

プレス金型の変形量測定技術の開発研究（第2報）

横山 貴広

Development of deformation measuring technique for die (II)

Takahiro Yokoyama

県内の機械・金属製造業が保有する金型技術の数値化や品質管理工数の短縮化を目的に、金型の「見える化」に関連する研究を継続している。昨年度は、接触型のひずみゲージと非接触型の渦電流式変位センサーを金型に装着して金属のプレス加工を行い、両者の変位量の特性を比較した。その結果、渦電流式変位センサーが金型の変形量測定に利用できる可能性を見出すことができた¹⁾。本年度は深絞り試験機に複数の渦電流式変位センサーを取付けて、基本プレス条件における金型の変位量を測定するとともに、この条件の一部を変化させて変位量の推移を確認した。その結果、プレス条件の特徴を反映した変位量の検出が可能であることがわかった。

1. はじめに

自動車や航空機を中心とする機械・金属産業は県内製造業の中核を担っている。自動車や航空機に用いられる機械部品は、多品種少量生産の機械部品の供給が必要である反面、プレス機で生産する大量の同一機械部品の供給も重要となっている。近年、大量生産に適した順送型・トランスファー型プレス機が普及しているため、製品の品質を決定する金型の故障を短時間放置するだけで、大量の不良品が発生する問題が生じている。そのため、プレス機に装着されている金型の故障の早期発見が求められている。また、金型技術の高度化に伴い、技能伝承の関係から熟練技能者が保有するプレス加工技術のノウハウの可視化・数値化も必要となっている。これらの背景より、昨年度から機械部品の品質を決定する金型情報の可視化に取り組んできた。

本年度は金型情報の可視化の可能性を探るべく、複数の非接触型の渦電流式変位センサー（以下、変位センサーと記載）を深絞り試験機に取付けて、金型の変位量の測定を実施した。本報告では深絞り加工において、主にプレス条件と金型の変位量の関係について報告をする。

2. 実験

2.1 測定装置の概要

図1に深絞り試験機の外観を示す。測定には株式会社東京試験機製作所（現在は東京衡機試験機）製の35ton・f自動型万能深絞り試験機を使用した。この試験機は上向き絞り型の構造をしており、被成形材をしわ押さえを中心上にセットし、本体に蓋を被せて蓋側と本体側のそれぞれ4ヶ所の押さえを絡ませて内部の金型を固定する。固定後にパンチを上昇させて、図2のように円盤状からカップ状へと被成形材を加工することができる。

なお、試験機のデータとして、パンチ荷重、しわ押さえ荷重、パンチストロークの3つのアナログデータを取得することができる。また、金型の変位量の測定には株

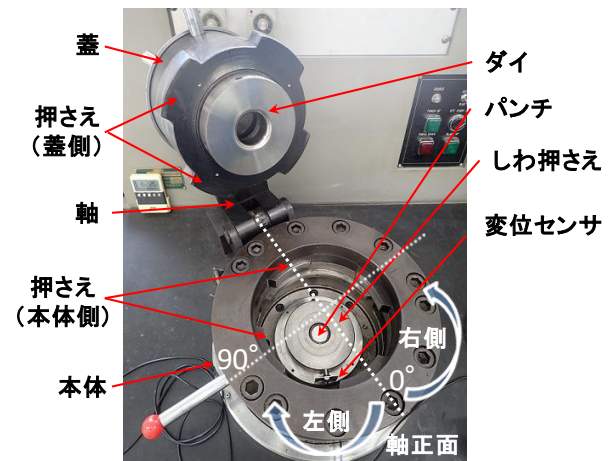


図1 深絞り試験機の外観

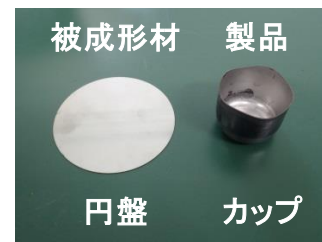


図2 深絞り加工の被成形材と製品

式会社キーエンス製のEX110Vを使用した。本報告書における測定データには、試験機と複数の変位センサーから取得できるデータをデータローガーで同期信号処理したものを使用した。

