

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：12501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06890

研究課題名(和文) スロー地震への間隙水圧の効果

研究課題名(英文) Pore pressure dependences on frictional behavior of rocks and implications for slow earthquakes

研究代表者

澤井 みち代 (SAWAI, Michiyo)

千葉大学・大学院理学研究科・特任助教

研究者番号：20760995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：沈み込み帯で発生する地震には「水」が深く関与していると指摘されていることから、間隙水圧を系統的に変化させた摩擦実験をおこない、地震に対する「水圧上昇」の影響を定量的に評価する目的で研究を実施した。

その結果、東北沖沈み込み帯のような冷たく古いプレート沈み込み帯の震源域に存在すると考えられる藍閃石片岩では間隙水圧が上昇すると断層は不安定な挙動を示すのに対し、主に大陸地殻を構成する花崗岩では安定な挙動を示すことが明らかとなった。つまり断層すべりに対する間隙水圧の影響は、物質によって異なる大きく可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Frictional property of rocks composed of a subducting oceanic plate is one of factors for controlling the diverse slip behavior from aseismic to seismogenic slip at the Japan Trench. Although alteration of fluid pressure in a fault zone during interseismic periods could occur in nature, the effects of fluid pressure on the fault parameters are not investigated systematically so far. Thus, we have conducted friction experiments on blueschist from Franciscan Belt, California and Westerly granite under high temperature and high pressure conditions and paid attention to how fault-stability parameters change with fluid pressure.

Blueschist rocks show a transition from stable to unstable behavior with decreasing effective normal stress, which is mechanically equivalent to increasing fluid pressure, whereas granite rocks show the opposite trend and stable at high pore pressure conditions. Our results might suggest that fault instability for the pore pressure depend on its materials.

研究分野：岩石レオロジー

キーワード：間隙水圧 有効応力 スロー地震 藍閃石片岩 花崗岩

1. 研究開始当初の背景

地球物理観測技術の発達により、西日本で活発なスロー地震活動が発見された(例えば Obara. 2002)。さらに、東北地方太平洋沖地震前に東北日本でも 20 km より浅部においてスロー地震があったことが報告されている (Ito et al., 2013)。スロー地震の震源がこの巨大地震の大きなすべり域や地震発生域と一部重なることから注目が集まっている。

スロー地震に関して、これまでに異なるアプローチで様々な研究が進められている。例えば

A) スロー地震の発生領域は高 V_p/V_s で特徴づけられるなど、間隙流体の存在が指摘されている (Matsubara et al., 2009) (観測)

B) 震源解析からは有効垂直応力が低いという報告があり、高間隙水圧の存在が示唆されている(例えば Ito and Obara. 2006) (観測・理論)

C) シミュレーションにより、断層すべりの安定性を示すパラメータ $a-b$ が不安定すべりから安定すべりに遷移する性質や異常に高い間隙圧(低い有効圧)を仮定してスロー地震等が再現されている (Liu and Rice. 2005; Shibazaki and Shimamoto, 2007; Segall et al., 2010) (理論)

など多岐に渡っている。これらはスロー地震の発生と間隙水圧の強い関係性を指摘するものであるが、断層すべりの安定性を示すパラメータ $a-b$ と間隙圧の関係についての研究は世界で数例しかなく (He et al., 2007)、物質学的視点からの系統的な研究がなされていない(実験)。地震発生機構解明には「実験・理論・観測」の統合的な研究・議論が必要であり、実験分野からも“地震発生と水”に関して定量的なデータを示すべきである。

2. 研究の目的

申請者はこれまでの研究において、東北地方太平洋沖地震震源域を含む東北沖沈み込み帯深部に存在すると考えられる藍閃石片岩に注目し、幅広い温度・速度・有効応力条件のもと、その摩擦特性を調べた。それにより、

