

阪神高速道路公団 正員 中川 喜仁
徳島大学工学部 正員 藤井 清司
徳島大学大学院 学生員 後藤 義文

1. まえがき アコースティックエミッション(以下 AE と略す)は、その応用面での有用性は広く認められているところであるが、基礎的な分野に関しては未知の部分が多いのが現状である。そこで、本研究では AE の発生機構を地震の発震機構と等価なものと考え、地震の発震機構を表現するものとして用いられている Haskell モデルを用いて得られたスペクトルと実験により得られたスペクトルを比較検討し、それらを分類することにより試験体の破壊様式の判別を行った。さらに、コーナー周波数を用いて初期発生き裂の推定を試みたので報告する。

2. 解析方法

地震学で用いられている断層 ε_2 をき裂と置きかえることにより、Haskell モデルを試験体に適用する。図 1 に示されているように長さ L 、幅 W の矩形断層を用い、破壊様式を引張型と縦せん断型とし、それぞれにおいて破壊進行方向をユニラテラル(一方向)とバイラテラル(二方向)を考え、各々について Haskell の変位式を示したのが式 (1) ~ (4) である。式中で、 L 、 W 、 T 、 v 、 D_0 は断層パラメータと呼ばれているものでそれぞれ断層長さ、断層幅、生起時間、破壊速度、最終ずれ量を表わしており、今回の解析では、 W は L/W の比により決定し T は Savage の式を用いて W と v で表わし、 v はガラス、岩石等の多くの実験結果によりせん断速度との関係が求められているので、実験によって求められる。したがって、 D_0 だけが未知量として残るため式 (1) ~ (4) の Haskell 解を D_0 で除し、本研究で用いているような圧電型のトランスデューサーは変位加速度を検出しているとの報告より式 (1) ~ (4) を時間微分した変位加速度スペクトルを P 波成分について求める。各破壊様式における解析結果を示したのが図 2 である。

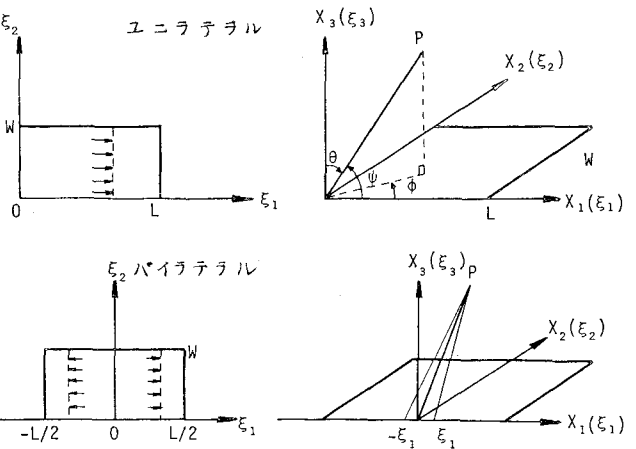


図 1 破壊進行方向(ユニラテラル、バイラテラル)

引張型ユニラテラルの場合

$$\hat{u}_i(x, \omega) = \frac{1}{4\pi f \alpha r} \left\{ 1 - 2(\beta/\alpha)^2 + 2(\beta/\alpha)^2 \right\} D_0 W L e^{-i\omega(X_\alpha + T/\alpha)} \times \frac{\sin X_\alpha}{X_\alpha} \frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \quad (1)$$

引張型バイラテラルの場合

$$\hat{u}_i(x, \omega) = \frac{1}{4\pi f \alpha r} \left\{ 1 - 2(\beta/\alpha)^2 + 2(\beta/\alpha)^2 \right\} D_0 W L e^{-i\omega(X_\alpha + T/\alpha)} \times F(\omega, T_0, T_\infty) \frac{\sin X_\alpha}{X_\alpha} \quad (2)$$

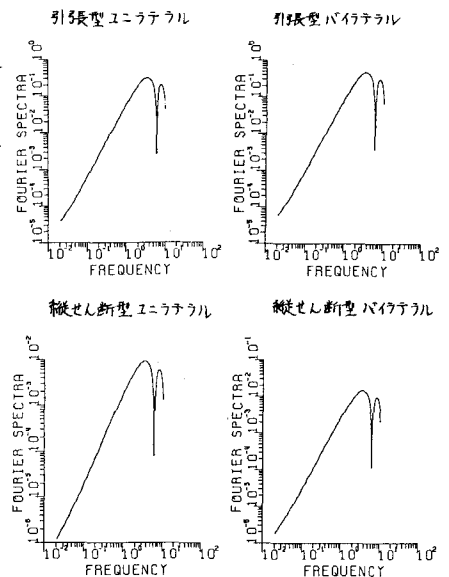


図 2 Haskell モデルより得られたスペクトル

縦せん断型ユニラテラルの場合

$$|\hat{u}_i(x, \omega)|_a = \frac{1}{4\pi p \alpha r} 2(\beta/\alpha)^2 M_i P_i P_3 D_o L W e^{-i\omega(X_a + r/\alpha)} \frac{\sin \omega X_a}{X_a} \frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \quad (3)$$

縦せん断型バイラテラルの場合

$$|\hat{u}_i(x, \omega)|_a = \frac{1}{4\pi p \alpha r} 2(\beta/\alpha)^2 M_i P_i P_3 D_o L W e^{-i\omega(X_a + r/\alpha)} F(\omega, \tau_o, \tau_\pi) \frac{\sin \omega X_a}{X_a} \quad (4)$$

