

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：15301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860044

研究課題名(和文)長尺工作物の知能化研削システムの開発

研究課題名(英文)Development of the intelligent grinding system for a long workpiece

研究代表者

大西 孝 (ONISHI, Takashi)

岡山大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：90630830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では弾性変形により形状誤差が発生しやすい長尺工作物の円筒トラバース研削における形状精度の改善を目的として、形状誤差発生要因を解明するとともに、研削盤の新たな制御方法の効果を実験的に検証した。その結果、研削中に工作物へ作用する研削抵抗を測定することで長尺工作物の形状誤差を容易に予測できることが確認された。さらに工作物の弾性変形量が一定になるようにトラバース速度を制御することで、形状誤差を従来の半分に減らすことに成功した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to improve the shape accuracy of a long workpiece in cylindrical traverse grinding. It is difficult to grind a long workpiece due to its elastic deformation caused by grinding force. In this study, the error cause of shape accuracy was investigated and new control method of the grinding machine was verified experimentally. As a result, it is found that the shape error of ground workpiece can be estimated easily with measuring the grinding force applied during grinding process. Furthermore, the shape error can be decrease by half successfully with controlling the traverse speed to keep the elastic deformation of the workpiece constant.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：円筒トラバース研削 長尺工作物 形状誤差 研削抵抗 形状精度 研削機構 誤差要因 トラバース速度

1. 研究開始当初の背景

(1) 円筒研削は、工業分野において精密かつ高効率な加工法として重用されている。円筒研削においては加工中に工作物に作用する力、すなわち研削抵抗が大きく、砥石軸や工作物が弾性変形しながら加工が進行する。特に長尺工作物、すなわち直径が細く、長さが大きい工作物の円筒トラバース研削においては、研削抵抗により加工中の工作物が大きく弾性変形し、形状精度が大きく悪化することが懸念される。そこで、工作物の複数個所を支持する振れ止めを研削盤に設置し、研削中の弾性変形量を極力抑制することで、工作物の形状精度の悪化を防止するのが一般的である[鴻巣 健治: 空気式振れ止めの性能 (1行程研削の場合), 精密工学会誌 56, 9 (1990) 1717-1722]。

(2) 振れ止めの使用方法、例えば振れ止めの設置個数や設置位置に関しては、現場において熟練作業者が最適な配置を決定しており学術的な研究はなされていない。また寸法生成機構の解明についても、長尺の工作物を対象とした研究成果は見当たらず、研削中に工作物がどのような弾性変形挙動を示し寸法精度が悪化するか把握できない。そのため、熟練者に頼らずとも長尺の工作物の加工を実現するためには、形状誤差の発生機構を学術的に解明することが必要不可欠である。

(3) また、振れ止めを加工機へ設置すると、振れ止めの微調整のために工作物の取換えなどに要する時間、すなわち段取り時間が長くなるという欠点もある。そこで、振れ止め使用せずとも高精度な加工を実現したいというニーズがあった。

2. 研究の目的

(1) 長尺工作物の円筒トラバース研削を対象として、加工中の工作物の弾性変形挙動を解明するために、研削抵抗の測定システムを開発する。

(2) 測定された研削抵抗から工作物の形状誤差を予測するための解析手法を確立する。

(3) 振れ止めを使用せずとも高い形状精度が得られるように、新たなトラバース研削手法の検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 図 1 に示すとおり長尺工作物のトラバース研削においては、砥石の回転方向に対して法線方向に作用する力、いわゆる背分力が工作物に弾性変形を生じさせ形状精度を悪化させていると考え、本研究においては背分力の測定結果をもとに工作物の弾性変形量を推定している。CNC 円筒研削盤において工作物を支持するセンタへひずみゲージを設置し、左右のセンタのひずみ量の和から研削

抵抗を測定した。図 2 に、ひずみゲージを用いた研削抵抗の測定システムを示す。本手法は従来から使用されてきたものである[塚本真也, 大橋一仁, 藤原貴典: 研削加工の計測技術, 養賢堂 (2005) 33]が、工作物の軸方向への砥石の移動に伴い研削抵抗の作用する位置が時々刻々と変化していく本研究においては、左右のセンタにおける剛性の違いに起因するひずみ量の変化を考慮した新たな研削抵抗の算出式を新たに採用している。

