

プレス金型の故障診断手法の確立（第5報）

横山貴広*、塚原誠也*

Establishment of failure diagnosis system for press die (V)

YOKOYAMA Takahiro* and TSUKAHARA Seiya*

金属のプレス加工によって発生した金型の摩耗による損傷をあらかじめ予測することは、人が目視でその状態を確認できないため難しい問題と考えられている。当センターでは、県内の機械・金属業界の支援を目的に、金型の損傷を予測して早期に発見するシステムの研究開発を継続している。本年度は金型摩耗の進行の可視化を目的に、プレス加工製品を製造する県内企業の協力を得て、実際に生産機として使用しているトランスファプレス機の金型に長期間 AE（Acoustic Emission）センサを取付け、プレス回数と AE 電圧波形の変化を検証した。その結果、プレス回数の増加に伴い、主加工直前の微小電圧が徐々に増加する傾向があることを確認した。

1. はじめに

金属製品の製造には大量生産に適したプレス機が使用されている。プレス機は短時間・低コストで効率良く生産できる反面、金型に損傷が生じると不良品が大量に発生する問題を抱えている。プレス金型はプレス回数の増加に伴い、徐々に摩耗が進行する。この摩耗を原因とする損傷が生じる前に金型の交換を実施するのが理想的だが、現時点では目視で金型摩耗の進行が確認できないのが現状である。

このような背景のもと、昨年度までは深絞り試験機と擬似的に摩耗させた金型を使用して、プレス条件と AE 電圧波形の基本的な関係を把握した^{1,2)}。

本年度はプレス加工製品を生産している県内企業のトランスファプレス機の金型に AE センサを取付けて、プレス加工時の AE 電圧波形を測定した。さらに、金型摩耗の進行を可視化するために、プレス回数の増加に伴う AE 電圧波形の変化を分析し、その結果の考察を行った。

2. 試験内容

2.1 試験装置の概要

図1に本試験に利用したシステムの概略図、表1にプレス試験の概要を示す。試験の対象物はプレス加工製品や金型である。そのため、共振周波数 150kHz（金属の弾性波）で最大の増幅特性がある AE センサを使用した。また、金型状態の変化の影響が 150kHz 以外の AE 電圧に現れることも考慮して、共振周波数 150kHz を含む 1MHz までのフラットな特性を有する広帯域型の AE センサも併用した。プレス加工製品の製造工程は5工程で構成され、その3工程目で製品に打痕キズが発生しやすいことが経験上わかっている。そのため、2つの AE センサを3工程目の下側の金型に装着した。1プレスあた



図1 システムの概略図

表1 プレス試験の概要

プレスの種類	トランスファプレス (5工程)
対象製品	金属製品
金型材料	SKD11, S50C
センサ設置箇所	3工程目の金型 (トリム・深絞り工程)
AEセンサ	フィジカルアコースティック株式会社 型式: PK151 共振周波数150kHz 型式: PKWDI 広帯域型
アンプゲイン (コントローラ)	10dB
試験回数	第1回目: 約77,000プレス 第2回目: 約62,000プレス
サンプリング周波数	200kHz
備考	・試験金型は既製品を使用 ・試験1回目と2回目は同じ金型を使用 ・プレス1,000回毎に製品を取り出すため プレス機を停止 ・夜間・土日はプレス機を停止

りの製品の加工時間は 2.3~2.5sec 程度だが、主加工時間は 220~250msec である。データ保存容量の節約と1プレスごとの波形の特徴を比較するために、被成形材が移動するタイミングに合わせて信号を発生させる同期用センサを1つ設置した。主加工工程で取得した AE 電圧信号はアンプ (コントローラ) で増幅され、200kHz の周波数でデータロガーに取り込んでいる。

企業の生産計画に合わせて、1回目約 77,000 プレス、2回目約 62,000 プレスの合計 2回約 139,000 プレスの加工を実施し、その測定結果をデータ分析の対象にしてい

* 機械部

る（トライプレスを除去）。また、2回の試験は同じ金型を使用したため、2回目の試験は必然的に1回目の試験よりも摩耗した金型を使用している。なお、広帯域型の AE センサによって取得した AE 電圧は、共振周波数 150kHz の AE 電圧よりもかなり小さく、特徴的な傾向が確認されなかった。よって、本報告は共振周波数 150kHz の AE センサで取得したデータを取扱い、その結果について述べる。

