

接着構造による省資源・低コストプレス成形用金型の開発

沼津工業高等専門学校 機械工学科

教授 大賀 喬一

(平成7年度研究開発助成 AF-95004)

1. 緒言

近年の我が国の人件費高騰を背景に、自動車産業界では機械部品の生産コストの一層の低減化が強く求められている。この低コスト化を実現するため、従来のプレス成形技術の改良や新たな開発が積極的に行われているが、成形を直接担うプレス成形用金型に着目し、その製作コストの低減化を考えることも重要と思われる。例えば、成形用金型を鑄造一体ブロックから直接削り出す従来の一般的な方法に対して、容易に入手できる安価な板材などを積層して、できるだけ最終形状に近い粗形を作ることにより削り代を少なくすれば、鑄造工程や機械加工時間の短縮を図ることができ、金型製作コストの低減が可能になるように思われる。加えて、CAD/CAMも併用すれば、金型の生産能率を大幅に向上することもできる。

薄板積層3次元成形型創成システムに関する最近の研究状況報告⁽¹⁾を基礎として、ここでは、簡便な接着剤による接合技術を活用する接着積層金型を取り上げ、その可能性について実験的・理論的検討を加えることにする。具体的には、接着金型の試作とプレス成形実験を通して、一体金型(単体金型)を用いる場合の成形品との精度比較を行い、加えて、接着積層金型と単体金型の軸対称弾性有限要素解析を行い、金型剛性を対比する。

2. 接着積層パンチの作成

一般に、板材の絞り・張出し成形用金型はパンチ、ダイおよびしわ押さえ

で構成されている。成形時にダイ側は引張り応力、パンチ側は圧縮応力を主として受け持ち、ダイ側の積層は補強リングを活用した圧入割型ダイ構造で対処でき、強靱化が図れるため、ここでは、パンチ側を接着積層構造とする金型の有効性を検討する。

表1に採用する金型材質と接着剤を示す。接着構造の有効性の比較のため、鋼材単体のパンチ(単体パンチ)も作成する。そして、使用する接着剤は表1に示す市販の高強度用2液性常温硬化型エポキシとする。

図1は接着剤単体の単軸引張り応力-ひずみ線図で、接着剤を練り固めて、図1に示す寸法の板状引張り試験片を作成し、単軸引張り試験を実施している。図1から、ひずみの進行と共に応力とひずみの比例関係は外れ、引張り強さは26.5MPa程度であることがわかる。ここで、後述の理論解析で必要となる接着剤のヤング率とポアソン比を見積もるため低ひずみ領域の傾きと引張り強さを利用して、図1に示すように仮想線を作成すると、接着剤のヤング率は2.55GPa、ポアソン比は0.38となる。

表1 金型材質と接着剤

単体パンチ	一般構造用圧延鋼 SS400(400MPa)
接着積層 パンチ	母材 一般構造用圧延鋼 SS400(400MPa)
	接着剤 2液性常温硬化型エポキシ接着剤 Scotch-Weld1838B/A(26.5MPa)
ダイ	合金工具鋼 SKD11

()内は引張り強さ

図2に製作するパンチとダイの形状寸法を示す。ここでは、パンチ頭部に直径20mmの平面を持つ胴部直径80mmの軸対称パンチとし、パンチ頭部側から板厚5mmの鋼材(SS400)を7層順次接着組み合わせる構造とする。そして、余分な接着剤を容易に排除し接着層の厚さを均一とさせ、加えて、各層の接着面積がほぼ等しくなるように、パンチ内部を図2に示すように中空とする。ここで、接着積層パンチの製作手順を示すと以下の通りである。

- 1) 積層鋼材表面を研削し、表面あらさを最大高さで $3\mu\text{m}$ 以下とする。
- 2) 鋼材研削面に存在する酸化被膜を、エメリー紙で除去する。
- 3) アセトンで研磨表面を脱脂し、水分除去のため、 50°C 程度加熱する。
- 4) 主剤と硬化剤を混合した接着剤を積層鋼材表面に均一に塗布する。
- 5) 7枚の鋼材を積層し、中心部をボルト締めし残余接着剤を押し出す。
- 6) 各接着層の厚さが 0.1mm 程度となるように締め付け力を調整する。
- 7) 接着積層構造部分を水平保持し24時間放置後、はみ出した接着剤を削除する。この場合、各接着層の厚さを計測すると確かに 0.1mm となっている。

