

グースネックパンチの剛性に関する検討

北陸職業能力開発大学校 増川 一郎

Shape Optimization for the Improvement in Die Rigidity of Goose neck Punch

Ichiro MASUKAWA

要約 航空機構造に画期的な進歩をもたらしたCAEは、他の工学分野へも普及し様々な分野で応用され浸透している。我々は、プレスブレーキ用金型のグースネックパンチについて剛性の維持と重量の軽減の相反する要求に対応するため、有限要素法解析による設計支援手法により最適形状の模索を試みた。グースネックパンチの剛性の評価は、4つのタイプのグースネックパンチの形状を用意しひずみ測定実験と有限要素法解析により行った。その結果、金型の重量は剛性を維持したまま20%削減できた。そして、提案するグースネックパンチの形状が剛性に関して優れていることが証明できた。

I はじめに

プレスブレーキは、横幅が広く曲げ線が長い板金の曲げ加工に適するように作られた専用のプレス機械である。プレスブレーキによる曲げ加工は、上下一対の金型（パンチとダイ）の間に材料を置き加圧することにより製品形状を得る。金型の断面形状は、数種類存在し加工する製品の形状に応じて選択され使い分けされる。金型は、材料との干渉を避けるため人手により交換することが多く安全性および作業性向上の面からも重量の軽減が望まれる。

グースネックパンチは、プレスブレーキ用金型的一种である。曲げ加工時において製品と金型との干渉を避けるためにガチョウの首に似た逃げ断面形状を持つ。図1に、グースネックパンチが製品との干渉を防ぐ様子を示す。

グースネックパンチは、加圧中心が偏心しているためストレートパンチと比較して曲げモーメントが大きく作用し破壊しやすくなるため過負荷に対するパンチの剛性が問題となる。そして、パンチには、剛性の維持と軽量化の相反する要求がなされる。

そこで、我々はパンチの剛性を維持したまま軽量化を図る目的のためにCAEを活用してグースネックパンチの最適形状を模索した。我々の考案したグースネックパンチの剛性を評価するために行ったひずみ測定実験と有限要素法解析による結果の比較によりグースネックパンチの形状の違いによる性能の優劣がわかる。また、有限要素法解析では、パンチに発生するひずみの分布や応力分布が可視化でき設計指針となる情報を読みとることが可能となり最適設計および教育訓練においても効果的な手段となると考える。

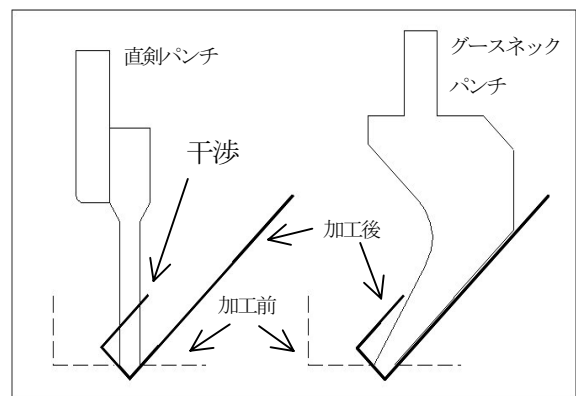


図1 金型と製品との干渉

II 実験条件

1 パンチ形状

図2は、製作した4つのタイプのグースネックパンチの形状を示したものである。基本形状は、形状タイプ1であり軽量化を計るために応力影響の比較的小さいと考えられるパンチの右側肩部の形状を削り取ることにより変化させ、形状タイプ2、形状タイプ3、形状タイプ4としている。

図3は、形状タイプ1の寸法を、図4は、4つのグースネックパンチの形状の比較を示したものである。形状タイプ1は、(株)アマダ製のグースネックパンチA463モデルである。形状タイプ2は、A線とB線



