

# アコースティック エミッションの応用

高知職業能力開発短期大学校

亀山 寛 司

## Apprication of Acoustic Emission

Kannji KAMEYAMA

**要約** 小径ドリル加工における工具の摩耗過程、引張試験における試験片の破壊過程、およびセラミックスボールの破壊試験におけるアコースティック エミッション (AE) 信号を検討し、AEによる検査法が材料の変形・破壊過程を精細にモニタする方法として有用であることを認めた。さらにAE法を適用したいくつかの事例について述べる。

## I はじめに

金属をはじめとする多くの材料は、破壊に至る以前から音響エネルギー (音) を放出している。この現象はアコースティック エミッション (AE) と呼ばれる。AEは、「固体材料内部の微小な破壊あるいはそれと同様なエネルギー解放過程によって発生する弾性波動現象」<sup>(1)</sup>と定義されているが、通常は数kHz～数MHzの微弱な超音波であるため、人間が直接耳で聞くことはできない。本報告では、①小径ドリル加工における摩耗検出 (平成5年、専門第二期研修)・②金属材料の引張試験・③セラミックスボールの破壊試験 (平成7年、事業主団体研究開発事業)・④FRPの温度変化・⑤S50Cの音速測定、⑥骨の圧縮荷重試験 (平成8年、事業内援助) にAE法を応用した事例について述べる。

## II 実験方法

### 2.1 AE装置の構成

AE信号はAEセンサによって電気信号に変換され、その電気信号は増幅器等によって電気的に処理される。AE診断システムは現場での計測やデータ処理が簡単に行える構成とした。基本となる構成はいずれの装置でも共通で、図1に示す。すなわち、(a)AE信号を電気信号に変換するAEセンサ・(b)プリアンプ・(c)メインアンプ・(d)振幅・エネルギー、到達時刻などのパラ

メータ抽出部、演算部、(e)出力、表示部からなっている。弾性波を電気信号に変換するAEセンサは、圧電素子を用いた共振型センサを使用した。<sup>(2)(3)</sup>

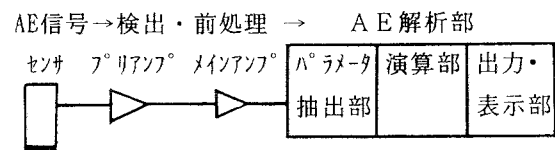


図1 AE装置の基本構成

### 2.2 小径ドリル加工における摩耗検出

主実験仕様と条件を表1に、実験におけるAEセンサ・3成分動力計と工作物の取り付け状態の外観写真を図2に示す。ドリルの直径は、切り屑が詰まっの折損・座屈による折損の影響を考慮して直径3mmとした。

表1 実験条件

NCフライス盤 (emco F1-CNC)
動力計 (キスラー社: 9257A)
AEセンサ (村田製No4: 狭帯域型)
プリアンプ (NF回路設計ブロック: BX-31A)
ハイパスフィルタ (400kHz)
ペン書きオシロ (日本電気三栄)
ドリル (HSS神戸製鋼SD-3)
回転数(2000rpm), 乾式加工
一刃あたりの送り (0.025mm/刃)
深さ9mmの止まり穴, 被削材 (S45C)

ドリルの穴あけ加工を簡易NCフライス盤を用いて連続して行い、折損するまでの切削力信号とAE信号を波形観察する。具体的には、AE信号は工作物の下にAEセンサを取り付けて検出する。また、切削力はAEセンサを取り付けた工作物の下に圧電型の3成分動力計を配置して、ドリルの軸方向と半径方向の切削抵抗を検出する。切削抵抗とAEの動的变化の関連を調べると同時に刃先のSEM観察をする。