2.2 測定方法について

最初に、φ80mmの円盤状の被成形材を安定的にカップ状の製品に加工することができる基本的なプレス条件を定めることにした。本試験機で予備試験をした結果、表1のプレス条件で安定した加工が可能であったため、この条件を基本プレス条件とした。

次に、深絞り加工の実施時に金型の変位量が安定的に

表1 基本プレス条件

金型の材質（ダイ、パンチ、しわ押さえ）：SKD11
ダイの直径：φ42.5mm
パンチの直径：φ40mm R8mm
しわ押さえ圧力：1.0 ton
プレス速度：1.3～1.5mm/sec
被成形材の材質、直径、板厚：SPCC，φ80mm，1.0mm
絞り比：2.0

検出できる変位センサーの最適な取付け位置が問題となる。これを検討するため、試験機の本体、蓋、ダイの3ヶ所に変位センサーを取付けて、基本プレス条件で試験を実施した際の各変位量を測定した。その結果、蓋とダイに変位センサーを取付けた場合に、変位量の検出が可能であることがわかった。

本試験機における深絞り加工は、①被成形材を媒介にして、しわ押さえからダイに対して荷重をかけ、②パンチを上昇させて被成形材を加工する、以上の2段階のプロセスで構成している（図3）。よって、まず蓋とダイに変位センサーを取付けて、しわ押さえの荷重が両者の変位量にどれくらいの影響を与えるのかを調べた。

さらに、基本プレス条件で深絞り加工を実施して、加工時の各変位量の特徴を把握するとともに、このプレス条件の一部を変更して変位量を測定することで、条件ごとに生じる金型の挙動を調べた。

3. 実験結果及び考察

3.1 変位センサーの取付け位置の検討

本試験装置を用いて深絞り加工を実施した際、変位量の測定に最適なセンサーの取付け場所を検討するため、蓋・ダイ・本体の3ヶ所にセンサーを取付けて変位量の測定を実施した。なお、3ヶ所のセンサーの取付け位置は軸正面左側45°付近とした（位置は図1を参照）。この測定結果を図4に示す。図4より、パンチ荷重の変化に追従して、蓋とダイの変位量は検出できたが、本体の変位量は検出することができなかった。これは、プレス加工時におけるしわ押さえやパンチ荷重による力の影響がダイやそれを固定する蓋には及ぶが、4ヶ所の押さえを介した試験機本体には及ばないことを意味している。よって、本試験機における変位量の検出は蓋とダイにセンサーを取付けることが有効であると判断した。

3.2 深絞り加工前のしわ押さえ荷重と変位量の関係について

本試験機における深絞り加工は、前記のように2段階のプロセスで構成している（図3）。最初に、前段階であるパンチの上昇前のしわ押さえ荷重が蓋やダイの変位量にどれくらいの影響を与えているのかを調べた。

