

せん断加工中の材料変形

埼玉工業大学 工学部 機械工学科

講師 高橋 俊典

(平成8年度奨励研究助成 AF-96039)

キーワード: せん断加工, ファインブランキング, visioelasticity法

1. 緒言

せん断加工は非定常変形加工であり, 加工中の材料変形解析は必ずしも容易ではない. 近年この分野でもFEM解析が行われ¹⁾²⁾, せん断現象の理論的解明が進んできた. 今後この分野の一層の発展は期待できるものの, 現状では複雑な変形を予測できるには至っていない. したがって加工工程の詳細を知るには実験によらざるを得ない. この分野では, 古閑ら³⁾がvisioelasticity法をコンピュータ化した手法を用い, 優れた成果を発表されている.

著者らはすでにvisioelasticity法にフーリエ位相相関法を用いた手法により, せん断時の変形解析が原理的に可能であることを示した⁴⁾. 本研究ではこの手法を用いて幅広いせん断条件下における材料の変形とひずみ分布について調べた.

2. 計測の原理

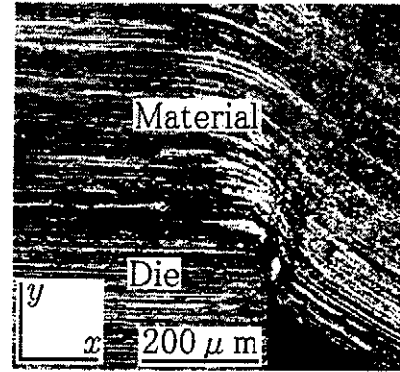
計測の原理はすでに報告してあるので, 以下の論旨展開に必要な事項を述べる.

材料の変形およびひずみ解析は加工に伴う材料各部の変位分布が計測できれば可能となる. 本研究で用いた計測原理は, 材料表面の画像そのものを標点とし, 加工前後の材料表面画像の位置ずれの算出をフーリエ位相相関法を用いて行うものである. 図1(1)はせん断加工中の刃先近傍材料である. この画像の一部と, パンチがさらに25 μm 食い込んだ後の画像の相関をとると同図(2)のように横方向に10 μm , 縦方向に20 μm ずれた位置で相関係数が鋭いピーク値をとる. このことより, 変形前後の画像標点の移動量と方向がわかる. この計測をせん断開始から終了まで行えば, 全工程における材料変位分布がわかり, ひずみ分布も計算できることになる.

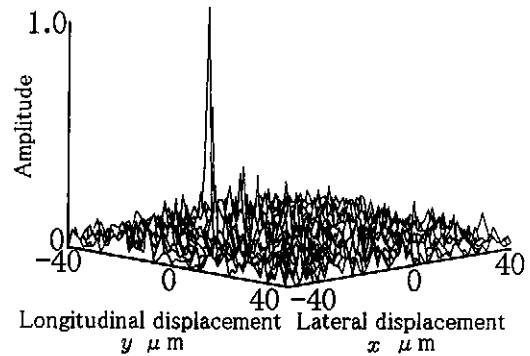
この方法の利点としては, (1)表面に標点を描く煩雑な作業が不要なこと, (2)大変形でも計測可能なこと, (3)コンピュータ処理が容易であることが挙げられる.

3. 検討内容

せん断加工は原理的にはパンチとダイを用いて材料にせん断変形を与え, 素材を分離させる加工である. 切り口面はだれ, 平滑面, 破断面及びバリで構成される. せん断条件を変えると切り口面の構成割合が変化する. これは主にクリアランス近傍材料の静水圧の変化に起因する. 支配因子はクリアランス, 材料の拘束条件等である. そこでこれらに注目し



(1) 計測面の画像データ



(2) 2枚の画像データ間の相関

図1 フーリエ位相相関

パンチ食い込み量: 35%

て, クリアランス近傍材料の変位とひずみの分布について検討した. 具体的には(1)慣用せん断におけるクリアランスの影響, (2)板厚に対してパンチ寸法が小さくなることの影響, (3)板押さえの影響である. なお板押さえについてはファインブランキングに用いられる突起付き板押さえも用い, 加工条件の影響を広く調べることにした.

