

現場技術
改善事例

大型厚肉 FCD の本体強度の保証



1. はじめに

石炭採掘関連機械用の部品の製造・修理を主業務として1913年に操業開始して以来、約90年間にわたり鑄造品を製造している。現在は、多材質・多品種・少量生産様式を取り、国内外の重工業向けに多種多様の鑄造品を供給している。リピート物が少ないだけに、技術の改善・開発を難しくしている。我々の職場は、このような特殊生産様式を技術面からサポートするため、製造ラインから一歩外れた技術開発が主な職務となっている。

2. テーマに取上げた理由

近年、球状黒鉛鑄鉄は普通鑄鉄及び鑄鋼からの材質の代替が進む中で、小物から大物へと適用範囲が広がってきている。しかし、球状黒鉛鑄鉄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とが、問題となっている。このことは、肉厚感受性の小さい鑄鋼からの代替の際、特に問題となる。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、鑄鋼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、設計変更で反映するため、それを把握する必要がある。

そこで、黒鉛球状化理論「サイト説」を軸とした解析に基づいて問題の解決を試み、一定の成果が得られたので以下に報告する。

3. 目標設定

最終凝固部となる本体肉厚の中心において、FCD 400-18 A (主要肉厚 60~200 mm) 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 200 mm 板相当の 600×600×600 mm ブロックとした。両者は、モジュラス $M(\text{cm}) = V/S$ 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

(株)宇部スチール

サークル名：パッチシ

田村 幹夫

李 保柱, 榎谷 歩

示す。

肉厚 200 mm 部の $M = (\text{肉厚})/2 = 20/2 = 10 \text{ cm}$ 600 mm 立方体の $M = (\text{一辺})/2 = 60/6 = 10 \text{ cm}$

4. 要因の解析

(1) 溶湯処理

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 の濃度斑をもたらず効果である。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、接種から鑄込みまで、及び鑄込みから凝固開始までの時間が長いほど、大きく進む。本改善では、鑄込み直前の接種により、前者に起因の拡散を最小とする試みを行った。後者については、下記の凝固挙動の項で検討する。

(2) 凝固挙動

凝固時間が長い大型厚肉鑄物ほど、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。本改善では、冷し金の使用により凝固の制御を図り、肉厚感受性の低減を試みた。

5. 試験条件

(1) 接種処理

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、掛け堰にて行った。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。元湯は、10t低周波誘導炉にて溶解し、9tを

表1 600×600×600 mm 厚肉供試材の目標機械的性質
[FCD 400-18 A (t=60~200 mm) 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 ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	
中心	≥240	≥370	≥12	—	120~180

