

平成 14 年度卒業研究

ダイヤモンド砥石の
ツルーイング精度シミュレーション

高知工科大学 知能機械システム工学科

1030107 川手 綾子

指導教員 松井 敏

目次

1 . 緒言	
1 . 1 研究の背景	1
1 . 2 研究の目的	2
2 . 研削作業面形状のシミュレーション	
2 . 1 シミュレーションの考え方	2
2 . 2 計算の流れ	5
2 . 3 シミュレーション結果	5
3 . 傾斜ツルージング	
3 . 1 傾斜面の生成機構	9
3 . 2 傾斜ツルージングの原理	10
3 . 3 傾斜ツルージングに関する基礎実験	11
4 . 結言	14
参考文献	14

1．緒言

1．1 研究の背景

研削加工は，主に焼入れ機械部品の仕上げなどの精密加工分野で使われているが，特に硬脆材料の加工には必要不可欠な加工法である．

研削加工では，加工工具として砥石を利用する．砥石の外周が偏心していたり，真円になっていない場合等には，砥石の一部だけで研削が行われたり，アンバランスによる振動が生じて形状精度や表面粗さなどに悪影響を及ぼす．また，研削抵抗も断続的になり，砥石に偏磨耗が起きたり砥石の寿命が短くなる原因にもなる．このような問題を取り除くために，砥石の外周を整形するツルーイングという作業を行う．ツルーイングを行うと砥粒の先端が平滑化したり，チップポケットが失われたりして切れ味が低下するため，切れ味を回復させるためにドレッシングという作業を行う¹⁾．

金属材料の研削加工には， Al_2O_3 ，SiCなどの砥粒から成るWA砥石やGC砥石などの普通砥石が使われる．これらの砥石は一般的に気孔がチップポケットの役割を果たすので，ダイヤモンド単石ドレッサを使用して，ツルーイングとドレッシングを同時に行う．

一方，ガラス，セラミックス等の硬脆材料の研削加工にはダイヤモンド砥石が使われている．ダイヤモンド砥石は一般的に無気孔であるので，ツルーイングとドレッシングを分けて行う．ダイヤモンドは地球上で最も硬い物質であるので，特に砥石作業面を整形加工するツルーイングを高精度，高能率に行うことは極めて困難である．ダイヤモンド砥石のツルーイング方法として主に使用されている方法の1つに，トラバースツルーイングがある．トラバースツルーイングとは，普通砥石のスティックをダイヤモンド砥石の幅方向に移動させながら研削する方法である．しかし，この方法でダイヤモンド砥石のツルーイングを行うと，ダイヤモンド砥石の方が，ツルーイング砥石よりも硬いため砥石作業面にツルーイング切込み量にほぼ等しい傾斜面が形成される．この傾斜面の角度を小さくするには切込み量を小さくすればよいが，切込み回数が増えるため時間がかかり能率が低下する．

1.2 研究の目的

ダイヤモンド砥石のトラバースツルージングでは、どの程度ツルージングを行えばよいかというデータがないため、作業面の形状を測定しながら試行錯誤でツルージングを行っており、非常に長い時間を要している。この他にも、必要以上にツルージングしてしまうことがあり、高価なダイヤモンド砥石を無駄に消費してしまうという問題もある。本研究では、砥石作業面の形状をシミュレーションで求めることにより、ツルージング時間の短縮を図るとともに 必要以上のツルージングによる砥石の消費を抑えることを目的とする。

また、傾斜面の形成を抑制する方法としてツルアを傾斜させてツルージングする方法を提案し、その方法の基礎的な検討を行うことを目的とする。

2. 研削作業面形状のシミュレーション

1.2節で述べたように、トラバースツルージングではどの程度ツルージングを行えば傾斜のない砥石作業面になるのかわからないため、ツルージングの際、非常に長い時間を要してしまう。ここでは、作業面の形状をシミュレーションで求め、前年度のツルージングデータ²⁾と比較した。