4. 実験方法

4.1 計測装置

図2は実験装置全体図である. 微動XYステージ上にせん断加工装置を設置し, 固定したCCDカメラでせん断加工中の材料変形状態を撮影する. 対象部分は1画像に収まらないので, XYステージを移動し, 必要な領域の画像を撮影する. この後, 画像解析を行い材料の変形状態を調べる.

4-2 せん断加工装置

せん断加工装置は図2の中央部XYステージ上に設置される。基本金型全体を図3に示す。平行複刃形せん断装置でありパンチ、ダイの組み合わせで所定のせん断条件(クリアランス, 刃先丸みなど)を設定する。被加工材は板厚1mm, 長さ40mm, 幅10mmの銅半硬質材である。加工を平面ひずみ変形とするため, 板が幅方向に変形しないようにカメラ側の面は強化ガラスで拘束し, 材料はこのガラス越しに撮影した。

4-3 実験方法

所定の条件で材料をダイ上で板押さえにより拘束する。この後パンチを食い込ませる。25 μ m食い込ますごとにクリアランス近傍を撮影する。せん断の全工程を終了した後に解析を行う。撮影を容易にするため, 潤滑油は用いていない。また照明はハロゲンランプを用い, 実験中に撮影条件を調整する必要はない。

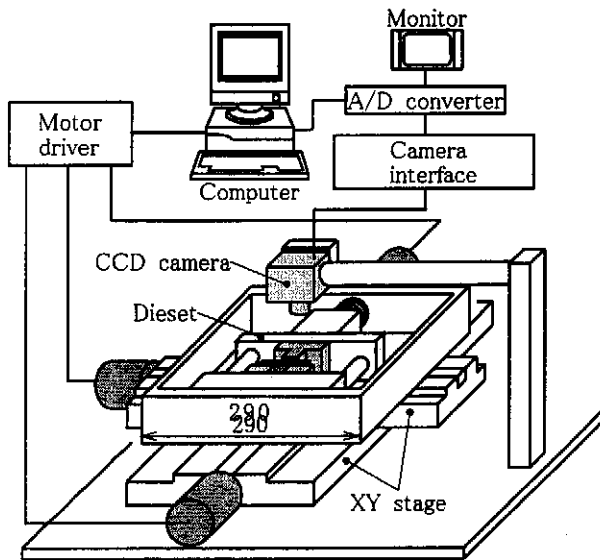


図2 実験装置

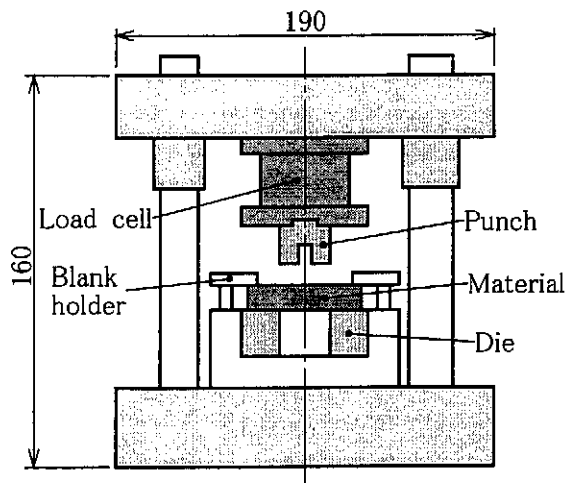
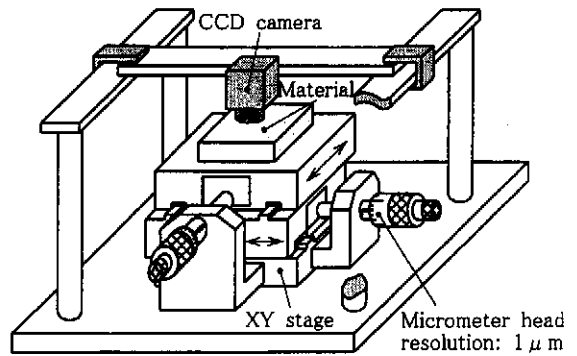


