表面あらさの生成について(第1報)*

—— バイト刃先あらさのレプリカ ——

岩 城 晃** 森 昌 幹***

On Mechanism of generating Surface Roughness (1st Report)

—— Replica on the Finished Surface by Roughness of the Cutting Edge ——

by Akira IWAKI and Masaki MORI

We have considered one of their factors to find out the mechanism of generating surface roughness, that is, replica on the finished surface by roughness of the cutting edge. In order to estimate the degree of replica we use multiple correlation coefficient, $r_{i,18}$ and $r_{i,12\cdots i-1}$; in Fig. 4 R_1 is the roughness of the edge before cutting, R_2 is that of after cutting and $R_2, \cdots, R_7$ are those of the surfaces at six sorts of cutting depth in axial direction. In the results the deeper the surface is cut, the rougher its profile becomes and the degree standardized by roughness of edge is in proportion to their Brinell hardness. While replica is better in oil cutting than in dry and the order for these materials is the following; — brass, copper, mild steel, hard steel, and cast iron. Also cutting depth at maximum value of $r_{i,12\cdots i-1}$ is most suitable one for the material because $r_{i,12\cdots i-1}$ means stability of generating roughness.

1. 緒 言

工作物の表面あらさは一部の製品ではその程度が直接品質を左右し、また他のものではその形状が部分の物理的、化学的性質に関係し製品の寿命に影響することはすでに知られるとおりである⁽¹⁾⁽²⁾。ところで工作物の表面あらさは加工条件と被削材の性質によっておよそ定まるものとはいえ、普通加工後、精密な測定によって初めて明らかにされるもので、実際に生成されるあらさを事前に推定することはその形状はもちろん、その程度についてもきわめて困難である。それゆえまずあらさが生成される必然性、すなわち生成機構を知ることは工作上における基礎研究としてたいせつなものと思われる。

本論文ではバイト加工におけるあらさ生成の機構としてまずバイト刃先あらさのレプリカについて述べるが、レプリカにはあらさの程度のみならず形状についても考慮しなければならないから、その評価にバイト刃先あらさの表面曲線と被削面あらさの表面曲線との相関性の程度をもってする。

2. 旋盤加工における被削面あらさの例

通常の旋盤加工では、工作物に食込む刃幅が送りの

ピッチより一般に大きく、また刃先のあらさに比し効果的な曲率があるため生成されるあらさは多くの場合のある波形の連続状態になる。第1図は削り速度を2 m/mnに固定し、切込み深さを4段階に変えた場合の銅、黄銅、軟鋼、硬鋼、鋳鉄の切削例である。図はいずれも曲率のある刃による旋削時特有の形状をなし、波形は給油の場合にそうなので切削時の潤滑効果がうかがえる。また切込み深さと波形の高さ、すなわちあらさの程度との関係は一義的には定め難いが、材質により定まる所のある切込み深さまではいちおう比例的でそれ以上ではかえって減少する⁽³⁾。さらに材質相互を眺めると旋削時の特有な波形の中にも材質による形状の相異と、レプリカとおぼしきものが認められる。

しかしいずれにしてもバイト刃先あらさのレプリカは曲率と送りとの効果にかくされがちであるから、主題の目的に沿うためには切削が重ならないようにし、かつ直線刃のバイトを用いる方が効果的である。

3. 実験の内容

前節を参考にして変量を材質、切込み深さ、バイト刃先あらさ、給油の有無として角ねじ切削の方法を採用する。

工作物：銅 Cu, 黄銅 Bs, 軟鋼 FeS, 硬鋼 FeH, 鋳鉄 FeC の5種の材質によって作られた外径 25 mm, 全長 150 mm の丸棒にピッチ 3 mm, 谷径 0.5 mm

