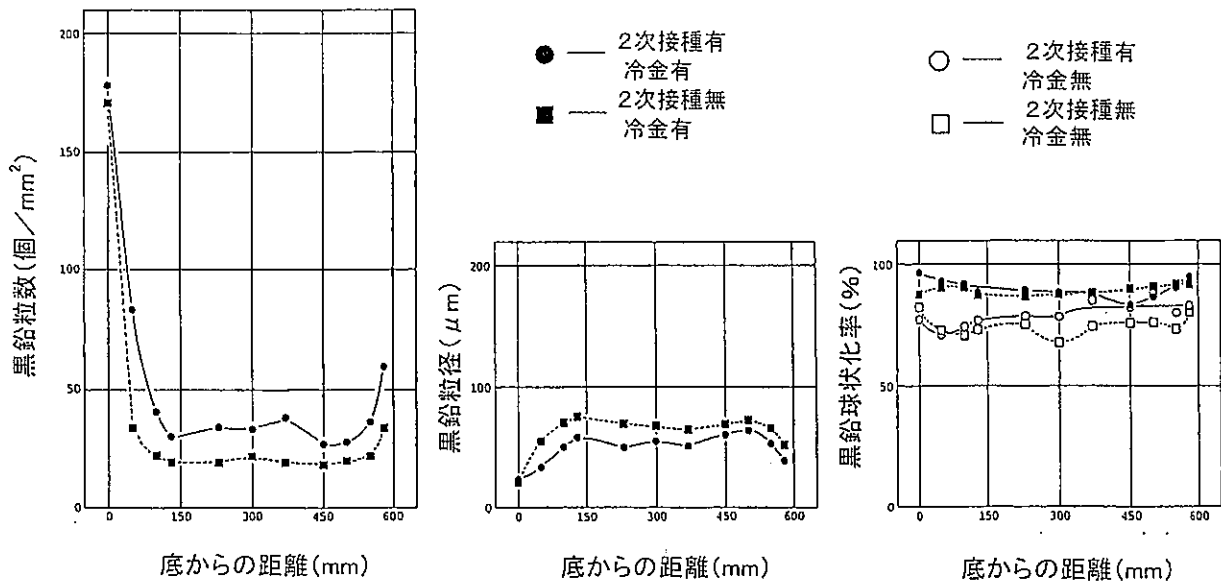


図7 厚肉供試材の黒鉛粒に及ぼす2次接種及び冷金の影響；(a)粒数，(b)粒径及び(c)球状化率

#### (4) ミクロ組織

図7に、試験片採取位置に対する黒鉛粒数，黒鉛粒径，球状化率それぞれの推移を示す。

尚，黒鉛粒数，黒鉛粒径については，冷金を使用しなかった厚肉供試材の場合，長時間凝固に伴う黒鉛形状の劣化，粗大化があまりにも大きく，比較の対象とならなかったため，図7へのプロットを止めた。約9時間にも及ぶ凝固ながら，両厚肉供試材にチャンキー黒鉛は，発生していなかった。

冷金を使用した厚肉供試材における黒鉛粒数，黒鉛粒径については，掛堰2次接種による改善が明らかに認められ，各測定点における黒鉛粒数，黒鉛粒径に差が生じた。球状化率では，冷金使用の有無にかかわらず，各測定点の間で若干の差が見られた。又，厚肉供試材間の比

