

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「多軸精密制御による次世代型プレス機及び金型の研究開発」

研究開発成果等報告書（概要版）

平成 22 年 3 月

委託者 九州経済産業局
委託先 財団法人佐賀県地域産業支援センター

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 (高度化目標、技術的目標)
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	当該プロジェクト連絡窓口
第2章	本論－(1)＜森鉄工株式会社＞
2-1	多軸(8軸想定)精密制御プレス機の開発(概要)
2-2	プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け
2-3	目的と目標
2-4	6軸サーボ制御 10,000kN 試験機の成形実験方法及び結果
2-5	研究成果
2-6	今後の課題と取り組み
第3章	本論－(2)＜森鉄工株式会社、佐賀県工業技術センター＞
3-1	幾何学的精度向上のためのプレス機剛性向上技術の開発(概要)
3-2	プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け
3-3	目的と目標
3-4	実験方法及び結果
3-5	研究成果
3-6	今後の課題と取り組み
第4章	本論－(3)＜株式会社秦野精密＞
4-1	多軸プレス機対応新規金型の研究開発(概要)
4-2	プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け
4-3	多軸精密制御プレス成形部品
4-4	金型設計・製作
4-5	実験
4-6	研究成果
第5章	本論－(4)＜国立大学法人佐賀大学＞
5-1	新規金型での(超)高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発 —解析シミュレーション編—(概要)
5-2	プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け
5-3	目的と目標
5-4	解析方法及び結果
5-5	成果
5-6	今後の課題と取り組み

第 6 章	本論－（５）＜株式会社秦野精密＞
6－1	新規金型での（超）高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発 —基礎実験編—（概要）
6－2	プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け
6－3	目的と目標
6－4	仕様
6－5	金型及び打ち抜き製品
6－6	歯形形状部品 ダレ測定
6－7	歯形形状部品 バリ、バルジ形状測定
第 7 章	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

1-1-1 研究開発の背景

本テーマの主ターゲットである自動車産業は、第1に軽量化での燃費向上やそれに伴う排気ガスの低減化及び安全性の向上を図っている。第2に、構成部品の立体的複雑形状化による部品機能の複合化によるコスト削減、第3に厳密な公差での構成部品の高精度化により安全性と乗り心地の向上を図っている。

このようなことから、プレスメーカーや金型メーカーには、高張力鋼を含む鋼板の3次元複雑形状部品を高精度で、しかも、低騒音・振動でプレス成形でき、加工総コストを低く抑えられるプレス機や金型への要望が非常に強い。このような機能を有するプレス機や金型は、自動車用鋼板のメーカー研究所も開発鋼板の加工性向上研究に欠かせぬものであり、その開発期待は大きい。

自動車部品の複雑形状化に伴い、プレス加工では数工程から十数工程の順送金型での加工が主流となっているが、現状の順送加工においては各工程を分割加工するため、加工単位毎の金型を直線上に配置している。また、加工単位毎に材料を供給する搬送装置が要求される。このため、より複雑な形状では、加工工程が多くなり金型が大型化すると共にプレス機自体も大型化し、専有面積が非常に大きくなると共に搬送装置等周辺機器の設置等加工コスト削減への阻害要因となっている。

また、現状の順送加工では、加工単位毎に被加工材が次の金型へ移動するため、加工精度特に同芯度精度への影響が大きい等の問題を抱えている。

また地域的に九州は自動車産業が急速に集積し、地元調達率 70%・アジアの最先端拠点として、マザー工場化、部品供給の拠点化が現実化している。

本提案は、FB プレスの技術の高度化と板鍛造でのニアネットシェイプ加工の要請と相まって、ユーザーからも熱望されている新規なプレス機と金型の開発であり、関連業界から大きな期待をかけられている。

1-1-2 研究目的及び目標

川下自動車産業の課題やニーズに対し、部材利用が高まっている 980MPa 級超高張力鋼までを対象として、多軸精密制御を駆使した次世代型プレス機及び多軸対応金型の研究開発を①多軸（8 軸想定）精密制御プレス機の開発、②幾何学的精度向上のためのプレス機剛性向上技術の開発、③多軸プレス対応新規金型の研究開発、④新規金型での高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発 の4サブテーマで取り組むことで、これらの課題解決を図ることを目的とする。

3 年間全体をとおして以下の具体的目標を掲げて本研究開発を始めた。

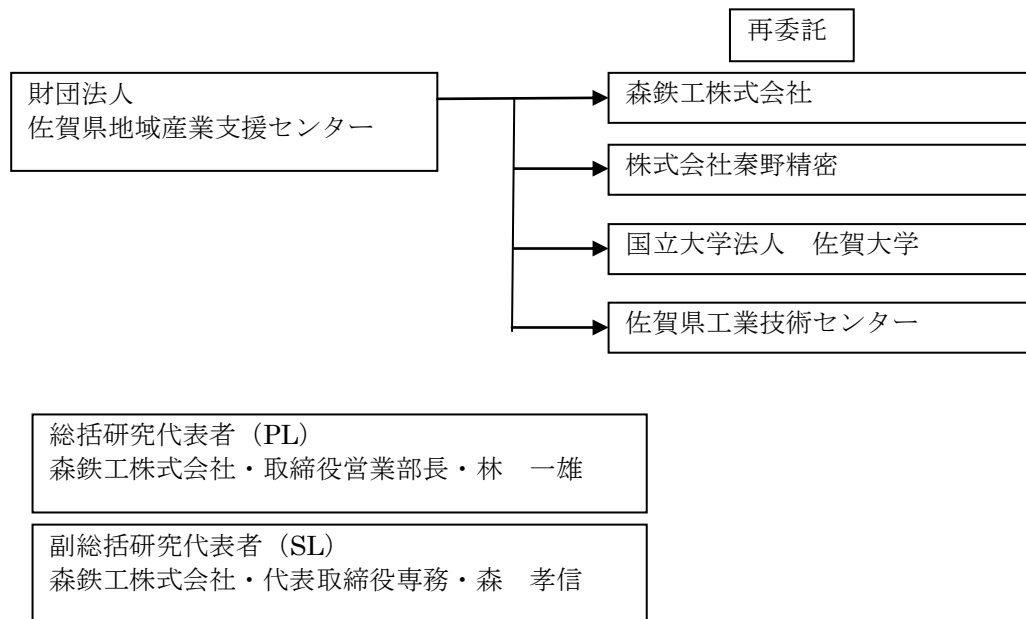
- (1) 980Mpa 級高張力鋼板の打ち抜き成形。
- (2) 700Mpa 級高張力鋼板のプレス冷間フォーミング加工。
- (3) 偏荷重による変形を 1/100mm 以下に。
- (4) バルジ盛り上がり量を半分。
- (5) 高張力鋼へのプレス打ち抜きにおいて全板厚においてせん断面の実現。
- (6) ブランキングスピードの 2.5 倍向上。
- (7) シミュレーション結果の適用化により、テストトライ 1/5、コスト的 1/3 に削減する。
- (8) 上記により、納期の 30%短縮化とコストの 10%削減を目指す。

しかし、19,20 年度と 8 軸プレス機が稼働体制になり、新規金型による 2 段階絞り外周歯型打ち抜き加工が現実味を帯びてきた時点で、1 次サプライヤーの推進委員等の委員の方々から、全体目標の

(1)、(2)、(5) の高張力鋼板への対応や (6) の高速化対応に先んじて①現状の鋳造部品②現状の鍛造部品への可能性を探ることが本プレス機と金型の特徴を生かすものであり市場も望んでいることであるとの要望があり、推進委員会においても板鍛造プレス成形の方向で進めた。