2.2 データの分析手法

AE 電圧波形のデータ分析には、データ分析の対象範囲と分析手法の2つを決定する必要がある。

共同研究先の岐阜大学が、万能試験機を用いて打抜き時のパンチの破壊現象を AE 電圧パルス波形から解明する試験を実施し、主加工直前のパルス波形は被成形材の亀裂によって生じたと報告している³⁾。また、理論的には主加工前の被成形材に亀裂が生じる前の段階で、パンチと被成形材が接触した際、パンチの摩耗が進行すればするほど、両者間の真実接触面積が減少して、接触面の荷重が増加する。さらに、その状態でさらにパンチに力を加えると発生する弾性波が大きくなると推測される。

図2は本試験のプレス加工製品を生産する際に発生した、1プレスの典型的な AE 電圧波形の一例である。図2の主加工領域直前の AE 電圧パルス波形は、前記により金型摩耗が原因による発生というより、被成形材の微小亀裂の影響と考えられる。そのため、本試験の目的であるパンチを含む金型摩耗の進行の特徴を捉えるには、材料の微小亀裂が発生する前の領域の AE 電圧波形の特徴を把握する必要がある。このように、主加工波形直前のパルス発生よりさらに前のパンチと被成形材が接触する領域内の 50msec の AE 電圧をデータ分析の対象範囲とした。なお、図2のデータ分析対象範囲よりさらに前のパルス波形は、プレス下降時に動作するエアシリンダの影響が現れている。よって、データ分析対象範囲から除外した。

図2より、データ分析対象範囲内の AE 電圧は、パンチを含む金型に大きな亀裂や損傷が生じない限り、極めて小さな電圧になる。また、微小な電圧は信号に対するノイズの比率（S/N 比）が相対的に高いため、微小電圧値を直接分析すると、データの特徴が見えにくくなる。そのため、あらかじめ対象範囲内の微小電圧値を4つに分割し、各区分における電圧の割合（電圧の存在分布（%）と定義）を算出し、その変化の特徴を把握する分析手法を選択した。図3は図2のデータ分析対象範囲である 50msec の AE 電圧波形を拡大した図である。図3の場合、データ分析対象範囲内で 5mV 以下は 51.8%、5～10mV は 34.6%、10～20mV は 12.1%、20mV 以上は 1.5% の AE 電圧の存在分布を示す。

