

(Ⅲ-5) マクロクラックに近接したマイクロクラックの発生・合体による アコースティック・エミッションに関する研究

金沢大学自然科学研究科
山梨大学工学部

○学生会員 池田 直樹
正会員 平島 健一

1. 目的

材料の荷重に対する応答のひとつとして AE と呼ばれる現象がある。Macrocrack の近傍に Microcrack が存在するとき大きな Acoustic Emission (AE) を引き起こすことが知られている。

本研究では、macrocrack を含む薄い平板に二つの crack が一直線上に並んでいる場合の、いろいろの発生・合体による AE を幾つかの近似を用いて扱う。また、すべての計算は平面応力状態として行った。応力解放過程における解析には、グリーン関数による方法を用いた。

2. 方法

問題を 2 次元のモード I 変形、すなわち応力が x_2 方向に作用して crack が x_1 上に存在する場合に限定する。ここでは、crack 開口によって体積増長が生じ、それが AE として伝達されると考える。このとき無限に広がった弾性媒体の変位 $u_k(x, t)$ は、境界面を横切り、その法線 $n_j(\xi)$ 方向の転位 $\Delta u_i(\xi, \hat{t})$ を用いて次のように表される。

$$u_k(x, t) = -\int_{\tau}^t \tau^{R_{22,k}}(x - \xi, t - \hat{t}) \Delta u_i(\xi, \hat{t}) n_j(\xi) dA(\xi) d\hat{t} \quad (1)$$

ここで τ の上付き R は、Fig. 1. のような Ramp 型の時間依存性があることを示している。いくつかの手続きを行うと τ が以下の形に定まる。

$$\begin{aligned} \tau^{R_{22,1}} &= \frac{A_0 x}{C_L r^4} \operatorname{Re} \left[\left\{ -\frac{1}{3} \left(1 - \frac{4y^2}{r^2} \right) (\tau_L^2 - r^2)^{3/2} \right. \right. \\ &\quad + \left. \left(\frac{\lambda}{2G} r^2 + y^2 \right) (\tau_L^2 - r^2)^{1/2} \right\} \\ &\quad \left. - \kappa^3 \left\{ -\frac{1}{3} \left(1 - \frac{4y^2}{r^2} \right) (\tau_L^2 - r^2)^{3/2} + y^2 (\tau_L^2 - r^2)^{1/2} \right\} \right] \quad (2) \\ \tau^{R_{22,2}} &= \frac{A_0 y}{C_L r^4} \operatorname{Re} \left[\left\{ \frac{1}{3} \left(1 - \frac{4x^2}{r^2} \right) (\tau_L^2 - r^2)^{3/2} \right. \right. \\ &\quad + \left. \left(\frac{\lambda}{2G} r^2 + x^2 \right) (\tau_L^2 - r^2)^{1/2} \right\} \\ &\quad \left. - \kappa^3 \left\{ \frac{1}{3} \left(1 - \frac{4x^2}{r^2} \right) (\tau_L^2 - r^2)^{3/2} + x^2 (\tau_L^2 - r^2)^{1/2} \right\} \right] \end{aligned}$$

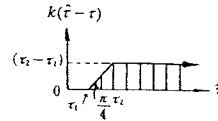


Fig. 1. Combined Ramp function.

ここに、

$$A_0 = 1/\pi \kappa^2, \kappa = C_L/C_R, \tau_L = C_L(t - \tau) = C_T(t - \tau) \quad (3)$$

$$r = \sqrt{(x_1 - \xi_1)^2 + x_2^2}$$

上式中の C_L および C_T はそれぞれ縦波および横波の速度である。

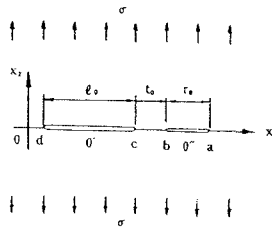


Fig. 2. Two collinear cracks subjected to uniform stress.

式(2)は数値的に取り扱うことができる。すなわち式(1)は数値的に現象を把握する上で大変都合のよい形をしている。

前述の仮定に基づく crack の運動に伴って発生される波動を規定するために以下に述べるモデルを設定する(Fig. 3.)。ここに crack の運動に起因する波の速さを v_1 、荷重に起因する波の速さを v_0 とおく、Poisson 比 0.29 の媒体を伝播する横波の速度を C_T とおく、以下の計算では v_0, v_1 をともに Rayleigh 波の速度とした。すなわち、 $v_0 = v_1 = 0.926 C_T$ と仮定する。さらに、crack の発生・進展・合体に関して以下のような仮定を設定して取り扱うものとする。すなわち、まず最初に x_1 軸にそって macrocrack が存在し、この crack には大きさ σ の一軸性引張応力が加わっている。荷重による速度 v_0 の信号により時間間隔 $r_0/2v_0$ の間に、長さ r_0 、体積 V_0^R の microcrack が生成される。この microcrack は時間に関する Ramp 関数の一次結合によってその成長が記述されるものとする。その microcrack の生成に伴い速度 v_1 の信号が、microcrack の中心 o から macrocrack の中心 o' へと放射される。その信号を受けて時間間隔 $l_0/2v_1$ の間に macrocrack の体積が $(V^L - V_0^L)$ まで