1-2 研究体制

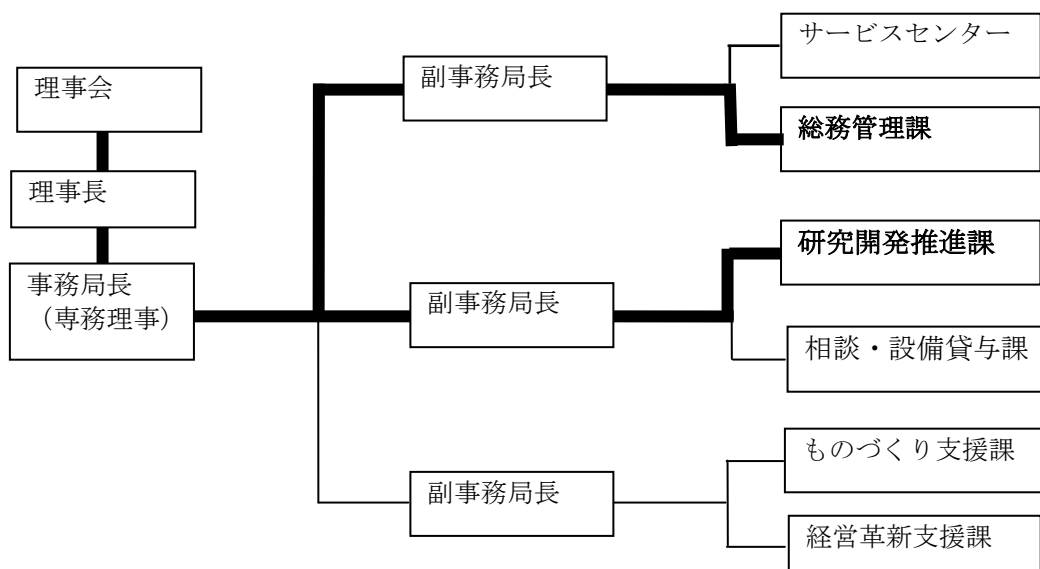
1-2-1 研究組織



1-2-2 管理体制

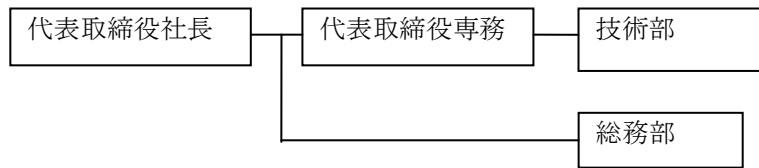
① 管理法人

【財団法人 佐賀県地域産業支援センター】

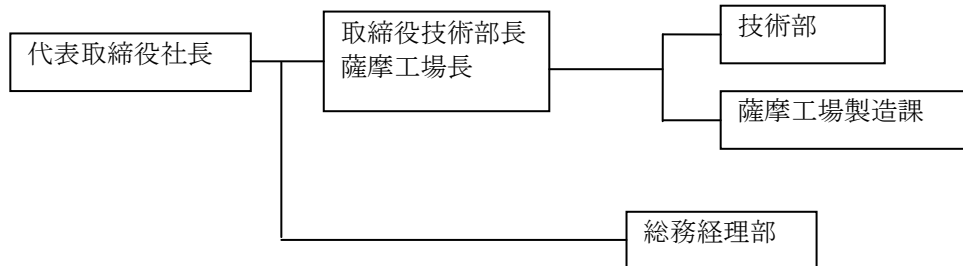


②（再委託先）

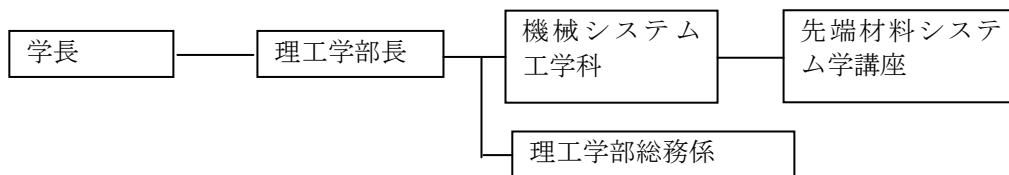
森鉄工株式会社



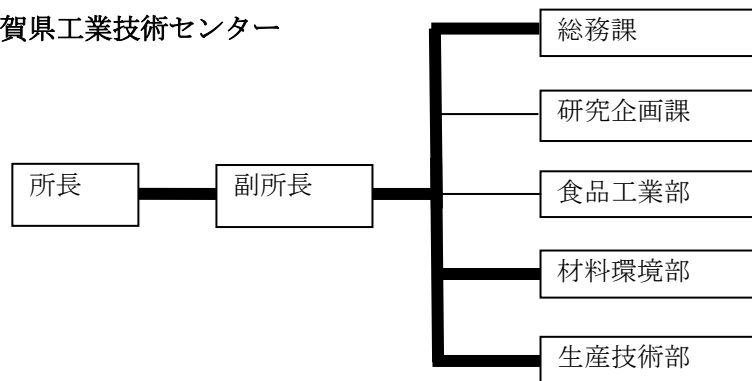
株式会社秦野精密



国立大学法人 佐賀大学



佐賀県工業技術センター



1-2-3 研究者氏名

森鉄工株式会社

氏 名	所属・役職
森 孝一	代表取締役社長
林 一雄	取締役営業部長 (PL)
森 孝信	代表取締役専務 (SL)
平 博	取締役 技術部長
平木 智	技術部 課長
伊東 博之	取締役 電気技術部長
坂井 誠二	技術部員
森田 和彦	技術部 油圧設計係長
大川内 伸二	技術部員
山口 和晴	技術部電気課員
藤村 博人	技術部員

株式会社秦野精密

氏 名	所属・役職
瀧脇 忠夫	代表取締役社長
瀧脇 健二	取締役技術部長
	薩摩工場長
中原 弘二	本社技術部員
池山 義之	薩摩工場製造課長
前田 由二	薩摩工場製造課
米島 康共	薩摩工場製造課

国立大学法人 佐賀大学

氏 名	所属・役職
萩原 世也	国立大学法人 佐賀大学 ・教授
只野 裕一	国立大学法人 佐賀大学 ・准教授

佐賀県工業技術センター

氏 名	所属・役職
田中 久	所長
臼井 一郎	副所長
川上 雄士	材料環境部特別研究員
田中 徹	生産技術部特別研究員
平井 智紀	材料環境部・副主査

1-2-4 協力者

氏 名	所属・役職	備考
神 雅彦	日本工業大学・准教授	アドバイザー
中島将木	アイシンエイダブリュ株式会社 生技開発部主査	アドバイザー
山川浩由	ユニプレス株式会社 常務執行役員	アドバイザー
中島 晃	国立大学法人 佐賀大学・副学長、理事	アドバイザー

1-3 成果概要

多軸（8軸想定）精密制御プレス機の開発では、10,000kN出力の上部シリンダ3軸、下部シリンダ3軸及び補助油圧2回路のプレス機を製作。ダミー金型を含む3種類の金型での制御実験を行い制御性を含め目標通り達成した。

幾何学的精度向上のためのプレス機剛性向上技術の開発では、既存プレス機モデルでの、偏荷重による応力・歪解析を行い、解析結果との整合性を得た。フレーム部材の肉厚に関し、解析を行い減肉の可能性が示唆された。CAE解析の有効性が示され目標通り達成された。

多軸プレス対応新規金型の研究開発では、切削加工や鋳鍛造で予定されていた2種類の次世代型トランスミッション部品のプレス成形・板鍛造プレス成形を可能とした。高張力鋼板に関しては、従来プレス機によりファインブランキング加工を行いクリアランスやV字突起の影響を調べたが、新規開発の多重入れ子型金型でのスプリングバックを考慮した成形実験には至らなかった。今後、補完研究で行いたい。

新規金型での高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発では、異形歯形形状3次元モデルを作成、高張力鋼板せん断解析を行った。FBプレス特有のV字突起の初期圧縮量とせん断によるダレ量の関係及びクリアランスの影響を求めた。打ち抜き実験の結果との整合性も確認できた。結果のデータベース化を試みた。今後、様々な加工条件による実験や解析の結果をさらに蓄積

することでニューラルネットワーク構築の基礎データとし、ニューラルネットワーク構築による実機への展開を図りたい。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人 佐賀県地域産業支援センター

研究開発推進課長 坂田英明

住所 〒849-0932 佐賀県佐賀市鍋島町八戸溝 114

電話 0952-34-4413 FAX 0952-34-4412

E-mail: h_sakata@mb.infosaga.or.jp

第2章 本論－（１）＜森鉄工株式会社＞

2-1 多軸（８軸想定）精密制御プレス機の開発（概要）

川下産業である自動車産業界において部品の軽量化、複雑精密形状化、高精度化、短納期化、低コスト化のニーズが高まっている。軽量化については 600MPa～980MPa の高張力鋼板の利用が増えている。そこで 980MPa 級高張力鋼板の打ち抜き加工での 100%平滑断面の実現と、バルジ、バリ、ダレ量の半減を目指す。また、半抜き加工、絞り成形、打ち抜き等の複数工程を要していた立体的成形の工程数を削減していき、最終的に 1 工程で完了することにより部品の高精度化、設備の小型化を目指す。例えば 1 工程 2000kN 程度の成形荷重が必要で 6 工程かかる製品だと、加圧能力 15,000～20,000kN の機械式トランスファープレスなどを用いて成形している。機械式プレスの場合は能力発生位置が決まっているために成形荷重×工程数に値する能力が必要である。しかし油圧プレスの場合、ストローク全域で最大加圧力を発生できるため、半抜き加工、絞り成形、打ち抜き等の複数工程を 1 ストローク内で順次行い完了できる。製品を移動させないため製品精度は極めて向上するし、金型の保有面積も 1/5～1/10 に削減でき、またプレス能力も 1/5～1/8 と小さく出来る。また設備費も 1/15～1/20 に削減できる。油圧プレスのため生産性は低下するが、後工程のタクトタイムを考えると充分満足できる速度であり、後工程と連動したプレス機のインライン化が可能になる。このようなことから多軸精密制御の 10,000kN プレス機を開発する。

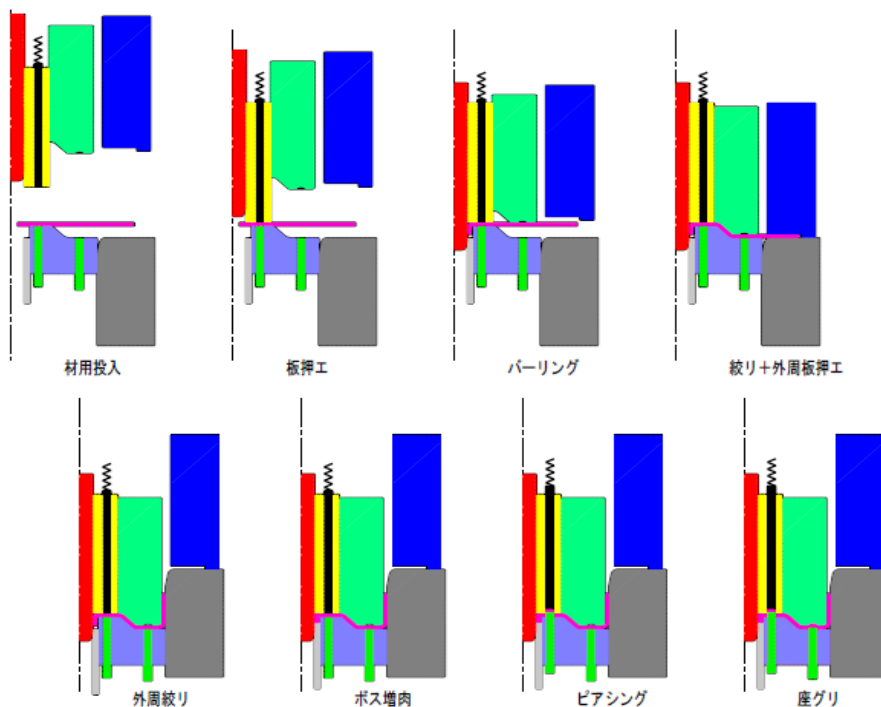


図 2-1 1 工程成形例

2-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

複雑形状、高精度な成形、また高張力鋼の打ち抜き時の平滑断面維持、バルジ、バリ、ダレ量の半減を実現するためには、いろいろな軸力を使って材料内部のフローを精密にコントロールする必要がある。しかし現状では 3～5 軸の成形試験機しかなく、成形試験に限界がある。またサーボコントローラーも現在市販されているものが 2 軸制御用で、3～6 軸になると数台を組み合わせる必要があり、各軸のモーション管理が複雑になる。そこで MAX6 軸が 1 つの CPU で制御できるボードを開発することにより全軸のモーションを一元管理できる。今回の多軸成形金型の開発にあたり、設備本体に 6 軸のサーボ制御軸を有し金型内用に 2 軸の制御軸を有する試験機を開発し多軸成形試験及び解析を実現化する。

2-3 目的と目標

多軸成形による成形性、材料流れの実験と解析及び成形シミュレーション技術の開発を行う試験機として 8 軸制御の 10,000kN 試験機を開発することを目的とする。

平成 19 年度は、6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機の主仕様の検討、全体図の設計、油圧回路の構成、6 軸サーボ制御技術の開発および金型取付部の基本設計を目標とした。

平成 20 年度は、6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機の製作、8 軸制御用油圧ユニットの製作、電気制御盤・操作盤の製作、ダミー金型による 6 軸サーボ制御の検証を目標とした。

平成 21 年度は、新規に板鍛造金型を製作し 6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機により、成形プログラミングの検証、制御精度の確認、金型歪のリアルタイム計測、同一金型によるパラメトリック成形実験を目標とした。

2-4 6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機の成形実験方法及び結果

・実験方法

今回製作した 6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機とダミー金型を使って 6 軸サーボ制御の検証を行った。写真 2-1 は 6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機の概観である。実験内容は、まず初めにダミーの金型を使用しメインプレス、インナープレス、スライドノックアウト(SKO)、ベッドプレス、ベッドノックアウト(BKO)の位置制御、圧力制御の制御性を確認した。図 2-2 はダミー金型断面図。表 2-1 に 6 軸サーボ制御 10000 k N 試験機の主仕様を示す。



