

大型二軸摩擦実験によって示された岩石摩擦のスケール依存性 Scale dependency of rock friction strength revealed by large scale biaxial friction experiment

山下 太^{1*}; 福山 英一¹; 溝口 一生²; 滝沢 茂³; 川方 裕則⁴

YAMASHITA, Futoshi^{1*}; FUKUYAMA, Eiichi¹; MIZOGUCHI, Kazuo²; TAKIZAWA, Shigeru³; KAWAKATA, Hironori⁴

¹ 防災科学技術研究所, ² 電力中央研究所, ³ 筑波大学, ⁴ 立命館大学

¹NIED, ²CRIEPI, ³Tsukuba Univ., ⁴Ritsumeikan Univ.

我々は自然地震のスケール ($\sim 10^3$ m) と室内実験のスケール ($\sim 10^{-2}$ m) の間のギャップを埋める目的で、メートルサイズの岩石試料を用いた大型二軸摩擦実験を実施した。岩石試料として1組の直方形インド産ギャブロを用い、その接触面積(模擬断層面積)は $1.5 \times 0.1 \text{ m}^2$ であった。実験は 1.3, 2.7 および 6.7 MPa の垂直応力下において 10^{-4} から 3×10^{-2} m/s の載荷速度でおこなわれた。垂直およびせん断荷重はロードセルを用いて測定した。以後、測定したせん断荷重を垂直荷重で除した値を摩擦係数と呼ぶ。回転せん断摩擦試験機を用いた室内実験により、岩石の摩擦係数は高いすべり速度領域においてすべり速度依存性を持つことが示されている(例えば Di Toro *et al.*, 2011, Nature)。我々は本実験においてメートルサイズの岩石試料が同様の摩擦特性を持つことを確認した。すなわち、摩擦係数は低い載荷速度 (10^{-4} から 10^{-3} m/s) においては 0.75 でほぼ一定であるがおよそ 10^{-2} m/s を越えると急激に低下することを確認した。メートルサイズの岩石試料を用いた実験でこのような速度弱化特性が確認されたことは世界で初めてである。ただし、メートルサイズ試料の摩擦係数は垂直応力に対しても弱い依存性を示すことが確認された。このことはすべり速度が摩擦特性を支配する唯一の要素ではないことを意味している。そこで、垂直応力の寄与も含む、仕事率に対する依存性を調べた。これまでの室内実験では、摩擦係数は低い仕事率ではほぼ一定であるが自然地震の条件に近づくにつれて低下することが示されている(例えば、Di Toro *et al.*, 2011; Mizoguchi and Fukuyama, 2010, Int. J. Rock Mech. and Min. Sci.)。メートルサイズ試料での摩擦係数と仕事率の関係を調べたところ、摩擦係数が 10^{-2} MJ/m²s 以上の仕事率において急激かつ明瞭な減少を示すことが明らかとなった。この明瞭な依存性は、摩擦特性がすべり速度ではなくむしろ仕事率に依存していることを示している。Di Toro *et al.* (2011) は、仕事率と断層面上の温度上昇率は比例関係にあり、摩擦仕事によってつくられた摩擦熱が岩石鉱物の物理化学的遷移とそれによる弱化を引き起こしていると主張している。本実験においても同様のメカニズムが働き摩擦強度を下げていていると考えられるが、メートルサイズの摩擦係数は小さな試料を使って推定された摩擦係数に比べ1桁小さな仕事率から低下が始まっている。我々は、この差異が断層面上のせん断応力不均質に起因していると予測し、大型二軸摩擦試験機によって断層面上に作り出される不均質な応力分布と、その応力条件下での仕事率に依存する巨視的な摩擦弱化特性を推定した。さらに我々は、さらなる応力不均質が存在する場合の弱化特性の推定もおこなった。これらの推定から、応力不均質が強いほど小さな仕事率で巨視的な摩擦係数が低下することを確認した。一般にスケールが大きくなるにつれて空間的不均質性が強くなる傾向にあることを考慮すると、岩石の摩擦特性はスケール依存性を持つ可能性があると考えられる。

キーワード: 岩石摩擦, 二軸摩擦実験, スケール依存性, 仕事率

Keywords: Rock friction, Biaxial friction experiment, Scale dependency, Work rate