

平成27年度
革新的ものづくり産業創出連携促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「液圧を活用した、三次元形状パイプの
芯金レス穴加工用金型技術の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成28年 3月

委託者 中部経済産業局
再委託先 公益財団法人岐阜県研究開発財団

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2 三次元形状のパイプに適用可能な構造を持つバリレス穴加工金型の開発
 - ②-1 三次元形状パイプのせん断打抜き加工のCAE解析
 - ②-2 三次元形状パイプに適應する金型構造及び加工条件の確立
- 3 バリレス金型の評価
- 4 事業化の検討
- 5 プロジェクトの管理運営

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

[特定ものづくり基盤技術の種類]

主たる技術：金型（従たる技術：金属プレス）

【川下事業者等の課題・ニーズ】

川下分野横断的な共通の事項

川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 高精度化・微細化、 エ. 低コスト化

川下分野特有の事項

1) 自動車に関する事項

川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

イ. フレキシブル生産

【高度化指針に定める高度化目標】

(3) 川下分野横断的な共通の事項

ア. 金型技術の高度化

イ. 加工技術の向上

ウ. 成形品の後工程の削減

(4) 川下分野特有の事項

1) 自動車に関する事項

イ. IT等を活用したフレキシブル生産技術の向上

1) 研究開発の背景

自動車用の部品（リアクロスメンバーやフロントメンバー等の足回り部品）は、軽量化、安全性の向上及びコスト低減を目的として、板金プレス成形加工品からパイプ素材を主体とした成形品へと変化するとともに、これらのパイプ加工品は、塗装液の導入、排出を目的として穴、水抜きのための穴等が設けられている。この穴加工に関しては、パイプ材を曲げ加工やスエーシング加工等の成形を行った後に、ドリルによる機械加工やレーザ加工が一般に行われているが、生産効率

が低く、コスト高の要因となってきたことから、当社では、汎用プレスによる多数個の穴加工技術を開発して、下記の特許出願を行ってきた。

関連特許

特許出願番号 2010-131951 出願日 2010年6月9日

名称「筒状ワークの周壁に貫通孔又は膨出部を形成する加工器具」

特許出願番号 2010-203625 出願日 2010年9月10日

名称「筒状ワークの周壁に加工孔を穿孔する加工器具」

これらの特許は、内側からの360度穴抜き加工及び外側からの360度複数穴加工法により、1回のプレス加工で多数個の穴加工が可能となっている。

しかし、最近の傾向としては、パイプの小径化や板厚が大きくなるとともに、パイプの有用性の観点から、三次元形状のパイプに係る穴加工ニーズが高まってきている。

現状のパイプ材 パイプ径：30φ、板厚：1mm

川下企業の要望 パイプ径：20φ以下、板厚：2.3mm～4.5mm

このようにニーズが変化する中で、パイプの穴加工をプレスで行う場合、直線パイプに関しては、パイプの内側にダイ（芯金）を用いてプレスする方式が一般的であるが、曲線型パイプの穴加工は、芯金を挿入してのプレス加工ができないために、直線パイプの穴加工をした後に曲げ加工を施したり、曲げパイプにドリルやレーザ加工しているのが現状である。

そのため、加工工程数が多くなるとともに、工程が複雑となることにより不良率が高く、またダイ（芯金）を使用すると一定期間後におけるメンテナンスが必要であることからコスト高の要因となっているのが現状である。

以上から、本研究開発では、一回で複数の穴加工をダイレス（芯金不要）でバリや歪がなく精度を維持するための加工技術の確立を、パンチの長寿命化を考慮しながら、材質から形状等を含めて実施する計画であり、これにより、川下企業のニーズに応える予定である。

具体的な実施内容は、プレス内の金型にパイプ形状の素材をセットした後に型締めし、液体をパイプ内に高圧充填することで、外側から加わるパンチ力による潰れ変形を防止しながら半抜き加工し、その後、内部の圧力によって半抜き部をパイプ外側に戻し抜きする、曲線パイプのバリレス（かえりを生じない）穴加工技術の確立を図る計画である。

2) 研究の概要

研究開発の内容は、液圧を活用して穴加工時に発生する歪み、かえり等の除去を図りながら、汎用プレスによる穴加工を可能とする金型の研究開発を行うものである。

そして、本研究開発で行う穴加工工程（液圧・半抜きせん断加工）の内容は次の通りである。

・穴加工の工程について

- ① プレスの力を利用してパイプの外側を金型で拘束し、油または水等の液体をパイプ内に高圧で充填しておく。
- ② 外側からパンチを押し込み半抜きせん断加工する。
- ③ 半抜き加工後、パンチを後退させると、半抜き部にかかっている圧力により、半抜き部分がパイプ外側に戻され穴加工が完了する。

・液圧、半抜きせん断加工の課題と対応

この加工構造を実現するための課題とそれに対する対応方法は以下のとおりである。

- ① 筒状のワーク（被加工物）内に高い液圧を発生させる機能と往復穴抜き動作機構を有する金型構造の検討
→ カム機構により複動機能を金型に持たせる対策を講じる。
- ② 半抜きパンチが液室内へ押し込まれる時に、圧力を逃がす機構の検討
→ 金型の破損を防止するために、スプリングの反力等を利用して圧力を逃がす機構で対応する。

このような研究開発の平成27年度の状況は、次の 3) 実施内容で記すが、鋼材パイプ（パイプ径φ54mm、板厚1～2mm、穴径φ10mm）、形状：三次元形状（30°角）に対して、半抜き加工時にパイプの陥没量を10mm以内に抑える条件を見いだすことを目標値として、液圧によるパンチ力支持機能を有する三次元形状のパ

イプに適用可能な構造を持つバリレス穴加工金型の開発を行ったところである。

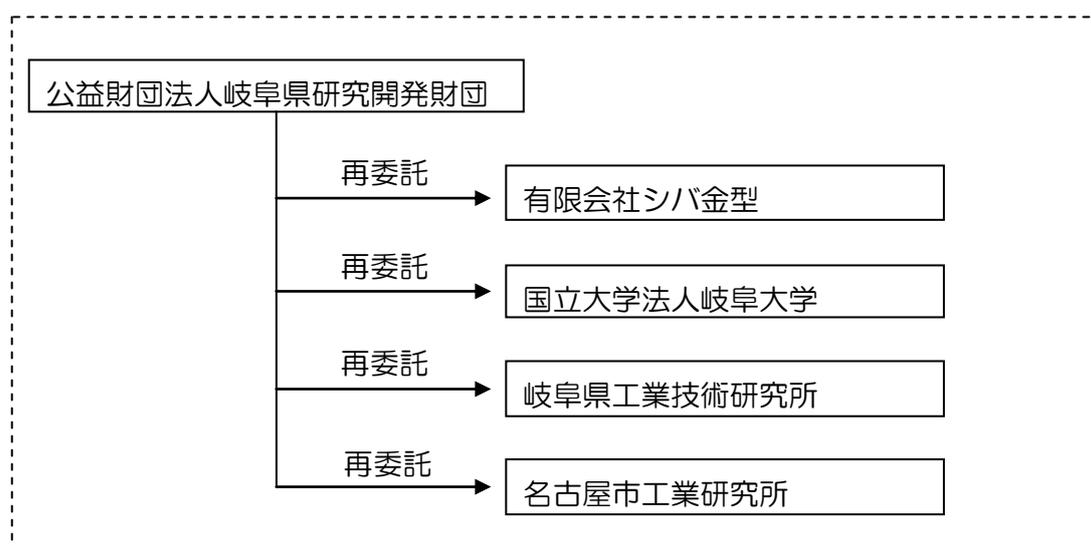
なお、本研究開発における技術的目標値は次のとおりである。

・ 項 目	現 状	目 標 値
パイプ穴加工精度	± 0.3	± 0.05
パイプピッチ精度	± 0.3	± 0.05
1型当たりパンチ数	30,000穴加工	40,000穴加工
1パンチ当たりコスト	現状100	70

