

学位申請論文 和文要約

**Effects of biogenic amorphous silica component in materials entering
subduction zones on frictional properties of interplate megathrust**

**沈み込み帯に持ち込まれる物質に含まれる生物起源非晶質シリカがプレート
境界断層の摩擦特性に与える影響**

並木由香

プレート沈み込み帯では、巨大地震をはじめ、スロースリップやサイレント地震など様々なタイプの地震が観測されている。このような多様なすべり挙動は、プレート境界断層面上で摩擦の安定性が、空間的に不均質な分布をしていることを反映していると考えられる (Bilek and Lay 1998 など)。摩擦の安定性の不均質な分布を生み出す要因の一つとして、摩擦特性の異なる物質が沈み込み帯に持ち込まれ、それらがプレート境界断層面上で空間的に不均質に分布することが考えられる。沈み込み帯に持ち込まれる物質には、海洋プレートを構成する玄武岩のほか、主要な海洋堆積物として陸源堆積物、石灰質軟泥および珪質軟泥がある(小出 2016)。陸源堆積物は粘土質なものが多く、そのような粘土質堆積物の摩擦特性はよく研究され、体系的に理解されつつある(Brown et al. 2003 など)。一方、生物起源である石灰質軟泥および珪質軟泥の摩擦特性に関する研究は少なく(Ikari et al. 2013 など)、体系的な理解には至っていない。さらに、生物起源堆積物に含まれる非晶質シリカは、沈み込みに伴う続成作用により結晶化して石英になるが(Kameda et al. 2012)、このような鉱物学的変化の影響による摩擦特性変化は、先行研究において考慮されていない。

以上のような背景より、生物起源非晶質シリカを含む堆積物の摩擦特性を明らかにすることを目的に研究を行った。まず、生物起源堆積物の摩擦特性を、同一地域の粘土質堆積物および玄武岩の摩擦特性と比較し、明らかにした。次に、生物起源非晶

質シリカが堆積物の摩擦特性に与える影響を調べるため、生物起源堆積物の特徴の一部を再現した模擬試料、および生物起源堆積物から酸処理によって得た生物起源非晶質シリカを用いて摩擦実験を行った。さらに、続成作用により非晶質シリカが結晶化することで生じる堆積物の摩擦特性変化を調べるため、生物起源堆積物を水熱反応させた試料を用いて摩擦実験を行った。そして、これらの摩擦実験から明らかになった摩擦特性の支配因子を探るため、生物起源堆積物および生物起源非晶質シリカの摩擦実験後の剪断組織を観察した。加えて、異なる摩擦特性を示す物質として、粘土質堆積物の摩擦実験後の剪断組織を観察し、比較した。

摩擦実験は、回転式中—高速剪断摩擦試験機を用いて行った。5 MPaの垂直応力下において、一定のすべり速度 0.28 mm/s で剪断して摩擦が定常状態に達した後、摩擦の速度依存性を調べるため速度ステップを 0.0028–0.028 mm/s, 0.028–0.28 mm/s, 0.28–2.8 mm/s の三段階で与えた。摩擦実験には、以下の試料を用いた；(1)天然の沈み込み帯に持ち込まれる物質として、コスタリカ沖で採取された粘土質堆積物、玄武岩、生物起源である珪質・石灰質軟泥。(2)珪質・石灰質軟泥の主成分の化学組成を模擬した試料として、カルサイト、人工非晶質シリカおよびその混合物。(3)珪質・石灰質軟泥に含まれる生物の殻の形を保った非晶質シリカを模擬した試料として、珪藻土。(4)珪質・石灰質軟泥から酸処理によって取り出した生物起源非晶質シリカ。(5)珪質・石灰質軟泥の水熱反応により得られた、主に生物起源のカルサイトから成る試料。この水熱反応試料には少量の石英が含まれ、非晶質シリカはほとんど含まれない。

摩擦実験の結果、珪質・石灰質軟泥は、粘土質堆積物や玄武岩に比べて摩擦強度が高く、低速で摩擦が負の速度依存性を示し、速度を上げるとニュートラルに近付き、数 mm/s で正の速度依存性を示すことが明らかになった。これに対し、粘土質堆積物の摩擦は常に正の速度依存性を示し、玄武岩の摩擦は速度依存性をほとんど示さないことから、天然試料の摩擦特性は物質ごとに異なることが示された。また、生物起

源非晶質シリカは、珪質・石灰質軟泥と同程度の高い摩擦強度を示し、摩擦の速度依存性は常に負を示した。このような特徴を最大粒径の近い人工非晶質シリカが再現しなかったことから、非晶質シリカの生物の殻の形は、摩擦強度および摩擦の速度依存性を決める重要な要素であると考えられる。一方、生物の殻の形を保った模擬物質である珪藻土は、珪質・石灰質軟泥と異なる鉱物を含んでいながら、類似の摩擦特性を示した。さらに、非晶質シリカをほとんど含まない水熱反応試料は、摩擦が常に正の速度依存性を示した。これらの結果は、生物起源非晶質シリカに第二成分が混合すると、数 mm/s 程度のすべり速度で摩擦の速度依存性が正に変化し、さらに生物起源非晶質シリカが減少すると、より遅いすべり速度においても、摩擦の速度依存性が正に変化することを意味する。

摩擦実験の後、摩擦の速度依存性が顕著に異なる珪質・石灰質軟泥、生物起源非晶質シリカ、粘土質堆積物について剪断組織を観察した。摩擦が常に正の速度依存性を示した粘土質堆積物では、剪断帯全体に定向配列が見られた。一方、残りの二つの試料には、剪断が局所化した細粒なゾーンが見られた。この局所化ゾーン以外の部分には、粒子の定向配列が見られた。剪断の局所化は摩擦の負の速度依存性を引き起こすと考えられているが (Ikari et al. 2011)、本研究は珪質・石灰質軟泥が局所化ゾーンを有しながら、正負両方の摩擦の速度依存性を示すことを明らかにした。珪質・石灰質軟泥の局所化ゾーンは、摩擦が常に負の速度依存性を示した生物起源非晶質シリカの局所化ゾーンに比べ、粒子密度が高いなどの特徴を持つ。このことから、局所化の有無だけでなく、局所化ゾーンの持つ性質が摩擦の速度依存性を支配する可能性が示唆された。

本研究は、沈み込み帯に持ち込まれる物質の違いが、プレート境界断層面上の摩擦特性の不均質な分布の要因となり得ることを明らかにした。特に、堆積物が生物起源非晶質シリカを含むと、断層の摩擦を不安定化させる傾向があることを示した。さら

に、このような堆積物が続成作用を受け、生物起源非晶質シリカが結晶化すると、断層の摩擦を安定化させる傾向があることを示した。また、すべり速度の増大により、摩擦の速度依存性が負から正へ変化する物質が沈み込み帯に持ち込まれていることを明らかにした。このことは、プレート境界断層面上の摩擦特性の分布において、空間的不均質性に加え、すべり速度の変化に伴う断層摩擦の安定性の変化についても考慮する必要があることを示唆する。