

断層破砕帯の反射係数の波数依存性

村井芳夫（北海道大学大学院理学研究科 附属地震火山研究観測センター）

はじめに

例えば、ドイツの KTB 実験場における反射法探査の結果からは、地殻上部に見られる反射面の大部分は断層破砕帯であることがわかった (Emmermann & Lauterjung 1997)。このような破砕帯は亀裂の集合体と考えてよいだろう。また、断層破砕帯における S 波スプリッティングや P 波初動の振動方向異常の解析によって、断層破砕帯には非常に密に亀裂が分布することがわかってきた。断層破砕帯中の亀裂分布について知ることは地震予知や強震動予測にとって重要であるが、そのためには、密分布する多数個の亀裂の間の相互作用（多重散乱）と波数依存性を考慮して、亀裂群による地震波の散乱の理論計算を行い、それと観測データを比較することが必要である。

本研究では、断層破砕帯を断層面に平行な亀裂が非常に密に分布する領域としてモデル化し、そこに平面波が入射した時の理論波形を計算し、反射係数の波数依存性について考察を行う。

断層破砕帯のモデル

2 次元媒質中の SH 波を考える。断層破砕帯を、Fig.1 のように、長さ $0.4 \sim 0.6L$ のほぼ同じ長さを持つ亀裂が、X 方向に等間隔 L で、Y 方向には体積 $L \times 0.8L$ 当り 21 個分布する無限の長さを持つ帯状の領域としてモデル化する。ここで、X 方向には、亀裂を間隔 L の範囲でランダムにずらして分布させる。散乱波の計算は Murai & Yamashita (1998) を用いた。この方法では、密分布する多数個の亀裂間の多重散乱と高封圧下での亀裂面の接触状態を考慮して、散乱波を厳密に計算できる。

結果

(1) 垂直入射の場合

断層破砕帯に垂直に平面波が入射した時、破砕帯の手前では破砕帯からの反射波が、破砕帯の向こう側では直達波の到達に遅れが見られた。また、長波長の波が入射した場合には散乱波がほとんど見られなかったが、入射波の半波長が亀裂長より短くなると、散乱波が効果的に発生し、波形は観測点間で複雑に変化した。Fig.1 の断層破砕帯の場合、直達波の時間遅れから破砕帯の速度を見積ると、入射波の卓越波数 k が $kL=1.2$ (長波長入射) の場合に、 $v/v_0=0.629$ と求められた(ここで、 v_0 はそれぞれ破砕帯とその外側での S 波速度)。

次に、垂直入射の場合に断層破砕帯からの反射波の反射係数を計算すると、Fig.2 の点線のようにになった。また、 $v/v_0=0.629$ の速度を持つ単純な低速度層の反射係数を実線で示した。両者はよく一致していて、周期的にピークを持つ。この波数依存性は、観測から得られた中部地殻の S 波反射面の反射係数の周波数依存性 (例えば Matsumoto & Hasegawa 1996) の特徴をよく表している。したがって、各地で発見されている S 波反射面も実際は 1 枚の層ではなく、密分布する亀裂群から成り立っているかもしれない。

(2) 斜め入射の場合

亀裂面と波の伝播方向とのなす角 $\theta=15^\circ$ で斜め入射した場合には、直達波の時間遅れはほとんどなく、垂直入射の場合と同様に破砕帯の速度を見積ると、 $v/v_0=0.992$ と求められた ($kL=1.2$ の場合)。亀裂面に対して斜めに波が伝播すると垂直入射の場合より速度が速くなるのは、亀裂による SH 波散乱の性質を考えれば、

