

ガンドリル加工

堀内 宰*

1. まえがき

切削加工の中でも穴あけ加工は最もひんぱんに、かつ広範囲に行なわれる加工法である。通常の穴加工ではツイストドリルが使用されるが、穴が深く（穴径の約5倍以上）になると切りくずの排出が困難になって諸々の障害を引起す。一方、ガンドリル（図1）では、工具内部を通して刃先へ送られた高圧多量の切削油が、切削領域の潤滑冷却を行なうとともに、切りくずを切断してすみやかに外部へ排出させるので、穴径の300倍程度の穴深さでも1ステップで加工できる。そして、穴精度（穴径，真円度，真直度，表面あらさ）が良好なことで，Rc50程度の高硬度材の加工が可能であることなどの利点をもっている。ガンドリル加工はその名の由来の通り銃身の穴加工として1800年代に開発されたものであるが，工作機械や工具材料などの進歩とともに発展普及し最近では種々の方面で盛んに利用されるようになった。我国の銃身加工以外の分野でガンドリル加工法が普及したのは昭和40年頃と思われるが，筆者らの研究もそのころ始まった。

2. 切削力の測定

切削加工の研究の常道にならない，まず切削力の測定を試みた。ガンドリルの刃先と同じ形状のバイトを切削動力計に取り付け，加工穴径と同径の丸棒被削材の端面削りを行う手法を採った。ところが，当時指導教官であった長谷川嘉雄教授から「ドリルチップに該当するバイトの支持剛性が実際と異なり，不適切な実験手法だ」とお叱りを受けた。長谷川教授はきりもみの研究でツイストドリルの2枚の切刃における切削現象の非対称性を見出されたのだから，かような指適は当然すぎることであった。その後，ドリル固定，被削材回転方式で，ガイドブシュを動力計で支えて切削力測定を試みた。一応，切削力測定が可能となったが，しかしドリルチップに作用する力のすべてを測定することができず不満足であった。それでは，切刃部分をドリルチップ本体から分離してそこへ圧電素子をサンドイッチしたらどうか，あるいは当たり面を植付パッド方式にしてここでも圧電素子をはさんだらどうかなどと考えたが，当時は安定な圧電素子や高入力インピーダンスの真空管，高温強度の高い絶縁接着剤を入手し難く，

