

北海道大学工学部 ○大木 雅 近藤 司 五十嵐 悟 斎藤勝政

要 旨

エンドミルによる切削加工における加工誤差の予測を行うにあたって、その基礎となる切削抵抗の予測手法について述べた。また実際にこの手法を用いて解析を行いその有効性を確認した。

1・結 論

本研究は切削加工中のエンドミルの挙動を解析することにより加工誤差の予測を行い、最適な加工を施すための工具経路を生成することを目的としている。エンドミルによる切削加工では、エンドミルがスパイラル状であることに起因する切削力の変動等の影響で工具がたわみ、加工誤差を生ずる。これに対処するために多くの理論的、また実験による解析がなされてきたがエンドミルの挙動は極めて複雑であり、未だ任意の加工条件に対して万能に対応できる解析結果は得られていない。

本研究ではコンピュータ・シミュレーションによりエンドミル切削過程の解析を行うことにした。エンドミルの挙動に関しては3次元弾性有限要素法を、また被削材に関しては3次元弾塑性有限要素法を用いて近似的な解析を行い、コンピュータ上で加工条件を変えるだけで任意の加工条件に関する解析を可能にすることを試みる。本報ではその基礎となる切削抵抗の予測手法について述べる。

2・切削加工の原理

切削加工は被削材に機械的なエネルギーを与え、その塑性変形と破壊により不必要な部分を切りくずとして分離することにより行われる。この時切れ刃は被削材にエネルギーを与えたことによる反作用を受け、これが切削抵抗となると考えられる。このような過程を忠実にシミュレートするために本研究ではまず直線切削をモデルにして切れ刃にかかる荷重を分析し、それをもとに切削抵抗予測を行うことにした。直線切削加工は図1のような条件下で行われており、次の関係が成り立っている。<sup>1)</sup>

$$F = F_c \sin \gamma + F_t \cos \gamma$$

$$N = F_c \cos \gamma - F_t \sin \gamma$$

$$F = N \tan \beta$$

また本研究では上記関係式以外にK r y s t o f の切削方程式

$$\phi + \beta - \gamma = \pi / 4$$

も考慮して切削抵抗の予測を行うものとする。

3・切削抵抗の予測手法

本手法では工具は剛体とし、被削材の解析にはM a r c a l の方法による弾塑性有限要素法を用いた。M a r c a l の方法は与えられた荷重増分に対して降伏要素数が決定される点に特徴があり、本研究のように

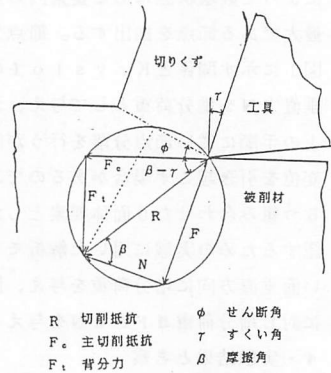
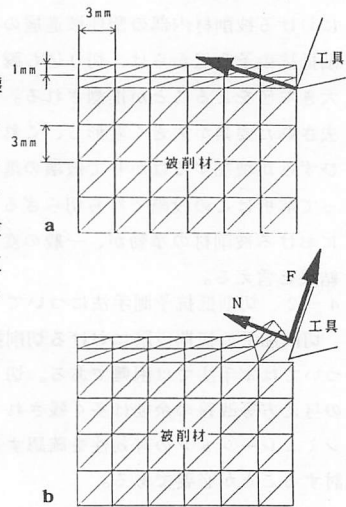


図1 切削抵抗の分力



phi = 25°    gamma = 20°  
切削幅 = 1mm  
E = 21000 kg/mm<sup>2</sup>

図2 解析モデル

ある荷重増分下における塑性域の進展具合を知ろうとする場合に有効な方法である<sup>2)</sup>。また、本手法ではV o n ・ M i s e s の降伏条件

$$\sigma = [ \{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \} / 2 ]^{1/2}$$

