

プレス金型の故障診断手法の確立（第6報）

横山貴広*、塚原誠也*

Establishment of failure diagnosis system for press die (VI)

YOKOYAMA Takahiro* and TSUKAHARA Seiya*

当センターは、プレス製品の不良や金型の損傷を早期に発見するシステムの研究開発に取り組んでいる^{1~3)}。本年度は、プレス製品の不良問題の1つである、生産プレス機に異物が混入した後に発生するプレス製品の打痕傷の検出を目的として、深絞り試験機にAE（Acoustic Emission）センサを取付け、異物を故意に混入させて打抜き加工を実施した際のAE電圧波形の変化を検証した。その結果、異物が混入するとAE電圧の積分値は増加することがわかったが、異物混入の有無の判別は積分値のみから判断することは難しく、AE電圧波形の特徴も含めた詳細な検証が必要であることを確認した。

1. はじめに

プレス製品には、プレス機・金型・被成形材の異常などに起因して、バリ・寸法不良・欠け・傷などの様々な不良が発生する。このなかでも、特に異物の混入によるプレス製品の打痕傷は、複数の県内企業から解決したい問題点の1つとして報告を受けているが、未だ抜本的な解決方法は見つかっていない。異物の混入による製品不良は、プレス時に異物が金型から剥離しないと、連続して発生する。また、打痕傷は現場において人の目視で発見することが難しく、後工程の検査工程で確認されることが多いため、製品不良の発見が遅れてしまっているのが現状である。

本年度はプレス製品の異物混入打痕傷の検出を目的として、深絞り試験機のパンチと被成形材（母材）の間に故意に異物を混入させて打抜き加工をした際のAE電圧波形を測定し、その積分値を算出した。また、異物の有無や異物の種類・位置を変化させた場合のAE電圧波形や積分値を比較し、異物混入の有無を検証した。

2. 試験装置の概要

図1に本試験に利用した深絞り試験機の外観、表1にプレス試験の概要を示す。異物混入時のAE電圧波形の変化を捉えるため、ダイの横に共振周波数150kHz（金属の弾性波）で最大の増幅特性があるAEセンサを取り付けた。まず、実際に深絞り試験機のパンチの上部に異物を故意に混入させて打抜き加工をした際、打抜き試験片に打痕が生じるかどうかの予備試験を実施した。異物にはSPCCの板材にボール盤で穴をあけて、その際に生じた切削屑と、SPCCとSUSの板材を切断機で切った破断屑を用意した（図2）。破断屑は材料と厚みを変えた3種類（表1「異物の種類」のように破断屑1~3を定義）を用意し、切削屑とあわせて4種類の異物を作製

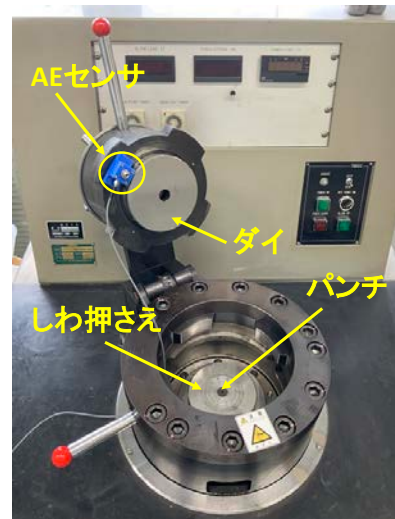


図1 深絞り試験機の外観

表1 プレス試験の概要

プレス試験機	型式：35ton・f自動型万能深絞り試験機 製造：株式会社 東京衡機試験機
加工内容	打抜き加工
金型材料	SKD11(パンチ、ダイ)、S45C(しわ押さえ)
パンチ径、ダイ穴	φ20.00mm、φ20.25mm
しわ押さえ荷重	1.0 ton
パンチスピード	2.7~3.1mm/sec
被成形材(板厚、直径)	冷間圧延鋼板 SPCC(t=0.5mm、φ80mm) 製造：フィジカルアコースティック社
AEセンサ アンプ	センサ型式：PK15I 共振周波数150kHz アンプ型式：EDGE NODE DISCOVERY ゲイン：0dB サンプリング速度：1MHz 測定時間：50msec
異物の種類(材料、厚み)	破断屑1 (SPCC、t=0.5mm) 破断屑2 (SPCC、t=1.0mm) 破断屑3 (SUS、t=1.0mm)、切削屑(SPCC)
試験内容	内容：異物混入打抜き試験(①~③：各10回、④：5回) ①異物混入なし(通常) ②異物の位置(中央付近)：破断屑1~3、切削屑 ③異物の位置(端部)：破断屑1~3、切削屑 ④異物の位置(パンチとしわ押さえの間)：破断屑2

