

京都大学大学院 学生員 廣瀬 丈一
 京都大学工学部 正 員 丹羽 義次
 同 正 員 大津 政康

1. はじめに

アコースティック・エミッション(AE)とは、材料が破壊する際に系内から発生する弾性波動の放射の総称である。AE現象は材料や構造物の変形、破壊過程の時々刻々に対応した多くの情報を内蔵しており、その諸特性を解明することにより多方面に応用されることが期待されている。本報告は、AEの発生機構の解明を目的として、まず、(i)擬似AE発生源からの波動、さらに、(ii)割裂引張破壊源からのAE波動について、それぞれ実験、及びそのシミュレーションによる数値計算を行ない、両者を比較し、考察を加えたものである。

2. 実験概要及び解析手法

本実験で使用したAE計測装置のブロックダイアグラムをFig. 1に示す。供試体表面に密着したAE変換子(9055)によりAEを検出し、周波数帯10kHz~300kHzで60dB増幅し、ウェーブメモリーによりサンプリング間隔50nanoSECで記憶させ、デジタルカセットに収録した。

また、供試体としては、モルタル及びコンクリートにより、30cm×30cm×6cmなるものを作製し、供試体側面、あるいは裏面での反射波やその他の攪乱の生じる以前の過渡的段階においては、これを半無限弾性体とみなすことができるものと考えた。

(i) 擬似AE発生源からの波動について

半無限弾性体の表面、及び内部の一点に力が作用した場合の擾乱について検討した。これはLambの問題としてよく知られているが、実験としては、Fig. 2に示すように、供試体の上面及び下面の中心に擬似AE発生源としてAE変換子(9055)を設置し、これに方形波パルスを入力することにより外力を生じさせ、その結果生じる波動を、原点から距離Rだけ離れた点に設置したAE変換子(9055)により検出した。

解析においては、供試体の上面及び下面の各中心点が、それぞれ半無限弾性体の表面上の点(0,0,0)、及び内部の点(0,0,6)に対応しているものと考え、各点において x_2 方向の力が作用したときの表面での x_3 方向の運動を求めた。このときの表面での x_3 方向の変位 u_3 は次式のように表わされる。

$$u_3(x_1, x_2, t) = \int_{-\infty}^t \frac{df}{dt}(x_3, \tau) \cdot G_{33}^H(x_1, x_2, t - \tau | x_3) d\tau \quad (1)$$

ここで、 $G_{33}^H(x_1, x_2, t | x_3)$ は、時刻 $t=0$ において点(0,0,0)にステップ関数として作用する力に対する時刻 t 、点 $(x_1, x_2, 0)$ におけるLambの解を表わしており、 $x_3=0$ 、及び $x_3=6$ のそれぞれに対応して、H.M. Mooney及びL.R. Johnsonに従って求めた。また、実験においてはAE変換子に方形波パルスを入力したが、その時発生する外力 f と計測システムの応答が未知であるため、二つのAE変換子を貼り合せ、一方から方形波パルスを入力し、他方から検出される波形を微分可能な滑らかな関数で近似し、数値解析を行なうことにした。その結果、表面パルスによる表面の運動の場合は、擬似AE発生源において立ち上がりが10 μ secの滑らかな関数により変位が与えられると考え、その変位を二回微分したものが外力 f に等しいとして、式(1)に従って計算すればよく、また、内部パルスによる表面の運動は、Johnsonに従って求めたことより、表面パルスの場合と同様な計算を行なった後、さらに一回微分

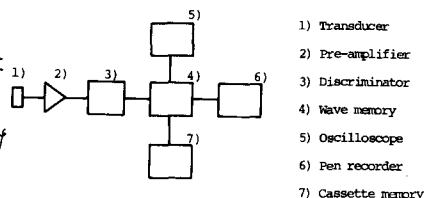


Fig. 1 AE計測装置のブロックダイアグラム

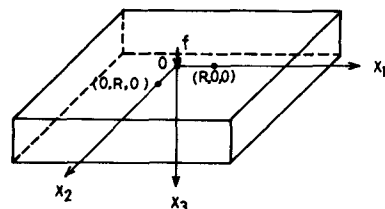


Fig. 2 実験装置

すればよいことがわかった。

(ii) 割裂引張破壊源からのAE波動について

実験は、Fig. 3 に示すように、供試体の上下面から縦荷重を載荷して、割裂引張破壊より発生したAEを点Eに設置したAE変換子(905S)により検出した。また、同時に点A～Dに設置した四個のAE変換子(900BA)によりAEを検出し、それらの縦波初動の到達時間差を用いて破壊源探査を行ない、その位置を決定した。