2.1 シミュレーションの考え方

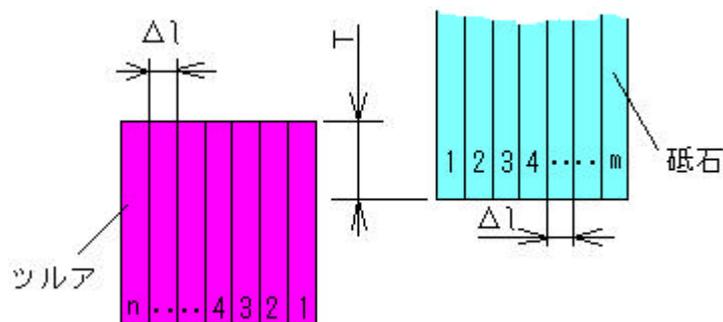


図1 砥石とツルアの領域分割

図1のように、ダイヤモンド砥石（以下、砥石という）とツルージング砥石（以下、ツルアという）を Δl で幅方向に分割する。ツルージングを行うと、砥石とツルアはそれぞれが一定の割合で消耗し、砥石とツルアの消耗量の比はツルージング比と呼ばれている

3) . 図 2 において、まず切込み量 T を与え、ツルアの領域(1)で砥石の領域(1)をツルーイングすると、ツルーイング比に応じて砥石は $\Delta r(1)$ だけ消耗し、ツルアは $\Delta h(1)$ だけ消耗する。このとき、ツルアの高さは $\Delta r(1)$ となる。この高さのまま砥石の領域(2)へ進み、ツルーイング比に応じて砥石は $\Delta r(2)$ 、ツルアは $\Delta h(2)$ 消耗する。これを砥石の領域(m)まで繰り返すと、ツルアの領域(1)による 1 パスのツルーイングが完了する。以下同様に、ツルアの領域(n)までこの操作を繰り返すとツルア全体による 1 パスのツルーイングが完了する。

この操作を任意の回数だけ繰り返せば、その回数に応じた砥石の各領域の消耗深さを求めることができる。また、そのときの値をグラフ化すれば、その回数に応じた砥石作業面形状を知ることができる。

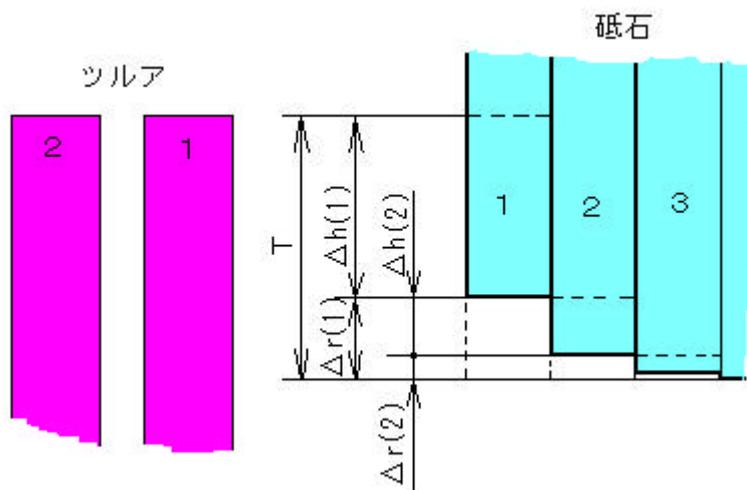


図 2 ツルーイングによるツルアと砥石の消耗深さ

(1) ツルアと砥石の消耗量の計算

ツルーイング比 a は、ツルアと砥石の消耗量の比であり式(1)で表される。

$$a = \frac{W_D}{W_T} \tag{1}$$

ここで、 a : ツルーイング比

W_D : 砥石消耗量

W_T : ツルア消耗量

ツルア消耗量は、式(2)のように表せる。

$$W_T = B \cdot \Delta h \cdot \Delta l \quad (2)$$

ここで、 B ：ツルア幅（奥行き）

Δh ：ツルア消耗深さ

Δl ：分割幅

砥石消耗量体積は、式(3)のように表せる。

$$W_D = \rho D \cdot \Delta r \cdot \Delta l \quad (3)$$

ここで、 D ：砥石直径

Δr ：砥石半径消耗深さ

式(1)～式(3)より、ツルアイング比 a は式(4)のように表すことができる。

$$a = \frac{\rho D \cdot \Delta r}{B \cdot \Delta h} \quad (4)$$

また、切込み量 T は式(5)で表すことができる。

$$T = \Delta r + \Delta h \quad (5)$$

ここで、 T ：切込み量（干渉深さ）

式(4)、式(5)より

$$\Delta r = \frac{BaT}{Ba + \rho D} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= T - \frac{BaT}{Ba + \rho D} \\ &= \left(1 - \frac{Ba}{Ba + \rho D}\right) T \\ &= \frac{\rho D}{Ba + \rho D} T \end{aligned} \quad (7)$$

