

京都大学工学部 ○金子 勝比古(学生会員)

佐野 修(")

柳谷 俊(正会員)

1. はじめに

材料が極限強度以下の応力のもとで、その材料内に微少破壊を生じることは古くから知られている。

近年、岩石内におけるこのような微少破壊により発生する破壊音を観測して岩石の変形や破壊の機構を考察しようとする試みが行われている⁽¹⁻⁴⁾。筆者らは、地震学において用いられている地震波の周波数特性と震源パラメータの関係を応用し、岩石内での微少破壊にともなって生じた波動を解明しようとした。

2. 測定系統とデータ処理

測定系統はFig.1のブロックダイアグラムに示す。センサーは縦共振周波数1.8 MHz、横共振周波数約150 KHzのタンデム型ジルコン酸鉛系磁気振動子であり、今回の測定に使用した周波数範囲(100 KHz~1.5 MHz)においては一定の感度をもった加速度型のものである。センサーの出力信号は機械的ノイズを除去するため100 KHzのロー・カット・フィルターを有している前置増幅器を通してトランジェントレコーダーにデジタル量として記憶させ、データ処理のためのコンピュータ入力として使用するテープ上に穿孔記録させた。使用したトランジェントレコーダーの性能から、得られた信号記録は200 n sec, 8 bitの分解能をもっている。測定した現象は、北木花崗岩(6×6×12 cm)について行ったクリープ試験時の1次および2次クリープにおいて発生したものである^(4),5)。

3. 測定結果

測定データの処理にあたって、データを補正する必要から、まず、試料の波動伝播特性とセンサーの共振の影響を調べた。無載荷状態で周波数100 KHz~1 MHzの範囲では、波動の減衰率に大きな変化は認められなかった。測定波は1次および2次クリープの状態におけるものであるから、破壊直前の伝播特性の変化⁽⁶⁾は考慮していない。センサーの共振については、とくに横共振周波数が測定された現象の周波数とほぼ同じであるため問題になる。そこで、測定波の周波数特性の時間的変動を調べるため測定波のRunning Spectrumを求めた(Fig.2)。Fig.2より、センサーの横共振はP波、S波に対して時間遅れが大きく、とくにP波に対しては影響がないと考えられる。また、センサーのS波に対する指向感度は不明であるが、P波に対しては感度一定であると考えられる。したがって、測定波のP波のみに着目して考察する。

Fig.3は測定波(A)とそのP波の周波数特性(b)の一例を示したものである。Fig.3より、周波数特性はある周波数から高周

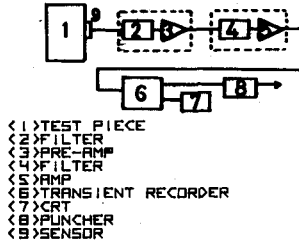


Fig.1 apparatus

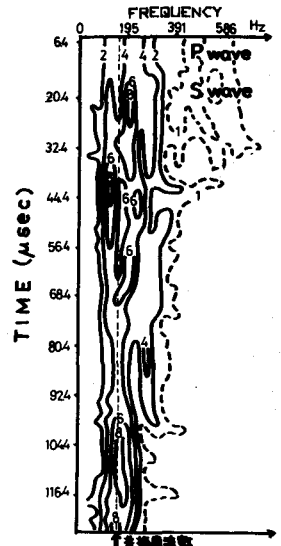


Fig.2 running spectrum

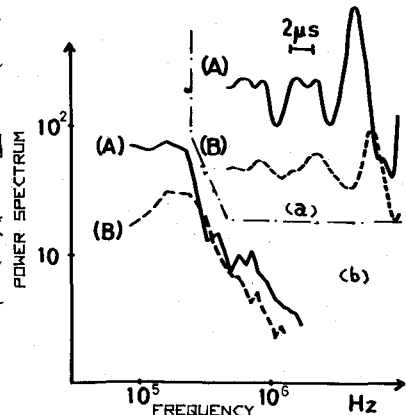


Fig.3 Waveforms observed in micro-fracturing studies and their Fourier Spectrums

液側へ急変し、高周波成分が現われにくくなる傾向が認められる。このような周波数特性曲線上に現われる屈曲点をCorner Frequency (f_c) と呼ぶ。今回測定された現象では f_c は $100 \sim 400 \text{ KHz}$ の範囲にあった。

4. 考察

岩石の微欠破壊はマイクロクラックの発生と伝播に起因すると考えられている。微欠破壊による破壊音とクラックの関係は地震における地震波と断層の関係に類似し、モデル的に考える場合、同一のも

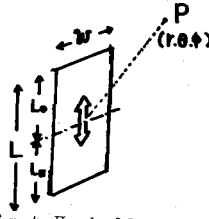


Fig. 4 Haskell Model

のと看する。そこで、地震学における震源モデルを拡張して微欠クラックモデルと考えた。ここでは、Haskell⁽⁸⁾により導かれたモデルをもとに考える^{(9), (9)}。Fig. 4 に示されているように、無限弾性体中の任意の面に時間関数 $G(t)$ の変位 D_0 が幅 w 、長さ L なる矩形をクラック速度 v で移動した場合に発生する破壊音の特性を解くことができる。(Fig. 4) その結果、観測点 P における P 波の変位 u は速度 v の周波数特性は (1) 式のようになる。

$$|u| = R(r, \theta, \phi) A(\mu, w, L, T, \tau_0) F(\tau_0, \tau_m, w) / (1 + \omega^2 T^2)^{1/2} \quad (1)$$