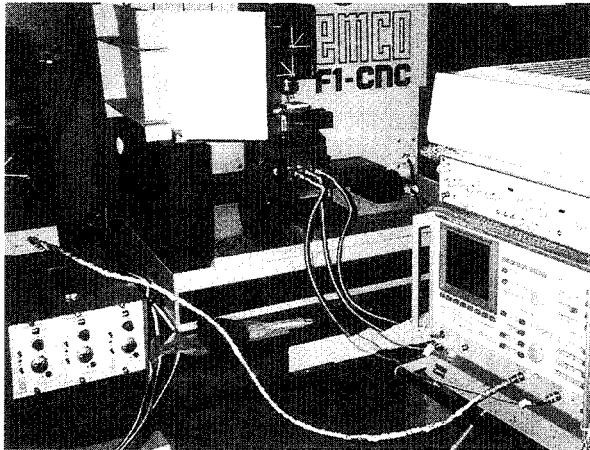
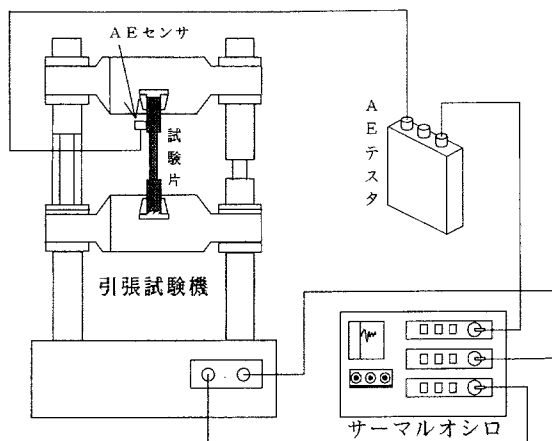


図2 工具診断装置

### 2.3 引張破壊過程のAE信号挙動

S45CとFC200を用いてJIS規格に規定されている2号試験片を作成し、S45Cは850℃で焼なまし、引張試験(東京衡器製)中のAE挙動特性を調べる。また、脆性破壊を起こすFC200のAE挙動特性も調べる。



- ① AEセンサ→AEテスタ (INPUT端子)
- ② AEテスタ (RECORDER端子) →サーマルオシロ
- ③ 引張試験機 (荷重レンジ) →サーマルオシロ
- ④ 引張試験機 (ラムストローク) →サーマルオシロ

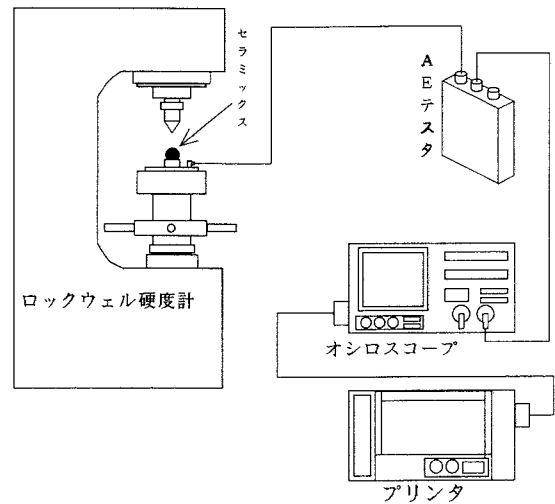
図3 引張試験装置

AE装置は、単チャンネルでありハイパスフィルタ100kHz、増幅器(総合利得は20倍から2000倍で可変)の他に簡単なイベント検出器、平均値検出器、イベントレートメータがコンパクトに組み込まれているAE装置(NF回路設計ブロック:9501AEテスタ)を用いた。波形観察にはサーマルオシロ(東京科学:T-438)を用い、AE信号・ラムストローク、試験荷重を同時に記録した。

AEセンサは、300kHz共振(NF:903N, φ3×t3)を用いた。図3にAE装置と引張試験装置を示す。

### 2.4 セラミックスボール破壊過程のAE信号挙動

セラミックスボールは、濾過装置、浄水器の中に入れて水質改良に威力を発揮している遠赤外線放射セラミックスを球状化したもので、商品化されている。セラミックスボールにロックウェル圧子(ダイヤモンド)により荷重150kgfをかけ破壊過程のAE挙動と破壊面のSEM写真を撮った。図4に破壊試験装置を示す。AEの発生をAEテスタで観測し、波形計測はオシロスコープ(HP-54600)で行った。また、AEセンサは903Nである。



