

透過弾性波によるガウジ層内部状態の観察

Acoustic probing of the internal state of gouge layer under realistic crustal normal stress

永田 広平 [1]; 中谷 正生 [2]; 吉田 真吾 [3]

Kohei Nagata[1]; Masao Nakatani[2]; Shingo Yoshida[3]

[1] 東大・理・地球惑星科学; [2] 東大地震研; [3] 東大地震研

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ.; [2] ERI; [3] ERI, Univ. of Tokyo

1. はじめに

我々はこれまで、固体同士を直接接触させた模擬断層面について、断層面を透過した弾性波の振幅を測定しながら摩擦すべり実験を行い、弾性波の透過振幅が、断層にかけられた応力とすべり速度の関係を決める rate- and state- dependent friction law における摩擦強度と密接な関係にあることを明らかにしてきた(地球惑星科学連合 2006 年大会, S109)。これは、弾性波の透過振幅と摩擦強度のどちらも、固体同士が接触する面上の接触状態を反映して変化するためと考えられる。

しかし、フィールドで見られる実際の断層は固体同士が直接接触しているというよりも、断層破砕物質(ガウジ)を面の間に挟むことが多い。このような状況では、固体同士の接触具合だけでなく、破砕物質により構成される内部構造の変化が、強度や断層を透過する弾性波動に影響を与えることが予想される。このため、破砕物質を挟むような断層において、断層の状態変化に伴って透過振幅がどのように変化するかは、固体接触面の場合とは別に調べられる必要がある。

破砕物質を挟んだ模擬断層について断層面を透過した弾性波動の変化を観測した実験はまだ例が少ないが、Yoshioka and Sakaguchi(2005) は、動的破壊に至る過程の前兆的な変化に注目して、数 kPa の法線応力の下で弾性波を観測しながらスティックスリップ実験を行い、断層面に加えられるせん断応力の増加にともなって前兆的すべりやガウジ層の膨張(dilatancy)が始まること、さらにそれらの微小変位とともに透過波動の振幅が著しく減少することを報告している。このような前兆的すべりに伴う顕著な透過振幅の低下がより高い法線応力の下でも観察できるかどうかは、フィールドへの応用という観点から重要な問題であり、これを調べるのが本研究の一つの目的である。

また、ガウジ層を挟んだ面を用いた摩擦実験からは、固体同士が接触する面で見られる時間に依存した強度回復過程の他に、ガウジ層内の幾何学的な再配置に起因すると考えられる強度回復とそれに対応するようなすべり弱化が見られることが報告されている(Nakatani, 1998)。このような強度変化に伴ってガウジ層の厚さや透過波動がどのように変化するかを観察することにより、ガウジ層内部の構造変化の様子を推定し、それに伴って透過波動がどのように変化することを調べることができると期待される。

2. 実験

実験は固体接触面の場合と同様に、サーボ制御式の 2 軸圧縮試験機(東京大学地震研究所)を用いた 2 面直せん断試験により行った。3 つの花崗岩ブロック間の 2 つのすべり面には、粒径 100 μm 以下の石英砂からなるガウジ層が挟まれる。弾性波はサンプルブロックの外側に取り付けられた超音波トランスデューサにより送受信した。また、ガウジ層内部の構造変化についての情報を得るため、ブロック間の距離を測ることによって層厚の変化を測定した。層厚の変化には位置によるばらつきが見られるが、3 点でブロック間の相対距離を測ることにより弾性波の透過するブロック中心付近での層厚の変化を推定することができる。法線応力は 10MP 程度で一定とし、すべり速度 1 $\mu\text{m/s}$ での slide-hold-slide 試験を、hold 時のせん断応力や hold 時間を変えながら行った。

3. 実験結果

まずせん断応力のデータからは、時間に依存した強度回復の他に hold 時のせん断応力に依存した強度回復が見られた。Nakatani(1998) が指摘するように、時間に依存した強度回復は、hold 時のせん断応力が高い時にはすべり開始時のせん断応力ピークとして現れるが、hold 時のせん断応力が低い時にはこのピークは観察されない。しかし透過弾性波の振幅データからは、透過振幅が hold 開始時のせん断応力の減少に伴って増加するとともに、hold 時のせん断応力の値に関わらず hold 時間の対数に比例して増加することが観察された。この振幅の増加は、層厚が hold 中に減少していることに対応する。この結果は、時間依存のせん断応力ピークの有無に関わらず、hold 中にはせん断応力と時間に依存した 2 つのメカニズムによる構造変化が生じること、また時間依存の構造変化は hold 後の微小変位によって解消されることを示唆する。このことは hold 後の微小変位による透過振幅の急激な減少や層厚の増加によっても支持される。この振幅の急激な減少は Yoshioka and Sakaguchi(2005) で報告されている前兆的な振幅の減少に対応するものと考えられるが、今回観察されたのは高々 20 % 程度の変化であった。またその後のすべりに伴って、せん断応力は一定のレートで定常状態へ向かって減少していくが、透過振幅や層厚もこれと同様にそれぞれ減少・増加していくことが観察された。これらの結果からは、ガウジ層の摩擦強度と弾性波の透過振幅が共に層の空隙率に強く依存することが示唆される。