

断層破砕帯中の線震源からの波動伝播

村井芳夫 (北海道大学 大学院理学研究院 附属地震火山研究観測センター)

Wave propagation from a line source embedded in a fault zone

Yoshio Murai (Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University)

はじめに

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から、断層破砕帯中には断層面に平行な亀裂が高密度で分布していることが明らかになってきた。さらに、断層トラップ波の観測例が多数報告され、断層破砕帯は低速度で低 Q の媒質であることがわかってきた (例えば Li *et al.*, 1994, JGR 99)。低速度で亀裂が非常に密に分布する断層破砕帯中の地震波動伝播をシミュレートするために、Murai & Yamashita (1998, GJI 134) は帯状に密分布する極めて多数個の亀裂群による多重散乱を厳密に取り扱える新しい理論地震波形の計算法を開発し、計算を行った (Murai, 1994, 博士論文)。Murai & Yamashita (1998) の計算法では、不連続面で接触状態を空間的に不均質に分布させることによって亀裂列を表現し、不連続面上でのカップリングの強さを単位長さ当たりのばね定数 (specific stiffness) で与える。Murai (1994) では、簡単のため specific stiffness の関数を正弦波で与えていて、波が入射すると結果的にカップリングが弱い部分で相対変位が生じ亀裂のふるまいを示すが、亀裂長を定義することはできなかった。そこで本講演では specific stiffness を矩形の関数で与え亀裂長を定義して Murai (1994) と同様の計算を行う。

断層破砕帯のモデル

2次元媒質中の SH 波を仮定する。断層破砕帯として以下のモデルを考える。

- (1) 平行で同じ長さ $2a$ の亀裂が周期的に分布する帯状の領域。
- (2) (1) の亀裂分布は長波長極限では等価な異方性媒質と見なせる (Murai, 2007, GJI 168) ので、(1) の亀裂分布と等価な

異方性を持つ帯状の領域。

- (3) 帯状の低速度層。
- (4) 低速度に加え (1) の亀裂分布と等価な異方性を持つ帯状の領域。
- (5) 平行で同じ長さ $2a$ の亀裂が周期的に分布する低速度層。

以上のモデルに対して、断層破砕帯の中心に等方な線震源を仮定し、破砕帯のほぼ中心に観測点を置く (Fig. 1)。

結果

(1) のモデルで、亀裂の数密度を ν とすると、亀裂分布密度が高い時 ($\nu a^2=0.1$) でも、断層トラップ波は生じなかった。入射波の半波長が亀裂長より短い時には、震源に近い観測点では亀裂からの散乱波が後続波として現れるが、遠い観測点での散乱波は微弱だった

(2) のモデルでは、断層トラップ波は生じず、散乱波も発生しなかった。したがって、トラップ波を生成するためには、低速度になっている必要がある。

(3) のモデルでは、周囲の速度が速い媒質を伝わってきた屈折波が初動として現れ、断層トラップ波が長周期の後続波として生じ、スペクトルを取ると低波数のピークを形成していた。散乱波は発生しなかった。

(4) のモデルでは、(3) のモデルと同様の特性を持つ波形になったが、断層トラップ波の部分の低波数のスペクトルのピークが (3) の場合に比べ二つに分かれた形になった。これは、波の伝わる速さが伝播方向によって変化するため、波の干渉の仕方が変わったためである。

(5) のモデルでは、(3) の場合の波形の特性に加え、震源から遠い観測点でも後続波として亀裂からの散乱波が観測された (Fig. 2)。スペクトルを取ると断層トラップ波に対応した低波数のピークに加

え、 k を波数とすると $ka \sim 1$ でスペクトルに高波数のピークが現れた (Fig. 3a)。これは亀裂からの散乱波によるものと考えられるので、後続波の散乱波の部分のスペクトルを取ると、 $ka \sim 1$ だけでピークが明瞭に現れた (Fig. 3b)。高波数のスペクトルのピーク振幅は亀裂分布密度が高くなると増加する傾向が見られるものの、亀裂分布の違いや観測点によるばらつきが大きくはっきりしない。今後、サンプルや観測点による平均を取って統計的に調べる必要がある。