- ① AEセンサ→AEテスタ (INPUT端子)
- ② AEテスタ (RF端子) →オシロスコープ

図4 セラミックスボールの破壊試験装置

### 2.5 FRPの温度変化によるAE信号挙動

FRPのAE利用として、FRP片にヘアードライヤで温風を当て温度変化によるAEの発生をAEテスタを用いて観測した。AEセンサは140kHz共振(NF:901)をFRP上に取り付け、波形観察はAE

計数率とAE計数総数が簡単に測定できるAEイベントモニタソフトウェア（NF回路設計ブロック）を用いた。

### 2.6 疑似音源による固体の音速測定

音速測定のために、S50Cの研削仕上げしたプレートを用いた。音速測定は、二つのAEセンサ（NF：901）を試験片のL=100mmの位置に取り付け、標準芯（日本非破壊検査協会：HB, 0.5mm, JSNDI-006）を試験片表面で折ったときに発生する表面波の到達時間差から求めた。音速測定の原理<sup>(4)</sup>を図5に示す。AEテストを用い波形計測として、ウェーブフォームアナライザ（小野測器：AF-550）を用いた。

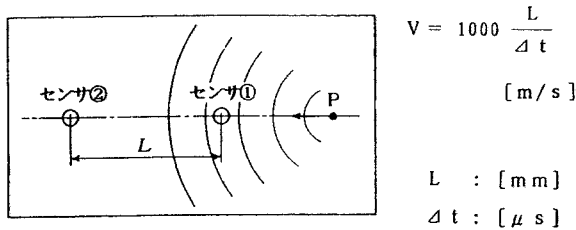


図5 音速測定の原理

### 2.7 骨の微視的破壊挙動

動物の脊椎椎体を球面座の上に設置し、骨の圧縮試験中の微視的破壊挙動を調べた。実験装置は、引張破壊過程のAE信号挙動実験に用いたシステムと同じである。

## III 結果と考察

### 3.1 AE装置の構成

AE装置は、ハイパスフィルタにより機械的ノイズをカットし、発生するAE信号を感度よく的確に検出可能である。また、現場で利用可能なシステム構築である。

### 3.2 小径ドリル加工における摩耗検出

図6には、小径ドリル加工の切削力信号とAE信号の一例を図7には、穴あけ個数とAEピーク値の推移および図8にはドリルの摩耗状態と疲労破壊面のSEM写真を示す。これらの図より、浅穴時半径力は安定しており深くなると、半径力はスラスト力に比べて激しく変動しながら増えている。逃げ面の摩耗が大きくなるにつれて半径力は増えている。これは摩耗により逃げ面と切削面との接触面が大きくなるからである。スラスト力は穴あけ中ほとんど変化が認められない。

AE信号は、穴底で多く出ていることから半径力の

影響と密接な関係がある。AE信号の推移は、ドリルと材料との切れ刃の当たり方の変化、ドリルの寿命の変化がAE信号として現われている。ドリルの切れ味が悪くなるとAEと見なせるものが発生している。AEピーク値が高く頻繁に発生している時期を再研削時期（図7では600から800穴）と判断する。再研削時期を早めに設定するか遅く設定するかは、任意に決められる。

図8から切れ味が劣化すると、ドリル内部のマイクロクラックが穴あけ加工の都度進展し、疲労の限界を超えるとドリルはねじ切れてしまうことがわかった。切れ味の悪い初期の穴あけ加工では、切り屑の接触状態によるAE信号は、ハイパスフィルタによりカットされドリル内部のAE信号のみ忠実に検出している。