(a) 間隙水圧が上昇し、 $a-b$ が正から負へ変化する点でスロー地震が現れる可能性があること

(b) さらに高間隙水圧(低有効応力)条件下で震源核形成が起こる可能性があることが明らかとなった。

近年では沈み込み帯で発生しているスロー地震を海溝型巨大地震の前兆現象の一つと捉え、予知・予測研究の足掛かりにしようとする試みもあるが、特に上述の結果はその可能性を実験的に示唆しうるものである可能性が出てきた。しかしながら、前述の結果のみでは、これが機械的な水圧の影響によるものなのか、それとも物質に特有の間隙水圧

上昇に対する化学反応なのか、が疑問として残っている。そこで本研究では、ガス圧式高温高压変形実験装置により間隙水圧を系統的に変化させた摩擦実験を藍閃石片岩と花崗岩を用いておこない、地震に対する「水圧上昇」の影響を定量的に評価する。これによりスロー地震を巨大地震の前兆現象と捉えられる可能性があるかを検討したい。

3. 研究の方法

本研究では、ガス圧式高温高压変形実験装置を用いて、プレート境界の摩擦特性に対する間隙水圧の効果を定量的に評価する。具体的には、①藍閃石片岩に対する間隙水圧の影響、②花崗岩に対する間隙水圧の影響の2つの効果を調べ、間隙水圧が上昇し有効応力が下がるとスロー地震・海溝型地震が発生するという可能性を検討する。藍閃石片岩と花崗岩は構成鉱物が大きく異なることから、両者の実験結果を比較検討することで、断層帯の摩擦は物質の違いに大きく影響されるのか、間隙水圧(有効応力)の効果が優位に効くのか議論できる。

具体的試料としては、先行研究と同様、フランス産藍閃石片岩、そして比較物質としてウェスターリー花崗岩を用いた。実験には産業技術総合研究所所有のガス圧式高温高压変形実験装置を使用し、試料を直径 20mm、長さ 40mm の円筒形に加工したものに 30° に傾斜した模擬断層面を入れたものを用いた。実験は、封圧 150 MPa、間隙水圧 1-149 MPa、温度 100-300°C、軸変位速度 0.1-1 $\mu\text{m/s}$ の条件下で行なった。例えば地下 20 km ともなると、岩石の圧力で間隙はつぶされ個々に独立して存在することが考えられる。流体が断層強度に影響を及ぼすのであれば、十分に広域の断層面上に繋がった空隙が存在し、その中の水圧は岩石の押しつぶす圧力に抵抗できるに十分な高い圧力であることが予想される。そこで本研究では、先行研究の有効応力条件 (25-200 MPa) を「封圧 \approx 間隙水圧」のより低い有効応力条件まで拡張し、特に摩擦の速度依存性 $a-b$ が、間隙水圧の上昇に伴ってどのように変化するかを調べた。

また、これまでの実験は粉碎した藍閃石片岩を用いる粉末実験であった。しかし、地下深部に存在が期待される変成岩は粉末ではなく岩石として存在していると考えられることから、岩石同士の摩擦で同様の結果が得られるかを同時に検証した。

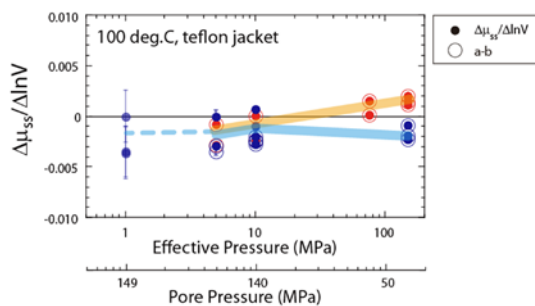
4. 研究成果

(1) 藍閃石片岩では、岩石同士の摩擦実験でも先行研究の粉末実験結果と同様に、間隙水圧が上昇し有効応力が下がると断層すべりの安定性を示すパラメータ $a-b$ が正から負へ変化する傾向が現れ、少なくとも藍閃石片岩