ここで、Li *et al.* (1994) による 1992

年 Landers 地震の断層破碎帯でのデータに現れている 10Hz 付近の高周波のスペクトルのピークを亀裂によるものと解釈し、 S 波速度 2km/s を仮定すると卓越する亀裂長は約 60m となる。なお、Murai (1994) では卓越する亀裂長は約 200m と推定されていたが、これは specific stiffness の関数を正弦波で与えていて亀裂長が定義されていないので、生じる相対変位がカップリングの強い部分までしみ出すため亀裂長が長く求められてしまったと考えられる。

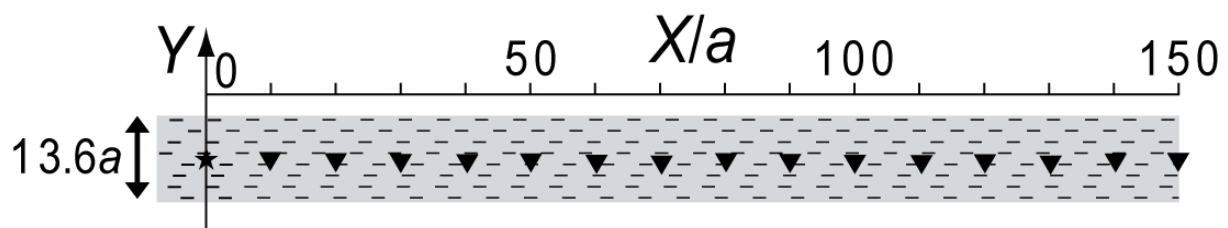


Fig.1 An example of a fault zone model. A star denotes an isotropic line source located at the center of the fault zone at $X=0$. Triangles represent observation stations. The spacing in the Y direction between the stations and the center of the fault zone is $0.425a$. The hatched zone is the same as the surrounding medium, an anisotropic zone and an anisotropic low velocity zone in models (1), (2) and (4), respectively, and a low velocity zone in models (3) and (5). Cracks are distributed periodically in models (1) and (5) with the density of $\nu a^2=0.1$. All the cracks are assumed to have the same length $2a$ and the same strike direction, which coincides with the X -axis. The crack spacing is $5.88a$ and $1.7a$ in the X and Y directions, respectively.

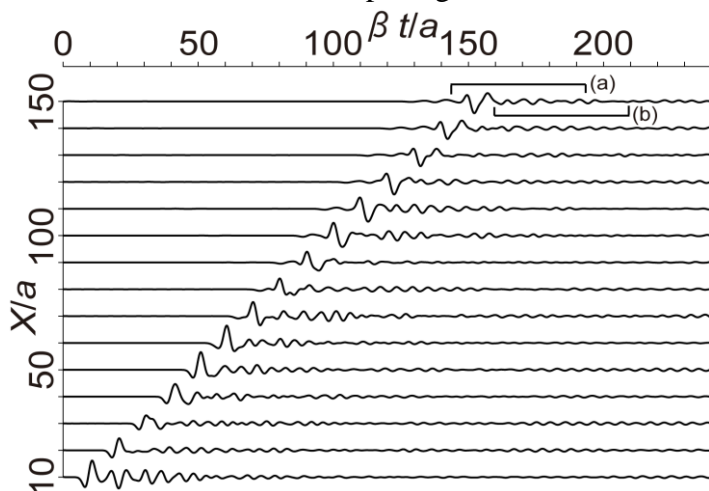


Fig.2 Synthetic displacement seismograms calculated for the fault zone model (5) shown in Fig.1. $k_c a=1.0$ is assumed, where k_c is the characteristic (peak) wavenumber of the Ricker wavelet as the time function of the incident wave. The brackets (a) and (b) denote spectral time windows of $50 \beta/a$, where β is the shear wave velocity. The amplitude spectra are shown in Fig.3.

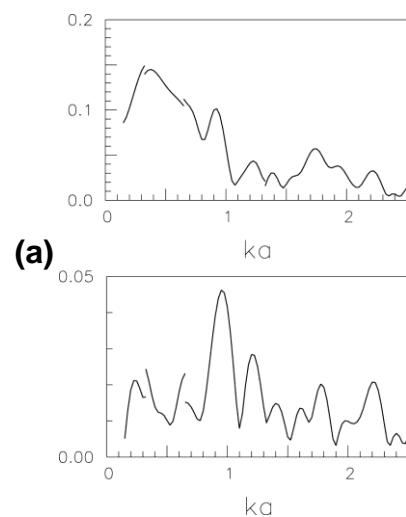


Fig.3 The amplitude spectra calculated for the spectral time windows (a) and (b) shown in Fig.2.