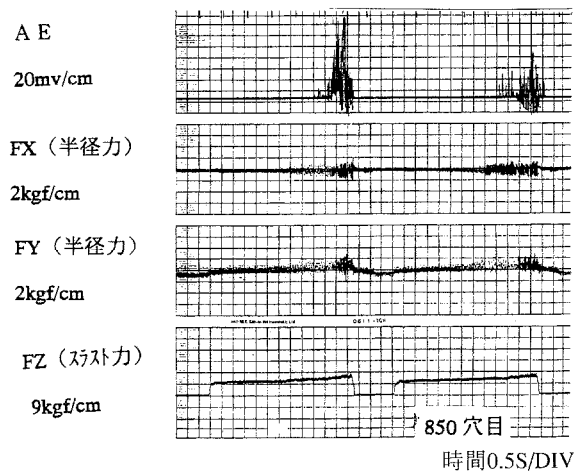


図6 小径ドリル加工の切削力・AE信号の一例

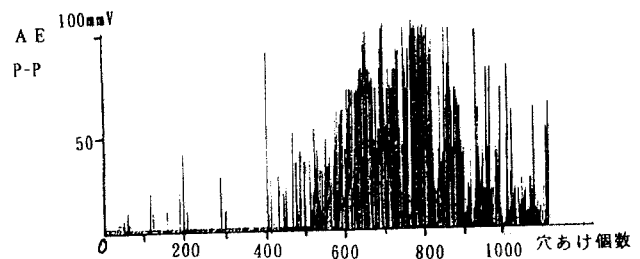


図7 穴あけ個数とAEピーク値の推移

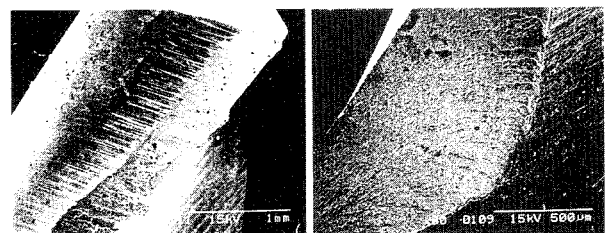


図8 摩耗状態と疲労破壊面のSEM写真

### 3.3 引張破壊過程のAE信号挙動

図9にS45C, 図10にFC200のAE信号・荷重, ラムストロークと時間の関係を示す。破壊過程での亀裂進展に伴って発生するAE信号をリアルタイムにとらえている。

図9・図10からは, 引張試験のS45Cにおいて, 降伏点(不安定破壊の開始点)を正確に捕らえることにより, 構造物の設計に利用できる。FC200では, 破壊直前にAEが急増していることから破壊の前兆検知に利用可能である。降伏点では, 一気に亀裂が進みAE信号が小さくなったと考える。