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

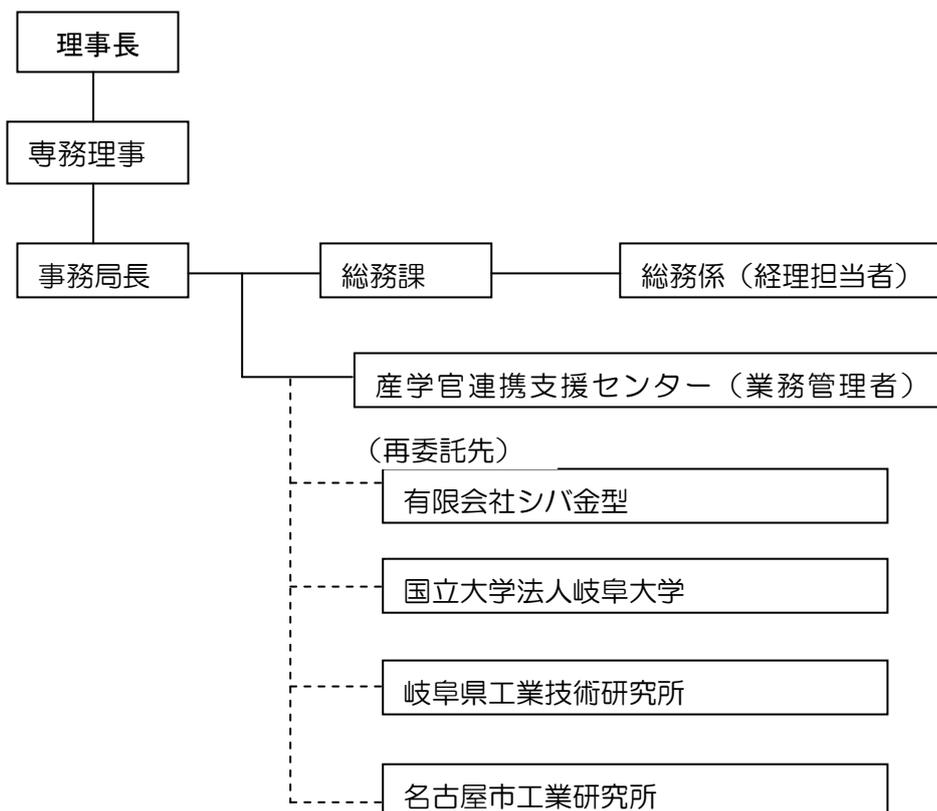


総括研究代表者（PL） 所属 有限会社シバ金型 役職 専務取締役 氏名 芝 世志造	副総括研究代表者（SL） 所属 国立大学法人岐阜大学 役職 工学部 教授 氏名 山下 実
--	---

2) 管理体制

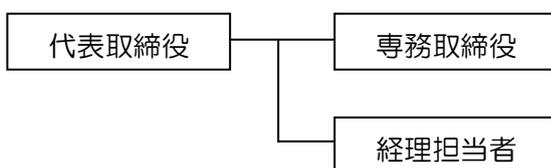
① 事業管理機関

公益財団法人岐阜県研究開発財団

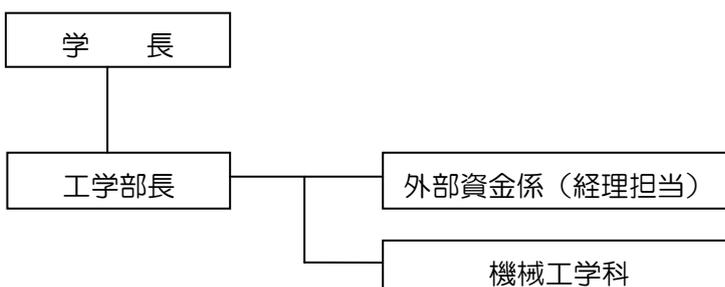


② 再委託先

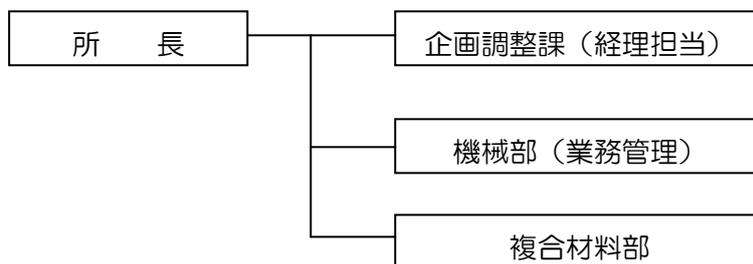
有限会社シバ金型



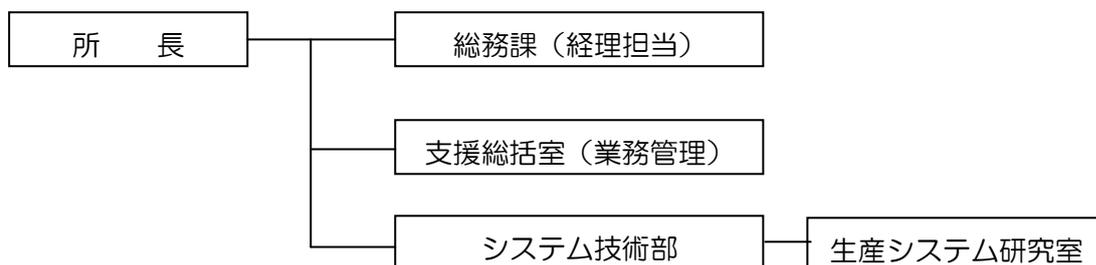
国立大学法人岐阜大学



岐阜県工業技術研究所



名古屋市工業研究所



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人岐阜県研究開発財団

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
林 正幸	事務理事兼事務局長	⑤
鷺見 浩	産学官連携支援センター事業推進員	⑤

【再委託先】

研究員

有限会社シバ金型

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
芝 世志造	専務取締役	②③④
芝 泰吉	代表取締役	②③④

国立大学法人岐阜大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
山下 実	工学部・教授	②-2、③

岐阜県工業技術研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
佐藤 丈士	機械部長	②-2、③
今井 智彦	機械部 専門研究員	②-2、③
小川 大介	複合材料部 主任研究員	②-2、③

名古屋市工業研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
西脇 武志	システム技術部生産システム研究室・主任研究員	②-1
村田 真伸	システム技術部生産システム研究室・研究員	②-1

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人岐阜県研究開発財団

(経理担当者) 総務課 総務課長兼総務係長 打田 克弘
 (業務管理者) 専務理事兼事務局長 林 正幸

(再委託先)