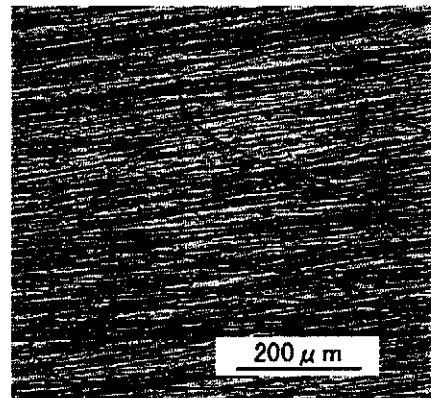
図3 ダイセット

5. 測定精度の検定

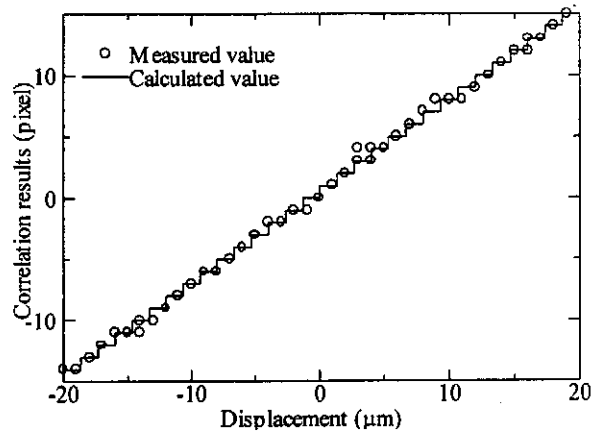
せん断加工の解析に先立ち, 本方式による測定精度及び試料表面粗さの影響について調べた。検定は図4(1)のように金型の代わりにマイクロメータヘッド及び試料保持装置を設置し, 試料1 μ m移動毎に画像撮影を行い, 算出される移動量とマイクロメータの移動量を比較する。また試料は1mm厚アルミを, #100, #400の研磨紙で仕上げるにより表面状態を変えたものを用いた。図4(2)に試料表面の1例を示す。結果を図4(3)に示す。面粗さに依存せず, 高い直線性が得られており, この場合1 μ mの測定精度は十分期待できることがわかる。



(1) 検定装置



(2) 検定に用いた画像データ



(3) 検定結果

図4 変位測定の検定

6. せん断加工の材料変形計測結果及び考察

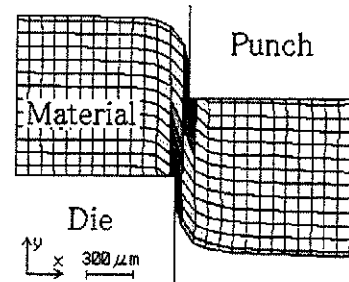
6-1 クリアランスの影響

通常のせん断加工を想定し、パンチ幅を板厚の20倍とした。図5にクリアランス5%及び30%の場合の材料変形及び相当塑性ひずみ(以下ひずみと記す)の分布を示す。クリアランス5%の場合、クリアランス部の材料がわずかに外向きに移動するのが見られるが、おおむね、パンチ軸方向への変形が主体となっている。もちろんだれ部が特異な変形を伴うことはある。これに反し、クリアランスが30%と大きくなると、パンチ側、ダイ側だれ部分の材料移動が顕著である。これは周知のように食い込みに伴ってクリアランス部の材料不足を補う変形であるが、視覚的に確認できた。

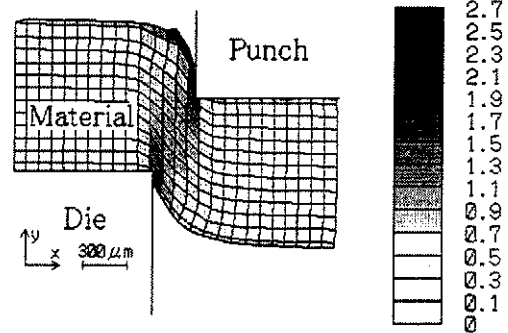
ひずみ分布を図6に示す。これよりパンチの進行に伴い、ひずみは増大し、特にクリアランス部のひずみが増大することが読みとれる。クリアランスが小さい方がひずみ値は大きくなっており、従来から知られる事項と傾向は一致する。

