

2次元差分法を用いた亀裂群によるSH波散乱のシミュレーション

Simulations of SH waves scattered by 2-D cracks using the finite difference method

鈴木 佑治[1], 河原 純[2], 岡元 太郎[3]

Yuji Suzuki[1], Jun Kawahara[2], Taro Okamoto[3]

[1] 茨城大・理工, [2] 茨城大・理, [3] 東工大・理工・地球惑星

[1] Grad. School of Science and Engineering, Ibaraki Univ., [2] Dept. Environmental Sciences, Ibaraki Univ., [3] Dep. Earth Planet. Sci.,
Tokyo Institute of Technology

亀裂群による地震波散乱を数値的に扱う際は、境界積分方程式法(BIEM)が用いられることが多い(例えば Murai et al. [1995])。これに対し、本研究では同様な問題に対して差分法(FDM)の適用を試みた。一般にFDMはBIEMより精度の面で劣ると考えられているが、計算アルゴリズムが単純であることや、散乱体を含む基質にも任意の不均質性を付加できること等、BIEMに無い利点がある。それゆえ実用上十分な精度が保証されれば幅広い用途が期待される。本研究では、2次元平行亀裂群により散乱されたSH波の波形合成にFDMを適用し、その結果をBIEMによるものと比較することにより、計算精度や実用性を検証する。また若干の応用例を示す。

計算には、速度・応力スキームとスタッガードグリッドに基づく空間4次(または2次)・時間2次精度の標準的なFDM(Virieux[1984], Levander[1988])を用いた。全ての亀裂は平行で同じ長さ($=2a$)を持つとし、亀裂面には応力解放条件を課した。同条件の定式化には、亀裂の位置に相当するグリッド点上で応力を0に固定するという単純な方法を用いた。得られた結果は、Murai et al. [1995]のBIEMによる同様な計算結果と比較した。後者を真の解と見なすために、その計算に際しては十分な精度を保つことに注意を払った。

本研究では3種類の実験をおこなった。最初に、準単色波入射による単一亀裂の変位食い違いを4次精度FDMで求め、BIEMによる調和振動解と比較した。その結果は、グリッド間隔を小さくするにつれてBIEMの結果より若干小さい値に漸近する傾向を示した。一方、FDMの空間精度を2次に落として再計算した結果はBIEMと良く合致した。この違いは差分演算子の非局所性の差により説明される。次に、数個の亀裂をクラスター状に密集させて平面リッカー波(卓越波長 $=a/0.6$)を垂直入射させたときに、ある程度($>4.5a$)離れた点で観測される散乱波形を4次精度FDM(グリッド間隔 $=a/40$)で計算した。なお亀裂同士は法線方向に2~10グリッドまで接近させた。その結果、FDMの誤差(BIEMとの差)は亀裂数とともに若干増加傾向にあり、多重散乱の影響を示唆するものの、実験条件の範囲内では十分に高精度であることが示された。最後に、Murai et al. [1995]と同様な実験を4次精度FDMとBIEMの双方でおこない、結果を比較した。Muraiらは、多数の亀裂が分布する領域を通過した直達SH波の平均的な減衰と速度分散を求め、その結果がKawahara & Yamashita [1992]の1次散乱理論とよく符合することを示した。今回の結果でもFDM, BIEM, 1次散乱理論の3者は互いに良く一致し、改めてFDMの精度の高さが確認された。以上より、亀裂の変位食い違い(あるいは亀裂のごく近傍の波動場)の計算には2次精度FDMが有効である点を除けば、亀裂分布による散乱波動場の計算法として一般に4次精度FDMが十分な精度を与えることが示された。

以上の結果を踏まえて、FDMによる計算結果から河原・他[2002]の方法を用いて直達波の減衰と速度分散を改めて求めた。この方法は2次元円形空隙によるSH波散乱問題について、従来の手法よりも安定で高精度に減衰と速度分散を評価できることが示されている。今回の結果は1次散乱理論解と非常によく一致し(図)理論の有効性が改めて示唆された。

謝辞 村井芳夫博士(北大・理)にはBIEMの計算プログラムを提供して頂きました。

参考文献

- 河原・大野・蓬田, 2002, 地球惑星科学関連学会2002年合同大会予稿集, S044-005.
Kawahara and Yamashita, 1992, Pure Appl. Geophys., 139, 121-144.
Levander, 1988, Geophysics, 53, 1425-1436.
Murai, Kawahara and Yamashita, 1995, Geophys. J. Int., 122, 925-937.
Virieux, 1984, Geophysics, 49, 1933-1957.

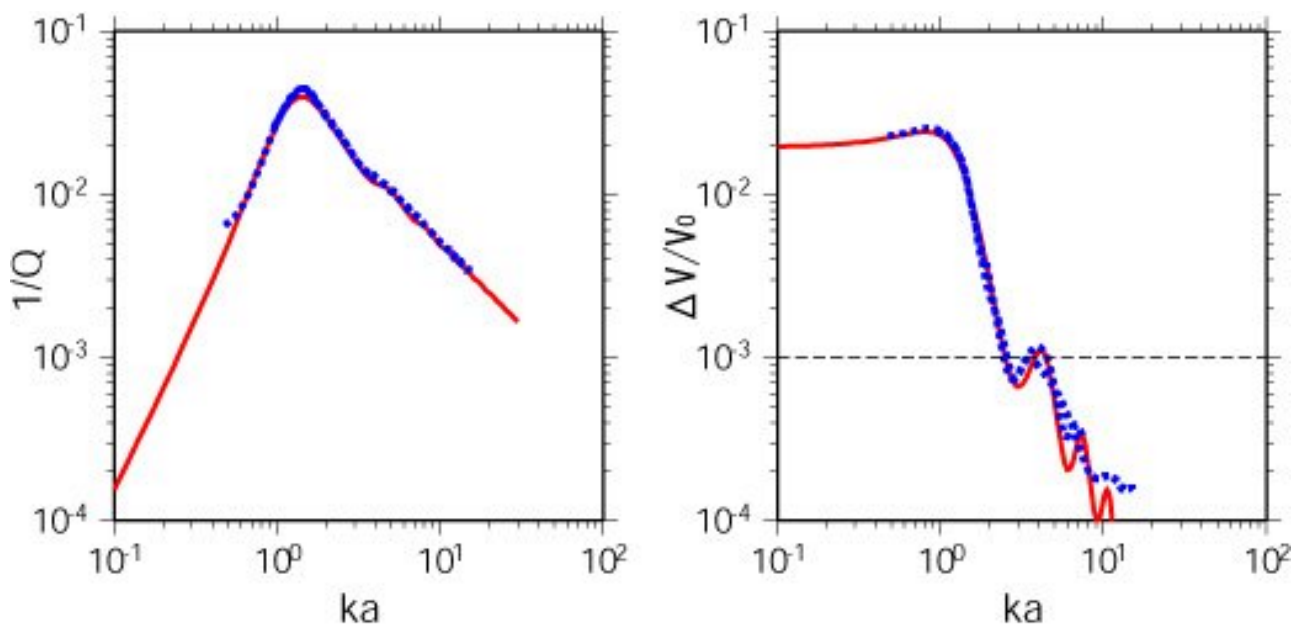


Figure. $1/Q$ (left) and relative decrease of the phase velocity (right) of SH waves due to crack scattering. Here k is the wavenumber and a is the crack half length. The crack density is 0.0125. The red solid and blue dotted curves indicate the theoretical and experimental estimates, respectively. The black broken line denotes the "measuring resolution", corresponding to phaselay of one time step in the simulations.