図2 製作した4つのグースネックパンチの形状

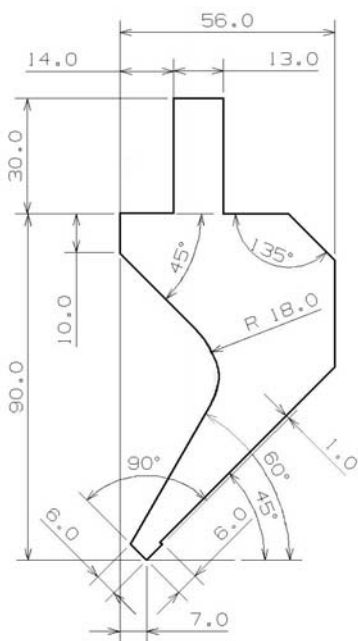


図3 タイプ1の寸法

の中間の位置で縦方向にD線と交わる点まで線を引きB線の上側端点の高さと同じ位置から45°の傾きをもつ。形状タイプ3は、A線の端点から166°の角度で引いた線とD線の下側の端点から、X軸を基準として52°の角度で引いた線との交点でR28のフィレットを作成した。形状タイプ4は、A線の端点からC線に平行な線を引き、その線とD線の交点でR28のフィレットを作成した。

図5は、パンチの断面方向の厚みの比較を示したものである。断面A-Aでは、タイプ3のパンチのみが薄くなっている。断面B-Bでは、タイプ3、タイプ2、タイプ4、タイプ1の順に厚みが増している。断面C-Cでは、タイプ3、タイプ4、タイプ2、タイプ1の順となっている。

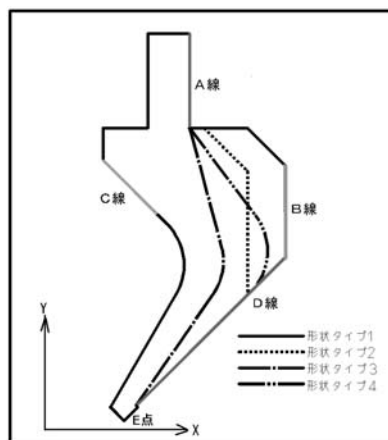


図4 形状の比較

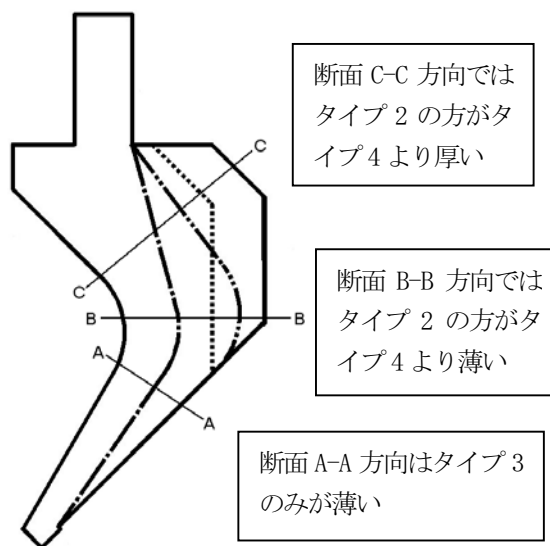


図5 パンチの断面方向の厚みの比較

2 実験方法

実験方法は、奥行き100mmのパンチ刃先部に対して、④刃先部全体に渡り均一な荷重が負荷した場合と⑧刃先長さの半分までの偏心荷重が負荷した場合のゲースネックパンチの変形量を測定する。実験は、一方向（Y方向）のみに限定し弾性ひずみを比較する。ゲースネックパンチの所定の箇所にはひずみゲージを貼り付け、強度測定用治具にセットしテストスタンド本体内にロードセルと共に取り付け2kNの圧縮荷重を負荷するものである。

図6は、ひずみゲージを貼り付ける位置を示したものである。測定位置は、①～⑮の測定点はパンチ表側に、⑯～⑳⑳の測定点はパンチ裏側に貼り付けた。裏側の貼り付け位置は、パンチ形状の違いにより若干異なる位置となっている。図7は、ひずみ測定実験で使用した実験装置およびひずみゲージの仕様を示したものである。

図8は、CAEで使用した有限要素法モデルを示したものである。有限要素法では、平面ひずみ問題および3次元問題として線形構造解析を行った。

材料物性値の定義では、金型の材質をS50Cと想定しヤング率：206GPa、ポアソン比：0.3とした。

要素特性値の定義は、平面ひずみ問題では4節点四角形要素を使用しパンチの奥行き方向の長さ100mmは要素属性情報として付加した。3次元問題では、4節点テトラ要素を使用した。

