

## 4 負荷曲線データを活用した鉄工やすりの切削性能に寄与する形状パラメータの検討

藤本直也, 府山伸行, 長岡 孝, 石本洋介

Study of shape parameters contributing to cutting performance of a steel file using load curve data

FUJIMOTO Naoya, FUYAMA Nobuyuki, NAGAOKA Takashi and ISHIMOTO Yousuke

A steel file is frequently used as one of the hand tools, but the relationship between cutting performance and shape is still unclear. The performance evaluation of a steel file has been measured from the removal length and cutting resistance of the workmaterial using cutting test equipment. However, the relationship between the surface topography and the cutting performance is not known, so when a prototype is started with the aim of improving the cutting performance, it is very time-consuming to repeat the fabrication and testing of the prototype by groping repeatedly. In this study, the correlation between the shape parameters obtained from the load curve data of a steel file and the cutting performance was investigated. In addition, data analysis using machine learning and multivariate analysis was carried out with the aim of enabling the prediction of cutting performance from geometry parameters. The shape parameters contributing to the cutting performance were found.

キーワード：鉄工やすり, 形状パラメータ, 粗さ, 負荷曲線, 機械学習, 重回帰分析

### 1 結 言

鉄工やすりはハンドツールの1つとして多用されている。鉄工やすりの性能評価は、切削試験装置<sup>1),2)</sup>を用いて被削材の切削重量や切削抵抗から測定されてきた。これらの試験で性能評価指標を得るには長時間を要する。このため、切削性能の向上を狙って開発を行う際、何度も試作品の製作と試験を繰り返す必要があり、非常に手間を要する。本研究では、形状パラメータから切削性能を予測することを目的に、鉄工やすりの表面形状パラメータと切削性能について、相関性の検討を行った。

### 2 形状パラメータの取得

#### 2.1 やすりの選定

やすりの種類は、用途、切り目の形状、断面形状、サイズ・目の粗さによって区別される。本研究に用いたやすりは、鉄工やすり、切り目の形状は複目とした。また、切削試験装置との兼ね合いから、断面形状は平、サイズは200mm及び250mmとした。目の粗さは、粗目・中目・細目・油目を使用した。試験及び形状パラメータの取得に使用する面は上目側の面とした。サイズと目の粗さから上目数が決まる<sup>3)</sup>ため、目の粗さをそれぞれ0か1の2値で表すパラメータ、上目数はJISにおいて規定される値をパラメータとして設定した。試験には47本の試料を用いた。

#### 2.2 形状パラメータの取得

形状パラメータを取得するための入力データとして、形状データと負荷曲線<sup>4)</sup>データを活用する。これらのデータは、株式会社キーエンスのワンショット3D形状測定機VR-3000によって取得される。形状データは高さの点群データであり、一般的な形状パラメータである面粗さに関係する。一方、負荷曲線とは、表面凹凸の累積分布関数であり、「高さ方向に対する表面凹凸の実態部分と空隙部分の比を表現した曲線であり、特に実体部分の比率を示している」<sup>4)</sup>と定義される。これらを基に、輪郭曲線と負荷曲線の関係を模式的に示すと図1のようになる。図2はやすりの負荷曲線の例である。負荷曲線を活用することで、一般的な形状パラメータからでは数値化が難しい機能性に関するパラメータが得られる。負荷曲線から表1に示すようなパラメータを取得した。