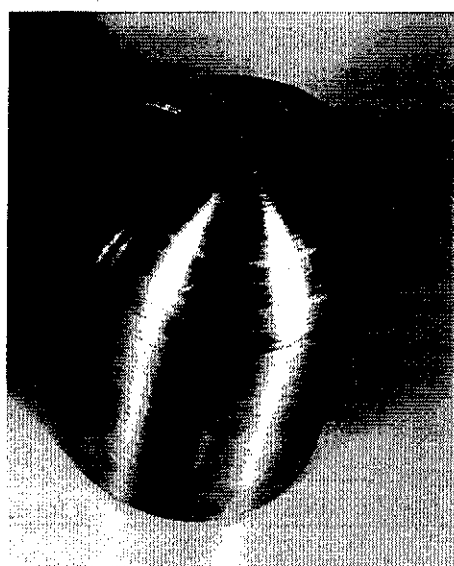


写真1 接着積層パンチの外観

8) 機械加工により所定の寸法に仕上げ、接着積層パンチとする。

なお、図2には接着積層パンチと同一形状寸法の鋼材単体パンチ並びに絞り・張出し複合成形で共用するダイも併せて示す。写真1は製作した接着積層パンチの外観である。

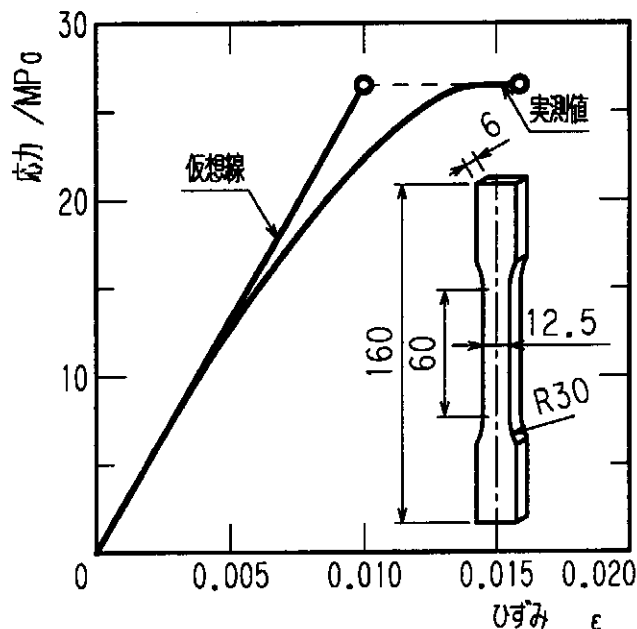


図1 接着剤の単軸引張り応力-ひずみ線図

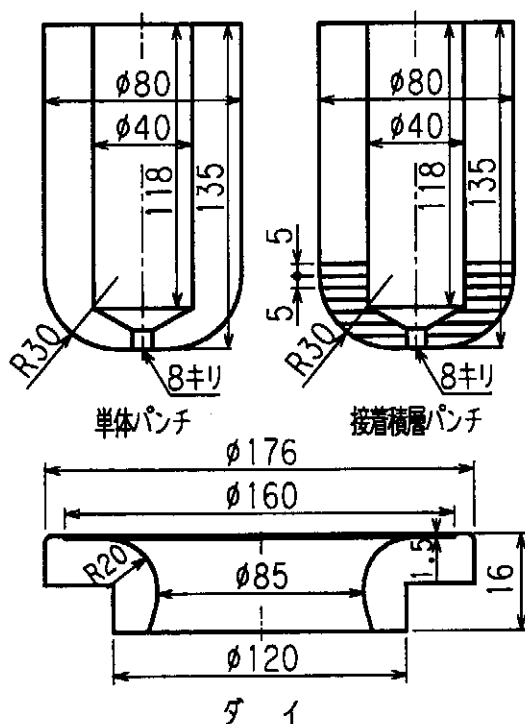


図2 パンチとダイの形状寸法

3. 試作ダイセットによる絞り・張出し複合成形実験

3. 1 実験条件

図3は接着積層パンチを組み込んで絞り・張出し複合成形を実施するために試作したダイセット概略図である。円形素板をダイに挿入後、既設プレスで任意のしわ押さえ力を与え、ダイセット内蔵の油圧シリンダを作動させて所定の成形を実施する構造となっており、加工力と行程はロードセルとポテンシオメータを介して自動計測できるようになっている。なお、積層パンチは単体パンチに容易に組み換えることができる。写真2は試作ダイセットの外観である。