有限要素分割では、要素長1mmでモデル全体を離散化した。通常行われる構造解析の要素分割は、予想される応力の状態により要素の大きさを変えて分割する。発生する応力が小さいと予想される場所は分割を大きく、大きいと予想される場所は小さく分割する。計算精度は、分割された要素の大きさに左右される。大きな要素は、剛になり計算精度は低く、小さな要素は精度の高い解析が可能となる。今回の計算では均一な要素長とし金型のどの測定位置でも要素剛性による違いを無くすようにした。

境界条件は、パンチの左上端部を完全固定し刃先先端部に④、⑧の2パターンの荷重を負荷する。

計算は、非線形有限要素法プログラムのMARCを採用する。今回の計算は、負荷する荷重が比較的小さいため計算範囲を弾性範囲のみを扱う線形有限要素法プログラムで十分であるが、金型が破壊するかどうかの極限状態までも詳しくシミュレーションするには弾塑性範囲を計算できるプログラムが必要となる。

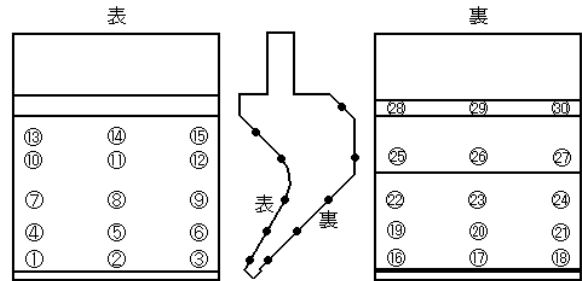
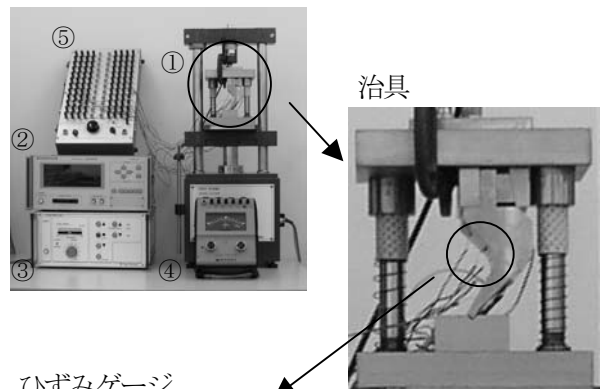
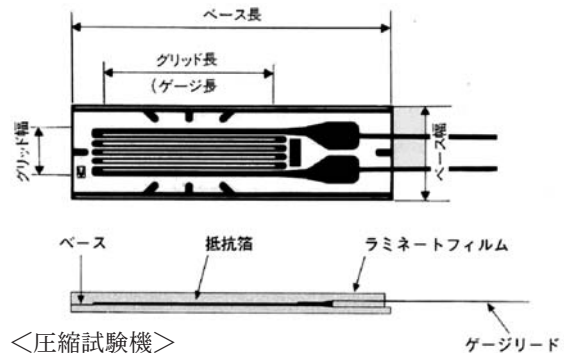


図6 ひずみゲージの取り付け位置

実験装置



ひずみゲージ



- <圧縮試験機>
- ①テストスタンド本体
 - ・加工可能高さ：400mm
 - ・加工可能幅：200mm
 - ②計測器FA1015Aアンプ
 - ・最大データ集計数：999個
 - ・RS-232C出力
 - ③コントローラ MODEL-1310NW
 - ・最大荷重：2kN
 - ・可変加工速度：0.1～100mm/min
 - ④アナログひずみ計
 - ⑤スイッチボックス