そこで、この AE 電圧の存在分布の推移から、プレス回数の増加に伴う金型摩耗の進行の可視化を試みた。

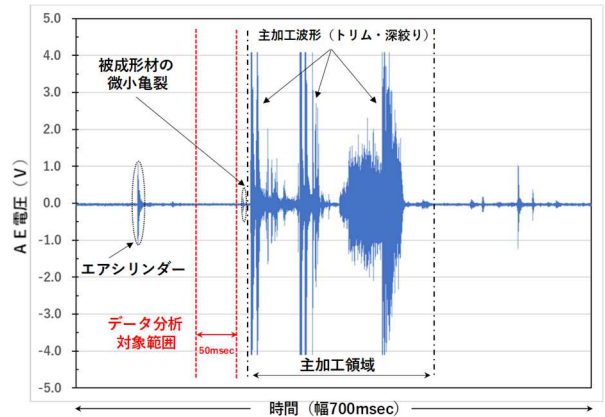


図2 AE電圧波形

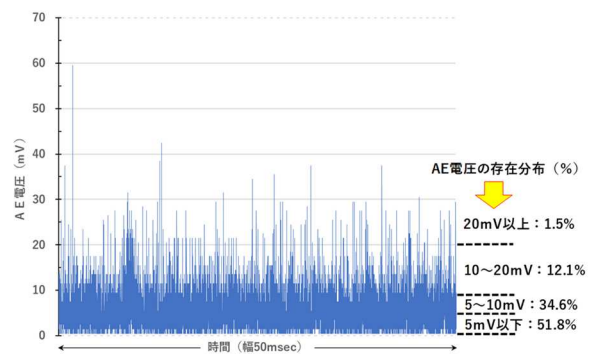


図3 データ分析対象範囲のAE電圧波形の拡大図

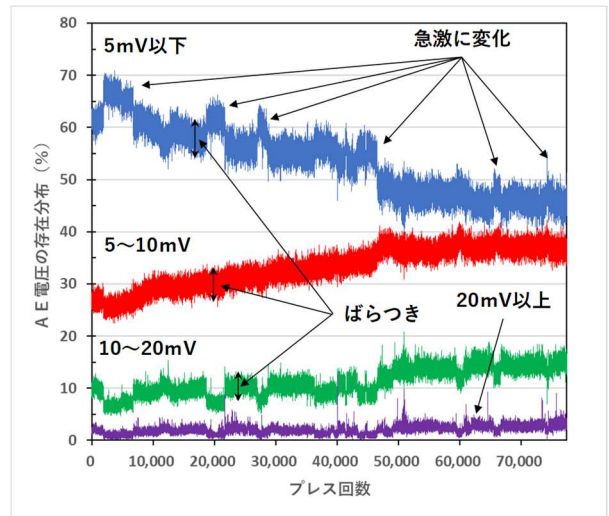


図4 AE電圧の存在分布（試験1回目）

3. 試験結果及び考察

プレス加工の試験1回目（約 77,000 プレス）の AE 電圧の存在分布とプレス回数の関係を図4に示す。図より、20mV 以上の電圧区分を除き、各電圧区分で約 3～5%のばらつきが確認できる。これは1プレス毎の加工のばらつきの影響とともに、微小電圧を取り扱っているためノイズの影響も考えられる。さらに、図4の存在分布の推移を概観すると、AE 電圧が急激に変化しているところの確認できる。これは生産の運用上、製品 1,000 個ごとの袋詰めや夜間・休日にはプレス機を停止してい

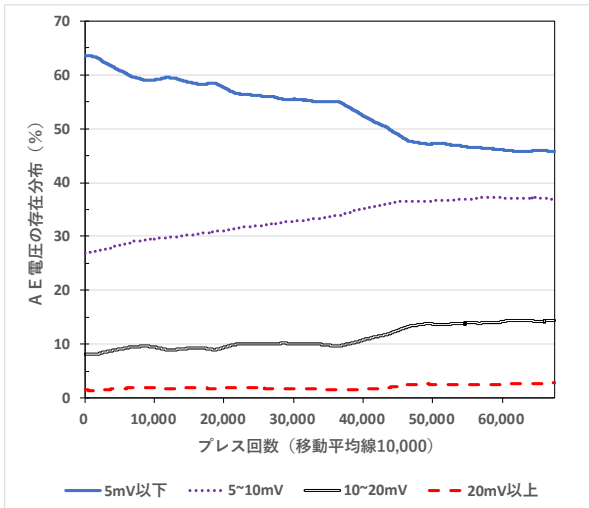


図5 AE電圧の存在分布（移動平均線：1回目）

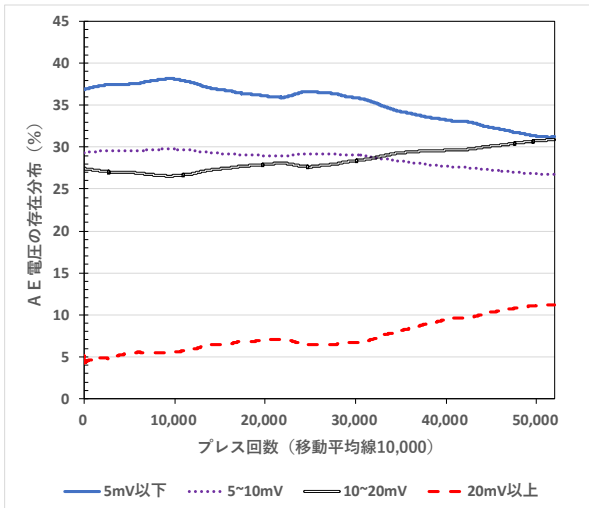
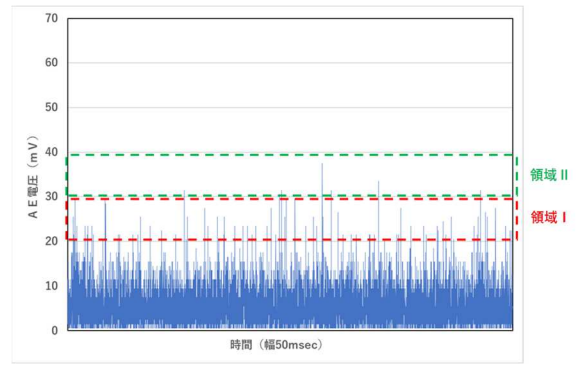


