

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26610175

研究課題名(和文) 岩石の破壊による流体の浸入と弾性波速度の変化

研究課題名(英文) Change of elastic velocity due to water injection during rock deformation

研究代表者

片山 郁夫 (Katayama, Ikuo)

広島大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10448235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：地球内部の変形と流体の関係を調べることを目的に、岩石の地震波速度を実験室で測定した。室内実験では三軸圧縮変形中の地震波をモニタリングし、岩石に発達するクラックの形成と速度変化の関係を検証した。その結果、破壊過程におけるサンプル内のクラックの閉鎖・成長・生成による系統的な変化が見られ、変形初期には既存のクラックの閉鎖のため地震波速度は若干早くなるのに対し、変形後期にはクラックの生成・成長により地震波速度は著しく低下した。

研究成果の概要(英文)： We measured seismic velocity of rocks in order to understand fluid distribution in the Earth's interior. Experimental results show systematic change of seismic velocity during deformation, in which seismic velocity is related to formation and growth of micro cracks in the samples.

研究分野：岩石変形学

キーワード：岩石破壊 弾性波速度 間隙水

1. 研究開始当初の背景

プレート境界で発生する地震は水の存在と密接に関わっており、歪みや応力などの物理条件に加え、水が浸透するもしくは蓄積することにより地震が引き起こされる可能性が指摘されている。そのため、地下での水の存在を捉えることが地震の発生プロセスの理解につながると期待され、地震波速度や比抵抗などの物理観測によりプレート境界付近での水の分布が精力的に調べられている。例えば、関東下に沈み込むフィリピン海プレート上には深さ 30-40km 付近に著しい低速度異常ならびに高 V_p/V_s の領域が存在し、マントルウェッジが含水化して生成する蛇紋岩の存在が指摘されている (Kamiya and Kobayashi 2000)。しかしながら、同領域で観測されている V_p/V_s は高温で安定なアンチゴライト蛇紋岩の値より高いため、蛇紋石に加え流体が共存している可能性が高い。同様な高 V_p/V_s 領域は四国地域でも報告されており (Matsubara et al. 2008), プレート境界では岩石の間隙に流体が存在し、流体が摩擦面の有効応力を下げ地震を引き起こしている可能性が高い。なお、そのような地域では深部低周波微動などのスロー地震が頻発していることも (例えば Obara 2002), 流体の存在と関係していると考えられる。

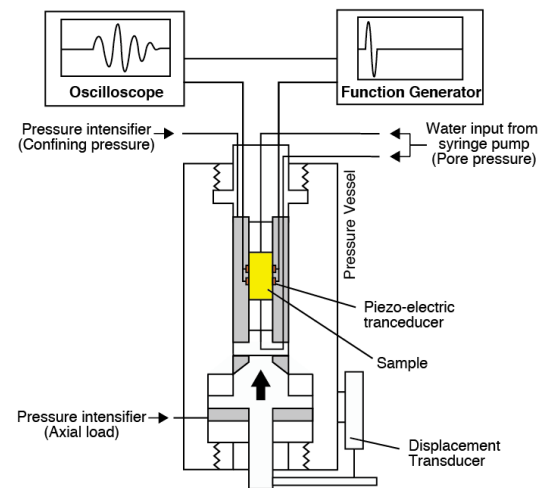
2. 研究の目的

そのように沈み込み帯でみられる地震波の低速度層や V_p/V_s の異常は、マントルが含水化した蛇紋岩の存在だけでは説明がつかず、そのような地域には局所的に流体が存在している可能性が高い。本研究では、岩石の破壊実験中に弾性波速度をリアルタイムで測定するシステムを立ち上げ、岩石中にクラックが生成し水が浸入する際に弾性波速度がどのように変化するかを調べる。それらの結果を用い、沈み込み帯での地震波速度の観測結果から流体の存在形態や存在量を読み取り、沈み込みプレート境界での流体分布と地震発生プロセスとの関連性を探る。

3. 研究の方法

本申請研究では、広島大学設置の容器内変形透水試験機に弾性波速度を測定するシステムを新設した。弾性波はサンプル両側面に直接圧電素子をはりつけて行うパルス透過法を採用し、オシロスコープで記録した波形から弾性波速度 (V_p, V_s), 振幅, 周期を算出した。なお、測定は岩石の三軸圧縮変形中に行い、変形による試料内のクラックの形成に関連して弾性波速度がどのように変化するかをモニタリングした。試料に

は庵治花崗岩を長さ 40mm, 直径 20mm の円柱形に成形したものをを用い、変位速度は 0.01mm/min, 封圧は 20MPa 一定とした。なお乾燥状態の実験に加え、含水条件下でも実験を行い、その場合はシリンジポンプにより間隙水圧を 10MPa で一定に保ち実験を行った。



4. 研究成果

弾性波速度測定では、破壊過程におけるサンプル内のクラックの閉鎖・成長・生成による系統的な変化が見られ、変形初期には既存のクラックの閉鎖のため弾性波速度は若干早くなるのに対し、変形後期にはクラックの生成・成長により弾性波速度は著しく低下した。また、乾燥状態では V_p/V_s は変形の進行とともに低下するのに対し、含水条件下での実験では V_p/V_s は上昇した。これは、O'Connell and Budiansky (1974) のクラックモデルと調和的であり、含水条件下では新たに生成したクラックを水が充填するため V_s の低下が著しく、相対的に V_p/V_s は増加する傾向が確認された。また、O'Connell and Budiansky (1974) のモデルから crack density を見積もると、間隙水圧下では乾燥実験に比べクラックはできにくいという傾向を示した。