有限会社シバ金型

(経理担当者) 社員 芝 美保
 (業務管理者) 専務取締役 芝 世志造

国立大学法人岐阜大学

(経理担当者) 工学部外部資金係 林 加奈
 (業務管理者) 工学部外部資金係 係長 山口 利哉

岐阜県工業技術研究所

(経理担当者) 企画調整課管理調整係 川口 典子
 (業務管理者) 機械部長 佐藤 丈士

名古屋市工業研究所

(経理担当者) 総務課 事務係長 飯田 満
 (業務管理者) 支援総括室 主幹（ものづくり基盤技術支援） 秋田 重人

1-3 成果概要

本研究開発の目的は、ダイレス（芯金不要）でバリや歪がなく精度を維持するため加工技術の確立を、パンチの長寿命化を考慮しながら、材質から形状等を含めて実施するものであり、以下の研究開発を実施した。

② 三次元形状のパイプに適用可能な構造を持つバリレス穴加工金型の開発

②-1 三次元形状パイプのせん断打抜き加工のCAE解析

（実施内容）

30° 曲げ鋼材パイプ（ステンレス材）を対象として、有限会社シバ金型においてパイプに係るモデリングを行いながら、名古屋市工業研究所においてせん断打抜き加工を可能とする CAE 解析を行い、パンチや金型の適切な数値モデル化を実施する計画である。また、液圧が150MPa と高いので、金型自体の強度が耐えられるか構造解析を実施する。

（成果）

三次元形状のパイプに適用可能な構造を持つバリレス穴加工金型の開発に関して、パンチ反転によるせん断加工の CAE 解析と板用の高圧小型実験装置による穴抜き実験を行った。また、液圧150MPa での金型強度の構造解析を行った。半抜きパンチ反転加工解析によって、液圧を120MPa まで付加すれば半抜き後に穴部を切断可能であることを確認した。また、全抜きパンチ反転加工解析によって、液圧を付加しながらパンチを後退させれば、一旦形成されたダレを縮小させる効果があることが分かった。また、穴抜き実験によって、解析よりも低い50MPa でもダレが大きく回復することが分かった。

②-2 三次元形状パイプに適應する金型構造及び加工条件の確立

（実施内容）

鋼材の三次元形状パイプに係るCAE解析結果をもとに、パイプ材料やパイプ板厚等に適した液圧の選定を行いながら、パイプが有するパラメータ・条件に配慮した金型の設計指針を構築するとともに、これをもとに三次元形状パイプ加工用の金型を製作し、実証実験及び製品評価として穴の品質とパイプの変形評価を行い、穴加工用金型技術を確立する。

パイプに関する基礎データの構築や、金型の各部位の適材データ取得にあっては、有限会社シバ金型において実験用金型を製作し、岐阜県工業技術研究所において実験を行う。

また、金型内に充満した高圧液体によってせん断打抜き加工するため、金型の弾性変形挙動

を前年度に引き続き調査するが、国立大学法人岐阜大学においては、金型のひずみ計測システムを構築し、シバ金型において実加工時のひずみを測定する。打ち抜き加工した穴について、切り口面および近傍の塑性変形を実態顕微鏡で観察し、画像データからかだれやかえりの大きさを評価する。測定された金型のひずみと打抜き穴の観察データについて考察を加え、新たな金型設計の指針を検討、提案する。

(成果)

真直パイプ用金型を用いた基礎的実験により、パンチを押込む前の液圧値が95MPa以上であれば穴加工できることを確認した。また、だれが比較的改善されていることを確認した。穴が貫通した際、通常のパンチ加工時に現れるせん断面や破断面の他に、パイプ内径側の断面に痕跡が残ることを確認した。

金型に関する適材データ取得実験では、摩擦摩耗試験からコーティング有用性が確認された。また、材質に関してはSKD11が摩擦摩耗の観点から評価された。ただ、コーティング箇所にはピン角付近に膨らみを確認したため、パンチ側面に施すことが有効だと言える。

穴加工周囲の観察から、板の両面にかえりは生じておらず良好な穴縁形状が得られた。ひずみ測定からは、パイプ端面矯正金型及び三次元形状パイプ金型ともに材料の降伏強度に対して適切な安全係数は確保されているといえる。

③ バリレス金型の評価

(実施内容)

試作開発した三次元形状パイプ穴加工用の金型を用いて、リース導入したサーボプレスにより30°曲げ鋼材パイプ(パイプ径φ54mm、板厚1~2mm、穴径φ10mm)の穴加工を行い、パイプ穴の加工精度、パイプピッチ精度、金型のスライド部の変化やパンチの摩耗状況等を評価して、これらの結果を金型加工技術にフィードバックしながら金型技術の確立を図る。

(成果)

パンチを往復運動させる機構の部品について、穴加工の回数に対する表面の摩耗状況の変化を確認するため、デジタルマイクロスコープを用いた表面の拡大撮影、レーザ顕微鏡および接触式表面粗さ測定機を用いた表面形状測定を行い、次の結果を得た。

- 140穴と2,500穴の加工では、部分的に傷は見受けられたが、180,000穴のような広範囲におよぶ摩耗面性状は見られなかった。

- 140 穴と 2,500 穴の加工では、TiC コーティング無の方はワイヤーカット加工による面が、TiC コーティング有の方はコーティング後のラッピングによる面がほぼ残っているものとする。
- 2,500 穴加工は 180,000 穴加工の測定結果と異なり TiC コーティングの有無によらず摩耗が見受けられなかった。

金型目標値パイプ穴加工精度 ± 0.05 およびパイプピッチ精度 ± 0.05 に対して目標値をクリアした。

④ 事業化の検討

(実施内容)

三次元形状パイプ穴加工用の金型技術を事業化するに当たっては、シール構造における信頼性の向上や、安定した加圧制御方法、パンチ抜きした場合の抜きかすの処理方法等が求められることから、三次元形状用に試作開発した金型の実証実験を通じて、事業化・量産化への対応を図る計画である。

(成果)

パイプ端面を拘束する箇所を改良に加え、シール構造を検討し新たに製作したマイターリングと O リングでシールし実験した結果、150MPa まで安定した加圧が得られ穴あけが完成した。抜きかすはパンチにくっつく形で穴をふさいでおり、金型内部への抜きかす侵入がなくなり、抜きかす処理への対応が不要と考えられる。パイプの出し入れを容易にするための口の字の拘束部も破損がなく、事業化・量産化に向けての有効性が確認された。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人岐阜県研究開発財団

(最寄駅：東海旅客鉄道株式会社高山本線蘇原駅)

〒509-0109 岐阜県各務原市テクノプラザ一丁目1番地

産学官連携支援センター 事業推進員 鷺見 浩

TEL：058-379-2212

有限会社シバ金型

(最寄駅：各務原ふれあいバス 北部・川島線 おがせ町1停留所)

〒509-0103 岐阜県各務原市各務東町2丁目206番2号

専務取締役 芝 世志造

TEL : 058-370-6607

第2章 本論

② 三次元形状のパイプに適用可能な構造を持つレス穴加工金型の開発

②-1 三次元形状パイプのせん断打抜き加工のCAE解析

(研究実施者：有限会社シバ金型、名古屋市工業研究所)

