

引張切削加工の研究 I

仕上面アラサに対する軸圧の影響について

宇 都 竜 行

A Study of Metal Cutting with the Tensile Load. I
Effect of Axial Load on the Roughness of Obtained Surface.

Tatsuyuki Uto

I. 緒 言

金属切削加工に於て、旋削に関する研究は歴史的にも古く、又多くの発表がなされている。その結果、今日の工作機械の発達はめざましく熟練者をあまり必要とせず、未熟練者でも使用出来るようになりつつある。しかしそれほどの発達、自動化にもかかわらず今日なお問題とされているのはびびり現象の究明とその防止策である。びびり現象の解明は名古屋大学土井静雄、加藤仁、黒田二郎氏¹⁾らによってなされ、ほとんど究明されたものの、他方防止策は現象の原因が幾多の要素を含むために依然として、切削技術と機械の静、及動剛性による解決を待つというのが現状²⁾である。

筆者は43年度卒論において「切削加工の動力学」³⁾なる研究を指導したさい、研究の中心を被削材の回転運動による挙動においた。その結果、被削材に引張りの軸圧を作用させると固有振動数が高くなり、びびりを防止する一策となりうるとの結論を得た。しかしながら今日の工作機械による切削加工はすべて被削材に圧縮の軸圧を作用させ、固有振動数を高めるために、センター、或いは、振れ止めを使用している。今日まで研究発表されているすべての論文は圧縮の軸圧であり、引張りの軸圧を作用させた旋削の研究は皆無のようである。びびり現象と表面アラサの間には密接な関係があることは衆知のことである。以下の研究は棒鋼に引張り、圧縮の軸圧を作用させた時、軸圧が切削抵抗の三分力、及び表面アラサにいかなる影響をあたえるかを検討したものである。

II. 実 験 装 置

実験装置は振り360mm、長さ500mmの鷲野製旋盤を使用した。圧縮軸圧の場合は附属品の心押し台を使用し、引張り軸圧の場合は古いボール盤の主軸を生かし、その主軸に新しい3つ爪スクロールチャックを取りつけた。被削材への荷重は、主軸にあるスラスト軸受を介して作用させるよう設計製作した。Fig. 1の太線部が製作したもので、Photo. 1は引張り主軸部の写真である。主軸チャックは6号、従軸チャック(引張側チャックとする)は4号、ロープは1号(6×7)径10mmである。バイトはタンガロイチップ(14.4×3×0.8)で、使用ホルダー型番はTX 33-3である。測

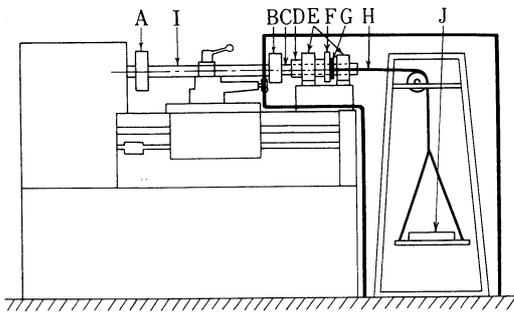


Fig. 1. 実験装置

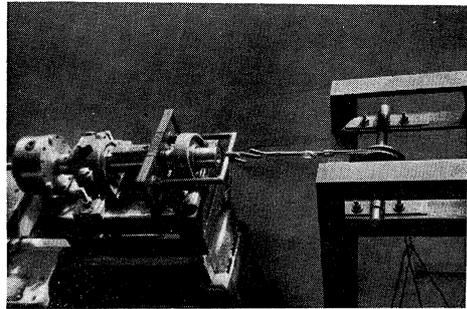


Photo 1. 引張主要部

定装置は工具動力計(主分力 300kg, 送り分力 200kg, 背分力 150kg), ストレンメーター, 電磁オシロ, 及びデルタ触針式表面アラサ計を使用した。

Fig. 1 に於て A; 主軸チャック, B; 従軸チャック, C; 従軸側主軸, D; スリーブ, E; 軸受 F; 荷重受け板, G; スラスト軸受, H; ロープ, I; 試験材, J; 重錘である。

