

熟練技能のデジタル化に関する研究（第2報）

5 やすりの刃の配置角度による切削性能予測技術の開発

岩谷稔、長岡孝、藤本直也、伊藤幸一

Predicting cutting performance based on the arrangement angle of file blades

IWATANI Minoru, NAGAOKA Takashi, FUJIMOTO Naoya and ITOH Koichi

We evaluate the performance of files by workpiece material with a file and evaluating it based on the cutting weight and cutting resistance at that time. As performance evaluation using this method takes time, we are also conducting research to rapidly predict cutting performance by analyzing the shape of the file blade. This study showed that the angle at which the file blade is arranged relative to the cutting direction has a significant impact on cutting performance. By developing prediction models for each angle at which the file blade is arranged, we were able to predict the amount of cutting with an average error rate of 6.0% and classify the surface roughness of the workpiece material into three classes with a prediction accuracy of 91.7%.

キーワード：やすり、表面性状パラメータ、切削、粗さ、回帰分析

1 緒 言

広島県はやすり製造が盛んな地域であり、当センターにおいてもやすりの切削性能評価に取り組んでいる。独自開発したやすり切削性能試験機¹⁾や往復式摩擦摩耗試験機を用いて、被削材に対する切削量及び切削抵抗を指標とした性能評価を実施している。しかし、この方法では評価に時間を要する。そのため、やすりの目の形状から切削性能を迅速に予測する手法を開発²⁾し検討した結果、刃の切削方向に対する配置角度が切削性能に対して与える影響が大きいことが分かってきた。

本研究では、やすりの切削性能を迅速に評価することを目的として、刃の配置角度に着目し、切削性能を予測する技術の開発を行った。評価項目としては、被削材をやすりで切削した際の切削量と、切削後の表面粗さの2項目を用いた。

2 実験方法

2.1 やすりの選定

本研究では、刃の配置角度が制御しやすい複目やすりを対象とした。複目やすりは、先に刻まれる下目と、その上に交差する上目から構成されており、これらの目の方向とピッチによって、刃の配置角度（切削

方向に対する傾き）が決まる。切削性能予測モデルの構築に用いたサンプルは、図1に示すように、やすりの刃の配置角度が切削方向に対して0°、18°、44°となるように、下目の目数を調整し、角度のばらつきを±1°以内とした。また、3つの配置角度の条件に対して、上目の目数を25 mmあたり22、29、39、51、82の各5条件を設定し、合計15枚のサンプルを用いた。

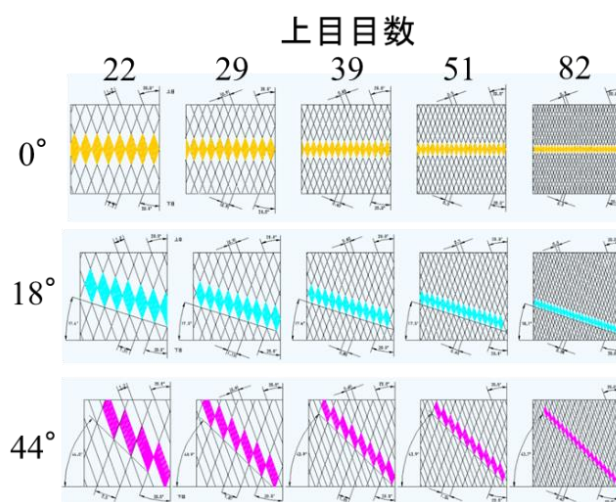


図1 予測モデルの作成で使用したやすり

2.2 表面性状パラメータの取得

図1に示した15枚のやすりについて、三次元形状測定機（キーエンス社製VR-3000）を用いて刃の表面形状を計測した。測定範囲は、やすりの長さ125mm、幅60mmのうち、やすり中央部の縦9mm×横12mmの矩形領域とし、この領域から三次元表面性状パラメータを取得した。取得した表面性状パラメータは、日本工業規格（JIS B 0681-2）³⁾に基づくものであり、表1に示すように、面粗さに関するものと、負荷曲線に関するものの2系統で構成される。各パラメータとやすりの切削性能（切削量および表面粗さ）との相関性を検討し、相関係数が高かったパラメータを用いて、切削性能の予測モデルを作成した。

