

パーソナルコンピュータによる工作機械構造の 動剛性評価支援システムの開発

Development of Supporting Software in Evaluating the Dynamic Behavior
of Machine Tools by Using a Personal Computer

谷 泰 弘*・尾 高 広 昭*・佐 藤 壽 芳*
Yasuhiro TANI, Hiroaki ODAKA and Hisayoshi SATO

1. 結 言

工作機械の設計プロセスでの合理化の一方策として、最近急速にその性能を向上させた電子計算機を用いた最適設計(CAD)がある。この手法は、有限要素法等のマトリックス数値解析法により、構造体全体あるいは要素部品の静剛性、動剛性および熱剛性を評価し、この情報を設計にフィードバックすることで、最適な構造体形状の把握を行おうとするものである。しかし工作機械構造は、一般的に多くの接合部や摺動部を有しているうえに複雑な断面形状をしており、解析のみでその特性を定量的に評価することはかなり困難である。このため、実際に存在する工作機械にてその構造特性を実測により求め接合部等の特性を明確にし、その結果を解析に適用することにより、その工作機械構造の部分的な設計変更の際に解析結果を役立てようとしているのが現状である。

しかしこの場合においても、動剛性の評価に関しては、解析上では最適な要素モデルの選択、形状の把握、接合部のモデル化等の、また実験上では加振方法や支持方法等の実験方法の妥当性等多くの問題を含んでいる。またさらに二次元の要素モデルを用いた三次元構造体の要素分割、実時間でモードアニメーションの出力およびモードの決定等のために、有限要素解析を行う大型計算機への入出力に多大の費用および時間を要している。

そこで本研究では、最近その活用度を高めているパーソナルコンピュータを利用することで、大型計算機への入出力を支援する安価で柔軟性に富むソフトシステムを作製し、工作機械の動剛性の評価を容易にすることを目指している。このため、まず大型計算機の入出力データをもとに、工作機械構造の変形図・ベクトル図・ノード点図等を自動作製するシステムを構築した。この一連のソフトパッケージを利用すれば、振動モードの判定・解析および実験結果の検討など工作機械の動剛性の評価に効力を発揮することが判明したので、ここに報告する。

2. 動剛性評価支援システムの構成

大型計算機への入出力データをもとに、パーソナルコ

ンピュータを用いた自動処理により、変形図やベクトル図等を能率よく求めるには、図1に示される次のような手続きが必要となる。

- (1) 大型計算機のライブラリ・プログラムに登録されている有限要素法のパッケージの入力形式にのっとった入力データを作製し、これを通信回線を利用してパーソナルコンピュータから大型計算機に転送し、有限要素解析の実行を行った後、再びパーソナルコンピュータへ出力結果を戻す。
- (2) 構造体を分割して得た節点の三次元の座標情報を、大型計算機への入力データより抽出し、それを二次元のグラフィックデータに変換する。
- (3) 大型計算機への入力データから各節点の他の節点との結合関係を抽出する。複雑な構造体の場合には指定された面の情報のみを図示するために、表示しない面に存在する節点の結合関係を削除し、節点の結合情報データを改める。

