

AE波動のシミュレーション解析と発生機構の考察

京都大学工学部 正員 丹羽義次

京都大学工学部 正員 大津政康

京 都 府 正員 塩見寛之

1. まえがき

材料が破壊する瞬間には、その破壊源において弾性エネルギーが解放されるため、過渡的な応力波が発生、伝播する。この現象はアコースティック・エミッション(AE)とよばれ、AE波には材料の破壊に伴う構造的変化に関する多くの情報が含まれている。従来の研究では、AEより検出される諸パラメータと材料の破壊過程、破壊機構の関係を明らかにすることに努力がはらわれており、AEの発生機構の解明についても実験的、経験的な方法により行なわれてきた。本研究は、これらの手法によらず、AEを弾性体内部における転位により発生する弾性波動としてシミュレートし、その結果得られた波形を、実験によって検出したAE波形と比較することによって、AEの発生機構を解明することを目的としている。さらに、検出波形に逆合積の操作を施すことによって、AE発生源における現象を推定し、考察を加えたものである。

2. 解析方法および実験概要

半無限弾性体内部の点 Σ における転位(応力および変位の不連続)現象によって生じる点 Σ での m 方向の変位は、Knopoff-de Hoopの表示定理によって次のように与えられる。

$$u_m(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \{ G_{mi}(x, t-t'; \Sigma, 0) \cdot f_i(\Sigma, t') + T_{mi}(x, t-t'; \Sigma, 0) \cdot [u_i](\Sigma, t') \} dt' \quad (1)$$

ここで、 f_i は点 Σ での応力の不連続を集中力で置き換えたもの、 $[u_i]$ は点 Σ での変位の不連続量を意味し、 G_{mi} 、 T_{mi} はそれぞれに対応するグリーン関数である。 T_{mi} は G_{mi} の空間微分 $G_{mi,k}$ を用いて次のように表わされる。

$$T_{mi} = \lambda G_{mk,i'} L_i + \mu (G_{mi,j'} + G_{mj,i'}) L_j \quad (2)$$

この式で、 λ 、 μ はLaméの定数、 L_i は転位面 Σ の外向き単位法線である。ただし本研究では、面 Σ が点 Σ で代表できるほど微小であるとする point dislocation の考え方を採用している。

式(1)の右辺第一項は、Fig.1のようなLambの問題に対応し、第二項はFig.2のような、点 Σ で変位の不連続が生じた場合に相当する。解析にあたっては、 f_i は x_3 方向に作用し、転位は x_1 方向に引張りクラックが発生する dilatation 転位であるとし、各場合について点 $\Sigma(x_1, x_2, 0)$ での x_3 方向の変位を求めた。

次に、それぞれに対応する実験を行なって、検出されたAE波形とシミュレーション波形とを比較した。まず、Lambの問題に対応する実験として $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 6\text{cm}$ のモルタ

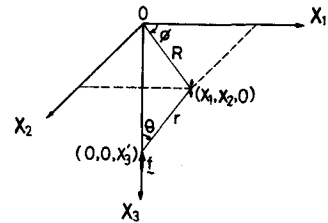


Fig. 1

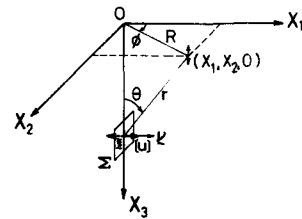


Fig. 2

ルおよびコンクリートの供試体の上面および下面から、AE変換子によって $\dot{z}$ を入力し、発生する波動を供試体上面に設置した変換子によって検出した。AE計測システムおよび供試体の配合等の詳細は別報を参照されたい。数値解析に際しては、入力関数として立ち上がり時間 T_r が $10\mu\text{sec}$ で、時間に関する一階微分が

$$\frac{df}{dt} = \begin{cases} A \sin^4 \frac{\pi}{T_r} t & 0 \leq t \leq T_r \\ 0 & t > T_r \end{cases} \quad (3)$$

で表わされる関数を仮定し、式(1)により $\ddot{u}_0$ を求めてその加速度 $\ddot{u}_0$ を計算した。

次に、同一供試体の中央部に長さ 13cm の線荷重を作用させて引張り破壊を生じさせ、発生するAE波動を検出した。この場合、AEの発生原因としては変位の不連続が支配的であると考えられる。そこで、転位の時間関数 $[u](t)$ を、前述の $f(t)$ と同様の形で仮定し、式(1)によって数値解析を行なって加速度 $\ddot{u}_0$ を求めた。さらに、それぞれの場合について検出波形の逆合積を計算して、入力関数 $f(t)$ および転位の時間関数 $[u](t)$ を決定した。

3. 結果の検討

Lambの問題で、解析によって求めた $\ddot{u}_0$ の波形と実験で検出したAE波形とは、初動の部分においてよく一致した。これにより、AE変換子は x_3 方向の加速度を検出していることがわかった。そして、逆合積によって $f(t)$ を求めたところ、仮定した $f(t)$ とほぼ一致することが確かめられた。次に、dilatation転位が発生した場合の $\ddot{u}_0$ の解析波形(Fig.3)と、引張り破壊試験を行なって検出されたAE波形(Fig.4)の類似性から、 $[u](t)$ の仮定がほぼ正しいことがわかった。さらに、検出波形の逆合積によって得られた $[u](t)$ の波形(Fig.5)から、 $[u](t)$ は立ち上がり時間が約 $10\mu\text{sec}$ のなめらかな関数であることが確かめられた。なお、その他の結果および詳細は当日発表する。

4. 参考文献

- 1) Johnson, L.R.; Green's function for Lamb's problem, Geophys. J. R. astr. Soc., vol. 37, pp. 99-131. (1974)

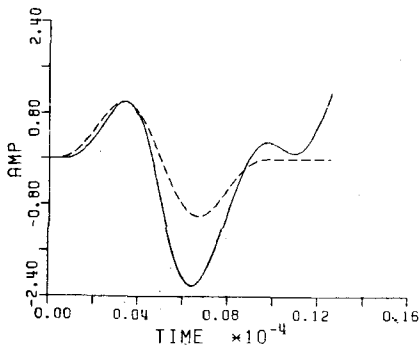


Fig. 5

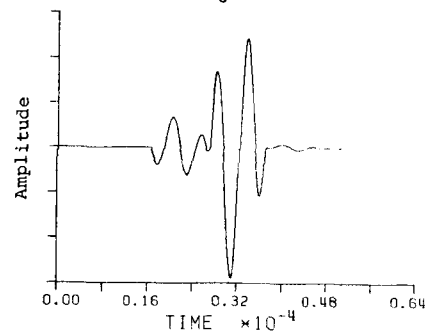


Fig. 3

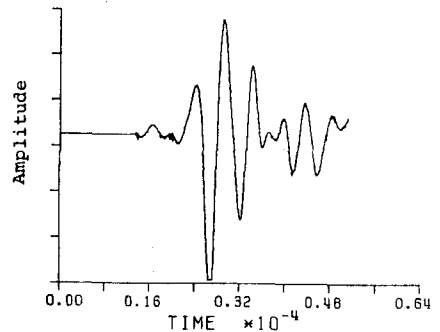


Fig. 4