

鋳鉄の歪み取り熱処理に関する研究（第1報）

水谷予志生*、林哲郎*

Study on the heat treatment for distortion elimination of cast iron (I)

MIZUTANI Yoshiki* and HAYASHI Tetsuro*

鋳鉄には、経年や機械加工後の寸法変化（歪み）に関する品質・生産管理等の課題がある。本研究では、従来から取り組まれている長期間放置の枯らしと熱処理（歪み取り焼鈍）に関する特性を評価した。球状黒鉛鋳鉄（FCD450）と片状黒鉛鋳鉄（FC250）について、X線回折による表面の残留応力測定と電子顕微鏡によるEBSD測定を試みた。鋳鉄の鋳造方法や後処理等の製造履歴が重要であり、今後は鋳鉄の鋳造方法等の諸条件を精査し、更なる分析・評価に取り組む必要がある。

1. はじめに

鋳造時に鋳型に拘束された状態で凝固する鋳鉄は、内部に残留応力が発生するため、鋳込みのままでは、経年や機械加工により寸法変化等の不具合を引き起こす¹⁾。これらの対策として、従来は屋外に鋳鉄を長時間放置する枯らしが行われていたが、現在は工業的な熱処理により、残留応力を除去する熱処理（歪み取り焼鈍）が行われることが殆どである²⁾。鋳造時に発生する残留応力は、製品形状（寸法）の影響が大きいと考えられるため、形状によっては残留応力が小さく、歪み取り焼鈍が不要な場合もある。しかし、その判断基準が明確でなく、殆どの製品で慣例的に歪み取り焼鈍が行われている。そのため、生産工程における歪み取り焼鈍の判断基準が明確となれば、熱処理工程の削除、リードタイム・コスト面で大きなメリットとなり、生産性向上に繋がる。

近年、X線回折により残留応力を簡易かつ非破壊で測定できる装置が開発・販売されていることから、変形や割れに対する残留応力の影響に関する関心が高まっている。しかし、この手法ではX線が潜り込む試料最表面（数 μm 程度）の残留応力しか測定できない。また、試料最表面の残留応力と素材全体の変形との関連についても明確でない。そこで、枯らし・熱処理等の製造履歴の異なる鋳鉄の残留応力等を測定し、その影響を調査した。

2. 実験方法

図1に、本実験で用いた2種類の鋳鉄を示す。図1(a)は、幅188×奥行140×高さ28mmの球状黒鉛鋳鉄（FCD450）である。鋳造後に砂落としのショットブラストを掛けたものをas cast品とし、as cast品に対して680℃で90分保持後炉冷する歪み取り焼鈍を行い、ショットブラストにて酸化スケールを落としたものを熱処理品とした。また、枯らしの影響を調べるため、屋外に放置した枯らし品も用意した。

図1(b)は、外径152×内径100×高さ62mmの片状黒鉛鋳鉄（FC250）であり、こちらも砂落としのためのショットブラスト済みである。as cast品（2022年1月鋳造）と、枯らし品（2002年3月鋳造後、工場内に放置）の形状は同じだが、この間に鋳造機が垂直割型から水平割型に変更され、方案・鋳造時の姿勢（重力方向）が異なる。これらの試料を用い、鋳物製品の形状や枯らしによる内部構造への影響を調査するため、微小部X線応力測定装置（（株）リガク製、AutoMATE II）により表面の残留応力測定を行うとともに、切断面について電子顕微鏡によるEBSD（後方散乱電子回折）測定を行った。

3. 結果及び考察

図1(a)のFCD450鋳物の肉厚変化のある箇所（図中右側中央部）の3点（図2参照）において、表1の条件で残留応力測定を行った。結果を図3に示す。枯らし品の最初の測定はas cast品であることから、as cast品のデータが3点、熱処理品も3点、枯らし品については2点を7ヶ月後と9ヶ月後に測定した。その結果、as cast品の応力値は個体差が大きいこと、歪み取り焼鈍を行っても応力値が一樣に減少しないことが分かった。今回測定

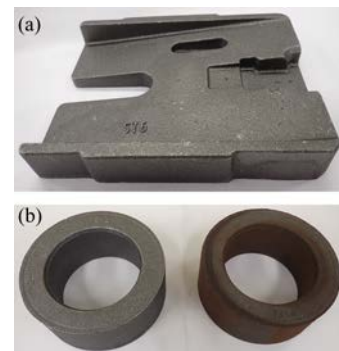


図1 2種類の鋳鉄 (a) FCD450 鋳物
(b) FC250 鋳物（左：as cast品、右：枯らし品）

* 金属部

表1 残留応力測定条件

X線種と出力	Cr K α 線、40kV・40mA
コリメータ径	1mm
ピーク角度	156.40°
走査範囲	146.140° ~ 166.540°
ψ 角範囲と測定点数	0~45°、11点
計数時間	30s
測定法	並傾法
揺動幅	5°