により、砥石半径消耗深さ Δr 、ツルア消耗深さ Δh を求めることができる。

2.2 計算の流れ

(1) 1パス目の場合

領域(1)のツルアで砥石の領域(1)～(m)を順次ツルーイングし、砥石の各領域におけるツルアと砥石の消耗深さを計算する。ツルアはツルーイングすることにより消耗するので、領域(2)～(m)までその消耗量を考慮して干渉深さを求める。領域(m)まで計算した時、砥石の各領域の消耗深さが砥石の作業面形状になる。また、領域(m)までツルーイングした時のツルアの高さが2パス目のツルアの高さになる。次に領域(2)のツルアで砥石をツルーイングする。この時は、砥石が消耗して高さを変化しているため、それを考慮して干渉深さを求める。以下同様に消耗深さを考慮しながらツルアの領域(m)までツルーイングを繰り返す。

(2) 2パス目以降

ツルアの各領域の高さは、1パス目のツルーイングで変化しており、その高さに切込み量を加えたもので1パス目に形成された砥石作業面をツルーイングする。ツルア、砥石ともに高さを変化しているため、それを考慮して干渉深さを計算する。

2.3 シミュレーション結果

(1) 作業面形状の変化過程

ツルーイングを進めるに従って、砥石作業面の形状がどのように変化していくか調べた。表1にシミュレーションの条件を示す。

表1 シミュレーション条件

砥石直径	300.0mm
砥石幅	15.0mm
ツルア長さ	100.0mm
ツルア幅	15.0mm
砥石分割数	15 (分割幅 1mm)
ツルア分割数	100 (分割幅 1mm)
切込み量	10.0 μm
ツルーイング比	0.1

図3は、ツルイーイング前の作業面形状が真円筒面の砥石を表1に示した条件でツルイーイングしたときの作業面形状の変化過程を示す。ツルアは図の左側（砥石を取り付ける際、手前になる方）だけで切込み量が与えられて、右方向（後方）に送られ、戻りはツルイーイングしないという条件で計算している。(A)はツルイーイングを開始してから2パスごとの形状変化を示す。同様に、(B)は20パスごとの、(C)は100パスごとの形状変化を示す。

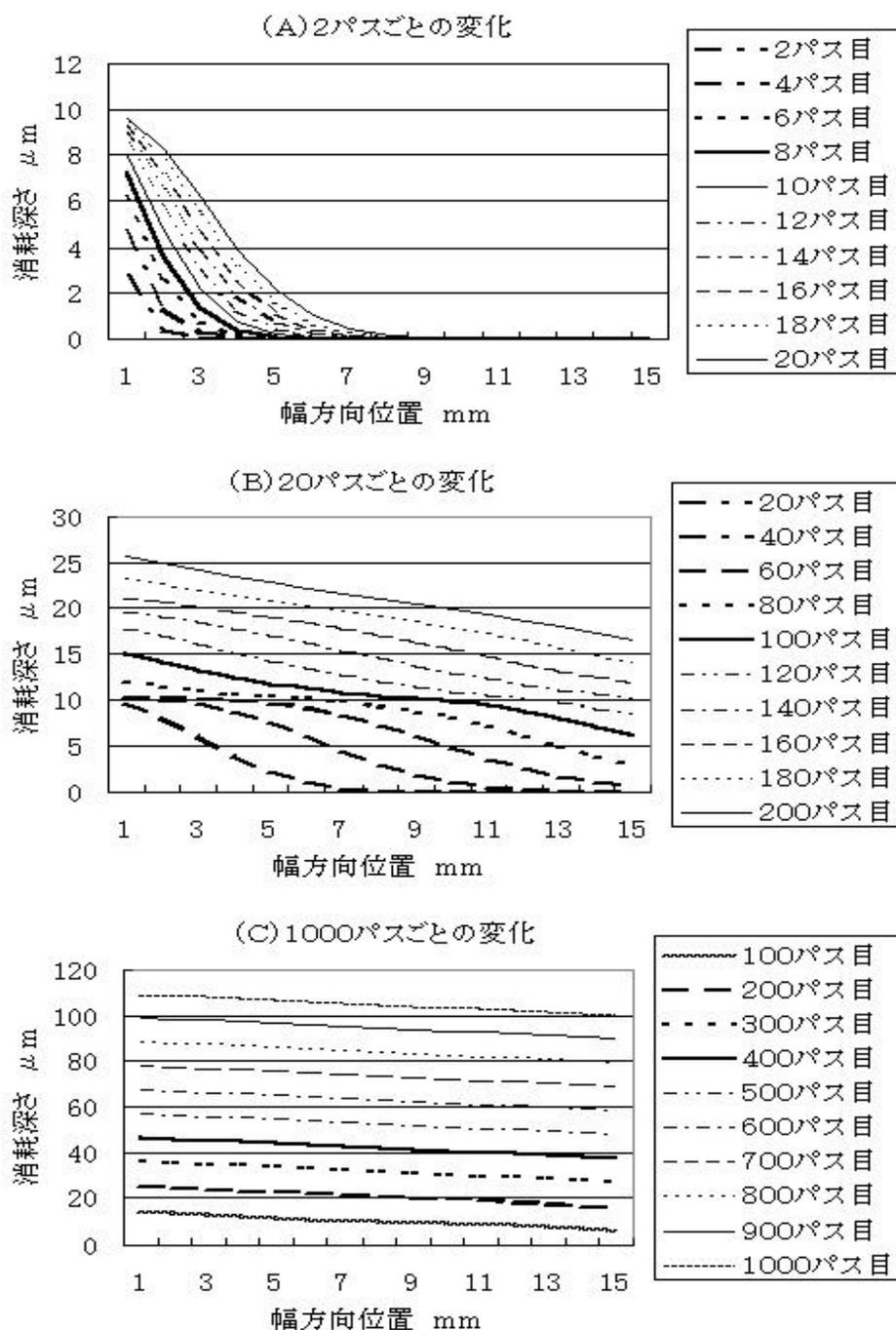


図3 シミュレーションによる砥石作業面形状の変化

これから，ツルーイング前は真円筒面であった作業面に次第に傾斜面が形成されていくことがわかる．およそ200パス程度ツルーイングを行うと，ほぼ完全な傾斜面になり，以後ツルーイングを続けてもその形状は変化しない．したがって，表1の条件では約200パスで定常状態になり，それ以上のツルーイングは意味がないということがわかる．

また，作業面形状の傾向をみると，ツルアから切込みを受ける左側が約10 μm 深く消耗した傾斜面になっている．これは切込み量10 μm を与えた場合のシミュレーションであるので，ここから，シミュレーションでもほぼ切込み量に等しい傾斜面が形成されると言える．この傾向は，実際のツルーイングで得られる作業面形状の傾向とよく似ている．

(2) ツルーイング切込み量と砥石作業面形状の関係

図4は，ツルーイング切込み量を変えたときの砥石作業面形状のシミュレーション結果を示す．また，図5は，各切込み量における作業面形状を実験結果と比較した結果を示す．どちらの場合も，ツルアを図の左側から右側に送ってツルーイングしている．なお，図5の砥石作業面形状は上側が砥石の実体側である．左端の方がより多くツルーイングされていることになる．これから，どちらの結果も切込み量が少ないほど砥石の傾斜量が少なく，ツルーイング切込み量にほぼ等しい傾斜角度がついており，シミュレーション結果は実験結果と傾斜の傾向，傾斜量ともにほぼよく対応していることが分かる．したがって，本研究のシミュレーションを行えば，ツルーイング前に作業面形状を予測することが可能である．

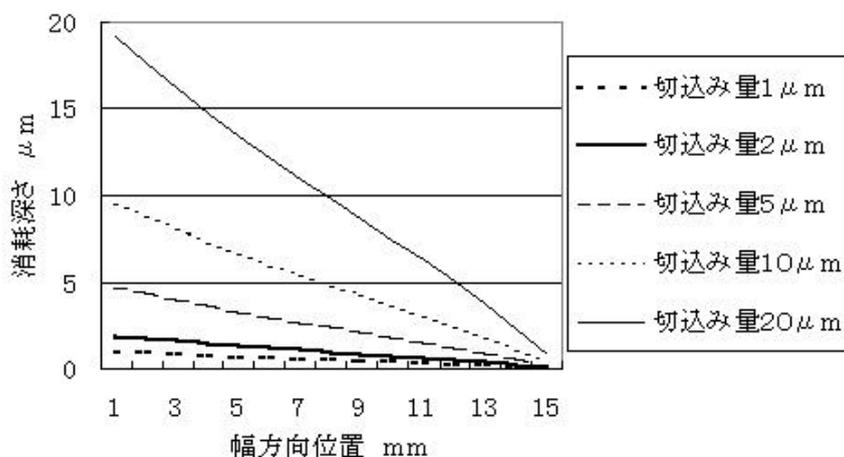


図4 ツルーイングによる砥石作業面形状

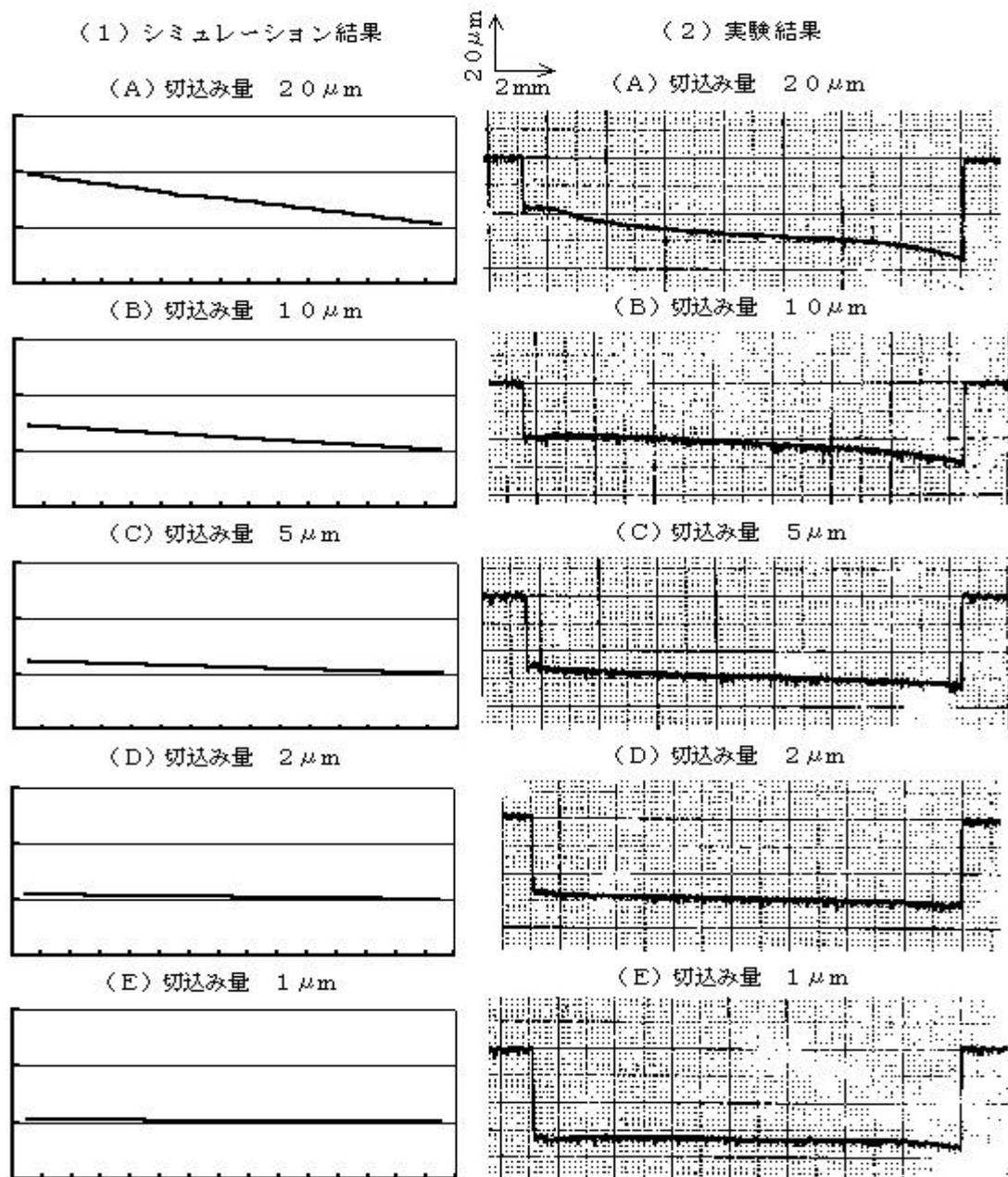


図5 実験とシミュレーションの比較

3．砥石作業面形状の改善（傾斜ツルージング）

2章で述べたように、切込み量を小さくすることにより砥石作業面の傾斜を小さくすることができるが、この方法は能率の問題がある。そこで、切込み量が大きくても傾斜が生じないようなツルージング法として、傾斜ツルージングの可能性について、基礎的な検討を行った。

3.1 傾斜面の生成機構

トラバースツルージングで砥石作業面にツルージング切込み量にほぼ等しい傾斜面が形成される理由は、次のように考えられる。図6にトラバースツルージングの状態を示す。ツルージングは(a)から(c)へ進行する。

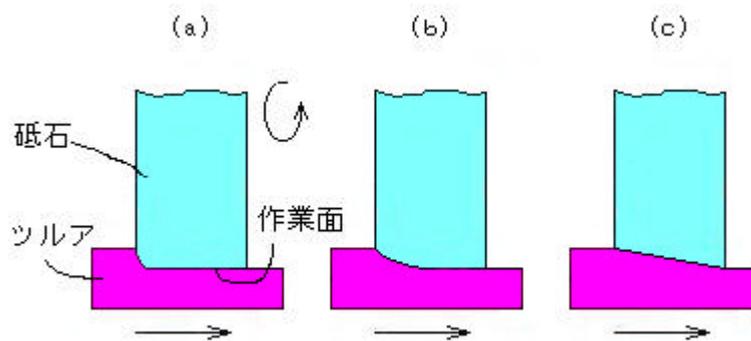


図6 傾斜面の形成

(a) ツルージング初期の状態

ツルアを砥石に対して矢印の方向に送ってツルージングすると、ツルアは砥石に比べて軟らかいため、砥石の左側でほとんど消耗してしまい、砥石の右側はツルージングされない。このため、砥石は左側の一部だけがツルージングされる。

(b) (a) , (c) の中間の状態

ツルージングを続けると、次第に砥石の内部までツルージングされるようになり、左端から徐々に傾斜面が形成される。

(c) 定常状態

さらにツルーイングを続けると、ツルーイングされる領域が砥石作業面全体に広がり、左端から右端までの傾斜面が形成される。この状態になると、ツルアが砥石作業面全体に均一に作用するようになるので、ツルーイングを続けてもこの状態が維持されてしまう。このような状態変化は、繰り返し切り込みを行うことによってもたらされる。

3.2 傾斜ツルーイングの原理

作業面が傾斜面にならないようにするには、図7に示すように、ツルアを傾斜角に相当する角度だけ、傾ければよいと考えられる。このとき、ツルーイング切込み量 t が次の関係を満たすように決める必要がある。

$$t = B \tan \theta \tag{8}$$

ここで、 B ：砥石幅
 θ ：ツルア送り方向の傾斜角

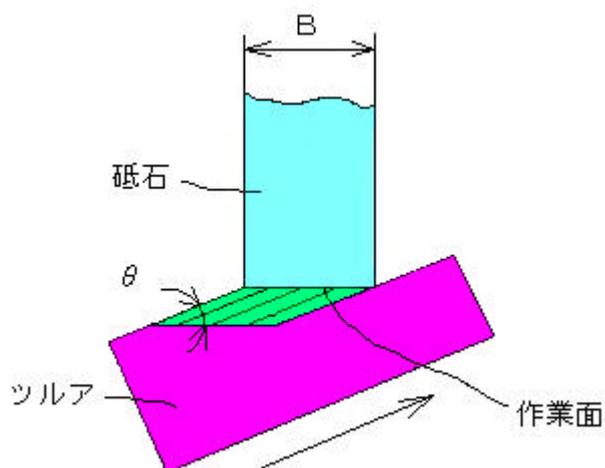


図7 傾斜ツルーイング

このようにすると、ツルアが砥石作業面全体に均一に作用するので、作業面は常に真直にツルーイングされるものと推測される。ただし、切込み量が式(1)の値よりも大きいと図6のような傾斜面が形成され、小さいと逆向きの傾斜面が形成されることが考えられる。

3.3 傾斜ツルージングに関する基礎実験

傾斜ツルージングによる作業面形状を確認するため、基礎実験を行った。

(1) ツルージング方法

図8に示すように、ツルージングは精密バイスの移動ジョーを利用して手動送りで行った。ツルアはアルコワックス 5302（日化精工製）で補助プレートに接着し、移動ジョー上面に固定した。

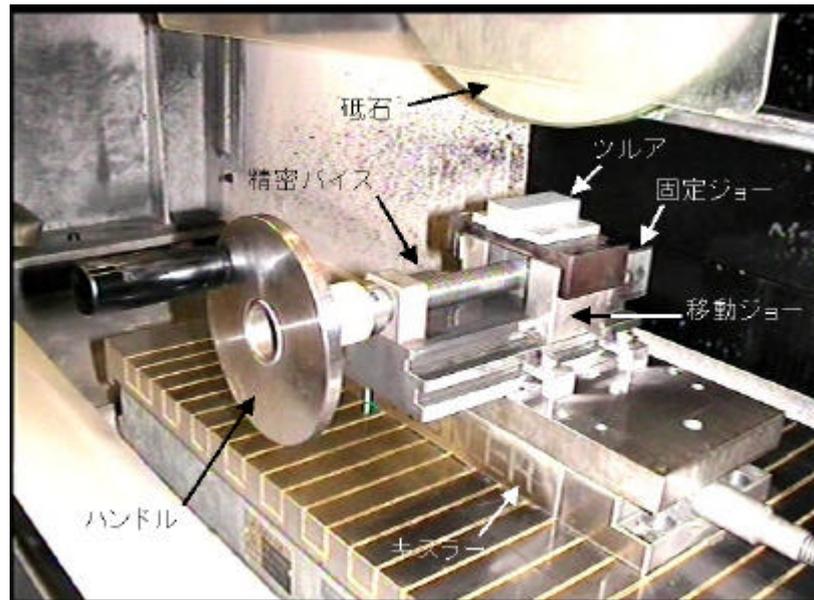


図8 ツルージング装置

ツルアを砥石作業面に対して斜めに送るため、厚さ 0.2 mm のビニールシートをバイスの後端側に挿入し、平面研削盤のテーブルに取り付けた。

この状態でコラムを前後に送り、移動ジョー上面の傾斜量を最小目盛 2 μm のインジケータで測定した。

表2に測定結果を示す。は送り開始前の移動ジョー上面の読み（基準点）、はから、はからそれぞれ 20 mm 送りを与えたときの移動ジョー上面の変位である。なお、この測定値には、傾斜量の他に移動ジョー上面とコラム前後送りの真直度誤差も含まれる。3回測定を行ったが、移動ジョーの送り方向傾斜量は 40 mm 当たり 83 μm 程度後ろ側が高くなっていることが分かる。

表2 移動ジョー上面における傾斜量

	測定位置		
1回目	0	42	84
2回目	0	39	82
3回目	0	40	83

これから傾斜角は次のようになる。

$$\tan \boldsymbol{q} = \frac{0.083}{40} = 0.002075 \quad (9)$$

砥石幅は 15 mm であるから，式(9)で求めた傾斜角と式(8)からツルーイング切込み量は，次のようになる。

$$t = B \tan \boldsymbol{q} = 15 \times 0.002075 = 0.0311 \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

ツルーイング条件を表3に示す。

表3 ツルーイング条件

砥石	S D 1200 L 100 B S 30-3 , 300mm × 幅15mm 大阪ダイヤ(アライドマテリアル)
砥石回転数	1800min ⁻¹
ツルア	C 220 H , 20mm × 20mm × 50mm
切り込み量	30 μm (前側のみで切り込み・総切り込み量: 3mm)
送り速度	手送り(約300mm/min 前から後ろへ, 戻りは空送り)

