

## 多点把持された薄肉工作物の変形推定手法

室蘭工業大学 ○今野 渉, 寺本孝司

## 要 旨

近年、工業製品の軽量化が進み、薄肉部品の加工の必要性が大きくなっている。薄肉工作物は把持による加工精度への影響が大きいため、工作機械上で適切に把持されているかを評価することが重要となっている。本研究は薄肉工作物の高精度加工のために、工作物を把持した際の変形推定手法の構築を目的としている。本報告ではFEM解析と局所ひずみ計測を併用した推定手法を多点把持問題に適用した結果を報告する。

## 1. はじめに

今日製造されている高機能、高品質の製品は精密な加工を要求されるものが多く、薄肉化も進んでいる。そのため、加工時における工作物の把持による加工精度への影響が大きくなっている。精密切削加工を実現するには、加工を行う工作機械上で、適切に把持されているかを評価することが重要な課題となっている。把持時の変形を推定する上でFEM解析を用いた事前評価が検討されているが、実際の把持作業で発生する把持力や把持点のずれなどの影響に対応することはできない。

著者らはこれまでに、FEM解析と局所ひずみデータを併用した変形推定手法を提案し、バイス把持を対象とした検証を行ってきた<sup>(1)</sup>。提案手法を薄肉工作物の把持に低寄与するためには、運動学的に冗長な多点把持における推定のための検討が必要である。

そこで本研究では、多点把持状態の薄肉工作物に対する変位推定手法を提案し、その有効性について検証する。

## 2. 工作物の変形推定手法

## 2・1 基本的なアイデア

把持された工作物の変形状態の事前推定手法として、FEM解析がよく用いられている。このような推定は、把持作業における理想的な把持状態に対する推定である。実際の把持作業においては、多くの場合手で把持が行われることから、工作物の寸法誤差や把持点のずれ、把持力のばらつきなどが発生する。したがって、解析結果と実際の変形には差異が生じる。このような差異をなくすために、実際に把持された工作物の局所ひずみを計測し、FEM解析データと併用することで、実際の把持状況の変動を反映して正確に変位場を推定する手法を提案している。具体的には、推定対象の把持時の工作物変位を、より単純な把持による変位量を重ね合わせとして近似し、重ね合わせにおける重みを実際に計測された局所ひずみとの類似性より決定することによって変形量の推定を行う。以降、変位量を重ね合わせる時の基本となる把持の形態を把持パターン、重ね合わせにおけるパターンごとの重みを総じて重みパラメータと呼ぶ。

## 2・2 工作物の変形状態推定手法の流れ

本研究で用いる変形推定手法の概要をFig.1に示し、推定手法の具体的な手順を以下に示す。

1. ひずみの測定数と測定点を決定し、実際に把持された工作物のひずみ $e_{\sim}$ を計測する。
2. 把持パターンを用意する。
3. 把持パターンごとに測定点に対応する計算ひずみ $e_i$ と計算変位 $u_i$ を算出する。
4.  $e_{\sim}$ と $e_i$ から求まる残差 $\|\sum a_i e_i - e_{\sim}\|$ を最少とする、把持パターンを重ね合わせる重みパラメータベクトル $a$ を推定する。

