

転位モデルを用いたAE波動のシミュレーション解析

京都大学工学部 正 員 丹羽義次
同 正 員 大津政康
京都大学大学院 学生員 廣瀬壮一

1. まえがき

材料が破壊する際には、それがいかなる微小なものであっても、AE波動と呼ばれる弾性波が放射される。このような現象をAE現象というが、一個のAE現象に対しては必ず一個の破壊源が対応しており、その発生機構として様々なものが考えられる。そこで、本報告においては、AE波動の発生機構の解明を目的として、岩質材料を対象とし、その破壊実験によりAE波動を検出し、一方において、それに対応する発生源をモデル化して、数値解析を行ない、両者を比較してシミュレーション解析の妥当性を確かめた。

2. 実験概要と解析手法

実験は、割裂による引張破壊を発生させるために Fig. 1 に示すような装置を用いた。図に示すように、30cm×30cm×6cm のコンクリート及びモルタル供試体の上下面から線荷重を載荷して、 X_2 軸を含む垂直面において、引張破壊を生じさせ、点Eに設置したトランスデューサー(905S)によりAE波動を検出した。また、同時に供試体側面の点A, B, C, Dに接着した四個のトランスデューサーによりAE波動を検出し、その縦波初動の到達時間差を用いて破壊源探索を行ない、その位置を決定した。

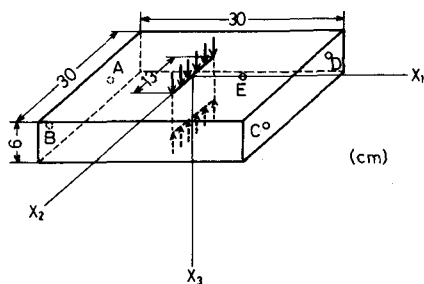


Fig. 1 実験装置

解析においては、AE発生源をモデル化するにあたり、地震動のシミュレーション解析によく用いられる転位モデルを用いた。これは、半無限弾性体中の断層面上において変位の不連続、すなわち転位が生じたとするもので、その時のある点での変位を求める式として、次式に示す Knopoff de Hoop の表示定理がある。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} dt' \left\{ \lambda n_k(\mathbf{x}') [u_k](\mathbf{x}', t') G_{ipp}(\mathbf{x}, t; \mathbf{x}', t') + \mu n_k(\mathbf{x}') [u_j](\mathbf{x}', t') \{ G_{ij,k}(\mathbf{x}, t; \mathbf{x}', t') + G_{ik,j}(\mathbf{x}, t; \mathbf{x}', t') \} \right\} d\mathbf{x}' \quad (1)$$

ただし、 $u_i(\mathbf{x}, t)$ は点 $\mathbf{x}$ 、時間 t における変位 u の i 方向成分、 Σ は弾性体内部における断層面、 $n_k(\mathbf{x})$ は断層面 Σ 上の点 $\mathbf{x}'$ における単位法線ベクトル $\mathbf{n}$ の k 方向成分、 $[u_i](\mathbf{x}', t')$ は点 $\mathbf{x}'$ 、時間 t' における転位 $[u]$ の i 方向成分、 λ, μ は Lamé の定数を表わす。また、 $G_{ij,k}(\mathbf{x}, t; \mathbf{x}', t')$ は点 $\mathbf{x}$ 、時間 t において j 方向の瞬時の力が作用したときの点 $\mathbf{x}$ 、時間 t における i 方向の変位を表わす Green 関数 G_{ij} を source 座標の k 方向について空間微分したものである。 $G_{ij,k}$ は L. R. Johnson²⁾ に従い、数値計算を行なった。

さらに、 $[u_i](\mathbf{x}', t')$ がある source time function $f(\mathbf{x}', t')$ に従い、最終的に $S(\mathbf{x})$ の大きさになった

とすると $\{u_i\}$ は次のように表わされる。

$$\{u_i\}(x,t) = f(x,t) \cdot S(x) \cdot e_i(x,t) \quad (2)$$

ただし、 $e_i(x,t)$ は単位 slip ベクトル e の i 方向成分である。

さて、実験に対応する断層面として、Fig. 2 に示すような面 Σ を仮定し、その面上の中心点において、Fig. 3 に示すような転位が生いたとする point dislocation モデルを考えた。そして、自由表面における垂直変位 u_3 を求め、それを時間に関して三回微分したものと、実験結果を比較した。

また、ここでは、source time function $f(x,t)$ を Fig. 4 に示すような滑らかな関数であると仮定し、図中に示した rise time T_0 は、各破壊源により異なっていると仮定して、実験結果と解析解が最も良く一致するように定めた。

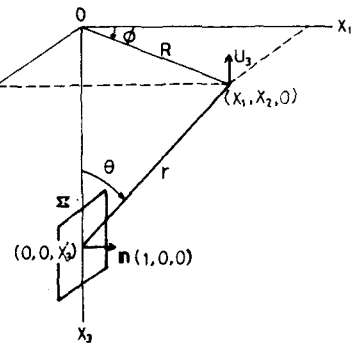


Fig. 2 断層面の模式図

3. 結果と考察

上記の手法により数値計算して求めた解析解の大部分は、波動が到達してから $10 \sim 20 \mu\text{sec}$ の初期の段階においては、実験により検出された AE 波形とよく一致しているがその後はあまり一致しないことがわかった。その一例を Fig. 5 に示す。(a) は実験結果、(b) は解析解である。この原因としては、

実験で用いた供試体を半無限弾性体とみなして Fig. 3 転位の模式図

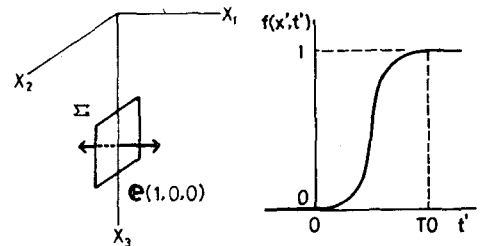


Fig. 4 source time function

実験で用いた供試体を半無限弾性体とみなして Fig. 3 転位の模式図

以上、本研究において、実験結果と解析解の両者にかなりの類似性がみられたことにより、転位モデルによる AE 波動のシミュレーション解析の妥当性が確かめられたといえよう。

4. 参考文献

- 1) Burridge, R. and L. Knopoff ; "Body Force Equivalents for Seismic Dislocations", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 54, No. 6, 1964, pp. 1875-1888
- 2) Johnson, L. R. ; "Green's Function for Lamb's Problem", Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 37, 1974, pp. 99-131

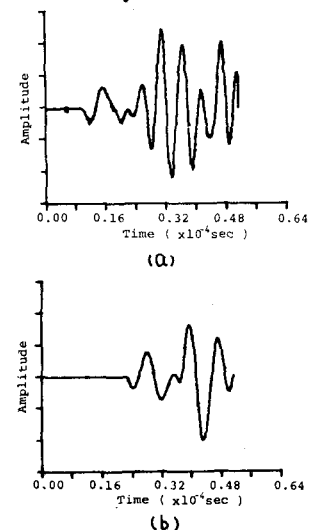


Fig. 5 (a) 実験波形と (b) 解析波形