

プレス金型の故障診断手法の確立（第1報）

－ 金型の製作とAEセンシングデータ解析 －

横山 貴広、松原 早苗

The establishment of failure diagnosis system for die (I) - Manufacture of dies and AE sensing data analysis -

Takahiro Yokoyama and Sanae Matsubara

プレス金型の故障には、金型の摩耗・かじり・焼付き・ピン折れなど、様々な形態が存在している。しかし、金型は密閉構造でプレス機に装着されているため、これらの現象を早期に発見して故障と判断するには、金型のセンシングデータを監視することが求められる。しかし、現時点でセンシングデータから金型故障の内容を正確に判断することは困難である。さらに、金型は任意に故障を再現することができないため、故障時のデータを大量に収集し、通常のデータと比較分析することが難しいという問題も存在する。本年度は上記の問題点を勘案し、故障時におけるセンシングデータの特徴を捉えるために、深絞り試験機で任意の故障を再現できる金型の設計・製作を実施した。また、プレス加工（金型）の通常のデータを把握するため、県内の協力企業の生産プレス機にAEセンサーを取り付けて、このセンシングデータの解析を行った。

1. はじめに

県内の自動車・航空機産業を支える機械部品の製造には大量生産に適したプレス加工が必要とされている。プレス加工は短時間で機械部品の製造するため、生産効率が高い反面、金型に故障が生じると不良品が大量に発生するという問題点を抱えている。この問題に対して、プレス荷重をリアルタイムで監視し、荷重の閾値から故障を判定する方法も徐々に取り入れられている。また、金型の故障には摩耗をはじめ様々な形態が存在するが、センシングデータから金型の故障内容を特定することは難しいのが現状である。

本年度は金型の故障内容とセンシングデータとの対応を模索すべく、深絞り試験機で任意の故障を再現できる金型の設計・製作を実施した。また、金型故障の判定には事前に正常時のセンシングデータの状態を把握する必要がある。そのため、県内の協力企業の生産プレス機にAEセンサーを取り付け、そのセンシングデータの解析を行った。本報告書は上記2点について報告する。

2. 金型の設計・製作

プレス加工時に金型故障の有無を判断するためには通常と故障のセンシングデータの比較が有効である。またこの有効性を高めるためには、事前に多数の分類された金型故障とセンシングデータを対比させて、その特徴を把握しデータベース化することが適している。しかし、金型故障のデータを採取しようとしても、実際に機械加工を実施している生産機で金型の故障の発生はまれであり、さらにプレスの加工条件の変更で金型故障を再現することは困難であるのが現状である。このため、任意に金型故障を再現させることができる金型を設計・製作し



図1 深絞り試験機の外観

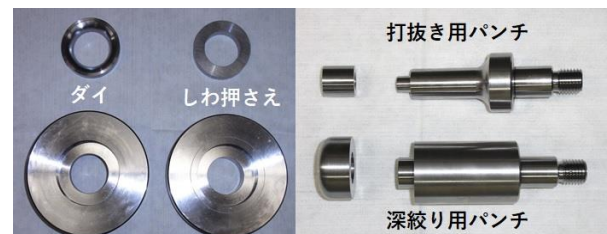


図2 製作した金型

故障の分類とセンシングデータを対比できるような試験機の構築を目指した。

そのため、図1の深絞り試験機（35ton・f自動型万能深絞り試験機：現東京衡機試験機製造）の金型を改造することで上記の目的を達成することを試みた。一般的に機械部品の製造は深絞り加工のみではなく、複数の打抜

き加工や曲げ加工の組み合わせで構成している。本試験機は深絞り試験の専用機であるが、金型を工夫することによって、深絞り・打抜き加工に対応させた。

上記の要件を基にして製作した金型を図2に示す。本金型は深絞り・打抜き加工をする際に、被成形材と金型の間に強い荷重がかかる箇所を部品として脱着可能な構造にしており、この部品に機械加工を施したり、故意に破損させることによって、任意に金型故障を再現できることが特徴である。来年度以降は、この製作した金型を利用して、故障の分類とセンシングデータ間の特徴を把握すべく、プレス試験を実施する予定である。

3 生産プレス機におけるセンシングデータについて

3.1 測定条件

プレス金型の故障診断をするにあたって、事前に正常時のセンシングデータを把握し、その特徴を捉えておくことは非常に重要である。そのため、機械加工部品を製造している県内企業に協力して頂き、実際に生産機として使用しているプレス機にセンサーを取り付けて測定した。この測定方法のイメージ図を図3に、測定条件を表1に示す。生産プレス機における測定には AE（アコースティックエミッション）センサーを使用した。一般的に AE センサーは振動センサーよりも、広帯域・高周波領域の測定に適している特徴がある。