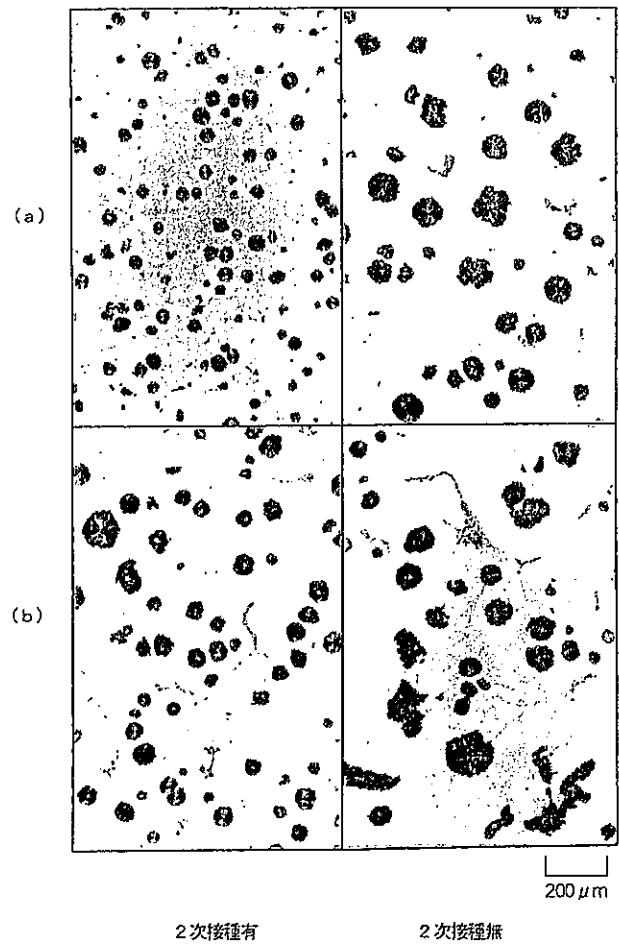


図8 厚肉供試材の黒鉛組織に及ぼす2次接種及び冷金の影響；(a)底から50mm及び(b)中心(5%ニタール腐食)

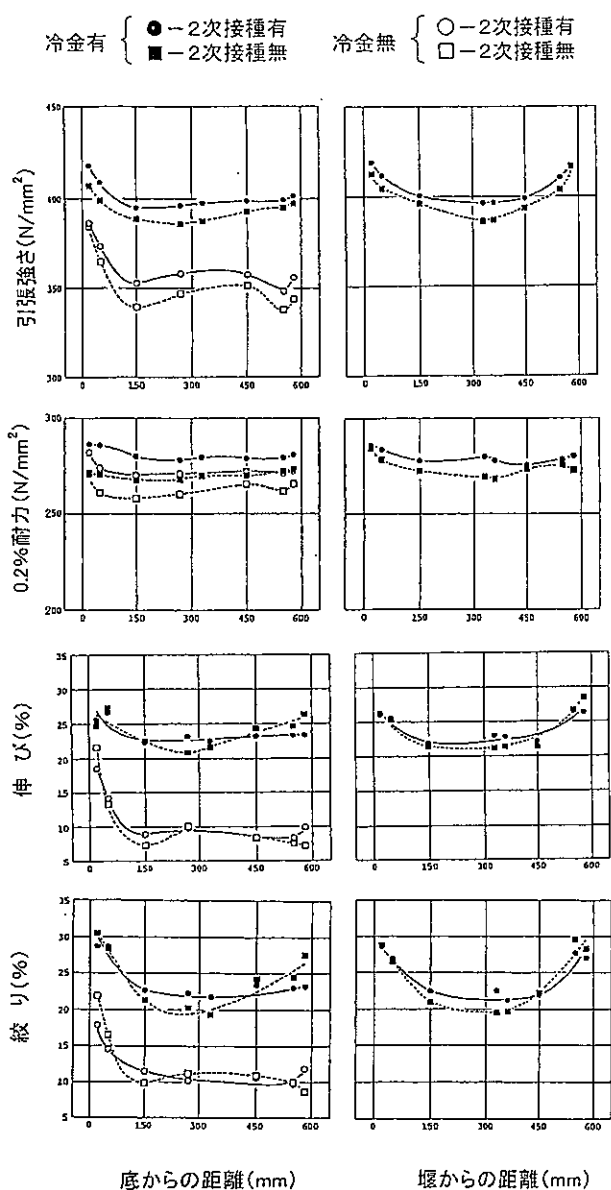


図9 厚肉供試材の引張特性

いて目標をクリア出来た。  $\sigma_{0.2}$  及び  $\sigma_B$  は、2次接種との併用で更に値が増加した。伸び ( $\epsilon$ ) 及び絞り ( $\phi$ ) については、2次接種の効果が見られなかった。

HB 硬度は、 $\sigma_{0.2}$  と連動する傾向にあるものの、各試験位置及び条件間で顕著な差は見られない。

#### (6) 内部健全性

全ての供試材切断面、試験片表面及び試験片破面に、機械的性質に影響を及ぼすような欠陥は、観察されなかった。

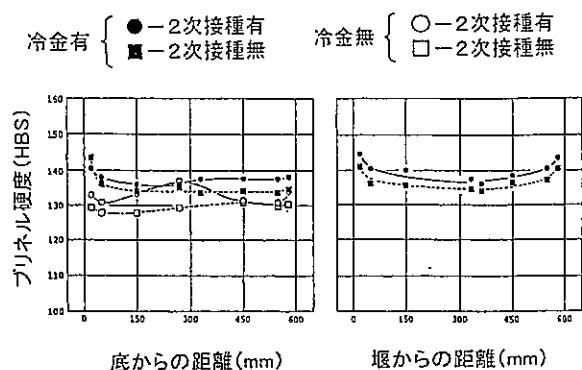


図10 厚肉供試材の硬度特性

較では、相対的に掛堰2次接種を行った方が高い値を示した。フェライト率についても、球状化率と同様の傾向であった。図8に、冷金を使用した厚肉供試材のミクロ組織の一例を示す。