依頼原稿 平成15年2月26日 原稿受理

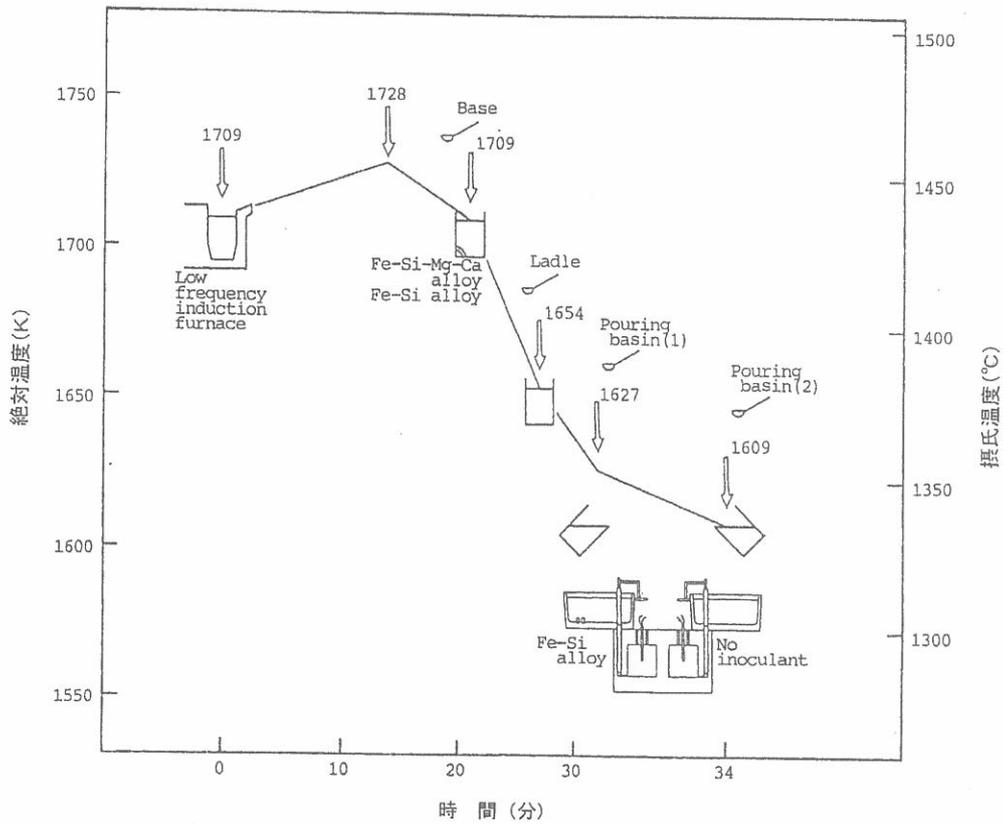


図1 溶解～鑄込み工程における温度及び時間フロー

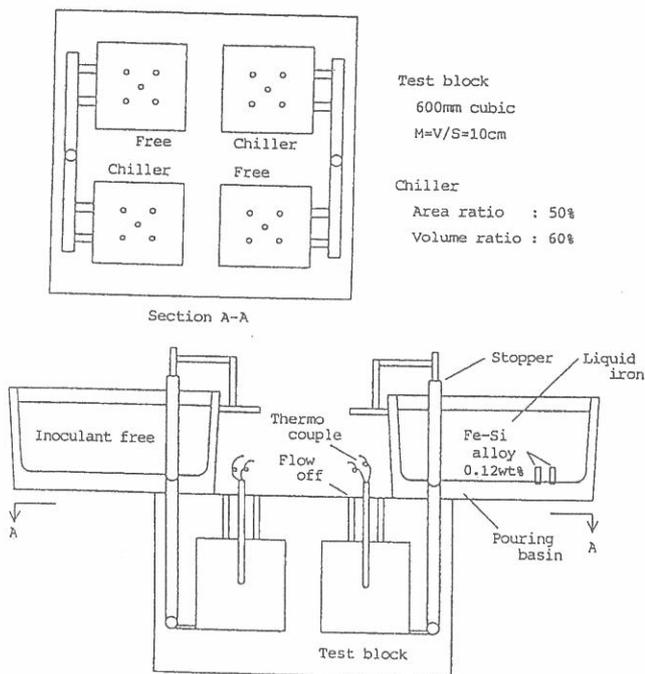


図2 厚肉供試材の鑄造方案

溶湯処理量として出湯した。溶解から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次接種有無の掛け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

600 mm 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

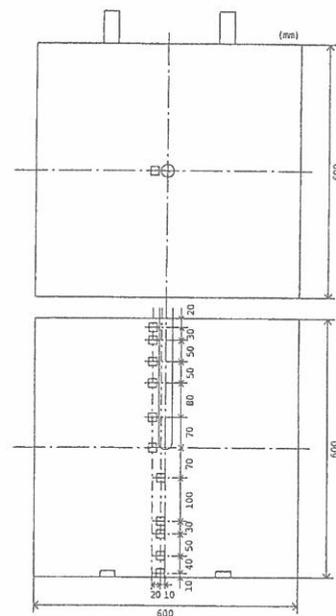


図3 厚肉供試材におけるマイクロ試料採取位置

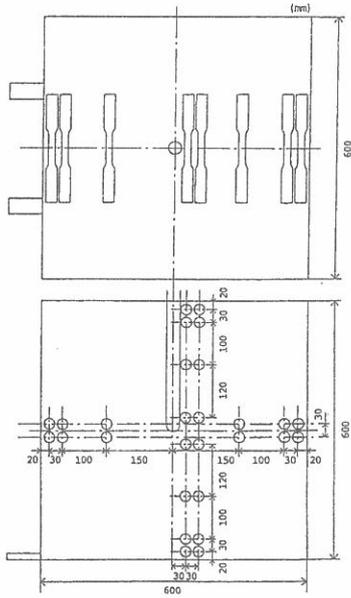


図4 厚肉供試材における引張試験片採取位置

表2 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	0.003	0.054	0.048
掛堰1 (2次接種有)	3.48	2.49	0.17	0.054	0.006	0.003	0.050	0.045
掛堰2 (2次接種無)	3.51	2.40	0.17	0.057	0.006	0.003	0.049	0.043