*機械部

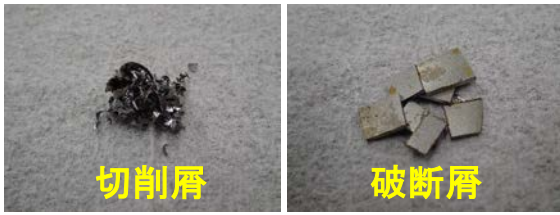


図2 異物の外観

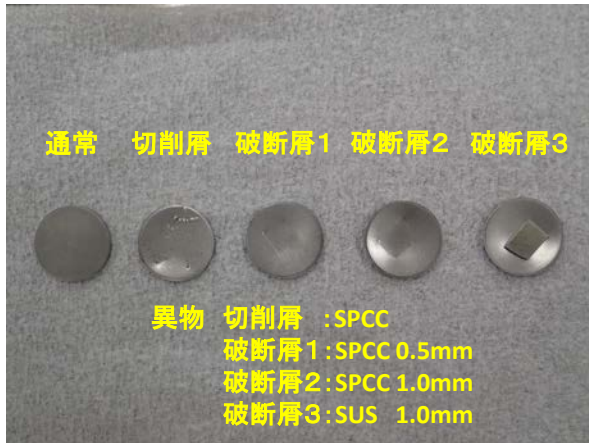


図3 打抜き加工後の試験片

した。これらの異物を実際に混入させて打抜き加工を実施したところ、すべての種類の異物で打抜き試験片に打痕傷の発生が確認された(図3)。そのため、この4種類の異物で本試験を実施することにした。

本試験は異物がない状態(通常)と予備試験で実施した4種類の異物を混入させて打抜き加工を実施し、取得したAE電圧波形を比較することで異物混入の影響を検証した。なお、異物を混入させる際に、異物をパンチの中央付近とパンチの端部に設置し、異物の位置によってAE電圧波形と積分値にどのような変化が現れるかも確認した(図4(a)(b))。さらに、異物をパンチとしわ押さえの間に設置し、母材と異物を同時に打抜き加工をさせた場合(異物を噛んだ状態で打抜き加工)の特殊な条件下での試験も実施した(図4(c))。

3. 試験結果及び考察

3.1 AE電圧波形について

図5は異物がない場合の打抜き加工における典型的なAE電圧波形である。パンチが上昇すると母材が円周状にほぼ同時に打ち抜かれるため、打抜きの瞬間に母材から弾性波が大きく発生する。その後、打ち抜いた母材とダイの接触によって若干の弾性波が生じている。このように、このAE電圧波形は弾性波の発生が打抜きの瞬間の短い時間に集中するため、AE電圧の継続時間が短い。