表1 取得した表面性状パラメータ

取得方法	パラメータ
面粗さに関するパラメータ	Sa, Sz, Str, Spc, Sdr, Sq, Ssk, Sku, Sp, Sv, Sal, Std, Sdq, Spd, Sk, Spk
負荷曲線に関するパラメータ	Svk, Smr1, Smr2, Sxp, Vvv, Vvc, Vmp, Vmc

2.3 摩擦摩耗試験

切削性能の評価には、図2に示す摩擦磨耗試験機（新東科学株式会社製トライボギア TYPE40）を用いた。被削材には直径10mmのABS樹脂の丸棒を使用した。試験条件を表2のとおり設定した。

切削量は、試験前後における被削材の質量差によって評価した。また、試験終了後の被削材の切削面につ

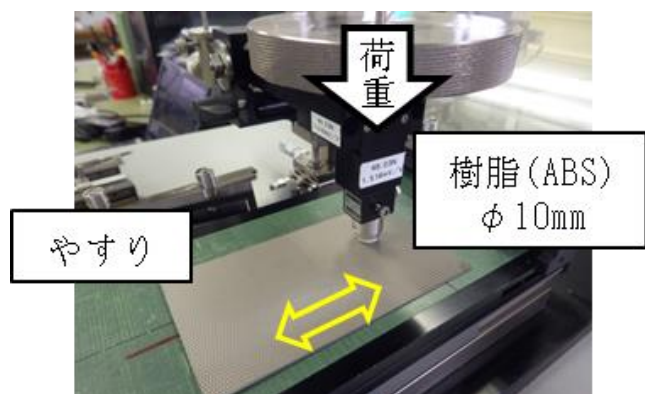


図2 往復式摩擦摩耗試験機

表2 摩擦摩耗試験の試験条件

項目	条件
垂直荷重[gf]	1000
摺動速度[mm/min]	3600
往復距離[mm/cycle]	60
摺動距離[mm]	3000

いて、小型表面粗さ測定機（ミットヨ製サーフテスト SJ-310）を用いて表面粗さを測定し評価した。粗さ測定は、切削方向に対して直交する方向に測定機を配置し、直径8mmの測定範囲で実施した。

2.4 切削性能予測モデル

摩擦摩耗試験により得られた切削量のデータを応答変量 y 、 p 個の表面性状パラメータを説明変量 $x_1, x_2, \dots, x_p$ とし重回帰分析⁴⁾により式(1)に示す回帰式を求め、これを切削量の予測モデルとした。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (1)$$

$\beta_i (i=0, 1, 2, \dots, p)$: 回帰係数

ε : 誤差

同様に、被削材切削面の表面粗さを応答変量とした重回帰分析により表面粗さの予測モデルも構築した。

さらに、これらの予測モデルの精度検証のため、12枚のやすりを新たに製作した。これらは、刃の配置角度が 0° 、 18° 、 44° の3条件に対して、上目の目数を25mmあたり25.5、34、45、66.5の各4条件としたものである。この12枚のやすりに対して切削性能を予測し、実測結果と比較することで、モデルの汎化性能および予測精度を確認した。

3 結果及び考察

3.1 上目目数と切削性能の関係

摩擦摩耗試験により得られた切削量と、やすりの上目目数との関係を図3に示す。上目目数が増加すると、切削量は指数関数的に減少し、最終的には0に近づく傾向が確認されたため、累乗近似を行った。同じ上目目数においては、刃の配置角度が大きいほど切削量が多くなる傾向が見られた。