#### (5) 機械的性質

図9に、試験片採取位置に対する引張特性を示す。冷金を使用しない場合、0.2%耐力 ( $\sigma_{0.2}$ ) のみ目標をクリアしたものの、他の特性は、クリア出来なかった。

2次接種により引張強さ ( $\sigma_B$ ) がわずかに増加したものの、目標を上回る程ではない。

冷金を使用した場合、 $\sigma_{0.2}$  がわずかに増加する。その他の特性は大幅に増加し、全試験箇所において目標をクリア出来た。

#### 4. 実施事例

上述の基礎技術を実務に適用した事例が、既に数多くある。本体強度保証要領を3種類に大別し、具体例を付録として添付する。

これらは、豊富な経験と理論を融合させて得られた技術である。このようにして誕生したダクタイル鋳鉄は、「セオリーダクタイル」と命名され、広範囲な顧客のニーズに応えつつある。

#### 5. 結言

厚肉 FCD に対する掛堰 2 次接種と冷金は、本体強度の保証に有効な手段の一つであることがわかった。

#### 6. 引用文献

- 1) H. Itofuji, "Proposal of the Site Theory," Transactions of the American Foundrymen's Society, Vol. 104 (1996), P79.



# 付録；本体強度保証事例

(株) 宇部スチール

## 1. 緒言

本付録は、これまでに行ってきた本体強度保証の事例を示すものである。本体強度の試験要領は、大きく分けて以下に示す3種類ある。これらは、目的、予算、納期によって選定される。

### (1) 本体の直接試験評価

製造した本体そのものを切断して供試材とし、その供試材の機械的性質を評価する。本体を直接切断するので、切断面観察による非破壊検査(UT)精度の評価も同時にできる。従って、試験後の本体は、製品として使用出来ない。

### (2) 余長部の試験評価

強度の保証が要求される部位と同じ肉厚の供試材を、製品本体に余長部として鋳造し、その余長部の機械的性質を評価することで、本体のそれをも保証する。この場合、試験後の本体は、製品として出荷できる。

### (3) コア供試材の試験評価

本体の加工代内より中空ドリルを用いてコア供試材を採取し、その供試材の機械的性質を評価する。通常、最終的に加工穴となる部分が供試材採取位置の対象となる。上項(1)のようなUT精度の確認も、一部可となる。試験後の本体は、製品として出荷出来る。

## 2. 事例

### (1) 本体の直接試験評価

- ① 射出成形機のプラテン . . . . . 添付資料①
- ② 明石海峡大橋用フィンガー . . . . . 添付資料②

### (2) 余長部の試験評価

- ① 射出成形機のプラテン . . . . . 添付資料③
- ② 金型 . . . . . 添付資料④

### (3) トレパン供試材の試験評価

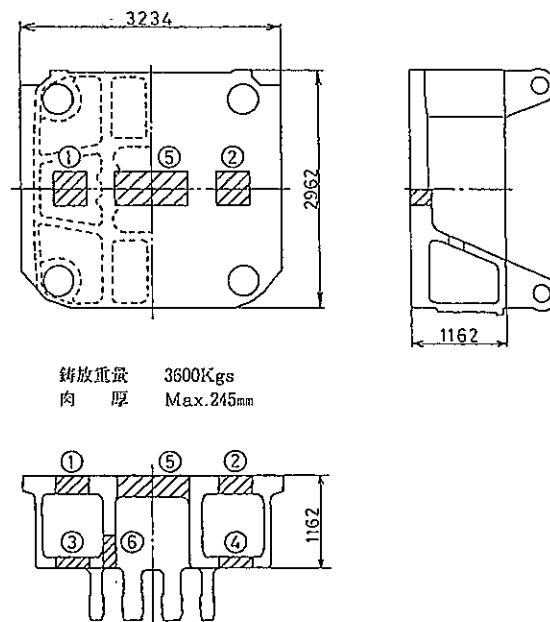
- ① 発電機のステータ押え板 (FCD) . . . . . 添付資料⑤
- ② 発電機のステータ押え板 (FCDA) . . . . . 添付資料⑥

大型DCIの品質制御へのサイト説の適用

Keith D. Millis World Symposium on  
Ductile Iron 資料、Hilton Head Is., SC,  
USA, Oct.19-22 (1993)

