

III-244 配向性クラックによる弾性率の異方性に関する研究

山口大学工学部	正会員	佐野 修
山口大学大学院		民部 雅史
徳山高専	正会員	工藤 洋三
山口大学工学部	正会員	水田 義明

1. はじめに

岩石や岩盤の力学的性質は、それぞれの構成要素である造岩鉱物や岩石だけでなく、内部に存在する不連続面、すなわち岩石においてはマイクロクラックの、岩盤においてはジョイントの影響を強く受ける。マイクロクラックおよびジョイントはこれと解析対象物との大きさの違いが重要となる場合には区別するが、弾性体内部に存在する不連続面としては同じものであり、いずれもクラックと表現できる。一般に材料内部にクラックが存在すると弾性率が低下する。さらにクラックの分布が位置に関してランダムであれば均質性が、方位に関してランダムであれば等方性が仮定できるが、そうでない場合にはそれぞれ不均質性あるいは異方性が生じる。岩盤内空洞周りの応力集中域で生じるクラックの評価に関する研究は以前から多数見ることができ、近年ではコンピュータ・トモグラフィーを利用した岩盤の不均質性の評価に関する試みがなされている。しかし一般の力学的挙動の解析は等方性仮定のもとで行われることが多い。これは上記のクラックの方位に関するランダム分布が仮定されていることを意味している。しかしクラックは力の場のなかで形成しており、方位分布がランダムであるよりむしろ配向性があると考えるほうが自然である。異方性体の弾性率は最大で21個存在するので、等方性体の2個と比較すると弾性率の決定は難しい。たがいに直交する対称面が2面存在する時には直交異方性が仮定できるので、対称軸を含む座標系に関する弾性率の数は9個となる。このような岩石の弾性率を決定した例はすでにみられる[佐野他, 1988; 河嶋, 1988]が、9つの未知の弾性率と対称軸を決定する必要があるので極めて煩雑な手続を要する。

これまでの多くの研究により例えば花崗岩の直交異方性の性質がほぼ直交する二つのクラック面によることが分ってきた。これらの実験結果は、等方性体に配向性クラック面が複数存在する時の弾性率を理論的に求める研究の基礎的仮定を裏付けているが、これまでの理論的研究ではクラックの平行配列あるいは軸対称配列のみが仮定されてきた。本研究の目的は配向性クラック面が複数存在する時の弾性率を理論的に求めることにある。

2. 配向性クラックが存在する物体内の弾性波速度について

クラックを含む弾性体の内部を伝播する弾性波の速度を求める理論は、クラックを含む媒体に生じるひずみエネルギーを求める方法と、散乱理論に基づいた方法とに大別される。基本的に前者は静的な問題であり、後者は動的な問題である。ただしMal and Knopoff [1967]は散乱の原因となるものよりはるかに長い長波領域では両者の結論が同じであることを示した。Garbin and Knopoff [1973; 1975]はクラックがランダム分布する媒体の弾性波速度を求めた。これらの論文では単一クラックの影響を積分することによりランダム分布するクラックの影響を求めている。Hudson [1981]は配向性クラック面が1面存在するため横等方性を示す媒体内を伝播する弾性波速度を議論しているが、彼の解は基本的にGarbin and Knopoffの解と同一である。ここでクラックを含む媒体内を伝播する平面波を下記のように仮定する。

$$u=b \exp(ik \cdot x) \quad (b, k: \text{定数})$$

3軸に垂直に配向するクラックにより生じるスティフネステンソルの変化量の第一次近似 C^1 は

$$C^1_{ipjq} = -C^0_{k3ip}C^0_{l3jq}\bar{U}_{kl}(ka) (\nu a^3)/C^0_{1212}$$

と表わされる[Hudson, 1981]。ただし δ はクロネッカーのデルタであり、 C^0 はクラックを含まない等方性体の弾性率であり、 ν は1より十分小さいクラック密度、 a は円形クラックの半径、 $\bar{U}_{kl}(ka)$ は

$$\bar{U}_{kl}(ka) = a^{-2} \oint \bar{U}_{kl}(\exp ik \cdot X; X) \exp(-ik \cdot X) dS_X$$

である。ただし積分はクラック表面に関して行なう。さらに弾性波速度 V は以下の式で与えられる。

$$V^2 = [C^0_{1212} + C^0_{1111}(\bar{b} \cdot \bar{k})^2 + C^1_{ipjq}\bar{b}_i\bar{b}_j\bar{k}_p\bar{k}_q]/\rho$$