しわ押さえ荷重 0.5ton を加えた場合の蓋とダイの変位量を基準とし、1.0ton～8.0ton まで 1.0ton ずつ増加さ

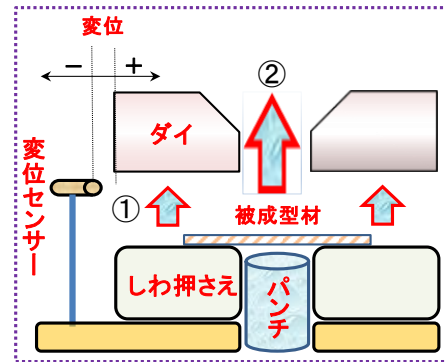


図3 深絞り試験機の内部構造

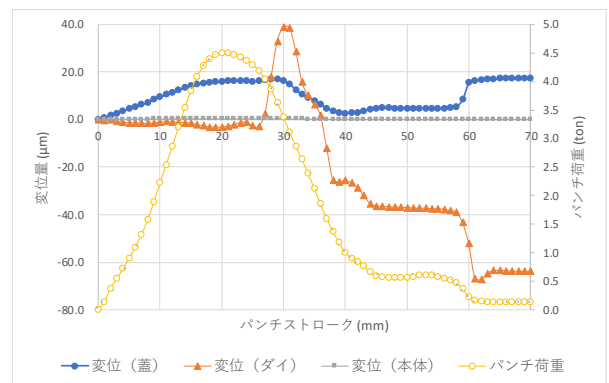


図4 変位量とパンチ荷重の推移

せた場合の変位量の推移を図5と図6に示す。なお、本報告書では、変位1～3は蓋、変位4～6はダイの変位量を示す。センサーの取付け位置は、変位1は軸正面、変位2は左側90°、変位3は右側90°、変位4は軸正面、変位5は左側45°変位6は右側135°付近とし、変位量のプラス方向はセンサーとの距離が増加する方向、マイナス方向は減少する方向と定義する。

図5と図6より、しわ押さえ荷重を増加させると、蓋の変位量は徐々にプラス方向にダイの変位量はマイナス方向に遡増している。これはしわ押さえの荷重によって、蓋は全体的に中央の空洞に向かって圧縮され、ダイは押しつぶされて側面が徐々に膨らんでいることを意味している。また、変位1～3と変位4～6は不均一な増減を示している。しわ押さえ荷重を受ける蓋は構造上斜め上部から被せられており、ダイは4ヶ所の押さえでしわ押さえの荷重を受けている。よって、この現象は主に試験機の構造上の影響が原因であると推定できる。よって、本試験機での変位量の測定は、センサーの取付け位置によって、その特性が変化しているものと思われる。

3.3 基本プレス条件における変位量について

深絞り加工における変位量の推移を考察するために、基本プレス条件で変位量の測定を実施した。図7、図8は基本プレス条件で測定した、変位量・パンチ荷重とパンチストロークの関係図である。なお、図7以降のグラフは、同じ条件で3回測定した平均値を採用し、またパンチを上昇させる前の変位量を基準としている。

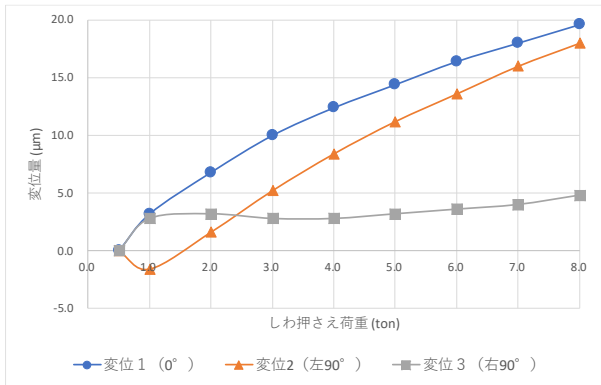


図5 蓋の変位量としわ押さえ荷重の関係

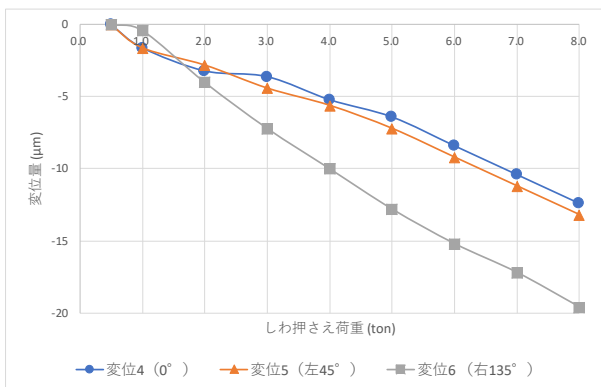


図6 ダイの変位量としわ押さえ荷重の関係

図7、図8の変位量を概観すると、変位量の推移は3つの領域(A～C領域)に分割することができる。

まずA領域(図9上図)では、被成形材がダイとしわ押さえの間に挟まれているため、パンチストロークの増加とともにパンチ荷重が増加し、それに伴って変位量が一定方向に推移し続ける。なお、蓋とダイの変位量を比較すると、蓋は中央に大きな空洞があり外周の厚みも薄いので、パンチ荷重に対する変位量が多い傾向が見られた。また、ダイはしわ押さえ荷重を直接受けるが、被成形材であるSPCCはダイの材質であるSKD11より強度と硬さがかなり低く、パンチ荷重の増加がダイの変形に影響を与えている度合いが小さいため、ダイの変位量が相対的に微小にとどまったと推定できる。