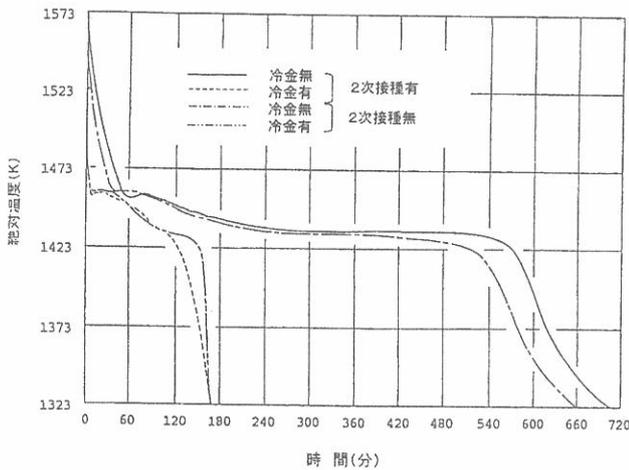
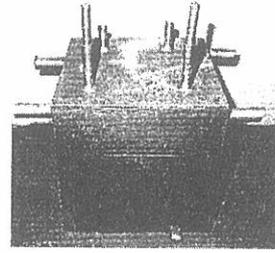
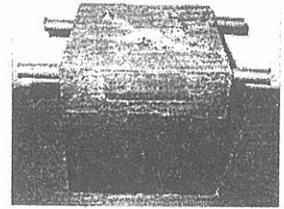


図5 厚肉供試材中心の凝固冷却カーブ

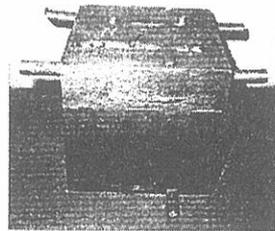
る探索・解析を行い、3時間以内に凝固が完了するように、冷し金の大きさ及び配置を決定した。2種の異なる接種条件に対して、それぞれ冷し金による凝固制御有無の鋳型を用意した。解析結果をフォローすべく、各厚肉供試材の最終凝固部にK型熱電対をセットし、凝固冷却カーブを測定した。



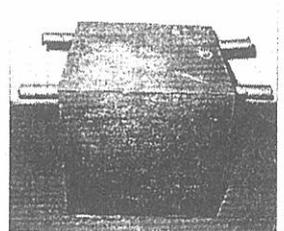
2次接種無
冷し金無



2次接種有
冷し金有



2次接種無
冷し金有



2次接種有
冷し金無

図6 厚肉供試材の鑄放し外観

(3) 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。また、HB硬度試験(10/3000)は、各引張試験片のホルダ余長部で実施した。試験は、厚肉供試材縦断面方向を基準に実施し、冷し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。また、参考としてHB硬度試験(10/3000)を、引張試験片ホルダ部へ予め取付けておいた余長部(φ25×H20mm)を用いて実施した。

6. 試験結果

(1) 接種剤の歩留り

掛け堰における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。掛け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。

冷し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。鑄込温度が18K高い2次接種鋳型では、鑄込みから凝固