（株）宇部スチール

\*糸 藤 春 喜



铸放重量 3600Kgs  
肉 厚 Max.245mm

図1 サイト説を適用した大型DCI（2800トン射出成形機の部品）  
斜線部は、使用上重要な部分。

表1 当論文で対象としている大型DCIに要求されている機械的性質<sup>1)~3)</sup>

引張特性 <sup>1)</sup>				ブリネル 硬度 <sup>2)</sup>	衝撃値 <sup>3)</sup>	破壊靱性	
0.2%耐力	抗張力	伸び	絞り			K <sub>IC</sub> <sup>4)</sup>	J <sub>IC</sub> <sup>5)</sup>
kgf/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	%	10/3000	kgf·m/cm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>3/2</sup>	kgf/mm
≧21.2	35.8-36.8	15.0-20.9	15.1-25.3	126-130	2.8-2.9	230-330	3.2-4.4

\*参考値

表8 サイト説適用大型DCIの機械的性質

試験箇所		PSO.2	TS	E1	RA	HB	CVN	RBS(ER)	J1c(KIc)	E	Δkth		
(2)		U	25.6 25.3 25.5	38.9 38.3 39.3	27.3 24.6 24.6	23.6 21.3 23.2	144 146 147	1.5 1.6 1.5	18.4(0.47)				
		M	25.7 25.9 25.6	39.5 39.6 39.5	20.3 21.0 21.6	18.1 19.1 19.4	143 140 140	1.0 0.9 0.8					
		L	25.9 26.0 26.1	38.7 38.0 38.8	21.0 21.4 21.7	16.9 18.8 20.7	137 143 146	1.0 1.1 1.0					
		U	26.3 26.0 26.2	38.9 39.2 38.7	16.4 22.4 14.8	15.4 20.6 17.4	147 138 137	1.0 0.9 1.0					
		M	26.2 26.1 26.0	39.7 39.6 39.2	20.6 18.4 16.0	17.2 15.9 12.1	140 141 143	0.9 0.9 0.8					
		L	26.1 26.4 26.3	39.9 39.9 39.9	25.6 21.2 24.6	24.1 22.3 23.2	147 146 143	1.4 1.5 1.4	17.0(0.47)				
(4)		Dr	24.7 25.3 25.3	32.8 33.1 33.5	6.0 6.0 4.2	8.4 11.1 9.8	137 146 143	1.5 1.4 1.5					
		U	26.0 26.3 26.3	39.6 40.0 39.6	24.8 25.0 24.0	24.1 24.1 22.8	143 143 140	1.3 1.3 1.3	5.9(333) 5.8(330) 6.8(357)	17140	28.9		
		M	26.3 26.3 26.6	39.6 39.6 40.0	16.0 17.0 19.6	13.8 16.4 17.7	140 140 143	0.9 0.9 1.0	4.6(294) 6.3(344) 5.2(313)		16940		
		L	26.6 27.0 27.0	39.3 39.0 38.7	21.4 19.0 16.6	20.3 19.0 16.4	140 143 140	1.1 1.0 1.0	5.6(321) 6.7(355) 7.0(363)		17200	25.4	
		U	25.6 25.8 26.1	39.1 39.2 38.9	23.6 23.0 16.8	18.8 17.9 14.7	140 146 140	1.4 1.1 1.0					
		M	25.9 25.2 25.3	39.5 39.4 39.1	29.2 22.8 18.0	25.7 19.3 16.8	142 147 143	1.1 1.3 0.9					
(6)		L	25.7 25.6 25.9	39.3 39.2 39.2	25.6 16.2 19.6	23.5 17.3 17.6	135 140 139	1.1 1.1 1.1					

## 橋梁用超高品質大型鑄物の製造

(株)宇部スチール

## 1. 研究開発の目的

近年、球状黒鉛鑄鉄鑄物に要求される品質は、従来の常識を越えて、なおかつ止まるところを知らない。本研究開発の対象となった橋梁用伸縮継手鑄物は、寸法精度が厳しく、表面及び内部共に実質的に無欠陥で、鋼に匹敵する強度・靱性を有し、しかも実体強度の保証が要求された。

## 2. 研究開発の内容

## 1) 材料開発

本材料は、FCD400-18Lをベースとしたものである。本来相反する事象である強度と靱性の確保が同時に要求され、材料開発は、この点を中心となった。フェライト化処理のような靱性付与の熱処理は、黒鉛化膨張や熱応力に伴う変形により、寸法不良となるために実施できない。このため、目標とする実体と標準供試材の機械的性質は、化学成分、溶解～鑄込み工程及び凝固冷却速度の制御により得ることとした。

## 2) 製造方案の開発

極小さな表面及び内部欠陥が許容されたものの、それらの許容値に納まるような欠陥が殆ど存在せず、実質、無欠陥のものを製造することが必須条件となった。このため、鑄込み条件、鑄込み姿勢、冷却制御、押湯及び湯口系の設計、鑄型のガス抜き、鑄型の締付け等を詳細に取り決めた。各榭は、図面寸法のセンタを基準に対して、片側肉厚を±1.5mmずつの範囲に抑えなければならなかった。片側自由端となっている榭部