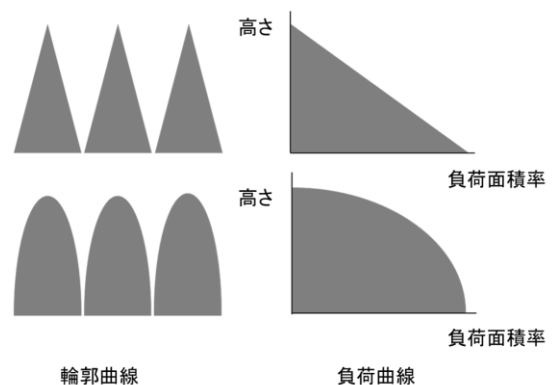


図1 模式的に示した輪郭曲線と負荷曲線の関係

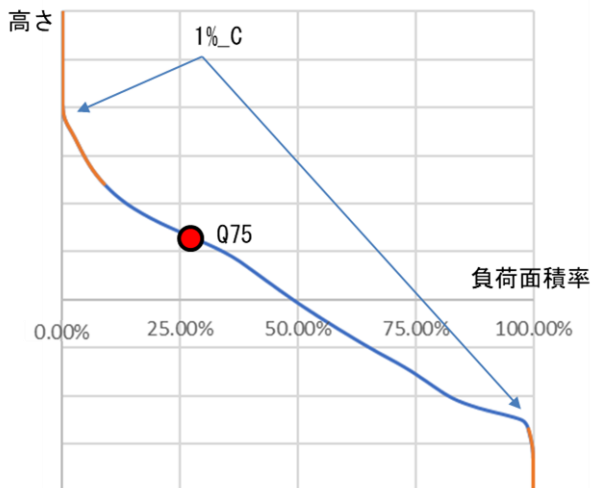


図2 鉄工やすりの負荷曲線の例

表1 形状パラメータ

| 区分 | 取得方法   | パラメータ   |
|----|--------|---|
| ①  | 切り目の形状 | size, arame, nakame, hosome, aburame, mesuu       |
| ②  | 形状データ  | Sa, Sz, Spc, Sdr, Sq, Ssk, Sku, Sp, Sv, Sdq, Spd  |
| ③  | 負荷曲線   | Sk, Spk, Svk, Smr1, Smr2, Sxp, Vvv, Vvc, Vmp, Vmc |
| ④  | 独自     | Q75, 1%_C   |

区分②及び③のパラメータは粗さや形状を表す指標として ISO<sup>5)</sup> 及び JIS<sup>6)</sup> にて規定されているものであり、VR-3000 から直接得られるデータである。これらに加えて、独自に考案した指標の中で、切削性能との相関係数が高かった以下の2つの指標を用いる。

- ・Q75：第三四分位数，負荷曲線の上位25%に相当する高さ。
- ・1%\_C：負荷曲線の高さを10 $\mu$ m毎に区切り，負荷面積率の変化が1%以下の区分を平坦部とし，それ以外の高さの合計値。

### 3 やすり試験

西部工業技術センターでは，やすりの切削動作を再現したやすり切削性能試験機を用いて，被削材の切削量からやすりの切削性能を評価してきた。図3に外観図を示す。やすり切削性能試験機の動作を以下に説明する。

- ① 被削材がピストンによって一定の力で，やすりに押し当てられる。
- ② 固定台に取り付けられたやすりが原点から所定の位置まで移動することで被削材を切削する。

- ③ 切削が終了すると被削材はやすりから離れ，やすりは，原点位置に復帰する。

なお，試験機は一定回数毎にブラシが摺動し，目詰まりを防ぐ。試験ではアルミニウムを被削材として，60Nの押し付け加重，摺動距離100mm，切削速度125mm/secの条件で，各100回の摺動を行った。試験終了後に切削された重量を切削性能として評価する。

