

真円形状測定と逐次三点法

大阪電通大 ○宇田豊、島田尚一、精密測定研 清野慧

要旨

全測定長をN等分する間隔での逐次三点法は、サンプリング定理の制約からN/2次までの成分しか扱えない難点がある。真円形状測定にも一回転をN等分するプローブ間隔での逐次三点法を適用することができ、円の性質により、独立した逐次法の結果が合成できるため、真直形状の逐次三点法の二倍近くの周波数まで扱うことが可能である。

1. 研究の背景と目的

三本のセンサを用いる三点法は、機上での形状測定に適しているなど特長のある方法である。特に、センサの間隔とサンプリング間隔を一致させる逐次法はその演算の単純さから現場向きの方法と言える。しかし、逐次法では一回転をN等分するセンサ間隔では、サンプリング定理の制約からN/2次までの成分しか扱えないことと、Nの整数倍の次数の成分について検出できないという難点がある。ここでは、逐次三点法の計算処理に漸化式を導入する方法を提案し、測定可能周波数を高める合成法を提案し、有効性を確認したので報告する。

2. 逐次三点法の原理と漸化式の導入

真円形状測定における逐次三点法のセンサ配置を図1に示す。このとき、各センサの出力は次式で与えられる。

$$m_1(\theta) = f(\theta - \varphi) + e_x(\theta) \cos \varphi - e_y(\theta) \sin \varphi \quad (1)$$

$$m_2(\theta) = f(\theta) + e_x(\theta) \quad (2)$$

$$m_3(\theta) = f(\theta + \varphi) + e_x(\theta) \cos \varphi + e_y(\theta) \sin \varphi \quad (3)$$

運動誤差 $e_x(\theta)$ を消去する形の、隣り合うセンサの差動出力は次式で与えられる。

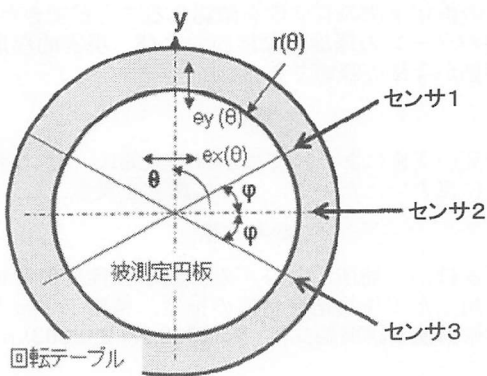


図1. 真円形状測定における逐次三点法

$$\mu_1(\theta) = m_1(\theta) - m_2(\theta) \cos \varphi \quad (4)$$

$$\mu_2(\theta) = m_2(\theta) \cos \varphi - m_3(\theta) \quad (5)$$

形状の2階差分に相当する $\Delta\mu(\theta)$ は次のようになる。

$$\Delta\mu(\theta) = \mu_1(\theta) - \mu_2(\theta) = f(\theta - \varphi) - 2f(\theta) \cos \varphi + f(\theta + \varphi) \quad (6)$$

これより、漸化式として次式を得る

$$f(\theta + \varphi) = \Delta\mu(\theta) + 2f(\theta) \cos \varphi - f(\theta - \varphi) \quad (7)$$

漸化式(7)を用いて形状を求めるには、初期値が二つ必要となる。式(7)を、 $k = 1, 2, \dots, N$ 、 $\Delta k = \Delta\mu(k\varphi)$ 、 $f_k = f(k\varphi)$ 、 $C = 2 \cos \varphi$ と置き換え、 $f_0 = 0$ 、 $f_1 = a$ として展開していくと、測定値の差分値 $\Delta\mu$ の加算の項と、初期値 a の加算の項に分けることができる。

$$f_2 = \Delta 1 + C \cdot a \quad (8)$$

$$f_3 = \Delta 2 + C \cdot \Delta 1 + (C^2 - 1)a \quad (9)$$

初期値の a の係数は、表1に示す計算テーブルとなる。

表1 初期値aの係数の計算テーブル

	c^0	c^1	c^2	c^3	c^4	c^5	c^6	c^7
f_0	0							
f_1	1							
f_2		1						
f_3	-1		1					
f_4		-2		1				
f_5	1		-3		1			
f_6		3		-4		1		
f_7	-1		6		-5		1	
f_8		-4		10		-6		1

3. 初期値 a の影響

初期値 a が、測定結果に及ぼす影響について検討する。測定対象が真円とすると、正確に初期値を決定するには $f_0 = 0$ 、 $f_1 = a = 0$ となる。初期値 a に誤差が含まれて仮に $a = 1$ とした場合、センサ間隔 $\varphi = \pi/4$ での漸化式を用いて求めた結果を図2に示す。1周期の正弦波として

初期値 a に含まれる誤差の影響が現れている。この誤差は、図3に示すように、3本のセンサが向いている中心と測定物の中心が偏心していると見なされ、1山成分の正弦波となる。真円度は直径の成分は取り除いて評価するため、逐次三点で測定した結果をフーリエ解析し、偏心部分を取り除くことにより初期値 a の影響を取り除き、形状成分だけを取り出せることになる。