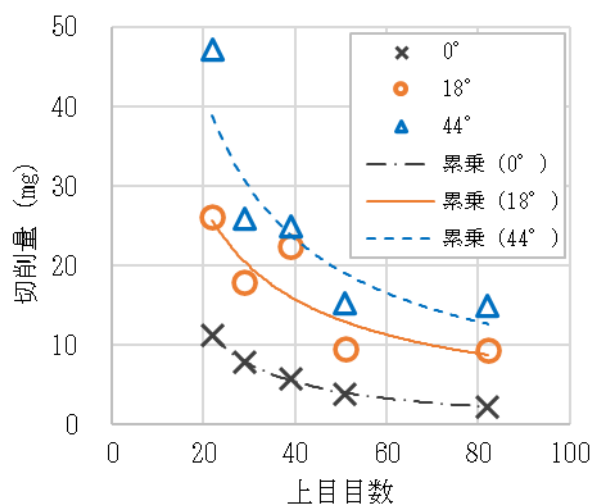


図3 上目目数と切削量の関係

同様に、被削材の表面粗さと、上目目数との関係を図4に示す。同じ上目目数で比較すると、配置角度が18°、44°、0°の順で被削材表面が荒くなる傾向が確認された。

同じ上目目数の時の切削量の値と配置角度の傾向、表面粗さの値と配置角度の傾向が、いずれも似ていると考え、配置角度ごとに予測モデルを作成することとした。

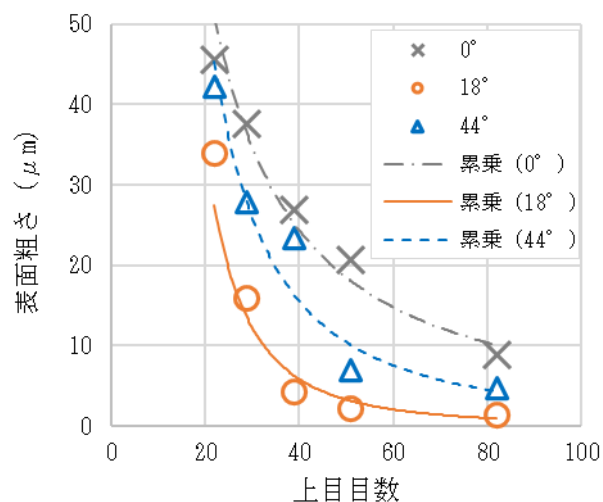


図4 上目目数と表面粗さの関係

3.2 表面性状パラメータと切削性能の関係

15枚のやすりに対して取得した三次元表面性状パラメータと、摩擦摩耗試験によって得られた切削量及び表面粗さとの間の相関係数を算出した。

まず切削量と最も高い相関を示した表面性状パラメータは、二乗平均平方根高さ (Sq) となり、刃の配置角度が0°の相関係数は0.99、18°は0.97、44°

は0.97であった。Sqと切削量の関係を図5に示す。なお、刃の配置角度で分類せずに一括で相関係数を算出した場合は0.60にとどまった。したがって、配置角度ごとに予測モデルを作成することで予測精度の向上が期待できる。

同様に表面粗さの値について相関係数を算出した。その結果、最も相関係数の値が大きかったのは切削量と同様に二乗平均平方根高さ (Sq) と切削量の相関となった。配置角度が0°時の相関係数は0.94、18°は0.97、44°は0.98であった。Sqと表面粗さの関係を図6に示す。また、配置角度ごとに分類しなかった場合の相関係数は0.80となり、こちらも刃の配置角度ごとの分割がモデル精度に寄与することが示唆された。

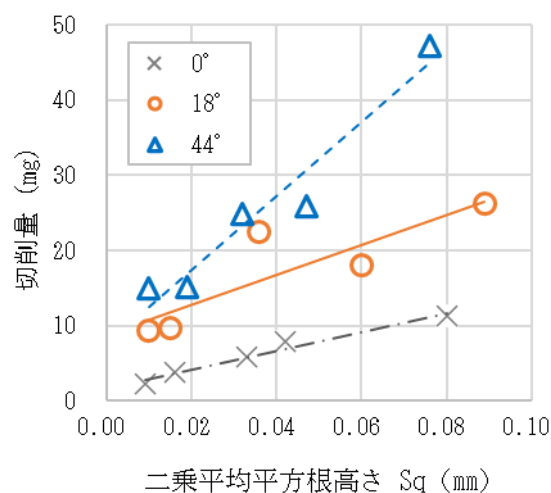


図5 Sqと切削量の関係

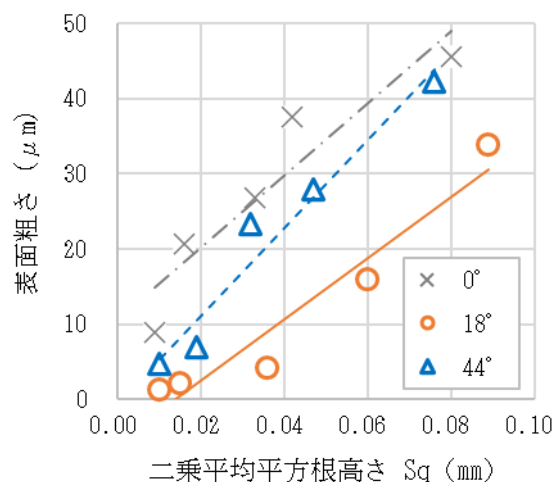


図6 Sqと表面粗さの関係

3.3 切削量予測モデルの作成

前述の分析結果に基づき、Sq を説明変数とし、切削量を応答変数とする回帰分析により式(1)に示す回帰式を求め、これを切削量予測モデルとした。当初は式(1)のように複数の説明変数を用いた切削量予測モデルを予定していたが、表面性状パラメータと切削量の相関が高く1つの説明変数でも予測が可能と判断し、式(1)の1つの項のみを用いた単回帰で切削量予測モデルを作成した。

