

北大工 ○難波則広、近藤司、三好隆志、斎藤勝政

1. はじめに

一般に、マスタモデルの測定ではその形状を高精度に再現するために測定ピッチを小さくするため測定データは膨大な量となり、現状では大きな問題となっている。しかし、実際小ピッチで高密度のデータを必要とするのはキャラクタライン(特徴線)、フレット部などの形状急変部の領域であり、逆に平面などはこれらに比べ少ないデータ量で表現できる。著者らは、マスタモデルに対して形状急変部判定を基に粗ピッチから細ピッチへと段階的に測定する方法を提案している<sup>(1)</sup>。この研究では形状急変部を境界とした形状分離を目的としており、必要細測定領域の設定に対し適切な形状急変部判定法が必要となっている。よって、本研究ではこれら形状急変部判定法として4つの手法に着目し、検討を行ったので報告する。なお、モデルは二次曲面形状(球、円筒、円錐など)からなるものを対象とする。

2. 形状急変部判定法

2-1 格子面法線ベクトルの開き角を用いた判定法

判定は2段階でおこなう。まず、1次判定として図1の判定対象格子面の四隅に隣接する4つの三角形面の法線ベクトルN1~N4のそれぞれの内積から開き角を求め、このうち1つでもしきい値より大きいものがあれば形状急変部と判定する。判定されなかった場合は、2次判定として対象格子面内における4つの三角形面の法線ベクトルN5~N8を加えて8つの面法線を用いて1次判定と同様にして判定を行う。ここで用いている1次判定、2次判定はそれぞれ斜面のエッジライン抽出、段差のエッジライン抽出を目的としている。図2(a)において法線ベクトルN2とN3はそれぞれが属する平面の法線ベクトルと一致するためN2とN3の開き角は斜面の角度 $\theta$ と一致し適切な判定が行える。また、段差の場合離散的なデータ上では斜面として認識されてしまう。図2(b)のN5~N8はこの斜面の法線ベクトルであり、これらとN1~N4との開き角でもって判定を行うことができる。

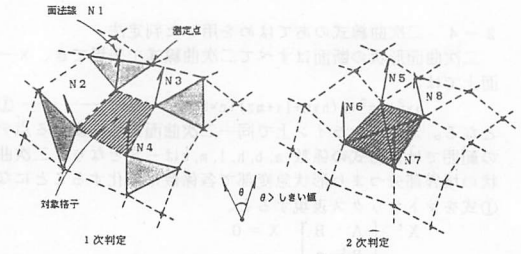


図1. 形状急変格子の判定方法

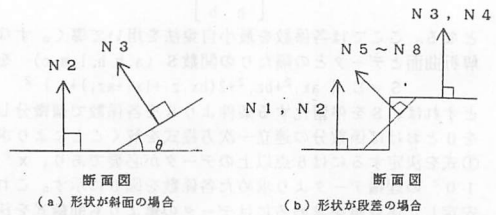


図2. 1次判定、2次判定の原理

2-2 格子面法線ベクトルのx、y、z成分値を用いた判定法

形状急変部では、その急変率の度合いが大きい程格子面の面法線ベクトルは隣接の格子面の面法線ベクトルに対し異なった値をとる。この時、x、y、z成分値すべてが同じ傾向で変化するのはなく、キャラクタラインの方向あるいはその両側の面の状態などにより形状の変化率の大きい方向の成分値に顕著にその変化が表れると考えられる。よって、x方向あるいはy方向に連なった1列の格子面群の法線ベクトルの各成分値の変化の著しい格子面を形状急変部として判定を行う。図3は計算機上で作成した二次曲面形状からなるモデルである。この図のL1、L2ではさまれる格子面群に対し法線ベクトルの各成分値を表したのが図4である。この図より①、③では各成分値がすべて急変しているが、②ではy成分値が特に急変しているのがわかる。これらx、y、z、成分値の二階差分をとることでこの急変部を強調し、しきい値処理をして判定を行う。

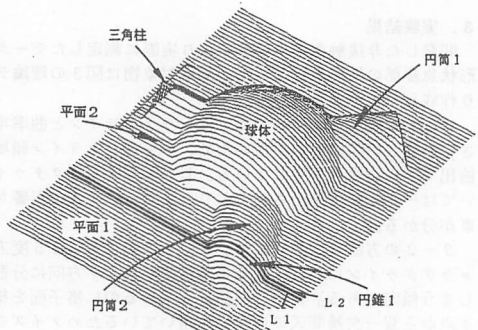


図3. 解析面の複合形状

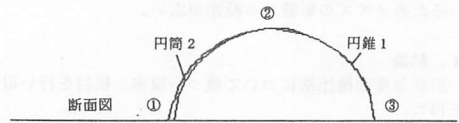


図4. 法線ベクトルの各成分値のグラフ

2-3 Z座標値の二階差分値を用いた判定法

スキャンライン上のz座標値の一階差分値はその傾きを表し、二階差分値は傾きの変化の度合を表す。形状急変部ではこの傾きが大きく変化するので、二階差分をとった時にその絶対値は大きな値となって表れる。よって、この2階差分値の絶対値がしきい値よりも大きい部分を形状急変部として判定する。具体的には、3点(x1, y1, z1), (x2, y2, z2), (x3, y3, z3), p=ピッチとすれば

$$(二階差分値) = (z_3 - 2z_2 - z_1) / p^2$$

として求められる。図3のL1の計算結果をグラフにしたのが図5である。一般に、二次曲面形状の断面は楕円、双曲線、放物線

のいずれかであり、放物線以外の二階微分値は一定とはならずその中心からはずれる程二階微分値の絶対値は大きくなる。図5の①、③を検出するのであれば、しきい値を大きくとる事により上の問題を回避できるが、②を検出するためにしきい値を小さくとると①、③では過大評価される傾向がある。

