

北海道大学工学部 ○大平 真 田中 文基 岸浪 建史
(株)ニコン 佐々木 豊春 岡本 英明

要旨

従来の座標測定機による複合形体の形状評価法では、個々の形体の形状パラメータを算出し、その結果から複合形体を評価している。そのため、形体間の拘束を考慮した評価とはいえない。本報では、離散測定データを用いた複合形体の最小領域法による形状評価の方法論と、具体的な複合形体への適用例について報告する。

1. はじめに

近年、複雑な機械部品の形状を高精度に、自動でしかもフレキシブルに測定するCNC型三次元座標測定機は、検査現場で大きな威力を發揮している。しかし、三次元座標測定機による測定では実形体上の離散測定データしか得られず、形状評価を行う場合、測定データと設計形状とを比較し、その実形体の形状パラメータ（位置、姿勢、寸法など）を算出しなければならない。さらに、機械部品の機能上の性質から、互いに関連がある複数の形体を一つのグループ（複合形体）として形状評価する必要がある。

本研究では、三次元座標測定機により得られた複数の形体の測定データから、複合形体の形状パラメータを算出し、形状評価を行うことの意義、有効性を明らかにし、形状評価のための方法論を確立することを目的としている。本報では、測定データと複合形体とのマッチングを行うための最小領域法に基づいた方法論と、具体的な複合形体への適用例について報告する。

2. 複合形体の定義

本研究において、複数の形体が相対的に位置や姿勢に関して拘束されているとき、これらの形体のグループを複合形体と定義する。図1に複合形体の代表的な例を示す。ここに挙げた複合形体以外にも複合形体を構成する要素の個数や種類によって、多数の複合形体が考えられる。

3. 複合形体の形状評価法

本研究で提案している三次元座標測定における複合形体の形状評価法は、理論的な複合形体を表現した複合形体モデルを、形体間の相対的な拘束を保持した状態で、三次元座標測定機により得られた複数の形体の測定データに対してマッチングを行い、複合形体モデルと測定データの誤差が最小となるときの形状パラメータを求めることである。以下に、マッチングの方法論について述べる。

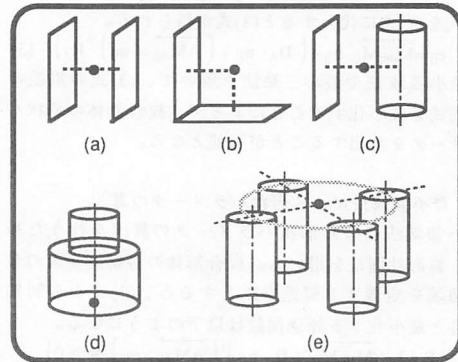


図1. 複合形体の例

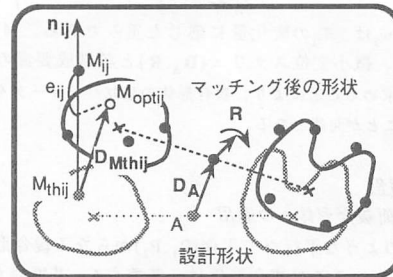


図2. 複合形体のマッチング

3.1 微小変位スクリュウ法

複合形体の各点における変位は、微小変位スクリュウ法を用いて、ある基準点の平行移動ベクトルと基準点まわりの回転移動ベクトルにより表現することが可能となる。

図2の二つの要素からなる複合形体において、基準点をA、i番目の要素のN個の測定データのj番目の測定点を M_{ij} ($i=1,2; j=1,2,\dots,N$)、その設計上の理論点を M_{thij} 、そこでの単位法線ベクトルを n_{ij} とし、マッチング後の理論点を M_{optij} とする。Aの平行移動ベクトルを D_A とすると、 M_{thij} の変位 $D_{M_{thij}}$ は、(1)式で与え

られる。

$$\mathbf{D}_{M_{thij}} = \mathbf{D}_A + \overrightarrow{M_{thij}A} \times \mathbf{R} \quad (1)$$

ここで \mathbf{R} は、回転を表すベクトルである。ベクトルの順序対 $(\mathbf{D}_A, \mathbf{R})$ を、微小変位スクリュと呼ぶ。

3.2 微小変位スクリュを用いた評価式

複合形体の移動が微小変位で、マッチング後の各構成要素の法線ベクトルが変化しないとすると、マッチング後には、(2)式に示す誤差が生じる。

$$e_{ij} = M_{thij}M_{ij} \cdot \mathbf{n}_{ij} - \mathbf{D}_{M_{thij}} \cdot \mathbf{n}_{ij} \quad (2)$$

(1)式を(2)式に代入すると(3)式が得られる。

$$e_{ij} = M_{thij}M_{ij} \cdot \mathbf{n}_{ij} - \left\{ \mathbf{D}_A \cdot \mathbf{n}_{ij} + \left(\overrightarrow{AM_{thij}} \times \mathbf{n}_{ij} \right) \cdot \mathbf{R} \right\} \quad (3)$$