次に、破断屑1・2をパンチの中央付近に混入した場合のAE電圧波形を図6、図7に示す。異物を混入させてパンチを上昇させると、母材に打痕が生じ、母材の破

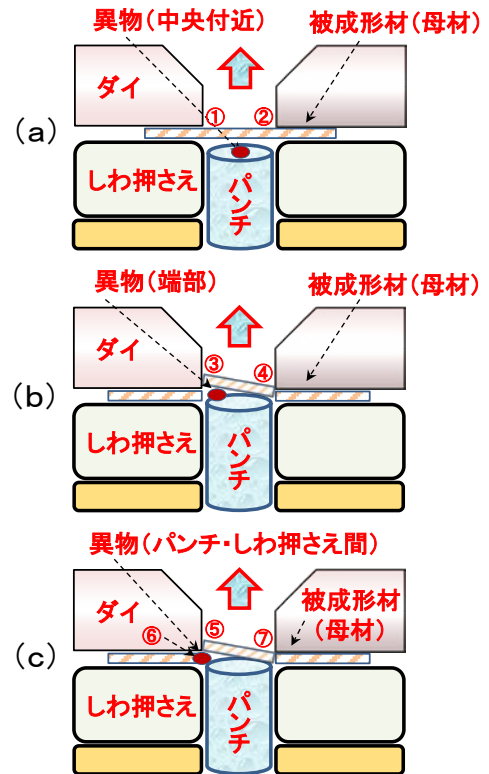


図4 金型の内部構造と異物の位置

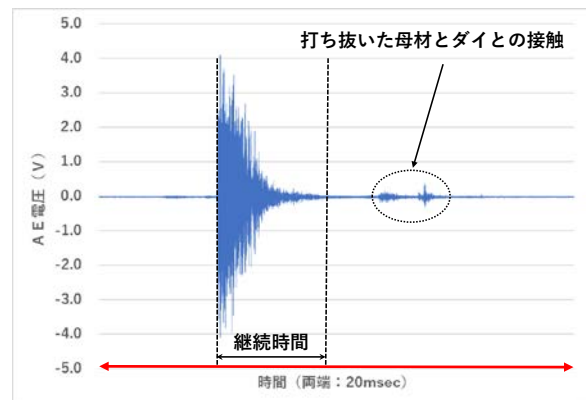


図5 通常(異物がない場合)のAE電圧波形

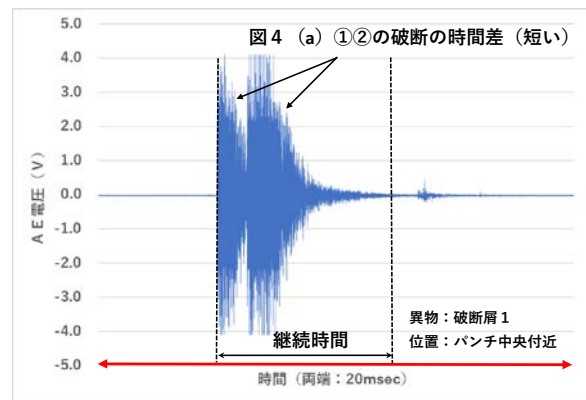


図6 破断屑1が混入した場合のAE電圧波形

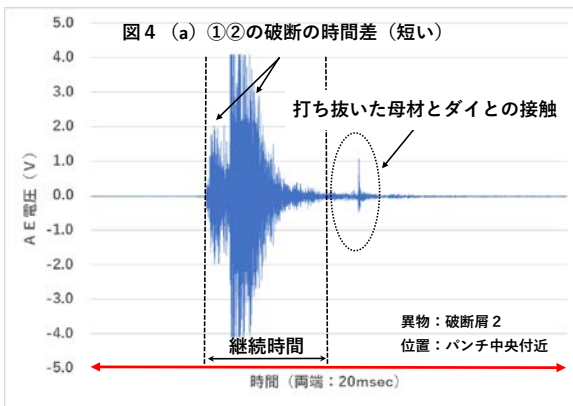


図7 破断屑2が混入した場合のAE電圧波形

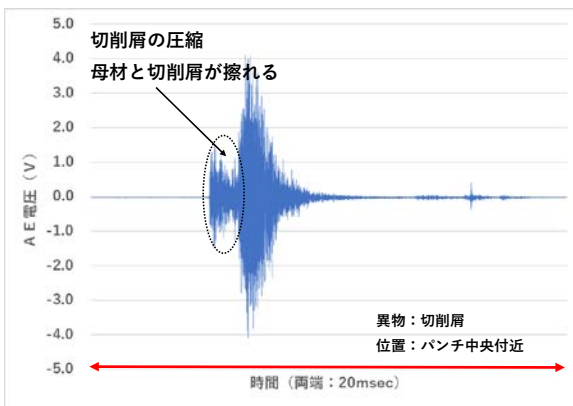


図8 切削屑が混入した場合のAE電圧波形

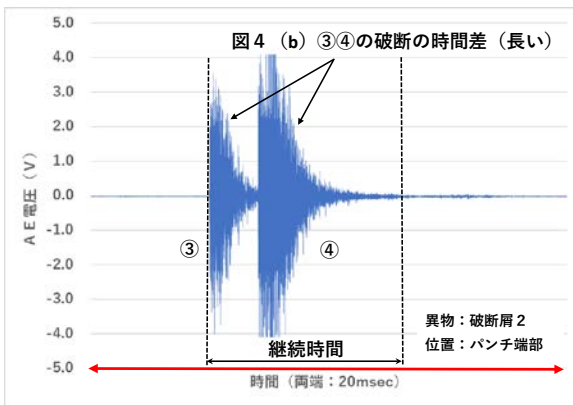


図9 破断屑2が混入した場合のAE電圧波形

断は異物がない場合より、円周状の打抜きに時間差が生じる(図4(a)①②)。そのため、母材より発生する弾性波にも時間差が生じ、図6、図7のようにAE電圧波形のピークが2つ現れたと考えられる。