写真 2-1 6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機の概観

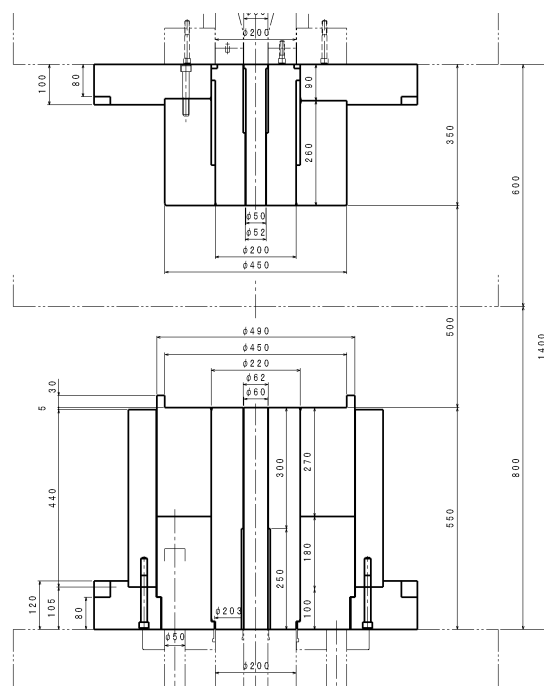


図 2-2 ダミー金型断面図

6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機と今回製作した板鍛造金型を使って成形プログラミングの検証、制御精度の確認、金型歪（応力）のリアルタイム計測実験を行った。

実験内容は、次世代トランスミッションの具体的部品を取り上げ、減肉・増肉の要素を含んだ板鍛造金型を製作し成形実験を行った。図 2-3 は今回取り上げた板鍛造製品図、図 2-4 は板鍛造金型の断面図、写真 2-2 は素材を載せた板鍛造金型をプレスに取り付けた写真

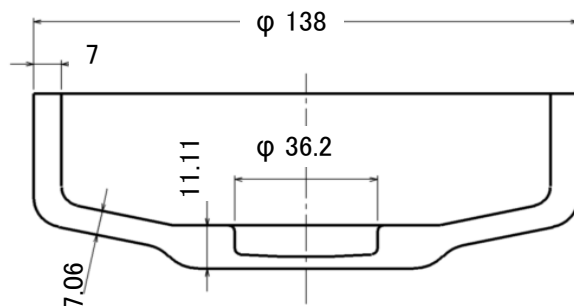


図 2-3 板鍛造製品図（寸法は目標値を示す）

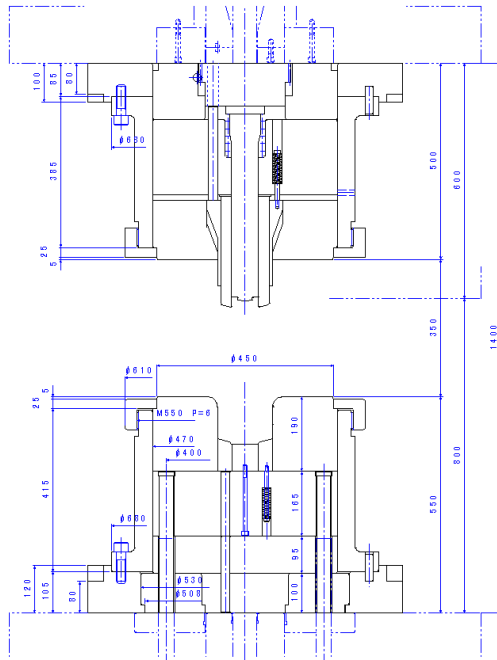


図 2-4 板鍛造金型の断面図

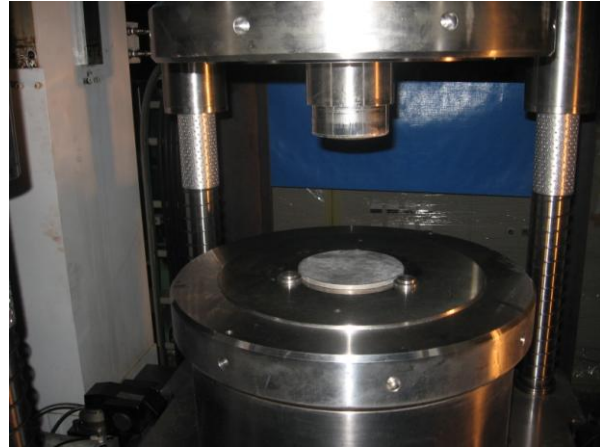


写真 2-2 素材を載せた板鍛造金型を
プレスに取付けた写真

・結果

6 軸サーボ制御 10,000kN 試験機の制御実験を行うために作成した多軸成形プログラミングデータシート例添付する。

図 2-5 は、ストローク線図をもとにプログラミングしたデータシートを示す。このように NC 工作機械のように自在に成形モーションを作成できることを確認した。通常金型成形トライ時、一度に全工程を実施するのは研究者にとってリスクが大きいため工程を分けて少しずつ成形できることが望まれる。今回、多軸成形の特徴である多段の工程を段階的に確認できるプログラミングが可能であることを確認した。

板鍛造成形実験を行うために検討したプレス機のストローク線図、軸力伝達変換機能を付加したダイセットの写真、鍛造各工程の製品写真と製品断面写真を添付する。

線図 2-1 は、板厚 8mm、直径 180mm の素材から、ワンショットにて所定の形状を成形するプレスストローク線図を示す。第 1 工程から第 5 工程までの成形をプレス機 1 ストローク内で完了出来るようになっている。またインナー軸の軸力伝達変換も補助油圧によって作動させている。多段成形において、補助油圧にてダイセットの油圧シリンダを駆動させ軸力伝達切替もプログラミング上可能であることを確認した。

写真 2-3 は、軸力伝達変換機能を付加したダイセット上面の写真である。板鍛造成形実験を実施するに当たり、解析上コアパンチに 390 トン、スリーブパンチに 176 トンが必要だが、今回のプレス機ではメインプレスの他に能力 400 トンのインナープレスと能力 50 トンのスライドノックアウトしかなく、スリーブパンチを加圧する軸力が不足した。そこでダイセット上部の P プレートを回転させることによりインナー軸の軸力をコアパンチとスリーブパンチに切替えて伝達できる機構を設けた。P プレートにギヤを設け、回転の駆動は油圧シリンダにて丸ラックバーを前進・後退させた。

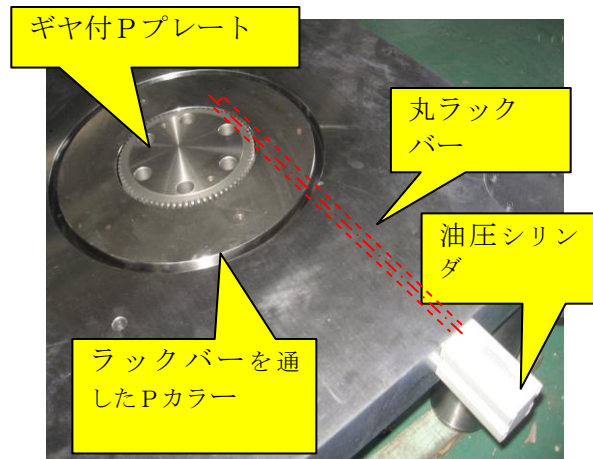


写真 2-3 軸力伝達変換機構を付
加したダイセット上面の写真

写真 2-4 は成形実験を進める上での各工程ごとのその断面写真である。



写真 2-4 各工程の製品の断面写真

2-5 研究成果

ア. 成形プログラミングの検証・修正

今回製作した板鍛造金型を使用し、全5工程の成形を1ストローク内で完了させることと補助油圧の制御を成形途中に組みこんだ成形プログラミングの検証を完了した。図 2-6 はメイン軸のプログラミングデータシートを示す。

イ. 制御精度の確認と向上

秦野精密殿製作の金型と板鍛造成形金型を使用し、各軸のモーションとタイミング、各軸の位置制御、圧力制御、位置リミッター、荷重リミッターの性能、補助油圧の制御性等について良好な結果が得られた。図 2-7 に板鍛造金型の成形波形データを示す。

ウ. 実成形時の金型の歪の測定

板鍛造金型に歪センサーを取り付け、実成形時の金型の歪をリアルタイムで計測できることを確認した。ただ計測された歪とプレス成形品との比較までは実施できなかったため、今後の補完研究とする。図 2-8 はプレスのストローク線図（上段）と歪の測定データ（下段）を示す。

エ. 板鍛造金型製作と成形実験

前出の図 2-3 板鍛造製品図の形状を得るべく金型を製作し成形実験を行った。解析データとほぼ同一の形状及び寸法を得ることが出来た。特に増肉部の厚さ目標 11.11mm に対して 11.25mm と厚くすることが出来た。また斜面部は目標 7.06mm に対して 6.5mm と薄くすることが出来た。このような形状を板材からワンショットで成形できたことは、今後の塑性加工技術にとって波及効果は大きいと考える。また今回採用した軸力伝達変換機構を用いれば、3軸プレスで4軸プレスとして利用できることがわかった。これは設備費と消費エネルギーの削減にもつながる。写真 2-6 は、製品の断面写真である

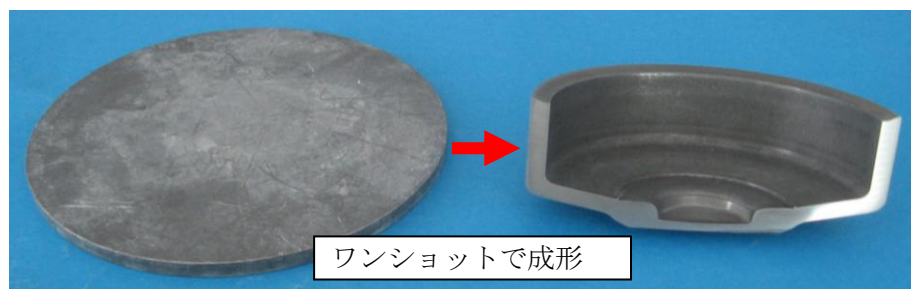


写真 2-6 素材と製品の断面写真

2-6 今後の課題と取り組み

8軸（6軸サーボ制御）10,000kNのプレス機製作と、多軸プレス成形の特徴を生かした2種類対象部品形状の決定、及びその金型製作を行った。順送金型と異なり、最終製品形状金型での成形であり、目標寸法への減肉・増肉成形に試行錯誤を要した。プレス成形形状に応じたCAEによる金型内板流動解析を活用した各軸のストローク線図の決定や、金型構造の決定が順送成形より重要である。今後、補完研究により試作したプレス機や金型を用いて以下の残された課題に取り組んでいく。

- ア. 実成形金型による製品精度の確認。
- イ. 金型歪データ収集とその応用。
- ウ. 多軸プレスによる新工法の開発。
- エ. 高張力鋼板のスプリングバック抑制成形。
- オ. 今回の板鍛造成形技術の応用と市場へのPR。

第3章 本論－（２）＜森鉄工、佐賀県工業技術センター＞

3-1 幾何学的精度向上のためのプレス機剛性向上技術の開発（概要）

従来プレス機の本FEMモデルを作成し、プレス時の変形、偏荷重による変形等のシミュレーションを行い、実験との整合性を高める条件や解析手法を開発する。

3-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

プレス機の構造体は、成形時に変形することは避けられない。特に偏荷重についてはその変形が増大し、プレス機の平行度、直角度に大きく影響する。今回高精度部品の成形および塑性変形挙動 FEM 解析、静水圧分布の FEM 解析さらには成形シミュレーション技術の開発を行うに当たって、プレス機自体の精度がデータ解析に及ぼす影響を最小限に抑えることが必要である。

3-3 目的と目標

弊社の従来プレス機の本 FEM 解析と実績機によるひずみ測定実験により強度の検証を行う。最終目標は、プレス機的设计開発において効果的に活用できる FEM 解析方法を明確にする。

