

固着すべり実験における溶融層形成：溶融層の特徴とすべり挙動への影響

Frictional melting during experimental stick-slip events: Characteristics of melt layers and their effects on slip behaviors

大槻 憲四郎[1], 小泉 洋介[2], 竹内 昭洋[3], 長濱 裕幸[4]

Kenshiro Otsuki[1], Yosuke Koizumi[2], Akihiro Takeuchi[1], Hiroyuki Nagahama[3]

[1] 東北大・理・地球科学, [2] 東北大・理・地圏, [3] 東北大・理・地学, [4] 東北大学院・理・地圏進化
[1] Earth Sci., Tohoku Univ., [2] Geoenvironmental Sci., Tohoku Univ., [3] Dep. Geoenviron. Sci., Grad. School Sci., Tohoku Univ.

この前の小泉ほかの発表では、封圧 150Mpa、常温下での固着すべりにおける力学・電磁気的現象を高速で計測し、溶融層の形成が示唆された。ここでは、この実験後の試料を含めた試料をデジタルハイスコープ、SEM、EPMA で観察した結果を報告し、溶融層のすべり挙動に及ぼす影響を考察する。

[観察事実]

(1) 応力降下が 50Mpa 以下の比較的小さな固着すべりイベントのみを数回経験したすべり面の表面をデジタルハイスコープで観察した結果、断層条線の発達領域と鏡面仕上げが保存されている領域とが明瞭に識別できた。条線の発達する領域は見かけの接触面積の約 20%である。条線発達領域はハウスドルフ次元が 1.83 のフラクタル分布を示す。

(2) SEM で上と同じ試料の断層条線を観察した。条線部の所々には引きずられた粉碎粒子がある他、この粒子がすべり面の表面から剥ぎ取られた跡と思える凹部がある。この凹部表面にはリバーパターンが明瞭で、剥ぎ取りは脆性引張破壊による。

(3) 粉碎粒子が引きずられた痕の両側には、低度に溶融した $1\mu\text{m}$ よりかなり薄い層が“土手”をなしている。この溶融層は摩擦溶融した粒子から押し出されたもののように見える。

(4) 非接触部には研磨面がそのまま残されているが、面に高角で斜交するクラックが多数形成されている。

(5) 大きな固着すべりイベントを経験したすべり面の表面には、“糸を引いた納豆”状の構造がしばしば認められ、明らかに溶融している。溶融層の厚さは $1\mu\text{m}$ 程度である。しかし、溶融層の他にも脆性的に粉碎された微粒子が多数認められる。

(6) すべり面に直交した薄片の EPMA 観察によれば、溶融層の厚さは $1\text{--}5\mu\text{m}$ である。これらの摩擦溶融が何度目の固着すべりによって起こったのかは不明だが、すべり面の両側の試料は完全に溶接され、壊されずに残っているところが多い。

(7) 溶融層の元素組成は場所によって変化し、主要構成鉱物の雲母、カリ長石、斜長石、石英のそれらに極めて近い。未溶融粒子としてこれらの鉱物の破片が認められることもある。また、成分の全く異なる 2 層から成ることもある。これらのことから、摩擦発熱による最高温度は $1,730$ 以上に達したことが明らかである。

[考察]

(a) すべりに数 μsec ほど先行して、内部軸荷重と内部変位に高周波・低振幅の振動が現れる原因は不明だが、(2)で述べた剥ぎ取りの核となるマイクロクラックがすべり面近傍に発生するためかもしれない。マイクロクラックの発生は、真の接触部と非接触部の境界に発生する引張応力によるのかもしれない。

(b) 小規模な固着すべりイベント、または大きな固着すべりイベントの初期に、内部変位と内部軸荷重に高周波振動が卓越するのは、マイクロクラックの発生 + 剥ぎ取り、および剥ぎ取られた粒子の粉碎が卓越するためかもしれない。

(c) (1)で述べた条線発達領域の面積は、固着すべり前のそれよりはかなり大きい。(3)で剥ぎ取られた粒子の両側に見られる溶融層の“土手”について述べたが、その冷却・固化が真の接触面積を増加させるものと思える。これは、次の固着すべり強度を増加させるだろう。事実、固着すべりを繰り返す度ごとに、静止摩擦強度は増加する傾向を示す。さらに、剥ぎ取られた粒子から押し出された溶融体は即座に冷却・固化するので、動摩擦の減少を抑制するかもしれない。

(d) (5)で述べたように、大きな固着すべりイベントを経験したすべり面には顕著な溶融層が認められる。大きな固着すべりイベントの後半では、内部変位と内部軸荷重に高周波振動が認められなくなる。このことは、広範囲に溶融層が形成され、すべり面が均質化したためであろう。

(e) 溶融層の元素組成が不均質であるため、粘性率を正確には求められないが、 10Pas と仮定しよう。溶融層の厚さを $2\mu\text{m}$ とするなら、すべり速度は約 100m/s なので、摩擦抵抗は 50Mpa となり、溶融層の形成がすべりを促進するか抑制するか微妙なところである。

(f) しかし、前の小泉ほかの発表で示されたように、溶融層が発生し始めた $10\mu\text{sec}$ ほど後にすべりは停止す

る。1 μm の溶融層が固化する時間が 0.1 μsec 程度であることを考慮すると、すべりが何らかの理由で一時的に遅くなれば、溶融層の冷却・固化という負のフィードバックが即座に作動し、停止に至るはずである。

(g) (6)で述べたように、すべり面を完全に溶接してしまった溶融層は、破壊されずに残っている。このことは溶融層の急冷・固化が healing の原因であり、それはすべり停止後 0.1 μsec 程度で完了してしまう。そして、その後の固着すべりの弱面にはなっていないことを示す。