また、破断屑1と破断屑2・3を比較した場合、破断屑2・3は波形のピーク数が2つになる割合が低くなることを除いて、あまりAE電圧波形に特徴が現れなかった。ただ、異物にSUS(破断屑3)を用いた場合、母材のSPCCの方が柔らかい材質のため、加工後の母材にSUSの破断屑が接着する現象が確認された(図3の破

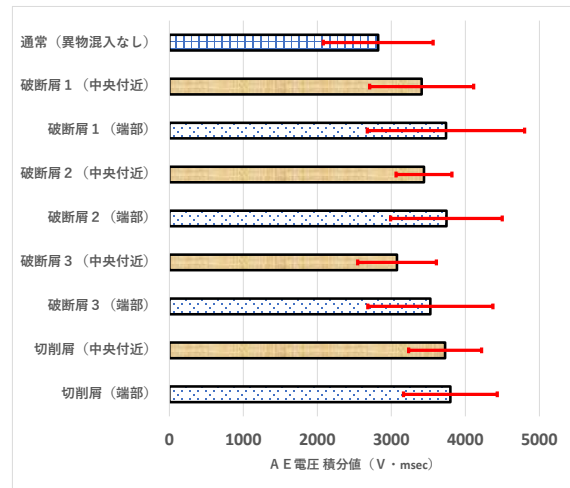


図10 各試験条件のAE電圧の積分値の平均値

断屑3を参照)。

切削屑をパンチの中央付近に混入した場合のAE電圧波形を図8に示す。切削屑は破断屑より圧縮力によって押しつぶされて変形しやすい。そのため、初期のパンチの上昇の際、切削屑はパンチと母材の間で圧縮され、母材と切削屑が擦れる際に弾性波が発生していると思われる。

次に、破断屑2をパンチの端部に混入させた場合のAE電圧波形を図9に示す。破断屑2をパンチの中央付近(図7)と端部(図9)に混入した場合を比較すると、端部の場合は波形のピーク間隔が長くなる傾向が確認された。これは異物が端部に存在すると、まず異物が存在する付近の母材が破断し(図4(b)③)、最後に異物から距離が離れた場所の母材が破断する(図4(b)④)。よって、異物が中央付近にある場合より、波形のピーク間隔が広がったものと推定できる。

3.2 AE電圧波形の積分値について

図10は異物がない場合と異物の種類・位置を変えた8つの条件を併せた9つの試験内容で、各10回打抜き加工をした際のAE電圧の積分値の平均値(μ)と標準偏差(σ)を示す。

図10より、異物が混入した場合は異物がない場合と比較すると、すべての条件でAE電圧の平均値が高くなっている。さらに、異物が同じ種類でその位置がパンチの中央付近と端部に設置した場合を比較すると、すべての条件でパンチの端部に設置した場合の方がAE電圧の積分値が高いことがわかった。この理由として前記に示したとおり、異物の位置が端部にあることによって、AE電圧の継続時間が全体的に長くなっていることが主な原因だと考えられる。さらに図10より、AE電圧の積分値が最も高かった条件は、切削屑を混入させた場合であることがわかる。切削屑は打抜き加工初期に、材料の大きな圧縮変形と母材と切削屑が擦れる際に弾性波が

発生していると思われるが、破断層は材料の圧縮変形が小さく、さらに母材との擦れも切削屑より少ないため弾性波がほとんど発生しない。このように、圧縮時の弾性波の有無が AE 電圧波形の積分値に差を与えたのではないかと推定できる。

次に、AE 電圧の積分値から異物の有無が統計的な視点から判別できるかについて、分散分析・多重比較を利用して検証した（有意水準 $\alpha=0.05$ を採用）。その際、①異物がない場合と 4 種類の異物を中央付近に混入させた場合、②異物がない場合と 4 種類の異物を端部に混入させた場合の 2 通りを実施した。