B領域(図9中図)では、被成形材とダイやしわ押さえの間の摩擦力がなくなり、被成形材がダイの中央部を通過するため、パンチ荷重は増加から減少に転じた。それに伴って一定方向に推移した変位量に変化が見られた。さらにパンチストロークが40mm前後に達すると、被成形材がダイ上方のテーパに差し掛かるため、両者間の摩擦力が急激に低下し、ダイの変位量が急変した。

C領域(図9下図)では、被成形材がダイ上方のテーパを完全に抜けるため、テーパを抜ける前に存在したパンチ荷重がさらに低下した。この影響によって、蓋の変位量は急激な勾配で変化が現れた。被成形材がない場合に、しわ押さえ荷重を上昇させても、蓋の変位量

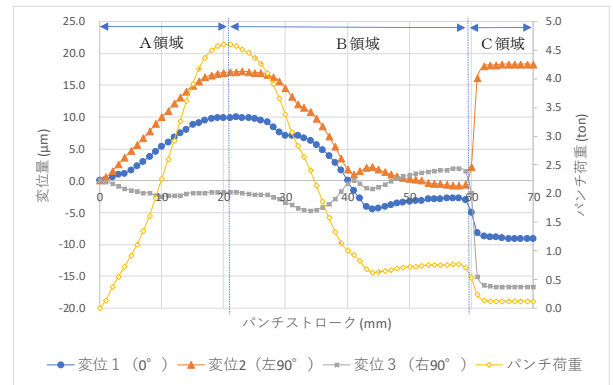


図7 基本プレス条件における蓋の変位量の推移

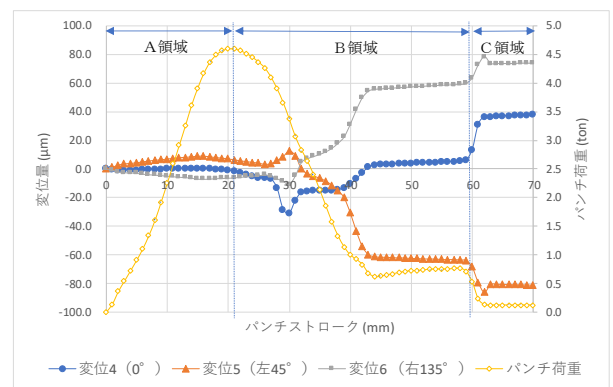


図8 基本プレス条件におけるダイの変位量の推移

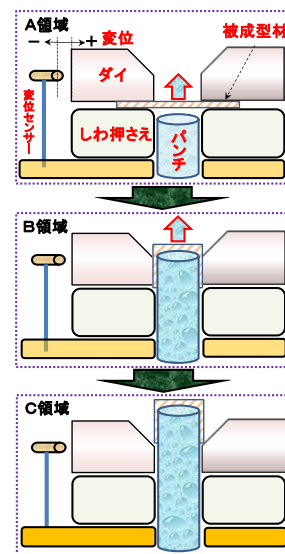


図9 深絞り加工における金型の状態図

の変化が全くないことが予備実験で確認されている。よって、図7のC領域での最終値は被成形材の有無によるパンチ動作前の変位量の差を示していると思われる。

次に、変位量の推移から把握することができた主な特徴を以下に示す。

本試験において、蓋の変位量である変位2と変位3とダイの変位量である変位4と変位5は、お互いに対面に配置されている。この対面に配置されたセンサー同士の変位量を比較すると、図7、図8よりパンチストローク