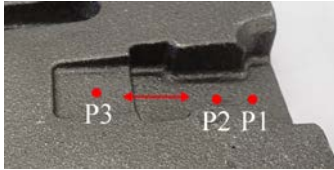


図2 FCD450 鋳物の残留応力測定点と測定方向

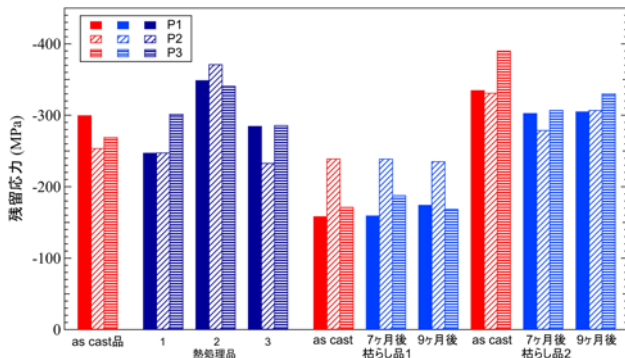


図3 FCD450 鋳物の残留応力測定結果

に用いた試料は、鋳造後の砂落としや熱処理後の酸化スケール落としにショットブラストが掛けられており、この影響が表面に圧縮応力として残留したものと考えられる。また、枯らし品2では残留応力の減少が見られたが、枯らし品1では大きな変化は認められなかった。この理由は定かではないが、枯らし品2の方が初期の残留応力が大きかったことの影響が考えられる。

次に、図1(b)のリング状のFC250鋳物について、外周側面の中心部を90°ずつの4点で同様の残留応力測定を行った。各点で円周方向と幅方向の2方向の測定を行い、円周方向は表1と同じ条件で、幅方向は測定法を側傾法に変えて行った。結果を図4に示す。枯らし品の方が全体的に応力値が高い結果となったが、鋳造方法が異なることから初期状態が異なる可能性が高い。鋳物内部のEBSD測定による方位解析とKAM値による歪み解析の結果を図5に示す。図では、左からIQマップ(結晶性)、逆極点図(IPF)、歪分布図(KAMマップ)を示している。KAMマップから、枯らし品の方がやや歪みが多い黄緑の領域が大きく、微小部での方位差が大きいたことが分かる。これは、残留応力が大きいことを表しており、X線による結果と相関がある。この結果

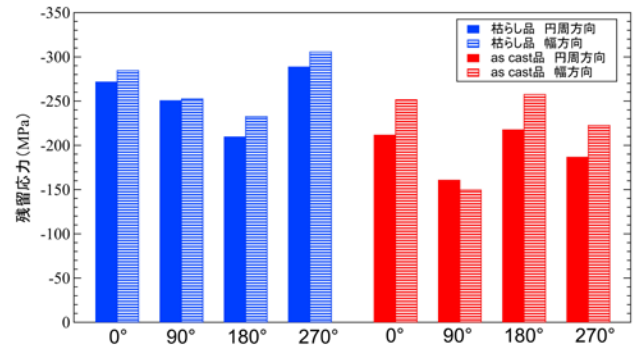
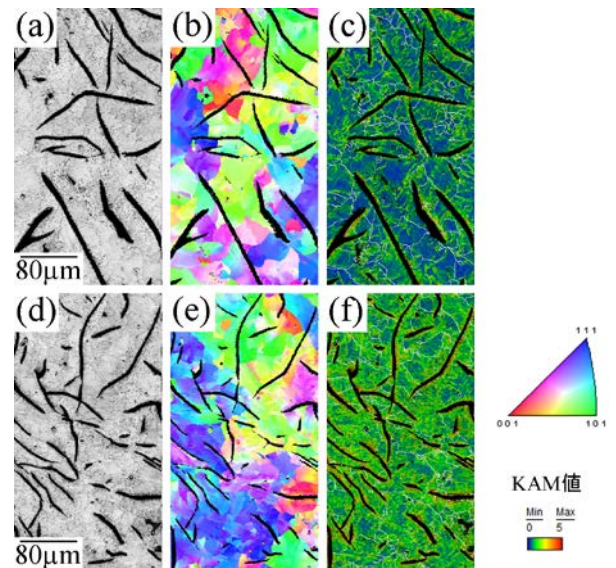


図4 FC250 鋳物の残留応力測定結果

図5 FC250 鋳物のEBSD解析図、
as cast品の(a) IQ、(b) IPF、(c) KAM

から、枯らしによる内部応力の除去効果を評価するためには、試料の製造履歴の精査や、X線とは異なる手法による分析・評価を併用することが必要と考えられる。

4. まとめ

FC450鋳物とFC250鋳物について、枯らしや歪み取り焼鈍を行い、X線回折による残留応力測定等を行った。

- FC450鋳物においては、歪み取り焼鈍による明確な応力の低下は認められなかった。また、最初の残留応力が大きかった枯らし品では応力の減少が確認できた。
- FC250鋳物では、as cast品と枯らし品で鋳造方法が異なるため、枯らしの効果の評価することはできなかった。EBSDによる歪み解析の結果、残留応力の測定値が高かった枯らし品では、歪みが多いことを確認した。

今後は、X線回折以外の方法による残留応力の評価を検討するとともに、枯らしや焼鈍による鋳物の変形、加工性の変化についても調査する予定である。

【参考文献】

- 1) 米谷茂, 残留応力の発生と対策, 養賢堂, 1975
- 2) 望月ら, 鋳造工学 Vol.78, pp345-350, 2006