* 昭和31年3月6日 九州支部大牟田地方講演会において講演、原稿受付 昭和31年12月10日。

** 正員、九州工業大学。

*** 正員、福岡県立八幡工業高等学校。

第 1 図

の角ねじ形を正確に作り、ねじ山の面は初めのあらさの影響が入らないようにするため鏡面に仕上げこれを被削面とする。第 2 図はこの形状を示す。

バイト：第 3 図のものをを用い、研摩直後の刃先の非定常な状態は黄銅を軽く切削することによって安定させ、バイト刃先近くの逃げ面を切刃に直角に精密に仕上げる。

切削：削り速度は一様に 2 m/mn とし、刃幅 2.5 mm に対して 3 mm/rev の送りをかけ、切刃の角を工作物の角ねじ側面に正確に合わせ切削する (第 4 図

第 2 図

第 3 図

説明図参照)。切込みは被削面にに対し約 1/100 のテーパで行い、送りにしたがって 0~0.6 mm 程度の切込み深さに対する資料が得られるようにする。潤滑には種油を用い無給油の場合と比較する。ただし鋳鉄はすべて無給油とする。

測定：あらさの測定はバイトについては研摩直後、切削前後の 3 回をバイトのくさび角の二等分線方向から線接の触針を用いて行い、被削面については切込み深さを 6 段階に分け軸方向にそれぞれ点接の触針を用いて行う。測定には大越式あらさメータを用いる。倍率は縦 1000 倍、横 50 倍であるがさらに幻燈で 5 倍に拡大し、後の解析の便に資する。

4. 実験結果の解析

実験結果のあらさの表面曲線を各材質ごとに一通り示すと第 4 図のようになる。いちおう図から、レプリカの程度は材質によって相当異なり、給油の効果もある程度期待されることがわかる。

さて第 5 図のようにあらさの表面曲線の平均線を横軸に、バイト刃先端点を通る垂線を縦軸にして、各表面曲線を原点から実長 0.02 mm 間隔で垂直に分割

し、互に対応する縦座標値から共分散を、また個々の高さからおのおのの分散を計算する。

すなわち、切削前のバイト刃先あらさに対して変数 x_1 を、6 段階の切込み深さ $\delta_1 (=0 \sim 0.1 \text{ mm})$, $\delta_2 (=0.1 \sim 0.2 \text{ mm})$, ..., $\delta_6 (=0.5 \sim 0.6 \text{ mm})$ における被削面あらさに対してそれぞれ変数 $x_2, x_3, \dots, x_7$ を、さらに切削後のバイト刃先あらさに対して変数 x_8 を与え、それぞれの表面曲線を横方向に実長で 0.02 mm の間隔に N 等分し、それらの変数の実測値をそれぞれ $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1N}$; $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2N}$; ...; $x_{81}, x_{82}, \dots, x_{8N}$ とすれば単相関係数はそれら 2 組の変数、たとえば (x_1, x_2) の密度関数 $f(x_1, x_2)$ について

$$\rho_{12} = \rho_{21} = E[x_1 \cdot x_2] / D[x_1] \cdot D[x_2]$$

ただし

$$E[g(x_1, x_2)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x_1, x_2) f(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$

$$D^2[g(x)] = E[\{g(x) - E[g(x)]\}^2]$$

で定義される。

数値計算では

$$r_{12} = r_{21} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{1i} \cdot x_{2i})}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{2} x_{1i}^2 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} x_{2i}^2} \dots (1)$$

となる。

また重相関係数はたとえば x_1, x_2, x_8 の 3 変数の密度関数 $f(x_1, x_2, x_8)$ と x_1, x_8 の変数値を指定した密度

第 4 図

第 5 図

関数 $f(x_2|x_1, x_3)$ について

$$\rho_{2,15} = E[x_2 \cdot x_2^*] / D[x_2] \cdot D[x_2^*] \\ = \sqrt{1 - P/P_{22}} \dots \dots \dots (2)$$

で定義される⁽⁴⁾.

ただし $P = |\rho_{ij}|$

P_{22} は行列式 P における ρ_{22} の余因数.

それゆえ数値計算では行列式 P を元素 $r_{11}, r_{22}, \dots, r_{88}$ で置き換えた行列式 R とその余因数 R_{22} とで求められる.