は、熱或いは機械的な力がかかると自由に変形してしまう。この対策として、型バラシ温度を設定・厳守する、応力除去焼鈍(SR)時の炉積みを工夫する等を実施した。以上の製造要領が確実に守られるようにチェックシートを作成した。

## 3) 検査・試験方案の開発

この鑄物の製造仕様には、溶接補修は許容されておらず、寸法許容内でのラウンドオフのみが欠陥除去の手段であった。仕上げ加工後に検出される欠陥も多々ある。欠陥の同定とその発生対策の検討・実施も重要であるが、できるだけ早い工程での可否の決定が、追加原価を最小にするために極めて重要となる。製品の実体強度は、確性試験結果に基づいて、実体のミクロ組織の判定にて保証できるようにした。

## 3. 研究開発の成果

本材料についての化学組成を表1、機械試験結果を表2に示す。機械的性質に対する製造工程上の変動要素が多いため、これらを緩和・吸収する一つの手段として、高純度系の化学成分とした。機械的性質は、標準供試材及び橋梁用継手部品の実体主要部分と共に、目標とする本材料特有の規格値を満足させることができた。橋梁用継手部品の外観を写真1に示す。寸法精度が良く、欠陥のない鑄物の製造技術を開発できた。品質の安定は、詳細に取り決めた製造標準に従って確実に作業を実施することで得られた。

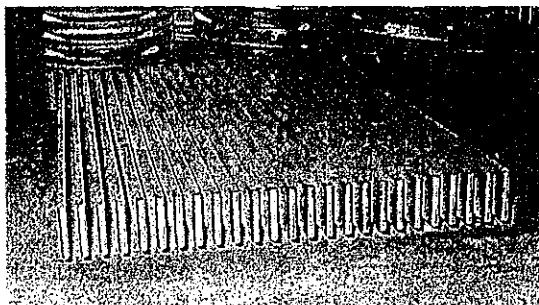
表1 実体化学組成 (Mass%)

C	Si	Mn	P	S	Mg
3.52	2.16	0.01	0.008	0.007	0.052

表2 別鑄込み供試材及び実体の機械的性質 (As-SR)

供試材	引張特性				硬度 HBS 10/3000	衝撃特性		疲労特性	
	0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	絞り (%)		CVN <sub>RT</sub> (J)	CVN <sub>-20C</sub> (J)	RBS <sub>RT</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	RBS <sub>-20C</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
規格	≥250	≥400	≥18	-	120-180	≥18*1	≥12*2	-	-
JIS G 5502 C Type (t=50mm)	273	417	24	23	151	20	17	-	-
	270	408	29	30	146	19	17	-	-
規格	≥250	≥390	≥18	-	120-180	≥18*1	≥12*2	≥190	≥190
実体榭部 (t=35mm)	262	389	24	22	129	20	12	206	194
	265	398	26	30	134	20	12	-	-
	256	388	26	29	135	20	14	-	-
規格	≥240	≥370	≥18	-	120-180	≥18*1	≥12*2	-	-
実体固定部 (t=185mm)	248	380	26	27	131	21	13	-	-
	247	370	24	22	131	21	12	-	-
	248	373	25	23	129	21	12	-	-

\*1 Min.16J \*2 Min.10J

写真1 大型橋梁用伸縮継手部品の外観  
(RW=6,900kg, φ2,280×L3,330×H280mm)

