

## レーザ変位計を用いた砥石熱膨張量の測定

日本大学 ○下田 竣也 岸野 良亮 内田 元 ◎山田 高三 李和 樹 三浦 浩一

### 要 旨

研削加工では、加工点で発生する熱の影響で砥石が熱変形し、加工精度が低下する。また、砥石の変形量は制御できていない。そこで、レーザ変位計を用いて砥石熱変形量を測定するために砥石を加熱して工作物を研削し、工作物に転写された膨張量とレーザ変位計で測定した砥石熱膨張量を比較した。工作物の除去量と、砥石表面を測定した砥石熱膨張量が一致したため、レーザ変位計で砥石熱膨張量が測定できることがわかった。

### 1. 緒 言

研削加工では、砥石と工作物が接触する加工点で研削熱が発生する。そのため、砥石が熱変形を起こし、加工精度の低下につながる。近年の研削盤では、主軸やモータの温度をコントロールすることにより、研削盤全体の変形量を制御している場合もある。しかし、砥石の熱変形は制御できていないのが現状である。もし砥石の熱変形量を定量的に評価することができれば、砥石台送り量を制御することで、研削盤全体の熱変形をさらに抑えることができ、加工精度向上に貢献する。

砥石の熱変形量に関しては、中島<sup>1)</sup>らが空気マイクロメータを用いた測定を行っているものの実用化されていない。いっぽう、実用的な非接触式での測定器としてレーザ変位計が挙げられる。

そこで本研究では、レーザ変位計を用いて研削時の砥石熱膨張量を測定することを目的としている。

### 2. 乾式研削での砥石熱膨張量の測定

レーザ変位計を用いて砥石表面を測定する場合、研削時のクーラントの影響が懸念される。そこでまず、乾式研削において砥石熱膨張量を測定できるか確認した。

図1に実験の概要図を示す。円筒研削盤(豊田工機製 GOP10-30)の砥石台にレーザ変位計(KEYENCE 製 LK-H055)を研削点の反対側に取り付けた。また、工作物の研削部には除去量を測定するために定寸ゲージを、工作物の膨張量を測定するために非研削部には電気マイクロメータを取り付けた。まずブランチ研削後にスパークアウト研削を行う。これにより、砥石表面と工作物表面が同一接線上で接する。この状態を測定開始点とする。その後、砥石台を移動させずに砥石両側面からヒートガンで砥石を加熱する。すると砥石が膨張し始める。このときの砥石の熱膨張量をレーザ変位計で測定する。

また、定寸ゲージにより工作物の除去量を測定する。工作物には砥石の熱膨張量が転写されることから、両者が一致していればレーザ変位計を用いて砥石表面位置を測定できたことになる。

用いた砥石は WA60J6B(φ355)、工作物は S55C(φ26)、それぞれの回転数は 2435min<sup>-1</sup> と 183min<sup>-1</sup> である。

本実験で、登壇者は実験手順や実験装置などを考案し、装置を操作しデータを収集し考察を行った。

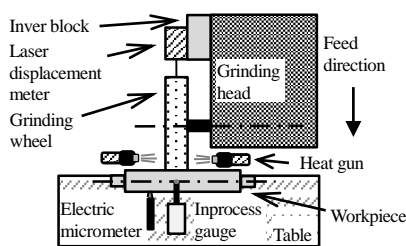


Fig.1 Top view of measuring device

図2に加熱時の砥石熱膨張量と工作物除去量、工作物の非研削部の変位量を示す。砥石の加熱は図中の8分から14分まで行った。

図2では、砥石の膨張を正方向、工作物の除去量を正方向、および工作物の収縮を正方向としている。加熱中の砥石と工作物の測定結果を比較すると、両者の傾きは一致している。砥石熱膨張量が工作物除去量として良く転写されていることを示している。

いっぽう、砥石の加熱を停止した14分後から砥石は収縮しているが、工作物はさらに除去量が増しているように伺える。そこで非研削部での工作物変位量を見てみると、加熱中は熱の影響により膨張しているのに対して、加熱終了後は収縮していることがわかる。この収縮の傾向を定寸ゲージで測定した研削部の工作物除去量と比較してみると一致している。このため、砥石加熱終了後も工作物除去量が増加したのは、工作物の熱収縮によるものだとわかった。