目的

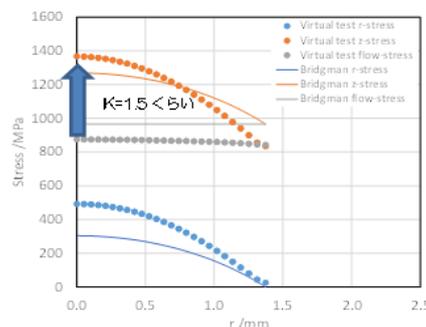
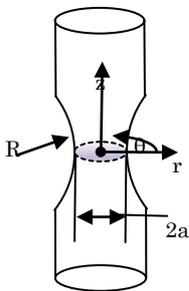
30° 曲げ鋼材パイプ（ステンレス材）を対象として、有限会社シバ金型においてパイプに係るモデリングを行いながら、名古屋市工業研究所においてせん断打ち抜き加工を可能とするCAE解析を行い、パンチや金型の適切な数値モデル化を実施する。また、液圧が150MPaと高いので、金型自体の強度が耐えられるか構造解析を実施した。

内容

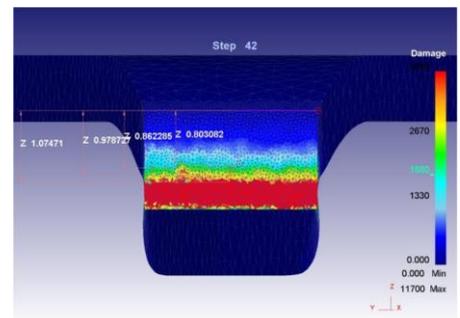
パンチ反転によるせん断加工のCAE解析を行った。また、板用の高圧小型実験装置による穴抜き実験を行った。さらに、液圧150MPaでの金型強度の構造解析も行った。

結果

パンチ反転によるせん断加工のCAE解析



切欠付丸棒引張試験での応力分布の計算結果



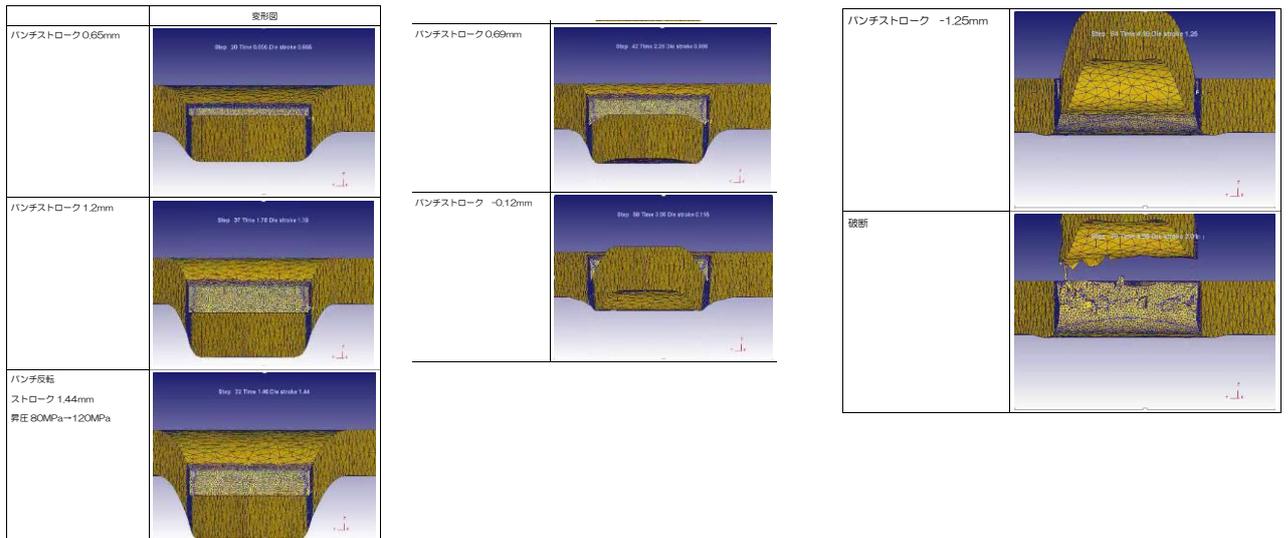
せん断加工シミュレーションのダメージ値分布結果

半抜きパンチ反転加工解析

鋼板（SPC270， $t=1$ ）の半抜きパンチ反転加工解析を実施した。液圧80MPaを付加した鋼板にパンチを押し込み、パンチ反転時の変位が1.44mmに達したときにパンチの動作を反転した。また、反転と同時に液圧を80MPaから120MPaへ高め、半抜き状態の抜きかすを外側にバルジさせ、抜きかすを引きちぎるように変形させた。

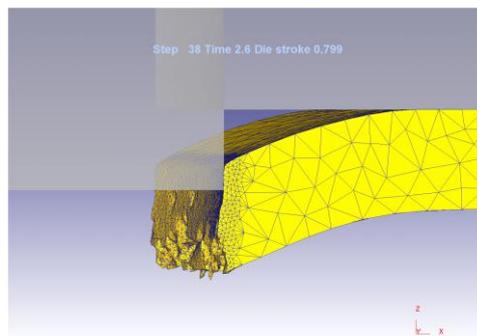
解析結果から、半抜きパンチ反転加工が可能であることが確認でき、加工条件が求まった。

半抜きパンチ反転加工解析結果



全抜きパンチ反転加工解析

半抜きパンチ反転加工によって、ダレのすくない切断面が形成可能なことが分かったが、同時に抜きかすを引きちぎるためには 120MPa を超す液圧が必要であることも分かった。そこで、必要圧力の低減を目的に、全抜きによって必要圧力を低減させ、その後バルジの効果でダレの抑制が可能かどうかを検討した。図2-4に引き戻し途中のパンチと切断面の関係を示す。破断面がパンチに干渉するまでダレが回復していることが分かる。



パンチ引き戻し途中の板の変形状態

実際のせん断実験においては、解析結果より低い圧力でダレが回復した。これは、抜きかす自身が切断面を塞いで自己シールし、ダレが回復するように穴淵を押しやすいためと考えられる。

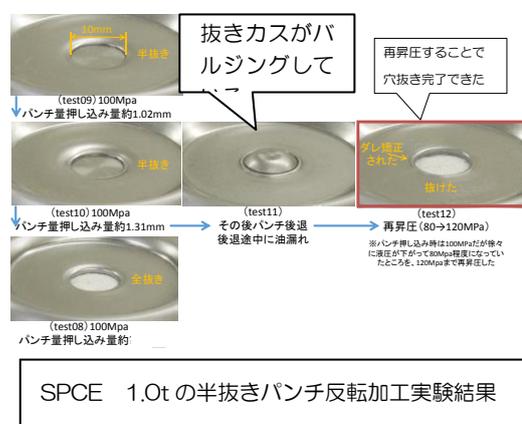
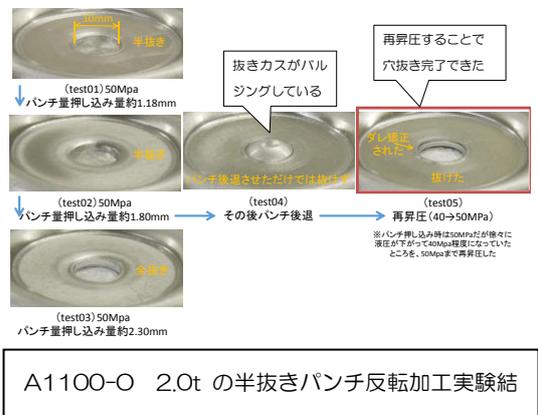
板用の高圧小型実験装置による穴抜き実験