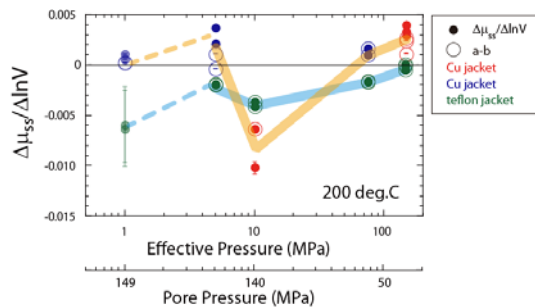
はこうした摩擦特性を持つことが明確になった(図1)。つまり、東北沖沈み込み帯のような冷たく古いプレート沈み込み帯の震源域に存在すると考えられる藍閃石片岩は、岩石の形状(粉体・塊状)に関わらず、間隙水圧が上昇し、 $a-b$ が正から負へ変化する点でスロー地震が現れる可能性、さらなる高間隙水圧(低有効応力)条件下で震源核形成が起こる性質を有することが明らかとなった。

本研究では、特に有効応力 5 MPa 以下の高間隙水圧条件下になると、再度安定なすべりを示す性質が現れることが分かった。つまり、間隙水圧が上昇すればするほど断層は不安定になるのではなく、ある閾値を持つ可能性がある。少なくとも藍閃石片岩の場合は、5-10 MPa で最も不安定な挙動を示すということが示唆された(図1)。

＜藍閃石片岩：温度 100°C の実験結果＞



＜藍閃石片岩：温度 200°C の実験結果＞



＜藍閃石片岩：温度 300°C の実験結果＞

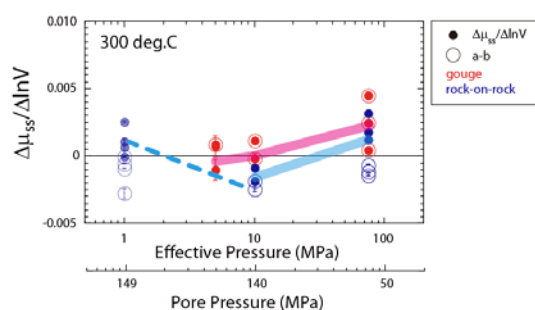
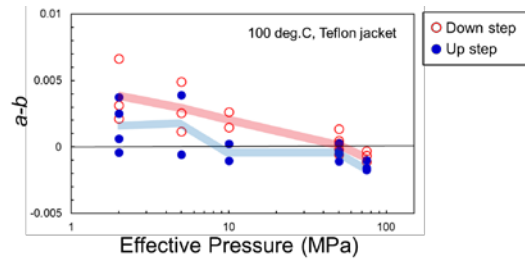


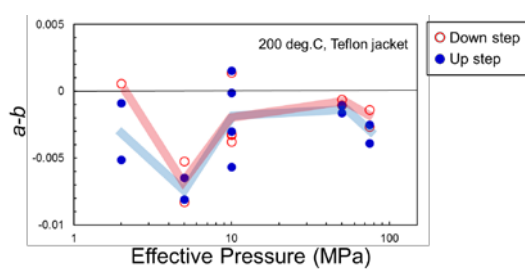
図 1. 藍閃石片岩の実験結果. 縦軸に断層の安定性を示すパラメタ ($a-b$, $\Delta\mu/\Delta\ln(V)$) を示し、横軸に有効応力 (effective pressure), 間隙水圧 (pore pressure) を示す。 $a-b$ は正の値をとると断層は安定な、負の値をとると不安定な挙動を示す。

(2) 一方花崗岩では、藍閃石片岩とは異なり間隙水圧が上昇し有効応力が低下すると $a-b$ は上昇する逆傾向を示し、高間隙水圧(低有効応力)条件になるほど断層すべりは安定な性質を示すことが明らかになった(図2)。これは間隙水圧が上昇しても、スロー地震が現れる可能性や震源核形成される性質を持たないということを示す。つまり断層すべりに対する間隙水圧の影響は、温度依存性と同様に物質によって異なる可能性がでてきた。これは今後、地震発生域の地質に基づいた実験やシミュレーションが必要となることを示唆するものであると考える。