表2に供試材と加工条件を示す。供試材は工業用純アルミニウムA1050P焼きなまし材で、単体パンチと接着積層パンチでの成形結果の比較をしやすいように、本実験規模でできるだけ大きな製品を成形できるように、公称板厚2mm、直径160mmと仮にしている。潤滑剤は液状牛脂で、型工具と素板に一様に塗布する。

3. 2 実験結果および考察

図4に加工力-行程線図の一例を示す。しわ押さえ力は加工中一定の状態

で加工が進行していくことが知られ、いずれのパンチの場合でも、加工が安定で、再現性の良いことを確かめている。写真3は製品外観で、良好な形状で素材が絞り・張出し成形されていることが知られる。

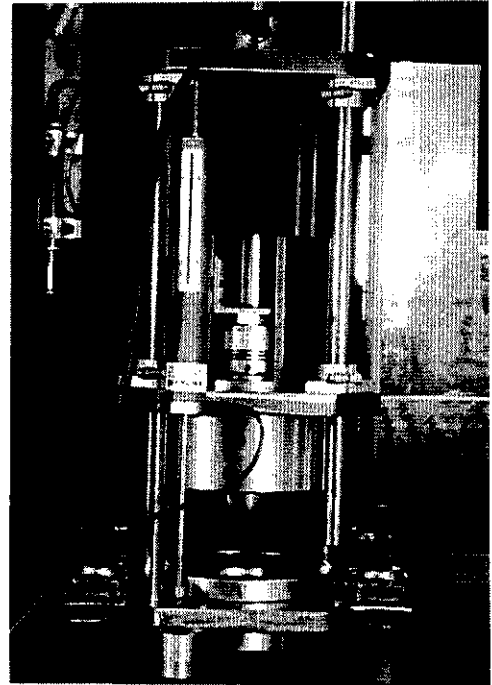


写真2 試作ダイセットの外観

表2 供試材と加工条件

素材材質	工業用純アルミニウム A1050P
熱処理	400°C×120min 炉冷
寸法/mm	φ160×t2.0
潤滑剤	牛脂
加工速度・温度	約 1mm/sec. 室温 (20°C)