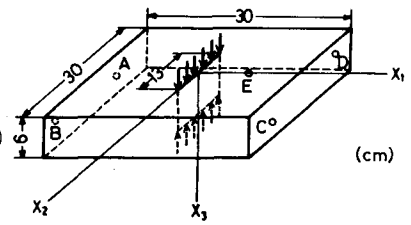


Fig. 3 実験装置

解析に際しては、求められた破壊源で引張りクラックの開口転位が生じたとしてシミュレートした。この場合、半無限弾性体中の x_2 軸と x_3 軸を含む断層面上の中心点において、 x_1 方向の転位 u_1 が生じたとすることができ、Knopoff de Hoopの表示定理により、 (X, t) における x_3 方向の変位 u_3 は次のように表される。

$$u_3(X, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \{ \lambda \cdot n_i(X') \cdot [u_1(X', t)] \cdot G_{31i}(X, t; X', t) + 2 \cdot \mu \cdot n_i(X') \cdot [u_1(X', t)] \cdot G_{31i}'(X, t; X', t) \} dt' \quad (2)$$

ただし、 $n_i(X')$ は断層面上の点 X' における単位法線ベクトル n の x_i 方向成分、 λ, μ はLaméの定数を表す。また、 $G_{ij}(X, t; X', t')$ は、半無限弾性体中の (X, t) において j 方向のpoint forceが作用した時の (X, t) における i 方向の変位 G_{ij} をsource座標の x 方向について空間微分したものである。また、転位の立ち上がり時間は各破壊源により異なっていると仮定して、実験結果と最も良く一致するように定めた。ただし、前述した理由から、実験結果との比較に際しては、 u_3 を時間に関して三回微分したものをを用いた。

3. 結果及び考察

Fig. 4 は、モルタル供試体を用いた時の $F_r=30\text{kHz}$ の表面パルスによるもので、 $R=5\text{cm}$ における波形である。また、Fig. 5 は、モルタル供試体を用いた時の $F_r=30\text{kHz}$ の内部パルスによるもので、 $R=2.5\text{cm}$ における波形である。ただし、(a)は実験波形、(b)は数値計算による波形を示す。いずれも、実験波形と解析波形がよく一致していることがわかる。Fig. 6 は、コンクリート供試体の割裂引張破壊より発生した(a)AE波形と、それを転位より発生した弾性波動として得られた(b)解析波形を示す。両者を比較すると、供試体を半無限弾性体とみなすことができる初期の過渡的段階においてはよく一致していることがわかる。また、破壊源における転位の立ち上がり時間は、およそ $10 \sim 15 \mu\text{sec}$ の範囲にあることが推定された。

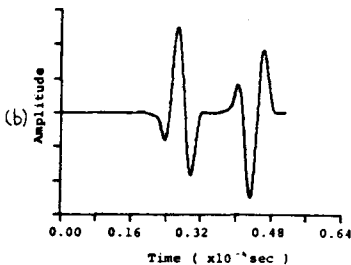
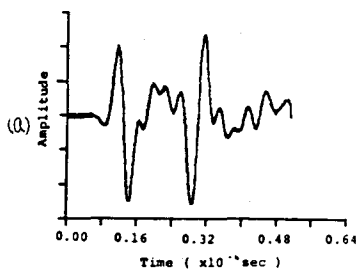


Fig. 4 (a) 実験波形と(b)解析波形

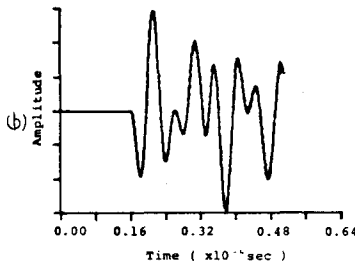
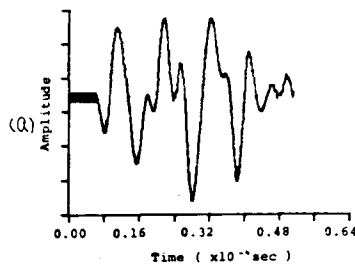


Fig. 5 (a) 実験波形と(b)解析波形

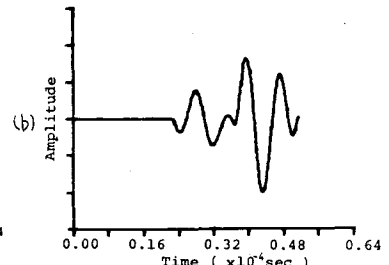
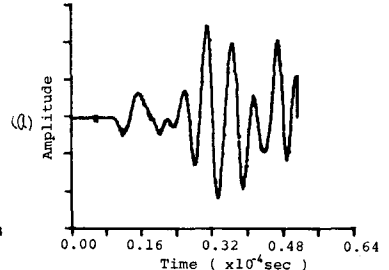


Fig. 6 (a) 実験波形と(b)解析波形