3-4 実験方法及び結果

3-4-1 偏荷重解析における解析条件の検討

ファインブランキングプレスへ偏荷重が作用した時のフレームの変形量を解析するにあたり、納入した実績があるプレス機を対象として解析モデルや解析条件の検討を行った。また、2次元平面ひずみモデルと3次元ソリッド（1／2モデル）モデルで解析し結果の比較を行った。

3-4-1-1 解析条件および解析モデル

2次元平面ひずみモデルを Fig. 3-1 に3次元ソリッド（1／2モデル）モデルを Fig. 3-2 にそれぞれ示す。また、それぞれのモデルでの解析条件を Table. 1 に示す。

Table. 1 解析条件

	2次元モデル	3次元モデル
解析対象プレス機	5000kN ファインブランキングプレス	
解析タイプ	静解析	
要素タイプ	四角形平面ひずみ要素	四面体2次要素
解析モデル	2次元平面ひずみ	3次元ソリッド（1／2モデル）
材料物性	ヤング率：206000 [MPa]，ポアソン比：0.3	
境界条件	拘束条件：プレス下面を固定 荷重条件：5000kN 相当の圧力	対称条件：対称面の全面に設定 拘束条件：プレス下面を固定 荷重条件：5000kN 相当の圧力
接触条件	スライドとフレーム間を接触とし、摩擦は無視した。	
偏心量	100 [mm]	

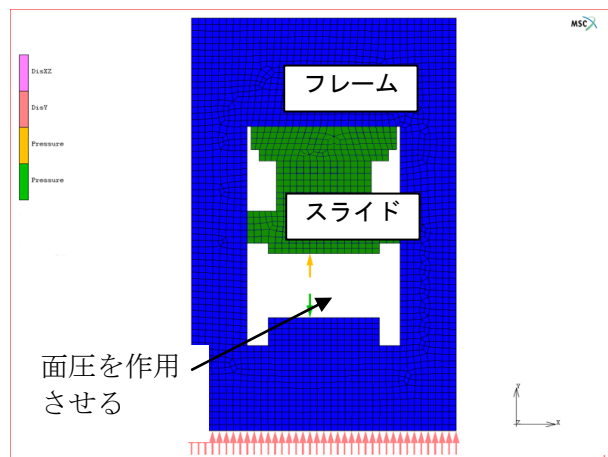


Fig. 3-1 解析モデルおよび解析条件
（2次元平面ひずみモデル）

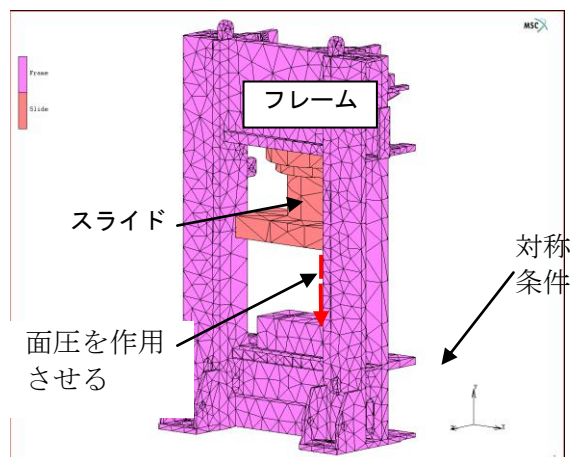


Fig. 3-2 解析モデルおよび解析条件
（3次元ソリッドモデル）

3-4-1-2 解析結果

2次元平面ひずみモデルと3次元ソリッドモデルの結果を比較した結果を Fig. 3-3 に示す。

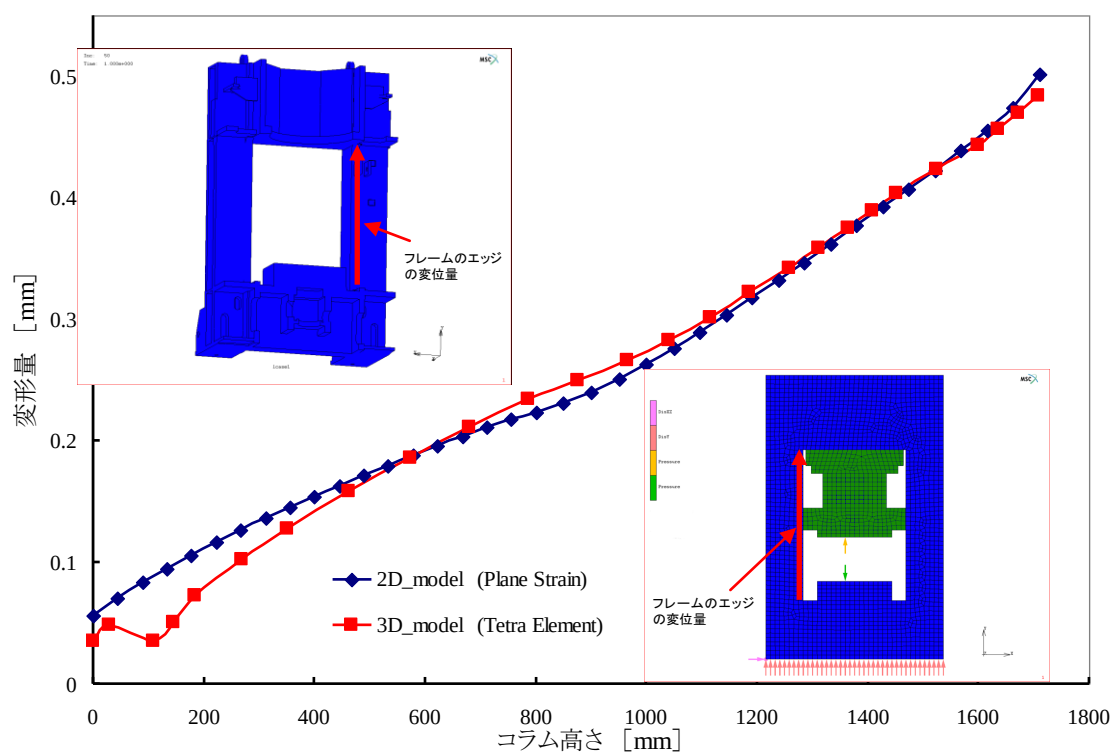


Fig. 3-3 2次元平面ひずみモデルと3次元ソリッドモデルの解析結果

3-4-2 5000kN ファインブランキングプレス機のひずみ測定実験と FEM 解析結果の比較検討

実績機である 5000kN ファインブランキングプレス機へ偏荷重が作用した時のプレスフレームのひずみ測定実験を実施し、測定結果と FEM 解析での解析結果を比較した。

3-4-2-1 実験および解析条件

実験条件と実験の時のプレス機とひずみ測定位置を Table. 3 および Fig. 3-4 にそれぞれ示す。また、解析条件と解析モデルを Table. 4 および Fig. 3-5 にそれぞれ示す。

Table. 3 実験条件

解析対象プレス機	5000kN ファインブランキングプレス
実験方法	ひずみゲージによるひずみ測定
測定機器	共和電業製データロガーPCD-300 ひずみゲージ：KFG-5-120-D17-11
測定箇所	プレスフレーム前面側コラムの左右上下 4ヶ所
荷重負荷方法	ボルスター間にφ370の円柱を設置し、 荷重を作用させた。
荷重条件	1000kN, 1500kN, 2000kN
偏心量	100[mm]

Table.4 解析条件

解析対象プレス機	5000kN ファインブランキングプレス
解析タイプ	静解析
要素タイプ	四面体 2 次要素
解析モデル	3 次元ソリッド (1 / 2 モデル)
材料物性	ヤング率 : 206000 [MPa] ポアソン比 : 0.3
境界条件	対称条件 : 対称面の全面に設定 拘束条件 : プレス下面を固定 荷重条件 : 5000kN 相当の圧力
接触条件	スライドとフレーム間を接触とし、摩擦は無視した。
ひずみ測定箇所	実験と同様にプレスフレーム前面側コラムの左右上下 4 ヶ所
偏心量	100 [mm]

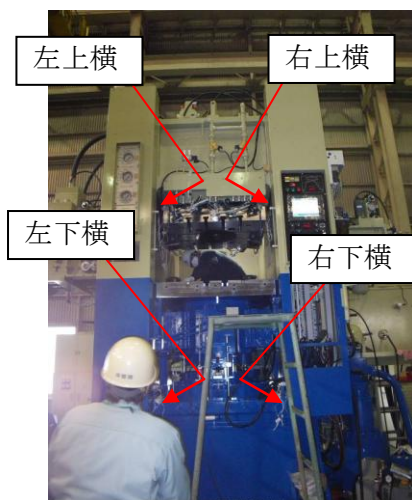


Fig. 3-4 プレス機とひずみ測定の位置

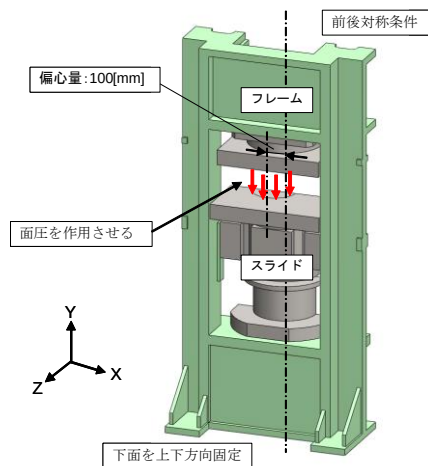


Fig. 3-5 解析モデル

3-4-2-2 解析結果

Fig. 3-6 にプレス荷重とひずみ量の関係について実験データと解析結果をあわせて示す。

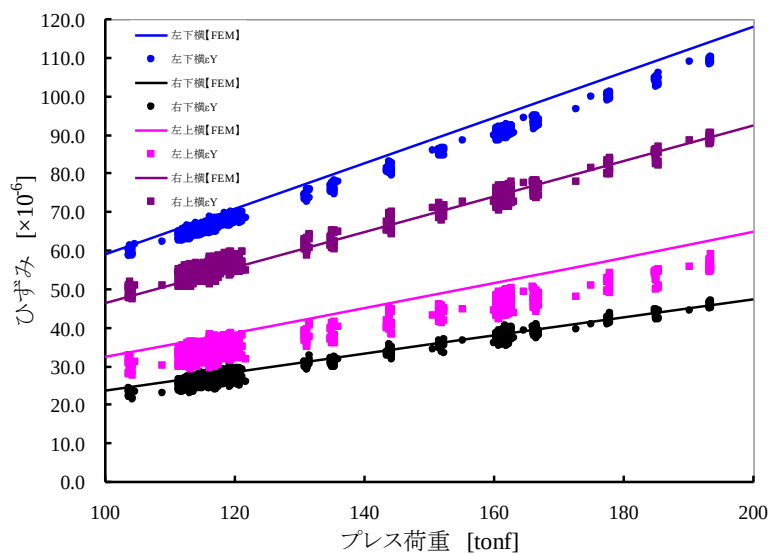


Fig. 3-6 プレス荷重とひずみ量の関係 (実験と FEM 解析の比較)

