

転位モデル論に基づくアコースティック・エミッション
波動の発生機構に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 丹羽 義次

京都大学工学部 正員 広瀬 壮一

九州電力 正員 〇千田 善晴

1. はじめに

アコースティック・エミッション(AE)とは、材料の破壊に伴い、材料内に蓄積されたエネルギーが急激に開放されることにより発生する弾性波動の総称であり、多くの分野で研究されている。しかしながら、その発生機構については未解明な部分が多いと考えられている。本研究は、AE波動を弾性体内部における転位により発生する弾性波動と考え、時間領域、周波数領域での波形解析により発生機構を解明しようとしたものである。

2. AE波動の波形解析法¹⁾

AE波動の発生機構としての転位モデルのパラメータは、次の3つを考えることができる。

i) 転位の位置(破壊源の位置)

ii) 運動学的要因(破壊の方向、速度、長さ)

iii) 動力学的要因(破壊源の時間関数、立ち上がり時間)

幾つかの個数の変換子により、P波初動の到達時間差を利用すれば転位の位置を求めることができる。また、転位の生ずる点の移動を考慮したmoving dislocationを対象として、表示定理に基づいた均質等方な2次元無限弾性体におけるP波初動の遠方項は次式で近似できる。

$$\ddot{u}_k(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi\rho\alpha^3} \cdot \frac{C_{ijkl} v_j n_i}{\frac{\alpha}{v} - \cos\psi} \frac{r_j}{r} \frac{r_k}{r} \frac{1}{r} \frac{f(t - \frac{r}{\alpha})}{|t - \frac{r}{\alpha}|} \quad (1)$$

ここで、 ρ は密度、 α はP波速度、 v は破壊速度、 v_j は転位面の法線ベクトル、 n_i は転位方向ベクトル、 ψ は転位の時間関数である。さらに周波数領域では、 $\ddot{u}_k$ のフーリエ変換を DU_k として次式のようにになる。

$$DU_k(x, \omega) = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi\rho\alpha^3} \cdot \frac{C_{ijkl} v_j n_i}{\frac{\alpha}{v} - \cos\psi} \frac{r_j}{r} \frac{r_k}{r} \frac{1}{r} \frac{1}{i\omega} \Psi(\omega) M(\omega) \quad (2)$$

$$M(\omega) = \omega^{\frac{3}{2}} e^{i(\omega t - \frac{\pi}{2})} \left\{ e^{i\omega l(\frac{1}{v} - \frac{\cos\psi}{\alpha})} - 1 \right\}$$

ここで、 l は破壊長さ、 $\Psi(\omega)$ は時間関数 $f(t)$ のフーリエ変換、 $M(\omega)$ はmoving dislocationの特徴を示すスペクトルである。

(1)式の $\sim$ 部は放射形式を表わし、これによって破壊機構の分類が可能である。また、(1)、(2)式を用いて、運動学的要因を求めることができる。さらに、時間関数 $f(t)$ を図-1に示すようなramp functionと仮定し、(2)式で示されるスペクトルと検出波形のスペクトルの比較により立ち上がり時間の推定が可能である。

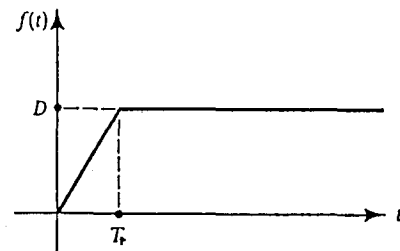


図-1 仮定した時間関数 $f(t)$

3. 実験および結果

PMMA(商品名アクリライト)の110×110×10mmの板を用いて、引張転位とせん断転位を発生させた。ここでは、紙面の都合上、引張転位についてのみ述べることにする。図-2に示す

ように、支点間中央に長さ10mmのスリットを入れた供試体を用いて曲げ試験を行い、引張転位を発生させる。なお、引張転位より発生した波動は、4チャンネルのAE計測装置を用いて、サンプリング時間 $1\mu\text{sec}$ で記録された。

結果の一例を図-3,4に示す。図-3で破線は実験後観察されたクラックを示し、黒丸は破壊源の位置を示す。破壊源の位置はクラック付近に存在している。下図では、矢印の方向が破壊の進行方向に、長さが破壊の長さに対応している。長さについては、実験中の観察によるとクラックの成長が5mm程度までの長さであり、妥当な値が求まっていると考えられる。また、破壊の方向はクラックの進行方向とほぼ一致している。破壊速度については、ばらつきが見られたが、これは、AEの発生によるひずみエネルギーの解放量との関係などによるものと考えられる。図-4に、検出波形のスペクトルと、時間関数を図-1のように仮定した場合の式(2)のスペクトルを示す。太い実線が検出波形のスペクトル、細い実線が式(2)によるスペクトルである。両者のスペクトルがよく一致するように、立ち上がり時間 T_r を $8.5\mu\text{sec}$ と推定した。引張モデルの場合は、 $8\mu\text{sec} \sim 14\mu\text{sec}$ と推定された。

以上のように、本研究の波形解析により、転位モデルのパラメータが求まり、AE波動の発生機構の解明の可能性が示されたと考えられる。なお、せん断転位のモデルについては、当日発表する。

参考文献

1) Aki, K and P. G. Richards, "Quantitative Seismology Theory and Method, Volume II", W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1980.

表-1 引張モデルの破壊速度

	T1	T2	T3	T4	T5
v (m/sec)	3	246	107	353	1036
λ	308				280
μ					462

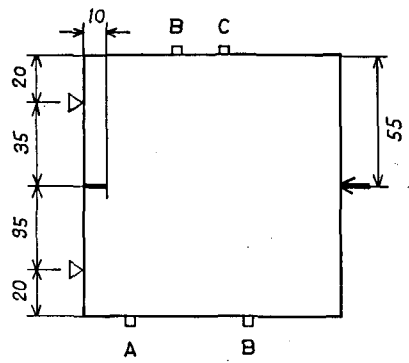


図-2 引張モデル供試体

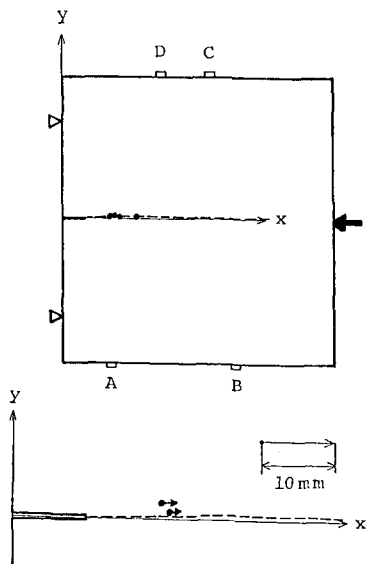


図-3 引張モデル(T1)の波形解析結果

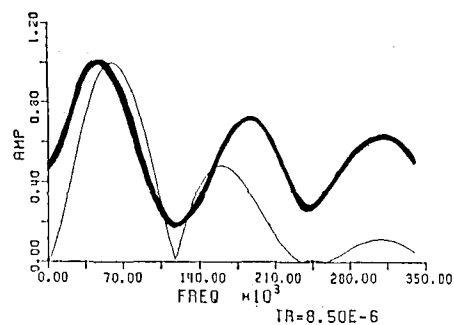


図-4 立ち上がり時間の推定