内容

初年度の CAE 解析の結果から液圧とダシの関係が判明し、鉄系材料の場合、半抜き加工時に 100MPa を超えるような圧力が必要であることがわかってきた。一方、バリ高さやせん断面長さなどは CAE だけでは評価できない項目も多いため、パイプより条件が振りやすい板用の高圧小型実験装置を作成し、実験でも最適成形条件を検討した。穴抜き後ブランクのバリ除去や穴周辺のダシ矯正を目的として、液圧を负荷させた状態で、半抜きもしくは全抜き後にパンチを反転させて、抜きカスをパンチ側に排出させる実験を行った。

結果

アルミニウム板の実験結果、軟鋼板の実験結果を示す。どちらの材料も半抜き後にパンチを反転させることで、液圧によって抜きカスがパンチ側に押出されてバルジングしている様子が確認された。さらに、パンチ後退後に液圧を再昇圧することで、穴抜きを完了させることが出来た。試験後のブランクは、半抜き時のダシが矯正され、また、バリのない綺麗なせん断面が得られた。



全抜きパンチ反転加工実験

内容

半抜きパンチ反転加工よりも必要液圧を低減することを目的に、パンチ貫入量を増やして、全抜きまでしてからパンチを反転する実験（全抜きパンチ反転加工）を行った。材料は、軟鋼（270MPa 級） SPCE 1.0t を対象とし、パンチ貫入量に関しては、3.1 節の軟鋼で実施した 1.31mm よりも増やして、1.84、2.14、2.26、3.14mm の 4 パターンとした。液圧に関しては 100MPa を上限として、50、80、100MPa の 3 条件について実験を実施した。

結果

50MPa という低圧の条件下にもかかわらず、前節の CAE 結果よりも大きくダレが矯正されていることから、抜きかす自身が切断面を塞いで自己シールし、ダレが回復するように穴淵を押しただめと考えている。軟鋼（270MPa 級）SPCE 1.0t については、全抜きしてからパンチを反転させることで、50MPa という低圧でもダレが矯正された良好な穴を得られることが分かった。また、その際の液漏れについても問題がないことが分かった。

SPCE 1.0t の全抜きパンチ反転加工実験結果（拡大）

液圧	半抜き 全抜き	工程① パンチ挿入のまま	工程② パンチ挿入→パンチ反転
100MPa	半抜き (1.84mm)		
100MPa	全抜き (2.14mm)		
80MPa	全抜き (2.64mm)		
50MPa	全抜き (3.14mm)		

50MPa でも穴抜きができた。ダレも矯正されている。

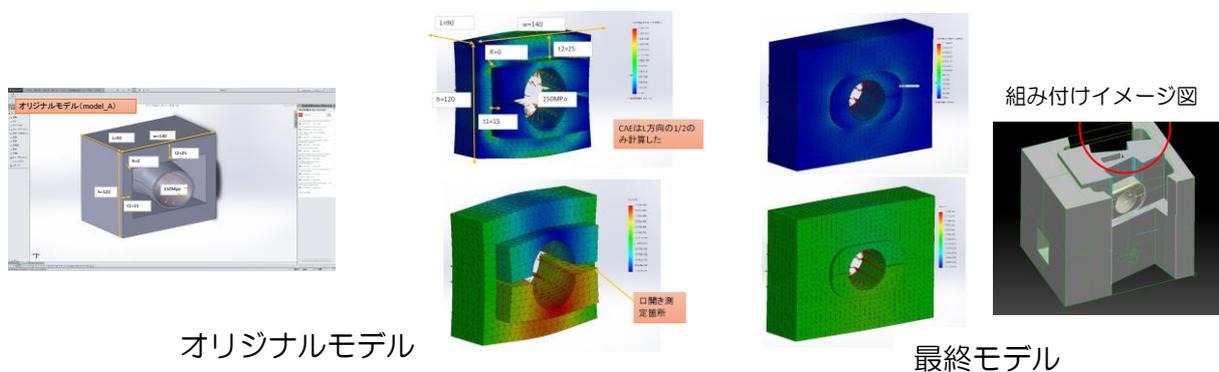
液圧 150MPa での金型強度の構造解析

内容

液圧 150MPa という非常に高い液圧が必要とされる。そのため、金型強度がその圧力に耐えられるかどうかを CAE 解析により検討した。

結果

解析には SolidWorksPremium2014 を用い、パイプの内部に 150MPa の圧力を付与する解析を実施した。金型に発生する最大応力と金型の口開き量を比較した。



最終的な金型モデルは、安全率としては 2.47 となり、実用上問題ないと考えられる。

まとめ

三次元形状のパイプに適用可能な構造を持つバリレス穴加工金型の開発を実施し、せん断打抜き加工のCAE解析や裏づけのためのせん断実験を行った。

- 半抜きパンチ反転加工解析によって、液圧を 120MPa まで付加すれば半抜き後に穴部を切断可能であることを確認した。
- 全抜きパンチ反転加工解析によって、液圧を付加しながらパンチを後退させれば、ダレが大きく回復することを確認した。またそのときの必要圧力は解析よりも低く 50MPa でもダレが大きく回復する。

ということが分かった。

②-2 三次元形状パイプに適應する金型構造及び加工条件の確立

(研究実施者：有限会社シバ金型、国立大学法人岐阜大学、岐阜県工業技術研究所)

目的

三次元形状のパイプに適用可能な構造を持つバリレス穴加工金型の開発にあたって、パイプに関する基礎データおよび金型に関する適材データ取得実験を行い、パイプ穴加工に適正な液圧や加工された金型部材の摩耗状況の評価をし、金型材料等にかかるノウハウの蓄積を図り、当該金型の技術の確立を進める。また、金型内に充満した高圧液体によってせん断打抜き加工するため、金型の弾性変形挙動を調査、金型のひずみ計測システムにて実加工時のひずみを測定する。

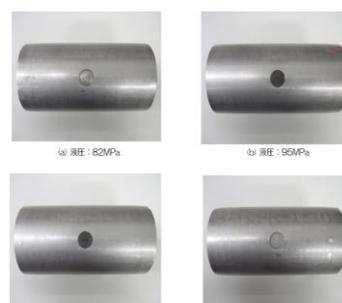
結果

パイプに関する基礎データの取得実験結果

- パンチを押し込む前の液圧値が 95MPa 以上であれば穴加工できることを確認した。
- 穴加工部分のだれが、初年度の実験時と比較し、改善されていることを確認した。
- 穴が貫通した際、通常のパンチ加工時に現れるせん断面や破断面の他に、パイプ内径側の断面に痕跡が残ることを確認した。