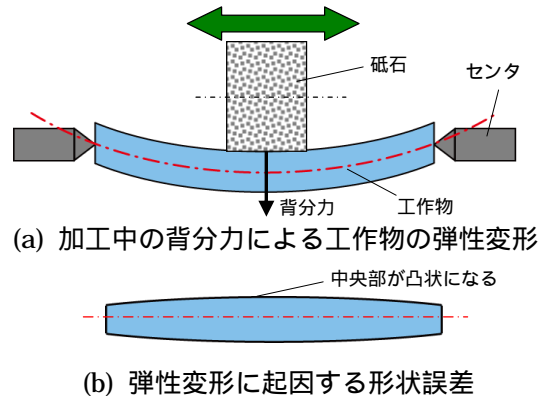


図 1 長尺工作物の形状誤差の発生要因

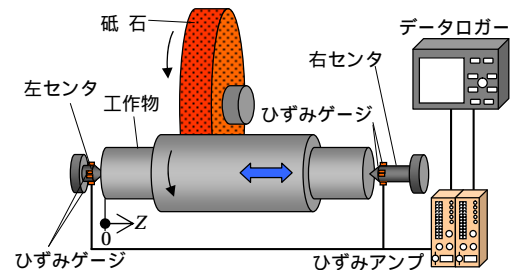


図 2 ひずみゲージを用いた研削抵抗の測定

(2) 図 3 は本研究で用いた工作物の寸法である。工作物の直径と長さの比は 15 を超えるもので、一般的な研削に使用する工作物としては非常に細長い形状である。図 4 に背分力から工作物の弾性変形量を推定するモデルを示す。図示のとおり、工作物を梁に見立て、両側のセンタに相当する回転のみ自由度のある点で支持されているものとして弾性変形量を求め、研削後に測定された研削面の形状と比較を行う。研削面の形状は、図 5 に示すとおり、レーザ変位計を砥石台に設置し、工作物の軸方向に走査することで測定した。

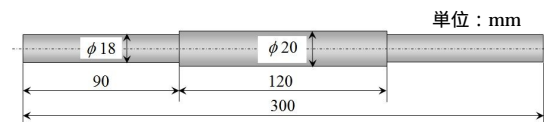


図 3 本研究で用いる長尺工作物の寸法

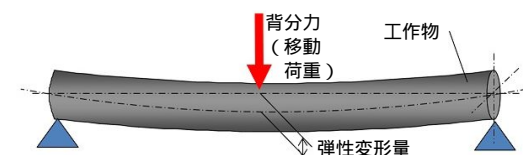


図 4 工作物の弾性変形量の計算モデル

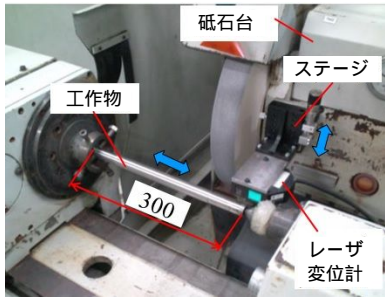


図5 レーザ変位計による形状測定

(3) 図6に、本研究で新たに用いたトラバース研削手法を示す。図示のとおり、もっとも弾性変形量が大きくなる工作物の中央付近を砥石が通過する際は、工作物を軸方向に走査する速度、すなわちトラバース速度を遅くすることで研削抵抗を減少させ、工作物の弾性変形量を全長にわたり一定に保つことで形状精度の改善を図った。なおトラバース速度の決定に際しては、事前に複数の研削条件下で研削実験を行い、弾性変形量が一定となるようなトラバース速度を算出し、それに基づき加工機を制御する。

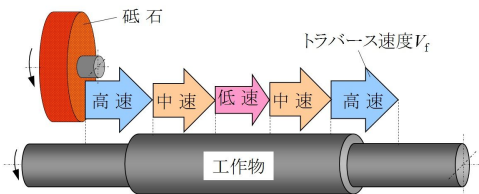


図6 トラバース速度の制御による精度改善

4. 研究成果

(1) 研削抵抗の測定においては、左右のセンタの剛性の違いを考慮した研削抵抗の算出手法を確立した。図7に、工作物の左端、中央、右端に49Nの荷重を作用させた時のひずみゲージから出力された電圧を示す。図示のとおり、同じ大きさの荷重を作用させているにもかかわらず、工作物の右側に力を作用させた場合（軸方向位置 Z の値が大きい）の方が、左に作用させた時よりも出力電圧が高い。これは、右側のセンタの方が固定部からの突出量が大きく、剛性が低いためであり、右側に多く力が配分される場合は右側のセンタのひずみ量が大きくなるためひずみ量の和が増大し、出力電圧が高くなる。そこで左右のセンタの形状から剛性を算出し、荷重が作用する位置の違いによる左右のセンタの荷重配分を求め、ひずみ量の和を算出することで、どこに荷重が作用しても正しい荷重を求められるような補正式を考案した。図8は、図7で得られた電圧から補正式を用いて荷重を求めたもので、荷重の作用位置が異なっても、実際に作用させた49Nの荷重が求められていることがわかる。この補正式を用いることで、研削中に工作物に作用する研削抵抗を正確に求めることが可能となり、従来よりも高精度な研削抵抗の測定が実現した。