分散分析の結果、①の場合には異物の有無に関して差異が確認されたが（有意確率 $p=0.013$ ）、②の場合には①より両者の積分値の差がさらに大きくなっているにもかかわらず差異が確認されなかった（有意確率 $p=0.059$ ）。また、①の条件で、異物がない場合とどの種類の異物が混入した場合に差異があるのかを調べるため、Bonferroni の多重比較⁴⁾を実施したところ、有意性のある差異は、異物がない場合と切削屑が混入された場合の関係のみ確認され、その他については全くなかった。

よって、異物混入の有無の判別は積分値を含め AE 電圧の全体の特徴から判断するべきであり、積分値の数値の増加のみから異物混入の有無を判断することは難しいことがわかった。

3. 3 異物を打抜き加工した場合

図 4 (c) の位置に異物を混入させ、打抜き加工をした際の典型的な AE 電圧波形を図 11 に、打抜き加工後の試験片を図 12 に示す。図 11 より、AE 電圧のピークが 3 つ存在し、継続時間がかなり長いことがわかる。この図を概観すると、最初に異物付近の母材の破断によって弾性波が生じ（図 4(c)⑤、図 12①）、その後、異物（図 4 (c) ⑥、図 12 破断層 2）若しくは異物から離れた場所の母材（図 4 (c) ⑦、図 12②）の破断による弾性波が重なった現象を示していることがわかる。このように、異物を母材とともに打抜き加工をした際、ピーク波形の数から異物を打ち抜いたのかがおおよそ推定できる。ただ、波形のピークが必ずしも 3 つ存在するとは限らず、異物と母材の AE 電圧波形が重なって 1 つ若しくは 2 つになった場合もあった。また、AE 電圧の継続時間が 50msec 以上になったり、ピーク電圧が極端に低い場合も存在した。このように、母材とともに異物を打ち抜いたかどうかの判断には、AE 電圧波形のピーク数のみならず、継続時間やピーク電圧などの総合的な視点で検証する必要がある。

4. まとめ

深絞り試験機のパンチの上部に異物を混入させて打抜き加工をした際の AE 電圧波形の特徴とその積分値の変

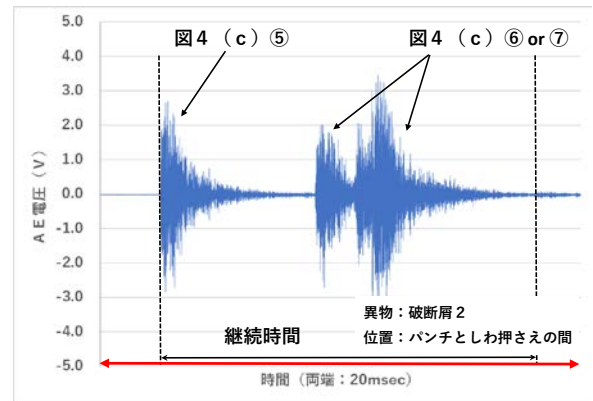


図 11 異物の位置が特殊な場合の AE 電圧波形

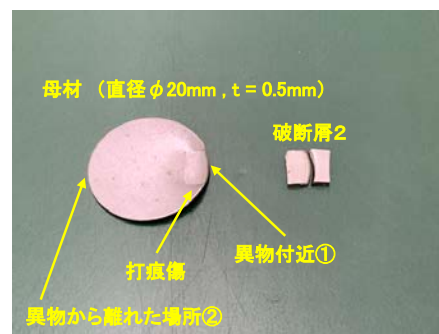


図 12 打抜き加工後の試験片

化を検証した。

その結果、

- ・異物が混入すると異物の種類・位置によって、AE 電圧波形が異なることを確認した。
- ・異物が混入すると異物がない場合より AE 電圧の積分値が大きくなり、パンチ端部に混入するとその積分値はさらに大きくなる。しかし、異物混入の有無の判別は、AE 電圧の積分値の増加のみから判断することは難しい。

主に、以上の知見を得ることができた。

今後、異物混入の有無の判別は、AE 電圧波形の特徴とその積分値の両方の特徴を詳細に検証するのみならず、他の統計的な方法も考案して、最適な判別手法を探索していくことが必要である。

【参考文献】

- 1) 横山ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No. 6, pp5-7, 2018
- 2) 横山ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No. 7, pp5-9, 2019
- 3) 横山ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No. 1, pp1-4, 2020
- 4) 大澤, わかる & 使える統計学用語, pp304-305