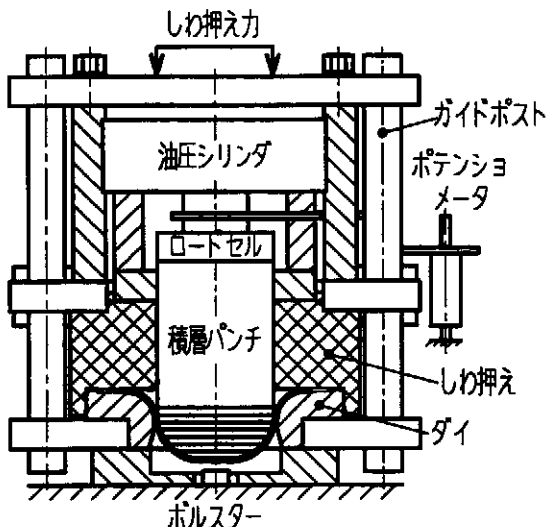


図3 絞り・張出し複合成形用ダイセット概略図

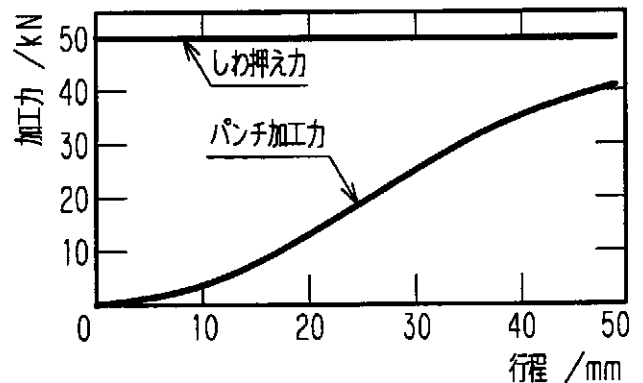


図4 加工力-行程線図の一例

まず、成形用パンチの真円度を3次元測定機を用いて計測すると図5に示す結果となる。計測箇所はパンチ頭部から積層①、積層②および積層③の中央部近傍で、同一円周上の任意の8点を選定し、真円度を調査している。図5において、基準直径35から64mmに対して、真円度は、単体パンチで0.008から0.020(8から20 μm)、接着積層パンチで0.005から0.038(5から38 μm)で、標準偏差は前者で0.002から0.006、後者で0.003から0.012となっている。すなわち、いずれのパンチも精度良く加工されており、ほぼ真円であると言える。なお、接着積層パンチは接着部で僅かな段差が認められるが、写真3からも明らかなように、製品内外表面にその影響は現れないことを確かめている。

図6はしわ押さえ力を40kNとして加工する場合の製品の真円度を比較した結果で、同一円周上からの各測定値の偏りも拡大して示している。図6(a)は単体パンチ、図6(b)は接着積層パンチの場合である。なお、高さ方向の真円度測定箇所は図5の場合と同様としている。基準直径44から71mmにおいて、真円度は、単体パンチで0.017から0.053

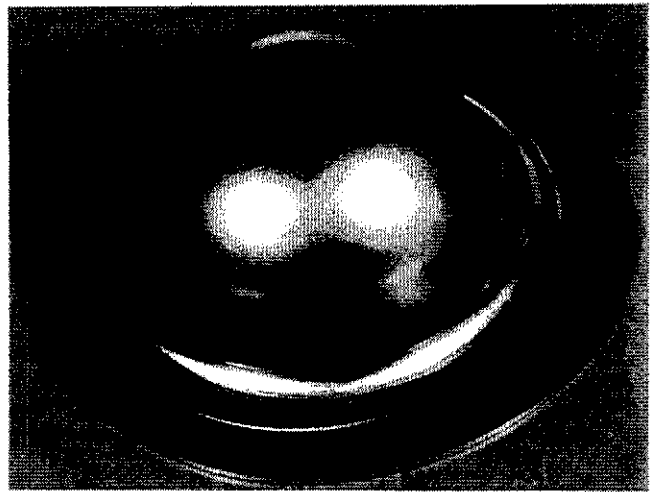


写真3 製品外観の一例

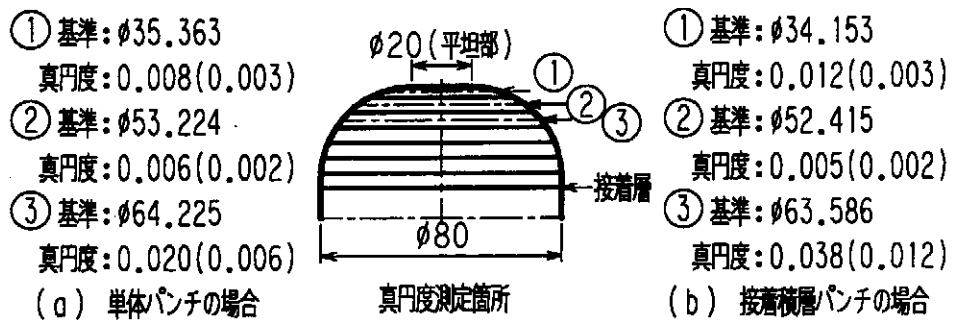


図5 成形パンチの真円度
(() 内寸法は標準偏差)