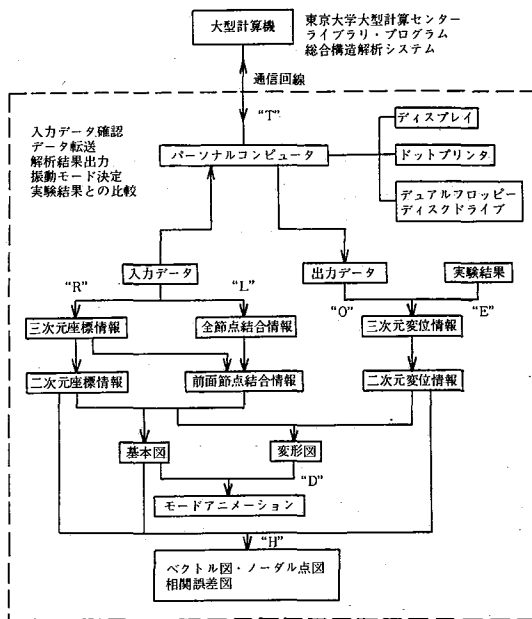


図1 動剛性評価支援システムの基本構成

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

(4) 大型計算機からの解析結果や加振実験の結果から、各振動モードでの各節点の三次元の変位情報を抽出し、それを二次元のグラフィックデータに変換する。

(5) (2), (3)の手続きで作製された各節点の二次元座標情報と節点間の結合情報を用いて、まず構造体の変形していないときの基本図形を図示する。またこれらの情報と(4)で得られた各振動モードにおける二次元変位情報をもとに、変形図を描画する。

(6) 基本図形および正方向の変形図形とその逆方向の変形図形を、パーソナルコンピュータの有している3画面に記憶させ、この画面をスイッチ的に切り換えることにより、モードアニメーションを実現する。

(7) (5)で得られた基本図形上の各節点の位置に、三次元の変位情報から求めた三次元のベクトルを表示し、ベクトル図を完成させる。

(8) (3)の節点間の結合情報で与えられる、それぞれ対をなす節点の間に、振動の節となっているノードル点の存在の有無を、(4)で得られたその2節点の三次元変位情報から判別する。そしてノードル点が存在する場合のみ、基本図形上の対応する位置に、定めた記号を表示し、ノードル点図を作製する。

(9) 各振動モードでの有限要素解析あるいは加振実験による変位情報において、一方のデータ群での最大変位を示す節点の、他のデータ群での変位の値で、他のデータ群を正規化し直す。二つのデータ群での対応する節点の変位の差を、基本図形上の対応する節点の位置に表示し、相関誤差図を得る。

以上のように、本パッケージは解析と実験結果の両方の場合の処理に使用することが可能である。すなわち、(5)~(8)の処理は、変位情報が解析によるものでも、実験によるものでも、まったく同様に行われる。

3. 動剛性評価支援システムの機能

3.1 動剛性評価支援システムの適用範囲

このパッケージを実行させたときに、最初に画面に表示される(図2参照)ように、本システムは実際の作業を行う12のルーチンと、本パッケージの出口としての“A”ルーチンとから構成されている。この中には、前章にて紹介した、本システムの中核をなす7個のプログラムが存在する。すなわち、通信回線を用いてパーソナルコンピュータと大型計算機を結び、大型計算機での有限要素解析のためのデータの入出力を行う“T”ルーチン、各節点の座標情報の抽出を行う“R”ルーチン、節点間の結合情報の抽出を行う“L”ルーチン、各節点の変位情報の抽出を行う“O”ルーチン、実験データの入力のための“E”ルーチン、変形図やベクトル図等を作製する“H”ルーチンおよび各振動モードをアニメーション的に表示す

る“D”ルーチンがある。

このほかに、このシステム本来の機能ではなく、上述の7個のルーチンを支援する、5個のプログラムが含まれている。これには、“T”ルーチンの実行時に混入したノイズを取り除く“C”ルーチン、シーケンシャルファイルとランダムアクセスファイルの複写を行う“F”ルーチン、パーソナルコンピュータの画面に表示されるグラフィック図形を、データ列としてフロッピーディスク内に格納する“G”ルーチン、逆にフロッピーディスク内に保存されているデータ列を用いて、パーソナルコンピュータの画面にグラフィック図形を復元する“P”ルーチンおよびシーケンシャルファイルの内容を画面あるいはプリンタに出力するための“S”ルーチンがある。

これらのルーチンは、座標情報や変位情報等のデータファイルを共有しているだけでなく、主記憶容量の小さいパーソナルコンピュータでも実行可能なように、大部分の配列は共用している。また座標情報や変位情報等のデータは、全てフロッピーディスク上に持っており、要素数や節点数が多い構造体でも、処理が可能であるが、処理時間はそれらにほぼ比例して増大する。さらに本パッケージは、大型計算機からの変位情報の出力形式が同じである静変形ならびに熱変形時の変形図やベクトル図の作製にも使用可能である。

