

1. はじめに

材料の破壊に伴って発生するアコースティック・エミッション (AE) 現象は、材料内部の微小破壊に直接に関係した情報をも持たす計測法として、非破壊試験、構造物の劣化度診断等への適用が期待されている。本報告は、そのような適用への基礎資料として、AE 情報と微小破壊の関係を明らかにし、AE の波形解析により持たされる破壊機構に関する情報について論じたものである。

2. 微小破壊と AE

材料内部に微小破壊 (クラック、ひびわれ) が発生すると、その個々の現象に対応して、AE 波動が発生する。この場合、従来の研究により有用と知られている AE の情報を微小破壊と対応させてまとめれば、表-1 のようになる。材料の破壊過程において、刻々と発生する微小破壊は AE の頻度として計数される (カウント、カウントレイトと一般に呼ばれる)。発生頻度が非常に多いとか、連続的計測等で、デジタル量として計測することが困難な場合には、RMS (実効値) 電圧が有効である。初期の研究では、RMS 電圧は AE 波形の振幅の情報も含むことからエネルギーに関係した情報とされていたが、AE の振幅は伝播経路に依存することから、頻度のアナログ表示と考えるのが妥当なようである。どちらにしても、AE の頻度は非常に簡単な装置で計測できるので、破壊過程の進行度合、破壊の時間的変化を把握することが可能となる。微小破壊の発生位置は、多点での検出波形における初動の到達時間差から地震学における震源探査と同様な手法 (破壊源探査法) により 3 次元的に決定することができる。このように、AE の頻度と破壊源探査法を用いれば、微小破壊の時間的および空間的な変化を把握することができるため、構造物の劣化度、健全度診断、さらには主破壊の予知等への適用が可能となる。

AE の波形を解析することにより定量的に微小破壊の機構を解明しようとする試みは、最も新しい分野であり、未だ標準的な手法は、確立されていない。

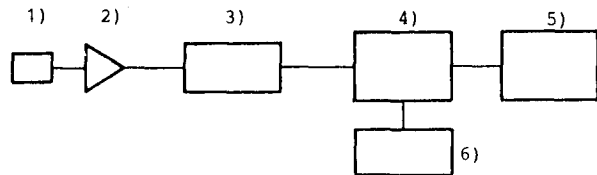
表-1 AE の情報

例えば、周波数分析もこの中の 1 手法と考えられる。ここでは、筆者らの波形解析における研究より得られた微小破壊の機構に関する知見について述べる。

図-1 は、波形解析の際に用いた計測システムを示したものである。AE 変換子としては、

計測周波数領域 (10 kHz - 300 kHz) で、ほぼ平坦な応答を示すもの (AE 905S, NF 製) を用いた。また、周波数の上限はコンクリート材料における高周波成分の減衰特性から採用している。周波数分析の議論によれば、50 nsec のサンプリング間隔ならば、10 MHz まで分解能があることになるが、実際には 1 MHz 程度であり、精度の良い分析を行うためには、この程度の分解能が必要

微小破壊	AE による情報
時間的変化 (破壊過程)	発生頻度 (カウント) RMS 電圧
空間的変化	破壊源探査
破壊機構	波形解析



- 1) AE transducer
- 2) Pre-amplifier (20dB gain, 10kHz high-pass)
- 3) Discriminator (40dB gain, 300kHz low-pass)
- 4) Transient recorder (50 nsec sampling, 1024 words)
- 5) Digital cassette tape unit
- 6) Oscilloscope