III. 実験方法

表面アラサに影響する要素としては機械の剛性, 主軸の精度, 工具の材質, 被削材の材質, 切削条件等多々あるが, $L/D > 15$; (L は長さ, D は直径) の場合びりやすい²⁾ と言われている。特に径の 20mm 以下はそうである。そこで筆者は 20mm の棒鋼を試料にした。被削材は市販の棒鋼いわゆる軟鋼 (C 0.14%, 降伏応力 18.9kg/mm² 程度) で, 先ず Fig. 2 のように 6-S 程度に仕上げておく。

Fig. 2 において, (イ), (イ') 部はすべり止め, (ロ), (ロ') はチャックつかみ部, (ハ), (ハ') 部は試験面である。引張りの時は (ハ) を切削し, 圧縮の時は (ロ') を主軸チャックにつかみ, (ハ')

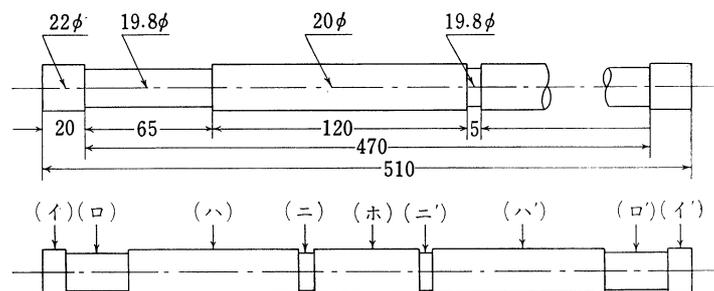


Fig. 2. 試験片

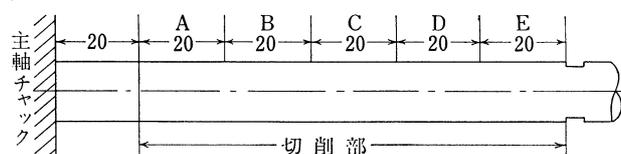


Fig. 3. A, B, C, D, E 部説明図

を切削した。(ホ)の部分は(ロ), (ロ')の径の微小減による曲げ剛性への影響を減ずるために残した。途中の切欠はバイトの食いつきをよくするためであるが, 応力集中を受けない程度の 0.1 mm の深さである。次に(ハ), (ハ')部を主軸チャックに取り付けた時の主軸チャックからの距離によるアラサを比較するために, Fig. 3 のように A, B, C, D, E の5区に区分した。Fig. 2, Fig. 3 共に寸法は製図上適当にとった。

切削条件は切込み $t = 0.2\text{mm}$; 送り $S = 0.04\text{mm/rev}$; 回転数 $N = 1020, 1800\text{rpm}$; 軸圧 $T = -60\text{kg} \sim +10\text{kg}$ (但し-は引張軸圧, +は圧縮軸圧); バイト取り付け角 $\gamma = 90^\circ$; 切削油使用。以後 t, S, N, T, γ の記号は省略する。軸圧は引張りの時は重量既知の重錘をかけ, 圧縮の時は環状圧力計にて測定の上軸圧をあたえた。

各軸圧毎にE部より切削を始め, 三分力ひずみを各区分毎に電磁オシログラフに記録し, その仕上面アラサを触針式表面アラサ計で測定し, ひずみ及びアラサは平均値を求めた。

IV. 実 験 結 果

切削抵抗の大きさとひずみは比例するのでひずみ量で表わした。Fig. 4 は 1020rpm, 0.2mm, 0.04mm/rev の時の各軸圧に対する3分力ひずみ量及び表面アラサの変化曲線である。Fig. 5 は 1800rpm, 0.2mm, 0.04mm/rev の時の各軸圧に対する3分力ひずみ量及び表面アラサの変化曲線である。尚 Photo 2 は 1020rpm, -30kg ; Photo 3 は 1020rpm, $+5\text{kg}$; Photo 4 は 1800rpm, -20kg ; Photo 5 は 1800rpm, $+5\text{kg}$ の場合の表面状態であって光学顕微鏡で 100 倍の拡大写真である。なお, E部のアラサ測定は測定器の都合上できなかった。結果の検討は考察においてすすめる。