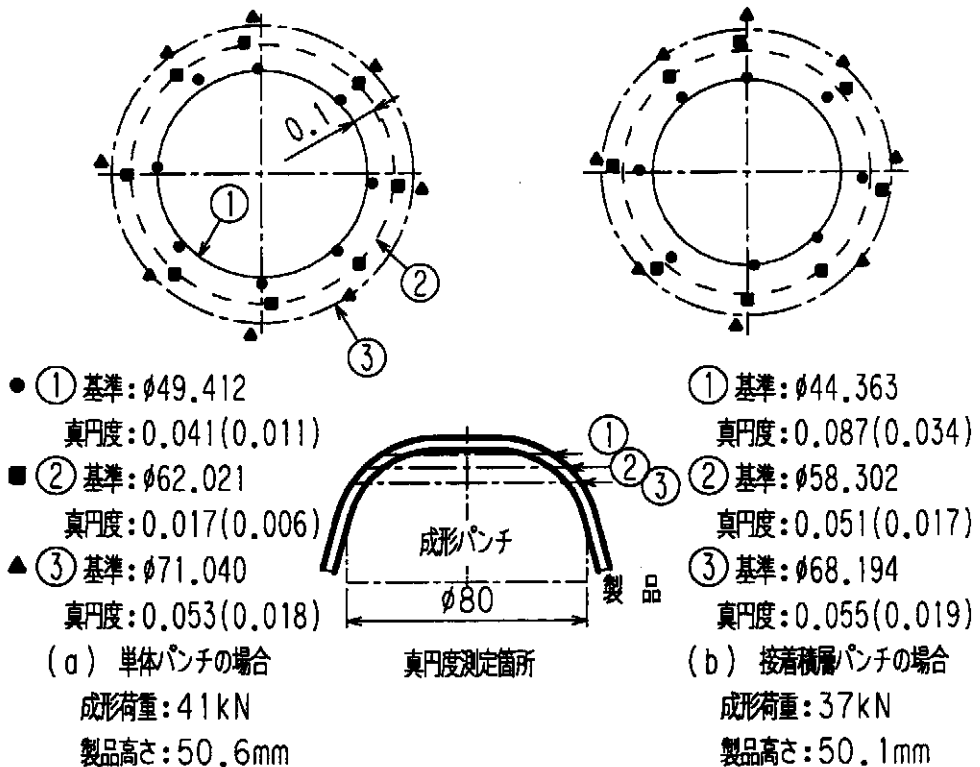


図6 製品の真円度の比較 その1
(しわ押さえ力40kNの場合、() 内寸法は標準偏差)

(17から53 μm),
 接着積層パンチで
 0.051から0.087
 (51から87 μm),
 標準偏差は, 前者
 で0.006 から0.
 018, 後者で0.017
 から0.034 となっ
 ている. 図6の結果
 から, 真円に近い
 製品を得るには
 単体パンチが有利
 になると言えるが,
 図5に示す無負荷
 時の各パンチの真
 円度を考慮に入れ
 て比較すると両者
 の相違はごく僅か
 であり, 接着積層
 パンチで単体パン
 チの代用が十分に
 可能であるように
 思われる.

図7はしわ押さえ力を50kNと大きく
 した場合は, 製品高さ成形荷
 重はしわ押さえ力を変化させてもほぼ
 同一となっている. 図7の場合, 真円
 度は, 単体で0.058から0.115 (58から
 115 μm), 接着積層で0.059から0.091
 (59から91 μm), 標準偏差は, 前者
 で0.019から0.043, 後者で0.018から0.
 023 となっている. すなわち, 図7の
 データ計測からは, むしろ, 接着積層
 パンチによる製品が真円に近くなっ
 ている. すなわち, 図6と図7の結果か
 ら, 真円度に関しては単体パンチでも
 接着積層パンチでも大差なく, 接着積
 層パンチが単体パンチの代用品になり
 うると決めることができるように思わ
 れる.

なお, 絞り・張出し成形による製品
 の形状精度を真円度の観点から計測し
 た報告は調査の範囲内では見受けられ
 ず, かなり高い精度で絞り・張出し複
 合成形が実現できる事実は興味深い.