# 射出成形機のプラテン

(株) 宇部スチール

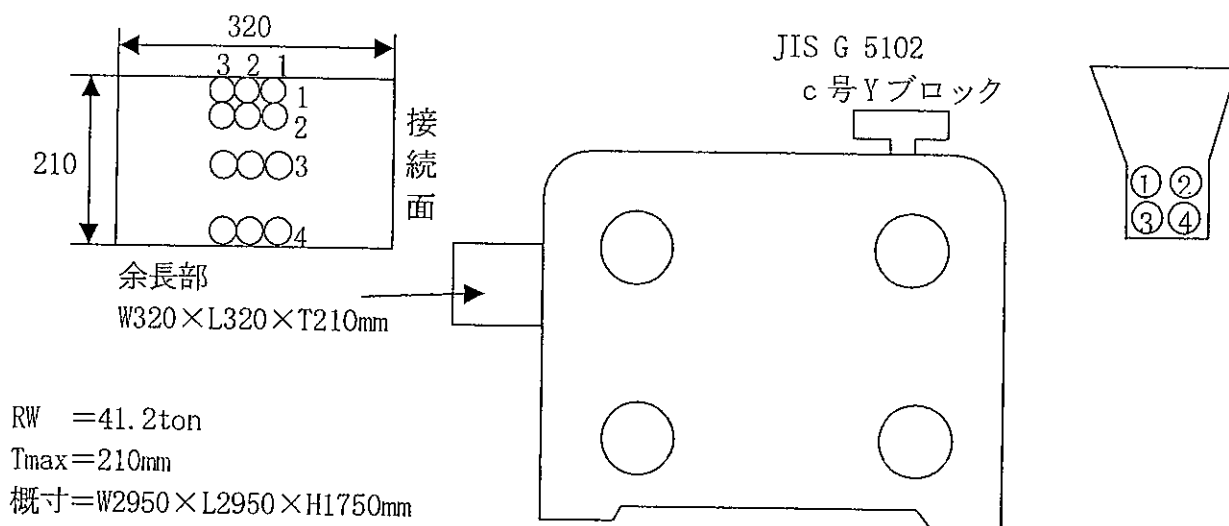


表1 化学成分 (mass%)

C	Si	Mn	P	S	T・Mg	F・Mg
3.49	2.36	0.26	0.029	0.006	0.043	0.036

表2 機械的性質

供試材	試験片 No.	引張特性				HB 硬度 10/3000	
		$\sigma_{0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon$ %	$\phi$ %		
—	規格	$\geq 280$	$\geq 450$	$\geq 10$	—	140~210	
c号Yブロック	①	290	483	20	16	155	
	②	295	484	19	14	159	
	③	281	452	19	24	145	
	④	280	454	20	25	142	
—	規格	$\geq 210$	$\geq 350$	$\geq 15$	—	120~130	
余長部	ドロス層	1-1	192	358	8	10	125
		1-2	250	349	6	7	129
		1-3	252	349	6	7	129
	上層	2-1	257	395	30	29	123
		2-2	259	397	28	28	127
		2-3	257	399	28	25	129
	中層	3-1	255	380	22	20	124
		3-2	255	383	24	21	124
		3-3	259	386	24	21	125
	下層	4-1	261	392	26	24	124
		4-2	264	392	26	25	125
		4-3	263	391	28	26	125

金 型

(株)宇部スチール

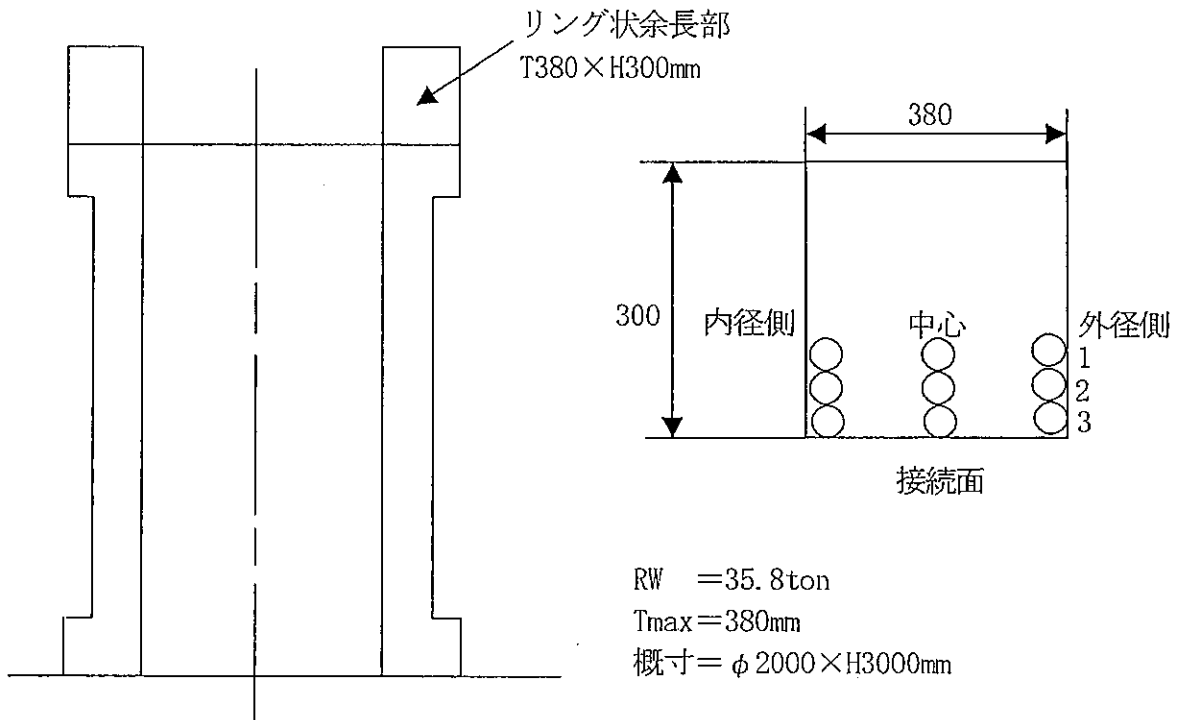


表 1 化学成分 (mass%)