実験環境



パイプの外観

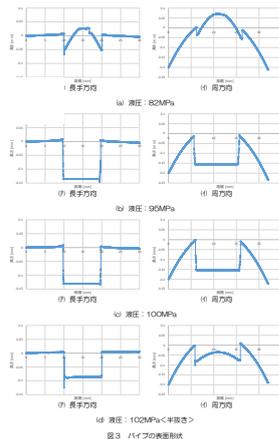


図3 パイプの表面形状

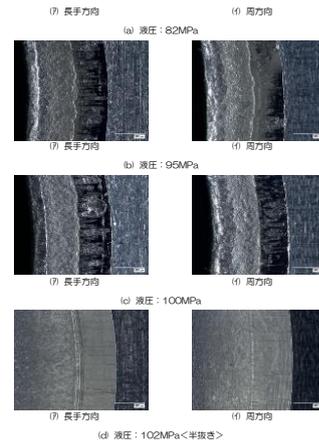
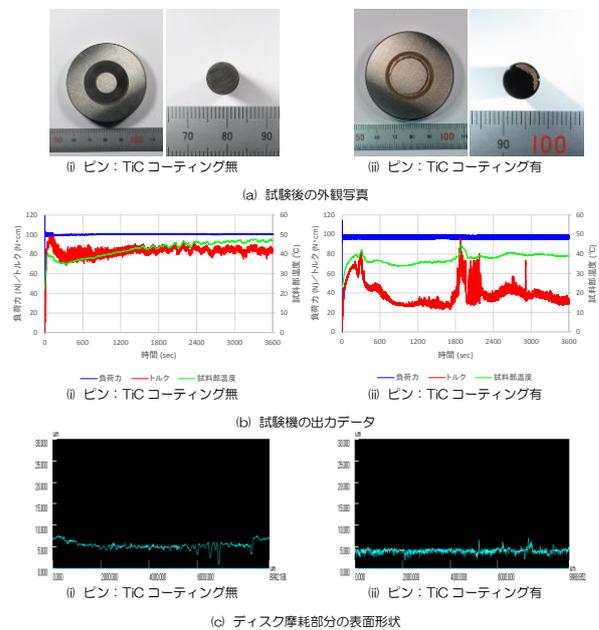


図4 パイプ穴の断面

金型に関する適材データ取得実験結果

- 3種類の材料について、TiCコーティングをピンに施した方が試験部に発生するトルクが低い（摩擦係数が小さい）傾向にあることから、コーティングの効果はあることを確認した。
- SKD61は、他材料と比較し摩耗が多かったことから、摩擦摩耗特性という観点からは不向きであると考えます。
- SKD11とSLDMについては、SLDMの方が試験部に発生するトルクの振動が大きいため、摩擦摩耗特性という観点からはSKD11の方が良いと考えます。
- TiCコーティングを施したピンの端面を形状測定し、熱処理に起因して発生する材料の変寸が要因と思われるピン角付近の膨らみを確認した。



シール構造の検討結果

マイターリングを2種類作製した。
 端面からの液漏れ防止策として真直パイプで実証済みの端面から内側へリング部がある設計とした。



せん断穴加工の観察および金型のひずみ測定



実体顕微鏡と記録用PC



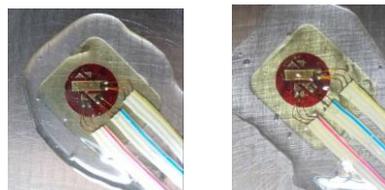
パイプ端面矯正プレス金型
(中央の金型肉薄部にひずみゲージを貼付)



金型のひずみ計測システム



穴加工金型を取り付けたサーボプレスと (左) 高圧ポンプ (右)



金型薄肉部に貼付したひずみゲージ (上)
と拡大写真 (下左 50MPa、下右 150MPa)



アルミニウム合金パイプ



パイプの肉厚： 1.0 mm

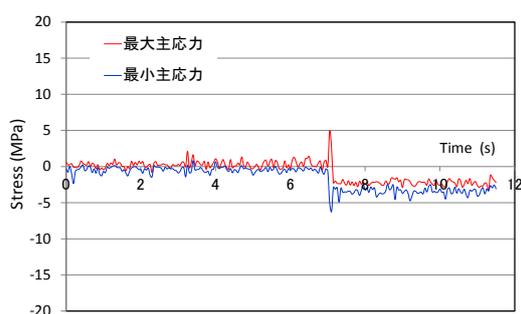


パイプの肉厚： 1.4 mm

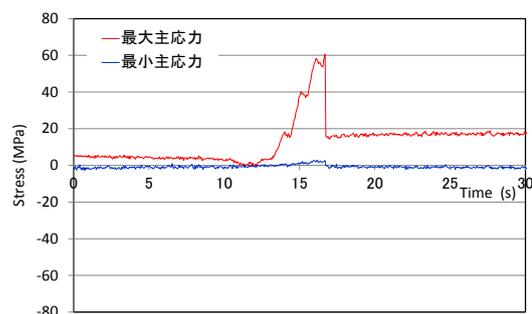
穴加工部の観察および、パイプ端面矯正プレス金型と穴抜き加工用金型にひずみゲージを貼り付け、金型の薄肉部で応力測定を行い、以下の知見を得た。

- 1) 加工穴周囲の観察から、板の両面にかえりは生じておらず、良好な穴縁形状が得られる。

- 2) 矯正用金型の薄肉部の最大応力は10 MPa 以下と評価され、型材料の降伏強度に対して相当大きい安全係数を確保していることが分かった。
- 3) 穴加工用金型において、パイプの内圧を必要圧力まで上昇させたとき、型材料の降伏強度に対して3以上の安全係数を確保できる。
- 4) これら2種類の金型に関して、適切な安全係数は確保されているといえる。しかし生産時の衝撃的に負荷される応力や疲労も考慮すると、この試作金型よりも肉厚に設計することが望ましいと考える。



パイプ端面矯正プレス金型の最大主応力と最小主応力の時間変動



パイプの内圧を50 MPa まで上昇させたときの最大主応力と最小主応力の時間変動

③ バリレス金型の評価

(研究実施者：有限会社シバ金型、国立大学岐阜大学、岐阜県工業技術研究所)

目的

試作開発した三次元形状パイプ穴加工用の金型を用いて、リースで導入しているサーボプレスにより、30° 曲げ鋼材パイプ（パイプ径φ54mm、板厚1～2mm、穴径φ10mm）の穴加工を行い、パイプの穴加工精度、パイプピッチ精度、金型のスライド部の変化やパンチの摩耗状況等を評価して、これらの結果を金型加工技術にフィードバックしながら金型技術の確立を図る。

