

AEの発生機構と波動の解析について

京都大学 工学部 正 員 丹羽 義次
京都大学 工学部 正 員 O大津 政康

1. はじめに

材料の破壊挙動と関連したアコースティック・エミッション(AE)の諸特性は、幾つかの分析パラメータにより研究されている。なかでも、主に周波数分析により検討されている個々のAE波動は、発生機構と直接に関連した情報を含む注目すべきパラメータであると考えられる。本報告は、このような考えのもとに、検出されるAE波動の伝達経路を明らかにし、発生機構を解明する際の解析法について考察を加えたものである。

2. AE波動の伝達経路

供試体内で生じたAEは、系内を伝播し供試体境界でAE変換子により電気信号に変換され、増幅器とフィルターを経て検出される。この伝達経路を線形システムとして模式的に表わせば、Fig.1のようなになる。図より線形システムの理論に従えば、時間領域において次のような関係が得られる。

$$r(t) = w_u(t) * w_t(t) * w_s(t) * s(t) \quad (1)$$

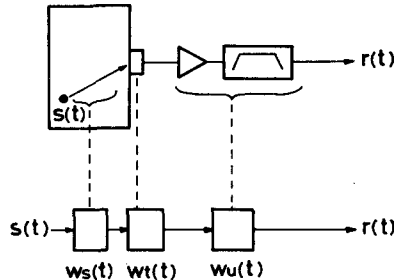
ここで、*は合成積を意味しており、時間以外の変数も $w_s(t)$, $s(t)$ には含まれているとする。式(1)にフーリエ変換を行い、それをR, W, Sなどの大文字で表わせば、周波数領域では次のようになる。

$$R(f) = W_u(f) \cdot W_t(f) \cdot W_s(f) \cdot S(f) \quad (2)$$

このように、検出されたAE波動から発生機構を解明するには、式(1)に基づいて時間領域で $s(t)$ を考察するか、式(2)により周波数領域で $S(f)$ を考察するかの2種類の方法があることがわかる。さらに、従来の周波数分析では、 $R(f)$ を検討しているにすぎず、材料の破壊挙動と関連づけて検討するには、伝達経路の影響を考慮する必要があることもわかる。

3. 時間領域での解析

式(1)による発生機構の解明には、多くのa)方法が考えられるが、ここでは、弾性波動問題として解析的に検討を行う。まず、検出するAE波動の波長に比較して伝播する系が大きく、材料の不均質性あるいは空隙b)などによる回折、攪乱などの影響が小さい場合を考える。そのとき、AEは等方弾性体を伝播する弾性波としてもよいであろう。さらに、 $s(t)$ の物理的なモデルとして転位の概念を導入する。これは、Fig.2に示すように弾性体内に面位 Σ を考え、その二面での変位あるいは応力の空間的な不連続量を考えることに他ならない。このとき、式(1)



$s(t)$: AE wave at the source

$w_s(t)$: transfer function of the specimen

$w_t(t)$: transfer function of the transducer

$w_u(t)$: transfer function of the amplifier and filter unit

$r(t)$: detected AE wave

Fig.1 AE計測システムと線形システム

の $w_a(\omega) \cdot A(\omega)$ は, *Knopoff-de Hoop* の表示式(別報参照)に対応するものとなる。その転位としては, 代表的に3種類のモデルが考えられており, 転位面の規模に比べ十分遠い地点では, それぞれの転位モデルに対応してP波初動の空間的分布が上式より導かれる。これが放射形式(*radiation pattern*)と地震学で呼ばれているものであり, 理論的には逆に転位モデルを求めることもできる。

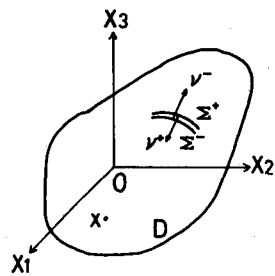


Fig. 2 転位モデル

次に, 式(1)に従って検出される波動 $r(\omega)$ を考察する。計測系の応答 $w_a(\omega) \cdot w_f(\omega)$ が検出波動に大きな影響を与えないならば, $A(\omega)$ を仮定し, $r(\omega)$ を弾性波動としてシミュレートすることも可能であ

ろう。Fig. 3(b)は, このような考えにより, 応力の不連続の転位モデルから発生する半無限弾性体表面での垂直方向の加速度波形をシミュレーション解析したものである。そして, Fig. 3(a)は, 対応する実験において変換子として905Sを用いた計測システムにより検出されたAE波動である。二つの波動の初動部分は非常に一致しており, 式(1)によりAE波動の発生機構を時間領域で検討する妥当性を示していると思われる。

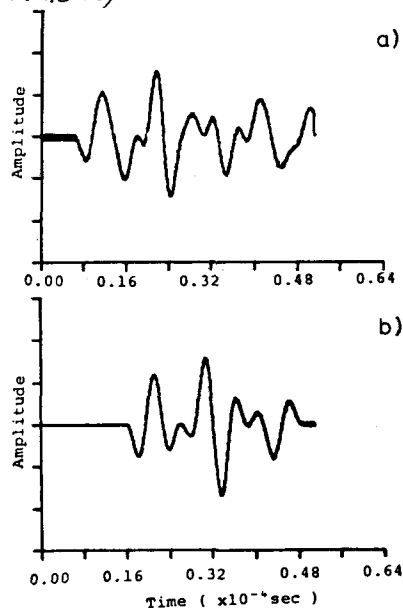


Fig. 3 Lambの問題の実験と解析波形

さらに, この結果より $r(\omega)$ から $A(\omega)$ を決定することも考えられる。これには, 合成積と逆の逆合成積と言われる手法が必要である。

4. 周波数領域での解析

式(2)より $S(\omega)$ を検討するには, 全ての周波数応答特性 $w_a(\omega), w_f(\omega), W_a(\omega)$ がわかっていなければならない。 $w_a(\omega)$ は位相特性を除けば, つまり, $|w_a(\omega)|$ の特性は平坦であることが多くの市販の機器に関して確かめられている。したがって, 検出されたAEの $|S(\omega)|$ を考察するには, $|w_f(\omega)|$ と $|W_a(\omega)|$ を考慮すればよいことになる。

$|w_f(\omega)|$ の補正について検討した結果をFig. 4に示す。これは, モルタル供試体の割裂試験において, 載荷軸に対し対称な位置に設置した変換子905Sと900BAから検出された波動のFFT法により求めた $|R(\omega)|$ をそれぞれの $|w_f(\omega)|$ で除したものである。二つのスペクトルは広い周波数帯にわたりよく類似している。次に, 実際の $|W_a(\omega)|$ には, 供試体内の伝播経路の影響, 境界での反射, 距離による減衰などが複雑に関連するであろう。

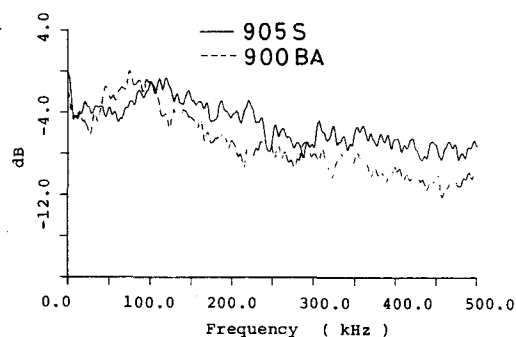


Fig. 4 変換子の応答特性を補正したスペクトル

これを考慮し $S(\omega)$ を求めるには, 例えば, P波初動のみのスペクトルに着目し, 距離減衰を評価することなどが考えられる。