<ひずみゲージ>

- ・汎用箔ひずみゲージ
- KFG-5-120-C1-11L1M2R 5mm 119.6±0.6Ω

図7 実験装置およびひずみゲージの仕様

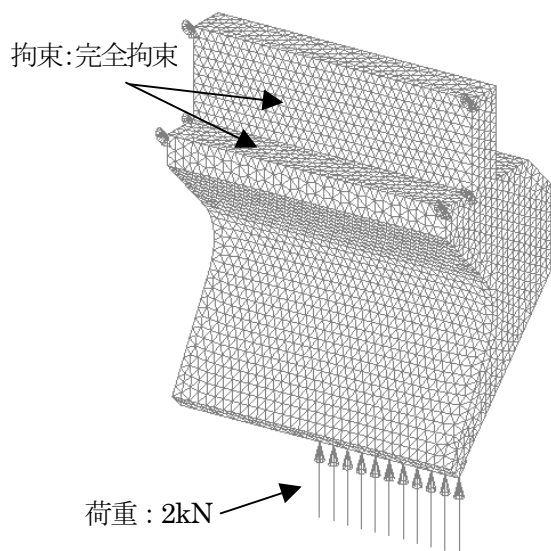


図8 有限要素法モデル

III 結果および考察

図9は、CAEによりパンチ刃先全体に渡り荷重が負荷した時の弾性ひずみ（Y方向）のコンター表示を示したものである。これより、各タイプのグースネックパンチごとのひずみの分布が良く理解でき、どの場所にどれだけの弾性ひずみが発生するのか見て取れる。図中の矢印は、各パンチに発生する最大圧縮・引張りひずみの発生する位置と値を示している。正の値は引張りひずみを、負の値は圧縮ひずみを示し色合いの濃淡によりひずみの大きさを示している。

ひずみの分布は、全パンチとも共通している。製品との干渉をさけるために設けられたR部の測定位置⑦～⑨の付近にかけて -49.4×10^{-6} 、 -71.6×10^{-6} 、 -117.0×10^{-6} 、 -59.8×10^{-6} の最大圧縮ひずみが発生している。最大引張りひずみは、タイプ1の測定位置⑩～⑫の付近で 11.9×10^{-6} の値となっており、タイプ2、タイプ3、タイプ4には測定位置⑬～⑮の付近でそれぞれ 42.0×10^{-6} 、 70.6×10^{-6} 、 13.8×10^{-6} の値となっている。

タイプ1のパンチに発生する最大引張りひずみの位置は、他のパンチとは異なり断面A-A方向に発生している。タイプ1の断面B-B方向を着目すると、R部より最も離れたパンチ外周には、断面A-A方向の最大引張りひずみよりも小さな値となっている。これより、タイプ1の断面B-B方向の厚みが過剰であると考えられる。

タイプ3のパンチは、全ての断面方向の厚みが薄くなっており大幅に軽量化が計られたものの強度的には劣るものとなっている。特に断面A-A方向の厚みが薄くなっているため発生するひずみも大きな値となっている。

タイプ4のパンチは、タイプ2と比較して断面C-Cが薄くなっている反面断面B-Bでは厚くなっている。発生するひずみは、タイプ4の方が小さく強度的に優れているといえる。これよりパンチの剛性は、断面C-C方向の厚みよりも断面B-B方向の厚みの影響のほうが大きいといえる。

グースネックパンチには、製品との干渉をさけるために設けられたR部を中心として曲げモーメントが作用していることがわかる。このためパンチには曲げモーメントに抵抗する剛性が必要でありR部を中心とした断面B-B方向の厚みがパンチの剛性に大きな影響を与えこの断面方向の厚みが厚いものほど発生するひずみが小さいといえる。

曲げモーメントが作用する物体には、内側には圧縮応力が作用し外側には引張り応力が作用する。また、その中間部には圧縮・引張り応力の両方とも作用しない中立軸（面）が存在し伸び縮みを受けない状態となる。

グースネックパンチの中立軸は、図9のひずみの分布から確認することができる。全てのパンチには中立軸が存在し断面B-Bより上側のパンチ右肩部から固定部にかけてのひずみの大きさが中立軸付近で発生しているわずかなひずみの値とほぼ同等の値で分布している。

パンチの剛性は、わずかなひずみしか発生していないパンチ肩部から固定部にかけての厚みを削り取ったとしても維持でき、パンチ肩部の削り取り方は、断面B-Bを境界として上下対象な形状となる位まで削ったとしても強度が劣ることがないと考えられる。