AE信号の大きさは割れの大きさ・速度の違いによって変化していると考えられる。

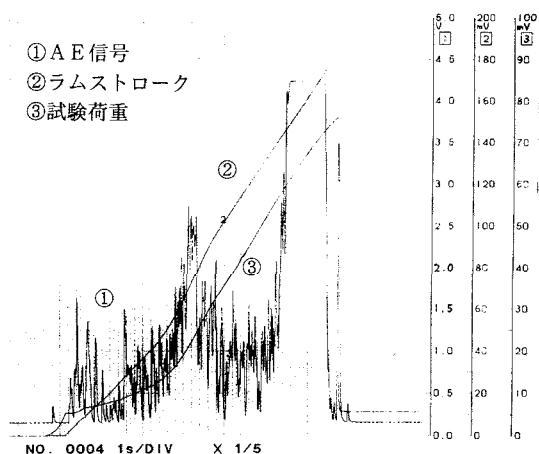


図9 S45Cの引張試験における波形の推移

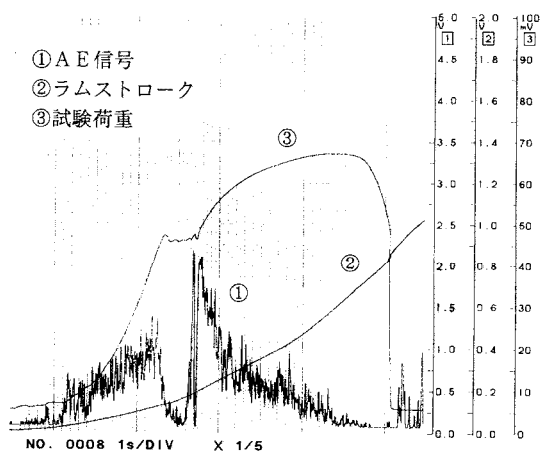


図10 FC200の引張試験における波形の推移

### 3.4 セラミックスボール破壊過程のAE信号挙動

図11には, AE波形の一例を図12には, 破壊面のSEM写真を示す。破壊の進展による微小亀裂の発生に伴うAE信号を検出した。

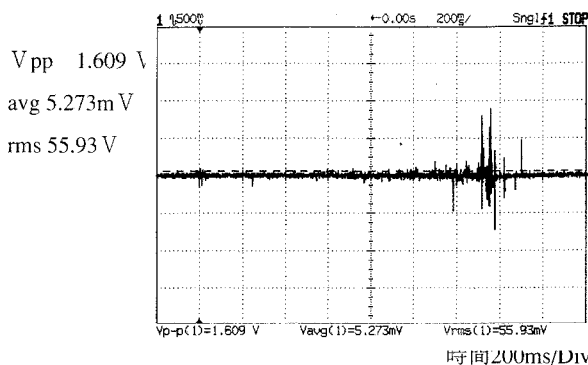


図11 セラミックスボール破壊のAE波形の一例

セラミックスボールは多数の気孔を有しているので, 亀裂が不均質材料中を進展するため, AE計測は容易である。初期の挙動は, マイクロクラック・亀裂の生成に, 後半部の挙動は亀裂の進展に対応していると考えられる。負荷荷重が破壊荷重に達したとき, セラミックスボールが急速に破断しこのような特徴的なAE信号の挙動が認められる。製造工程での結晶粒の微細化と均一化によりAE信号の振幅値は小さくなると考えられる。

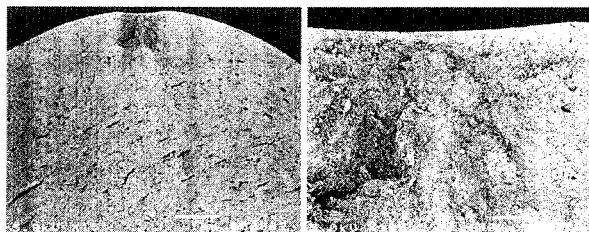


図12 セラミックスボール破壊波面のSEM写真

### 3.5 FRPの温度変化によるAE信号挙動

図13に示すように, 温度上昇によってAE信号を検出した。FRPは多数の繊維が不連続的に母材中に存在するため温度変化によるマトリックスとガラス繊維の熱膨張の違いによる擦れがAE信号の要因として考えられる。

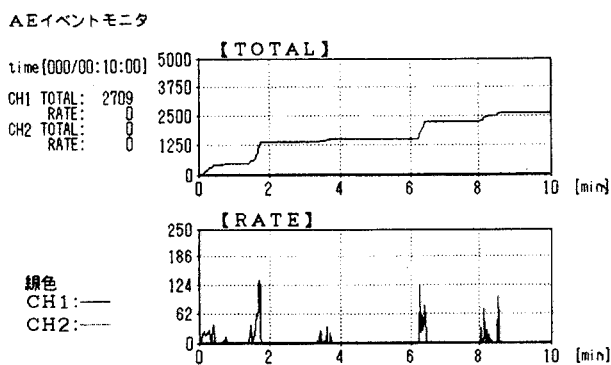


図13 FRPの温度変化によるAE信号の推移

### 3. 6 疑似音源による固体の音速測定

図14から、二つのAEセンサに到着する表面波の時間差が求められる。これから音速は、4000m/sと計算される。本来の音速は、横波速度3200m/s・縦波速度5900m/sである。AE信号発生点からAEセンサまでの距離による信号の減衰や、速度分散により信号波形の立ち上がりの形状がAE信号発生点の遠近によって変わるため測定値の誤差原因と考えられる。