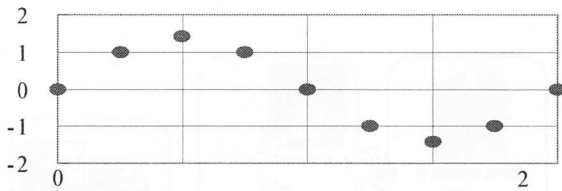


図2 初期値 a が測定結果に及ぼす影響

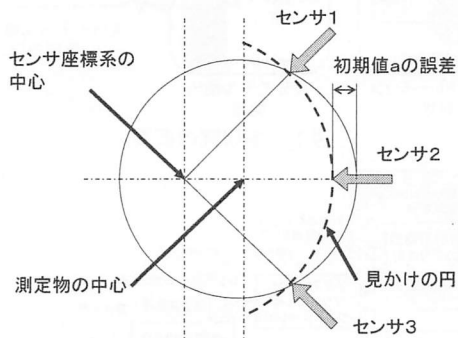


図3 センサが向いている中心と測定物中心の関係

4. センサ間のデータ補間法

センサ間隔 φ を $2\pi/N$ とすると、逐次法ではサンプリング間隔も φ となるので、取り扱える周波数は高々 $N/2$ 次までとなる。 $N/2$ 次より高い成分があると、折り返しの発生で測定結果の周波数スペクトルがひずんでしまう。そこでセンサ間隔の M 等分をしてサンプリング間隔とし、逐次法の処理を行うことにより、 M 本の真円形状が独立に得られる。この M 本を合成できれば、取り扱える周波数は M 倍になる。直線形状測定の場合、測定開始点と終了点が異なるため、合成するには傾きと高さの2つを求めなければならない。しかし、円形状測定では開始点と終了点が同一点であることより、図2の様に横軸に角度、縦軸に形状で示す場合、傾きの調整は不要となり、高さの調整のみ必要となる。形状は漸化式での結果から、初期値 a に含まれる誤差の影響である1山成分の正弦波を除去することにより、高さの調整ができる。振幅1の3山成分と、振幅0.5の5山成分の誤差成分がある形状を、センサ間隔

$\varphi = \pi/4$ 、センサ間隔 $\pi/12$ で測定し、独立した3本の円形状を求める初期値 a を全てゼロとして数値計算を行った結果を図4に示す。合成することで、取り扱える周波数が高くなるのが分かる。なお、図4(d)からも判るように、3本の折れ線の一回転にわたる平均値はそれぞれゼロになる。従って、この性質を利用すれば、一山分を取り除いたそれぞれの折れ線の高さの調整ができる。

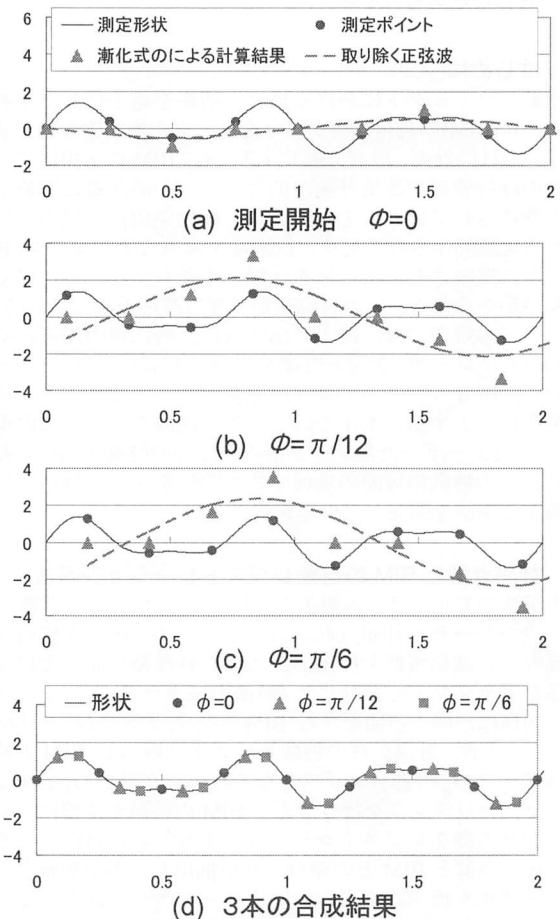


図4 逐次三点法による真円度の計算結果と合成結果

5. まとめ

真円形状測定にも一回転を N 等分するプローブ間隔での逐次三点法を適用することができることを確認した。円の性質により、独立した逐次法の結果が合成できるため、真直形状の逐次三点法の二倍近くの周波数まで扱うことが可能である。今後の課題として、1山成分正弦波を求める際、フーリエ解析の精度への対策が必要である。

参考文献

- 1)三井：機械学会論文C編,48,(1982),425
- 2)清野：精密工学会誌,76-2,(2010),165