ノート

画像処理による球状黒鉛鋳鉄品の黒鉛球状化率判定試験

斎藤　雄治*

Nodularity Measurement of Spheroidal Graphite Cast Iron Castings using Image Processing

SAITO Yuji*

1. 緒　　言

球状黒鉛鋳鉄品は黒鉛が球状の鋳鉄である。球状黒鉛鋳鉄品の引張強さや伸びなどの機械的性質は，黒鉛の球状化の程度に大きく影響を受ける[1,2]。黒鉛の球状化の程度を黒鉛球状化率と呼んでいる[2]。

黒鉛球状化率の試験方法はJIS G5502(2007)[3]（以下，G5502）で規定されている。この試験方法は，顕微鏡で撮影した黒鉛組織等の個々の黒鉛形状をG5502図4のⅠ～Ⅵの形状分類図と比較して，形状ⅤとⅥの黒鉛の存在割合を求めるものである。

ここで，G5502では画像処理によって黒鉛球状化率を算出する場合，上記の方法に準じるとだけ規定している。このため，黒鉛の形状を評価するパラメータや，G5502図4の形状ⅤとⅥに分類するためのパラメータのしきい値については，別途決める必要がある。

本研究では，画像処理を使って黒鉛球状化率を測定した。黒鉛の形状を評価するパラメータにはJIS G5505(2020)CV黒鉛鋳鉄品[4]（以下，G5505）の附属書Bで定義されている丸み係数を用いた。また，丸み係数のしきい値は，G5502の図4の形状Ⅰ～Ⅵの各図の黒鉛の丸み係数の平均値から決定した。さらに，上記の方法を用いて，組織画像から黒鉛球状化率を算出するウェブアプリを作成した。

2. 丸み係数の算出方法

ここでは，画像処理を使った黒鉛の丸み係数の算出方法について説明する。

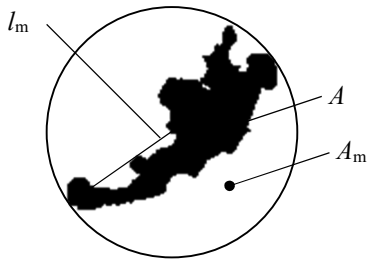

図1　丸み係数の定義式の記号

図1に示す黒鉛において，面積 A，長軸長さ l_m，長軸を直径とする円の面積 A_m を画像処理で求める場合を考える。このとき，丸み係数 R はG5505の付属書Bより次式で定義される。

$$R = A / A_m \quad \cdots\cdots (1)$$

式(1)において，丸み係数 R は黒鉛が円形のときに最大値1をとり，円形から遠ざかると最小値0に近づく。

ここで，G5505の図B.3にG5502の図4と類似の形状Ⅰ～Ⅵの形状分類図が規定されており，G5505の表B.1には形状Ⅰ～Ⅵに対する丸み係数のしきい値も規定されている。しかし，G5502の図4とG5505の図B.3の形状分類図を比較すると黒鉛の形状が若干異なっている。このことから，G5505の表B.1の丸み係数のしきい値をG5502の黒鉛形状の分類に用いることは適切ではないと考えられる。

3. 丸み係数のしきい値

ここでは，画像処理を使ってG5502の図4に準じて黒鉛形状を分類するための丸み係数のしきい値を求める。

* 中越技術支援センター

まず，G5502 の図 4 のⅠ～Ⅵの各図の黒鉛に対して，次の①～④により丸み係数を求める。

①G5502 の図 4 のⅠの画像データをグレースケールで読み込む。

②画像について白黒反転による大津の二値化処理[5]を行う。

③G5502 の図 4 が倍率 100 倍の組織画像に相当すると仮定して，画像の縁に接触している黒鉛や大きさ 1.5mm（実寸法 15μm）未満の黒鉛を除去する。