図10～図13は、CAEによりパンチ刃先の半分に偏心荷重が負荷した時の弾性ひずみ（Y方向）のコンター表示を示したものである。これより、偏心荷重が作用したときのひずみ分布も同様に見て取れる。

図14は、パンチ刃先全体に渡り荷重が負荷した時のひずみ測定位置とひずみ量の関係を示したものである。表側の測定位置①～⑤のひずみは上段のグラフで、裏側の測定位置⑬～⑮のひずみは下段のグラフにより示す。ひずみの値は、正負によりあわし正の値は引張りひずみを負の値は圧縮ひずみを示している。

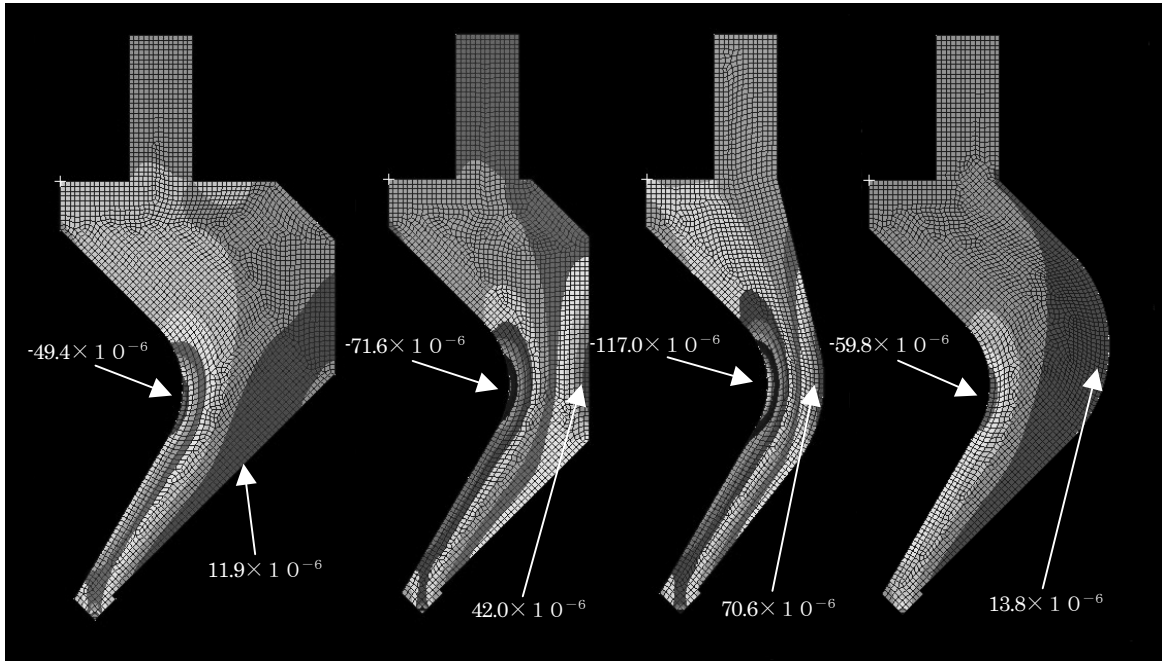


図9 パンチ刃先全体に渡り荷重を付荷した時の弾性ひずみ (Y 方向) のコンター表示

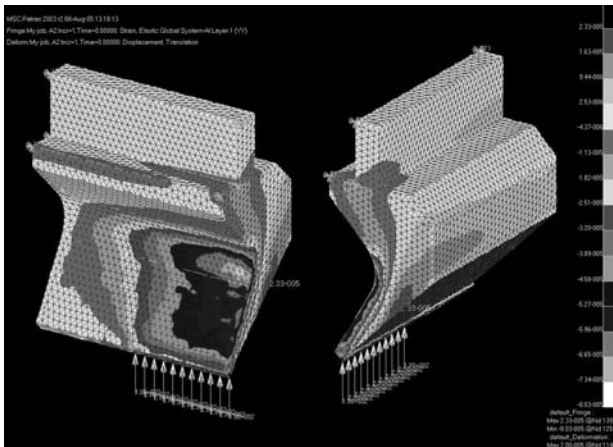


図10 タイプ1の偏心荷重による弾性ひずみ分布

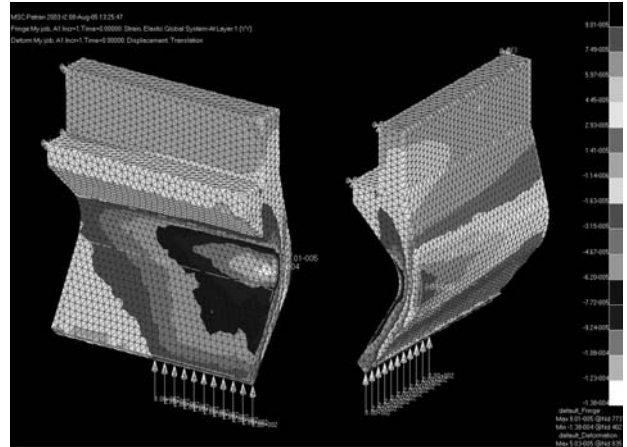


図12 タイプ3の偏心荷重による弾性ひずみ分布

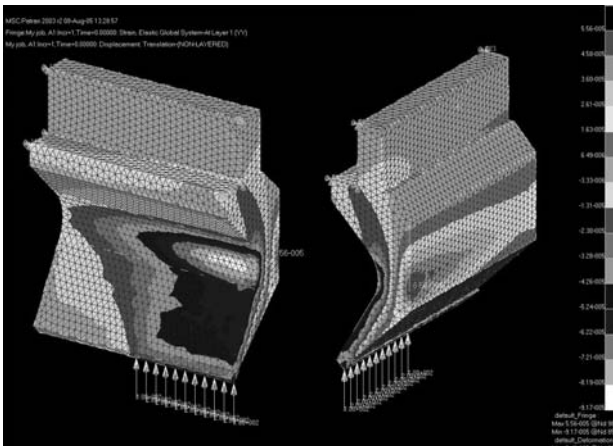


図11 タイプ2の偏心荷重による弾性ひずみ分布