C	Si	Mn	P	S	T・Mg	F・Mg
3.34	2.43	0.29	0.035	0.002	0.046	0.042

表 2 機械的性質

供試材	試験片 No.	引張特性				HB 硬度 10/3000	
		$\sigma_{0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon$ %	$\phi$ %		
—	規格	—	$\geq 275$	$\geq 5$	—	—	
本体 ①	内径側	内-1	299	442	23	23	—
		内-2	299	438	19	16	—
		内-3	302	443	20	15	—
	中心	中-1	307	454	15	15	—
		中-2	307	452	16	12	—
		中-3	302	442	17	14	—
	外径側	外-1	304	443	21	20	—
		外-2	299	442	24	23	—
		外-3	296	442	26	23	—
本体 ②	内径側	内-1	—	459	25	—	—
		内-2	—	464	31	—	—
	中心	—	—	—	—	—	—
	外径側	外-1	—	459	25	—	—
外-2		—	460	24	—	—	

## ステータ押え板

(株) 宇部スチール

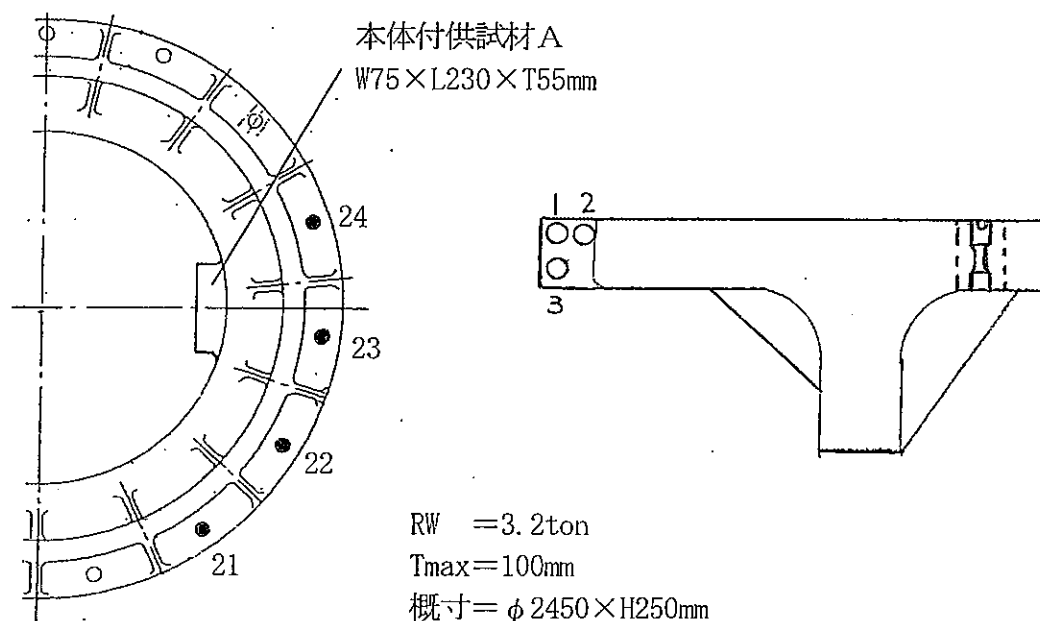


表1 化学成分

C	Si	Mn	P	S	T・Mg	F・Mg
3.38	2.43	0.26	0.045	0.017	0.048	—

表2 機械的性質

供試材	試験片 No.	引張特性				HB 硬度 10/3000
		$\sigma_{0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon$ %	$\phi$ %	
—	仕様規格	≥275	≥410	≥15	—	140~200
本体付	A 1 <sup>1)</sup>	302	450	32	30	149
	A 2 <sup>1)</sup>	311	453	28	28	150
	A 3 <sup>1)</sup>	302	447	25	28	152
本体コア	2 1 <sup>2)</sup>	293	462	22	12	158
	2 2 <sup>2)</sup>	293	445	22	16	154
	2 3 <sup>2)</sup>	294	450	18	15	154
	2 4 <sup>2)</sup>	301	463	23	16	156