弾性波の振幅と周期においては、 V_p, V_s ともに破壊に近づくにつれ、振幅が減衰するとともに波長が長くなる傾向がみられた。これは、クラック内に水が存在するほうが P 波においてクラック面での弾性波の散乱が小さくなり、破壊過程での減衰が小さくなるためと考えられる。一方、S 波の振幅は水の存在には強い影響はみられなかった。これは、圧縮軸に対して垂直な振動方向をもつ S 波は、変形初期に振幅が大きくなることから、圧縮による水平方向のクラックの閉鎖に敏感に反応するためと考えられる。

シリンジポンプの流体の体積変化から求

めた空隙率変化と弾性波速度変化においては相関関係がみられ、弾性波速度の変化率からおおよその空隙率を見積もることが可能である。これらの結果は地球内部での水の量を知る上で有益な情報となると期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

(1) Kubo, T. and Katayama, I. 2015. Effect of temperature on the frictional behavior of smectite and illite. *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 110, 293-299 (査読有り).

(2) Katayama, I., Kubo, T., Sakuma, H. and Kawai, K. 2015. Can clay minerals account for the behavior of non-asperity on the subducting plate interface? *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, doi:10.1186/s40645-015-0063-4 (査読有り).

(3) 平内健一, 片山郁夫 (2015) 蛇紋岩の力学的性質とそのテクトニックな意義, 地学雑誌, 124, 371-396 (査読有り).

(4) Okazaki, K. and Katayama, I. 2015. Slow stick-slip of antigorite serpentinite under hydrothermal conditions as a possible mechanism for slow earthquakes. *Geophysical Research Letter*, 42, 1099-1104, doi:10.1002/2014GL062735 (査読有り).

(5) 原田裕也, 片山郁夫, 河野義生 (2014) 蛇紋岩の弾性波速度に対する間隙水圧の影響, 岩石鉱物科学, 43, 161-173, doi:10.2465/gkk.130918 (査読有り)

[学会発表] (計 13 件)

(1) H. Noda, M. Takahashi, I. Katayama Friction experiments of halite in brittle-ductile transition with high pore pressure American Geophysical Union, Fall Meeting (Sanfrancisco, USA), 2015/12/18

(2) 片山郁夫 粘土鉱物の摩擦特性と沈み込みプレート境界地震の関連性 粘土鉱物討論会 (山口), 年月: 2015/9/3 (招待講演)

(3) 片山郁夫 海洋の持続的な存在の検証: 地球内部での水収支 日本地質学会 (長野),

年月: 2015/9/12

(4) 片山郁夫 粘土鉱物の摩擦ヒーリング特性と沈み込みプレート境界での固着度 日本地質学会 (長野), 年月: 2015/9/11 (招待講演)

(5) 畠山航平, 片山郁夫 蛇紋岩の浸透率に基づくアウターライズ断層沿いのマンツルの加水作用の検証 日本地質学会 (長野), 年月: 2015/9/11

(6) 片山郁夫 アウターライズ断層での海洋リソスフェアの蛇紋岩化作用 2015年地球惑星科学連合大会 (幕張), 年月: 2015/5/25

(7) 片山郁夫, 松影香子, 木村純一, 川本竜彦 地球の水の起源と進化: 物質科学からのアプロ 2015年地球惑星科学連合大会 (幕張), 年月: 2015/5/24

(8) 財間寛太, 片山郁夫 三軸圧縮破壊試験における庵治花崗岩の弾性波速度測定 2015年地球惑星科学連合大会 (幕張), 年月: 2015/5/27

(9) 加来奈文美, 片山郁夫 粘土鉱物の膨潤性が浸透率に与える影響と異常間隙水圧の発生条件 2015年地球惑星科学連合大会 (幕張), 年月: 2015/5/27

(10) I. Katayama, T. Kubo, H. Sakuma, K. Kawai, Can clay minerals account for the non-asperity on the subducting plate interface? American Geophysical Union, Fall Meeting (Sanfrancisco, USA), 2014/12/18

(11) T. Kubo, I. Katayama, Effect of temperature on frictional behavior of smectite and illite: Implication for the updip limit of seismogenic zone along subduction thrust American Geophysical Union, Fall Meeting (Sanfrancisco, USA), 2014/12/19

(12) 片山郁夫, 久保達郎, 佐久間博, 河合研志 沈み込みプレート境界での非アスペリティの正体は粘土鉱物? 2014年地球惑星科学連合大会 (横浜), 年月: 2014/5/2

(13) 濱崎翔平, 片山郁夫 間隙水圧下での花崗岩の破壊と浸透率変化 2014年地球惑星科学連合大会 (横浜), 年月: 2014/5/2

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.home.hiroshima-u.ac.jp/geoenvi/link/katayamaG.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片山 郁夫 (Ikuo Katayama)

広島大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：10448235