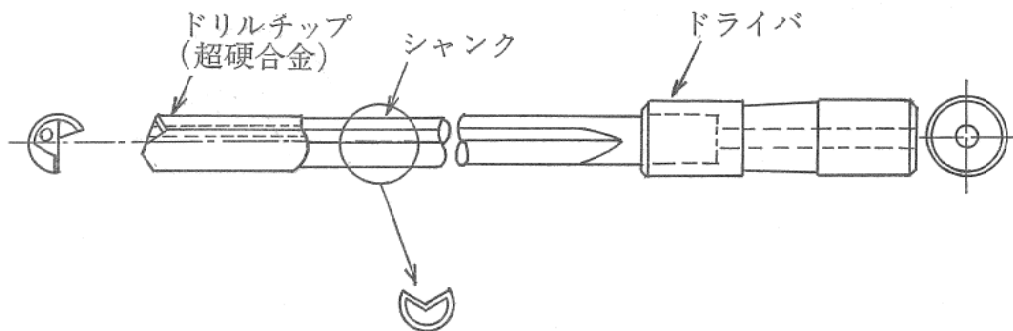


図1 ガンドリル

*堀内 宰 (OSAMU Horiuchi), 大阪大学工学部, 機械工学科, 長谷川研究室, 助手, 工学博士, 機械工作

結局夢物語に終わった。そして現在でも実現していない。

3. ドリルチップ周辺の油膜圧力の測定

ガンドリルの曲げ剛性が小さいので、切削主分力などのドリル軸に直角に作用する力をガンドリル自身で支えることができず、ドリルチップが加工穴の穴壁で支持されることになり、そこでジャーナル軸受が形成される。この軸受の特性を知るために、ドリルチップ周辺の油膜圧力の測定を試みた。最初、模型軸受による手法を試み、ドリルチップ外周面の凹凸（Vみぞ、マージン、ボディクリアランス、当たり面）を軸受面に転写し、それに真円軸をそう入して回転させた。Towerの実験の如く、軸受面に圧力検出孔をあけ、これへブルドン管圧力計をつないだ。ところが潤滑油の流量が少ないので、圧力計の指示値が時間とともに上昇しつづけ、なかなか飽和してくれなかった。その後半導体ひずみゲージを利用した高感度の圧力変換器が出現するに及んで、この実験は飛躍的に改善された。すなわち、模型軸受を使用することなくいきなり被削材に圧力変換器を取付けて、実際のガンドリル加工中での油膜圧力の測定が可能となった（図2）。しかも、この手法ではドリルチップ外周を圧力検出孔が走査することになり、詳細な油膜圧力分布が求められた。ついでながら、測定精度を高めるためには圧力検出孔の容積を小さくすることが肝要で、その加工にNCフライス盤と高性能放電加工機を使用で

きたのは幸いであった。

4. ドリルチップの運動測定

前項で述べたように、ドリルチップと加工穴がジャーナル軸受を形成しており、これによりガンドリルの最大の特色である自己案内作用（自らあけた穴がガイドブシュの役目をする）が生じ、その結果良好な加工精度が得られるわけである。一方、穴の中でのドリルチップの挙動によって穴精度が支配されているとも言える。加工穴の中でのドリルチップの姿勢を知るためには、ドリルチップ周辺の少なくとも4箇所での油膜厚さを測定しなければならない。直径20mmの穴の中で、しかも切削油中のことなので適用可能な測定法は限られてくる。まず磁氣的測定でしかも特別な測定器が不要なホール素子や磁気抵抗素子を試みたが、何れも温度補償や各ピックアップ間の磁気しゃ閉に失敗し、結局最も原始的な電磁誘導型ピックアップに落ち着いた（図3）。たまたま交直両用のブリッジ電源を有する万能型ひずみ測定器を流用したのが幸いし、ピックアップの温度補償法（コイル巻線のオーム抵抗変化分を補償することによる）を見出すことができた。しかし、最後の較正曲線の直線化の段階になって筆者の無知さ加減が露呈した。較正曲線が逆数関係にあったので、直線化の方法として真空管の特性曲線を利用することを考えた。ハンドブックの特性図をたよりに幾種類かの真空管を選定購入して試みたが、好都合な特性をもつものが見つからな