金型目標値

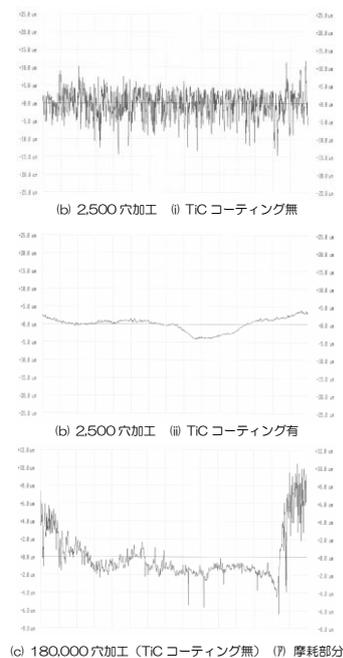
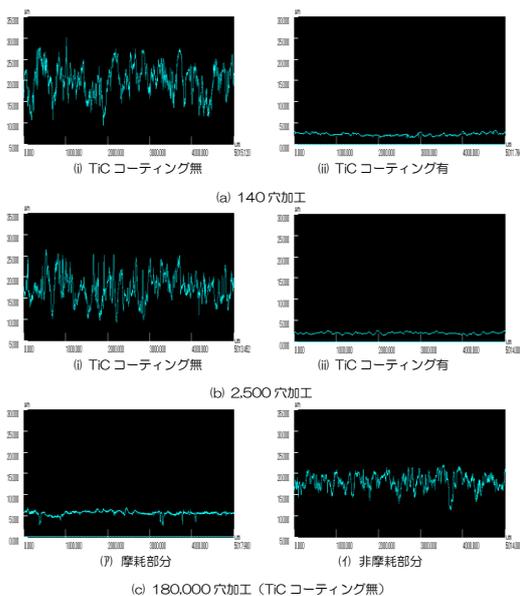
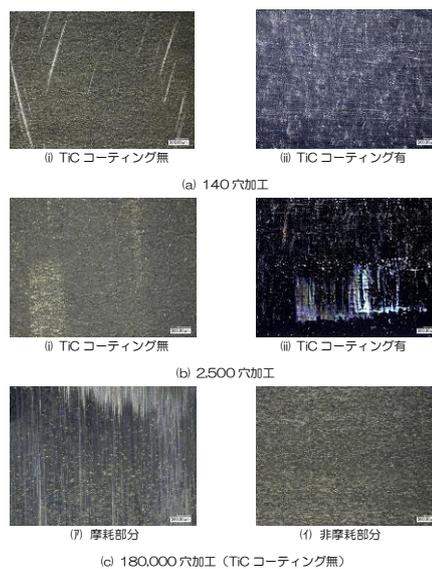
穴加工精度 ± 0.05

ピッチ精度 ± 0.05

金型部材の摩耗状況の評価結果

パンチを往復運動させる機構の部品について、穴加工の回数に対する表面の摩耗状況の変化を確認するため、デジタルマイクロスコープを用いた表面の拡大撮影、レーザ顕微鏡および接触式表面粗さ測定機を用いた表面形状測定を行い、次の結果を得た。

- 140 穴と 2,500 穴の加工では、部分的に傷は見受けられたが、180,000 穴のような広範囲におよぶ摩耗面性状は見られなかった。
- 140 穴と 2,500 穴の加工では、TiC コーティング無の方はワイヤーカット加工による面が、TiC コーティング有の方はコーティング後のラッピングによる面がほぼ残っているものとする。
- 2,500 穴加工は 180,000 穴加工の測定結果と異なり TiC コーティングの有無によらず摩耗が見受けられなかった。



金型目標値についての結果

パイプ穴加工精度 ± 0.05 およびパイプピッチ精度 ± 0.05 に対して以下の結果を得た。

$\phi 10$ に対して $\phi 10.01$
パイプ穴加工精度 ± 0.3



+0.01 目標達成



パイプ端面から 50mm に対して 49.99mm
パイプピッチ精度 ± 0.3



-0.01 目標達成



④ 事業化の検討

(研究実施者：有限会社シバ金型)

目的

川下企業ニーズへの対応として、現状における三次元形状パイプの穴加工は、コスト高となるとともに、品質精度が不十分といった課題が存在するため、本研究開発では、品質精度を維持しながら低コスト化を図り、三次元パイプの穴加工を通常のプレスで一回のパンチで実現する金型の提供を目指す。

結果

事業化・量産化を目指すため昨年度からの課題であったシール構造の改良、ポンプシステムの導入によって安定した加圧の制御方法を確認し、CAE 解析を基に口の字の拘束部の設計・製作した三次元形状パイプ金型で穴あけが成功した。ひずみ測定結果においても金型の安全率が確保されていることがわかった。さらに、摩耗摩擦試験の結果をパンチ駆動部の部品に適応することで金型の耐久性がアップし、安定した品質を持った製品の加工がなされることが期待できる。これをもって三次元形状パイプ金型の基礎が出来たといえる。

素材	加圧目標値(Mpa)	加圧実績(Mpa)
軟材(アルミ)	50	110
鋼材(鉄)	150	150
鋼材(ステンレス)	300	解析のみ

⑤ プロジェクトの管理運営（担当：公益財団法人岐阜県研究開発財団）

研究開発を円滑に推進するため、研究開発プロジェクトの運営管理、研究開発推進委員会の開催、共同体構成員相互の調整、財産管理・報告書作成等の管理を行った。

最終章 全体総括

研究開発の概要及び研究成果

本研究においては以下の研究開発を実施し、それぞれ当初予定した成果を得ることができた。30° 曲げ鋼材パイプ（ステンレス材）を対象として、パイプに係るモデリングを行いながら、せん断打抜き加工を可能とする CAE 解析と板用の高圧小型実験装置による穴抜き実験を行った。また、液圧 150MPa での金型強度の構造解析を行った。

半抜きパンチ反転加工解析によって、液圧を 120MPa まで付加すれば半抜き後に穴部を切断可能であることを確認した。また、全抜きパンチ反転加工解析によって、液圧を付加しながらパンチを後退させれば、一旦形成されたダレを縮小させる効果があることがわかった。また、そ穴抜き実験によって解析よりも低い 50MPa でダレが大きく回復することがわかった。抜きかす自身が切断面を塞いで自己シールし、ダレが回復するように穴淵を押し戻すと考えられる。

真直パイプ用金型を用いた基礎的実験により、パンチを押し込む前の液圧値が 95MPa 以上あれば穴加工できることを確認した。また、ダレが比較的改善されていることを確認した。穴が貫通した際、通常のパンチ加工時に現れるせん断面や破断面の他に、パイプ内径側の断面に痕跡が残ることを確認した。金型に関する適材データ取得実験では、摩擦摩耗試験からコーティングの効果はあると確認された。また、材質に関しては SKD11 が摩擦摩耗の観点から評価できる。これで、パンチを構成する摺動部品は SKD11 でコーティングを摺動部側面に施せば耐久性をもった金型になると期待できる。コスト面からも安価な SKD11 が評価されたことが大きい。金型部品メーカーの製品データにもすでに評価されたものは存在したが、実験によってより現実的なものとなった。

パイプ端面矯正金型及び三次元形状パイプ金型で実加工時のひずみ測定を行った結果、ともに適切な安全係数を確保した金型であることがわかった。

パイプの出し入れ部分に工夫をした口の字の拘束部も CAE 解析結果と同じく実験では破損もなく穴あけが成功した。

最後に本研究開発における技術目標を確認する。パイプ穴加工精度については、 $+0.01$ に収まり目標を達成した。パイプピッチ精度は、 -0.01 で目標達成した。

1型当たりパンチ数と1パンチ当たりコストについては以下に記す。

項目	現状	目標値
パイプ穴加工精度	± 0.3	± 0.05
パイプピッチ精度	± 0.3	± 0.05
1型当たりパンチ数	30,000穴加工	40,000穴加工
1パンチ当たりコスト	現状100	70

1. 打抜き寿命

打抜き条件

被加工材: S55C 板厚: 1.0mm
 パンチ径: 8.0mm クリアランス: 10%
 ダイ材質: SKD11 潤滑: 無潤滑
 さん幅: 1.5mm 使用プレス: 25Ton
 打抜き速度: 200SPM

試験結果

側面摩耗状況

打抜き数の増大に伴うパンチの側面摩耗面積の推移を[図1]に示します。

- (1) パンチの側面摩耗量はSKD11、SKH51、HAP40、SKD-TD、HAP-TDの順に減少しています。
- (2) TD処理パンチは表面硬度が高い(3000HV以上)のために側面摩耗量が非常に少ない値を示します。