3.2 三次元データの二次元データへの変換

一般のパーソナルコンピュータでは、画面の左上端に零点があり、右へ進むにつれ画面座標のX値が増加し、下に降りるにしたがい画面座標のY値が増加する。したがって、通常の三次元の構造体を画面上に表示するためには、図3(a)に示される座標情報と変位情報の三次元

作業の選択	
終了	A
記憶データの整理	C
デモンストレーション	D
実験データの入力	E
ファイルのコピー	F
画面情報のディスク格納	G
図形作製	H
	L
	O
	P
	R
	S
	T

図2 動剛性評価支援システムの内容

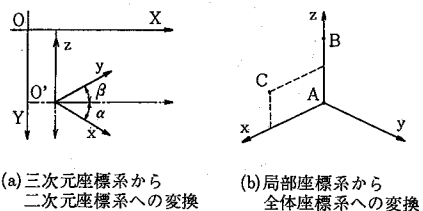


図3 動剛性評価支援システムで使用する座標系

から二次元への変換が必要となる。すなわち、この変換は、三次元座標系の x 軸と二次元座標系の X 軸のなす角度を α 、三次元座標系の y 軸と二次元座標系の X 軸のなす角度を β として、

$$X = x \cos \alpha + y \cos \beta$$

$$Y = x \sin \alpha - y \sin \beta - z$$

と表せる。こうして得られた二次元の座標情報データの最大値と最小値から、パーソナルコンピュータのワールド座標系上に描かれた図形を切り取って画面に表示する、グラフィック画面のウィンドウ寸法を決定する。

3.3 局部座標系から全体座標系への変換

通常の有限要素解析法では、局部座標系により節点の位置を表示することができる。たとえば本報告で使用している、“ISAS II”という有限要素解析のパッケージでは、図 3 (b) に示されるように局部座標系の原点 A、 z 軸上の一点 B、 x - z 平面上の一点 C の 3 点の全体座標系での座標値により、局部座標系が定義される。

この 3 点の座標から、まず局部座標系の z 軸の、全体座標系上での方向ベクトルが、B 点と A 点の座標値として求められる。次に C 点と A 点の座標値の差として与えられる x - z 面上のベクトルと、 z 軸の方向ベクトルとの外積の形で、局部座標系の y 軸の方向ベクトルが算出される。同様に局部座標系の x 軸の方向ベクトルは、 y 軸の方向ベクトルと z 軸の方向ベクトルの外積として得られる。したがって、局部座標系から全体座標系への変換マトリックスは、正規化された上の三方向ベクトルで構成される行列として求められる。

4. 動剛性評価支援システムの適用例

4.1 解析方法および実験方法

有限要素解析は、東京大学大型計算機センターに登録されているライブラリ・プログラムの、総合構造解析システム“ISAS II”のパッケージに含まれている実固有値解析により行った。実際の固有値計算法としては、全ての支持が自由であるような条件ではインバースパワー法を、その他の場合にはサブスペース法を使用した。要素としては、主に四角形板膜混合要素を使用し、旋盤ベッドのような複雑な形状の場合には、三角形板膜混合要素

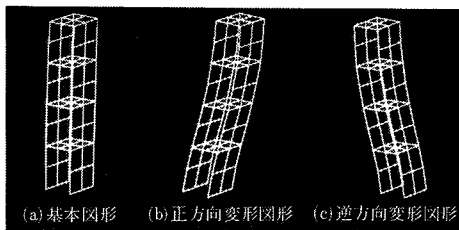


図 4 モードアニメーションに使用する基本図と変形図(四段モデル Y 軸方向曲げ 1 次の場合で、周波数 22.398 Hz)