④黒鉛の輪郭を抽出し，各輪郭について面積と長軸の長さを求め，式(1)の丸み係数Rを算出する。

⑤G5502 の図 4 のⅡ～Ⅵについても，上記①～④と同様に丸み係数 R を求める。

本研究では，これらの処理に OpenCV[6]という画像処理のライブラリを用いた。

上記の画像処理で得られた形状Ⅰ～Ⅵの丸み係数の平均値と標準偏差を図 2 に示す。図には平均値を丸印で，標準偏差をエラーバーで，それぞれ示した。また，エラーバーの上には平均値と標準偏差の算出に用いた黒鉛数を示した。

図 2 より，丸み係数の平均値は形状を表すローマ数字とともに大きくなっていることが分かる。一方，標準偏差は形状Ⅳと Ⅴが大きく，範囲が重なっていることが分かる。

そこで，G5502 図 4 のⅠ～Ⅵの各図において，大きい黒鉛は形状Ⅰ～Ⅵの特徴をよく表していると仮定して，Ⅰ～Ⅵの各図で大きい順に 10 個の黒鉛に対して丸み係数 R の平均値と標準偏差を算出した。その結果を図 3 に示す。図 2 に比べて標準偏差は小さくなり，形状Ⅳと Ⅴの標準偏差の範囲が重なっていないことが分かる。

本研究では，図 3 の結果において，形状Ⅳの平均値 0.347 と形状Ⅴの平均値 0.500 の中間値 0.423≒0.42 を形状Ⅳと Ⅴを分類する丸み係数のしきい値とした。

4. 丸み係数の近似計算

式(1)の丸み係数Rの計算式で，黒鉛（輪郭）の面積 A を求める関数は OpenCV にあるが，黒鉛（輪郭）の長軸の長さ l_{m} を求める関数はない。このため A_{m} の算出は煩雑となる。

そこで，式(1)の代わりに次式の丸み係数 R'