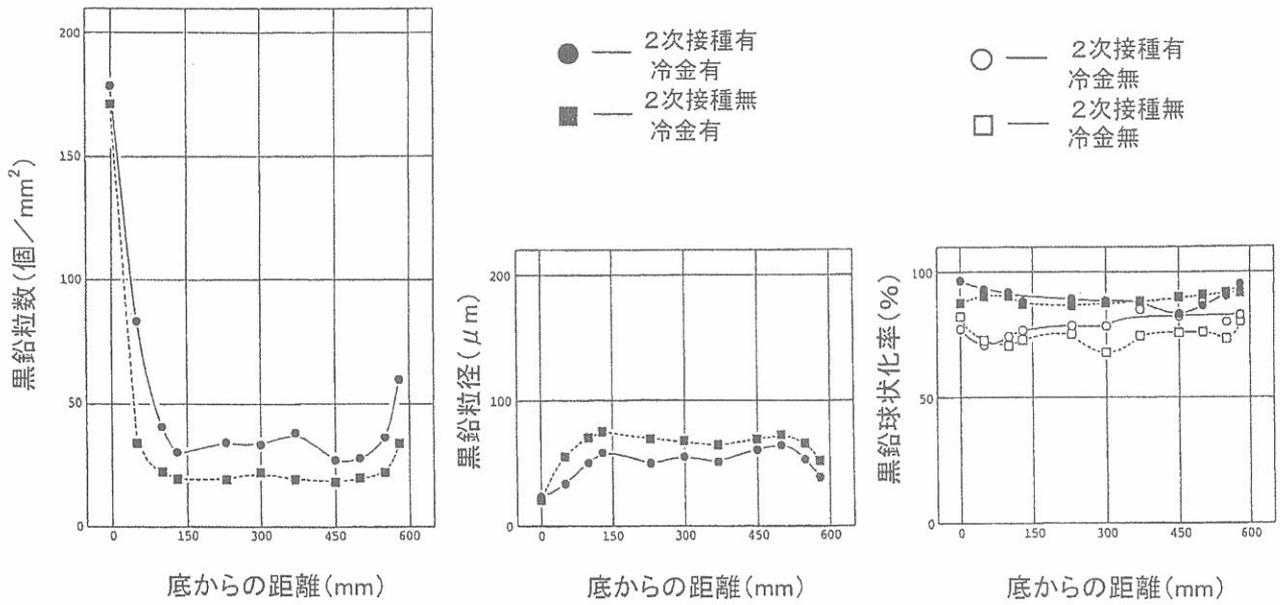


図7 厚肉供試材の黒鉛粒に及ぼす2次接種及び冷し金の影響；
(a) 粒数, (b) 粒径及び(c) 球状化率

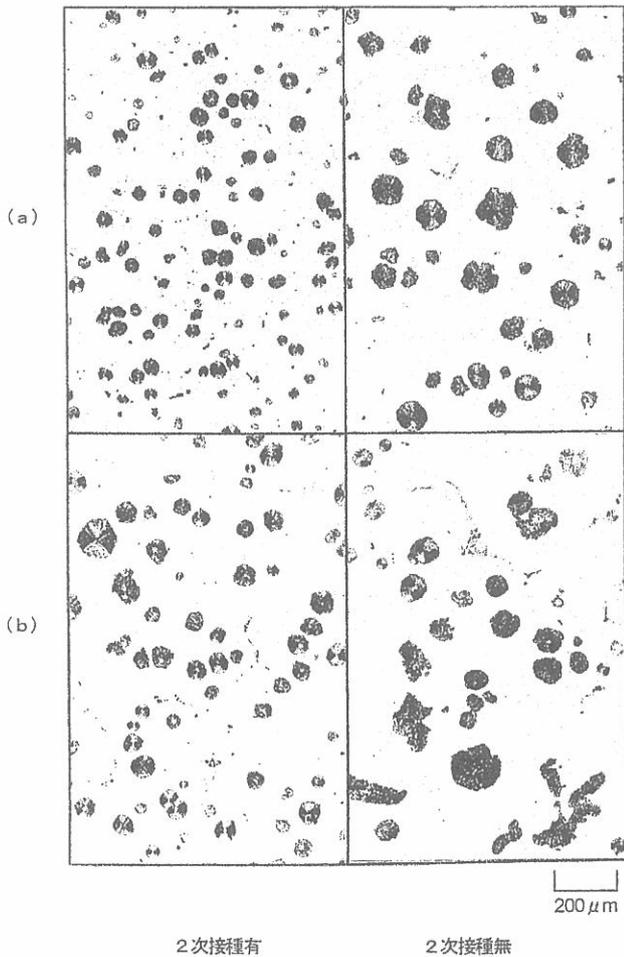


図8 厚肉供試材の黒鉛組織に及ぼす2次接種及び冷し金の影響；
(a) 底から50 mm及び(b) 中心(5%ナイタル腐食)

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°C高温で推移した。

一方、冷し金適用の場合、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次接種した鋳型では、上述のように鋳込み温度が高かったにもかかわらず、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、ほとんど認められなかった。鋳込みから変態終了までの時間は、凝固の場合と同様に、冷し金効果により約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、問題となるようなきずや欠陥はなく、冷し金有無による差も見当たらなかった(図6)。

(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。なお、黒鉛粒数、黒鉛粒径については、冷し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。まず、冷し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、掛け堰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、冷し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。また、厚肉供試材間の比較では、相対的に掛け堰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、冷し金を使用した厚肉供試材のマイクロ組織の一例を示す。