3-4-3 10000kN 多軸精密制御プレス機の構成部材の強度に関する検討

3-4-3-1 解析モデルおよび解析条件

1000kN 多軸精密制御プレス機の構成部材（メイン部材、補強リブ 1、補強リブ 2）の板厚さを 5%、10%、15%、20%と減少させた時の強度を解析する。

この研究で作成した 10000kN の多軸精密制御プレスの解析モデルを Fig. 3-7 に示す。また、プレス機の構成部材であるメイン部材、補強リブ 1 および補強リブ 2 を Fig. 3-8～Fig. 3-10 にそれぞれ示す。

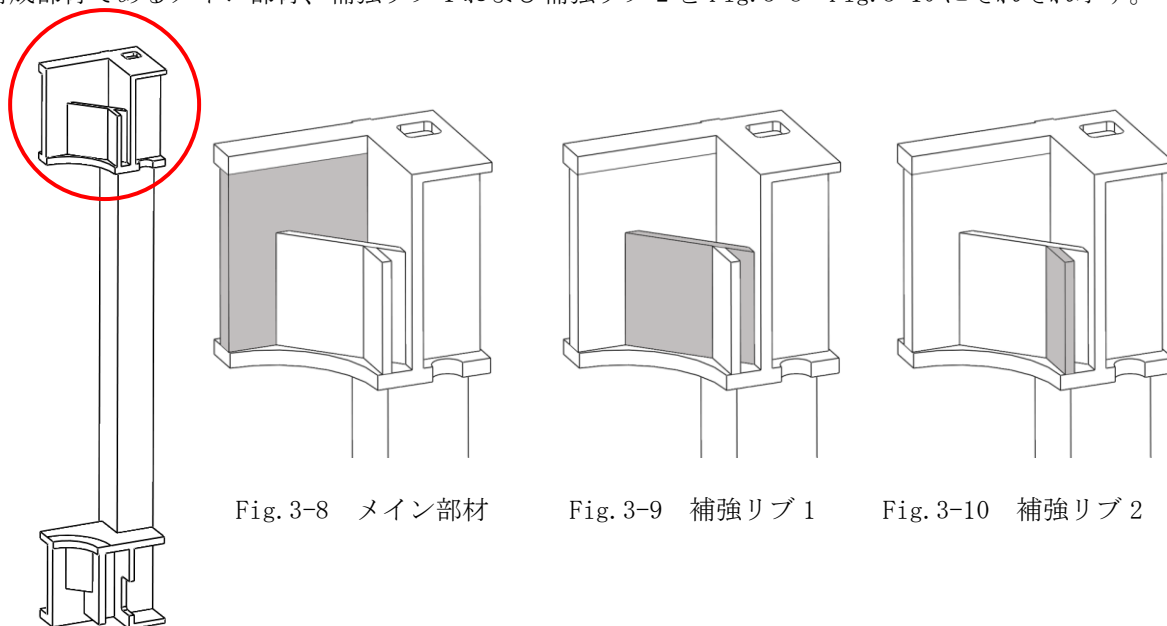


Fig3-7 解析モデル

3-4-3-2 解析結果

構成部材（メイン部材、補強リブ 1、補強リブ 2）の板厚さを 5%、10%、15%、20%と減少させた時の最大主応力の変化を Fig3-11 に示す。

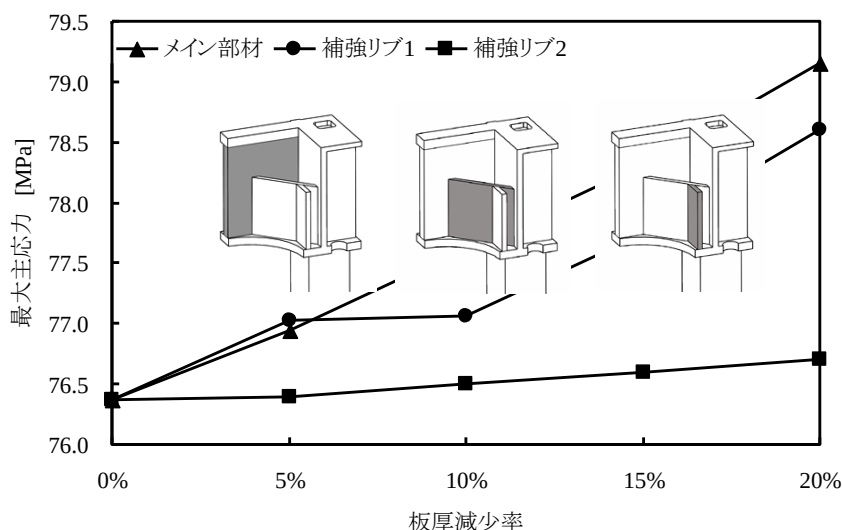


Fig3-11 構成部材を減少させた時の最大主応力の変化

3-5 研究成果

実績機である 5000kN ファインブランキングプレス機へ偏荷重を作用させた時、フレームのひずみ測定実験による測定結果と FEM 解析での解析結果を比較すると、ほぼ一致する結果が得られたことから、今回の研究で設定した解析モデルおよび解析条件が妥当な設定であることが明らかとなった。

また、開発機である多軸精密制御プレス機における補強リブ 1 および補強リブ 2 について、板厚さを減少させる場合 10%以下であれば最大主応力の変化割合が少ないことから、現在の部材厚さを約 10%程度減少させることができると考える。

これらのことから、プレス機の設計開発において FEM 解析を利用する場合には、本研究の解析方法にて FEM 解析を実施することで低ひずみプレス機構造の確立が可能であると考えられる。

また、10000kN 多軸精密制御プレス機へ荷重が作用した時のプレスフレームのひずみ測定実験を実施し、プレス機の荷重と測定ひずみの関係を得ることができた。

今回の研究で得られた知見はプレス機の設計開発段階において FEM 解析を活用する場合において、フレーム形状の最適化に有効であることが明らかになった。

3-6 今後の課題と取り組み

本研究では、プレス機のフレームのみを解析モデルとして作成して構造部材の影響を検討することができたが、ひずみ測定の結果と解析結果の比較検討を行うためにはプレス機のフレームだけではなく、スライドやボルスタ、メインシリンダなどをモデル化した解析モデルによる解析を実施する必要がある。

第4章 本論一（3）＜株式会社秦野精密＞

4-1 多軸プレス機対応新規金型の研究開発（概要）

多軸精密制御プレス機の構想、仕様及び設計にあわせて生産に適した製品についての調査及び金型についての構想検討及び設計・製作を行う。その後実験を通して製品の成形を行い、成形に必要な、金型、プレス両面からの検証を行った。

4-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

今回、開発中の多軸精密制御プレスは従来プレスと異なり、8軸の位置制御、圧力制御が可能で、それに伴い従来複数金型で成形していた部品を1金型内で多段加工することが可能になる。それに伴い、金型の構造、動作に関してのパラメータを打合せ、ヒアリング等により調査し、課題の抽出、金型仕様の決定、実験用金型を設計・製作した。

4-3 多軸精密制御プレス成形部品

多軸プレスに適した成形部品について、プロジェクトメンバーでの情報交換を行った結果 図1に示す成形品形状の製品となった。特徴としては、中心穴部のボスだし、中間部の増肉及びツブシ外周部のギヤ精密剪断が挙げられる。

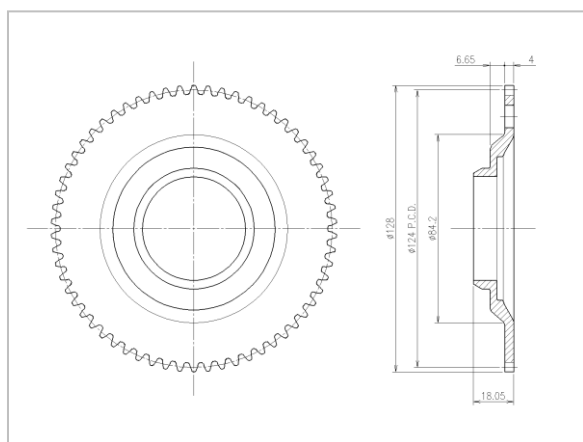


図1（成形品形状）

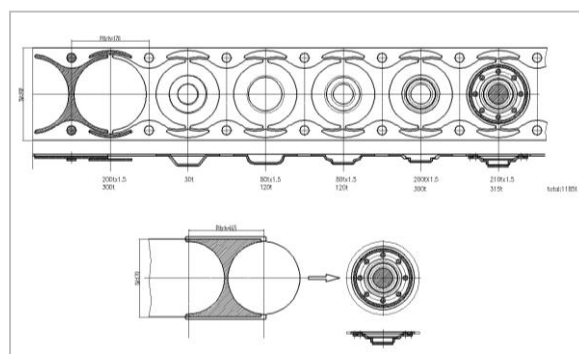


図2（工程比較）

仮に順送プレスで本製品を加工した場合、図2の工程比較で示すように最低でも6工程必要となる。品質面では材料送りのピッチ精度の問題から同心度、平面度、高さ方向の精度などで改善が見込まれる。従って、この製品の加工を多軸プレスによる、縦順送金型にする事により金型工程数の削減、プレス機のサイズの縮小および金型サイズの縮小によるコストダウンが図れる。

4-4 金型設計・製作

成形する製品形状の決定後、加工工程を成形から排出まで、順序、体積を考慮しつつ、決定する。次に製品の各部位と加工する金型部品及びその金型部品に加工力を与えるプレス機側の軸を割り当てる。図3に金型構造を示す。金型部品の割付、プレス機加工軸が決定したら、縦軸に各軸のストローク、横軸に加工順序を記したストロークダイアグラムを作成し、各軸の動作を検証する。金型構造設計では、ストロークダイアグラムをダイアグラムを確認したのち、プレス機の取付仕様、各シリンダ径、ピン配置、ストローク、シャットハイトなどを考慮し、金型の構造を決めていった。図4に加工工程、図5に上型写真、図6に下型写真を示す。