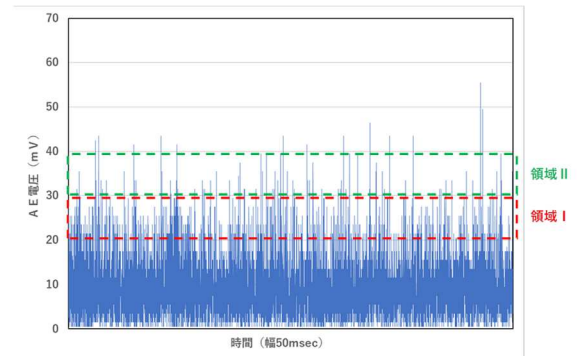
図6 AE電圧の存在分布（移動平均線：2回目）

るため、停止後の生産開始時には、金型の温度、被成形材に塗布する潤滑油の粘性、室温の違いによる被成形材の状態などが停止前とは異なるため、AE電圧の急激な変化として現れていると考えられる。

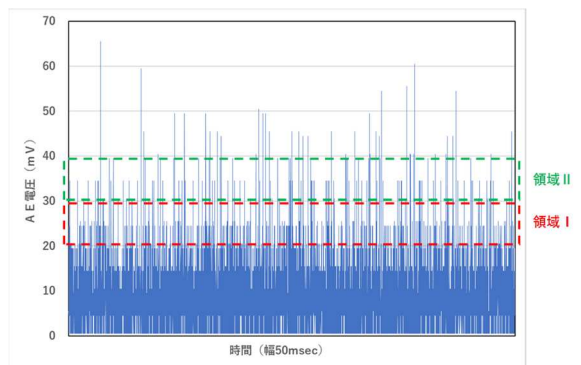
1 プレスによって生じる金型摩耗の進行は非常に小さい。よって、1 プレスごとの短期的な視点で存在分布を考察すると、加工のばらつきや環境の変化の方がAE電圧に与える影響に大きく寄与するため、長期間のプレス動作によって徐々に進行する金型の摩耗によるAE電圧の変化を見過ごす恐れがある。よって、加工ごとのばらつきや環境の変化によるAE電圧に与える影響を極力排除し、プレス回数の増加によって徐々に進行する金型の摩耗の影響をAE電圧値に反映させるため、移動平均線（プレス回数10,000回）を採用した。図5、図6は試験1、2回目における移動平均線を用いたAE電圧の存在分布とプレス回数の関係を示す（図5の横軸であるプレス回数の10,000は10,000~19,999回、20,000は20,000~29,999回の10,000回のプレス回数を意味する）。図5と図6より、移動平均線を採用すると、プレスごとに生



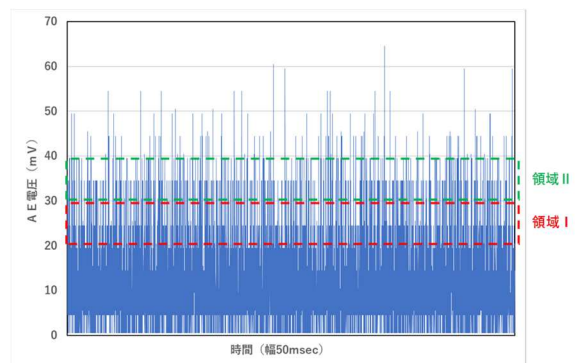
(a) 試験開始後 5,000 回（試験 1 回目）



(b) 試験開始後 65,000 回（試験 1 回目）



(c) 試験開始後 22,000 回（試験 2 回目）



(d) 試験開始後 61,000 回（試験 2 回目）

図7 試験回数の増加に伴うAE電圧波形

じる加工ばらつきや、生産の運用から生じる環境の影響によるAE電圧の振幅を抑えたなめらかな曲線になっていることがわかる。

まず、図5、図6の全体を概観すると、1回目はプレス回数の増加に伴って電圧5mV以下の存在分布が減少し、それ以上が増加しているが、2回目は10mV以下が減少し、それ以上が増加している。このことから、2回の試験ともに、プレス回数の増加に伴って全体的にAE電圧が徐々に大きくなっていることがわかる。

次に、試験1回目と2回目の結果を比較すると、試験2回目の方が10mV以上の領域でAE電圧の存在分布が高い。本試験は試験1回目と2回目で同じ金型を使用しているため、2回目は1回目より摩耗が進行した金型を使用していることになる。よって、この現象は、主加工前のパンチと被成形材の接触時に、金型の摩耗が進行すればするほど、金型・被成形材から発生する弾性波も増加する影響でAE電圧が高くなったと予想される。

