

アコースティック・エミッション波動のシミュレーション

京都大学工学部 正 員 丹羽義次

同 正 員 大津政康

同 学生員 堀見寛之

1. まえがき

アコースティック・エミッション (AE) とは、固体材料の微小破壊に伴って発生する応力波の総称である。AE 現象は材料の変形、破壊過程等についての多くの情報を内蔵しており、この現象を分析することにより材料試験、非破壊検査など多方面へ応用することが期待されている。AE 現象は系内の破壊によって生じる波動現象であり、個々の AE 波動にはそれに対応した破壊源が存在する。そして、その破壊源ではさまざまな機構の破壊現象が生じていると考えられる。それゆえ、AE 波動をモデル化された破壊源からの弾性波動としてシミュレートすることも可能であろう。これは、AE 波動の発生機構の解明への手がかりとなると考えられる。本研究は、このような考えのもとに、AE 波動の発生機構の解明を目的として、AE 波動のシミュレーションを試みるものである。

2. 解析方法及び実験概要

まず、半無限弾性体の表面上、あるいは内部の一点に point force が作用した場合の、表面上の任意の一点の挙動を調べる問題、いわゆる Lamb の問題について検討した。これは、Navier の式

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = f(x,t) + (\lambda + \mu) \nabla (\nabla \cdot u(x,t)) + \mu \nabla^2 u(x,t)$$

を、半無限空間という境界条件のもとで解くことにはならない¹⁾。この問題は、一般的には Fig.1 のように表わされるが、今回の解析にあたっては、外力 f を x_3 方向のステップ関数とし、表面上の点 $(x_1, x_2, 0)$ の変位 u の x_3 方向の成分を求めた。この Lamb の問題に対する実験として、30cm X 30cm X 6cm のコンクリート及びモルタルの供試体の表面または裏面から、圧電素子に電気的なパルスを入力することによって外力を生じさせ、その結果生じる波動を、表面上に設置した加速度計と AE トランスデューサによって検出した。

さらに、上の解析結果をもとに、均一な弾性体内部でせん断による転位が生じた場合の解析を行なった。

時刻 t に点 x' に x_j 方向に point force が作用した結果生ずる、点 x の時刻 t における x_i 方向の変位を $g_{ij}(x,t; x',t')$ とすれば、転位が発生した場合の点 x の時刻 t における x_i 方向の変位は次式で表わされる²⁾。

$$u_i(x,t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{\Sigma} \mu n_k(x') [u_j(x',t')] (g_{ij,k} + g_{ik,j}) dx' dt'$$

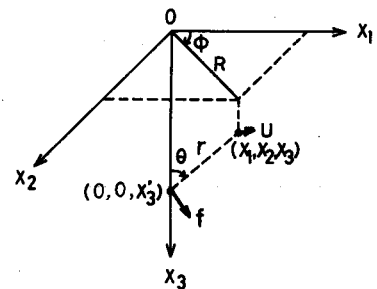


Fig. 1

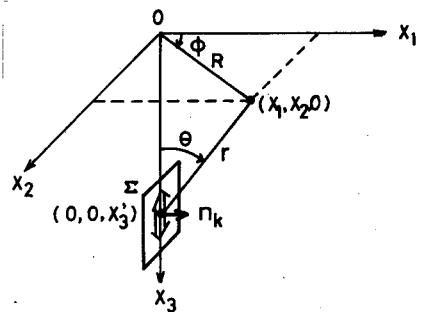


Fig. 2

ただし, $[u_j]$ は転位が生じた面 Σ 上で指定される変位量, n_k は面 Σ に対する単位法線を表わす。また, $g_{ij,k}$ は, せん断破壊が生じた点の座標に関する偏微分であって

$$g_{ij,k}(x,t;x',t') = \frac{\partial}{\partial x_k} g_{ij}(x_1, x_2, x_3, t; x'_1, x'_2, x'_3, t')$$

と示される。

転位のモデル化の方法として, 今回は, 面 Σ 上の一点で時間の関数として転位が生ずるとしてモデル化する point dislocation に対して解析を行なった。また, Fig.2 に示すように, x_3 方向に転位が生じたものとして点 $(x_1, x_2, 0)$ の x_3 方向の変位を計算した。

次に, 押し抜きせん断試験を行なって, 発生する AE 波動を加速度計及び AE トランスデューサによって検出した。この実験では, 先と同じ供試体の中央部の 5cm 平方の範囲に等分布荷重を作用させて破壊させた。同時に, 供試体側面にトランスデューサを接合してその各点への AE 波動の到達時間差を測定して, 破壊源探査を行なった。

3. 結果の検討

Lamb の問題に対する解析解と, 実験によって観測した波形を比較すると, かなりの類似性が見られた。特に, Fig.3 に示すように外力が弾性体内部に作用した場合の AE 波形 (a) と計算により求めた加速度の時間微分の波形 (b) とが非常によく似ていることがわかる。

このように Lamb の問題によって, 観測波形と解析波形の類似性を確かめた後, 断層モデル論による AE 波形のシミュレーションを試みたところ, 実験によって, 数例ではあるがシミュレーション波形に類似した波形を観測することができた。Fig.4 にその一例を示す。ただし, (a) が観測された AE 波形, (b) が解析による加速度の微分である。この結果, 上述の方法によって AE 発生機構の解明を行なう可能性が示された。

しかし, 上述のせん断破壊試験によって観測した波形の多くは, シミュレーション波形とかなり異なっていた。これは, 実験の方法に問題があって, せん断ではなく曲げによって破壊したものが大半であったためであると思われる。なお, その他の

結果, 詳細については当日発表を行なう。

4. 参考文献

- 1) Mooney, H.M.; Some Numerical Solutions for Lamb's Problem, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 64, No. 2, 1974, pp. 473-491.
- 2) Johnson, L.R.; Green's Function for Lamb's problem, Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 37, 1974, pp. 99-131.

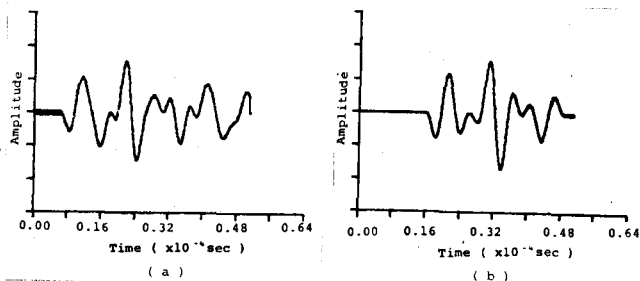


Fig. 3

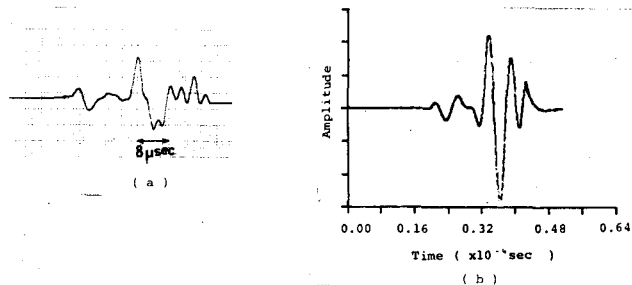


Fig. 4