$$R' = A / A'_{\mathrm{m}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

を定義する。ここに，A'_{m}は黒鉛の最小外接円

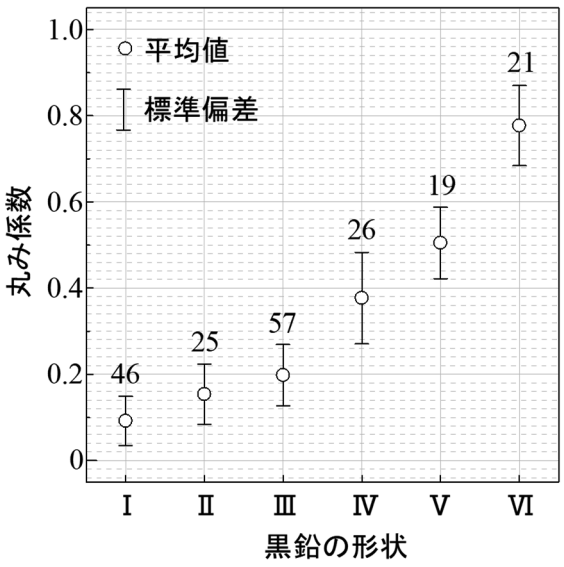

図 2　G5502 図 4 の形状Ⅰ～Ⅵの各図の黒鉛に対する丸み係数 R の平均値と標準偏差

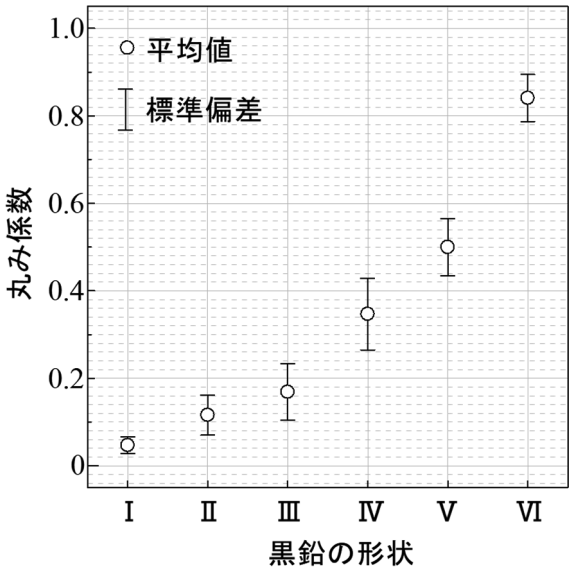

図 3　G5502 図 4 の形状Ⅰ～Ⅵの個々の黒鉛（各 10 個）に対する丸み係数 R の平均値と標準偏差

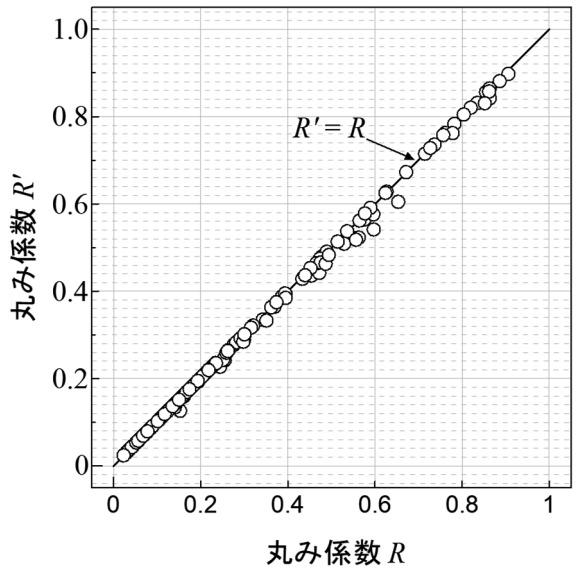

図 4　G5502 図 4 の黒鉛の丸み係数 *R* と *R'*

の面積である。OpenCV には黒鉛（輪郭）の最小外接円の直径を求める関数があるため，A'_m の算出は容易である。

G5502 図 4 の形状Ⅰ～Ⅵにおいて，3.節の③の条件を満たす黒鉛に対して，式(1)と式(2)で丸み係数 *R* と *R'*を算出した結果を図 4 に示す。図 4 から *R'*は *R* とほぼ同値となっていることが分かる。また，丸み係数 *R'*について図 3 と同様な評価を行った結果，形状ⅣとⅤを分類するしきい値は 0.42 となり 3 で示した丸み係数 *R* のしきい値と同値が得られた。

なお，上記の結果は当研究所のホームページにも掲載している[7]。

5. ウェブアプリの作成

Javascript 版の OpenCV である OpenCV.js[8] を使ったウェブアプリを作成して，ホームページに公開[9]した。このウェブアプリでは式(2)の丸み係数 *R'*から黒鉛球状化率を算出している。

6. 結　　言

(1)式(1)の丸み係数 *R* について，JIS G5502 の図 4 に準じて黒鉛形状ⅣとⅤを分類するしきい値の求め方を示した。

(2)式(1)の近似式として式(2)を提案した。

(3)JIS G5502 の図 4 の黒鉛形状に対して，式(1)の *R* と式(2)の *R'*はほぼ同値となることを示した。

(4)式(1)と式(2)から得られた黒鉛形状ⅣとⅤを分類するしきい値は 0.42 と同値となった。

(5)本研究の方法により，黒鉛球状化率を算出するウェブアプリを作成した。

参考文献

1) 日本鋳造工学会編，“鋳物技術者と機械設計技術者のための新版 鋳鉄の材質”，2012 年，p.40-41.

2) 日本強靭鋳鉄協会，“新版 球状黒鉛鋳鉄品の標準顕微鏡組織写真集”，1996 年，p.2.

3) 日本規格協会，“JIS G5502(2007)球状黒鉛鋳鉄品”.

4) 日本規格協会，“JIS G5505(2020)CV 黒鉛鋳鉄品”.

5) Otsu, N., “A threshold selection method from graylevel histograms”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol.9, no.1(1979), pp.62–66.

6) https://opencv.org/

7) http://www.iri.pref.niigata.jp/topics/R3/3kin1.html，画像処理による球状黒鉛鋳鉄品の黒鉛形状の分類について「新潟県工業技術総合研究所ホームページ」，2022 年 2 月 22 日.

8) https://docs.opencv.org/4.4.0/index.html

9) http://www.iri.pref.niigata.jp/topics/R3/3kin5.html，黒鉛球状化率評価のウェブアプリ「新潟県工業技術総合研究所ホームページ」，2022 年 2 月 22 日.