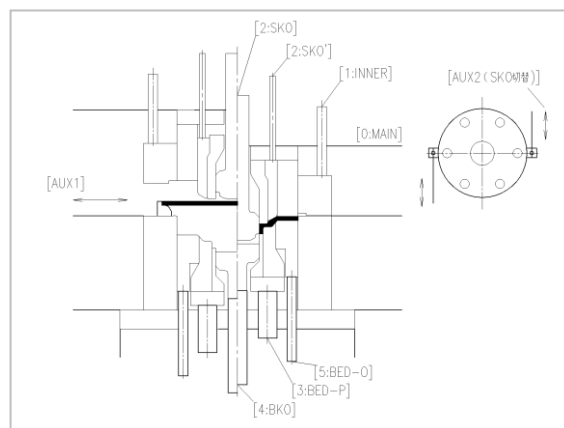


図3（金型構造）

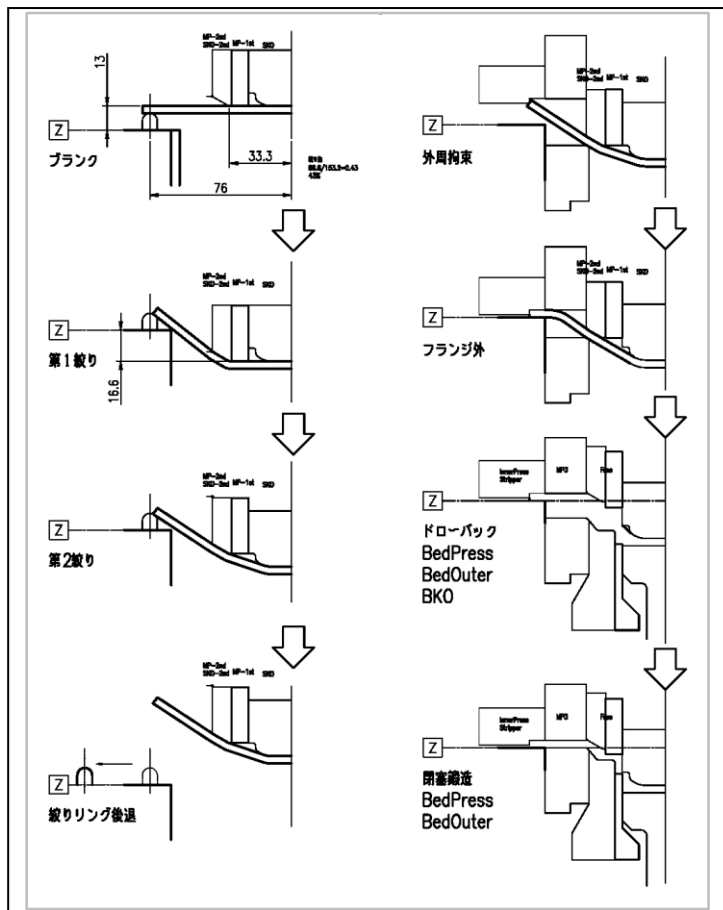


図 4 (加工工程)

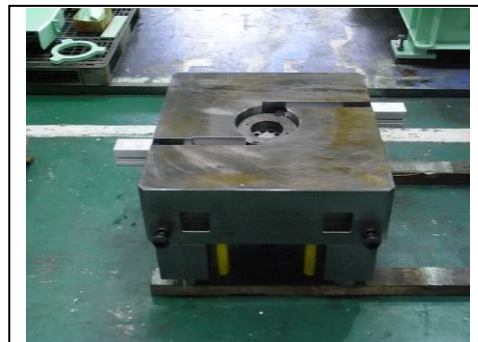


図 5 (上型写真)

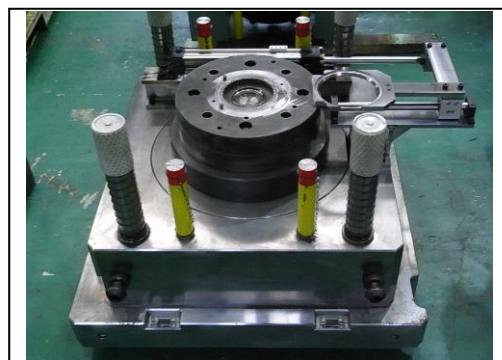


図 6 (下型写真)

4-5 実験

材料は自動車構造用圧延鋼板 SPHC を円盤状にした物を使用した。ボスだし、増肉、ギヤ部はほぼ狙い通りの形状に成形する事ができた。図 7 に成形品を示す。

図 5 (成形品)



4-6 研究成果

a.) 金型設計・製作

今回の多軸対応金型を設計するにあたり、最終形状の金型部品からいかに中間形状を作りだし、成形していくかがポイントとなった。特に通常、多工程で行う絞りに工程において、部品の強度やスペースなどといった問題があった。今回製作した金型においては、プレスからの圧力伝達の切替や、絞り型の出し入れなど、多軸金型独自の構造も組み込んだ。

b.) 成形

通常の場合、高さ関係や、圧力のかかるタイミングなどは、金型部品を加工する事により調整するが、多軸プレスの場合は、各軸の位置や圧力タイミングを任意で設定できるため、一度のトライで様々な条件がトライできた。

また、今回の金型による成形においては、絞り、ツブシ、FB 抜き等様々な動きが必要になっており、その成形プログラムについても検証する事ができた。

第5章 本論—(4) <佐賀大学>

5-1 新規金型での(超)高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発

—解析シミュレーション編—(概要)

高張力鋼板の各種プレス加工, 及びその多段複合加工における, 成形に係る諸条件を考慮した成形シミュレーションに要する有限要素法(FEM)解析技術を開発し, 平滑せん断面の実現やバリ, バルジを抑制し, 精密転写を得るための成形シミュレーション技術を開発する. そこで求められた金型の形状条件や成形条件を, 実機プレス機へと展開させる.

5-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

高張力鋼板の多軸ファインブランキングプレス機の開発における各種プレス加工, 及びその多段複合加工における成形に係る諸条件を考慮した成形シミュレーションに要する有限要素法(FEM)解析技術を開発し, 平滑せん断面の実現やダレ, バリ, バルジを抑制し, 精密転写を得るための成形シミュレーション技術を開発する. ファインブランキングプレス特徴である V 字突起の位置や高さの影響およびプレス圧による静水圧効果の影響を調べる. また, 金型のクリアランス, 形状の影響を考慮した FEM 解析を実施し, そこで求められた金型の形状条件やプレス加工成形条件を, 実機プレス機へ反映させる.

5-3 目的と目標

加工条件を与えた解析を行う FEM 解析用モデルの作成と, シミュレーションを行い, 実験プレスの条件と結果との整合性を高める手法を開発する.

5-4 解析方法及び結果

5-4-1 ファインブランキングプレスのプレス過程の有限要素法へのモデル化(軸対称モデル)

5-4-1-1 軸対称形状モデルと FEM メッシュの作成

解析モデルの概略図を Fig.5.1 に示す. 汎用有限要素法プログラム MSC.Marc/Mentat を用いて, C.L 軸を対称軸とする軸対称モデルを作成し, 4 節点軸対称要素を使用した. ここで, 高張力鋼板は変形体ボディとして定義し, 高張力鋼板以外のパンチ, カウンターパンチ, ブランクホルダー, ダイはカーブで表し, 剛体ボディとして定義した. ここで, ブランク材の板厚は 4mm とした.

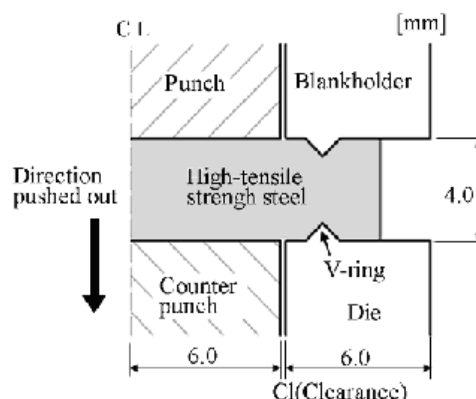


Fig.5.1 Mentat モデル概略図

5-4-1-2 材料定数の決定

高張力鋼板は 780MPa 級の板の単軸引張り試験結果[1]を使用した. 降伏応力以降の材料定数は真応力-真ひずみ曲線を, グラフにして要素に材料定数として与えた. この高張力鋼板の弾性域での材料定数と塑性域での応力と塑性ひずみのグラフを Table 5.1, Fig.5.2 にそれぞれ示す.

Table5.1 材料定数

Young's modulus	GPa	200
Poisson's ratio	—	0.3
Yield stress	MPa	450

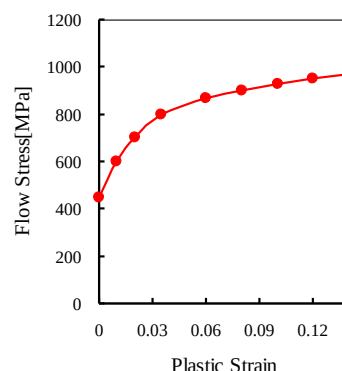


Fig.5.2 真応力-真ひずみ曲線

5-4-1-3 接触条件

高張力鋼板の変形体ボディとパンチ、逆押え、ダイのそれぞれの剛体ボディには接触条件を設定した。但し、摩擦係数は無視している。

5-4-1-5 解析条件

解析条件として、下記の条件についてモデルを作成しダレ量に与える影響を検討した。

- (1) 圧縮量が 0.001mm, 0.03mm, 0.08mm の場合
- (2) V 字突起の高さ h が 0.0mm, 0.035mm, 0.7mm の場合
- (3) クリアランスが 0.0mm, 0.005mm, 0.01mm, 0.02mm, 0.03mm, 0.05mm, 0.08mm, 0.10mm の場合

5-4-2 軸対称モデルによる解析結果

5-4-2-1 初期圧縮量および V 字突起高さ とダレ量の関係

3つの V 字突起の高さにおける初期圧縮量とダレ量の関係を表したグラフを Fig.5.3 に示す。

Fig.5.3 をみてもわかるように、初期圧縮量が大きくなるに従ってダレ量が小さくなることがわかる。また、V 字突起の高さについても、V 字突起が高くなるに従ってダレ量が小さくなることがわかる。

5-4-2-4 クリアランスとダレ量の関係

クリアランスを変化させた時の解析結果について、クリアランスとダレ量の関係を Fig.5.4 に、パンチによる打抜き過程でのダレ量の変化を Fig.5.5 にそれぞれ示す。

Fig.5.4 に示す結果から、ダレ量に与えるクリアランスの影響はクリアランスが大きくなるに従ってダレ量も小さくなっている。また Fig.5.5 のグラフから、すべてのクリアランスにおいてパンチを打ち込む過程によってダレが成長しているのがわかる。

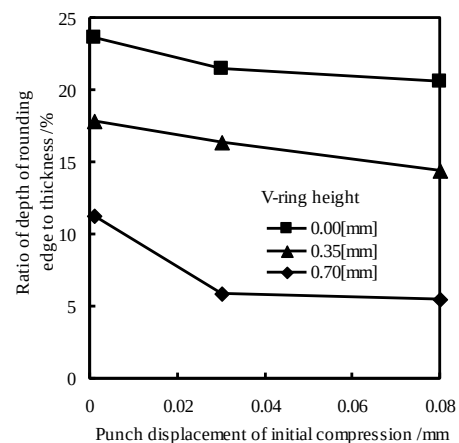


Fig.5.3 初期圧縮量および V 字突起高さ とダレ量の関係

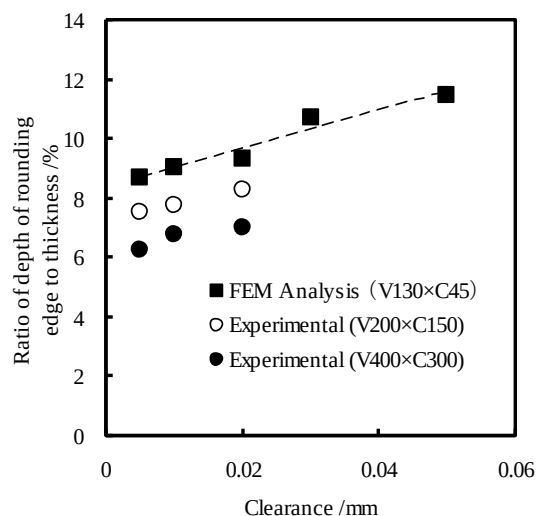


Fig.5.4 クリアランスとダレ量の関係

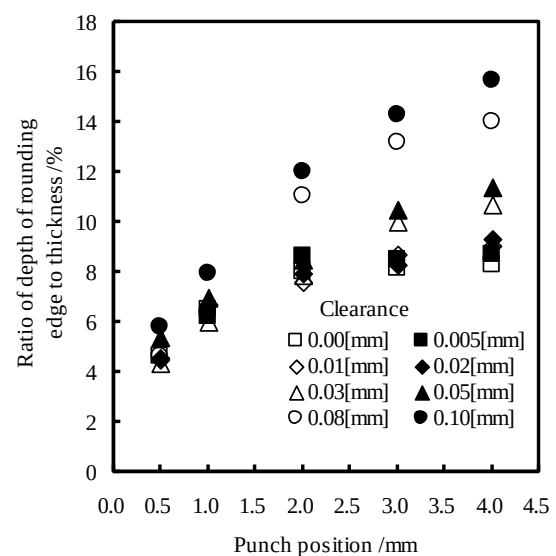


Fig.5.5 パンチによる打抜き過程でのダレ量の変化

5-4-3 ファインブランキングプレスのプレス過程の有限要素法へのモデル化（3次元モデル）

5-4-3-1 3次元モデルとFEMメッシュの作成

ファインブランキングにおける先端角度がダレ量に与える影響を明確にするために、様々な歯形形状を持つ金型を作成し、（以下、異種形状歯形と呼ぶ）ファインブランキングの実験を行った。Fig.5.6に異種形状歯形の形状を示す。