ただし、 $\tau_0 > 0$ のとき $G(t) = 1 - \exp(-t/\tau_0)$ 、 $t < 0$ の時 $G(t) = 0$ 。ここで u は点 P の変位、 R は放射係数、 μ は剛性率、 $\tau_0 = L_0/(v - \cos \theta)/C_L$ 、 $T = w/4.6v$ を表わす。(1) 式を用いて数値計算した結果は Fig. 5 のとおりである。微欠破壊現象が多発し、また、クラックは必ず停止することばかり考えると v は $10 \sim 100 \text{ m/s}$ のオーダーであると考えられている⁽¹⁰⁾。Fig. 5 (a) および (b) はクラックの面比 ($w:L$) がそれぞれ $1:1$ 、 $1:100$ の場合について示したものである。測定現象の特性 (Fig. 3) と Fig. 5 を比較すると、Fig. 3 は Fig. 5 (b) により良い近似を与えられている。このことから、 $v = 10 \text{ m/s}$ であれば面積 $2 \sim 6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ のクラック、また $v = 100 \text{ m/s}$ であれば面積 $2 \sim 6 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ のクラックとなり、面比が小さく非常に縦長のクラックであることが推察される。Sprunt⁽¹¹⁾ 等により報告されているクラックの形状と良く一致している。このように、クラックの規模は v により大きく影響を及ぼすため、クラック速度の厳密な測定が必要であるが、 $v = 10 \sim 100 \text{ m/s}$ と仮定して求めたクラックの大きさはオーダー的には妥当なものと思われる。

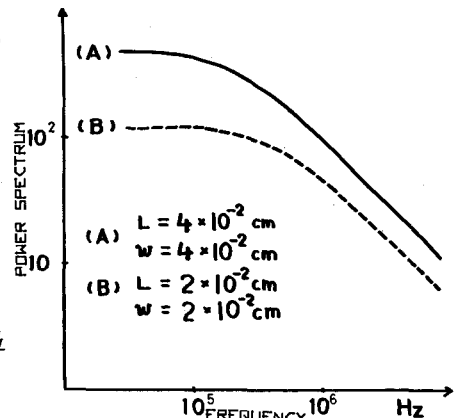


Fig. 5(a) $G_0 = 3500 \text{ M/S}$ $V = 10 \text{ M/S}$ $L = L_0 + L_1 + L_2 + L_3$ $T = w/4.6v$

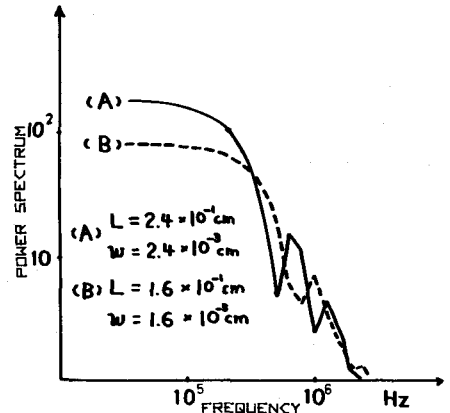


Fig. 5(b) $G_0 = 3500 \text{ M/S}$ $V = 10 \text{ M/S}$ $L = L_0 + L_1 + L_2 + L_3$ $T = w/4.6v$
The Fourier Spectra of the Haskell Model

参考文献

- 1) C.H. Scholz: J. Geophys. Res., vol. 73, No. 4, 1968, p. 1417~1432
- 2) K. Mogi: Bull. Earthq. Res. Inst., vol. 46, 1968, p. 1103~1125
- 3) 佐野, 柳谷, 中野, 井田, 伊藤: 昭和50年度日本鉱業会春季大会要旨集, 1974,
- 4) 柳谷, 佐野, 金子, 井田, 伊藤: 昭和50年度日本材料学会春季大会講演
- 5) Scholz: J. Geophys. Res., vol. 73, No. 10, 1968, p. 3295~3302
- 6) 勝山, 関, 佐々, 伊藤: 昭和47年度日本鉱業会春季大会要旨集, 1972
- 7) S. Hattori: J. Phys. Earth., 21, 1973, p. 61~76
- 8) N.A. Haskell: Bull. Seism. Soc. Am., vol. 54, No. 6, 1964, p. 1811~1841
- 9) J.C. Savage: J. Geophys. Res., vol. 77, No. 20, 1972, p. 3788~3796
- 10) J. Denoyer, H. Pallak: Seism. Soc. Am., vol. 53, No. 1, 1963, p. 87~93
- 11) E.S. Sprunt, W.F. Brace: Int. J. Rock Mech. Min. Sci., vol. 11, 1974, p. 139~146