本報告書では AE センサーについて、生産プレス機で得られたセンシングデータの特徴について報告する。なお、データの分析には多変量解析・時系列解析・周波数解析など様々な手法が存在するが、振動センサーにおける周波数解析を中心とする内容は次報で報告する¹⁾。

3.2 AEセンサーによるデータについて

最初、AE センサーはプレス機から適切なセンシングデータの取得が可能かどうかという観点を重視した。測定は表1のようにトランスファープレスを対象に、通常運転と空運転（被成形材の有無）の2通りの測定を実施した。通常運転の AE センサーから取得できる典型的な測定波形を図4に示す。図より、プレスが下死点に達しパンチにより打抜きや絞り加工が行われる瞬間に最も強度が高い主パルスが発生し、その前後には大きく変動した波形が確認できる。それ以外にもパルスは存在するが、1ショット全般的な波形を概観しても主パルスを超えることはない。そのため、一般的にプレス金型が故障かどうかを判断するためには、この主パルス波形付近のデータ解析の考察が最も重要な要素となる。また、その他の波形は機械部品の品質にはほとんど影響を与えていないため、データの重要度は低いと思われる。

この点について、センサーの位置（上部・下部）と運転状態（通常運転・空運転）の4通りに組み合わせた場合の AE センサーの波形を主パルス（青色）、主パルス以外のパルス（赤色）、ノイズの3種類の分類し、その AE エネルギー（積分値）の割合を比較した（図5）。



図3 測定方法のイメージ図

表1 測定条件

使用センサー	・AEセンサー（東京精密製造：固定型センサー） 上部・下部それぞれ1箇所・
プレス機	・トランスファープレス
測定条件	・構成：AEセンサー、コントローラ、データロガー ・被成形材：通常運転（あり）・空運転（なし） ・測定回数：63ショット（通常運転）、112ショット（空運転） ・サンプリング間隔：20msec ・プレス周期：約3.66秒

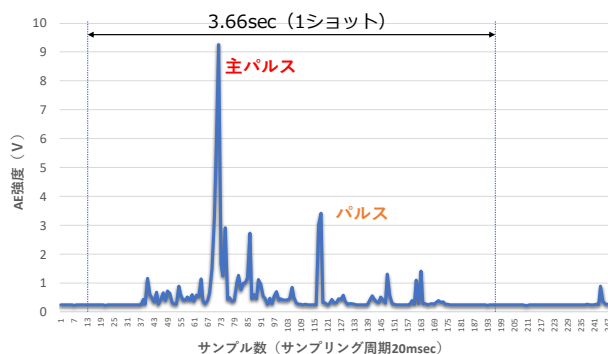


図4 AEセンサー波形（通常運転）

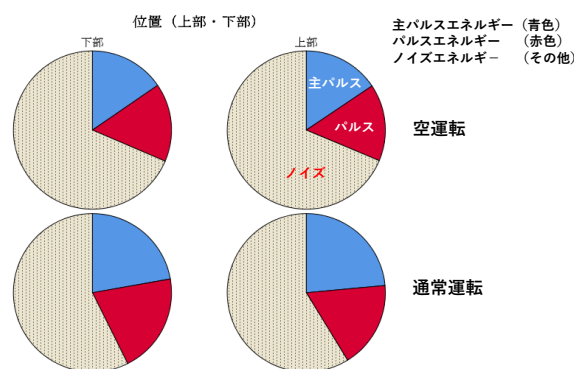


図5 AEエネルギーの割合

その結果、主パルスは総エネルギーの約20%前後しか含まれておらず、ノイズが半分以上を占めていることがわかった。また、ショット毎の複数の波形を比較するとプレス加工は決められた繰り返し動作が行われるため、1ショット毎の AE 波形は同じような傾向が見られた。よって、AE 波形の特徴の把握には、ある程度まとまったショット数の統計解析や時系列トレンドの解析が必要

となる。

そのため、まず統計解析から AE 総エネルギーの特徴の把握を検討した。図 6 は前述 4 通りの AE 総エネルギーの箱ひげ図を示す。この図を概観すると、通常運転は空運転より総エネルギーが高く、ばらつきが大きい傾向にある。これは実際に被成形材を加工する際は、空運転より大きな振動が発生していることを意味している。また、センサーの上下位置については運転状態にも関わらず違いが見られなかった。実際にこれらのデータを詳細に分析したところ、4 通りの条件にはデータの相違があり、等分散性がないことが確認できた（データの相違の有無には KruskalWallis 検定、等分散性の有無には Levene 検定を採用²⁾）。このため、Bonferroni 多重比較²⁾を実施したところ、センサーの上下位置に関係なく、運転状態の違いにのみデータの相違が確認できた（異なる運転状態の組み合わせでは、すべて有意確率（P 値）が 0.000 であった）。この知見はセンシングデータの統計的な検定が生産プレス機の運転状態（材料の有無）の監視に利用できる可能性を示している。