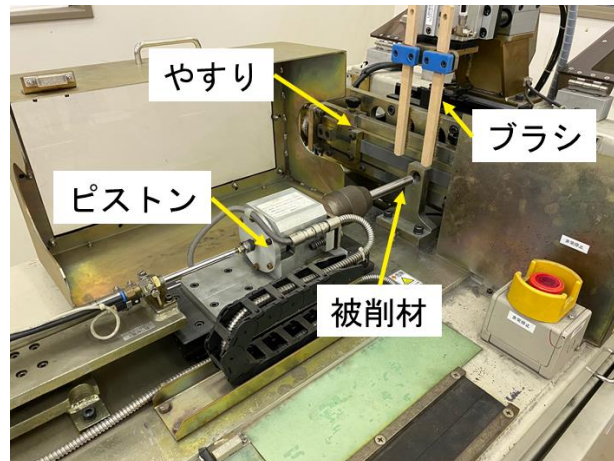


図3 やすり切削性能試験機

## 4 データ分析

### 4.1 データの相関性

形状パラメータと切削性能の相関係数を表2に示す。切り目の形状や目の粗さに関するパラメータについては相関が低く，刃先の形状や高さに関するパラメータ(Spc, Sku, Sk, Q75等)は比較的相関が高い。特に高い相関を示したSkuはクルトシス(尖り度)と呼ばれ，高さ分布の鋭さを表す。Sku=3で高さ分布が正規分布であり，Skuが大きいほど表面に鋭い山や谷が多いことを表す。図4にSkuと切削性能のグラフを示す。Skuが2以下の場合，切削性能は発散しているが，2以上の値でこの値が大きくなるほど切削性能が低くなる傾向がある。Spc, Q75及び1%\_Cいずれも切削性能との間に正の相関であることから刃先は尖っている方がよいと考えられるが，これらはSkuよりは相関は低い。ある程度突出している箇所が増えると初期摩耗により切削性能が落ちやすい等，最適な形状があることが考えられる。

表2 形状パラメータと切削性能の相関性

| 区分 | パラメータ   | 相関係数   |   | パラメータ | 相関係数   |
|----|---------|--------|---|-------|--------|
| ①  | arame   | -0.046 | ③ | Sku   | -0.587 |
|    | nakame  | 0.036  |   | Sk    | 0.362  |
|    | hosome  | 0.066  |   | Spk   | -0.29  |
|    | aburame | -0.093 |   | Svk   | -0.09  |
|    | mesuu   | -0.085 |   | Smr1  | -0.169 |
| ②  | Sa      | 0.269  |   | Smr2  | 0.217  |
|    | Sz      | 0.007  |   | Sxp   | 0.102  |
|    | Spc     | 0.419  |   | Vvv   | 0.061  |
|    | Sdr     | 0.238  |   | Vvc   | 0.272  |
|    | Sq      | 0.234  |   | Vmp   | -0.223 |
|    | Ssk     | -0.279 |   | Vmc   | 0.275  |
|    | Sp      | -0.055 |   | Q75   | 0.372  |
|    | Sv      | 0.101  |   | 1%_C  | 0.341  |
|    | Sdq     | 0.231  |   |       |        |
|    | Spd     | -0.073 |   |       |        |

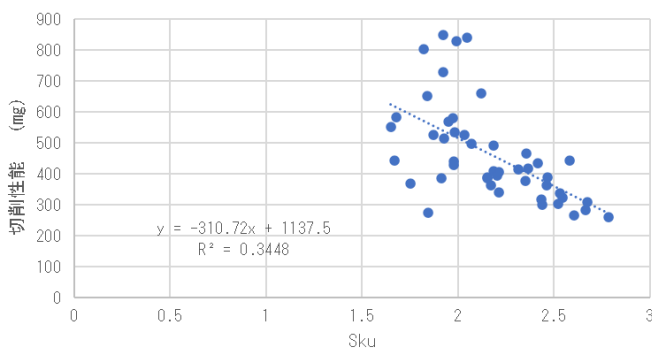


図4 Sku と切削性能の相関

#### 4.2 重回帰分析と機械学習

形状パラメータを標準化した後、重回帰分析と機械学習による分析を試みた。表3に重回帰分析の回帰統計を、表4に使用したパラメータの分析表を示す。

表3 回帰統計

| 回帰統計   |         |
|--------|---------|
| 重相関 R  | 0.764   |
| 重決定 R2 | 0.584   |
| 補正 R2  | 0.497   |
| 標準誤差   | 110.901 |

表4 分析表

|       | 係数      | 標準誤差   | t     | P-値  | 下限 95%  | 上限 95% |
|-------|---------|--------|-------|------|---------|--------|
| 切片    | 425.11  | 18.87  | 22.53 | 0.00 | 386.90  | 463.31 |
| mesuu | -31.19  | 46.08  | -0.68 | 0.50 | -124.47 | 62.09  |
| Sa    | -305.84 | 137.66 | -2.22 | 0.03 | -584.51 | -27.17 |
| Spc   | 24.15   | 10.74  | 2.25  | 0.03 | 2.41    | 45.89  |
| Sku   | -57.08  | 33.43  | -1.71 | 0.10 | -124.76 | 10.59  |
| Sk    | 54.14   | 46.51  | 1.16  | 0.25 | -40.02  | 148.30 |
| Vvv   | 11.03   | 37.39  | 0.30  | 0.77 | -64.65  | 86.72  |
| Q75   | 188.87  | 140.23 | 1.35  | 0.19 | -95.00  | 472.74 |
| 1%_C  | 35.45   | 122.26 | 0.29  | 0.77 | -212.04 | 282.95 |

