

多点支持装置を用いたプレス金型のインプロセス挙動の可視化

国士舘大学 理工学部 理工学科 機械工学系

教授 大橋 隆弘

(平成20年度一般研究開発助成 AF-2008030)

キーワード：ブランキング，インプロセスセンシング，異常検知

1. 研究の目的と背景

プレス技術・数値シミュレーション技術の高まりにつれ、数値解析だけでは解決困難な機差やセッティング不良など物情（モデル）不一致に起因する問題に注目が集まり、インプロセスでの成形プロセス・金型挙動のモニタリングが重要となってきた。プレス加工（深絞り，打ち抜き）においては、金型・装置類の弾性変形，スライド・金型の運動（軌道），不良・異常現象のモニタリングが重要となる。また，単なる検知ではなく，これらのモニタリング内容が不良・異常の原因究明・解決（技術における原理解明・原則構築）に資するような可視化技術であることが高度な生産技術の蓄積のため重要である。筆者らは多点支持装置を用いて大型のプレス金型の支持状態を調整することで，成形時の金型の弾性変形を調整する研究開発，ならびに，支持装置をセンサーとして利用し，金型弾性変形シミュレーションに合わせこむことで，インプロセスでの金型のふるまいについて可視化するシステムの研究開発を行ってきた^{1,2)}。

本研究では，金型多点支持装置を用いて，ブランキング金型における異常（異物の挟み込みなど）時の支持荷重の異常パターンを調査し，モニタリングすることで，インプロセスでの異物挟み込みの異常や，ブレイクスルー時の上下型の横ずれによるパンチ磨耗を可視化あるいは検知する要素技術を開発する。

2. 実験方法

2.1 金型の多点支持構造

実験に使用した多点支持装置の概念図を図1に示す。ダイセットパンチプレートとプレス機スライドの間にはばねの役割をする弾性柱を12個挿入している。この弾性柱は水平方向に固定されておらず，回転自由な球面座でパンチプレートに接しているため，スライドーダイセット間でスラスト力を伝えることはない。この弾性柱を筆者らは支持ユニットと呼んでいる。支持ユニットは側面にひずみゲージが貼付されており，各支持ユニットが受ける荷重とたわみも同時に計測できるようになっている。この支持装置について，支持装置全体が蓄える弾性ひずみエネルギーは次式のとおりとなる。

$$U_s = \frac{1}{2k} \left(n\bar{p}^2 + \sum_i^n \Delta p_i^2 \right) \quad \dots(1)$$

ただし， k : 支持ユニットのばね定数， n : 支持ユニットの総数， \bar{p} : 支持ユニットの荷重の平均， Δp_i : i 番目の支持ユニットが受ける荷重

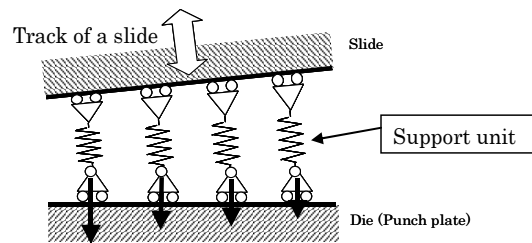


図1 金型多点支持構造の概念図

上式は，同じ加工荷重の状態であっても，各支持ユニットが受ける荷重が平均化するほど支持ユニットが蓄える弾性ひずみエネルギーが小さくなることを示しており，このとき支持装置のみかけの剛性は大きくなる。また，支持ユニットの高さの弾性変形量は，受圧する荷重が平均化するほど等しく近づいていくから，上記条件はスライドがほとんど変形しないと仮定すれば，支持装置がダイプレートをスライドとできるだけ並行に変形しないように支える条件ともなる。そこで，支持ユニットの水平面内の配置を変えることで，上記条件に近づけることを試みる。手順は以下のとおりである。試し加工をした後に，測定された各支持位置でのピーク荷重から， xy を金型平面内位置， z を荷重としてNURBS曲面をフィットする。この曲面を荷重分布曲面と呼ぶ。この荷重分布曲面の最大勾配方向に予め決めた量だけ支持装置を移動することで，支持位置を再配置する。この適応的な再配置作業を筆者らはリロケーションと呼んでいる。上記の一連の手続きを繰り返すことにより，荷重が大きな部分に支持装置が集中することになる。同時に，水平方向のゆれについても測定し，改善がなくなった時点でリロケーションを中止する。この状態が最適配置であることは保証できないが，要求仕様を満たす調整が合理的に得られれば工業上は用が足りるため，有用な調整方法である。

