

平成 30 年 5 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05259

研究課題名(和文)地震活動に基づく浅部プレート境界の摩擦特性推定のための基礎的研究

研究課題名(英文) Experimental challenge to estimate frictional properties of a plate boundary based on microseismicity

研究代表者

矢部 康男 (Yabe, Yasuo)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：30292197

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：法線応力が5MPa, 10MPa, 15MPaの条件下で花崗岩の摩擦実験を行った。いずれの法線応力下でも累積すべり量が小さい時には断層の摩擦強度はすべり速度に正の依存性を示し、AE活動のb値は正のすべり速度依存性を示す。累積すべり量がある値に達するといずれもすべり量依存性の符号が反転した。法線応力の増加に伴いすべり速度依存性の符号が転じる累積すべり量は小さくなった。累積すべり量とすべり速度依存性の関係を指数関数で近似すると、すべり速度依存性が定常状態に達する累積すべり量は法線応力に反比例していた。これは、摩擦により断層形状が定常状態に達するのに必要な仕事が法線応力によらず一定であることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：Normal stress dependencies of evolution of the rate effect on frictional strength and AE activity were examined by laboratory experiments using granite specimens. For cumulative sliding distance smaller than a critical distance, the rate dependency of friction is positive, while that of the b-value of AE activity is negative. When the cumulative sliding distance reaches the critical distance, the rate dependence of friction turns to negative. At the same time, the rate dependence of the b-value of AE activity becomes negative. Higher the normal stress, the critical distance becomes smaller. The evolutions of rate effects on the friction and the AE activity can be approximated by an exponential function to estimate a characteristic sliding distance required to reach a steady state. The characteristic sliding distance is inversely proportional to the normal stress, suggesting a work done by external force to evolve fault surface topographies by wear is independent of the normal stress.

研究分野：岩石力学

キーワード：AE活動 断層摩擦 速度依存性 累積すべり量依存性 法線応力依存性

1. 研究開始当初の背景

本研究代表者は、地震活動の時空間変動から断層の摩擦特性を推定することを目的として、花崗岩の定常摩擦すべりに伴う微小破壊(AE)の統計的性質と摩擦特性の比較を行い、両者に一定の相関がみられることを明らかにした(Yabe, 2002)。例えば、観測されるAEの振幅別頻度分布を特徴づけるパラメータである石本・飯田のm値に注目すると、実験開始直後は、累積すべり量の増加に伴ってm値も増加するが、累積すべり量がある値(特徴的すべり量)に達すると一定値に落ち着く。累積すべり量の増加に伴ってm値が増加する間は断層の摩擦特性はすべり速度強化であり、累積すべり量が特徴的すべり量に達するとすべり速度弱화에転じる。また、m値はすべり速度依存性を示し、その符号は摩擦強度のすべり速度依存性と逆符号になる。AE波形の解析からは、法線応力が大きくなると特徴的すべり量は小さくなるものの、AE活動と摩擦特性の相関は保たれることも明らかとなった。これらの現象の背景には断層面の摩擦による接触状態の変化がかかわっていると考えられ、実際、Yabe(2008)では、累積すべり量の増加に伴いAEの応力降下量が小さくなることが指摘されている。

これらの関係が自然地震でも成り立てば、定常的な微小地震活動の時空間変化とGNSS観測に基づく非地震性すべりのモニタリングを組み合わせて、プレート境界面上の摩擦特性分布を推定できる可能性がある。例えば、東北地方太平洋下のプレート境界で発生する微小地震のb値を海溝軸からの距離に対してプロットすると、ある距離までは海溝軸からの距離とともにb値が増加し、それ以深ではほぼ一定値に収束することが知られている(弘瀬・他, 2002)。

海溝軸からの距離が沈み込むプレートの累積すべり量に相当するとみなして、前述のようなb値の空間変化にYabe(2002)の結果を適用すると、海溝軸近傍ではプレート境界の摩擦特性はすべり速度強化であるが、ある深度でそれがすべり速度弱화에転じることを示唆していると解釈できる(矢部, 2004)。さらに、GNSS観測データから推定された非地震性すべりの時空間変動とb値の時空間変動の比較からも摩擦特性の分布を推定できる。このようにして推定した摩擦特性分布は、2004年当時までに発生したM7クラスの大地震のすべり域と調和的であり、実験結果を応用した推定がうまくいったように思われた。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震時に海溝付近で最大数十mのすべりが生じたことから、実際のプレート境界浅部の摩擦特性は上記の推定と異なり、すべり速度弱化であると考えられるようになった。

プレート境界浅部の摩擦特性の推定がうまくいかなかった原因としては、本研究代表者が過去に行った実験では法線応力を単一の値(5MPa)に固定していたことや、断層面

での接触が岩石-岩石接触であったことが考えられる。

2. 研究の目的

プレート境界浅部には未固結の堆積物あり、法線応力は深さとともに変化する。これらが断層の摩擦特性とAE活動の統計的性質の関係に対して及ぼす影響を明らかにするため、異なる法線応力下や断層介在物(ガウジ)が存在する条件下で摩擦すべり実験を行い、これらが断層の摩擦特性とAE活動の統計的性質に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

東北大学が所有する大型二軸圧縮試験機を用いた直接せん断試験や回転式せん断摩擦試験機を用いた大変位実験を行なう。前者では、載荷速度のステップ状変化に対する断層摩擦とAE活動の応答を調べる。後者では、累積すべり量の増加に伴う摩擦特性やAE活動の変化を調べる。いずれの実験においても法線応力が5MPa、10MPa、15MPaの3通りの条件で実験を行う。また、回転式せん断摩擦試験機では、ガウジが存在する断層を用いた実験も行う。ただし、ガウジを有する断層を用いた実験を行うためには試料の保持方法を改良する必要がある。