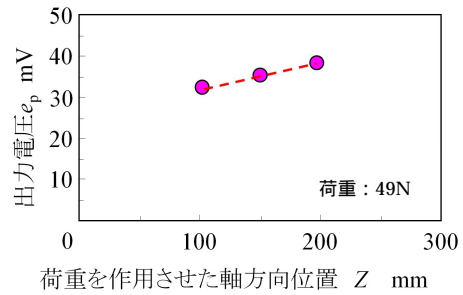


図7 荷重位置の違いによる出力電圧の変化

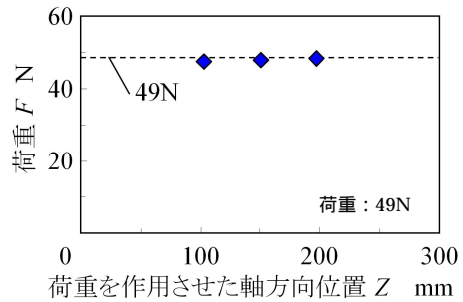


図8 補正式により算出された荷重

(2) 研削抵抗から工作物の弾性変形量を求め、研削終了後に測定した結果と比較したところ、両者は良好な一致を示した。図9に、研削抵抗から解析された弾性変形量（図では解析結果と表記）とレーザ変位計で測定された形状を示す。なお、実測は工作物の2か所の断面で行っている。図示のとおり、やや実測結果の方が形状誤差は大きいものの、同様の形状誤差が得られた。解析と実測の値の差は $0.5\mu\text{m}$ 程度に留まっており、円筒研削で必要とされるサブミクロンオーダーの精度は十分に満たしている。また、砥石が抜けていく側の「だれ」という現象[岡村健二郎, 塚本真也, 上田陽一, 成川裕: トラバース研削機構の研究(第4報), 精密機械, 49, 4(1983)509]も、解析において正確に求められていることから、研削抵抗を測定し、弾性変形量を求めることで研削後の研削面形状の予測が可能であることを確認できた。

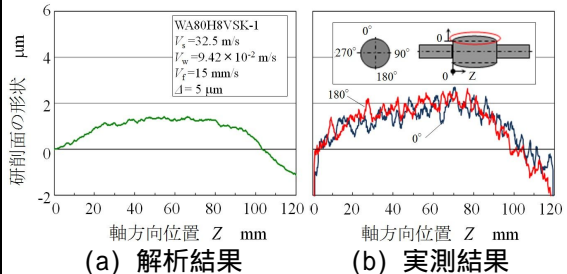
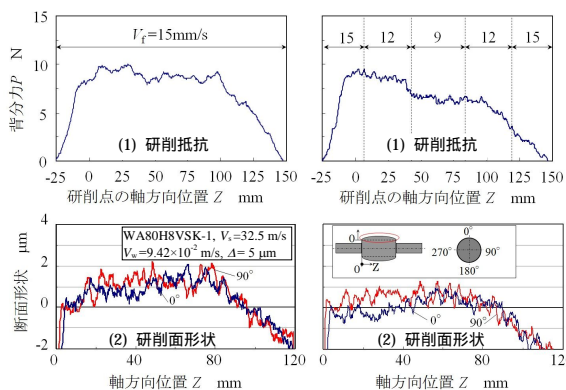


図9 研削面形状の解析と実測結果の比較

(3) 加工中の工作物の弾性変形量が研削面の形状とよく一致したため、工作物の弾性変形量を一定に保てば、工作物の形状精度は改善できるはずである。そこで、工作物を軸方向へ走査する速度、トラバース速度 V_t を制御することで、工作物の形状精度の改善を試みた。図10に、これまでのトラバース速度が一定

のままで研削した結果と、新たに本研究で採用したトラバース速度を制御した加工により得られた結果を示す。それぞれ、図の左側が従来法、右が新たな研削法により得られた結果であり、上下が研削抵抗および断面形状の測定結果である。図示のとおり、新たに採用した手法ではトラバース速度 V_f を3段階に調整し、工作物中央部で最も遅い 9mm/s として研削を行った。トラバース速度を変化させた場合、研削面の中央部で背分力が大きく減少していることがわかる。結果として工作物中央部を研削する際も弾性変形が抑制され加工精度が大幅に改善された。従来は 2 μ m 程度生じていた形状誤差が 1 μ m 程度に半減し、トラバース速度の制御が加工精度の改善に極めて有用であることが確認された。



(a) 従来の研削法 (b) 新たな研削法
図 10 トラバース速度の制御による精度改善

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

大西孝, 小谷拓也, 大橋一仁, 松原大輔, 坂倉守昭, 塚本真也, 長尺工作物の円筒トラバース研削における形状誤差要因解明, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2014

松原大輔, 大西孝, 坂倉守昭, 小谷拓也, 大橋一仁, 塚本真也, 長尺工作物の円筒トラバース研削における加工精度の改善, 砥粒加工学会 先進テクノフェア卒業研究発表会, 2014

小谷拓也, 大西孝, 大橋一仁, 坂倉守昭, 塚本真也, 円筒研削における長尺工作物の精度の改善 - 工作物の弾性変形を考慮した送り速度の制御 -, 2013 年度精密工学会中国四国支部広島地方学術講演会, 2013

小谷拓也, 大西孝, 大橋一仁, 坂倉守昭, 塚本真也, 円筒トラバース研削における支持剛性の違いを考慮した研削抵抗の推定, 2013 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2013

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西 孝 (ONISHI Takashi)
岡山大学大学院自然科学研究科 助教
研究者番号： 90630830

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし