

研削加工における仕上げ面創成シミュレーション
Simulation of Finished Surface Generation in Grinding Process

○澤森俊哉¹, 山田高三², 李和樹², 三浦浩一²

*Toshiya SAWAMORI¹, Takazo YAMADA², Hwa-soo LEE² and Kohichi MIURA²

In grinding process, in order to obtain the desired finished surface, it is necessary to discuss on the grains geometrical shape, grains the arrays and their behaviors. Because finished surface is not transcribed as it is, the combination of these factors affect the finished surface generation complicatedly. In this study, a simulator for finished surface generation in grinding operation is proposed. From equivalents of normal grinding force with a counterforce of bonding material, elastic deformation of abrasive grains are obtained. Considering elastic deformation of grinding wheel, it is possible to predict the shape of grinding grooves in grinding process.

1. はじめに

研削加工は工具に砥石を用い、砥石を構成する無数の砥粒が高速微小切削を繰り返すことで、高精度の仕上げ面が得られるという特徴がある。しかし、砥粒の形状、配列、挙動などの様々な要因が仕上げ面創成に影響を及ぼすため^[1]、所望の仕上げ面を得るには、予備的な前加工により加工条件を求める必要がある。

そこで本研究では、加工条件と砥石作業面の砥粒分布から、創成され得る仕上げ面を予測することを目的としている。そのために、各要因の影響を実験的に求め、これに基づいた仕上げ面創成シミュレータの開発を行う。

2. 研削痕の創成過程

工作物の仕上げ面は、砥粒の運動軌跡により削られた研削痕の集合である^[1]。よって研削痕の創成過程を明らかにすることで仕上げ面の予測が可能となる。そこで砥粒の運動軌跡において、最も影響のある砥粒の弾性変位に着目し、研削痕の創成過程についてモデル化を行う。

まず砥粒の形状を直径 d , 高さ h の円錐と仮定した。また図 1 に示すように、結合剤の支持剛性 k_g , 砥石半径 R , 設定切込量 t , 任意の x 座標における切込量 y_x , 真実切込量 Y_t , 砥粒の弾性変位量 dy とした。

図 1 より、 x 座標の任意の位置 x に砥粒が存在するときの砥粒先端切込量 y_x を式(1), また弾性変位を生じた場合の真実切込量 Y_t は式(2)より算出できる。

$$y_x = \sqrt{R^2 - x^2} - (R - t) \tag{1}$$

$$Y_t = y_x - dy \tag{2}$$

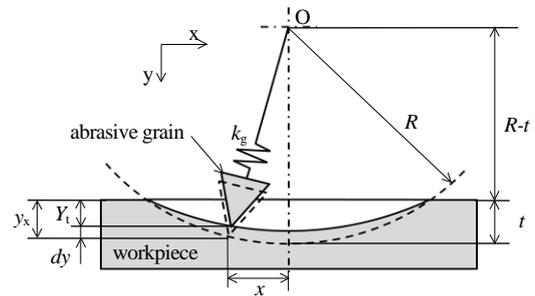


Fig.1 Grinding cutting model

このとき、図 2 に示す結合剤からの力 F_g , 工作物からの力 F_w は式(3), 式(4)で表される。また図 3 に示すように、以前の砥粒によって創成された研削痕と重複する場合、それ以前の研削痕を考慮した断面積 A の値を用いる。

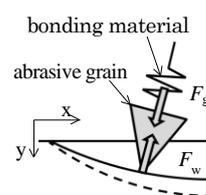


Fig.2 x-y cross section

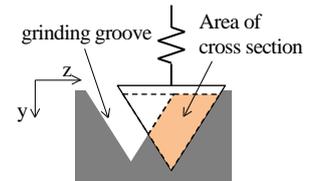


Fig.3 z-y cross section

$$F_g = k_g \cdot dy \tag{3}$$

$$F_w = k_w \cdot A \tag{4}$$

ここで、研削中は常に $F_g = F_w$ の関係が成り立つと考えられる。結合剤の剛性 k_g , 単位面積あたりの力 k_w は実験により既知であるが、弾性変位量 dy が未知数である。そこで図 4 の本シミュレータのフローチャートに示すように、弾性変位量 dy を徐々に増加させ、式(3)より結合剤からの力 F_g を、一方、任意の z 座標の真実切込量 Y_t から x - z 断面における断面積 A を求め、式(4)より工作物からの力 F_w を算出し、 $F_g = F_w$ が成り立つまで、繰り返し計算を行った。

1: 日大理工・院 (前)・機械 2: 日大理工・教員・機械

以上より、 $F_g=F_w$ の関係が成り立つ弾性変位量 dy を求め、このときの真実切込量を算出することで、研削痕および仕上げ面の予測を行った。

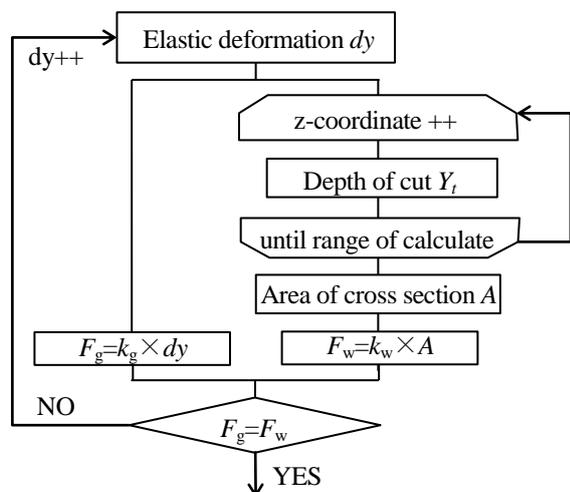


Fig.4 Flowchart

3. 結果

条件として、まず砥粒の形状は直径 $d=240\mu\text{m}$ 、高さ $h=120\mu\text{m}$ の円錐とし、また砥石半径 $R=100 \times 10^3\mu\text{m}$ 、設定切込量 $t=10\mu\text{m}$ 、計算範囲は研削方向に $10\mu\text{m}$ 間隔で $3000\mu\text{m}$ 、幅方向に $1\mu\text{m}$ 間隔で $50\mu\text{m}$ とし、実験により測定した結合剤の剛性 k_g は $0.311\text{N}/\mu\text{m}$ 、単位面積あたりの力 k_w は $0.0456\text{N}/\mu\text{m}$ であった。

図 5 に示すように、同一形状の砥粒を z 座標 10, 13, 16, 26, 29, $32\mu\text{m}$ の位置に 6 つ配置し、設定切込み量 $10\mu\text{m}$ で砥粒 1 から 6 までを順に計算した。その結果、得られた各砥粒における重複した部分を考慮した断面積、弾性変位量、真実切込み量を表 1 に示す。また研削痕形状を図 6 に、等高線図と x 座標 $1503\mu\text{m}$ における研削痕の断面図を図 7 に示す。

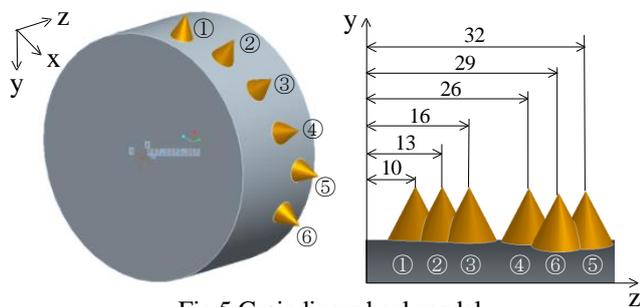


Fig.5 Grinding wheel model

Table.1 calculation result

	Area of cross section $A \mu\text{m}^2$	Elastic deformation $dy \mu\text{m}$	Depth of cut $dy \mu\text{m}$
1	30.598	4.491	5.509
2	23.026	3.381	6.619
3	20.657	3.031	6.969
4	29.921	4.411	5.589
5	27.684	4.061	5.939
6	13.800	2.041	7.959

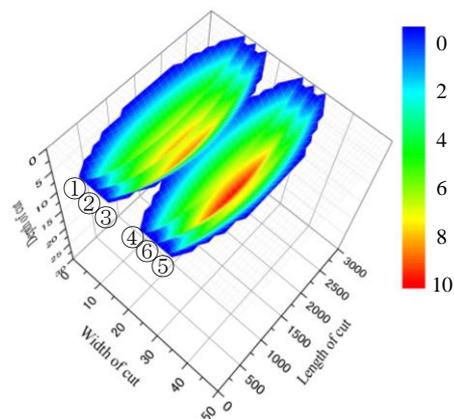


Fig.6 Grinding grooves

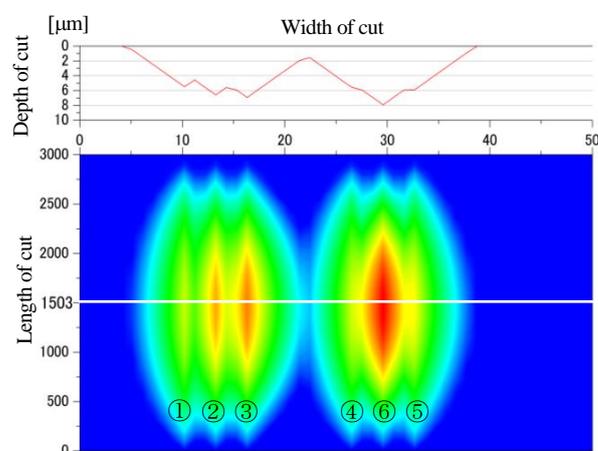


Fig.7 Contour graph and cross section of grinding grooves

全ての砥粒の設定切込量は $10\mu\text{m}$ と一定であるが、砥粒 3, 2, 1 の順に研削痕が深いことがわかる。これは、砥粒 2 の研削痕では、砥粒 1 が先に研削を行ってできた研削痕と重複するため、平らな面を研削する場合よりも断面積が小さい値となり、 $F_w=F_g$ が成り立つ弾性変位量の値も小さくなる。よって、平らな面を研削した砥粒 1 よりも砥粒 2 の方が研削痕深さは深くなり、さらに砥粒 3 の研削痕は砥粒 2 より深くなることわかる。同様に砥粒 6 の研削痕は砥粒 4, 5 の研削痕と重複するため最も研削痕が深くなることわかる。

4. まとめ

砥粒の弾性変位を考慮した運動軌跡から、研削痕の創成過程を明らかにした。また後続の砥粒が以前にできた研削痕と重複して研削を行う場合、その重複部分の断面積を考慮することで、砥粒複数個によって創成される研削痕形状を求めることができた。

5. 参考文献

[1] 河村末久, 矢野章成, 樋口誠宏, 杉田忠彰: 「加工学基礎 2 研削加工と砥粒加工」, 共立出版株式会社