

岩石アナログ物質としての有機物多結晶体における変形実験と粒成長実験

Deformation experiment and grain growth experiment using a rock analogue

渡邊 俊一^{1*}, 武井 康子¹

Shun-ichi Watanabe^{1*}, Yasuko Takei¹

¹東京大学地震研究所

¹ERI

1.はじめに

地殻・マントルを構成する岩石は、様々な鉱物からなる多結晶体である。それゆえ、岩石の力学的・化学的特性を知るには、多結晶体の特性を研究しなければならない。本研究では、岩石のアナログ物質として有機物結晶であるボルネオール ($C_{10}H_{18}O$) の多結晶体を用いている。その理由は、活性化エネルギーが小さいために熱活性化過程が比較的低温 (30~70°C) で起こり、実験を行ないやすいからである。そのメリットを活かして、超音波帯域 (10^6 Hz) から低周波帯域 (10 Hz- 10^4 Hz) 及び定常クリープ試験まで幅広い時間スケールにわたり、物質の力学応答を調べることが可能になった。また、ボルネオールに第2成分を混合した共融系は融点が43°Cと低いため、部分溶融の影響を容易に調べることができる。このような様々な実験に応用するにあたり、このアナログ多結晶体の変形メカニズムマップを作ることと、粒径を制御する方法を確立することが重要である。そこで本研究では、ボルネオール多結晶体の結晶粒成長実験および一軸圧縮試験を行なった。今回は温度を40°Cと45°C、差応力を~0.5-4MPaまで変化させて実験を行ない、得られた結果を報告する。

2.実験の概要

実験には、直径15mm、高さ約12mmの円柱形に成型したボルネオール多結晶体 (初期平均粒径4ミクロン程度) を用いた。これは-40°Cの冷凍庫内で粉碎・細粒化したボルネオール粉を室温でプレス機を用いて圧密を行ない作成した。

粒成長実験は恒温槽を用いて実験温度に保った水を用意し (40°C, 45°C), その中で行なった。ミクロトームで磨いた試料の表面をレーザー顕微鏡で観察して粒径測定を行なった。

一軸圧縮試験は恒温の水を満したセル内で行ない、実験温度を一定に保つことを実現した (40°C, 45°C)。载荷は地震研究所に設置してある汎用試験機 (インストロン5567) を用いて一定载荷速度 (0.001-0.008mm/min, 歪速度換算~ 10^{-6} - 10^{-5} 1/s) で行なった。また、より低応力・低歪速度での変形実験を実現するために、今後一定荷重での一軸圧縮試験 (10-20kgf, 応力換算~0.5-1MPa) も行なう予定である。

3.結果

結晶粒成長実験の結果、40°C及び45°Cにおける平均粒径の時間発展がわかった。多結晶体における粒成長則は一般に、 $d^n - d_0^n = kt$ (d : 粒径, d_0 : 初期粒径, t : 時間, k : 温度に依存する定数) という関係で表される。べき指数 n は粒成長の遅さを示す指標であり、マントル構成鉱物であるForsterite単相系の多結晶体については3程度と言われている (Hiraga et al., 2010)。本実験より、ボルネオール多結晶体のべき指数は~6-8となり、Forsteriteのそれよりも有意に大きい結

果を得た。

次に変形メカニズムに関する結果であるが、一定载荷速度の一軸圧縮において定常クリープが実現したときの応力-歪速度曲線のべき指数が ~ 5 になった。このことから、 40°C 及び 45°C で $2.5\text{-}4\text{MPa}$ という条件下では、転位クリープが多結晶体の変形を律速していることが示唆された。

4. 考察・展望

ボルネオールはplastic organic crystalと呼ばれる有機物結晶で、金属や鉱物と同様に拡散クリープや転位クリープによって変形すると言われている。部分熔融状態での拡散クリープはTakei (2005)により再現されたが、本研究により、転位クリープを再現することができた。今後は、より低荷重までの実験と粒径を変えた実験を行ない、変形機構図を描くことを目指したい。

変形機構が原子拡散によって律速されている場合には、変形速度が粒径に大きく依存するため、粒径は変形機構図に大きな影響を与える。また、低周波帯域での非弾性応答においては、粒径依存性がよくわかっておらず、その解明が重要な研究テーマである。このため、本アナログ物質の粒成長則を解明し、実験試料の粒径を制御できるようになることが重要である。粒成長はメルト相の存在に大きな影響を受けるため、今後は部分熔融系での粒成長実験も行なう必要がある。粒成長の物理過程にはまだ未解明の部分も多いため、アナログ試料の結果と岩石試料の結果とを比較することにより、粒成長メカニズムの解明も目指したい。

キーワード:多結晶体,粒成長,クリープ,アナログ実験,レオロジー

Keywords: polycrystal, grain growth, creep, analogue experiment, rheology