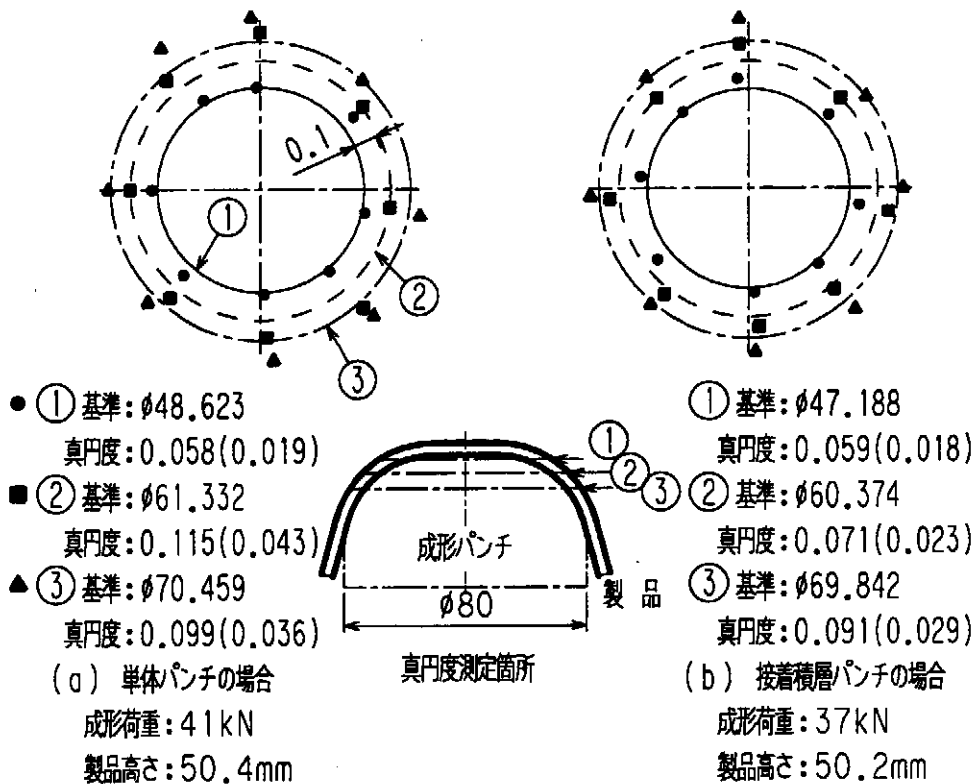


図7 製品の真円度の比較 その2
 (しわ押さえ力50kNの場合, ()内寸法は標準偏差)

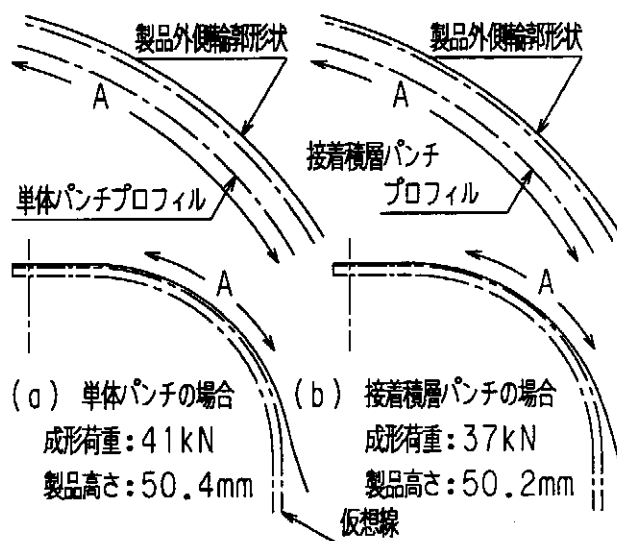


図8 製品の外側輪郭形状
 (しわ押さえ力50kNの場合)

図8は図7の製品の側輪郭を形状
 測定機を用いて測定した結果である.
 図8には各パンチプロフィールを平行移
 動した仮想線を引いて変化の様子をわ
 かりやすくさせている. 図8から, 単
 体パンチでは, 仮想線と製品外側輪郭
 形状の開きがパンチ頭部から下部に亘
 ってほぼ一様となっており, 単体パン