＜花崗岩：温度 100°C の実験結果＞



＜花崗岩：温度 200°C の実験結果＞



＜花崗岩：温度 300°C の実験結果＞

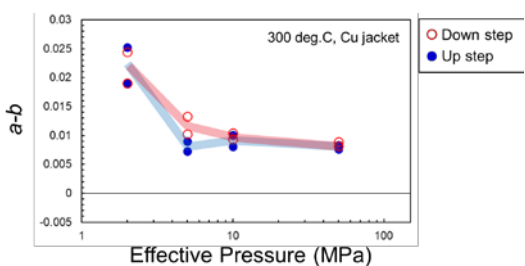


図 2. 花崗岩の実験結果. 縦軸に断層の安定性を示すパラメタ ($a-b$) を示し、横軸に有効応力 (effective pressure) を示す。

(3) 地震に対する「水圧上昇」の影響について実験的に検証した結果、間隙水圧の影響は物質の違いにより大きく異なり、摩擦に対して物質の影響がより優位に働く可能性が明らかとなった。つまり、水圧が上昇し高間隙水圧条件になると地震が発生するといった間隙水圧(有効応力)による機械的な影響を、断層の共通の性質として地震のモデル化等に適用できるのではなく、各沈み込み帯や地震発生域の地質に基づいて、様々な温度圧力条件下での実験を実施し、シミュレーション

をおこなっていくことが地震発生機構解明につながることを示唆する結果となった。

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 1 件)

- ① Sawai, M., Niemeijer, A. R., Plümpner O., Hirose, T. and Spiers, C. J., (2016) Nucleation of frictional instability caused by fluid pressurization in subducted blueschist, *Geophysical Research Letters* 43, 2543–2551, doi:10.1002/2015GL067569. 査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ① 澤井みち代・高橋美紀, 藍閃石片岩及び花崗岩の摩擦特性に対する間隙水圧の効果 (Pore pressure dependences on frictional behavior of blueschist and granite), 日本地質学会第 123 年学術大会 (東京), 講演 R12-P-8 (ポスター発表), 要旨集 p. 251, 東京都世田谷区・日本大学, 2016 年 9 月 10~12 日.
- ② Sawai, M. and Takahashi, M., Effects of pore pressure on frictional behavior of rocks, *International Symposium Crustal Dynamics 2016*, Poster presentation (BP67), Gifu, Takayama, Japan, 19-22 July. 2016.
- ③ 澤井みち代・Niemeijer, A.R.・廣瀬丈洋・Spiers, C.J., 東北沖沈み込みプレート境界物質の摩擦挙動と地震発生 (Frictional properties of materials along Tohoku subduction plate boundaries and implications for fault motion), 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS27-06 (口頭発表), 千葉・幕張メッセ国際会議場, 2016 年 5 月 22~26 日. (招待講演)
- ④ Sawai, M., Niemeijer, A.R., Plümpner, O., Hirose, T. and Spiers, C.J., Frictional properties of Blueschist under in-situ conditions and implications for fault motion, *American Geophysical Union, Fall Annual Meeting*, Poster presentation (MR33A-2649), San Francisco, USA, 14-18 Dec. 2015.
- ⑤ 澤井みち代・Niemeijer, A.R.・廣瀬丈洋・Plümpner, O.・Spiers, C.J., 東北沖プレート境界物質の摩擦特性からみるスロー・スリップ・イベント (Frictional properties of materials along the plate boundary of Tohoku subduction zone: implications for slow slip events), 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SCG62-14 (口頭発表), 千葉・幕張メッセ国際会議場, 2015 年 5 月 24~28 日.

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤井 みち代 (SAWAI, Michiyo)
千葉大学・大学院理学研究科・特任助教
研究者番号: 20760995

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

高橋 美紀 (TAKAHASHI, Miki)