

マイクロフォーカス X 線 CT システムを用いた立体形状評価

(地独) 北海道立総合研究機構 ○田中大之, 相山英明, 万城目 聡
北海道大学 金井 理、伊達宏昭
日本大学 溝口知宏

要 旨

内部構造を有する試作品を非破壊で計測できる産業用マイクロフォーカス X 線 CT システムが活用されている。一方、産業用マイクロフォーカス X 線 CT システムを用いた計測に関して定量的な評価はほとんど報告されていない。本研究では産業用マイクロフォーカス X 線 CT システムの形状計測に関して検討した。三次元形状に関しては、ほぼ±0.1mm の誤差範囲で、内部空隙率に関しては 10% 以下の誤差範囲で計測できた。

1. はじめに

試作品の三次元形状は各種光学的手法によって短時間に高精度で計測する技術が実用化されている。また、試作品の内部構造に関して産業用 X 線 CT システムは線源のマイクロフォーカス化、検出器の高精度化、データ処理の高速化等に伴い、非破壊で短時間にデータを取得できつつある。一方、産業用マイクロフォーカス X 線 CT システムを用いた形状計測に関して定量的な評価はほとんど報告されていない。そこで本研究では産業用マイクロフォーカス X 線 CT システムの形状計測に関して検討した。

2. 実験方法

2・1 マイクロフォーカス X 線 CT システム

Fig.1 にマイクロフォーカス X 線 CT システムの外観を示す。

装置仕様は以下のとおりである。

- ・ X 線管電圧：30～225kV
- ・ X 線管電流：0～1000 μ A
- ・ 最大出力：135W
- ・ X 線焦点寸法：5 μ m
- ・ 検出器：イメージインテンシファイア (I-I カメラ) 9/7.5/6/4.5 インチ 4 段可変視野
- ・ 搭載可能試料：直径 300×高さ 300mm, 重量 9kg
- ・ CT 撮像視野 (FOV)：直径 5～200 mm
- ・ 線源・カメラ間距離：400, 600, 800, 1000 mm
- ・ フィルター：Al および Cu 0.5, 1.0, 2.0 mm 厚さ

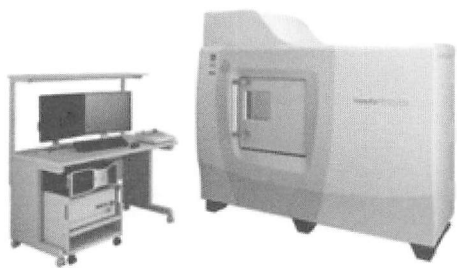


Fig.1 Outline of microfocus X-ray CT System

2・2 測定用試料

X 線 CT システムを用いて内部構造を有する試料を計測する場合、外部とつながっている開放系と内部で閉じている閉鎖系が考えられる。そこで 2 種類の試料を考案した。また材料の違いによる差異を検討するために、アルミニウム合金 (ADC12) とアクリル樹脂の 2 種類で同一形状の試料を用いた。試料の外形形状を評

価するために、外径 50mm、高さ 50mm の円柱に、直径 8mm の貫通内孔 9 個を同心円状に配置した試料を作製した。Fig.2 に外形測定に用いた試験体の形状を示す。それぞれの試験体の外径、高さ、内孔径を三次元形状測定機 (ミツトヨ製、総合精度 1 μ m) で測定し、マイクロフォーカス X 線 CT システムによる同一箇所の測定値と比較した。

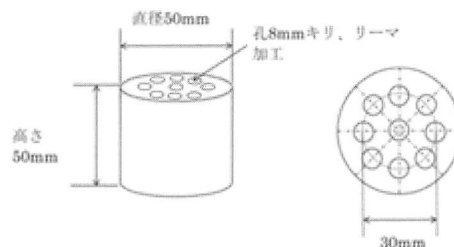


Fig.2 Outline of cylindrical samples for evaluating external shape

完全に閉鎖した内部構造を有する試料を高精度に作製することは非常に困難である。また、作製した試料を別の手法で計測し、両者を比較する必要もある。そこで、球体の積層による擬似的な閉鎖空間を利用した評価方法を考案した。

球体の積層方法として単純立方構造と体心正方構造の 2 種類を用いた。空隙部分の体積測定はアルキメデス法によった。

Fig.3 に空隙率測定に用いた試験体を示す。内寸 40×40×40mm のアクリル樹脂製立方体の中に、直径 10mm の球を単純立方構造で並べたものである。球の材質はアルミニウム合金 (ADC12) とアクリル樹脂の 2 種類を用いた。