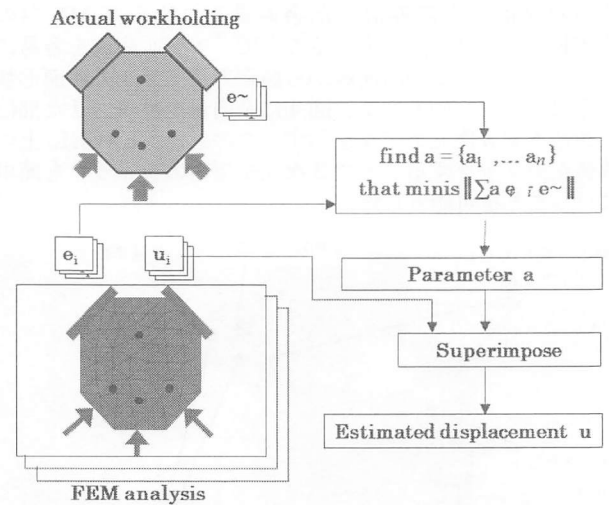


Fig.1 Flow of estimation

5. 重み変数ベクトル $a$ の推定値を用いて計算変位を重ね合わせ、変形状態の計算、推定を行う。

## 2. 3 把持パターン

前節で述べた手順からわかるように、本研究の推定においては、適切な把持パターン組み合わせを設計することが重要になる。把持パターンは次のルールに従って決める。

- 把持パターンは工作物の剛体運動を拘束可能な把持状態である。
- 把持パターンの組合せにより、すべての把持力の影響が反映できる。
- 把持パターン数はひずみ計測数と同数以下にする。
- 把持パターンにより生じる応力はひずみの分布が類似しない。

## 3. 実験条件

提案手法の検証に用いる2種類の工作物の外観をFig.2に示す。いずれも材質はジュラルミン(A2017)である。工作物Aの寸法は1辺が45(mm)の正8角形で、高さ12(mm)、側壁面の厚さ0.3(mm)、底面の厚さ1(mm)の角柱状の極薄肉形状である。工作物Bは工作物Aと同様の形状だが側壁面の厚さが1mmの薄肉形状で、さらに中心に半径20mmの円状の穴が開いており、その周りを厚さ1mmの内壁面で覆われた形となっている。

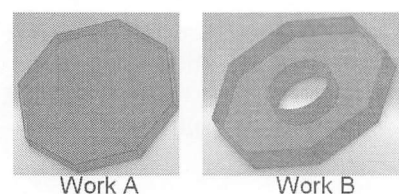


Fig2. Work shape

提案手法による変形推定の例として、設定された把持力と異なる把持力が作用した際の変形推定の結果を以下に示す。

具体的な実験方法としては、工作物に故意に設定把持力（FEM 解析における境界条件）とは大きく値を変化させた把持力を加え、その把持力誤差に対して変形推定手法がどの程度有効かを検証する。FEM 解析に用いる設定把持力は、工作物Aには3点からそれぞれ7 N、工作物Bには50 Nの把持力とした。一方で、実際の把持状況では Fig.3 に示す把持力を加えてひずみと変位を計測した。変位は対向するそれぞれの面の対称線上で、工作物Aは高さ11mm、工作物Bは14mmの点同士の変位を基に求める。各工作物のひずみ計測点、及び変位評価寸法を Fig.4, Fig.5 に示す。また推定に用いた把持パターンを Fig.6 に示す。

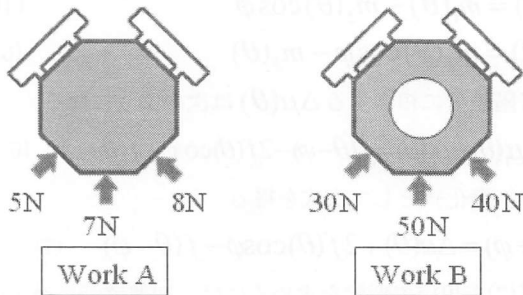


Fig.3 Actual workholding situation

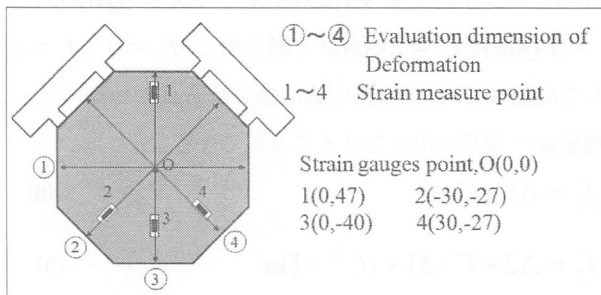


Fig.4 Measurement points (Work A)