キーワード：アコースティック・エミッション、マクロクラック、マイクロクラック

連絡先：山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部土木環境工学科平島研究室

変化する。この変化は時間に関する Ramp 関数の一次結合によって表現されるものとする。続いて、macrocrack の変化に伴い速度 v_1 の信号が macrocrack の中心 o' から microcrack の中心 o へと放射される。さらにその信号を受けて時間間隔 $t_0/2v_1$ の間に、microcrack の体積が $(V^R - V_0^R)$ まで変化する。その後、macro-, micro- の両 crack が合体して一つの大きな crack になる。

3. 結果と考察

一直線上に並んでいる二つの crack が合体する過程での計算結果を以下に示す (Fig.4)。この場合には、長さもしくは時間を表す parameter によって変形または破壊過程、すなわち、二つの crack の合体が表現される。図は parameter を t_0/l_0 , t_0/v_1 として

大きな crack の変形に伴う変位を図示したものである。graph の peak は縦波や横波の伝達に対応して現れたものである。Fig. 2. の一番下の graph、一つだけ孤立して crack が存在した場合と比べて合体した場合がいかに大きな変位を生じているかに注目していただきたい。

4. 結論

種々の仮定の下になされた計算の結果より、AE の特徴は、その起源となる crack の運動に依存している。また、macrocrack と microcrack が平行して存在するような場合は macrocrack によって強く支配されると共に、両者の合体によってさらに大きな信号になると予測できる。

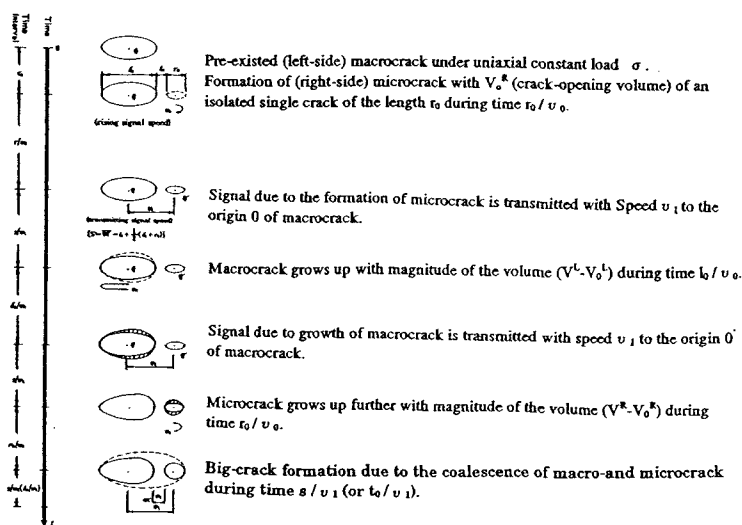


Fig.3. Schematic diagram of crack formation and growth.
荷重による crack の発生と進展の説明図

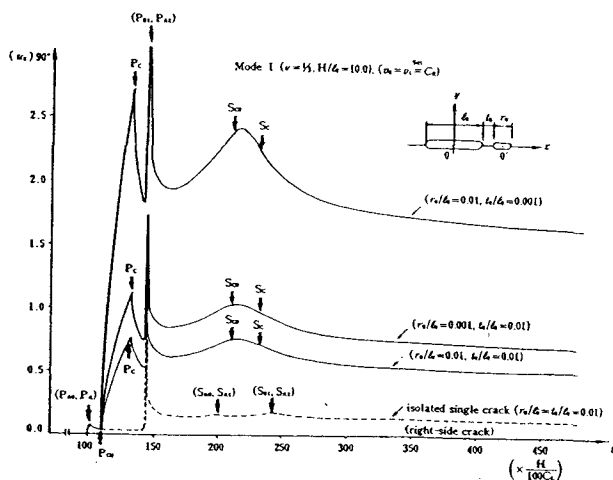


Fig.4. Vertical displacement along the x_2 -axis.
図中の右上図の crack 配置で、Ramp 型の時間依存性を持った荷重下での x_2 方向の変位の時間変化。一番下のグラフが isolated single crack の場合。