チが圧縮負荷に対して比較的剛性を良く保つことが知られる。一方、接着積層パンチでは、パンチプロフィールとの開きがパンチ下部に向かうにつれて若干広がっており、接着積層パンチは単体パンチに比較して扁平化しやすい傾向にあることが知られる。

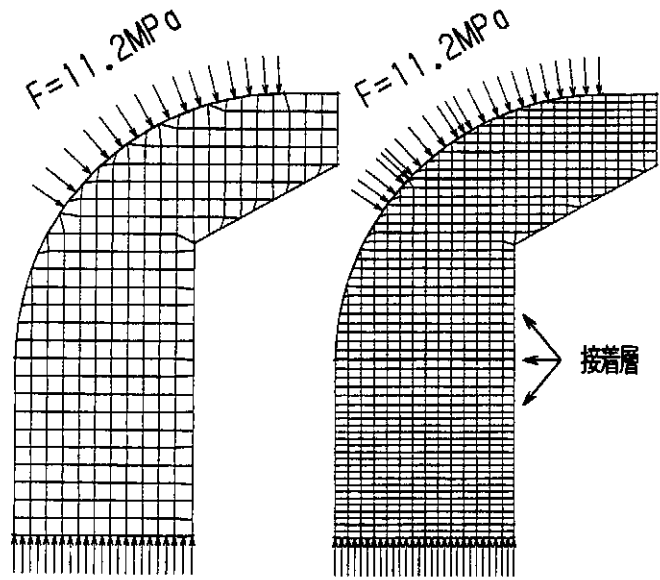
4. 接着積層パンチの弾性変形解析

前節において、接着積層パンチが単体パンチの代用品になることの可能性が知られた。ここで、接着積層パンチの剛性の程度を知る意味で、有限要素解析コードMARCを利用して、パンチ頭部の軸対称弾性変形解析を試みる。

図9は図2に示す寸法のパンチに対して行う要素分割で、図9(a)の単体パンチでは288要素、929節点、図9(b)の接着積層パンチでは892要素、2807節点のアイソパラメトリック2次要素とする。パンチ軸方向下端部は変位固定、パンチ半径方向は変位自由とし、パンチ平頭部を除いた平頭部端点から高さ14mmまでに等分布圧力Fが作用すると考えてみる。なお、高さ14mmは、前節の実験で得られる製品時の材料表面が

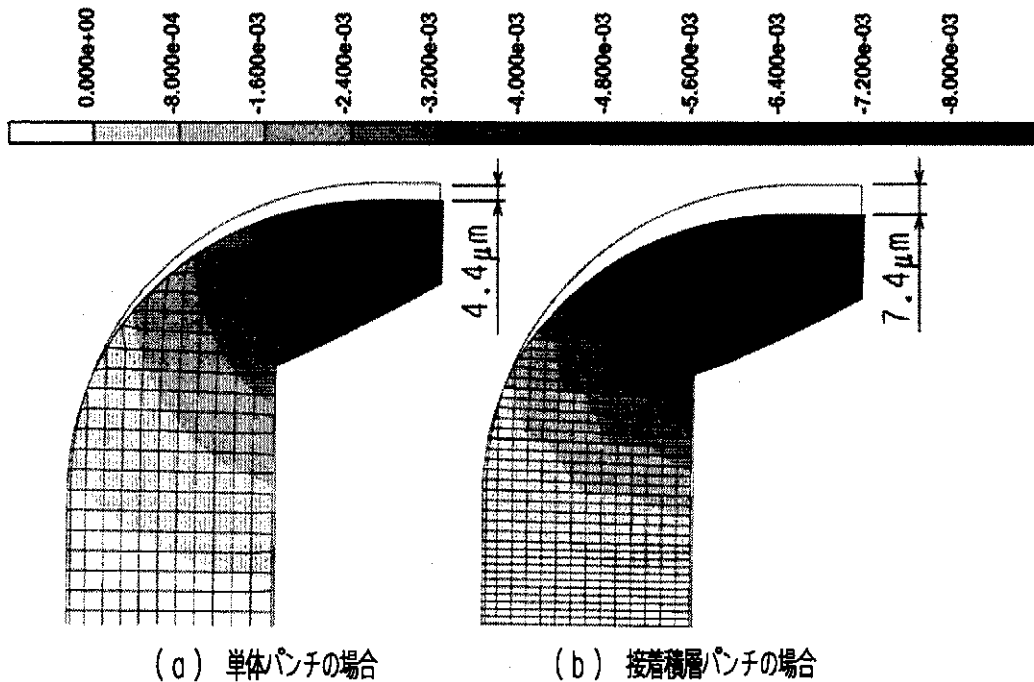
パンチ頭部に接触している領域を実測して割り出した値で、等分布圧力Fは値Fの受圧面積領域の軸方向積分力の総和が実験での成形力40kNになるように選定し、 $F=11.2\text{MPa}$ としている。また、接着層の厚さは製作した積層パンチを基準に0.1mm、接着層内での軸方向要素分割は単層で、接着層と鋼材境界面の相対すべりはないものと仮定する。

