

新潟大学 ○ 岩部洋育, 藤井義也

1.はじめに

エンドミルによりコーナ部をもつ内面加工を行う場合半径方向切込みおよび切削面積の急激な増加が避けられない。前報<sup>1)</sup>ではコーナ部の切削機構を解析し、同時に過渡現象を軽減する加工法を提案してその有効性を示した。本報ではコーナ部における切削力および凹曲面の加工精度を測定し、切削力の挙動に基づくコーナ部の加工誤差生成機構の検討を行う。また前報で提案したループ加工を含め、各種の切削条件により実験を行ない、加工精度改善の効果を比較検討した。

2.実験方法

実験に使用した工作機械、エンドミル、工作物および切削条件は次のとおりである。

- 工作機械：アマダBM-104,NCフライス盤(1 $\mu$ m/pulse)
- エンドミル：直径 20,18,17,16 mm, 4枚刃, ねじれ角 右30°, 高速度鋼
- 工作物：炭素鋼, S45C (図1参照)
- 切削条件：切削速度 20.5 m/min, 軸方向切込み 20 mm, 半径方向切込み 0.5, 1.0 mm, 送り 0.1 mm/tooth, 上向き切削, 下向き切削
- 切削剤：マシンオイル 2.3 l/min

図1は工作物形状および工具経路である。第1, 第2象限ではコーナ部の曲率半径と等しい工具径, 第3, 第4象限では少し小さい工具径による実験の場合を示している。特に第3象限ではループによる加工方法を示す。また図に示していないが, コーナ部の曲率半径と等しい工具径を用い, 底刃による加工も行っている。工作物は治具を用いてテーブルに固定し, 仕上げ条件により凸部に基準面を作成した。加工精度はこの基準面を利用し,

三次元測定機(ミットヨ

F304)により測定した。

切削力はひずみ計を用いた工具動力計によりx, y, z3分力を測定した。

3.実験結果と考察

3.1 加工精度と切削力

図2はコーナ部の加工誤差であり, 凹曲面は中心角 $\phi=10^\circ$ ごとの値である。それぞれ直径20mmと17mmの工具を用いており, 17mmの場合はループ加工

の結果も併記した。図より下向き切削の場合削り残しによる正の誤差, 上向き切削の場合削り過ぎによる負の誤差を生じる。誤差の大きさは直径20

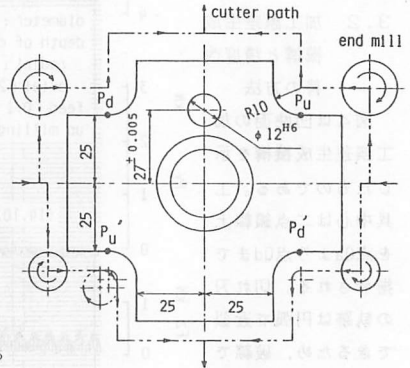


図1 工作物形状と工具経路

mmの場合, ともに最大値が300 $\mu$ m前後の値を示し, コーナ部以外での誤差と比較して非常に大きい。また誤差の形状は下向き切削の場合中心角 $\phi=10^\circ$ 付近で最大値を示した後, 徐々に減少する形状である。一方上向き切削の場合中心角 $\phi=0^\circ$ で負の最大値を示した後に減少し, 途中で正の誤差に転じる形状である。これらの形状の生成機構は後述する。

図3は上向き切削による切削力曲線である。横軸は切削時間であるが, 破線により工具中心 PC(XC, YC)の位置を併記した。工具中心がPC(14, 10)以前の定常区間では各分力とも小さい値を示すが, コーナ部に近づくにつれて増加し, 工具中心がPC(10, 10)mmでY分力は最大値を示す。この挙動は前報で示した切削面積の変化によく対応している。実験では正のY分力によりエンドミルが工作物側に引き寄せられる。そのためY分力が最大値を示す位置では, 図2(b)に示す加工誤差も最大となっている。なお切削力は点PC(10, 10)を通過後急速に減少し, 再び定常区

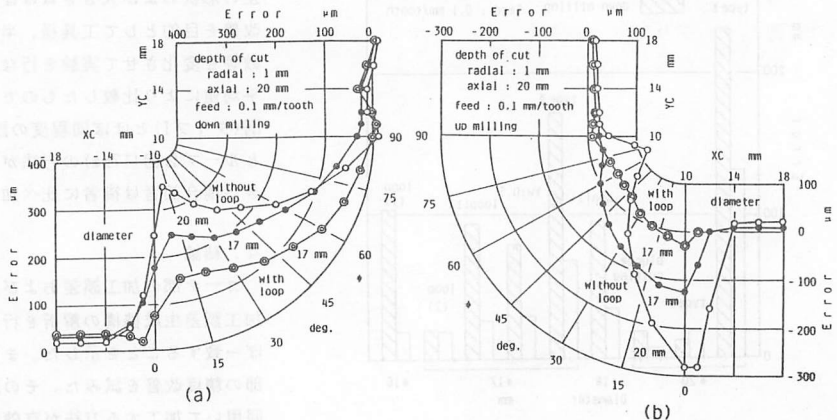


図2 コーナ部における加工誤差

間の値を示すが、その際x分力とy分力が入れ代わることになる。

### 3.2 加工誤差生成機構と精度改善の方法

図4は凹曲面の加工誤差生成機構を示したものである。工具中心は二点鎖線上を点Qaより点Qdまで指令される。切れ刃の軌跡は円弧で近似できるため、破線で示す加工面は工具中心 $PC_i(XC_i, YC_i)$ を中心とする円弧の包絡線により創成される。

