

21 シミュレーションを活用した塑性加工・せん断加工の高度化に関する調査

東 義隆, 福地雄介, 後藤浩二, 安東隆志, 岸本 正, 浜口和也

1 目 的

兵庫県内には塑性加工・せん断加工、例えばパンチングメタル、精密板金プレス、冷間・熱間鍛造、ロールフォーミングなどを始めとして高度な技術をもつ「ものづくり」を支える多くの中小企業がある。

これらの多くの企業での技術開発は現在でも熟練者の経験と勘に頼るところが非常に多い。しかし、他企業との差別化のためには新たな技術開発や優秀な後継者の育成の他に、開発した技術に対する理論的な裏付けや定量的な評価技術の保有が求められるようになってきている。一方、近年のコンピュータによるシミュレーション技術の進歩は目ざましいものがあり、これまで適用が困難であった現象が複雑な塑性加工分野においても着実に実績をあげてきているが、中小企業においてはまだまだ取り組みが少ないのが現状である。

そこで、本調査研究では塑性加工・せん断加工におけるシミュレーション技術の現状と動向について調査を行った。さらに、せん断加工、特にパンチング(打抜き加工)に着目し、現象解析にシミュレーション技術を適用して加工現象の基本的な定量モデルの構築を行った。

2 塑性加工のシミュレーション技術の現状と動向

ものづくりの工程の中で、塑性加工およびせん断加工のシミュレーション技術は無くしてはならないものとなっている。多くの自動車メーカーや鉄鋼メーカーを中心に実際の問題への成形シミュレーションでの適用が試みられるようになった。表 1 に実際使われている CAE (Computer Aided Engineering) ソフトウェアの例を示す。これらの CAE において、実際に解析計算を実行するアプリケーションはソルバーと呼ばれる。その区分は、ベースとなる運動方程式における慣性項を考慮したか否か(動的か静的か)と、それを解くための解法として、陽解法と陰解法のどちらかを選択したかによる。陽解法では、解が常に陽的に求まり、陰解法は反復法で求める手法で、これらは有限要素法(Finite Element Method)

表 1 日本の企業で使われている CAE の例

導入例	M社	N社	T社	S社
CAD	I-DEAS GNC (in house)	PUNCH (in house)	integrated CAD (in house) Pro/ENGINEER	Pro/ENGINEER
プリポストソフト	GNC	I-DEAS	FEMB PATRAN	K-SWAD CADISCT
シミュレーションソフト	PAM-STAMP	ITAS3D AUTOFORM PAM-STAMP	LS-DYNA3D JOH-NIKE3D	PAM-STAMP ITAS3D

で離散化され計算することができる。

これまでも塑性加工分野において有限要素法を用いた多くのシミュレーション結果が報告されている。例えば、パンチング、ファインブランキング法、かえりなしせん断法、プレスシェーピング法、引き抜き加工、転造加工などの解析に応用されている。現在、LS-DYNA、MARC、ABAQUS 等の汎用構造解析プログラムや simufact.forming、DEFORM3D、JSTAMP、PAM-STAMP 等の塑性加工専用プログラムを利用することで実用レベルでの塑性加工のシミュレーションが可能な環境が現在整いつつある。

3 打ち抜き加工への適用

せん断加工は一組の工具に材料を挟んで切断する切断法で、他の切断法に比べて高能率であるため板からの機械部品の加工に多く用いられている。特に、板材から製品形状を切り取る打ち抜き加工が最も一般的に用いられる。図 1 は、せん断加工の変形破壊過程を模式的に示したもので、他の塑性加工とは異なり、材料を破壊領域まで変形させて切断するのが特徴である。このため、他の塑性加工現象のシミュレーション解析に比べて、大ひずみ、破壊条件、き裂等の解析上の問題点が多く、適用例は多くはない。そこで、打ち抜き加工(パンチング)について加工現象の定量的評価のための解析モデルについて検討を行った。

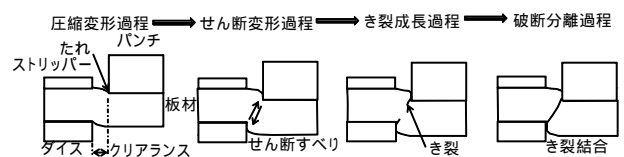


図 1 せん断現象

3.1 打ち抜き加工の解析モデル

打ち抜き加工の解析に用いた有限要素法解析用の軸対称モデルを図 2 に示す。ダイスの上に被加工材の厚さ t の板材を置き、直径 $f d$ のパンチを変位 Dz ずつ押し下げることで板材を打抜くようになっている。ただし、ダイス上端面と板材下端面およびパンチ下端面と板材上端面の間には接触条件を定義した。また、境界条件としてパンチと板材を y 軸方向にのみ固定した。一方、ダイスは y 軸および z 軸の両方を固定とした。なお、パン