【図1】側面摩耗面積の推移

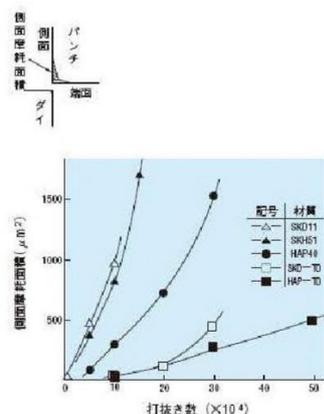


表1) 使用した工具の種類

材質及び表面処理	硬度 (HRC)	主要化学成分 (%)				
		C	Mo	W	V	Co
SKD11	61	1.5	1.0	-	0.3	-
SKD-TD	60	1.5	1.0	-	0.3	-
SKH51	61	0.9	5.0	6.0	2.0	-
HAP40	65	1.3	5.0	6.5	3.0	8.0
HAP-TD	62	1.3	5.0	6.5	3.0	8.0

(参考: (株)ミスミ 製品データより抜粋)

打抜き工具に必要な特性は、耐摩耗性、耐圧縮性及び靱性があげられる。本研究の一番重要で特徴的な部分である穴抜きパンチ動作させるカム機構においては、駆動させるスライド部分に高耐摩耗性特性を持つ部材を使用することが、工具寿命および加工精度の点からきわめて重要である。パンチ反転によるせん断加工の CAE 解析及び板用の高圧小型実験装置による穴抜き実験、パイプに関する基礎データ取得実験結果からパンチを押し込み半抜きし、パンチを反転（後退）して穴あけ加工する機構工法によって、パンチの押し込み量が板厚 2mm に対して 1.4mm で穴あけできるという結果が得られており、パンチストロークが約 30% 短くできることから、摩耗量ダウン、長寿命化につながると考える。また、この機構工法においては、パンチそのものの長さを短く設定できる。通常 70mm の物に対して 40mm 程度の長さに変更可能で約 40% のダウン。また、普通のプレス打抜きの場合、打抜きが完了するとパンチの圧縮応力は急激に 0(ゼロ)になる。この時、荷重は衝撃的に変化するため、同じ大きさの引張り応力を生じる。しかもパンチ段付き

部やピン止めする横穴のように断面積が急に变化しているところは応力集中部であり、こうした応力の衝撃的な変化は、疲労寿命を著しく低下させる恐れがあることは周知の事実である。

一方、本研究で開発した金型のパンチ動作については、パイプ内の液圧によって常にパンチに圧縮応力がかかった状態で動作するものであり、パンチに衝撃応力は生じない。このことから疲労によるパンチ寿命は向上することは明らかである。しかも、穴抜きが完了すると直ちにパイプ内の油がパンチ表面を冷却するため、局所的なパンチ温度の上昇が相当緩和され、その結果、工具の摩耗速度が遅くなるのである。正確なパンチ寿命向上の見積もりは困難であるが、少なめに見積もっても 1.5 倍程度は向上するものと考えられる。またパンチのコストに換算すると、 $1/1.5 \times 100\% = \text{約 } 70\%$ となり、この値を本研究の目標値に設定した。結果、現時点でこれを十分クリアしていると考えられる。実際の応力を計算すると、パンチで径 10mm の穴を打抜くとき、厚さ 2mm で引張り強さ 300MPa とすると、打抜き力 F は、 $F = 3.14 \times 10 \times 2 \times 300 \times 0.8 = 15072 \text{ N}$ となる。パンチの断面積 A は、 $A = 3.14 \times 5 \times 5 = 78.5 \text{ mm}^2$ なので、パンチの圧縮応力 σ は、 $\sigma = 15072 / A = 192 \text{ MPa}$ と求まる。

パンチの応力変化は、圧縮から引張りになるため、応力の変化は $192 \text{ MPa} \times 2 = 384 \text{ MPa}$ と見積もられる。パンチ材料の強度を 2000MPa と仮定すれば、応力変化 384MPa はその約 20% の値になるが、この程度の変化ではパンチの疲労寿命はあまり変わらない。しかし、パンチ段付き部のように断面積が急に变化している応力集中部については、こうした応力の衝撃的な変化は疲労寿命に影響を及ぼすことが分かっている。

応力集中が比較的小さい円孔に対する応力集中係数は 3 であり、このとき応力は 1152MPa に達する。静荷重であれば工具寿命への影響は小であるが、衝撃応力を生じていることを考慮すると、疲労による工具寿命の低下は避けられない。

以上のことから、パイプ穴加工精度については、1つの穴加工に対しては十分高いと実証できた。今後開発が必要と思われる課題としては、複数の穴加工に対応可能な高精度な金型構造とその設計指針の確立であろう。また、パイプにあける穴ピッチの精度についても、現在のところ限られたデータから検証しているが、パイプ自体も液圧によって変形するため、この変形がピッチにどのような影響を及ぼすかという点を確認しておく必要があると考えている。

これまでのショット数についても、金型開発が目的であるため、連続加工はまだトライしていないため、今後ショット数を増やして検討を進める必要もあるが、摩耗試験や上記の疲労寿命向上に対する開発した金型の有効性により、1パンチあたりのコストは十分クリアしているものとする。

初年度からの導入機械について加工の目標値と結果を記す。

ワイヤー放電加工機

目標値

スライドコア部分

面粗度 Rz3.5 μm 、Ra0.45 μm

精度直真度 $\pm 3 \mu\text{m}$

嵌合

面粗度 Rz 20 μm 、Ra0.38 μm

精度形状 $\pm 3 \mu\text{m}$



ワイヤーカット導入後における加工精度は、測定した結果以下の状態で、目標値を達成することができた。

ワイヤー線 $\phi 0.30$ 加工条件 $\phi 10.01$

面粗度測定結果 Rz 3.127 μm Ra 0.429 μm

形状測定結果 上 (-1.0mm) : 10.0100 誤差 : 0.0000

中 (-5.0mm) : 10.0109 誤差 : 0.0009

下 (-8.5mm) : 10.0101 誤差 : 0.0001

サーボプレス

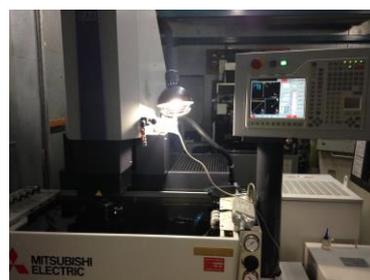
サーボプレスの特徴は、加工に最適なモーションカーブを自由に設定できる機構がある。これを利用したプログラムでプレス機を作動させることが確認され穴加工をした。



ログ
達成

形彫放電加工機

形彫放電加工機での加工精度については、材質：SXACE
及びSKD61をそれぞれ三菱電機放電加工部で測定し、仕
上面粗度 目標値のRz6 μ を達成した。



研究開発をスタートしてから3年ほどになるが、この間、各種パイプの穴あけ加工に関して、自動車業界のみならず様々な産業機械分野から問い合わせを受けている。こうした顧客ニーズに

応えるため、特に三次元形状パイプのバリレス金型の型構造および仕様について、量産性を十分考慮したものにレベルアップを図ると同時に、複数穴加工金型に対する検討を実施したいと考えている。