ここで、汎用有限要素法プログラム MSC.Marc/Mentat を用いて、Fig.5.7に示すような1つの歯形毎に3次元モデルを作成した。ここで、ブランク材（高張力鋼板）は変形体ボディとして定義し、ブランク材以外のパンチ、カウンターパンチ、ブランクホルダー、ダイはサーフェスモデルで剛体ボディとして定義した。また、ブランク材の板厚は4mmとした。この時の突起の高さは0.7[mm]、突起の位置は1.0[mm]である。

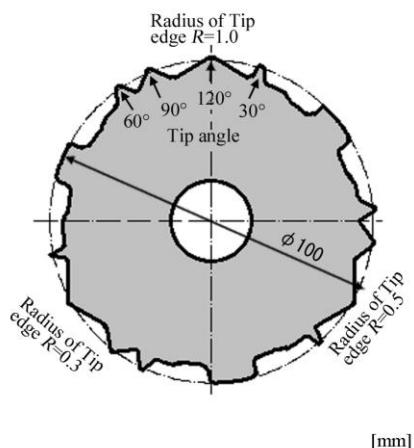


Fig.5.6 異種形状歯形

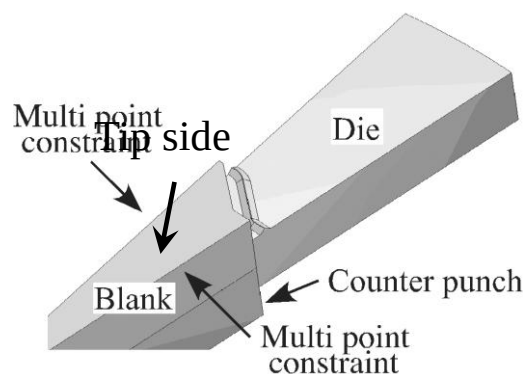


Fig.5.7 3次元 FEM モデル

5-4-3-2 材料定数の決定

材料モデルは塑性流れ則に従う等方性材料とし、材料定数は実験に使用した材料と同じ 590MPa 級の JIS5 号試験片による引張試験を行って得られた結果を使用した。降伏応力以降の材料定数は真応力-真ひずみ曲線を、グラフにして要素に材料定数として与えた。得られた高張力鋼板の弾性域での材料定数と塑性域での応力と塑性ひずみのグラフを Table 5.2, Fig.5.8 にそれぞれ示す。

Table5.2 材料定数

Young's modulus	GPa	200
Poisson's ratio	—	0.3
Yield stress	MPa	477

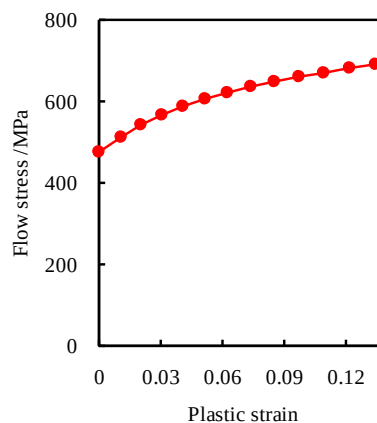


Fig.5.8 真応力-真ひずみ曲線

5-4-3-3 接触条件

高張力鋼板の変形体ボディとパンチ、逆押え、ダイのそれぞれの剛体ボディには接触条件を設定した。但し、摩擦係数は無視している。

5-4-3-4 解析条件

解析条件として、下記の条件についてモデルを作成しダレ量に与える影響を検討した。

(1)先端 R0.3[mm]の時の先端角度 30, 60, 90[°]の場合

5-4-4 3次元モデルによる解析結果

5-4-4-1 異種形状歯形における先端角度とダレ量の関係

Fig.5.6 に示す異種形状歯形の打抜き実験の結果を Fig.5.9 に異種形状歯形の FEM 解析結果を Fig.5.10 にそれぞれ示す。

それぞれの結果において、歯形の先端角度が鋭角になるに従ってダレ量が増加していることがわかる。さらに、先端 R が大きくなるに従ってダレ量が減少していることがわかる。

これらの結果は、これまでの研究で行われてきた実験結果[2]の傾向と良く一致している。一方、歯元部におけるダレ量は先端部に比べ非常に小さくほぼ一定のダレ量となっている。

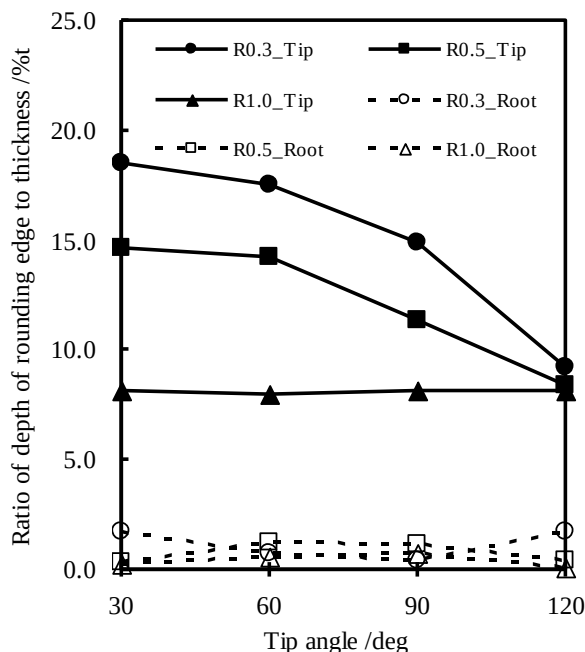


Fig.5.9 異形歯型形状の打抜き実験結果

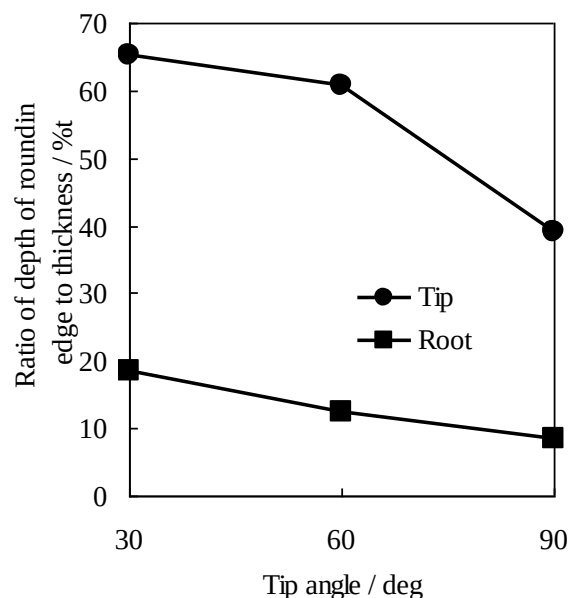


Fig.5.10 異形歯型形状の解析結果

5-5 成果

初期圧縮量を設定し解析を実施した結果、初期圧縮量が大きくなるに従ってダレ量が小さくなることがわかった。また、V字突起が高くなるに従ってダレ量が小さくなることから、V字突起によって材料の塑性変形による移動を押さえることができ、ダレ量を小さくする効果があるのを確認できた。

なお、ダレ量に与えるクリアランスの影響は、パンチの打込みが進むに従ってクリアランス部の材料不足が増加するため、ダレ量が増加していると考察する。パンチを打ち込む過程によってダレ量が成長していることから、ダレ量を予測するための解析はパンチを最大限打ち込んだ時のダレ量について評価する必要があると考える。

3次元モデルによる歯形状に関する解析の結果から、歯形の先端角度が鋭角になるに従ってダレ量が増加し、先端 R が大きくなるに従ってダレ量が減少することが推察された。

参考文献

- [1] 「難成形材加工・最適プロセス設計プロジェクト」, 自動車軽量化を目的とした難成形材の半凝固・塑性加工法の開発とその最適プロセス設計の研究, 平成 15 年度研究成果報告書, (財) ひろしま産業振興機構, 広島県産業科学技術研究所
- [2] 尾崎龍夫ほか: 塑性と加工, 35-396, (1994), 10-16.

第6章 本論－（５）＜株式会社秦野精密＞

6-1 新規金型での（超）高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発

－基礎実験辺－ （概要）

ファインブランキング加工C A E解析の基礎データを得るために、円盤打ち抜き用金型の設計・製作及び異形歯形成形金型の設計・製作を行うとともに、加工条件を変えた打ち抜き実験と成形品の形状測定を行う。

6-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置付け

高張力鋼成形において、シミュレーションへ活用する為のデータ取得を行う。

6-3 目的と目標

- a) 円盤打ち抜き用金型の設計・製作
- b) 異形歯形成形金型の設計・製作
- c) 成形品の形状測定

6-4 仕様

試験製品形状

試験製品は、剪断面、バルジ、ダレ、バリが加工条件や材料によってどのように変化するか評価するため、3種類のクリアランス、及び12種類の歯形形状を盛り込んだ形状とした。また、シミュレーションでの基礎データ取得用に円盤形状での製品を設定した。

- ① $\phi 100$ に内接
- ② 段差 3mm
- ③ $t=4\text{mm}$ 、(1. 8mmまたは1.6mm)
- ④ クリアランス 3種類 0. 0 0 5, 0. 0
- ⑤ 歯形
 - 先端角度
30° , 60° , 90° , 120°
 - 先端R
R1. 0, R0. 5, R0.3

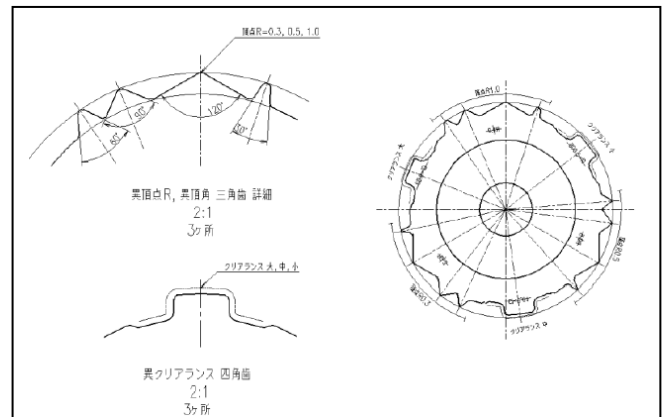


図5-1 試験製品形状

試験製品金型

試験製品用の金型は、弊社 FB400-FD仕様とし、歯形形状、円盤形状部品を部品の交換によって行える様に考慮した。

⑥ 取付仕様

- シャット・ハイト 340 [mm]
- 400x450
- その他は FB250/400 仕様

⑦ パンチ硬度(歯形のみ)