最小領域法や最小二乗法を用いて、(3)式の誤差の評価式を最小化することによって、複合形体の形状パラメータを算出することが可能となる。

3.3 最小領域法による形状パラメータの算出

最小領域法による形状パラメータの算出を行うために、線形計画法を用いる。複合形体の各構成要素の最小領域を定義する偏差を E_i とすると、(3)式から制約条件と最小化する評価関数は以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} E_i/2 - \overrightarrow{M_{thij}M_{ij}} \cdot \mathbf{D}_A \cdot \mathbf{n}_{ij} + \left(\overrightarrow{AM_{thij}} \times \mathbf{n}_{ij} \right) \cdot \mathbf{R} &\geq 0 \\ -E_i/2 - \overrightarrow{M_{thij}M_{ij}} \cdot \mathbf{D}_A \cdot \mathbf{n}_{ij} + \left(\overrightarrow{AM_{thij}} \times \mathbf{n}_{ij} \right) \cdot \mathbf{R} &\leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{Min} \left[\sum_i w_i E_i \right]$$

ここで w_i は、 E_i の変化量に応じた重みである。(4)式を解き、微小変位スクリュ $(\mathbf{D}_A, \mathbf{R})$ と各構成要素の偏差 E_i を求めることにより、複合形体の形状パラメータを算出することが可能となる。

4. 適用例

4.1 平面複合形体への適用

図3のような平行な二平面(P_1, P_2)からなる複合形体を考える。ここで複合形体は、基準点A、基準点Aから各平面への距離 L_i ($i=1,2$)、そして各平面の単位法線ベクトル \mathbf{n}_i によって定義される。測定点を M_{ij} 、理論点を M_{thij} とすると、(4)式において幾何学的関係から、

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{n}_{ij} &= \mathbf{n}_i \\ \overrightarrow{M_{thij}M_{ij}} \cdot \mathbf{n}_{ij} &= \overrightarrow{AM_{ij}} \cdot \mathbf{n}_i - L_i \\ \overrightarrow{AM_{thij}} \times \mathbf{n}_{ij} &= \overrightarrow{AM_{ij}} \times \mathbf{n}_i \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

となる。(5)式を(4)式に代入し、解くことにより、複合形体を構成する各円筒の最小領域と、複合形体の位置と姿勢が求められる。

4.2 円筒複合形体への適用

図4のような平行な二つの円筒(C_1, C_2)からなる複合形体を考える。ここで複合形体は、基準点A、円筒の

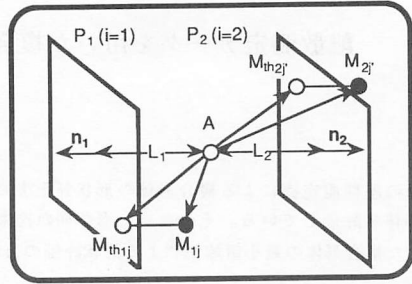


図3. 平面複合形体

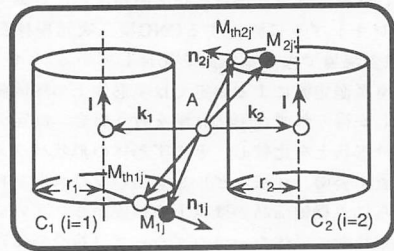


図4. 円筒複合形体

軸方向単位ベクトル \mathbf{l} 、各円筒の半径 r_i ($i=1,2$)、そして基準点から各円筒の軸へ方向ベクトル \mathbf{k}_i によって定義される。測定点を M_{ij} 、理論点を M_{thij} とすると、(4)

式において幾何学的関係から、

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{n}_{ij} &= \frac{\overrightarrow{AM_{ij}} - \left(\overrightarrow{AM_{ij}} \cdot \mathbf{l} \right) \mathbf{l} - \mathbf{k}_i}{\left| \overrightarrow{AM_{ij}} - \left(\overrightarrow{AM_{ij}} \cdot \mathbf{l} \right) \mathbf{l} - \mathbf{k}_i \right|} \\ \overrightarrow{M_{thij}M_{ij}} \cdot \mathbf{n}_{ij} &= \left(\overrightarrow{AM_{ij}} - \mathbf{k}_i \right) \cdot \mathbf{n}_{ij} - r_j \\ \overrightarrow{AM_{thij}} \times \mathbf{n}_{ij} &= \overrightarrow{AM_{ij}} \times \mathbf{n}_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

となる。(6)式を(4)式に代入し、解くことにより、複合形体を構成する各平面の最小領域と、複合形体の位置と姿勢が求められる。

5. おわりに

三次元座標測定における複合形体の形状評価を行うことを目的として、測定データと複合形体とのマッチングを行うための最小領域法に基づいた方法論と、具体的な複合形体への適用例について報告した。

参考文献

- [1] Bourdet, P. et al: "A Study of Optimal Criteria Identification Based on the Small - Displacement Screw Model", Annals of the CIRP Vol.37/1/1988.
- [2] 大平 他: "座標測定機による複合形体の組立性評価", 1993年度精密工学会春季大会論文集.