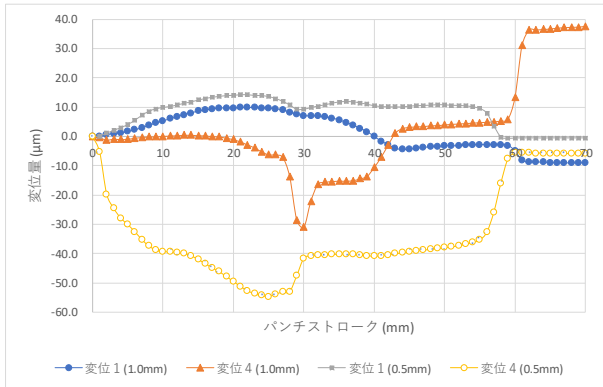


図10 板厚0.5mmにおける変位量の推移

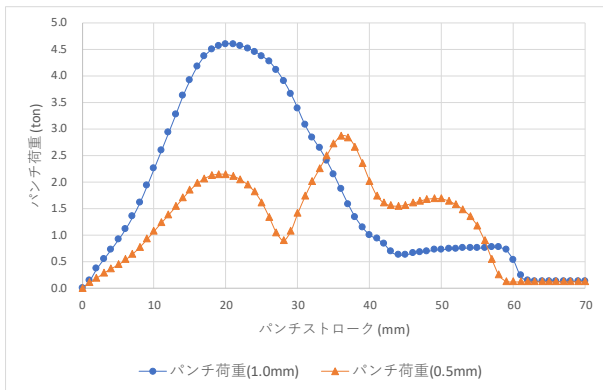


図11 板厚0.5mmにおけるパンチ荷重の推移

が増加するにつれ、一方の変位量が増加すると他方の変位量が減少することがわかった。この現象を総合的に考慮すると、深絞り加工の際には蓋やダイに横方向の荷重がかかっていると推定できる。この原因の詳細は不明だが、他に横方向に加わる荷重が見当たらない。よって、これはダイとパンチの中心が数 μ m程度ずれているか、若しくは被成形材がしわ押さえの中心から若干ずれたまま加工し、その際に生じた荷重の影響の可能性が考えられる。また、蓋の変位2と変位3はお互いの変位量の推移が非対称であるのに対し、ダイの変位5と変位6は対称である。これは蓋を被せて固定した状態でのしわ押さえ荷重は4ヶ所の押さえで受けているので、押さえの上部に存在する蓋はプレス加工時に不均一な力がかかっている。また、下部に存在するダイは直接しわ押さえの荷重を受けるため、蓋よりは均一な力がかかっていると推定できる。

以上のように、基本プレス条件での変位量の推移を観察すると、金型の挙動がある程度推定できる。今後、測定回数を増やし統計解析を実施することで、上記の仮説が正しいかどうかを詳細に検証する必要がある。

3.4 プレス条件と変位量の関係について

実際の機械部品の製造工程では様々なプレス条件で製品を製造している。そのため、基本プレス条件を前提にして、板厚・被成形材の材質・しわ押さえ荷重を変化させて変位量の推移を測定した。なお、図10～図15ま