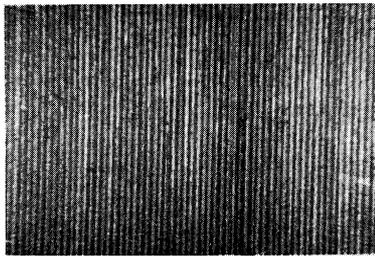


Photo 2. 1020rpm -30kg

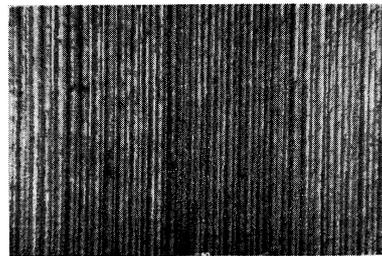


Photo 3. 1020rpm $+5\text{kg}$

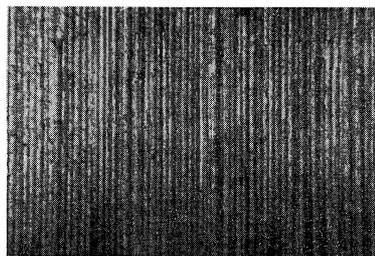


Photo 4. 1800rpm -20kg

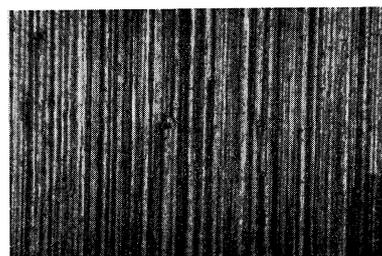


Photo 5. 1800rpm $+5\text{kg}$

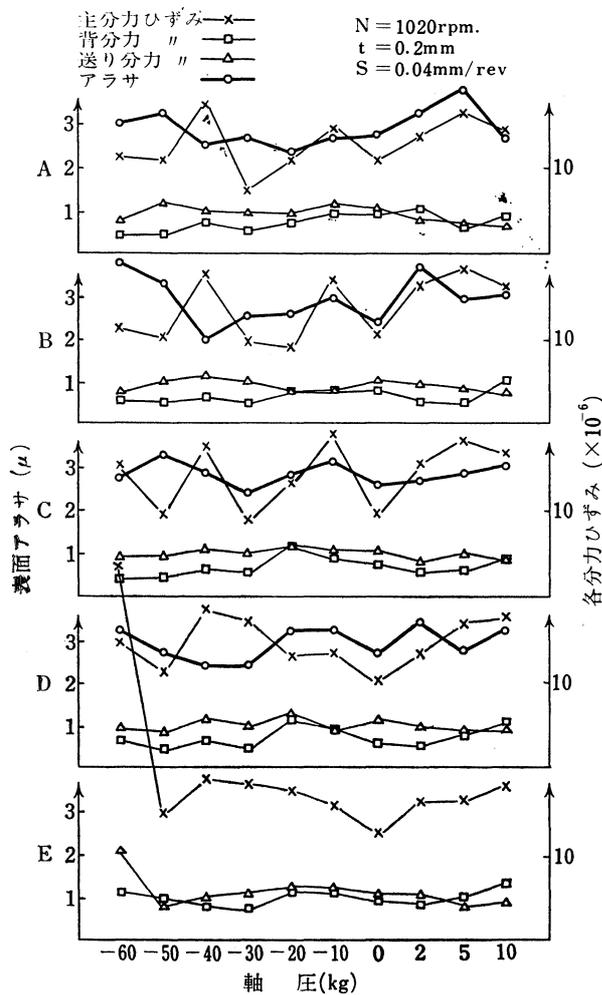


Fig. 4. 軸圧と各分力ひずみおよびアラサ

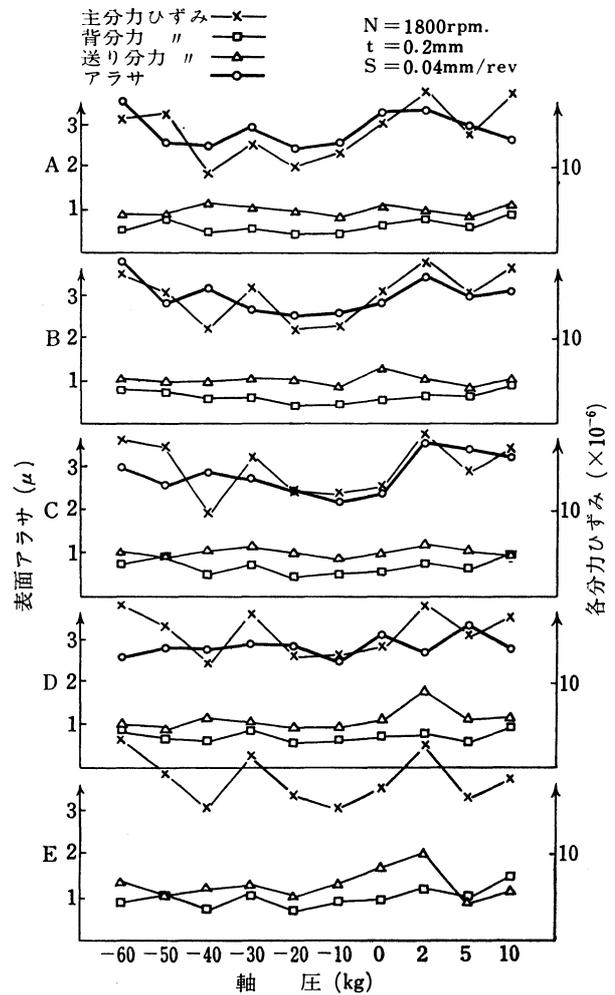


Fig. 5. 軸圧と各分力ひずみ表面アラサ

V. 考 察

被削材の表面アラサは被削材の運動の所産であり、また被削材の運動は機械の動剛性、およびバイトの運動による励起の結果でもある。今回は剛性は考慮せず、軸圧を受けた被削材に対するバイトの挙動を中心に考察をすすめる。正負の軸圧の影響を検討するのが目的である故、他の条件を考える要は一応ないものと思う。

軸圧を受けた両端支持の被削材の固有振動数 w_i は次式で表わされる。

$$w_i = \left(\frac{i\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \sqrt{1 \pm \left(\frac{l}{i\pi}\right)^2 \frac{T}{EI}} \quad (i=1, 2, 3, \dots)$$

但し i は振動形の次数、 l ははりの長さ、 E は縦弾性係数、 I ははりの断面二次モーメント、 A ははりの断面積、 T は軸圧で $\sqrt{\quad}$ 内の $+$ は引張り軸圧の場合、 $-$ は圧縮軸圧の場合である。