およびバー要素を併用している。

図 1 にて大型計算機 HITAC M280-H と通信回線で接続しているパーソナルコンピュータは、NEC PC9801F2 で、これはデュアルフロッピーディスクドライブを内蔵しており、さらに画面のハードコピーが可能なドットプリンタを接続している。これが本システムを動作させるため最低必要な構成である。このシステムは NEC PC8801 相当以上の機種であれば、駆動しうる。

一方ここで対象としている四段モデルや旋盤ベッドの加振実験は、電磁加振機により行っており、¹⁾ 解析での節点にあたる点の変位量は加速度ピックアップで測定している。この加振実験での支持方法は、四段モデルでは側板ボルト締め固定¹⁾で、旋盤ベッドでは底面の四カ所に鋼球・受け皿²⁾を設置して行っている。

4.2 振動状態表示例

図 4 は四段モデルの Y 軸方向曲げ 1 次の場合の、モードアニメーションのために必要となる、基本図および正方向と逆方向の変形図である。この 3 枚の図をパーソナルコンピュータの 3 画面に記憶させ、これを画面スイッチで切り換えて、振動状態をアニメーション的に表示する。図 5 は振動状態を評価するために本システムで使用できる図を、旋盤ベッドの Z 軸まわり曲げ 1 次の場合について、全ての面を表示した場合と前面のみ表示した場合を対比して示したものである。このように、一般的には前面のみ表示したほうが、旋盤ベッドのような複雑な

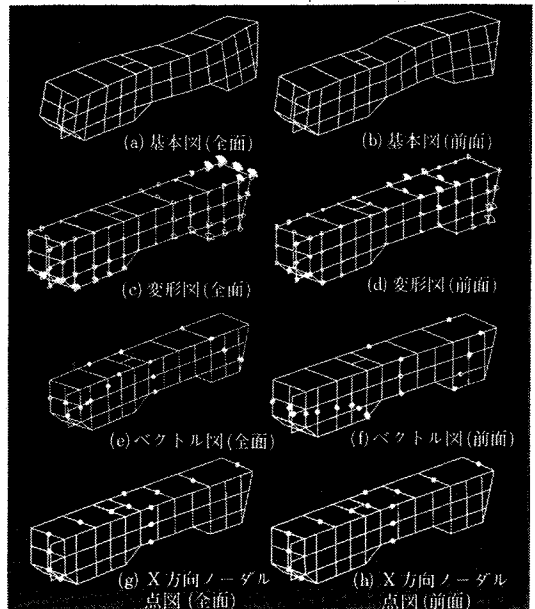


図 5 振動状態表示例(旋盤ベッド Z 軸まわり曲げ 1 次の場合で、周波数 125.785 Hz)

研 究 速 報

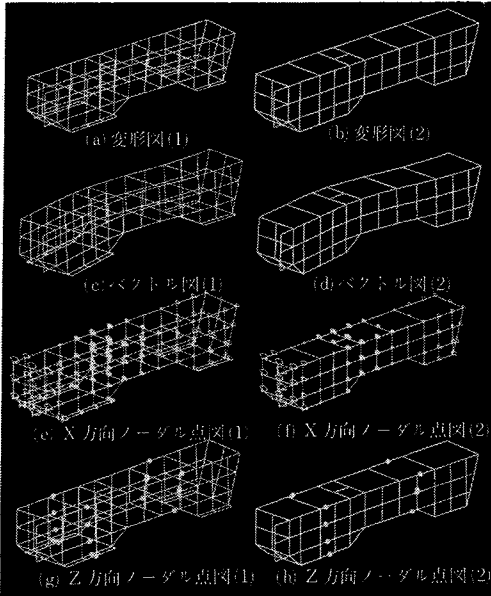


図 6 モード判定への活用 (旋盤ベッドの場合で、1: 周波数 161.785 Hz, 2: 周波数 215.709 Hz)