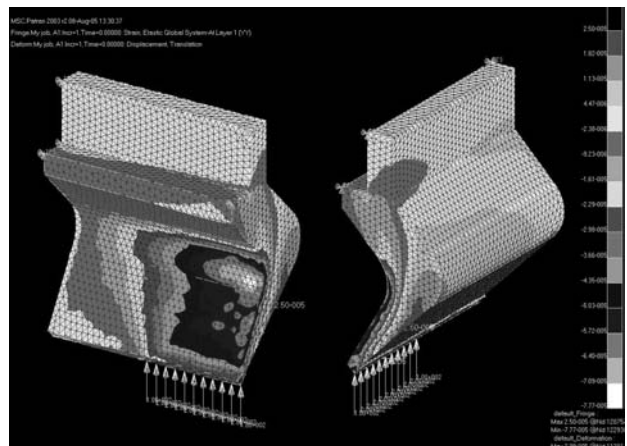


図13 タイプ4の偏心荷重による弾性ひずみ分布

また、引張りひずみの測定位置⑳～㉑にタイプ2のデータが無いのは、パンチの角部にひずみゲージ貼り付け位置が丁度重なり合い測定を行っていないためである。

ひずみの分布は、グラフの傾き方が似ていることから全てのパンチで共通していることがわかる。これより軽量化を計るために削り取った右側肩部は、ひずみの大きさには影響を与えるもののひずみ分布には影響が少ないといえる。

圧縮ひずみは、測定位置⑦～⑨の付近が最も大きくなっており、引張りひずみは、測定位置⑱～㉑の付近が大きくなっている。これよりパンチには、製品との干渉をさけるために設けられたR部を支点にして曲げモーメントが作用していることが説明できる。

発生するひずみの大きさは、タイプ3の形状が最も大きいことがわかる。基本形状のタイプ1と比較して圧縮、引張り側とも最大で約2倍のひずみが発生している。ひずみの最大値は、測定位置⑦～⑨の場所で -87×10^{-6} の圧縮ひずみが、測定位置⑱～㉑の場所で 62×10^{-6} の引張りひずみが発生している。