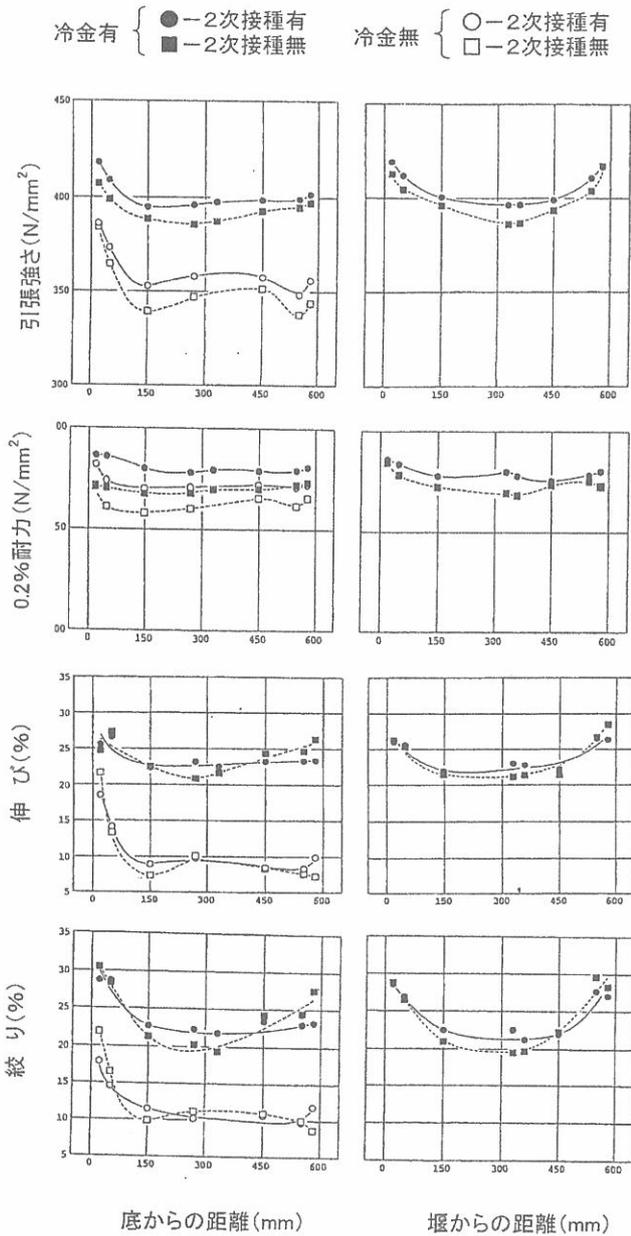


図9 厚肉供試材の引張特性

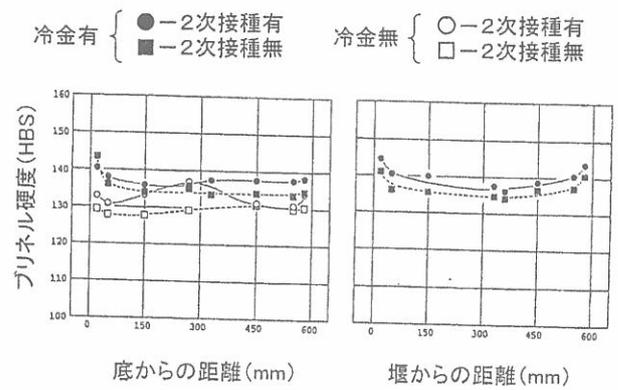


図10 厚肉供試材の硬度特性

(5) 機械的性質

図9に、試験片採取位置に対する抗張力、0.2%耐力、伸び、絞りそれぞれの推移を示す。各試験位置とも、掛け堰2次接種を行った方の抗張力、0.2%耐力が高い値を示した。伸び、絞りについては、ほぼ同等であった。HB硬度は、掛け堰2次接種を行った方が、若干高い値で推移する傾向を示した(図10)。

7. 結 言

厚肉FCDに対して、掛け堰2次接種と冷し金を併用して凝固挙動を制御することにより、マイクロ組織中の黒鉛粒がより微細化し、粒数が増加することを確認した。これらは、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。

本体供試材には、以上の他に、ひけ巣、ドロス、マイクロポロシティ、共晶炭化物、チャンキー黒鉛、中温脆化等の対策も、本体強度の保証として考慮されている。以上は全て、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鑄鉄は、「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。

文 献

1) H. Itofuji, AFS Trans. 104 (1996)