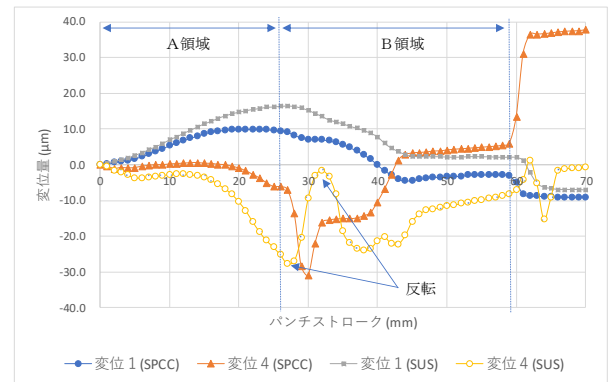


図12 ステンレス(SUS)における変位量の推移

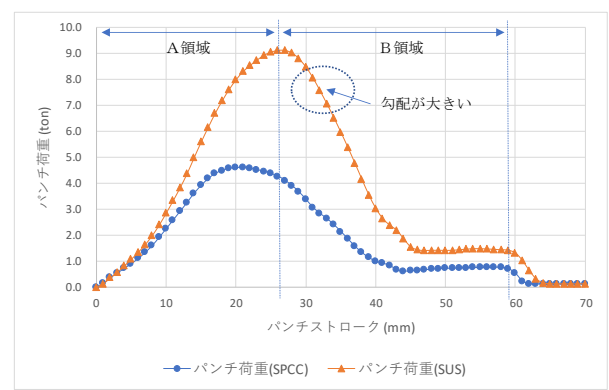


図13 ステンレス(SUS)におけるパンチ荷重の推移

でのグラフは軸正面付近の変位量（蓋は変位量1、ダイは変位量4）を代表値として掲載した。

3.4.1 板厚

基本プレス条件から被成形材の板厚のみを0.5mmとした場合の測定結果を図10と図11に示す。

まず、図11より板厚を薄くすると基本プレス条件より全体的にパンチ荷重が低下し、荷重が不安定な推移をしている。また図10から板厚が0.5mmの場合に、変位4の変位量は極端にマイナス方向に振れている。

本測定では $\phi 42.5\text{mm}$ の金型を使用しているため、ダイとパンチのクリアランスが片方1.25mmである。よって、板厚0.5mmではクリアランスの半分以下で絞り加工を実施している。薄い板厚を適正に加工するには、しわ押さえ荷重を適切な範囲に変更し、薄板に適したダイ片(R)を有する金型を取付け、金型の表面粗さを改善するなどの対策が必要になる。よって、上記の条件では板厚が変化することで、プレス条件が適正な範囲から外れたことがわかる。現に加工後の製品を観察すると、カップの端部に多数のしわが発生していた。

今回の条件では目視から製品不良を観察できたが、目視で製品不良が判別できない条件で変位量の異常がわかれば、その推移からプレス条件の適正化や金型の故障診断への応用への発展が可能であると考えられる。