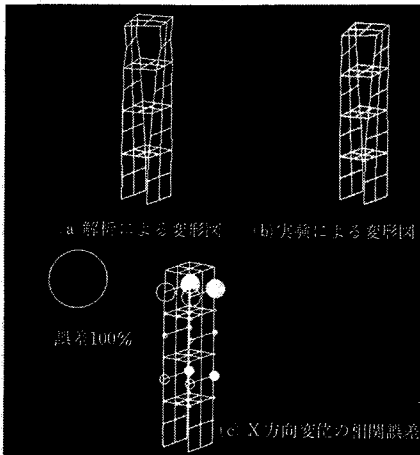


図 7 四段モデルでの解析結果と実験結果の比較 (Z 軸まわりねじれ 1 次, 周波数は解析: 414.671 Hz, 実験: 277.9 Hz)

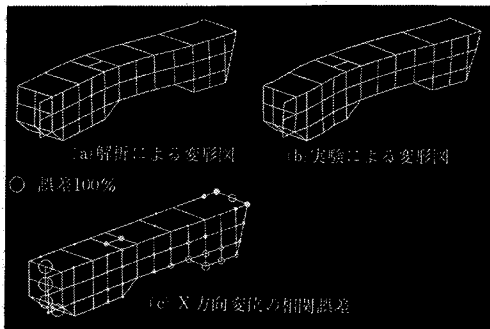


図 8 旋盤ベッドでの解析結果と実験結果の比較 (Z 軸まわり曲げ 1 次, 周波数は解析: 414.671 Hz, 実験: 277.9 Hz)

構造体では認識が容易であるが、ノード点の三次元的な把握等のためには、全面にわたる表示のほうが好ましい。したがって、適宜動剛性を判断するに適した図を選択すれば、動剛性の把握がより明確となる。

4.3 モード判定への活用

図 6 は旋盤ベッドの解析での、近接した 2 つのモードの正方向変形図やモードアニメーションから、その違いはある程度把握しうるが、ベクトル図で特徴点 (この場合は右上端と左下端) の変位を確認し、ノード点図で振動の節となっている面を把握すれば、図 6 左のモードが Y 軸まわりねじれで、右のモードはねじれと曲げの混合したモードであることが判る。このように本システムを利用すれば、振動モードの判定が容易となる。

4.4 解析結果および実験結果の評価

図 7 は四段モデルの Z 軸まわりねじれの 1 次、解析あるいは実験で得られた正方向変形図と、X 方向変位に関する相関誤差を示した図である。この例では、ステージ間の節点の X 方向変位が食い違っており、解析での要素の選択に問題があることが判る。図 8 は旋盤ベッドの Z 軸まわり曲げ 1 次の場合の、X 方向変位に対する解析と実験の相関誤差を示している。この結果は、実験における X 方向の中央の点での測定方法と、解析における支持形態と旋盤ベッド右の部分の剛性評価に問題があることを指摘している。このように本システムを利用すれば、解析結果および実験結果の評価が容易となる。

5. 結 言

パーソナルコンピュータを用いて、工作機械の動剛性を大型計算機により有限要素解析する際の、その入出力を支援する安価で実用的なソフトシステムを作製することができる。本報告では、そのシステムの構成と機能について詳述し、その適用例を紹介した。本システムを利用すれば、次のようなことが可能となる。

- (1) 大型計算機からの出力結果を、能率よく処理し、種々のグラフィック表示の形態に変換しうる。
- (2) 本システムのモードアニメーションやベクトル図・ノード点図を利用すれば、振動モードの判定が容易となる。
- (3) 解析結果と実験結果を本システムで比較すれば、解析方法や実験方法の問題点を容易に指摘しうる。

(1985 年 1 月 22 日受理)

参 考 文 献

- 1) 那須ほか 2 名, 生産研究, 32-11 (昭和 55) 533.
- 2) 酒井ほか 3 名, 機講論, 810-13 (昭和 56) 115.