2.2 実験装置および実験方法

実験で使用したプレス機の仕様を表1に示す。また、実験に使用した金型と支持ユニットを図2,図3に示す。使用した金型はパンチプレートの中心および中心からそれぞれ左右50mmの位置にパンチホルダを持ち、センタ位置および左右の偏心位置にφ30mmの円形パンチを装着できる。□235mm×125mm、板厚1.2mmの980MPa級ハイテン材に中心から右50mmの位置に穿孔を行い、支持荷重の変化をモニタリングした。不良現象としては、カスあがりを想定した異物の金型-材料間の挟み込みおよび、パンチの焼きつき(磨耗)について評価した。異物挟み込みについては図4に示すような、A5052片を試験片上の図5に示す点に配置し、金型との間で挟み込んで模擬した。異物を試験片と同様の鋼ではなくアルミニウム合金片としたのは実験による金型の消耗を避けるためである。

パンチ磨耗に関しては、従来の研究²⁾で、支持荷重が不均一の場合に、加圧-ブレイクスルー時の上下型間(パンチホルダダイプレート間)の動的な横ずれが最大となることがわかっている。そこで支持ユニット位置を変化させることによって荷重分布条件を変え、パンチ磨耗状態を調査した。まず試し加工用パンチを用いて試し加工を行い、2.1節で述べた方法で支持点配置を変え、その後、新しいパンチと交換して、20回の穿孔実験を行い、支持荷重の不均一性とパンチ表面の磨耗状態を調査した。

表1 供試プレス機の仕様

モデル	アミノ UTM-H TM020E
種別	複動油圧プレス
インナーライド定格	196kN
アウトスライド定格	98kN
ストローク	250mm
デーライト	305mm (インナ+アウトで単動時)
テーブル面積	400 x 400mm ²
ボルスタ面積	400 x 400mm ²

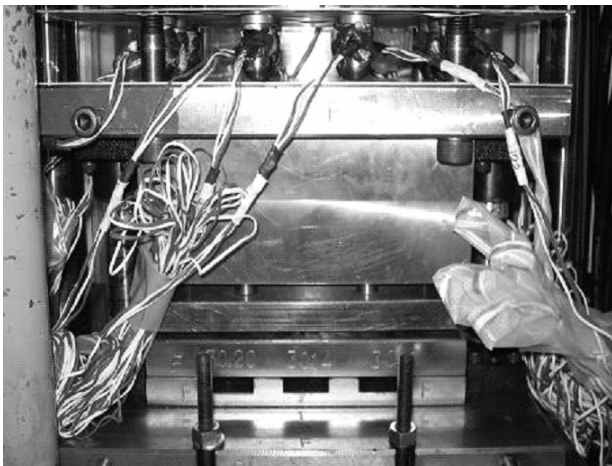
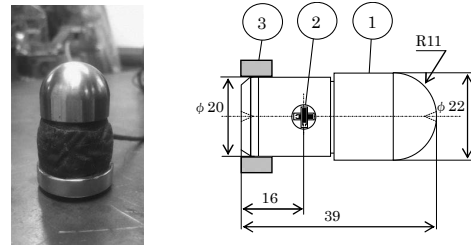