3.4.2 被成形材の材質

被成形材の材質をステンレス(SUS)にした、基本プ

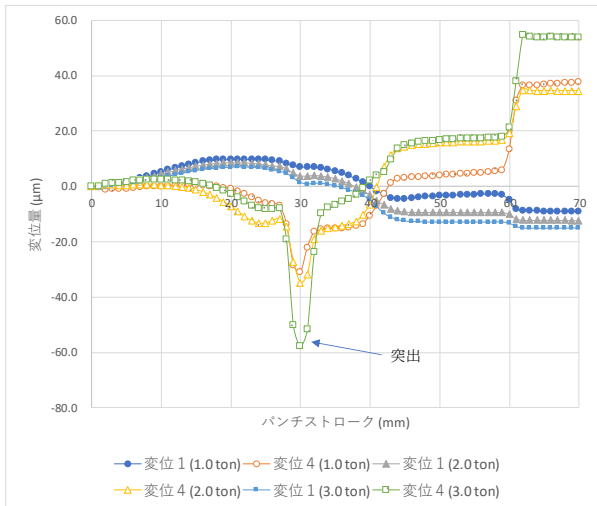


図14 しわ押さえ荷重の増加と変位量の推移

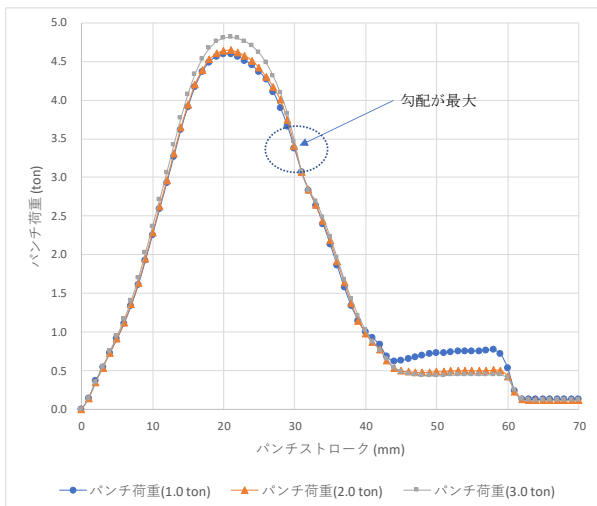


図15 しわ押さえ荷重の増加とパンチ荷重の推移

プレス条件での測定結果を図12と図13に示す。図13よりSUSはSPCCより強度が高く硬いため、全体的にパンチ荷重が高い。また図12のA領域では変位1・変位4ともにパンチ荷重の増加にともなってSPCCより変位量が大きく変化している。ところが、B領域での変位4(SUS)はパンチ荷重が減少に転じると変位の方向が反転し、さらにパンチ荷重の減少の勾配が大きくなると再び変位の方向が反転する傾向が見られた。この現象は何度測定を繰り返しても確認することができた。これらの現象は被成形材であるSUSとダイ・しわ押さえの間の摩擦がなくなる瞬間とSUSがダイ上方のテーパーに差し掛かる際に発生している。この原因の詳細は不明だが、SUSはSPCCより硬い材質であるため、パンチ荷重の急激な変動がダイの変位量に何らかの大きな影響を与えている可能性がある。今後、様々な被成形材で測定を実施し、この現象に関する詳細な考察を加える必要がある。

3. 4. 3 しわ押さえ荷重

基本プレス条件よりしわ押さえ荷重を増加させた場合

の測定結果を図14と図15に示す。図15のパンチ荷重の推移を概観すると、しわ押さえ荷重はパンチ荷重を若干増加させてはいるが、それほど大きな影響を与えていない。これはしわ押さえ荷重の増加は被成形材の特質に影響を与えることはなく、加工前の蓋やダイに大きな荷重をかけ、被成形材とダイ・しわ押さえ間の摩擦力の増加のみに影響を与えているからである。また、図14の蓋の変位1に着目すると、しわ押さえ荷重を増加させるほど、全般的に基本プレス条件よりマイナス方向に変位が触れやすく、ダイの変位量4はパンチ荷重の減少の勾配がピークに達した付近で変位量の変化がマイナス方面へ突出している特徴が確認された。

上記の現象を考慮すると、蓋はしわ押さえ加重が増加するにつれ全体的に中央の空洞に向かって大きな圧縮力がかかっており(この状態が変位量の基準)、さらに加工時に被成形材がダイの中央部を押し広げる効果が合わさるため、全体的にマイナス方向への変位が現れたと推定できる。

また、ダイは高い荷重で押しつぶされて側面が膨らんだ状態で、被成形材との摩擦が急激に減少し、同時にしわ押さえがダイを直接押さえつける効果が大きく作用したため、マイナス方向への突出した変位が現れたのではないかと考えられる。

以上の現象に関しても不明確な点が多いため、今後測定回数を増やして詳細な考察を行う必要がある。

4. まとめ

本年度は、複数の非接触型の渦電流式変位センサーを取付けて深絞り加工を実施し、金型から取得した変位量の基本特性を測定した。その結果、変位量・パンチ荷重とパンチストロークの関係から、金型の基本的な挙動を推測することができた。しかし、現時点では試験の際に選定したプレス条件と測定回数が少ないため、金型の挙動に関して不明確な事象も存在している。今後はプレスデータを多数収集し、統計処理を実施することで、変位量と金型の挙動の関係を考察していくことが必要である。さらに、金型の挙動を正確につかむことで、密閉構造をしている金型の内部の故障を早期に発見することが可能であると思われる。

【謝 辞】

本研究の一部は、一般財団法人越山科学技術振興財団の研究助成金により実施しました。ここに深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 今井, 岐阜県工業技術研究所研究報告 第4号, pp9-10, 2016