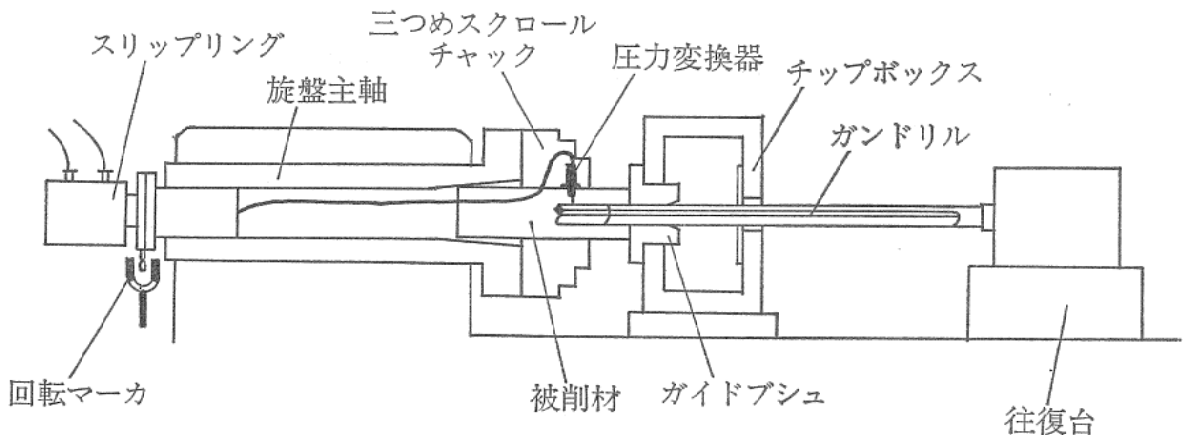


図2 油膜圧力測定の実験装置

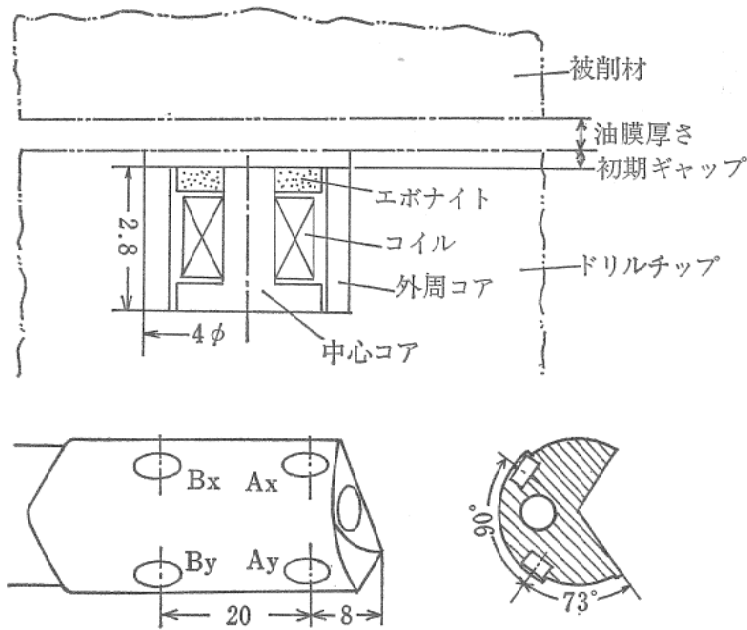


図3 ピックアップの構造と配置

った。観念して真空管メーカーの研究所へ頼み込むことになった。直接相談にのっていただいた——さん、ややあっていわく、「そりゃ君、割算のできる OP アンプが市販されているよ。確か1万円位だ。電話で聞くのはただなんだから一度聞いてみたまえ。」「……」

5. ガンドリルの精度

研究半ばで、ドリルチップ—加工穴の軸受に注目したとき、ガンドリルの精度すなわちドリルチップの首振り（図4）が重要な因子であることに気がついた。早速、精度測定をしてみるとかなりの誤差を持っていた。もちろんメーカーの規格内に入っており、実用上ではそれほどクリティカルなものではないとの意見もあるが、筆者の研究では1万分の1程度の首振り精度が必要であった。これの修正はシャンクを少しずつ曲げながら行なったが、もともと曲げ剛性が低く、しかも断面が円形でないので、かなりやっかいな作業であった。一時はかっこうよく、光てこで傾きをにらみながらオートグラフ

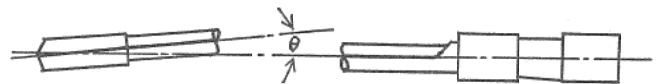


図4 ドリルチップの首振り θ

で微速変形させてみたが、圧子によりシャンク表面に凹みを生じるために予定通りの曲げ変形を与えることができなかった。結局、適当なハンドプレスで手加減しながらやる方が比較的早く修正できた。

6. あとがき

大学という広くて狭い世界で10余年、自分ながらあきれんばかりの早さで過ぎてしまった日々をふりかえると、非才ゆえに馬鹿げた空想を描き、不明ゆえに無駄足を踏んできたようにも思える。しかし、その道程の中でいつも、先人が築き上げた諸々の科学と技術によって支えられ後押しされている自分を見つめていたようだ。