ば容易に理解できる。したがって、反射面が単純な低速度層か亀裂分布かを見分けるには、反射係数の入射角依存性を調べればよい。

ただし、斜め 15° 入射の場合には、単純な低速度層 ($\rho_0=0.992$) の反射係数と比較すると両者は一致せず、亀裂分布の方がはるかに大振幅の反射波を発生させる (Fig.3)。これは、亀裂分布のような強い異方性もつ媒質では、初動は速く伝わる方向に回り込んで行くため、初動走時はほとんど遅れないのに対して、実際は亀裂分布によって速度が低下しているため、反射波は励起されると考えられる。直達波の時間遅れから推定した破碎帯の速度は、より短波長 ($kL=8.0$) の場合にも $\rho_0=0.997$ とほとんど変化せず、亀裂分布のような強い異方性帯は、例えば初動走時を用いたトモグラフィ法で見つけるのは難しく、反射波によって検出可能であることが示唆される。

参考までに、様々な場所での断層トラップ波の解析から得られているような断層破碎帯のパラメーターの値を、破碎帯

の幅 100m、破碎帯の外側のS波速度 3km/s と仮定すると、Fig.1 のモデルで $kL=1.2$ は約 5Hz、 $kL=8.0$ は約 30Hz の波に相当する。

(3) 亀裂面に粘性が働く場合
短波長 (高波数) 成分が減衰する。

文献

- Emmermann, R. & Lauterjung, J., 1997, The German Continental Deep Drilling Program KTB: Overview and major results, *J. geophys. Res.*, 102, 18179-18201.
- Matsumoto, S. & Hasegawa, A., 1996, Distinct S wave reflector in the midcrust beneath Nikko-Shirane volcano in the northeastern Japan arc, *J. geophys. Res.*, 101, 3067-3083.
- Murai, Y. & Yamashita, T., 1998, Multiple scattering of SH waves by imperfectly bonded interfaces with inhomogeneous strengths, *Geophys. J. Int.*, 134, 677-688.

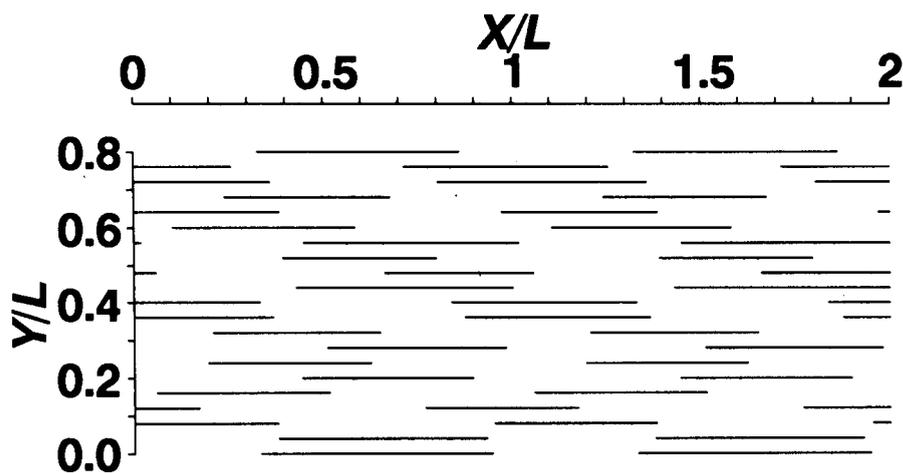


Fig.1 A fracture zone model considered.