もちろんここでは x_2 と x_1, x_3 との間などに線形性を期待し, また重相関係数もそれ自身ではあまり意味を持つものではないが⁽⁵⁾, 実験結果のような系列的はそれらの値の相互比較は意味のあることがいえる.

5. 考 察

(i) 切込み深さと生成されるあらし まず切込み深さとできたあらしの程度との関係を求めると,

第 6 図

第6図のようになる. 図はあらしの程度に標準偏差 $\sigma\mu$ を用いてこれを縦軸にとり, 切込み深さ δ mm を横軸にとったもので, 一見してそれらは切込みが深くなればあらしの程度も大きく⁽⁶⁾, その傾向は材質によって異なり, またバイト刃先あらしの大きいほど大きなあらしを生成することがわかる.

いまここに FeC も加えて給油の場合について切削前のバイト刃先あらしの標準偏差 σ_b で被削面あらし σ_w を除して標準化し, それらの平均値と切込み深さ

との関係を調べると第 7 図 (a) のようになり線形性が認められる。よってこれらは一般に一次式

$$\sigma_w/\sigma_b = \sigma = A + B\delta \quad \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。ただし A および B はそれぞれ材質によって定まる定数、 δ は切込み深さで式の適用範囲はおおよそ 0.4 mm 以下である。ここに方向係数 B と各

第 7 図

材質のブリネルかたさ H_B との関係と求めると、第 7 図 (b) のようになって かたさに比例することがわかる。よってバイト加工で生成される あらさは一般に切込み深さが増せばその材質の かたさに比例してあらくなることはいえる。一方定数 A には諸効果が入りこの実験精度では図から定め難い。切込み深さは切削前後の あらさ の平均値の変化を考えるのが妥当であるから少くとも $\delta=0$ の近傍では、たとえば非切削完全塑性成形では $\sigma_w/\sigma_b=1$ が存在し、可塑的ないし快削的生成では $\sigma_w/\sigma_b < 1$ 、また急激な生成では当然となることが想像される。ゆえに塑性変形も含めて一般に A は加工性にかかわる定数となることがいえ、この意味で評価すれば図から黄銅、銅、軟鋼、鋳鉄、硬鋼の順に加工性のあることがわかる⁽⁷⁾。

次に生成された あらさ の形状と切込み深さとの関係を調べると第 8 図のようになる。(a) は横軸に切込み深さを、縦軸に単相関係数 $r_{i,i+1}$ ($1 < i < 7$) をと

第 8 図

たもので、被削面の あらさ の形状が切込み深さが 1 段階ずつ異なった隣同志の表面曲線ではどのように似るかを各切込み、深さについてプロットしたものである。(b) はやはり横軸に切込み深さを、縦軸に重相関係数 $r_{i,i+2}$ ($1 < i < 8$) をとったもので、各切込み深さにおける被削面の あらさ をバイト刃先あらさを含めてそれまでに生成された あらさ で線形的に想定した場合、それとどれほど似るかを示すものである。図 (a) からわかるように黄銅は切込み深さが異なってもほとんど同じ形状の あらさ となり銅も同様であるが黄銅ほどには相互に似ない。軟鋼はばらついて正確にはわからないが、切込み深さが浅い所では類似した形状となり深くなれば似なくなる。硬鋼は切込み深さに関係なくあまり似ない。鋳鉄は相互にほとんど似ないが切込みが深くなるにつれてやや似る傾向にある。しかしそれが標本変動にかくされているのでこれ以上は言及できない。

さて あらさ が似ることは外因的なバイト刃先あらさが同形であることと、もう一つは内因的な材質による成形性とか考えられるから、重相関係数 $r_{i,i+2}$ の図 (b) はそうした考慮のもとにこの切削条件で各材質が示す あらさ の生成能力の表現とも考えられる。それゆえそれぞれの凹曲線の極大値の存在はその切削条件で最も良く写された あらさ を生成していることを示している。逆にいえば自然な あらさ を乱れなく生成させるところの最適の切込み深さを各材質について示していることがわかる。ただ図では多少ばらついて明確な値を示し難いが、おおよそ図 (c) のようになる。たとえば硬鋼では最適切込み深さは $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ となる。