注記1) φ 14×GL50mm

2) φ 14×GL30mm

# (74) 大型 F C D A 鋳物の製造

㈱宇部スチール ○糸藤春喜, 田村幹夫  
㈱東芝 西村隆宣, 江刺家康雄

## 1. 緒言

大型発電機の固定子締付け用フランジ鋳物を、PCDA-NiMn 13 7にて製造した。この材質は、引巣が発生し易い、チャンキ黒鉛が晶出し易い、炭化物が晶・析出し易い等のために、高品質な大型鋳物を製造することが極めて難しいとされている。対象とした鋳物は、非破壊検査的に無欠陥で、実体付供試材の強度及び比透磁率の保証が必要であり、鋳物として最高級な品質が要求された。以下に、その製造例を紹介する。

## 2. 実験方法

溶解は、10 T 低周波誘導炉を用いて行い、銑鉄、リターン、Fe-Mn、電解Ni等を溶解材料として装入した。溶湯処理は、Fe-Si-5.5Mg 及びFe-75Si を各々1.2%及び0.4%づつ添加して、置注ぎ法にて行った。押湯方案は、鑄鋼並みを基本とした。鑄型はフランジ鑄型で、鑄込み温度は1633±15Kを目標とした。

先ず、実製品と同スケールのモデルを用いて、製造諸条件を設定するための確性試験を実施した。実体付供試材(JIS G5502 Y形 C号)の引張特性や比透磁率を確実に保証するため、熱処理条件も検討した。その後、実製品の製造に移行した。実体からトレパン・サンプルを採取して、引張及び比透磁率試験を実施し、実体付供試材との相関を調査した。

## 3. 結果

適切な押湯方案とした結果、放射線透過試験により、引巣は全く認められなかった。また、加工面における浸透探傷試験においても、チル発生に伴って見られるような指示模様は検出されなかった。しかし、押湯の設置は、凝固時間を長くするため、黒鉛形状の粗悪化という別の問題を引き起こした。このため、冷金による凝固時間制御が必要になった。

冷金により凝固時間を制御した結果、実体の黒鉛組織が大幅に改善され、実体付供試材のそれと大差がなくなった。しかし、双方共に炭化物の析出が観察された。炭化物は、パーライト・セメントタイトと共晶セル間の細長いフィルム状のものであり、型内冷却中に析出したものである。

鑄放しでは、実体付供試材において目的の機械的性質を満足させることが出来なかった。フィルム状炭化物が強度・靱性を低下させる原因となっていた。この問題は、オーステナイト化処理によって解決された。

共晶炭化物は、極微量の晶出が見られたが、諸特性に影響を及ぼす程ではなかった。

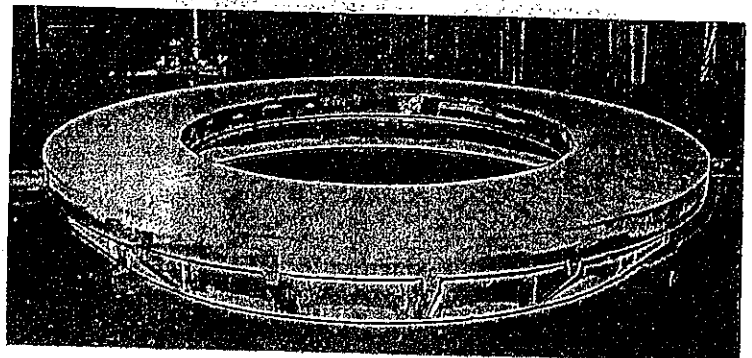
炭化物の析出は、比透磁率にもマイナスに働いた。この点からも、オーステナイト化処理が必要不可欠であった。比透磁率は、機械加工によっても変化した。これは、オーステナイトが加工誘起変態を起こして、マルテンサイト化することが原因であった。その他、酸化スケールや表面脱炭層の存在にも左右されるので、試験片や実体の比透磁率の測定には、細心の注意を必要とした。

## 4. まとめ

非破壊検査的にほぼ無欠陥の高品質な鋳物を製造することが出来た(Fig. 1)。また、実体付供試材のみならず実体においても目的の機械的及び物理的性質を満足させることが出来た。

Table 1 Results of mechanical and physical tests in stator flange casting made of austenitic ductile iron

Samples	Tensile properties			Hardness	Relative permeability	
	$\sigma_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	HB (10/3000)	$\mu$ (8kA/a)	
PCDA-NiMn 13 7	≥210	≥390	≥15	130-170	≈1.02	
Cast on	As-cast	244	358	6	165	1.20-1.60
	r-treat	278	568	38	164	1.01-1.02
Trepan	As-cast	215	315	14	132	1.02-1.05
	r-treat	259	484	23	162	1.01-1.02



Thickness ; 130mm  
R W ; 7000Kg

Fig. 1 Appearance of stator flange casting