図10は計算結果で、図10(a)は単体



(a) 単体パンチの場合 (b) 接着積層パンチの場合

図9 軸対称弾性変形解析のための要素分割



(a) 単体パンチの場合 (b) 接着積層パンチの場合

図10 軸対称弾性変形解析結果

パンチ、図10(b)は接着積層パンチの場合である。図10から単体パンチでの軸方向パンチ頭部弾性変形量の最大は $4.4\mu\text{m}$ 、接着積層パンチでは $7.4\mu\text{m}$ となっており、全体に、接着積層パンチの剛性が弱まることが知られ、図8の実測結果と対応している。すなわち、接着積層パンチは単体パンチに比較して接着層の存在で、強度は劣化し、弾性変形しやすくなるが、その程度は数ミクロンの範囲で極めて小さく、単体パンチの代用品として採用できることが実験・理論の両面から知られる。すなわち、圧縮荷重下の成形金型として接着積層金型は利用できるように考えられる。

5. 結言

プレス成形用金型の製作コストを低減するため、接着積層金型に着目し、その可能性を検討してきた。得られる結果をまとめると以下ようになる。

- (1)市販の2液性常温硬化型エポキシを使用することにより接着積層パンチが精度良く製作できる。
- (2)接着積層パンチを活用する絞り・張出し複合成形において、成形加工が単体パンチの場合と同様に再現性良く安定に実施できる。
- (3)接着積層パンチによる成形容器の真円度は単体パンチの場合と同様で、接着積層パンチは単体パンチの代用品と成り得る。

(4)接着積層パンチによる成形容器の外側プロフィールを単体パンチの場合と比較すると、ごく僅か扁平量が増大しており、金型剛性が若干劣化する。

(5)弾性有限要素解析において、同一負荷に対する接着積層パンチ頭部弾性変形量の最大は $7.4\mu\text{m}$ 、単体パンチのそれは $4.4\mu\text{m}$ となる。すなわち、弾性変形量の差異はごく僅かであり、接着積層パンチは単体パンチの代用品と成り得る。

以上のことから、接着積層パンチの有用性が実験・理論の両面から明らかにされ、積極的な使用が期待される。ここで、接着接合は圧縮強度に十分であるが引張り強度に不安であると考えられる場合はパンチ側に適用し、さらに、生産現場での長期に亘る使用に際して接着層の剥離などの危険を考える場合は試し打ちとして金型製作する場合の試作型に適用するのが良いと思われる。

最後に、本研究を実施するにあたって、製品精度の詳細な測定では有限会社スグロ鉄工の関係者各位、理論解析では本高専機械工学科助教授小林隆志氏、実験の遂行では本高専機械工学科技官村越文夫氏にご尽力頂いた。併せて、研究助成をしていただきました天田金属加工機械技術振興財団へ深謝の意を表します。

参考文献

- (1)最新金型製作技術、機械と工具編集部編、工業調査会、p.251,1991.