実験に於ては軸圧の正負にかかわらず被削材は回転するのであるが、低次の場合には上式から判断

して良い。又引張りの時は両端固定，圧縮の時は一端固定，他端支持の条件であるが，基本的には上式から被削材の固有振動数の増減を考えて良い。引張りの時は w_i は増加し， T が大きくなれば，弦の振動数 $i\pi\sqrt{T/l\rho}$ に近づき弦の運動をする。すなわち引張り軸圧が過大になれば被削材の表面はウネリを生ずることになる。圧縮軸圧の場合は固有振動数は減少し撓みが大きくなり，軸圧が Euler の限界荷重 $\pi EI/l^2$ に近づく最低次の振動数は 0 になり，被削材は横に座屈し，ふれまわりをすることになり，表面アラサは悪くなる。正負のいずれの軸圧にしても，良好な表面アラサをうるためには適当な軸圧が存在することになる。バイトの分力ひずみの変動率，および大きさから仕上面アラサに対する軸圧の影響を知ることができる。

3分力が被削材にあたえる影響について考えると，主分力は上下方向の曲げ振動，およびねじり振動を，背分力は水平方向の曲げ振動を，送り分力は軸圧方向の縦振動を強制すると考えることができる。また切削加工における理論的アラサは $S/8r^2$ (S は送り， r は曲率半径) で表わされることを考えると，ある一定の切削条件下ではバイト刃先の水平変位いかんが表面アラサをきめる最大の因子と考えることができる。これについては前述の土井，加藤氏らによって発表されているとおりである。一般的に被削材の旋削加工が正しいとき，表面アラサ曲線の波形は幾何学的に一定の凹凸であり，びびりのような振動の時波形は凹凸のはげしい不規則な曲線である。当然この波形は背分力ひずみ曲線に現われる。結局背分力の大きさ，および変動率を小さくすることができれば，びびり現象，および粗なアラサを防止できることになる。以上から，軸圧の表面アラサに対する影響について実験結果の考察をすすめる。