4. 研究成果

二軸試験機を用いた摩擦すべり実験では7台のAEセンサーを試料表面に貼り付けてAE計測を行った。AEの波形データと試験機の力学データとの同期をはかるため、両者を同一のシステムによりサンプリングレート10MS/sで連続収録した。

AE波形の連続記録からのイベント検出は計算負荷が大きく、予想以上に時間がかかったため、実験で得られたデータの一部しか解析が行えていないが、すべり速度のステップ状の変化に伴うAE発生レートの変化を見ることができた。AE発生レートは、すべり速度のステップ状変化に追隨して同様にステップ状に変化するわけではなく、一定のすべり量にわたって漸近的に変化していた。これは、ステップ状のすべり速度変化に対する摩擦強度の応答と類似していて興味深い。上に述べたようにデータ解析が十分に進んでおらず、AE活動と摩擦特性の定量的な比較まではできていない。

回転式せん断試験機を用いた摩擦すべり実験では、大変位に伴う摩擦特性とAE活動の変化をみるため、AE波形の包絡線を100kS/sのサンプリングレートで連続収録した。回転式せん断摩擦試験機を用いた実験では、法線応力5MPaの条件では断層の摩擦強度は、累積すべり量が小さい時にはすべり速度に正の依存性を示すがその依存性は徐々に弱くなり、ある累積すべり量を境に負の依存性に転じ、その後、一定値に収束することがわかっていた。一方、AEの振幅分布を特

徴づけるパラメタである m 値は、累積すべり量が小さい時には正のすべり速度依存性を示すが、累積すべり量がある値に達すると負のすべり量依存性に転じ、その後、一定値に収束する。これらの累積すべり量依存性は断層面の摩擦と関係していると考えられ、摩擦強度と AE 活動それぞれのすべり速度依存性の符号が転じる累積すべり量は一致していた。

法線応力 10MPa と 15MPa の条件下で同様の実験を行ったところ、摩擦強度と AE 活動のすべり量依存性に対する累積すべり量は法線応力 5MPa のときと同様であったが、法線応力の増加に伴いすべり速度依存性の符号が転じる累積すべり量は小さくなった。これは、法線応力が大きくなることで断層面上の微小突起のかみ合いが強くなり、断層面の摩擦がより効率的に進むためであると解釈できる。

断層面の摩擦は累積すべり量の指数関数で表せることが知られているので、摩擦の速度依存パラメタ ($a-b$) や m 値の依存性を

$$f(x) = \alpha - \beta \exp(-\kappa x) \quad (1)$$

で近似したところ (図 1), これらのパラメタが一定値に収束するのに要する累積すべり量の逆数である κ が法線応力に比例することが明らかとなった (図 2)。このことは、断層面が摩擦してその形状が定常状態に達するまでに外力がする仕事が法線応力によらずほぼ一定であることを示唆しており、摩擦強度や AE 活動の累積すべり量依存性が断層面の摩擦によっているという上記の考えを支持する。

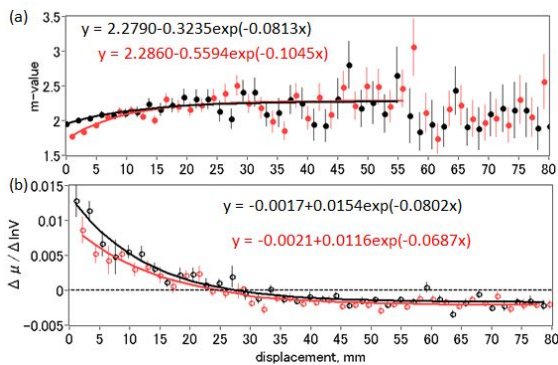


図 1 (a) AE の振幅分布を特徴づける m 値と (b) 摩擦強度のすべり速度依存性の累積すべりに伴う変化。実線は式(1)のフィッティング結果。法線応力は 10MPa。

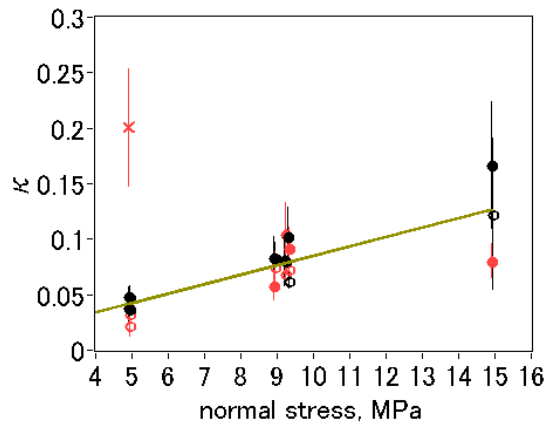


図 2 ．摩擦の速度依存パラメタ ($a-b$) および AE の振幅分布を特徴づける m 値の累積すべり量依存性の特徴的すべり量の逆数と法線応力の関係。

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 0 件)

[学会発表](計 1 件)

Yabe, Y., H. Tsuda, and T. Iida (2015), Evolutions of friction properties and AE source parameters associated with large sliding, AGU Fall meeting, San Francisco.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 0 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 0 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

矢部 康男 (YABE, Yasuo)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：30292197

(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

()