(ii) バイト刃先あらさのレプリカ 切削中のバイト刃先あらさを知ることは不可能であるからもちろん正確さは期し難いが、切削距離がある程度短かければ、相当程度切削前後の刃先あらさによって推定できる。まず切削前後のバイト刃先あらさと生成された被削面あらさととの単相関係数について眺めよう。第 9 図は切削前および後のバイト刃先あらさと被削面あらさととの単相関係数 r_{1i} および r_{2i} ($1 < i < 8$) を給油と無給油の場合について示す。一般に点列の乱れるのは構成刃先の発生、脱落にもよるが⁽⁸⁾、推定の自由度に基づく標本変動もかなりあるものとしてよく、実際はもっと

と落着くであろう。

銅は単相関係数の値から十分な写りを示すことがわかるが軟金属特有の圧接による塑性変形のため給油無給油ではほとんど変らない。潤滑効果はその変動の小なることから十分認

第 9 図

められる。黄銅は完全に近く写り、給油の場合構成刃先は あらさ の表面曲線に沿って一様に分布流転し、切削後はバイトに残るため切削前のバイト刃先あらしの表面曲線との相関がよく切削後のそれとは悪い。他方無給油では流転が悪いから切削後の刃先に近い状態となって切削前のものとの相関の方が悪い。軟鋼は相当写されているが構成刃先の発生乱れにより大きな変動を示す。硬鋼はあまり写らないが給油すればある程度レプリカが認められる。鋳鉄ではほとんど写らないことがわかる。

さて常識的に切込みの浅い所では切削前の刃先あらしに、深い所では切削後のそれに似るはずであるが、実際には認められないことから切削前後の刃先あらしで相当程度の推定を期待してよいことがわかる。したがってここに線形性を期待し両者から推定される回帰面を考え、それと被削面あらしとの相関によって一般にレプリカの相対的評価としうる。第 10 図は横軸に切込み深さを、縦軸に重相関係数 $r_{i,18}$ ($1 < i < 8$) を

第 10 図

とったもので (a) は給油 (b) は無給油の場合を示す。銅、軟鋼、硬鋼では顕著な差がなく、特に無給油では認め難い。いまこれから推定されるレプリカの程度を図示すれば (c) のようになる。すなわち給油の場合黄銅、銅、軟鋼、硬鋼の順に、無給油の場合に黄銅、軟鋼、銅、硬鋼、鋳鉄の順に悪くなっており、これらは第 7 図における加工性の順とはほぼ一致している。これは材質に固有なあらさ生成能力があることを示すものといえよう。なおレプリカの程度はもちろん切削条件によるわけであるから削り速度 10 m/mn の場合についても若干の同様な実験を試みた結果レプリカの順位に多少の変化が認められたが、繰返しによるばらつきが 2 m/mn の場合より大きいので、むしろ大差なしとした方がよいように考えられる。

6. 結 語

さて以上の結果を要約すれば、通常の施盤加工で生成される あらさ は送りがかかる時は送りによるある波形を描き、その整いは材質や切込み深さ等に関係するが、それらを固定すればもちろん無給油より給油の場合の方がよい。また送りが荒くなれば波形のほか刃先の あらさ のレプリカが入り、複雑な波形の連続状態を呈する。

バイトを深く切込めば一般に被削面の あらさ はあらかなくなるが、その割合は被削材のブリネルかたさに比例する。また切込みの最初に生成される あらさ の程度は刃先あらしの程度以下の場合と、以上の場合とがあって、概して軟金属では以下となり、硬鋼程度のかたさ では以上となる。これらは被削材の加工性に関係するものと考えられる。

一方あらしの形状を刃先の あらさ で生じた流線のようにみなした時、その乱れはある切込み深さで最も少い時があり、その時を最適切込み深さとして、第 8 図 (c) の結果が得られる。これは削り速度 2 m/mn の時であるが、10 m/mn の時も 5 節の最後に述べた事情からこのまま成立つように考えら