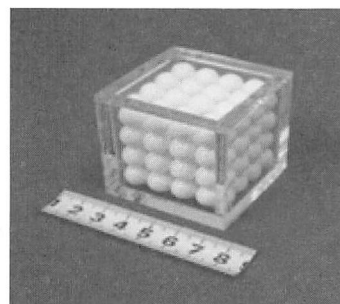
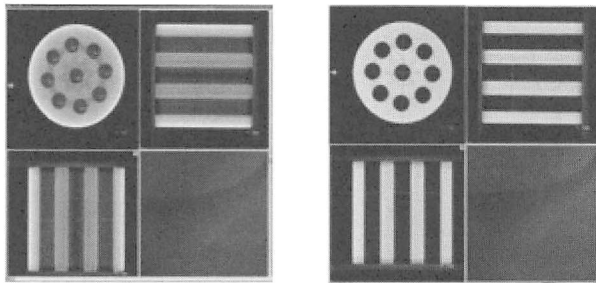


Fig.3 Outline of stacking samples for evaluating porosity ratio

3. 結果と考察

3・1 外形形状の評価

アルミニウム合金製外形形状評価用試料の X 線 CT 撮影像を Fig.4(a)に、アクリル樹脂製試料の X 線 CT 断面像を Fig.4 (b) に各々示す。左上が試料の平面、左下が正面、右上が側面方向から観察している。



(a) the case of ADC12 (b) the case of acrylic resin

Fig.4 X-ray CT images of cylindrical samples

Fig.5 に各箇所における X 線 CT システムによる測定結果と三次元測定機の測定結果との差を示す。測定値の比較を行うため用いた三次元測定機は標準試験片を用いて総合精度 $1\mu\text{m}$ に校正されている。一部の外径の測定値において大きな差がみられるが、ほぼ $\pm 0.1\text{mm}$ 以内の範囲で測定可能であることが分かった。測定精度は、装置や撮影条件、対象物、ソフトウェア技術による各因子の測定誤差の総和で決定され、これらの因子の低減が重要となる¹⁾。本報告では 50mm の試料を 512×512 の画素数で撮像したので、1 ラインの 1 画素は $50\text{mm}/512 \approx 97\mu\text{m}$ となり、この画像誤差が測定精度の大半を占められていると考えられる。

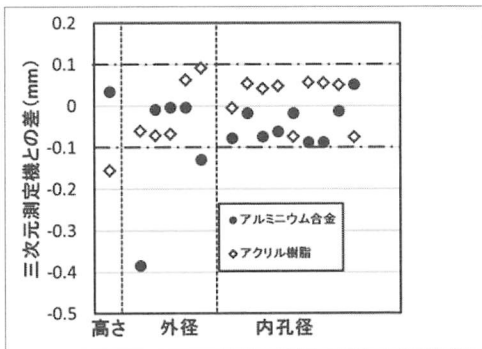


Fig.5 Differences between X-ray CT data and CMM data

Fig.6 に各々の空隙率測定用試料について X 線 CT 断面像から空隙の領域を積算した結果とアルキメデス法で求めた測定結果との差を示す。

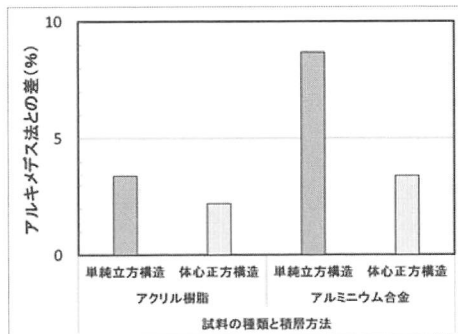


Fig.6 Differences between X-ray CT data and Archimedian method data

何れの場合も 10% の誤差範囲で内部空隙率を計測できることが分かった。積層方法では体心正方構造の方が比較的精度が良いことも分かった。これは、体心正方構造の場合、単純立方構造よりも高さ方向に伸長した空隙の多い状態であり、X 線透過方向の球の重なり部分が少なくメタルアーチファクトが少なくなったためと考えられる²⁾。材料ではアルミニウム合金よりアクリル樹脂の方が比較的精度が良いことも分かった。これはアルミニウム合金の場合、前述のメタルアーチファクトが現れ、球の境界面を正確に決定することが難しいためと考えられる。

4. まとめ

産業用マイクロフォーカス X 線 CT システムの形状計測に関して検討した。得られた結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 三次元形状評価に関して、ほぼ $\pm 0.1\text{mm}$ の誤差範囲で評価できる。
- 2) 空隙率評価に関して、10% 以下の誤差範囲で評価できる。

X 線 CT システムによる計測では試料での X 線の反射、散乱等の影響で表面形状データにノイズを多く含んでおり、 0.1mm 以下の微細な表面形状の再現には向いていないことが課題となった。一方、本報告では触れていないが、光学式の非接触三次元測定機で計測した表面データは微細な表面形状の再現が可能であることから、今後 X 線 CT システムによる内部構造データとの合理的な合成方法の開発が課題となる。

引用文献

- 1) 金子奨, 青木義満, 滝 克彦: 産業用 X 線 CT 画像の形状精度追求に関する考察, 映像情報メディア学会技術報告, 31, 14, 17-20, 2007.
- 2) 小関道彦, 佐藤慎平, 木村仁, 伊能教夫: X 線 CT 画像におけるメタルアーチファクト低減手法, 日本機械学会 第 6 回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, 191-192, 2006.