

## 深穴加工の切削異常監視（第三報）

—— センサ信号を用いたリアルタイム切削異常診断 ——

(株)日鋼機械センター 早川保 和田侯衛 青野文朗 ○佐藤功一

### 要 旨

現在の切削加工では、能率向上、コスト低減などに対応して、自動化・無人化が求められており、そのための監視技術の開発が重要な課題のひとつとなっている。本研究は、切削加工のなかでも、加工状況を直接監視することができず、作業者の技能に頼る部分が大きいB. T. A. 方式による深穴加工での、センサシステムを用いた切削異常監視自動化技術の確立を目的としている。

### 1. 緒 言

一般に深穴とは、穴深さが穴径に対し10倍以上のものをさし、B. T. A. 方式は、大径の深穴加工に用いられる加工法である。B. T. A. 方式だけに限らず、穴加工は加工状況を直接監視することが不可能であり、なかでも、深穴をワンステップで加工できることが特性のひとつであるB. T. A. 方式の場合、加工を中断し、穴内部を確認することもできない。そのため、作業者は加工中に発生する振動、切削音、排出される切り屑の状態により、切削状況を判断している。

第一報では、作業者が切削状況を判断する要因のひとつとしている切削振動に着目し、加速度ピックアップにより検出した振動波形の周波数解析を行った。その結果から、加工の正常時と異常時において、振動振幅や周波数成分に大きな違いがあることを見出し、切削振動の解析が切削異常監視に対して有効であることを示し、第二報では、検出した切削振動をデジタル信号化し、パーソナルコンピュータを用いて処理及び解析することで、切削異常の種類によって振動に与える影響が異なること、さらにリアルタイムに切削異常診断を行う可能性を見いだした。本報では、リアルタイム切削異常診断システムの第一歩として現在の加工状況を数値的、視覚的に表すシステムを考案、試験したものである。

### 2. 工作機械とセンサシステム

B. T. A. 方式は、加工穴径などにより、数種類の工具を使用するが、本研究は、その中のトレパンボーリング工具による加工を対象としている。振動測定を行ったトレパンボーリング盤は、ボーリングバーと呼ばれる、鋼管の先端に取り付けた工具の切れ刃部に、高圧で多量の切削油剤を供給することで、切り屑の排出と切れ刃の冷却、潤滑をし、深穴加工を行う工作機械である。切り屑は切削油剤の圧力により、ボーリングバー内部を通り、穴の外部へ排出される。切削振動は工具切れ刃部より発生していると考えられるため、センサはトレパンボーリング工具、もしくはボーリングバーに取り付けることが理想であるが、本工作機械では、両者とも加工中は回転しているため、直接取り付けができない。そこで間接的ではあるが、ボーリングバーを支持している圧力台上部を加速度ピックアップ取り付け位置とした。図1に工作機械形状及びセンサ取り付け位置を示す。

加速度ピックアップにより検出された切削振動は、アナログ信号からデジタル信号化しながら、パーソナルコンピュータに取り込まれ、ソフトウェアによって信号処理、解析される。図2にセンサシステムのブロック図を示す。

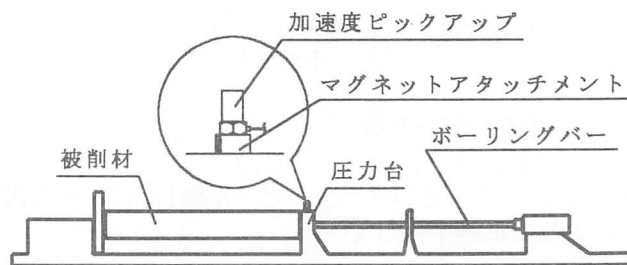


図1. 工作機械形状及びセンサ取り付け位置

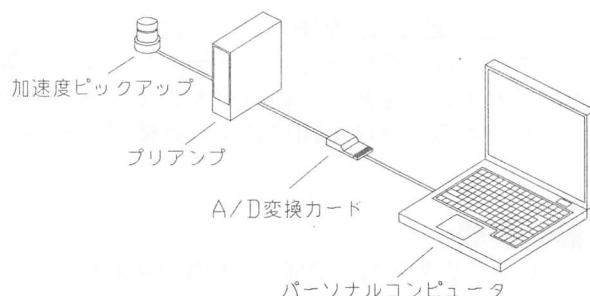


図2. センサシステムブロック図

### 3. 振動解析によるリアルタイム異常診断

切削加工において発生する異常は、きわめて多岐にわたるが、その多くが最終的に工具損傷を招く結果となる。実際の切削振動を解析した結果、これらの加工異常は定常時の切削振動波形と比較し、振動振幅や周波数成分に違いがあることが判明している。従って、それを利用することにより、現在の加工状況を数値的、視覚的に表すことが可能と考えられる。

本システムはリアルタイム切削異常診断システムの第一歩として、パーソナルコンピュータでの線形予測法を用いたデジタル信号処理により、現在の加工状況を解析、表示するものである。

#### 4. 切削振動解析方法

振動データ解析には、線形予測法を用いている。信号（振動）データをモデル式（自己回帰モデル）で表せることと仮定し、定常信号データからモデル式を導き出し、その演算結果と測定信号の誤差（予測誤差）から加工状況を診断する。表1に解析手順を説明する。