- HRc64
- HRc60
- HRc58



図 5-2 : FB400-FD （森鉄工(株)製）

6-5 金型及び打ち抜き製品



図 5-3：金型写真



図 5-4：歯形形状部品

6-6 歯形形状部品 ダレ測定

(1.) 目的

金型テスト時に打ち抜いた製品の各頂点のダレ量を測定し先端角度、先端 R によるダレ量の違いを確認する。材質 SCM420 t=4.0

(2.) 測定方法

形状測定機を使用し、剪断面を基準として平面方向を X, 板厚方向を Z として値を計測する。

(図 5：測定値定義)

測定箇所は、30°、60°、90°、120° の各頂点とする。(図 6：測定箇所)

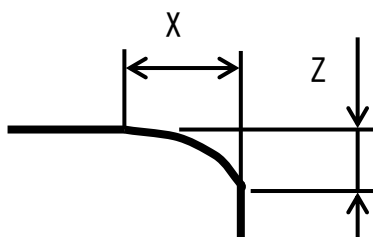


図 5-5：ダレ形状定義

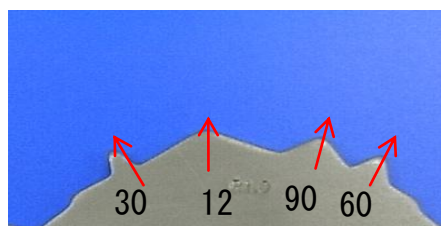


図 5-6：ダレ形状測定

(3.) 測定結果

測定データ X 方向

		30°	60°	90°	120°
R0.3	X	6.302	4.286	3.852	3.570
R0.5	X	4.996	4.060	2.900	2.885
R1.0	X	4.529	3.431	2.939	2.444

測定データ Z 方向

		30°	60°	90°	120°
R0.3	Z	1.808	1.363	0.999	0.661
R0.5	Z	1.208	1.146	0.949	0.643
R1.0	Z	0.760	0.691	0.675	0.564

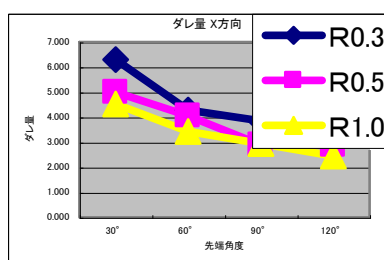


図 5-7：ダレ量
X 方向

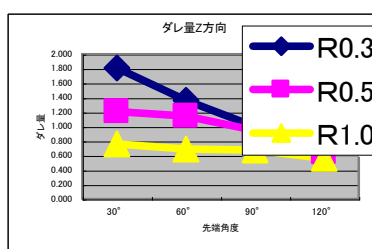


図 5-8：ダレ量
Z 方向

(4.) 考察

先端角度と先端 R およびダレ量 X,Z 方向については、X 軸方向についてはおおよそ平行に変化するが、Z 方向は先端角度の影響が顕著に見ることが出来る、山の体積とダレ量の相関関係を見極める事が必要と考える。

6-7 歯形状部品 バリ、バルジ形状測定

(1.) 目的

製品のクリアランス比較部を形状測定機で測定し、バリ、及びバルジの発生について観察する。

(2.) 測定方法

形状測定機を使用し、バリ面を基準として、剪断面からバリ面にかけてクリアランスの違う箇所を測定する。

測定ワークは、SPFH590 t=4.0

バリ、バルジの様子をわかりやすくするため、縦倍率 X200, 横倍率 X20 で出力。

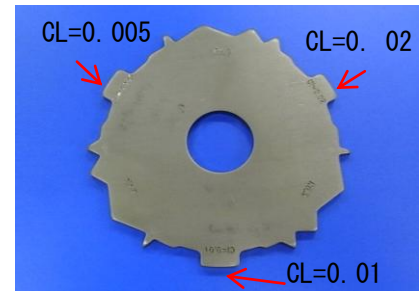


図 5-9 : バルジ測定箇所

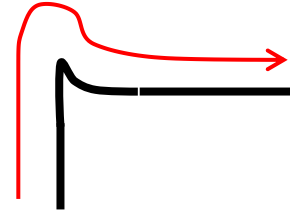


図 5-10 : バリ・バルジ測定方

(3. -1) 結果：形状測定

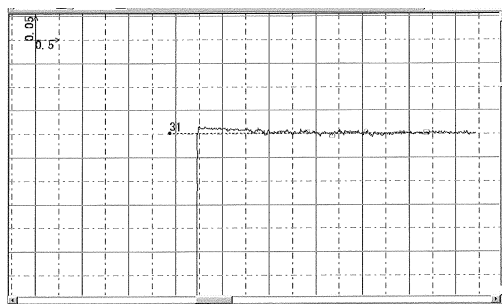


図 5-11 : CL=0.02

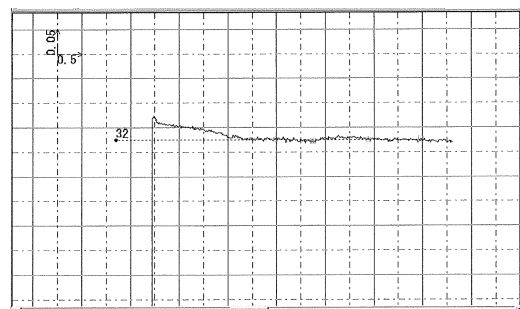


図 5-12 : CL=0.01

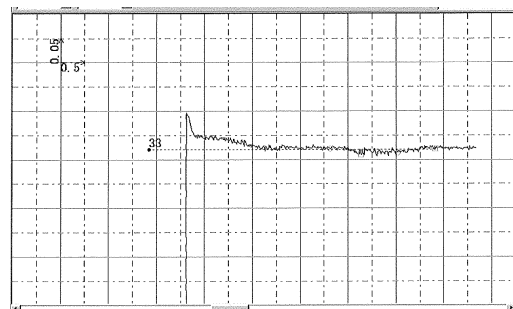


図 5-13 : CL=0.005

(3. -2) 結果：加工条件別

#1, #6, #7, #12 加工条件別のワークを2個ずつ測定し、バルジ発生傾向を確認する。

#1 v=5, V 圧=20, C 圧=15

#6 v=30, V 圧=20, C 圧=15

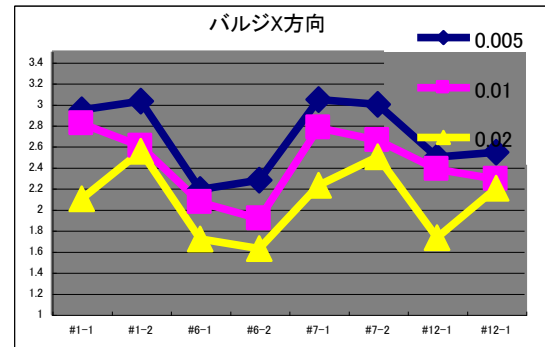
#7 v=5, V 圧=40, C 圧=30

#12 v=5, V 圧=40, C 圧=30

v：加圧速度 [mm/s]

V 圧：板押さえ力 [x10kN]

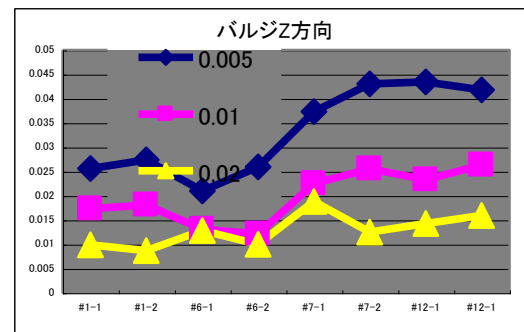
C 圧：逆押さえ力 [x10kN]



(4.) 考察：

バルジ X 方向について

1. #6 #12 加圧速度が大きくなると、バルジの X 方向は減少する傾向にある。
2. クリアランスが小さいと X 方向のバルジは大きくなる。
3. V,C の圧力が変化しても、大きな変化は見受けられない



バルジ Z 方向について

1. #6, #12 加圧速度が大きくなっても、バルジの Z 方向は大きな変化は見られない。
2. クリアランスが小さいと Z 方向のバルジは大きくなる。X 方向よりも顕著
3. V,C の圧力が大きくなると、Z 方向も大きくなる傾向

第7章 全体総括

自動車産業を主ターゲットとし、高張力鋼板成形や鋳鍛造部品のプレス成形を可能とする多軸精密制御を駆使した次世代型プレス機及び多軸対応金型の研究開発を、①多軸（8軸想定）精密制御プレス機の開発、②幾何学的精度向上のためのプレス機剛性向上技術の開発、③多軸プレス対応新規金型の研究開発、④新規金型での高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発の4サブテーマで取り組んできた。

①多軸（8軸想定）精密制御プレス機の開発では、プレス機は図6-1に示す6軸サーボ制御と補助2軸を有するプレス機を製作した。

②プレス機剛性向上研究においては、先ず既存プレス機で荷重・偏荷重負荷時のプレス機フレームに掛る応力とそれによる歪を歪ゲージをフレーム各部に張り付けて測定した。また、プレス機フレームの3次元モデルを作成しSolidWorksによる解析を行った。解析結果は良く実測値と合致し、解析の有効性が確認された。

次に、今回開発した10000kN多軸精密制御プレスについて、構成部材（コラム）板厚、構成部材（クラウンメイン部材）板厚、構成部材（クラウン補強リブ1）の板厚、構成部材（クラウン補強リブ2）の板厚をそれぞれ5%、10%、15%、20%と減少させた時の強度を解析した。

その結果、1割程度の板厚減少でも最大主応力の変化がほとんどないこと等が判明した。

これまでの研究にて、実験によるひずみ測定結果とFEM解析でのひずみ解析結果を比較すると、ほぼ一致する結果が得られたことから、今回の研究で得られた知見はプレス機の設計開発段階においてFEM解析を活用する場合において、フレーム形状の最適化に有効であることが明らかになった。

③多軸プレス対応新規金型の研究開発では、次世代型トランスミッション部品の切削加工対象品及び、鋳鍛造加工対象品に対して、プレス成形や板鍛造プレス成形を試み、両対象品に関してプレス加工の可能性が示唆された。

④新規金型での高張力鋼成形シミュレーション技術の研究と実機展開技術の開発では、高張力鋼板のせん断加工に対し、V字突起の位置や大きさ及びクリアランスを変えたモデルを3次元で作成した。

また、そのモデル金型での加圧速度、V圧、C圧等の加工条件を変えた実際の打ち抜き実験を行った。

その結果、V字突起による静水圧効果の確認ができた。クリアランスが大きいとダレ量も大きくなるとの関係を明らかにした。少ないデータ数であったが、ニューラルネットワーク構築に向けたデータベース化も試みた。