しかし切削力 $(FX_i, FY_i)$ が作用すると工具は変形し、その中心点 $PC_i$ は点 $PC_i'(XC_i+dx_i, YC_i+dy_i)$ に移動するため、次式で示す円弧部分で切削が行なわれることになる。

仕上げを予定された工作物上の点 $PW_i(XPW_i, YPW_i)$ の加工誤差 $E_i$ は、点 $PW_i$ が凹曲面にある場合式(2)を式(1)に代入し、 $i = 1 \sim n$ における最小値として求められる。なお工具中心の変位量は機械・工具・工作物系の総合剛性を $K_x, K_y$ とし、工作物との相対変位として $dx_i = K_x \cdot FX_i$ 、 $dy_i = K_y \cdot FY_i$ により仮定した。

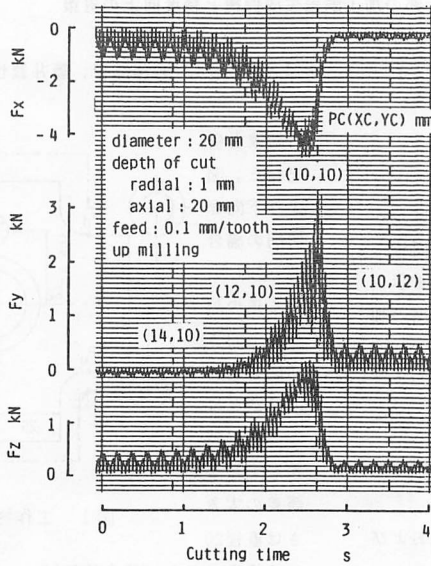


図3 切削力の挙動

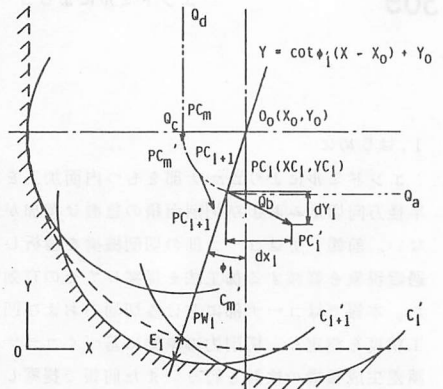


図4 コーナ部の加工誤差生成機構

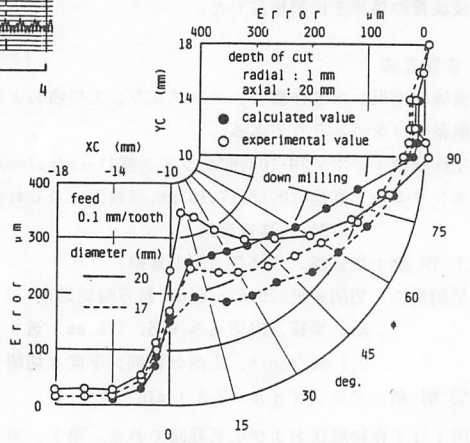


図5 加工誤差(実験値と計算値の比較)

$$\left. \begin{aligned} Y &= \cot \phi_i (X - X_0) + Y_0 \\ \phi_i &= \tan^{-1} [(X_0 - XPW_i) / (Y_0 - YPW_i)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

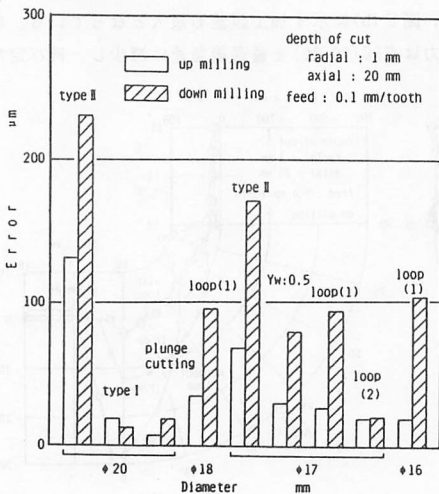


図6 精度改善の方法とその効果

図5は上記の方法で求めた加工面を実験値と比較したもので、下向き切削の場合である。計算値と実験値の誤差の形状および大きさはほぼ一致している。図6は精度改善を目的として工具径、半径方向切込み、ループの回数等を変化させて実験を行ない、その効果を誤差の二乗平均値により比較したものである。図より定常区間の切削(タイプI)とほぼ同程度の誤差となる、底刃加工(20mm)とループ2回(17mm)の方法が有効である。なお板厚が大きい場合前者は後者に比べ加工時間が長くなる。

### 4. 結論

コーナ部の加工誤差および切削力を測定するとともに、加工誤差生成機構の解析を行ない、実験値と計算値がほぼ一致することを示した。また各種の方法によりコーナ部の精度改善を試みた。その結果底刃加工とループを2回用いて加工する方法が有効である。

文献 1) 岩部他3名, 精密工学会誌, Vol. 55, No. 5, 841.