表1. 切削振動解析手順

No	手 順
1	最初の切削振動を加工開始から切削が安定した時点でサンプリングする（定常振動）。
2	定常振動から、線形予測法に基づき自己回帰モデルを作成する。
3	自己回帰モデルをフィルタとして定常振動に作用させ予測誤差を求める。
4	測定振動のサンプリングを行う。
5	STEP2. で作成した定常振動の自己回帰モデルを使用し、測定振動の予測誤差を求める。
6	測定振動より作成した予測誤差を定常振動より作成した予測誤差と比較し、その違いから、現在の加工状況を表示する。

#### 5. 加工状況認識方法

図3に解析結果を基に、現在の加工状況を表示したパーソナルコンピュータの画面を示す。

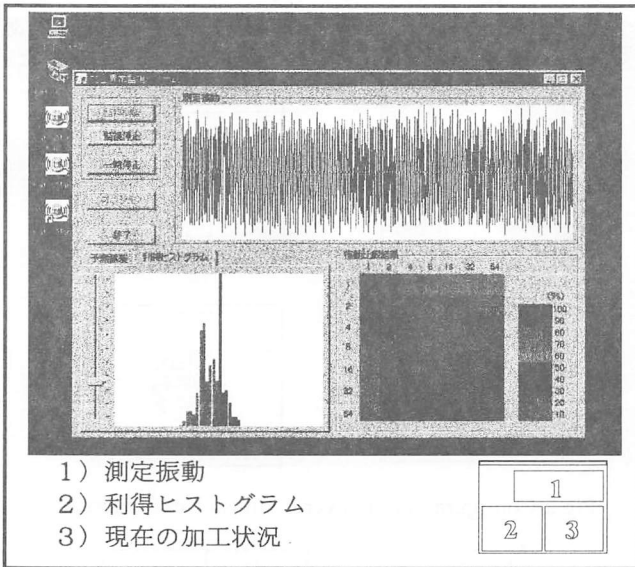


図3. 解析結果表示画面

##### 1) 測定振動

現在測定している振動をリアルタイムに表示している。波形の開始点から終了点まで2秒間毎の振動が表示されており、解析はこれを一区間として行われる。

##### 2) 利得ヒストグラム

定常予測誤差と測定予測誤差の比を利得とし、現在の加工状況を表す。計算された利得の統計的分布を求めるためヒストグラムで表示している。現在の加工状況は、定常時のヒストグラムと現振動のヒストグラムの形状の違いを比較し、その違いにより判断することができる。

##### 3) 振動比較結果（現在の加工状況）

定常振動と測定振動の利得ヒストグラムの形状の違いを解りやすくするため、分布の違いを数値で表す。

画面左下に表示しているヒストグラムの分布を縦横それぞれに、1、2、4、8、16、32、64と7段階に分割し、1×1、1×2、・・・2×1、2×2、・・・64×64、の49パターンの区画に分ける。始めに定常振動、測定振動の区画内にあるヒストグラム分布数を比較する。次にその結果を百分率で表したものの、全区画の平均値を計算し、色分けして画面右下に表として示している。この方法を使用して表示された表は、その色の分布形状により、ヒストグラム形状の複雑な違いを単純な数値の配列として表すことができる。図4に分割区画の一例と振動比較結果表を示す。

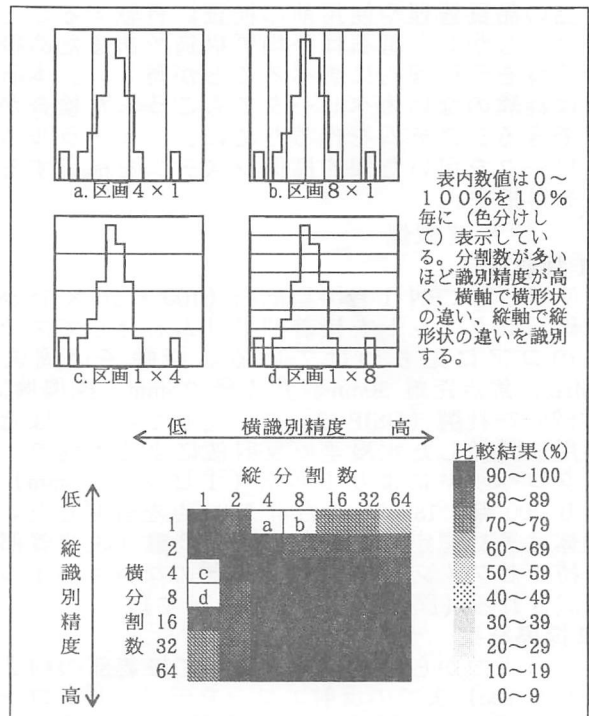


図4. 分割区画一例と振動比較結果説明

#### 6. 結 言

深穴加工における、切削振動による異常監視自動化技術の確立を目的に、リアルタイム切削異常診断ソフトウェア開発課程の第一歩として、切削異常が切削振動へ与える変化を利用したリアルタイム加工状況解析、表示システムを開発した。その結果、

- (1) 加工状況をリアルタイムに、数値的、視覚的に表示させるシステムを開発した。
- (2) 本システムにより、現在の切削状況を加工に対する経験が浅くとも、定常時との違いからある程度識別することが可能となった。
- (3) 加工状況を単純な数値の配列で表すことが可能となったため、パーソナルコンピュータによる異常判定が容易になると思われる。

今後、実際の深穴加工での使用を重ね、数値配列パターンと加工状況を比較し、その相関関係を利用した自動異常診断システムの開発を行っていくこととする。