

岩石破壊実験に基づく剪断破損構成則の環境依存性

Experimental studies on constitutive properties for the shear failure of rock in seismogenic environments

加藤 愛太郎 [1], 大中 康賢 [1], 望月 裕峰 [2]

Aitaro Kato [1], Mitiyasu Ohnaka [2], Hiromine Mochizuki [3]

[1] 東大・地震研, [2] 東京大学地震研究所

[1] ERI, Univ. Tokyo, [2] ERI, Univ. of Tokyo, [3] Earthquake Research Institute University of Tokyo

本研究では、地震発生場における環境条件下で岩石破壊実験を行い、すべり依存性構成則を規定しているパラメータの深さ変化と、その圧力、温度依存性を評価した。全実験で、歪み速度は 10^{-5} に固定した。封圧、温度の深さ勾配は地殻の典型的な値（30 MPa/km, 30 °C/km）を用い、間隙水圧の深さ勾配に関しては、静水圧（10 MPa/km）とsuprahydrostatic pressure（24 MPa/km）の2つの場合を想定した。深さ10km（300 °C以上）以深では、間隙水圧の大きさによらず、不安定破壊が抑制され、その効果は主として温度によっていることが明らかになった。

地震は、断層の剪断破損過程である。この破損過程を支配している物理法則が剪断破損構成則であり、地震発生過程を記述する際に不可欠である。構成則として、剪断応力の変化に対するすべりの応答、もしくはその逆の関係を規定するすべり依存性構成則を考える。この構成則は、いくつかのパラメータ（剪断破壊強度、臨界すべり変位量、破損応力降下量、slip-weakening rateの最大値、破壊エネルギー等）によって規定される。一般に、地殻内で発生する大地震の破壊領域の深さ下限や、微小地震活動の深さ下限は15～20km程度である。このような場では、深さ方向に温度、圧力等の地学的環境条件が変化するため、すべり依存性構成則を規定するパラメータも深さと共に変化すると考えられる。従って、大地震を含めた自然地震の発生メカニズムを理解する上で、構成則パラメータの深さ分布を知ることは不可欠である。

本研究では、構成則パラメータの深さ分布を調べるために、地震発生場の環境条件を室内で再現し、岩石破壊実験を行った。試料として、粒径が均一な筑波花崗岩（{密度2.64g/cm³}, 間隙率0.93%, 円柱形試料（長さ40mm, 直径16mm）}）を用いた。実験では、東京大学地震研究所に設置されている高温高压岩石破壊装置を使用した。全ての実験において、歪み速度を 10^{-5} /secに固定した。封圧（岩石圧）と温度の深さ勾配を、地殻内の典型的な値とし、それぞれ、30 MPa/km, 30 °C/kmと仮定した。また、間隙水圧の深さ勾配としては、明確な観測例が少ないので、以下の2つの場合を想定した。一つは、断層の透水率が高く、間隙水圧が静水圧勾配（10 MPa/km）に従う場合である。他は、断層の透水率が低く、間隙水圧が静水圧に比べ十分大きいsuprahydrostatic pressure状態であり、その深さ勾配を24 MPa/kmに仮定した。深さが固定されると、封圧、間隙水圧、温度が上記の勾配から一意に決まる。各深さに対応する封圧、間隙水圧、温度を一定に保持した条件下で実験を行い、そのデータを基にすべり依存性構成曲線を求めた。

本研究により、構成則パラメータの深さ（温度、有効法線応力）依存性が明確に示された。まず、構成曲線の深さ変化について述べる。深さ10km以浅では、単位すべり量の増加に対する剪断応力の解放量はほぼ同じ値であるが、深さ10km（温度300 °C以上）以深でその値は減少し、破壊の安定性が増していることがわかる。上記の間隙水圧の深さ勾配の違いによらず、この特徴はみられる。次に、構成曲線を基に決定した構成則パラメータの深さ変化について述べる。剪断破壊強度に関しては、有効法線応力が大きい、間隙水圧が静水圧状態の強度のほうが、suprahydrostatic pressure状態の強度にくらべ大きくなる。ただし、深さ方向への変化に違いはみられない。深さ10km以浅で、剪断破壊強度は深さと共に増加しており、有効法線応力に主として依存する脆性的な挙動である。一方、深さ10km以深では、その深さ変化が鈍り、温度と有効法線応力の両者に依存する脆性-塑性遷移領域下の挙動に移行する。Dc（臨界すべり変位量）、slip-weakening rateの最大値、破壊エネルギーは、深さ10km以浅ではほとんど変化しない。一方、10km以深で、slip-weakening rateの最大値の減少に応じて、Dcは増加し、破壊エネルギーも増加する。これらのパラメータの深さ変化は、有効法線応力の違いにあまり依存していない。注目すべき点として、slip-weakening rateの最大値が一桁近く減少しており、破壊の安定性が増している点である。一方、破損応力降下量の深さ変化は小さく、やや深さと共に減少する傾向がみられる。

以上より、深さ10km以深（温度300 °C以上）で不安定破壊が抑制され、その効果は主として温度によっていることが明らかになった。