

不均質な岩石試料内の3次元波動伝播シミュレーション 3D numerical simulation of seismic wavefield in inhomogeneous rock samples

吉光 奈奈^{1*}; 古村 孝志¹; 前田 拓人²
YOSHIMITSU, Nana^{1*}; FURUMURA, Takashi¹; MAEDA, Takuto²

¹ 東大院情報学環, 地震研, ² 東大地震研

¹CIDIR/ERI, The Univ. of Tokyo, ²ERI, The Univ. of Tokyo

はじめに

岩石試料の透過波実験を3次元差分法(FDM)による波動伝播のシミュレーションで再現し、実測波形に見られる特徴的な位相の起源を、計算波形の比較によって同定した。室内岩石実験では、試料内部の構造変化や亀裂生成の様子を詳細に観察するために透過波を用いたモニタリングが行われてきた(例えば, Yukutake et al., 1989)。しかし、実験室で通常扱われる岩石試料は一辺が数 cm 程度と小さく、記録された透過波には試料の端面で何度も反射したと考えられる多数の後続相が含まれる。そのため、これまで行われてきた解析は、後続相の影響を受けない初動付近の波を用いたものが一般的だった。後続相の成因を明らかにし、波形全体を解析に積極的に利用できるようなれば、得られた透過波形から媒質の構造をより詳細に評価することが可能になると期待される。

解析手順

まず、岩石実験における実測波形の取得では、Westerly 花崗岩試料の周表面上に貼付した圧電素子に対してステップ電圧を与え、透過波による試料表面の振動をレーザードップラー振動計によって速度波形として記録した。震源位置は円筒軸方向の中央とした。

シミュレーションでは、実験室で集録された波形との比較をおこなうため、縦横比 1:2 の円柱形試料に相当する解析領域を、格子間隔 100 μm で 512 \times 512 \times 1024 グリッドに離散化してモデル媒質とした。岩石試料の持つ不均質性を計算モデルに取り入れるために、マイクロフォーカス X 線 CT スキャナを用いて Westerly 花崗岩の試料内部を撮影し、X 線吸収係数と密度・弾性波速度が比例関係にあると仮定して、計算モデルの各グリッドにおける密度 (2.5 - 3.1 g/cm³)、P 波速度 (5.0 - 6.0 km/s)、S 波速度 (2.8 - 3.5 km/s) を与えた。岩石実験に用いた圧電素子の動きを模したシングルフォースの点震源を入力として、3次元 FDM 計算により波動場を計算した。得られた計算波形には、圧電素子の感度帯域と同じ 50 kHz - 2 MHz のバンドパスフィルタをかけて、実測波形との比較をおこなった。

結果・議論

計算によって得られた波動場は、速度の発散場と回転場から P 波と S 波の速度振幅に分離して評価した。波動伝播のアニメーションから、試料内部に入射した波が曲率のある試料の周境界で反射波 (PP, SS, PPP, SSS 等) やその変換波 (PS, SP, PPS 等) を生成しながら伝播していく様子が確認できた。震源から出た波が試料周境界で反射して震源方向へ戻っていくと同時に、試料の上下端で反射した波が試料全体を覆うように伝播し、別起源の反射波と変換波が重畳することによって、時間の経過とともに複雑な波動場が形成されていく。また、鉱物粒子による不均質性による散乱が試料全体に見られたが、現時点で仮定した構造下ではこれらの反射・屈折波が波動場へ与える影響は限定的であった。

震源と同一平面内にある観測点で得られた速度波形を、動径方向に回転して実測波形との比較を行ったところ、波形全体の位相形状は比較的よく一致することが確認できた。観測波形には、大きな振幅を持つ2つの特徴的な位相が見られたが、計算波形との比較からこれらが直達 P 波と SS 波であることがわかった。さらに、SS 波到達後の複雑な波形は、主として試料周境界上で何度も反射・変換された S 波によって構成されていることが明らかになった。

キーワード: 透過波, 反射波, 岩石試料, 数値シミュレーション

Keywords: transmitted wave, reflected wave, rock sample, numerical simulation