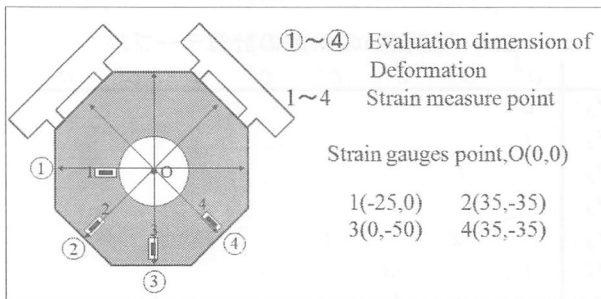


Fig.5 Measurement points (Work B)

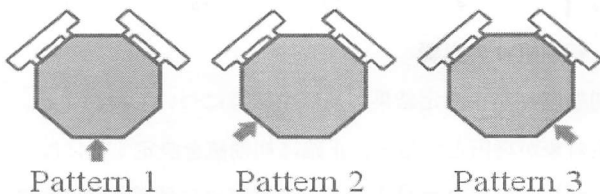


Fig.6 Workholding patterns

## 4. 実験結果

### 4. 1 結果

工作物 A および B に対する FEM および提案手法による推定結果と、検証デバイスを用いた変位の計測結果を Fig.7, Fig.8 に示す。

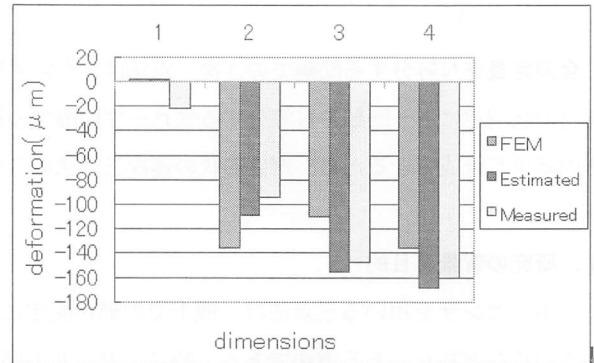


Fig.7 Evaluation dimensions (WorkA)

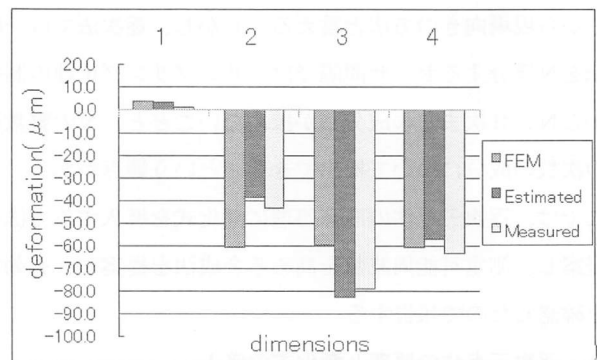


Fig.8 Evaluation dimensions (WorkB)

### 4. 2 考察

Fig.7, Fig.8 に示す通り、FEM 解析で求めた変位に対し、把持力を変化させたときの測定変位は大きく異なっている。それに対し提案した推定手法より算出した推定変位はほぼ測定変位の値に近い値となり、提案した推定手法が把持力による変位誤差に対し有効であることが確認できた。

## 5. 結論

本研究では多点把持における変形推定に関する検討を行った。その結果、把持力誤差による推定誤差に対してこの推定手法の有効性を確認することができた。

把持パターンの理論的な検討および、現実的な形状での評価が今後の課題である。

### 謝辞

本研究の実施にあたっては小野真太郎氏（現 日立製作所）に協力いただいた。ここに謝意を表す。

### 参考文献

- (1) 寺本ほか：局所的なひずみ計測と弾性変形解析を併用した工作物把持状態の推定，精密工学会大会学術講演会講演論文集，Vol2002, No.2, (2002), p467