次に、AE エネルギーの時系列データの特徴について調べた。図 7、図 8 は運転状態の違いによる、プレス回数を時間軸とした総エネルギーの時系列のグラフである。両図より、図 6 の箱ひげ図からの知見と同様に、通常運転は AE 総エネルギーが高く、箱ひげ図の縦幅に比例してばらつきが大きいことが確認できる。その他として、総エネルギーのトレンドに若干変化が現れた箇所が存在した。これは加速度センサーを用いた最大周波数 50kHz までの周波数解析³⁾でも、同様に変化のあることが確認されている。よって、本測定結果はデータの積分値の分布からでも 50kHz の低周波の周波数解析と同等程度の変化を捉えることが可能であることを示している。このように、プレス機の状態を AE センサーで測定し、そのデータ解析を実施することで、センシングデータの取得と大雑把な特徴の把握が可能であることがわかった。

4. まとめ

プレス加工は生産条件の変更のみで任意の金型故障を再現することは困難であるため、本年度は金型故障とセンシングデータの関係性を把握する試験を実施するために金型の設計・製作を実施した。また、プレス機からセンシングデータが適切に取得できるのかという観点から、生産プレス機に AE センサーを取り付けて、そのセンシングデータを解析した。その結果、①AE センサーから適切なセンシングデータの取得が可能であり、②データ解析をした結果、センシングデータから生産プレス機の状態の特徴の大枠を把握することができた。

今後、深絞り試験機によって金型故障の種類とセンシングデータを対比させて基礎データを収集する。これを蓄積した生産データと比較することで、金型の故障診断手法の確立とその精度を高めていく予定である。

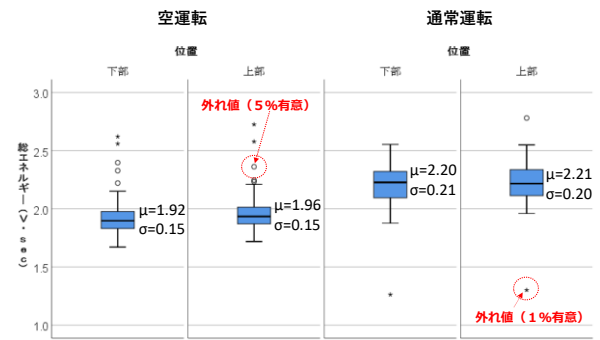


図 6 AE 総エネルギーの箱ひげ図

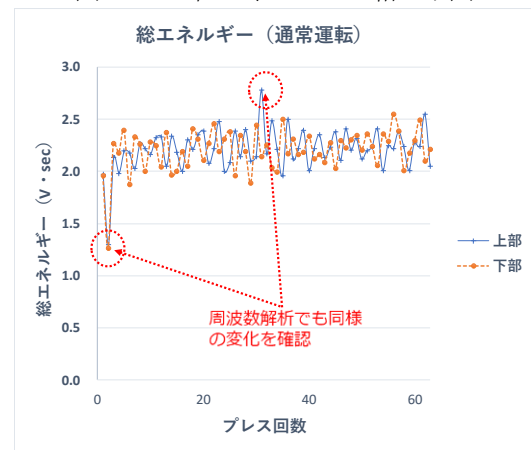


図 7 AE 総エネルギー（通常運転）

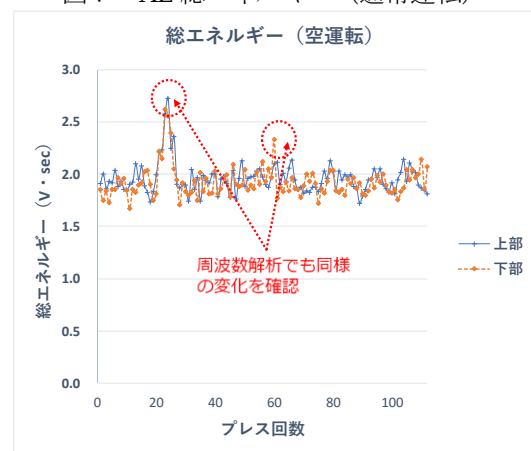


図 8 AE 総エネルギー（空運転）

【謝 辞】

本研究は生産プレス機のセンシングデータの測定に関して、株式会社加藤製作所（可児市）のご協力を受けながら実施しております。関係者の皆様方には深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 松原ら，岐阜県工業技術研究所研究報告 第 6 号，pp8-10, 2018
- 2) 大澤，わかる&使える統計学用語，pp93,305,331