図-1 AE計測システム

となる。

3. 実験結果および考察

波形解析における基本的な考え方は、A E 発生源（クラック等）が、変位のくい違いモデル（Dislocation Model, 直訳すれば転位モデルとなる。概念的には同じ物であるが、金属の結晶学における転位とは、規模的に異なるためこのように表現する。）によって数学的に記述できることである。その場合、検出波動は伝達関数（グリーン関数、弾性体内における基本的な内部擾乱に対する検出点での応答を与える弾性解）とくい違いモデルとの合成積により、表現される。したがって、伝達関数の分かっている場合には、検出波動に逆合積（合成積の逆演算）を施すことによりくい違いモデルの関数形（発生源関数）を決定することができる。1 例として、割裂試験における引張クラックにより発生した A E 波動と逆合積により決定された発生源関数を、図-2 に示す。図中、破線で示したのは、上述の合成積の妥当性を検討するためのシミュレーション解析で用いた仮定関数である。求められた発生源関数は変換子の特性をも含んでいるため実際のくい違いのみを表わしている訳ではないが、仮定関数との一致により、発生源関数を逆合積により決定する波形解析（原波形解析とも言われる）の可能性が示された。

伝達関数は弾性理論より求められるが、その際に注意すべきことは、A E の検出点は自由表面にあるということである。例えば、地震学の波形解析手法では無限体での伝達関数がいわれていることが多く、そのままでは、A E 波動に適用できない。

無限体での伝達関数を用いても妥当なのは、P 波（縦波、A E の初動）のみを解析の対象とした場合である。1 例として、地震学と同様な放射形式（検出波動の振幅の空間的分布と発生機構の関係）の理論を、多観測での A E 初動に適用することにより決定されたアクリライト製のスリットモデル供試体の一軸圧縮試験における引張クラックとセン断クラックの位置（破壊源探査により決定）とそれぞれのクラックの方向を図-3 に示す。図中、破線は実験中に観測された引張クラックを示している。図より、引張クラックの位置と方向が実際に観測されたものと良く一致していることが分かる。また、セン断クラックは、スリット面付近にスリット面に平行な方向に決定されている。他の結果詳細は、当日発表する。

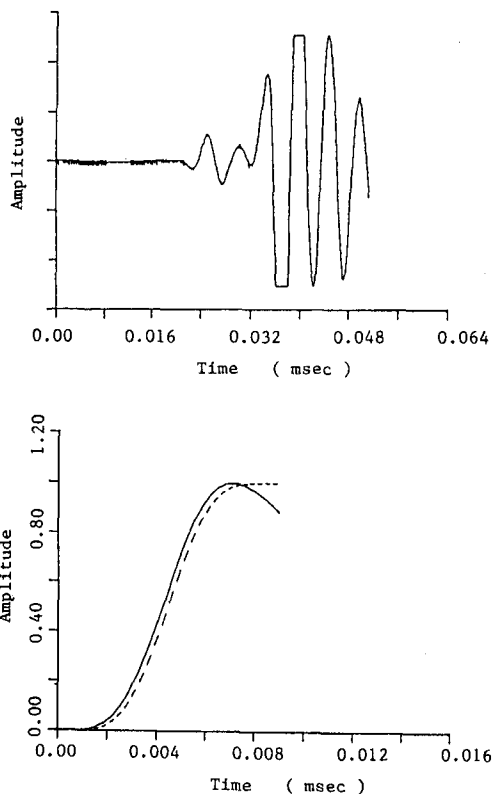


図-2 検出波形と発生源関数

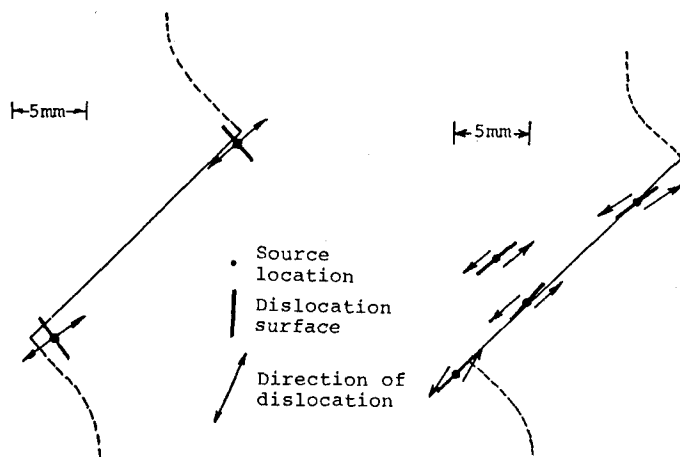


図-3 引張およびセン断クラックの位置と方向