

多結晶体で生じる地震波減衰の定量的評価手法の開発

Theoretical and experimental assessment of seismic attenuation in polycrystalline aggregates

藤澤 和浩 [1]; 武井 康子 [2]

Kazuhiro Fujisawa[1]; Yasuko Takei[2]

[1] 特許庁; [2] 東大・地震研

[1] JPO; [2] ERI, Univ. Tokyo

地震学的観測値を解釈し地球内部の温度や組成、相を推定するために、地球内部物質の力学物性の解明が重要である。地震波エネルギーの散逸を示す観測値である減衰 (Q^{-1}) の解釈には、非弾性という、弾性と粘性の中間的な物性の寄与を明らかにする必要がある。多結晶体で生じる非弾性の原因としては、粒界でのせん断応力の緩和により散逸が生じる粒界すべり [Ke, 1964] が有力視されている。しかし、すべりを担う格子欠陥の運動の理論から出発して非弾性の温度・粒径依存性の定量的な評価式を得ることは極めて困難である。このため、温度・粒径依存性に経験的な制約を与えるための非弾性測定実験の必要性が認識されてきた。超音波 (100 kHz 以上) 伝播による物性測定実験は以前から行われてきたが、非弾性は一般に強い周波数依存性を持つので、実験は地震波 (10 Hz 以下) と同じ周波数帯域で行う必要がある。近年ようやく、ねじり型周期変形実験装置によるオリビン多結晶体の非弾性測定 [Jackson et al., 2002] が行われ、せん断変形に関して 1 mHz - 1 Hz で温度・粒径を系統的に変えたデータが得られるという進展があった。本研究では、これまでに開発してきた縦変形型周期変形実験装置 [藤澤・武井, 2006 合同大会] を用い、アナログ多結晶体試料に関して実験を行った。縦変形は体積変形を含む、せん断変形とは独立なモードである。また、粒界すべりの理論モデルを開発し、体積変形で生じる散逸の大きさとせん断変形で生じる散逸の大きさの比を反映する量 Q_P/Q_S を見積もった。

用いる実験装置では、0.1 mHz - 50 Hz の広帯域、かつ、地震波伝播と同様に応力-歪の線形性が成り立つ 10^{-5} 以下の歪振幅で Q を測定できる。有機物粉体の焼結により作成される多結晶体試料 (粒径 0.06 mm) を 23 - 60°C の一定温度下に置き、測定を行った。この有機物は、今回の実験試料の他に、細粒 (粒径 10^{-6} m) の多結晶体を作成できるので、粒径依存性のデータ取得に利用できる。また、別の有機物と共融系 [Takei, 2000] をなすので、部分溶融の影響の解明に利用できる。試料・装置間の良好なカップリングが確認できた 2 試料のデータに関して解析を行った。1 mHz 以下の帯域では、温度が高いほど、また、周波数が低いほど著しく増大する Q^{-1} が得られ、粘性により生じる散逸の理論予想と一致した。このことから、1 mHz 以上の帯域で測定された Q^{-1} は粘性ではなく非弾性によって生じたことがわかる。10 Hz - 1 mHz での Q^{-1} は 0.016 - 0.026 で、有意な温度依存性・周波数依存性は現れなかった。この結果は、非弾性の素過程が熱活性化過程であるために生じる温度依存性・周波数依存性間の関係と整合的である。熱活性化過程では、温度変化により Q^{-1} スペクトルが周波数領域上で平行移動するので、 Q の周波数依存性が現れない帯域では、 Q は温度依存性を示さない。一方、温度変化により Q^{-1} スペクトルの高さ変化を生じる過程の有無は理論的には未知であるが、実験結果から、本研究の試料では高さ変化は生じなかったことがわかった。

粒界すべりの理論モデルの開発は、静水圧下で流体ポアが平衡形状に達した部分溶融系に関して行った。 Q_P/Q_S は、粒界すべりの非緩和状態 (粒界が粒子内部と同様の弾性体)・緩和状態 (粒界がすべるためにせん断応力を完全に失った状態) での固体フレームの弾性率の計算、流体の影響を考慮して得られる弾性波速度の計算、緩和による速度低下の総量 [Nowick & Berry, 1972] の計算、P 波・S 波間の速度低下総量の比の計算というステップを経て得られる。計算の結果、P 波伝播時に流体ポアが効率よくつぶれ粒界で大きなせん断応力がはたらくようなポア配置である場合に、 Q_P/Q_S は、2.25 を下回る 2 - 1.75 という値をとった。この値は、体積変形による散逸が生じたことを意味する。部分溶融系のように力学物性の異なる物質が混在する多結晶体は、巨視的に等方的な応力を印加し体積変形させた場合であっても、粒界に法線応力のみならずせん断応力がはたらく粒界すべりにより散逸を生じるという振る舞いをするということがわかった。