図2 ダイセット



1. Load-bearing part (SKS3). 2. Strain gauges. 3. Magnet

図3 支持ユニット

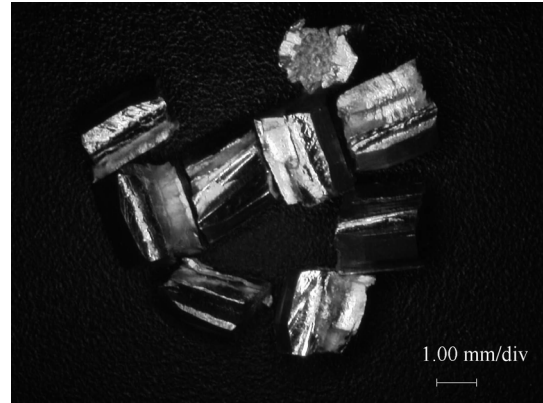


図4 異物(抜きカス)を模擬したA5052切片

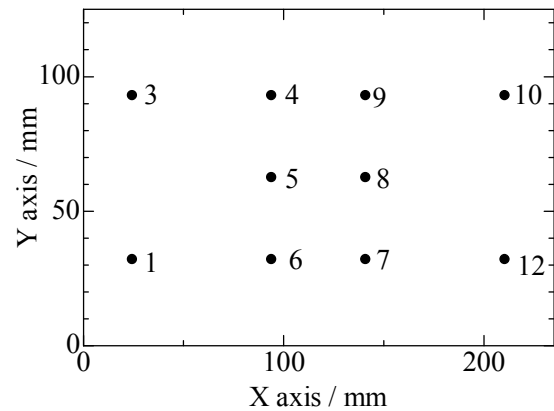


図5 異物の挟み込み位置(試験片左手前角(0,0), 試験片右奥角(235,125),とする。図はトップビュー)

3. 実験結果

3.1 異物挟み込みの試験

まず、実験のばらつきを調べるために、異物を置かないで10回試行を行い、支持荷重の測定を行った。そのときの支持ユニット別の最大荷重の標準偏差を表2に示す。おおよそ最大荷重の20%程度の支持荷重の変動が見られた。次に、図5に示した各点に異物を置いて、支持ユニット別の最大荷重を測定した。図6と図7は、異物がないときと異物をはさみこんだときの支持荷重分布を比較の一例である。異物置き位置1(図8に示すように)両者には差があるものの、表2の結果から見て十分大きいとは言えない。図9に最大荷重時のモーメント中心の座標

を示すが、異物のあるなしで大きな変化はなく、規則性もみられない。

表2 支持ユニット荷重のばらつき (その1)

ユニット	1	2	3	4	5	6
標準偏差	1925	7288	2702	645.9	1195	1366
σ N						

表2 支持ユニット荷重のばらつき (その2)

ユニット	7	8	9	10	11	12
標準偏差	678.6	573.4	823.5	336.9	703.2	1978
σ N						

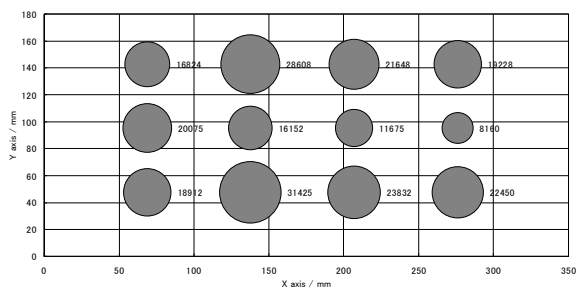


図6 異物なしのときの支持最大荷重分布 (N)

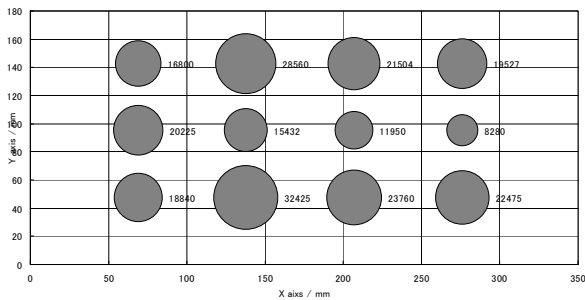


図7 異物置き位置1のときの支持最大荷重分布 (N)

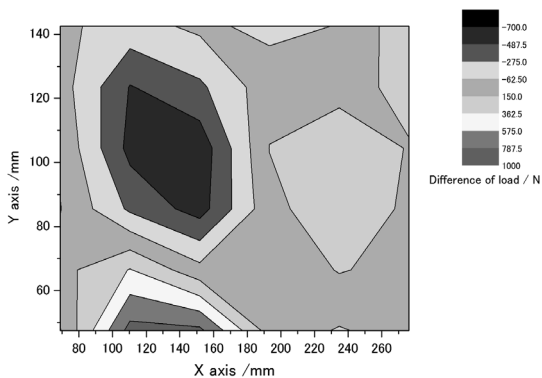


図8 異物置き位置1のときと異物なしの支持荷重の差分の分布 (等高線)