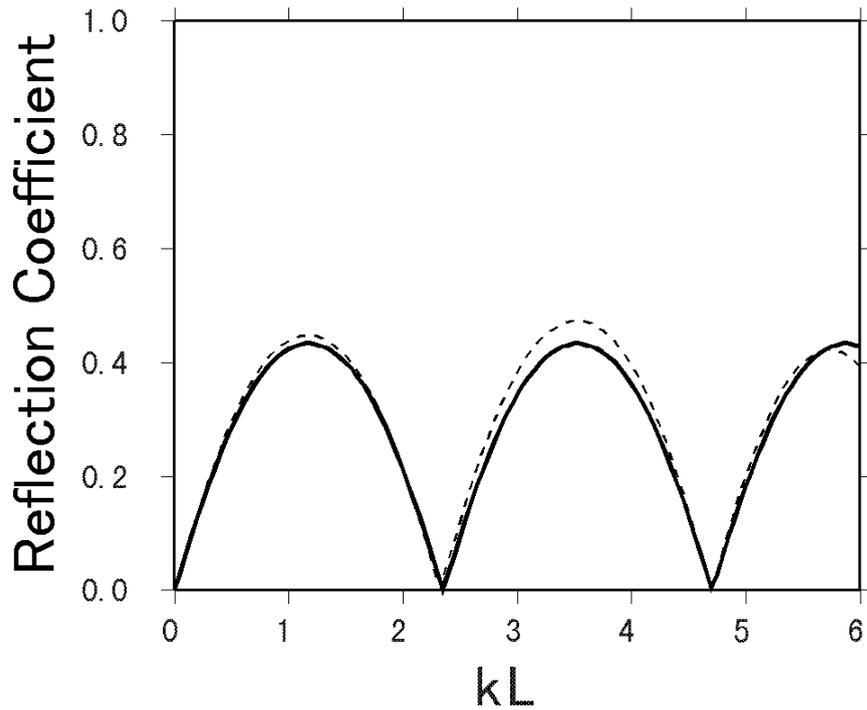


Fig.2 The reflection coefficients calculated for the fracture zone model shown in Fig.1 (broken curve) and the single low velocity layer whose value of ν_0 is 0.629 (solid curve). This is the case of normal incidence.

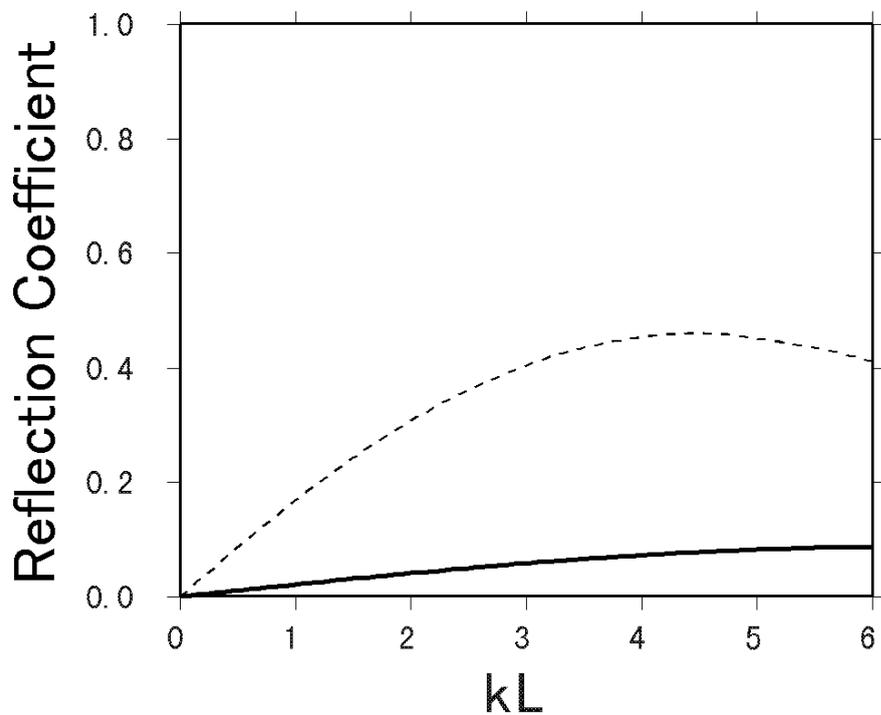


Fig.3 The reflection coefficients calculated for the fracture zone model shown in Fig.1 (broken curve) and the single low velocity layer whose value of ν_0 is 0.992 (solid curve). The incident angle is assumed as $\mathbf{j}=15^\circ$, where \mathbf{j} is the angle between the X-axis and the propagation direction of the incident plane wave.