ただし ρ は密度であり、 $\bar{b}$ および $\bar{k}$ はそれぞれ $b/|b|$ および $k/|k|$ である。クラック形状および境界条件を定めれば $\bar{U}_{kl}(ka)$ を求めることができる。

3. 実験結果との比較

花崗岩のように内部の空隙の大部分が扁平なクラックよりなる岩石からクラックを除いた時の弾性率は、静水圧試験により得られた弾性波速度／圧力曲線の直線部分を大気圧まで外挿して得られた速度 V_0 より求められる[民部, 1989]。顕微鏡観察によればrift面に平行なクラックが最も卓越しており、grain面に平行なクラックが2番目に多いことが認められている。しかしこれら2つの面に平行な速度は V_0 よりはるかに小さいのでランダムなクラックも考慮する必要がある。ここで va^3 をクラック密度パラメータとすると、未知数はrift面内、grain面内およびランダム分布、それぞれのクラック密度パラメータとなり、計3個となる。上記のクラックが存在しない等方性体の弾性率を含めても5個であり、直交異方性体の独立なパラメータ数9個と比較してはるかに少ない。本研究では3個のクラック密度パラメータをrift面およびgrain面に垂直に伝播する縦波、さらにこの2面に平行に伝播する縦波の速度から求めた。このようにして理論的に求められた弾性波速度と実測値[佐野他, 1988]を同時にFig. 1に示す。理論解と実測値はかなり良く一致しているので花崗岩に関する単純な仮定が成立つことを示している。

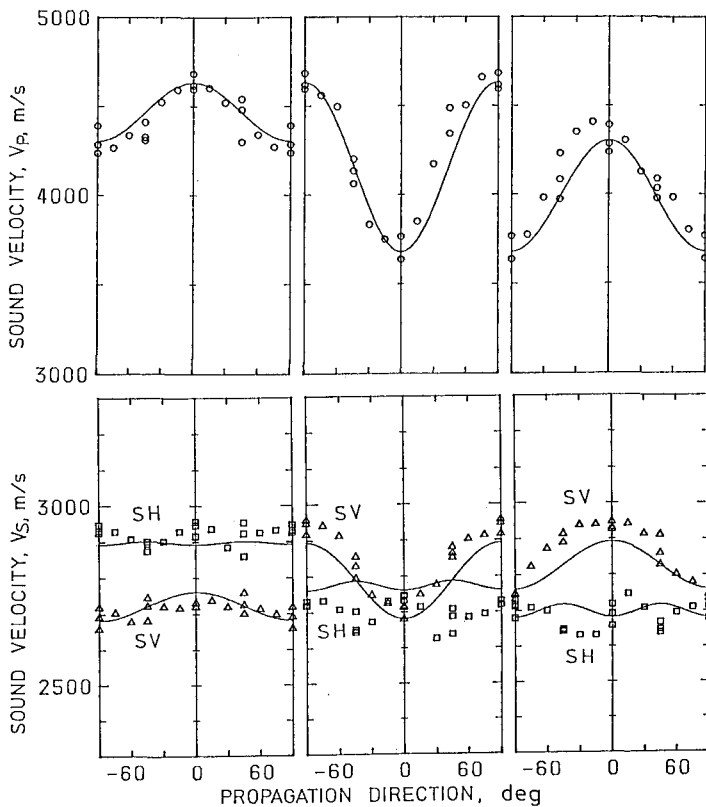


Fig. 1. 大島花崗岩の異方性の主軸に垂直な面内を伝播する速度の理論的計算値および実測値。

参考文献

- Garbin, H.D., and Knopoff, L., *Q. Appl. Math.*, **30**, 453~464, 1973.
 Garbin, H.D., and Knopoff, L., *Q. Appl. Math.*, **33**, 296~300, 1975.
 Hudson, J.A., *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **64**, 133-150, 1981.
 河嶋智, 山口大学修士論文, 1988.
 Mal, A.K., and Knopoff, L., *J. Inst. Maths. Applics.*, **3**, 376-387, 1967.
 民部雅史, 山口大学卒業論文, 1989.
 佐野修, 工藤洋三, 河嶋智, 水田義明, *材料*, **37**-418, 818~824, 1988.