しかし、加熱中の砥石熱膨張量と工作物除去量を比較すると、傾きは一致しているが、加熱直後に砥石が膨張しているのにも関わらず、工作物が削られない領域があり、さらに加熱終了時には切り残しを生じている。この図では6μmである。砥石加熱直後の研削部を観察してみると、加熱直後から火花が生じており、砥石は工作物に接触していた。にもかかわらず、砥石膨張開始時に工作物が除去されないのは、工作物が砥石表面に付着し目づまりを生じて砥石が膨張するように測定されている可能性がある。そこで次に湿式研削で実験を行うことにした。

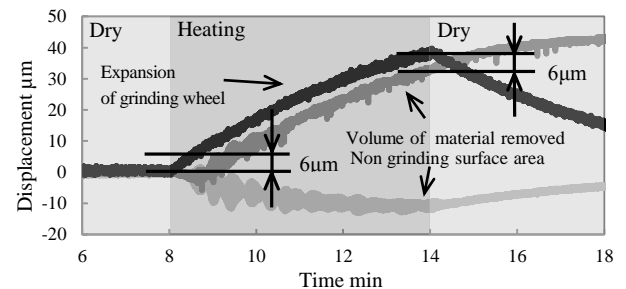


Fig.2 Thermal expansion of grinding wheel (Dry grinding)

### 3. 湿式研削での砥石熱膨張量の測定

クーラントをかけた湿式研削でも砥石熱膨張量を測定できるか確認する実験を行った。実験は2章と同じ条件で行い、スパークアウト後に砥石両側面をヒートガンで加熱した。このときの砥石熱膨張量と工作物除去量を測定し評価した。また、砥石表面に付着したクーラントを除去するためにエアを吹き付けた。

図3に湿式研削での砥石熱膨張量と工作物除去量を示す。乾式研削と同様に加熱中の砥石熱膨張量と工作物除去量を比較すると、傾きが一致していることがわかる。また、乾式研削と同様に加熱開始時と加熱終了後の切り残しが一致している。クーラントをかけた湿式研削でも砥石熱膨張量を測定できることが確認できた。しかし、このことから乾式時では目づまりを生じていたのではないことが

わかった。やはり、加熱直後は乾式と同様に砥石が膨張しても工作物が削られない領域がある。これは砥石が工作物に接触しても工作物が弾性変形や塑性変形し、研削されない領域であるラビング、ブローイングという研削形態であると考えられる<sup>2)</sup>。

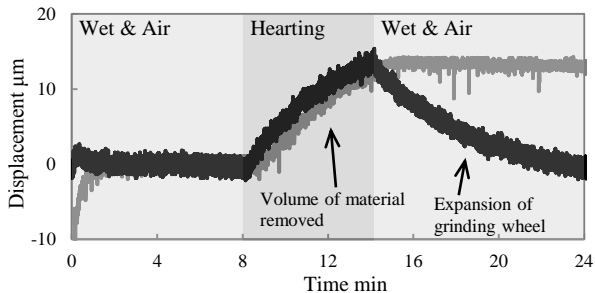


Fig.3 Thermal expansion of grinding wheel (Wet grinding)

#### 4. ラビング、ブローイング域の検証

加熱直後の砥石熱膨張量と工作物除去量のずれが、ラビング、ブローイングであることを検証する実験を乾式研削で行った。実験条件は2章と同じである。図4に砥石が工作物を切除するまでの過程を示す。(a)がラビングであり工作物は弾性変形のみを生じる。(b)がブローイングであり工作物は塑性変形し掘り起こしを生じる。(c)がカッティングでありこれ以降工作物が除去される。すなわちラビングとブローイングは工作物が擦っているだけであり除去されず、さらに掘り起こしにより表面粗さが悪くなると考えられる。そこで、一定の加熱時間ごとに工作物加工面の表面粗さを測定した。図5に図2の拡大図に最大高さ  $R_z$  を追加したものを示す。砥石加熱直後の表面粗さは小さいが、砥石が加熱され膨張するにつれ粗さは大きくなってきている。そして工作物が除去されるあたりからまた粗さは小さくなってきている。これより、砥石と工作物との接触初期時にはラビングが生じ、その後ブローイングにより表面粗さが悪くなり、その後カッティングにより粗さが良くなったことがわかった。以上のことより、加熱始めの砥石熱膨張量と工作物減少量のずれは非研削状態であるためとわかった。

