

アコースティック・エミッション波動の波形解析と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

熊本大学工学部 正員 大津 政康

中部電力 正員 仲村 治朗

1. はじめに アコースティック・エミッション(AE)とは、材料の破壊に伴って発生伝播する弾性波の総称であり、構造物やその部材の動的な非破壊検査等の手段として注目されている。AEの諸特性は多くの分野で研究されているが、AE波動とその発生機構の関係には、未解明な部分が多いと考えられる。そこで本研究では、AE波動を転位モデルより発生する弾性波動であると考え、そのモデルの諸量をAE波形の種々の情報から決定するための波形解析法について、解析的および実験的に考察したものである。

2. AE波動の波形解析法 AE波動の縦波初動部分は、Knopoff-de Hoopの表示定理に基づいた均質等方無限体における遠方解を用いて、次式のように近似できる。¹⁾

$$u_z(z, t) = \frac{\gamma_z}{4\pi\rho v_p^2 r} \cdot C_{ijkl} n_j n_k v_{lk} n_l \cdot \Omega(z, t) \quad (1)$$

ここで、 γ_z は破壊源から観測点へ方向ベクトル、 C_{ijkl} は弾性定数、 v_{lk} は転位面の法線ベクトル、 n_j は転位の方向ベクトル、 $\Omega(z, t)$ は発生源関数である。また、密度 ρ と縦波速度 v_p は媒質により決まる定数である。

右辺第2項は、地震学で知られる放射形式(radiation pattern)であり、 v_{lk} , n_j を求めることにより転位面と転位の方向を決定でき、また、破壊形式の推定もできる。

発生源関数 Ω をステップ関数と見なすと、縦波初動の到達時間差

により、破壊源の位置が決まる。

さらに、転位モデルとして、地震の断層モデルとして用いられる一方向に破壊が進行する moving dislocationモデルを導入すると、右辺第3項の発生源関数は周波数領域で次式のように表わされる。¹⁾

$$|\Omega(z, f)| = 2\pi W L \cdot |f S(f)| \cdot \left| \frac{\sin X}{X} \right| \quad (2)$$

$$X = \pi f L \left(\frac{1}{v_R} - \frac{\cos \theta}{v_p} \right) \quad (3)$$

ここで、 $S(f)$ は転位の時間関数、 X は破壊が進行する際に生じる位相差、 W , L は長方形転位面の幅と長さ、 v_R は破壊の速度である。いま、式(2)で特徴的な $X \sin X$ に着目することにより、破壊速度と破壊長さガスベクトル解析の結果、決定できる。

また、弾性体内のある点における変位は、断層面上における変位の不連続量とそれに対応するグリーン関数との合成積として求められるので、反対に検出波形を逆合成積することにより、発生源関数 Ω が決まる。

以上のように、AEパラメータとして縦波初動に着目し、波形解析を行なうことに

(AE parameters) (Waveform analysis) (Source parameters)

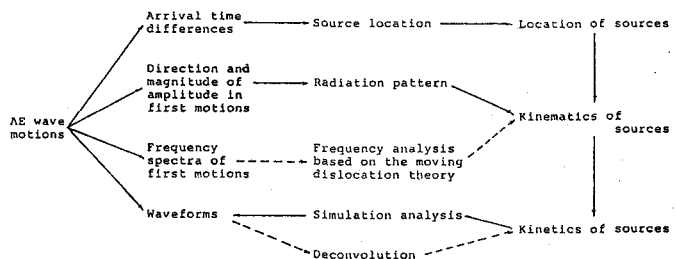


図-1 AEパラメータと波形解析法

NIWA Yoshiji, OHTSU Masayasu, and NAKAMURA Jiro

より、転位モデルの種々のパラメータを決定することができる。これらの関係を示せば、図-1のように表わすことができる。

3. 波形解析法の実験的検討

(i) 実験概要 PMMA (商品名アクリライト)、あるいは、モルタルの $10.6 \times 10.6 \times 1.0$ cm の板の中央に20cmのスリットを設けた供試体の圧縮実験を行なった。この実験において、アクリライトの場合ではスリットの先端から生じるクラックにより引張転位が、また、スリット部の摩擦すべりによりせん断転位が発生するものと思われる。波形検出には4チャンネルのAE計測装置を用いて、sampling時間間隔 $1 \mu\text{sec}$ および 50 nsec で digital cassette に収録した。スペクトルの計算法には、波形データに応じてMEMとFFT法を用いた。

(ii) 実験結果および考察 アクリライトの実験結果を図-2に示す。波形解析より転位モデルの諸量が表A)として得られ、これをもとに、転位の位置、形式、方向を図b)に、また、スリット部における破壊長さを図C)にそれぞれプロットしてある。図b)から、せん断転位として転位の位置がスリット部分にあり、転位方向がスリット方向にほぼ一致しているのがわかる。また、破壊速度は一般に、Rayleigh波とほぼ同じ値であり、横波速度の約0.95倍と推定されるが、本供試体の横波速度は 1300 m/sec 程度であるから、得られた破壊速度は妥当な範囲にあることがわかる。破壊長さもスリット長が20mmであることから妥当な値と言える。以上の結果から、本研究で統合した波形解析法の有効性が確かめられたと思われる。

また、モルタルの実験結果を図-3に示す。図より、破壊源の位置がひびわれ付近にあり、転位方向がひびわれ方向とほぼ一致しているのがわかる。また、破壊速度については、

*** a) Waveform analysis card : Slit model experiment ***

Specimen	AC 452	No.	13		2.98 (t)
Source location	$x = 0.018$ (cm), $y = 0.169$ (cm)				
Source type	(Shear) Tension The others				
Direction of dislocation	$\theta = 20.3^\circ$				
Direction of dislocation surface	$\phi = 123.0^\circ$ (normal direction)				
Rupture velocity	FFT : (m/sec), MEM : 1557. (m/sec)				
Rupture length	FFT : (mm), MEM : 18.4 (mm)				

* b) Slit model specimen * c) Moving dislocation model

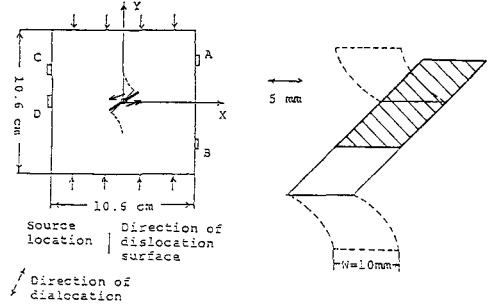


図-2 アクリライト供試体での波形解析結果

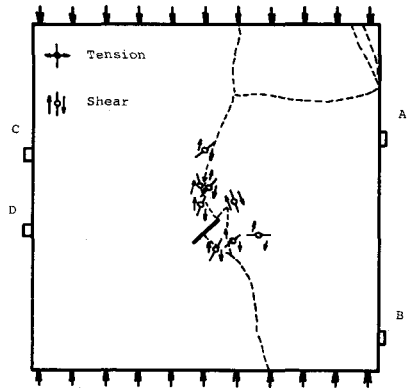


図-3 モルタル供試体での波形解析結果 $2500 \sim 3000 \text{ m/sec}$ と推定され、本供試体の横波速度約 2600 m/sec と対応している。しかしながら、破壊長さについては、破壊初期と後期とであまり違いが見られず、moving理論、波形解析手法の適用に課題が残された。

参考文献

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