(2) 作業面形状の測定

砥石作業面形状は,カーボンをプランジ研削して転写し,それを粗さ計(SARFCOM480A(東京精密))で測定することにより求めた。

(3) 実験結果および考察

図9にツルーイング前の砥石作業面形状を、図10にツルーイング後の砥石作業面形状を示す。

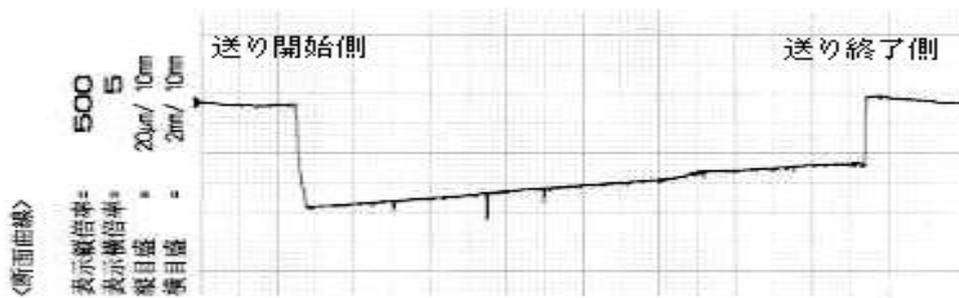


図9 ツルーイング前の砥石作業面形状

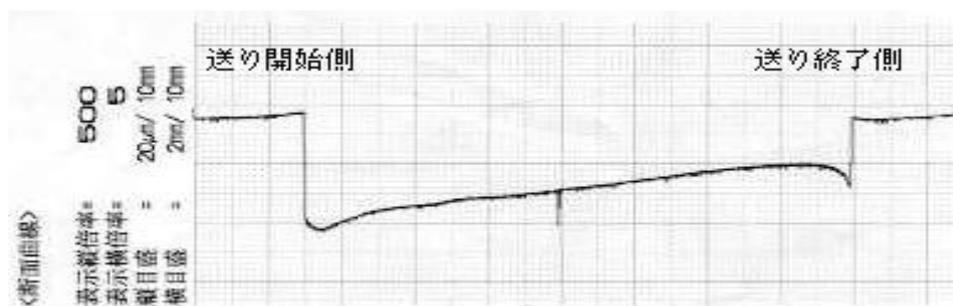


図10 傾斜ツルーイングによる砥石作業面形状

2章の検討結果によれば、切込み量 $30\mu\text{m}$ で通常のトラバースツルーイングを行えば、送り開始側の消耗深さが約 $30\mu\text{m}$ 大きくなるような傾斜面が形成されると予想できるが、図10を見ると、傾斜方向が逆になっている。このことから、傾斜ツルーイングを行えば通常のツルーイングと異なる作業面形状が得られることがわかる。しかしながら、予想したような平坦な作業面形状を得ることはできなかった。この原因は明らかではないが、傾斜角の測定誤差や手送りによる送り速度の変動などが原因の1つではないかと考えられる。これについては引き続き検討が必要である。

4 . 結言

トラバースツルージングされたダイヤモンド砥石の作業面形状をシミュレーションで予測する方法ならびに傾斜ツルージングについて検討した結果，次の点が明らかになった．

- (1) ツルージングの進行に伴って作業面形状が変化していく状況を知ることができ，適正なツルージング条件やツルージング量を予測することが可能である．
- (2) シミュレーションで求めた作業面形状は実験により測定した作業面形状とほぼ一致し，このシミュレーションにより作業面形状の予測が可能である．
- (3) 傾斜ツルージングを行うと通常のトラバースツルージングと傾斜傾向が異なる作業面形状が得られる．

参考文献

- 1) 竹中規雄，佐藤久弥：研削加工のドレッシング・ツルージング，誠文堂新光社，(1971) 1
- 2) 豊嶋隆博，早川 毅：ダイヤモンド砥石のツルージング特性，平成 13 年度卒業論文
- 3) 松井 敏，堀内 毅：インフィードツルージングによるダイヤモンド砥石の形状精度，砥粒加工学会誌，36 3，(1992) 54