6-2 工具寸法の影響

板厚に対するパンチ幅の比 r が1以下の場合には、いわゆる「小穴抜き」と呼ばれ、加工が厳しくなることが知られている⁹⁾。ここでは r を1及び0.5とした場合の材料流動およびひずみ分布について検討した。材料流動に関する結果を図7に示す。 r が1の場合は慣用せん断の場合と大差ないが、 r が0.5と小さくなるとかなり大きく変化する。パンチ下材料、ダイ上材料ともに外向きに押し出されている。このためパンチ下の材料は薄くなる。材料はクリアランス部でも消費されるため、パ

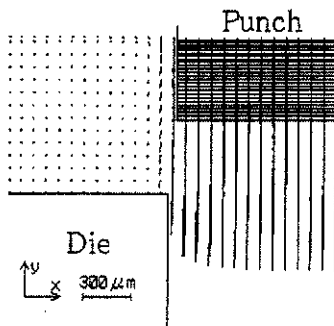


(1) クリアランス: 5%

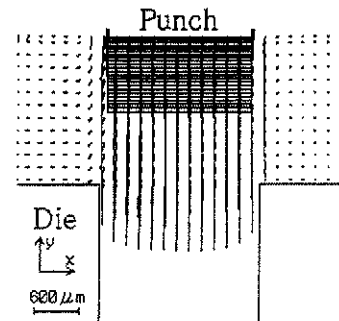


(2) クリアランス: 30%

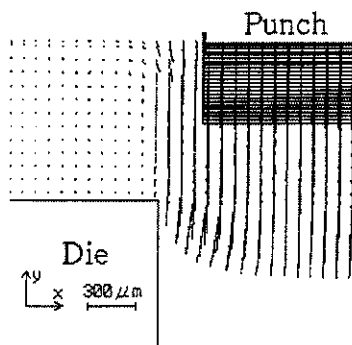
図6 慣用せん断におけるひずみ分布
パンチ食い込み量: 50%



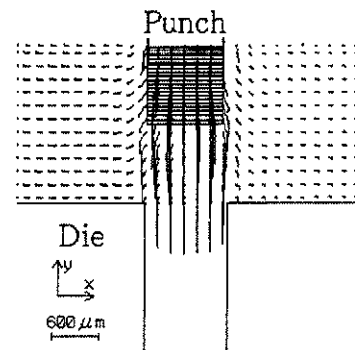
(1) クリアランス: 5%



(1) パンチ幅/板厚: 0.5



(2) クリアランス: 30%



(2) パンチ幅/板厚: 1

図5 慣用せん断における材料流動
パンチ食い込み量50%

図7 細長パンチを用いたときの材料流動
クリアランス: 5%, パンチ食い込み量: 50%

ンチ下材料の薄くなる傾向はクリアランスが大きいほど著しい。

ひずみ分布を図8に示す。rが1の場合、加工初期は左右から生じる塑性変形領域はパンチ下中央でつながらない。rが0.5の場合は加工初期からパンチ下材料の全面が塑性域に達している。こうしたことから、 $r=1$ 付近を境として加工機構に差を生じていることが理解できる。これまで小穴の加工機構について優れた研究が発表されているが、本結果はこれらの報告を材料流動及びひずみ分布の形で別の観点から検証したものといえる。

6.3 突起付き板押さえの効果

通常の平板板押さえの代わりに突起付き板押さえを用いると材料の板面方向への材料流動が阻止され、さらに突起の食い込みがクリアランス部への材料供給を行う結果、当該部分の静水圧を高める作用を行う。これはファインランキンクに用いられており、さらにダイ切れ刃のわずかの丸み付けと逆押さえの支援もあり、き裂の発生を防ぎ破断面をなくすことを可能としている。ここでは逆押さえ力を打抜き力の約20%、ダイ刃先丸み0、0.06mm一定とし、図9に示す板押さえの形状、位置の影響を調べた。