れる。

次にバイト刃先あらさのレプリカは、切削前後の刃先あらさと生成された被削面の あらさ との相関程度が前と後に関してはほとんど変わらないところから、切削中の刃先あらさを切削前後の あらさ で線形的に評価し、それとの相関程度で相互を比較すれば、一般に無給油よりも給油の場合の方が刃先あらさが良く写されることがいえ、その程度は第 10 図 (c) に示すようになる⁽⁹⁾。

最後に本研究に際しこれを卒業論文として御協力下さった出光興産の山崎君とばく大な数値計算を手伝わ

れた中村君に厚く感謝いたします。

文 献

- (1) 石橋 正, 金属の疲労と破壊の防止, 1954.
- (2) G.C. Noll, 外, *Proc. exp. Stress Analy.* など.
- (3) 大越 諄・竹中規雄, 切削技術の進歩, p. 29.
- (4) H. Cramér, *Mathematical methods of Statics*, Princeton Univ., 1951.
- (5) 佐藤良一郎, 数理統計学, など.
- (6) 竹中規雄, 東京大学生産技術研究所報告, 1 巻 6 号.
- (7) 砂本 章, 機械の研究, 7 巻 7 号.
- (8) (6) に同じ.
- (9) 奥島啓式・亀山訓夫, 機械学会関西支部 第 31 期定時総会講演会前刷 (昭 31-3-20).

621.9.015

表面 あらさの生成について (第 2 報)*

— 初めのあらさの残効 —

岩 城 晃** 森 昌 幹***

On Mechanism of generating Surface Roughness (2nd Report)

— After-Effect of Initial Roughness on the Finished Surface —

by Akira IWAKI and Masaki MORI

We have subsequently considered after-effect of initial roughness on the finished surface. Primarily the projections of the small screws of the five sorts of material as a model of roughness are cut by a straight lapped edge and then the forms at the cut points are observed. Secondly the rough surface of the same material is cut in the same way and the profiles after finishing are compared with those before finishing with singular correlation coefficient, r . All these coefficients are lower than the coefficient, ρ in the case of geometrical cutting and this is concerned with result in model experiment. It is caused by pressing effect in shallow range and by built up edge in deep range. So a coefficient $|\rho-r|/(1-\rho)$ is convenient to estimate the after-effect. It varies according to material, cutting condition and gradually begins to vanish with the depth oner height of roughness.

1. 緒 言

工作物の表面あらさが生成される必然性として、第 1 報⁽¹⁾ではバイト刃先あらさのレプリカを考え、生成される あらさ とバイト刃先あらさとの相関性を調べ材質によりかなりのレプリカを認めた。本報ではこのほかにいま一つの因子として仕上前の あらさ が仕上後の あらさ に及ぼす影響、すなわち初めの あらさの残効を考える。これはたとえばポリシングや電解研磨ではその下地の あらさ が問題になると類似している。ここではバイト仕上において切込み深さがあ

らさの谷の深さ程度の軽切削の場合について考える。またこの場合も、構成刃先が多かれ少かれ発生するから、あらさを介してその動向も調べることにする。

2. 模 型 実 験

バイト加工には凸凹を切り落して平滑化する仕上過程もあるから、これを あらさ の模型として考察すれば普通の粗面を軽切削する場合のよい参考となろう。実際一つの山が切削される時その切口の状況とか相互の関係は山の形状、被削材の性質、構成刃先の状況などでかなり異なり、あらさの残効の主要部分もそれらで占められることが想像される。ゆえにまず模型実験によってその定性的な傾向を調べる。実験要領は あらさ の山を細かいピッチのねじ山で模型化し、直線刃バイトで切落し、その切口の表面曲線の平均線観を

* 昭和 31 年 10 月 12 日 九州支部 小野田地方講演会において講演、原稿受付 昭和 31 年 12 月 10 日。

** 正員, 九州工業大学。

*** 正員, 福岡県立八幡工業高等学校。