タイプ2のパンチは、基本形状のタイプ1と比較して表側の全ての測定位置において圧縮ひずみの大きさの差はほとんど見受けられない。一方、裏側の引張りひずみの大きさは、全ての測定位置において若干大きくなっている。

タイプ4のパンチは、表側の測定位置①～⑥、裏側の⑯～㉑でわずかながら基本形状のタイプ1と比較してひずみが小さくなっている。

パンチの表側と裏側のひずみの比較では、パンチ表側の圧縮ひずみとそれに対応するパンチ裏側位置での引張りひずみの値とは正負が違っただけで絶対値はほぼ同じになっている。その中において表側の⑦～⑨の圧縮ひずみは、対応する裏側の⑳～㉑の引張りひずみと比較して約2倍となっている。これは、パンチに曲げモーメントが作用した時にその支点部付近にあたる⑦～⑨の位置において応力集中が発生し、それが原因となりひずみが大きくなっているのではないかと考える。

図15は、パンチ刃先の半分に偏心荷重が負荷した時のひずみ測定位置とひずみ量の関係を示したものである。これより、偏心荷重が作用したときのひずみ分布も同様に見て取れる。

実験データの精度は、測定点数が少ないため詳細なデータとはなっていないが測定点数を増すことにより

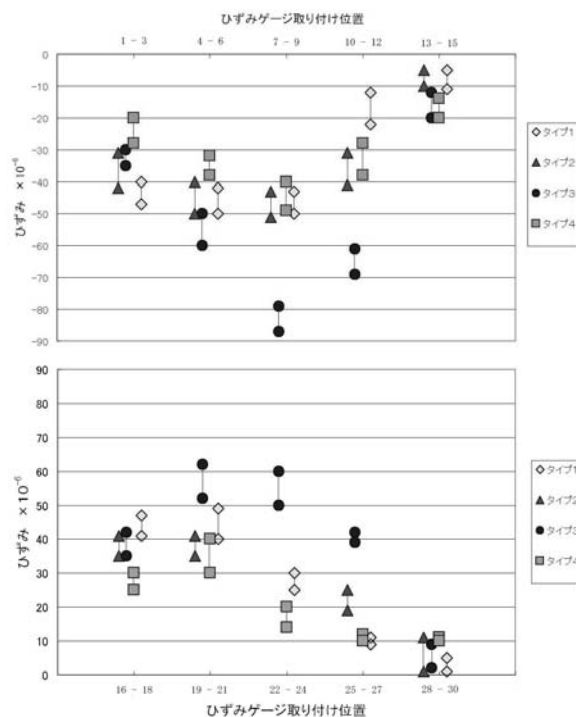


図14 パンチ刃先全体に渡り荷重が負荷した時のひずみ測定位置とひずみ量の関係

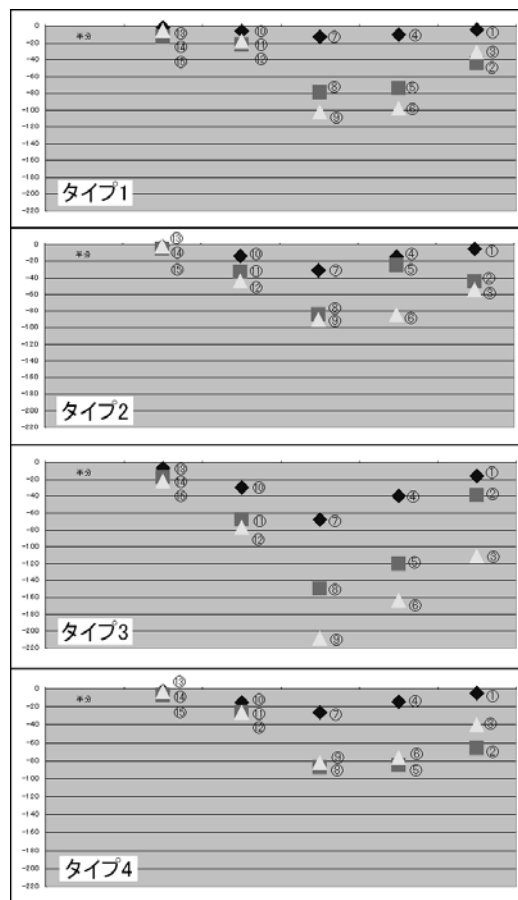


図15 パンチ刃先の半分に偏心荷重が負荷した時のひずみ測定位置とひずみ量の関係

表1 最大ひずみとパンチ重量

パンチ	荷重の負荷	解析値 $\times 10^{-6}$		実験値 $\times 10^{-6}$		重量 [kg]
		圧縮	引張	圧縮	引張	
1	刃先全体	-49.4	11.9	-50.0	49.0	2.29
	半分に偏心荷重	-80.3	23.3	-102.0	69.0	
2	刃先全体	-71.6	42.0	-51.0	41.0	1.85
	半分に偏心荷重	-91.7	55.6	-90.0	65.0	
3	刃先全体	-117.0	70.6	-87.0	62.0	1.33
	半分に偏心荷重	-138.0	90.1	-208.0	99.0	
4	刃先全体	-59.8	13.8	-49.0	40.0	1.84
	半分に偏心荷重	-77.7	25.0	-87.0	72.0	