に従い、相当応力が降伏応力を上回った時その要素が塑性状態になったと判断する。また相当応力が極限強さを上回った時には、その要素が破壊の状態にあるとみなし節点分離を行なう。分離させる節点の決定は、

$$f_i^e = -B^T_i D \epsilon^e V^e \quad (e: \text{要素番号} \quad i: \text{要素の4節点})$$

によって破壊状態にある要素内の各節点における節点力を求め、それが最大である節点を抽出する。節点分離によって新しく発生した節点には、図1に示す関係とK r y s t o f の切削方程式とを考慮して摩擦力Fと垂直力Nを増分荷重として与え、元の節点の荷重は完全に開放する。以上の手順に従い節点分離を行うが四面体要素ごとに分離してゆくと剛体変位を引き起こす場合があるので、分離の最小単位要素は四面体要素を6つ組み合わせた6面体要素とした。なお、図2に本手法の有効性を確認するための実験に用いた解析モデルを示してある。図2-aではすくい面垂直方向に増分荷重を与え、図2-b、cでは新しく発生した節点に対し増分荷重dFとdNを与えるものとする。

#### 4・実験結果と考察

##### 4-1 解析結果について

図3は上述した切削抵抗の予測手法による解析例である。図3-a、bからは工具が切り込む瞬間、そして微小な切削がなされるまでの過程における被削材内部の塑性域進展の様子がよく解る。また算出された切削抵抗の予測値からは、切り込む瞬間の方が定常状態よりも切削抵抗が大きな値をとることが推測される。一方、図3-cでは切り屑として除去された要素が大きく変形し、これ以上増分荷重を与えてもその要素のひずみが増加するばかりで破壊の進行は見られなくなってしまった。従って解析はこの段階で打ち切らざるを得なかった。このことは切削加工における被削材の挙動が、一般の変形過程とは異なる<sup>1)</sup>ことを裏付ける結果と言える。

##### 4-2 切削抵抗予測手法について

切削加工の初期段階における切削抵抗の予測については本手法で十分有効であるが、定常状態での予測については本手法では困難である。切り屑となった要素の節点荷重の扱いや、切れ刃先端における節点荷重の与え方等改善の余地は多く残されており、定常状態に対する適切な手法の構築が今後の課題である。またシミュレーションの有効性を確認する意味でも実際に切削加工実験を行って、解析結果と実験値とを比較検討することが必要である。

#### 5・結論

直線切削モデルに関して、弾塑性有限要素法を用いた切削抵抗の予測手法を提案した。またこの手法を使ってシミュレーションを行い、切削加工の初期段階におけるその有効性を確認した。

【参考文献】 1. 斎藤勝政ほか：機械工作法（朝倉書店） 2. 三好俊郎ほか：有限要素法（実教出版）

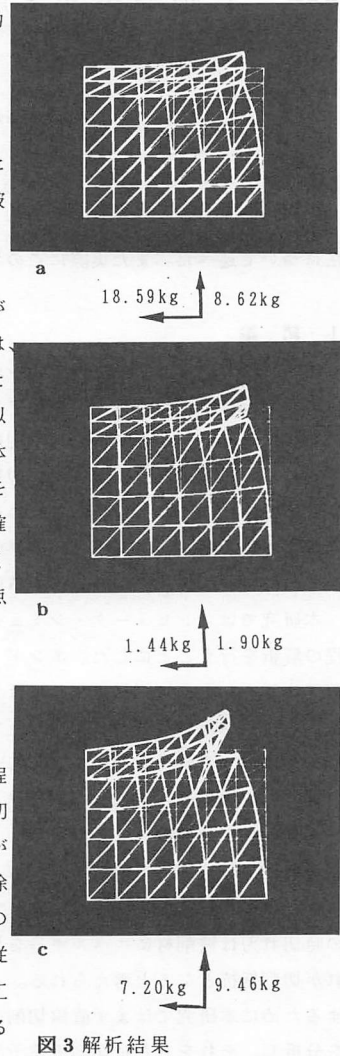


図3 解析結果