1. 軸圧と各分力ひずみとの関係

Fig. 4, 5 において，正圧は圧縮軸圧，負圧は引張り軸圧とする。主分力ひずみは $+5\text{kg}$ と $-10\text{kg}\sim-30\text{kg}$ とは大体同程度である。 $+10\text{kg}$ の場合と $+5\text{kg}$ の場合とくらべて，回転速度に対して反対で，正圧の影響が判然としない。しかし正圧の場合撓みは増大するのみであるから， $+10\text{kg}$ をこすと大きいひずみが現われるものと思われる。負の軸圧の場合， -10kg と $+10\text{kg}$ では同程度のひずみと見る。 $-20\text{kg}\sim-30\text{kg}$ では最小のひずみ量の傾向がある。同値の正負軸圧の場合，負圧の方が正圧よりひずみ量は明らかに減少して行く傾向である。特に 1800rpm ， -50kg ； 1020rpm ， -40kg において著しい。すなわち上述の理論より被削材のわずかな固有振動数の増加で主分力ひずみは減少している。被削材の中心部では負圧の時やや増すが，同値の正圧の時よりひずみは小さい。しかし負圧では実験誤差がはっきりしないが，一定の規則性は見られない。

背分力ひずみは全般にゆるやかな変化であるが， $+10\text{kg}$ では増す傾向で，負圧の大きい程減少するという規則性を示す。特に 1020rpm ， $-30\text{kg}\sim-60\text{kg}$ ； 1800rpm ， $-10\text{kg}\sim-40\text{kg}$ では小さいひずみである。背分力ひずみも主分力ひずみ同様，正圧より負圧の場合の方が小さい。

送り分力ひずみは正圧の $0\sim 2\text{kg}$ で大きい，全体的には正負軸圧の大きさにかかわらず一定と見ていい。

結局負の軸圧は正の軸圧に比べて，主分力ひずみでは特に ($-10\text{kg}\sim-40\text{kg}$) で小さく，背分力

ひずみは負圧の大きい程小さく規則的である。

2. 軸圧と表面アラサ

負圧の表面アラサに対する影響は、正圧に比べて良くなる。Fig. 4 の 1020rpm, $-10\text{kg}\sim-40\text{kg}$ では小さいアラサである。Fig. 5 も 1800rpm, $-10\text{kg}\sim-40\text{kg}$ で小さい。前記の負圧では正圧より表面アラサは良い。しかし、負圧が大きいほど、良い結果を出すとは言えない。 -50kg 以上になればアラサは悪くなるようである。Photo 2 は 1020rpm, -30kg ; Photo 3 は 1020rpm, $+5\text{kg}$ の時の仕上面形状である。 -30kg の条痕は規則的で凹凸も少ない。 $+5\text{kg}$ の表面は凹凸がはげしく、条痕の幅も不規則で曲げ振動（水平方向）の大きさを示している。Photo 4 は 1800rpm, -20kg ; Photo 5 は 1800rpm, $+5\text{kg}$ の表面であるが、前述の 1020rpm の場合と同様のことが言える。

VI. 結 論

此の研究は直径 20mm, 長さ 420mm で $L/D > 15$ のようなびびりやすい棒鋼を試験したのであるが、次のことが分った。すなわち、引張り軸圧の方が圧縮軸圧より良好な仕上面アラサを得ることが出来る。その原因は引張り軸圧は、アラサに最も影響する背分力を小さくし、その変動率を小さくするからである。又引張り軸圧にも限界軸圧があり $-10\text{kg}\sim-40\text{kg}$ が良い

最後にかつて実験を援助された南孝一助手、当時の学生松元敬雄（現中央高）、義久俊彦（現志布志高）、家村謙造（現獅子島中）三君、および工学部精密工学研究室各位に深謝します。

参 考 文 献

- 1) 土井静雄, 加藤仁, 黒田二郎: 機械学会論文集, 19, 86, P. 28~39 (1953)
- 2) 渡辺大勝: 機械技術, 15, 14, P. 23~27 (1967)
- 3) 松元敬雄, 義久俊彦, 家村謙造: 昭和 43~44 年卒論
- 4) 妹沢克惟著: 振動学. P. 87, 現代工学社出版 (1971)

Summary

The purpose of this research is to find the effect of axial load (compressive load, tensile load) on the roughness of obtained cutting surface, and we measured the cutting force and the roughness of surface. And we found the following facts: —

The tensile load is better than compression load on the roughness of obtained cutting surface, and has critical load in size. Because, on the back component force of cutting metal tensile load is giving works smaller strain than compressive load.