実際に測定した典型的なAE電圧波形を図7(a)～(d)に示す。特に、前記の状態が確認しやすいである領域I(20～30mV)と領域II(30～40mV)に着目すると、プレス回数が多くなるほどAE電圧の存在密度が高くなっている。図5～図7で示したAE電圧の上昇傾向を精確に捉えるために、1プレスごとのAE電圧波形の積分値を求め、さらにその移動平均線を示したものが図8(a)(b)である。図より、プレス回数の増加に伴いAE電圧の積分値が徐々に高くなり、その傾きも大きくなっていく様子が顕著にわかる。

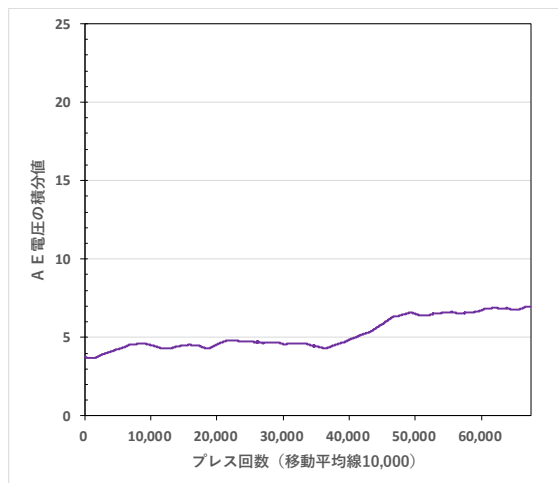
なお、1回目と2回目の間のAE電圧の積分値には大きな差があることが確認できる。この差は、両者間に約2週間程度の期間があるため、前記の環境変化の影響のみならず、途中の生産品種変更に伴う金型交換やAEセンサの取付位置のずれの影響などが重ね合わさった結果であると考えられる。

これら一連の結果によって示された、プレス加工によるAE電圧の増加の原因の1つには、プレス加工によって発生する金型摩耗の進行の影響が含まれている。従って、主加工波形直前のパルス発生時期よりさらに前のAE電圧の存在分布や積分値を監視することによって、金型摩耗の進行の可視化は可能であると思われる。

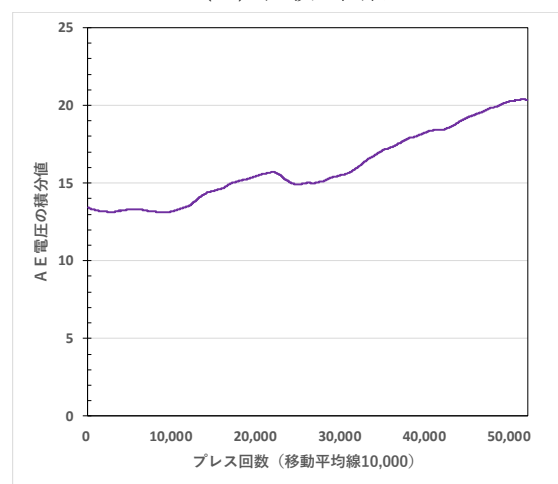
しかし、(A)金型は明らかに破損するか、製造している製品が品質規格から外れるまで使用し続けるため、実際に生産途中の金型の摩耗量(重量)の測定は不可能である、(B)プレス回数の増加によるAE電圧の増加は、環境や金型の摩耗の進行以外(例:プレス機本体のクランク機構部品の摩耗など)にも原因が考えられる、などの難しい問題を抱えている。今後、このような課題についても検証していきたいと考えている。

4. まとめ

県内企業が実際に生産機として使用しているトランスファプレス機の金型に長期間AEセンサを取付け、AE電圧の特徴について分析した。その結果、現時点で上記(A)(B)のような様々な問題点があるものの金



(a) 試験1回目



(b) 試験2回目

図8 AE電圧の積分値(移動平均線)

型摩耗の進行はAE電圧のトレンド監視から可視化できる可能性が確認できた。今後、本報告に述べた現象が繰り返し発生することを確認し、実際に金型を交換するまで試験を実施することで、金型の損傷を予測し、交換時期の適正化を探索していく予定である。

【謝辞】

本研究の遂行にあたり、共同研究の実施機関である株式会社ツカダ並びに岐阜大学の山下教授に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 横山ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告第6号, pp5-7, 2018
- 2) 横山ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告第7号, pp5-9, 2019
- 3) 村瀬・山下ら, [No.19-332]日本機械学会第27回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2019)論文集 [2019.11.20-22,福井]