チとダイスのクリアランス(隙間)は、標準的な $0.05t$ とした。

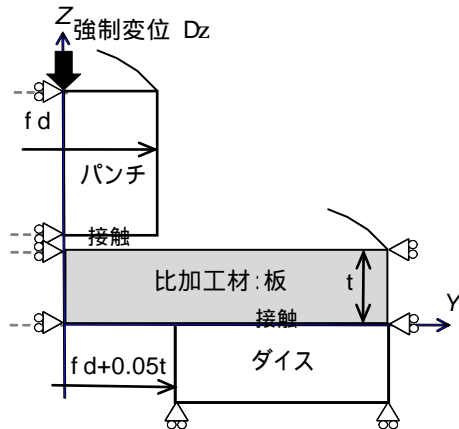


図2 解析モデル

3.2 解析方法

打ち抜き加工の解析には、汎用非線形構造解析プログラムである ADINA8.1 を用いて、動的陽解法による弾塑性の大変形解析を行った。解析に用いた材料特性は、表1に示すように板材、パンチ、ダイスとも2直線近似型の弾塑性材料とした。ただし、パンチ、ダイスは弾性応力解析のみのため、降伏点を高く設定している。なお、打ち抜き加工による板材の延性破壊条件として、相当塑性ひずみが最大許容ひずみより大きくなるときに延性破壊が生じると定義した。破壊現象は、延性破壊条件に達した要素を順次解析から排除することにより表現した。

表1 材料特性

材料特性	板材	パンチ ダイス
ヤング率 (GPa)	206	
ポアソン比	0.3	
密度 (g/cm^3)	7.89	
降伏点 (MPa)	245	980
ひずみ硬化率(MPa)	1,960	0
最大許容ひずみ	0.3	-

3.3 解析結果

板厚 $t=1\text{mm}$ の板をパンチ径 $d=1.5\text{mm}$ で打ち抜く場合のパンチのストロークの変化にもなうパンチに作用するせん断荷重との関係を図3に示す。パンチが板に接触直後は弾性変形により線形的に荷重は増加するが、弾性範囲を超えると塑性変形して非線形に荷重は増加している。パンチ端近傍にき裂が発生すると荷重は不安定になり、最大荷重に達した後、き裂が合体して破断に至っている。図4は打ち抜き加工時のパンチ、ダイス、板に

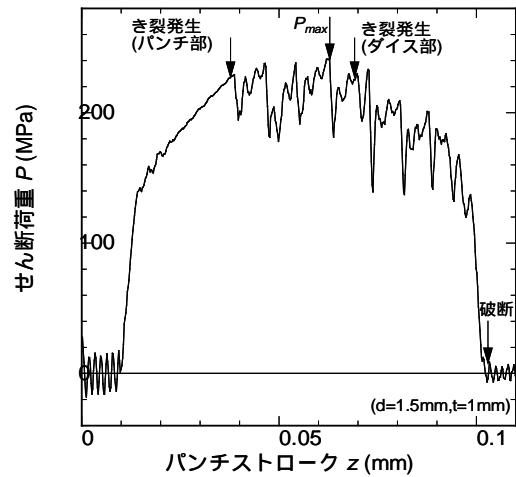


図3 せん断荷重の変化

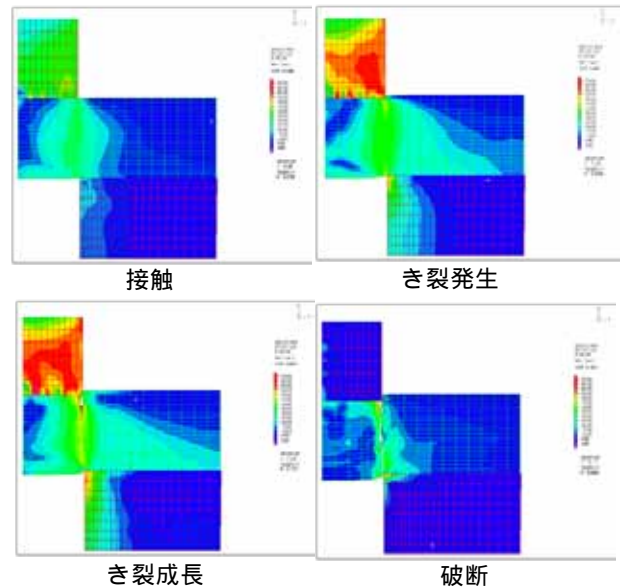


図4 応力分布の変化

生じる相当応力分布を示したものである。パンチが板に接触すると応力が生じ、き裂発生と成長過程で応力が高くなっている。

4 結論

汎用の有限要素法解析ソフトウェアを用いた打ち抜き加工(パンチング)の基本的な解析モデルの構築を行うことが、今後、塑性加工に取り組む中小企業への応用が期待できる。

謝辞

本調査の遂行にあたり、パンチングに関する貴重なご意見とご助言を賜りました総合金網・パンチングメタル・スーパーパンチングメーカーの(株)奥谷金網製作所(神戸市)に深く感謝の意を表します。

(文責 東 義隆)
(校閲 福地雄介)