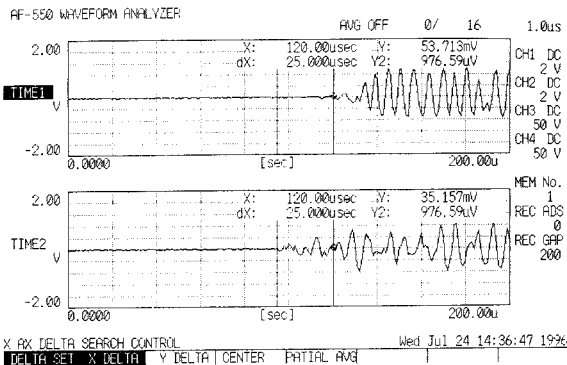


図14 音速測定におけるAE波形の一例

### 3. 7 骨の圧縮荷重試験

図15から、変位の増加に伴い荷重の変動は少ないが、骨の内部の微視的破壊挙動をとらえている。

臨床医学である整形外科において、力学的な立場からのアプローチが有用であることが認識された。

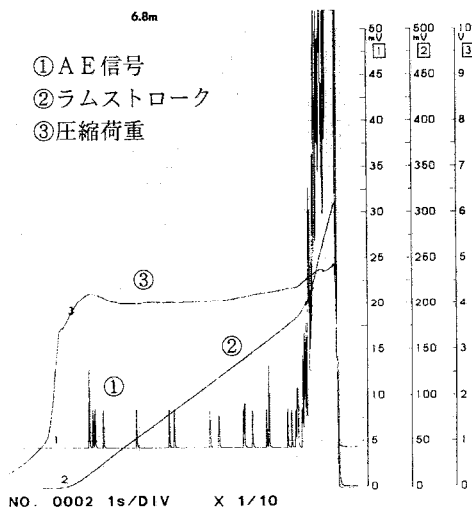


図15 骨の圧縮試験におけるAE信号の推移

## IV おわりに

これらの結果から、AE法は材料の表面と内部における変形・破壊過程を連続してモニタする方法とし有用であり破壊条件および破壊機構の解明に、有力な手

段となり得ることが確認された。また、新素材の開発手法としても利用可能と考える。材料の評価手法に関連して、材料強度あるいは損傷状態などAE計測の結果は、十分信頼できるものであった。AE法は種々の分野で使えるが、用途によっては従来の方法と組み合わせることが必要である。今後、実験データを増やしそれぞれにおいて判定基準を検討する必要がある。なお、学生にAE技術の基礎を習得させるために構成した簡易型のシステムを用いてFRPの温度変化によるAE信号挙動・疑似音源による固体の音速測定について教育・訓練を行っている。測定されたAEをどのように利用するか、またどのように測定すれば利用可能な情報を得ることができるかを考察させている。

## 謝辞

最後に、本研究の小径ドリル加工における摩耗検出は専門第2期研修（平成5年職業能力開発大学校・武藤一夫先生担当）、セラミックスボール破壊過程のAE信号挙動は、事業主団体研究開発事業（平成7年）、脊椎・椎体に対する圧縮荷重試験は、事業内援助（平成8年・高知医人整形外科学教室）によって行われたことを付記して、感謝の意を表します。

## [参考文献]

- (1) 大津 政康, アコースティック エミッションの特性と理論, 森北出版, 1988年, p2.
- (2) 実践教育機械系ジャーナル, アコースティック エミッションの実践, No.6, 1996年, p50-52.
- (3) 高知職業能力開発短期大学校 (編), アコースティック エミッションの活用, 第1号, 1997年, p11-15
- (4) 高度職業能力開発促進センター (編), アコースティック エミッション, 1995年, p1-34.