機械学習においては、Linear SVM (Support Vector Machine) を用いて、チューニングするパラメータ、使用する形状パラメータ数・種類を変動させ、4:1 の交差検証で最適であったモデルを使用した。

重回帰分析と機械学習の結果を図5及び表5に示す。切削性能の平均値に対する予測値の誤差が機械学習で13.7%、重回帰分析で16.3%となっている。この誤差は今後サンプル数を増やしていくことや、より適切な形状パラメータを検討していくことで精度の高い予測ができるようになると思われる。

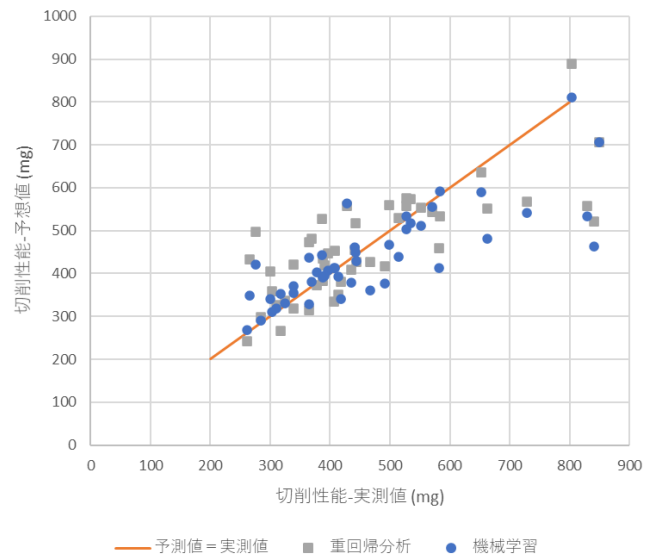


図5 重回帰分析及び機械学習

表5 重回帰分析と機械学習の比較

|                  | 単位 | 重回帰分析 | 機械学習  |
|------------------|----|-------|-------|
| RMSE (二乗平均平方根誤差) | mg | 102.3 | 101.5 |
| MAE (平均絶対誤差)     | mg | 75.4  | 63.6  |
| MAE/切削性能の平均値     | %  | 16.3  | 13.7  |

## 5 結 言

鉄工やすりの形状パラメータと切削性能の相関係数を確認することで、刃先の形状や高さに関連するパラメータが切削性能に寄与していることが分かった。特に Sku は相関が強く、初期摩耗に関連して最適な形状があると考えられる。また、機械学習により、重回帰分析よりも精度の高い性能予測をすることができた。今後、サンプル数を増やし、より有効なパラメータを検討していくことで、表面形状からの性能予測を実用性が高いレベルで実現することが期待できる。

## 文 献

- 1) 片岡他：コンピュータを利用したやすりの切れ味・耐久試験の開発，広島県呉工業試験場報告，No. 25. pp. 9-11 (1982)
- 2) 吉田他：形削り盤を利用したやすりの切削試験装置の構築，北海道科学大学研究紀要第 47 号 (2019)，寒地戦隊材料研究所特集
- 3) 日本工業規格：B4703-1966「鉄工やすり」(1966)
- 4) 吉田一郎：表面粗さ—その 2 ちょっとレアな表面形状パラメータの活用方法—，精密工学会誌 Vol179. No. 5 (2013)
- 5) 日本工業規格：JISB0681-6「製品の幾何特性仕様 (GPS) —表面性状：三次元—第 6 部：表面性状測定方法の分類」(2014)
- 6) 日本工業規格：ISO25178-6：「Geometrical product specifications (GPS)— Surface texture: Areal— Part 6: Classification of methods for measuring surface texture (IDT)」(2010)