しかし、加熱始めの砥石熱膨張量と工作物除去量のずれは、ヒートガンによる加熱が影響したことも考えられるため次の実験を行った。

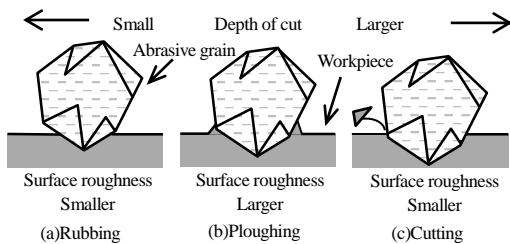


Fig.4 Cutting process

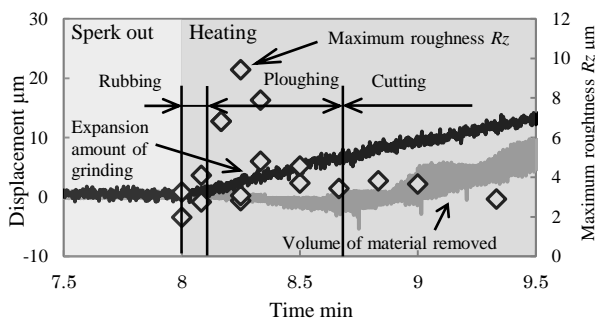


Fig.5 Measured results of roughness

#### 5. 切込みを与えた場合の研削

砥石を加熱せず、湿式研削で砥石を工作物に接触させスパークアウトさせた後、砥石台を前進させ工作物をプランジ研削した。実験条件は3章と同じである。また、送り速度は  $0.765 \mu\text{m}/\text{rev}$  で行った。

図6に砥石膨張量、工作物除去量、そして砥石台変位量の測定結果を示す。砥石台が前進しても工作物が加工されない領域があることが確認できた。また、送り速度を変えた場合の、工作物が加工されるまでに砥石台が動いた量を分布的にまとめたものを図7に示す。図7より送り速度を変えても工作物が加工されない領域はなくなる。すなわち、ラビング、ブローイングは送り速度を変えても起きる現象であると考えられる。

このことより、砥石が工作物に接触してから工作物が加工されるまでに差が生じる現象は、乾式研削や砥石を加熱したことによるものではなく、研削時に起こりうる現象であると考えられる。4章で述べたラビング、ブローイング現象を考慮すると、2章3章で述べたレーザ変位計で測定した砥石熱膨張量と工作物除去量が一致していることがわかる。したがって、砥石の膨張量は湿式、乾式に関わらずレーザ変位計を用いて測定できることがわかった。

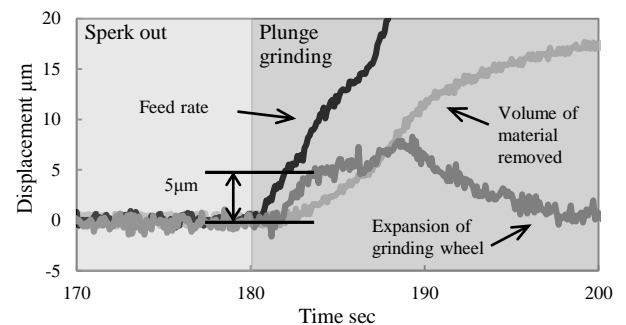


Fig.6 Relation between feed rate and volume of material removed

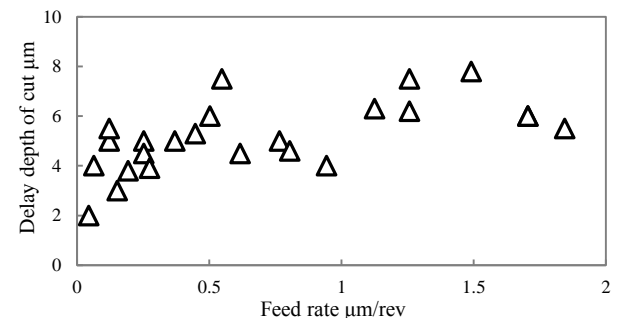


Fig.7 Relation between feed rate and delay depth of cut

#### 6. 結言

乾式または湿式でも、レーザ変位計で測定した砥石熱膨張量と工作物に転写された膨張量が一致した。また、加熱直後は工作物が研削されるまでに差が生じるが、これはラビング、ブローイングが原因であることがわかった。以上より、砥石熱膨張量をレーザ変位計で測定できることが明らかとなった。

#### 7. 謝辞

本実験は、株式会社豊幸より多大なご支援をいただいた。この場を借りて感謝の意を表す。

#### 8. 参考文献

- 1) T.Nakajima, S.Tsukamoto, K.Sato: Thermal deformation rate of grinding wheel in plunge grinding process, The japan society of mechanical engineers, (1987)112.
- 2) R.S.Hahn, R.P Lindsay, Principles of grinding machinery, 77,6 (1971)55.