詳しいデータを得ることが可能となろう。測定環境は、実験中同一となるよう配慮したが、炭素鋼の線膨張係数を 11.5×10^{-6} とすると測定結果にすくなからずの影響を及ぼすものと考えられる。そのため、測定結果の信頼性を向上させるためには温度補償を行う必要がある。

表1は、パンチ形状タイプごとの有限要素法解析による計算結果およびひずみ測定実験の結果をまとめたものである。実験値は、測定による誤差や測定環境の変化を含んだデータとなっている。そのため実験結果は安全側を見込んで最も大きい値を示している。

グースネックパンチ形状ごとの剛性に関する優位性は、実験ではタイプ4の形状が、また、計算ではタイプ1が優れているといえる。パンチ重量に関する優位性は、タイプ3が最も優れているといえる。タイプ1の重量を基準とするとタイプ3は、42%重量が減量されており、タイプ2とタイプ4は、ともに20%の減量となっている。タイプ2とタイプ4は、同じ重量にもかかわらずタイプ4のひずみの方が小さく形状の違いにより剛性が変わることが実証できた。以上のことからパンチの剛性と重量の両方満足するタイプ4のグースネックパンチ形状が最も優れているといえる。

IV まとめ

本研究の目的は、プレスブレイキ用金型のグースネックパンチの形状を検討し強度・剛性を損なわずに金型の重量を軽減することである。そして、実験の結果以下の結論が得られた。

- ① グースネックパンチの形状は、我々の提案するタイプ4の形状が最も優れていた。金型の重量は、剛性を維持したまま20%削減できた。
- ② パンチに偏心荷重が作用する場合は、パンチ刃先全体に荷重が作用する場合に比べて約2倍の変形が発生する。
- ③ 最適形状の設計は、有限要素法解析による計算結果およびひずみ測定実験結果を分析することにより設計指針情報を得ることができ、更に形状の検討を重ねることにより優れたパンチ形状を見出すことが可能と考える。
- ④ 曲げ加工製品精度に対するパンチの変形量がおよぼす影響に関しては、現在のところできていないため今後詳しく検討していきたい。

最後に、本研究は当時本校生産技術科2年生であった稲飯康広君（現、立山製紙（株））、黒田智文君（現、（株）スギノマシン）と共に総合制作実習として進めた。ここに記して感謝申し上げる。

[参考文献]

- (1) アマダ板金加工研究会:「曲げ金型ABC」, マシニスト出版, 1983
- (2) 黒田智文, 稲飯康広:「グースネックパンチの設計・製作」,平成16年度北陸職業能力開発大学校生産技術科総合制作発表会予稿集
- (3) 増川一郎:「曲げ加工用パンチの剛性向上に関する検討」, 北陸職業能力開発大学校紀要第5号, 2004.11