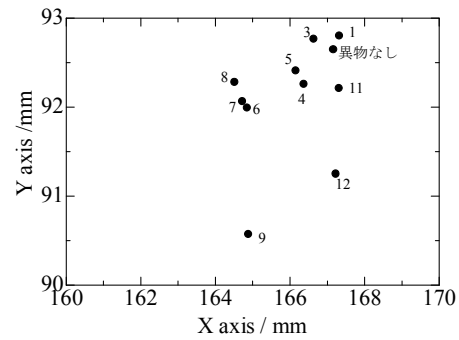


図9 異物位置による最大荷重時のモーメント中心の変化 (座標面は金型背面. トップビュー)

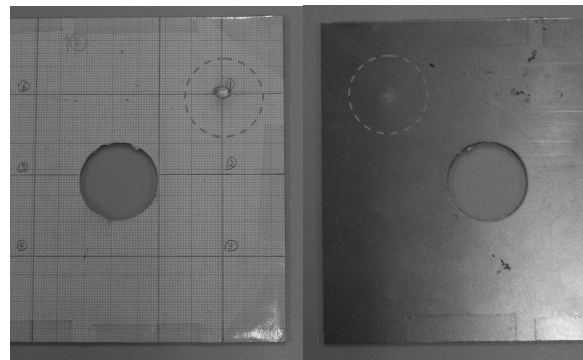


図10 異物を挟み込んで穿孔した試験片の様子

図10に異物を挟み込んで穿孔した試験片の様子を示す。アルミニウム合金片はハイテン材にめり込んでいる。このため、最大荷重となる穿孔時に、異物が上型（ストリッパプレートとパンチホルダ）と下型（ダイホルダ）との接触面に間隙を作る効果はほとんどなく、支持ユニットの最大荷重の分布から、異物挟み込みを検知するのは困難であることが、このことから確認できた。そのため、当初研究計画にあった、金型構造の数値解析による、異物挟み込み位置別の各支持ユニットの最大荷重の感度解析は、異物検知にそれほど効果がないであろうことがわかった。

そこで次に、時間変化の中での支持荷重の変化を調査した。穿孔プロセスは、①まず素材に対してストリッパプレートが接触し、②ばねを介して押圧され、③次にパンチが素材に当たるという順番で、進行する。図11に異物が無い場合、図12に異物をおいた場合の時系列下の荷重変化の例を示す。異物なしの場合は、ストリッパプレート接触から、パンチ接触までの荷重は、直線状に上昇していた。この直線状の荷重上昇は、ストリッパプレートを支えるばねによるものと考えられる。一方で、異物を置いた条件では、ストリッパプレート接触から、パンチ接触までの時間において、支持荷重の動揺が見られた。この区間において、異物は潰され、試験片にめり込んだと考えられる。従ってこの動揺を検知することで、異物の挟み込みを検知できる。

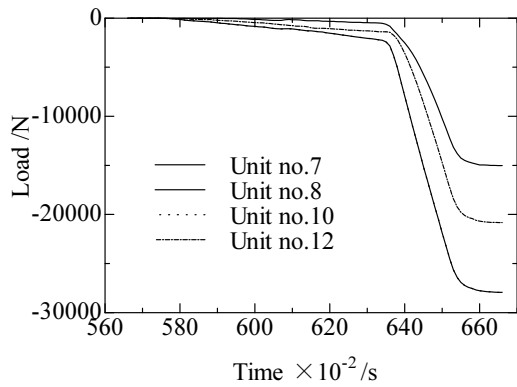


図1.1 異物が無い場合の荷重変化例 (打ち抜きなし)

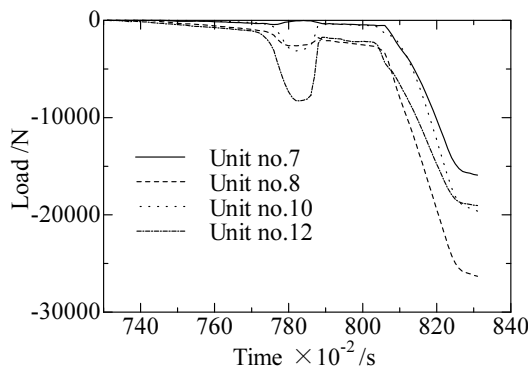


図1.2 異物位置 No.9 の荷重変化 (打ち抜きなし)