この予測モデルの精度検証として、図1の別に製作した12枚のやすりに対し、予測値と実測値の比較を行った。その結果を図7にまとめた。

やすりの刃の配置角度が 0° のやすりの実測値と予測値を比較した結果、平均予測誤差は5.2%であった。またやすりの刃の配置角度 18° の平均予測誤差は3.7%、やすりの刃の配置角度 44° の平均予測誤差は6.0%であった。

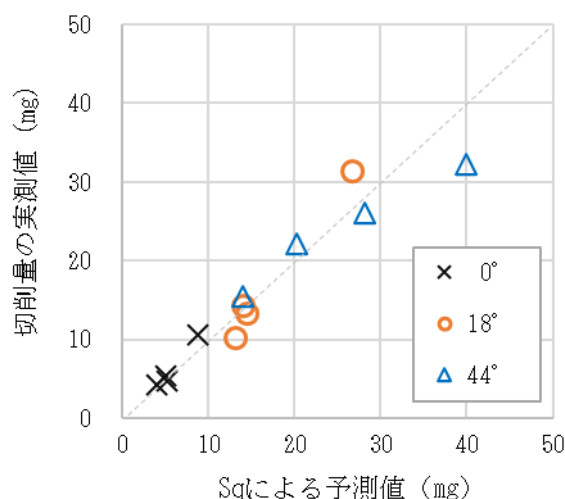


図7 切削量の予測結果

3.4 表面粗さ予測モデルの作成

表面粗さについてもSqを説明変数とし、同様の手法で回帰モデルを構築した。こちらも表面性状パラメータと表面粗さの相関が高く1つの説明変数でも予測が可能と判断し、式(1)の1つの項のみを用いた単回帰で表面粗さ予測モデルを作成した。さらに、表面粗さの予測モデルは将来的に細目、中目、荒目の3分類を予測することを目標としている。摩擦摩耗試験で得られた表面粗さのデータより、最小値の $0.9\mu\text{m}$ と最大値の $41.6\mu\text{m}$ を基準に以下のようにやすりを3分類し、これらに分類ができる予測モデルを作成した。

Ra1 : $14.5\mu\text{m}$ より小さい

Ra2 : $14.5\mu\text{m}$ 以上、 $28.0\mu\text{m}$ 以下

Ra3 : $28.0\mu\text{m}$ より大きい

予測モデルの精度検証用の12枚のやすりについて3分類のいずれになるか予測し、実測値との比較を表3に示す。実測と予測で分類が一致する部分を黄色塗りつぶしで表記しており、テスト用やすり12枚のうち11枚が一致し、一致度は91.7%であった。

表3 表面粗さの予測結果

	実測 Ra1	実測 Ra2	実測 Ra3
予測 Ra1	4	0	0
予測 Ra2	0	4	1
予測 Ra3	0	0	3

4 結 言

複目やすりにおける刃の配置角度と表面性状パラメータに着目し、切削量および表面粗さを予測する回帰モデルの構築を行い、次のことを明らかにした。

(1) 刃の配置角度ごとに表面性状パラメータと切削性能(切削量、表面粗さ)との相関係数を解析した結果、二乗平均平方根高さ(Sq)がいずれの性能指標とも高い相関を示した。

(2) Sqを説明変数とする回帰モデルを構築し、未知のやすりに対する切削量の予測精度を評価したところ、予測誤差は最大でも6.0%以内に収まり、高い精度で予測可能であることが確認された。

(3) 表面粗さについてもSqをもとに回帰式を作成し表面粗さを3分類したところ、実測と予測の一致度は91.7%となった。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、やすりの製作でMipox株式会社の皆様には多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 片岡他：広島県工業試験場報告，25(1982)9
- 2) 岩谷他：広島県西部工技研究報告，67(2024)5
- 3) 日本工業規格：JISB0681-2「製品の幾何特性仕様（GPS）－表面性状：三次元－第2部：用語、定義及び表面性状パラメータ」（2018）
- 4) 脇本他：多変量グラフ解析法、(1983)20