#### 2-4 二次曲線式のあてはめを用いた判定法

二次曲面形状の断面はすべて二次曲線式で表現でき、 $x-z$ 平面上では、

$$ax^2+bxz^2+2(hxz+lx+mz)+c=0 \quad \text{①}$$

となる。スキャンライン上で同一二次曲面形状に属する点データの範囲では、①式の係数  $a, b, h, l, m, c$  は一定となり、二次曲面形状の境界部分つまり形状急変部で各係数は変化することになる。

①式をマトリックス表現すると、

$$X^t \begin{bmatrix} A & B \\ B^t & c \end{bmatrix} X = 0$$

$$X = [x \ z \ 1]^t \quad B = [l \ m]^t$$

$$A = \begin{bmatrix} a & h \\ h & b \end{bmatrix}$$

となる。ここでは各係数を最小自乗法を用いて導く。すなわち、解析曲面とデータとの隔たりの関数  $S(a, b, h, l, m, c)$  を

$$S = \sum \{ ax_i^2 + bx_i z_i^2 + 2(hx_i z_i + lx_i + mz_i) + c \}^2$$

とすれば、 $S$  を停留化する条件より  $S$  を各係数で偏微分したものを0とおけば係数分の連立一次方程式を解くことにより求まる。①式を決定するには6点以上のデータが必要であり、 $x^2 + y^2 = 10^2$  の理論データより求めた各係数を図6に示す。これより、安定した係数値を求めるにはデータの量よりも曲線式を決定できるだけの範囲でデータをとることが必要であり、局所的な判定は難しい事が分かった。

#### 3. 実験結果

開発した非接触測定センサにより実際に測定したデータを基に形状急変部の抽出を行なった。測定対象物は図3の理論データより作成したモデルを用いた。

2-1の方法(図7)では、キャラクタラインと曲率半径の小さい部分との区別がつかないため、キャラクタライン領域のみを抽出できない場合が生じている。しかし、キャラクタラインについては一定の幅で抽出されており、また、ノイズの影響が少ない事が分かる。

2-2の方法(図8)では、 $x, y$  方向に対し45度方向のキャラクタラインに対してはその特徴量が  $x, y$  方向に分散されてしまう傾向がある。また、面法線を求めるのに格子面を構成する4点から双一次補間式の逆変換を用いているためノイズの影響が表れている。

2-3の方法(図9)では、キャラクタラインの幅が広がっているのが分かる。また、一点でまわりの4面に対し判定を行っているためノイズの影響する範囲が広い。

#### 4. 結論

形状急変部抽出法について幾つか提案、検討を行い以下の結論を得た。

- 1) 2-1の判定法が他に比べ測定誤差の影響が少なかった。
- 2) しきい値を用いない手法として考えられた二次曲線のあてはめ法は局所的なデータからの判定は困難であった。
- 3) 2-1, 2, 3の方法に対してその判定に最適なしきい値を選択する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 近藤他 非接触デジタイジングシステムを基にした金型生産加工システムに関する研究(第2報), 平成元年度精密工学会春季大会
- 2) 須川他 非接触デジタイジングシステムを基にした金型生産加工システムに関する研究(第3報), 平成元年度精密工学会春季大会

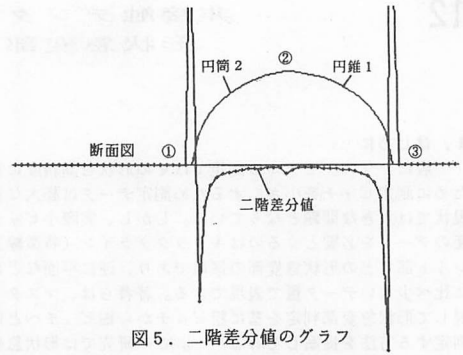


図5. 二階差分値のグラフ

データ数	データ幅	a	b	h	l	m	-c
6	60°	1.00	0.99	0.06	-0.88	-0.74	91.00
6	90°	1.00	1.00	0.00	-0.02	-0.03	99.81
6	120°	1.00	1.00	0.00	0.00	0.02	100.08
12	60°	1.00	1.06	-0.23	3.57	2.74	136.18
12	90°	1.00	1.00	0.00	-0.02	-0.03	99.79
12	120°	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	100.01

図6.  $x^2+y^2=10^2$ の理論データより求めた各係数値