3.2 パンチ磨耗

2. 2節に述べた方法で、支持点位置を変え、荷重の均等化を図った。その一例を図1.3に示す。支持点位置を、初期の格子状とした場合の、パンチの磨耗状態を図1.4に示す。また、変更2回目の状態でのパンチ磨耗状態を図1.5に示す。既報²⁾のとおり、支持力の均等化によって横揺れが減り、本研究では、さらにその結果としてパンチ磨耗が減少したことが確認できた。

4. 考察とまとめ

本研究では、金型多点支持装置を用いて、ブランキングでの異物挟み込みの異常や、ブレイクスルー時の上下型の横ずれによるパンチ磨耗を検知する要素技術について検討した。異物挿み込みに関しては、パンチによる打ち抜きが開始される前に、ストリッププレートが異物を圧縮することで異物が変形し被加工材にめり込んでしまうため、加工荷重(最大荷重)分布に与える影響はほとんどないことがわかった。そこで、ストリッププレート接触から、パンチ接触までの時間帯の荷重の異常をモニタリングすることで、異物挿み込みの異常を検知することができる。この時間帯において本研究で用いた金型は、2つのばねでストリッププレートを支えるような状態となるため、支持ユニットの支持荷重分布から挿み込み位置を検知、構造解析することは困難であった。今後の研究課題として、このばねによる支持荷重を直接モニタリングすることにより、挿み込み位置の検知を可能とすることが考えられる。また、支持ユニット

位置を変化させることによって荷重分布条件を変え、パンチ磨耗状態を調査したところ、より支持荷重が不均一な条件でパンチ磨耗がより進行していることを確認した。支持荷重の不均一性は、上下型横ずれに影響するもので、直接パンチ磨耗を生じさせるものではないが、個別の生産環境におけるデータを蓄積することで、パンチ磨耗・焼き付きのリスクについて評価できる可能性がある。

謝辞

本研究にご助成戴いた公益財団法人天田財団に深謝いたします。

参考文献

- 1) Takahiro Ohashi, Tomoaki Ando, and Noriyuki Nakaoka, In-Process Measurement of Elastic Deformation of a Large Deep-Drawing-Die with Fusion of Experiment and Numerical Analysis, International Journal of Automation Technology,3-4(2009), 457-464.
- 2) T. Ohashi, H-J.Lian, S. Saito, A.Namisashi, T. Sato, J. Lin, Steel Research International, ICTP2011 Special Edition(2011), 379-384.

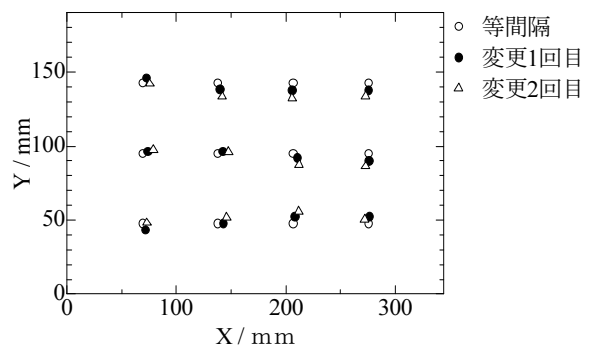


図1.3 支持点位置

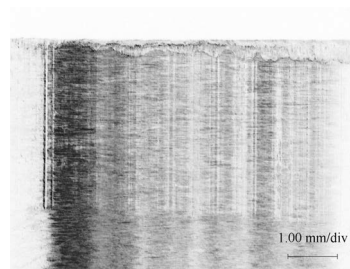


図1.4 等間隔支持におけるパンチ磨耗状態 (ネガ)

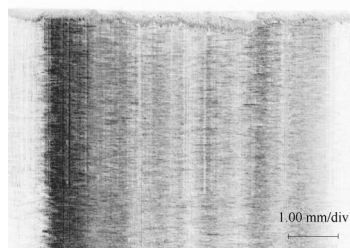


図1.5 変更2回目におけるパンチ磨耗状態 (ネガ)