6.3.1 材料流動 図10に材料流動の状況を示す。(1) 平板板押さえ、(2)突起の位置がパンチから近い1.2mmの場合、(3)突起の位置がパンチから遠い3.6mmの場合である。(1)では押さえ力は相当加えているが、慣用せん断の場合と

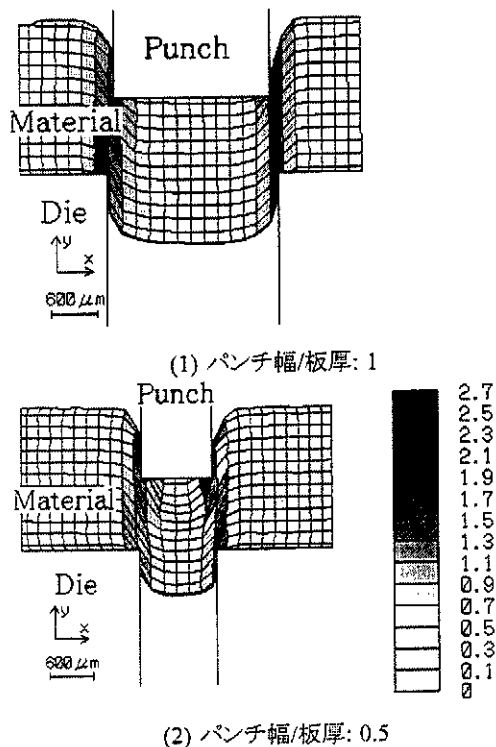


図8 細長パンチを用いたときのひずみ分布
クリアランス: 5%, パンチ食い込み量: 50%

流動傾向はほぼ同様である。(2)の場合は、突起の食い込みにより、突起右側の材料が回転するような流動を示している。この材料の動きがクリアランス近傍材料の静水圧を高め、き裂発生を阻止していると解釈される。(3)は突起位置が遠すぎるためこのような流動は見あたらない。これまでは切り口面の観察を基に最適突起位置が検討されたが、この結果は材料の変形の観点から位置の重要性を指摘できた。なお、刃先丸み0の場合も実験を行っているが、同一尺度では顕著な差は見られない。これについては当該部のみを拡大した測定で可能となると考えられ、今後の課題としたい。

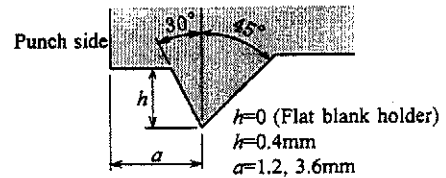


Fig. 9 突起付き板押さえ

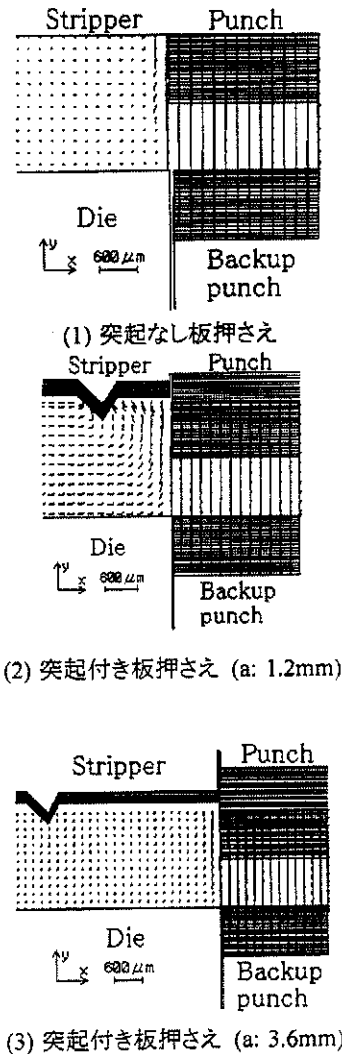


図10 ファインランキンクにおける材料流動
クリアランス: 1%, パンチ食い込み量: 50%

6.3.2 ひずみ分布 図11に図10に対応するひずみ分布を示す。(1)の場合は慣用せん断とほぼ同様である。(2)の場合は突起の押し込みにより生じたひずみの発生が見られ、その領域はクリアランス部までほぼつながっている。(3)の場合、突起部近傍のみにひずみが見られるがその範囲は狭

