

大型岩石摩擦実験から何がわかったか What Did We Learn from Large-Scale Friction Experiments?

○福山英一・山下太・徐世慶

○Eiichi FUKUYAMA, Futoshi YAMASHITA, Shiqing XU

We have constructed a large-scale rock friction apparatus and conducted friction experiments since February 2012. The operation of this apparatus ended in 2020 due to the termination of the shaking table operation. During this period, we conducted numerous experiments focusing on the rock friction behaviors. The most prominent feature of these experiments was the finiteness of the fault. In the traditional small-scale friction experiments, the sliding surface is considered as a point and the measurements can be considered at the strength of the fault. But when the fault becomes finite, we need to carefully consider the friction between small scale and large-scale friction. Another issue is that it was impossible to measure directly the stress and slip on the fault without any extrapolations. In this presentation, we try to show what friction is, i.e., the strength of the fault, and how it should be evaluated.

1. はじめに

地震の破壊過程を推定する上で断層摩擦は欠くことのできない情報であるが、フィールド観測から直接得ることのできない情報でもある。特に、断層強度は実際に断層すべりが発生する際の応力値の変化から推定する必要があり、ほとんど不可能な測定量である。

断層強度の推定のために多くの室内実験が行われてきた (Marone, 1993, Ohnaka and Shen, 1999 など)。しかしながら、実験上の制約により、断層サイズの影響はうまく評価されてこなかった。

我々は、防災科学研究所に既設の大型振動台を利用した大型岩石摩擦試験機を構築し、メートルスケールのすべり面を有する岩石摩擦実験を行ってきた。試験機は 2012 年 2 月に運用を開始し、2020 年に大型振動台の運用が停止されるまで実験が行われてきた。

2. 大型岩石摩擦実験からの知見

(1) 断層サイズ依存性

一定法線応力下で載荷速度を変化させた岩石摩擦実験より、摩擦係数の載荷速度依存性を調べた (Yamashita et al, 2015)。比較のためすべり面サイズがセンチメートルオーダーの回転剪断摩擦試験機のデータも用いた。メートルスケールの大型摩擦試験機のデータは回転剪断摩擦試験機のそれとの振る舞いが明らかに異なり、その違いは摩擦物の局所的な生成による法線応力の増加により説明で

きることがわかった (Yamashita et al., 2015)。

(2) 破壊伝播速度の影響

速度状態依存摩擦則においては、すべり面は同時にすべることが暗黙のうちに仮定されており、断層面サイズによらず同じ構成方程式が用いられ、スケール依存性の議論はほとんどなされてこなかった。しかしながら、破壊伝播速度によって cohesive zone が変化することが理論だけでなく実験においても報告されており (Fukuyama et al., 2016)、摩擦パラメータの推定において破壊伝播の影響を考慮する必要がある。

Fukuyama et al. (2018)は、すべり面直下に歪みゲージを設置することにより、2次元的な破壊伝播を測定することに成功した。Noda and Fukuyama (2023)においては、そこで得られた2次元歪アレーデータをを用いて断層面上での破壊核の同定と破壊伝播距離に比例するすべり弱化解距離パラメータ (D_c)分布の推定をおこない、破壊エネルギーは総すべり量と共に大きくなっていくことを示した。さらに、Fukuyama et al. (2018)は、すべり面の端での測定では検知できない破壊伝播が存在することを指摘し、2次元的な破壊分布の推定の必要性を指摘した。

3. 大型岩石摩擦実験の展望

これまでの大型岩石摩擦実験において重要な知見は、破壊核サイズが断層面より大きい小さいかであった。大きな拘束圧をかけることの出来る

センチメートルスケールの岩石摩擦実験においては、すべり面より破壊核が小さくなる実験も可能となるが、破壊核の形成と不安定すべりへの移行プロセスを直接的にモニターすることはできていない。防災科学技術研究所における大型摩擦試験機では、法線応力の制約からすべり面と破壊核の大きさはほぼ同じであると予想されている (Fukuyama et al., 2017; Xu et al., 2023)。この場合においても、不安定すべりは破壊核の周囲から一斉に外に広がるのではなく、破壊核内の点からすべりが進んでいく現象が観測されることは興味深い。

4. 最後に

防災科学技術研究所では、第2世代の大型岩石摩擦試験(断層長 4m)が構築され、運用されている (Yamashita et al., 2022)。さらに、第3世代の大型岩石摩擦試験機(断層長 6m)の運用も始まっている。これらの試験機では、破壊核を断層面内に収めた実験を行うことを目的としている。特に破壊核の2次元的な形成過程と不安定すべりへの移行過程に関しては、これまでの理論予測ではうまく説明できない現象が精度良く測定される可能性があり、今後の断層摩擦に関する研究、特に理論研究への貢献が期待される。

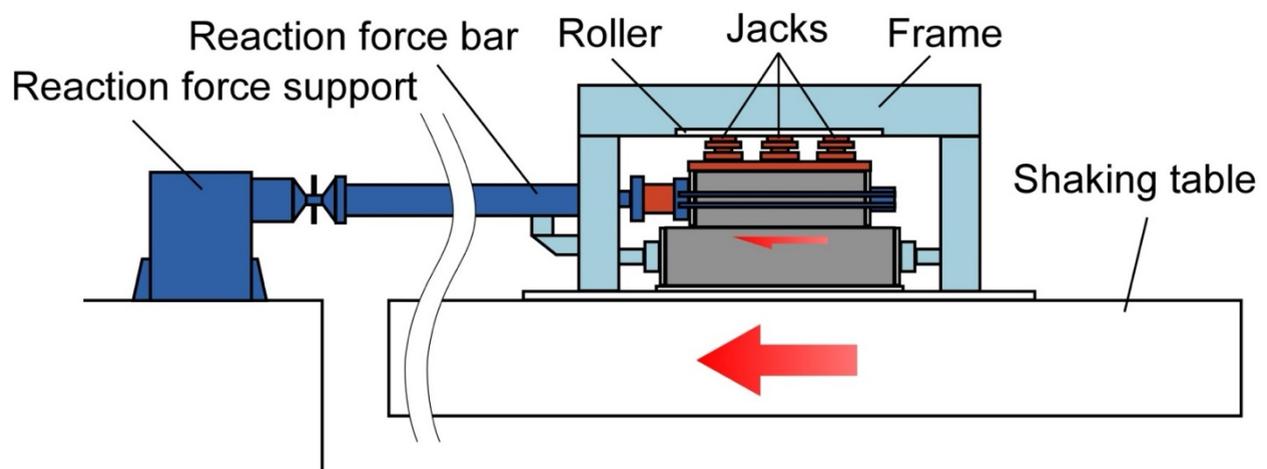


Figure 1: Schematic illustration of the large-scale friction apparatus (modified from Yamashita et al, 2015).