ここで、 α はP波速度、 β はS波速度、 $M_i = |x_i - s_i|/r$ 、 $L = L_o + L_\pi$ 、 x_i は破壊発生源点、 s_i は観測点、 $X_a = \omega L (\phi/\nu - \omega\theta)/2\alpha$ 、 $\tau_o = L_o/\nu$ 、 $\tau_\pi = L_\pi/\nu$ 、 $F(\omega, \tau_o, \tau_\pi) = \left\{ \left(L_o \sin \frac{\omega \tau_o}{2} / \frac{\omega \tau_o}{2} \right)^2 + \left(L_\pi \sin \frac{\omega \tau_\pi}{2} / \frac{\omega \tau_\pi}{2} \right)^2 + 2 L_o L_\pi \sin \frac{\omega \tau_o}{2} / \frac{\omega \tau_o}{2} \sin \frac{\omega \tau_\pi}{2} / \frac{\omega \tau_\pi}{2} \cos \left[\omega (\tau_o - \tau_\pi) / 2 \right] \right\}^{1/2} \times 1/(L_o + L_\pi)$ である。

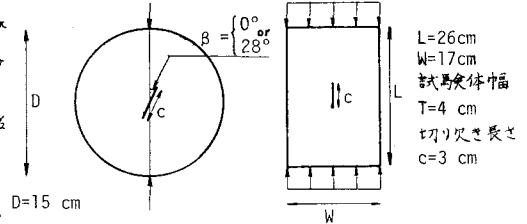


図3 実験に使用した試験体

3. 実験方法 本研究で使用した試験体は、重量配合比が水：セメント：砂＝1：2：6のセメントモルタルで作製し

図3に示してあるように試験体中央に、長さ3 cmの潜在切り欠きを入れた円板2種類と長方形板を使用し載荷試験を行う。載荷初期に検出されたA/E信号も1μsecの時間間隔でフロッピーディスクにデジタル記録する。記録されたデータはその初動部分の30μsecまで用いてMEM法

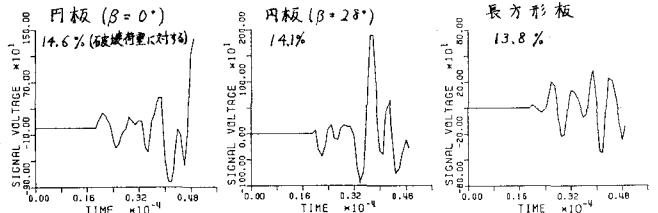


図4 載荷初期に検出されたA/E信号の初動部分の1例

によりスペクトル解析を行う。今回使用した試験体の中で長方形板と円板0°は引張型の破壊様式を満足し、円板28°は縦せん断型の破壊様式を満足している。

4. 結果と考察 図2にHaskellモデル理論解より得られたスペクトルを各破壊様式ごとに示してあるが、破壊様式ならびにその進行方向の相違による影響は現われていない。これは、破壊速度をせん断波速度との関係より求めた値をそれぞれの破壊様式に用いているためと考えられる。また、破壊の進行方向については今回の解析ではトランスデューサの配置上その進行方向と垂直な方向の成分を求めたため、それによる顕著な差は現われないと思われる。図4、図5は実験で得られた結果の1例であるがそれぞれの試験体(破壊様式)による時刻歴とスペクトルを示している。これを見ると時刻歴、スペクトルともよく似た傾向を示しているが、時刻歴では小振幅の持続時間、スペクトルでは2つのピーク間の平坦な部分に差がみられる。長方形板と円板とを比較すると時刻歴では小振幅部分の存在スペクトルでは低周波側のピーク以降の挙動、その大きさに差がみられこれは放射されるエネルギーの大きさに依存していると考えられる。初期発生き裂の推定結果については当日発表する。

5. あとがき A/E発生機構としてHaskellモデルは、図2と図5のスペクトルの傾向がよく似ているためその適用は可能であると思われる、スペクトルの分類により破壊様式の判別は可能である。

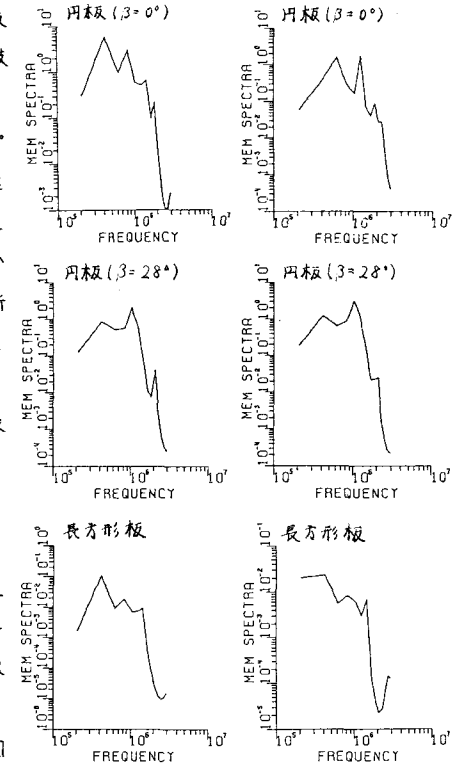


図5 載荷初期に検出されたA/E信号の初動部分のスペクトルの1例