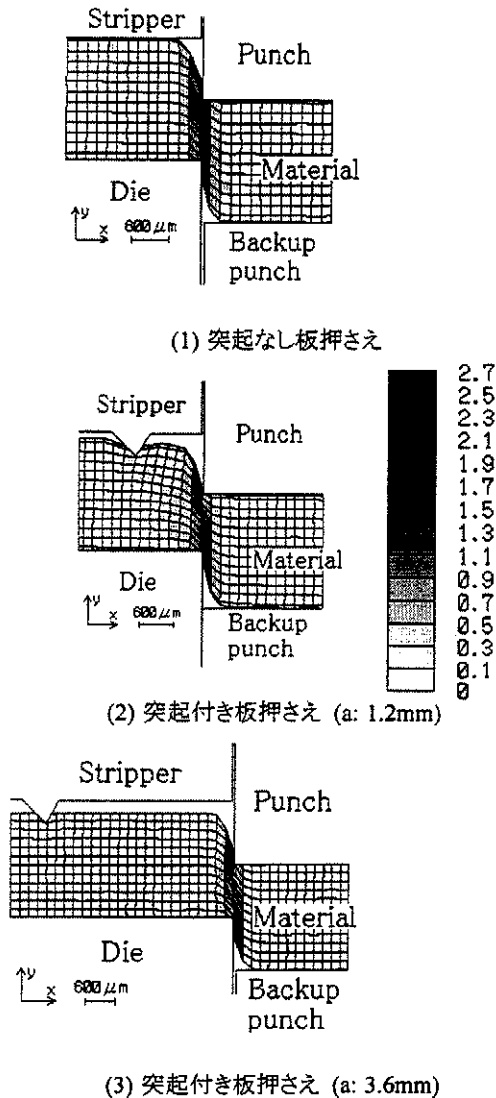


図11 ファインブランクングにおけるひずみ分布
クリアランス: 1%, パンチ食い込み量: 50%

い。これらの傾向は図11の材料流動にほぼ対応するものである。

7. 結言

フーリエ位相関法をvisioplasticity法に適用した方法を用い、せん断加工の材料変形解析を行った。特にクリアランス近傍の静水圧の支配因子に注目し、材料の流動とひずみについて実験的に調べた。その結果、以下の知見を得た。

1. クリアランスが大きくなると、クリアランス部材料の不足を補うようなだれ部からの材料流動が顕著となる。またクリアランスが小さい方がひずみは大きくなる。
2. パンチ幅寸法が板厚に比べ小さくなるとパンチ下材料ダイ上材料ともに外向きに流動する。この結果パンチ下材料の板厚は減少する。またこの場合、パンチ下材料の全面が塑性変形域となる。
3. 突起付き板押さえは突起の食い込みによりクリアランス部へ材料供給する流動を生じさせる。ただし突起は適切な位置に設ける必要がある。

新たな材料流動計測手法を用いて得られた結果は、従来から定性的に述べられて来た事象を、明瞭な視覚の形で、また、ある程度定量的な形で検証した部分が多い。こうした流動解析は適切なせん断加工条件の設定に寄与するものと考えている。

参考文献

- 1) 小森和武, せん断加工の数値シミュレーション, 塑性と加工, 38 - 433 (1997), 129 - 134.
- 2) 竹増光家・尾崎龍夫・山崎進, パーティクル流れモデルによる板材のせん断加工の数値解析, 塑性と加工, 36 - 418 (1995), 1318 - 1323.
- 3) 古閑伸裕・工藤武・村川正夫, Visioplasticityによるせん断加工現象の解析, 塑性と加工, 33 - 383 (1992), 1362 - 1367.
- 4) 高橋俊典・青木勇, 画像処理を使ったVisioplasticity法によるせん断変形解析, 機論, 62 - 600, C (1996), 256 - 261.
- 5) 尾崎龍夫・吉海照直, 小穴の打抜き加工機構, 塑性と加工, 13 - 140 (1972), 683 - 688.